



---

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

Εργαστήριο Ατμοκινητήρων & Λεβήτων

*Τομέας Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών*

---

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

*«Εισαγωγή στον Υπολογιστικό Κώδικα  
Θερμοδυναμικών Κύκλων: ENBIPRO.  
Βασικές Αρχές Λειτουργίας, Αντιμετώπιση  
Προβλημάτων και Παραδείγματα  
Εφαρμογής»*

**Της Φοιτήτριας**

Ειρήνης Σαρηκώστα

**Επιβλέπων**

Καρέλλας Σωτήριος, Επίκουρος Καθηγητής,  
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ

---

Αθήνα, Απρίλιος 2014

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία, όπως αναφέρεται και στον τίτλο, είναι μία εισαγωγή στον υπολογιστικό κώδικα θερμοδυναμικών κύκλων *ENBIPRO*. Χωρίζεται νοητά σε τρία μέρη, τις βασικές αρχές λειτουργίας, την αντιμετώπιση προβλημάτων και τα παραδείγματα εφαρμογής.

Αν και ο πρωταρχικός σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν αυτός, της προσομοίωσης σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και η δυναμική απόκριση τους, λόγω των παιδικών ασθενειών του προγράμματος αναγκαστήκαμε να αλλάξουμε πορεία. Αφού αναλύσαμε τις βασικές αρχές λειτουργίας του, επικεντρωθήκαμε στην επίλυση των προβλημάτων του προγράμματος αυτού, αλλά και στην όσο το δυνατόν καλύτερη ανάλυση του τρόπου χειρισμού και των ιδιοτήτων του, ώστε ο επόμενος χρήστης να κρατάει στα χέρια του έναν καλό οδηγό για να εξελίξει τη μελέτη μας ένα βήμα παραπέρα.

Μελετώντας την εργασία αυτή, γίνεται σαφής ο τρόπος λειτουργίας του προγράμματος και ο τρόπος, με τον οποίο πρέπει να γίνεται κάθε προσομοίωση, ώστε να αποφθεχθεί η πιθανότητα παρουσίασης εμποδίων, που θα καθιστά αδύνατη τη διεκπεραίωση. Μέσα σε αυτήν την εργασία μπορεί κάποιος να βρει, εκτός από τον τρόπο χειρισμού, βήμα-βήμα, παραδείγματα προσομοίωσης βασικών κύκλων ατμοπαραγωγών. Τέλος, η αναφορά των προβλημάτων που εμφανιστήκαν και το πώς αυτά αντιμετωπίστηκαν, είναι ένα βασικό και αναπόσπαστο κομμάτι αυτής της εργασίας.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1. ΤΟΜΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	5
2. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ	7
3. ΜΙΑ ΓΡΗΓΟΡΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	12
3.1 Γραφική επιφάνεια	12
3.2 Βοήθημα του <i>ENBIPRO</i>	14
4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	25
4.1 <i>Steamparameters 1</i>	25
4.2 <i>Steamparameters 2</i>	26
4.3 <i>Steam-parameters, Energy-parameters, Control-parameters</i>	26
5. ΜΙΚΡΕΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΣ	27
5.1 Μικρές συμβουλές	27
6. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ	31
6.1 Ιδανικά αέρια και στερεά υλικά που χρησιμοποιούνται	31
6.2 Ορισμός τιμών σε συνθήκες αναφοράς	31
6.3 Υπολογισμός των παραμέτρων κατά την ένωση των ρευμάτων	33
7. ΠΡΩΤΑ ΒΗΜΑΤΑ	35
7.1 Εκκίνηση του <i>ENBIPRO</i>	35
7.2 <i>ENBIPRO</i> : Επιφάνεια και παραδείγματα	35
8. ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ	38
8.1 <i>General</i>	39
8.2 <i>Heat exchanger</i>	43
8.3 <i>Collection – Distribution</i>	66
8.4 <i>Compression – Expansion</i>	77
8.5 <i>Chemical Energy Devices</i>	82

8.6 <i>Storage</i>	88
9. ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ	93
9.1 Μελέτη παραμέτρων – <i>Sensitivity Analysis</i>	93
10. ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	102
10.1 Πρώτος κύκλος	102
10.2 Δεύτερος κύκλος	124
11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	130
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	131

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ενώ κατά το παρελθόν βρισκόταν στο επίκεντρο της τεχνολογίας των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, βασικές υπηρεσίες, πλέον στις μέρες μας, λόγω του συνεχώς αυξανόμενου ανταγωνισμού, με σκοπό τη μεγιστοποίηση του κέρδους, υπάρχει μία εξίσου συνεχής αυξανόμενη προσφορά για την επίτευξη αυτού του σκοπού. Μία εκ των προτέρων προσομοίωση του σταθμού εμφανίζει όλα τα αδύνατα σημεία και μπορεί να οδηγήσει σε βελτιστοποίηση της απόδοσης αυτού.

Το γενικό πρόβλημα στα προγράμματα προσομοίωσης είναι τόσο το κόστος τους, όσο και το γεγονός ότι καθίστανται δύσκολα επεκτάσιμα, καθώς στους προηγούμενους πυρήνες προγραμμάτων δεν ελήφθη υπόψη η γρήγορη ανάπτυξη και εξέλιξη των υπολογιστών.

Το κόστος των εγκαταστάσεων δοκιμών σε σχέση με αυτό της προσομοίωσης είναι πολύ υψηλό. Με σταθερά βελτιούμενους υπολογιστές μπορεί μία προσομοίωση να αντιγράψει ένα πραγματικό σύστημα με ολοένα και μεγαλύτερη λεπτομέρεια και να παράγει όλο και πιο ακριβή αποτελέσματα. Ένα ακόμα προτέρημα της προσομοίωσης είναι ότι χωρίς μεγάλες δαπάνες μπορεί ένα ήδη υπάρχον σύστημα να βελτιωθεί. Επίσης, μια πιο αποτελεσματική χρήση του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητη, ώστε να καλυφθεί η αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση.

Στόχος της βελτιστοποίησης είναι η αύξηση της αποδοτικότητας ή η βελτίωση των παραμέτρων εγκατάστασης. Ως εκ τούτου, θα αυξηθεί το κέρδος και θα βελτιωθεί η διαθεσιμότητα. Επιπλέον, θα χρησιμοποιηθεί και το καύσιμο πιο αποτελεσματικά, ώστε σε μία ανάλογη χρήση να απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα λιγότερα καυσαέρια.

Σε αυτό το σημείο έρχεται να πάρει θέση το πρόγραμμα *ENBIPRO*, το οποίο αναπτύχθηκε στο Ινστιτούτο Θερμικών Μηχανών και Τεχνολογίας Καυσίμων του Πολυτεχνείου του *Braunschweig* της Γερμανίας (*Institut für Wärme- und Brennstofftechnik der TU Braunschweig*). Ένα πρόγραμμα, το οποίο χειρίζεται όλες τις λειτουργίες που εμπλέκονται σε ένα σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Έχει τη δυνατότητα να περιγράφει αριθμητικά έναν ατμοπαραγωγό και τις αντίστοιχες ρυθμίσεις του, οι οποίες μπορούν να προσομοιωθούν τόσο στατικά, όσο και ημιστατικά, όπως επίσης για μερικό ή ολικό φορτίο.

Κατά την ανάπτυξη αυτής της διπλωματικής εργασίας αντιμετωπίσαμε αρκετά προβλήματα. Το *ENBIPRO* είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης, το οποίο δεν είναι εμπορικό και δυστυχώς ούτε ιδιαίτερα φιλικό προς το χρήστη. Δημιουργήθηκε από φοιτητές και καθηγητές του προαναφερθέντος Πολυτεχνείου. Είναι ένα πρόγραμμα με ιδιαίτερες ικανότητες, αλλά μόνον εφόσον τελειοποιηθεί. Αρχικός στόχος της εργασίας μας ήταν η πλήρης προσομοίωση σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και η απόδοσή του δυναμικά. Στην πορεία όμως ανακαλύψαμε τις αδυναμίες του προγράμματος, με βασικότερη τη μη υποστήριξη του προγράμματος από υπολογιστές με *Windows*. Ένα μη

επαρκές εγχειρίδιο κατέστησε την εξέλιξη της εργασίας μας ακόμη πιο δύσκολη, με αποκορύφωμα την αδυναμία επικοινωνίας με τους δημιουργούς του, κάτι που θα διευκόλυνε ιδιαίτερα την πρόοδο της έρευνάς μας.

Παρά τα προαναφερθέντα «κολλήματα» στην πορεία διερεύνησης του προγράμματος, ελπίζουμε ότι έχουμε κάνει ένα μεγάλο βήμα και έχουμε ανοίξει το δρόμο για τους εν δυνάμει χρήστες του προγράμματος, χωρίς αυτοί να χρειαστεί να αναλώσουν πολύτιμο χρόνο των ερευνών τους, αφού θα γνωρίζουν τόσο τα ελαττώματα του προγράμματος, όσο και τις λύσεις στα πιθανά προβλήματα που θα αντιμετωπίσουν λόγω των ιδιαιτεροτήτων του.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΤΟΜΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας Θερμότητας και Καυσίμων του Τεχνικού Πανεπιστημίου (Πολυτεχνείου) του *Braunschweig* της Γερμανίας (*Institut für Wärme- und Brennstofftechnik der TU Braunschweig*) [1] δημιουργήθηκε στα πλαίσια διαφόρων διατριβών ένα πρόγραμμα με το όνομα *ENBIPRO*. Το όνομα του προέρχεται από τη γερμανική λέξη *Energiebilanzprogramm*, που σημαίνει Πρόγραμμα Ενεργειακού Ισοζυγίου και το οποίο καλύπτει τα διάφορα μέρη της προσομοίωσης ενός κύκλου.

Η ιδέα για το *ENBIPRO* έχει συσταθεί ως ένα καθολικό σύστημα εξισώσεων των νόμων διατήρησης (ορμής, μάζας, ενέργειας), των εξισώσεων μεταφοράς και των σχέσεων μεταξύ των ιδιοτήτων των υλικών, το οποίο σύστημα, για διάφορες εφαρμογές και για διαφορετικά μεγέθη μπορεί να δώσει λύση, εκεί όπου άλλα μεγέθη θα έπρεπε να είναι προκαθορισμένα. Οι ειδικές εφαρμογές είναι η στατική επίλυση, όπως ο υπολογισμός του πλήρους φορτίου, ο υπολογισμός του μερικού φορτίου, η επαλήθευση των τιμών μετρήσεων και η δυναμική επίλυση και ο έλεγχος αυτής.

Κατά τον υπολογισμό του πλήρους φορτίου, στόχος είναι ο υπολογισμός της γεωμετρίας των εξαρτημάτων ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι ορίζονται τα ρεύματα των υλικών και οι επιδόσεις, οι οποίες είναι μεταξύ τους εξαρτώμενες και εν συνεχεία υπολογίζονται οι αντίστοιχες καταστάσεις και γεωμετρίες που θέλουμε να υπολογιστούν. Βάσει των αποτελεσμάτων μπορούν, για παράδειγμα ένας εναλλάκτης θερμότητας ή ένας στρόβιλος, να διαστασιολογηθούν με περισσότερη λεπτομέρεια.

Για τον υπολογισμό του μερικού φορτίου ακολουθείται η αντίστροφος διαδικασία. Δίδονται εξ αρχής τα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως, συνοπτικά, στοιχεία για το εμβαδόν ή τον όγκο, ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας και άλλα, καθώς και οι συνθήκες των εισερχομένων ρευμάτων και από αυτά υπολογίζονται οι συνθήκες των εξερχόμενων ρευμάτων. Στο *ENBIPRO* αυτό συνήθως σημαίνει ότι η τιμή του  $k_D \cdot A$  πρέπει να δίνεται ως χαρακτηριστικό για τη γεωμετρία του εναλλάκτη θερμότητας και τις καμπύλες απόδοσης,

Η επαλήθευση των μετρήσεων είναι μία διαδικασία που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό και την εξάλειψη σφαλμάτων στις μετρήσεις. Για αυτό το λόγο θα μετρηθούν όσο το δυνατόν περισσότερες μεταβλητές κατάστασης μιας εγκατάστασης και θα συγκριθούν με ένα μαθηματικό μοντέλο. Μέσω της ελαχιστοποίησης των λαθών μπορούν τότε να υπολογιστούν, από τις μετρούμενες τιμές, οι πλέον πιθανές μεταβλητές κατάστασης, οι οποίες συμπληρώνουν το σύστημα εξισώσεων (κυρίως επίσης τις εξισώσεις ισοζυγίου). Με τη βοήθεια αυτής της μεθόδου είναι δυνατό να διακρίνουμε σφάλματα κατά τις μετρήσεις, όπως είναι οι αστοχίες οργάνων μέτρησης, τα οποία παρουσιάζουν σφάλματα ανεξαρτήτως της αξιοπιστίας της συσκευής μέτρησης.

Η εργασία του Σταματελόπουλου (1996) [2] καλύπτει την περιοχή τόσο του υπολογισμού του μερικού, όσο και του πλήρους φορτίου στη βάση ενός γραμμικού συστήματος εξισώσεων. Εάν ορισμένες εξισώσεις του μοντέλου δεν είναι γραμμικές, απαιτούνται από το πρόγραμμα εσωτερικές επαναλήψεις, οι οποίες λαμβάνουν χώρα με τη μέθοδο του σταθερού σημείου. Το πρόγραμμα προσομοίωσης, αυτό καθ' αυτό είναι γραμμένο σε *Fortran* και διαιρεί το σταθμό σε επιμέρους εξαρτήματα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με ροή υλικού.

Η εργασία αυτή επεξεργάστηκε και εξέλιξε το πρόγραμμα περαιτέρω (Σταματελόπουλος, 1996). Στόχος είναι να εφαρμοστεί η ενότητα της επαλήθευσης των μετρήσεων. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ένα μη-γραμμικό έμμεσο σύστημα εξισώσεων. Η εργασία περιλαμβάνει τον υπολογισμό πλήρους, μερικού φορτίου και της επαλήθευσης. Κατά την εφαρμογή του προγράμματος προσομοίωσης χρησιμοποιείται η γλώσσα προγραμματισμού C++, όπου μία πιο αντικειμενοστραφής προσέγγιση πραγματοποιεί μία καλύτερη επέκταση των εξισώσεων του μοντέλου.

Παράλληλα με αυτήν την εργασία του Σταματελόπουλου (1996) [2] αναπτύχθηκε και η εργασία του Rohse (1995) [3], που ουσιαστικά ανέπτυξε και το δυναμικό πρόγραμμα υπολογισμού *Dynke* (*Dynamisches Kesselsimulationsprogramm*, δηλαδή, Δυναμικό Πρόγραμμα Προσομοίωσης Λεβήτων), το οποίο πρόγραμμα εφαρμόζεται επίσης σε γλώσσα προγραμματισμού *Fortran*. Ο Rohse (1995) επικεντρώθηκε στον υπολογισμό του εναλλάκτη θερμότητας με τη βοήθεια ενός ασταθούς μοντέλου μίας ροής με βάση τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων (*FVM- Finiten Volumenmethode*), το οποίο επιλύεται με τη μέθοδο *SIMPLE* (*Semi Implicit Method for Pressure Linked Equations*). Η μέθοδος *SIMPLE* (Patankar, 1980) [4] είναι ένας αλγόριθμος που με συνδυασμό της ισορροπίας των δυνάμεων και της μάζας και της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων, δίνει λύση. Όλα τα υπόλοιπα εξαρτήματα που χρειάζονται, όπως αρχές ρύθμισης, βαλβίδες και στροβιλομηχανές θα εφαρμοστούν ως στοιχεία στοιχείων στο *FVM*.

Η εργασία του Zindler (2007) [5] εφαρμόζει το δυναμικό υπολογισμό του κύκλου με βάση αυτήν του Witkowski. Η προσέγγιση του αλγεβρικού, μη-γραμμικού και έμμεσου συστήματος εξισώσεων του Witkowski (2006) [6] μπορεί να επεκταθεί μέσω της χρήσης σύγχρονων αλγορίθμων ολοκλήρωσης, όπως ο *Predictor-Corrector-Verfahren* (PECE), όπου ορισμένες παραλλαγές μπορούν να λύσουν έμμεσες μη-γραμμικές διαφορικές εξισώσεις και ταυτόχρονα αλγεβρικές εξισώσεις. Με αυτό μπορούν να καλυφθούν όλες οι προβλεπόμενες ενότητες εργασίας του *ENBIPRO*.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

Zeichen		Bedeutung	Meaning	Σημασία
$\alpha_\lambda$	$m^2/s$	Temperatur-fähigkeit	Temperature capability	Θερμοκρασιακή ικανότητα
<b>A</b>	$m^2$	Fläche, Querschnittsfläche	Area, Cross-sectional area	Εμβαδόν, Εμβαδόν διατομής
<b>Bi</b>		Biot-Zahl	Biot Number	Αριθμός Biot
$c_p$	$J/(kg K)$	Spez. Wärmekapazität bei konstantem Druck	Spec. heat capacity at constant pressure	Ειδ. Θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση
$c_v$	$J/(kg K)$	Spez. Wärmekapazität bei konstantem Volumen	Spec. heat capacity at constant volume	Ειδ. Θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο
$C_{1,2}$		Strahlungs-koeffizient	Radiation coefficient	Συντελεστής ακτινοβολίας
<b>d</b>	m	Durchmesser	Diameter	Διάμετρος
$d_p$		Koeffizient der Druckänderung	coefficient of the pressure-change	Συντελεστής μεταβολής πίεσης
<b>Fo</b>		Fourier-Zahl	Fourier Number	Αριθμός Fourier
<b>g</b>	$m/s^2$	Erdbeschleunigung	Gravity acceleration	Επιτάχυνση βαρύτητας
<b>h</b>	$J/kg$	Spez. Enthalpie	Spec. Enthalpy	Ειδ. Ενθαλπία
<b>h</b>	m	Höhe	Height	Ύψος
<b>H</b>	J	Enthalpie	Enthalpy	Ενθαλπία
<b>Hu<sub>i</sub></b>	$Mj/kg$	Heizwert des Stoffes i	Heat value of solid i	Θερμική αξία του υλικού i

<b>H</b>	W	Enthalpiestrom	Enthalpy	Ροή ενθαλπιας
<b>k</b>	W/(m <sup>2</sup> K)	Wärmedurchgangskoeffizient	Thermal transmittance	Θερμοπερατότητα
<b>kA</b>	W/K	Wärmedurchgangswiderstand	Total thermal resistance	Θερμική αντίσταση
<b>kAo</b>	W/K	Wärmedurchgangswiderstand bei Auslegung	Thermal resistance at design	Θερμική αντίσταση στο σχεδιασμό
<b>k<sub>L</sub></b>	W/(m <sup>2</sup> K)	Auf einen Meter Rohrlänge bezogener Wärmedurchgangskoeffizient	Related to one meter length of pipe heat transfer coefficient	Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ανά μέτρο μήκους σωλήνα
<b>l, L</b>	m	Länge, charakterische Länge, Wegstrecke	Length, charar. Length, distance	Μήκος, χαρακτηριστικό μήκος, απόσταση
<b>m</b>	kg/s	Massenstrom	Mass flow	Ροή μάζας
<b>M</b>	Kg/kmol	Molmasse	Molecular weight	Μοριακό βάρος
<b>M<sub>i</sub></b>	Kg/kmol	Molmasse eines Stoffes i	Molecular weight of solid i	Μοριακό βάρος υλικού i
<b>n<sub>pol</sub></b>		Polytropenexponent	Polytropic exponent	Πολυτροπικά
<b>n<sub>spez.</sub></b>	Kmol/kg	Spezifische Stoffmenge	Specific fuel quantity	Ειδική ποσότητα καυσίμου
<b>P</b>	n/m <sup>2</sup>	Druck	Pressure	Πίεση
<b>q<sub>i</sub></b>	W/m	Wärmestromdichte pro Länge	Heat flow density per length	Πυκνότητα ροής θερμότητας ανα μήκος
<b>Q</b>	J	Wärme	Heat	Θερμότητα
<b>Q</b>	W	Wärmestrom	Heat flow	Ροή θερμότητας
<b>r*</b>		Dimensionslose Ortskoordinate	Dimensionless space coordinate	Αδιάστατες συντεταγμένες

				χώρου
<b>R</b>	J/(kg K)	Gaskonstante	Gas constant	Σταθερά αερίων
<b>T</b>	K	Temperature	Temperatur	Θερμοκρασία
<b>u</b>	J/kg	Spez. Innere Energie	Spec. Internal energy	Ειδ. Εσωτερική ενέργεια
<b>U</b>	M	Umfang	Scope	Έκταση
<b>w</b>	m/s	Geschwindigkeit	Speed	Ταχύτητα
<b>W<sub>t</sub></b>	W	Strom der technischen Arbeit	Flow of technical work	Ροή τεχνικού έργου
<b>W<sub>v</sub></b>	W	Strom der Volumenänderungsarbeit		Τρέχουσα ένταση της μεταβολής έργου
<b>Y<sub>i</sub></b>	$\frac{Kg_{stoff}}{Kg_{gem}}$	Massenanteil	Weight percent	Κατά βάρος σύσταση επί της εκατό
<b>Z</b>	m	Koordinate, Füllstand	Coordinate, fill level	Συντονισμός, επίπεδο
<b>α</b>	W/(m <sup>2</sup> K)	Wärmeübergangskoeffizient	Thermal transmission coefficient	Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας
<b>Δ</b>		Differenz	Difference	Διαφορά
<b>Δθ</b>	K	Temperaturdifferenz	Temperature difference	Διαφορά θερμοκρασίας
<b>λ</b>	W/(m K)	Wärmeleitfähigkeit	Thermal conductivity	Θερμική αγωγιμότητα
<b>λ<sub>Reib</sub></b>		Rohrreibungszahl	Pipe friction number	Αριθμός τριβής σωλήνα
<b>ρ<sub>i</sub></b>	Kg/m <sup>3</sup>	Dichte eines Stoffes	Density of a substance	Πυκνότητα ενός υλικού
<b>ρ</b>	Kg/m <sup>3</sup>	Dichte	Density	Πυκνότητα
<b>τ</b>	s	Zeit	Time	Χρόνος

ζ		Druckverlustbeiwert	Pressure loss coefficient	Συντελεστής απώλειας πίεσης
---	--	---------------------	---------------------------	-----------------------------

Δείκτες

Zeichen	Bedeutung	Meaning	Σημασία
a	Aussen	Outside	Έξω
aus	Austritt, abgehend	Exit, release	Έξοδος
B	Bohrung	Boring	Διάτρηση
diss	Dissipation	Dissipation	Διάχυση
ein	Eintritt, Mediumseintritt, eintretender Strom	Entrance, medium enters, entering flow	Είσοδος, μεσαία είσοδος, είσοδος ροής
ges	Gesamt	Total	Σύνολο
i	Zeitschritt	Time step	Χρονικό βήμα
in	Innen	Inside	Μέσα
Iso	isolierung	Insulation	Μόνωση
j	Stützstelle	Supporting place	Υπηρεσία υποστήριξης
konv	Konvektiv	Convectively	Συναγωγή
K	Kaverne	Cavern	Σπήλαιο
KV	Kontrollvolumen	Control volume	Όγκος ελέγχου
l	Längs, liquid bzw. Flüssig	Lengthwise	Κατά μήκος
lin	Linear	Linearly	Γραμμικά
m	Mittel	Medium	Μεσαίο
Misch	Mischung	Combination	Ανάμειξη
pol	Polytrop	Polytropic	Πολυτροπικά
Q	Querschnitt	Cross-section	Τομή

<b>rev</b>	Reversibel	Reversible	Αναστρέψιμη
<b>R</b>	Rohr	Pipe	Σωλήνας
<b>sin</b>	Singulär	Unique	Μοναδικός
<b>So</b>	Sole	Brine	Άλμη
<b>Str</b>	Strahlung	Radiation	Ακτινοβολία
<b>t</b>	Teufe	Depth	Βάθος
<b>Umg</b>	Umgebung	Surroundings	Περιβάλλον
<b>Ver</b>	Verlust	Loss	Απώλεια
<b>Wa</b>	Wand	Wall	Τοίχος
	Unendlich	Infinite	Άπειρο
<b>0</b>	Anfangszustand, ausgangspunkt, auf Leerrohrzustand bezogen	Initial state, starting point, relative to empty pipe condition	Αρχική κατάσταση, αφετηρία, σε σχέση με την άδεια κατάσταση του σωλήνα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΙΑ ΓΡΗΓΟΡΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

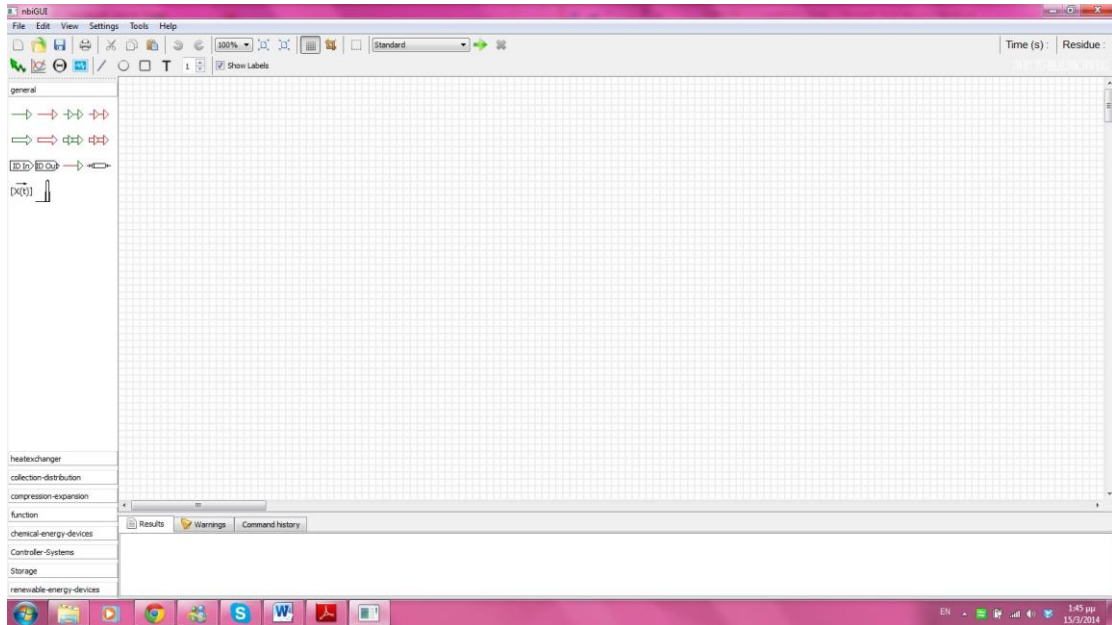
Η ακόλουθη περιγραφή αυτού του λογισμικού είναι βασισμένη στις αρχές του [1]. Το *ENBIPRO* αναπτύχθηκε από το *Ινστιτούτο Τεχνολογίας Θερμότητας και Καυσίμων* του Τεχνικού Πανεπιστημίου (Πολυτεχνείου) του *Braunschweig* της Γερμανίας (*Institut für Wärme- und Brennstofftechnik der TU Braunschweig*). Το πρόγραμμα έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια διαφόρων διπλωματικών εργασιών χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού *Fortran* και έχει εξελιχθεί μέχρι στιγμής στη γλώσσα προγραμματισμού *C++*. Εξυπηρετεί ως λογισμικό των στατικών και ημιστατικών υπολογισμών των διεργασιών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα καλύπτονται και οι τομείς εργασιών του υπολογισμού μερικού φορτίου, δυναμικών υπολογισμών και επαλήθευσης των υπολογισμών και αποτελεσμάτων αυτών.

Στο *ENBIPRO* χρησιμοποιούνται ως βάση υπολογισμών οι νόμοι διατήρησης της ορμής, της μάζας και της ενέργειας, καθώς και οι εξισώσεις μεταφοράς και υλικών. Παράλληλα, τίθεται εξ αρχής ένας στόχος που πρέπει να επιτευχθεί, ένας για κάθε μία περίπτωση εφαρμογής ενός συγκεκριμένου συνδυασμού και των προς υπολογισμό μεγεθών του, δηλαδή τι είναι αυτό που θέλουμε να υπολογίσουμε, ποια συγκεκριμένα μεγέθη και να γνωρίζουμε ποια εξαρτήματα θα χρειαστούμε. Για να μπορέσει να καταστεί δυνατή η λύση του συστήματος εξισώσεων με αριθμητικά αποτελέσματα, χρησιμοποιείται η μέθοδος του *Newton*. Αυτή είναι σε θέση να λύνει μη γραμμικά, έμμεσα συστήματα εξισώσεων.

Το *ENBIPRO* παρέχει ένα μεγάλο αριθμό μοντέλων για την περιγραφή διαφόρων υλικών (π.χ.:  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ) και των μιγμάτων τους. Επιπλέον, υπάρχει μία βιβλιοθήκη των μοντέλων για διάφορα εξαρτήματα που χρειάζονται για την προσομοίωση μίας εγκατάστασης (π.χ.: στρόβιλοι, συμπιεστές, εναλλάκτες θερμότητας, κλπ) και των ιδιοτήτων ελέγχου αυτών.

### 3.1 ΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Ως γραφικό περιβάλλον χρησιμοποιείται στο *ENBIPRO* η επιφάνεια *NBIGUI* (Εικόνα 3.2). Σε αυτήν την επιφάνεια μπορεί ο χρήστης να δημιουργήσει μοντέλα, για τα προβλήματα που έχουν τεθεί και είναι προς εξέταση, και με τη βοήθεια της βιβλιοθήκης των εξαρτημάτων να τα προσαρμόσει, ώστε να έχει ένα ολοκληρωμένο σύστημα προσομοίωσης. Η τοποθέτηση και η ένωση των εξαρτημάτων στην επιφάνεια εργασίας επιτυγχάνεται με την αρχή του *“Drag&Drop”*, δηλαδή, «σύρουμε» από τη βιβλιοθήκη το εξάρτημα στην επιφάνεια εργασίας και το τοποθετούμε στο σημείο που θέλουμε. Όταν δημιουργείται ένα μοντέλο στο *NBIGUI*, τότε μπορεί να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός μέσω του *ENBIPRO*.



Εικόνα 3.2: Απεικόνιση της επιφάνειας εργασίας του *NBIGUI*.

Στην Εικόνα 3.2 απεικονίζεται το *NBIGUI*. Εδώ, υπάρχουν τα ακόλουθα πεδία, τα οποία είναι αρκετά ενδιαφέροντα και χρίζουν ιδιαίτερης προσοχής.

- **Γραμμή μενού, File:** Είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση των μοντέλων που χρησιμοποιούνται στην πράξη.
- **Γραμμή μενού, View:** Διαμορφώνει το μέγεθος των στοιχείων που χρησιμοποιούνται (μεγέθυνση/ σμίκρυνση).
- **Γραμμή μενού, Settings:** Εδώ επίσης μπορεί η περιοχή του στοιχείου να χειραγωγηθεί. Στο υπομενού του σημείου αυτού **Document settings** μπορούν να επιλεγούν ρυθμίσεις, οι οποίες αφορούν στο σύστημα εξισώσεων, με βάση το οποίο γίνονται οι υπολογισμοί στο πρόγραμμα αυτό (ώρα λήξης της προσομοίωσης, ώρα έναρξης της προσομοίωσης, βηματισμός του χρόνου, κτλ).
- **Γραμμή μενού, Tools:** Επιλέγεται σε ειδικές μεθόδους λύσης για τους τομείς εφαρμογής του *ENBIPRO*. Υπό κανονικές συνθήκες είναι πάντα προεπιλεγμένη η επιλογή *Standard* (υπολογισμός μόνο των στατικών λύσεων και των ημιστατικών χρονικών βημάτων).
- **Σύμβολα βέλους και x:** Με το πράσινο βέλος μπορεί να ξεκινήσει η λειτουργία της προσομοίωσης του *ENBIPRO* (Εικόνα 3.2, πάνω δεξιά). Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, με το x (Εικόνα 3.2, ακριβώς δίπλα από το βέλος), που όσο γίνεται η προσομοίωση έχει χρώμα κόκκινο, μπορεί αυτή να διακοπεί.
- **Εξαρτήματα:** Τα εξαρτήματα/βιβλιοθήκη (Εικόνα 3.2, αριστερά σε στοίχιση: *general*, *heatexchanger*, κτλ) περιλαμβάνουν στοιχεία, με τα οποία μπορεί να

δημιουργηθεί και να αναπτυχθεί ένα μοντέλο. Με τη μέθοδο του “*Drag&Drop*” μπορούν αυτά να εισαχθούν στην επιφάνεια εργασίας.

- **Παράθυρο αποτελεσμάτων (Results):** Σε αυτό το παράθυρο (Εικόνα 3.2, κάτω) καταγράφεται η διαδικασία της εκάστοτε προσομοίωσης (υπολείμματα, χρονικό βήμα, χρόνος προσομοίωσης, κτλ).
- **Χρόνος και υπολείμματα (Residue):** Ο χρόνος (Εικόνα 3.2, πάνω δεξιά) δείχνει τον πραγματικό χρόνο προσομοίωσης, ενώ τα υπολείμματα (Εικόνα 3.2, δίπλα από το χρόνο) δείχνει τα αποτελέσματα του χρονικού βήματος που υπολογίστηκε τελευταία.

### 3.2 ΒΟΗΘΗΜΑ ΤΟΥ ENBIPRO

Αυτό το υποκεφάλαιο πραγματοποιεί μία γρήγορη είσοδο στη διαδικασία της προσομοίωσης με το λογισμικό ENBIPRO (*ENergie - Bilanz – PROgramm*). Για αυτό το λόγο περιγράφεται εδώ, βήμα-βήμα, ένα παράδειγμα σχετικά με το πως δημιουργείται ένα μοντέλο στο NBIGUI, και επισημαίνονται οι σημαντικότερες ρυθμίσεις για τον υπολογισμό με χρήση του ENBIPRO. Παρακάτω, σε επόμενο κεφάλαιο δίνονται ορισμένες συμβουλές για τον καλύτερο χειρισμό του προγράμματος. Δημιουργούμε ένα μικρό παράδειγμα προσομοίωσης ενός στροβίλου βήμα-βήμα, αριθμώντας κάθε ένα από αυτά, ανάλογα με τη σειρά που λαμβάνουν χώρα.

#### 3.2.1. Παράδειγμα

##### *Αρχή του προγράμματος*

Η γραφική επιφάνεια εργασίας του προγράμματος μπορεί να ξεκινήσει μόνο όταν ανοίξει το αρχείο ENBIPRO (*ENBIPRO\zur\_Kompilation\Quellcode\iEnbipro\_wien\_exe\enbipro*) και μέσα σε αυτό βρούμε και επιλέξουμε το *nbiGUI.exe*. Μόνον τότε θα ανοίξει ένα παράθυρο NBIGUI.

##### *Αποθήκευση*

Η παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.3) δείχνει ένα NBIGUI παράθυρο. Για να αναπτύξουμε ένα νέο μοντέλο, πρέπει πρώτα να δημιουργήσουμε ένα νέο αρχείο. Αυτό επιτυγχάνεται επιλέγοντας *Save As* στο *File* (Σημείο 1). Πρέπει να επιλεγεί ένα αρχείο ή να δημιουργηθεί ένα εκ νέου. Ένα νέο αρχείο παραδείγματος μπορεί να δημιουργηθεί μόνο σε ένα επίπεδο φακέλου πιο κάτω (υποφάκελο) από το αρχικό του ENBIPRO. Σε αυτή τη θέση αποθηκεύεται το νέο αρχείο (*Beispiel1.xml*) στο φάκελο **example\_neu**.

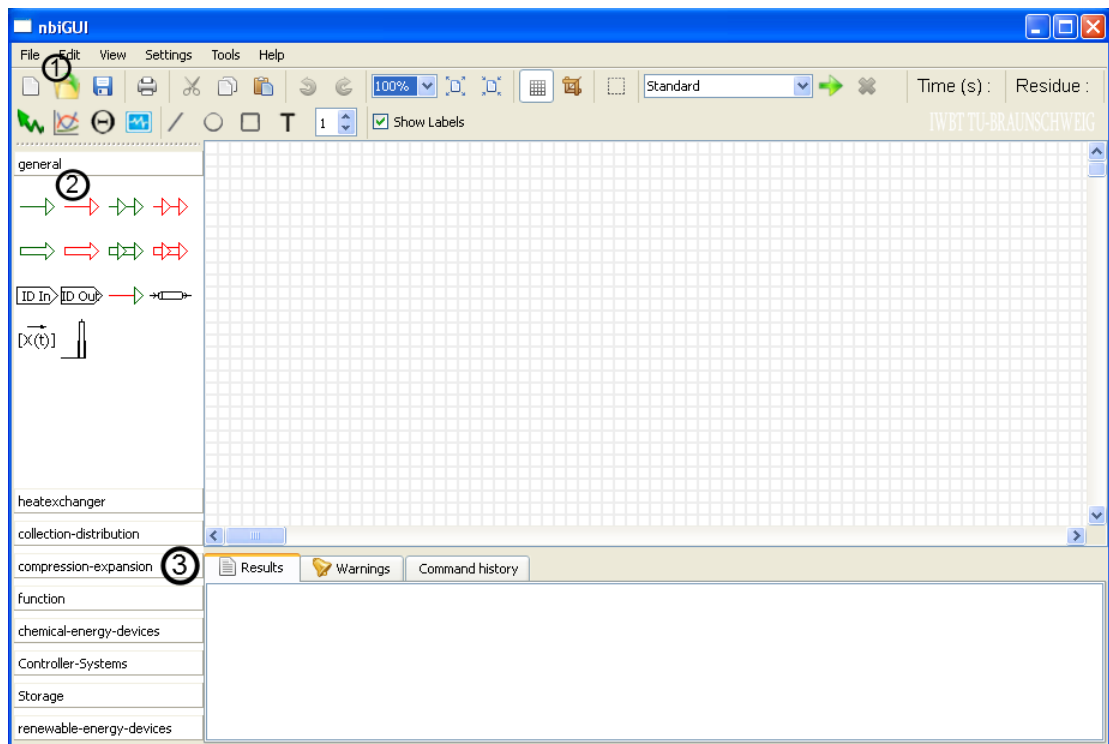
Εδώ είναι πολύ σημαντικό να αναφέρουμε δύο από τις ιδιαιτερότητες του προγράμματος αυτού. Η πρώτη είναι πως μόνο μέσα σε αυτόν τον υποφάκελο



(**example\_neu**) μπορούμε να αποθηκεύσουμε οποιοδήποτε νέο αρχείο δημιουργούμε. Κατά δεύτερον πρέπει να σημειωθεί πως κατά την αποθήκευση του αρχείου πρέπει εξ' αρχής να μπαίνει η κατάληξη **.xml** στο όνομα του αρχείου. Δύο λεπτομέρειες, οι οποίες όμως μπορεί να μας δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα εάν δεν εφαρμοστούν στην πράξη.

### Εξαρτήματα

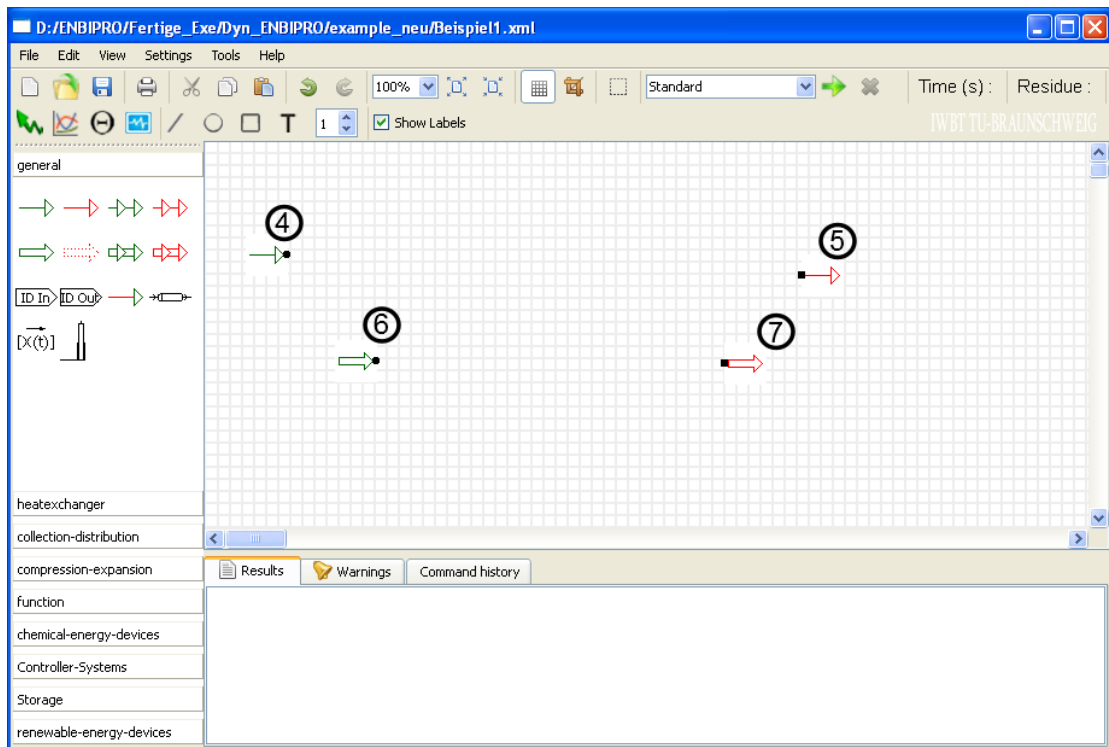
Αφού δημιουργήσαμε ένα νέο αρχείο στον συγκεκριμένο υποφάκελο, μπορούμε να ξεκινήσουμε το «χτίσιμο» του μοντέλου. Σε αυτήν την περίπτωση επιλέγουμε ένα συμπιεστή με ένα υλικό, του οποίου η σύσταση αποτελείται από 75% άζωτο ( $N_2$ ) και 25% οξυγόνο ( $O_2$ ). Τα απαιτούμενα προς χρήση εξαρτήματα βρίσκονται στις κατηγορίες *general* (Εικόνα 3.3, Σημείο 2) και *compression-expansion* (Εικόνα 3.3, Σημείο 3).



Εικόνα 3.3: Βοήθημα ENBIPRO, Βήματα 1-3.

Στην κατηγορία *general* βρίσκονται εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για να προσομοιώσουμε τόσο τις πηγές όσο και τις εξόδους ροής (Εικόνα 3.4). Αν οδηγήσουμε τον κέρσορα πάνω σε κάποιο σύμβολο, τότε εμφανίζεται στην οθόνη μας μία περιγραφή σχετικά με αυτό, εάν δηλαδή είναι πηγή ή έξοδος για παράδειγμα. Όταν αποφασίσουμε ποιο εξάρτημα χρειαζόμαστε, φτάνει μόνο να το σύρουμε στην επιφάνεια εργασίας. Για το πρόβλημα που επεξεργαζόμαστε εδώ, χρειάζεται βασικά ένα σύμβολο *source* (Σημείο 4, πηγή για κάποιο διάνυσμα δεδομένων) και ένα σύμβολο *sink* (Σημείο 5, έξοδος για αυτό το

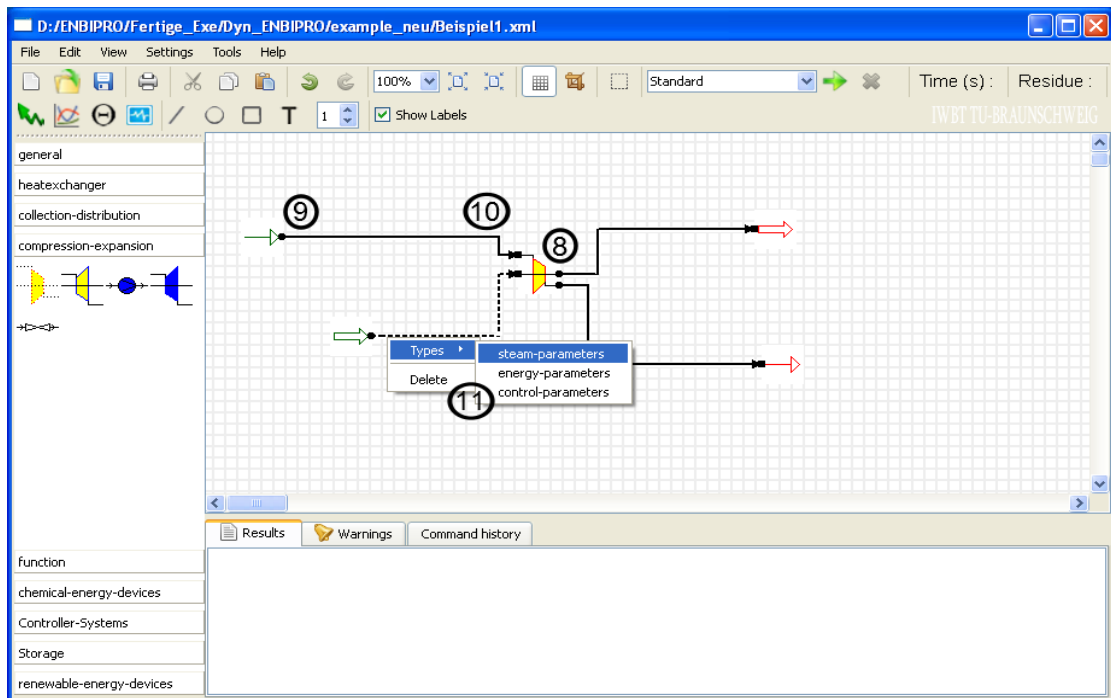
διάνυσμα δεδομένων). Εν συνεχεία, για τη λειτουργία του συμπιεστή, χρειάζεται ένα σύμβολο *source-energy* (Σημείο 6, είσοδος για ένα βαθμωτό μέγεθος) και αντίστοιχα ένα σύμβολο *sink-energy* (Σημείο 7, έξοδος για ένα βαθμωτό μέγεθος).



Εικόνα 3.4: Βοήθημα ENBIPRO, Βήματα 4-7.

Στην κατηγορία εξαρτημάτων *compression-expansion* μπορούμε να βρούμε το μοντέλο που χρειαζόμαστε για την προσομοίωση του συμπιεστή: *compression-expansion:compressor* (Εικόνα 3.5, Σημείο 8).

Αυτό που μένει τώρα είναι να συνδεθούν τα εξαρτήματα μεταξύ τους (Εικόνα 3.5). Για το σκοπό αυτό, επιλέγεται πρώτα ο στρογγυλός κόμβος σύνδεσης (Σημείο 9) και το συνδέουμε με τον τετραγωνικό κόμβο (Σημείο 10) του εξαρτήματος, με το οποίο επιθυμούμε να γίνει η σύνδεση. Εδώ πρέπει να προσέξουμε ότι μόνο κόμβοι ροών υλικών μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους. Το ίδιο συμβαίνει και με τους κόμβους ροών ενέργειας. Δεν μπορούμε, δηλαδή, να έχουμε πηγή υλικού στην είσοδο και να ενώνουμε τη ροή σε μία έξοδο ενέργειας ή το αντίστροφο. Μόλις δημιουργηθεί στην επιφάνεια εργασίας μας μία μαύρη γραμμή, η οποία ενώνει αυτούς τους δύο κόμβους, με το δεξί κουμπί του ποντικού επιλέγουμε τη γραμμή, εμφανίζεται ένα νέο μικρό παράθυρο με δύο επιλογές: *types* και *delete*. Με τον κέρσορά μας πάμε πάνω στην επιλογή *types* (Σημείο 11), εμφανίζονται ακόμα δύο επιλογές: *stream-parameters*, για μία ροή υλικού και *energy-parameters*, για ροή ενέργειας αντίστοιχα.

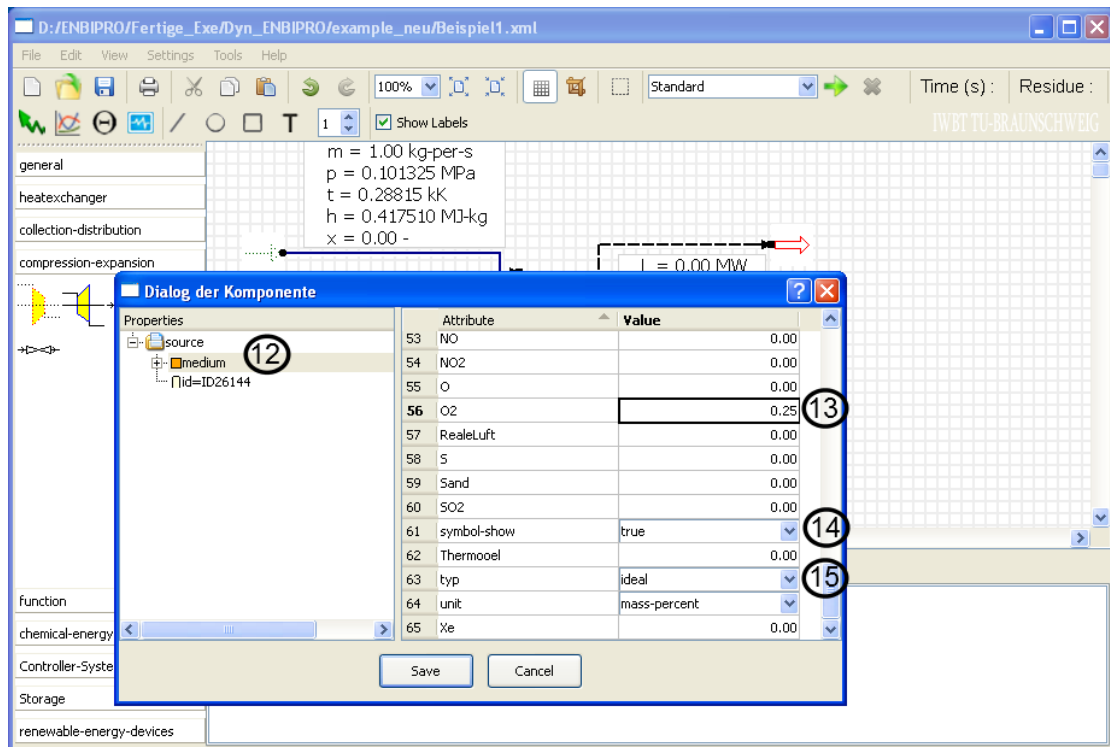


Εικόνα 3.5: Βοήθημα ENBIPRO, Βήματα 8-11.

Μόλις επιλέξουμε τύπο ροής, τότε εμφανίζονται οι αντίστοιχες παράμετροι. Σε αυτό το σημείο μπορούμε να αναφέρουμε πως υπάρχει και μία τρίτη επιλογή, “*control-parameters*”, σκοπός της οποίας είναι ο έλεγχος της λειτουργίας των εξαρτημάτων και συνδυάζεται με ορισμένα από αυτά.

#### Ορισμός των εξαρτημάτων

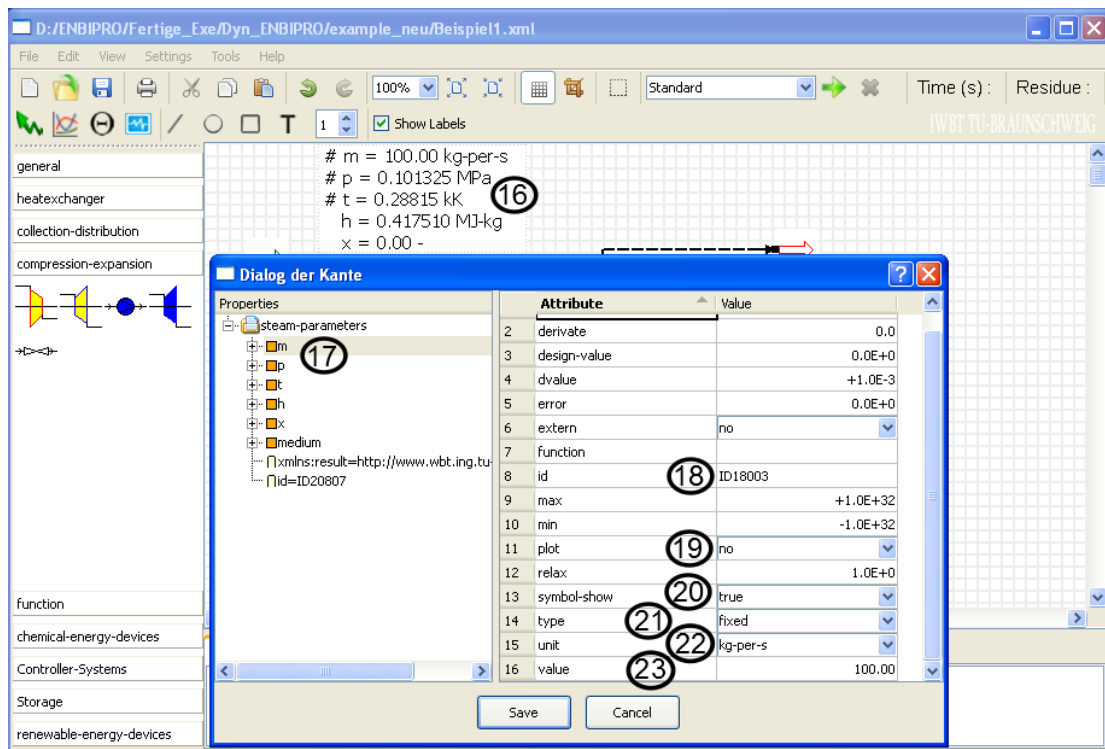
Καταρχήν πρέπει να οριστεί η πηγή *source* (Εικόνα 3.6). Με το πάτημα του δεξιού κουμπιού του ποντικιού μας, πάνω στο συγκεκριμένο εξάρτημα, επιλέγουμε την επιλογή *Properties*. Έτσι, εμφανίζεται ένα ακόμα παράθυρο με τον τίτλο «*Dialog der Komponente*». Μέσα σε αυτό το παράθυρο επιλέγουμε, με τον ίδιο τρόπο (πάτημα του αριστερού κουμπιού του ποντικιού αυτή τη φορά) εκεί που αναγράφεται η λέξη *medium* (Σημείο 12) και εμφανίζεται στη δεξιά μεριά μία λίστα με διαφορετικές ιδιότητες.



Εικόνα 3.6: Βοήθημα ENBIPRO, Βήματα 12-15.

Από την πρώτη σειρά (1) μέχρι τη σειρά με τον αριθμό 60 (εξήντα) είναι στοιχισμένα υλικά με αλφαβητική σειρά. Σε αυτό το παράδειγμα θέτουμε 0,25 για το οξυγόνο (O<sub>2</sub>) και 0,75 για το άζωτο (N<sub>2</sub>) αντίστοιχα, που βασικά είναι η σύσταση που αναφέραμε προηγουμένως πως θέλουμε να έχει το υλικό στο παράδειγμά μας (Σημείο 13). Στο σημείο *unit* είναι ήδη εγκατεστημένη η επιλογή *mass-percent*. Εάν θέλουμε να εμφανίζεται στην επιφάνεια εργασίας μας η σύσταση που έχουμε δώσει στο υλικό, τότε πρέπει να θέσουμε στο σημείο *symbol-show* την επιλογή *true* (Σημείο 14). Επιλέγουμε στο σημείο *type* την ιδιότητα *ideal*, και έτσι εισάγονται στον υπολογισμό των μεγεθών, όπως για παράδειγμα η ειδική εντροπία, μόνο η θερμοκρασία. Μόλις ολοκληρώσουμε την εισαγωγή των ιδιοτήτων που θέλουμε πατάμε *Save*. Οι αλλαγές μας αποθηκεύονται, το παράθυρο κλείνει και επανερχόμαστε στην επιφάνεια εργασίας.

Οι ροές (ρεύματα) υλικών έχουν εξίσου ορισμένες ιδιότητες, η περιγραφή και η σημασία των οποίων ακολουθεί παρακάτω (Εικόνα 3.7). Με το πάτημα του δεξιού κουμπιού του ποντικιού, πάνω στο παράθυρο των παραμέτρων (Σημείο 16) της γραμμής ροής, δηλαδή της γραμμής που συνδέει δύο κόμβους, και την επιλογή *Properties*, εμφανίζεται ένα παράθυρο με τίτλο «*Dialog der Kante*». Στην αριστερή μεριά του παραθύρου (Σημείο 17) βρίσκονται τα μεγέθη *m* μάζα, *p* πίεση, *t* θερμοκρασία, *h* ειδική ενθαλπία, *x* ξηρότητα και *medium* υλικό. Επιλέγουμε τη μεταβλητή που θέλουμε να καθορίσουμε και προσέχουμε τη δεξιά μεριά του παραθύρου, όπου εμφανίζονται τα χαρακτηριστικά του (*Attribute*). Εδώ βρίσκεται κάτι άκρως ενδιαφέρον. Κάθε παράμετρος



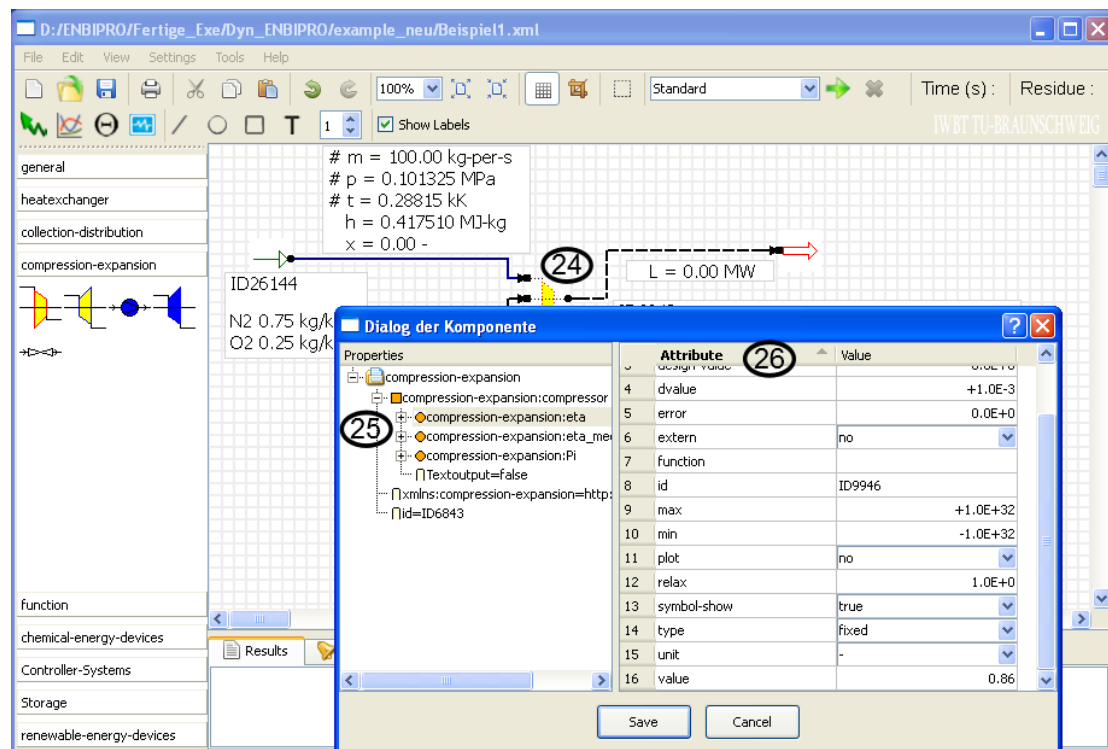
Εικόνα 3.7: Βοήθημα ENBIPRO, Βήματα 16-23.

είναι ορισμένη με ένα ξεχωριστό και μοναδικό *id* (Σημείο 18), το οποίο μπορεί να μετονομαστεί. Στο σημείο με το όνομα *plot* (Σημείο 19) μπορεί να εισαχθεί η επιλογή σχετικά με το εάν επιθυμούμε η έξοδος να αναπαρασταθεί σε ένα διάγραμμα. Δύο σειρές πιο κάτω, στη σειρά με το νούμερο 13, διακρίνουμε την ιδιότητα *symbol-show* (Σημείο 20), όπου μπορούμε να επιλέξουμε την εμφάνιση ή όχι του παραθύρου με τις ιδιότητες των παραμέτρων στην επιφάνεια εργασίας. Ακριβώς από κάτω, στη σειρά 14, βρίσκουμε την επιλογή *type* (Σημείο 21), η οποία καθορίζει εάν τα μεγέθη χαρακτηρίζονται ως σταθερές τιμές (*fixed*) ή μεταβλητές (*estimated*). Μία τιμή σταθερή είναι ένα μέγεθος, το οποίο προκαθορίζουμε εμείς και το πρόγραμμα το παίρνει ως δεδομένο και δεν μπορεί να επέμβει, ώστε να το αλλάξει. Αντιθέτως, βάσει αυτών των τιμών γίνεται ο υπολογισμός των μεταβλητών τιμών. Στο παράθυρο των παραμέτρων (Σημείο 16) βρίσκεται μπροστά από κάθε σταθερό μέγεθος το σύμβολο της δίσησης (#).

Στο *unit* (Σημείο 22) επιλέγεται η επιθυμητή μονάδα μέτρησης για το συγκεκριμένο μέγεθος, και, τέλος, στη τελευταία σειρά βρίσκεται το *value* (Σημείο 23), δηλαδή η τιμή των μεγεθών, η οποία είτε ορίζεται ως συγκεκριμένη είτε εκτιμάται, ανάλογα με το αντίστοιχο πρόβλημα που έχουμε να φέρουμε εις πέρας. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι σε περίπτωση που πρόκειται για κάποια μεταβλητή τιμή (*estimated*) και όχι σταθερή (*fixed*) πρέπει να γίνει εξ αρχής μία όσο το δυνατόν καλύτερη πρόβλεψη, δηλαδή να βάλουμε μία καλά εκτιμώμενη τιμή, η οποία δεν θα αποκλίνει ιδιαίτερα από το αποτέλεσμα. Σε πολύ μεγάλα μοντέλα, μία καλή εκτιμώμενη τιμή είναι ιδιαίτερης σημασίας για μία συγκλίνουσα λύση.

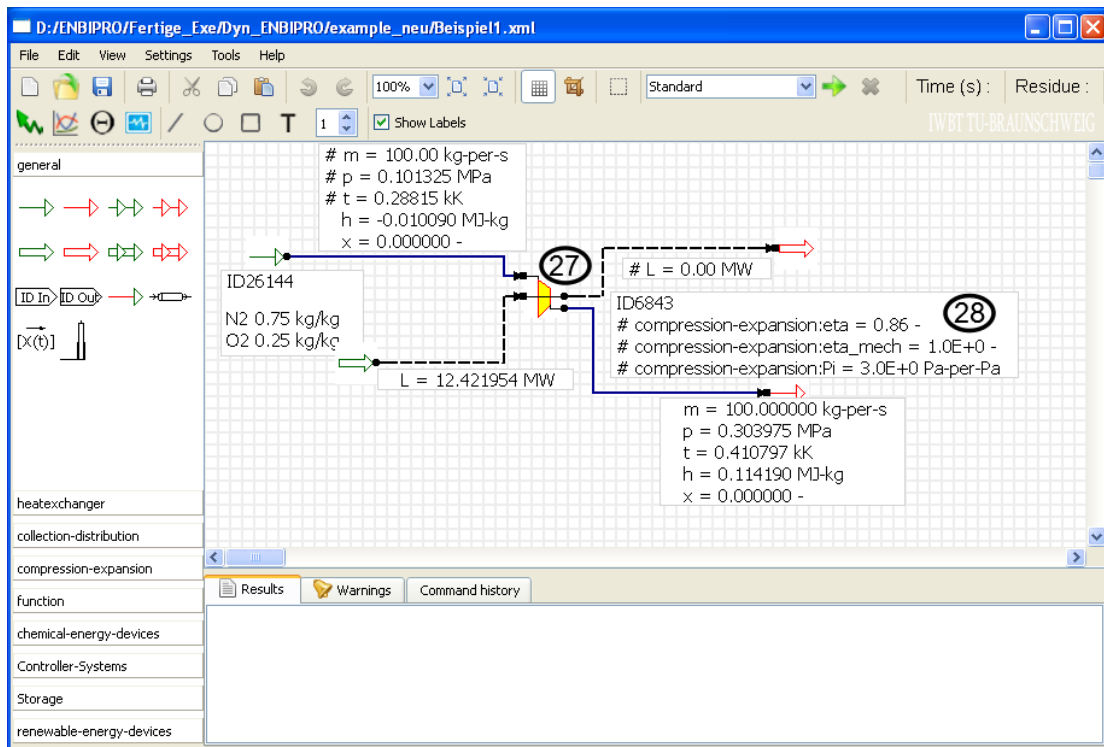
Αντίστοιχα, για τις ροές ενέργειας υπάρχουν ορισμένες ιδιότητες που πρέπει να ρυθμίσουμε με το ανάλογο σύστημα. Βέβαια είναι πολύ πιο εύκολο, καθώς έχουμε περιορισμένες ιδιότητες που πρέπει να καθορίσουμε και συγκεκριμένα το μέγεθος της ενέργειας. Έτσι, με τον ίδιο τρόπο, όπως και προηγουμένως, με δεξί-κλικ πάνω στο παράθυρο παραμέτρων της γραμμής ροής της ενέργειας και επιλέγοντας την επιλογή *Properties*, στη δεξιά μεριά του παραθύρου που ανοίγεται, στην τελευταία γραμμή και στο σημείο *value*, μπορούμε να επιλέξουμε το μέγεθος αυτής και αντίστοιχα να το θέσουμε ως σταθερή ή μεταβλητή τιμή, ακριβώς όπως αναφέραμε.

Για την εμφάνιση των χαρακτηριστικών ενός εξαρτήματος, του συμπιεστή για παράδειγμα που χρησιμοποιούμε εδώ (Εικόνα 3.8), επιλέγουμε, όπως και στην περίπτωση των γραμμών ροής, με δεξί-κλικ το σύμβολο (Σημείο 24) στην επιφάνεια εργασίας. Τότε, επιλέγουμε την επιλογή *Properties* και ανοίγει ένα νέο παράθυρο με τίτλο «*Dialog der Komponente*», στη δεξιά μεριά του οποίου βρίσκονται όλα τα μεγέθη που μπορούν να μεταβληθούν. Διάφορα χαρακτηριστικά (*Attribute*, Σημείο 26) μπορούν να οριστούν. Πριν κλείσουμε το παράθυρο δεν ξεχνάμε να αποθηκεύσουμε πατώντας το κουμπί αποθήκευσης *Save*, το παράθυρο κλείνει μόνο του αυτόματα και επανερχόμαστε στην επιφάνεια εργασίας του προγράμματος.



Εικόνα 3.8: Βοήθημα ENBIPRO, Βήματα 24-26.

Σε περίπτωση που θέλουμε οι παράμετροι (Σημείο 28) του αντίστοιχου εξαρτήματος (Σημείο 27) να εμφανίζονται στο χαρτί σχεδίασής μας, τότε με δεξί-κλικ πάνω στο σύμβολο του εξαρτήματος, επιλέγουμε την ιδιότητα «*Insert ID label*» και εμφανίζεται αμέσως μία ταμπέλα με αναγραφόμενα τα χαρακτηριστικά αυτού (Εικόνα 3.9).

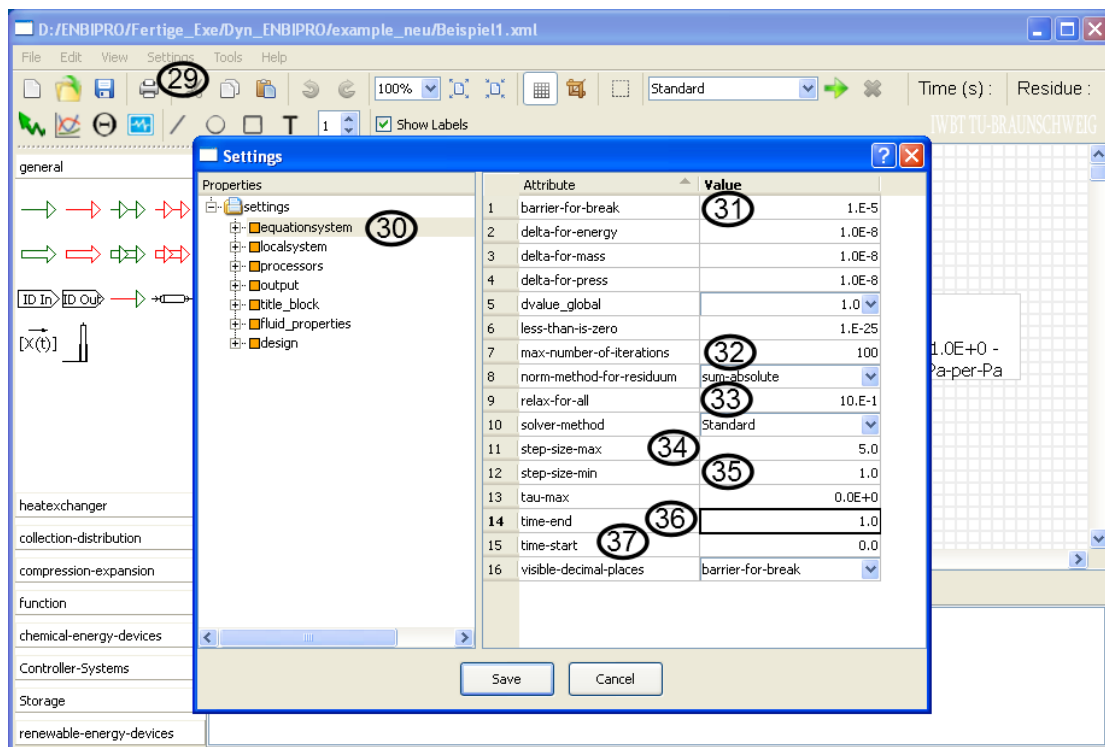


Εικόνα 3.9: Βοήθημα ENBIPRO, Βήματα 27-28.

Μόλις έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία εισαγωγής και ένωσης όλων των εξαρτημάτων, ροών και ιδιοτήτων αυτών, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3.9, τότε πρέπει να ελεγχθεί ο αριθμών των σταθερών και μεταβλητών τιμών, ώστε να αποφευχθεί η εμφάνιση ενός υπερστατικού ή υποστατικού συστήματος εξισώσεων.

### Ρύθμιση αρχείου

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.10) απεικονίζονται τα «*Document settings*», δηλαδή οι ρυθμίσεις του αρχείου. Στην επιλογή *Settings* (Σημείο 29), που βρίσκεται στη γραμμή μενού, μπορούμε να επιλέξουμε την εντολή «*Document settings*». Στο παράθυρο που ανοίγει, υπάρχουν στη δεξιά μεριά του παραθύρου διαφορετικές ιδιότητες σε μία λίστα. Κάτω από την επιλογή *equationsystem* (Σημείο 30) βρίσκονται οι ακόλουθες ρυθμίσεις, οι οποίες είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Η επιλογή *barrier-for-break* (Σημείο 31) καθορίζει τις συνθήκες τερματισμού του τρεξίματος ενός βρόχου. Με αυτήν την επιλογή μπορεί να τεθεί εξ αρχής το μέγεθος ανοχής σφαλμάτων για μία μεταβλητή τιμή. Με την εντολή *max-number-of-iterations* (Σημείο 32) καθορίζεται ο μέγιστος αριθμός τρεξιμάτων ενός βρόχου που επιτρέπεται να πραγματοποιηθεί μέσα σε συγκεκριμένο χρόνο. Για παράδειγμα, σε περίπτωση που μετά από 100 επαναλήψεις του τρεξίματος ενός βρόχου ακόμα δεν έχουμε φτάσει το κριτήριο τερματισμού για τα υπολείμματα, τότε διακόπτεται η διαδικασία της προσομοίωσης αυτόματα. Συνεχίζουμε με την ιδιότητα *relax-for-all* (Σημείο 33), με την οποία μπορεί να επηρεαστεί το χρονικό βήμα. Εάν την ορίσουμε στο 1 (ένα), τότε το μήκος βήματος του υπολογισμού θα μεταβληθεί. Με την ιδιότητα αυτήν σε τιμή μικρότερη της μονάδας, απαιτούνται κατά κανόνα περισσότερες επαναλήψεις για το αποτέλεσμα.

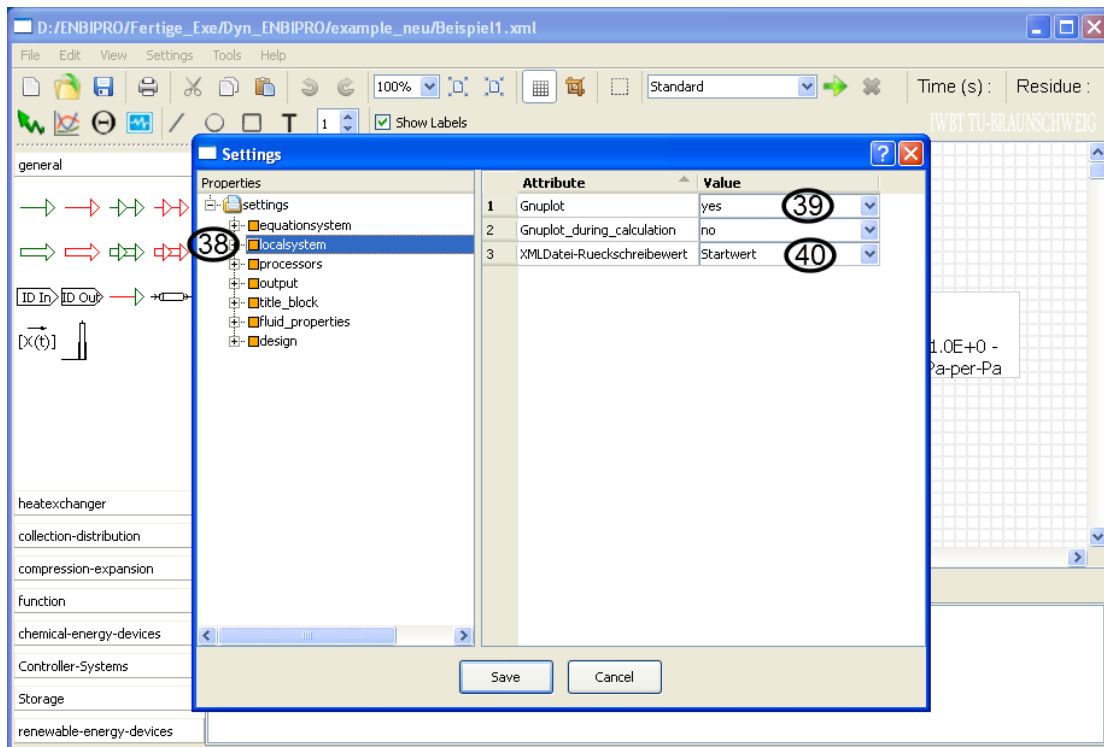


Εικόνα 3.10: Βοήθημα ENBIPRO, Βήματα 29-37.

Ένας επιτρεπόμενος παράγοντας χαλάρωσης είναι σημαντικός για τη σύγκλιση σύνθετων δυναμικών μοντέλων. Στις ιδιότητες *step-size-max* (Σημείο 34) και *step-size-min* (Σημείο 35) ορίζονται το μέγιστο και το ελάχιστο βήμα χρόνου σε δευτερόλεπτα αντίστοιχα. Στο πεδίο με το όνομα *time-end* (Σημείο 36) καθορίζεται εξ αρχής ο χρόνος τερματισμού της λειτουργίας της προσομοίωσης, ενώ στο πεδίο *time-start* (Σημείο 37) καθορίζεται ο χρόνος έναρξης αυτής. Και τα δύο πεδία έχουν ως μονάδα μέτρησης τα δευτερόλεπτα.

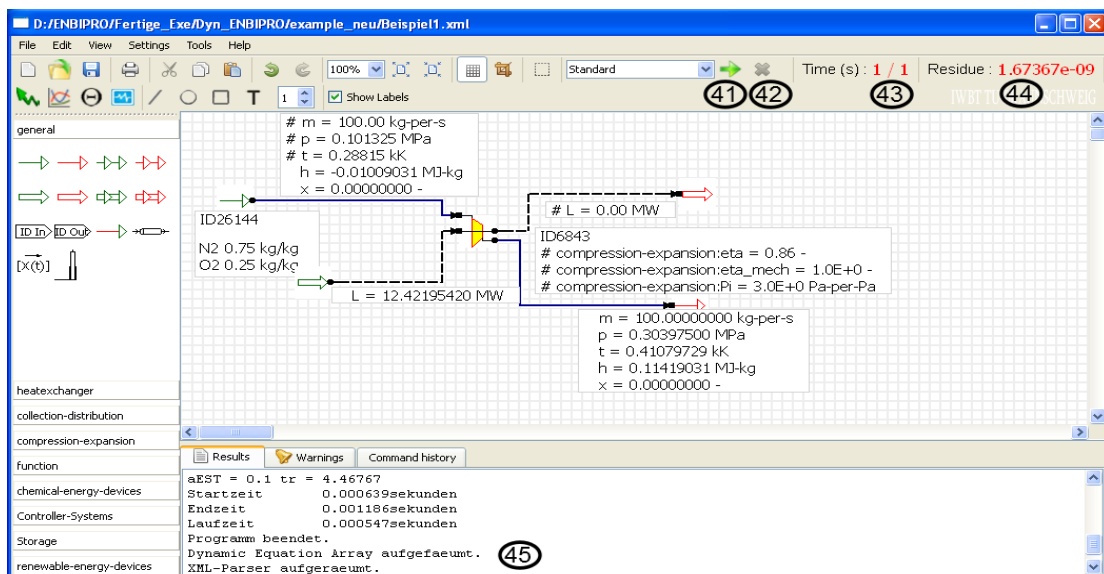
Στο ίδιο παράθυρο συνεχίζουμε στην αριστερή μεριά αυτού και βρίσκουμε τη δεύτερη κατηγορία ιδιοτήτων με όνομα *localsystem* (Εικόνα 3.11, Σημείο 38). Εδώ, μπορεί να ενεργοποιηθεί η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων (*Gnuplot* (Σημείο 39), το οποίο όμως δεν λειτουργεί ακόμα σε υπολογιστές *Windows*) και να οριστεί το *XMLDatei-Rueckschreibewert* (Σημείο 40). Εάν αυτή η ιδιότητα έχει οριστεί ως *Startwert*, τότε οι τιμές του πρώτου βήματος χρόνου καταγράφονται στο αρχείο *.xml*. Εάν όμως έχει οριστεί ως *Endwert*, τότε οι τιμές που καταγράφονται σε αυτό το αρχείο είναι οι τελευταίες του βήματος. Αυτές οι τιμές είναι εμφανείς επίσης στα παράθυρα δεδομένων των ροών, αλλά και των εξαρτημάτων.





Εικόνα 3.11: Βοήθημα ENBIPRO, Βήματα 38-40.

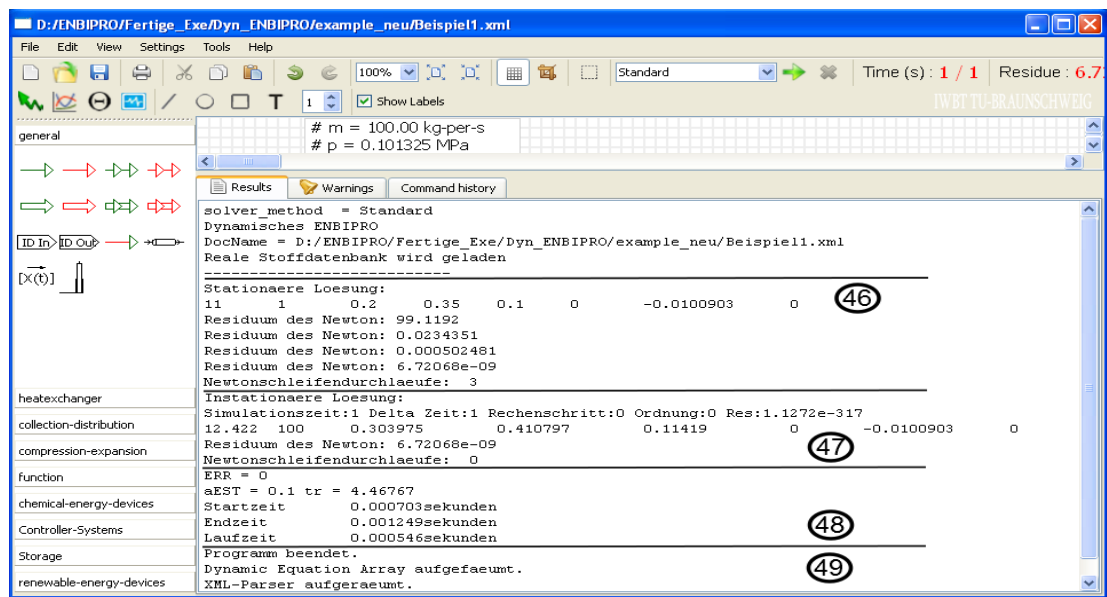
Αφού έχουμε ορίσει όλες τις ιδιότητες, μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία της προσομοίωσης με το πάτημα του πράσινου βέλου (Εικόνα 3.12, Σημείο 41). Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης υπάρχει ένα σύμβολο δίπλα στο βέλος, ένα κόκκινο x αναμμένο (Σημείο 42), που με το πάτημά του μπορεί να σταματήσει η λειτουργία της προσομοίωσης. Το πεδίο *Time (s)* (Σημείο 43) δείχνει το μέχρι τώρα χρόνο που έχει τρέξει η διαδικασία της προσομοίωσης, καθώς και το χρόνο τερματισμού. Το πεδίο *Residue* (Σημείο 44) δείχνει τα υπολείμματα του τελευταίου τρεξίματος.



Εικόνα 3.12: Βοήθημα ENBIPRO, Βήματα 41-45.

Περαιτέρω, μπορεί να παρακολουθηθεί η διαδικασία της προσομοίωσης στο παράθυρο που βρίσκεται στο τέλος της επιφάνειας εργασίας του προγράμματος, με το όνομα *Results* (Σημείο 45).

Τέλος, στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 3.13) απεικονίζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια ένα παράθυρο αποτελεσμάτων. Σε πρώτη φάση αναζητείται μία στατική λύση (*Stationären Lösung*, Σημείο 46). Μέχρι αυτό το σημείο έχουν επιτευχθεί 3 (τρεις) επαναλήψεις τρεξίματος, ώστε να εκπληρωθεί το κριτήριο τερματισμού. Τα υπόλοιπα βήματα έχουν υπολογιστεί ημιστατικά (Σημείο 47). Ο χρόνος προσομοίωσης δείχνει τον χρόνο τερματισμού του χρονικού βήματος της προσομοίωσης. Το *Delta Zeit* (Δέλτα Χρόνου) μας δίνει το μήκος βήματος του χρόνου ενός βήματος, που υπολογίζεται ημιστατικά.



Εικόνα 3.13: Βοήθημα ENBIPRO, Βήματα 46-49.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Οι κατηγορίες των προγραμμάτων που χρησιμοποιούμε χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, Δυναμικό και Στατικό. Είναι βασικά δύο διαφορετικά προγράμματα καθένα από τα οποία έχει τα δικά του εξαρτήματα με τις δικές τους ιδιότητες και τα δικά τους χαρακτηριστικά.

Στην εργασία αυτή, εμείς δουλεύουμε στο Δυναμικό, καθώς ο πρωταρχικός μας στόχος ήταν να ολοκληρώσουμε τη διαδικασία έχοντας και τη δυναμική απόκριση του κύκλου. Κάτι που, όπως είδαμε στην πορεία, δεν είναι εφικτό. Επειδή όμως αυτή η εργασία θα είναι μια κληρονομιά για τον επόμενο χρήστη, οφείλουμε να αναλύσουμε κάποια μέρη και από τα δύο προγράμματα, που μπορεί στην πορεία να τον βοηθήσει.

Τα ρεύματα των υλικών που χρησιμοποιούμε σε μία προσομοίωση χωρίζονται σε κατηγορίες, ανάλογα υπό ποιες παραμέτρους θέλουμε να εξετάζουμε κάθε φορά τον κύκλο προσομοίωσης. Η επιλογή των παραμέτρων, βάσει των οποίων θα κάνουμε την προσομοίωση, πρέπει να γίνεται εξ αρχής, καθώς όλα τα ρεύματα θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από την ίδια κατηγορία παραμέτρων.

### 4.1 STEAMPARAMETERS 1

Αυτό το στοιχείο χρησιμοποιείται για μία διαδρομή σύνδεσης μεταξύ δύο εξαρτημάτων. Εμφανίζεται ως μία γραμμή σύνδεσης με μπλε χρώμα και περιέχει τις παραμέτρους ροής μάζας, πίεσης και θερμοκρασίας. Όταν εμφανίζεται μία παράμετρος έχοντας μπροστά το σύμβολο της δίεσης (#), τότε αυτή η τιμή είναι δεδομένη και σταθερή από πριν και δεν αντιμετωπίζεται ως μεταβλητή.

Οι ροές των υλικών καθορίζονται επίσης κατά την ένωση. Μπορούμε να επιλέξουμε μεταξύ δεκατεσσάρων (14) διαφορετικών αερίων, καθώς και συνθέσεις αυτών. Οι παράμετροι αυτοί είναι κατάλληλοι τόσο για τα καυσαέρια όσο επίσης και για το νερό.

Για κάθε διαδρομή σύνδεσης υπάρχουν τρεις (3) εξισώσεις ισοζυγίου (ενέργειας, μάζας και ορμής). Για αυτό κάθε εισερχόμενη ροή είναι όμοια με την εξερχόμενη. Ισχύουν οι εξισώσεις:

$$\dot{m}_a = \dot{m}_e$$

$$h_a = h_e$$

$$P_a = P_e$$

Όστε οι εξισώσεις αυτές να μην συνδυάζονται μεταξύ τους και από κάθε εξίσωση να μπορούμε να υπολογίσουμε μία μόνο μεταβλητή, πρέπει, συνεπώς, να θέσουμε κάποια από τις ροές μάζας, ενθαλπίας ή πίεσης ως σταθερή και δεδομένη.

## 4.2 STEAMPARAMETERS 2

Η επιλογή αυτής της κατηγορίας παραμέτρων εμφανίζεται με μία μαύρη γραμμή σύνδεσης. Σε αντίθεση με την προαναφερθείσα κατηγορία παραμέτρων, αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για νερό και νερό-ατμό. Τη θέση της θερμοκρασίας παίρνει τώρα η τιμή της ενθαλπίας. Περιλαμβάνονται επίσης οι ροές μάζας, πίεσης και της ενθαλπίας. Πολύ σημαντικό είναι να γνωρίζουμε κατά τη χρήση των εξαρτημάτων, πως αυτά δεν είναι έτσι κατασκευασμένα και τοποθετημένα, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιούνται κάτω και από τις δύο κατηγορίες εξαρτημάτων. Έτσι, ορισμένα εξαρτήματα χρησιμοποιούν την πρώτη, άλλα τη δεύτερη κατηγορία και άλλα που έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν και τις δύο. Αυτό συμβαίνει λόγω της ανάγκης διαφορετικών παραμέτρων κάθε φορά.

## 4.3 STEAM-PARAMETERS, ENERGY-PARAMETERS, CONTROL-PARAMETERS

Οι δύο αυτές κατηγορίες παραμέτρων, που παρουσιάσαμε παραπάνω ανήκουν στο Στατικό πρόγραμμα. Στο Δυναμικό πρόγραμμα, οι κατηγορίες είναι τρεις και τελείως διαφορετικές μεταξύ τους. Η πρώτη κατηγορία είναι η *steam-parameters*, η οποία κατηγορία αυτή επιλέγεται για να δώσουμε στο ρεύμα τα χαρακτηριστικά υλικού. Είναι ανάλογη της κατηγορίας *steam-parameters* 1, με τη διαφορά ότι έχουμε περισσότερα χαρακτηριστικά, όπως την ενθαλπία και το βαθμό ξηρότητας.

Στο Δυναμικό πρόγραμμα συναντάμε ακόμα δύο κατηγορίες. Η μία είναι η *energy-parameters*, με την οποία, επιλέγοντάς την δίνουμε στο ρεύμα την εντολή να δώσει στο εξάρτημά μας κάποιο ποσό ενέργειας. Με αυτήν την επιλογή μπορούμε να υπολογίσουμε και τα ποσά ενέργειας που χρειάζεται κάποιο εξάρτημα για να κινηθεί, όπως μία αντλία.

Η Τρίτη και τελευταία κατηγορία είναι αυτή του *control-parameters*. Είναι μία από τις ιδιαιτερότητες του προγράμματος. Ορισμένα εξαρτήματα, όπως το τροφοδοτικό δοχείο απαιτούν να έχουν μία έξοδο ελέγχου, ώστε να κρατάνε σε συγκεκριμένα επίπεδα κάποιες ιδιότητές τους. Έτσι, με τη χρήση αυτής της ροής, δίνουμε στο σύστημα την εντολή, ποια ιδιότητα του εξαρτήματος πρέπει να ελέγχει, χωρίς να θεωρήσουμε κάποια τιμή σταθερή και το σύστημα εξισώσεων δεν είναι πλέον σε ισορροπία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΙΚΡΕΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΣ

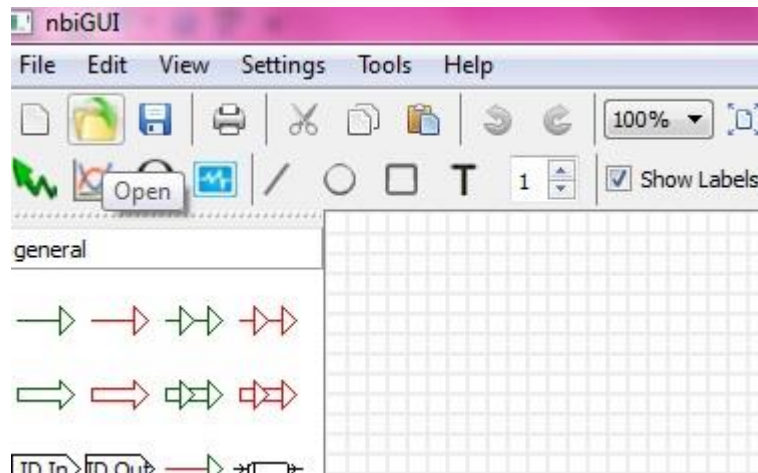
Καθόλη τη διάρκεια ασχολίας μας με το συγκεκριμένο πρόγραμμα διαπιστώσαμε ότι κρύβονται πολλές «παγίδες» για κάποιο νέο χρήστη. Αυτό το φαινόμενο να μεν καθιστά το πρόγραμμα ιδιαίτερο, αλλά αν ο χρήστης δεν είναι προετοιμασμένος και γνώστης αυτών των ιδιαιτεροτήτων, τότε υπάρχει κίνδυνος να χαθεί το ενδιαφέρον του προς ένα πρόγραμμα, που παρ' όλα αυτά, έχει δυνατότητες.

Έτσι, μιας και ο σκοπός μας είναι να καταφέρουμε να κάνουμε το πρόγραμμα πιο φιλικό προς το χρήστη και πιο εύκολο σε μία πιθανή μεγάλη προσομοίωση και με πολλές απαιτήσεις, συγκεντρώσαμε τα πιο βασικά προβλήματα και τα παραθέτουμε παρακάτω, δίνοντας παράλληλα και ορισμένες συμβουλές προς αποφυγήν!

### 5.1 ΜΙΚΡΕΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΣ

Όστε να πετύχετε μία κατά το δυνατότερο ορθή χρήση του προγράμματος, εδώ βρίσκονται μερικές συμβουλές.

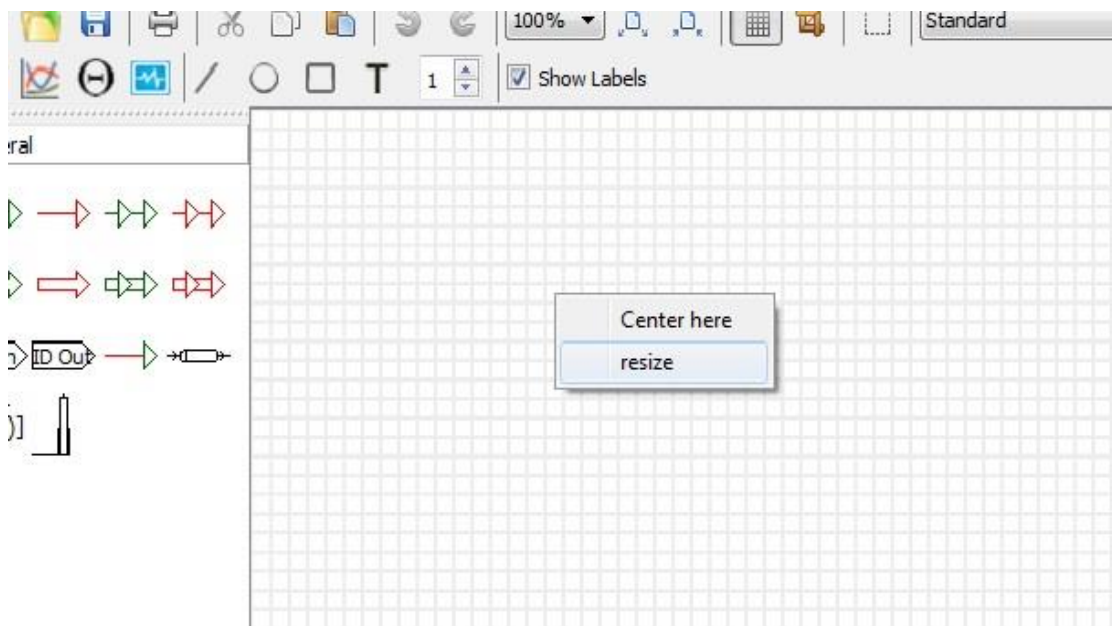
1. Στην έκδοση που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, λειτουργεί η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων μέσω του *Gnuplot*, μόνο μέσω χρήσης του *Linux-Betriebssystem*, κάτι που στη δική μας περίπτωση δεν εφαρμόζεται, καθώς, όπως έχουμε ήδη προαναφέρει δεν υποστηρίζεται από *Windows*.
2. Κατά την έναρξη ενός καινούριου αρχείου πρωταρχικό μέλημα είναι η αποθήκευση αυτού. Η αποθήκευση να γίνει στο συγκεκριμένο φάκελο *example\_neu* του προγράμματος και εννοείται με την κατάληξη *.xml* στο τέλος του ονόματος.
3. Κανένα αρχείο, ακόμα και μέσα από το συγκεκριμένο φάκελο που έχουμε αναφέρει, δεν μπορεί να ανοίξει, εάν πρώτα δεν έχουμε ανοίξει το αυτό καθ' αυτό πρόγραμμα *nbiGUI*. Πρώτα ανοίγουμε την επιφάνεια εργασίας μας και μετά από την γραμμή εργαλείων (ή αλλιώς γραμμή μενού) θα ανοίξουμε το αντίστοιχο φάκελο και θα βρούμε το αρχείο που θέλουμε. Βοηθητική είναι η εικόνα 5.1 που ακολουθεί.



Εικόνα 5.1: Εικονίδιο για την πρόσβαση σε αρχείο του προγράμματος.

4. Όστε να είναι σίγουρο ότι σε κάθε σύνδεση ρευμάτων είναι συνδεδεμένες οι ίδιες συστάσεις, δηλαδή, ποια έξοδος αντιστοιχεί στην κάθε είσοδο με λίγα λόγια, θα πρέπει οι παράμετροι πάντα να μεταδίδονται και μετά να υπόκεινται σε οποιαδήποτε μεταβολή, όπως π.χ. υπό ποια θερμοκρασία εκτελείται η μεταβολή. Για αυτό το λόγο υπάρχει το παράθυρο δεδομένων μιας υπάρχουσας σύνδεσης ρεύματος, όπου με «δεξί κλικ» επιλέγουμε την εντολή *Copy*. Σε μία ένωση, στην οποία δεν προσδιοριστεί ακόμα ο τύπος, κάνουμε πάλι «δεξί κλικ» και επιλέγουμε την εντολή **paste**. Έτσι, όλα τα δεδομένα της παραμέτρου θα μεταφερθούν στην νέα σύνδεση. Αυτό στα περισσότερα μοντέλα είναι κάτι αξιοσημείωτο.
5. Το πρόγραμμα αδυνατεί να ανταποκριθεί σε μεγάλες μεταβολές τιμών των μεγεθών. Έτσι, κάθε μεταβολή πρέπει να γίνεται σταδιακά.
6. Για τον παραπάνω λόγο που αναφέραμε, σε περιπτώσεις, όπου έχουμε ένωση ρευμάτων, στην έξοδο του εξαρτήματος μεταφέρεται αυτή που έχει τη μεγαλύτερη τιμή μάζας, ώστε το άθροισμα και κατά συνέπεια η αύξηση της τιμής της μάζας να γίνει χωρίς να δημιουργηθεί πρόβλημα στη λειτουργία του προγράμματος.
7. Ένα ακόμη πρόβλημα είναι ότι η χρήση της γνωστής σε όλους εντολής **undo** στο πρόγραμμα αυτό, αν και σαν εντολή υπάρχει, δεν υποστηρίζεται. Λόγω συνήθειας χρήσης μιας τέτοιας εντολής είναι πολύ εύκολο να παρασυρθούμε και να τη χρησιμοποιήσουμε και εδώ. Κάτι που μπορεί να έχει ολέθριες επιπτώσεις για το αρχείο μας, καθώς αυτό θα κλείσει, με μεγάλη πιθανότητα να μην έχουν αποθηκευτεί οποιεσδήποτε εργασίες έχουμε κάνει.
8. Ορισμένα εξαρτήματα είναι ιδιαίτερα δύσχρηστα και πολύπλοκα, όπως αυτό του τυμπάνου-τροφοδοτικού δοχείο (και για τις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιείται το ίδιο εξάρτημα), αλλά και υπερθερμαντήρα. Για αυτό πριν την εφαρμογή τους στον κύκλο που θέλουμε να προσομοιώσουμε, κάνουμε δοκιμές σε άλλο αρχείο μέχρι να αποκτήσουμε τη σωστή λειτουργία του εξαρτήματος στην περίπτωση των τιμών που μας ενδιαφέρει.

9. Σε περίπτωση, όπου διακόπτεται μία προσομοίωση, θα πρέπει πάντα να βρίσκεται η πορεία της προσομοίωσης μέχρι τη στιγμή της διακοπής, στο παράθυρο αποτελεσμάτων. Εάν υπάρξει πρόβλημα κατά τη σύγκλιση (μεγάλος αριθμός υπολειμμάτων), τότε έχουμε ένα πλεονέκτημα κάνοντας την εξής διαδικασία: **Settings -> Document settings -> Output -> Residual -> Yes**. Με αυτή τη ρύθμιση θα βρίσκονται στο παράθυρο αποτελεσμάτων όλα τα «υπολείμματα». Έτσι, μπορεί να προσδιοριστεί ένα προβληματικό μέγεθος και κατά συνέπεια να προχωρήσουμε στη λύση του.
10. Οι εκτιμώμενες τιμές των μεταβλητών να δίνονται όσο το δυνατότερο πιο σωστές, έτσι ώστε να αποκλείεται η περίπτωση των υπολειμμάτων κατά την λάθος εκτίμηση τιμών.
11. Εάν εργαζόμαστε σε μεγάλα μοντέλα ή εάν τα μοντέλα που θέλουμε να προσομοιώσουμε είναι αρκετά μεγάλα, τότε συστήνεται η χρήση συστήματος *Linux*, καθώς με χρήση *Windows* είναι πολύ πιθανό, με μία τόσο μικρή επιφάνεια εργασίας, όπως αυτή που χρησιμοποιείται από τα *Windows*, το πρόγραμμα να σταματήσει τη λειτουργία του. Και αυτός είναι ένας πολύ σοβαρός λόγος, όπου με τη συγκεκριμένη έκδοση του προγράμματος σε αυτήν τη διπλωματική εργασία δεν καταφέραμε να προβούμε στην προσομοίωση μεγάλων κύκλων.
12. Σε η επιφάνεια εργασίας μας είναι αρκετά μικρή για το μοντέλο που θέλουμε να προσομοιώσουμε, μπορούμε να τη μεγεθύνουμε αυτήν, κάνοντας «δεξί κλικ» σε μία ελεύθερη θέση της επιφάνειας και επιλέγοντας την εντολή **resize** (Εικόνα 5.2). Δυστυχώς, αυτό δεν έχει πάντα αποτέλεσμα και το μέγεθος μένει το ίδιο.



Εικόνα 5.2: Απεικόνιση εντολής *resize*.

13. Όταν κατασκευάζονται ή επεξεργάζονται μεγάλα μοντέλα, πρέπει συχνά να αποθηκεύονται με νέο όνομα, προκειμένου ενδεχόμενες κακές ρυθμίσεις να μπορούν να διορθωθούν πιο εύκολα.
14. Πολύ βασικό είναι μετά από κάθε αλλαγή σε κάποιο μοντέλο, όπως για παράδειγμα η πρόσθεση κάποιου νέου εξαρτήματος, να γίνεται αμέσως μία μικρή προσομοίωση, ώστε να αποφευχθούν πιθανές λανθασμένες εκτιμώμενες τιμές, γεγονός που θα οδηγήσει σε μη σωστή λειτουργία του προγράμματος και δυσκολία στο χρήστη να διορθώσει το οποιοδήποτε πρόβλημα εμφανιστεί.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

### 6.1 ΙΔΑΝΙΚΑ ΑΕΡΙΑ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΑ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ

Στο *ENBIPRO* χρησιμοποιούνται οι εξής ιδιότητες των υλικών για ιδανικά αέρια και στερεά υλικά:

- Μοριακό βάρος
- Ειδική σταθερά αερίου
- Κανόνας πυκνότητας
- Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα
- Ειδική ενθαλπία χωρίς ενθαλπία αναφοράς
- Ειδική εντροπία
- Ειδική ενθαλπία με ενθαλπία αναφοράς
- Ειδική ισοβαρής θερμοχωρητικότητα
- Ειδικός όγκος
- Πυκνότητα
- Θερμική αγωγιμότητα
- Δυναμικό ιξώδες

Στην εικόνα 6.1 φαίνεται η λίστα με όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται και τις ιδιότητές τους.

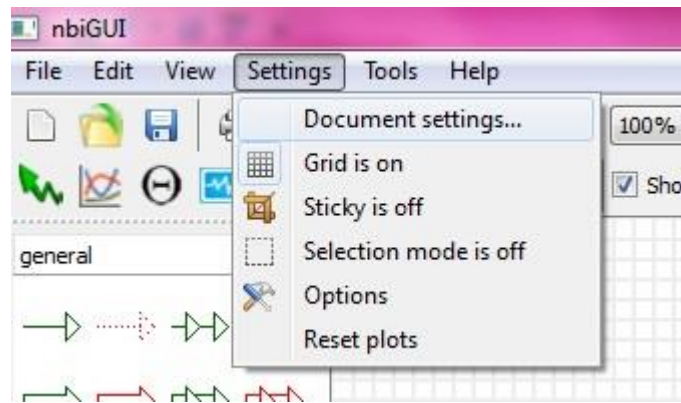
### 6.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΙΜΩΝ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Το σύνολο των τιμών σε συνθήκες αναφοράς για τη δεδομένη ύλη είναι διαθέσιμο για τη θερμοκρασία, την πίεση, την ενθαλπία και την εντροπία. Ιδιαίτερα όταν πραγματοποιείται ένωση ρευμάτων είναι χρήσιμο να ορίζονται οι ίδιες τιμές αναφοράς, όπως για παράδειγμα, η ένωση ρευμάτων σε έναν θάλαμο καύσης, όπου εισέρχονται περισσότερα από ένα υλικά, να γίνεται υπό την ίδια τιμή πίεσης (αυτό είναι ένα φαινόμενο που θα το δούμε και παρακάτω να εφαρμόζεται στην πράξη). Πηγαίνοντας στην επιλογή: *“Settings→ Document Settings→ Fluid Properties”*, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες 6.2 και 6.3, μπορούμε να ορίσουμε τις τιμές.

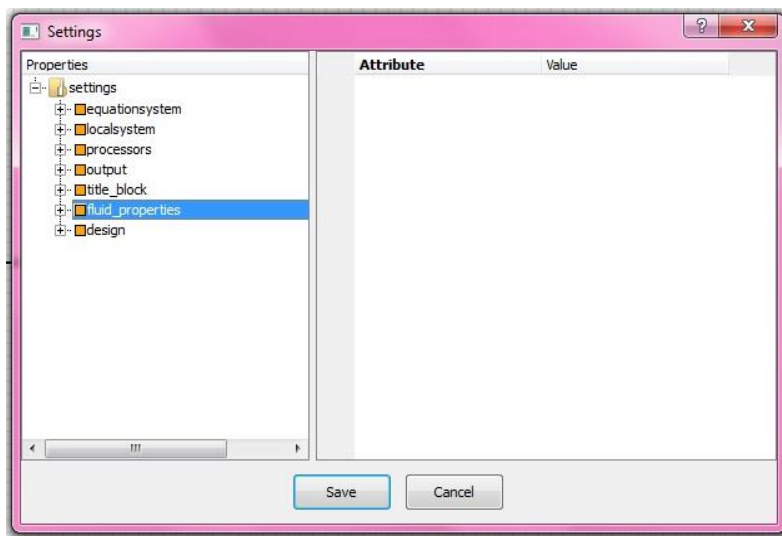
	M	R	rho0	Hu0	h_Tp	s_Tp	h*_Tp	g*_Tp	cp_Tp	v_Tp	rho_Tp	eta_Tp	lambda_Tp
H2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CO	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CH4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C2H6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C3H8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-
C4H10	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	-	-
CH3OH	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
H2Og	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
CO2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
N2	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
O2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
H2S	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
COS	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-
SO2	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x
Cl	x	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	-	-
Cl2	x	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x
HCl	x	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x
He	x	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ar	x	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x
NH3	x	-	x	-	x	x	x	x	x	-	-	x	x
HCN	x	-	x	-	x	x	x	x	x	-	-	x	x
C9H12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C12H26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	x	x	-	-	x	x	x	x	x	-	-	x	x
H	x	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	x	x
N	x	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	x	x
O	x	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	x	x
S	x	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	-	-
Cl	x	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	-	-
CaO	x	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	-	-
CaCO3	x	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	-	-
Asche	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-
ST37.8	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	-	-
Sand	x	x	-	-	x	-	-	-	x	-	-	-	-
KNO3	x	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	-	-
NaNO3	x	-	-	-	x	x	x	x	x	-	-	-	-
ThOel	x	-	x	x	x	-	T_hp	cp_Tp	pv_Tp	Lv_tp	rho_Tp	x	x

Εικόνα 6.1: Επισκόπηση των χρησιμοποιούμενων ιδιοτήτων των διαφόρων υλικών

Επίσης, πρέπει να ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία: «Την ορισμένη θερμοκρασία και την ορισμένη πίεση ακολουθούν η ορισμένη ενθαλπία και η ορισμένη εντροπία».



**Εικόνα 6.2:** Απεικόνιση της διαδικασίας ορισμού τιμών σε συνθήκες αναφοράς.



**Εικόνα 6.3:** Απεικόνιση της διαδικασίας ορισμού τιμών σε συνθήκες αναφοράς.

Οι ακόλουθες μονάδες είναι αυτές, οι οποίες πρέπει κατά κανόνα να εφαρμόζονται:

- Θερμοκρασία [K]
- Πίεση [MPa]
- Ενθαλπία [J/mol]
- Εντροπία [J/mol\*K]

### 6.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΝΩΣΗ ΡΕΥΜΑΤΩΝ

Μεγέθη ανάμειξης όπως η θερμογόνος ικανότητα, η ποσότητα της ουσίας, το μοριακό βάρος και η πυκνότητα της ανάμειξης μίας σύνθεσης υλικών μπορούν στο *ENBIPRO* να υπολογιστούν ανάλογα με το υλικό. Καθώς όμως από το αρχείο είναι

διαθέσιμες μόνο οι παράμετροι για συγκεκριμένου υλικού μοριακό βάρος, θερμογόνος ικανότητα και πυκνότητα καθώς και μέρος της μάζας της αντίστοιχης ουσίας, επιτυγχάνεται ο υπολογισμός χρησιμοποιώντας μόνο αυτά τα διαθέσιμα μεγέθη. Είναι αξιοσημείωτο, ότι ο υπολογισμός του μοριακού βάρους ανά υλικό, όταν αυτά χρησιμοποιούνται, για παράδειγμα για τον προσδιορισμό των χρονικά μεταβλητών συγκεντρώσεων κατά μάζα, μπορεί κατά την έξοδο να χτυπήσει τα κυκλώματα και ως εκ τούτου μπορεί να οδηγήσει σε αστάθειες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΠΡΩΤΑ ΒΗΜΑΤΑ

### 7.1 ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ *ENBIPRO*

Στο φάκελο *ENBIPRO*, τον οποίο κάποιος ελέγχει μέσω του SVN, περιλαμβάνεται το αρχείο *start.sh*. Το αρχείο αυτό περιέχει τις ακόλουθες γραμμές:

```
cd iEnbipro/enbipro
```

```
./nbiGUI
```

Αυτό το αρχείο μπορεί να ξεκινήσει μέσω του αρχείου του προγράμματος περιήγησης. Εάν ωστόσο μετατοπιστεί, θα πρέπει η διαδρομή να προσαρμοστεί. Εναλλακτικά, μπορεί κανείς να καθορίσει από την κονσόλα την εντολή εκκίνησης του *ENBIPRO*:

```
./nbiGUI&
```

### 7.2 *ENBIPRO*: ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε πού βρίσκονται τα διάφορα εξαρτήματα (components). Συγκεκριμένα στο *ENBIPRO* βρίσκονται επάνω αριστερά, κατηγοριοποιημένα σε διάφορα είδη.

Προκειμένου να καταλάβουμε τα κομμάτια/εξαρτήματα, υπάρχει ένας φάκελος:

```
example_neu,
```

όπου σε ορισμένα εξαρτήματα εφαρμόζεται και εκτελείται η λειτουργία τους. Εκεί βρίσκει κάποιος μία εύκολη διασύνδεση των εξαρτημάτων με τις δικές τους, ενίοτε σταθερές, ιδιότητες.

Στην αρχή της γραμμής του μενού είναι να επιλέξει κανείς πάνω, δίπλα του πράσινου βέλους, την επιλογή *Standard*. Επίσης, πάνω στη γραμμή αυτή βρίσκεται, κάτω από την εντολή *Help*, το εγχειρίδιο χρήσης. Μία εικόνα της γραμμής εργαλείων (γραμμή μενού) στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 7.1).



**Εικόνα 7.1:** Απεικόνιση της γραμμής μενού του προγράμματος.

- Πως συνδέονται τα μέρη:

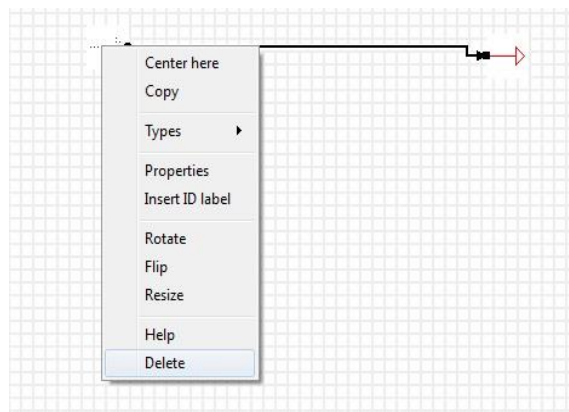
Ο μαύρος κύκλος δηλώνει την έξοδο, ενώ το μαύρο τετράγωνο την είσοδο του εξαρτήματος. Κάθε ένας κύκλος συνδέεται με ένα τετράγωνο. Με ένα «κλικ» πάνω στον κύκλο ενός εξαρτήματος δημιουργείται και σύρεται μία γραμμή, η οποία συνδέεται στο τετράγωνο του επόμενου εξαρτήματος.

- Τι γίνεται όταν πρέπει να αλλάξει μία σύνδεση

Τοποθετούμε τον δείκτη του ποντικιού στον μαύρο κύκλο ή στο μαύρο τετράγωνο, μέχρι να εμφανιστεί ένα διπλό βέλος, και τραβάμε αυτό στο άλλο επιθυμητό εξάρτημα.

- Εάν πρέπει να σβηστεί μία σύνδεση ή ένα εξάρτημα

Κάνουμε «δεξί κλικ» πάνω στο αντίστοιχο εξάρτημα ή γραμμής διασύνδεσης και επιλέγουμε την εντολή *delete*.



Εικόνα 7.2: Εντολή διαγραφής μίας γραμμής διασύνδεσης.

Πρέπει να γνωρίζουμε ποιες ιδιότητες πρέπει να διορθώσουμε. Όταν κάποιος ξεκινάει, πρέπει αρχικά να πάει στο φάκελο:

*Example\_neu / example\_circuit*

Σε αυτό το φάκελο πρέπει να ψάξει κανείς παραδείγματα, τα οποία να ταιριάζουν με την αντίστοιχη περίπτωση που θέλει να εξετάσει, έτσι ώστε να έχει μία πιο πλήρη εικόνα για το ποιες ιδιότητες πρέπει και μπορεί να αλλάξει.

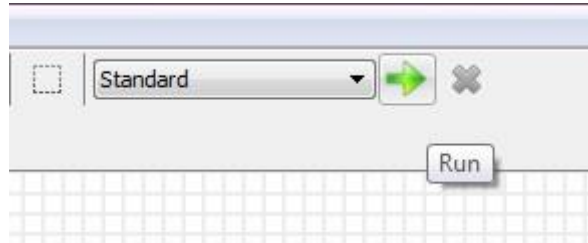
Ένα μέσο ορίζεται στα άκρα. Κάνουμε «δεξί κλικ» πάνω στο κομμάτι που έχουμε επιλέξει και μετά επιλέγουμε *Properties*, καθορίζεται ποιο υλικό μέσο επιθυμούμε, καθορίζεται επίσης ποιες από τις ιδιότητες του θέλουμε να κρατήσουμε σταθερές και ποιες όχι.

- Η λειτουργία *copy* στην εντολή *Properties*

Κάνουμε «δεξί κλικ» στην επιλογή *Properties*, και επιλέγουμε *copy*. Μετά, κάνουμε «δεξί κλικ» στη νέα γραμμή σύνδεσης και επιλέγουμε την εντολή *paste*. Παρατηρώντας την εικόνα 7.2 μπορούμε να διακρίνουμε τη θέση των εντολών αυτών.

- Το πράσινο βέλος πάνω στη γραμμή εντολών είναι το κουμπί τρεξίματος

Όσο ο σταυρός, ακριβώς δεξιά δίπλα, είναι κόκκινος, σημαίνει ότι το *ENBIPRO* τρέχει. Όταν ο σταυρός σταματήσει να είναι κόκκινος, έχει λυθεί ο υπολογισμός ή το πρόγραμμα σταμάτησε να τρέχει, λόγω κάποιου σφάλματος. Ακολουθεί η Εικόνα 7.3.

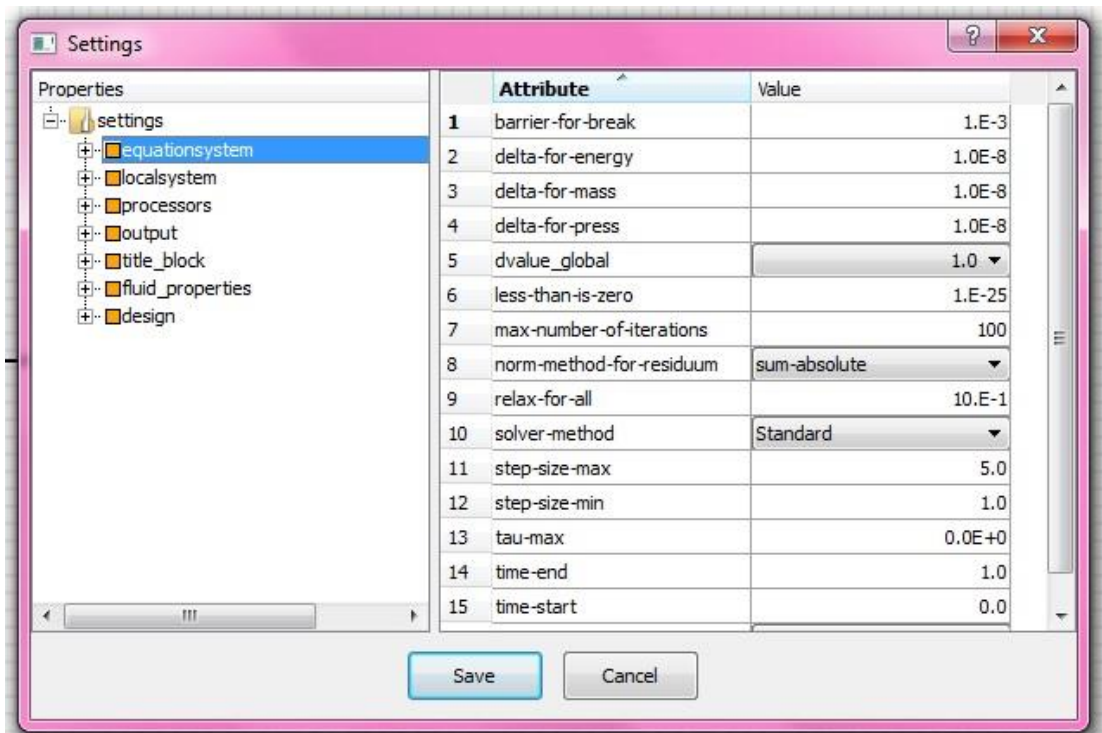


Εικόνα 7.3: Το πράσινο βέλος της γραμμής εργαλείων.

- Για τη διάρκεια του χρόνου προσομοίωσης

Επιλέγουμε πάνω στην γραμμή εντολών: *Settings*→ *Documents Settings*→ *Equation System*. Εκεί είναι καταγεγραμμένη η ώρα έναρξης (0.0) και η ώρα λήξης (1.0), στην ώρα λήξης σημαίνει ότι διήρκησε το τρέξιμο 1 (ένα) δευτερόλεπτο (εικόνα 7.4). Εδώ, επίσης, υποδεικνύεται το εμπόδιο για τη διακοπή. Επιλέγουμε το 10e-3.

Βασική λεπτομέρεια είναι ότι τοποθετούμε τα εξαρτήματα διαδοχικά ένα-ένα και το αφήνουμε να τρέξει. Δεν ξεχνάμε να αποθηκεύουμε το αρχείο μετά από κάθε τρέξιμο.



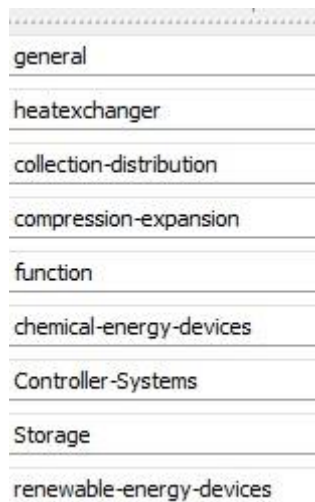
Εικόνα 7.4: Απεικόνιση παραθύρου με της ώρα έναρξης και λήξης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα εξαρτήματα, τα οποία χρησιμοποιούνται στο *ENBIPRO*. Κάθε εξάρτημα απεικονίζεται με ένα σύμβολο, ώστε να γίνονται σαφείς οι ροές των υλικών και οι ροές των σημάτων. Ένα σήμα είναι ένα βαθμιδωτό μέγεθος. Μία ροή υλικού είναι ένα διάνυσμα μάζας, ενθαλπίας, θερμοκρασίας ή πίεσης.

Η παρουσίαση των εξαρτημάτων έχει κατηγοριοποιηθεί ακριβώς έτσι, όπως είναι ήδη από τον κατασκευαστή του προγράμματος. Αυτό μας διευκολύνει ιδιαίτερα, ώστε να γνωρίζουμε που ακριβώς θα βρούμε το αντίστοιχο εξάρτημα που μας ενδιαφέρει κάθε φορά. Τα εξαρτήματα αυτά είναι κατηγοριοποιημένα κυρίως με βάση τη λειτουργία τους.

Ο τίτλος του κάθε υποκεφαλαίου σε αυτό το κεφάλαιο είναι ο ίδιος με το όνομα της κάθε κατηγορίας εξαρτημάτων του προγράμματος. Στην παρακάτω εικόνα 8.1 βλέπουμε τις κατηγορίες αυτές, όπως είναι στο πρόγραμμα.



Εικόνα 8.1: Κατηγορίες εξαρτημάτων

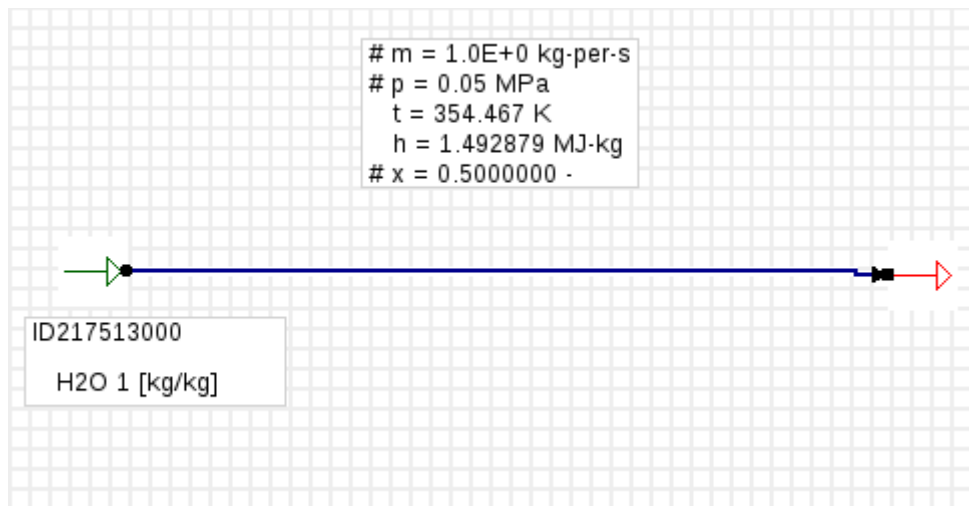
Κάθε ένα εξάρτημα έχει τις δικές του ιδιότητες και τις δικές του ιδιαιτερότητες. Ορισμένα εξαρτήματα χρειάζονται με ειδική μεταχείριση, ώστε να καταστεί δυνατή η ένωση του με άλλα και η σωστή λειτουργία, κάποια άλλα εξαρτήματα πάλι είναι πιο εύκολα από όσο νομίζουμε, καθώς ο ορισμός ενός μόνο μεγέθους τους αρκεί, ώστε να λειτουργήσουν με ακρίβεια. Στη συνέχεια, δίνουμε μία περιγραφή των εξαρτημάτων που συναντήσαμε και κυρίως καταφέραμε να χρησιμοποιήσαμε κατά την λειτουργία του προγράμματος. Δυστυχώς, πολλά εξαρτήματα δεν είναι ακόμα έτοιμα προς χρήση. Η παρακάτω περιγραφή είναι βασισμένη στο εγχειρίδιο χρήσης που μας έχουν γράψει και μας έχουν στείλει φοιτητές του Πολυτεχνείου, που έκαναν και το πρόγραμμα. Προσαρμόσαμε, κατά τον δυνατόν καλύτερο τρόπο την περιγραφή έτσι, ώστε να είναι κατανοητή και να δίνει λύση σε κάποια προβλήματα. Με περισσότερη λεπτομέρεια όμως οι ιδιότητες των εξαρτημάτων αναλύονται σε παρακάτω κεφάλαιο (Κεφάλαιο 10).



## 8.1 GENERAL

### 8.1.1. Source

Source σημαίνει πηγή. Το εικονίδιο αυτό χαρακτηρίζει την είσοδο ενός υλικού ή ενός μίγματος στο σύστημα. Σε αυτό μπορούν να προσδιοριστούν οι παράμετροι του υλικού του τύπου του μέσου. Οι τύποι του μέσου είναι υγρό, βιομάζα και άνθρακας. Τα υπόλοιπα μπορούν να προσδιοριστούν, εάν πρόκειται για ένα πραγματικό ή ιδανικό μέσο.



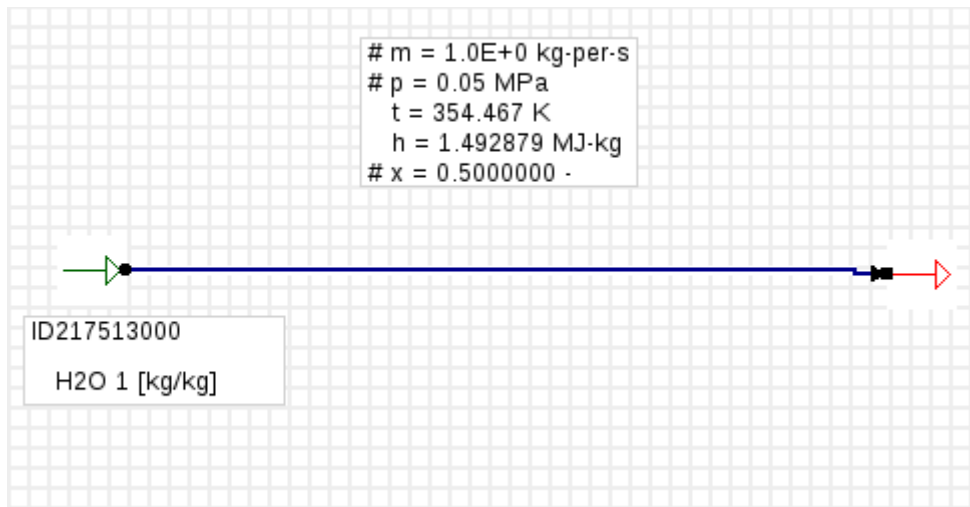
Εικόνα 8.2: Παράδειγμα ενός απλού ρεύματος.

Επιπλέον, ανάλογα με τις εκάστοτε οριακές συνθήκες, που θέτουμε, είναι γραμμένος από πίσω, ένας διαφορετικός αριθμός πολλών εξισώσεων στο σύστημα εξισώσεων, με τη χρήση των οποίων γίνονται οι υπολογισμοί.

Το σύστημα εξισώσεων του *source* διαιρείται σε αρκετές περιπτώσεις, οι οποίες επιλέγονται μέσω ερωτήσεων για επιλεγμένες συνθήκες και παραμέτρους. Η διαδικασία αυτή είναι αναγκαία, διότι στην π.χ. πίεση νερού, θερμοκρασία, ενθαλπία και παροχή ατμού συνδυάζονται. Όταν οι παράμετροι ενθαλπία  $h_o$ , θερμοκρασία  $T_o$  και ξηρότητα  $x_o$  θα είναι μεταβλητές τιμές και προς υπολογισμό (*Estimated*), τότε χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις ατμού για  $\rho h_i$  και θερμοκρασία. Σε άλλη περίπτωση, θα ερωτηθεί εάν χρησιμοποιείται καθαρό νερό (*Fixed*,  $H_2O=1.0$ ). Έστω ότι πληρούνται αυτές οι προϋποθέσεις, θα χρησιμοποιηθούν οι εξισώσεις της ενθαλπίας και της θερμοκρασίας, αλλιώς θα ερωτηθεί, εάν είναι υπολογισμένη μόνο η ενθαλπία  $h_o$ . Σε αυτήν την περίπτωση, θα επικαλεστούν οι εξισώσεις τις ενθαλπίας. Εάν δεν πληρούνται ούτε αυτές οι προϋποθέσεις, τότε θα ερωτηθεί ξανά, εάν είναι υπολογισμένη η θερμοκρασία  $T_o$  (*Estimated*). Σύμφωνα με τους όρους αναζήτησης, δηλαδή, τις προϋποθέσεις, που εμείς ορίσαμε, βάσει των οποίων θα γίνουν οι υπολογισμοί, θα καλεστούν οι αντίστοιχες εξισώσεις θερμοκρασίας.

### 8.1.2. Sink

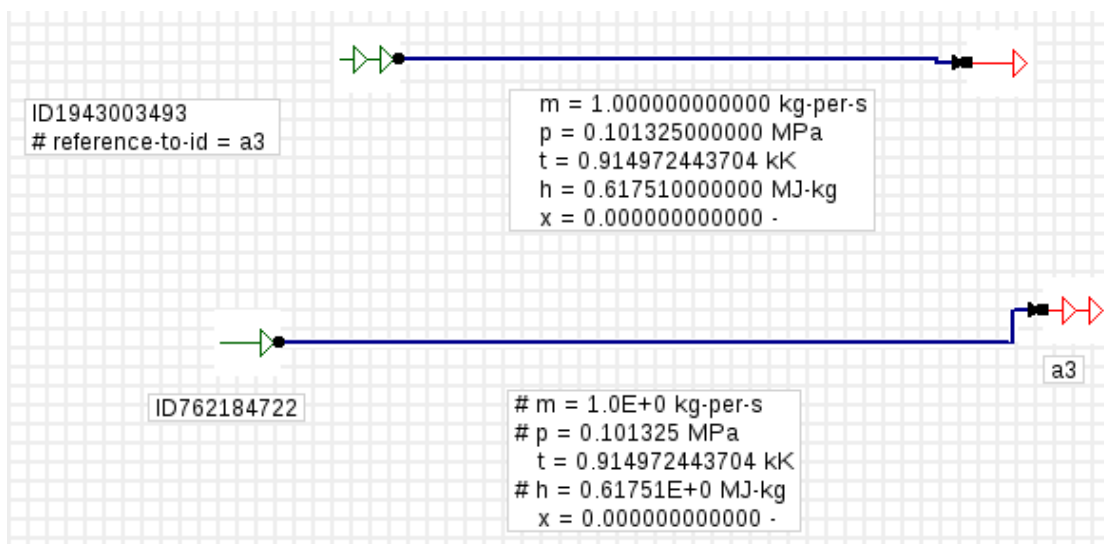
Το εικονίδιο αυτό χαρακτηρίζει την έξοδο ενός υλικού ή ενός μίγματος από το σύστημα.



Εικόνα 8.3: Παράδειγμα ενός απλού ρεύματος

### 8.1.3. Continuation - Temporaryend

Για λόγους σαφήνειας, τα ρεύματα μπορούν να διαχωριστούν σε οποιοδήποτε σημείο. Για αυτό το λόγο είναι απαραίτητη μία «συνέχεια».

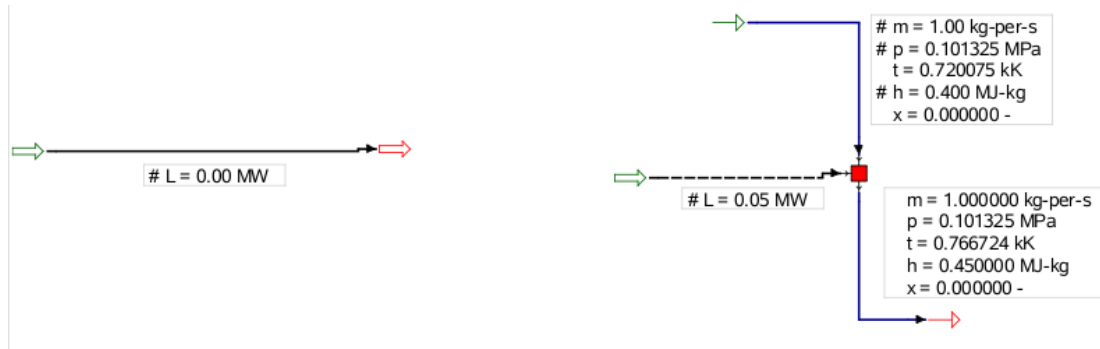


Εικόνα 8.4: Απεικόνιση των εξαρτημάτων *Continuation - Temporaryend*.

Ανάλογο του *continuation* είναι και το *temporaryend*, όπου το χρησιμοποιούμε στην περίπτωση που έχουμε σκοπό να συνεχίσουμε τη ροή, αλλά με κάποιο ενδιάμεσο στάδιο.

#### 8.1.4. Source-Energy – Sink-Energy

Το μοντέλο δεν περιλαμβάνει καμία εξίσωση. Το εξάρτημα αυτό τείνει να καθορίσει τις οριακές συνθήκες, όπως για παράδειγμα τις προδιαγραφές ισχύος.



Εικόνα 8.5: Παράδειγμα εξαρτημάτων.

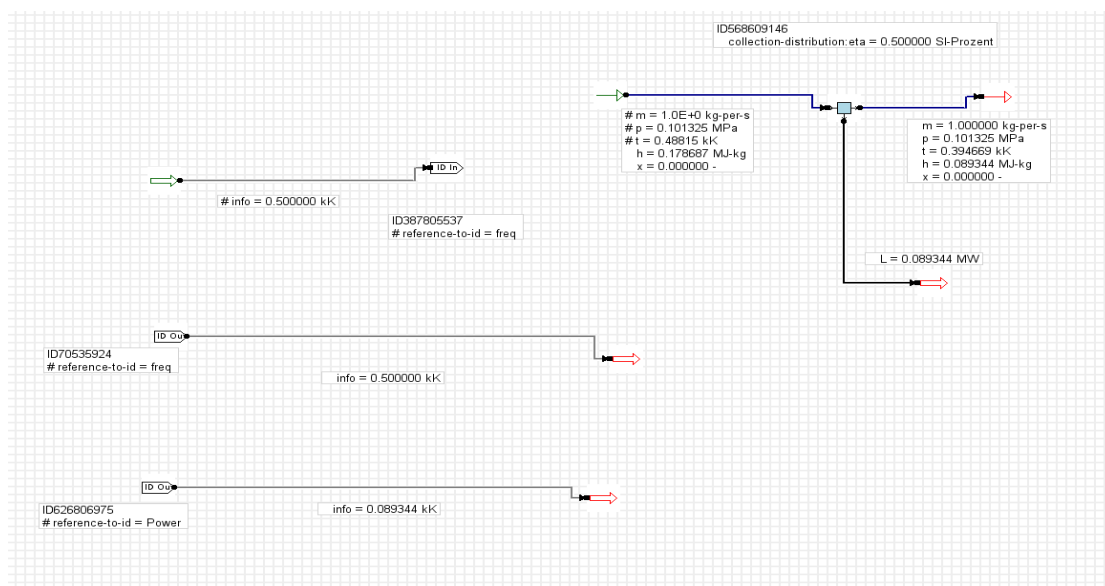
Αντίστοιχα, χρησιμοποιείται και το ανάλογο εξάρτημα για την έξοδο ενέργειας.

#### 8.1.5. P1-Continuation – P1-Temporaryend

Γενικά παρουσιάζεται στα συστατικά μηχανικού ελέγχου και συνδυάζει σήματα.

#### 8.1.6. ID-Continuation-In – ID-Continuation-Out

Η οδηγία λειτουργίας είναι παρόμοια με αυτήν των προηγούμενων εξαρτημάτων, μόνο που ως στόχος μπορεί να επιλεγεί μία οποιοδήποτε ελεύθερη μεταβλητή.



Εικόνα 8.6: Παράδειγμα

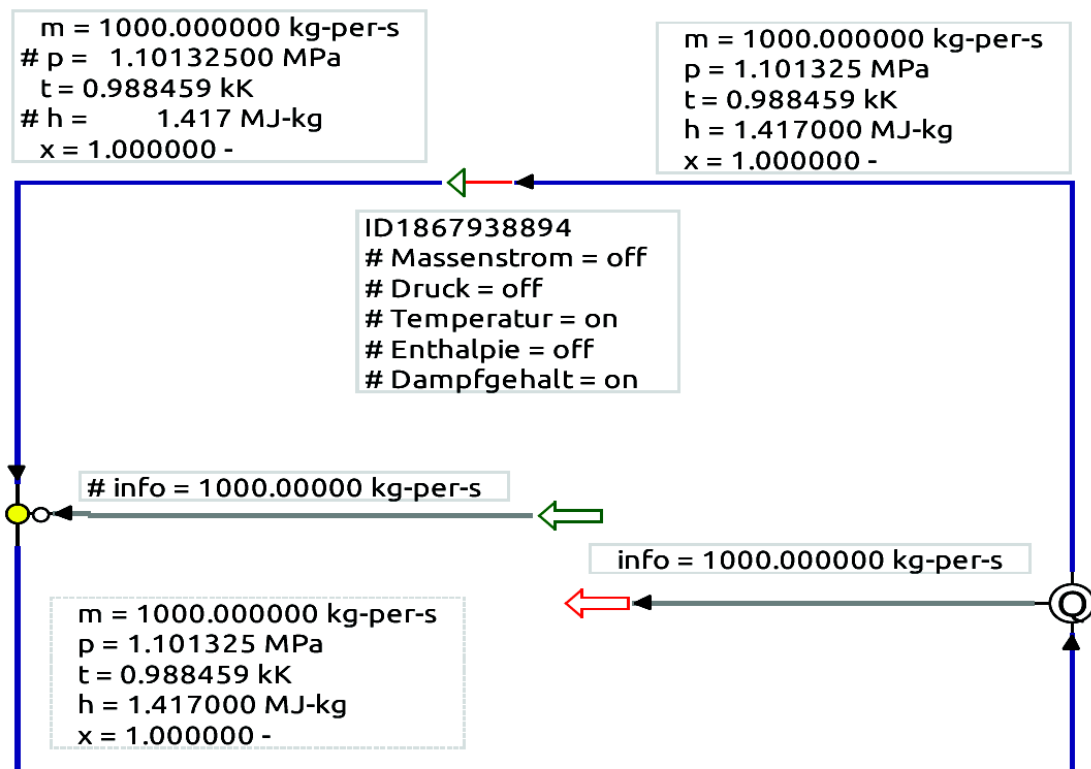
### 8.1.7. Source-Cycle

Με τη βοήθεια του εξαρτήματος που κλείνει τον κύκλο, μπορούν οι κύκλοι να ολοκληρωθούν και να κλείσουν, όταν βρίσκονται σε κατάσταση στατική. Το κλείσιμο των κύκλων μπορεί να παράγει σε ένα σύστημα εξισώσεων μία μοναδική μήτρα. Έτσι, το σύστημα εξισώσεων είναι επιλύσιμο χωρίς κάποια περεταίρω μαθηματική παρέμβαση. Για να ξεπεραστεί μία τέτοια κατάσταση, εισάγεται αυτό το εξάρτημα.

Το φαινόμενο αυτό που στέκεται από πίσω ονομάζεται αλγεβρικός βρόχος. Μία ακόμη μεταβλητή εισάγεται στο σύστημα, έτσι ώστε αυτό να μπορεί να λυθεί.

Σε παροδικές εκτιμήσεις πρέπει να αντιστοιχηθεί ένα κλείσιμο του κύκλου μέσω ενός άλλου εξαρτήματος, όπως ενός τυμπάνου ή τροφοδοτικού δοχείου νερού. Τα εξαρτήματα που κλείνουν έναν κύκλο στο *ENBIPRO* είναι προγραμματισμένα, ώστε η γνωστοποίηση των εξισώσεων ενός εξαρτήματος να γίνεται με ελεύθερη επιλογή από τον χρήστη.

Η επιλογή των εξισώσεων εξαρτάται από τις οριακές συνθήκες και διαφέρει από περίπτωση σε περίπτωση. Κάθε εξίσωση ξεχωριστά πρέπει να ενεργοποιηθεί. Η λογική, που ισχύει στην περίπτωση της εξόδου από το σύστημα, δεν ισχύει εδώ και πρέπει να δοθεί από τον εντολέα. Στην περίπτωση όπου δεν έχει ενεργοποιηθεί καμία εξίσωση, τότε λειτουργεί ως διαχωριστής.



Εικόνα 8.7: Παράδειγμα απεικόνισης των εξαρτημάτων.

### 8.1.8. Duct

Το εξάρτημα αυτό χρησιμοποιεί τον έλεγχο των απωλειών πίεσης και θερμοκρασίας, που συμβαίνουν σε κάποιον αγωγό, ώστε να ενώσει αυτά τα εξαρτήματα μεταξύ τους. Όταν κάποιο ρευστό ρέει μέσα από κάποιο σωλήνα μειώνεται η έντονη πίεση. Αυτό οφείλεται σε γραμμικές και μοναδικές αντιστάσεις ροής, όπως παραδείγματος χάριν τριβής τοιχωμάτων, καμπύλες, στόμια εισόδου και εξόδου, στένωση διεύρυνση κ.ά. Λόγω της τριβής θερμαίνεται το υγρό και εφόσον είναι συμπιεστό, αυτό διαστέλλεται. Οι απώλειες θερμότητας οφείλονται στην ανταλλαγή θερμότητας του υγρού με το περιβάλλον. Επιπλέον δίνεται θερμότητα στα τοιχώματα του σωλήνα, τα οποία διαβιβάζουν προς τα έξω στο σημείο επαφής του σωλήνα με τη μόνωση του των τοίχων, όπου και ο σωλήνας μεταδίδει τη θερμότητα στη μόνωση. Μετά τη μεταφορά θερμότητας μέσω της μόνωσης προς τα έξω, η μεταφορά θερμότητας λαμβάνει χώρα μεταξύ της επιφάνειας της μόνωσης και του περιβάλλοντος αέρα μέσω ακτινοβολίας και συναγωγής.

## 8.2 HEATEXCHANGER

### 8.2.1. Εναλλάκτης θερμότητας ομορορής

#### *Περιγραφή*

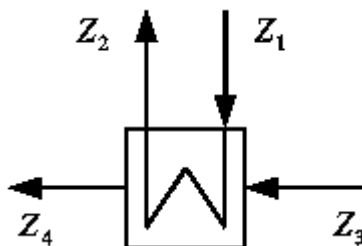
Αυτό το στοιχείο μετράει στον εναλλάκτη θερμότητας δύο ροών, όπου κατά την εναλλαγή θερμότητας μεταξύ δύο παράλληλων μέσων που ρέουν λαμβάνει χώρα λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας. Εδώ, τα δύο παρακείμενα μέσα έχουν μία συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ τους, χωρίζονται μέσω μιας επιφάνειας μεταφοράς το ένα από το άλλο, μέσα από την οποία ένα ρεύμα θερμότητας μεταφέρεται από το θερμότερο στο ψυχρότερο μέσον. Οι τοπικές θερμοκρασίες των δύο μέσων μεταβάλλονται εδώ λόγω της απόστασης. Οι αντίστοιχες διαβαθμίσεις θερμοκρασίας και οι διαφορές τους καθορίζουν την εναλλαγή θερμότητας. Ο εναλλάκτης θερμότητας συνεχούς ροής περιορίζεται σε εφαρμογές, στις οποίες οι θερμότερες ροές στην έξοδο είναι θερμότερες από τις ψυχρές.

Ο εναλλάκτης θερμότητας χρησιμοποιείται στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ως:

- Θερμές επιφάνειες στον ατμοπαραγωγό για τη μετάδοση της θερμότητας των καυσαερίων στην μεριά του νερού-ατμού.
- Ατμοθερμαινόμενος προθερμαντήρας στην θέρμανση του τροφοδοτικού νερού.
- Συμπυκνωτές (ψύχεται για παράδειγμα με πύργο ψύξης ή με νερό ποταμών)
- Προθερμαντήρας με νερό ή καυσαέριο, όπου θερμαίνεται με εξατμίσεις καυσαερίων ή ατμό.

### Μαθηματικό μοντέλο του εναλλάκτη θερμότητας ομορροής

Το Σχήμα 8.8 δείχνει τη μαθηματική απεικόνιση του εναλλάκτη θερμότητας σε λειτουργία παράλληλης ροής. Όπου ένα υλικό ροής  $Z_1$  με θερμοκρασία  $T_1$  εισέρχεται, κατά μήκος του εναλλάκτη θερμότητας ρέει και στην έξοδο εξέρχεται με μεγέθη  $Z_1, T_1$ . Αντίστοιχα και για το δεύτερο μέσο, με δείκτη 3 στην είσοδο και 4 στην έξοδο.



Εικόνα 8.8: Εναλλάκτης θερμότητας σε παράλληλη λειτουργία

Αξίζει να σημειωθεί, ότι σε παράλληλη λειτουργία τόσο οι δύο είσοδοι, καθώς και οι δύο έξοδοι είναι μαζί. Σε αυτήν την αναπαράσταση θα οριστεί ότι η ψυχρότερη ροή θερμαίνεται και η θερμότερη αρχικά, θα ψυχθεί, όπως στην παράλληλη έτσι και στην αντίθετη λειτουργία.

### Στη θεωρία του μοντέλου

Στις εξισώσεις του μοντέλου ισχύουν οι ακόλουθες απλοποιήσεις και υποθέσεις: τοπικό επίπεδο χώρισμα με σταθερό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, σταθερή ταχύτητα ροής, οι απώλειες θερμότητας αμελούνται, η ενθαλπία εξαρτάται γραμμικά από τη θερμοκρασία. Σε στατική θερμική αγωγιμότητα πραγματοποιείται η ροή θερμότητας πάντα σε ίδια επιφάνεια, σε γραμμική πτώση θερμοκρασίας πάνω από το διαχωριστικό τοίχωμα. Αυτά είναι ημιστατικά μηδενικών διαστάσεων μοντέλων, αυτά θα υιοθετούνται για τη μετάδοση θερμότητας, όπου λόγω χαμηλών διαφορών πίεσης και θερμοκρασίας μεταξύ των δύο μέσων δείχνουν και χαμηλή πάχος τοιχώματος του σωλήνα και για αυτό το λόγο έχουν και μικρή θερμική αποθήκευση. Παράδειγμα πάνω σε αυτό είναι οι συμπυκνωτές, προθερμαντήρες χαμηλής πίεσης και προθερμαντήρες αέρος, οι οποίοι συχνά χρησιμοποιούνται κάτω από τέτοιες συνθήκες. Αυτό σημαίνει, για την απλοποίηση θα μοντελοποιούνται τέτοιοι εναλλάκτες θερμότητας-μονάδες, χωρίς αναφορές σχετικά με τις χωρητικές διευρύνσεις και γεωμετρίες, όπως ο εναλλάκτης θερμότητας παράλληλης και αντίθετης ροής, όπου μόλις η τιμή  $kA$ , ως πληροφορία για τη γεωμετρία του εναλλάκτη θερμότητας. Μέσα σε αυτά τα όρια βρίσκεται ως εκ τούτου η ουσιώδης εργασία, της οποίας οι παράμετροι προσδιορίζονται από δεδομένες προδιαγραφές. Εάν υπάρχει σχετικά με το σχεδιασμό του εναλλάκτη θερμότητας με τιμή  $kA$ , μπορούν τότε να υπολογιστούν διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις, με μεταβλητές συνθήκες από την

ερμηνεία-σχεδιασμό. Αυτές οι απλοποιημένες υποθέσεις προσκρούουν στα όριά τους κατά την ερμηνεία από πολύπλοκους εναλλάκτες θερμότητας, των οποίων η λειτουργίες καθορίζονται και από τη γεωμετρία.

#### Εκτέλεση του μοντέλου στο ENBIPRO

Στο ENBIPRO εκτελούνται οι εξισώσεις του μοντέλου σε αριθμητική προσαρμοσμένη μορφή για υπολογισμό ή εκτίμηση.

Μοντέλο του εναλλάκτη θερμότητας ομορροής

- Σχέσεις διατήρησης μάζας:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4$$

- Ισοζύγιο ενέργειας λόγω της μετάδοσης θερμότητας:

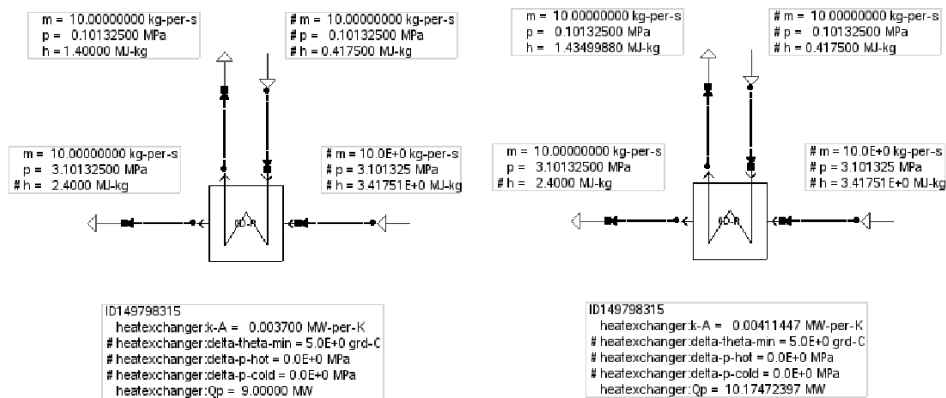
$$\dot{Q} = \dot{m}_2 \cdot h_2 - \dot{m}_1 \cdot h_1$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_3 \cdot h_3 - \dot{m}_4 \cdot h_4$$

#### Προδιαγραφές και οριακές συνθήκες

	$\dot{m}_1$	$p_1$	$h_1$	$\dot{m}_2$	$p_2$	$h_2$	$\dot{m}_3$	$p_3$	$h_3$	$\dot{m}_4$	$p_4$	$h_4$	$\dot{Q}_p$	$kA$
1	#	#	#			#	#	#	#					
2			#	#	#	#				#	#	#		
3				#	#	#			#	#	#		#	
4				#	#	#			#	#	#			#
5	#	#					#	#	#				#	#

**Πίνακας 8.1:** Πιθανές και χρήσιμες περιπτώσεις με συνδυασμούς των σταθερών και μεταβλητών παραμέτρων



**Εικόνα 8.9:** Ερμηνεία εναλλάκτη θερμότητας πλήρους φορτίου σε παράλληλη λειτουργία: αριστερά Είσοδος με αρχικές τιμές πριν τον υπολογισμό, αριστερά παραμετρικές τιμές μετά τον υπολογιστικό κύκλο

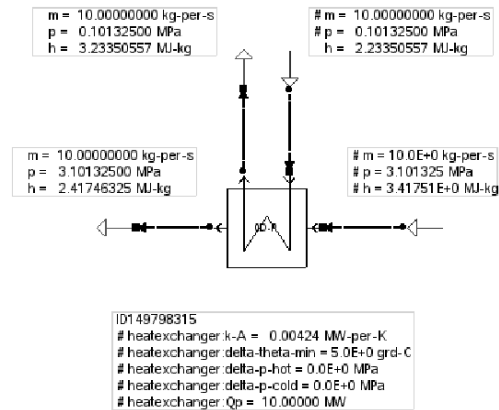
### Χρήση:

Σε έναν αριθμό από εφτά εξισώσεις είναι τυπικό, εκτός των δεκατεσσάρων πιθανών μεταβλητών παραμέτρων, εφτά μεταβλητές να τίθενται ως ελεύθερες και οι αντίστοιχες εναπομείναντες εφτά ως σταθερές αρχικές παράμετροι. Στο *nbGUI*, η υποστηριζόμενη γραφική επιφάνεια του χρήστη-εισαγωγή των παραμέτρων, καθώς και η έξοδος των αποτελεσμάτων μέσω του *ENBIPRO*, θα χαρακτηρίζονται οι σταθερές παράμετροι με το σύμβολο της δίσωσης, #. Επίσης πρέπει να οριοθετηθεί αυτή η επιλογή από ένα φυσικά χρήσιμο και δυνατό σχεδιαστικό στόχο.

### Παράδειγμα για πλήρες φορτίο

Για μία πιο ακριβή ερμηνεία ενός ελεύθερου ή συνδυαστικού εναλλάκτη θερμότητας, δίνονται αρχικά συγκεκριμένοι σταθεροί παράμετροι σχετικά με τα ψυχρότερα ή θερμότερα μέσα, όπως ενθαλπίες, μάζες, πιέσεις, εάν είναι απαραίτητο απώλειες πίεσης διαφορετικές του μηδενός. Η τιμή  $kA$  και μαζί ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας πρέπει να έχουν ερμηνευθεί. Εδώ μπορούμε να επιλέξουμε ελεύθερα τις τιμές μέσα σε συγκεκριμένα όρια, όπου σε πραγματικές εγκαταστάσεις αυτές οι τιμές εξαρτώνται από συνδυαστικά στοιχεία, όπως εναλλάκτες θερμότητας και ατμοστροβίλους και μέσω αυτών σταθεροποιούνται. Σε αυτό το παράδειγμα πρέπει το θερμότερο μέσο, με σταθερή μάζα ροής  $\dot{m}_3 = 10.0 \text{ kg/sec}$  και προκαθορισμένη ενθαλπία  $h_3 = 3.41751 \text{ MJ/kg}$ , υπό πίεση  $p_3 = 3.101325 \text{ MPa}$ , να εισέρχεται στη θέση  $Z_3$  και κατά τη μεταφορά στη θέση  $Z_4$  να φτάνει την ενθαλπία σε  $h_4 = 2.400 \text{ MJ/kg}$ , να ψύχεται, χωρίς απώλειες πίεσης.





Εικόνα 8.10: Απεικόνιση εναλλάκτη θερμότητας μερικού φορτίου σε παράλληλη λειτουργία.

Το ψυχρότερο μέσο πρέπει να εισέλθει με μάζα  $\dot{m}_1 = 10.0 \text{ kg/sec}$  και ενθαλπία  $h_1 = 0.41751 \text{ MJ/kg}$  στη θέση  $Z_1$ , με πίεση  $p_1 = 0.101325 \text{ MPa}$  και να θερμανθεί μέσω της ροής μέχρι τη θέση  $Z_2$ , χωρίς απώλειες πίεσης μεταξύ εισόδου και εξόδου. Όπου στην έξοδο εμφανίζεται μία αναλόγως υψηλή τιμή ενθαλπίας  $h_2$ . Όταν όλες οι τιμές που χρειαζόμαστε στην είσοδο καλυφθούν από το χρήστη της επιφάνειας (*nbiGUI*), μπορεί το *ENBIPRO* να αρχίσει τον κύκλο υπολογισμού. Μετά από έναν επιτυχή υπολογισμό εμφανίζονται τα αποτελέσματα στην γραφική επιφάνεια, μέσω ενεργοποίησης των ελεύθερων μεταβλητών με τις υπολογισμένες τιμές. Για τη μεταφορά θερμότητας στο ψυχρότερο μέσο, εμφανίζονται ο υπολογισμός για την τιμή  $kA$  ίση με  $0.00411447 \text{ MW/K}$  ή  $\dot{Q}_p = 10.17472 \text{ MW}$ .

## 8.2.2. Εναλλάκτης θερμότητας αντιροής

### Περιγραφή

#### Σκοπός, περιπτώσεις και δυνατότητες εφαρμογών

Αυτό το στοιχείο είναι ένα από τους εναλλάκτες θερμότητας διπλής ροής, όπου κατά τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ δύο ρευμάτων αντίθετης (αντιπαράλληλης) ροής, λαμβάνει χώρα λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας. Εδώ, και τα δύο, τα οποία μέσα είναι οριοθετημένα σε μία συγκεκριμένη απόσταση, χωρίζονται μεταξύ τους μέσω μιας επιφάνειας μεταφοράς (χώρισμα), μέσω της οποίας ένα ρεύμα θερμότητας μεταφέρεται από το θερμότερο στο ψυχρότερο μέσο. Οι τοπικές θερμοκρασίες των δύο μέσων μεταβάλλονται εδώ σχετικά με την απόσταση μεταφοράς. Αυτές οι διαβαθμίσεις των θερμοκρασιών,  $t'(x)$  για το ψυχρό μέσο και  $t(x)$  για το θερμό, και οι αντίστοιχες διαφορές τους καθορίζουν τη ροή μετάδοσης θερμότητας. Στην περίπτωση, όπου η θερμοκρασία της ψυχρής ροής στην έξοδο είναι μεγαλύτερη ή ίση με αυτήν της θερμής

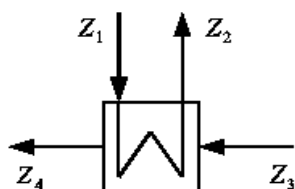
ροής, πρέπει ο εναλλάκτης θερμότητας αντίρροπος να εφαρμόζεται. Εδώ, βρίσκονται στην είσοδο οι θερμότερες ροές, ενώ στην έξοδο οι ψυχρότερες.

Ο εναλλάκτης θερμότητας στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται ως:

- Θερμές επιφάνειες σε γεννήτρια ατμού (ατμοποιητής, υπερθερμαντής, προθερμαντήρας) για τη μετάδοση της θερμότητας των καυσαερίων στην πλευρά του νερού-ατμού.
- Ατμοθερμαινόμενος προθερμαντήρας για τη θέρμανση του τροφοδοτικού νερού
- Συμπυκνωτές
- Προθερμαντήρες αέρος ή αερίου (LuVo, GaVo) θερμαίνουν με ατμό ή εξατμίσεις καυσαερίων

#### Μαθηματικό μοντέλο εναλλάκτη θερμότητας αντίρροπος

Η εικόνα 8.11 δείχνει τη μαθηματική απεικόνιση του εναλλάκτη θερμότητας σε λειτουργία παράλληλης ροής. Όπου ένα υλικό ροής  $Z_1$  με θερμοκρασία  $T_1$  εισέρχεται, κατά μήκος του εναλλάκτη θερμότητας ρέει και στην έξοδο εξέρχεται με μεγέθη  $Z_2, T_2$ . Αντίστοιχα και για το δεύτερο μέσο, με δείκτη 3 στην είσοδο και 4 στην έξοδο.



Εικόνα 8.11: Εναλλάκτης θερμότητας αντίρροπος.

Εδώ, πρέπει να προσέξουμε, ότι σε λειτουργία αντίθετης ροής κάθε μία είσοδος και μία έξοδος βρίσκονται μαζί, αυτό σημαίνει ότι οι ροές  $Z_1$  και  $Z_4$ , καθώς και οι  $Z_2$  και  $Z_3$  συνεφάπτονται και οι διαφορές θερμοκρασίας υπολογίζονται ανάλογα των αντίστοιχων ζευγαριών  $T_1-T_4$  και  $T_2-T_3$ . Επίσης, πρέπει να οριστεί ότι το ψυχρότερο υλικό θα θερμανθεί, ενώ αντίστοιχα το θερμότερο θα ψυχθεί.

#### Στη θεωρία του μοντέλου

Για τη θεωρητική κατανόηση του μοντέλου μπορεί να αναλογιστεί κανείς ένα τυχαίο διαφορικό χώρισμα  $dA$ , μέσα στο οποίο οι τοπικές θερμοκρασίες τόσο του ψυχρού, όσο και του θερμού μέσου μπορούν να θεωρηθούν ως σταθερές.

Κατά την εφαρμογή των εξισώσεων του εναλλάκτη θερμότητας γίνεται σε πλήρες φορτίο η ερμηνεία των επιφανειών εφαρμογής. Ως προς την ερμηνεία για λειτουργία σε μερικό φορτίο χτίζεται η βάση, για μία επανεξέταση των ισοζυγίων ενέργειας για τη μετάδοση θερμότητας, όπου η επανάληψη ξεκινάει με υποθετικές αρχικές τιμές. Όπως έχει σχεδιαστεί για το πλήρες φορτίο πρέπει δίπλα από της ροές μάζας των υλικών, να έχουν προκαθοριστεί τρεις ενθαλπίες ή/και τρεις θερμοκρασίες, ώστε να καθοριστεί η τιμή  $kA$  και  $\dot{Q}$  με τη βοήθεια της λογαριθμικής διαφοράς θερμοκρασίας. Στην περίπτωση μερικού φορτίου προκαθορίζονται οι ροές μάζας στην είσοδο και η μεταβλητή  $kA$ , ως ελάχιστη περιγραφή της γεωμετρίας του εναλλάκτη θερμότητας.

Στις εξισώσεις του μοντέλου ισχύουν οι ακόλουθες απλοποιήσεις και υποθέσεις: τοπικό επίπεδο χώρισμα με σταθερό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, σταθερή ταχύτητα ροής, οι απώλειες θερμότητας αμελούνται, η ενθαλπία εξαρτάται γραμμικά από τη θερμοκρασία. Σε στατική θερμική αγωγιμότητα πραγματοποιείται η ροή θερμότητας πάντα σε ίδια επιφάνεια, σε γραμμική πτώση θερμοκρασίας πάνω από το διαχωριστικό τοίχωμα. Αυτά είναι ημιστατικά μηδενικών διαστάσεων μοντέλων, αυτά θα υιοθετούνται για τη μετάδοση θερμότητας, όπου λόγω χαμηλών διαφορών πίεσης και θερμοκρασίας μεταξύ των δύο μέσων δείχνουν και χαμηλή πάχος τοιχώματος του σωλήνα και για αυτό το λόγο έχουν και μικρή θερμική αποθήκευση. Παράδειγμα πάνω σε αυτό είναι οι συμπυκνωτές, προθερμαντήρες χαμηλής πίεσης και προθερμαντήρες αέρος, οι οποίοι συχνά χρησιμοποιούνται κάτω από τέτοιες συνθήκες. Αυτό σημαίνει, για την απλοποίηση θα μοντελοποιούνται τέτοιοι εναλλάκτες θερμότητας-μονάδες, χωρίς αναφορές σχετικά με τις χωρητικές διευρύνσεις και γεωμετρίες, όπως ο εναλλάκτης θερμότητας παράλληλης και αντίθετης ροής, όπου μόλις η τιμή  $kA$ , ως πληροφορία για τη γεωμετρία του εναλλάκτη θερμότητας. Μέσα σε αυτά τα όρια βρίσκεται ως εκ τούτου η ουσιώδης εργασία, της οποίας οι παράμετροι προσδιορίζονται από δεδομένες προδιαγραφές. Εάν υπάρχει σχετικά με το σχεδιασμό του εναλλάκτη θερμότητας με τιμή  $kA$ , μπορούν τότε να υπολογιστούν διαφορετικές εναλλακτικές λύσεις, με μεταβλητές συνθήκες από την ερμηνεία-σχεδιασμό. Αυτές οι απλοποιημένες υποθέσεις προσκρούουν στα όριά τους κατά την ερμηνεία από πολύπλοκους εναλλάκτες θερμότητας, των οποίων η λειτουργίες καθορίζονται και από τη γεωμετρία.

#### Εκτέλεση του μοντέλου στο ENBIPRO

Στο ENBIPRO εκτελούνται οι εξισώσεις του μοντέλου σε αριθμητική προσαρμοσμένη μορφή για υπολογισμό ή εκτίμηση.

Μοντέλο του εναλλάκτη θερμότητας αντίθετης ροής

- Σχέσεις διατήρησης μάζας:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4$$

- Ισοζύγιο ενέργειας λόγω της μετάδοσης θερμότητας:

$$\dot{Q} = \dot{m}_2 \cdot h_2 - \dot{m}_1 \cdot h_1$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_3 \cdot h_3 - \dot{m}_4 \cdot h_4$$

### Προδιαγραφές και οριακές συνθήκες

	$\dot{m}_1$	$p_1$	$h_1$	$\dot{m}_2$	$p_2$	$h_2$	$\dot{m}_3$	$p_3$	$h_3$	$\dot{m}_4$	$p_4$	$h_4$	$\dot{Q}_p$	$kA$
1	#	#	#			#	#	#	#					
2			#	#	#	#				#	#	#		
3				#	#	#			#	#	#		#	
4				#	#	#			#	#	#			#
5	#	#					#	#	#				#	#

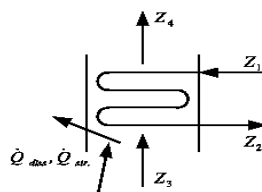
**Πίνακας 8.2:** Πιθανές και χρήσιμες περιπτώσεις με συνδυασμούς των σταθερών και μεταβλητών παραμέτρων

Χρήση:

Σε έναν αριθμό από επτά εξισώσεις είναι τυπικό, εκτός των δεκατεσσάρων πιθανόν μεταβλητών παραμέτρων, επτά μεταβλητές να τίθενται ως ελεύθερες και οι αντίστοιχες εναπομείναντες επτά ως σταθερές αρχικές παράμετροι. Στο *nbiGUI*, η υποστηριζόμενη γραφική επιφάνεια του χρήστη-εισαγωγή των παραμέτρων, καθώς και η έξοδος των αποτελεσμάτων μέσω του *ENBIPRO*, θα χαρακτηρίζονται οι σταθερές παράμετροι με το σύμβολο της δίσωσης, #. Επίσης πρέπει να οριοθετηθεί αυτή η επιλογή από ένα φυσικά χρήσιμο και δυνατό σχεδιαστικό στόχο.

### 8.2.3. Εναλλάκτης: Superheater (Υπερθερμαντής)

Περιγραφή



**Εικόνα 8.12:** Απεικόνιση εξαρτήματος υπερθερμαντή.

Ο εναλλάκτης θερμότητας έχει δύο εισόδους μάζας και δύο εξόδους. Οι  $Z_3$  και  $Z_4$  είναι η πλευρά του καυσαερίου, ενώ οι  $Z_1$  και  $Z_2$  είναι η είσοδος και έξοδος αντίστοιχα του υδρατμού. Ο εναλλάκτης θερμότητας συμμετέχει ως «σύνδεση» των αντίθετων ροής ρευμάτων.

Στον εναλλάκτη θερμότητας μπορούν να διακριθούν τρεις περιοχές προσομοίωσης. Στις παρενθέσεις βρίσκονται οι περιγραφές της κάθε περίπτωσης μίας θερμής περιοχής σε έναν ατμοποιητή:

- Το ρευστό που προσδίδει θερμότητα (καυσαέριο)
- Τα τοιχώματα που εναλλάσσουν θερμότητα (τοιχώματα αγωγού)
- Το ρευστό που απορροφά θερμότητα (νερό, ατμός ή μείγμα νερού-ατμού)

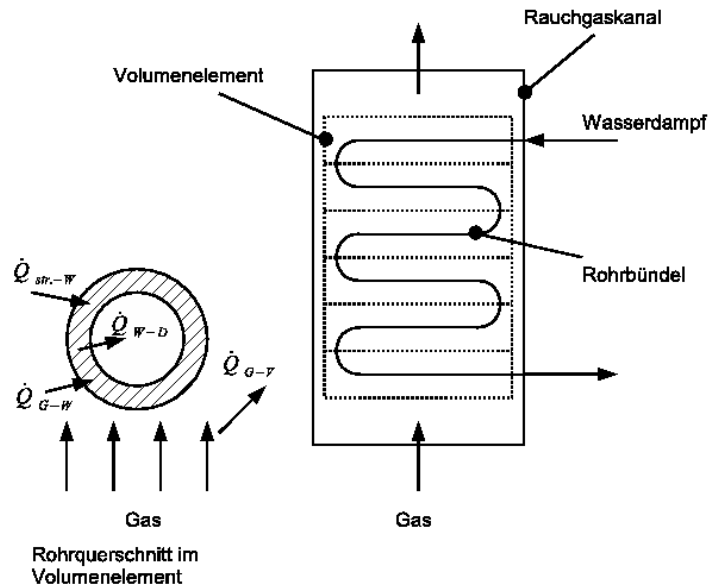
Στα στερεά σώματα σε κατάσταση ηρεμίας περιττεύει η χρήση των ισολογισμών παλμού και μάζας, καθώς για τα τοιχώματα ως απώλειες έχουμε μόνο στην ενέργεια.

Στα ασυμπίεστα ρευστά (η ροή αερίου μπορεί να θεωρηθεί ως ασυμπίεστη ροή μέχρι περίπου το ένα τρίτο της ταχύτητας του ήχου) διευκολύνεται ιδιαίτερα η ισορροπία της μάζας, καθώς δεν εφαρμόζεται η μακροπρόθεσμη μνήμη. Επίσης, κατά τον ισολογισμό ενέργειας μπορεί κάτω από ορισμένες συνθήκες να παραμεληθεί η βραχυπρόθεσμη μνήμη και η δυναμική ισορροπία κατά την εξίσωση απώλειας πίεσης να μειωθεί. Οι δονήσεις πίεσης ωστόσο, δεν θα είναι πλέον υπολογίσιμες. Αυτό σημαίνει ότι μία αποκλειστική ροή θα υπολογίζεται ως ψευδοστατική. Στον επόμενο πίνακα 10.8 απαριθμούνται για τις τρεις περιοχές ισολογισμού οι αντίστοιχες εξισώσεις που χρησιμοποιούνται.

Μια αναλυτική λύση αυτών των εξισώσεων ισορροπίας δεν είναι πλέον δυνατή. Οι ισορροπίες θα διακριτοποιούνται επομένως προς τη λύση, στην οποία αυτές θα ενσωματώνονται σχετικά με έναν πεπερασμένο όγκο και ένα χρονικό διάστημα. Κατά την θερμαινόμενη ροή με ατμό ή μίγμα νερού-ατμού είναι αρκετά δύσκολο να λυθούν οι εξισώσεις ισορροπίας μέσω μεγάλων αλλαγών πυκνότητας, ταχύτητας και πίεσης των υλικών εργασίας. Οι ισολογισμοί δυναμικού και μάζας είναι σχετικά με την πίεση και την ταχύτητα συνδυασμένοι μεταξύ τους και για αυτό το λόγο πρέπει πάντα να επιλύονται μαζί. Ωστε να βελτιωθεί η συμπεριφορά σύγκλισης, υπάρχει μία σειρά από διαφορετικές μεθόδους προς τη σύζευξη των ισοζυγίων δυναμικού και μάζας. Η μέθοδος σύζευξης που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία-εφαρμογή, ονομάζεται SIMPLER (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations Revised).

Μέσω της διακριτοποίησης των εξισώσεων ισορροπίας για τη ροή σωληνώσεων προκύπτει σε μονοδιάστατη ασταθή περίπτωση τρία τριδιαγώνια συστήματα εξισώσεων για την ταχύτητα, την πίεση και την ενθαλπία, όπου τα συστήματα εξισώσεων της πίεσης και πυκνότητας συνδυάζονται μεταξύ τους. Ως εκ τούτου θα χρησιμοποιηθεί μία επαναληπτική μέθοδος επίλυσης, στην οποία αυτά τα τρία συστήματα εξισώσεων θα λυθούν σε έναν βρόχο το ένα μετά το άλλο.

Με τη βοήθεια της μεθόδου πεπερασμένων όγκων είναι το μοντέλο των επιφανειών θέρμανσης προς επίλυση. Η κατασκευή μίας διακριτοποιημένης επιφάνειας θέρμανσης σε αντίθετη ροή παρουσιάζεται στην εικόνα 10.10. Οι πεπερασμένοι όγκοι, όπως περιγράφεται και παρακάτω, ενσωματώνονται μέσα στο μαθηματικό μοντέλο.



Εικόνα 8.13: Μοντέλο μιας διακριτοποιημένης θερμαινόμενης επιφάνειας

Ένα στοιχείο όγκου περιλαμβάνει, εν συνεχεία πάντα έναν οριζόντιο αγωγό μέχρι τον συλλέκτη. Η πλευρά του αερίου και η πλευρά του μίγματος ατμού-νερού συνδέονται με τη ροή θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων των αγωγών. Στην πλευρά του αερίου διαχωρίζεται μεταξύ των ρών θερμότητας των καυσαερίων στα τοιχώματα του αγωγού (σύνολο από μεταγωγή και θερμική ακτινοβολία), των απωλειών θερμικής ροής του αερίου και των ακτινοβολιών θερμικής ροής και ενός προαιρετικού χώρου ακτινοβολιών ενός θαλάμου καύσης στα τοιχώματα. Από τα τοιχώματα του αγωγού περνάει η ροή θερμότητας στο υλικό εργασίας. Κάποια θερμική αγωγιμότητα στα τοιχώματα στη διεύθυνση της ροής θα θεωρείται αμελητέα.

Στην εικόνα 8.13 παρουσιάζεται το κλιμακούμενο υπολογιστικό πλέγμα. Τα μεγέθη πίεσης και ενθαλπίας είναι στο μέσο κάθε στοιχείου όγκου και η ταχύτητα τοποθετείται για λόγους σταθερότητας εκτός των ορίων του στοιχείου όγκου. Εάν απαιτούνται άλλες μεταβλητές κατάστασης στα όρια μεταξύ των μεμονωμένων όγκων ελέγχου, τότε παρεμβάλλονται αυτά γραμμικά. Τα στοιχεία όγκου των τοιχωμάτων των αγωγών και των καυσαερίων βρίσκονται παράλληλα με τα στοιχεία όγκου του υλικού εργασίας. Οι μεταβλητές κατάστασης των τοιχωμάτων του αγωγού και των καυσαερίων τοποθετούνται μεταξύ των δικών τους στοιχείων όγκου.

## Υλικό εργασίας: Νερό-ατμός

Το υλικό εργασίας είναι στη γεννήτρια ατμού υδρατμός (νερό, ατμός, διφασικό). Δίνεται παρακάτω η πορεία του αλγόριθμου SIMPLER, με χρησιμοποιούμενο υλικό εργασίας τον υδρατμό.

1. Ορισμός του πλέγματος (1-διάστατο, ίσων διαστάσεων) και του χρονικού βήματος.
2. Ορισμός των οριακών συνθηκών:

Κατά κανόνα πρέπει να δίνονται δύο διαφορετικά είδη οριακών συνθηκών ανεξάρτητα από την εφαρμογή.

- Η πίεση θα προκαθορίζεται στην είσοδο και την έξοδο ως συνάρτηση του χρόνου. Αυτή η οριακή συνθήκη είναι συνηθισμένη για συστήματα με γνώμονα τη σοβαρότητα (γεννήτρια ατμού φυσικής κυκλοφορίας).
- Σε συστήματα, τα οποία οδηγούνται από μία αντλία, είναι κατά κανόνα προκαθορισμένα η ενθαλπία και η ταχύτητα στην είσοδο και η πίεση στην έξοδο συναρτήσει του χρόνου.

3. Ορισμός ορίων πηγής και εξόδου.

Δεν υπάρχει στο μοντέλο κανένα όριο πηγής ή εξόδου για την ισορροπία της μάζας.

Στην ισορροπία δυναμικού διαφοροποιείται μεταξύ σταθερών και γραμμικών ορίων πηγής/εξόδου. «Σταθερό» ή «γραμμικό» αναφέρεται εδώ στην ανεξαρτησία από την ταχύτητα των στοιχείων όγκων. Ο σταθερός όρος περιγράφει τη διαφορά δυναμικού ως συνέπεια μιας αλλαγής ύψους και ο γραμμικός όρος τη διαφορά δυναμικού λόγω των τριβών στους αγωγούς.

Οι όροι πηγής/εξόδου στο ισοζύγιο ενέργειας είναι ροές θερμότητας, οι οποίες ανταλλάσσονται μεταξύ των αγωγών και των ρευστών.

4. Υποθέτουμε την κατάσταση του υλικού εργασίας σε όλα τα σημεία του πλέγματος. Σε αυτό ανήκει και το εκτιμώμενο πεδίο πίεσης, το εκτιμώμενο πεδίο ταχύτητας και τα εκτιμώμενα πεδία ενθαλπίας. Σε αυτά πρέπει επίσης να δοθεί μία εκτιμώμενη τιμή για την θερμοκρασία των τοιχωμάτων. Όταν είναι δυνατόν, θα γίνει προσπάθεια, αυτές οι εκτιμώμενες τιμές με τη βοήθεια τη μεθόδου Predictor να προσδιοριστούν ακριβώς.
5. Θα υπολογισθούν εξαρτώμενες μεταβλητές κατάστασης σε όλα τα σημεία του πλέγματος, όπως για παράδειγμα το πεδίο πυκνότητας και της θερμοκρασίας.

$$\rho_i = f(h_i, p_i)$$
$$T_i = f(h_i, p_i)$$

Σε πρώτη προσέγγιση θα χρησιμοποιηθούν για το συντελεστή μεταφοράς θερμότητας απλοποιημένα μοντέλα. Αυτή η υπόθεση μπορεί να γίνει, γιατί ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το αέριο προς τα τοιχώματα είναι σχετικά μικρή απέναντι στο συντελεστή μεταφοράς θερμότητας από τα τοιχώματα προς το ρευστό και ως εκ τούτου κυριαρχεί η μεταφορά θερμότητας. Η υπόθεση σταθεροποιεί τον υπολογισμό και έχει ένα απλοποιημένο line-up της συζυγούς μεθόδους ως συνέπεια.

6. Με τη βοήθεια του εκτιμώμενου πεδίου ταχύτητας καθορίζονται οι συντελεστές των εξισώσεων δυναμικού.

Σημείωση: το πεδίο πίεσης πρέπει να εκτιμηθεί, ώστε να πάρουμε αποτελέσματα για το πεδίο της πυκνότητας, το οποίο χρειάζεται για τη στατική αλλαγή της πίεσης.

7. Με τους συντελεστές της ισορροπίας δυναμικού υπολογίζεται το πεδίο των «ψευδοταχυτήτων».
8. Το πεδίο πίεσης μπορεί να προσδιοριστεί με το πεδίο «ψευδοταχυτήτων». Όμως, πρέπει εν συνεχεία να υπολογιστούν και ορισμένοι συντελεστές.

Όπως αναφέρθηκε, τα όρια ταχυτήτων, για λόγους σταθερότητας, βρίσκονται

πάνω στα όρια του όγκου. Υπολογίζονται λοιπόν και οι ταχύτητες  $\frac{W_3}{2}$  έως  $\frac{W}{n-2}$ . Αυτό σημαίνει πως ο αριθμός των ταχυτήτων στο πεδίο είναι κατά ένα μικρότερος από τον αριθμό της πίεσης και της ενθαλπίας.

9. Με το πεδίο πίεσης μπορεί να υπολογιστεί ένα βελτιωμένο πεδίο ταχυτήτων. Για αυτό πρέπει μετέπειτα οι συντελεστές, οι οποίοι είναι απαραίτητοι, να προσδιορίζονται. Είναι αξιοσημείωτο, ότι το πεδίο πυκνότητας πρέπει να οριστεί εκ νέου, καθώς έχει μεταβληθεί το πεδίο πίεσης.

Εδώ ισχύει επίσης, ότι ο αριθμός των ταχυτήτων στο πεδίο είναι κατά ένα μικρότερος από τον αριθμό των πιέσεων και ενθαλιών. Το τριδιαγώνιο σύστημα εξισώσεων του ισολογισμού δυναμικού μπορεί να προχωρήσει σε επίλυση.

10. Με το βελτιωμένο πεδίο ταχυτήτων μπορεί να υπολογιστεί το διορθωμένο πεδίο πίεσης, με χρήση ορισμένων συντελεστών.
11. Το διορθωμένο πεδίο πίεσης θα χρησιμοποιηθεί, ώστε το πεδίο ταχυτήτων να υπολογιστεί.
12. Υπό προϋποθέσεις μπορεί η σύγκλιση της μεθόδου να επιταχυνθεί, καθώς οι ισορροπίες δυναμικού και μάζας σε μεγάλο βαθμό συγκλίνουν, προτού συμπεριληφθεί από το ενεργειακό ισοζύγιο. Στη συνέχεια μπορούμε να προχωρήσουμε μέχρι να φτάσουμε στην επιθυμητή σύγκλιση με το Σημείο 5.
13. Υπολογίζονται τα πεδία θερμοκρασίας και όλα τα μεγέθη μεταφοράς, τα οποία χρειάζονται για τη μεταφορά ενέργειας.



14. Το ισοζύγιο ενέργειας θα επιλυθεί και εν συνεχεία υπολογίζονται όλοι οι συντελεστές.
15. Όλα τα υπόλοιπα μεγέθη, όπως πυκνότητα και ιξώδες μπορούν να υπολογιστούν εκ νέου.
16. Έλεγχος σύγκλισης.

Το βέλτιστο του ισολογισμού μάζας υπολογίζεται σχετικά εύκολα με τη βοήθεια της απώλειας μάζας  $\bar{b}_{mi}$ . Απαιτείται κατά κανόνα, ότι η απώλεια μάζας θα είναι μικρότερη από μία κλιμακωτή είσοδο μάζας.

$$\sum_{i=1}^{\bar{n}} |\bar{b}_{mi}| < \dot{m}_{ein} \varepsilon_{abb}$$

Όταν η απώλεια μάζας υπερβαίνει τις απαιτούμενες ανοχές, δεν είναι απαραίτητο οι ισολογισμοί δυναμικού και ενέργειας να λυθεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Ως εκ τούτου, υπολογίζονται συμπληρωματικά υπολείμματα για τους ισολογισμούς δυναμικού και ενέργειας. Αυτό γίνεται με βάση μιας μήτρας συντελεστή  $A^\mu$  και του φορέα της δεξιάς πλευράς  $\bar{b}$  του σταδίου επανάληψης  $\mu$ , όπως οι φορείς επίλυσης  $h^{\mu-1}$  και  $w^{\mu-1}$  των προπορευόμενων σταδίων επανάληψης  $\mu-1$ .

17. Κατά την εκκίνηση ενός νέου χρονικού βήματος εκτιμώνται τα μεγέθη ταχύτητας, πίεσης και ενθαλπίας με τη βοήθεια ενός πολυωνύμου Predictor. Μετά συνεχίζει ο αλγόριθμος με πέντε βήματα. Οι βρόχοι θα προχωράνε μέχρις ότου φτάσουμε στο τέλος του χρόνου προσομοίωσης.

### Χαλάρωση

Το γεγονός ότι κατά την FVM βασιζόμαστε σε μία αριθμητική μέθοδο, μας αποδεικνύει, ότι για μία καλύτερη συμπεριφορά σύγκλισης πρέπει να χρησιμοποιηθεί μία υπό-χαλάρωση των μεγεθών πίεσης, ταχύτητας, ενθαλπίας και πυκνότητας. Εναλλακτικά μπορούν να έχουν μία χαλάρωση προς τα κάτω οι ροές μεταξύ τοιχωμάτων και μέσου και ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας  $\alpha$ . Συχνά, χωρίς τη χαλάρωση δεν επιτυγχάνεται καμία σύγκλιση. Οι παράγοντες χαλάρωσης  $R_{el}$  προσαρμόζονται κατά κανόνα ανεξάρτητα από τα μεγέθη που βρίσκονται ήδη σε αυτήν την κατάσταση και τα συγκεκριμένα προβλήματα. Οι παράγοντες χαλάρωσης κυμαίνονται μεταξύ 0,2 και 0,1.

### Χρονικές και τοπικές οριακές συνθήκες

Οι προαναφερθέντες κανόνες υπολογισμού για τους συντελεστές ισχύουν για το μέσο όγκο των στοιχείων. Για το στοιχείο όγκου στα άκρα του πρέπει οι πρόοδοι

υπολογισμού να προσαρμοστούν έτσι, ώστε στα τοπικά άκρα κανένα δυτικό ή ανατολικό στοιχείο όγκου παραπάνω να βρίσκεται εκεί καθώς και να ικανοποιούνται οι οριακές συνθήκες. Από αυτές θα χρησιμοποιηθούν το μηδενικό, πρώτο και τελευταίο στοιχείο όγκου μόνο για την εγγραφή των οριακών συνθηκών και δεν θα αντιπροσωπεύουν πλέον την πραγματική έννοια. Αυτά τα στοιχεία όγκου δεν έχουν κατά κανόνα καμία αύξηση όγκου.

Ο προκαθορισμός των χρονικών ή τοπικών οριακών συνθηκών είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει, ότι ισχύει:

$$a_{ei}^0 = b_{ei}^0 = b_{mi}^0 = a_{hpi}^0 = b_{hi}^0 = 0$$

Και αυτό ισχύει εξίσου για τους συντελεστές για τον υπολογισμό της ψευδοταχύτητας και του πεδίου πίεσης.

Δίνονται για το σύστημα φυσικής και εξαναγκασμένης ροής οι κανόνες υπολογισμού των συντελεστών στα άκρα, για το λόγο ότι όλες οι συναλλαγές θερμότητας στο σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να μοντελοποιηθούν. Έτσι παρουσιάζονται οι συντελεστές, οι οποίοι με τη γενική μέθοδο διαφοροποιήθηκαν.

#### 1. Φυσική ροή

Οριακές συνθήκες: η πίεση και στα δύο άκρα του αγωγού να δίνεται.

Στο ισοζύγιο ορμής και κατά τον υπολογισμό της ψευδοταχύτητας πρέπει στο πρώτο στοιχείο όγκου ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας να ισούται με μηδέν. Οι συντελεστές είναι μηδενικοί, καθώς οι αντίστοιχες ταχύτητες βρίσκονται εκτός του αγωγού και έτσι δεν είναι μέρος του συστήματος εξισώσεων.

Κατά τον υπολογισμό του πεδίου πίεσης θα δίνονται ως αρχικά και τελικά στοιχεία όγκου οι πιέσεις ως λειτουργίες του χρόνου των οριακών συνθηκών.

#### 2. Εξαναγκασμένη ροή

Οριακές συνθήκες: η ταχύτητα στην είσοδο και η πίεση στην έξοδο να δίνονται.

Οι οριακές συνθήκες για την πίεση στην έξοδο είναι πανομοιότυπες με τις οριακές συνθήκες για την πίεση στα δύο άκρα κατά την φυσική ροή. Η δεύτερη οριακή συνθήκη είναι η ταχύτητα στην είσοδο. Για το σκοπό αυτό, θέτουμε πριν την είσοδο ένα φανταστικό στοιχείο όγκου με τον αριθμό μηδέν, ώστε να αποθηκευτεί η πληροφορία της ταχύτητας συναρτήσει του χρόνου στα όρια μεταξύ του μηδενικού και του πρώτου στοιχείου όγκου. Η επιρροή των ανατολικών κυττάρων εξαλείφονται.

Ο προκαθορισμός της ενθαλπίας στον υπολογισμό ενέργειας είναι ανεξάρτητος από τις οριακές συνθήκες πίεσης και ταχύτητας στα άκρα του αγωγού. Παρόλα αυτά είναι ζωτικής σημασίας η ρύθμιση της κατεύθυνσης ροής. Η ενθαλπία θα δίνεται ως συνάρτηση του χρόνου μόνο στα άκρα του αγωγού, όπου εισέρχεται η ροή του υλικού. Αφού η

κατεύθυνση ροής δεν είναι γνωστή εκ των προτέρων, οι οριακές συνθήκες διαμορφώνονται έτσι, ώστε και οι δύο κατευθύνσεις ροής να εξίσου δυνατές.

### Καυσαέριο

Το καυσαέριο, των μεγεθών εκείνων που περιγράφονται με το δείκτη  $G_a$ , θα υπολογίζονται ημιστατικά. Για το καυσαέριο θα υπολογίζονται μόνο ισολογισμοί ενέργειας και μάζας. Η πίεση θα θεωρείται σταθερή.

Αναλόγως, εάν αποτελείται από εναλλάκτη θερμότητας ίδιας ή αντίθετης ροής, θα δίνεται η ροή μάζας με την ενθαλπία στο πρώτο και τελευταίο στοιχείο όγκου. Δεν θα υπολογίζεται καμία απώλεια στο πρώτο και τελευταίο στοιχείο όγκου.

### Τοιχώματα αγωγού

Για τα τοιχώματα του αγωγού θα επιλυθεί ένα ασταθές ισοζύγιο ενέργειας. Τα τοιχώματα του αγωγού θεωρούνται σε αυτήν την περίπτωση ως πολύ λεπτά και κατά τη διακριτοποίηση δεν θα επιλυθεί περαιτέρω ως κέλυφος αγωγού. Η θερμότητα μεταφέρεται μόνο ακτινικά μέσα στον αγωγό. Θα διαφοροποιείται μεταξύ της σταθερής και ασταθούς περίπτωσης. Ο δείκτης  $G_a$  χαρακτηρίζει μεγέθη κατάστασης καυσαερίου,  $W_a$  μεγέθη κατάστασης του τοιχώματος και  $D$  μεγέθη κατάστασης του νερού-ατμού.

### Εξισώσεις μετάδοσης θερμότητας

Τα καυσαέρια και η ροή νερού-ατμού συνδέονται μεταξύ τους μέσω του τοιχώματος του σωλήνα. Το καυσαέριο μεταφέρει θερμότητα στα τοιχώματα και τα τοιχώματα τη μεταδίδουν εν συνεχεία στο μείγμα νερού-ατμού.

Εξίσωση μετάδοσης θερμότητας από τα τοιχώματα στο νερό-ατμό:

$$\dot{Q}_{D,i} = \alpha_D A_{D,i} (T_{W_a,i} - T_{D,i}(h, p))$$

Εξίσωση μετάδοσης θερμότητας από το καυσαέριο στα τοιχώματα:

$$\dot{Q}_{G_a,i} = \alpha_{G_a} A_{G_a,i} (T_{G_a,i} - T_{W_a,i})$$

Η μετάδοση θερμότητας διαιρείται σε περισσότερα στοιχεία όγκου. Τα μήκη  $x$  προσδίδουν τα μήκη στοιχείων. Το πρώτο και το τελευταίο στοιχείο δεν έχουν κανένα μήκος. Αυτά θα πρέπει να βρίσκονται έτσι, ώστε να υπολογιστεί η ταχύτητα πάνω στο κλιμακωτό πλέγμα και οι πληροφορίες τους να βρίσκονται στην άκρη. Οι τιμές πίεσης και θερμοκρασίας ανήκουν στο αντίστοιχο υλικό.

Υπόλοιπες παράμετροι, οι οποίες μπορούν να καθοριστούν, είναι παράμετροι της γεωμετρίας, όπως για παράδειγμα πτερυγωτοί σωλήνες, εγκάρσια κατανομή, διαμήκης διαίρεση και το εμβαδόν διατομής του αγωγού των καυσαερίων. Για τη μετάδοση θερμότητας μπορούν να προσαρμοστούν οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας  $\alpha_i, \alpha_a$ . Αυτοί όμως δεν μπορούν να μεταβληθούν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Η αποθηκευμένη μάζα δίνεται από τη γεωμετρική παράμετρο, η οποία είναι ανάλογη της ποσότητας της ενέργειας.

Η περιγραφή των εξισώσεων χωρίζεται στα ισοζύγια ενέργειας και μάζας, υπολογισμός των λογαριθμικών θερμοκρασιών και των απωλειών της πίεσης.

Μία δύναμη του προγράμματος βρίσκεται στην προσαρμογή των παραγόντων χαλάρωσης, οι οποίοι σε κάθε μετάδοση θερμότητας μπορούν να προσαρμόζονται ξεχωριστά, χωρίς βέβαια να μεταβάλλονται οι παράγοντες χαλάρωσης. Μέσω αυτού υπολογίζονται και τα υπόλοιπα στοιχεία με ένα υψηλότερο βαθμό χαλάρωσης, από αυτόν του εναλλάκτη θερμότητας. Το γεγονός αυτό είναι επίσης σημαντικό, καθώς στους εναλλάκτες θερμότητας συμβαίνουν οι μεγαλύτερες διαβαθμίσεις. Το πρόγραμμα υπολογίζει σε προβληματικές θέσεις με μικρά βηματικά μεγέθη στα υπολείμματα και αντίστροφα. Έτσι, εξοικονομείται χρόνος υπολογισμού στη συμπεριφορά της προσαρμογής των γενικότερων παραγόντων χαλάρωσης.

#### *Ρυθμίσεις προσαρμογής για το μοντέλο*

Παρακάτω ακολουθούν κάποιες οδηγίες, σχετικά με το πώς η μετάδοση θερμότητας μπορεί να συγκλίνει πιο εύκολα.

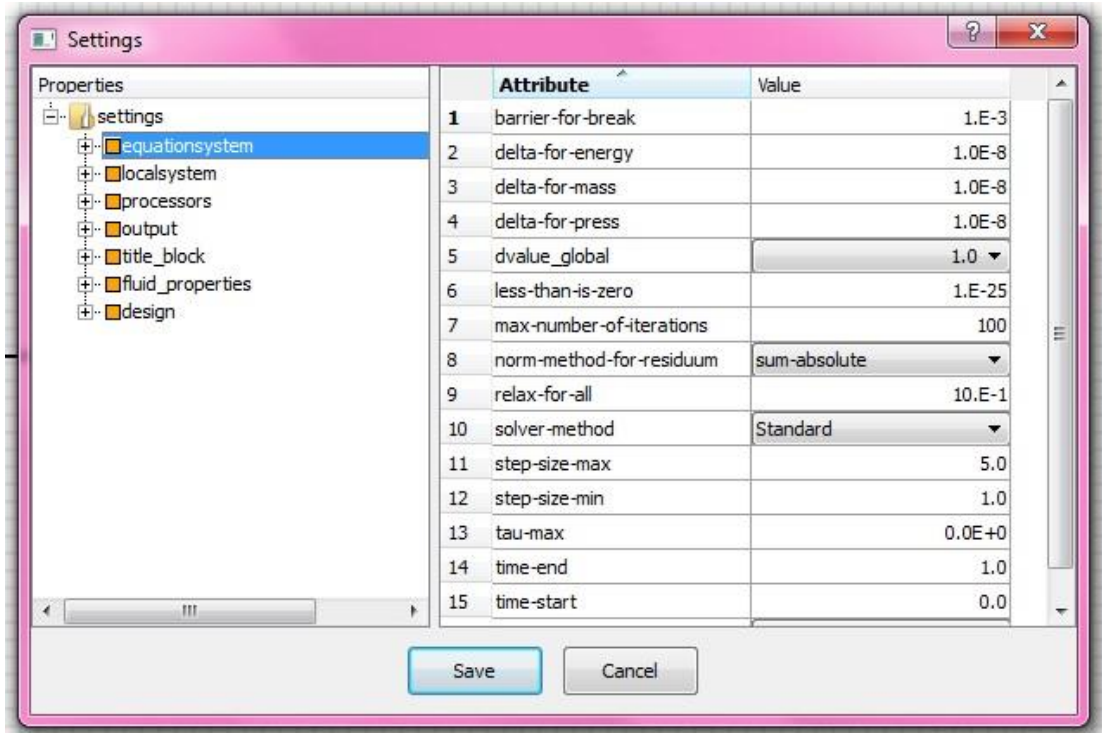
- 1) Όταν οι τιμές εκκίνησης βρίσκονται σε αρκετή απόσταση από τις τιμές, που έχουμε ως στόχο (π.χ. η πλευρά του νερού-ατμού βρίσκεται σε υγρή μορφή, πρέπει όμως να προσομοιώσουμε έναν υπερθερμαντήρα), τότε πρώτα από όλα πρέπει να αλλάξουμε το *Barrier for Brake* στο  $10^{-2}$ . (Εικόνα 8.14)

*(Settings -> Document settings -> Equation system)*

- 2) Μικρή επιλογή του  $\alpha_{ausser}$ .
- 3) Βάζουμε χαμηλά τη μάζα ροής του νερού-ατμού.
- 4) Προσέχουμε τους παράγοντες χαλάρωσης.
- 5) Θέτουμε την ενθαλπία και τη θερμοκρασία της κατάστασης που έχουμε ως στόχο.
- 6) Ανεβάζουμε σταδιακά τις μάζες ροών.
- 7) Αυξάνουμε το  $\alpha_{ausser}$  μέχρις ότου να ανταποκρίνεται η ροή θερμότητας στην επιθυμητή.

8) Αυξάνουμε το *Barrier for Brake*.

Εάν κάποιο σύστημα για να δημιουργηθεί, αποτελείται από περισσότερους από έναν εναλλάκτες θερμότητας, τότε πρέπει να ακολουθηθούν τα παραπάνω βήματα, όπως αναφέρθηκαν. Η ένωση μεταξύ δύο εναλλακτών θερμότητας είναι χρήσιμη να γίνει, όταν και τα δύο στοιχεία συγκλίνουν επαρκώς.



Εικόνα 8.14: Απεικόνιση του παραθύρου των ρυθμίσεων.

*Προβλήματα κατά τις ρυθμίσεις προσαρμογής*

1. Εμφανίζεται μήνυμα λάθους, το οποίο συμβουλεύει σχετικά με την κακή επιλογή των παραγόντων χαλάρωσης. Στις πρώτες γραμμές απαριθμούνται τα μεμονωμένα υπολείμματα. Μειώνουμε την τιμή του παράγοντα χαλάρωσης που έχει το υψηλότερο υπόλειμμα.

Tau: 1 Counter: 1001 Residuuum (Impuls): 1.07647e-11

Residuuum (Enthalpie): 26.3203 Residuuum (Masse): 5.69544e-14

Delta p [Pa] = 848254 848254 848243 808242 767963 727413

686571 645400 603852 561906 519656 477216 434599 391827

u [m/s] 0..n-1 = 18.8114 18.8235 18.886 18.9894 19.096

19.2071 19.3271 19.459 19.5974 19.7151 19.8 19.883 19.9636  
u [m/s] 0..n = 7.37161 7.37161 7.37161 7.37228 7.37294 7.37361  
7.37427 7.37493 7.37559 7.37625 7.3769 7.37756 7.37821 7.37887  
Rho [kg/m<sup>3</sup>] = 33.0828 33.0828 33.0652 32.9217 32.7751 32.6278  
32.4787 32.3275 32.1757 32.0252 31.8826 31.7341 31.5841 31.4166

II. Σημείωση την κονσόλα προειδοποιήσεων:

Anzahl der Iterationsschritte im SimpleR: 101

Enthalpieresiduum Inst Wue Simple.cc z 1860 ID ID1539235367

Όταν οι παράγοντες χαλάρωσης έχουν προσαρμοστεί, δεν πρέπει να αυξηθεί αισθητά ο αριθμός των βημάτων επανάληψης στο *Simple*. Αυτό το κριτήριο είναι προς την κατανόηση μιας ρύθμισης της ποιότητας.

*Υπολογισμός σε μερικό φορτίο*

Στο στοιχείο του υπερθερμαντή (*Superheater*) έχουν εναποτεθεί επίσης σχέσεις μερικού φορτίου. Σε περίπτωση που θέλουμε να κάνουμε ημιστακούς υπολογισμού μπορούμε επί της επιφάνειας, μέσω *part\_load=on/off* να τις ενεργοποιήσουμε και αντίστοιχα να τις απενεργοποιήσουμε.

Όταν είναι ενεργοποιημένες αυτές οι σχέσεις μεταβάλλεται η μετάδοση θερμότητας από καυσαέριο σε νερό ή σε νερό-ατμό ανάλογα με την εκάστοτε ροή μάζας. Πριν από αυτό όμως, πρέπει να έχουν δοθεί οι ροές μάζας του νερού (*mp0\_inside*) και του καυσαερίου (*mp0\_outside*) στο χρονικό σημείο  $t=0$ .

Κατά κανόνα γίνεται η αλλαγή των σχέσεων μερικού φορτίου χωρίς πρόβλημα. Ακόμα και εδώ όμως πρέπει να προσέξουμε πάνω σε αυτό, ότι στην περίπτωση, όπου σε ένα σύστημα έχουμε περισσότερους από έναν υπερθερμαντές, ενεργοποιούμε τις σχέσεις αρχικά στον έναν και αφού αυτός συγκλίνει χωρίς κάποιο πρόβλημα τότε, και μόνον τότε, τις ενεργοποιούμε και στον επόμενο. Πιθανώς να είναι απαραίτητη και μία προσαρμογή των παραγόντων χαλάρωσης.

*Υπολογισμός των παραμέτρων Smallest\_area\_profile*

Η παράμετρος αυτή, *Smallest\_area\_profile*, είναι η δυνατή μέση επιφάνεια της καπνοδόχου. Με αυτό εννοείται επίσης η επιφάνεια, η οποία δεν παρεμποδίζεται από τους αγωγούς του εναλλάκτη θερμότητας και μέσα από αυτήν ρέει το καυσαέριο.

Για τον υπολογισμό αυτών των μεγεθών επισημαίνονται τα ακόλουθα γεωμετρικά δεδομένα του εναλλάκτη θερμότητας και της καπνοδόχου. Εδώ αναφέρεται κυρίως σε εναλλάκτες θερμότητας με σωλήνες με δέσμες πτερυγίων. Φυσικά, μπορούν αυτοί οι υπολογισμοί να ανταποκρίνονται και σε εναλλάκτες θερμότητας με λείους αγωγούς.

- Εξωτερική διάμετρος των αγωγών [ $d_a$ ]
- Αριθμός παράλληλων αγωγών στην καπνοδόχο [ $z_p$ ]
- Ύψος αγωγών [ $h_f$ ]
- Πλάτος αγωγών [ $d_f$ ]
- Αγωγός ανά μέτρο [ $RPM$ ]
- Πλάτος της καπνοδόχου [ $b$ ]
- Μήκος των αγωγών στην καπνοδόχο [ $l$ ]

Έτσι, η δυνατή μέση επιφάνεια  $A_{sap}$ , μετρούμενη σε τετραγωνικά μέτρα, δίνει σαν αποτέλεσμα:

$$A_{sap} = (l \cdot b) - l \cdot z_p \cdot [d_a + (2 \cdot RPM \cdot h_f \cdot d_f)]$$

Προσφέρεται ο υπολογισμός με τη χρήση με τη βοήθεια του ακόλουθου πίνακα.

#### Berechnung "Smallest\_area\_profile"

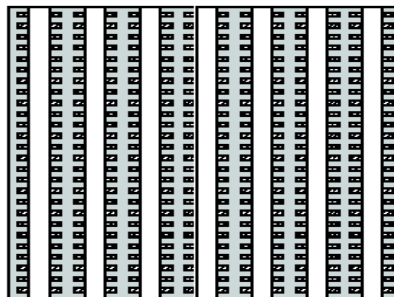
Berechnung erfolgt nur für eine Rohrlage !!!

Außendurchmesser vom Rohr	0,0337 [m]
Anzahl paralleler Röhre pro Rohrlage	43 [-]
Rippen pro Meter (RPM)	270 [-]
Rippenhöhe	0,019 [m]
Rippendicke	0,0008 [m]
Rohrlänge	13,26 [m]
Rauchgaskanalbreite	4,08 [m]

gesamte Querschnittsfläche	54,1008 [m <sup>2</sup> ]
verspernte Querschnittsfläche	23,895 [m <sup>2</sup> ]
lichte Querschnittsfläche	30,2057 [m <sup>2</sup> ]
Eingabe in ENBIPRO pro Rohr	0,70246 [m <sup>2</sup> ]

#### Berechnete Größen

Wandstärke	0,0032 [m]
Innenradius	0,01365 [m]
Außendurchmesser der Rippen	0,0717 [m]



Rippenfläche    verspernte Querschnittsfläche  
 Rohrläche  
 lichte Querschnittsfläche

Πίνακας 8.3

### Επαλήθευση μοντέλου

Κατά τη χρήση του στοιχείου αυτού είναι βασική η χρήση της εξίσωσης:

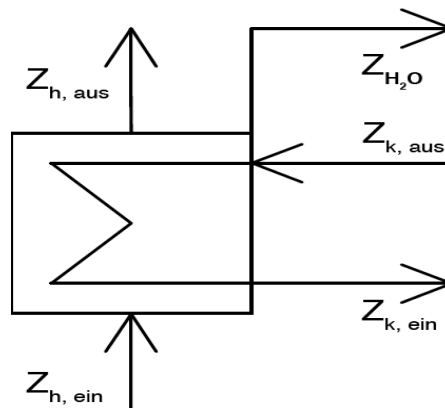
$$\Delta \vartheta_{\log} = \frac{|T_3 - T_1| - |T_4 - T_2|}{\ln \left| \frac{T_3 - T_1}{T_4 - T_2} \right|}$$

#### 8.2.4. RG-Kondensator

##### Περιγραφή

Κατά την ψύξη των μειγμάτων αερίου υπάρχει η δυνατότητα, το σημείο δρόσου να πέσει και να έχουμε συμπυκνωμένο υγρό. Για να το θεωρήσουμε αυτό, θα τροποποιηθεί στη βάση ενός μοντέλου, ενός συμπυκνωτή καυσαερίου, το οποίο είναι διαθέσιμο στο *ENVIPro* ως εναλλάκτης θερμότητας αντίθετης ροής.

Θα προστεθεί στο στοιχείο του εναλλάκτη θερμότητας αντίθετης ροής, μία ακόμη έξοδος υλικού, που θα αντιστοιχεί στην έξοδο των συμπυκνωμάτων. Με αυτό θα πρέπει να διατίθενται 5 ακόμα εξισώσεις, ώστε να ορίζονται οι 5 καινούριες άγνωστες μεταβλητές ( $\dot{m}_{H_2O}, p_{H_2O}, t_{H_2O}, h_{H_2O}, x_{H_2O}$ ). Ο συμπυκνωτής καυσαερίων απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα 8.15.



**Εικόνα 8.15:** Βασικό σχεδιάγραμμα εναλλάκτη θερμότητας με μετάδοση συμπυκνωμένης υγρασίας.

Στα ακόλουθα θα παρουσιαστούν μόνο οι τροποποιήσεις πάνω στο μοντέλο του εναλλάκτη θερμότητας αντιρροής.



### *Μαθηματικό μοντέλο του στοιχείου*

Οι απαιτούμενες συνθήκες για τη συμπύκνωση της υγρασίας από κάποιο αέριο είναι, ότι η μερική πίεση του νερού-ατμού που βρίσκεται στο εισερχόμενο μέσο είναι μεγαλύτερη από την πίεση κορεσμένου ατμού στη συγκεκριμένη θερμοκρασία.

Η απομένουσα περιεκτικότητα σε υγρασία του εξερχόμενου, ζεστού μέσου καθορίζεται κατά τη συμπύκνωση από τη συμπεριφορά της πίεσης του κορεσμένου ατμού στην μερική πίεση του νερού στην κατάσταση εξόδου.

Η θερμοκρασία, όπως και η πίεση του εξωσυμπυκνόμενου νερού είναι ίσο με τη θερμοκρασία της εξόδου και αντίστοιχα και η πίεση με την πίεση της εξόδου του ψυχρού μέσου. Η περιεκτικότητα του ατμού του συμπυκνωμένου νερού-ατμού είναι ίση με μηδέν.

Η ενθαλπία του εξερχόμενου νερού θα ερωτηθεί από το *RefProp-Datenbank*. Όστε να ικανοποιηθούν τα ισοζύγια ενέργειας και μάζας, πρέπει να επεκταθούν οι μέχρι τώρα εξισώσεις του εναλλάκτη θερμότητας αντίθετης ροής.

Το ισοζύγιο ενέργειας του ζεστού υγρού πρέπει να επεκταθεί και στο προς συμπύκνωση νερό. Επιπλέον αποδίδει τη νερό, κατά την υγροποίηση, θερμότητα συμπύκνωσης. Αυτή η θερμότητα πρέπει δίπλα από τη μεταβαλλόμενη θερμότητα πάνω από τη ροή θερμότητας να μεταδοθεί στο κρύο υγρό.

Η απώλεια της πίεσης θα δίνεται ως σταθερή μεταβλητή σε MPa στον εναλλάκτη θερμότητας αντίθετης ροής. Εδώ, θα θεωρείται η απώλεια πίεσης ως σχετική μεταβλητή εξαρτημένη από την τιμή της πίεσης στην είσοδο.

Σε περίπτωση, όπου το ζεστό μέσο δεν περιλαμβάνει νερό ή δεν λαμβάνει χώρα κάποια συμπύκνωση, τότε οι παράμετροι της εξόδου του συμπυκνωτή θέτονται ίσοι με το μηδέν (0).

### *Εφαρμογή του μοντέλου στο ENBIPRO*

Στο *ENBIPRO* εφαρμόζονται οι εξισώσεις του μοντέλου σε αριθμητική προσαρμοσμένη μορφή προς υπολογισμό, καθώς και αξιολόγηση.

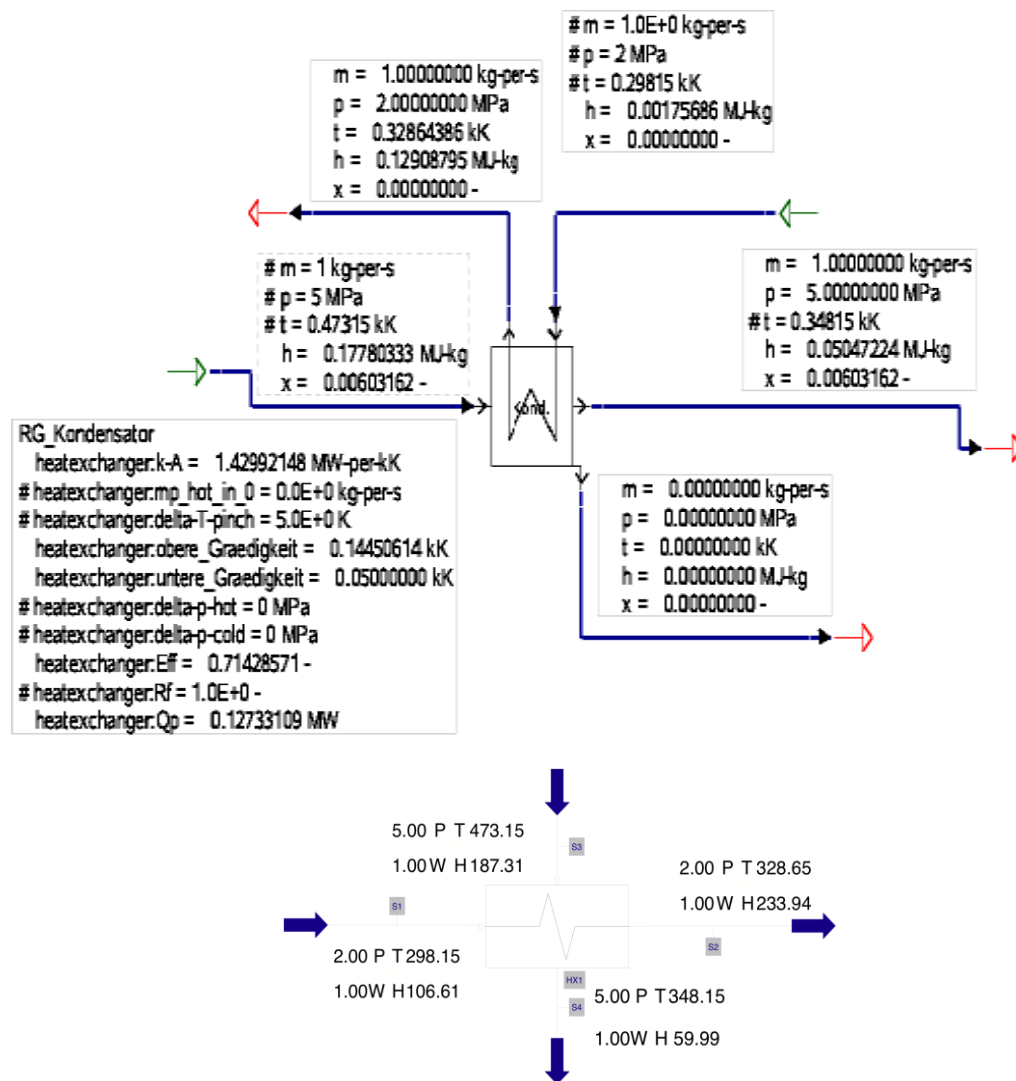
Στην περίπτωση του συμπυκνωτή καυσαερίων πρέπει να επισημάνουμε, πως αντί μίας εισόδου, καθώς και μία εξόδου της πίεσης, πρέπει επίσης να δώσουμε και την απώλεια πίεσης ως δεδομένη. Αντί των θερμοκρασιών μπορούν να δοθούν και οι ενθαλπίες ως σταθερές.

### *Επαλήθευση του μοντέλου*

Θα γίνει μία σύγκριση μεταξύ των προγραμμάτων *ENBIPRO* και *GateCycle*. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης πραγματοποιείται με έναν επιμέρους εναλλάκτη θερμότητας. Ένα πρόβλημα του *GateCycle* είναι, ότι δεν υπάρχει κανένα

συγκρίσιμο στοιχείο, το οποίο να επιτρέπει να αφαιρείται το συμπύκνωμα. Για αυτό το λόγο τείνει αυτή η σύγκριση μόνον στην αξιολόγηση των εναλλακτών θερμότητας και με αυτό και στο ισοζύγιο της ενθαλπίας. Αυτό είναι σημαντικό, αφού η επιρροή της θερμότητας του συμπυκνώματος σε μεγαλύτερες ποσότητες νερού που αφαιρείται, δεν είναι πλέον ασήμαντη.

Θα χρησιμοποιηθούν δύο διαφορετικά σενάρια. Τα δύο αυτά σενάρια φαίνονται παρακάτω.



Εικόνα 8.16: Σύγκριση της προσομοίωσης των ENBIPRO και GateCycle στα 50bar.

Θα ποικίλει αποκλειστικά η πίεση του θερμού, προς ψύξη μέσου, οι απώλειες πίεσης αμελούνται. Στο θερμό μέσο ασχολούμαστε με τον υγρό αέρα. Στο ψυχρό ρευστό έχουμε να κάνουμε με υγρό νερό. Στις προσομοιώσεις δίνονται ως σταθερές παράμετροι η είσοδος και έξοδος της θερμοκρασίας του θερμού μέσου, ενώ στο ψυχρό μέσο μόνο η θερμοκρασία εισόδου.

Οι διαφορετικές πιέσεις, από 50 έως 150bar, επιλέγονται έχοντας γνώση, ότι στην πρώτη περίπτωση δεν συμβαίνει καμία και στην δεύτερη περίπτωση συμβαίνει μία συμπύκνωση. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται σημαντικοί παράμετροι προσομοίωσης των δύο προγραμμάτων, ENBIPRO και GateCycle, στα 50 και 150bar, σε σύγκριση μεταξύ τους.

Παράμετρος	Μονάδα	GateCycle	ENBIPRO	Gatecycle	ENBIPRO
		<i>P=50bar</i>		<i>p=150bar</i>	
$t_{k,aus}$	[K]	328.650	328.644	329.850	329.778
$k \cdot A$	[MW/kK]	1.308	1.430	1.470	1.490
<b>Αποτελεσματικότητα</b>	-	0.685	0.714	0.709	0.709
$\dot{Q}$	[MW]	0.127	0.127	0.132	0.132

**Πίνακας 8.4:** Συγκριτικές τιμές βασικών παραμέτρων των εναλλακτών θερμότητας

Οι θερμοκρασίες εξόδου των μοντέλων του ENBIPRO και του GateCycle διαφέρουν ελαφρώς μεταξύ τους. Οι ροές θερμότητας, που μεταφέρονται είναι σχεδόν ιδανικές. Μεγαλύτερες αποκλίσεις προκύπτουν κατά την αποτελεσματικότητα και την ικανότητα μετάδοσης θερμότητας υπό μία πίεση της τάξης των 50bar. Ο λόγος, για τον οποίο προκύπτουν αυτές οι αποκλίσεις δεν είναι προς επίλυση, καθώς οι μαθηματικές βάσεις του GateCycle για τον υπολογισμό των εκάστοτε παραμέτρων δεν είναι γνωστές.

Το ισοζύγιο ενθαλπίας των εισερχόμενων και εξερχόμενων ροών πρέπει να συμπληρωθεί. Αυτό γίνεται ακολουθούμενοι την επόμενη εξίσωση:

$$\dot{H}_{h,ein} + \dot{H}_{k,ein} = \dot{H}_{h,aus} + \dot{H}_{k,aus} + \dot{H}_{H_2O,aus}$$

Η ροή της ενθαλπίας υπολογίζεται από την παραγωγή της ροής ενέργειας και της ειδικής ενθαλπίας:

$$\dot{H}_i = \dot{m}_i \cdot h_i$$

Το ισοζύγιο ενθαλπίας για τα 50bar έχει συμπληρωθεί. Υπό αυτήν την τιμή πίεσης δεν λαμβάνει χώρα κάποια συμπύκνωση. Ο συμπυκνωτής καυσαερίων (RG-Kondensator) δουλεύει σαν εναλλάκτης θερμότητας αντίθετης ροής. Το ισοζύγιο ενθαλπίας για μία πίεση στα 150bar δεν είναι πλέον ασήμαντο, λόγω της συμπύκνωσης της υγρασίας.

Λαμβάνοντας υπόψη τη θερμότητα συμπύκνωσης είναι συμπληρωμένο το ισοζύγιο της ενθαλπίας. Η τιμή της θερμότητας συμπύκνωσης στα  $2,32057 \text{ MJ/kg}$  για τη δεδομένη θερμοδυναμική κατάσταση δείχνει, ποιες επιρροές έχει η υγροποίηση για μεγαλύτερες ποσότητες υγρασίας πάνω στο ισοζύγιο και μαζί και η μετάδοση θερμότητας. Η θερμότητα συμπύκνωσης είναι στο δεδομένο παράδειγμα περισσότερο από 10 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με άλλες ενθαλπίες.

Η σύγκριση των μοντέλων μεταξύ των *ENBIPRO* και *GateCycle*, δείχνει, ότι ο συμπυκνωτής καυσαερίων (*RG-Kondensator*) χτίζει πολύ καλά τις θερμοδυναμικές σχέσεις.

### 8.3 COLLECTION – DISTRIBUTION

#### 8.3.1. Collector

Μαθηματικό μοντέλο του στοιχείου

#### **Σημείο ανάμειξης δύο ροών**

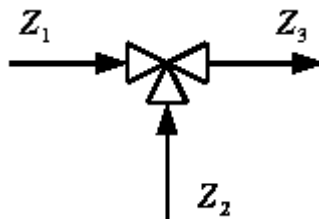
Αυτό το στοιχείο έχει δύο ροές εισόδου και μία έξοδο. Οι πιέσεις όλων των ροών που λαμβάνουν μέρος πρέπει να είναι στο ίδιο ύψος. Τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας είναι:

$$\dot{m}_{ein,1} + \dot{m}_{ein,2} = \dot{m}_{aus}$$

$$\dot{m}_{ein,1} \cdot h_{ein,1} + \dot{m}_{ein,2} \cdot h_{ein,2} = \dot{m}_{aus} \cdot h_{aus}$$

Κατά την ανάμειξη δύο ροών διαφορετικών συνθέσεων πρέπει το ισοζύγιο του υλικού κάθε στοιχείου ξεχωριστά να ικανοποιείται και η ενθαλπία του μείγματος να ανταποκρίνεται επαρκώς. Η πίεση όλων των ροών, που συμμετέχουν λαμβάνεται η ίδια.

Το στοιχείο ανάμειξης και το σημείο διακλάδωσης είναι υδροπνευματικά εξαρτήματα, ώστε ροές υλικών ίδιων χημικών συνθέσεων να συλλέγονται, καθώς και να διακλαδίζονται. Ισχύει εδώ, ισοζύγια ενέργειας και μάζας χωρίς απώλειες. Δεδομένου ότι τα εξαρτήματα δεν κατέχουν σχεδόν καμία μάζα αποθήκευσης, μοντελοποιούνται αυτά ημιστατικά. Υλικά διαφορετικής συγκέντρωσης δεν θα λαμβάνονται υπόψη σε αυτό το μοντέλο.



Εικόνα 8.17: Στοιχείο ανάμειξης

Το εξάρτημα ανάμειξης μπορεί τόσο τις παραμέτρους του ατμού 1 όσο και αυτές του ατμού 2 να τις μεταβάλλει. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τρεις βαθμούς ελευθερίας, αλλά και τρεις εξισώσεις των ισοζυγίων μάζας, ενέργειας και ορμής.

Λόγω της επιλογής αυτών των εξισώσεων προκύπτει το πρόβλημα της εξίσωσης της πίεσης:

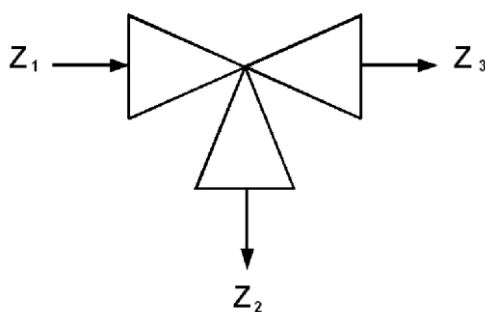
$$P_{e1} = P_{e3}$$

Η πίεση του στοιχείου  $P_{e2}$  δεν επηρεάζει τις εξισώσεις. Αυτή η κατάσταση πρέπει να εξεταστεί ιδιαίτέρως, καθώς μπορεί να προκύψουν λάθη. Φυσικώς δεν μπορεί, για παράδειγμα κάποιο μέσο με χαμηλή σχετικά πίεση να «υπερπηδήσει» σε αυτήν με την υψηλότερη τιμή.

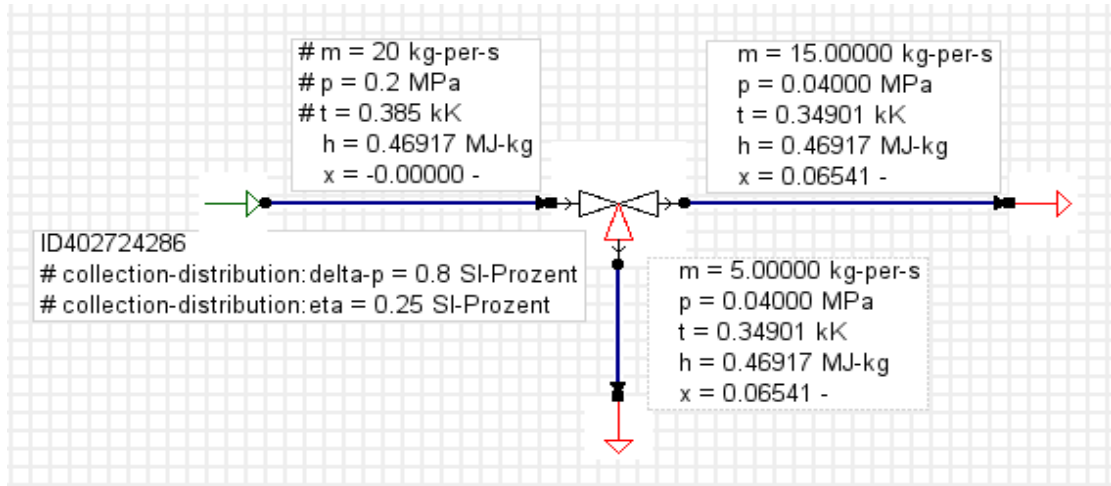
### 8.3.2. Distributor

#### Περιγραφή

Το σημείο διαχωρισμού θα χρησιμοποιηθεί, ώστε να διαχωριστεί μέρος της ροής του υλικού. Προσδιορίζεται η ποσότητα μάζας της ροής, που διαχωρίζεται από την υπόλοιπη ροή μέσω μιας αδιάστατης παραμέτρου  $\eta$  (0-1), η οποία εγγυάται, πως επίσης κατά την τροποποιημένη απόδοση της διαχωρισμένης ροής θα προσαρμοστεί. Εκτός αυτού μπορεί να παρατηρηθεί κάποια απώλεια πίεσης. Σε περιπτώσεις ιδανικών τιμών υλικού μεταβάλλεται η θερμοκρασία σε υφιστάμενες απώλειες πίεσης σταθερά. Σε περιπτώσεις πραγματικών τιμών υλικού παρατηρείται το φαινόμενο του στραγγαλισμού τόσο στη θερμοκρασία, όσο και στην περιεκτικότητα του ατμού.



Εικόνα 8.18: Στοιχείο διαχωρισμού

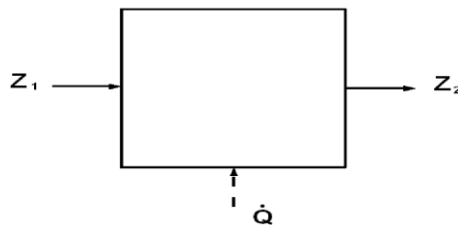


Εικόνα 8.19: Απεικόνιση στοιχείο διαχωρισμού

### 8.3.3. Energy - input

#### Περιγραφή

Ο ενεργειακός εφοδιασμός χρησιμοποιείται για την ανύψωση της θερμοκρασίας ενός ρευστού, που ρέει διαμέσου αυτού, σε μία συγκεκριμένη τιμή. Θα δοθεί ως δεδομένο η θερμοκρασία εξόδου ή η παρεχόμενη ροή θερμότητας.



Εικόνα 8.20: Απεικόνιση του στοιχείου

#### Σύστημα εξισώσεων

- Ισοζύγιο μάζας:

$$\dot{m}_{Aus} = \dot{m}_{Ein}$$

- Υπολογισμός πίεσης:

$$p_{Aus} = p_{Ein}$$

- Ισολογισμός ενέργειας:

$$\dot{m}_{Aus} \cdot h_{Aus} = \dot{m}_{Ein} \cdot h_{Ein} - \dot{Q}_{Aus}$$

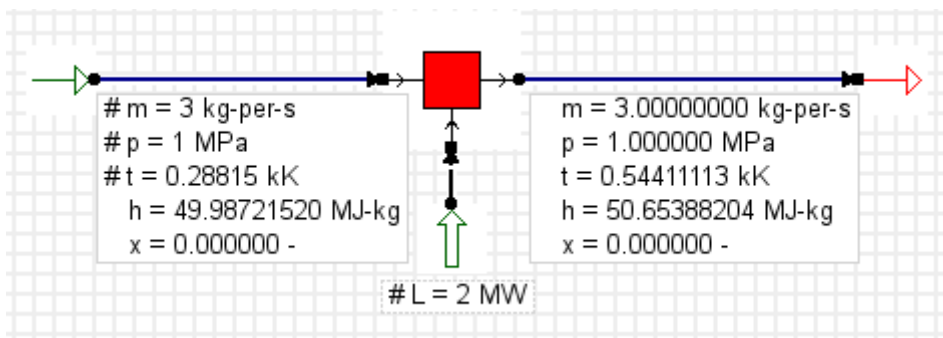
- Υπολογισμός της ροής θερμότητας:

$$\dot{Q}_{Aus} = \eta \cdot \dot{m}_{ein} \cdot h_{Ein}$$

Στον παρακάτω πίνακα 8.5 παρουσιάζονται οι σχετικές περιπτώσεις με σταθερών (#) και μεταβλητών παραμέτρων.

Μεταβλητές	1	2	3	4	5
$\dot{m}_{ein}$	#	#			#
$T_{ein}$	#	#	#		#
$p_{ein}$	#	#			#
$h_{ein}$					#
$x_{ein}$				#	
$\dot{Q}_{Ein}$	#			#	#
$\dot{m}_{aus}$			#	#	#
$T_{aus}$		#	#	#	
$p_{aus}$			#	#	#
$h_{aus}$				#	#
$x_{aus}$					

Πίνακας 8.5: Σταθερές και μεταβλητές τιμές.

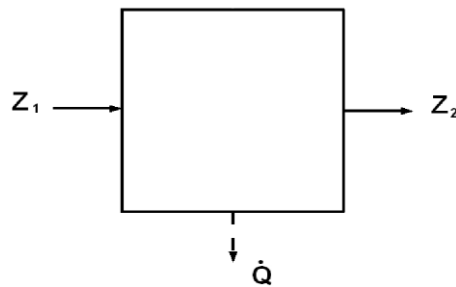


Εικόνα 8.21: Energy-input στο ENBIPRO-GUI

### 8.3.4. Energy – output

#### Περιγραφή

Το στοιχείο αυτό χρειάζεται, ώστε να οριοθετήσουμε την τιμή της θερμοκρασίας μίας ροής θερμότητας και έτσι να υπάρξει διάχυση θερμότητας. Για αυτό θα δοθεί ως ορισμένο (#) για παράδειγμα η θερμοκρασία εξόδου ή η παρεχόμενη ροή θερμότητας, καθώς και η απόδοση.



Εικόνα 8.22: Απεικόνιση του στοιχείου

#### Σύστημα εξισώσεων

- Ισοζύγιο μάζας:

$$\dot{m}_{Aus} = \dot{m}_{Ein}$$

- Υπολογισμός πίεσης:

$$P_{Aus} = P_{Ein}$$

- Ισολογισμός ενέργειας:

$$\dot{m}_{Aus} \cdot h_{Aus} = \dot{m}_{Ein} \cdot h_{Ein} - \dot{Q}_{Aus}$$

- Υπολογισμός της ροής θερμότητας:

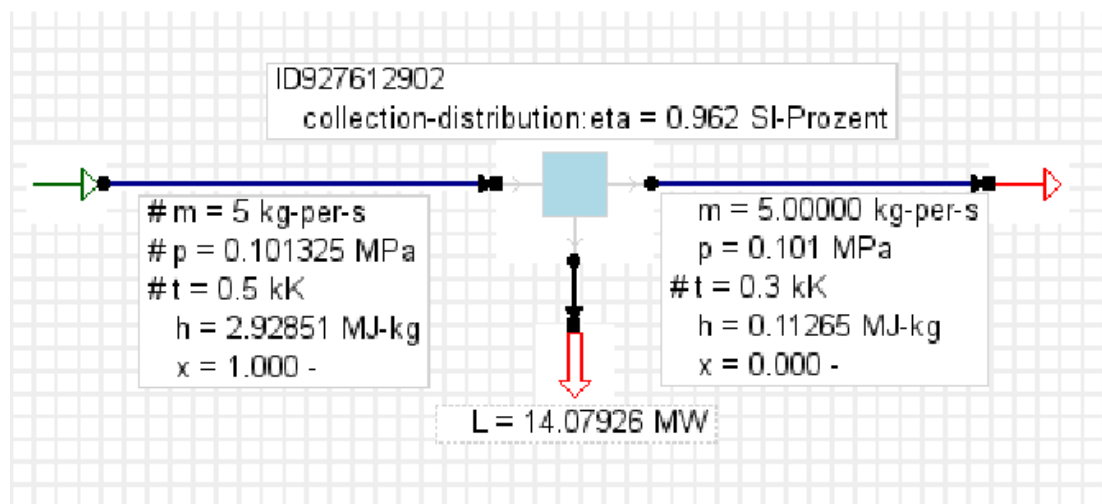
$$\dot{Q}_{Aus} = \eta \cdot \dot{m}_{ein} \cdot h_{Ein}$$

Στον παρακάτω πίνακα 8.6 παρουσιάζονται οι σχετικές περιπτώσεις με σταθερών (#) και μεταβλητών παραμέτρων.



Μεταβλητές	1	2	3	4	5	6	7
$\dot{m}_{ein}$	#	#	#			#	#
$T_{ein}$	#	#	#			#	#
$p_{ein}$	#	#	#				
$h_{ein}$	#					#	#
$x_{ein}$				#	#		
$W_{aus}$		#		#			#
$\dot{m}_{aus}$				#	#		
$T_{aus}$	#			#	#		
$p_{aus}$	#			#	#	#	
$h_{aus}$						#	
$x_{aus}$							
$\eta$			#		#		

Πίνακας 8.6: Σταθερές και μεταβλητές παράμετροι.



Εικόνα 8.23: Energy-output στο ENBIPRO

### 8.3.5. Γεννήτρια

#### Περιγραφή

Η γεννήτρια είναι ένα πολύ βασικό εξάρτημα για κάθε σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εκεί τελικά πρώτα η μηχανική ενέργεια της ατράκτου μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Οι γεννήτριες στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγάλης κλίμακας βιομηχανικές τριφασικές-σύγχρονες μηχανές, οι οποίες ως επί το πλείστον λειτουργούν ως μηχανές εσωτερικών πόλων.

Για τη μοντελοποίηση των στροβίλων αερίων και ατμού είναι το εξάρτημα της γεννήτριας αναντικατάστατο, για αυτό το λόγο το συγκεκριμένο μοντέλο αναθεωρήθηκε και προσαρμόστηκε τελείως. Το μοντέλο επεκτάθηκε σε περισσότερες εξισώσεις, μεταξύ άλλων λόγων, ώστε με τη βοήθεια του “*Performance map*” να καταθέσουν ένα χάρτη, του οποίου ο συντελεστής ισχύος εξαρτάται από το  $\cos\phi$ .

#### Θερμοδυναμικό και μαθηματικό μοντέλο

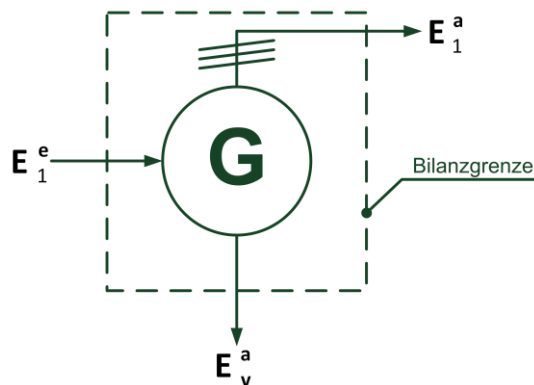
Το μοντέλο της γεννήτριας απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα 8.24. Τα όρια ισορροπίας για το μοντέλο παρουσιάζονται μέσω της διακεκομμένης γραμμής.

Το ισοζύγιο ενέργειας της γεννήτριας είναι:

$$E_{e,1} = E_{a,1} + E_{a,v}$$

Ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας εναποτίθεται ως εξής:

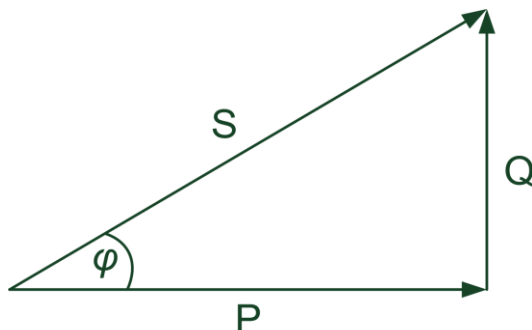
$$\eta = \frac{E_{a,1}}{E_{e,1}}$$



Εικόνα 8.24: Απεικόνιση του εξαρτήματος της γεννήτριας

Στα πλαίσια των εξαρτημάτων υπολογίζεται ταυτόχρονα, ανάλογα με τον ήδη δοθέν συντελεστή ισχύος  $\cos\phi$ , η φαινομενική και άεργος ισχύς, σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις. Το πλεονέκτημα των σύγχρονων γεννητριών έναντι των ασύγχρονων

γεννητριών έγκειται στο, ότι τόσο ενεργό ισχύ, όσο επίσης και άεργο ισχύ να αποδίδεται στο δίκτυο ροής ή να λαμβάνεται από αυτό. Μπορούμε ανάλογα με το συντελεστή ισχύος να αποδίδουμε ενεργό ισχύ ή να παρέχουμε επιπλέον άεργο ισχύ στο δίκτυο, ώστε να αντισταθμιστούν οι επαγωγικές ή χωρητικές απώλειες. Η σχέση μεταξύ της ενεργής, άεργης και φαινομενικής ισχύος παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 8.25).



**Εικόνα 8.25:** Σχέση μεταξύ της ενεργής, άεργης και φαινομενικής ισχύος ( $P, S, Q$ )

Καθώς, σε ένα συνεχές ρεύμα η ενεργός ισχύς αποτελείται από την παραγωγή ρεύματος και τάσεως, πρέπει επιπλέον σε εναλλαγή ροής να ληφθεί υπόψη η μετατόπιση φάσης. Επαγωγικοί, καθώς και χωρητικοί καταναλωτές προκαλούν μία μετατόπιση φάσης μεταξύ ρεύματος και τάσης, η οποία περιγράφεται μέσω μίας ηλεκτρικής γωνίας  $\varphi$ . Η ενεργός ισχύς  $P$  είναι αυτή, η οποία αποδίδεται στο δίκτυο.

$$E_{a,1} = P = S \cdot \cos \varphi = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad [W]$$

Η άεργος ισχύς  $Q$  δεν είναι μία πραγματικά απαραίτητη ισχύς, αλλά είναι ηλεκτρική ενέργεια, η οποία ρέει μπρος-πίσω μεταξύ επαγωγικών και χωρητικών καταναλώσεων και της γεννήτριας.

$$Q = S \cdot \sin \varphi = U \cdot I \cdot \sin \varphi = \sqrt{S^2 - P^2} \quad [Var]$$

Η φαινομενική ισχύς είναι το γεωμετρικό άθροισμα της ενεργής και άεργης ισχύος.

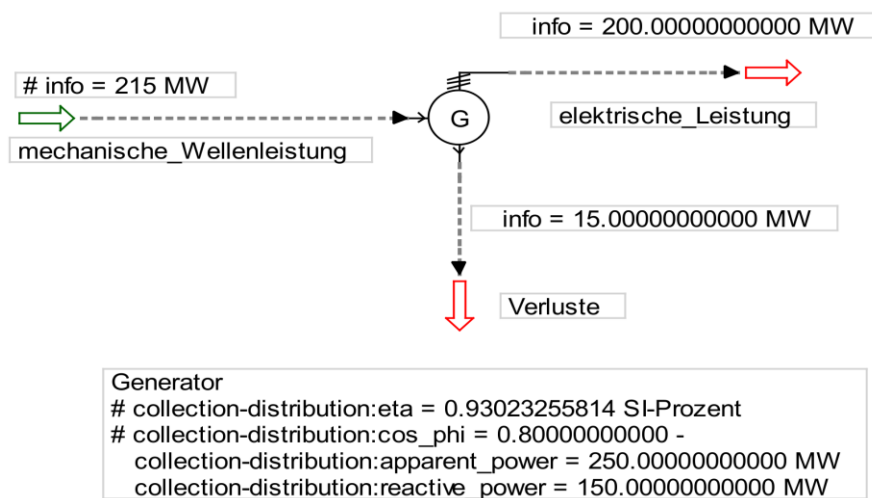
$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2} = \frac{P}{\cos \varphi} \quad [Va]$$

Το πηλίκο της ενεργής και φαινομενικής ισχύος θα ονομάζεται συντελεστής ισχύος, ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0 και 1. Σε έναν συντελεστή ισχύος, καθώς και  $\cos \varphi$  της τάξης του μηδέν (0) έχουμε ένα καθαρά επαγωγικό ή χωρητικό φορτίο, ενώ με τιμή τη μονάδα (1) είναι διαθέσιμη μόνο ωμική αντίσταση στο κύκλωμα.

## Εφαρμογή του μοντέλου στο ENBIPRO

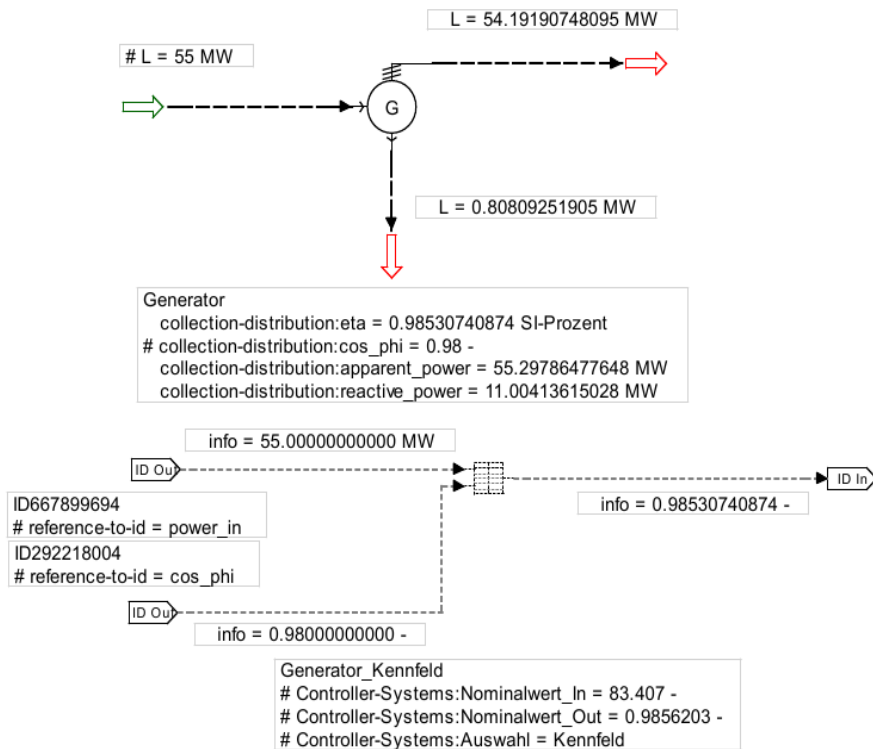
Το μοντέλο που περιγράφηκε προηγουμένως εφαρμόζεται στο λογισμικό προσομοίωσης κυκλωμάτων. Εκεί κατατίθενται οι εξισώσεις ως επιμέρους κατηγορίες. Επίσης, εισάγονται αυτές οι εξισώσεις ως υπολειμματικές εξισώσεις σε έμμεση αναπαράσταση. Εκεί συμμετέχουν αυτές μεταγενέστερα στην αριθμητική επίλυση του συστήματος εξισώσεων. Το μοντέλο περιλαμβάνει τέσσερις (4) εξισώσεις για τον υπολογισμό τεσσάρων (4) άγνωστων μεταβλητών.

Για την γραφική επιφάνεια εμφανίζεται ένα νέο σύμβολο για τη γεννήτρια και παρουσιάζεται στο κάτωθι παράδειγμα.



Εικόνα 8.25: Παράδειγμα της γεννήτριας στο ENBIPRO

Επιπλέον, η γεννήτρια έχει προσαρμοστεί σε ένα χαρακτηριστικό πεδίο. Για το σκοπό αυτό, η γεννήτρια έχει συνδυαστεί με το "Performance map", καθώς και να επεκταθεί, όπως φαίνεται και στην εικόνα 8.26.



Εικόνα 8.26: Γεννήτρια σε χαρακτηριστικό πεδίο στο ENBIPRO

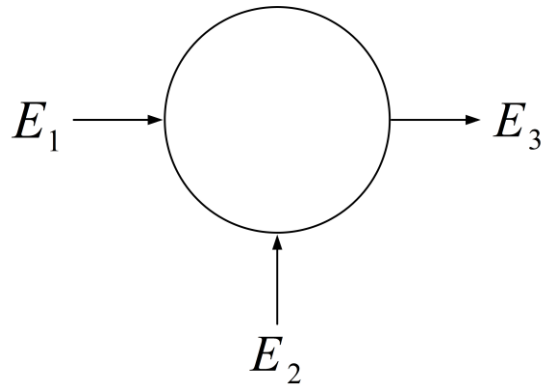
### Σημείωση

Κατά τη χρήση της γεννήτριας είναι σημαντικό να προσέξουμε ότι στην απόδοση έχουν ληφθεί υπόψη όλες οι πιθανές απώλειες. Μέσα σε αυτές τις απώλειες υπολογίζεται εξίσου οι απώλειες θερμότητας και τριβής και ειδικότερα οι απώλειες που οφείλονται στο συντελεστή ισχύος  $\cos\phi$ .

### 8.3.6. Energy Collector

#### Περιγραφή

Το εξάρτημα αυτό (*Energy Collector*) τείνει να συγχωνεύσει δύο ροές υλικών. Υπό τη βοήθεια ενός παράγοντα συνδυάζονται ποσοστά μίας εξερχόμενης ροής υλικού με τις ροές δύο εισερχόμενων ροών.



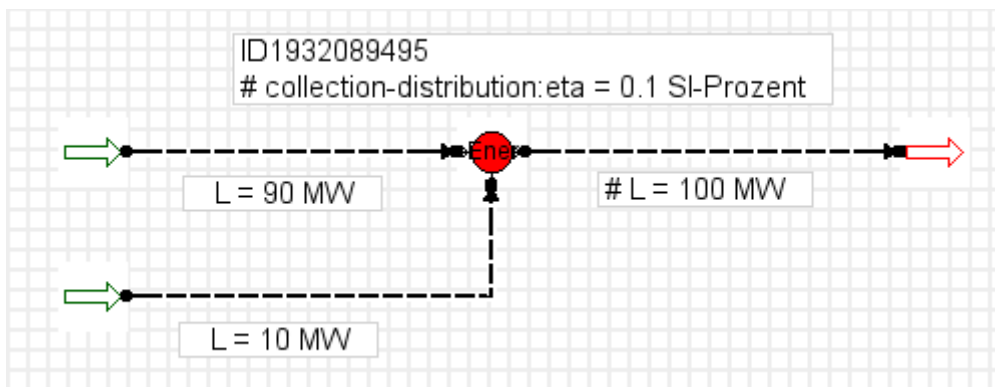
Εικόνα 8.27: Στοιχείο Energy Collector

Μαθηματικό μοντέλο του στοιχείου

Ισοζύγιο ενέργειας:

$$E_3 = E_1 + E_2$$

$$E_2 = \eta \cdot E_3$$

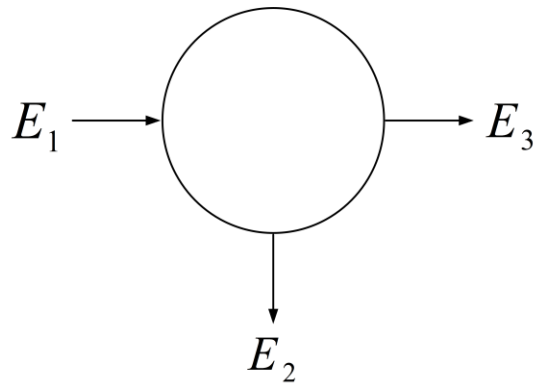


Εικόνα 8.28: Energy Collector στο ENBIPRO

### 8.3.7. Energy splitter

Περιγραφή

Το στοιχείο αυτό τείνει στον επιμέρους διαχωρισμό δύο ροών υλικών. Με τη βοήθεια ενός παράγοντα συνδυάζονται ποσοστά μίας εισερχόμενης ροής με δύο εξερχόμενες.



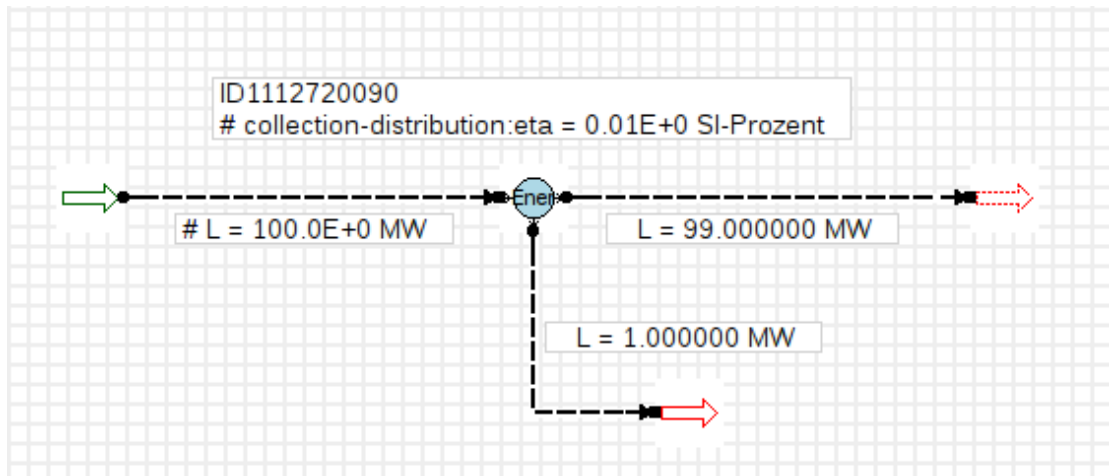
Εικόνα 8.29: Στοιχείο Energy Splitter

Μαθηματικό μοντέλο του στοιχείου

Ισοζύγιο ενέργειας:

$$E_1 = E_2 + E_3$$

$$E_3 = \eta \cdot E_1$$



Εικόνα 8.30: Energy Splitter στο ENBIPRO

#### 8.4 COMPRESSION – EXPANSION

Κατά την αξιολόγηση των μηχανών ρευστής ενέργειας με τη ζήτηση των υγρών και των αερίων παρουσιάζεται, στη σύγκριση με τις διάφορες ενεργές αρχές, εκτός των οικονομικών και τεχνικών ριζών, όπως ειδικές καταναλώσεις μάζας, χώρου και επιφάνειας, λόγος απόδοσης της μάζας και οι σχέσεις απόδοσης τιμής, όπως οι ειδικοί πρακτικοί όροι χρήσης των βαθμών απόδοσης των μηχανών ρευστής ενέργειας στη στάθμιση ενός κυρίαρχου παράγοντα. Ως ένα άλλο σημαντικό κριτήριο χρησιμοποιείται σε αυτήν την ενατένιση ο ειδικός αριθμός στροφών  $n_q$ , όπου με αυτό μπορεί να καταστεί μία λογική

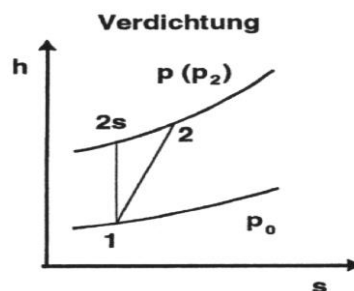
γραμμή μεταξύ των επιμέρους τύπων μηχανών. Οι ακόλουθες παρατηρήσεις αναφέρονται σε μηχανές ρευστής ενέργειας στη ζήτηση των υγρών και των αερίων. Ο ειδικός αριθμός στροφών είναι ένα γενικά αποδεκτό κριτήριο των υδροδυναμικών και αεροδυναμικών ομοιοτήτων και για αυτό κατάλληλος, ώστε να ταξινομούνται οι διαφορετικοί τύπου στατικών και δυναμικών αντλιών και συμπιεστών, ως μηχανές κυβισμού και στροβιλομηχανές. Για ορισμένους γνωστούς τύπους αντλιών και συμπιεστών τοποθετούνται οι καμπύλες απόδοσης ως συνάρτηση του ειδικού αριθμού στροφών. Σε αυτή την παρουσίαση μπορεί να προσδιοριστεί το βέλτιστο εύρος λειτουργίας για τις αρχές λειτουργίας των αντλιών και των συμπιεστών που απαριθμούνται.

#### 8.4.1. Compressor

##### Περιγραφή

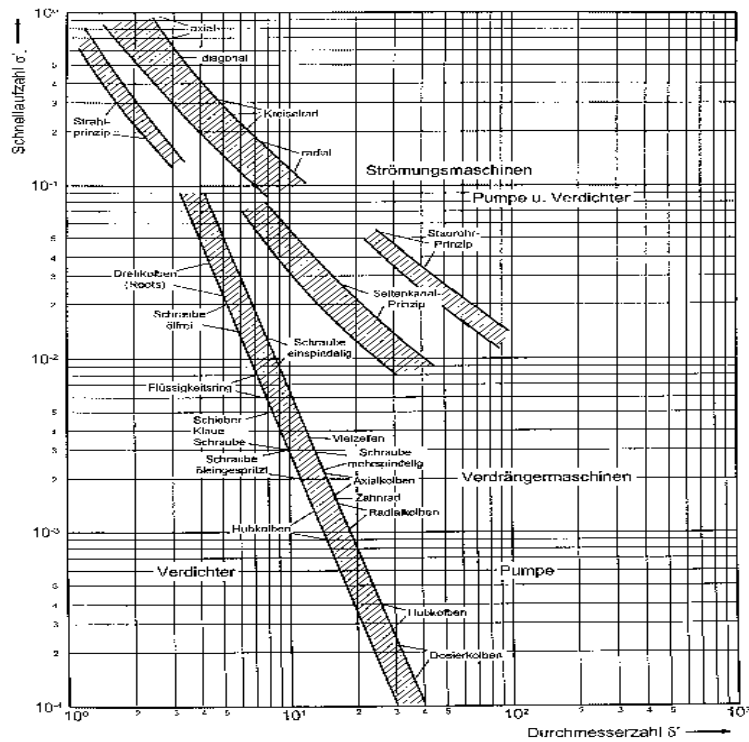
Ο συμπιεστής κατέχει μόνο μία μικρή θερμική μάζα αποθήκευσης, έτσι μοντελοποιείται αυτό το εξάρτημα ημιστατικά. Συνιστώσες του μοντέλου είναι ισεντροπικές εξισώσεις, ισοζύγιο μάζας, ισοζύγιο ενέργειας και μία εξίσωση για τον υπολογισμό της συμπεριφοράς της πίεσης. Ο μηχανικός βαθμός απόδοσης λαμβάνεται υπόψη μέσω ενός παράγοντα. Για να υπολογίσουμε τη συνολική ισχύ, που βρίσκεται όλη πάνω σε έναν άξονα μιας στροβιλομηχανής, κατέχουν αυτά κάθε μία ισχύς εισόδου και εξόδου. Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η διαφορά μεταξύ ισεντροπικής και πολυτροπικής συμπίεσης. Το μοντέλο υπολογίζει επίσης τόσο με ιδανικές όσο και με πραγματικές τιμές υλικού.

##### Ιδανική και πραγματική διεργασία:

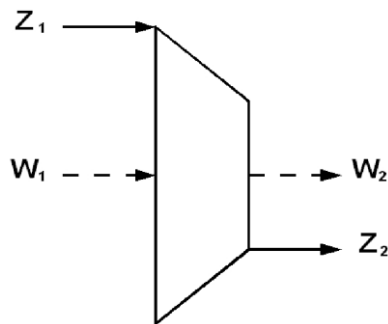


Εικόνα 8.31: Διάγραμμα ισεντροπικής και πολυτροπικής συμπίεσης



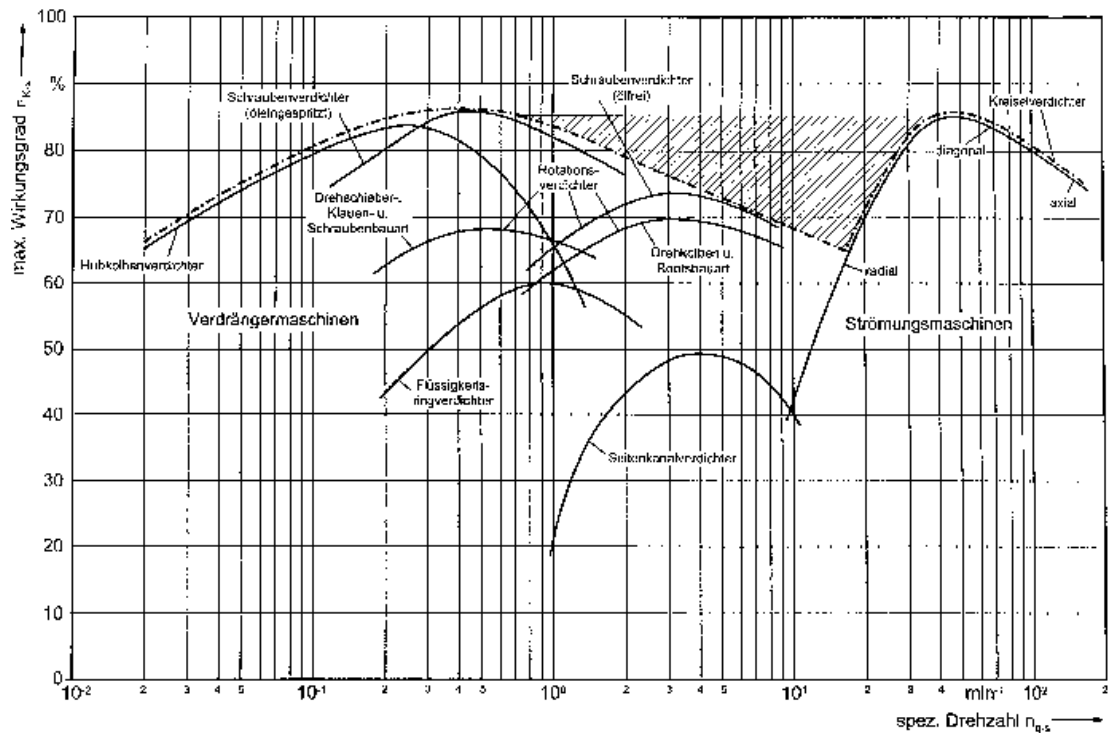


Εικόνα 8.32: Αναλυτικό διάγραμμα "CORDIER"- Διάγραμμα για μηχανές ρευστής ενέργειας (αντλίες και συμπιεστές)



Εικόνα 8.33: Στοιχείο Compressor

Στην παρακάτω εικόνα (8.34) παρουσιάζεται μία περιβάλλουσα καμπύλη για στροβιλομηχανές και μηχανές κυβισμού. Μπορούμε και εδώ να ξεχωρίσουμε έναν ελάχιστο επίπεδο βαθμό απόδοσης μεταξύ των δύο βασικών αρχών.

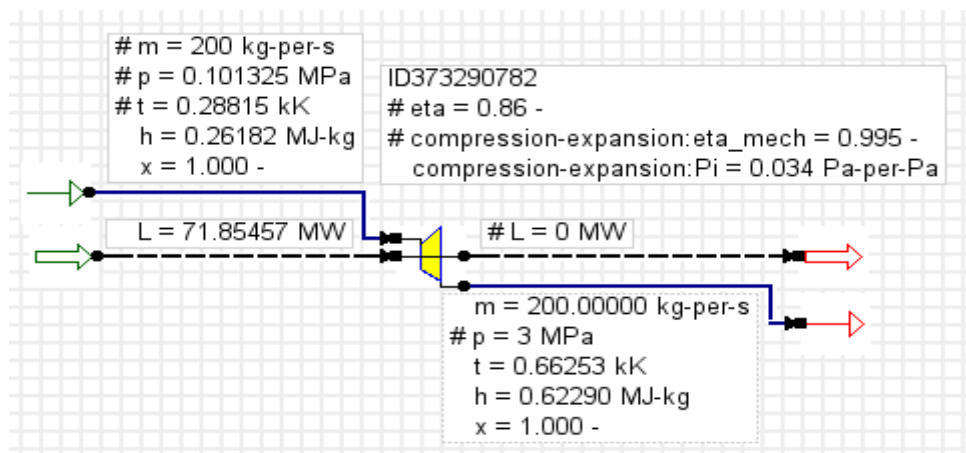


Εικόνα 8.34: Βέλτιστη περιοχή για μηχανές ρευστής ενέργειας (συμπίεστis)

#### 8.4.2. Turbine

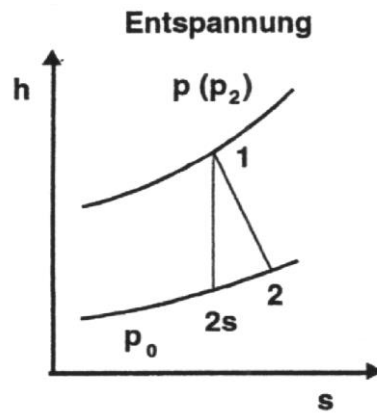
##### Περιγραφή

Οι στρόβιλοι κατέχουν μόνο μία μικρή θερμική μάζα αποθήκευσης, έτσι αυτό το στοιχείο μοντελοποιείται ημιστατικά. Συνιστώσες του μοντέλου είναι οι ισεντροπικές εξισώσεις, ισοζύγιο μάζας, ισοζύγιο ενέργειας και μία εξίσωση για τον υπολογισμό της συμπεριφορά της πίεσης. Ο μηχανικός βαθμός απόδοσης λαμβάνεται υπόψη μέσω ενός παράγοντα. Για τον υπολογισμό της συνολικής ισχύος, που βρίσκεται πάνω στον άξονα του στρόβιλου, κατέχουν αυτές μία ισχύς εισόδου και μία εξόδου αντίστοιχα.

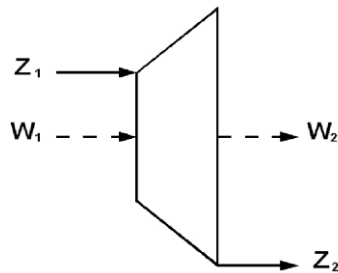


Εικόνα 8.35: Turbine στο ENBIPRO

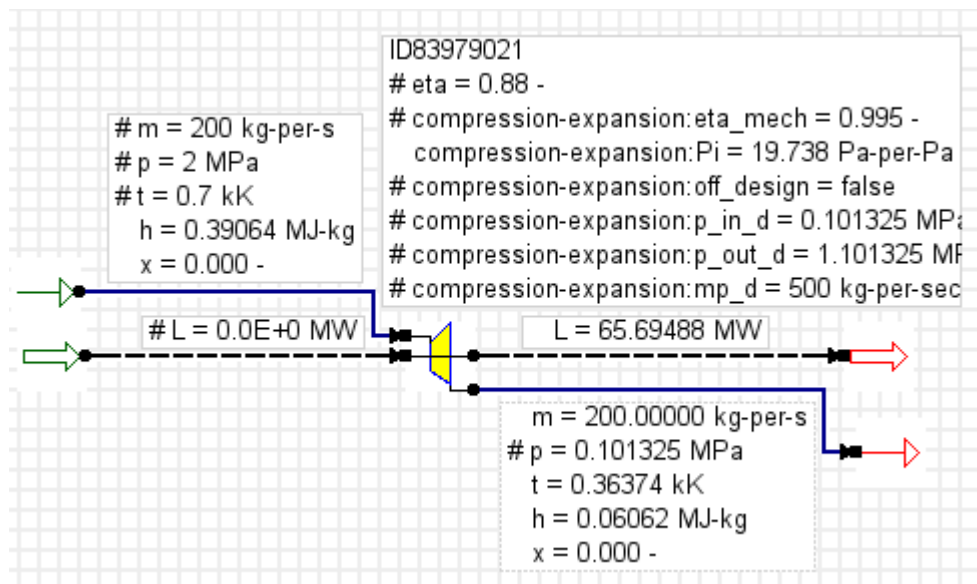
Στο διάγραμμα που παρουσιάζεται παρακάτω, φαίνεται η διαφορά μεταξύ της ισεντροπικής και πολυτροπικής εκτόνωσης. Το μοντέλο υπολογίζει τόσο με ιδανικές, όσο και με πραγματικές τιμές υλικού.



Εικόνα 8.36: Διάγραμμα ισεντροπικής και πολυτροπικής εκτόνωσης



Εικόνα 8.37: Στοιχείο Turbine



Εικόνα 8.38: Turbine στο ENBIPRO

### 8.4.3. Water-pump

Περιγραφή του στοιχείου

#### Σκοπός, εφαρμογές και δυνατότητες

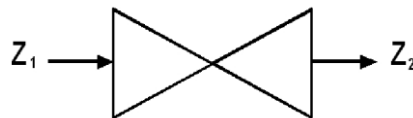
Οι αντλίες καθυστερούν μία εισερχόμενη ροή να εκτελεστεί στα πλαίσια της εφαρμογής μιας εργασίας, ώστε να αυξηθεί η πίεση. Η είσοδος του ρευστού ονομάζεται αναρρόφηση, ενώ η έξοδος του ρευστού σύνδεση κατάθλιψης.

Οι αντλίες χρησιμοποιούνται σε πολλά τεχνικά κυκλώματα. Κάποιοι από αυτούς είναι οι κύκλοι *Clausius-Rankine* και *Carnot*.

### 8.4.4. Βαλβίδα (Throttle)

Περιγραφή του στοιχείου

Η βαλβίδα τείνει σε μία αδιαβατική-ισενθαλπική μείωση πίεσης. Σε περίπτωση ιδανικού υλικού υπολογίζεται η θερμοκρασία εξόδου βάσει του συντελεστή *Joule-Thompson*. Στην περίπτωση πραγματικού υλικού είναι η θερμοκρασία κατά την έξοδο μία συνάρτηση της ενθαλπίας και της πίεσης.



Εικόνα 8.39: Εξάρτημα βαλβίδας

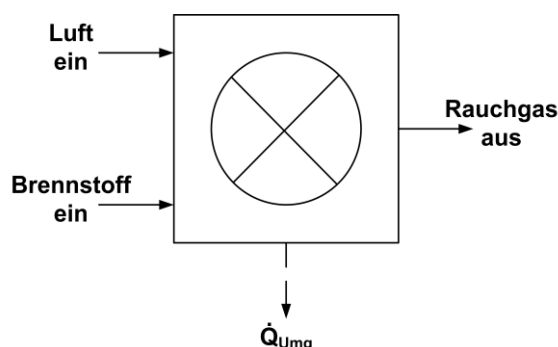
## 8.5 CHEMICAL ENERGY DEVICES

### 8.5.1. Θάλαμος καύσης

Περιγραφή

Ο θάλαμος καύσης είναι μοντελοποιημένη με μηδενικές διαστάσεις χωρίς θερμική μάζα αποθήκευσης και υπολογίζει την αδιαβατική θερμοκρασία της εστίας/θαλάμου καύσης, καθώς και τη σύνθεση των καυσαερίων κατά την πλήρη καύση. Το σύστημα εξισώσεων περιλαμβάνει ισοζύγιο ενέργειας και μάζας, μία εξίσωση πίεσης, καθώς επίσης υπολογίζει την περίσσεια αέρα και την απόδοση του θαλάμου καύσης, η οποία υπολογίζει την απώλεια της θερμότητας. Η περίσσεια αέρα θα υπολογίζεται με την εσωτερική ορισμένη μοριακή ροή και τη μοριακή συγκέντρωση. Μέσω του σήματος *S* προκαθορίζεται η θερμοκρασία του θαλάμου καύσης. Όταν η θερμοκρασία εισόδου του αέρα καύσης βρίσκεται πάνω από την επιτρεπόμενη θερμοκρασία εξόδου, η ροή μάζας του καυσίμου μηδενίζεται και το μέσο μεταδίδεται χωρίς επιπλέον θέρμανση. Όταν η θερμοκρασία εισόδου είναι χαμηλότερη από την απαιτούμενη θερμοκρασία εξόδου, τότε

υπάρχει θέρμανση. Με τον αδιάστατο χαρακτηριστικό αριθμό  $\eta$  καθορίζεται η απώλεια θερμότητας και με αυτό ο βαθμός απόδοσης του θαλάμου καύσης.



Εικόνα 8.40: Εξάρτημα θαλάμου καύσης

### Προδιαγραφές και οριακές συνθήκες

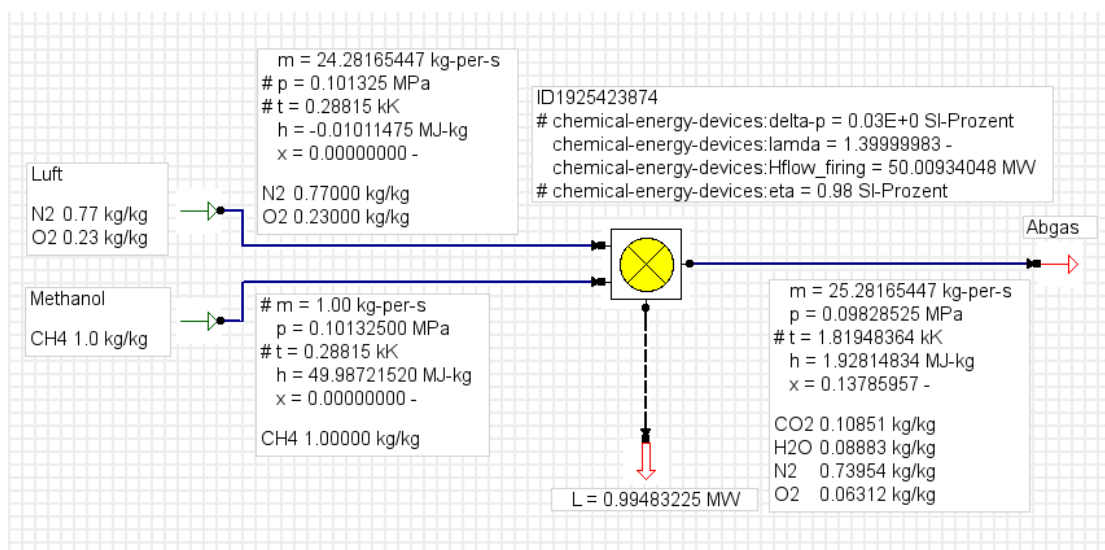
Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 8.7) παρουσιάζονται όλες οι μεταβλητές του εξαρτήματος του θαλάμου καύσης (*Combustor*), καθώς και οι συνδυασμοί των σχετικών περιπτώσεων με σταθερές (#) και μεταβλητές παραμέτρους κατά τη διαδικασία αποθήκευσης και απελευθέρωσης.

ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΣΗΜΑΣΙΑ	1	2	3	4
$\dot{m}_{ein,1}$	Ροή μάζας αέρα	#	#		#
$T_{ein,1}$	Θερμοκρασία	#	#	#	#
$p_{ein,1}$	Πίεση	#	#		#
$h_{ein,1}$	Ειδική ενθαλπία				
$x_{ein,1}$	Περιεκτικότητα ατμού				
$\dot{m}_{ein,2}$	Ροή μάζας καυσίμου		#	#	
$T_{ein,2}$	Θερμοκρασία	#	#	#	#
$p_{ein,2}$	Πίεση			#	

$h_{ein,2}$	Ειδική ενθαλπία				
$x_{ein,2}$	Περιεκτικότητα ατμού				
$\dot{m}_{aus}$	Ροή μάζας καυσαερίου			#	
$T_{aus}$	Θερμοκρασία				
$p_{aus}$	Πίεση				
$h_{aus}$	Ειδική ενθαλπία				
$x_{aus}$	Περιεκτικότητα ατμού				
$\dot{Q}_{aus}$	Ροή θερμότητας				
$\Delta p$	Διαφορά πίεσης	#	#	#	#
$\lambda$	Λόγος αέρα				#
$\eta$	Απόδοση	#	#	#	#
$T_{soll}$	Επιθυμητή τιμή θερμοκρασίας	#			

**Πίνακας 8.7:** Μεταβλητές και σταθερές τιμές του εξαρτήματος του θαλάμου καύσης.

Τέλος, στην παρακάτω εικόνα (8.41) απεικονίζεται ο θάλαμος καύσης στο *ENBIPRO-GUI*.



**Εικόνα 8.41:** Θάλαμος καύσης στο *ENBIPRO-GUI*

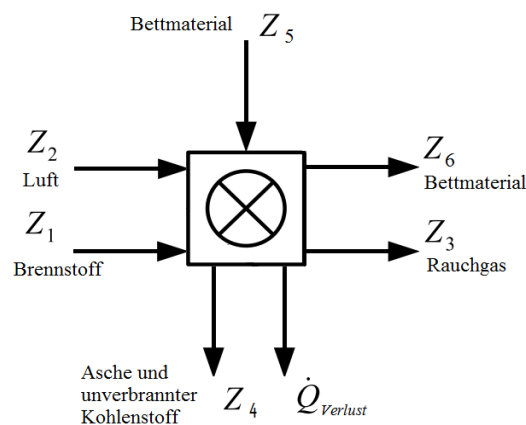
## Διευκολύνσεις

- Το μοντέλο ισχύει μόνο για ιδανικό υλικό
- Πλήρης καύση απαιτεί προϋπόθεση

### 8.5.2. Θάλαμος καύσης άνθρακα

#### Περιγραφή

Ο εφαρμοζόμενος στο *ENBIPRO* θάλαμος καύσης διαθέτει τρεις εισόδους και τέσσερις εξόδους. Αυτό το στοιχείο μπορεί να λειτουργήσει είτε με σταθερό καύσιμο, καύσιμο σε μορφή αερίου ή ακόμα ως αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης. Η λειτουργία καθορίζεται από τις εισόδους, από τις οποίες το υλικό, ο αέρας καύσης και ενδεχομένως το υλικό κλίνης μπορούν να εισαχθούν. Στην είσοδο μπορεί να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός για τις διαφορετικές περιπτώσεις μέσω ανάκτησης του υλικού καύσης και του υλικού κλίνης. Εδώ βρίσκονται οι υπολογισμοί καύσης τόσο για σταθερά υλικά καύσης, όπως επίσης και για υλικά καύσης αέριας μορφής. Στον θάλαμο καύσης υπολογίζονται οι αδιαβατικές θερμοκρασίες, καθώς και η σύσταση των καυσαερίων κατά την πλήρη καύση. Επιπλέον, στον θάλαμο καύσης θα υπολογίζονται το ισοζύγιο μάζας, το ισοζύγιο ενέργειας, η περίσσεια αέρα και την απώλεια θερμότητας. Η περίσσεια αέρα δίνεται ως αποτέλεσμα από την εσωτερική υπολογιζόμενη μοριακή ροή. Για τη λειτουργία ως αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης χρησιμεύει η άμμος ως υλικό καύση, το οποίο εισάγετε στο ισοζύγιο μάζας, ενέργειας και παλμού του συνολικού συστήματος.



Εικόνα 8.42: Σκαρίφημα του θαλάμου καύσης άνθρακα

Όπως φαίνεται και από την παραπάνω εικόνα (8.42), ο θάλαμος καύσης διαθέτει από μία ξεχωριστή έξοδο για την στάχτη που εμπεριέχεται στο σταθερό υλικό καύσης και

τον άκαυστο άνθρακα. Το ποσοστό του άκαυστου άνθρακα καθορίζεται από έναν συντελεστή πωλήσεων, ο οποίος στην συνέχεια θα χαρακτηρίζεται ως  $U_{f,C}$ . Επιπλέον, είναι δυνατόν τις εισόδους 1 και 2 να καταλαμβάνουν αέρας ή υλικό καυσίμου. Στην παραπάνω εικόνα (8.42) παρουσιάζεται παραδείγματος χάριν η είσοδος 1 με καύσιμο και η είσοδος 2 με αέρα. Το σύστημα εξισώσεων προγραμματίζεται με αυτόν τον τρόπο, ώστε η πίεση στην είσοδο του θαλάμου καύσης για το καύσιμο, τον αέρα και ακολούθως για το υλικό κλίνης να είναι η ίδια. Η πίεση στην έξοδο του θαλάμου καύσης είναι επίσης ίδια, καθώς αυτά καθορίζονται από μία καθολική απώλεια πίεσης  $\Delta p$ .

*Μαθηματικό μοντέλο του θαλάμου καύσης άνθρακα*

### **Υπολογισμός για την περίπτωση λειτουργίας με υλικό καύσης σε αέρια μορφή**

Στον θάλαμο καύσης που λειτουργεί με αέριο μπορούν να καούν το προπάνιο ( $C_3H_8$ ), μεθάνιο ( $CH_4$ ), υδρογόνο ( $H_2$ ) και μονοξείδιο του άνθρακα ( $CO$ ), τα οποία είναι υλικά καύσης σε αέρια μορφή. Το υλικό κλίνης εισόδου και εξόδου, καθώς και η έξοδος της τέφρας και του άκαυστου άνθρακα θα τεθούν σε αυτήν την περίπτωση λειτουργίας ως μηδέν και δεν θα ληφθούν υπόψη στο σύστημα εξισώσεων.

### **Υπολογισμός για την περίπτωση λειτουργίας με σταθερό υλικό καύσης**

Στο σύστημα εξισώσεων που χρησιμοποιείται συμπεριλαμβάνονται εξίσου τα μεγέθη για την περίπτωση λειτουργίας ως αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης. Για την περίπτωση, όπου ο θάλαμος καύσης δεν επιτρέπεται να λειτουργήσει ως αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης, θέτονται τα μεγέθη εισόδου στην είσοδο 5 για το υλικό κλίνης μηδέν. Επιπλέον, είναι αξιοσημείωτο, ότι τα σταθερά υλικά, για τα οποία τίθεται λόγος για την καύση αποτελούνται από τα ακόλουθα: τέφρα, άνθρακας ( $C$ ), υδρογόνο ( $H$ ), νερό ( $H_2O$ ), άζωτο ( $N$ ), οξυγόνο ( $O$ ) και θείο ( $S$ ).

Η ειδική θερμοχωρητικότητα του άνθρακα μπορεί να προσδιοριστεί υπό την παραμέληση των πτητικών συστατικών σε αναλογία με τη θερμοκρασία, την τέφρα και την περιεκτικότητα του νερού, σύμφωνα με τον ακόλουθο υπολογιστικό τύπο:

$$c_{p,Kohle} = 0.83 \cdot \left[ 1 + 0.2 \cdot \left( \frac{T-273}{100} \right) - 0.0033 \cdot \left( \frac{T-273}{100} \right)^3 \right] \cdot (1 - y_{H_2O} - y_{Asche}) + c_{p,Asche} \cdot y_{Asche} + 4.187 \cdot y_{H_2O}$$



Για τον υπολογισμό της ειδικής θερμοχωρητικότητας της άμμου χρησιμοποιείται η αναφερθείσα εξίσωση, που είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας:

$$c_{p,Sand} = 470.25 - 0.09864 \cdot T + 2.453 \cdot 10^{-5} \cdot T^{-2} - 4823 \cdot T^{-0.5} + 2.813 \cdot 10^{-5} \cdot T^2$$

*Εφαρμογή του μοντέλου στο ENBIPRO*

#### **Παραδοχές/Απλοποιήσεις**

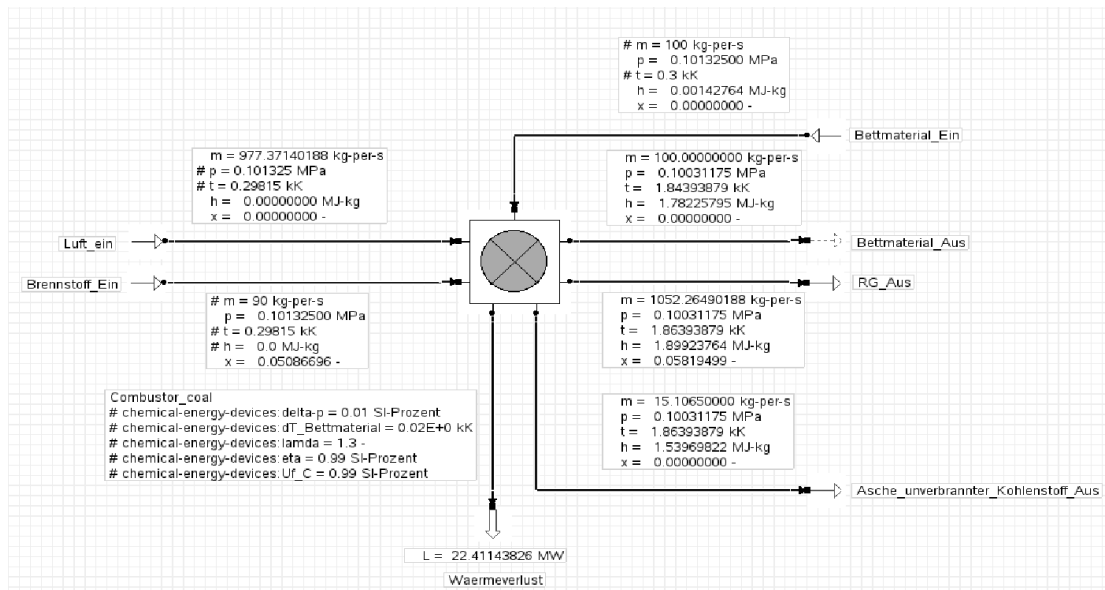
- Όλες οι θερμοκρασίες εξόδου είναι ίδιες
- Η απώλεια πίεσης ορίζεται κατ' αποκοπήν
- Ιδανικός αντιδραστήρας αναδευόμενης δεξαμενής
- Ιδανικά αέρια
- Πλήρης κύκλος εργασιών κατά τις αντιδράσεις
- Η γεωμετρία δεν εξετάζεται.

#### **Σημειώσεις εφαρμογής**

- Σε λάθος εκτιμώμενες τιμές, καθώς και κατά την πρώτη προσομοίωση υπολογίζουμε προτιμότερα με έναν μικρότερο παράγοντα χαλάρωσης της τάξης του 0,2
- Εξαρτήματα ευαίσθητα σε μεγάλες μεταβολές κατά την εισαγωγή τιμών.

#### **Προδιαγραφές και οριακές συνθήκες**

Το μοντέλο περιλαμβάνει δεκαεννιά (19) εξισώσεις για τον υπολογισμό δεκαεννιά (19) άγνωστων μεταβλητών. Οι ειδικές ενθαλπίες εισόδου και οι περιεκτικότητες ατμού στην είσοδο υπολογίζονται αντίστοιχα σε κάθε προηγούμενο στοιχείο. Ορισμένες μεταβλητές πρέπει να δίνονται εξ' αρχής. Αυτές είναι η θερμοκρασία και η πίεση εισόδου του αέρα, η παροχή μάζας, η θερμοκρασία και η ειδική ενθαλπία εισόδου του καυσίμου και τέλος, η παροχή μάζας και η θερμοκρασία εισόδου του υλικού κλίνης.



Εικόνα 8.43: Το στοιχείο θαλάμου καύσης άνθρακα (*Combustor\_coal*) στο ENBIPRO

## 8.6 STORAGE

Σε αυτήν την κατηγορία το πιο βασικό εξάρτημα που περιλαμβάνεται είναι αυτό που συμβολίζει το τύμπανο. Ένα πολύ ιδιαίτερο εξάρτημα, το οποίο το χρησιμοποιούμε και ως τροφοδοτικό δοχείο, καθώς δεν υπάρχει κάτι ανάλογο. Αλλάζοντας ορισμένες από τις ρυθμίσεις του εξαρτήματος, αλλάζει ας πούμε και ο χαρακτήρας του και συμπεριφέρεται εκτός από τύμπανο και ως τροφοδοτικό δοχείο. Παρ' όλα αυτά όμως, η ονομασία του παραμένει αυτή.

### 8.6.1. Τύμπανο

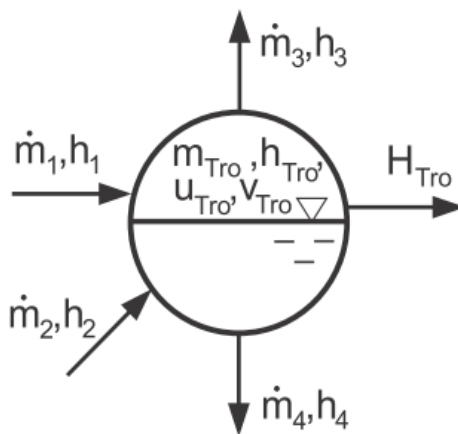
Το τύμπανο είναι ένα χαρακτηριστικό στοιχείο του συστήματος ροής ατμού, φυσικής ή εξαναγκασμένης ροής. Παίρνει τον παραγόμενο κορεσμένο ατμό από τους αγωγούς ανύψωσης του ατμοποιητή και το νερό τροφοδοσίας, που εξέρχεται από τον οικονομητήρα. Στο τύμπανο ακολουθεί ο διαχωρισμός του παραγόμενου κορεσμένου ατμού που παράγεται στον ατμοποιητή από το υπέρθερμο νερό. Το υπέρθερμο νερό διανέμεται στους αγωγούς καθόδου και καταλήγει στον ατμοποιητή.

Το τύμπανο τείνει σε μία σύντομη αποθήκευση κορεσμένου ατμού. Λειτουργεί κατά προτεραιότητα στην περιοχή υγρού ατμού. Το κομμάτι του υπέρθερμου νερού του τυμπάνου είναι η κύρια βάση για την ικανότητα αποθήκευσης του συστήματος ατμοποίησης. Το τύμπανο κατέχει εσωτερική επιφάνεια ώστε κατά την απώλεια πίεσης να μπορεί να εξατμιστεί. Κατά τον ξαφνικό στροβιλισμό ατμών μειώνεται η πίεση ατμού και μαζί και η θερμοκρασία βρασμού. Ως επακόλουθο ελευθερώνεται μία γενναία ποσότητα ως θερμότητα εξάτμισης. Έτσι, απελευθερώνεται μία πρόσθετη ποσότητα ατμού.

Το τύμπανο απαιτεί μέσω της υψηλής εσωτερικής πίεσης να εκτελείται ως συστατικό με παχιά τοιχώματα. Μέσω των μεγάλων παχών των τοιχωμάτων θεωρούνται τα τοιχώματα του τυμπάνου επίσης ως συσσωρευτές ενέργειας. Το ύψος, μέχρι το οποίο μπορεί να γεμίσει το τύμπανο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει το μέγεθος. Η μέτρηση της στάθμης είναι μέρος των κανονισμών της στάθμης. Η μέτρηση της πίεσης μπορεί να καθοριστεί ως κριτήριο ασφάλειας ή μεταβλητή ελέγχου.

#### Σύστημα εξισώσεων ισορροπίας τυμπάνου

Το τύμπανο θα προσομοιώνεται με αστάθεια ως αδιαβατικό συστατικό. Ισχύουν τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας. Το τύμπανο είναι ένας συσσωρευτής μάζας και ενέργειας. Το μοντέλο του τυμπάνου βασίζεται στην υπόθεση του διαχωρισμού του διφασικού μίγματος σε δύο ομογενείς φάσεις στο εσωτερικό του τυμπάνου.



Εικόνα 8.44: Τύμπανο.

Το μοντέλο του τυμπάνου έχει δύο εισόδους και δύο εξόδους. Η είσοδος 1 χαρακτηρίζει το νερό σε κατάσταση βρασμού που εξέρχεται από τον οικονομητήρα. Εδώ, μπορούν να δράττουν τόσο ένα υπόψυκτο υγρό όσο και μείγμα νερού-ατμού. Η είσοδος 2 χαρακτηρίζει τον κορεσμένο ατμό που εξέρχεται από τον ατμοποιητή. Κάτω από την υπόθεση του απόλυτου διαχωρισμού του νερού από τον ατμό βρίσκεται στην έξοδο 3 μία καθαρή κατάσταση κορεσμένου ατμού, ο οποίος δίνεται εν συνεχεία στον υπερθερμαντήρα. Στην έξοδο 4 βρίσκεται η κατάσταση βρασμού. Το κορεσμένο νερό οδηγείται στον ατμοποιητή. Η μάζα αποθήκευσης μεταβάλλεται ανάλογα της ροής που εισέρχεται και εξέρχεται. Μεταβάλλεται εξίσου η ποσότητα μάζας του νερού και του ατμού που βρίσκεται μέσα στον τύμπανο. Το ισοζύγιο μάζας για το τύμπανο ως συσσωρευτή μάζας, σύμφωνα με την παραπάνω εικόνα, ο οποίος λειτουργεί στην περιοχή υγρού ατμού, είναι:

$$\frac{dm}{d\tau} = \frac{dm_f}{d\tau} + \frac{dm_d}{d\tau} = \dot{m}_1 + \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4$$

Στο τύμπανο αποθηκεύεται μάζα νερού και ατμού. Για τον ισολογισμό ενέργειας της αποθήκευσης μάζας και ενέργειας ισχύει το Πρώτο Θερμοδυναμικό Αξίωμα. Μέσω των χοντρών τοιχωμάτων του τυμπάνου πρέπει να ληφθεί υπόψη πως το τοίχωμα αποθηκεύει ενέργεια. Κάτω από αυτήν την υπόθεση παίρνουμε την παρακάτω εξίσωση για την θερμότητα, η οποία έχει αποθηκευτεί εσωτερικά στα τοιχώματα.

$$\frac{dmu}{d\tau} = \dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_2 \cdot h_2 - \dot{m}_3 \cdot h'' - \dot{m}_4 \cdot h' - \frac{dH_{wand}}{d\tau}$$

Το  $H_{wand}$  εξαρτάται από τη μάζα των τοιχωμάτων και την ειδική θερμοχωρητικότητα και τη διαφορά θερμοκρασίας.

Η μεταφορά θερμότητας από το νερό στα τοιχώματα του τυμπάνου και η αποθήκευση της σε αυτά επιτυγχάνει συναγωγή θερμότητας σε διφασική περιοχή. Για τη ροή θερμότητας μεταξύ των τοιχωμάτων και του αποθηκευμένου μέσου ισχύει:

$$\frac{\partial H_{wand}}{\partial \tau} = \dot{Q}_{wand} = \alpha \cdot A_{innen} \cdot (T - T_{wand})$$

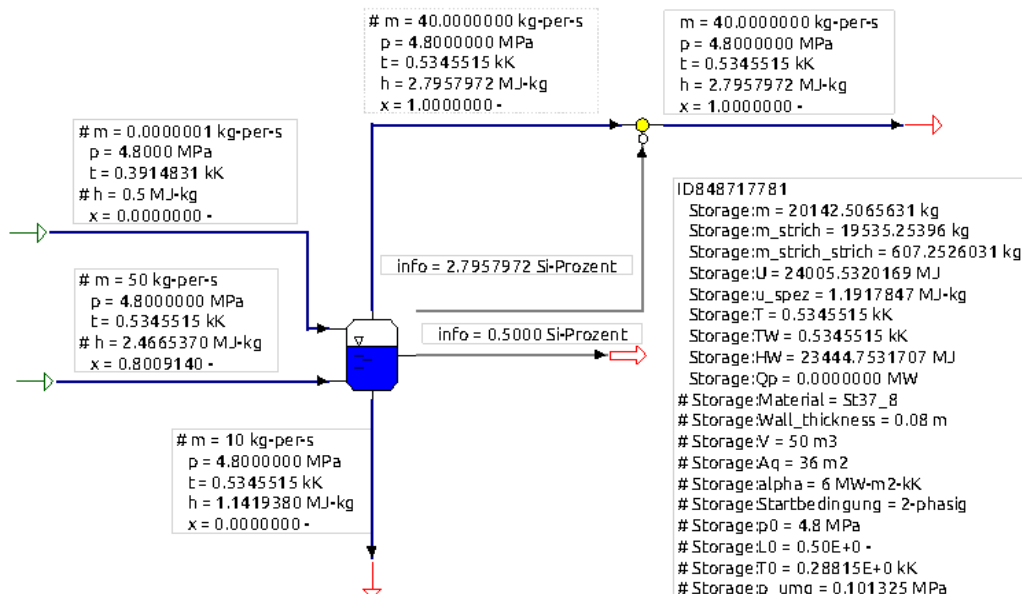
Η παραπάνω εξίσωση περιγράφει την μεταφορά θερμότητας μεταξύ του μίγματος νερού-ατμού και των τοιχωμάτων του τυμπάνου. Εάν είναι η θερμοκρασία των τοιχωμάτων μικρότερη από την θερμοκρασία μέσα στο τύμπανο, τότε αποθηκεύεται ενέργεια στα τοιχώματα. Εάν η θερμοκρασία των τοιχωμάτων είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία μέσα στο τύμπανο, τότε εκλύεται ενέργεια.  $\alpha$  είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μεταξύ των τοιχωμάτων του τυμπάνου και του κορεσμένου νερού, καθώς και του τυμπάνου με τον κορεσμένο ατμό.  $A_{innen}$  είναι η εσωτερική επιφάνεια του τυμπάνου, μέσω της οποίας μεταφέρεται η θερμότητα.

Η πίεση εμφανίζεται πάνω στη μάζα και στην εσωτερικά αποθηκευμένη ενέργεια μέσα στο τύμπανο. Μία αύξηση του όγκου λόγω της παροχής ατμού οδηγεί σε αύξηση της πίεσης λειτουργίας. Εάν μένει η εισερχόμενη και εξερχόμενη ενέργεια και μάζα ίδια, τότε και η πίεση παραμένει σταθερή.

#### *Εφαρμογή του μοντέλου*

Επιπρόσθετα στις προαναφερθείσες τέσσερις ροές μάζας εισόδου και εξόδου δίνεται και η σχετική στάθμη ως σήμα. Αυτές οι τιμές μπορούν να τροποποιηθούν ως μεταβλητές ελέγχου για τον έλεγχο της στάθμης.

Με το σύστημα εξισώσεων ισορροπίας που περιγράφεται σε αυτήν την εργασία και την αντίστοιχη εφαρμογή του μοντέλου στο πρόγραμμά μας για το τύμπανο καλύπτονται σχεδόν όλες οι δυνατές περιοχές λειτουργίας. Αυτό το σύστημα εξισώσεων ισορροπίας επιτρέπεται επίσης και στον τρόπο ελέγχου στην περιοχή υγρού ατμού. Μέσα από αυτό λαμβάνονται υπόψη επίσης οι καταστάσεις κατά τη λειτουργία του τυμπάνου σε μονοφασική περιοχή.



Εικόνα 8.45: Απεικόνιση του εξαρτήματος στο πρόγραμμα.

### Σημειώσεις εφαρμογής

Κατά τον υπολογισμό ενός κύκλου, όπου περιλαμβάνεται και τύμπανο, θα βγαίνει τελικά πραγματικό νερό. Για την απεικόνιση μίας στατικής κατάστασης πρέπει επιπλέον να δίνεται και η συμμόρφωση των εξισώσεων ισορροπίας. Για τον ισολογισμό της μάζας πρέπει να ισχύει:

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4 = 0$$

Αντίστοιχα πρέπει για τον ισολογισμό ενέργειας να ισχύει:

$$\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_2 \cdot h_2 - \dot{m}_3 \cdot h_3 - \dot{m}_4 \cdot h_4 = 0$$

Εάν αυτές οι δύο συνθήκες κατά τον υπολογισμό μιας στατικής κατάστασης δεν ικανοποιούνται, αποθηκεύεται είτε μάζα είτε ενέργεια στο τύμπανο. Για αυτές τις περιπτώσεις εμφανίζονται στο Enbipro τα μηνύματα: «Keine stationäre Lösung – Ein – oder Ausspeicherung über die Massenbilanz» ή «Keine stationäre Lösung – Ein- oder Ausspeicherung über die Energiebilanz». Χωρίς την ικανοποίηση αυτών των συνθηκών θα υπολογιστεί μία «στατική κατάσταση», στην οποία ως κατάσταση εξόδου θα χρησιμοποιείται ένας δυναμικός υπολογισμός.

Η μεταφορά θερμότητας μεταξύ του μίγματος νερού-ατμού και των τοιχωμάτων του τυμπάνου λαμβάνει χώρα με συναγωγή θερμότητας. Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας θα εκτιμάται από τους υπολογισμούς. Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας είναι διαφορετικός για το κορεσμένο νερό και τον ατμό και αποτελείται από τα μέρη  $\alpha_{Siedewasser}$  και  $\alpha_{Dampf}$ . Κατά κανόνα είναι αρκετή η προσέγγιση του συντελεστή μεταφοράς

θερμότητας από την παρακάτω εξίσωση, όπου υπολογίζεται με μία σχετική αναφορά της στάθμης.

$$\alpha = y \cdot \alpha_{Siedewasser} + (1 - y) \cdot \alpha_{Dampf}$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

### 9.1 ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ – *SENSITIVITY ANALYSIS*

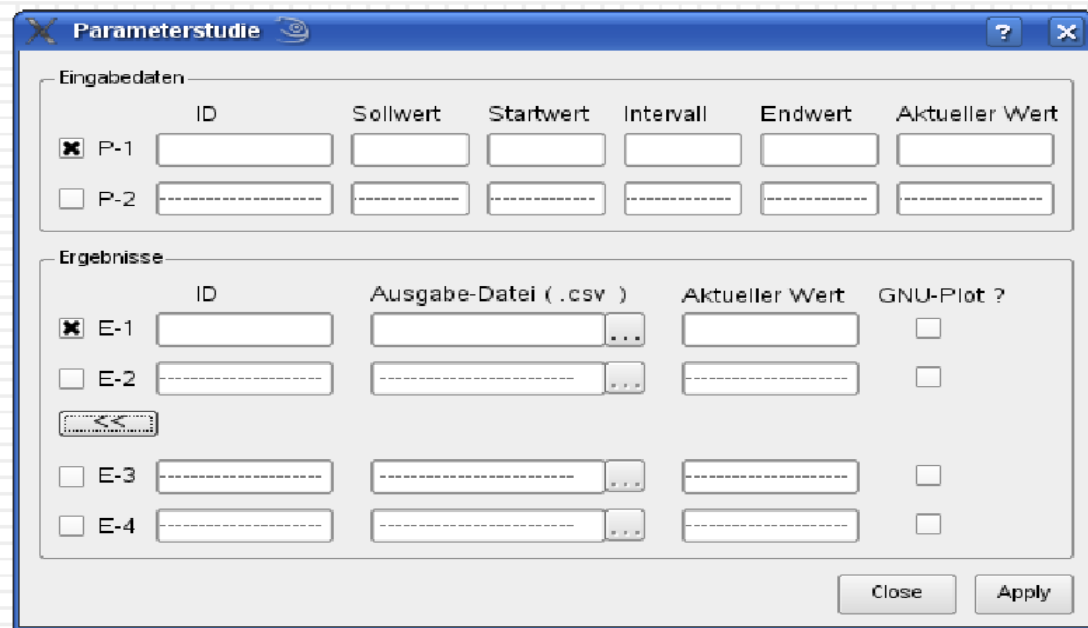
Το έργο της μελέτης των παραμέτρων είναι να ανακαλύπτονται οι σχέσεις μεταξύ των επιμέρους μεγεθών και να αποφεύγονται οι επαναλαμβανόμενες εισαγωγές διαφορετικών αρχικών τιμών από το χρήστη. Ως αναφορικό παράδειγμα για τη μελέτη των παραμέτρων είναι η απεικόνιση της καμπύλης απόδοσης ενός αεροστοβίλου.

Επιπλέον, η μελέτη των παραμέτρων είναι επίσης ένα εργαλείο βελτιστοποίησης. Ανήκει στην ομάδα των ολιστικών βελτιστοποιήσεων. Αυτό σημαίνει ότι, μέσα σε μία περιοχή αναζήτησης, μπορεί να αναμένεται πλήρως και έτσι το βέλτιστο μπορεί να βρεθεί υπολογισμένο. Παρ' όλα αυτά, αυτή η μέθοδος βελτιστοποίησης είναι αρκετά χρονοβόρα και υπολογιστικά ακριβή. Σε αυτήν την περίπτωση συνιστάται να ξεκινάει με μεγαλύτερο μήκος βημάτων. Όταν κάποιο βέλτιστο διαφαίνεται μπορεί η περιοχή αναζήτησης να περιοριστεί σε αυτήν την περιοχή, ακριβώς όσο είναι και το μήκος βήματος.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημάνουμε ότι στην παρούσα διπλωματική εργασία, το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται καθαρά για λόγους διευκόλυνσης των μελλοντικών χρηστών του προγράμματος, καθώς σε εμάς δε δόθηκε δυστυχώς η δυνατότητα να το εξελίξουμε σε αυτό το επίπεδο, κυρίως για τους λόγους που έχουμε ήδη αναφέρει και τις δυσκολίες που αντιμετωπίσαμε.

#### 9.1.1. Ανάπτυξη της επιφάνειας

Η μελέτη των παραμέτρων μπορεί να ξεκινήσει από την επιφάνεια του *nbiGUI*. Για αυτό πρέπει να πάμε στο μενού των εργαλείων (*Tools*) και να επιλέξουμε "*Sensitivity-analysis*". Η επιφάνεια που ανοίγει φαίνεται παρακάτω (9.1). Αποτελείται από μία έως δύο σειρές πεδίων εισαγωγής δεδομένων (P-1 και P-2) και έως οκτώ σειρές πεδίων αποτελεσμάτων (E-1 έως (E-8). Ο αριθμός των πεδίων, που θα χρησιμοποιηθούν, ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται από το αντίστοιχο κουτάκι ελέγχου στην αρχή της κάθε γραμμής αντίστοιχα. Πρέπει να είναι ενεργοποιημένο τουλάχιστον ένα πεδίο εισαγωγής δεδομένων και ένα εξαγωγής αποτελεσμάτων. Στο δεύτερο πεδίο κάθε σειράς δεδομένων εισάγεται το αντίστοιχο *ID* που επιθυμούμε, αυτό μπορεί να είναι ενός εξαρτήματος, μιας μεταβλητής ή μίας ισχύος. Παράλληλα εδώ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αριθμοί και γράμματα. Δεν μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν διαλυτικά, κενό ή ειδικοί χαρακτήρες, εκτός της κάτω παύλας ( \_ ).



Εικόνα 9.1: Η επιφάνεια της μελέτης παραμέτρων

Αυτά τα *ID* μπορούν να βρεθούν, όπως αναλύεται παρακάτω, καθώς και να αλλάξουν:

- Δεξί κλικ πάνω στο επιλεγμένο εξάρτημα
- Στο μενού *Pop-Up* επιλέγουμε “*Properties*”
- Στο τώρα ανοιγμένο παράθυρο, επιλέγουμε τα αντίστοιχα μεγέθη
- Στη δεξιά μεριά βρίσκονται τώρα μόνο δύο στήλες. “*Attribute*” και “*Value*”
- Στη γραμμή του *ID* μπορεί να διαβαστεί ή να μετονομαστεί μόνο το *ID* του “*Value-Seite*” των μεγεθών ή της ισχύος που ψάχνουμε.

Είναι επίσης εφικτό αυτό το χαρακτηριστικό *ID* να το εισάγουμε απευθείας με “*copy-paste*” δηλαδή, να το αντιγράψουμε στο αντίστοιχο πεδίο. Για τα δεδομένα εισαγωγής πρέπει πάντα να δίνεται το *ID*, του οποίου μέσω της μελέτης παραμέτρων θα καθορίζονται τα μεγέθη. Στα στοιχεία αποτελεσμάτων μπορεί να επιλεχθεί οποιοδήποτε *ID*. Ακόμα και αυτό της εισόδου.

Τα πεδία κειμένου των δεδομένων εισαγωγής είναι κατασκευασμένα ως εξής:

- *Sollwert*: Τιμές από  $-\infty$  έως  $+\infty$ .
- *Startwert*: Τιμές από  $-\infty$  έως  $+\infty$ .
- *Intervall*: Αριθμός βημάτων. Ολόκληροι αριθμοί από το 1 έως το  $+\infty$ . Εδώ εισάγεται ο αριθμός, ο οποίος αντιστοιχεί στα βήματα μεταξύ των τιμών αρχής και τέλους (*Startwert* και *Endwert* αντίστοιχα). Η μελέτη παραμέτρων υπολογίζει μέσω αυτού του αριθμού το επιμέρους μήκος βήματος.



- *Endwert*: Τιμές από  $-\infty$  έως  $+\infty$ .
- *Aktueller Wert*: Εδώ εμφανίζεται η πραγματική τιμή, με την οποία θα εκτελέσει τους υπολογισμούς η μελέτη παραμέτρων.

Στα αποτελέσματα, υπό κανονικές συνθήκες, εμφανίζονται μόνο 2 γραμμές, οι E-1 και E-2. Για να ενεργοποιήσουμε τις εξόδους E-3 έως και E-8 πρέπει να επιλεγεί το κουμπί: >> . Επιπλέον, υπάρχει το πεδίο “Ausgabe-Datei”. Σε αυτό το πεδίο μπορούμε να εισάγουμε ένα όνομα αρχείου εκ νέου ή ένα αρχείο, το οποίο θα επιλέξουμε με τη βοήθεια ενός «υπεύθυνου» αρχείου, επιλέγοντας το κουμπί δεξιά του πεδίου. Και εδώ επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αριθμοί και γράμματα. Δεν μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν διαλυτικά ή ειδικοί χαρακτήρες. Σημαντικό είναι να μην εισαχθεί η κατάληξη αρχείου .csv. Αυτό εμφανίζεται αυτόματα μέσω της μελέτης παραμέτρων. Πρέπει επίσης να σημειωθεί, ότι για τα αποτελέσματα E-1 έως E-8 επιλέγονται πάντα διαφορετικά δεδομένα, αλλιώς τα αποτελέσματα σε ομώνυμα αρχεία δεν είναι πλέον χρήσιμα να καταταχθούν μεταξύ τους και έτσι, δεν θα είναι δυνατό να έχουμε κάποιο σωστό αποτέλεσμα.

Τα αρχεία αποτελεσμάτων αντικαθιστώνται σε κάθε νέα εκτέλεση της μελέτης παραμέτρων, σε περίπτωση, όπου αυτά τα αρχεία υπάρχουν ήδη. Για αρχεία, τα οποία δεν είναι ακόμα διαθέσιμα, δημιουργούνται αυτόματα σύμφωνα με τα καταγεγραμμένα ονόματα εκ νέου. Στο πεδίο “Aktueller Wert” εμφανίζονται για το επιθυμητό ID τα πραγματικά αποτελέσματα του τελευταίου βήματος των υπολογισμών. Μετά την επιτυχή διεκπεραίωση της μελέτης παραμέτρων, μπορούν να εμφανιστούν τα αποτελέσματα στο GNU-Plot με τη μορφή διαγράμματος. Για αυτό είναι προς ενεργοποίηση στην αρχή της μελέτης παραμέτρων το αντίστοιχο κουτάκι ελέγχου.

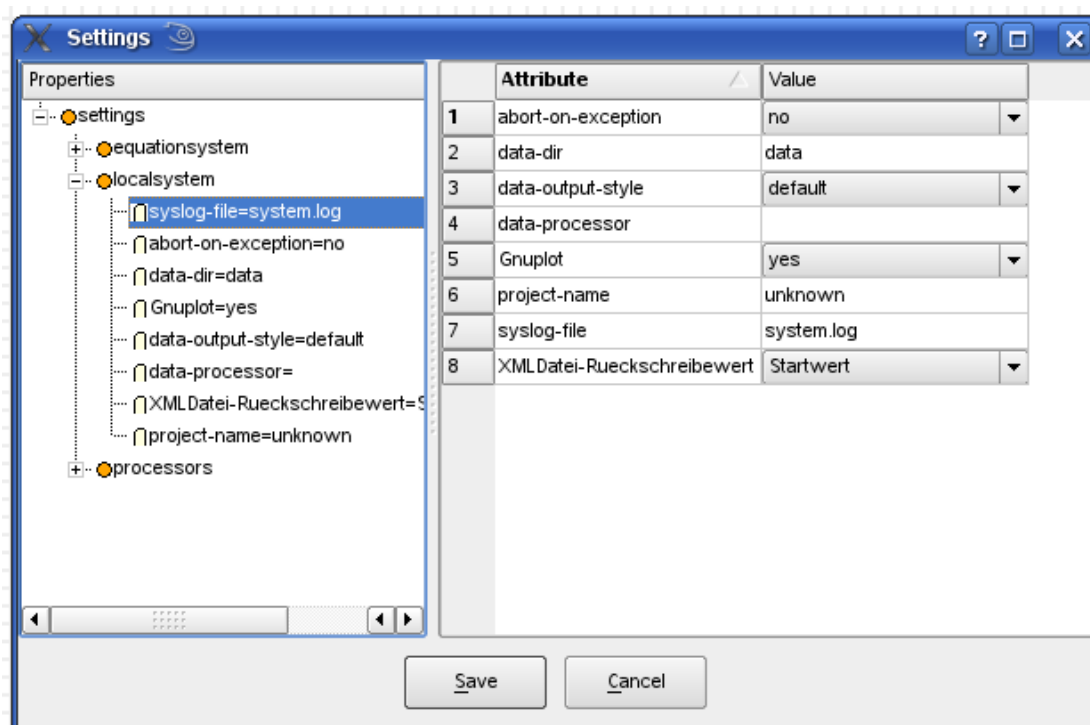
### 9.1.2. Αρχή της μελέτης παραμέτρων

Προτού μπορέσουν να ξεκινήσουν οι πραγματικοί υπολογισμοί, υπάρχουν ακόμα τρία πράγματα που πρέπει να προσέξουμε. Νούμερο ένα είναι, ότι το παράθυρο της μελέτης παραμέτρων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης πρέπει να μένει πάντα ανοιχτό και ως τρόπος λειτουργίας υπολογισμού να έχει επιλεγεί το “Sensibility-analysis”. Κατά δεύτερον, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία στο, ότι το προς υπολογισμό μοντέλο λειτουργεί ήδη σωστά στο κανονικό ENBIPRO. Κατά τρίτον, πρέπει να γίνουν μερικές ρυθμίσεις στο “Document Settings”. Για αυτό, ανοίγουμε με δεξί κλικ το μενού “Settings” και κάνουμε κλικ στο “Document Settings”. Στο παράθυρο που ανοίγει μόλις, πρέπει να επιλέξουμε το “localsystem”. Στη δεξιά πλευρά του παραθύρου, στις ιδιότητες, θα πρέπει να εξασφαλιστεί, ότι έχουν τεθεί το “Gnuplot” σε “no” και “XMLDatei-Rueckschreibewert” ως “Endwert”. Μπορούμε να δούμε αντίστοιχα και την εικόνα παρακάτω (19.2). Αυτό είναι για μία σωστή εκτέλεση ιδιαίτερα σημαντικό. Όταν αυτές οι ρυθμίσεις έχουν πραγματοποιηθεί, τότε μπορεί να ξεκινήσει η μελέτη παραμέτρων. Όπως και στο κανονικό ENBIPRO, έτσι και εδώ, ένα κλικ είναι απαραίτητο στο κουμπί Run για να ξεκινήσει. Αντίστοιχα, με το κουμπί Stop μπορεί να διακοπεί αμέσως η προσομοίωση.

### 9.1.3. Ροή του προγράμματος

Η μελέτη παραμέτρων κυλάει σύμφωνα με το ακόλουθο σχέδιο:

1. Υπολογισμός του μοντέλου με αρχικές τιμές για P-1 και/ή P-2.
2. Η αρχική τιμή του P-1 θα αυξηθεί σε ένα βήμα και του P-2, σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί, θα παραμείνει αμετάβλητη.
3. Προσομοίωση με νέες τιμές.



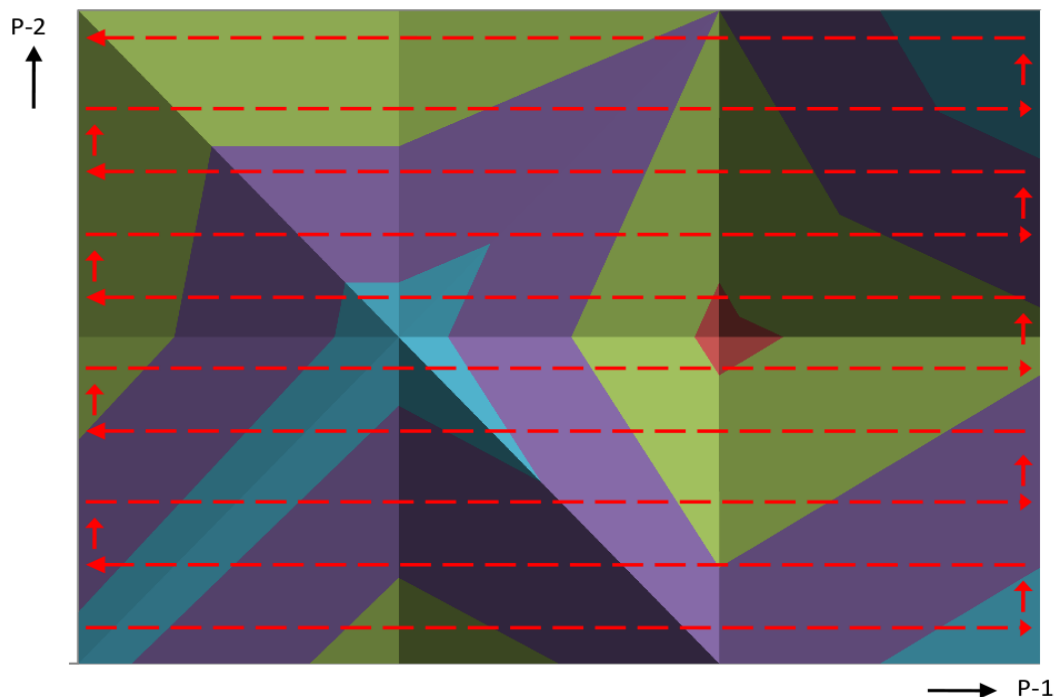
Εικόνα 19.2: Βασικές ρυθμίσεις του ENBIPRO (όχι ρυθμισμένες για μελέτη παραμέτρων)

4. Η τιμή του P-1 αυξάνεται κατά ένα βήμα και του P-2 αμετάβλητες. Τότε ακολουθεί ένας ακόμη υπολογισμός και ούτω καθεξής. Αυτό συνεχίζεται μέχρις ότου το P-1 φτάσει την τιμή του *Endwert*. Εάν το P-2 δεν είναι ενεργοποιημένο, τότε πάμε κατευθείαν στο νούμερο 9.
5. Για την περίπτωση, όπου ένας υπολογισμός με τιμές στο P-2 λαμβάνει χώρα, τότε αυτή αυξάνει σε ένα μόλις βήμα και η P-1 παραμένει στην τελική της τιμή.
6. Ακολουθεί ο υπολογισμός του P-1. Οι τιμές του P-1 χαμηλώνουν κατά βήμα, μέχρι να φτάσουν πάλι αυτές του *Startwert* (αρχικές τιμές).

7. Ανακάμπτει η τιμή P-2 σε μέγεθος βήματος και η P-1 υπολογίζεται μέσω της αρχικής και τελικής τιμής και ούτω καθεξής.
8. Αυτό επαναλαμβάνεται μέχρις ότου η P-1 και/ή P-2 αγγίξουν τις τελικές τιμές τους.
9. Εν κατακλείδι εκτελείται μία τελευταία προσομοίωση με τις επιθυμητές τιμές που έχουν εισαχθεί.

Η ροή του προγράμματος που περιγράφηκε είναι για την περίπτωση, όπου οι αρχικές τιμές είναι μικρότερες από τις τελικές. Είναι όμως πιθανό, να ξεκινήσει και με τιμές εκκίνησης μεγαλύτερες από αυτές του τέλους. Αυτό αλλάζει αναλόγως της προαναφερθείσας ροής σε αντίθετη σειρά. Επίσης, η αρχική τιμή μπορεί να μειωθεί μόνο με το χρονικό διάστημα.

Παρακάτω βλέπουμε τη γραφική απεικόνιση των υπολογισμών για δύο μεταβλητές εισόδου.



Εικόνα 19.3: Ροή υπολογισμού με δύο μεταβλητές

#### 9.1.4. Αποτελέσματα

Μετά από μία επιτυχή εκτέλεση της μελέτης παραμέτρων εμφανίζονται τα αποτελέσματα, εφόσον το επιθυμούμε, μέσω του *GNU-Plot*. Για αυτό ανοίγει αυτόματα για κάθε μία έξοδο αποτελεσμάτων ένα παράθυρο, μέσα στο οποίο απεικονίζονται τα διαγράμματα. Εάν χρησιμοποιείται μόνο μια είσοδος P-1 ή P-2, τότε η έξοδος θα είναι σε ένα δισδιάστατο διάγραμμα. Σε δύο εισόδους δεδομένων θα ανοίξει ένα τρισδιάστατο παράθυρο. Αυτό το *GNU-Plot* μπορεί να βρεθεί αργότερα ξανά στον υποκατάλογο

“Calculation Results” με την περιγραφή “Ergebnis-1.ps” έως “Ergebnis-2.ps” για δισδιάστατη απεικόνιση. Για αποτελέσματα τρισδιάστατα επιλέγονται οι προσδιορισμοί “Ergebnis3D-1.ps” έως “Ergebnis3D-8.ps” . τα αντίστοιχα αρχεία εξόδου (\*.csv) μπορούν να βρεθούν ξανά αντίστοιχα στο αρχείο “Calculation Results” με το ανάλογο επιλεγμένο όνομα από την επιφάνεια. Εάν πρέπει να πραγματοποιηθεί μία περαιτέρω προσομοίωση, πρέπει να σημειωθεί, ότι σε περίπτωση όπου τα ονόματα των αρχείων εξόδου δεν αλλάξουν, τότε αυτά πρέπει να αντικατασταθούν. Επίσης, τα αρχεία PostScript (\*.ps) του GNU-Plot δημιουργούνται εκ νέου και αντικαθιστώνται.

#### Δημιουργία του αρχείου εξόδου \*.csv

Με τη βοήθεια ενός προγράμματος που υπολογίζει σε πίνακες, μπορούν τα αποτελέσματα της μελέτης παραμέτρων να εμφανιστούν και να επεξεργαστούν. Η δημιουργία ενός τέτοιου αρχείου φαίνεται παραδειγματικά στην εικόνα 19.4 για μία μεταβλητή εισόδου και στην εικόνα 17.5 αντίστοιχα για δύο μεταβλητές εισόδου.

	A	B	C
1	#ausgang4		
2	#Startwerte_ID1_Spalte		
3	-2.000000	-2.999040	
4	-1.000000	-0.000960	
5	0.000000	0.999680	
6	1.000000	0.000320	
7	2.000000	-2.999040	
8			
9	#Sollwtergebnis:	-0.000960	
10			
11			

Εικόνα 9.4: Δημιουργία αρχείου \*.csv με μία μεταβλητή εισόδου (P-1 ή P-2)

Στην παραπάνω εικόνα (9.4) έχουμε:

- Πεδίο A1: Όνομα αρχείου
- Πεδίο A2: Αναφορά σχετικά με το πού εισάγεται η τιμή εκκίνησης για το P-1 ή P-2
- Πεδία A3 έως A6: Οι τιμές εισόδου σε σειρά ανάλογα με τον υπολογισμό τους. Όταν υπάρχουν περισσότερες από τέσσερις τιμές εισόδου, όπως χρησιμοποιήθηκαν εδώ, καταλήγει αυτή η στήλη στην αντίστοιχη γραμμή.
- Πεδία B3 έως B6: Τα αποτελέσματα που υπολογίσθηκαν στις αντίστοιχες τιμές εκκίνησης.
- Πεδία A8 και B8: Το προκαθορισμένο αποτέλεσμα της επιθυμητής τιμής στο τελευταίο βήμα. Αυτή η γραμμή βρίσκεται πάντα με μία κενή γραμμή απόσταση από το τέλος του πίνακα.

	A	B	C	D	E	F	G
1	#dererer						
2	#Startwerte_ID1_Spalte						
3	#Startwerte_ID2_Zeile	-2.000000	-1.000000	0.000000	1.000000	2.000000	
4		-3.000000	-9.999296	-9.000319	-8.000320	-7.000320	-6.000320
5		-2.000000	-5.000064	-4.000320	-3.000320	-2.000320	-1.000320
6		-1.000000	-1.999936	-1.000320	-0.000320	0.999680	1.999680
7		0.000000	-0.999808	-0.000320	0.999680	1.999680	2.999680
8		1.000000	-1.999680	-1.000320	-0.000320	0.999680	1.999680
9		2.000000	-4.999552	-4.000320	-3.000320	-2.000320	-1.000320
10		3.000000	-9.999424	-9.000319	-8.000320	-7.000320	-6.000320
11							
12	#Sollwertergebnis:	0.999552					
13							
14							
15							

Εικόνα 9.5: Δημιουργία αρχείου \*.csv με δύο μεταβλητές εισόδου (P-1 και P-2)

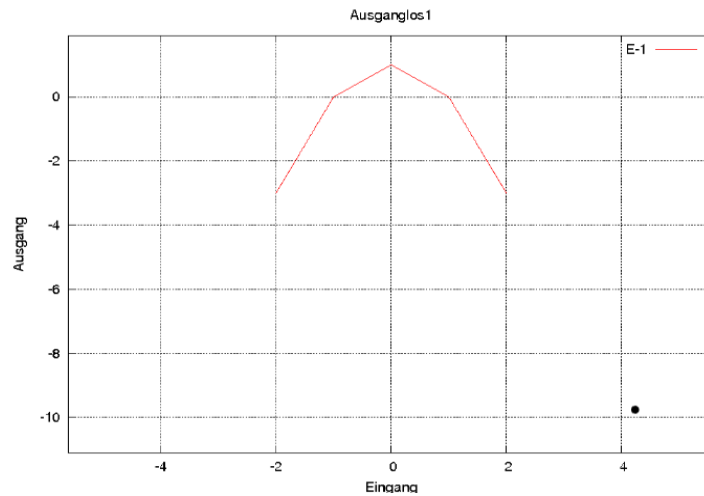
Αντίστοιχα για την παραπάνω εικόνα (9.5) έχουμε:

- Πεδίο A1: Όνομα αρχείου
- Πεδίο A2: Αναφορά σχετικά με την εισαχθείσα τιμή εκκίνησης για την P-1. Πάντα τη στήλη A. Αρχίζει από τη γραμμή 4.
- Πεδίο A3: Αναφορά σχετικά με την εισαχθείσα τιμή εκκίνησης για την P-2. Πάντα στη γραμμή 3. Αρχίζει από τη στήλη B.
- Πεδία A4 έως A10: Οι τιμές εισόδου για P-1 σε σειρά ανάλογα με τον υπολογισμό τους. Εάν χρησιμοποιηθούν περισσότερες από δύο τιμές εισόδου, όπως στο παράδειγμά μας, τότε τελειώνει αυτή η στήλη στην αντίστοιχη γραμμή.
- Πεδία B3 έως F3: Οι τιμές εισόδου για P-2 σε σειρά ανάλογα με τον υπολογισμό τους. Εάν χρησιμοποιηθούν περισσότερες από δύο τιμές εισόδου, όπως χρησιμοποιήθηκαν, τότε τελειώνει αυτή η γραμμή στην αντίστοιχη στήλη.
- Πεδία B4 έως F10: Τα αποτελέσματα που υπολογίσθηκαν στις αντίστοιχες τιμές εκκίνησης.
- Πεδία A12 έως B12: Το προκαθορισμένο αποτέλεσμα της επιθυμητής τιμής στο τελευταίο βήμα. Αυτή η γραμμή βρίσκεται πάντα με μία κενή γραμμή απόσταση από το τέλος του πίνακα.

#### Δημιουργία του διαγράμματος GNU-Plot

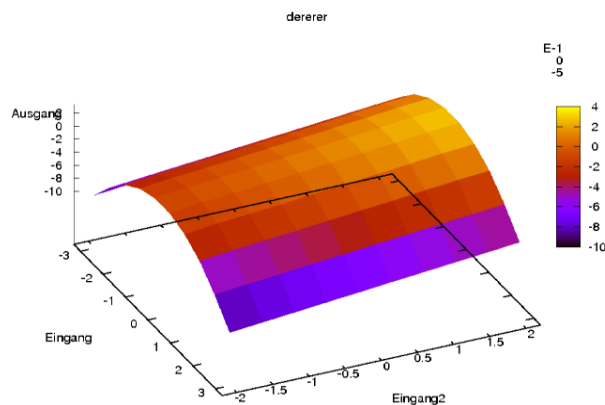
Η δημιουργία του εξηγείται βάσει δύο παραδειγμάτων. Ενός για μία μεταβλητή εισόδου, επίσης με διδιάστατη απεικόνιση και ενός με δύο μεταβλητές εισόδου και ένα τρισδιάστατο διάγραμμα. Τα διαγράμματα και τα αρχεία που ανήκουν σε αυτά,

δημιουργούνται, όταν τα αντίστοιχα κουτάκια ελέγχου ενεργοποιηθούν για το *GNU-Plot*. Η δισδιάστατη απεικόνιση εξηγείται με βάση την εικόνα 9.6.



**Εικόνα 9.6:** Δημιουργία ενός *GNU-Plot* με μία μεταβλητή εισόδου

Ο τίτλος του *GNU-Plot* βρίσκεται τελείως πάνω και στη μέση και ανταποκρίνεται στο επιλεγμένο αρχείο της επιφάνειας της μελέτης παραμέτρων. Πάνω δεξιά δίνεται η μεταβλητή εξόδου, εδώ E-1 και η μορφή της γραμμής για την καμπύλη στο διάγραμμα. Στην τεταγμένη και τετμημένη αναγράφονται τα ονόματα καθώς και τα νούμερα του επιλεγμένου *ID*. Ως υποβολή για ένα τρισδιάστατο διάγραμμα χρησιμοποιείται το διάγραμμα της κάτωθι εικόνας.

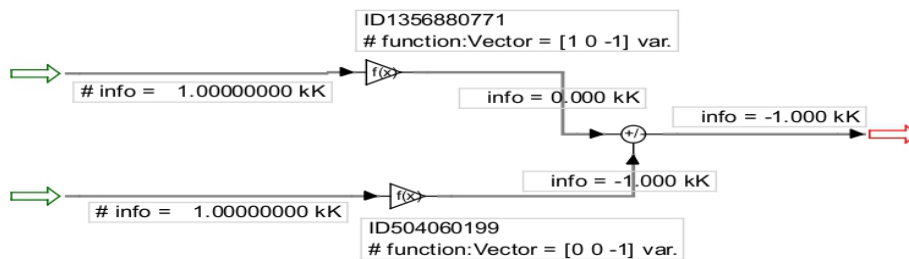


**Εικόνα 9.7:** Δημιουργία ενός *GNU-Plot* με δύο μεταβλητές εισόδου

Εδώ, όπως και στην προβολή ενός δισδιάστατου *GNU-Plot* είναι τοποθετημένο στη μέση πάνω το όνομα του αρχείου σαν όνομα ενός διαγράμματος και πάνω δεξιά η επιλεγμένη μεταβλητή εξόδου (E-1). Στη μέση δεξιά βρίσκεται μία χρωματική κλίμακα, η οποία καθορίζει το ύψος των τιμών σε αντιστοιχία τόνων χρωμάτων. Στους άξονες παρουσιάζονται οι ονομασίες των *ID* των μεταβλητών εισόδου και εξόδου.

### 9.1.5. Ένα παράδειγμα

Σαν παράδειγμα υπολογισμού για μία μελέτη παραμέτρων θα χρησιμοποιηθεί το μοντέλο “*Parameter1.xml*”. Η δημιουργία αυτού του παραδείγματος φαίνεται ως ακολούθως. Υπάρχουν δύο σήματα εισόδου και ένα εξόδου, όπως δύο εξαρτήματα λειτουργίας και ένα αθροίσματος (εικόνα 9.8). Με αυτό καθίσταται δυνατό να εξετάσουμε τη μελέτη παραμέτρων δύο και τριών διαστάσεων. Στο πρώτο τμήμα λειτουργίας αναπτύσσεται η λειτουργία  $x_{ein}^2 = 1 - y_{aus}$ . Στο δεύτερο είναι η λειτουργία  $x_{ein} = 1 + y_{ein}$ . Οι είσοδοι έχουν τα ID “*Eingang1*” και “*Eingang2*”. Η έξοδος χαρακτηρίζεται ως “*Ausgang*”.



Εικόνα 9.8: Υπολογιστικό παράδειγμα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Φτάνουμε, λοιπόν, στο τελευταίο και πλέον σημαντικό κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας. Καθότι, μετά πολλών κόπων, είμαστε σε θέση να παρουσιάσουμε δύο ολοκληρωμένους κύκλους που προσομοιώσαμε, κάνοντας χρήση του προγράμματος.

Το κεφάλαιο αυτό θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως «ημερολόγιο», αφού όπως μπορεί να παρατηρήσει ο αναγνώστης, γίνεται μία λεπτομερής αναφορά σχετικά με το πώς έγινε η κάθε προσομοίωση. Επισημαίνουμε τις ιδιαιτερότητες, διευκρινίζουμε ορισμένες ασάφειες και ορισμένα χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων, αλλά επίσης τονίζουμε πώς πρέπει να γίνεται κάθε βήμα προσομοίωσης, ώστε να μειώσουμε τον αριθμό των λαθών και των λάθος χειρισμών, ώστε ο επόμενος χρήστης να έχει στα χέρια του ένα πιο ολοκληρωμένο εγχειρίδιο και ένα καλό βοήθημα.

Κατά την προσπάθειά μας να εγκαταστήσουμε και να λειτουργήσει ένα πρόγραμμα στον υπολογιστή, το οποίο δεν έχει μεγάλη απόκλιση από το πραγματικό, καθώς έχουμε πει ότι το πρόγραμμα αυτό δεν υποστηρίζεται από Windows, μετά από πολλές προσπάθειες, κάναμε την ύστατη προσπάθεια με τη βοήθεια ενός ακόμα προγράμματος. Αυτό το πρόγραμμα είναι το *VirtualBox*, το οποίο ουσιαστικά αυτό που κάνει είναι να υποστηρίζει προγράμματα που είναι γραμμένα σε άλλη γλώσσα προγραμματισμού. Για ακόμη μία φορά τα αποτελέσματα ήταν αρνητικά, με αρνητικές συνέπειες τόσο για το πρόγραμμα, αυτό καθαυτό, αλλά και για τον υπολογιστή, στον οποίο επιχειρήσαμε να το εγκαταστήσουμε. Οπότε, βρεθήκαμε στη θέση να συμβιβαστούμε και να εργαστούμε με το αρχικό πρόγραμμα.

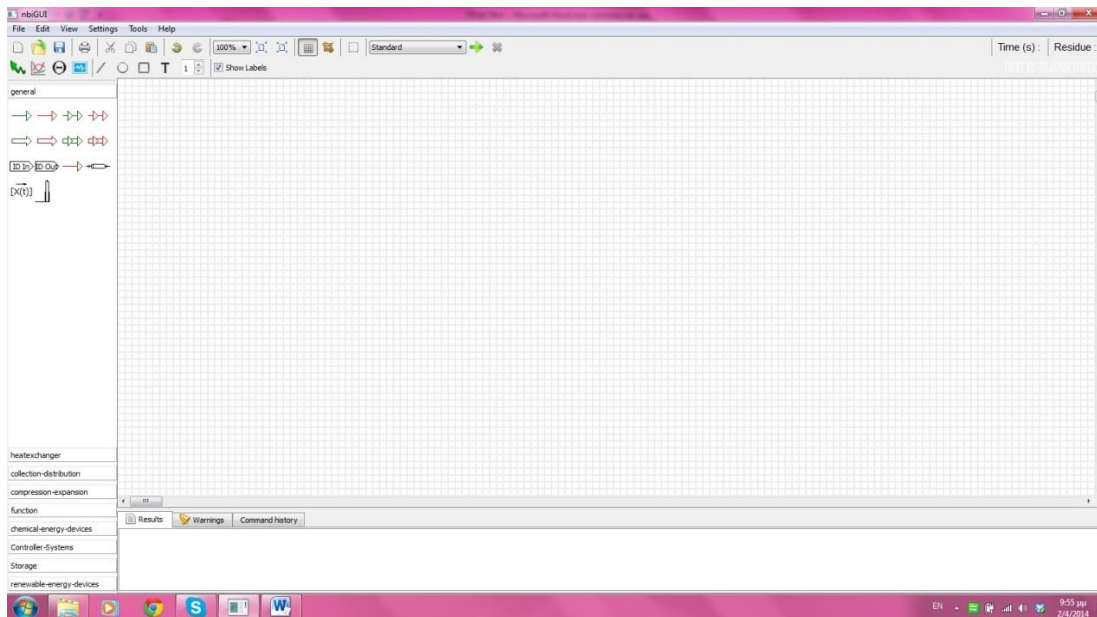
Όλα τα τρεξίματα που έγιναν στο πρόγραμμα αυτό, έγιναν στο δυναμικό κομμάτι του *ENBIPRO (Dynamisches\_ENBIPRO)*, καθώς αυτό είναι που έχει τα περισσότερα εξαρτήματα, τις περισσότερες δυνατότητες και κυρίως τα λιγότερα προβλήματα.

### 10.1 ΠΡΩΤΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Ο πρώτος κύκλος περιλαμβάνει ένα συνδυασμένο κύκλο αεριοστροβίλου – ατμοστροβίλου.

Ξεκινάμε το πρόγραμμά μας επιλέγοντας από το φάκελο του (*Dynamisches\_ENBIPRO*) την εντολή *nbiGUI*, ώστε να ανοίξει η κεντρική επιφάνεια εργασίας (Εικόνα 10.1).





Εικόνα 10.1: Κεντρική επιφάνεια εργασίας του προγράμματος.

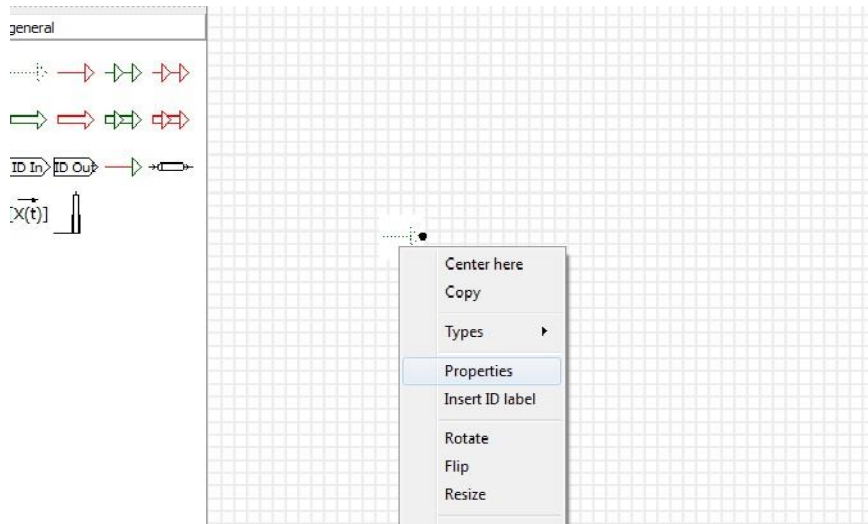
Στη συνέχεια, με την επιλογή πάνω αριστερά της γραμμής εργαλείων επιλέγουμε να ανοίξουμε μία καινούρια κενή επιφάνεια εργασίας. Αυτό το κάνουμε προς αποφυγήν του να κλείσει το πρόγραμμα από κάποιο μπλοκάρισμα και να χάσουμε την μέχρι τότε εργασία μας. Μόλις ανοίξει το νέο παράθυρο, πρώτη μας προτεραιότητα είναι να αποθηκεύσουμε αυτό το αρχείο. Όπως έχουμε αναφέρει, η αποθήκευση γίνεται μόνο στον συγκεκριμένο φάκελο *example\_neu* και στο τέλος του ονόματος που θέτουμε στο αρχείο μας βάζουμε την κατάληξη *.xml*. Η διαδικασία που ακολουθούμε για να ολοκληρώσουμε τη λειτουργία αυτή και να ξεκινήσουμε την προσομοίωση είναι η εξής:

**File->Save As->example\_neu->"name".xml-> Save**

Τώρα μπορούμε να ξεκινήσουμε τη διαδικασία της δημιουργίας του κύκλου.

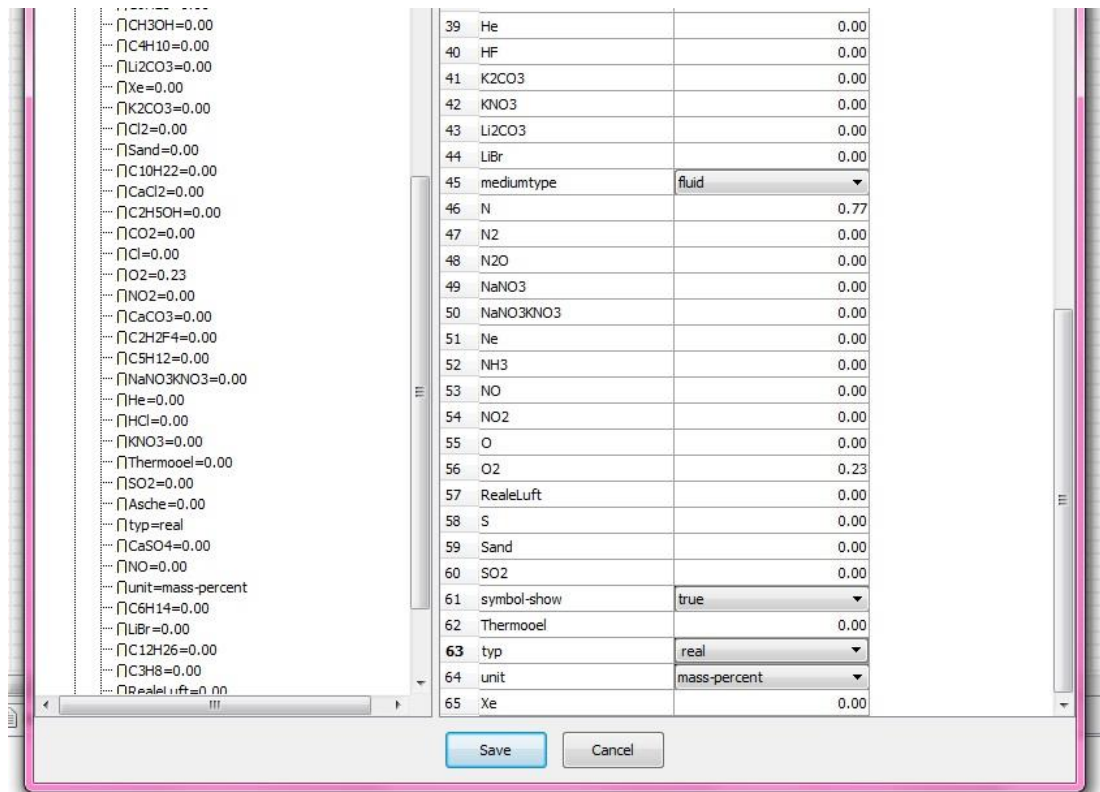
Σε αυτήν την περίπτωση που έχουμε ξεκινάμε συμπιέζοντας αέρα σε ένα συμπιεστή, ώστε στην πορεία να εισαχθεί στον θάλαμο καύσης, όπου εισάγουμε το καύσιμο. Τα παραγόμενα καυσαέρια οδηγούνται στο στρόβιλο προς αποτόνωση, και ο στρόβιλος κινεί μία γεννήτρια μέσω ενός άξονα.

Με τη διαδικασία "*Drag&Drop*" τοποθετούμε το εξάρτημα της πηγής στην επιφάνεια εργασίας μας. Κάνουμε «δεξί κλικ» πάνω στο εξάρτημα και επιλέγουμε την εντολή *properties* (Εικόνα 10.2).



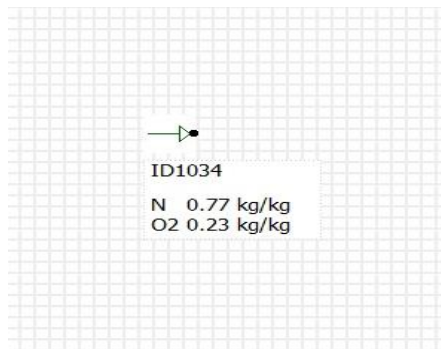
Εικόνα 10.2: Εμφάνιση εντολής *properties*.

Έτσι, μας ανοίγει ένα νέο παράθυρο με τα υλικά τα οποία μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε, αλλά και συνθέσεις αυτών. Εμείς θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε αέρα και για αυτό το λόγο βάζουμε μόνοι μας τη σύσταση του υλικού που θέλουμε. Αυτή είναι  $O_2=0,23$  και  $N_2=0,77$ . Στην επιλογή *symbol\_show* επιλέγουμε την εντολή *true*, στην επιλογή *type* επιλέγουμε το μέσο μας να είναι *real* και τέλος πατάμε *save*, ώστε να αποθηκευτούν οι αλλαγές που κάναμε στο συγκεκριμένο εξάρτημα (Εικόνα 10.3).



Εικόνα 10.3: Παράθυρο με τις ιδιότητες του εξαρτήματος και τις ιδιότητες που θέσαμε.

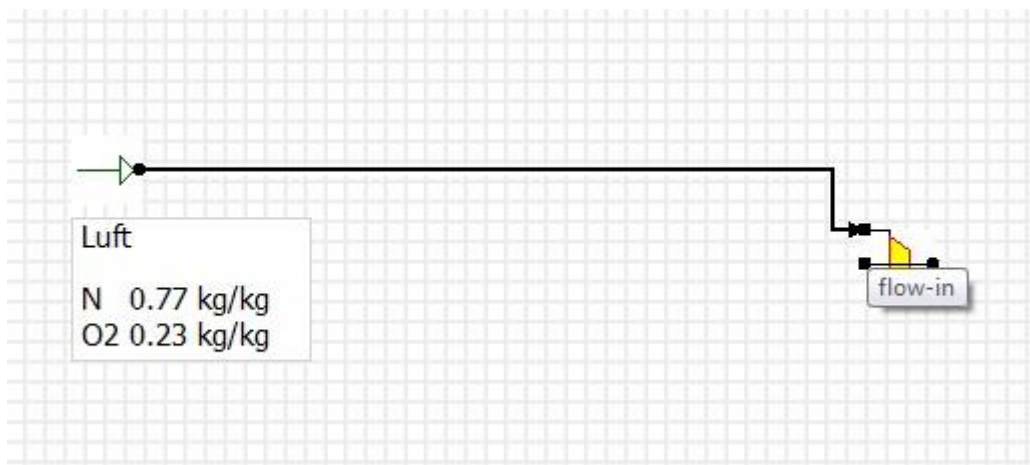
Επιλέγοντας να θέσουμε το *symbol\_show* ως *true*, αυτό που κάναμε είναι να έχουμε τη δυνατότητα να εισάγουμε στο εξάρτημά μας μία ταμπέλα που να δείχνει τη σύστασή του και το όνομα αυτού. Κάνοντας ξανά «δεξί κλικ» πάνω στο βελάκι και επιλέγοντας “*Insert ID-Label*” εμφανίζεται στο παράθυρο, ακριβώς δίπλα στο βελάκι μας αυτή η ταμπέλα (Εικόνα 10.4).



Εικόνα 10.4: Εμφάνιση ταμπέλας στην επιφάνεια εργασίας.

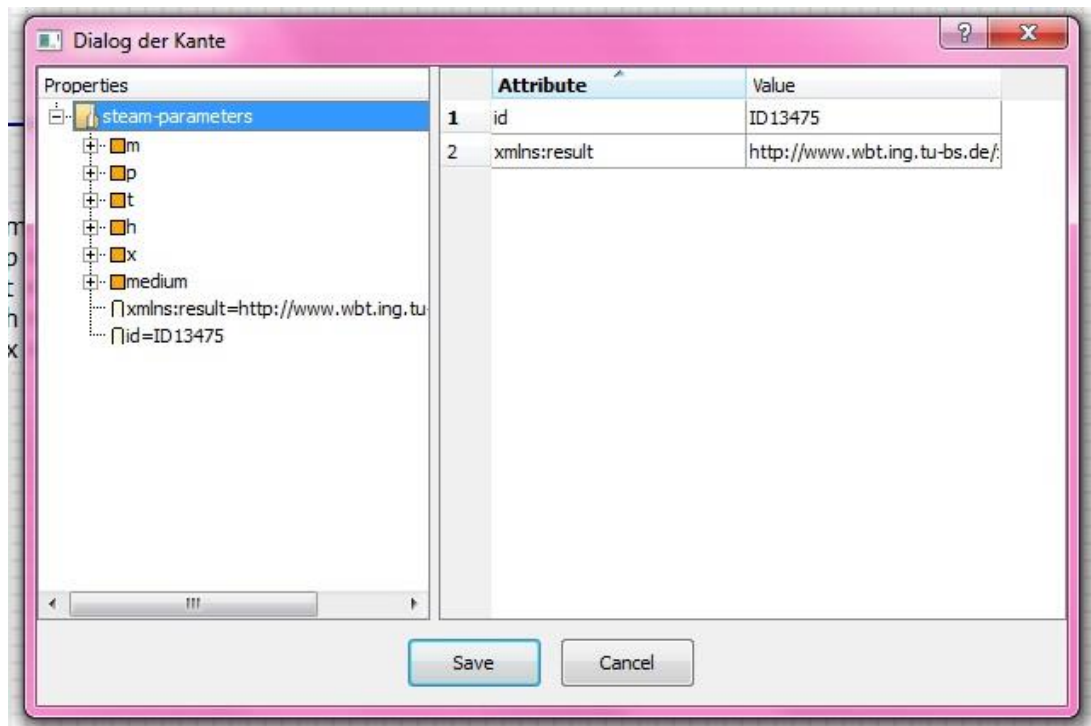
Το κάθε εξάρτημα έχει ένα δικό του μοναδικό *ID*, αυτό χρησιμοποιείται μόνο μία φορά και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ίδιο σε κάποιο άλλο σημείο του ίδιου αρχείου ή σε άλλο αρχείο. Μπορεί όμως να μετονομαστεί, κρατώντας τις ιδιότητες του (μαζί με αυτές που του δώσαμε εμείς). Πάλι, με την ίδια διαδικασία ανοίγουμε το παράθυρο με τις ιδιότητες του εξαρτήματος και στη θέση που βρίσκεται το χαρακτηριστικό του *ID* επεμβαίνουμε και του αλλάζουμε όνομα, στην περίπτωση αυτή βάζουμε το όνομα “*Luft*”, που είναι η γερμανική ονομασία για τη λέξη «αέρας».

Επόμενο βήμα μας είναι η τοποθέτηση του εξαρτήματος του συμπιεστή. Από την κατηγορία *Compressor-Expansion* επιλέγουμε το συμπιεστή και τον «σέρνουμε» στην επιφάνεια εργασίας μας. Ενώνουμε τα εξαρτήματα, δημιουργώντας μία γραμμή διασύνδεσης μεταξύ τους. Το ρεύμα του αέρα εισέρχεται στο πάνω αριστερά τετράγωνο εισόδου του συμπιεστή, όπου είναι η είσοδος *flow-in* (Εικόνα 10.5).



Εικόνα 10.5: Σύνδεση πηγής με συμπιεστή, στην είσοδο ρεύματος υλικού.

Επόμενη ενέργειά μας είναι να ορίσουμε τη ροή και τις ιδιότητές του ρεύματος. Κάνουμε «δεξί κλικ» πάνω στη γραμμή διασύνδεσης και επιλέγουμε *steam-parameters*. Εμφανίζεται μία ακόμα ταμπέλα, σε αυτό το σημείο όμως ας αφήσουμε αυτόν τον όρο και από εδώ και στο εξής θα χρησιμοποιούμε τον αυθεντικό, αν και ξένο όρο, και θα το αναφέρουμε *Label*, όπου εμφανίζονται τα χαρακτηριστικά του ρεύματος. Σε αυτά τα χαρακτηριστικά εμείς μπορούμε και θέλουμε να επέμβουμε και να τα αλλάξουμε με τις ιδιότητες που θέλουμε εμείς να έχει η ροή. Έτσι, πάλι με «δεξί κλικ» πάνω στο *Label* και την επιλογή *Properties* εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο, στο οποίο μπορούμε να ορίσουμε τις ιδιότητες με τις οποίες θα εισαχθεί ο αέρας στο συμπιεστή. Ορίζουμε, δηλαδή, τα δεδομένα μας, ποιες τιμές θα θεωρούνται ως σταθερές και ποιες μεταβλητές, ποιες τιμές θα χρειαστεί να υπολογίσει μόνο του το πρόγραμμα και κατά συνέπεια να τις μεταβάλει. Συνήθως, σε ένα πρώτο ρεύμα εισόδου είναι περισσότερες οι τιμές που ορίζουμε εμείς εξ αρχής, παρά οι προς υπολογισμό μεταβλητές. Στην περίπτωση μας, ορίζουμε να είναι σταθερές οι τιμές των μεγεθών της μάζας, της πίεσης και της θερμοκρασίας (Εικόνα 10.6).



Εικόνα 10.6: Παράθυρο με τις ιδιότητες της ροής.

Στο Κεφάλαιο 3 έχει γίνει μία ναι μεν γρήγορη, αλλά παράλληλα λεπτομερής περιγραφή του πως χειριζόμαστε το πρόγραμμα, πως εισάγουμε τις τιμές των μεγεθών, πως τις μεταβάλλουμε σε σταθερές τιμές και πως αποθηκεύουμε τις αλλαγές μας. Έτσι, στη συνέχεια, δε θα αναλωθούμε ιδιαίτερα στο διαδικαστικό κομμάτι της λειτουργίας, αλλά στο πιο ουσιαστικό, που είναι η προσομοίωση.

Επόμενο βήμα μας, λοιπόν, είναι να τοποθετήσουμε το εικονίδιο για την είσοδο ενέργειας και την ένωσή του με το εξάρτημα του συμπιεστή. Η ροή αυτή θα ενωθεί με την

είσοδο ενέργειας του συμπιεστή (το μαύρο τετράγωνο με την ένδειξη “*power-in*”). Κάνοντας «δεξί κλικ» στη γραμμή διασύνδεσης επιλέγουμε τώρα *energy-parameters*. «Δεξί κλικ» πάνω στο *Label*, επιλέγουμε *Properties* και θέτουμε την τιμή ίση με 0 (μηδέν), καθώς επίσης τη θέτουμε ως σταθερή τιμή, αφού δε δίνουμε κάποια έξτρα ενέργεια στο συμπιεστή.

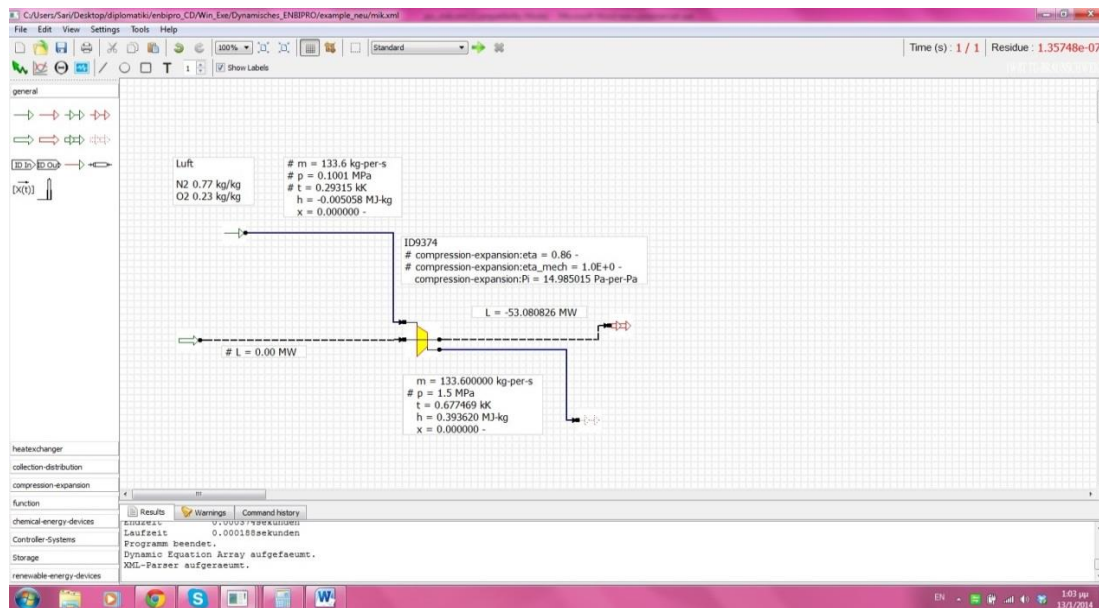
Στην άλλη μεριά του εξαρτήματος του συμπιεστή έχουμε τα σημεία από τα οποία εξέρχεται κάθε ρεύμα, υλικού και ενέργειας αντίστοιχα. Σημαντικό είναι πως το εξάρτημα εξόδου που θα χρησιμοποιήσουμε είναι το *temporaryend*, καθώς το ρεύμα θα συνεχίσει, αφού θα προσθέσουμε και άλλα εξαρτήματα και θα μεγαλώσουμε το μοντέλο μας. Το συνδέουμε με την έξοδο “*flow-out*”. Εδώ συναντάμε ακόμη μία ιδιαιτερότητα του προγράμματος. Για να ορίσουμε το ρεύμα εξόδου δεν θα ακολουθήσουμε την προηγούμενη διαδικασία, όπου δηλαδή δώσαμε τα χαρακτηριστικά της ροής εισόδου, αλλά θα «αντιγράψουμε» τις ιδιότητες της ροής εισόδου σε αυτήν την έξοδο, θα κάνουμε, δηλαδή, “*copy-paste*”. Έτσι, στο νέο *Label* που εμφανίζεται μένει να αλλάξουμε τις τιμές, τις σταθερές να τις θέσουμε ως μεταβλητές, εκτός από αυτήν της πίεσης, όπου ορίζουμε την πίεση που θέλουμε να έχει το ρευστό στην έξοδο του συμπιεστή.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και με το ρεύμα ενέργειας, όπου στην έξοδο αφήνουμε την τιμή της ενέργειας «ελεύθερη», ώστε να υπολογίσει το πρόγραμμα το ποσό της ενέργειας.

Όπως όλα τα εξαρτήματα, έτσι και ο συμπιεστής, έχει κάποιες ιδιότητες τις οποίες πρέπει να «πειράζουμε». Μία από αυτές είναι ο βαθμός απόδοσής του. Με τον ίδιο τρόπο ανοίγουμε το παράθυρο με τις ιδιότητες και θέτουμε το “*eta*” ως σταθερό.

Να υπενθυμίσουμε, πως όποιες τιμές έχουν ορισθεί ως σταθερές, στο *Label* που εμφανίζεται για κάθε εξάρτημα, δίπλα από κάθε τέτοια τιμή εμφανίζεται το σύμβολο της δίσωσης (#).

Εφόσον ολοκληρώσαμε το πρώτο βήμα μπορούμε να ελέγξουμε αν τρέχει. Πατάμε το πράσινο βέλος που βρίσκεται στην γραμμή μενού. Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 10.7) βλέπουμε τα αποτελέσματα.



Εικόνα 10.7: Ολοκλήρωση πρώτου βήματος προσομοίωσης και εμφάνιση αποτελεσμάτων.

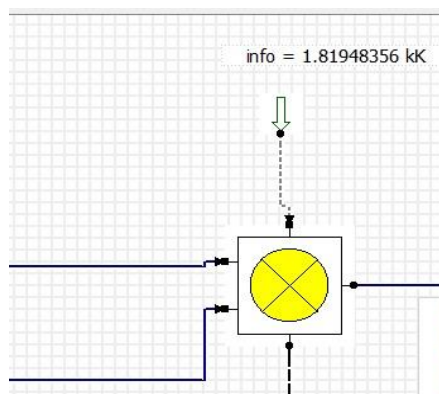
Στη συνέχεια προχωράμε με την καύση. Βάζουμε το στοιχείο *combustor*. Συνδέουμε τη ροή από την έξοδο του συμπιεστή στην είσοδο “*main\_in*” του εξαρτήματος του θαλάμου καύσης. Αυτό επιτυγχάνεται με έναν πολύ απλό τρόπο. Επιλέγουμε με το ποντίκι μας τη ροή που θέλουμε και την ενώνουμε στο επόμενο τετράγωνο που θέλουμε (το τετράγωνο είναι βασικά το σημείο που δηλώνει την είσοδο ροής στο εξάρτημα). Τοποθετούμε στην επιφάνεια εργασίας ένα ακόμα εξάρτημα *source*, καθώς θέλουμε στον θάλαμο καύσης να εισάγουμε και το καύσιμο, ώστε να γίνει η καύση. Όπως πράξαμε για την πηγή αέρα, έτσι και εδώ, με τον ίδιο τρόπο, ορίζουμε τη σύσταση του καυσίμου. Θέλουμε να έχουμε μεθάνιο, οπότε στην ιδιότητα της πηγής, βάζουμε την τιμή 1 (μονάδα) στο  $CH_4$ . Συνεχίζοντας την ίδια διαδικασία, ορίζουμε και τα μεγέθη του ρεύματος, βάζοντας ως σταθερές τιμές τη μάζα και τη θερμοκρασία.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δώσουμε στο ότι η πίεση των δύο εισερχόμενων στο θάλαμο καύσης ρευμάτων πρέπει να είναι ίδια. Στην περίπτωση του καυσίμου η τιμή να μην παραμένει «ελεύθερη», αλλά πρέπει να τη θέσουμε ίδια με την τιμή του άλλου εισερχόμενου ρεύματος, στην περίπτωσή μας αέρα. Το πρόγραμμα, σε περίπτωση που οι τιμές αυτές είναι διαφορετικές, αδυνατεί να προβεί σε οποιαδήποτε λειτουργία, ακόμα και να αλλάξει την τιμή της πίεσης που δεν την έχουμε θέσει ως σταθερή. Μας εμφανίζει μήνυμα σφάλματος, χωρίς να μας προσδιορίζει ποιο είναι αυτό. Οπότε, καλό είναι να έχουμε προνοήσει, ώστε να μην συμβεί κάτι ανάλογο, ακόμα και αν είμαστε στην αρχή της κατασκευής μας.

Τώρα πρέπει να κατασκευάσουμε το ρεύμα εξόδου. Φέρνουμε στην επιφάνεια εργασίας το σύμβολο *temporaryend* και το συνδέουμε με την έξοδο του θαλάμου καύσης με την ένδειξη “*main\_out*”. Αντιγράφουμε τη ροή εισόδου “*main\_in*”, καθώς αυτή είναι με τη μεγαλύτερη τιμή μάζας. Έχουμε μία ακόμη έξοδο με την ένδειξη “*heat\_out*”. Εκεί

συνδέουμε ένα σύμβολο του *sink-energy*, όπου στη γραμμή σύνδεσης αυτή βάζουμε παραμέτρους ενέργειας (*energy\_parameters*) και στις ιδιότητες του δεν επεμβαίνουμε ιδιαίτερα, καθώς έτσι θα μας δείξει το ποσό θερμότητας που αποδίδεται στο περιβάλλον κατά την καύση.

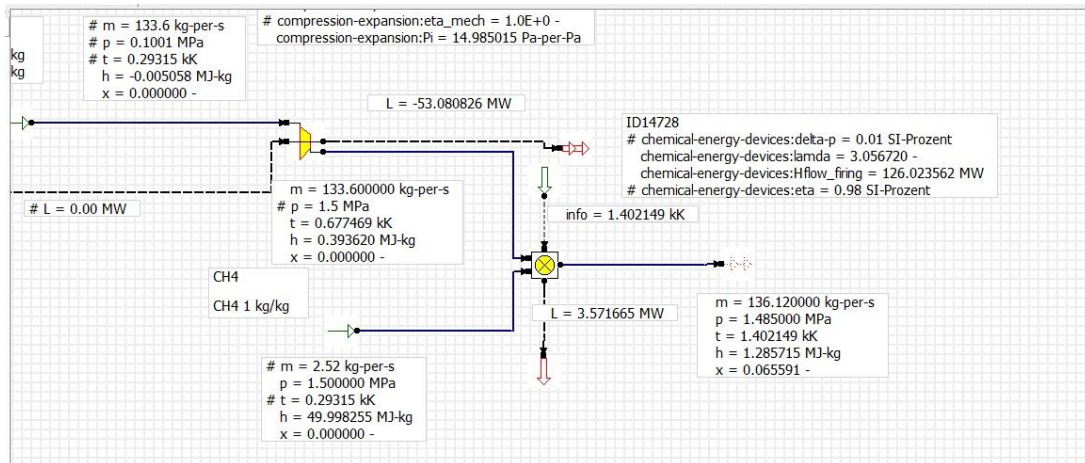
Παρατηρούμε πως ενώ έχουμε βάλει όλες τις απαραίτητες γραμμές σύνδεσης, ένα τετράγωνο, που χαρακτηρίζει μία ακόμα είσοδο στο εξάρτημα έχει μείνει κενό. Σε αυτό το τετράγωνο θα ενώσουμε ένα ακόμα σύμβολο, αυτό του *source-energy* και στις παραμέτρους της ροής θα θέσουμε *control\_parameters*. Κάνουμε «δεξί κλικ» στο *Label* που εμφανίζεται και στις ιδιότητες βάζουμε ως “*unit*” τη μονάδα μέτρησης της θερμοκρασίας (εδώ kK) και εννοείται σώζουμε αυτήν την ενέργεια. Ένα παράδειγμα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 10.8: Είσοδος ελέγχου στον θάλαμο καύσης.

Αφού καλύψαμε όλες τις εισόδους και εξόδους του εξαρτήματος μας, σειρά έχει να ορίσουμε τις ιδιότητες αυτού. Με τη γνωστή διαδικασία ανοίγουμε το παράθυρο με τις ιδιότητες. Σε αυτήν την περίπτωση επιλέξαμε να έχουμε μία μικρή πτώση πίεσης και για αυτό αλλάζουμε το *delta\_p* κατά 0,01 και το θέτουμε ως *fixed*. Επίσης, αλλάζουμε και το βαθμό απόδοσης του θαλάμου καύσης και το θέτουμε ίσο με 0,98 και πάλι το ορίζουμε ως σταθερή τιμή. Να σημειώσουμε ότι, εάν στις ιδιότητες του θαλάμου καύσης αφήσουμε το βαθμό απόδοσης ίσο με 1 (ένα) και ορίσουμε την τιμή αυτήν ως σταθερή, τότε μετά το τρέξιμο, στην έξοδο ενέργειας το ποσό είναι ίσο με 0 MW (μηδέν). Συνεπώς, αυτό που ορίζει το ποσό απωλειών θερμότητας είναι ο βαθμός απόδοσης του θαλάμου καύσης.

Αφού καλύψαμε ακόμα ένα βήμα προχωράμε να δούμε αν τρέχει. Πατώντας το κουμπί της αντίστοιχης εντολής παρατηρούμε ότι αυτό τρέχει κανονικά. Στην εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε τα αποτελέσματα.



Εικόνα 10.9: Απεικόνιση αποτελεσμάτων και μετά την τοποθέτηση του θαλάμου καύσης.

Στην έξοδο του θαλάμου καύσης έχουμε πλέον καυσαέρια. Στην επόμενη φάση θέλουμε να ρίξουμε την πίεση αυτών. Έτσι, χρησιμοποιούμε ένα στρόβιλο. Μεταφέρουμε το αντίστοιχο εξάρτημα, το οποίο το βρίσκουμε στην κατηγορία *Compressor-Expansion*, όπως και το συμπιεστή. Οι διαδικασίες είναι αντίστοιχες. Ενώνουμε την είσοδο “flow-in” με την έξοδο του θαλάμου καύσης, αλλά στην είσοδο της ενέργειας συνδέουμε την έξοδο ενέργειας του συμπιεστή. Ουσιαστικά, αυτή η ροή ενέργειας μπορεί να χαρακτηριστεί και ως άτρακτος πάνω στην οποία είναι συνδεδεμένα τα δύο εξαρτήματα. Όπως στο συμπιεστή, έτσι και στο στρόβιλο, με την ίδια διαδικασία μεταφέρουμε τα ρεύματα εισόδου στην έξοδο. Στις ιδιότητες του ρεύματος εξόδου των καυσαερίων θέτουμε την επιθυμητή τιμή της πίεσης και την ορίζουμε ως *fixed*.

Και το εξάρτημα του στρόβιλου δεν έχει κάποια ιδιαιτερότητα, δεν πρέπει όμως να ξεχάσουμε να δίνουμε τα απαραίτητα χαρακτηριστικά. Έτσι, στις ιδιότητες του στρόβιλου βάζουμε το βαθμό απόδοσης ως *fixed*. Επόμενο βήμα φυσικά είναι να τρέξουμε την μέχρι εδώ προσομοίωση.

Μετά από κάθε τρέξιμο που κάνουμε απαραίτητη ενέργειά μας είναι να σώσουμε την εργασία μας. Αποφεύγουμε να χάσουμε κάτι από αυτά που έχουμε κάνει ως τώρα και σε περίπτωση που το πρόγραμμα, για κάποιο λόγο σταματήσει να λειτουργεί, άλλωστε αυτό είναι κάτι το σύνηθες κατά τη χρήση του προγράμματος, τότε να μην έχουμε σημαντικές απώλειες.

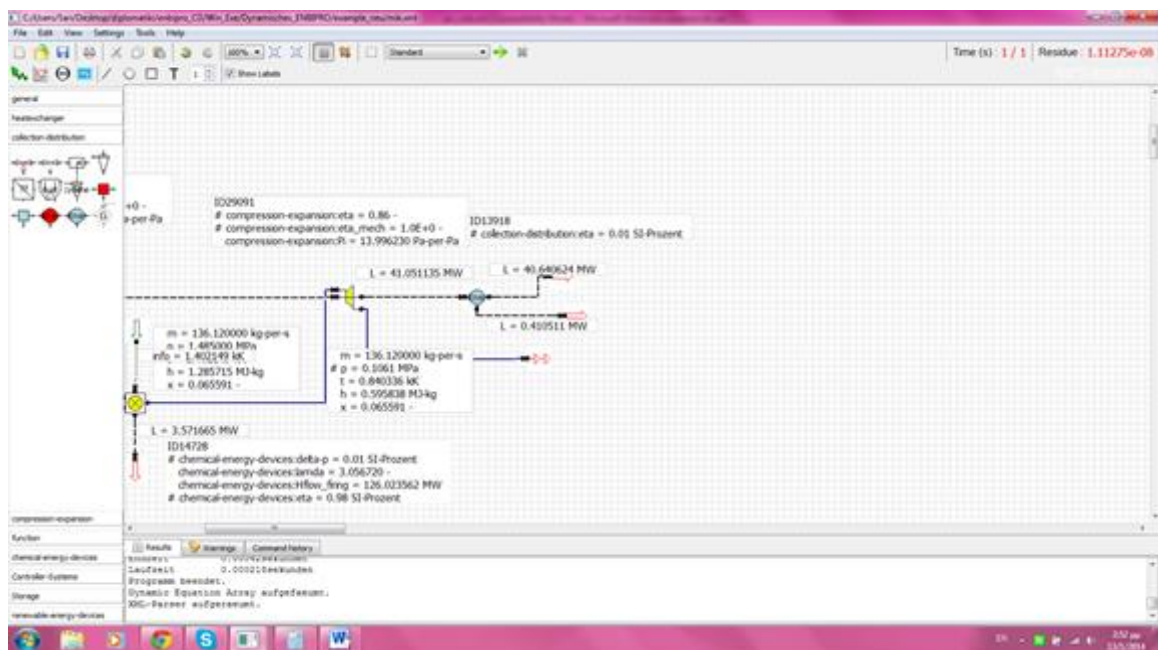
Τέλος, για να ολοκληρώσουμε αυτό το πρώτο κομμάτι, στην έξοδο ενέργειας του στρόβιλου συνδέουμε το εξάρτημα *energy-splitter*, που εδώ χρησιμοποιείται έναντι της γεννήτριας. Η λειτουργία είναι αυτή της γεννήτριας. Από αυτό το εξάρτημα έχουμε δύο εξόδους, η μία έξοδος είναι η κύρια έξοδος, “*main-out*”, ενώ η άλλη, “*side-out*”, είναι η έξοδος που ουσιαστικά μας δίνει τις απώλειες της γεννήτριας, ανάλογα με το βαθμό απόδοσης που θα θέσουμε στις ιδιότητες του εξαρτήματος. Εμείς σε αυτήν την προσομοίωση, θέτουμε στις ιδιότητες του εξαρτήματος (φυσικά, με την ίδια διαδικασία ανοίγουμε το παράθυρο, όπου μπορούμε να επέμβουμε και να ορίσουμε αυτές τις



ιδιότητες) το βαθμό απόδοσης ίσο με 0,99, ουσιαστικά ορίζουμε το βαθμό απωλειών και για αυτό η τιμή που βάζουμε στο μέγεθος “eta” είναι 0,01 και το θέτουμε ως *fixed*.

Επόμενο βήμα είναι το πάτημα του αντίστοιχου κουμπιού για να τρέξει το πρόγραμμα. Αυτό γίνεται με επιτυχία και τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικόνα 10.10. Δεν παραλείπουμε να κάνουμε *save* μετά την ολοκλήρωση του τρεξίματος.

Παρατηρούμε πως έχει αλλάξει τις τιμές στην έξοδο του τελευταίου εξαρτήματος. Έχουν γίνει όλοι οι απαραίτητοι υπολογισμοί, έχουν γίνει οι αντίστοιχες λειτουργίες επαλήθευσης των τιμών αυτών και τέλος εμφανίστηκαν στην επιφάνεια εργασίας, στα αντίστοιχα *Labels*. Στη γραμμή μενού, πάνω δεξιά παρατηρούμε κατά τη διάρκεια του τρεξίματος τις αλλαγές των υπολειμμάτων. Όσο πιο μικρή τάξη μεγέθους έχουν αυτά, τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια έχουμε στις τιμές των αποτελεσμάτων μας.



Εικόνα 10.10: Η επιφάνεια εργασίας μετά και την έξοδο από το στροβίλο.

Σε κάποιο άλλο σημείο της επιφάνειας εργασίας στο ίδιο αρχείο τοποθετούμε το εξάρτημα του τυμπάνου. Ένα από τα πιο ιδιαίτερα εξαρτήματα του προγράμματος. Ο λόγος που δεν συνεχίζουμε από το σημείο που σταματήσαμε είναι γιατί τα καυσαέρια από την έξοδο του στροβίλου στη συνέχεια εισέρχονται στον υπερθερμαντήρα, ένα εξίσου περίπλοκο και δύσχρηστο εξάρτημα, όπου ψύχονται με τη βοήθεια νερού. Το νερό αυτό έχει συγκεκριμένες ιδιότητες και προέρχεται από την έξοδο του τυμπάνου. Κάνουμε, λοιπόν, μία αντίστροφη διαδικασία.

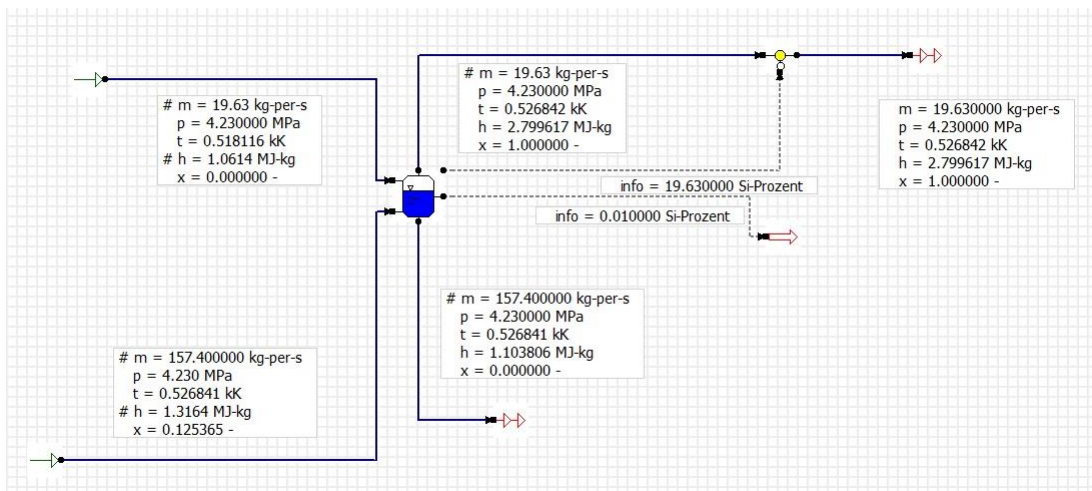
Πάλι, όπως και στην αρχή βάζουμε το σύμβολο της πηγής, στις ιδιότητες του ορίζουμε να έχει νερό, δηλαδή,  $H_2O=1$  και οπωσδήποτε θέτουμε *typ -> real*. Σημειώνουμε πως σε περίπτωση που παραλείψουμε το τελευταίο βήμα, τότε το πρόγραμμα μας βγάζει κατευθείαν σημείωση σφάλματος, η οποία λέει: “Fehler: Bitte das Medium am main-in auf

*real setzen*". Μας δηλώνει που ακριβώς βρίσκεται το λάθος μας και ποια πρέπει να είναι η ενέργειά μας για να το διορθώσουμε.

Το βελάκι αυτό το συνδέουμε με το τετράγωνο εισόδου του τυμπάνου, με την ένδειξη "*main\_in*". Ορίζουμε τις παραμέτρους και εν συνεχεία τις ιδιότητες του ρεύματος. Στις ιδιότητες του ρεύματος αυτού θέτουμε τις τιμές που θέλουμε να έχουν οι παράμετροι, τις εκτιμώμενες τιμές, αλλά ως σταθερές θέτουμε μόνο τις τιμές της μάζας και της ενθαλπίας. Ο λόγος που βάλουμε μόνοι μας ακόμα και τις εκτιμώμενες τιμές είναι γιατί όπως έχουμε αναφέρει, το εξάρτημα αυτό είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο και για μεγάλες και απότομες αλλαγές απλά δεν λειτουργεί.

Η ακριβώς ίδια διαδικασία με αυτήν που περιγράψαμε ακολουθείται και για την άλλη είσοδο του τυμπάνου με την ένδειξη "*feedwater\_in*", θέτοντας πάλι ως σταθερές τιμές τη μάζα και την ενθαλπία.

Όπως σε κάθε εξάρτημα, έτσι και σε αυτό έχουμε και εξερχόμενα ρεύματα. Το ρεύμα εισόδου του "*main\_in*" ενώνεται με το ρεύμα εξόδου "*water\_out*", όπου απαραίτητα αφήνουμε σταθερή μόνο τη μάζα, αλλά δεν παραλείπουμε σε καμία περίπτωση να είναι η τιμή αυτή σταθερή, ενώ το ρεύμα του "*feedwater\_in*" ενώνεται με το ρεύμα εξόδου "*steam\_out*", παραμένει σταθερή μόνο η τιμή της μάζας, που είναι η ίδια με αυτήν της αντίστοιχης εισόδου.



**Εικόνα 10.11:** Απεικόνιση του εξαρτήματος του τυμπάνου με εφαρμογή στην περίπτωση μας.

Όπως βλέπουμε στην παραπάνω εικόνα (Εικόνα 10.11), έχουμε ακόμα δύο εξόδους, οι οποίες είναι έξοδοι ελέγχου. Η μία ελέγχει την παροχή μάζας του ατμού στην έξοδο, η οποία πρέπει να παραμένει σταθερή και ίση με αυτήν της εισόδου. Ως μονάδες ελέγχου στις ροές αυτές βάζουμε *Si-Prozent*. Τα ρεύματα αυτά συναντώνται στο εξάρτημα "*property\_demand*", το οποίο καθορίζει και κρατάει σταθερά τα απαραίτητα μεγέθη.

Καταλήξαμε σε αυτό το σημείο καθαρά με βάση το αντίστοιχο παράδειγμα που μας έχει δοθεί στο φάκελο του προγράμματος. Πριν το εφαρμόσουμε στο ίδιο το αρχείο

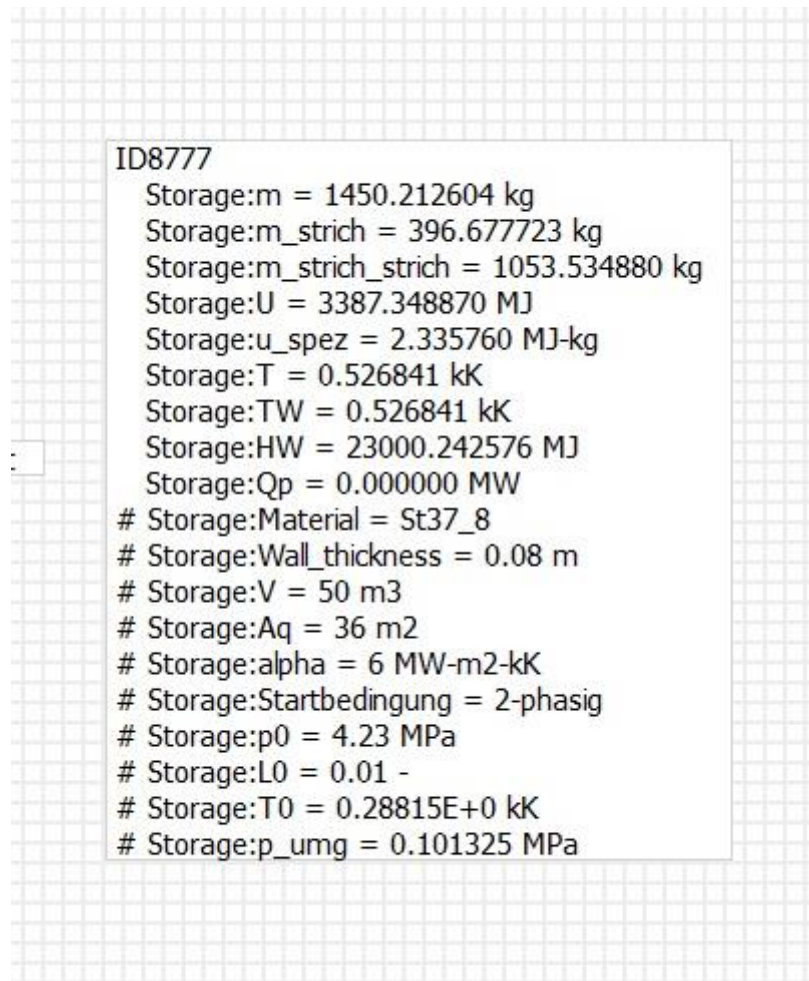
που θέλουμε να προσαρμόσουμε τον κύκλο μας, σε ένα άλλο αρχείο έγιναν πάρα πολλές δοκιμές. Για την ακρίβεια σε πολλά άλλα αρχεία έγιναν δοκιμές, καθώς το πρόγραμμα κολλούσε μετά από κάποιον αριθμό ανεπιτυχών δοκιμών, με αποτέλεσμα να αναγκαζόμαστε να το κλείνουμε, να το θέτουμε σε λειτουργία ξανά και να ανοίγουμε καινούρια αρχεία κάθε φορά.

Η έξοδος του ρεύματος από το τελευταίο εξάρτημά μας είναι ακριβώς των ίδιων παραμέτρων του ρεύματος ροής με τη διαφορά ότι καμία τιμή δεν είναι σταθερή. Άλλωστε η μόνη τιμή που μας ενδιαφέρει είναι αυτή της παροχής της μάζας και η λειτουργία του εξαρτήματος αυτού είναι να ελέγχει κάθε φορά συγκεκριμένες παραμέτρους, εδώ την παροχή αυτή.

Η λειτουργία του εξαρτήματος αυτού δεν είναι και τόσο εύκολη. Έχει πολλές ιδιαιτερότητες, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ίδιο εξάρτημα και ως τροφοδοτικό δοχείο. Έτσι, εκτός από την παροχή μάζας που ελέγχει το *“property\_demand”*, πρέπει να προσδιορίσουμε τα χαρακτηριστικά του ίδιου του τυμπάνου. Με τη γνωστή πλέον διαδικασία, ανοίγουμε το παράθυρο με τις ιδιότητες (Εικόνα 10.12). Μετά από τις δοκιμές που κάναμε καταλήξαμε στο σημείο να δώσουμε στο τύμπανο μας τις παρακάτω τιμές στα αντίστοιχα μεγέθη:

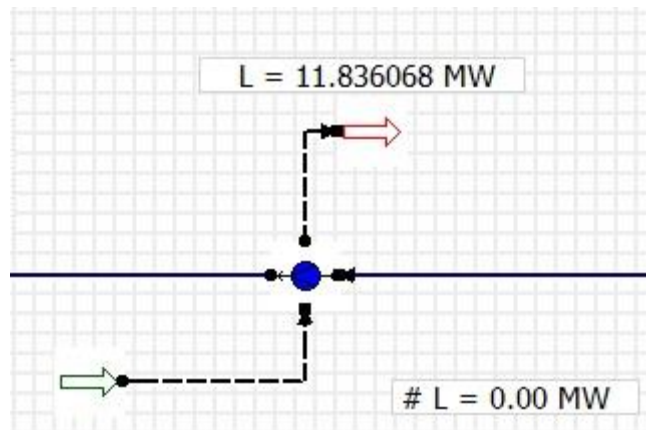
- Wall thickness = 0.08
- $V = 50 \text{ m}^3$
- $Aq = 36 \text{ m}^2$
- $\text{Alpha} = 6 \text{ MW-m}^2\text{-kK}$
- $P0 = 4,23 \text{ MPa}$
- $L0 = 0.01$

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό αυτού του εξαρτήματος είναι ότι η πίεση σε όλα τα ρεύματα πρέπει να είναι η ίδια. Δεν μπορούμε να έχουμε σε κάποιο ρεύμα διαφορετική τιμή της πίεσης. Το πρόγραμμα δε θα τρέξει. Επίσης, η τιμή αυτή της πίεσης καθορίζεται από το ίδιο το τύμπανο. Στα χαρακτηριστικά του εξαρτήματος θέτουμε την πίεση υπό την οποία θα λειτουργήσει (εδώ τέθηκε ίση με 4,23 MPa) και εάν η τιμή κάποιου ρεύματος μας «ξεφύγει» και είναι διαφορετική, τότε το πρόγραμμα από μόνο του την φέρνει στην ίδια τιμή με αυτήν που έχει οριστεί στις ιδιότητες του τυμπάνου. Με τη μόνη διαφορά, πως αυτή η διαφορετική τιμή δεν θα πρέπει να απέχει ιδιαίτερα από την ορισμένη, γιατί αλλιώς θα εμποδιστεί η λειτουργία του προγράμματος.



Εικόνα 10.12: Παράθυρο με τις ιδιότητες του τυμπάνου.

Το ρεύμα που εξέρχεται από το τύμπανο, από τη θέση *water-out*, είναι αυτό που στη συνέχεια θα εισέλθει στον ατμοποιητή. Πριν γίνει αυτό όμως θέλουμε να αυξήσουμε την τιμή της πίεσης. Για αυτό το λόγο τοποθετούμε μία αντλία στην έξοδο του τυμπάνου. Το εξάρτημα της αντλίας είναι από τα πλέον εύχρηστα εξαρτήματα του προγράμματος (Εικόνα 10.13). Τοποθετούμε το εξάρτημα αυτό και το ενώνουμε με την έξοδο από το τύμπανο. Απαραίτητο είναι να του δώσουμε και ροή ενέργειας, η οποία στην είσοδο θα είναι σταθερή και ίση με μηδέν, ενώ η τιμή της εξόδου θα είναι ελεύθερη. Επίσης, προσδιορίζουμε την τιμή της πίεσης μετά την αντλία, την επιθυμητή, δηλαδή, τιμή και τη βάζουμε ως σταθερή.



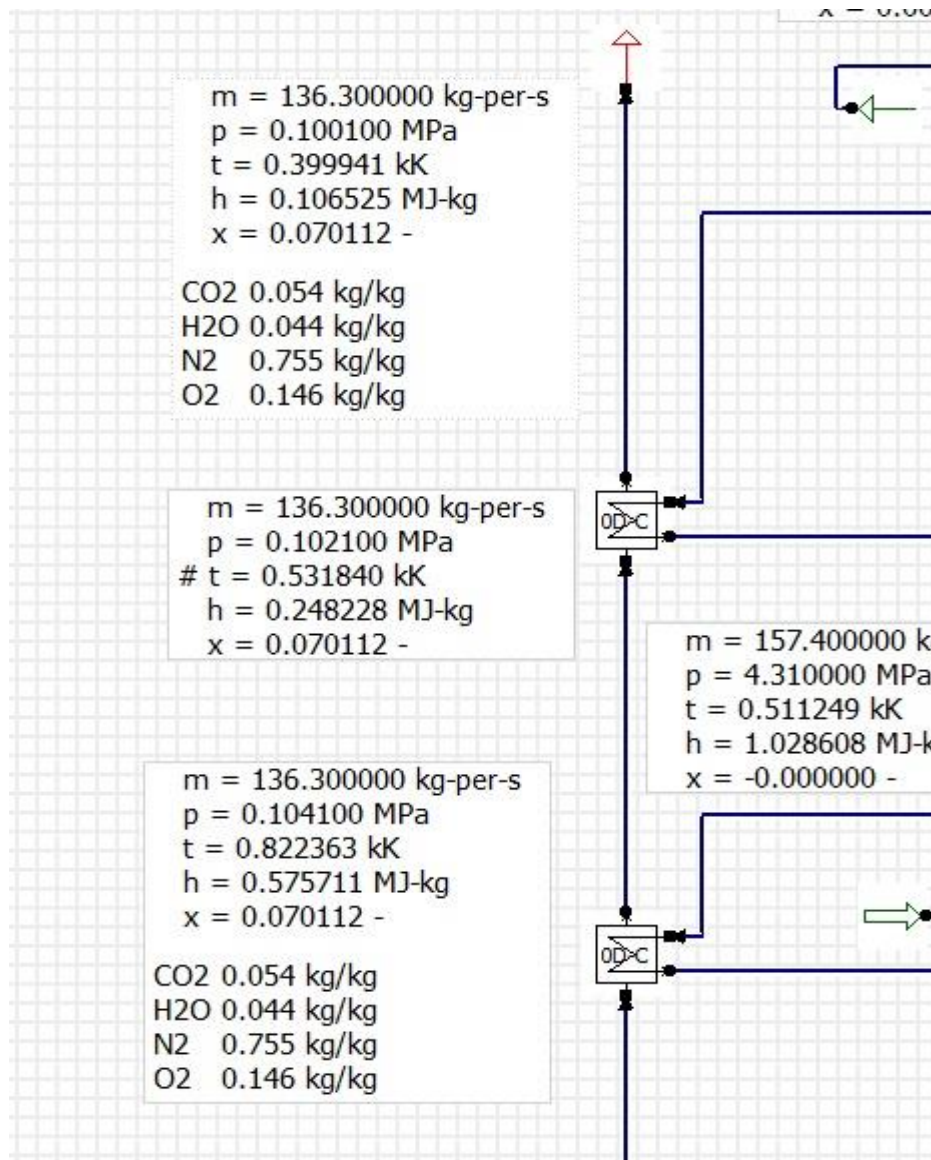
Εικόνα 10.13: Απεικόνιση αντλίας.

Στο ίδιο αρχείο έχουμε τη δυνατότητα να τρέχουμε διαφορετικά κομμάτια μεταξύ τους, δηλαδή, που να μην είναι συνδεδεμένα. Αρκεί το κάθε ένα να μπορεί να τρέξει μόνο του. Αυτό μας βοηθάει ιδιαίτερα, ώστε να μοντελοποιούμε πρώτα τα εξαρτήματα μεμονωμένα και μετά να τα ενώνουμε μεταξύ τους.

Εκμεταλλευόμενοι αυτή τη δυνατότητα και αφού τα υπόλοιπα κομμάτια μας λειτουργούν χωρίς κάποιο πρόβλημα, ξεκινάμε καινούρια ροή στο σημείο της εισόδου του *evaporator*. Για την προσομοίωση αυτού θα χρησιμοποιήσουμε *heatexchanger*. Στην είσοδο από τη μεριά των καυσαερίων, στις ιδιότητες της πηγής βάζουμε ως σύσταση, τη σύσταση που έχουν τα καυσαέρια στην έξοδο του στροβίλου. Και αυτή είναι:  $\text{CO}_2=0.054$ ,  $\text{H}_2\text{O}=0.044$ ,  $\text{N}_2=0.755$ ,  $\text{O}_2=0.146$  (Εικόνα 10.14). Στην είσοδο του ψυχρού μέσου, αυτό που εισέρχεται είναι το νερό, που εξέρχεται από το τύμπανο και κατά συνέπεια και από την αντλία. Οπότε στην παρούσα φάση στην είσοδο του ψυχρού ρεύματος, βάζουμε σύσταση νερό και τις τιμές των μεγεθών ακριβώς αυτές που είναι στην έξοδο της αντλίας.

Οι τιμές που θέσαμε ως σταθερές για να τρέξει το πρόγραμμα είναι:

- $RG_{ein} : m, p, t$  (*Hot-in*)
- $RG_{aus} : t$  (*Hot-out*)
- $Wasser_{ein} : p, t$  (*Cold-in*)
- $Wasser_{aus} : m$  (*Cold-out*)



Εικόνα 10.14: Οι εναλλάκτες θερμότητας και η σύσταση των ρευμάτων.

Στη συνέχεια προσθέσαμε και τον δεύτερο εναλλάκτη θερμότητας, τα καυσαέρια που εξέρχονται από τον πρώτο εισέρχονται στο δεύτερο. Τα μεγέθη που θέσαμε σε αυτόν τον εναλλάκτη ως σταθερά είναι:

- $RG_{aus} : t$  (Hot-out)
- $Wasser_{ein} : p, t$  (Cold-in)
- $Wasser_{aus} : m$  (Cold-out)

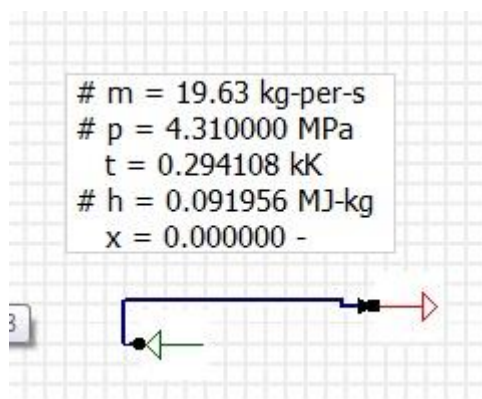
Και στους δύο εναλλάκτες αλλάξαμε κάποιες από τις ιδιότητές τους. Και αυτό είναι μία μικρή πτώση πίεσης που δώσαμε στα δύο ρεύματα, του θερμού και του ψυχρού

μέσου, της τάξης των 0,002 και 0,08 αντίστοιχα. Στους εναλλάκτες αυτούς και στην εφαρμογή τους δεν αντιμετωπίσαμε κάποιο πρόβλημα.

Αυτή τη στιγμή υπάρχουν στο αρχείο μας τρία διαφορετικά κομμάτια που ανήκουν στον ίδιο κύκλο. Σταδιακά θα έρθει και η σειρά αυτά τα κομμάτια να ενωθούν μεταξύ τους. Εδώ χρειάζεται πολύ προσοχή. Εάν και έχουμε φτιάξει τα ρεύμα εισόδου και εξόδου σε κάθε κομμάτι να μην διαφέρουν μεταξύ τους, ώστε να μπορεί να γίνει η σύνδεση χωρίς να «πιέσουμε» το πρόγραμμα, όπως έχει αναφερθεί, σημαντικό ρόλο παίζει και ποιες τιμές θα είναι σταθερές και ποιες μεταβλητές. Θα πρέπει ο αριθμός των εξισώσεων και των μεταβλητών να συμπίπτει, ώστε το πρόγραμμα να προβεί σε υπολογισμό αυτών των μεταβλητών. Έτσι, κατά τη σύνδεση των κομματιών, κάποιες τιμές, που είχαμε θέσει ως σταθερές θα πρέπει πλέον να είναι ελεύθερες, όχι τόσο για να υπολογιστούν εκ νέου, αλλά για να συμπίπτει ο αριθμός των εξισώσεων με τον αριθμό των μεταβλητών, αφού μετά την ένωση των κομματιών αυτών ορισμένες εξισώσεις θα ικανοποιούνται ήδη.

Επόμενη ενέργεια μας, λοιπόν, είναι να ενώσουμε τα κομμάτια. Ξεκινάμε από το εύκολο σχετικά μέρος. Αυτό είναι η ένωση του κομματιού με το τύμπανο με αυτό με τους δύο εναλλάκτες. Τοποθετούμε στην επιφάνεια εργασίας ένα σύμβολο εξόδου *sink*, αποσυνδέουμε την είσοδο του ρεύματος του νερού από τον ατμοποιητή και το συνδέουμε με το *sink*. Το ρεύμα αυτό δεν το διαγράφουμε, το αφήνουμε να υπάρχει στην επιφάνεια. Στην είσοδο ρεύματος που απελευθερώθηκε, ενώνουμε το ρεύμα που βγαίνει από την αντλία. Βασικό είναι να διαγράψουμε όμως το εξάρτημα *sink* που έχει μείνει. Κάνουμε ένα τρέξιμο και αποθηκεύουμε το πρόγραμμα ξανά.

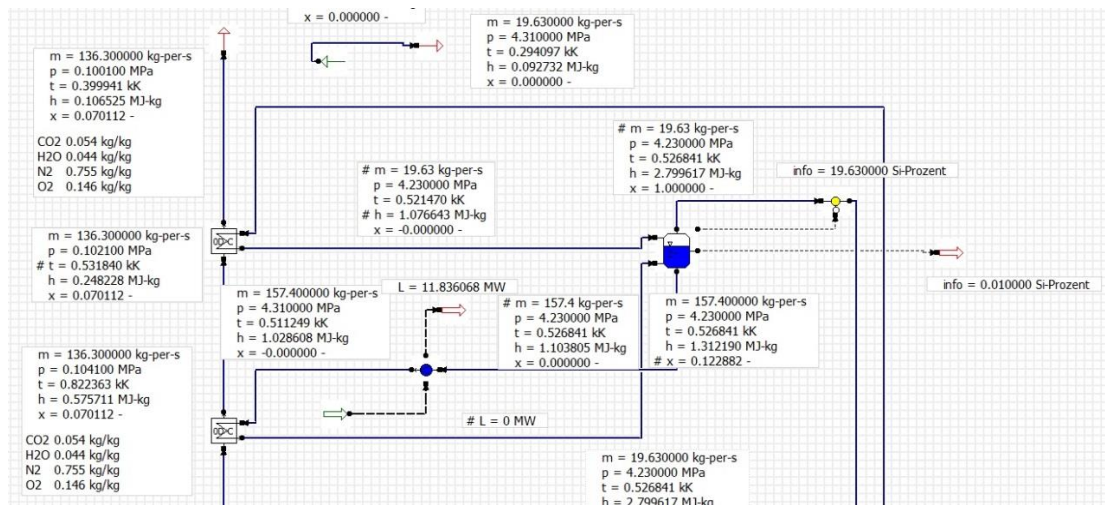
Με τον ίδιο τρόπο ενώνουμε τώρα την είσοδο του τυμπάνου με την ένδειξη “*main-in*” με την έξοδο του νερού από τον ατμοποιητή. Συνεχίζουμε με τον δεύτερο εναλλάκτη, όπου η έξοδος του ψυχρού μέσου εισέρχεται στο τύμπανο και συγκεκριμένα στην είσοδο “*feedwater-in*”. Υπενθυμίζουμε ότι τα εξαρτήματα *sink* που έχουν μείνει χωρίς να εξυπηρετούν κάπου πρέπει να διαγραφούν, ενώ τα ρεύματα δεν μας ενοχλούν να μείνουν στην επιφάνεια εργασίας. Δική μας συμβουλή είναι να μείνουν (Εικόνα 10.15).



**Εικόνα 10.15:** Ανεξάρτητο ρεύμα πάνω στην επιφάνεια εργασίας, το οποίο προέκυψε μετά από τη σύνδεση δύο κομματιών.

Αφού λοιπόν, ενώσουμε αυτά τα δύο κομμάτια κάνουμε ακόμα ένα τρέξιμο και αποθηκεύουμε, όπως πάντα μετά από κάθε τρέξιμο, την εργασία μας, για λόγους

ασφάλειας. Παρακάτω, στην εικόνα 10.16, φαίνεται η ένωση των δύο κομματιών με τα αποτελέσματα μετά το τελευταίο τρέξιμο του προγράμματος.



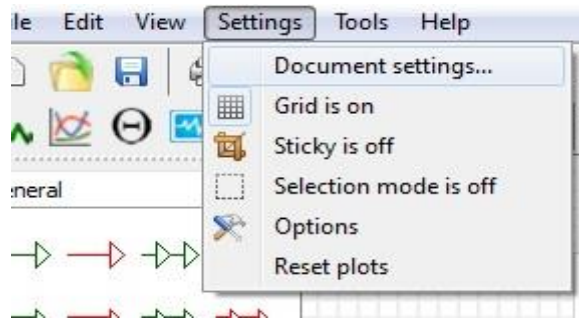
Εικόνα 10.16: Τα δύο κομμάτια, πλέον ενωμένα.

Προχωράμε στο πιο δύσκολο κομμάτι αυτού του κύκλου. Αυτό είναι η προσομοίωση του υπερθερμαντή. Ο υπερθερμαντής προσομοιώνεται επίσης με ένα εξάρτημα που βρίσκεται στην ίδια κατηγορία με τους εναλλάκτες θερμότητας, με το όνομα *“superheater”*. Πρέπει όμως να το κάνουμε να λειτουργεί ως υπερθερμαντής. Να του δώσουμε, δηλαδή, τις απαραίτητες εντολές, ώστε οι εξισώσεις που θα χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα να είναι αυτές που χρειάζονται για την αντίστοιχη λειτουργία.

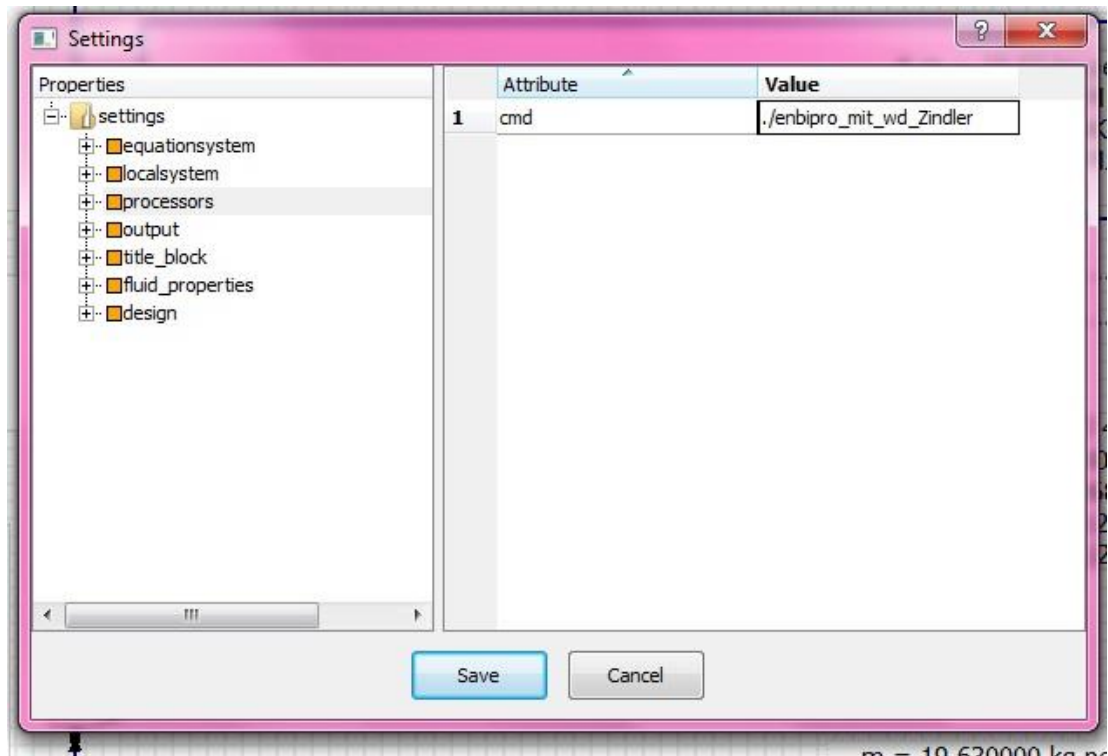
Για να το φέρουμε αυτό εις πέρας, ακολουθούμε την ίδια διαδικασία, όπως και προηγουμένως, στο ίδιο αρχείο (αφού και τα υπόλοιπα κομμάτια λειτουργούν κανονικά). Όπως και προηγουμένως, στην είσοδο θερμού ρεύματος βάζουμε τη σύσταση των καυσαερίων που έχουμε στην έξοδο από τον αεριοστρόβιλο. Τα χαρακτηριστικά της ροής είναι τα ίδια με αυτά της εξόδου από τον αεριοστρόβιλο και γενικότερα συνεχίζουμε κάνοντας τις ίδιες ενέργειες που κάναμε και προηγουμένως, με τους άλλους δύο εναλλάκτες θερμότητας. Μέχρι στιγμής τίποτα το διαφορετικό. Ερχόμαστε τώρα στο σημείο που πρέπει να πούμε στο πρόγραμμα ότι το εξάρτημα αυτό πρέπει να λειτουργήσει ως υπερθερμαντήρας.

Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής: στη γραμμή μενού, πάμε στις ιδιότητες και εκεί επιλέγουμε την εντολή *“Document settings”* (Εικόνα 10.17). Ανοίγει ένα νέο παράθυρο και πάμε στην επιλογή *“processor”*, όπου στο πεδίο του *value*, στη δεξιά μεριά του παραθύρου, γράφουμε *“./enbipro\_mit\_wd\_Zindler”* (Εικόνα 10.18).





Εικόνα 10.17: Επιλογή *Document settings*.



Εικόνα 10.18: Παράθυρο εντολών.

Όπως και σε κάθε άλλη περίπτωση αποθηκεύουμε τις αλλαγές που κάναμε στις ρυθμίσεις. Ακόμα όμως δεν είμαστε έτοιμοι να δώσουμε στο πρόγραμμα την εντολή να τρέξει. Αυτό που πρέπει να κάνουμε είναι να δώσουμε στο εξάρτημα αυτό τα απαραίτητα χαρακτηριστικά στις ρυθμίσεις του.

Όλες οι δοκιμές έγιναν σε άλλο αρχείο, με τιμές σε κάθε ρεύμα ίδιες με αυτές που θέλουμε να έχουμε στο πρόγραμμα, έτσι ώστε να πετύχουμε να αποκτήσουμε και τις τιμές των χαρακτηριστικών του εξαρτήματος. Είναι μια ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία, καθώς οι μεταβολές στις τιμές πρέπει να γίνονται με πολύ μικρά βήματα, και κάθε φορά να ελέγχουμε τις πιθανότητες που έχουμε για ένα καλύτερο αποτέλεσμα. Και σε αυτές τις δοκιμές βασιστήκαμε σε ανάλογο παράδειγμα που υπάρχει στο φάκελο του

προγράμματος. Εν τέλει, καταλήξαμε στα κάτωθι χαρακτηριστικά του εξαρτήματος (Εικόνα 10.19).

```
# heatexchanger:Pipe_roughness = 0.15e-6 m
# heatexchanger:number-of-elements = 10 -
# heatexchanger:Pipe_length = 17.5 m
# heatexchanger:material-pipe = St37_8
# heatexchanger:delta-drum = 0.0 m
# heatexchanger:delta-p-hot = 0.002 MPa
# heatexchanger:p-ref = 10.0E+0 MPa
# heatexchanger:parallel_tubes = 68 -
# heatexchanger:Smallest_area_profile = 2.0 m2
# heatexchanger:Arrangement_bundle = In_line -
# heatexchanger:Fins-per-meter = 0.0 Anzahl-pro-m
# heatexchanger:Heigth-fin = 0.0 m
# heatexchanger:Diameter-fin = 0.0 m
# heatexchanger:Transverse_partition = 0.0 m
# heatexchanger:Longitudinal_partition = 0.0 m
# heatexchanger:time-intervall = 10.0E+0 s
# heatexchanger:tolerance = 1.0E-4 -
# heatexchanger:relax-p = 0.6 -
# heatexchanger:relax-v = 0.6 -
# heatexchanger:relax-h = 0.6 -
# heatexchanger:relax-rho = 0.6 -
# heatexchanger:relax-Qp = 0.6 -
# heatexchanger:alpha-inside = 1000.0 W-per-m2-k
heatexchanger:alpha-external = 33.000000 W-per-m2-k
heatexchanger:v_in = 14.510829 m-per-s
heatexchanger:v_out = 26.000997 m-per-s
# heatexchanger:Rf = 1.0E+0 -
heatexchanger:Area_outside_total = 1.887951 m2
heatexchanger:k_total = 0.031286 W-per-K-per-m2
heatexchanger:Qp_pipe = 11.940894 MW
# heatexchanger:part_load = off
# heatexchanger:mp0_inside = 1.0 kg_s
# heatexchanger:mp0_outside = 0.0 kg_s
heatexchanger:k-A_calculated = 56.093743 kW-per-K
```

Εικόνα 10.19: Ιδιότητες υπερθερμαντή.

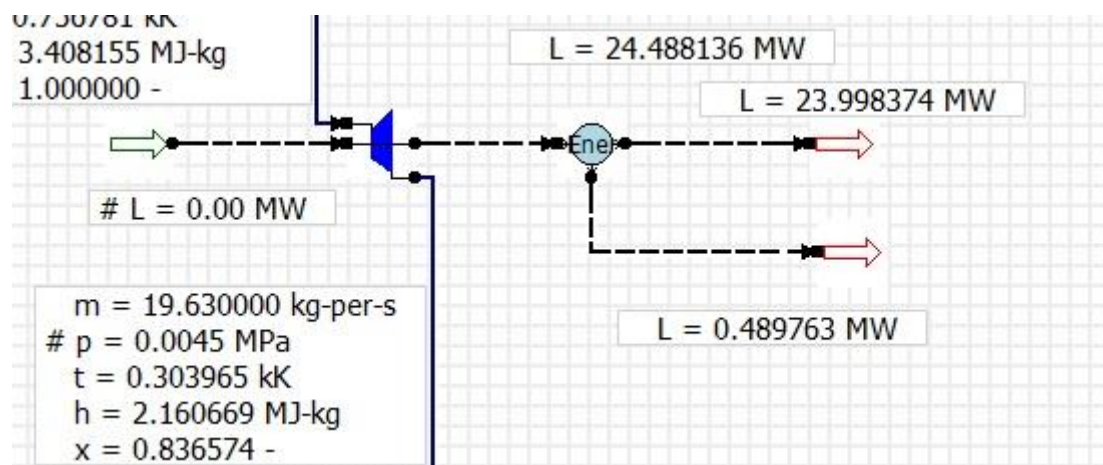
Ορισμένες από τις τιμές που βάλουμε τις πήραμε από το παράδειγμα του προγράμματος. Τις περισσότερες όμως τις βρήκαμε κάνοντας δοκιμές. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δώσουμε στην τιμή των *parallel\_tubes*. Αυξήσαμε σταδιακά και με αρκετά μικρά βήματα κάθε φορά, συνήθως οι δοκιμές γινόταν με αύξηση κατά μία μονάδα τη φορά, μέχρις ότου φτάσαμε στην τιμή των 68, όπου έτρεξε και το αποθηκεύσαμε.

Εν συνεχεία τις τιμές αυτές που βρήκαμε, που πλέον είναι κατάλληλες ώστε να τρέξει το πρόγραμμα με τις συγκεκριμένες τιμές που θέλουμε με ασφάλεια, τις περνάμε μία μία στις αντίστοιχες ιδιότητες του αντίστοιχου εξαρτήματος, στο βασικό αρχείο μας, χωρίς να το συνδέσουμε με κανένα άλλο ρεύμα. Όπως πράξαμε και προηγουμένως με τα άλλα εξαρτήματα, πρώτα το δοκιμάζουμε ξεχωριστά και μετά το συνδέουμε με τα υπόλοιπα τμήματα του κύκλου.

Αφού διαπιστώνουμε ότι τρέχει και δεν κολλάει το πρόγραμμα, συνεχίζουμε με τη σύνδεση του εξαρτήματος αυτού με τα υπόλοιπα. Η είσοδος των καυσαερίων είναι αυτή που εξέρχεται από τον αεριοστρόβιλο, η έξοδος τους από τον υπερθερμαντήρα εισέρχεται στον ατμοποιητή και έτσι έχουμε πλέον ενώσει όλα τα κομμάτια. Τα βήματα που ακολουθούμε είναι ακριβώς τα ίδια. Κάθε ρεύμα εισόδου πρώτα το ανεξαρτητοποιούμε και εν συνεχεία συνδέουμε το αντίστοιχο ρεύμα εξόδου στο τμήμα εισόδου του επόμενου εξαρτήματος που ελευθερώθηκε.

Όσο εύκολη διαδικασία και αν φαίνεται στην πράξη είναι απογοητευτική, καθώς όπως έχουμε πει πολλές φορές, το πρόγραμμα αδυνατεί να κάνει όλες τις λειτουργίες με ευκολία, προκαλούνται αρκετά προβλήματα και μετά από κάποιον αριθμό δοκιμών το πρόγραμμα αν και φαίνεται ότι τρέχει κανονικά, οι υπολογισμοί δεν γίνονται και οι τιμές των μεταβλητών παραμένουν ίδιες. Χρειάζεται προσοχή και συγκέντρωση, ώστε να είμαστε σε θέση να παρατηρήσουμε την οποιαδήποτε μεταβολή συμβεί στις τιμές, μικρή ή μεγάλη, καθώς μόνο έτσι θα μπορέσουμε να διακρίνουμε αν αυτό λειτουργεί σωστά.

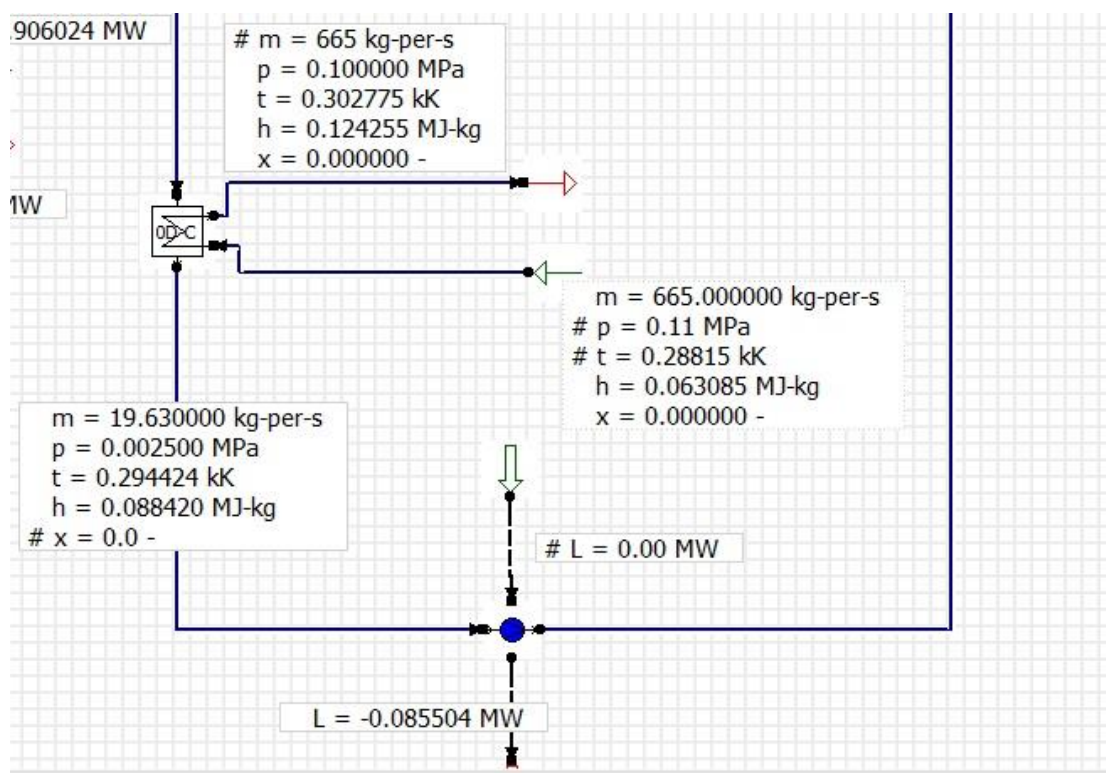
Έχουμε φτάσει σε ένα πολύ καλό επίπεδο προσομοίωσης και μας λείπουν τα τελευταία στάδια για την ολοκλήρωση του κύκλου. Το επόμενο είναι η σύνδεση του ρεύματος εξόδου του ψυχρού μέσου του υπερθερμαντήρα στην είσοδο ενός ατμοστρόβιλου. Εφόσον η σύσταση του ρεύματος αυτού είναι καθαρά  $H_2O$ , το εξάρτημα που χρησιμοποιούμε είναι *water-turbine*. Οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά και συνεπώς και η διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσουμε είναι η ίδια με αυτήν για τον αεριοστρόβιλο. Αφού τα κάνουμε όλα αυτά, τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικόνα 10.20.



Εικόνα 10.20: Η εφαρμογή του *water-turbine* στον κύκλο μας.

Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε ότι δίπλα από το στρόβιλο έχουμε συνδέσει στην έξοδο ρεύματος της ενέργειας αυτού, το εξάρτημα που χρησιμοποιούμε για να προσομοιώσουμε τη γεννήτρια. Στο τελευταίο αυτό εξάρτημα θέσαμε ως σταθερή μία μικρή απώλεια ενέργειας της τάξης του 0,02. Η διαδικασία έγινε με τον ίδιο τρόπο, όπως περιγράφηκε την πρώτη φορά που αναφερθήκαμε σε αυτό (στη δημιουργία του πρώτου κομματιού του κύκλου, δηλ. του αεριοστρόβιλου).

Μετά τον ατμοστρόβιλο ακολουθεί η παρουσία ενός συμπυκνωτή (Εικόνα 10.21). Αυτός προσομοιώνεται με ένα εξάρτημα εναλλάκτη θερμότητας. Προκειμένου να λειτουργήσει όμως ως συμπυκνωτής, απαραίτητη ενέργεια είναι στις ιδιότητες του ρεύματος εξόδου, της κύριας ροής, να θέσουμε  $x=0$  και να τη θέσουμε ως σταθερή τιμή (θα εμφανιστεί με το σύμβολο της δίεσης # στο αντίστοιχο *Label*). Σκοπός είναι να προσδιορίσουμε τη φάση στην οποία εξέρχεται το ρεύμα από το συμπυκνωτή, άλλωστε αυτός είναι ο ρόλος του συμπυκνωτή, αλλάζει τη φάση.



Εικόνα 10.21: Ο συμπυκνωτής του κύκλου.

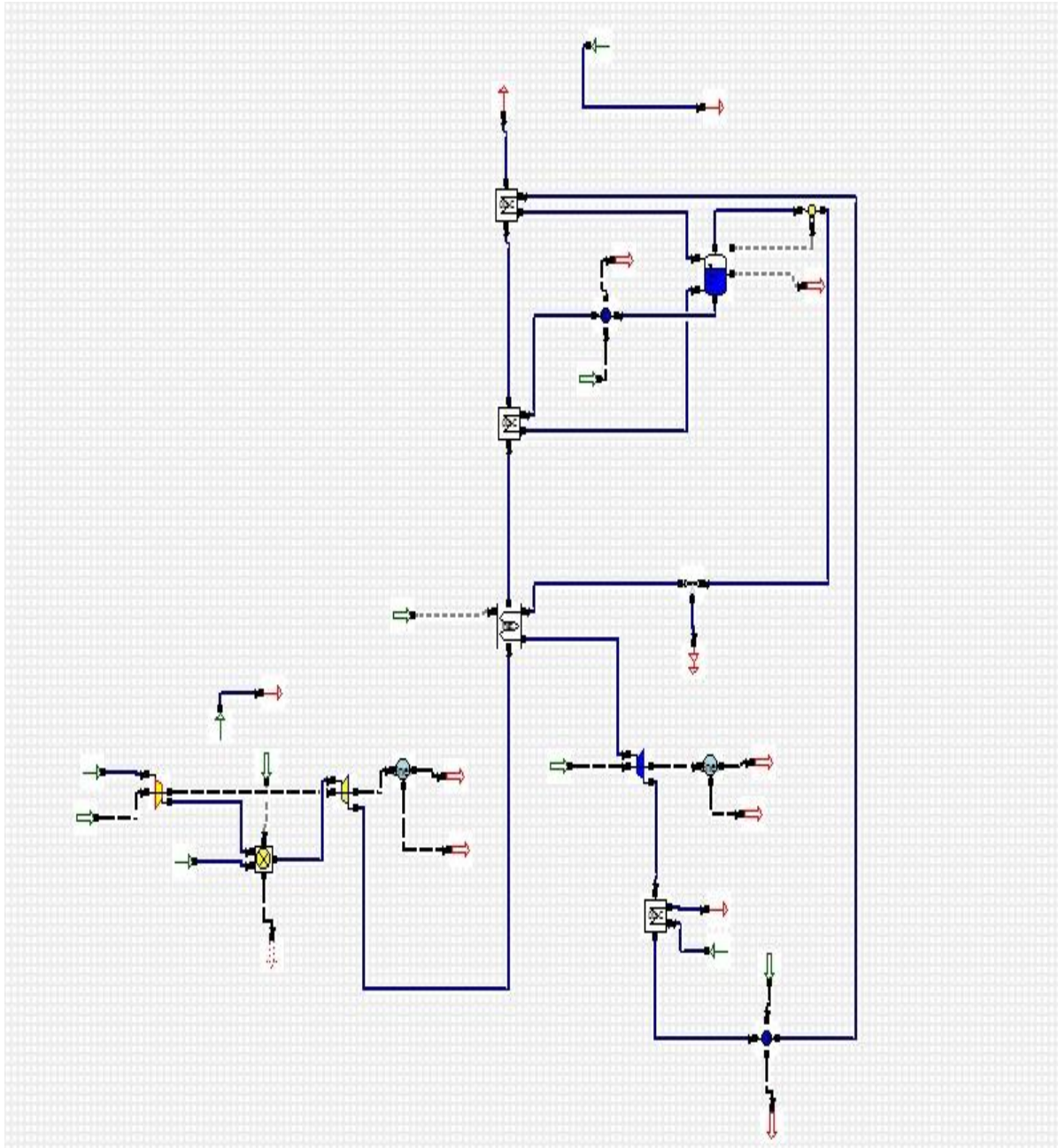
Στο δεξί μέρος του συμπυκνωτή, όπως βλέπουμε στην παραπάνω εικόνα, εισέρχεται και εξέρχεται από αυτόν μία ακόμα ροή, ένα ρεύμα. Αυτό είναι το ρεύμα κρούς νερού που απαιτείται ώστε να λειτουργήσει ο συμπυκνωτής και να αλλάξει τη φάση του κύριου ρεύματος.

Μετά το συμπυκνωτή έρχεται να προστεθεί μία ακόμα αντλία, η λειτουργία της οποίας πραγματοποιείται με τον ίδιο τρόπο, όπως αυτής που υπάρχει μετά το τύμπανο.

Υπενθυμίζουμε ότι στις ιδιότητες τις αντλίας πρέπει να ορίσουμε το βαθμό απόδοσης αυτής. Σε αυτήν την περίπτωση εμείς τον αφήσαμε ίσο με τη μονάδα.

Τέλος, μένει να ενώσουμε την έξοδο από αυτήν την αντλία με την είσοδο του ψυχρού μέσου στον οικονομητήρα.

Στην επόμενη εικόνα απεικονίζεται ολόκληρος ο κύκλος που προσομοιώσαμε.



Εικόνα 10.22: Ολοκληρωμένος κύκλος προσομοίωσης.

Σημείωση: Παρατηρούμε ότι πριν την είσοδο του ψυχρού μέσου στον υπερθερμαντήρα, υπάρχει ένα εξάρτημα απομάστευσης. Αυτό το προσθέσαμε αυθαίρετα. Ο λόγος είναι ότι το τύμπανο στην έξοδο του ατμού παρουσίαζε μία αύξηση της τιμής της μάζας. Δοκιμάσαμε να θέσουμε αυτήν την τιμή σταθερή και ίση με την επιθυμητή, αλλά το πρόγραμμα δεν ανταποκρινόταν. Έτσι αποφασίσαμε αυτήν την ποσότητα ατμού που περίσσευε, ώστε να είναι το υπόλοιπο κύκλωμα σε ισορροπία, να την διοχετεύσουμε στο περιβάλλον με αυτόν τον τρόπο.

Δεν μπορέσαμε να βρούμε κάποια εξήγηση για ποιο λόγο το πρόγραμμα αυξάνει μόνο του αυτήν την ποσότητα. Ούτε με δοκιμές, αλλά και ούτε μπορέσαμε να έχουμε κάποια απάντηση από τους κατασκευαστές του προγράμματος.

Τέλος, να επισημάνουμε ότι στον θάλαμο καύσης χρησιμοποιήσαμε μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) ως καύσιμο, με παροχή μάζας  $\dot{m}_B = 2.7 \text{ kg/sec}$ , με κατώτερη θερμογόνο ικανότητα  $Hu = 49.85 \text{ kJ/kg}$ . Η συνολική παραγόμενη ισχύς των δύο γεννητριών, αφού είναι συνδυασμένος κύκλος αεριοστρόβιλου – ατμοστρόβιλου, είναι  $P = 68.9 \text{ MW}$ . Κάνοντας χρήση, λοιπόν, του τύπου:  $\eta = \frac{P}{\dot{m}_B \cdot Hu}$  προκύπτει ο βαθμός απόδοσης του κύκλου, οποίος είναι  $\eta = 0.511$  ή  $\eta = 51.1\%$ .

## 10.2 ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Ο δεύτερος κύκλος περιλαμβάνει μια ατμοστροβλική μονάδα, με δύο απομαστεύσεις ατμού από τον ατμοστρόβιλο (μία για την απαερίωση και μία για προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού).

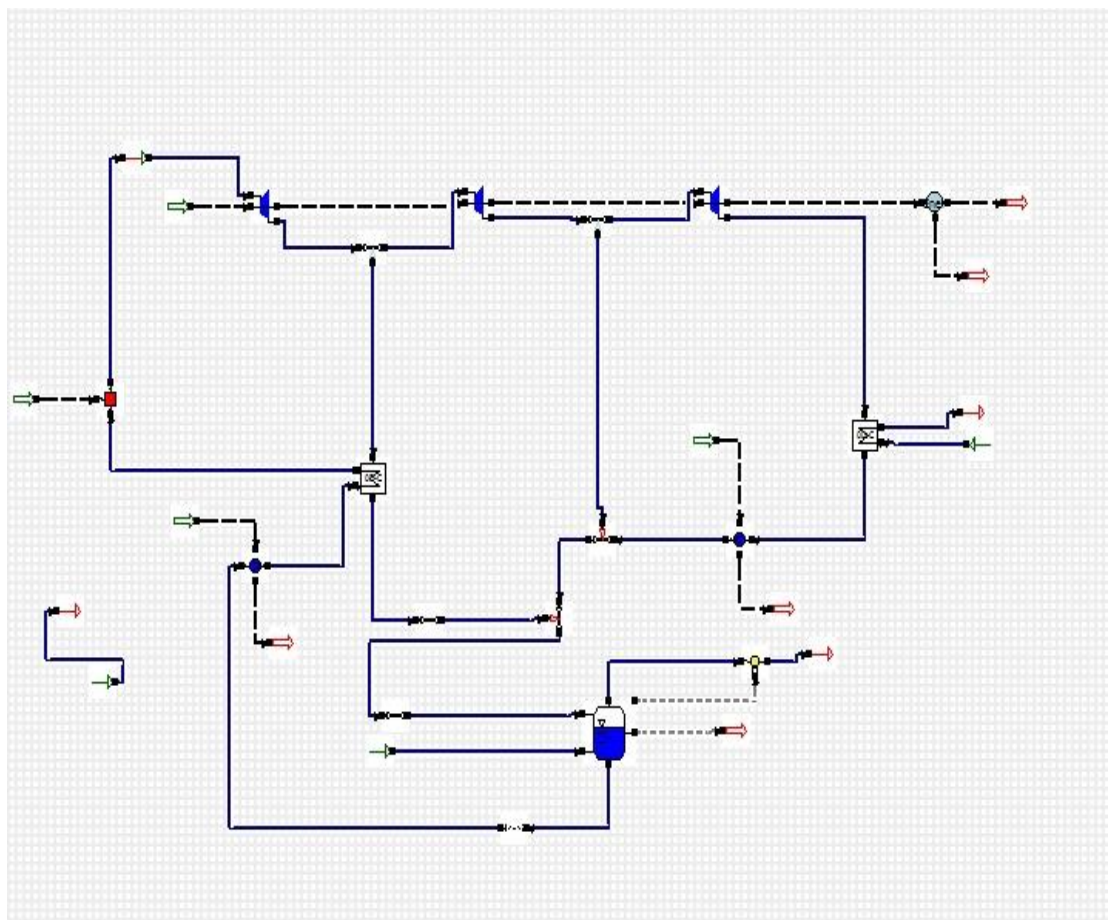
Όσον αφορά τον κύκλο αυτόν, αποφασίσαμε να μην κάνουμε λεπτομερή περιγραφή των βημάτων προσομοίωσης και των εξαρτημάτων του. Τα μόνα εξαρτήματα που θα περιγράψουμε είναι αυτό του *energy-input*, το οποίο εδώ λειτουργεί σαν ολοκληρωμένος λέβητας και το *SteamDrum*, που εν αντιθέσει με τον πρώτο κύκλο, εδώ χρησιμοποιείται ως τροφοδοτικό δοχείο. Αυτός ο κύκλος, καθώς είναι με εξαρτήματα σαφώς πιο εύκολα στη χρήση από αυτά του προηγούμενου, λειτουργεί και τρέχει με μεγαλύτερη άνεση. Εκμεταλλευόμαστε αυτή τη δυνατότητα, ώστε να κάνουμε διάφορα τρεξίματα και με τις τιμές που προκύπτουν να πάρουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα.

Το εξάρτημα του *energy-input* είναι το πιο εύκολο εξάρτημα που συναντήσαμε. Αυτό που χρειάστηκε να κάνουμε είναι μόνο να συνδέσουμε ρεύματα στην είσοδο και την έξοδό του. Στην περίπτωση μας το χρησιμοποιούμε σαν λέβητα. Αφού ολοκληρώσαμε τον κύκλο αρχίσαμε να δίνουμε διάφορες τιμές στην είσοδο ενέργειας του λέβητα, ώστε να παρατηρούμε την απόκριση του συστήματος τόσο στη γεννήτρια, όσο και στο ρεύμα εξόδου από τον ίδιο το λέβητα. Τα αποτελέσματα που πήραμε τα βάλουμε σε έναν πίνακα, ο οποίος βρίσκεται παρακάτω. Τα μεγέθη που παρακολουθήσαμε είναι η θερμοκρασία, ο

βαθμός ξηρότητας και η ενθαλπία στην έξοδο του λέβητα, η ηλεκτρική ισχύς της γεννήτριας και ο βαθμός απόδοσης ολόκληρου του κύκλου.

Όπως αναφέραμε και λίγο παραπάνω, θα δώσουμε κάποιες διευκρινήσεις για το εξάρτημα, με το οποίο εδώ προσομοιώνουμε το τροφοδοτικό δοχείο. Η βασική διαφορά είναι ότι στο *“property\_demand”* ελέγχεται η ενθαλπία και όχι η θερμοκρασία, όπως προηγουμένως. Επειδή το εξάρτημα έχει δύο μόνο εισόδους ρευμάτων, τα ρεύματα ενώνονται πριν από την είσοδο τους και εισέρχονται στο *“feedwater-in”*. Επειδή όμως όλες οι εισοδοι και οι έξοδοι πρέπει απαραίτητα να είναι καλυμμένες, στην άλλη είσοδο του τροφοδοτικού δοχείου, βάζουμε μία πολύ μικρή ποσότητα νερού, η οποία εξέρχεται, ακριβώς η ίδια ποσότητα από την έξοδο *“steam-out”*, ενώ από την έξοδο του νερού εξέρχεται κανονικά η ποσότητα ρεύματος που εισήχθη. Αυτή είναι η ιδιαιτερότητα αυτού του εξαρτήματος σε λειτουργία ως τροφοδοτικό δοχείο.

Ακριβώς παρακάτω βλέπουμε στην Εικόνα 10.23 τον ολοκληρωμένο κύκλο που προσομοιώσαμε, ώστε να έχουμε μία πλήρη εικόνα αυτού και τι θα σχολιαστεί στην πορεία. Τα διαγράμματα που κατασκευάσαμε είναι οι μεταβολές των τιμών (θερμοκρασία, βαθμός ξηρότητας και ενθαλπία στην έξοδο του λέβητα, ηλεκτρική ισχύς γεννήτριας και βαθμός απόδοσης του κύκλου) συναρτήσει των εκάστοτε τιμών που εισάγουμε κάθε φορά στην είσοδο ενέργειας του λέβητα.



Εικόνα 10.23: Ολοκληρωμένος κύκλος προσομοίωσης.

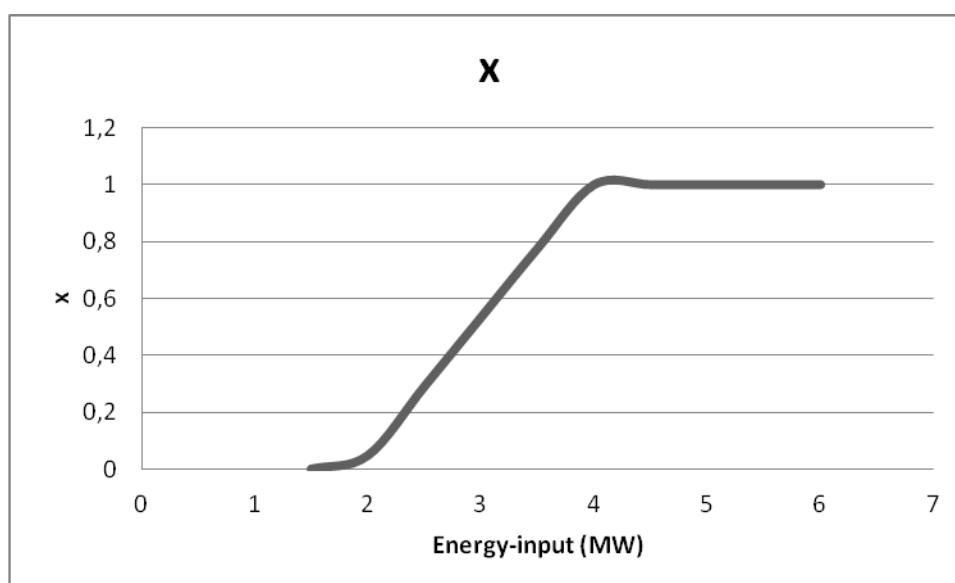
Στη συνέχεια βλέπουμε τον Πίνακα 10.1, όπου φαίνονται οι τιμές της εισόδου ροής της ενέργειας στο λέβητα (energy input) και οι τιμές των μεταβλητών που θέλουμε να εξετάσουμε. Αρχίσαμε να κάνουμε δοκιμές με μία μικρή ποσότητα ενέργειας και το πρόγραμμα έτρεχε κανονικά. Σταδιακά και με σταθερό βήμα αύξησης τα 0,5 MW φτάσαμε αισίως να τρέχουμε το πρόγραμμα με 5 MW στην είσοδο του λέβητα, η οποία ήταν και η μέγιστη τιμή που μπορέσαμε να δώσουμε και το πρόγραμμα να λειτουργήσει.

Energy-input (MW)	x	h (MJ/kg)	t (κΚ)	PG (MW)	η (%)
1,5	0	1,414396	0,615305	0,66233	44,1553333
2	0,047297	1,657521	0,615305	0,880188	44,0094
2,5	0,290181	1,900526	0,615305	1,102958	44,11832
3	0,533065	2,143531	0,615305	1,325725	44,1908333
3,5	0,775949	2,386353	0,615305	1,548496	44,2427429
4	1	2,69539	0,616836	1,771291	44,282275
4,5	1	2,872325	0,650729	2,0008995	44,4644324
5	1	3,114768	0,710241	2,248506	44,97012
5,5	1	3,356604	0,789188	2,518674	45,7940727
6	1	3,597991	0,878852	2,813375	46,8895833

Πίνακας 10.1: Τιμές μεταβλητών.

Παρακάτω βρίσκουμε το κάθε ένα διάγραμμα των μεταβλητών αυτών ξεχωριστά με έναν μικρό σχολιασμό σε κάθε περίπτωση.

Αρχίζουμε με το βαθμό ξηρότητας στην έξοδο του λέβητα (Διάγραμμα 10.1), όπου όπως παρατηρούμε ξεκινώντας με έναν μικρό αριθμό MW στην είσοδο του λέβητα, ο βαθμός ξηρότητας στην έξοδο είναι μηδέν (0), άρα έχουμε κορεσμένο νερό.

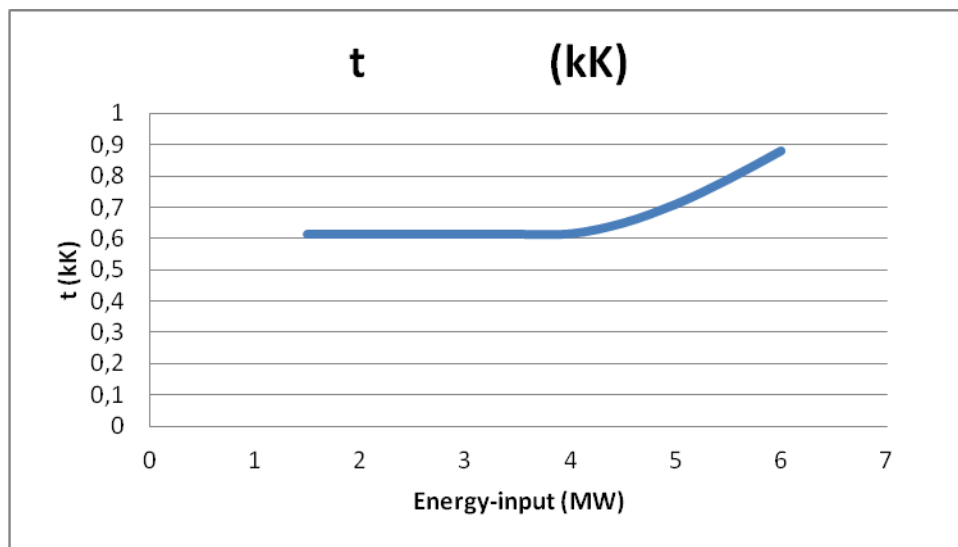


Διάγραμμα 10.1: Ο βαθμός ξηρότητας συναρτήσει της εισόδου ενέργειας.



Αυξάνοντας την εισαγόμενη ενέργεια, αρχίζει η έξοδος του εργαζομένου μέσου από το λέβητα να γίνεται διφασική μέχρι ότου εμείς δώσουμε 4 MW στο λέβητα, όπου η ξηρότητα φτάνει τη μονάδα, δηλαδή πλέον παράγεται κορεσμένος ατμός και από εκεί και έπειτα έχουμε υπέρθερμο ατμό. Καθώς τρέχαμε το πρόγραμμα, όπως αναμενόταν, παρατηρήσαμε ότι αφού έφτασε η τιμή της ξηρότητας τη μονάδα, από εκεί και πέρα το πρόγραμμα άρχισε να αλλάζει και τη θερμοκρασία του ρεύματος στην έξοδο του λέβητα, ενώ μέχρι τότε παρέμενε σταθερή.

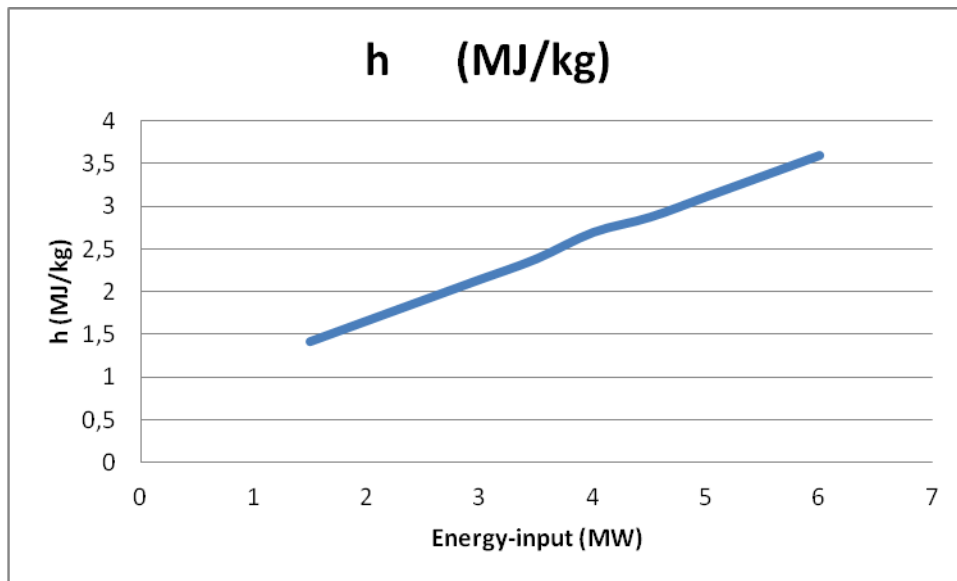
Στο επόμενο διάγραμμα (Διάγραμμα 10.2) βλέπουμε αυτή τη μεταβολή της θερμοκρασίας στην έξοδο του λέβητα σε συνάρτηση με το ποσό της ενέργειας που εισάγουμε στον τελευταίο.



**Διάγραμμα 10.2:** Η θερμοκρασία συναρτίζεται την εισερχόμενη ενέργεια.

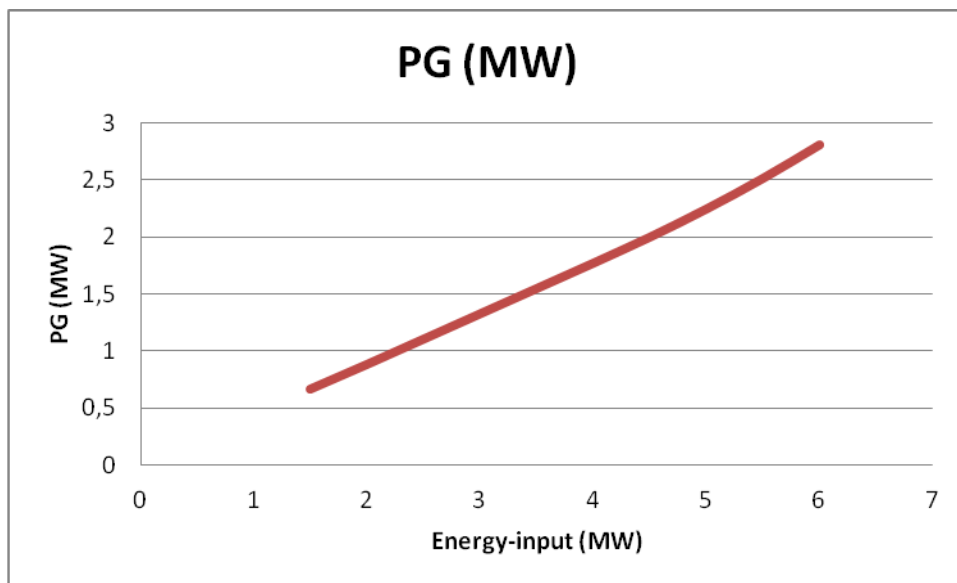
Παρατηρούμε, όπως έχουμε ήδη πει και είναι και απολύτως φυσιολογικό, ότι η τιμή της θερμοκρασίας παραμένει σταθερή, μέχρι τη στιγμή όπου το μέσο μας είναι πλέον κορεσμένος ατμός. Από εκεί και έπειτα, όντας πλέον στην περιοχή του υπέρθερμου ατμού, αρχίζει η θερμοκρασία να αλλάζει και να αυξάνει.

Στην πορεία συνεχίζουμε με την εμφάνιση του διαγράμματος (Διάγραμμα 10.3) με τη μεταβολή της ενθαλπίας. Παρατηρούμε ότι η ενθαλπία αυξάνει σχεδόν γραμμικά με την προδιδόμενη ενέργεια στην είσοδο του λέβητα.



**Διάγραμμα 10.3:** Μεταβολή της ενθαλπίας συναρτήσει της ενέργειας εισόδου.

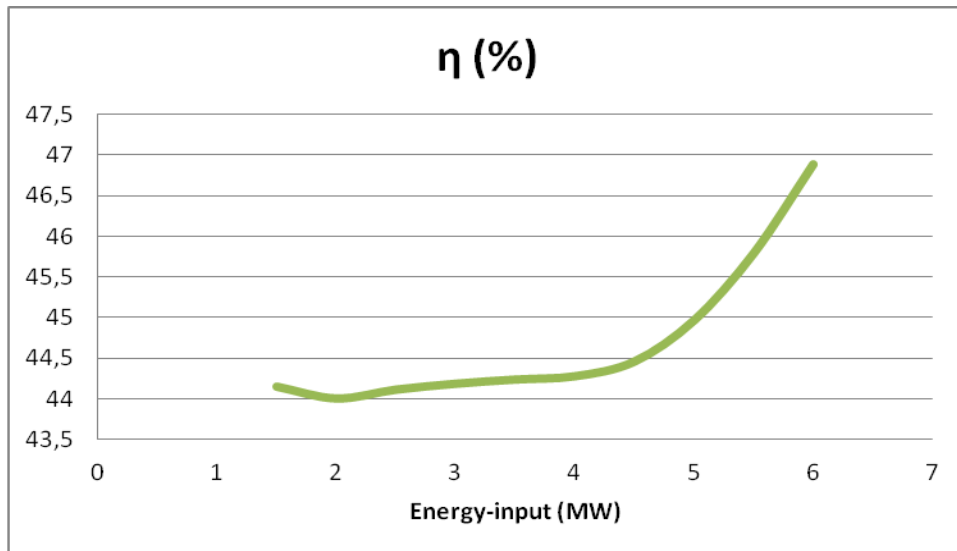
Στο επόμενο διάγραμμα (Διάγραμμα 10.4) βλέπουμε τη μεταβολή της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος της γεννήτριας, πάλι σε συνάρτηση με το προδιδόμενο ποσό ενέργειας στο λέβητα.



**Διάγραμμα 10.4:** Μεταβολή ισχύος της γεννήτριας.

Και εδώ, όπως στην περίπτωση της μεταβολής της ενθαλπίας, παρατηρούμε μία γραμμική αύξηση του μεγέθους της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος της γεννήτριας. Ανάλογα με το ποσό ενέργειας που δίνουμε στο λέβητα, παίρνουμε και μία αντίστοιχη τιμή στην έξοδο της γεννήτριας, χωρίς κάτι το αξιοσημείωτο.

Τέλος, το επόμενο διάγραμμα παρουσιάζει τη μεταβολή του βαθμού απόδοσης ολόκληρου του κύκλου σε σχέση με την καταναλισκόμενη ενέργεια του λέβητα.



**Διάγραμμα 10.5:** Βαθμός απόδοσης του κύκλου.

Σε γενικές γραμμές βλέπουμε ότι ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 44-47 %. Να σημειώσουμε ότι ο βαθμός απόδοσης είναι ο ολικός (gross) βαθμός απόδοσης. Παρατηρούμε ότι όταν έχουμε 2 MW ενέργεια στην είσοδο του λέβητα, ο βαθμός απόδοσης πέφτει, κατά ένα μικρό ποσοστό βέβαια, και μετά αρχίζει να αυξάνει. Η αύξηση του βαθμού απόδοσης δεν είναι ομαλή. Αρχίζει να έχει μία πιο καθαρή, σχεδόν γραμμική, αύξηση μετά την είσοδο 4,5 MW και άνω, πράγμα που μας κάνει να σκεφτούμε ότι με τα συγκεκριμένα δεδομένα που έχουμε δώσει στον κύκλο, αυτός έχει μία πιο ομαλή και καλή λειτουργία, όταν σε αυτόν προσδίδονται ποσά ενέργειας πάνω από 4 MW, που από εκεί και πάνω άλλωστε έχουμε και την παραγωγή κορεσμένου ή υπέρθερμου ατμού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Και εδώ, φτάσαμε στο τέλος της διπλωματικής μας εργασίας. Παρόλα τα εμπόδια που αντιμετωπίσαμε, προσπαθήσαμε, αυτά να μην γίνουν τοίχος και σταματήσουν το δρόμο μας, αλλά εφόδια για να συνεχίσουμε, να τα εκμεταλλευτούμε με τον οποιοδήποτε δυνατό τρόπο, ώστε ξεπερνώντας κάθε εμπόδιο να πηγαίνουμε ολοένα και παρακάτω. Οι ελλείψεις του προγράμματος, οι αδιευκρίνιστες ιδιότητες και ιδιαιτερότητες των εξαρτημάτων, η μη υποστήριξη από *Windows*, δεν τα αφήσαμε να μας πτοήσουν, αλλά έγιναν το βασικό μας κίνητρο. Να ανακαλύψουμε πως λειτουργεί, τι κρύβεται από πίσω και πως αυτό πολεμείται.

Μετά από αρκετή μελέτη πάνω στο συγκεκριμένο πρόγραμμα, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι είναι ένα υπολογιστικό πακέτο με πολλές παιδικές ασθένειες, αλλά έχει τις δυνατότητες να τις αντιμετωπίσει. Ο οποιοσδήποτε επόμενος χρήστης ευχόμαστε να σπλιστεί με πολύ θάρρος και υπομονή, εννοείται με οδηγό αυτήν την εργασία, ώστε να καταφέρει να πάει στο επόμενο στάδιο που δεν καταφέραμε εμείς. Ευελπιστούμε αυτή η διπλωματική εργασία να είναι ένα καλό εφόδιο, ώστε ο επόμενος χρήστης του προγράμματος να μην αναλωθεί με το να ψάχνει λύσεις στα προβλήματα του προγράμματος, αφού μέσα από αυτήν την εργασία μπορεί να τα γνωρίζει ήδη και το ενδιαφέρον του να μονοπωλήσει το στάδιο της δημιουργίας ενός προγράμματος σε δυναμικό επίπεδο. Άλλωστε, πρωταρχικός σκοπός της διπλωματικής αυτής ήταν αυτός.

Θέλουμε να είμαστε αισιόδοξοι, μηχανικοί γαρ, και να ελπίζουμε πως οι κατασκευαστές του προγράμματος θα μας βοηθήσουν με μία πιο καινούρια έκδοση και πιο βελτιωμένη, ώστε τα προβλήματα που αντιμετωπίσαμε εμείς να είναι πλέον «παιχνιδάκι» στα χέρια των επόμενων χρηστών. Σίγουρα, η εξέλιξη αυτή θα μας χαροποιήσει ιδιαίτερα, καθώς θα δούμε όλα αυτά που εμείς παραθέσαμε σε θεωρητικό επίπεδο να λαμβάνουν χώρα στην πραγματικότητα και οι κόποι μας να ανταμείβονται βοηθώντας στην εξέλιξη.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] R. Leithner. ENBIPRO (ENergie - Bilanz - PROgramm) Benutzerhandbuch. Institut Für Wärme- und Brennstofftechnik, TU Braunschweig, 2012.
- [2] [STAMATELOPOULOS, 1996] STAMATELOPOULOS, GEORG-NIKOLAUS (1996). *Berechnung und Optimierung von Kraftwerkskreisläufen*, Bd. Energietechnik Nr. 340 , Dissertation, Düsseldorf. VDI-Verlag GmbH. ISBN 3-18-334006-2.
- [3] [ROHSE, 1995] ROHSE, HARTMUT (1995). *Untersuchung der Vorgänge beim Übergang vom Umwälzt- zum Zwangsdurchlaufbetrieb mit einer dynamischen Dampferzeugersimulation*. VDI-Fortschritt-Berichte, Reihe 6 Nr.: 327, Wien/Braunschweig.
- [4] [PATANKAR, 1980] PATANKAR, S. (1980). *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*. Hemisphere Publishing Corporation.
- [5] [ZINDLER H., 2007] ZINDLER H., LEITHNER R. (2007). *Optimization of the Finite Volume Method Source Code by Using Polymorphism*. WSEAS Conference, Athen.
- [6] [WITKOWSKI, 2006] WITKOWSKI, A. J. (2006). *Simulation und Validierung von Energiewandlungsprozessen*. Tönning, Der Andere Verlag. ISBN 3899594819.
- [7] Ν. ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.. *Ατμοπαραγωγοί Ι, Γενικές Αρχές*. Εκδόσεις Συμewν. ISBN 960-7888-61-8.
- [8] Σ. ΚΑΡΕΛΛΑΣ, Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός, Ν. ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ, Ομ. Καθηγητής Ε.Μ.Π., Χ. ΠΑΠΑΠΑΥΛΟΥ, Μηχανολόγος Μηχανικός. *Ασκήσεις – Θέματα Ατμοπαραγωγών και Θερμικών Εγκαταστάσεων*. Εκδόσεις Συμewν. Αθήνα 2007. ISBN 978-960-7888-86-0.
- [9] ΕΜΜ. Κ. ΚΑΚΑΡΑΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.. *Θερμοηλεκτρικοί Σταθμοί*. Εκδόσεις Fountas, Δεύτερη Έκδοση. ISBN 960-330-475-1.