



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Τρισδιάστατη αναλυτική αποτύπωση
πειραματικής εγκατάστασης παραγωγής
ενέργειας με αξιοποίηση απορριπτόμενης
θερμότητας από ΜΕΚ πλοίων μέσω της
τεχνολογίας ORC»*

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Μακρυκώστα Δημήτρη

Επιβλέπων

Εμμανουήλ Κακαράς , Καθηγητής ΕΜΠ

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την τρισδιάστατη αναλυτική αποτύπωση πειραματικής εγκατάστασης παραγωγής ενέργειας με αξιοποίηση απορριπτόμενης θερμότητας από ΜΕΚ πλοίων μέσω της τεχνολογίας ORC. Η πρωτότυπη αυτή εγκατάσταση ονομάζεται Marine ORC και είναι εγκατεστημένη στο Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. Η τρισδιάστατη αποτύπωση της εγκατάστασης στοχεύει στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού για την εξοικονόμηση χώρου σε συνδυασμό με τις προδιαγραφές των υλικών αλλά και τις συνθήκες λειτουργίας, σε μετέπειτα εκδόσεις της.

Ο σχεδιασμός γίνεται στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD 3D, το οποίο προσφέρει πολλές δυνατότητες όσον αφορά τον σχεδιασμό σε ρεαλιστική μορφή. Η προσπάθεια αποτύπωσης της εγκατάστασης αποτελεί το εφαλτήριο της διαφορετικής προσέγγισης και αντιμετώπισης προβλημάτων σχεδιασμού, χωροταξίας και βέλτιστης απόδοσης. Είναι κρίσιμο βέβαια να αναφερθεί πως με την κατανόηση του σχεδίου, των συνθηκών αλλά και των περιορισμών της τοποθέτησης των εξαρτημάτων σύμφωνα με τις απαιτήσεις των κατασκευαστών, ο σωστός σχεδιασμός καθίσταται κρίσιμη παράμετρος για την βελτιστοποίηση της απόδοσης σε συνδυασμό πάντα με τεχνοοικονομικά κριτήρια.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται ο θεωρητικός κύκλος ORC και οι αρχές λειτουργίας του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή της πειραματικής εγκατάστασης Marine ORC, των κυκλωμάτων αυτής καθώς και των εξαρτημάτων που την απαρτίζουν.

Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται ο τρόπος σχεδίασης σε πρόγραμμα τρισδιάστατης απεικόνισης καθώς και η μεθοδολογία σχεδιασμού.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στις προτάσεις για την περαιτέρω εξέλιξη της παρούσας εργασίας που θα αφορά στην εξέλιξη του τρισδιάστατου σχεδιασμού με μοντέλα προσομοίωσης αλλά και την εγκατάσταση για εμπορική χρήση.

Τέλος, στο παράρτημα απεικονίζεται όλη η σειρά σχεδίων της πειραματικής εγκατάστασης καθώς και των διαφόρων εξαρτημάτων.

Abstract

The present thesis project deals with the three-dimensional analytical design of experimental power plant installation by using waste heat from ICE of ships through ORC technology. This prototype installation called Marine ORC is installed on Steam engines and Boilers Laboratory of the Faculty of Mechanical Engineering Department of NTUA. This three-dimensional analytical design aims in optimization of the design for saving space in conjunction with the specifications of materials and operating conditions, in later versions.

Drawings are made in 3D AutoCAD design program, which offers many possibilities for designing a realistic form. The effort for imprint the entire installation is the springboard of a different approach for troubleshoot design problems and optimal performance. It is critical of course to be noted that with the understanding of the installation and the conditions and restrictions of mounting equipment according to the requirements of manufacturers, the correct design becomes critical parameter for optimum performance always combined with the techno-economic criteria.

The first chapter of this thesis presents the theoretical cycle ORC and its operating principles.

The second chapter presents a detailed description of the experimental setup Marine ORC, the circuits and the parts that compose it.

The third chapter presents the design method in three-dimensional imaging program and the design methodology.

The fourth chapter refers to proposals for further development of this work will involve the development of three-dimensional design with simulation models and installation for commercial use.

Finally, Annex depicted throughout the whole set of drawings of three-dimensional analytical design of experimental power plant installation and the various equipment.

Πρόλογος

Η εργασιακή μου εμπειρία σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας και των κατασκευών ήταν αρωγός στην κατεύθυνση του να αποκτήσω διαφορετική αντίληψη όσον αφορά σε θέματα σχεδιασμού και εγκαταστάσεων. Βέβαια η ανάγκη για περαιτέρω πληροφόρηση καθώς και η έλλειψη ουσιαστικής γνώσης στο αντικείμενο της παραγωγής και διαχείρισης ενέργειας με οδήγησαν στην παρακολούθηση αυτού του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών σπουδών.

Η εκπόνηση της παρούσας εργασίας θα ήθελα να αποτελέσει έμπνευση και για άλλους φοιτητές για την ενασχόληση τους με τον εφαρμοστικό σχεδιασμό των εγκαταστάσεων σε πραγματικό χρόνο με την χρήση σχεδιαστικών πακέτων. Θεωρώ πως η ολοκλήρωση ενός μηχανικού πραγματοποιείται με την εφαρμογή όσων έχει μελετήσει και σχεδιάσει σε συνδυασμό με τους κανόνες της τέχνης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, τον καθηγητή κ. Εμμανουήλ Κακαρά καθώς και τον Επίκουρο καθηγητή κ. Σωτήριο Καρέλλα που μου εμπιστεύθηκαν την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Πλάτωνα Πάλλη και Κωνσταντίνο Μπραϊμάκη για την πολύτιμη βοήθεια τους και τη συνεργασία τους παρά το βεβαρυμένο συχνά πρόγραμμα τους.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	i
Abstract	ii
Πρόλογος.....	iii
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Οργανικός κύκλος Rankine (Organic Rankine Cycle - ORC)	1
1.1.1 Εφαρμογή ORC σε πλοίο	3
2. Περιγραφή της μονάδας Marine ORC.....	4
2.1 Παρουσίαση του θεωρητικού κύκλου ORC και των αρχών λειτουργίας του	4
2.2 Περιγραφή της μονάδας marine ORC, σημείο λειτουργίας	8
2.3 Περιγραφή των κυκλωμάτων και των σωληνώσεων της πειραματικής εγκατάστασης ORC marine.....	10
2.4 Περιγραφή εξοπλισμού	13
2.4.1 Ελικοειδής Εκτονωτής.....	14
2.4.2 Αντλία.....	14
2.4.3 Ατμοποιητής.....	16
2.4.4 Συμπυκνωτής.....	18
2.4.5 Τροφοδοτικό δοχείο και φίλτρο	19
2.4.6 Εξαρτήματα	20
3. Σχεδιασμός – μεθοδολογία σχεδιασμού	22
4. Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική εργασία	23
5. Παράρτημα σχεδίων	24
6. Βιβλιογραφία.....	70

1. Εισαγωγή

1.1 Οργανικός κύκλος Rankine (Organic Rankine Cycle - ORC)

Στις νέες ανάγκες της σύγχρονης κοινωνίας, ο μηχανικός καλείται να επιλύσει προβλήματα τεχνολογικά που θα έχουν άμεση επίδραση στην ποιότητα ζωής των ανθρώπων, την μείωση της ρύπανσης αλλά και στην ελαχιστοποίηση του κόστους των επενδύσεων. Οι εναλλακτικοί τρόποι παραγωγής ενέργειας καθώς και η εξεύρεση λύσεων βελτιστοποίησης της απόδοσης πολλές φορές κρίνονται έως ένα βαθμό αντισυμβατικές σε συνάρτηση με το κόστος.

Βέβαια η μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων και κατ' επέκταση η αύξηση του κόστους της ενέργειας σε συνδυασμό με τον διαρκώς αυξανόμενο προβληματισμό σχετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη λόγω των εκπομπών άνθρακα που σχετίζεται με την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων, έχει στρέψει το ενδιαφέρον στις καθαρές μορφές ενέργειας. Αυτό οφείλεται και στο γεγονός ότι η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας έχει αυξηθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια με αποτέλεσμα να έχουν αυξηθεί αντίστοιχα και οι εκπομπές CO_2 στην ατμόσφαιρα. Η έντονη ανησυχία που έχει προκαλέσει αυτή η αύξηση σχετικά με την κλιματική αλλαγή, έχει στρέψει το ενδιαφέρον προς εναλλακτικές μορφές παραγωγής ενέργειας. Μία από αυτές τις εναλλακτικές είναι και ο οργανικός κύκλος Rankine (ORC).

Βασικό πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ότι μπορεί να προσαρτηθεί σε υπάρχοντα συστήματα με σκοπό την αξιοποίηση της απορριπτόμενης θερμότητας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως επίσης και την εκμετάλλευση πηγών θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας, κάτι που έχει σαν φυσική συνέπεια να χρησιμοποιείται κυρίως σε εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας με τα λεγόμενα συστήματα ανάκτησης θερμότητας.

Ως συστήματα ανάκτησης θερμότητας ορίζονται εκείνα τα οποία εκμεταλλεύονται την απορριπτόμενη θερμότητα κάποιας θερμικής διεργασίας για την παραγωγή ωφέλιμου έργου. Το έργο αυτό μπορεί να είναι μηχανικό, παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ή ακόμα παραγωγή θερμικής ενέργειας για την θέρμανση κάποιου εργαζόμενου μέσου ή χώρου.

Μία περίπτωση όπου υπάρχουν μεγάλα περιθώρια αξιοποίησης απορριπτόμενης θερμότητας αποτελούν οι μηχανές εσωτερικής καύσης (MEK) που βρίσκονται εγκατεστημένες σε πλοία. Κατά την λειτουργία των πλοίων, μεγάλη ποσά θερμότητας, της συνολικά αποδιδόμενης ισχύος, δεν είναι εκμεταλλεύσιμα από τις Μ.Ε.Κ. και απορρίπτονται στο περιβάλλον σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Με την εγκατάσταση κάποιου συστήματος ανάκτησης θερμότητας (WHR – Waste Heat Recovery System), η θερμότητα αυτή μπορεί να ανακτηθεί και να εξυπηρετήσει κάποιες άλλες ανάγκες του πλοίου.

Οι κύριες πηγές απώλειας θερμότητας από τις Μ.Ε.Κ. προκύπτουν από το νερό που χρησιμοποιείται συνήθως για την ψύξη του αέρα εισαγωγής στο τμήμα υψηλής θερμοκρασίας καθώς και του κελύφους της μηχανής (HT cooling water), το νερό που χρησιμοποιείται για την ψύξη των υπόλοιπων συστημάτων όπως το λάδι λίπανσης της μηχανής και τους βοηθητικούς Diesel κινητήρες (LT cooling water). Τέλος, βασική απώλεια αποτελούν τα καυσαέρια που εξέρχονται από την μηχανή, τα οποία διατηρούν μεγάλες ποσότητες θερμότητας (exhaust gas). Το χαρακτηριστικό που καθορίζει την ευκολία ή μη της αξιοποίησης αυτών των τριών πηγών θερμότητας και τον τύπο του χρησιμοποιούμενου συστήματος ανάκτησης θερμότητας είναι η θερμοκρασία.

Για τον παραπάνω λόγο, προκειμένου να γίνει πιο ελκυστική η ιδέα των εναλλακτικών μορφών παραγωγής ενέργειας και ακόμη περισσότερο να κατανοηθεί πως για να έχουμε ουσιαστική μείωση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας, θα πρέπει να εκμεταλλευτούμε στο έπακρο τις

δυνατότητες της νέας τεχνολογίας καθώς και να επαναδιαπραγματευθούμε τον σχεδιασμό υφιστάμενων εγκαταστάσεων με κατεύθυνση την αύξηση της απόδοσης παραγωγής ενέργειας αντλώντας ποσοστό από αυτό που χάνεται με την μορφή θερμότητας.

Τα πλοία είναι η αιχμή των μεταφορών, αλλά αποτελούν και μεγάλες εστίες ρύπανσης στο σύνολό τους. Είναι βέβαια λογικό από την στιγμή που η απόδοση ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι μόλις 30 με 35% σε κινητική ενέργεια, ενώ το 65 με 70% χάνεται με την μορφή θερμότητας απορριπτόμενης στη θάλασσα.

Στο Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., έχει κατασκευαστεί μια πρωτότυπη, μικρής κλίμακας πειραματική μονάδα ORC που αποσκοπεί στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας περίπου 5 kw από την αξιοποίηση απορριπτόμενης θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας (90 °C) από μηχανές πλοίων.

Η μελέτη της παρούσας εργασίας πραγματεύεται την τρισδιάστατη αποτύπωση της παραπάνω εγκατάστασης. Η χρησιμότητα της μελέτης έγκειται πως για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού πρέπει να γίνει αποτύπωση σε τρισδιάστατο σχέδιο όλου του εξοπλισμού ώστε να υπάρχει εποπτεία όλης της εγκατάστασης και δυνατότητα βελτίωσης της χωροθέτησης σε μελλοντικές βελτιωμένες εκδόσεις της.

Το τελικό σχέδιο της εγκατάστασης απεικονίζεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: 3D αποτύπωση πειραματικής εγκατάστασης marine ORC του εργαστηρίου

1.1.1 Εφαρμογή ORC σε πλοίο

Η πειραματική διάταξη που πραγματοποιήθηκε, προσομοιώνει την ανάκτηση θερμότητας από το υδρόψυκτο σύστημα ψύξης και των βοηθητικών συστημάτων μιας εμβολοφόρου μηχανής εσωτερικής καύσης Diesel ενός πλοίου, με σκοπό την αύξηση της απόδοσής του. Ο κεντρικός ψύκτης ενός πλοίου, που ψύχει τα ζεστά νερά με θαλασσινό νερό, επιφορτίζεται με έργο μεταφοράς θερμότητας της τάξεως των 13MW στη συνήθη λειτουργία του πλοίου. Η ισχύς αυτή είναι κοντά στο 70% της συνολικά αποδιδόμενης ισχύος της κύριας μηχανής του πλοίου σε φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας. Έτσι είναι προφανές ότι η αύξηση της απόδοσης ενός πλοίου απαιτεί την εκμετάλλευση του μεγάλου όγκου ισχύος του συστήματος ψύξης.

Βασικό χαρακτηριστικό αυτής της πηγής θερμότητας αποτελεί το εξαιρετικά χαμηλό θερμοκρασιακό επίπεδο. Μια τέτοια παρατήρηση μας οδηγεί στην χρήση του Οργανικού Κύκλου Rankine για ανάκτηση θερμότητας. Μελετώντας το υδρόψυκτο σύστημα ψύξης της μηχανής ενός πλοίου, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που μπορεί να ανακτηθεί προέρχεται από τα συστήματα ψύξης του κελύφους (Jacket) της μηχανής και του αέρα εισαγωγής (Scavenge Air). Στον πίνακα 1.1 δίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά των δύο συστημάτων ψύξης για ένα πλοίο τύπου "ξηρού χύδην φορτίου" (Dry bulk carrier) που έχει ναυπηγηθεί από την εταιρία Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering CO.,LTD. (DSME), μετρίου προς μεγάλο μεγέθους, που αποτελεί τυπικό παράδειγμα εμπορικού πλοίου.

M/E Jacket Cooler			
	Inlet	Outlet	Heat
Operation State	Temperature	Temperature	Dissipation
	(°C)	(°C)	(kW)
Design Condition	65	80	2700
Sea Going Condition	67.6	80	2235
Maneuvering Condition	71.7	80	1496

Scavenge Air Cooler			
	Inlet	Outlet	Heat
Operation State	Temperature	Temperature	Dissipation
	(°C)	(°C)	(kW)
Design Condition	36	60.6	7540
Sea Going Condition	36	57.1	6465
Maneuvering Condition	36	43.7	2358

Πίνακας 1.1. Θερμοκρασία εισαγωγής-εξόδου και απορριπτόμενη θερμική ισχύς βασικών επιμέρους συστημάτων ψύξης του πλοίου (Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering CO. LTD., 2013).

Όπως φαίνεται στον *πίνακα 1.1* οι δύο αυτές πηγές διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους. Μία επιλογή ανάκτησης, χωρίς να γίνει μεγάλη μετατροπή στα συστήματα του πλοίου είναι να γίνει ανάκτηση θερμότητας μόνο από τα ζεστά νερά του συστήματος ψύξης του κελύφους της μηχανής. Ενώ μία δεύτερη επιλογή είναι η χρήση σύνθετου συστήματος που χρησιμοποιεί τα

ζεστά νερά από την ψύξη του αέρα εισαγωγής για την θέρμανση του οργανικού μέσου μέχρι την κατάσταση κορεσμένου ατμού και στην συνέχεια χρήση των ζεστών νερών από την ψύξη του Jacket της μηχανής για την υπερθέρμανση του εργαζόμενου μέσου. Η επιλογή εξαρτάται από τις συνθήκες περιβάλλοντος στις οποίες δραστηριοποιείται το πλοίο και το κόστος επένδυσης για το κάθε σύστημα. Ο πίνακας 1.2 φαίνονται οι χαρακτηριστικές συνθήκες που αφορούν την λειτουργία του πλοίου.

Environmental Condition	Winter (°C)	ISO (°C)
Atmosphere	2	25
Sea Water	5	25
Ballast Water	5	25
Engine Room	15	25
Cargo Hold	10	25
Cofferdam	10	25

Πίνακας 1-2. Χαρακτηριστικές θερμοκρασίες που αφορούν την λειτουργία του πλοίου (DSME) (Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering CO. LTD, 2013)

Η εγκατεστημένη πειραματική διάταξη προσομοιώνει την ανάκτηση θερμότητας από σύστημα ψύξης Jacket της μηχανής πλοίου με σταθερή θερμοκρασία εξόδου 90°C.

2. Περιγραφή της μονάδας Marine ORC

2.1 Παρουσίαση του θεωρητικού κύκλου ORC και των αρχών λειτουργίας του

Ο ORC είναι ένας κύκλος παρόμοιος με το συμβατικό κύκλο Clausius-Rankine νερού-ατμού με βασική διαφορά ότι το εργαζόμενο μέσο είναι κάποιο οργανικό μέσο. Ο ORC συνίσταται στην ατμοποίηση του οργανικού μέσου και κατόπιν την εκτόνωσή του σε στρόβιλο προς παραγωγή μηχανικού έργου. Το χαμηλής πίεσης ρεύμα που εξέρχεται από το στρόβιλο συμπυκνώνεται και μετά επανέρχεται με τη βοήθεια αντλίας στην υψηλή πίεση του κύκλου.

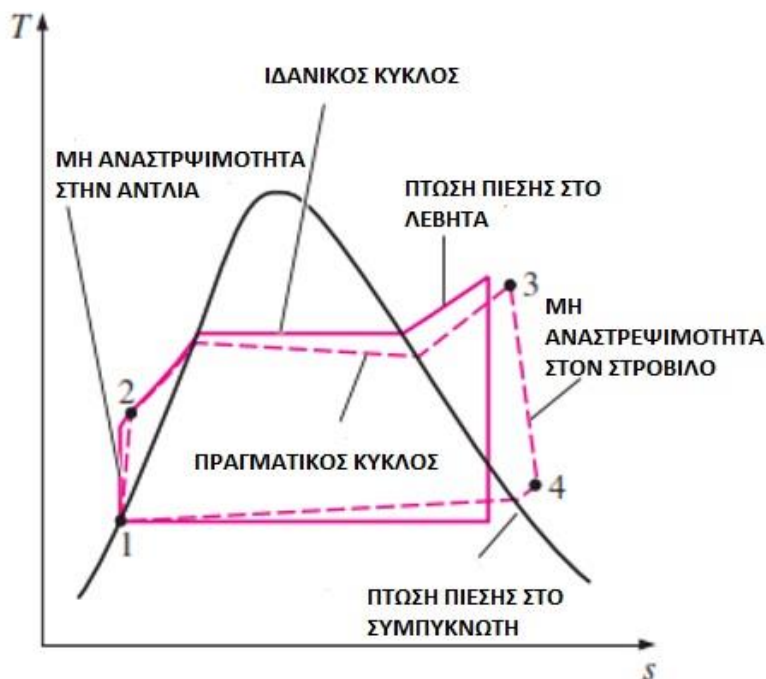
Βάσει των παραπάνω, είναι εύκολα κατανοητό ότι τα κύρια στοιχεία μιας τέτοιας εγκατάστασης είναι παρόμοια με μίας συμβατικής ατμοηλεκτρικής εγκατάστασης. Σε νεότερες εκδοχές το σύστημα περιλαμβάνει και έναν αναγεννητή με σκοπό την αύξηση της απόδοσης της εγκατάστασης. Αναφορικά με την πολυπλοκότητά του το σύστημα ORC είναι κατά τι απλούστερο από αυτό ενός κύκλου ατμού καθώς δεν υπάρχει η ανάγκη ύπαρξης τυμπάνου συνδεδεμένου με τον λέβητα, αντί αυτού αρκεί ένας μοναδικός εναλλάκτης θερμότητας για να υλοποιήσει τις τρεις φάσεις της θέρμανσης του εργαζόμενου μέσου.

2.1.1 Βασικές αρχές λειτουργίας και πλεονεκτήματα

Οι βασικές αρχές λειτουργίας του οργανικού κύκλου Rankine είναι οι εξής:

Το οργανικό ρευστό μέσω της τροφοδοτικής αντλίας συμπιέζεται και στη συνέχεια λαμβάνοντας θερμότητα από εξωτερική πηγή ατμοποιείται και υπερθερμαίνεται (για καλύτερη

απόδοση). Το αέριο οδηγείται στο στρόβιλο όπου και εκτονώνεται με αποτέλεσμα την παραγωγή μηχανικού έργου και στην συνέχεια οδηγείται στον συμπυκνωτή. Σε έναν ιδανικό κύκλο η εκτόνωση στο στρόβιλο θα ήταν ισεντροπική ενώ οι διαδικασίες της ατμοποίησης και συμπύκνωσης θα ήταν ισοβαρείς.



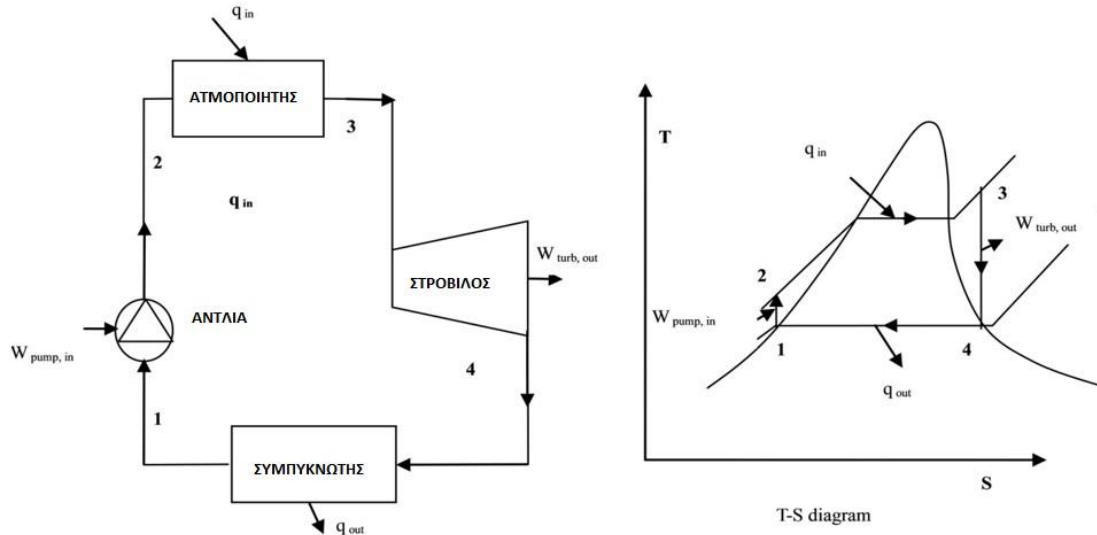
Εικόνα 2.1.1: T-s διάγραμμα για ιδανικό και πραγματικό κύκλο ORC [1].

Τα βασικά πλεονεκτήματα ενός κύκλου ORC είναι τα εξής [2] :

- i. Δυνατότητα λειτουργίας σε χαμηλές θερμοκρασίες και χαμηλά επίπεδα ισχύος
- ii. Καμία διάβρωση των πτερυγίων του στρόβιλου λόγω απουσίας υγρασίας, καθώς η εκτόνωση των οργανικών μέσων γίνεται στην υπέρθερμη περιοχή, επειδή η καμπύλη T-s έχει θετική κλίση
- iii. Απλή διαδικασία εκκίνησης και διακοπής λειτουργίας
- iv. Αυτόματη και αθόρυβη λειτουργία
- v. Μεγάλη διάρκεια ζωής και χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας

2.1.2 Θερμοδυναμική προσέγγιση

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τις θερμοδυναμικές μεταβολές που πραγματοποιεί ένας κύκλος ORC για υποκρίσιμες και υπερκρίσιμες πιέσεις σε διάγραμμα θερμοκρασίας-εντροπίας (T-s).



Εικόνα 2.1.2: Απλός κύκλος ORC (organic rankine cycle)

Η διάταξη του απλού κύκλου Rankine αποτελείται από τον ατμοποιητή, τον υπερθερμαντή, εναλλάκτες θερμότητας, τον στρόβιλο ισχύος, τον συμπυκνωτή και την τροφοδοτική αντλία. Ο θερμοκός βαθμός απόδοσης του κύκλου ορίζεται ως εξής:

$$\eta_{th} = \frac{P_{mech}}{Q_{organic\ fluid}} \quad (2.1)$$

όπου P_{mech} : Είναι το καθαρό μηχανικό έργο που παράγεται από το σύστημα.

$Q_{organic\ fluid}$: Η θερμότητα που παραλαμβάνει το εκάστοτε εργαζόμενο μέσο από τη θερμική πηγή.

Το έργο που παράγεται από τη διαδικασία του κύκλου ORC είναι ανάλογο με την ενθαλπική πτώση στο στρόβιλο αφαιρώντας την ενθαλπική αύξηση στην αντλία:

$$P_{mech} = \dot{m}_{orc}[(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)] \quad (2.2)$$

Η τροφοδοσία της θερμικής ισχύος στον κύκλο γίνεται μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας ενώ το μέσο μεταφοράς θερμότητας είναι συνήθως συνθετικό έλαιο ή συμπιεσμένο νερό και ισχύει:

$$Q_{organic\ fluid} = \dot{m}_{orc}(h_3 - h_2) \quad (2.3)$$

όπου h_1, h_2, h_3 και h_4 οι ειδικές ενθαλπίες σύμφωνα με την εικόνα 2.1.2.

Στην περίπτωση του υπερκρίσιμου κύκλου η ενθαλπική διαφορά ($h'_3 - h'_4$) είναι γενικότερα μεγαλύτερη από ότι στον υποκρίσιμο κύκλο ενώ η επίτευξη της υπερκρίσιμης πίεσης απαιτεί πολύ μικρή επιπρόσθετη αύξηση της ενθαλπίας στην αντλία ($h'_2 - h_2$). Έτσι ο βαθμός απόδοσης του κύκλου είναι μεγαλύτερος στην περίπτωση των υπερκρίσιμων συνθηκών.

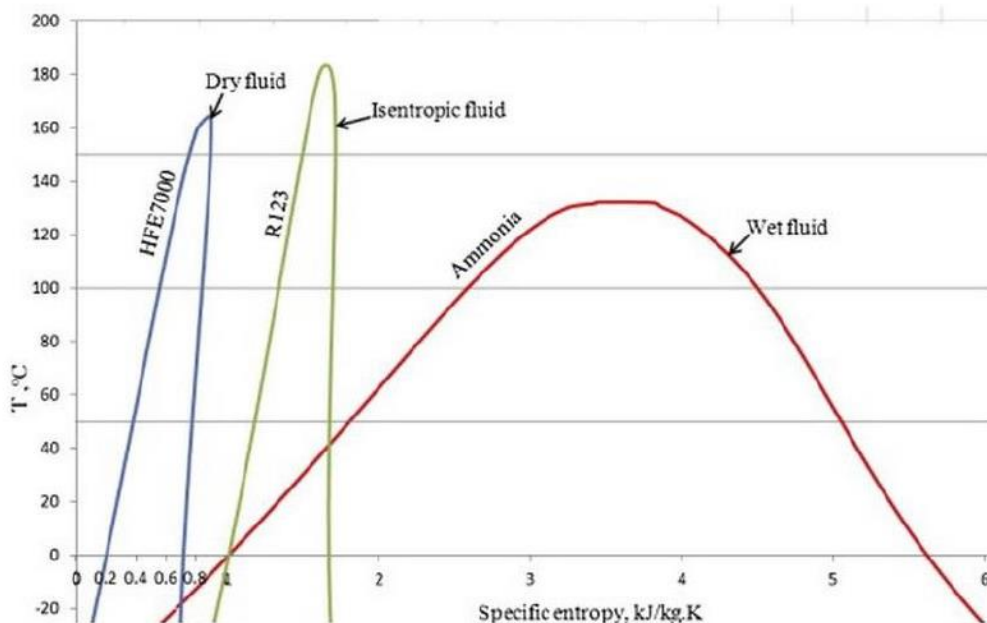
Επιπλέον, είναι προφανές ότι για σταθερή θερμοκρασία υπερθέρμανσης, σε οποιαδήποτε υπερκρίσιμη διαδικασία, η μέση θερμοκρασία πρόσδοσης θερμότητας είναι μεγαλύτερη από ότι σε μια υποκρίσιμη. Όπως είναι γνωστό αυτό οδηγεί σε κύκλους με υψηλότερο θερμοκός βαθμό απόδοσης [3].

2.1.3 Εργαζόμενα μέσα και επιλογή οργανικού μέσου

Τα οργανικά μέσα που χρησιμοποιούνται στον ORC , αποτελούν συνηθισμένα ψυκτικά υγρά με χαμηλές θερμοκρασίες βρασμού. Τέτοια μπορεί να είναι οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs), οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs) και οι υδροφθοραιθέρες (HFEs). Πολλά από αυτά έχουν απαγορευτεί βάσει των συνθηκών (πρωτόκολλο του Κιότο και πρωτόκολλο του Μόντρεαλ). Παρότι οι θερμοχωρητικές ιδιότητες τους υστερούν σε σύγκρισή με το νερό, προτιμώνται σε τέτοια συστήματα λόγω του ότι μπορούν να δουλέψουν με χαμηλότερες θερμοκρασίες και πιέσεις (τυπικός κύκλος νερού ατμού απαιτεί 100 bar και 400-600 °C στην είσοδο του αμοστρόβιλου, ενώ τα κυκλώματα ORC λειτουργούν με 20 bar και 150 °C, τυπικές τιμές). Εκτός από τις δομικές τους διαφορές, ως προς την χημική τους σύσταση, μία πρώτη και πολύ σημαντική για τις εφαρμογές ORC κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει με βάση τη μορφή της καμπύλης κορεσμένου ατμού [4] :

- i. Τα «Υγρά» ψυκτικά, τα οποία έχουν αρνητική καμπύλη κορεσμένου ατμού, τα οποία έχουν γενικά μικρή μοριακή μάζα (Νερό , $M=18$, Αμμωνία $M=17$).
- ii. Τα «Ισεντροπικά» ψυκτικά ,τα οποία έχουν σχεδόν κάθετη καμπύλη κορεσμένου ατμού ,και περιλαμβάνουν κυρίως ενώσεις με μεσαία μοριακά βάρη (R134a , $M=102$,R245fa, $M=134$).
- iii. Τα «ξηρά» ψυκτικά ,τα οποία έχουν θετική καμπύλη κορεσμένου ατμού, και είναι ενώσεις με μεγάλο μοριακό βάρος (HFE7000 $M = 200$ και HFE7100 $M = 250$).

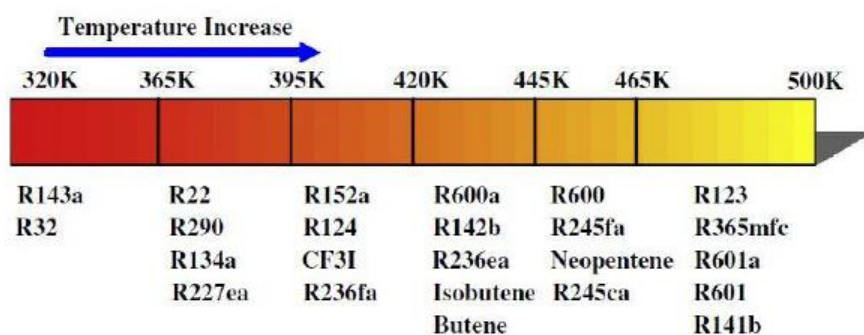
Σύγκριση των καμπυλών T-S ,μπορεί να γίνει στην **εικόνα 2.1.3**.



Εικόνα 2.1.3: Σύγκριση «υγρών», «ισεντροπικών», «ξηρών» ψυκτικών μέσων [5].

Τα «υγρά» ψυκτικά μέσα συνήθως χρειάζονται υπερθέρμανση πριν την είσοδό τους στον εκτονωτή, ενώ αντίθετα τα «ισεντροπικά» και «ξηρά» δεν έχουν ανάγκη υπερθέρμανσης. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει πιθανότητα συμπύκνωσης σταγονιδίων κατά την εκτόνωσή τους στον αμοστρόβιλο ή οποιαδήποτε άλλη μηχανή και επιπλέον δεν είναι αναγκαία η ύπαρξη υπερθερμαντήρα. Κρίνοντας από αυτό τα «ισεντροπικά» και «ξηρά» ψυκτικά μέσα είναι καλύτεροι υποψήφιοι για εφαρμογές ORC.

Η επιλογή του οργανικού μέσου για την εκάστοτε εφαρμογή αποτελεί ίσως από τις πιο σημαντικές διαδικασίες στο σχεδιασμό ενός ORC. Η μέθοδος εξέτασης (Screening Method) είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη στη βιβλιογραφία. Συνίσταται στην κατασκευή θερμοδυναμικών μοντέλων σταθερής κατάστασης ,του κύκλου ORC και τρέξιμό του με διαφορετικά οργανικά μέσα. Πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με την εν λόγω διαδικασία, κανένας όμως δεν έχει καταλήξει σε ένα οργανικό μέσο, ως το βέλτιστο για τον κύκλο ORC. Αυτό συμβαίνει διότι διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας και τύποι πηγών οδηγούν σε διαφορετικό θερμοδυναμικά βέλτιστο οργανικό μέσο .Ο Lakew *et al.* [6] έδειξε ότι το R227ea παράγει την υψηλότερη ισχύ για θερμοκρασίες στο εύρος 80-160°C ,ενώ το R245fa δίνει αντίστοιχα την υψηλότερη ισχύ για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 160 °C. Επιπλέον διαφορετικοί δείκτες λειτουργίας οδηγούν σε διαφορετικά βέλτιστα οργανικά μέσα. Ο Zhang *et al.* [7] έδειξαν ότι τα ρευστά που οδηγούν σε καλύτερους θερμικούς βαθμούς απόδοσης και εξεργειακή απόδοση είναι τα: R123, R600, R245fa, R245ca, R600a. Ψυκτικά μέσα που οδηγούν σε καλύτερη εκμετάλλευση της θερμής πηγής είναι τα R218,R125,R41. Στην **εικόνα 2.1.4** φαίνονται διάφορα ψυκτικά υγρά που θεωρούνται ως βέλτιστα σε συγκεκριμένα εύρη θερμοκρασιών πηγής. Είναι ξεκάθαρο ότι δεν μπορεί να υπάρξει ένα βέλτιστο ψυκτικό για τον κύκλο ORC αλλά αυτό εξαρτάται από την εκάστοτε εφαρμογή.



Εικόνα 2.1.4.: Θερμοδυναμικά Βέλτιστα Ψυκτικά για διάφορα επίπεδα θερμοκρασιών πηγής [7]

2.2 Περιγραφή της μονάδας marine ORC, σημείο λειτουργίας

Η πειραματική διάταξη που κατασκευάστηκε προσομοιώνει την ανάκτηση θερμότητας από το υδρόψυκτο σύστημα ψύξης και των βοηθητικών συστημάτων μιας εμβολοφόρου μηχανής εσωτερικής καύσης Diesel ενός πλοίου, με σκοπό την αύξηση της απόδοσής του.

Ο κεντρικός ψύκτης ενός πλοίου, που ψύχει τα ζεστά νερά με θαλασσινό νερό, επιφορτίζεται με έργο μεταφοράς θερμότητας της τάξεως των 13 MW στην συνήθη λειτουργία του πλοίου. Η ισχύς αυτή είναι κοντά στο 70% της συνολικά αποδιδόμενης ισχύος της κύριας μηχανής του πλοίου σε φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας. Έτσι είναι προφανές ότι η αύξηση της απόδοσης ενός πλοίου απαιτεί την εκμετάλλευση του μεγάλου όγκου ισχύος του συστήματος ψύξης.

Βασικό χαρακτηριστικό αυτής της πηγής θερμότητας αποτελεί το εξαιρετικά χαμηλό θερμοκρασιακό επίπεδο. Μια τέτοια παρατήρηση μας οδηγεί στην χρήση του Οργανικού Κύκλου Rankine για ανάκτηση θερμότητας. Μελετώντας το υδρόψυκτο σύστημα ψύξης της μηχανής ενός πλοίου, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που μπορεί να ανακτηθεί προέρχεται από τα συστήματα ψύξης του κελύφους (Jacket) της μηχανής και του αέρα εισαγωγής (Scavenge Air).

Η εγκατεστημένη πειραματική διάταξη προσομοιώνει την ανάκτηση θερμότητας από σύστημα ψύξης Jacket της μηχανής πλοίου με σταθερή θερμοκρασία εξόδου 90°C.

Οι κύριες συσκευές που απαρτίζουν την εγκατάσταση είναι:

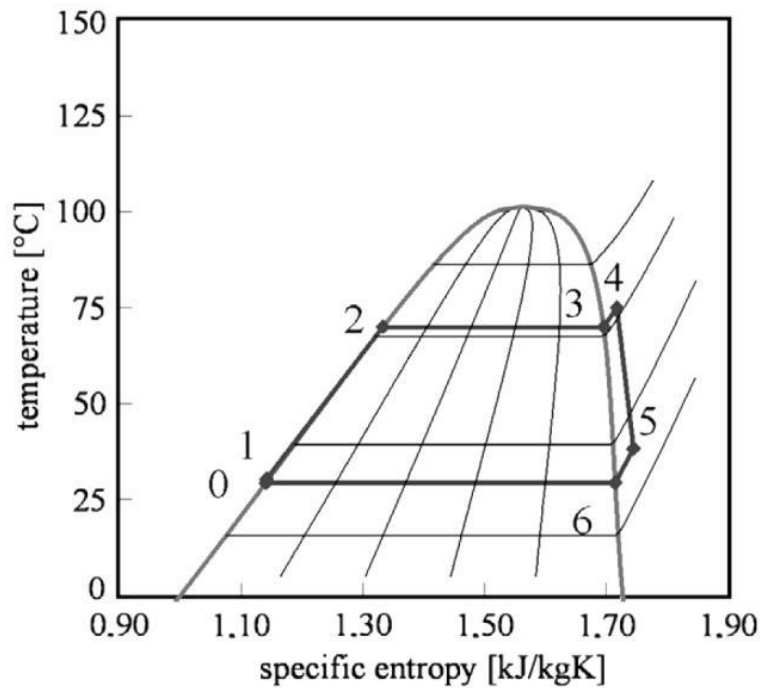
- i. Ο Εκτονωτής
- ii. Η Αντλία
- iii. Ο Ατμοποιητής
- iv. Ο Συμπυκνωτής
- v. Το τροφοδοτικό δοχείο και το φίλτρο

Το οργανικό εργαζόμενο μέσο το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για μια συγκεκριμένη εφαρμογή πρέπει να πληροί κάποια κριτήρια, τα οποία το καθιστούν ως καταλληλότερο από τα υπόλοιπα για την χρήση που μελετάται.

Τα βασικά κριτήρια είναι τα εξής:

- i. Βασικός στόχος είναι η μεγιστοποίηση της αποδιδόμενης ισχύος για την δεδομένη πηγή θερμότητας και θερμοκρασία περιβάλλοντος. Κάτι τέτοιο συνήθως συνεπάγεται και χαμηλή κατανάλωση ισχύος από την εγκατάσταση.
- ii. Για την αποφυγή προβλημάτων διάβρωσης που προκαλούνται στον εκτονωτή από τον σχηματισμό σταγονιδίων, η καμπύλη κορεσμού πρέπει να είναι είτε θετική είτε ισεντροπική. Ωστόσο, για την αποφυγή εκτεταμένης υπερθέρμανσης προτιμάται η κλίση της καμπύλης κορεσμού να μην είναι πολύ μεγάλη.
- iii. Η μεγάλη πυκνότητα του ρευστού κατά την ατμοποίηση είναι απαραίτητη καθώς αποφεύγεται ο υπερμεγέθης εξοπλισμός της εγκατάστασης (εναλλάκτες θερμότητας, συμπυκνωτής κλπ.).
- iv. Η πίεση συμπύκνωσης του εργαζόμενου μέσου, για την αποφυγή διαρροών, προτιμάται να είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής.
- v. Για υποκρίσιμους κύκλους, η κρίσιμη πίεση του ρευστού πρέπει να είναι υψηλότερη από την πίεση εξατμίσεως.
- vi. Κριτήριο αποτελεί και η βέλτιστη υψηλή πίεση του συστήματος να μην ξεπερνά κάποιες λογικές τιμές. Οι υψηλές πιέσεις στα συστήματα ORC οδηγούν και σε μεγάλο επενδυτικό κόστος και αυξημένη πολυπλοκότητα.
- vii. Σημαντική προϋπόθεση είναι και η μικρή περιβαλλοντική επιρροή καθώς και η ασφάλεια. Δηλαδή, χαμηλό δυναμικό καταστροφής του όζοντος (ODP) [8] και υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) [9]. Επίσης, πρέπει να μην είναι τοξικό, και να έχει υψηλή θερμοκρασία αυτανάφλεξης.
- viii. Τέλος το οργανικό μέσο πρέπει να είναι εύκολα διαθέσιμο και χαμηλού κόστους.

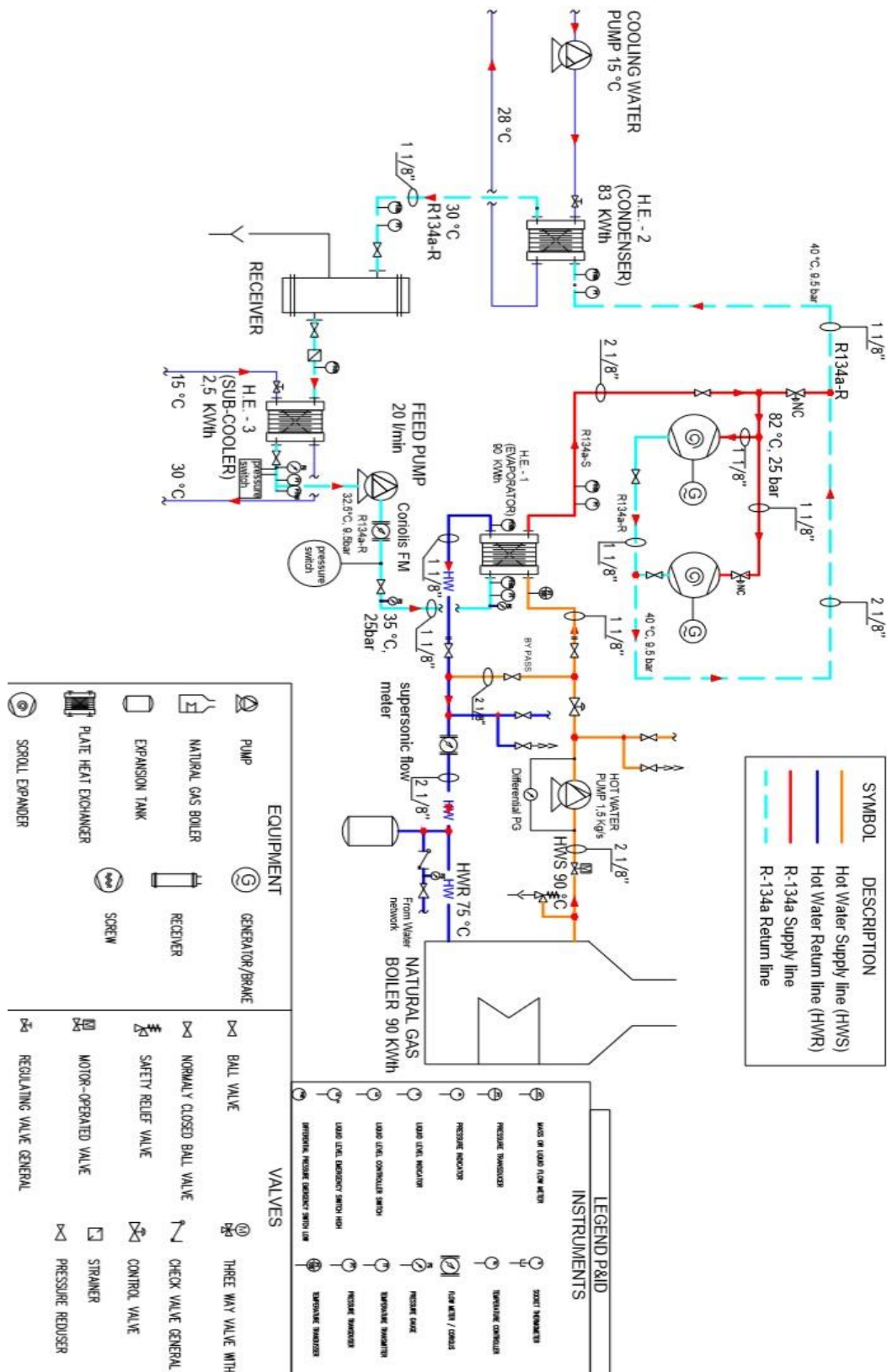
Για την πειραματική εγκατάσταση που στήθηκε στο εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων του ΕΜΠ χρησιμοποιήθηκε το οργανικό μέσο R-134a το οποίο αποδίδει καλύτερα στην απλή περίπτωση όπου επιθυμείται να γίνει ανάκτηση από τα ζεστά νερά της ψύξης του jacket της μηχανής. Επιπροσθέτως, το R-134a αποτελεί διαδεδομένο ρευστό, που έχει αντικαταστήσει το βλαβερό για το περιβάλλον R-22, ενώ είναι σχετικά οικονομική επιλογή και εύκολο να βρεθεί στην αγορά. Στην **εικόνα 2.2.1** φαίνεται το T-S διάγραμμα για το χρησιμοποιούμενου οργανικό ρευστό.



Εικόνα 2.2.1: T-S διάγραμμα για το R-134a. 0-1 συμπίεση στην αντλία τροφοδότησης, 1-2 προθέρμανση, 2-3 ατμοποίηση, 3-4 υπερθέρμανση, 4-5 εκτόνωση, 5-6 μείωση υπερθέρμανσης, 6-0 συμπύκνωση

2.3 Περιγραφή των κυκλωμάτων και των σωληνώσεων της πειραματικής εγκατάστασης ORC marine

Στο παρακάτω κατακόρυφο διάγραμμα, *Εικόνα 2.3.1* απεικονίζεται η συνολική εγκατάσταση.



Εικόνα 2.3.1: Κατακόρυφο διάγραμμα εγκατάστασης ORC

Ουσιαστικά αποτελείται από τρία διαφορετικά κυκλώματα που επενεργούν μεταξύ τους μέσω των εναλλακτών θερμότητας.

Μπορούμε να ορίσουμε ως εξής τα κυκλώματα:

1. Πρωτεύον κύκλωμα – το κλειστό κύκλωμα νερού από τον λέβητα μέχρι τον evaporator και την επιστροφή αυτού.

Σαν πηγή θερμότητας χρησιμοποιείται ένας λέβητας φυσικού αερίου. Ο λέβητας θερμαίνει ελαφρώς συμπιεσμένο νερό μέχρι τους 90 °C, το οποίο στην συνέχεια εισέρχεται στον ατμοποιητή, μεταφέροντας την χαμηλής θερμοκρασίας θερμική ενέργεια στο οργανικό ρευστό. Τα βασικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού του κυκλώματος θέρμανσης είναι τα εξής:

Θερμοκρασία εισόδου/ εξόδου: 90/75 °C.

Παροχή νερού: 1.5 kg/s.

Θερμοχωρητικότητα ατμοποιητή (απαιτήσεις σε θερμική ενέργεια του λέβητα φυσικού αερίου): 90kWth.

Ο λέβητας φυσικού αερίου που εγκαταστάθηκε είναι τύπου E-7 93 kW της Europa με καυστήρα Joannes type jm-12, ενώ χρησιμοποιήθηκε κυκλοφορητής Wilo stratos τύπου 30/1-12 για την κυκλοφορία του ζεστού νερού. Για τον έλεγχο της παροχής του ζεστού νερού θέρμανσης χρησιμοποιήθηκε αναλογική ηλεκτρική δίοδη βαλβίδα BELIMO τύπου R2..-LR/SR/NR-24-SR, για σωλήνα Φ54, με τροφοδότηση 24 VAC ή DC.

2. Δευτερεύον κύκλωμα – το κλειστό κύκλωμα οργανικού μέσου – νερού

Η μονάδα ORC αποτελείται από τα εξής στοιχεία:

- Μία αντλία τροφοδότησης με χαρακτηριστικά σχεδίασης: Παροχή ORC: 20l/min. Πίεση εισόδου/ εξόδου: 9.5/24bar. Κατανάλωση ενέργειας: 1kW. Τύπου: Hydra Cell D/G-10-X.
- Ένας πλακοειδής ατμοποιητής με χαρακτηριστικά σχεδίασης: Θερμοχωρητικότητα: 90 kWth. Συνολική επιφάνεια συναλλαγής: 12 m², 90 πλάκες. Διαστάσεων: 0.52x0.26 m. Όριο πίεσης: 30 bar. Τύπος: Alfa Laval τύπου CB60-90H-F.
- Δύο ελικοειδής εκτονωτές με τα παρακάτω σχεδιαστικά χαρακτηριστικά: Όγκος σάρωσης: 120 cm³/rev. Λόγος πιέσεων: 2.6. Αναμενόμενη παραγωγή ισχύος σε πλήρες φορτίο (90 kWth): 6kW. Τύπος: Sanden TRSA12.
- Δύο ασύγχρονες γεννήτριες τα παρακάτω χαρακτηριστικά: Ισχύς: 5.5kWe Απόδοση στο πλήρες φορτίο: 88.253 %. Συντελεστής ισχύος στο πλήρες φορτίο: 0.878. Περιστροφική ταχύτητα στο πλήρες φορτίο: 1454 r.p.m.
- Ένας πλακοειδής εναλλάκτης, συμπυκνωτής, θερμοχωρητικότητας 83 kWth, Alfa Laval τύπου CB60-60H-F, με συνολική επιφάνεια συναλλαγής 13 m², 60 πλάκες, διαστάσεων 0.52x0.26 m, και όριο πίεσης 30 bar.
- Ένα δοχείο αποθήκευσης (accumulator) receiver όγκου 50 lt και μέγιστης πίεσης 66 bar.
- Ανιχνευτές υποπίεσης (<=3 bar) και υπερπίεσης (>=15bar) στο κύκλωμα χαμηλής πίεσης του ORC και ανιχνευτές υπερπίεσης (>=25bar) στο κύκλωμα υψηλής πίεσης για προστασία της αντλίας τροφοδότησης.

- Φίλτρο για το οργανικό ρευστό R-134a για προστασία της αντλίας τροφοδότησης.

3. Τριτεύον κύκλωμα – το κλειστό κύκλωμα ψύξης των εναλλακτών.

Στο κύκλωμα ψύξης κυκλοφορεί κρύο νερό που απορροφά την θερμότητα συμπύκνωσης του οργανικού ρευστού. Το κύκλωμα ψύξης σχεδιάστηκε εξωτερικά της εγκατάστασης και αποτελείται από σωλήνες που φέρουν το νερό ψύξης. Τα βασικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού του κυκλώματος ψύξης είναι τα εξής:

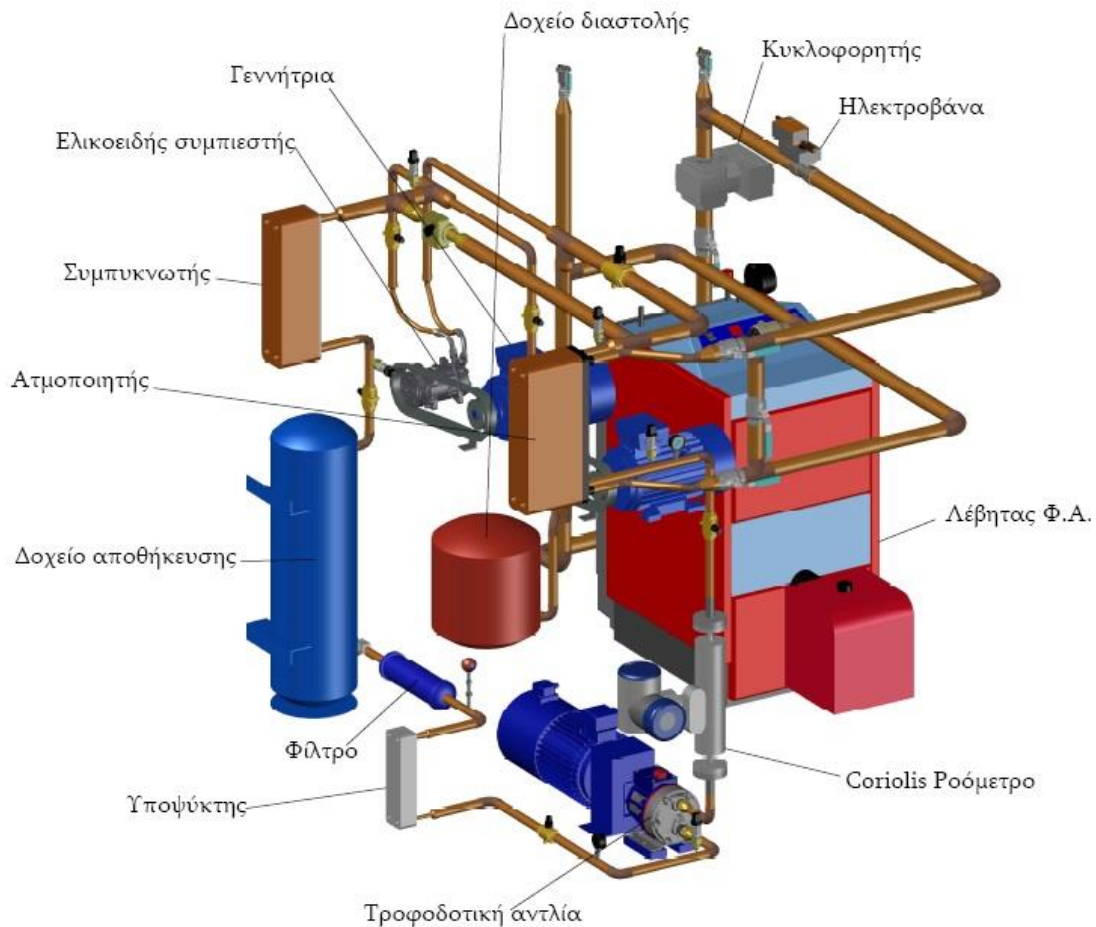
Θερμοκρασία εισόδου/ εξόδου: 15/28 °C.

Παροχή νερού: 1.5 kg/s.

2.4 Περιγραφή εξοπλισμού

Τα κυκλώματα λειτουργούν σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης. Το πρωτεύον λειτουργεί σε πίεση από 1,5 έως 3 bar, το δευτερεύον έως 25bar και το τριτεύον έως 3 bar. Συνεπώς τα εξαρτήματα επιλέχθηκαν με βάση την αντοχή τους στην πίεση όπως επίσης και οι χαλκοσωλήνες.

Με βάση τα προαναφερθέντα 3 κυκλώματα παρακάτω έχει γίνει η περιγραφή του συνολικού εξοπλισμού που φαίνεται και στο τρισδιάστατο σχέδιο της εικόνας 2.4.1



Εικόνα 2.4.1: Τρισδιάστατο σχέδιο εξοπλισμού

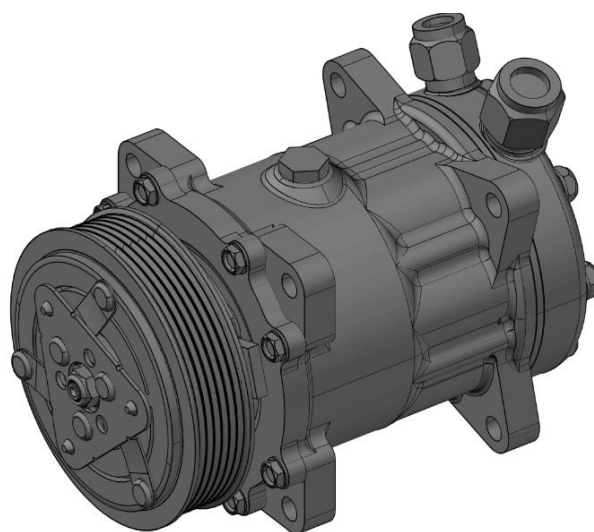
Οι σωληνώσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην εγκατάσταση είναι από χαλκό.

Το πρωτεύον δίκτυο φτιάχτηκε από χαλκό με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1057 με μέγιστη πίεση λειτουργίας τα 27 bar και οι ενώσεις πραγματοποιήθηκαν με κόλληση χαλκού.

Για το δευτερεύον κύκλωμα τοποθετήθηκε χαλκός με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 1057 με μέγιστη πίεση λειτουργίας τα 40 bar και οι ενώσεις πραγματοποιήθηκαν με σκληρή κόλληση χαλκού.

2.4.1 Ελικοειδής Εκτονωτής

Οι δύο κύριες συσκευές για την παραγωγή έργου από ένα κύκλο Rankine είναι ο στρόβιλος ή ο εκτονωτής θετικής εκτόπισης. Οι στρόβιλοι είναι μια εφαρμοσμένη τεχνολογία, αρκεί η εκτόνωση να λαμβάνει χώρα πλήρως μέσα στην υπέρθερμη περιοχή. Η εκτόνωση μέσα στη διασπαστική περιοχή είναι μη επιθυμητή γιατί τα σταγονίδια νερού τείνουν να διαβρώσουν τα περύγια του στρόβιλου. Από τους εκτονωτές θετικής εκτόπισης, οι πιο διαδεδομένοι είναι ο ελικοειδής εκτονωτής (scroll), ο κοχλιωτός εκτονωτής (screw) και ο εμβολοφόρος εκτονωτής. Όλοι οι τύποι εκτονωτών θετικής μετατόπισης είναι κατάλληλοι για εφαρμογές σε οργανικούς κύκλους Rankine. Είναι μικροί σε διαστάσεις, απλοί στην λειτουργία τους, χωρίς πολλά κινητά μέρη, εύκολοι στην συντήρηση και μπορούν να λειτουργήσουν σε μεγάλα εύρη θερμοκρασίας και πίεσης. Η επιλογή εξαρτάται από το τι ζητάμε σε κάθε εγκατάσταση και πώς μπορούμε να το υλοποιήσουμε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο ως προς τον οικονομικό και ενεργειακό τομέα. Στην εγκατάσταση που υλοποιήθηκε στο εργαστήριο χρησιμοποιήθηκαν ελικοειδείς εκτονωτές.

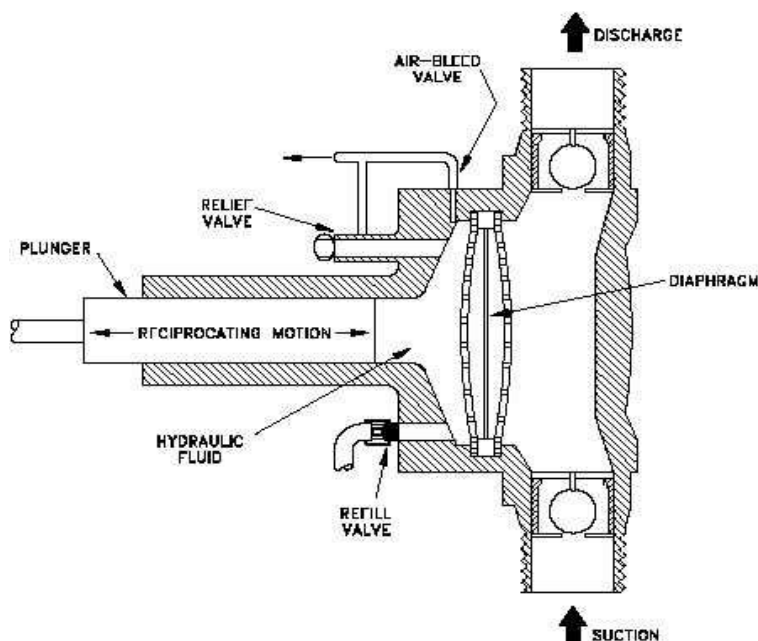


Εικόνα 2.4.2: Σπειροειδής συμπιεστής.

2.4.2 Αντλία

Για την κυκλοφορία του R-134a χρησιμοποιήθηκε αντλία τύπου υδραυλικού διαφράγματος. Το έμβολο μεταδίδει την ισχύ στο ρευστό μέσω μια ελαστικής μεμβράνης (υδραυλικό διάφραγμα), έτσι δεν υπάρχει επαφή μεταξύ του ρευστού και του εμβόλου, γεγονός που επιτρέπει την χρήση λιπαντικού. Οι βαλβίδες ελέγχου αποτελούνται από σφαιρίδια INOX για την απομόνωση του υγρού κατά την εισαγωγή και την συμπίεση (**Εικόνα 2.4.3**). Αυτού του είδους οι αντλίες είναι σχεδιασμένες ώστε να εξασφαλίζουν ακρίβεια και χρησιμοποιούνται

συχνά σε συνεχούς λειτουργίας εφαρμογές στην περιοχή της διαχείρισης ύδατος και πετροχημικής μηχανικής.



Εικόνα 2.4.3: Σχηματικό διάγραμμα αντλίας κυκλοφορίας οργανικού ρευστού.

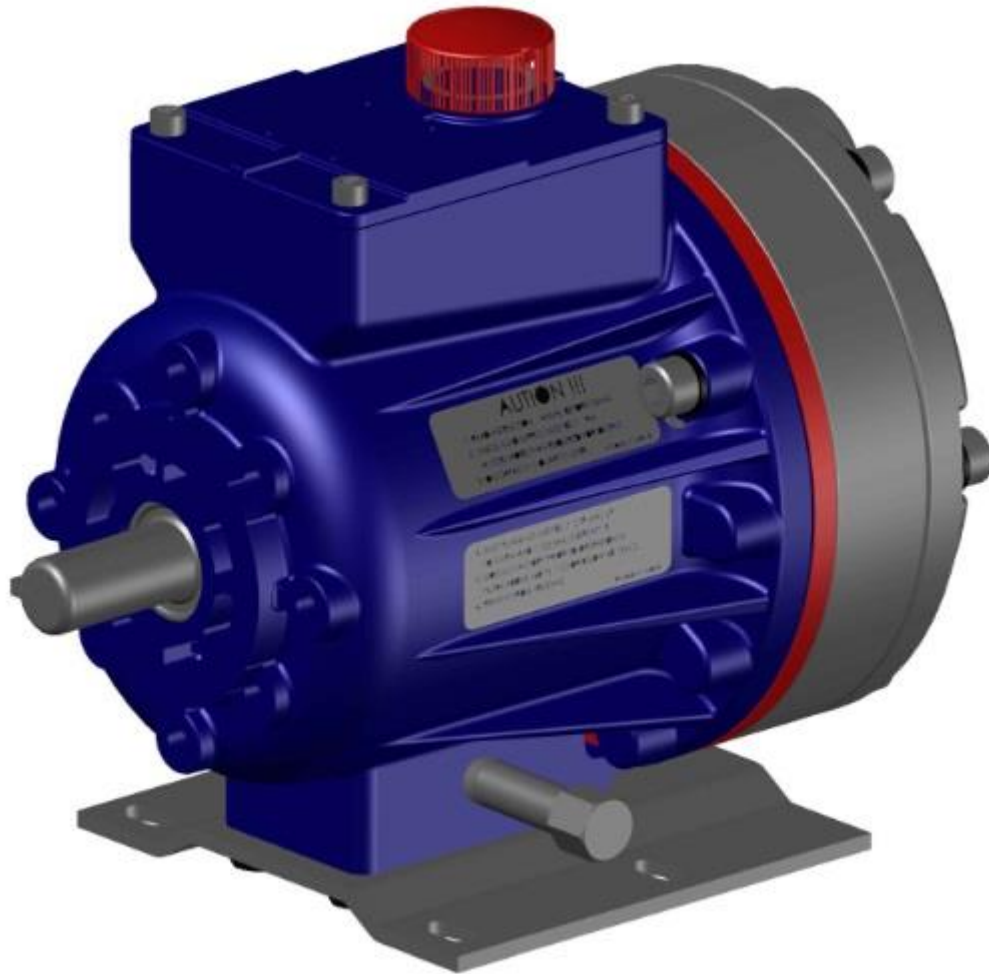
Έτσι, η αντλία σε ένα σύστημα ORC αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εξάρτημα για το οποίο πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία ως προς την επιλογή και την διαστασιολόγισή του. Δηλαδή πρέπει να συμφωνεί με τις απαιτήσεις του κύκλου σχετικά με την ελεγχιμότητα, την αποδοτικότητα, την στεγανότητα και το απαιτούμενο ύψος αναρρόφησης (NPSH) που πρέπει να έχει.

Στον **πίνακα 2.4.1** φαίνονται τα χαρακτηριστικά της αντλίας που χρησιμοποιήθηκε στην εγκατάσταση.

<i>Τύπος</i>	Hydra Cell D/G-10-X
<i>Ονομαστική παροχή λειτουργίας</i>	20lt/min
<i>Μέγιστη παροχή</i>	29lt/min στα 50Hz
<i>Πίεση εισόδου/εξόδου (ονομαστική λειτουργία)</i>	9.5/25bar
<i>Μέγιστη πίεση εισόδου</i>	250psi (17.3 bar)
<i>Κινητήρας</i>	1kW,1450rpm (στα 50Hz)
<i>Διάμετρος άξονα</i>	7/8"
<i>Περιστροφή άξονα</i>	Διπλής κατεύθυνσης

Πίνακας 2.4.1: Χαρακτηριστικά αντλίας κυκλοφορίας οργανικού ρευστού.

Παρακάτω ακολουθεί η **εικόνα 2.4.4** στην οποία φαίνεται η αντλία σε τρισδιάστατη σχεδίαση.



Εικόνα 2.4.4: Εγκατεστημένη αντλία στην εργαστηριακή διάταξη

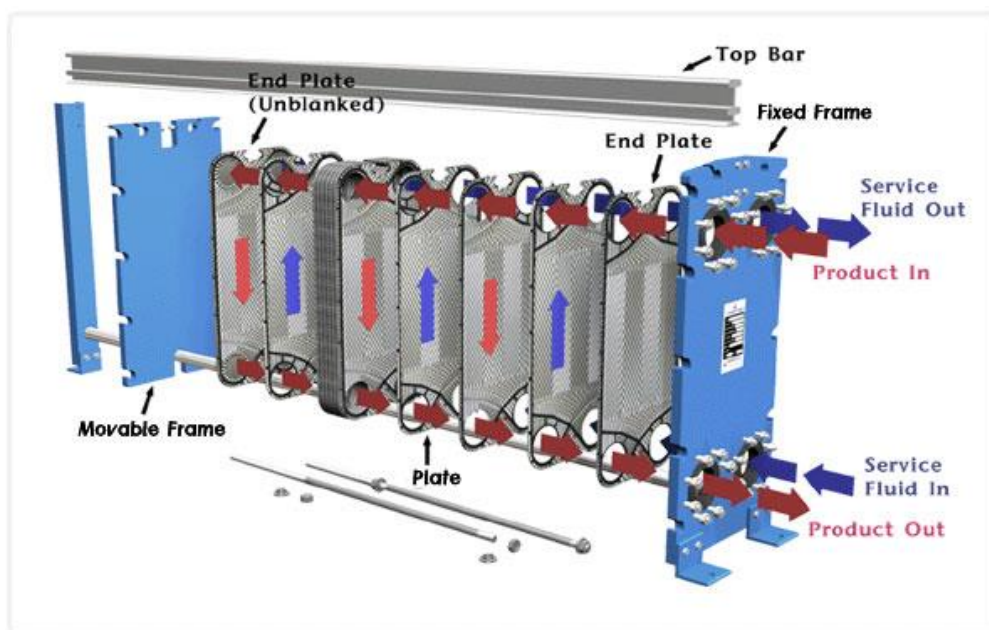
2.4.3 Ατμοποιητής

Δυο από τα κύρια εξαρτήματα του κυκλώματος ORC που εξετάζονται είναι ο ατμοποιητής και ο συμπυκνωτής, οι οποίοι υλοποιούνται μέσω εναλλακτών θερμότητας. Γενικότερα, ένας εναλλάκτης θερμότητας είναι μια συσκευή η οποία διαρρέεται από δύο ρευστά διαφορετικής θερμοκρασίας και διευκολύνει τη μεταφορά θερμότητας από το θερμότερο ρευστό προς το ψυχρότερο [10]. Η μεταφορά θερμότητας στους εναλλάκτες πραγματοποιείται μέσω της διαχωριστικής επιφάνειας: ανάμεσα στη διαχωριστική επιφάνεια και τα ρευστά έχουμε μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής και δια μέσου της διαχωριστικής επιφάνειας η μεταφορά θερμότητας γίνεται με αγωγή.

Πιο συγκεκριμένα, ένας πλακοειδής εναλλάκτης (plate heat exchanger) συνίσταται σε ένα σύνολο από πλάκες με ραβδώσεις -για καλύτερη μεταφορά θερμότητας- που είναι συνενωμένες, καθεμία εκ των οποίων διαθέτει τέσσερα στόμια για την επικοινωνία μεταξύ των πλακών, τα οποία είναι στεγανωμένα με φλάντζες ώστε να εξασφαλίζεται η κυκλοφορία των ρευστών ανάμεσα στις πλάκες κατά τον τρόπο που προβλέπεται να λειτουργεί ο εκάστοτε εναλλάκτης [11]. Η περιφέρεια των πλακών στεγανώνεται είτε με φλάντζες είτε με συγκόλληση, με αποτέλεσμα οι συγκεκριμένοι εναλλάκτες να λειτουργούν σε μικρότερες πιέσεις από τους εναλλάκτες κελύφους-αυλών (shell and tube heat exchanger). Το μεγάλο πλεονέκτημα των πλακοειδών εναλλακτών είναι ότι έχουν αισθητά μεγαλύτερο συντελεστή μεταφοράς θερμότητας από τους εναλλάκτες κελύφους-αυλών, με αποτέλεσμα να απαιτούν πολύ μικρότερο χώρο για να επιτύχουν την ίδια μεταφορά θερμότητας με τους ογκώδεις

εναλλάκτες κελύφους-αυλών. Και για αυτόν τον λόγο έχουν επιλεγθεί αυτού του είδους οι εναλλάκτες στην υφιστάμενη εγκατάσταση.

Ο ατμοποιητής που έχει χρησιμοποιηθεί είναι το μοντέλο **CB60-90 H-F** της εταιρείας Alfa Laval. Τα χαρακτηριστικά του ατμοποιητή, καθώς και η παρουσίασή του εντός της εγκατάστασης ακολουθούν παρακάτω:



Εικόνα 2.4.5: Σχηματική αναπαράσταση πλακοειδούς εναλλάκτη

Τύπος	Alfa Laval CB60-90 H-F
Θερμική Ισχύς	90 kw _{th}
Επιφάνεια συναλλαγής	5,358 m ² - 90 πλάκες
Διαστάσεις πλακών	0,466 x 0,05 (L _v x L _h)
Όριο πίεσης	30 bar

Πίνακας 2.4.1: Χαρακτηριστικά ατμοποιητή της εγκατάστασης



Εικόνα 2.4.6: Ατμοποιητής στο κύκλωμα ORC της εγκατάστασης

2.4.4 Συμπυκνωτής

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα ο συμπυκνωτής αποτελεί ένα από τα κύρια εξαρτήματα της εγκατάστασης. Ειδικότερα, ο συμπυκνωτής είναι ένας πλακοειδής εναλλάκτης, όπως και στην περίπτωση του ατμοποιητή με τα εξής χαρακτηριστικά:

Τύπος	Alfa Laval CB60-60 H-F
Θερμική Ισχύς	83 kw_{th}
Επιφάνεια συναλλαγής	3,571 m² - 60 πλάκες
Διαστάσεις πλακών	0,466 x 0,05 (Lv x Lh)
Όριο πίεσης	30 bar

Πίνακας 2.4.2: Χαρακτηριστικά συμπυκνωτή της εγκατάστασης



Εικόνα 2.4.7: Συμπυκνωτής στο κύκλωμα ORC της εγκατάστασης

2.4.5 Τροφοδοτικό δοχείο και φίλτρο

Σύμφωνα με τον ορισμό που δίνει η τελευταία έκδοση της ASHRAE [12], ως τροφοδοτικό δοχείο (refrigerant liquid receiver) ορίζεται ένα δοχείο ενός συστήματος ψύξης το οποίο έχει σχεδιαστεί για να εξασφαλίζει την διαρκή διαθεσιμότητα επαρκούς υγρής ποσότητας οργανικού μέσου για την ορθή λειτουργία του συστήματος, καθώς και για την αποθήκευση του οργανικού όταν το σύστημα είναι εκτός λειτουργίας.

Εν γένει, το τροφοδοτικό δοχείο είναι ένα δοχείο αποθήκευσης του οργανικού μέσου, μέσα στο οποίο δεν υπάρχει κυκλοφορία του μέσου και η χρησιμότητά του έγκειται στο γεγονός ότι εντός αυτού διαχωρίζεται φυσικά το αέριο τμήμα, που ενδεχομένως υπάρχει στο ρεύμα στην είσοδο στο δοχείο, από το υγρό και έτσι το ρεύμα που παραλαμβάνεται από την έξοδο του τροφοδοτικού είναι κορεσμένο υγρό. Όπως έχει ήδη αναφερθεί το τροφοδοτικό δοχείο χρησιμεύει σαν αποθηκευτικός χώρος για το οργανικό μέσο σε περιόδους που το σύστημα βρίσκεται εκτός λειτουργίας αλλά και σε περιπτώσεις συντήρησης του συστήματος [13]. Για τον λόγο αυτό, το τροφοδοτικό δοχείο θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο σε διαστάσεις ώστε να μπορεί να αποθηκεύσει το σύνολο της ποσότητας του οργανικού μέσου που διακινείται στην εγκατάσταση.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το τροφοδοτικό δοχείο πρέπει να είναι οπωσδήποτε σε πιο χαμηλή θέση από τον συμπυκνωτή στο σύστημα ώστε να είναι εφικτή η φυσική κυκλοφορία του οργανικού μέσου από τον συμπυκνωτή προς το δοχείο [14]. Επίσης υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες τροφοδοτικών δοχείων ανάλογα με τον άξονα τοποθέτησής τους: τα οριζόντια και τα κατακόρυφα.

Στην παρούσα εγκατάσταση λόγω του ότι η καθ' ύψος επέκταση του συστήματος είναι πιο εύκολη από την κατά μήκος λόγω ανάγκης οικονομίας της επιφάνειας του δαπέδου που καταλαμβάνει η εγκατάσταση επιλέχθηκε κατακόρυφο τροφοδοτικό δοχείο. Ως ζητούμενη χωρητικότητα περιλαμβάνοντας και ένα συντελεστή ασφάλειας, για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω, επιλέχθηκαν τα 50L με όριο πίεσης τα 66 bar.

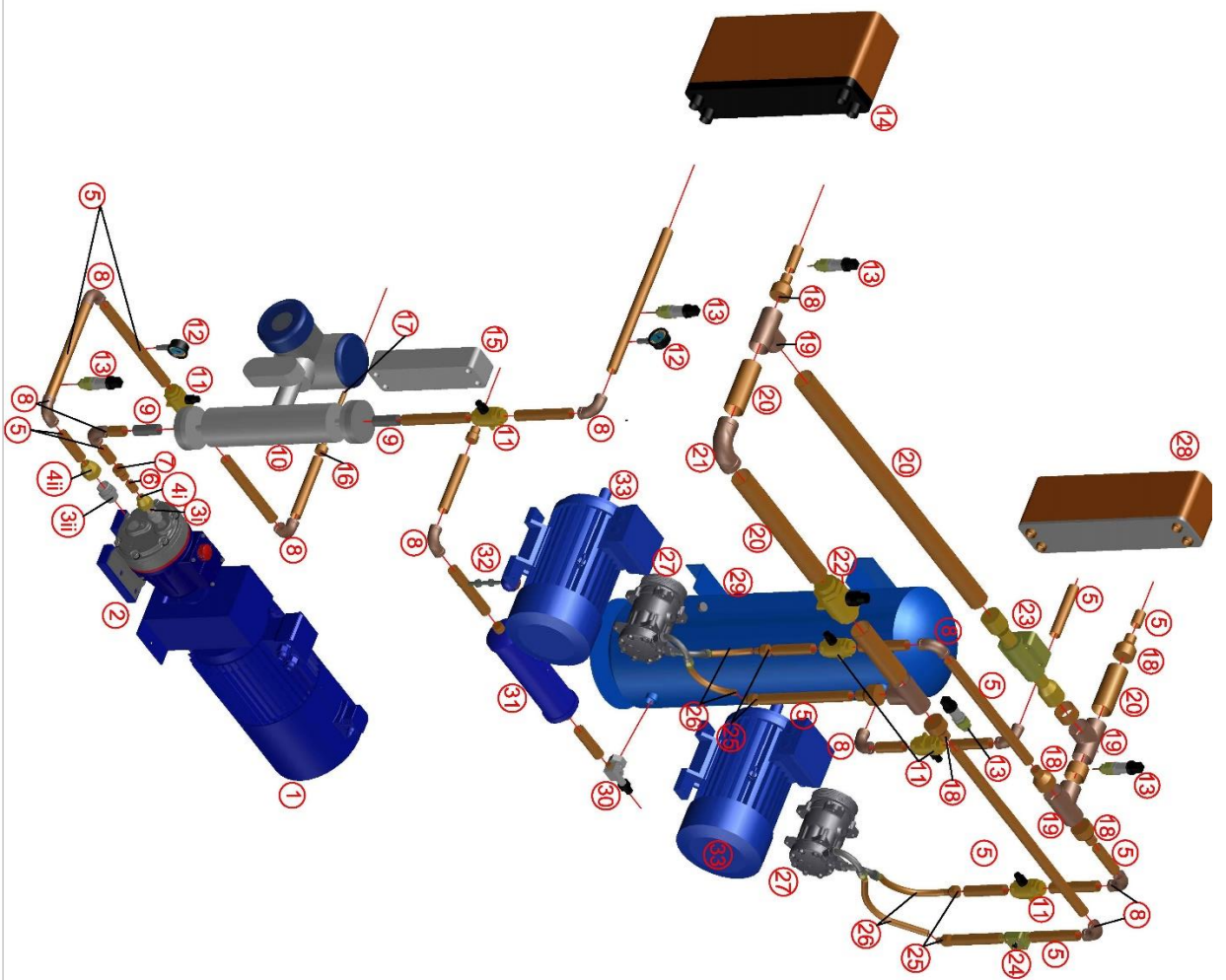


Εικόνα 2.4.8: Τροφοδοτικό δοχείο στο κύκλωμα ORC της εγκατάστασης.

Ένα ακόμη στοιχείο απαραίτητο για την προστασία της αντλίας και εν γένει της εγκατάστασης είναι η χρήση φίλτρου για να παρακρατεί ουσίες που ενδεχομένως να βλάψουν τη λειτουργία κάποιου από τα στοιχεία της εγκατάστασης, κυρίως από ενδεχόμενη υγρασία που μπορεί να έχει παραμείνει εντός του συστήματος κατά την εγκατάσταση των επιμέρους στοιχείων και έχει σαν αποτέλεσμα το οργανικό μέσο να είναι έντονα διαβρωτικό, προκαλώντας σοβαρές φθορές στο σύστημα. Στην εκλογή του εν λόγω στοιχείου βασικό στοιχείο είναι αν οι συνθήκες λειτουργίας όσο και το ίδιο το οργανικό μέσο που θα χρησιμοποιηθεί είναι εντός του πεδίου λειτουργίας του ζητούμενου φίλτρου. Δεδομένου ότι το φίλτρο τοποθετείται μεταξύ του τροφοδοτικού δοχείου και της αντλίας, και δεχόμενοι ότι στις ιδανικές συνθήκες η είσοδος και η έξοδος του δοχείου έχουν τις ίδιες συνθήκες, θα ισχύει ότι και στο φίλτρο θα επικρατούν οι ίδιες συνθήκες που επικρατούσαν και στο τροφοδοτικό δοχείο.

2.4.6 Εξαρτήματα

Στο παρακάτω σχέδιο, *εικόνα 2.4.9*, μπορεί να δει κανείς όλα τα εξαρτήματα καθώς και τον εξοπλισμό του κυκλώματος ORC.



LEGEND / ΥΠΟΜΝΗΜΑ		
1	PUMP MOTOR	ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΑΝΤΛΙΑΣ
2	Wanner Hydra Cell G-10	ΑΝΤΛΙΑ
3i	Hexagonal nipple 3/8"	Εξάγωνος μαστός 3/8"
3ii	Hexagonal nipple 1"	Εξάγωνος μαστός 1"
4i	Flare union 3/8"x3/8"	Flare πακόρ 3/8"x3/8"
4ii	Flare union 1"x1 1/8"	Flare πακόρ 1"x1 1/8"
5	Copper pipe 1 1/8"	Χαλκοσωλήνα 1 1/8"
6	Copper pipe 7/8"	Χαλκοσωλήνα 7/8"
7	Copper reducer 7/8"x1 1/8"	Συστολή χαλκού 7/8"x1 1/8"
8	Copper elbow 90° 1 1/8"	Γωνιά χαλκού 90° 1 1/8"
9	Imnox joint 1 1/8"	Μεστός Imnox κολλητός 1 1/8"
10	Coriolis flow meter	Ροόμετρο Coriolis
11	Manual Valve 1 1/8"	Χειροκίνητη βάννα 1 1/8"
12	Pressure Gauge	Μεγόμετρο
13	Pressure Transmitter	Αποθήτηρος πίεσης
14	Evaporator heat exchanger	Απμοποιητής εναλλάκτης θερμ.
15	Sub cooler AC30QC30H	Υποψυκτής
16	Copper reducer 1/2"x1 1/8"	Συστολή χαλκού 1/2"x1 1/8"
17	Copper pipe 1/2"	Χαλκοσωλήνα 1/2"
18	Copper reducer 7/8"x1 1/8"	Συστολή χαλκού 7/8"x1 1/8"
19	Copper tee 2 1/8"	Τού χαλκού 2 1/8"
20	Copper pipe 2 1/8"	Χαλκοσωλήνα 2 1/8"
21	Copper elbow 90° 2 1/8"	Γωνιά χαλκού 90° 2 1/8"
22	Manual valve 2 1/8"	Χειροκίνητη βάννα 2 1/8"
23	NC electromagnetic valve	Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα 1 3/8"
24	Electromagnetic valve 1 3/8"	Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα 1 3/8"
25	Copper reducer 1 1/8"x3/8"	Συστολή χαλκού 1 1/8"x3/8"
26	Copper pipe 3/8"	Χαλκοσωλήνα 3/8"
27	Scroll expander	ΕΛΚΟΕΙΔΗΣ ΕΚΤΡΩΝΩΤΗΣ
28	Condenser CB80-50H-F	Συμπυκνωτής Εναλλάκτης Θερμ.
29	Universal liquid receiver	Δοχείο αποθήκευσης
30	Receiver manual valve	Χειροκίνητη βάννα δοχείου αποθ.
31	Filter	Φίλτρο
32	Temperature transducer	Αποθήτηρος θερμοκρασίας
33	Generator	Γεννήτρια

Εικόνα 2.4.9: Τρισδιάστατο σχέδιο σωληνώσεων και εξαρτημάτων

3. Σχεδιασμός – μεθοδολογία σχεδιασμού

Η χρήση Η/Υ για τη δημιουργία σχεδίων αποτελεί σήμερα την πλέον διαδεδομένη τεχνική. Επομένως, η γνωριμία με τις δυνατότητες και τις βασικές λειτουργίες τέτοιων προγραμμάτων λογισμικού αποτελεί ένα σημαντικό πρώτο βήμα για τους σπουδαστές. Ωστόσο, με δεδομένο τις περιορισμένες ώρες που διατίθενται για την παρουσίαση των βασικών εννοιών και τους προγράμματος Autocad, είναι προφανές ότι οι σημειώσεις αποτελούν μόνο ένα έναυσμα για περαιτέρω προσπάθεια από την πλευρά των σπουδαστών. Επιχειρείται να παρουσιαστεί το περιβάλλον λειτουργίας του προγράμματος και οι κυριότερες λειτουργίες του για σχεδίαση σε δύο διαστάσεις, μέσα σε ένα πλαίσιο απαντήσεων σε επιλεγμένα ερωτήματα, καθώς και συμβουλών για το χρήστη, οι οποίες οδηγούν τελικά στην παρακολούθηση των βημάτων εργασίας σχεδιασμού. Μια από τις πλέον χαρακτηριστικές και χρήσιμες εφαρμογές των Η/Υ είναι η σχεδίαση με τη βοήθεια Η/Υ ή CAD, από τα αρχικά των λέξεων Computer Aided Design.

Τα συστήματα CAD βασίζονται στη δυνατότητα δημιουργίας και επεξεργασίας γραφικών στην οθόνη ενός Η/Υ. Η λέξη «σχεδίαση» στην περίπτωση αυτή έχει την έννοια της συνολικής σύλληψης, μελέτης και σχεδίασης ενός αντικειμένου ή θέματος. Δηλαδή, τα συστήματα CAD στην έννοια της σχεδίασης εμπεριέχουν την έννοια του γενικότερου σχεδιασμού και όχι μόνο τη γεωμετρική σχεδίαση σε αντικατάσταση της παραδοσιακής δημιουργίας σχεδίων με τρίγωνα, κανόνες, διαβήτες κ.λπ. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα των συστημάτων CAD είναι:

- Παρέχουν τη δυνατότητα άμεσης και ουσιαστικής τροποποίησης
- Παρέχουν ευχέρεια για ποικιλία στη σύνθεση κάποιων σχεδίων
- Δίνουν απεριόριστη δυνατότητα σε αλλαγές κλιμάκων σχεδίασης
- Προσφέρουν ικανοποιητική ταχύτητα σχεδίασης και υψηλή ακρίβεια απεικόνισης
- Επιτρέπουν την σχεδίαση σε τρεις διαστάσεις
- Παρέχουν μεγάλες δυνατότητες οπτικοποίησης αλλά και αναπαραγωγής (εκτύπωσης)

Ειδικότερα, το πρόγραμμα Autocad, είναι ευρύτατα διαδεδομένο για σχεδίαση σε δύο ή σε τρεις διαστάσεις και κατασκευή σχημάτων στο χώρο. Λόγω της δυνατότητάς του να προγραμματίζεται και να επικοινωνεί με άλλα προγράμματα, χρησιμοποιείται και ως σχεδιαστικό περιβάλλον για την ανάπτυξη εξειδικευμένων εφαρμογών.

Ο σχεδιασμός της συγκεκριμένης κατασκευής ξεκίνησε με την αποτύπωση σε κατακόρυφο διάγραμμα, τοποθετώντας τον εξοπλισμό, τις σωληνώσεις με τις διατομές τους τα διάφορα εξαρτήματα και αποτέλεσε τον οδηγό για την κατανόηση και την μελέτη της.

Στη συνέχεια έγινε η αποτύπωση της μεταλλικής βάσης πάνω στην οποία στηρίζεται ο εξοπλισμός, σε τρισδιάστατο σχέδιο, μαζί με τα εξαρτήματα και τον εξοπλισμό. Τα τρισδιάστατα σχέδια σε κάποια εξαρτήματα υπήρχαν και στο διαδίκτυο, ενώ κάποια άλλα μετρήθηκαν επιτόπου και δημιουργήθηκαν από την αρχή.

Δημιουργήθηκε ένα σχέδιο AutoCAD (Assembly ORC) πάνω στο οποίο τοποθετήθηκαν όλα τα εξαρτήματα, ο εξοπλισμός και η βάση σαν εξωτερικές αναφορές (X-ref) έτσι ώστε να αποτελούν οδηγό για την τοποθέτηση των σωληνώσεων χωρίς να επηρεάζονται από επεμβάσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε αλλοίωση του σχεδίου.

Το επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία αξονομετρικού διαγράμματος με τα μέτρα των σωληνώσεων αλλά και την ακριβή τοποθέτηση των εξαρτημάτων (βανών κλπ.). Έπειτα δημιουργήθηκαν οι σωληνώσεις με τις αντίστοιχες διατομές οι οποίες τοποθετήθηκαν στην τελική τους μορφή.

Το σχέδιο επειδή είναι μεγάλο σε μέγεθος σε μορφή DWG συνίσταται να μετατραπεί σε 3DDWF μέσω της εντολής EXPORT και SAVE AS. Σε αυτή την μορφή μπορεί να ανοιχτεί από το πρόγραμμα Navis works Freedom της Autodesk, μόνο για ανάγνωση και για μέτρηση χωρίς να μπορούν να επηρεαστούν τα επιμέρους στοιχεία του. Είναι δωρεάν και εύκολο στην εγκατάσταση και μπορεί να το βρει κανείς στην κεντρική ιστοσελίδα της Autodesk.

<http://www.autodesk.com/products/navisworks/autodesk-navisworks-freedom>

4. Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική εργασία

Συνοψίζοντας, αξίζει να τονίσουμε πως για τον σχεδιασμό της εγκατάστασης σε τρισδιάστατο σχέδιο θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλές μεταβλητές προκειμένου να αλλάξει ασφαλώς η χωροθέτηση των επιμέρους εξαρτημάτων και του εξοπλισμού λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που τίθενται από τους κατασκευαστές.

Το δυσκολότερο δίκτυο προς έλεγχο και μελέτη είναι εκείνο του οργανικού μέσου διότι οι συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας, διασπαστικές περιοχές, ροής του ρευστού και τα χαρακτηριστικά της αντλίας (NPSH) θέτουν σοβαρούς περιορισμούς.

Περαιτέρω, ένας ακόμα παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη για την εκ νέου τοποθέτηση του εξοπλισμού και την συρρίκνωση της όλης εγκατάστασης είναι η συντήρηση, δηλαδή η μελέτη πρόσβασης και αντικατάστασης των επιμέρους εξαρτημάτων χωρίς να επηρεάζεται το υπόλοιπο σύστημα.

Παράλληλα με τον έλεγχο από την μοντελοποίηση, που θα μπορεί να προσομοιώνει τις ροές με βάση τον τρισδιάστατο σχεδιασμό, θα μπορέσει να γίνει μια πρώτη προσέγγιση για την διαπίστωση της εξομάλυνσης των ροών πριν και μετά τα εξαρτήματα, οπότε θα είναι εύκολο με μια μικρή απόκλιση να προσδιοριστεί το μήκος κάθε κλάδου μεταξύ των διαφόρων εξαρτημάτων.

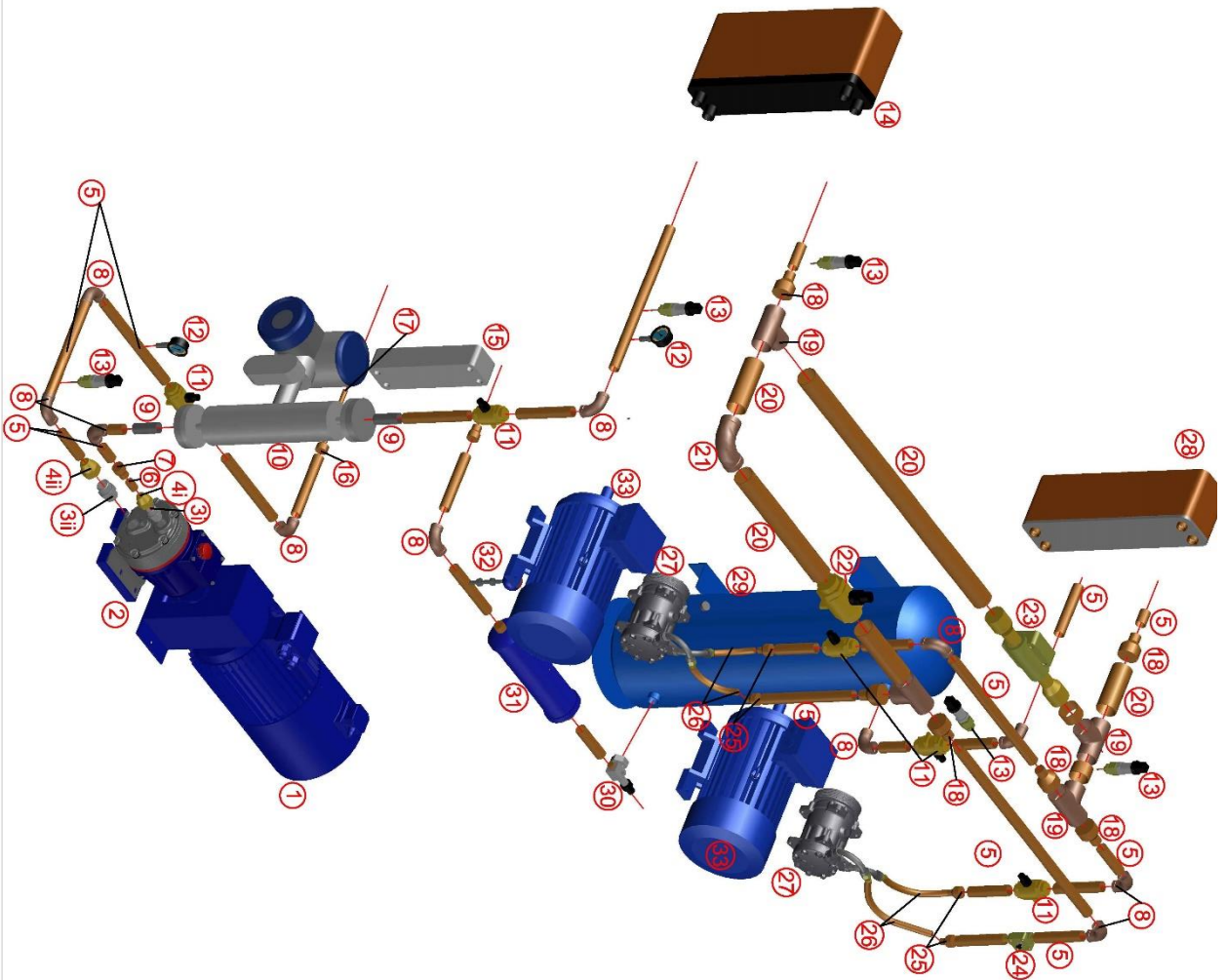
Για την βελτιστοποίηση βέβαια του βαθμού απόδοσης όλου του συστήματος, κομβικό κομμάτι αποτελεί και η μελέτη μόνωσης του εξοπλισμού. Με αυτόν τον τρόπο, χρησιμοποιώντας την σωστή μόνωση (συντελεστής λ, πάχος μόνωσης με βάση την διατομή και τύπος) θα κατορθώσουμε να προσεγγίσουμε ορθότερα τις ιδανικές συνθήκες προσομοίωσης με ταυτόχρονο περιορισμό των απωλειών του συστήματος.

Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω θα μπορούσαμε να προχωρήσουμε στην αναβάθμιση της εγκατάστασης σε μεγαλύτερη κλίμακα για εμπορική χρήση σε πλοία, λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες του μηχανοστασίου καθώς και την βέλτιστη χωροθέτηση εντός αυτού.

5. Παράρτημα σχεδίων

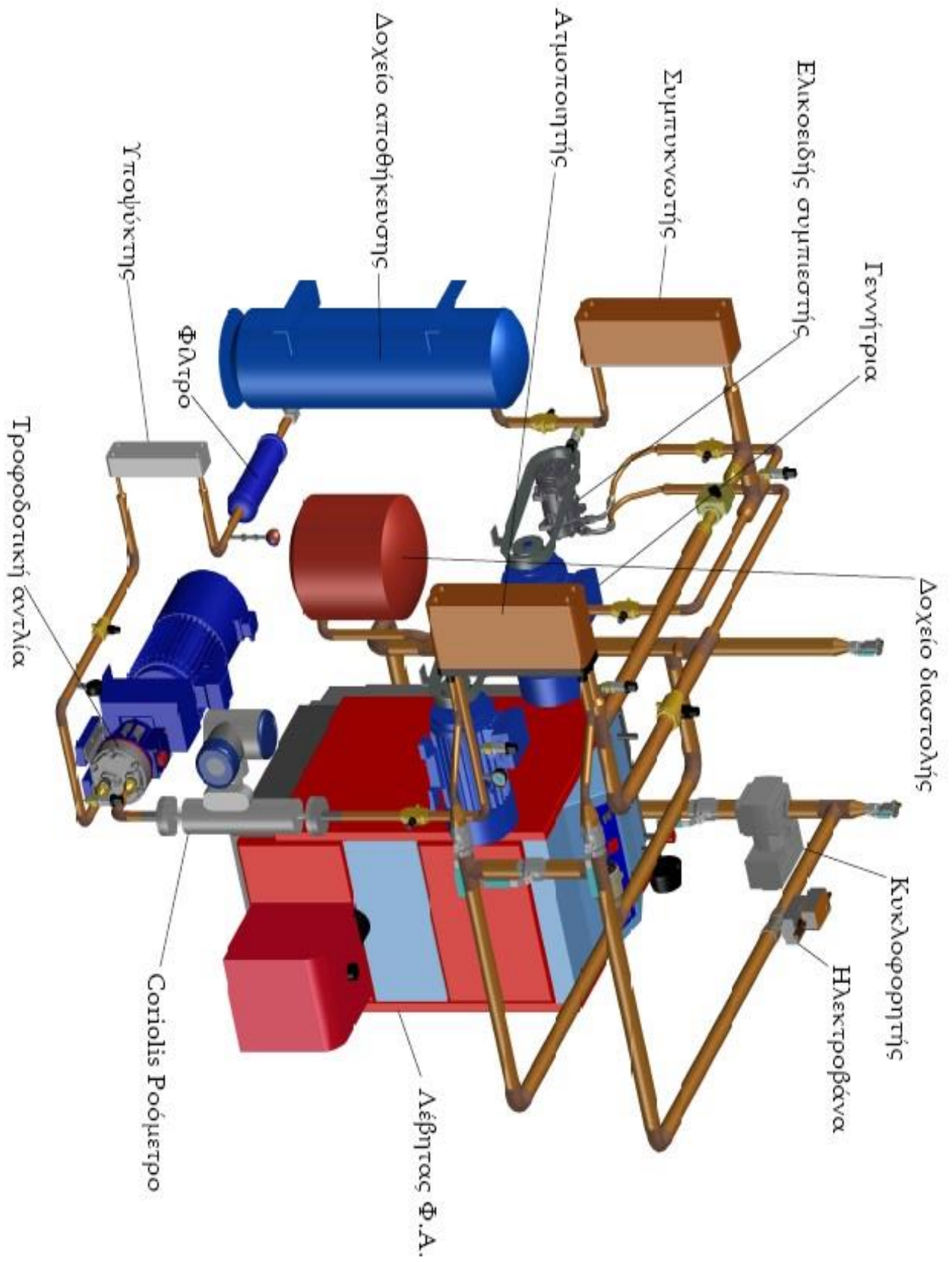
α/α	Σχέδια εγκατάστασης
1	Αποτύπωση εξοπλισμού ORC 3D με υπόμνημα
2	Αποτύπωση εγκατάστασης 3D (χωρίς την βάση)
3	Αποτύπωση εγκατάστασης 3D ισομετρικό
4	Κάτοψη εγκατάστασης 3D
5	Πρόσοψη εγκατάστασης 3D
6	Πλάγια όψη εγκατάστασης 3D
7	Αποτύπωση εγκατάστασης 3D ισομετρικό 2
8	Αποτύπωση εγκατάστασης 3D (χωρίς την βάση) 2
9	Αποτύπωση εγκατάστασης 3D πίσω όψη
10	P & ID
11	Ισομετρικό 1
12	Ισομετρικό 2
13	Κάτοψη με διαστάσεις

1. Αποτύπωση εξοπλισμού με υπόμνημα



LEGEND / ΥΠΟΜΝΗΜΑ		
1	PUMP MOTOR	ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΑΝΤΙΔΙΑΣ
2	Wanner Hydra Cell G10	ΑΝΤΛΙΑ
3i	Hexagonal nipple 3/8"	Εξάγωνος μαστός 3/8"
3ii	Hexagonal nipple 1"	Εξάγωνος μαστός 1"
4i	Flare union 3/4"x3/4"	Flare ρακόρ 3/4"x3/4"
4ii	Flare union 1"x1 1/8"	Flare ρακόρ 1"x1 1/8"
5	Copper pipe 1 1/8"	Χαλκοσωλήνα 7/8"
6	Copper pipe 7/8"	Χαλκοσωλήνα 7/8"
7	Copper reducer 7/8"x1 1/8"	Συστολή χαλκού 7/8"x1 1/8"
8	Copper elbow 90° 1 1/8"	Γωνιά χαλκού 90° 1 1/8"
9	Innox joint 1 1/8"	Μαστός Innox κολητός 1 1/8"
10	Coriolis flow meter	Ροόμετρο Coriolis
11	Manual Valve 1 1/8"	Χειροκίνητη βάννα 1 1/8"
12	Pressure Gauge	Μανόμετρο
13	Pressure transmitter	Αιθηρήρας πίεσης
14	Evaporator heat exchanger	Αημοτροπής εναλλάκτης θερμ.
15	Sub cooler AC30Q30H	Υποψύκτης
16	Copper reducer 1/2"x1 1/8"	Συστολή χαλκού 1/2"x1 1/8"
17	Copper pipe 1/2"	Χαλκοσωλήνα 1/2"
18	Copper reducer 1/2"x1 1/8"	Συστολή χαλκού 1/2"x1 1/8"
19	Copper tee 2 1/8"	Ταύ χαλκού 2 1/8"
20	Copper pipe 2 1/8"	Χαλκοσωλήνα 2 1/8"
21	Copper elbow 90° 2 1/8"	Γωνιά χαλκού 90° 2 1/8"
22	Manual valve 2 1/8"	Χειροκίνητη βάννα 2 1/8"
23	NC electromagnetic valve	Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα 1 3/8"
24	Electromagnetic valve 1 3/8"	Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα 1 3/8"
25	Copper reducer 1 3/8"x2 1/8"	Συστολή χαλκού 1 3/8"x2 1/8"
26	Copper pipe 5/8"	Χαλκοσωλήνα 5/8"
27	Scroll expander	Ελικοειδής εκτρονωτής
28	Condenser CB60-60H-F	Συμπυκνωτής Εναλλάκτης Θερμ.
29	Universal liquid receiver	Δοχείο αποθήκευσης
30	Receiver manual valve	Χειροκίνητη βάννα δοχείου αποθ.
31	Filter	Φίλτρο
32	Temperature transducer	Αιθητήριος θερμοκρασίας
33	Generator	Γεννήτρια

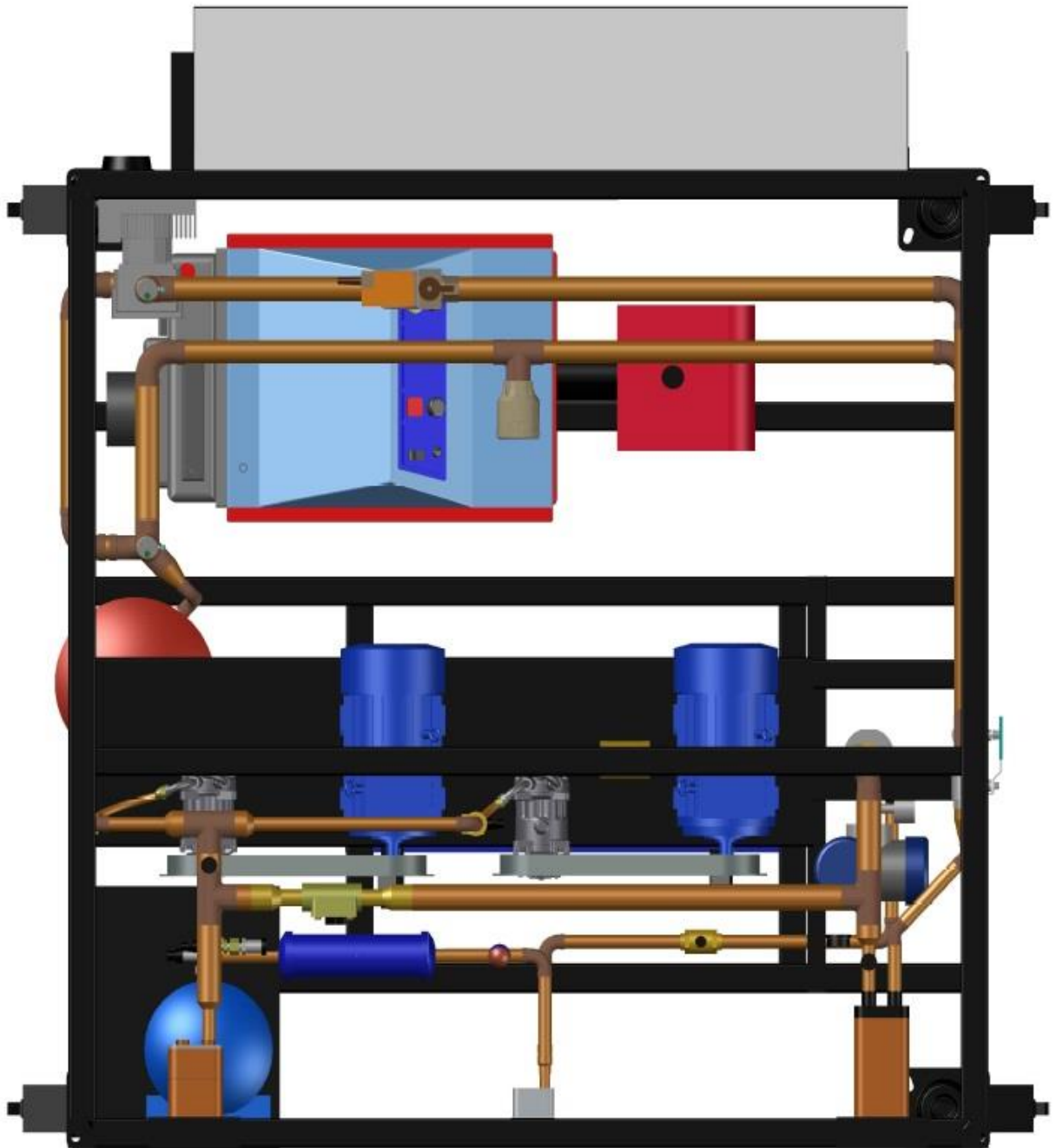
2. Αποτύπωση εγκατάστασης 3D (χωρίς την βάση)



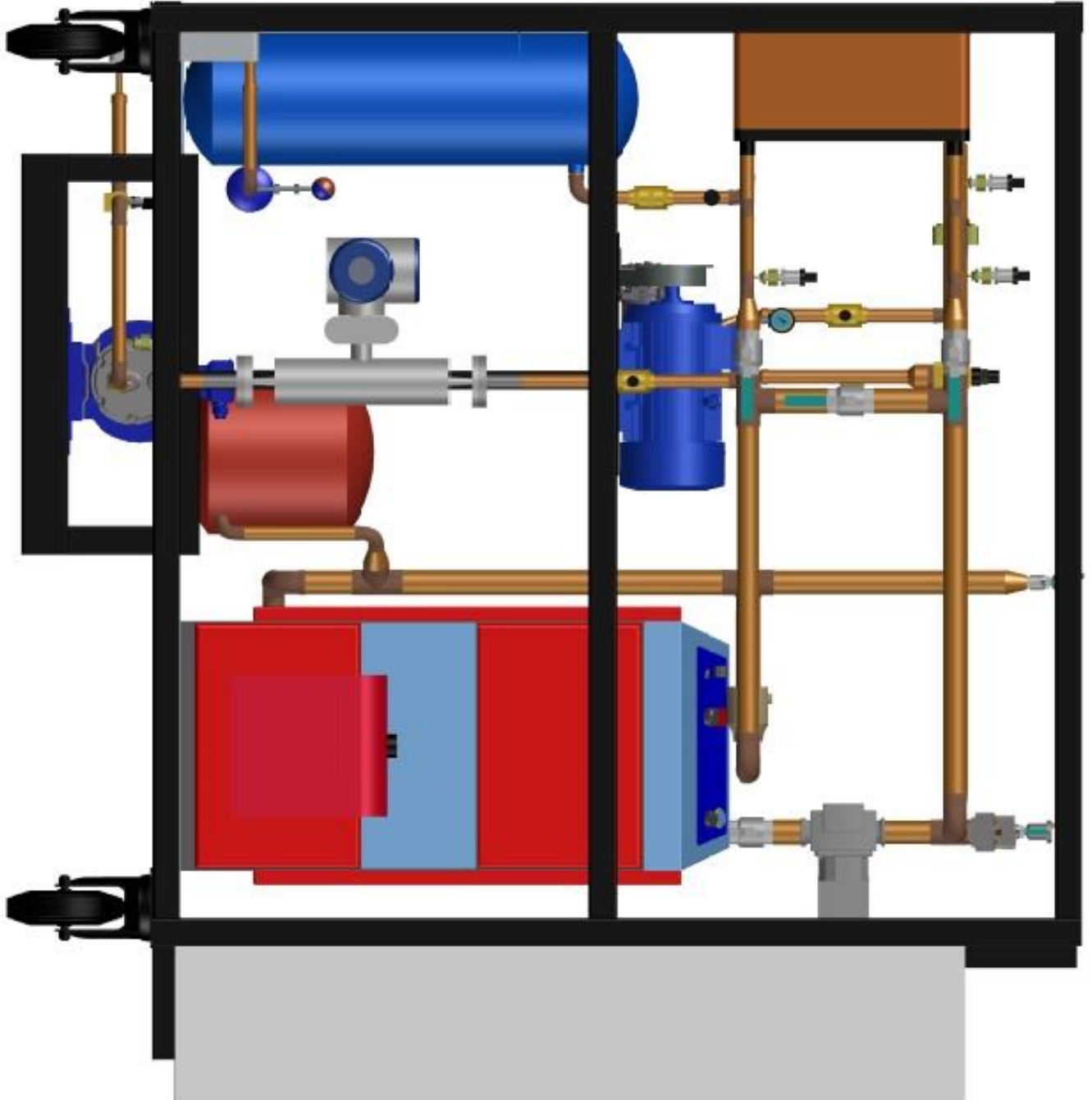
3. Αποτύπωση εγκατάστασης 3D ισομετρικό



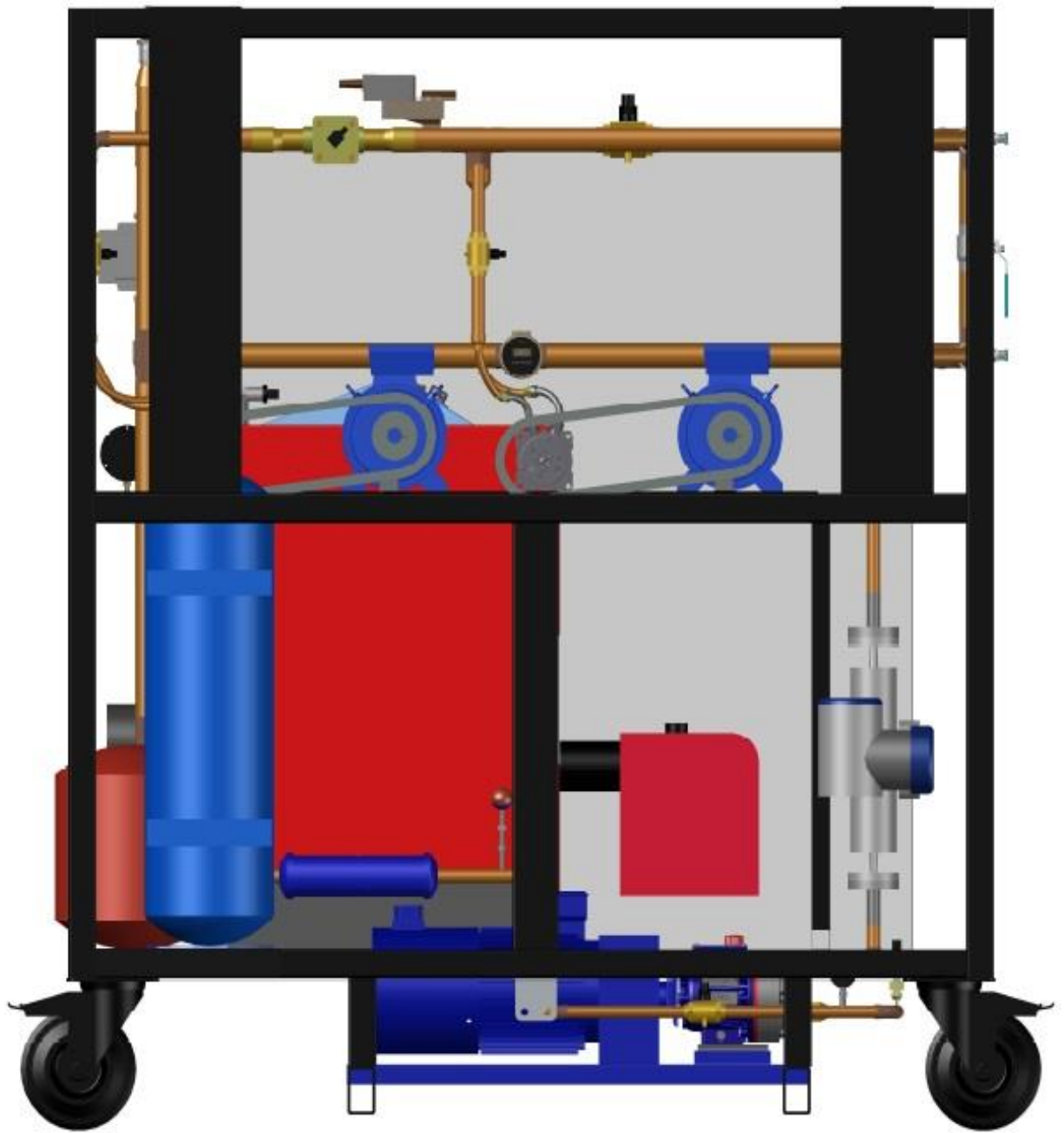
4. Κάτοψη εγκατάστασης 3D



5. Πρόσοψη εγκατάστασης 3D



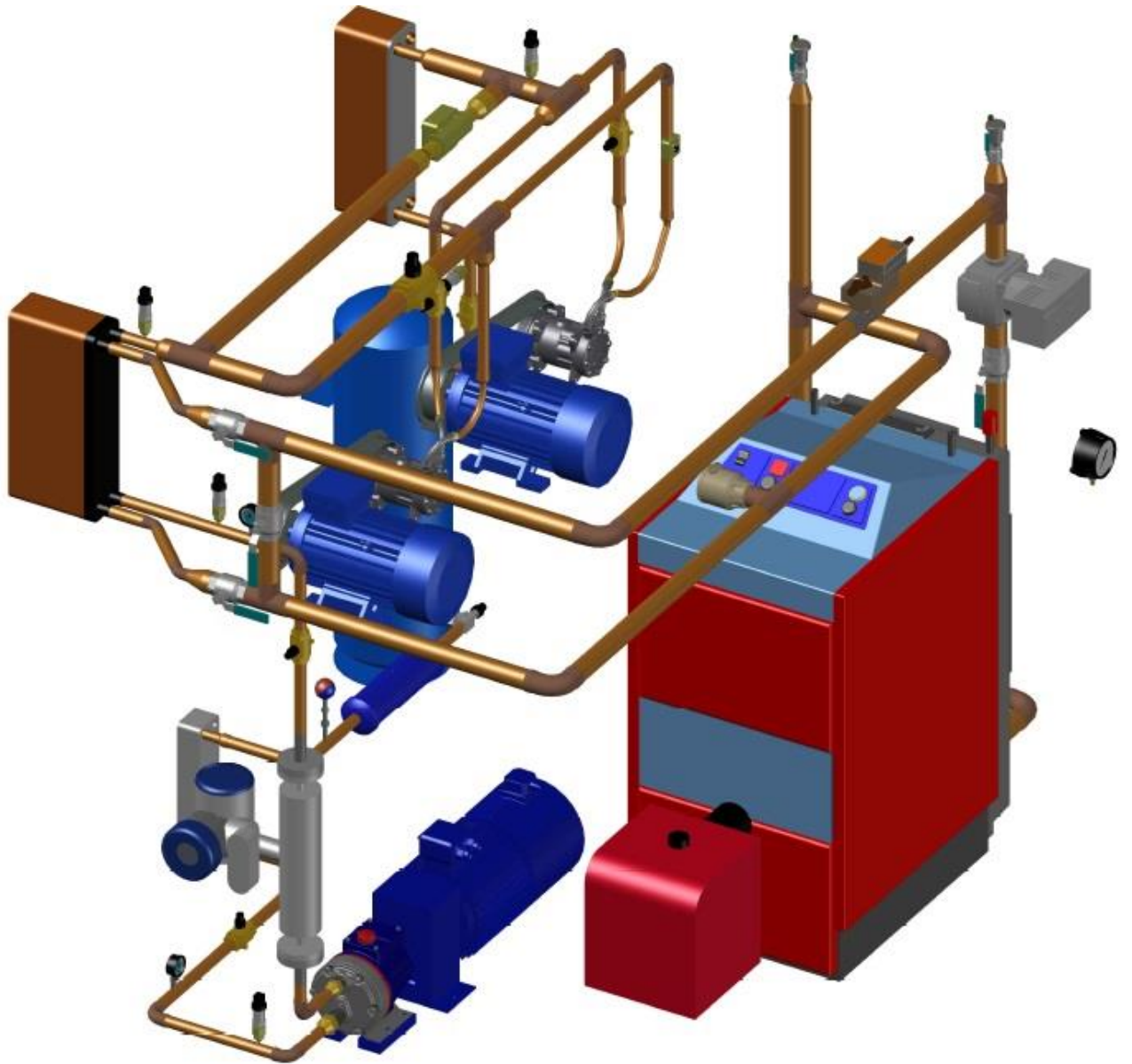
6. Πλάγια όψη εγκατάστασης 3D



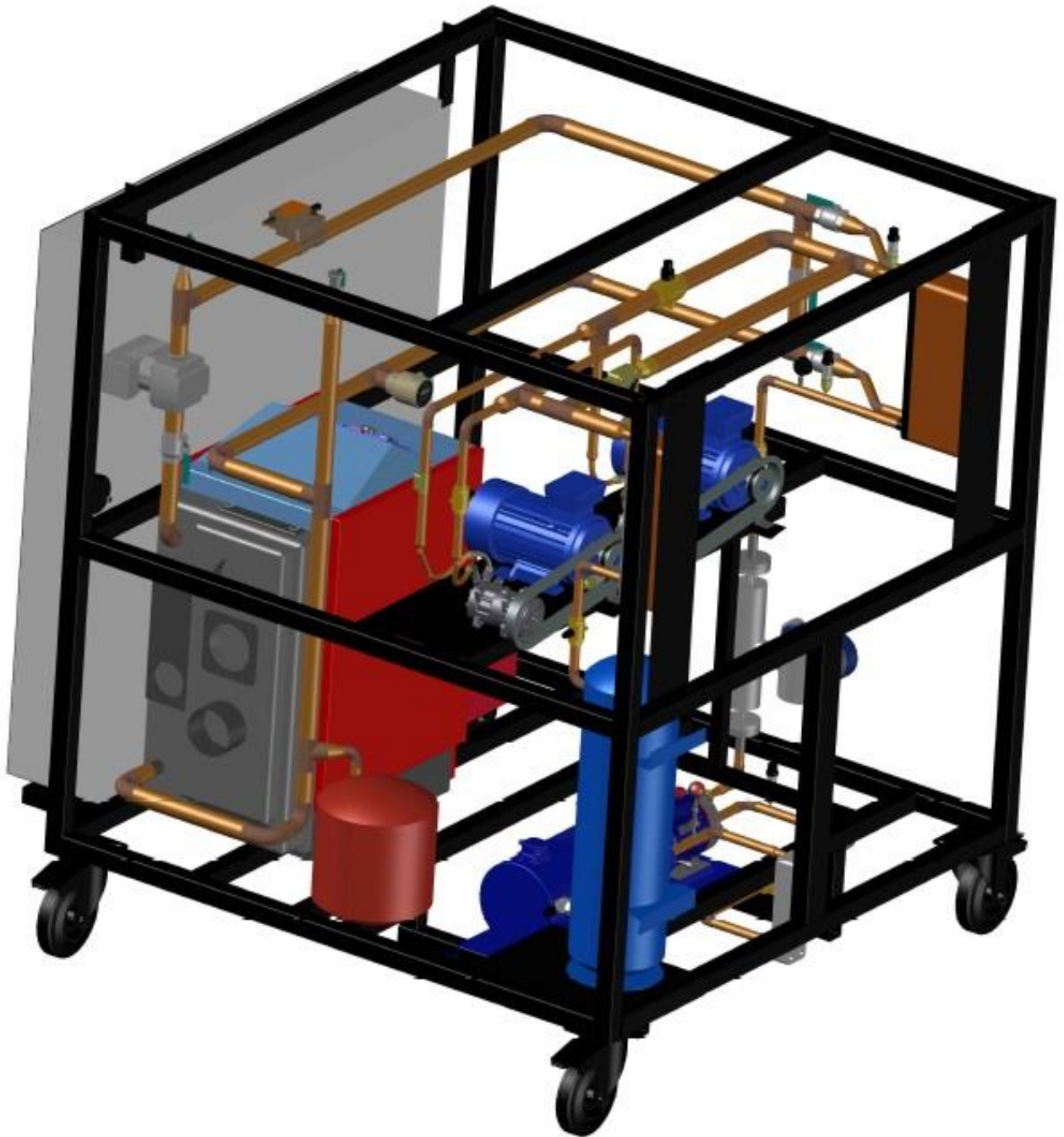
7. Αποτύπωση εγκατάστασης 3D ισομετρικό 2



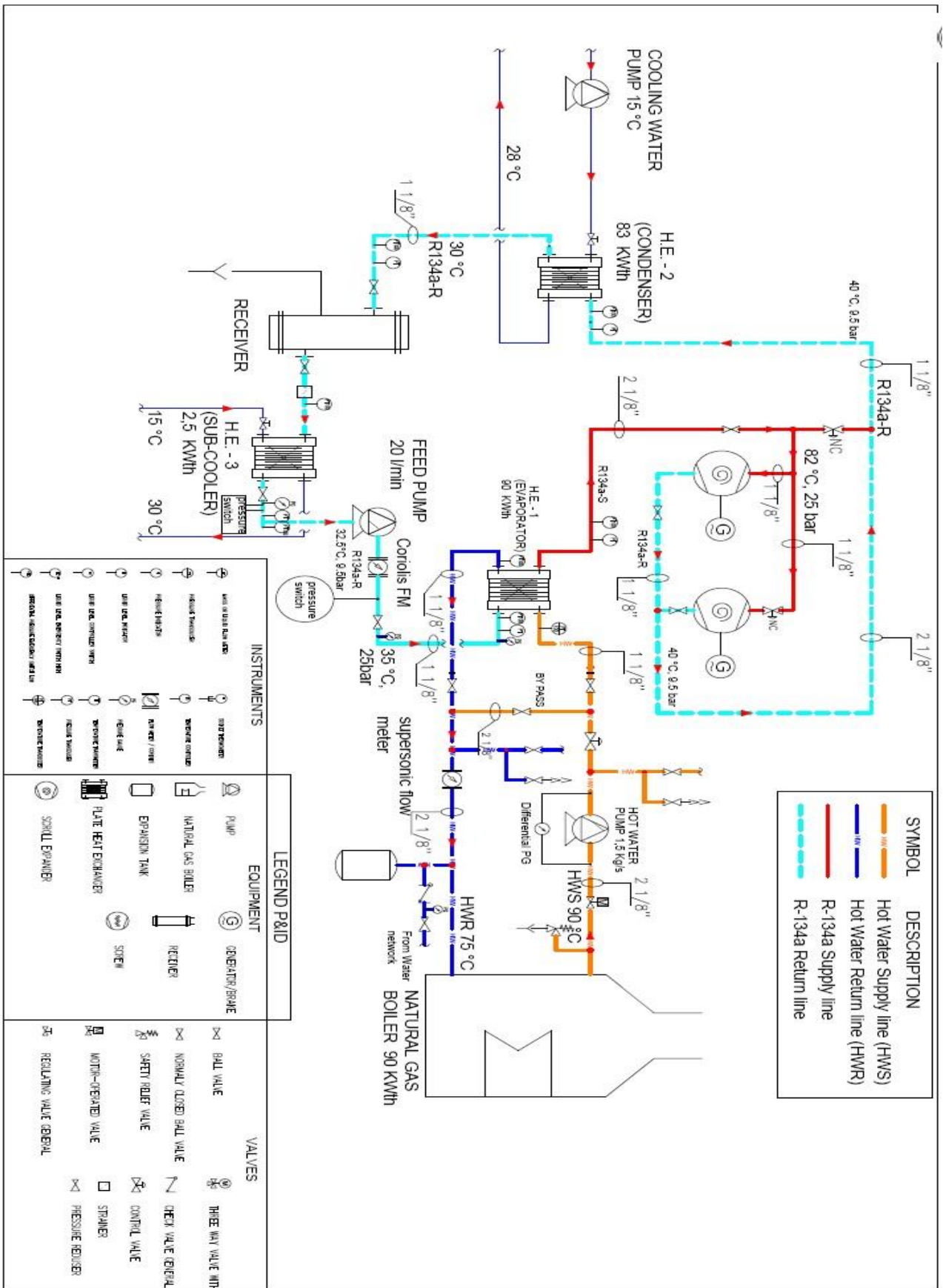
8. Αποτύπωση εγκατάστασης 3D (χωρίς την βάση) 2



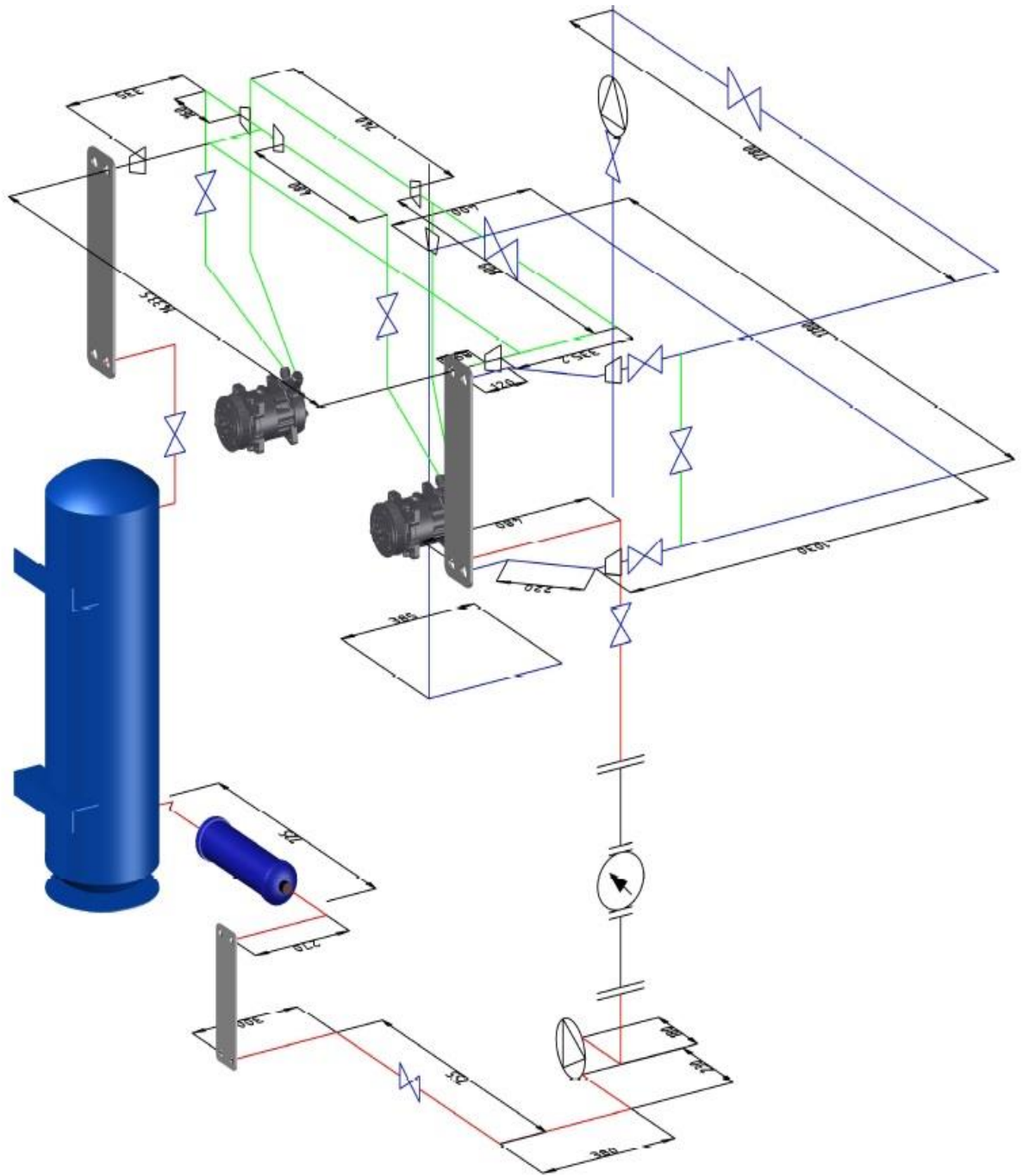
9. Αποτύπωση εγκατάστασης 3D πίσω όψη



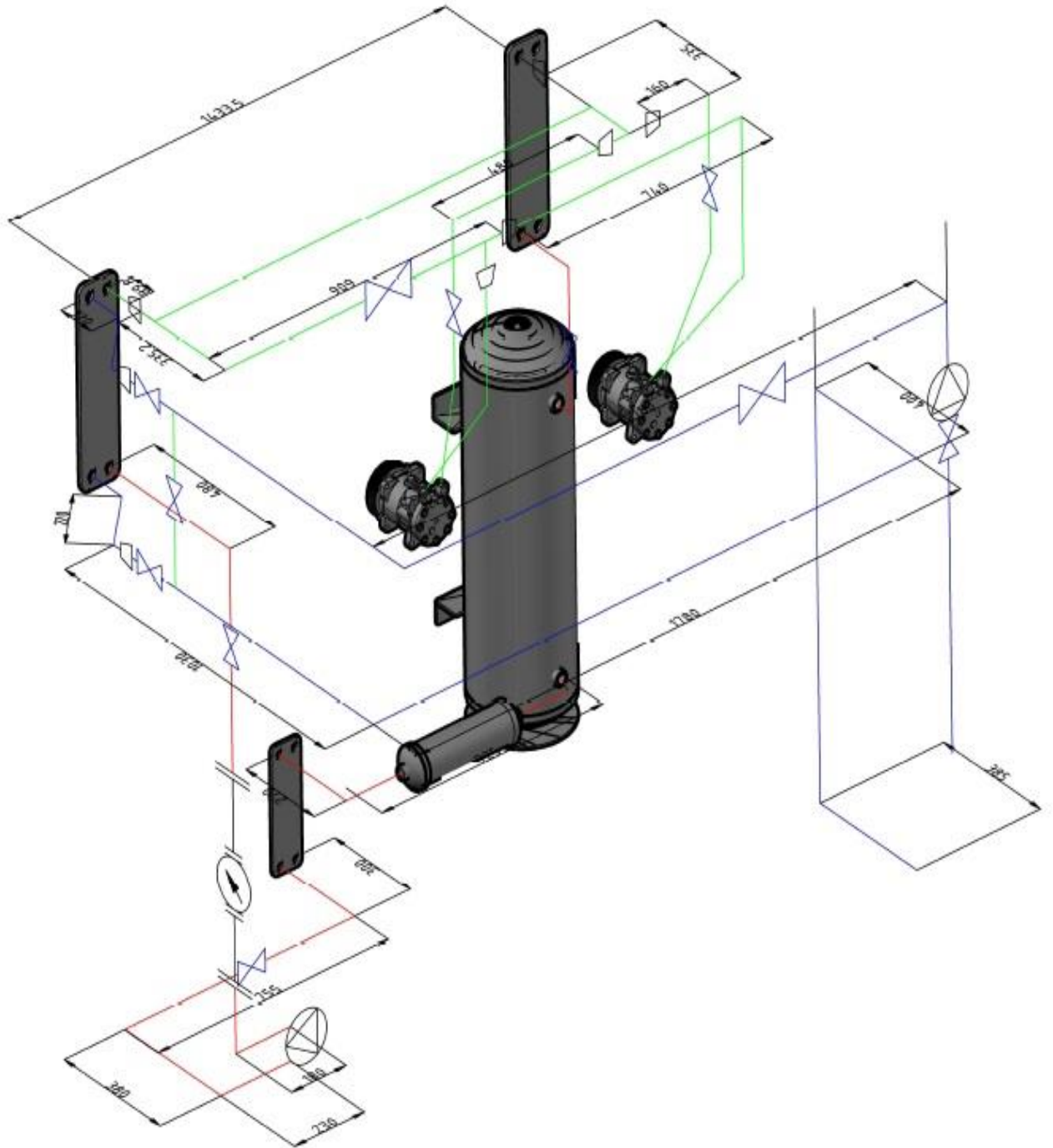
10. P & ID



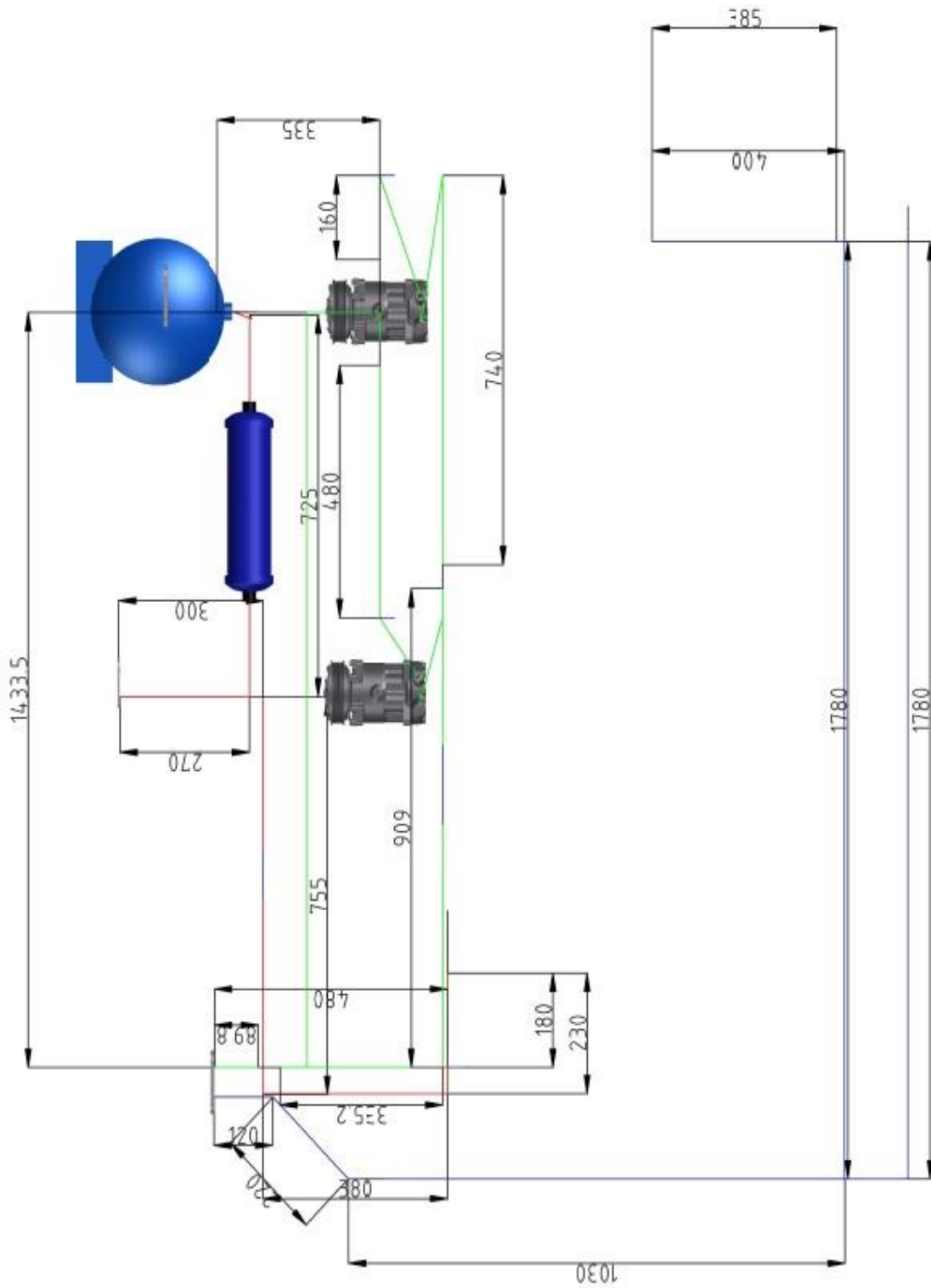
11. Ισομετρικό 1



12. Ισομετρικό 2



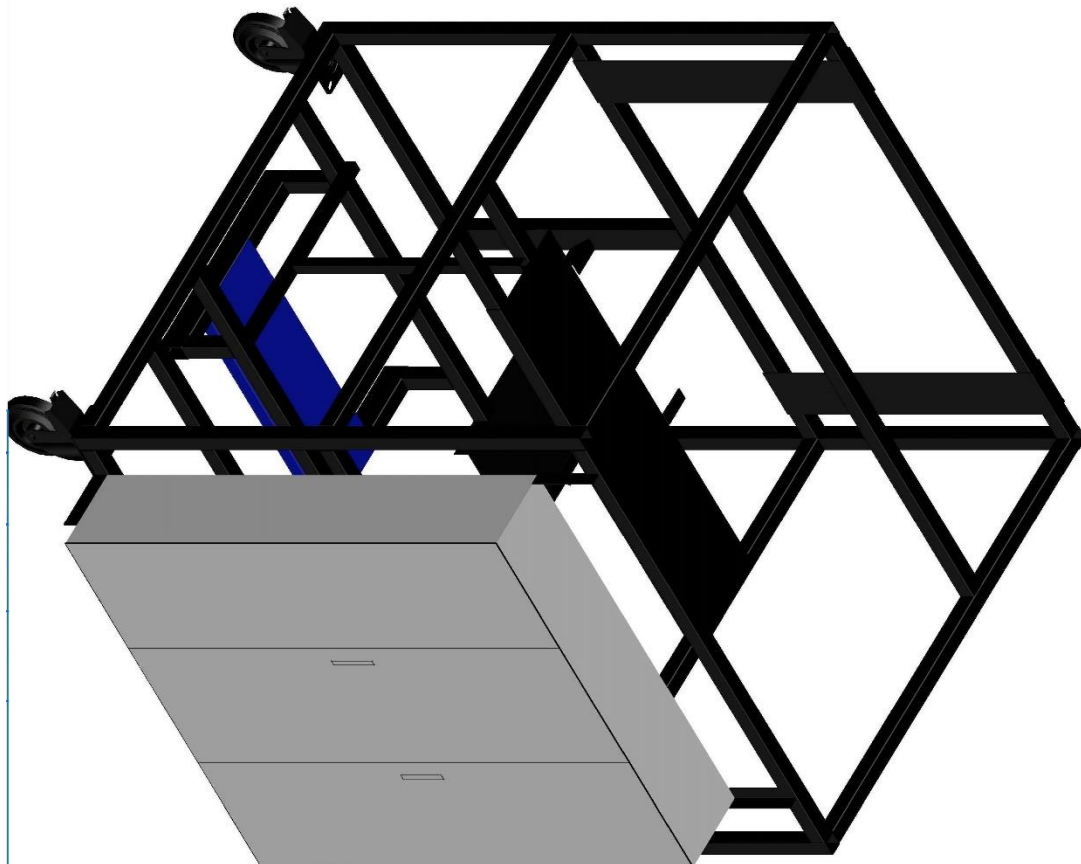
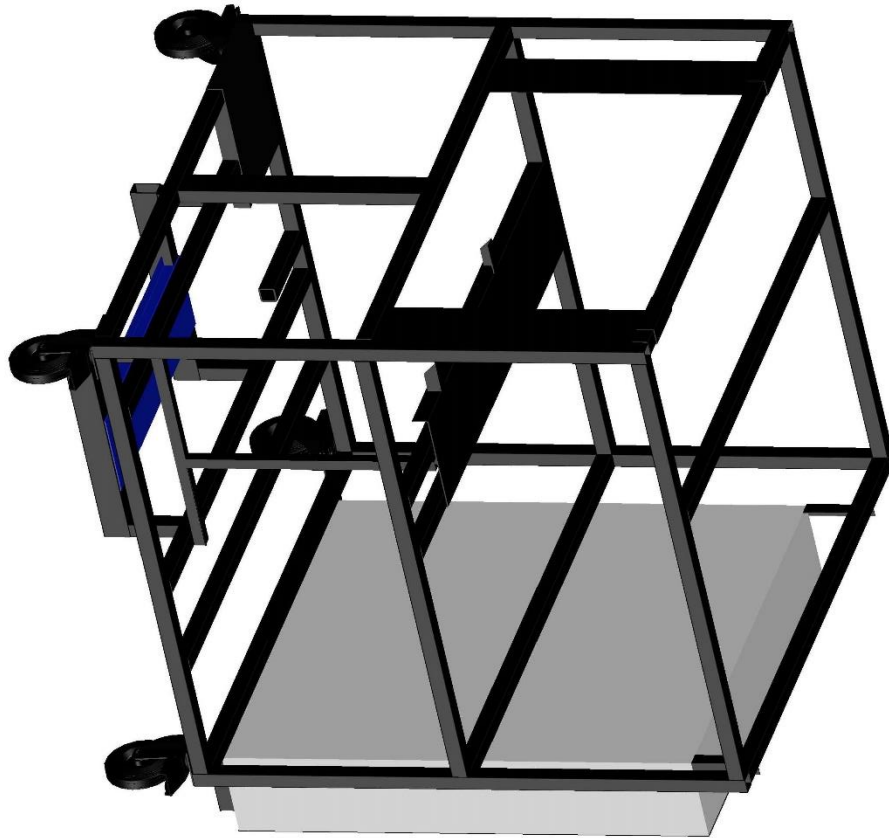
13. Κάτοψη με διαστάσεις



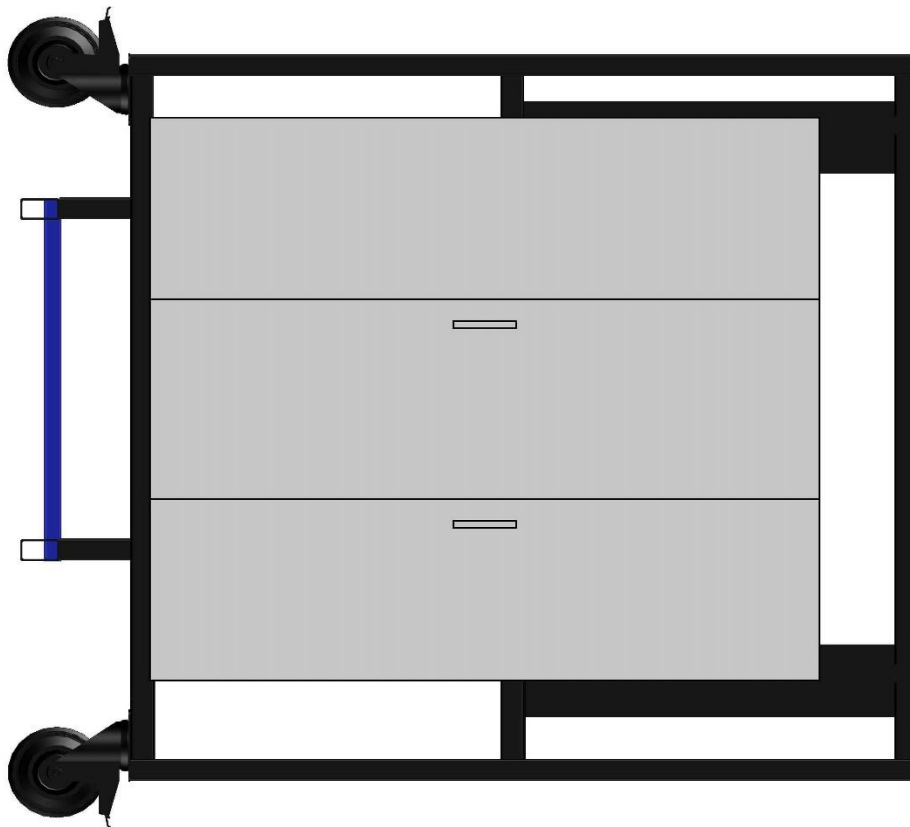
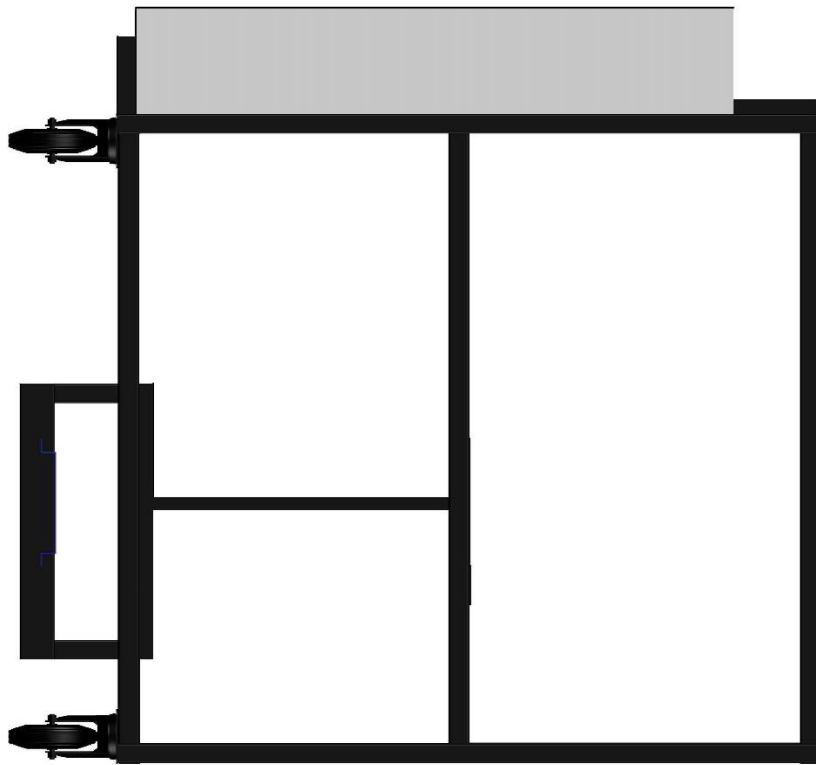
Εξαρτήματα

α/α	Σχέδια εξοπλισμού
1	Σχέδιο βάσης έδρασης εξοπλισμού 1
2	Σχέδιο βάσης έδρασης εξοπλισμού 2
3	Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα Belimo
4	Μαγνητικός αισθητήρας ροής
5	Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα NC (Alco)
6	Χειροκίνητη βάνα GMS BV 17
7	Χειροκίνητη βάνα (απλή)
8	Εξαεριστικό
9	Ρυθμιστική βαλβίδα Cimberio
10	Μανόμετρο διαφορικής πίεσης
11	Μανόμετρο
12	Αισθητήριο θερμοκρασίας
13	Αισθητήριο Πίεσης
14	Λέβητας
15	Καυστήρας
16	Δοχείο διαστολής
17	Κυκλοφορητής Wilo Stratos
18	Κινητήρας τροφοδοτικής αντλίας
19	Τροφοδοτική αντλία
20	Ροόμετρο Coriolis
21	Ατμοποιητής
22	Υποψύκτης
23	Συμπυκνωτής
24	Ελικοειδής εκτονωτής
25	Γεννήτρια
26	Τροχαλία
27	Προφυλακτήρας
28	Τροφοδοτικό δοχείο
29	Φίλτρο
30	Χειροκίνητη βαλβίδα Rotaloc
31	Τροχός βάσης

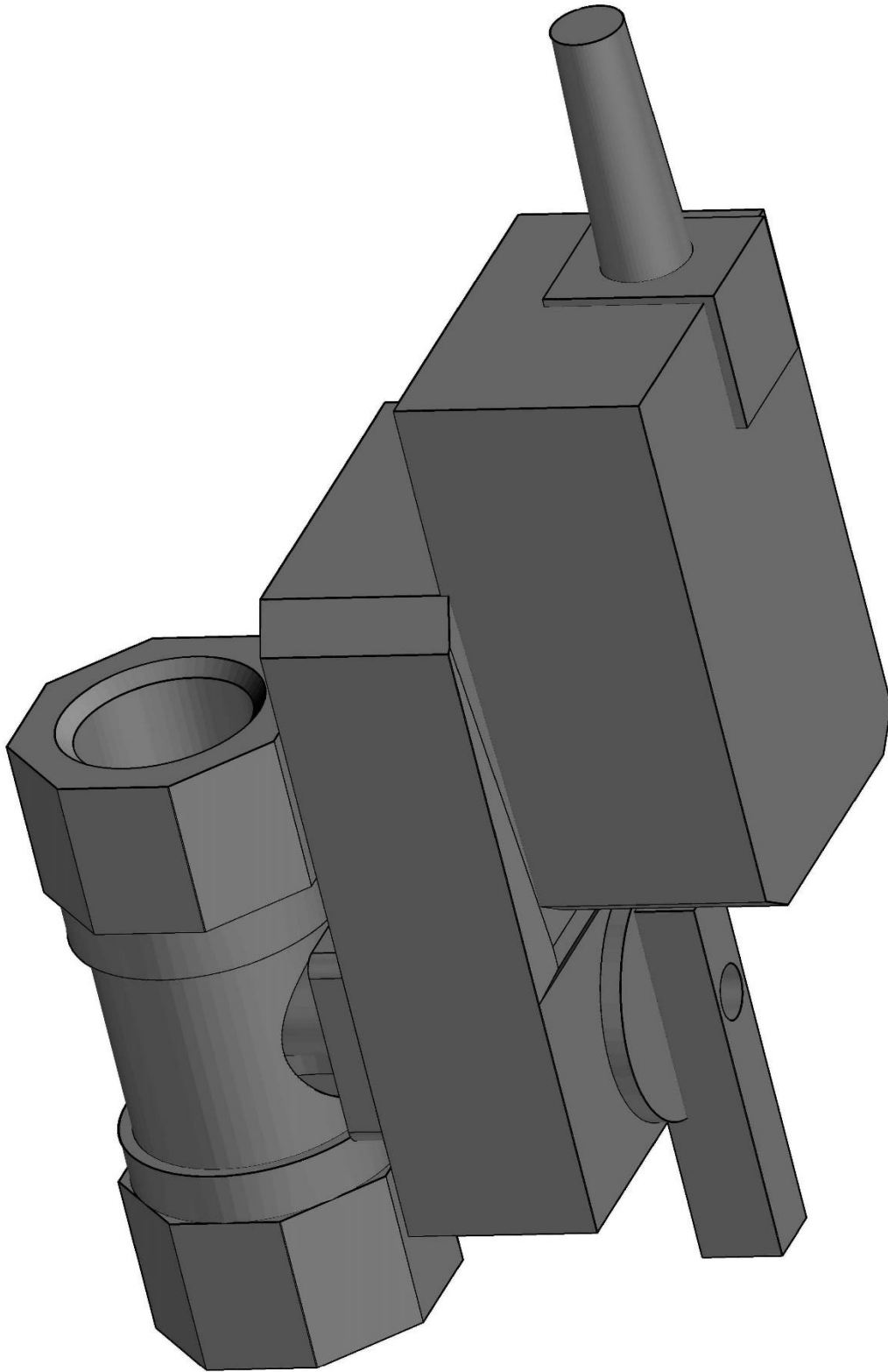
1. Σχέδιο βάσης έδρασης εξοπλισμού 1



2. Σχέδιο βάσης έδρασης εξοπλισμού 2



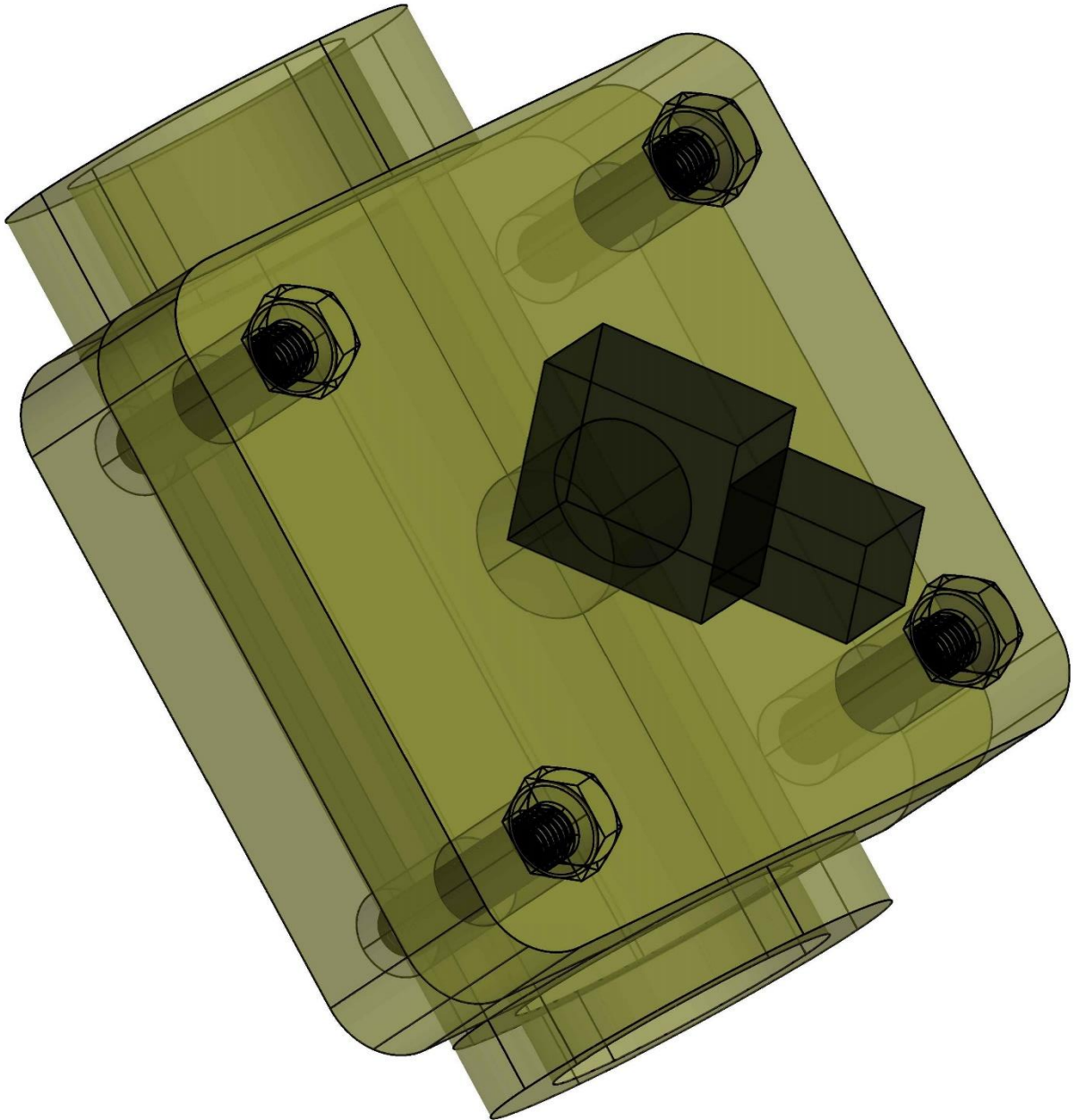
3. Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα Belimo



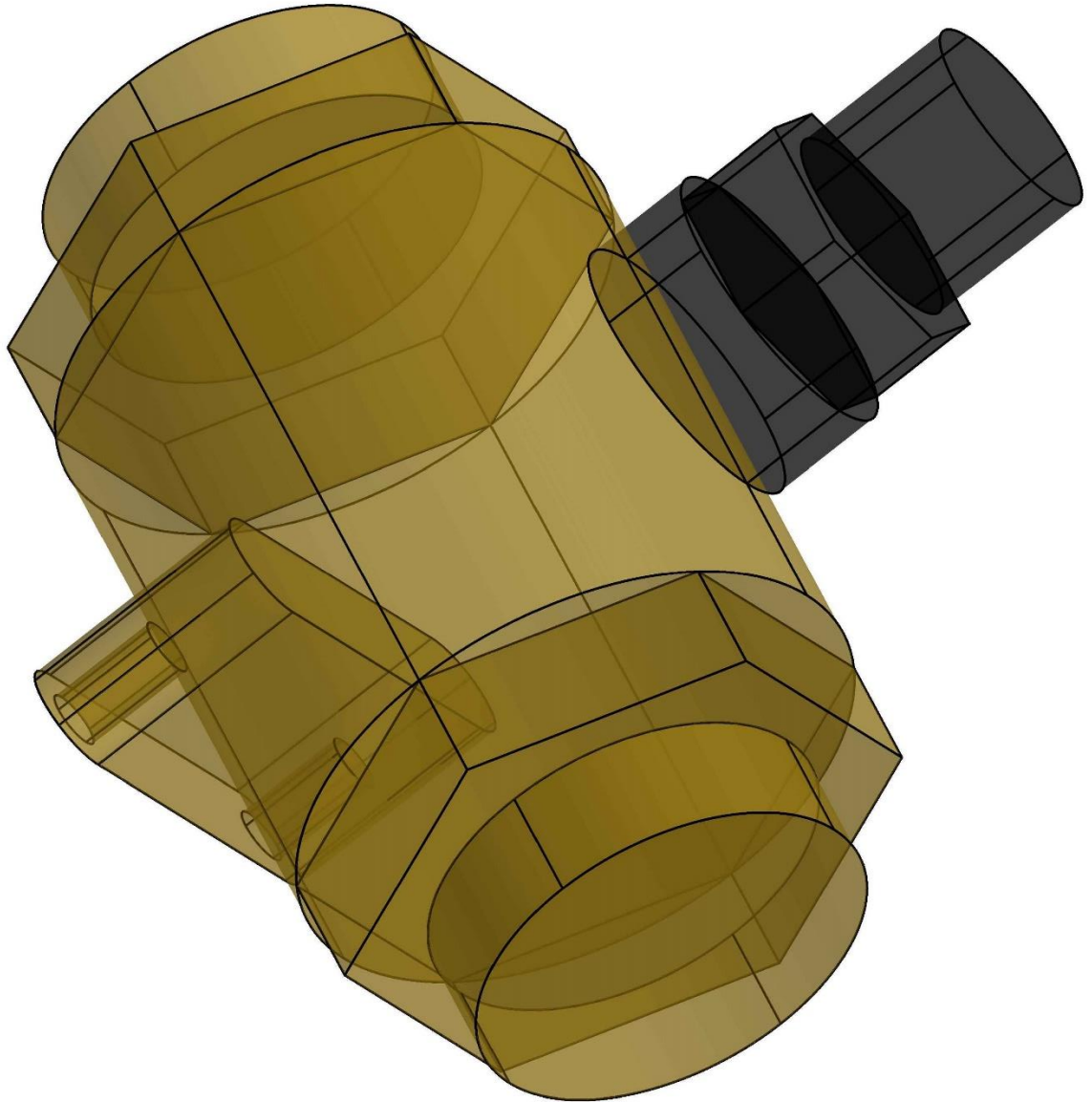
4. Μαγνητικός αισθητήρας ροής



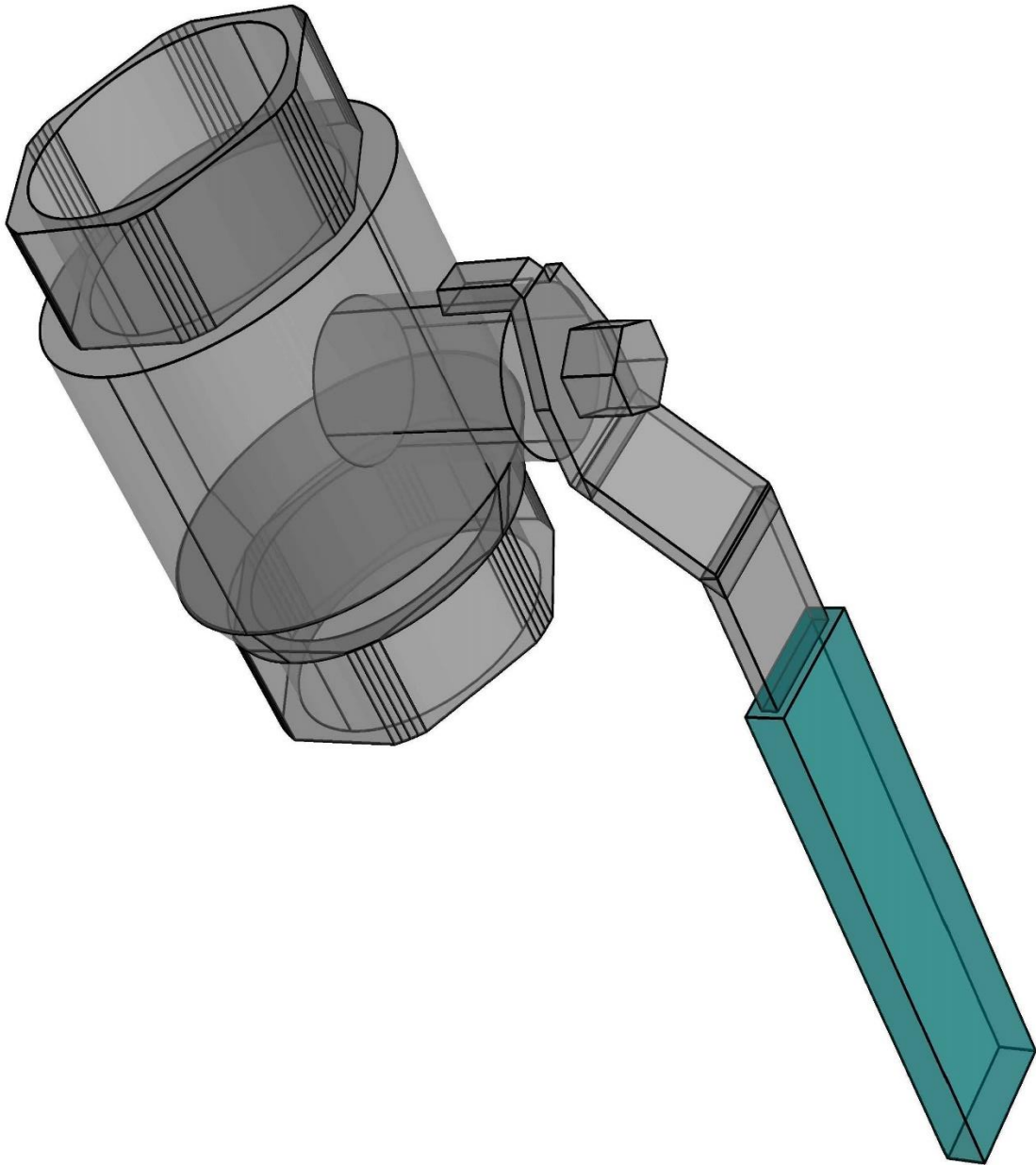
5. Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα NC (Alco)



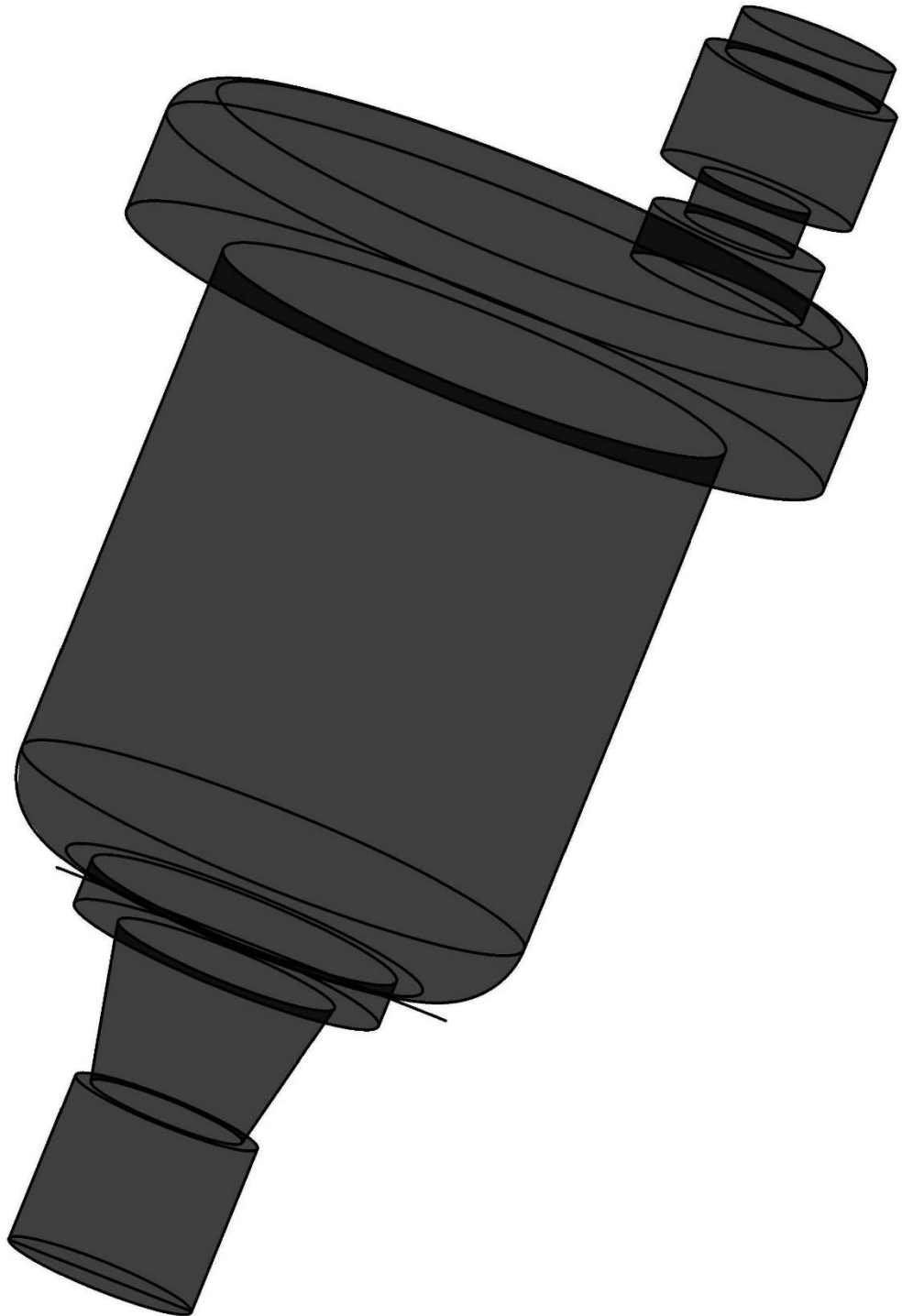
6. Χειροκίνητη βάνα GMS BV 17



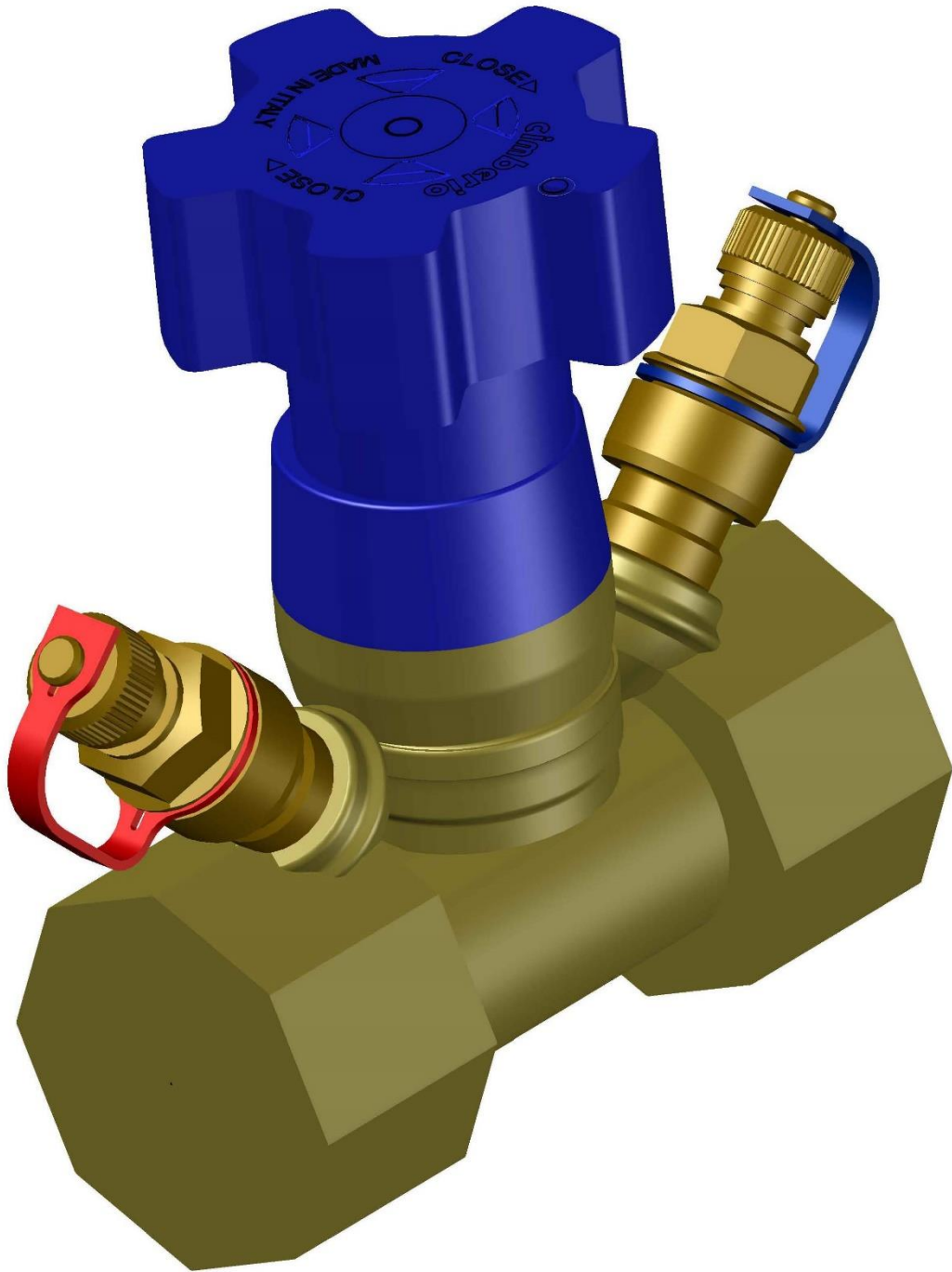
7. Χειροκίνητη βάνα (απλή)



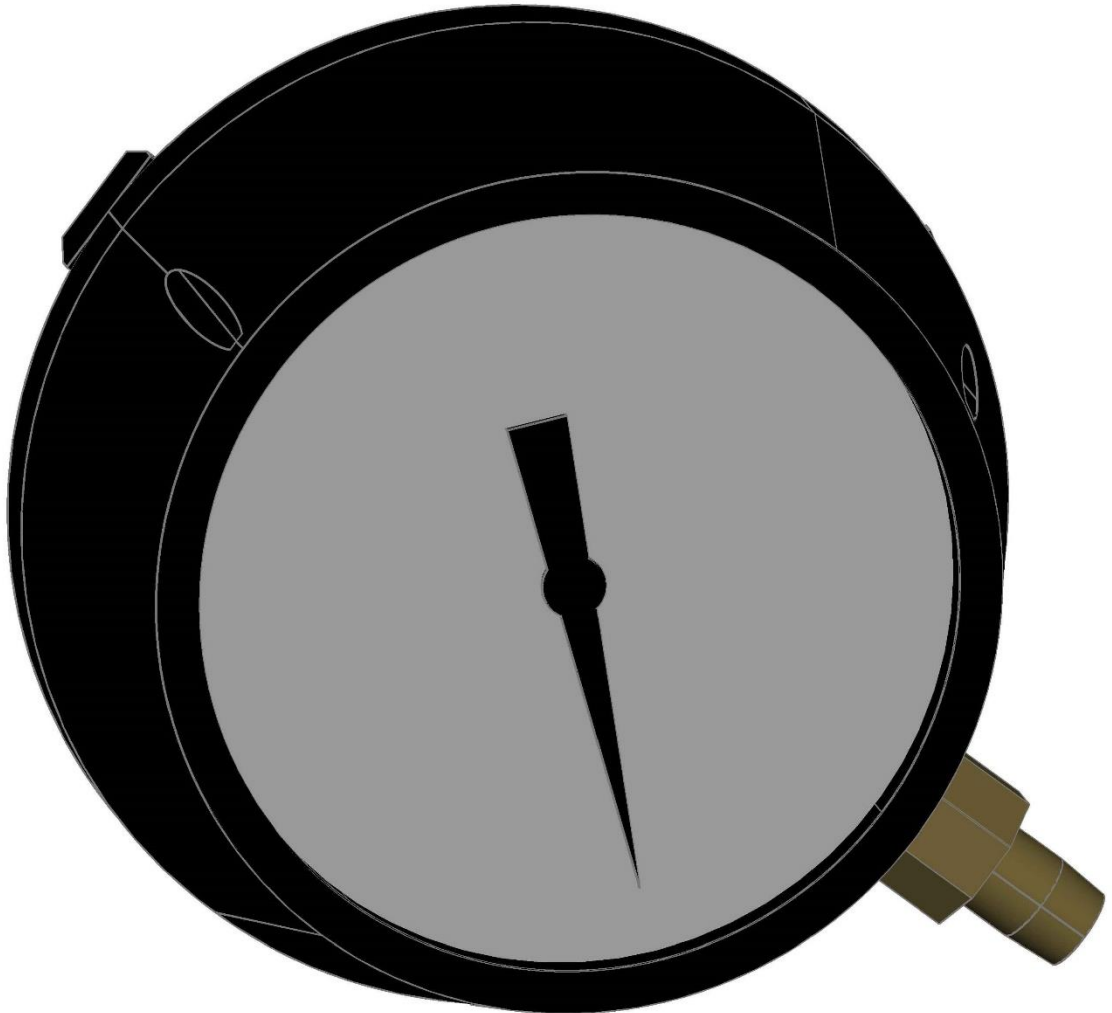
8. Εξαεριστικό



9. Ροθμιστική βαλβίδα Cimberio



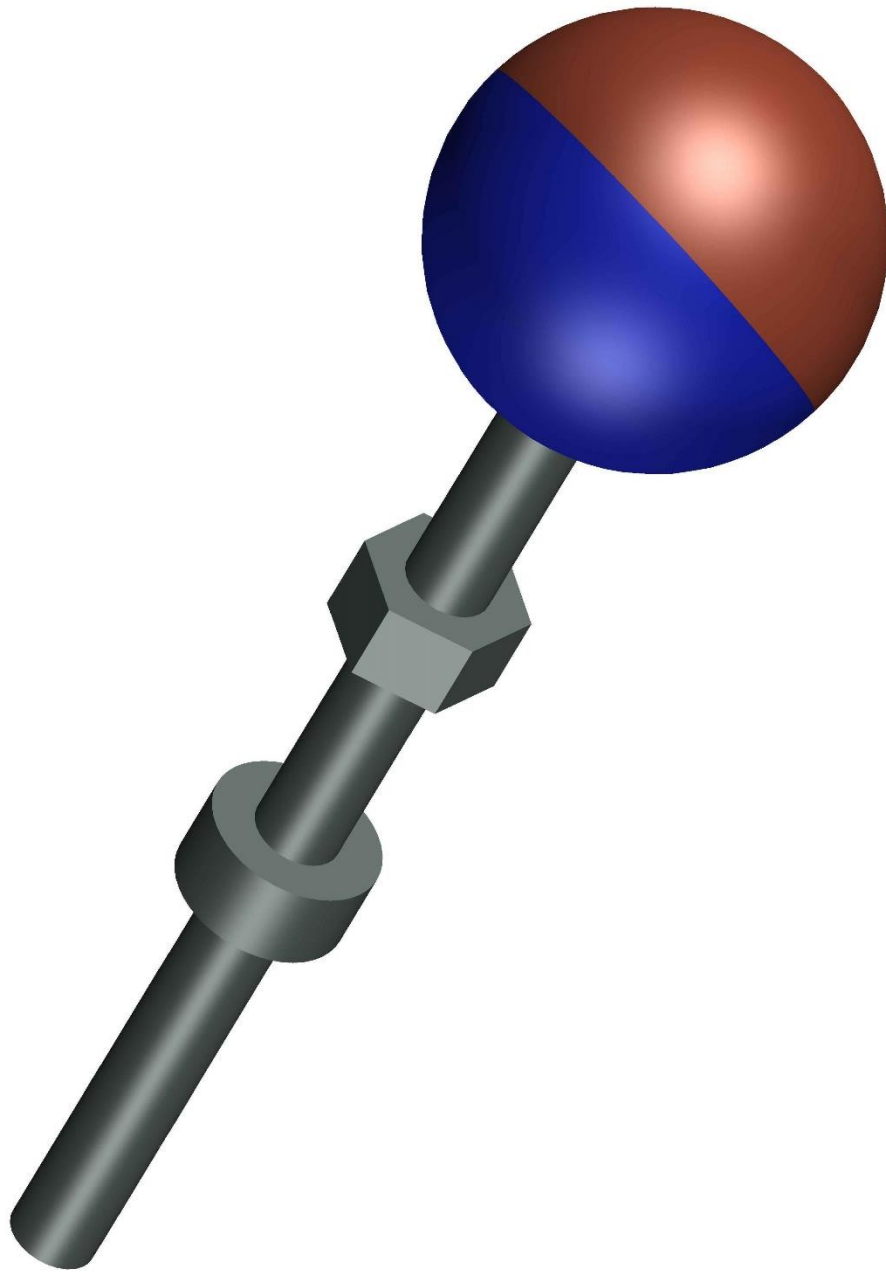
10. Μανόμετρο διαφορικής πίεσης



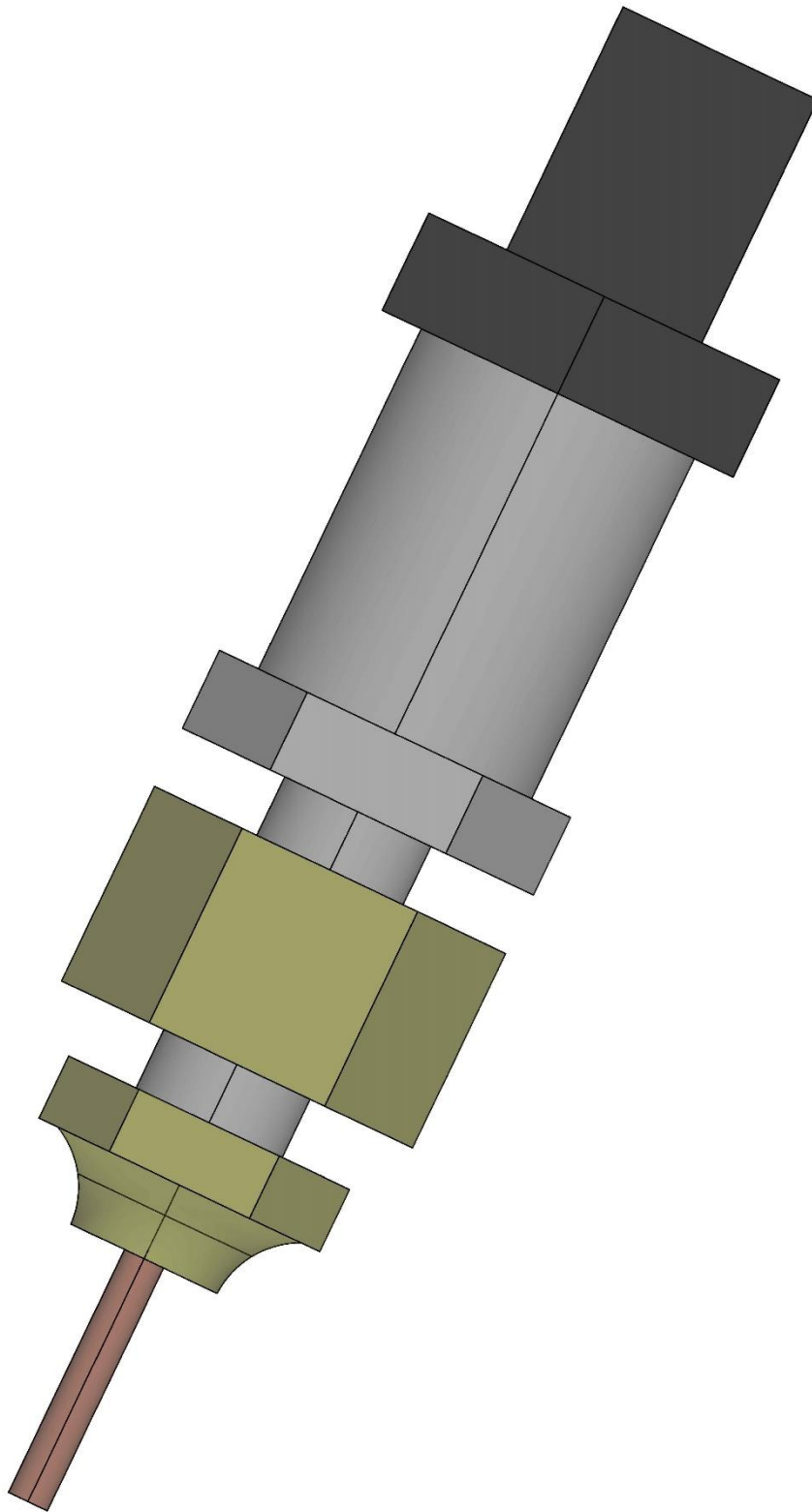
11. Μανόμετρο



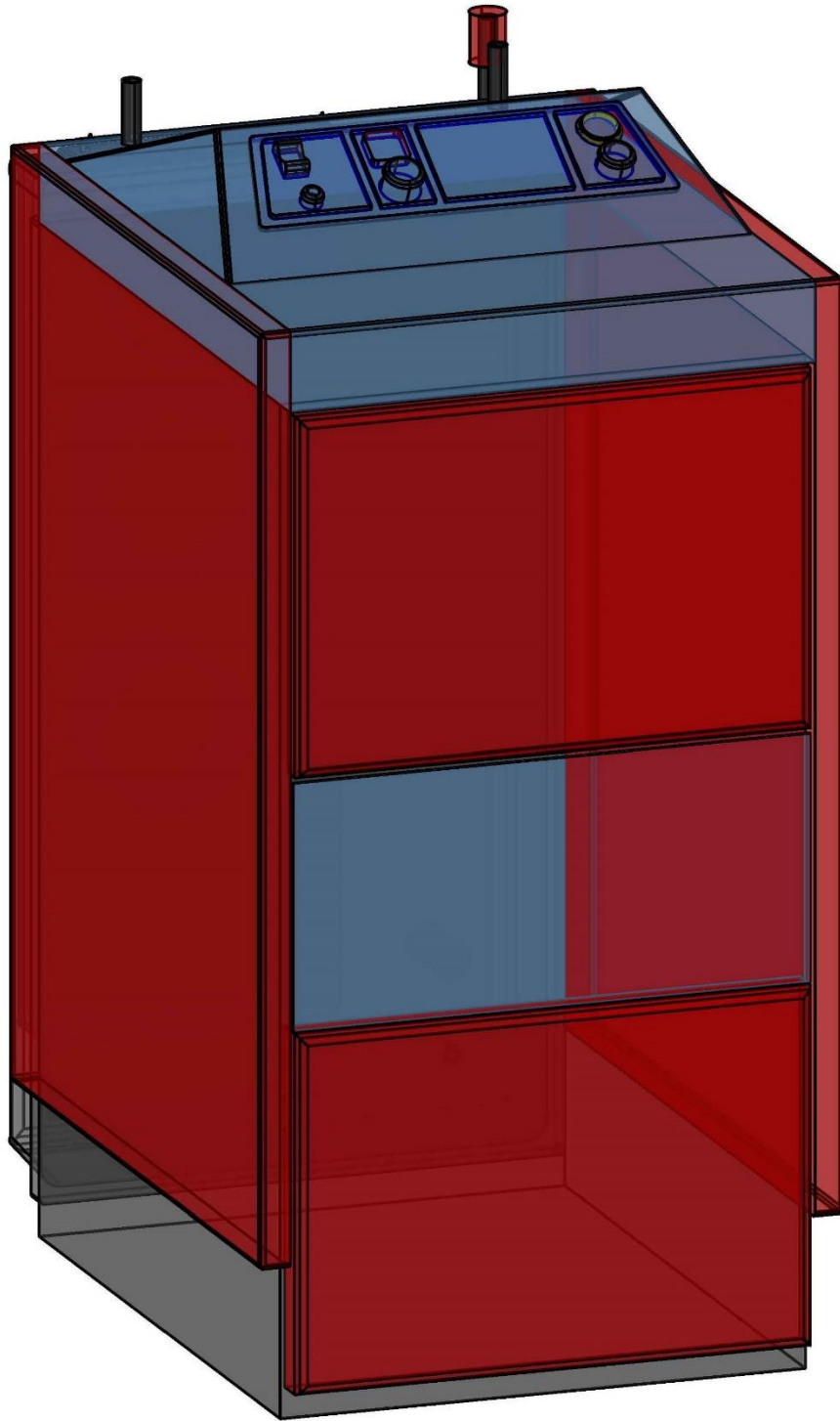
12. Αισθητήριο θερμοκρασίας



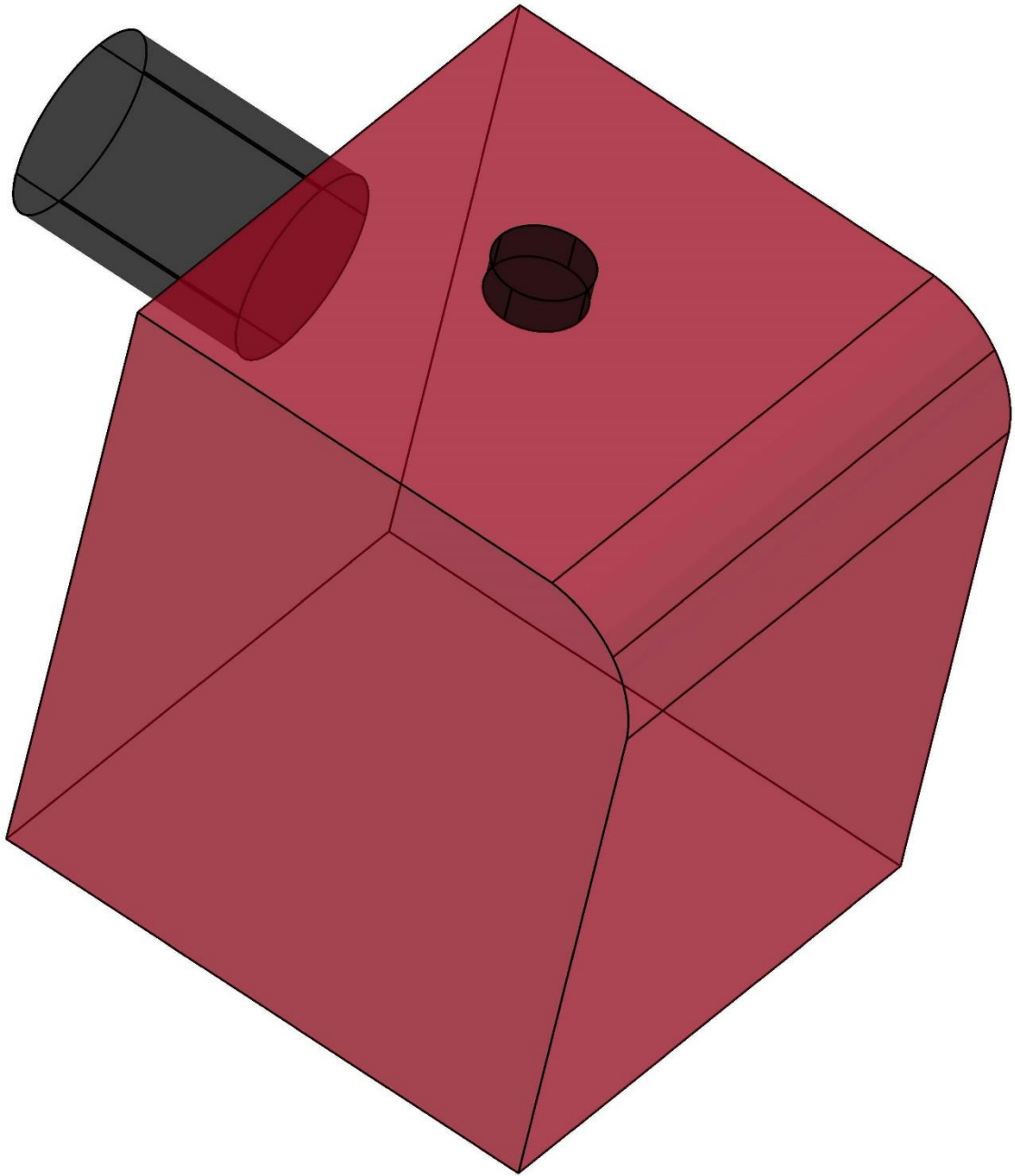
13. Αισθητήριο Πίεσης



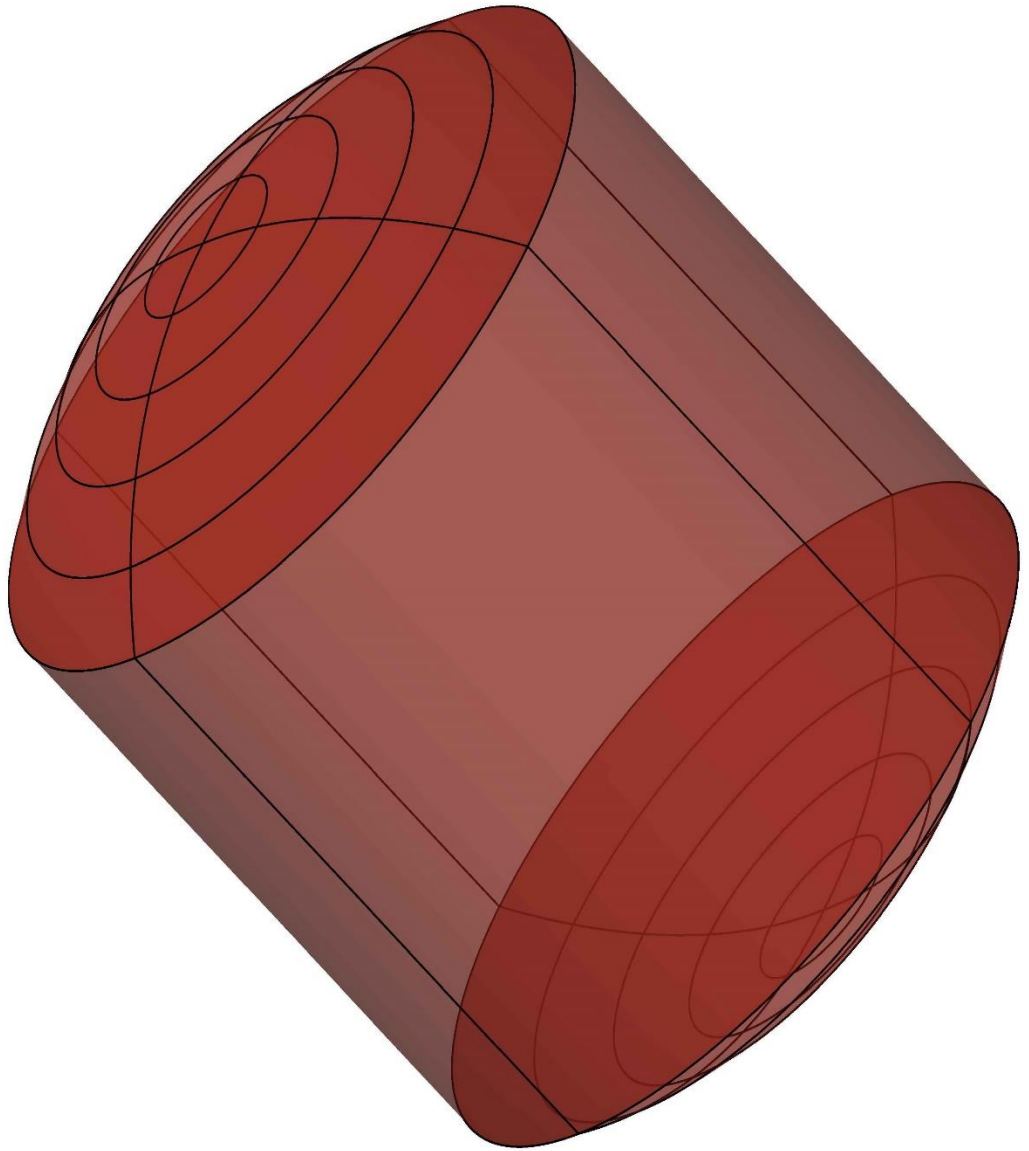
14. Λέβητας



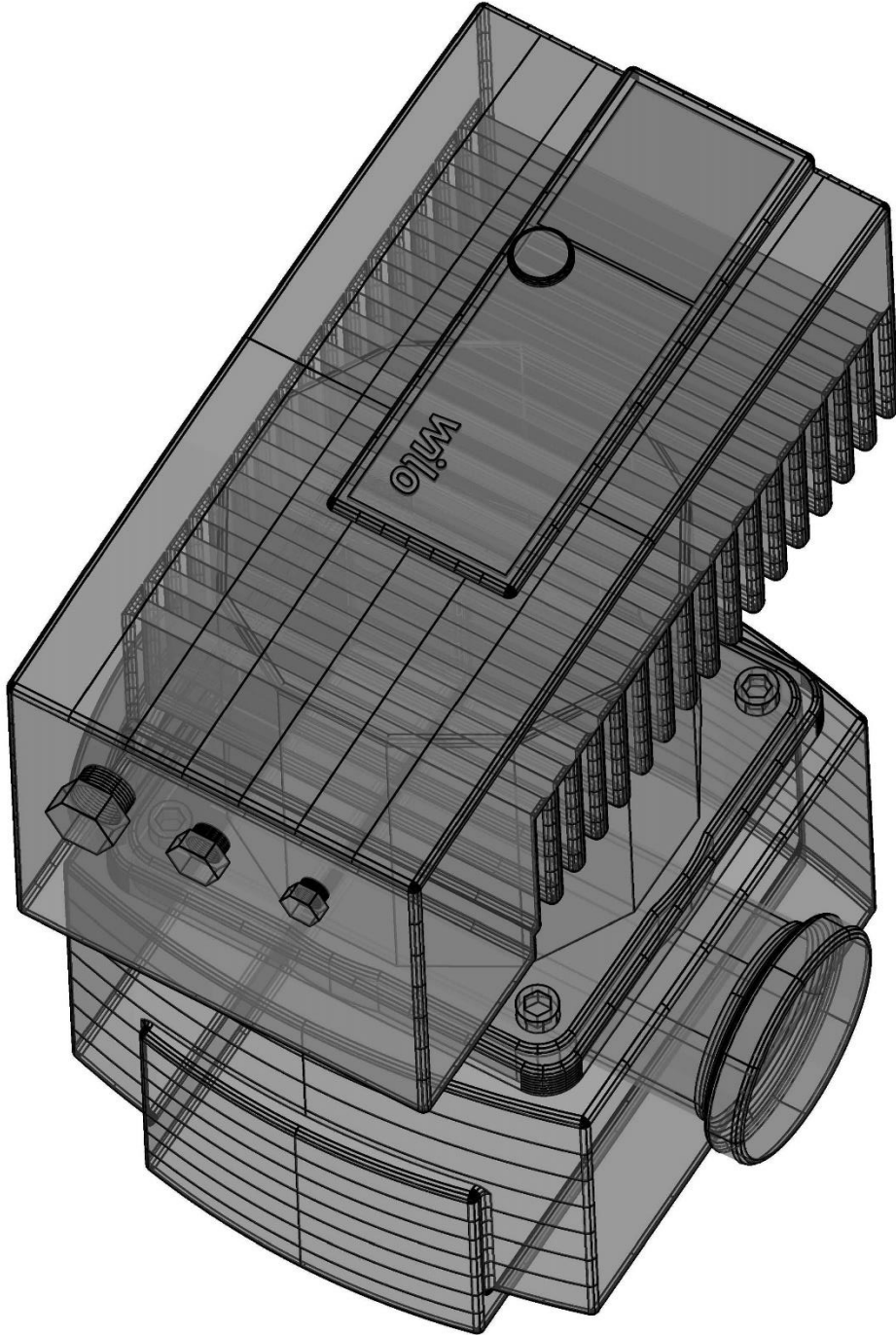
15. Καυστήρας



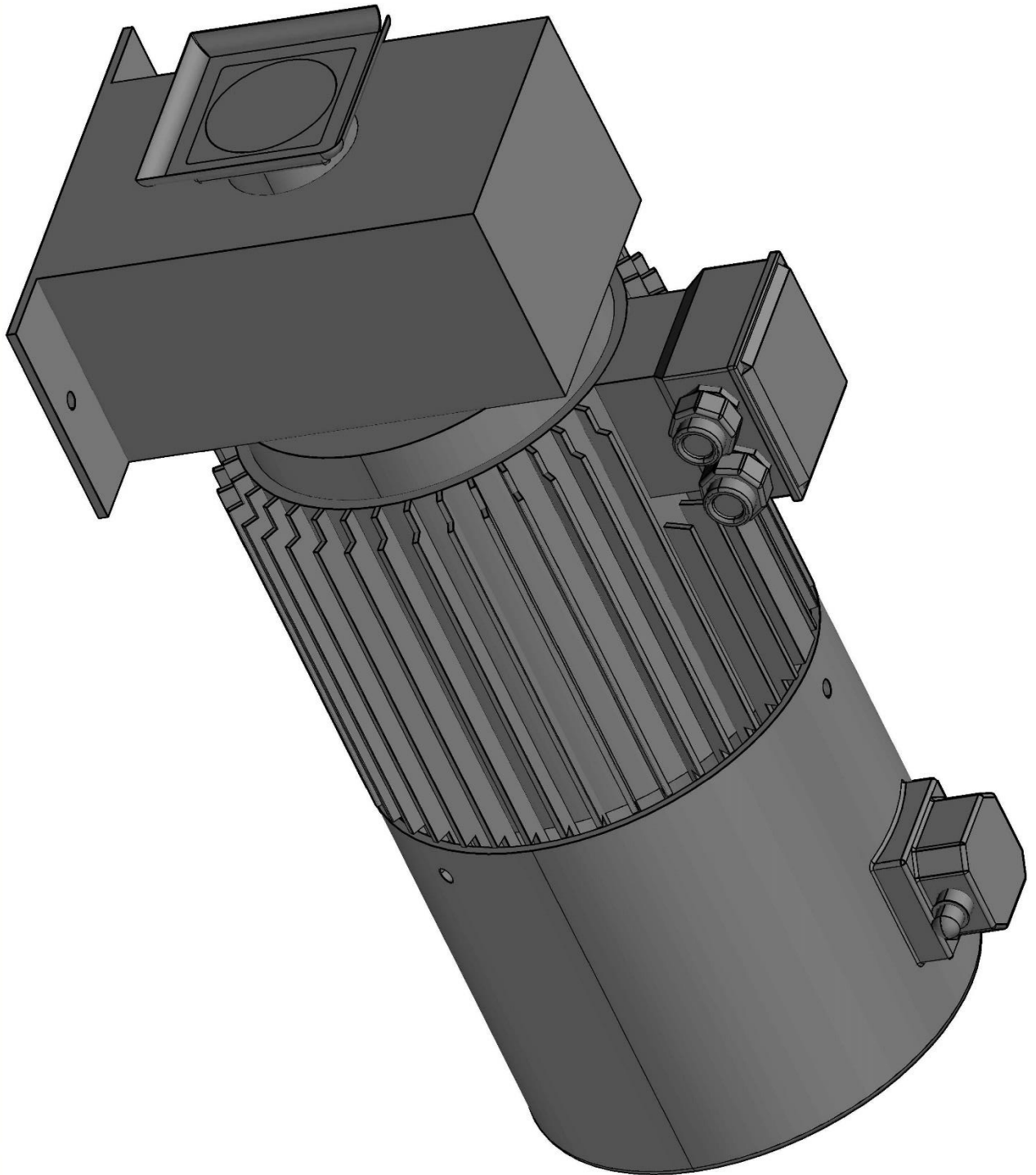
16. Δοχείο διαστολής



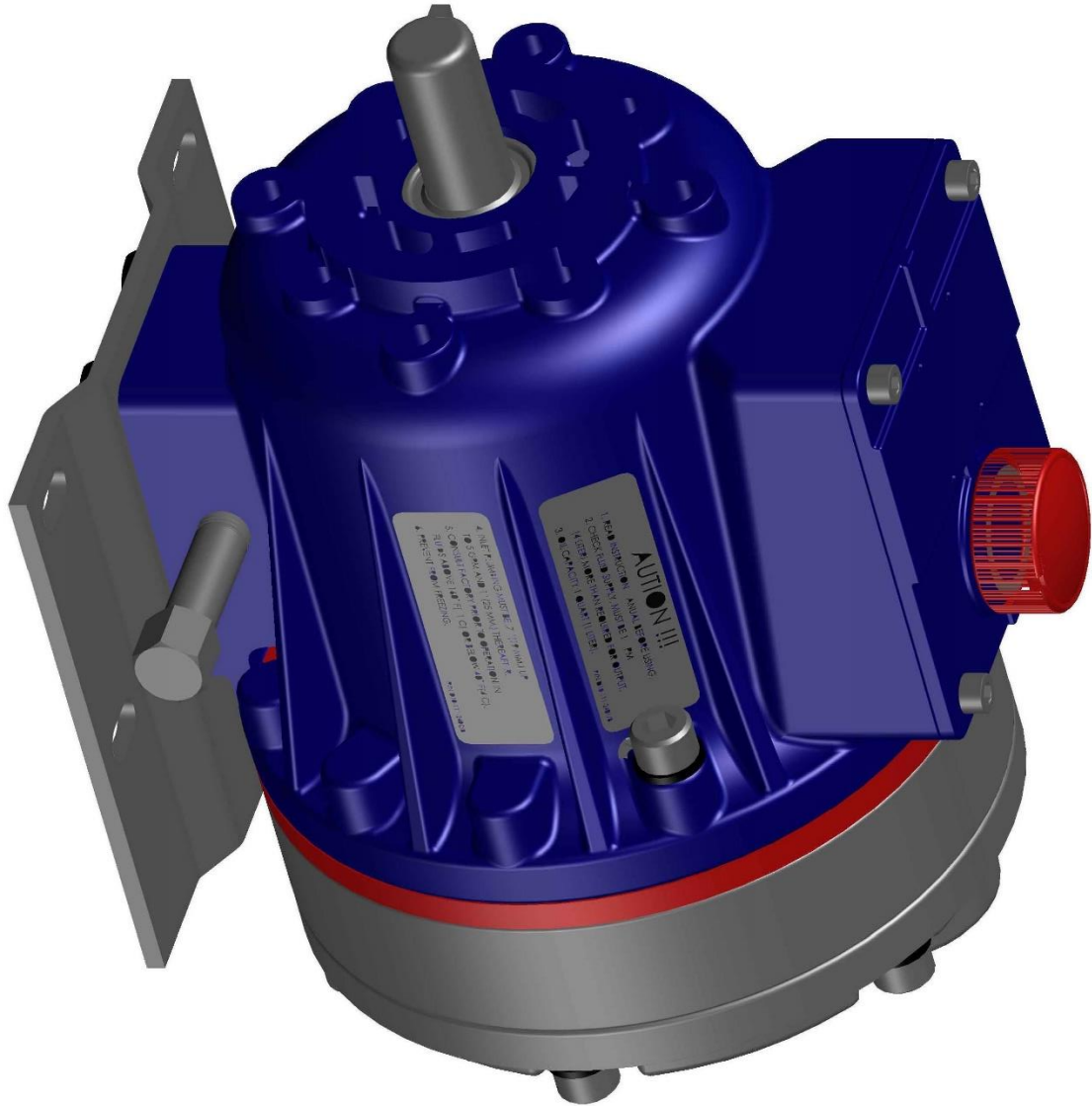
17. Κυκλοφορητής Wilo Stratos



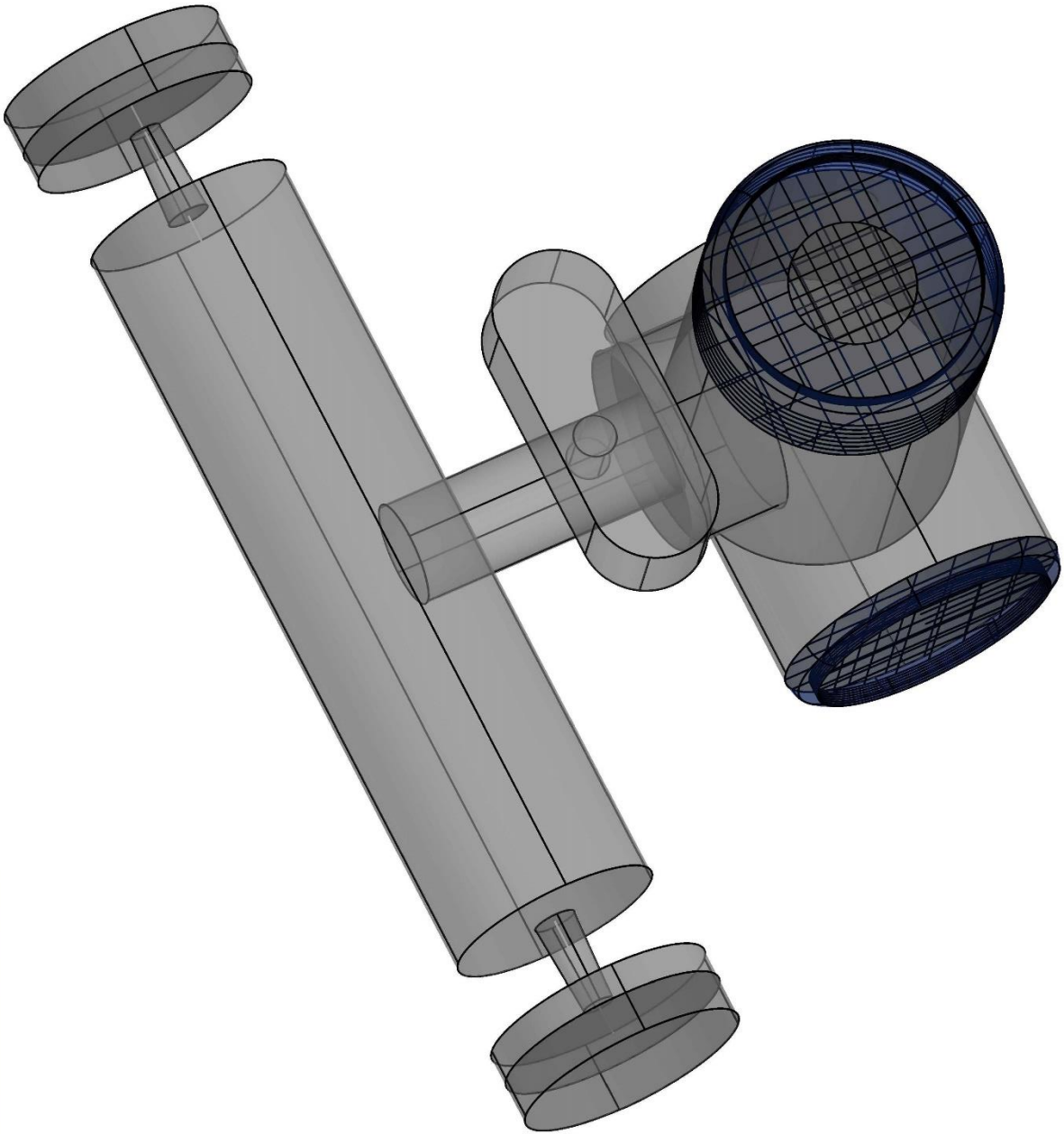
18. Κινητήρας τροφοδοτικής αντλίας



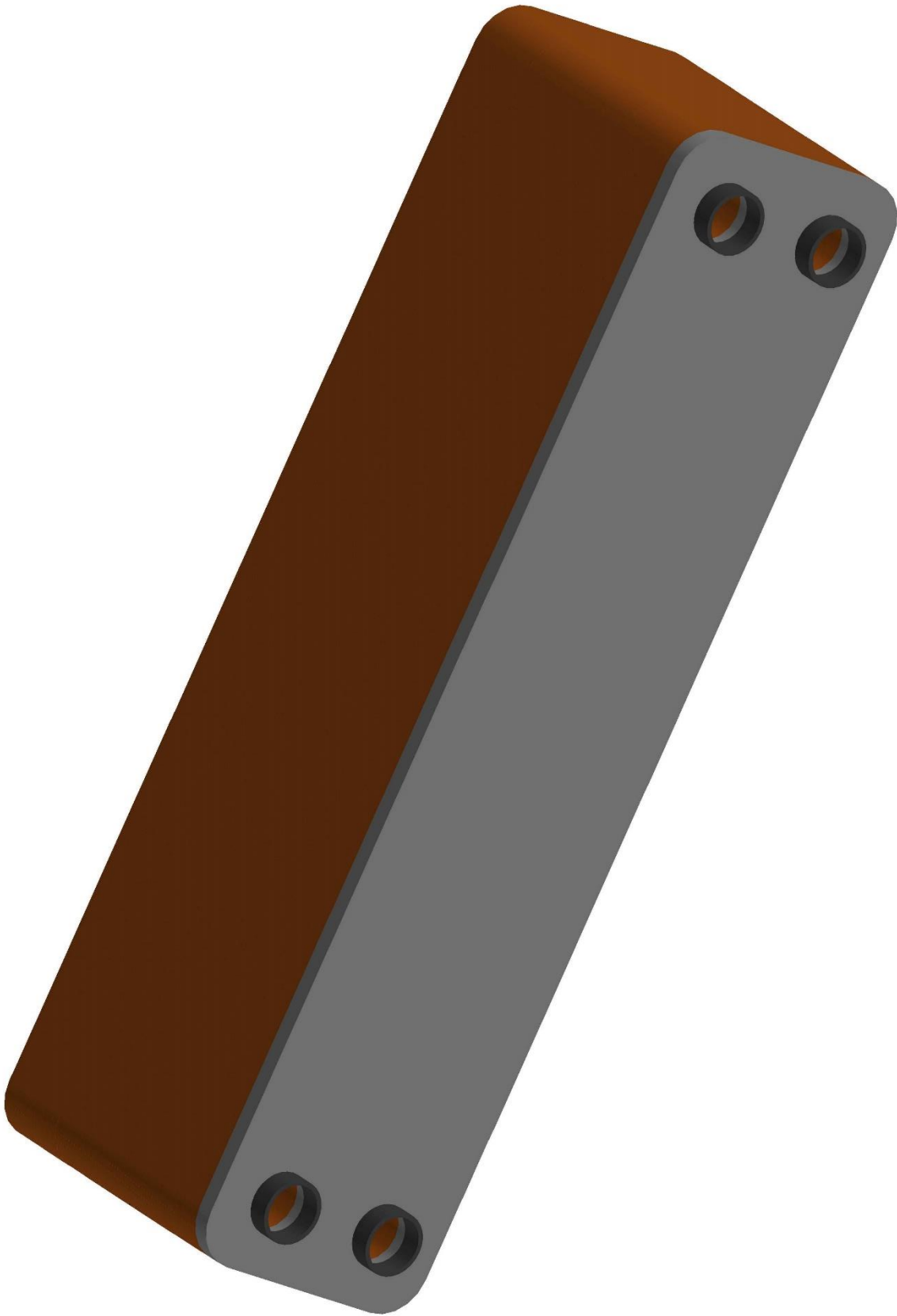
19. Τροφοδοτική αντλία



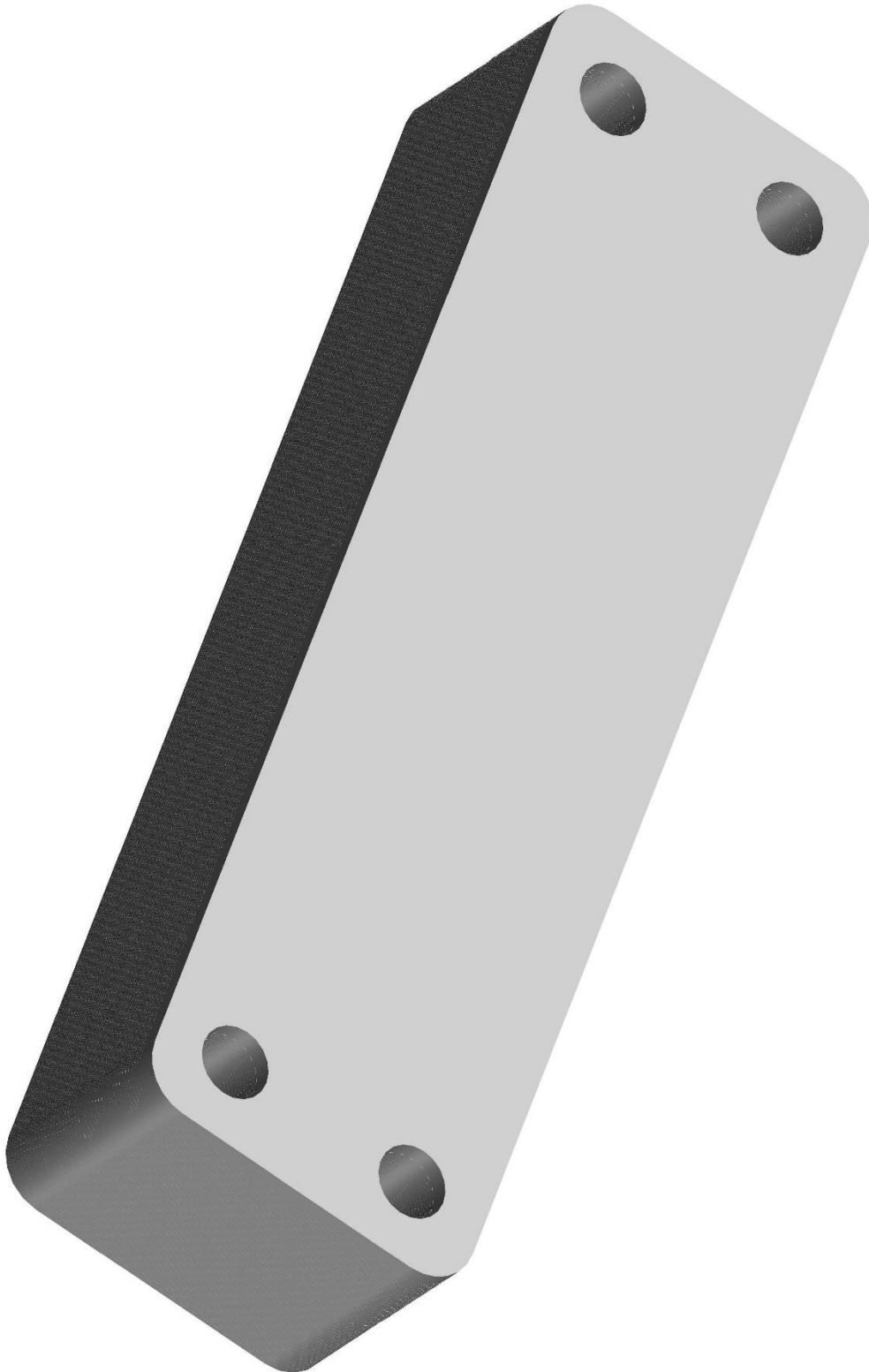
20. Ροόμετρο Coriolis



21. Ατμοποιητής



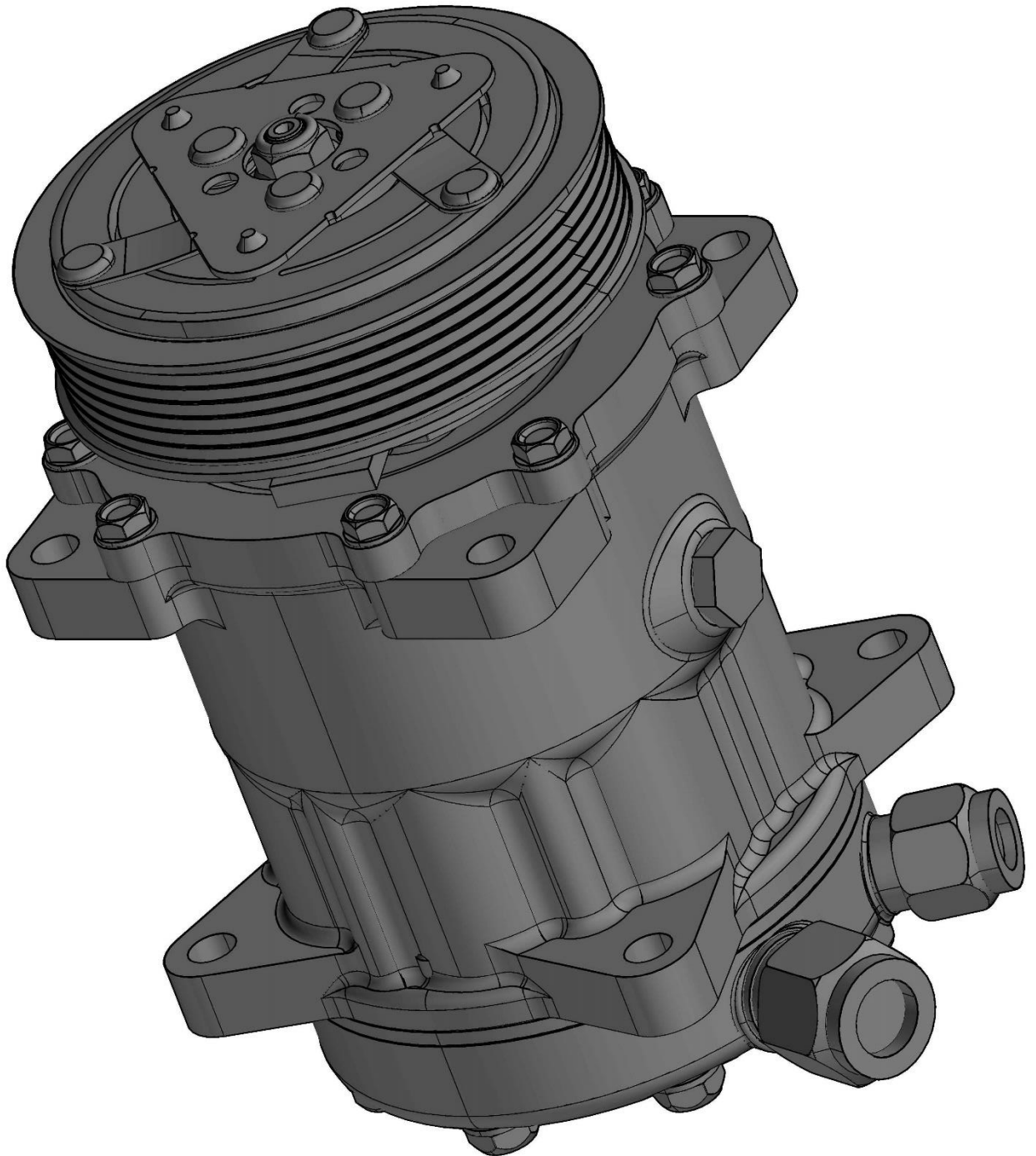
22. Υποψύκτης



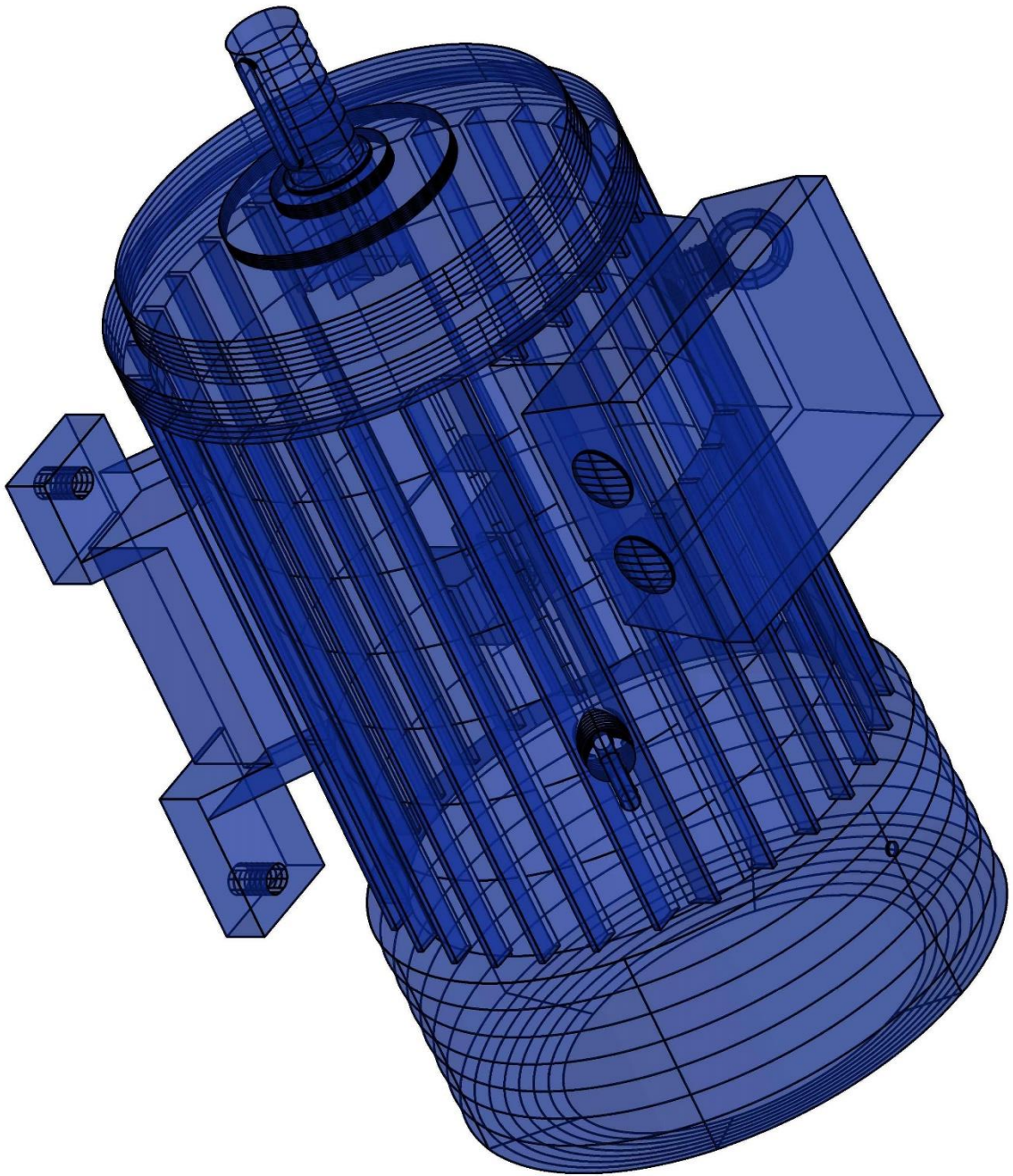
23. Συμποκνωτής



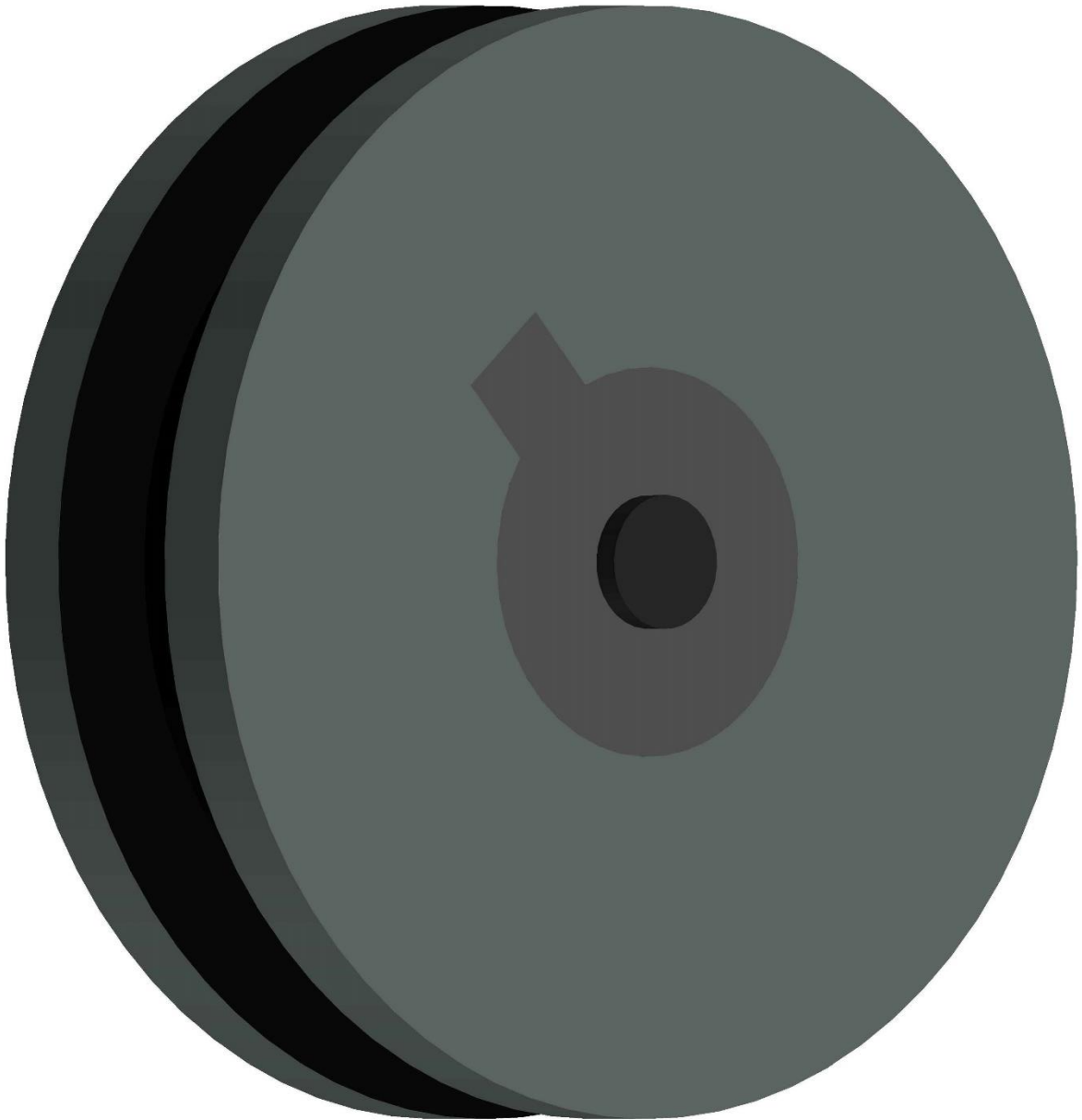
24. Ελικοειδής εκτονωτής



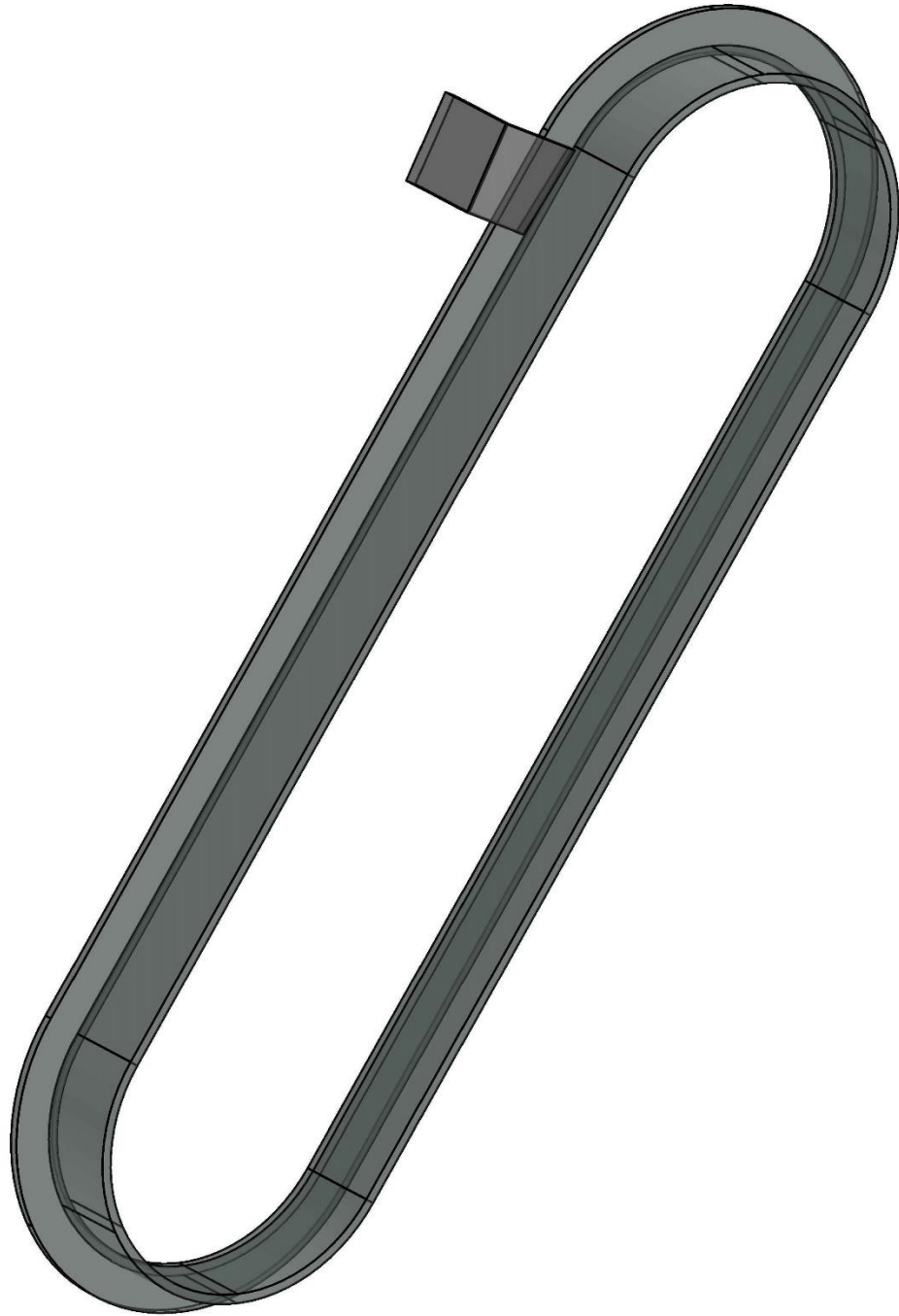
25. Γεννήτρια



26. Τροχαλία



27. Προφυλακτήρας



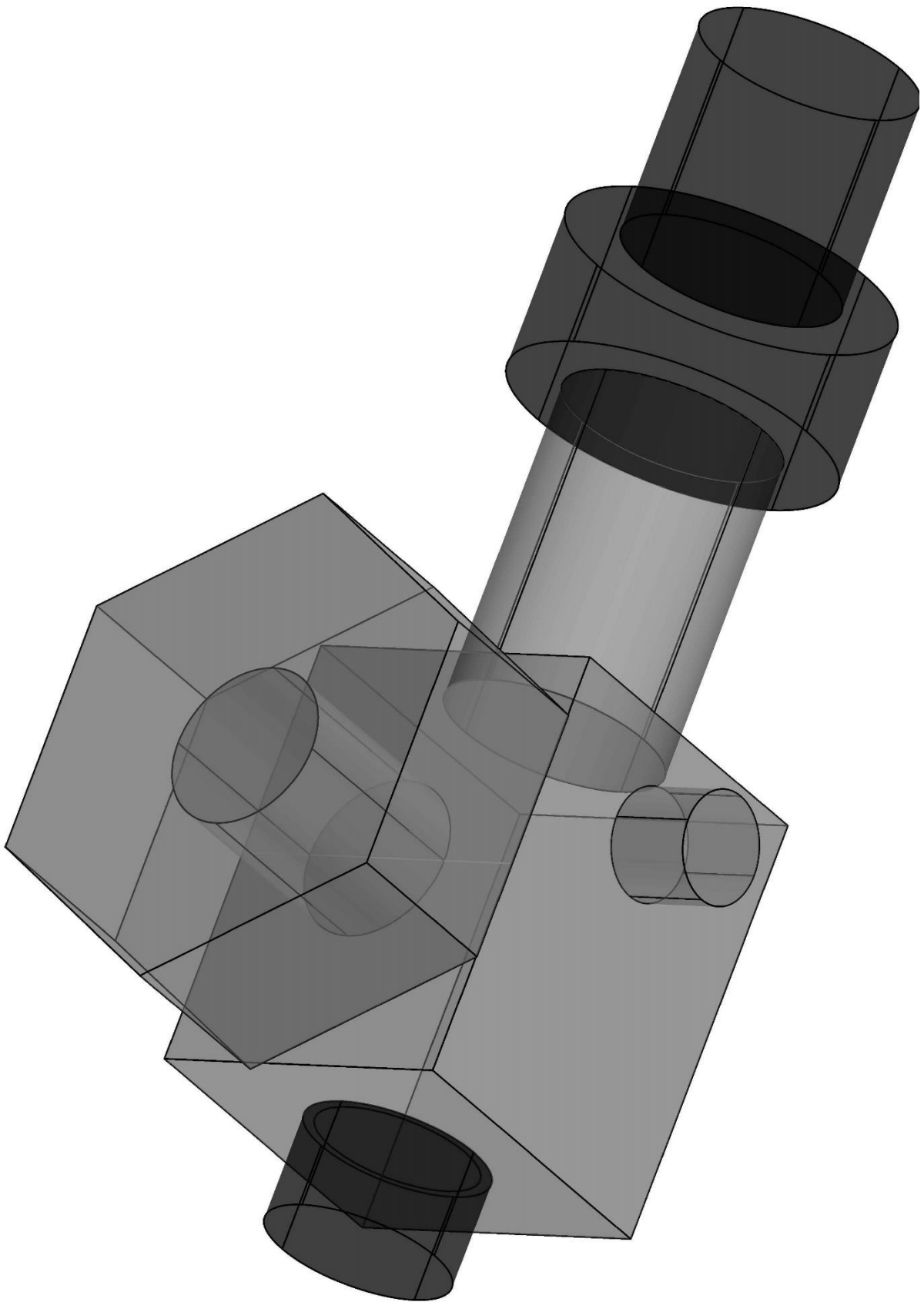
28. Τροφοδοτικό δοχείο



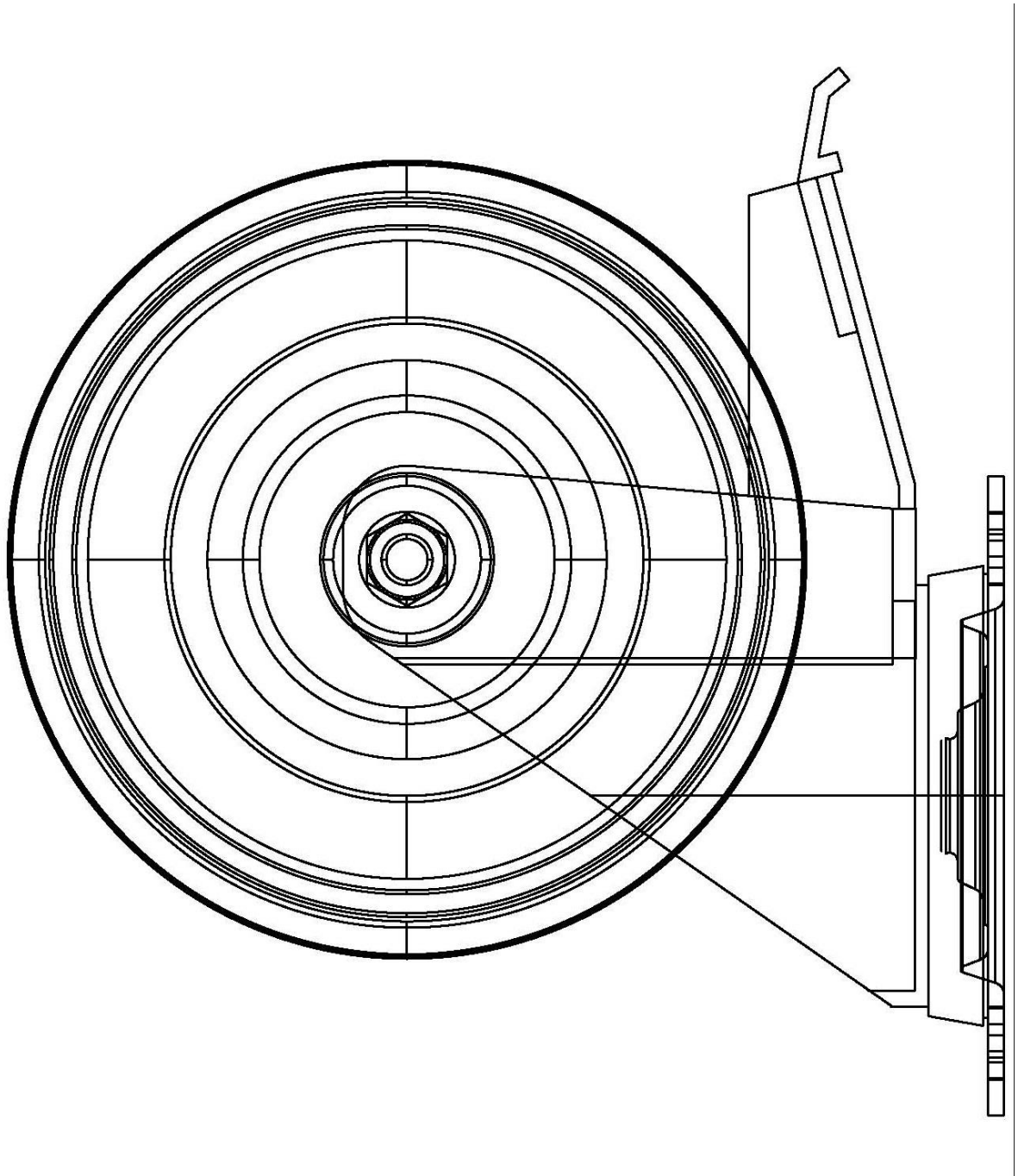
29. Φίλτρο



30. Χειροκίνητη βαλβίδα Rotaloc



31. Τροχός Βάσης



6. Βιβλιογραφία

- [1]: Κύκλος Rankine. Διαθέσιμος από: <http://sounak4u.weebly.com/vapour--combined-power-cycle.html>
- [2]: R. Bini, M. Di Prima and A. Guercio (2010) Organic Rankine cycle (ORC) in biomass plants: An overview on different applications, Turboden Srl, Italy.
Διαθέσιμο από: http://www.turboden.eu/it/public/downloads/10A02943_paper_marco.pdf
- [3]: S. Karellas, A. Schuster, A. Leontaritis (2012) Influence of supercritical ORC parameters on plate heat exchanger design, Applied Thermal Engineering, Pages 70–76, Volumes 33–34.
- [4]: J. Bao and L. Zhao (2013) A review of working fluid and expander selections for Organic Rankine Cycle, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Pages 325-342, Volume 24.
- [5]: G. Qiu (2012) Selection of working fluids for micro-CHP systems with ORC, Renewable Energy, Pages 565-570, Volume 48.
- [6]: A. Lakew and O. Bolland (2010) Working fluids for low-temperature heat source, Applied Thermal Engineering, Pages 1262-1268, Volume 30.
- [7]: T. Guo, H. Wang and S. Zhang (2011) Fluids and parameters optimization for a novel cogeneration system driven by low-temperature geothermal sources, Energy, Pages 2639-2649, Volume 36.
- [8]: **ODP (Οδηγία 2037/2006 EU)**
Τα αρχικά σημαίνουν «Ozone Depletion Potential» και αναφέρεται στη σχετική υποβάθμιση που προκαλεί το εν λόγω ψυκτικό στο στρώμα όζοντος της ατμόσφαιρας, με το τριχλωροφθορομεθάνιο (R-11 ή CFC-11) και έχει την τιμή αναφοράς 1,0. Τα άτομα του Χλωρίου στη μοριακή σύσταση του ψυκτικού είναι αυτά που προκαλούν την υποβάθμιση του στρώματος του όζοντος, τα οποία συμβολίζονται με το πρώτο C στα ψυκτικά CFC και HCFC. Σταδιακά αυτά τα ψυκτικά θα αντικατασταθούν από τα HFC και HFE τα οποία δεν περιέχουν χλώριο και συνεπώς ο δείκτης ODP παίρνει μηδενική τιμή. Ενδεικτικά, το R123 θα αντικατασταθεί σταδιακά από τον υδροφθοράνθρακα HFE7000 λόγω του μηδενικού ODP που έχει ο δεύτερος. Σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ το R123 θα έχει αποσυρθεί μέχρι το τέλος του 2030.
- [9]: **GWP (Οδηγία 517/2014 EU) – Πρωτόκολλο Μόντρεαλ**
Με τα αρχικά να σημαίνουν «Global Warming Potential», είναι ένα σχετικό μέτρο που δείχνει πόση θερμότητα παγιδεύει στην ατμόσφαιρα ένα αέριο του θερμοκηπίου. Σαν αναφορά έχει τεθεί το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) με τιμή GWP ίση με 1,0. Οι υπερφθοράνθρακες (PFC) σταδιακά θα αποσυρθούν και θα αντικατασταθούν από άλλα υποψήφια ψυκτικά λόγω του μεγάλου δείκτη GWP. Επίσης το σύνηθες ψυκτικό για χαμηλές θερμοκρασίες R134a (HFC-134a) σταδιακά θα αντικατασταθεί από το R123γf λόγω του υψηλού του GWP. Ο κανονισμός αυτός επιβλήθηκε αρχικά το 2006 και αναθεωρήθηκε το 2014 για να τεθεί σε ισχύ από 1/1/2015 με κύριους άξονες του:
1. Τον περιορισμό του συνολικού ποσού των φθοριούχων αερίων που μπορούν να πωλούνται στην ΕΕ από το 2015 και μετά και τη σταδιακή τους μείωση στο ένα πέμπτο των πωλήσεων του 2014 μέχρι το 2030.
 2. Απαγόρευση της χρήσης των φθοριούχων αερίων σε νέες συσκευές για τις οποίες λιγότερο επιβλαβείς εναλλακτικές είναι ευρέως διαθέσιμες, όπως συστήματα ψύξης, κλιματισμού, αεροί και aerosols
 3. Πρόληψη των εκπομπών φθοριούχων αερίων από τον υπάρχοντα εξοπλισμό, με τον διενέργεια ελέγχων, τη σωστή επισκευή και την ανάκτηση των αερίων που υπάρχουν σε συσκευές οι οποίες βγαίνουν στο τέλος της ζωής τους.
- [10]. Ξ. Κακάτσιος (2006) Αρχές Μεταφοράς Θερμότητας και Μάζης, Εκδόσεις Συμεόν, Αθήνα, σελ. 381-382.
- [11]. T. Kuppan (2000) Heat exchanger design handbook, Marcel Dekker Inc, New York, Pages 347-351

[12]. http://www.ari.org/App_Content/ahri/files/standards%20pdfs/ANSI%20standards%20pdfs/ANSI.AHRI%20495-2005-.pdf

[13]. <http://www.herculesvanbodies.com/Refrigeration-Mannual.pdf>

[14]. <http://www.dryall.net/lrr.html>