



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

**«Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος  
και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση  
Autodesk Inventor»**

Διπλωματική Εργασία

**Μιχάλης Πυθαρούλης**

Μέλη τριμελούς εξεταστικής επιτροπής:

Απόστολος Δ. Παπανικολάου (Καθηγητής ΕΜΠ, επιβλέπων)

Γεώργιος Ζαραφωνίτης (Αν. Καθηγητής ΕΜΠ)

Αλέξανδρος Γκίνης (Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ)

ΑΘΗΝΑ, Φεβρουάριος 2013

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία φτάνεις στο τέλος της η ακαδημαϊκή μου πορεία στην Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών. Μία πορεία γεμάτη ευχάριστων στιγμών και πολύτιμων γνώσεων.

Η παρούσα διπλωματική εργασία δεν θα ερχόταν εις πέρας χωρίς την στήριξη συγκεκριμένων ανθρώπων. Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον καθηγητή της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Διευθυντή του Εργαστηρίου Μελέτης Πλοίου και Επιστημονικό Υπεύθυνο της συγκεκριμένης διπλωματικής κύριο Απόστολο Δ. Παπανικολάου για την εμπιστοσύνη που επέδειξε στο πρόσωπό μου παραχωρώντας το συγκεκριμένο θέμα διπλωματικής εργασίας και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του κατά την πορεία υλοποίησης της συγκεκριμένης διπλωματικής.

Εκτιμώ δεόντως τον σημαντικό ρόλο που αποτέλεσε η συμβολή του λέκτορα του University of Strathclyde Glasgow κυρίου Ευάγγελου Κ. Μπουλουγούρη, η ευρεία γνώση του οποίου σε θέματα λογισμικών που χρησιμοποιούνται στην Ναυπηγική Βιομηχανία, μου έδωσε το απαραίτητο έρσιμα, καθοδήγηση και βοήθεια προκειμένου να έρθω σε επαφή και να εφοδιαστώ με γνώσεις σχετικά με την χρήση και τα πλεονεκτήματα πολλών προγραμματιστικών εργαλείων, απαραίτητα για ένα επαγγελματία Ναυπηγό Μηχανολόγο Μηχανικό.

Η γνωριμία μου με τον πρωτόγνωρο μέχρι πρότινος, «κόσμο» των κινούμενων τρισδιάστατων μοντέλων έγινε ομαλά, άμεσα και αποτελεσματικά χάρης στην ανεκτίμητη βοήθεια και καθοδήγηση του Επίκουρου Καθηγητή κυρίου Αλέξανδρου Α. Γκίνη, ο οποίος εφοδιασμένος με πολύ υπομονή, με μύησε στον κόσμο του animation.

Ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει στην καθημερινή βοήθεια και συμβουλή του Υποψήφιου Διδάκτορα κυρίου Τιμολέων Γ. Πλέσσα, η οποία ήταν συνεχή και άρτια προσαρμοσμένη στις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής.

Σημαντική συνεισφορά είχαν τρεις, πάνω απ' όλα φίλοι, αξιόλογοι συνεργάτες και συμφοιτητές μου ο κύριος Δημήτριος Βλάχος, ο κύριος Λάμπρος Νικολόπουλος και ο κύριος Νικόλαος Μαντάκος, οι οποίοι με συμβούλευαν σε διάφορα θέματα της παρούσας διπλωματικής και με τους οποίους συνεργάστηκα σε ποικίλες μελέτες όπως είναι η διπλή συμμετοχή στον διεθνή διαγωνισμό ναυπηγικής *VISION OLYMPICS* κατά τα έτη 2011 και 2012.

Τελευταία και πιο θερμή ευχαριστία στέλνω στην οικογένειά μου, στους γονείς μου, Σταύρο και Στέλλα και στον αδερφό μου, Μανώλη, για την πολύτιμή και

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

αδιάλειπτη βοήθεια, υποστήριξη και συμβολή, τόσο κατά την διάρκεια όλων των σπουδών, όσο και στην έντονη περίοδο περάτωσης της παρούσας διπλωματικής.

Μιχάλης Πυθαρούλης  
Αθήνα, Φεβρουάριος 2013

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αφιερώνεται στην ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ μου,  
προς αναγνώριση της ανεκτίμητης συνεισφοράς της.

## Περιεχόμενα

1.1 Περίληψη .....	1
1.2 Abstract .....	2
2. Εισαγωγή.....	3
3. Διερεύνηση λογισμικών και επιλογή προγράμματος υλοποίησης της μοντελοποίησης.....	4
1. Catia V5R21 – Dassault Systems .....	7
2. Rhinoceros Version 4.0 SR9 .....	9
3. Autodesk Inventor Professional 2013 – Autodesk .....	11
4. Autocad P & ID 2011 – Autodesk.....	14
5. ShipConstructor 2005 .....	17
6. PDMS 12.0 SP6 – Aveva .....	19
7. Solidworks – Dassault Systems .....	21
8. Nupas Cadmatic HVAC, Outfitting, Accommodation, Electrical .....	24
9. Papricad 3D – Procad .....	26
10. Cadpipe Industrial .....	28
11. NPQ Techline .....	30
Συγκεντρωτική αξιολόγηση λογισμικών μοντελοποίησης .....	33
4. Περιγραφή διαδικασίας μοντελοποίησης δεξαμενών φορτίου και έρματος & απαιτούμενων σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor.....	34
4.1. Κύρια χαρακτηριστικά μοντελοποιημένου πλοίου .....	36
4.2. Μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου και έρματος .....	37
Παραμετρική διαστασιολόγηση δεξαμενών φορτίου και έρματος.....	37
Αρχείο εισαγωγής παραμετροποιημένων μεγεθών / διαστάσεων .....	42
Διαδικασία σχεδίαση δεξαμενής.....	45
Δημιουργία ολοκληρωμένου 3D μοντέλου δεξαμενών φορτίου & έρματος .....	57
Πλεωνεκτήματα μοντελοποίησης δεξαμενών έρματος και φορτίου στο Inventor – Λήψη αποτελεσμάτων .....	65
Ακρίβεια μεθόδου – Σύγκριση ληφθέντων αποτελεσμάτων με ακριβή στοιχεία πλοίου .....	72
4.3. Μοντελοποίηση δικτύου σωληνώσεων για την υποστήριξη δεξαμενών φορτίου και έρματος.....	76
Τρόποι χάραξης σωληνώσεων.....	76

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Αρχείο εισαγωγής συντεταγμένων αρχής & τέλους κάθε σωλήνα.....	77
Διαδικασία σχεδίαση σωλήνωσης.....	79
Δημιουργία 3D μοντέλου δικτύου σωληνώσεων.....	87
Πλεονεκτήματα μοντελοποίησης δικτύου σωληνώσεων στο Inventor – Λήψη αποτελεσμάτων .....	124
Στοιχεία μοντελοποιημένου 3D δικτύου σωληνώσεων.....	132
4.4. Σύνδεση μοντελοποιημένων δεξαμενών και μοντελοποιημένου δικτύου σωληνώσεων.....	133
Εισαγωγή & ένωση 3D μοντέλου δεξαμενών και δικτύου σωληνώσεων.....	133
Πλεονεκτήματα μοντελοποίησης δεξαμενών έρματος και φορτίου & δικτύου σωληνώσεων στο Inventor .....	140
4.5. Προσομοίωση απόκρισης συνθετικού μοντέλου εκφόρτωσης δεξαμενοπλοίου .....	142
Εισαγωγή 3D μοντέλου από το Inventor στο Maya .....	142
Τροποποίηση / επεξεργασία μοντέλου.....	145
Διαδικασία προσομοίωσης trim και στάθμης ρευστού στις δεξαμενές.....	149
4.6. Σύνοψη εξαγόμενων αποτελεσμάτων κατά την πορεία της μοντελοποίησης .....	159
Αποτελέσματα από διαδικασία μοντελοποίησης δεξαμενών φορτίου και έρματος.....	159
Αποτελέσματα από διαδικασία μοντελοποίησης δικτύου σωληνώσεων .....	163
5. Σύνοψη και συμπεράσματα .....	165
6. Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη και επέκταση εργασίας .....	166
7. Βιβλιογραφία .....	167
Παράρτημα Α: 3D μοντέλα δεξαμενών φορτίου & έρματος .....	169
Δεξαμενές Φορτίου Αριστερής Πλευράς (Port Side).....	169
Δεξαμενές Έρματος Αριστερής Πλευράς (Port Side) .....	171
Παράρτημα Β: 3D μοντέλο δικτύου σωληνώσεων.....	173
Παράρτημα Γ: Περιγραφή διαδικασίας εύρεσης βέλτιστης διαδρομής σωληνώσεων .....	174

## 1.1 Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τον τρόπο ανάπτυξης τρισδιάστατων μοντέλων δεξαμενών φορτίου και έρματος, καθώς και του απαραίτητου δικτύου σωληνώσεων υποστήριξης των ανωτέρω δεξαμενών.

Η επίτευξη της μοντελοποίησης των δεξαμενών έρματος και του δικτύου σωληνώσεων πραγματοποιείται με παραμετρικό τρόπο, προκειμένου να καταστεί εφικτή η άμεση επανασχεδίαση των ανωτέρω σε οποιοδήποτε υποκείμενο νέο υπό μελέτη πλοίο.

Στα πλαίσια της ορθής παραμετρικής μοντελοποίησης δίδεται ιδιαίτερη έμφαση στον τρόπο σύζευξης τόσο μεταξύ των επιμέρους δεξαμενών, όσο και μεταξύ των δεξαμενών και του παρεχόμενου δικτύου σωληνώσεων, που επιτρέπουν την ομαλή λειτουργία τους. Ο λόγος της παραπάνω ιδιαιτερότητας στη μοντελοποίηση είναι η εξασφάλιση ορθής διάταξης ύστερα από ενδεχόμενη αλλαγή των παραμέτρων των ανωτέρω μοντέλων.

Η ανάπτυξη τρισδιάστατων μοντέλων διευκολύνει στον έλεγχο της αναπτυσσόμενης διάταξης από την οπτική γωνία της εργονομικής μελέτης. Το κύριο πλεονέκτημα του παραμετρικού μοντέλου που αναπτύχθηκε στην συγκεκριμένη διπλωματική μελέτη έγκειται στην δυνατότητα αναδιάταξης και τροποποίησής του με άμεσο και ιδιαίτερα εύκολο τρόπο, ακόμα από μη πεπειραμένους χρήστες λογισμικών μοντελοποίησης (CAD). Εκτός του ανωτέρου πλεονεκτήματος, ένα εξίσου σημαντικό πλεονέκτημα που παρέχει το συγκεκριμένο παραμετρικό μοντέλο στον χρήστη, είναι οι εξαγόμενες πληροφορίες σχετικά με ακριβή γεωμετρικά στοιχεία, όπως είναι ο όγκος, το κέντρο βάρους, οι ροπές αδρανείας ως προς τον κεντροβαρικό άξονα του μοντέλου κτλ. Βασιζόμενοι στα παραπάνω πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου παραμετρικού μοντέλου, καθίσταται εφικτή και με μεγάλη ακρίβεια, η εκτίμηση της τελικής συμπεριφοράς ενός πλοίου ύστερα από μια υποκείμενη μετασκευή.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έγινε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος REFRESH, στο οποίο συμμετείχε το Εργαστήριο Μελέτης Πλοίου. Αντικείμενο του συγκεκριμένου ερευνητικού προγράμματος είναι η αναβάθμιση της ενεργειακής απόδοσης, τόσο υπαρχόντων πλοίων, όσο και νέων κατασκευών. Για την επίτευξη της οικολογικής λειτουργίας των παραπάνω πλοίων, γίνεται μελέτη σχετικά με την αναδιάταξη των σωληνώσεων, με στόχο την ελαχιστοποίηση των απωλειών τους καθώς και του καθορισμού του βέλτιστου σημείου λειτουργίας διαφόρων εγκατεστημένων μηχανημάτων επί του πλοίου (όπως είναι οι αντλίες κτλ.).

## 1.2 Abstract

The present thesis deals with the way of developing three-dimensional models of water ballast tanks and cargo oil tank and also with the necessary piping system that supports the above mentioned tanks.

The modeling of the cargo oil tanks and the piping system have been developed in parametric way, so the redesign of the above can be achieved directly for any new and under construction (study) ship.

Within the boundaries of the correct parametric modeling, emphasis has been given in the coupling not only between the individual tanks, but also between the supplied piping systems, that allows their smooth operation. The reason for this particularity in the modeling is to secure that the order will remain correct even after changes in the parameters of the above models.

The development of three-dimensional models facilitates the control of the growing pattern from the perspective of the ergonomic study. The main advantage of the parametric model, which has been analyzed in the present thesis, is its ability to be rearranged and modified in a prompt and very easy way, even by software developing inexperienced users. Besides the above, an equally important advantage that this model provides to the user is the extracted information on accurate geometric data, like the volume, the center of gravity, the mass moments of inertia with respect to center of gravity of the model etc.

Based on the properties of the parametric model described above, the estimation of the final behavior of a vessel after an underlying retrofitting becomes feasible and very accurate.

The current thesis is part of the research program REFRESH, in which the Ship Design Laboratory was involved. Purpose of this research project is to upgrade the energy efficiency, both of existing vessels and new constructions. To achieve the ecological function of these ships, there is a study on the rearrangement of piping to minimize their losses and determine the optimum operating point of various machines installed on the ship (such as pumps, etc.).



## 2. Εισαγωγή

Η γεωμετρική απεικόνιση μιας υπό μελέτη διάταξης αποτελεί έναν τρόπο ελέγχου της ορθής και αποτελεσματικής σχεδίασής της.

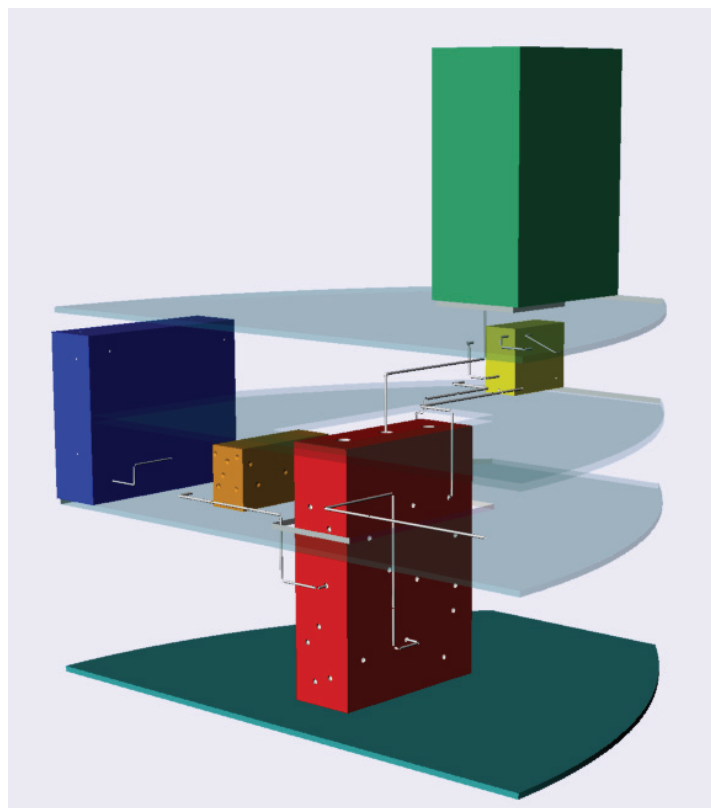
Για την υλοποίηση της μοντελοποίησης των δεξαμενών και του δικτύου σωληνώσεων, αρχικά αναζητείται κατάλληλο πρόγραμμα ανάπτυξης των παραπάνω μοντέλων, η επιλογή του οποίου γίνεται μέσα από ένα μεγάλο εύρος προγραμμάτων. Η αξιολόγησή τους βασίστηκε σε ορισμένα χαρακτηριστικά σχετικά με την επιθυμητή ακρίβεια και τις απαιτήσεις της παρούσας μελέτης. Στην συνέχεια, ακολουθεί περιγραφή της διαδικασίας ανάπτυξης των τρισδιάστατων μοντέλων των δεξαμενών και του δικτύου σωληνώσεων. Έπεται η διαδικασία συναρμογής των ανωτέρω μοντέλων, ενώ στο τέλος παρουσιάζεται ο τρόπος προσομοίωσης της απόκρισης του παραπάνω συνθετικού μοντέλου κατά την διαδικασία εκφόρτωσης των δεξαμενών. Η ορθότητα της διαδικασίας μοντελοποίησης ελέγχεται σταδιακά μέσω των εξαγόμενων αποτελεσμάτων των γεωμετρικών μοντέλων.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μοντελοποίησης βρίσκουν εφαρμογή τόσο σε επίπεδο προμελέτης, όπου αναζητείται μια εκτίμηση της αρχικά σχεδιασθείσας διάταξης (από πλευράς παρεχόμενου όγκου, κέντρων βαρών κτλ), όσο και σε επίπεδο μετασκευής υπάρχοντων πλοίων.

Το κύριο πλεονέκτημα της μοντελοποίησης έγκειται στην δυνατότητα ελέγχου και επιδιόρθωσης των παρεχόμενων σχεδιασθέντων μοντέλων ακόμα και από μη εξειδικευμένους και πεπειραμένους χρήστες λογισμικών σχεδίασης / μοντελοποίησης (CAD).

### 3. Διερεύνηση λογισμικών και επιλογή προγράμματος υλοποίησης της μοντελοποίησης

Στα πλαίσια της διαδικασίας επιλογής του κατάλληλου προγράμματος για την υλοποίηση της μοντελοποίησης των δεξαμενών και του δικτύου σωληνώσεων, παρατίθεται η παρακάτω τυπική διάταξη μηχανολογικής εγκατάστασης η οποία είναι αποδεκτή από άποψη γεωμετρικής ακρίβειας, στα πλαίσια της παρούσας μελέτης.



Εικόνα 3.1. Τρισδιάστατο μοντέλο επιθυμητής ακρίβειας

Στο παραπάνω 3D μοντέλο φαίνεται μια τυπική διάταξη μηχανοστασίου στο οποίο εμφανίζονται με σκούρο πράσινο χρώμα τα εσωτερικά καταστρώματα και το κατάστρωμα έδρασης της κύριας μηχανής, η κύρια μηχανή με κόκκινο, μια γεννήτρια με πορτοκαλί, ορισμένες δεξαμενές με μπλε και κίτρινο και με ανοιχτό πράσινο η καπνοδόχος. Όλα τα παραπάνω είναι συνδεδεμένα με σωληνώσεις.

Προκειμένου να επιλέξουμε το τελικό πρόγραμμα, που όπως μαρτυράει ο τίτλος της διπλωματικής είναι το Inventor της Autodesk, εξετάστηκαν διάφορα προγράμματα και αξιολογήθηκαν. Τα περισσότερα από τα εξεταζόμενα προγράμματα είναι εξειδικευμένα στην σχεδίαση δικτύων σωληνώσεων, ενώ δεν

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

παραλείφθηκαν προγράμματα γενικής τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Για την επίτευξη μιας αντικειμενικής αξιολόγησης των σχεδιαστικών προγραμμάτων τέθηκαν τα ακόλουθα κριτήρια:

- Ευκολία εκμάθησης και χρήσης σε ικανοποιητικό επίπεδο
- Δυνατότητα επίτευξης επιθυμητής ακρίβειας μελέτης
- Φιλικό περιβάλλον εργασίας
- Δυνατότητα παραμετροποίησης
- Δυνατότητα σύνδεσης με άλλα λογισμικά
- Απαιτήσεις επιδόσεων Hardware
- Παροχή εκπαιδευτικής ή δοκιμαστικής «άδειας χρήσης»

Τα σχεδιαστικά προγράμματα που εξετάστηκαν παρουσιάζονται παρακάτω, μαζί με μια σύντομη αξιολόγηση, όπως αυτή προκύπτει από τον χρόνο διατριβής με το εκάστοτε πρόγραμμα. Πρέπει να σημειωθεί ότι ορισμένα από τα παρακάτω προγράμματα δεν διατίθενται από την εκάστοτε κατασκευάστρια εταιρεία ως δοκιμαστική έκδοση (DEMO). Τα προαναφερόμενα προγράμματα αξιολογήθηκαν από τα εγχειρίδια χρήσης τους, τα οποία υπάρχουν στο διαδίκτυο.

Επιγραμματικά, τα σχεδιαστικά προγράμματα που εξετάστηκαν και αξιολογούνται στην συνέχεια, είναι τα παρακάτω:

1. Catia V5R21 – Dassault Systems
2. Rhinoceros Version 4.0 SR9
3. Autodesk Inventor Professional 2013 – Autodesk
4. Autocad P & ID 2011 – Autodesk
5. ShipConstructor 2005
6. PDMS 12.0 SP6 – Aveva
7. Solidworks – Dassault Systems
8. Nupas Cadmatic HVAC, Outfitting, Accommodation, Electrical
9. Papricad 3D – Procad
10. Cadpipe Industrial
11. NPQ Techline

Σε όλα τα παραπάνω προγράμματα που υπήρχε δυνατότητα χρήσης, αρχικά, έγινε προσπάθεια δημιουργίας ενός 3D μοντέλου μηχανοστασίου, όμοιο με αυτό της εικόνα 3.1, ενώ στην συνέχεια έγινε προσπάθεια παραμετροποίησης της όλης διαδικασίας. Στο υπό μελέτη μηχανοστάσιο τα μηχανήματα παρουσιάζονται με ορθογώνια παραλληλεπίπεδα, κύβους και κυλίνδρους. Συγκεκριμένα, τα μηχανήματα όπως η κύρια μηχανή και οι γεννήτριες απεικονίζονται με ορθογώνια παραλληλεπίπεδα ενώ ορισμένες δεξαμενές απεικονίζονται με ορθογώνια

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

παραλληλεπίπεδα, με κύβους ή με κυλίνδρους. Ακολουθεί η αξιολόγηση των παραπάνω προγραμμάτων.

Η αξιολόγηση του εκάστοτε προγράμματος συνοδεύεται από έναν πίνακα συγκεντρωτικής βαθμολόγησής του στους παραπάνω επιμέρους τομείς. Η διάταξη του προαναφερόμενου πίνακα είναι η ακόλουθη. Στην άθροιση της βαθμολογίας του εκάστοτε προγράμματος, η βαθμολογία στον τομέα «Απαιτήσεις επιδόσεων hardware» προστίθεται αρνητικά.

Τομείς	Βαθμολογία Αξιολόγησης				
	1	2	3	4	5
Ευκολία εκμάθησης					
Επίτευξη επιθυμητής ακρίβειας					
Φιλικό περιβάλλον εργασίας					
Δυνατότητα παραμετροποίησης					
Δυνατότητα σύνδεσης με άλλα προγράμματα					
Απαιτήσεις επιδόσεων hardware					
Παροχή εκπαιδευτικής / δοκιμαστικής άδειας χρήσης					

Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι η ακόλουθη αξιολόγηση έγκειται στην προσωπική άποψη του γράφοντος και δεν πρέπει να παρερμηνευτεί ως προώθηση προϊόντος / λογισμικού.

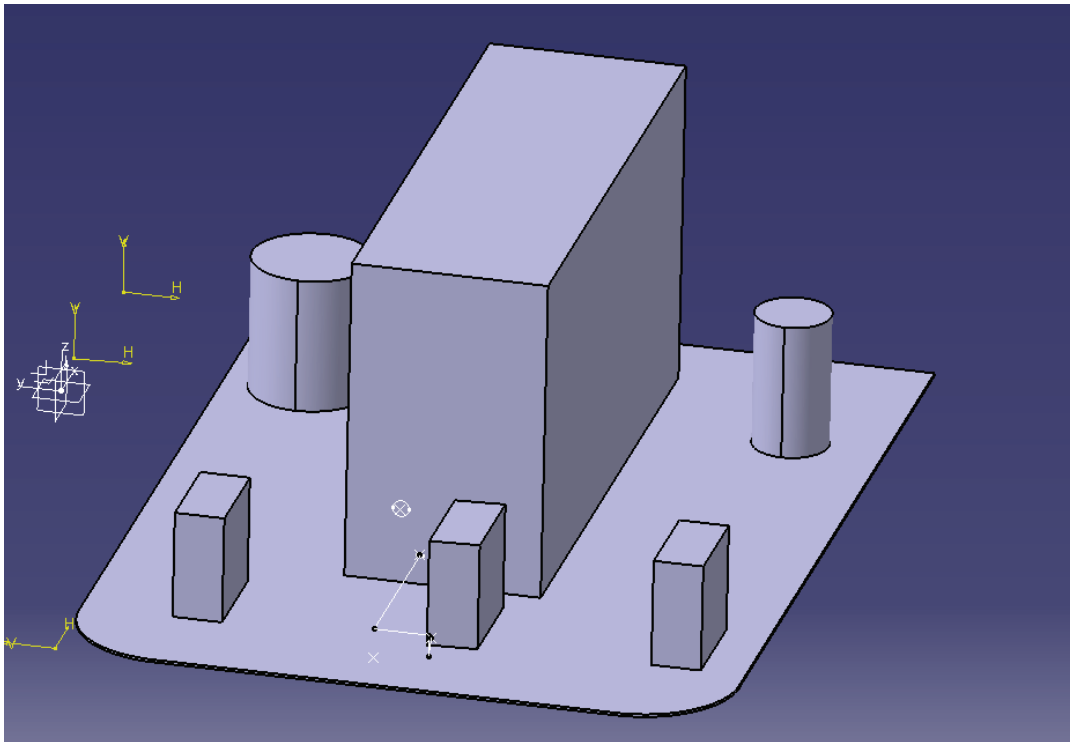
## 1. Catia V5R21 – Dassault Systems

Το Catia είναι από τα προγράμματα που υπάρχουν στο εργαστήριο της σχολής, συνεπώς, ήταν εφικτή η διατριβή με το συγκεκριμένο λογισμικό. Το συγκεκριμένο λογισμικό έχει πάρα πολλές δυνατότητες, το οποίο εκτός από ένα μεγάλο πλεονέκτημα είναι παράλληλα και μεγάλο μειονέκτημα για έναν χρήστη ο οποίος χειρίζεται το Catia για ένα σύντομο χρονικό διάστημα, μόλις 5 μηνών. Αναμφίβολα το Catia είναι από τις πιο ολοκληρωμένες πλατφόρμες εργασίας για έναν μηχανικό, αφού συνδυάζει και παρέχει δυνατότητες πολλών άλλων μηχανολογικών προγραμμάτων. Εκτός από σύνθετα γεωμετρικά σχήματα 2D και 3D παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα να εισάγει πολλές λεπτομέρειες (υλικές, γεωμετρικές κτλ.) και να κάνει πολλές μελέτες επί των παραπάνω γεωμετριών και από διαφορετικές οπτικές γωνίες (π.χ. ανάλυση αντοχής). Για τα δεδομένα της παρούσας μελέτης, το Catia παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας δικτύου σωληνώσεων με ικανοποιητική ακρίβεια και λεπτομέρεια από μια ενσωματωμένη βάση δεδομένων για σωληνώσεις. Επιπλέον, υπάρχει δυνατότητα εργονομικής ανάλυσης των δημιουργούμενων γεωμετριών. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα επικοινωνίας του συγκεκριμένου προγράμματος με άλλα λογισμικά για την εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων, μιας και οι γεωμετρίες μπορούν να παραμετροποιηθούν για την πιο εύκολη και γρήγορη σχεδίαση και μορφοποίησή τους. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα ικανοποιεί κάθε σχεδιαστική ιδιαιτερότητα και επιτυγχάνει την επιθυμητή ακρίβεια της μελέτης. Το Catia παρέχει πάρα πολλές δυνατότητες στον χρήστη, αλλά για να αξιοποιηθούν πρέπει να μελετηθεί βήμα – βήμα το εγχειρίδιο χρήσης του, χωρίς να παρέχεται η δυνατότητα στο να παραλειφθεί κάποιο βήμα προκειμένου να γίνει μετάβαση σε επόμενο, για εξοικονόμηση χρόνου. Από τα παραπάνω εντοπίζονται δύο σημαντικά μειονεκτήματα του προγράμματος. Το πρώτο μειονέκτημα έγκειται στο γεγονός των μεγάλων απαιτούμενων επιδόσεων hardware. Το δεύτερο μειονέκτημα έγκειται στο ότι ο χρήστης για να φτάσει σε ένα επίπεδο ικανοποιητικής ευκολίας χρήσης του, πρέπει να διαθέσει πολλές ώρες εκμάθησης, όχι μόνο μέσω εγχειριδίων χρήσεις, αλλά και μέσω διαδραστικών προγραμμάτων εκμάθησης (σεμινάρια, eLearning κτλ.). Το σημαντικό αυτό μειονέκτημα ελαττώνεται μέσω του ευχάριστου περιβάλλοντος εργασίας.

Περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με το συγκεκριμένο πρόγραμμα αναγράφονται στην επίσημη ιστοσελίδα του προγράμματος <http://www.3ds.com/products/catia/welcome/>.

Παρακάτω φαίνεται ένα μοντέλο που σχεδιάστηκε στο Catia.

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 3.2. Τρισδιάστατο μοντέλο με χρήση Catia

Τομείς	Βαθμολογία Αξιολόγησης Catia				
	1	2	3	4	5
Ευκολία εκμάθησης		✓			
Επίτευξη επιθυμητής ακρίβειας					✓
Φιλικό περιβάλλον εργασίας				✓	
Δυνατότητα παραμετροποίησης					✓
Δυνατότητα σύνδεσης με άλλα προγράμματα				✓	
Απαιτήσεις επιδόσεων hardware					✓
Παροχή εκπαιδευτικής / δοκιμαστικής άδειας χρήσης				✓	

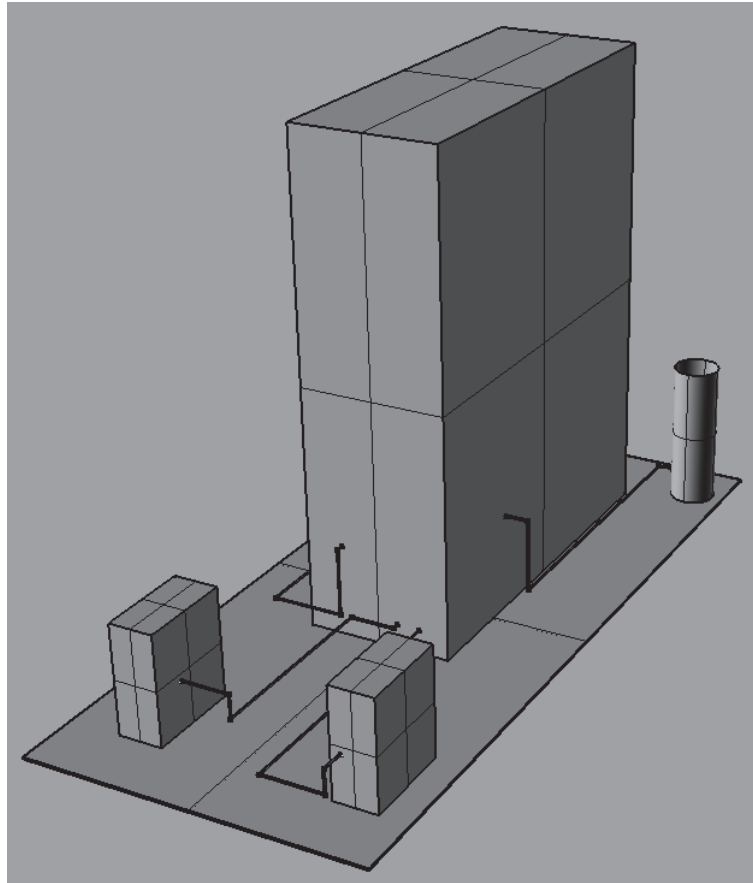
## 2. Rhinoceros Version 4.0 SR9

Το Rhinoceros είναι από τα προγράμματα που υπάρχουν στο εργαστήριο της σχολής, συνεπώς ήταν εφικτή η διατριβή με το συγκεκριμένο λογισμικό. Το λογισμικό αυτό είναι αρκετά εύχρηστο και συνίσταται για την σχεδίαση γεωμετριών μέτριας, αλλά και μεγάλης ακρίβειας. Για την σχεδίαση των σωληνώσεων παρέχεται ειδική εντολή, η οποία δίνει στον χρήστη την δυνατότητα χάραξης τέτοιου είδους γεωμετρίας σε αρκετά σύντομο χρονικό διάστημα. Η γεωμετρική ακρίβεια των σχεδιασθέντων σωληνώσεων είναι μέτρια. Το περιβάλλον εργασίας είναι αρκετά ευχάριστο και εύχρηστο, το οποίο συντελεί θετικά στην ευκολία εκμάθησης και χρήσης του συγκεκριμένου λογισμικού σε σύντομο χρονικό διάστημα. Ένα άλλο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου λογισμικού είναι ότι υπάρχει μεγάλος αριθμός επιπρόσθετων προγραμμάτων (Plug-in) τα οποία παρέχονται από την κατασκευάστρια εταιρεία και αυξάνουν εκθετικά τις όλες ικανότητες του προγράμματος κατά την αρχική του έκδοση. Εγκαθιστώντας το επιπρόσθετο πρόγραμμα Monkey Editor το Rhinoceros μπορεί να προγραμματιστεί και να επικοινωνήσει με πληθώρα άλλων προγραμμάτων μέσω κώδικα γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού VBScript. Ένα ακόμα πλεονέκτημα του Rhinoceros είναι οι μικρές απαιτήσεις επιδόσεων σε hardware. Εκτός, των παραπάνω θετικών του συγκεκριμένου λογισμικού, υπάρχει ένα μειονεκτήματα, το οποίο εμπίπτει στην παρούσα διπλωματική εργασία. Το μειονέκτημα έγκειται στην μη παροχή βάσης δεδομένων για σχεδίαση μέσω συναρμογής μεταξύ σωλήνων (σύνδεσμοι, βαλβίδες κτλ).

Περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με το συγκεκριμένο πρόγραμμα αναγράφονται στην επίσημη ιστοσελίδα του προγράμματος <http://www.rhino3d.com/>.

Παρακάτω φαίνεται ένα μοντέλο που σχεδιάστηκε στο Rhinoceros.

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 3.3. Τρισδιάστατο μοντέλο με χρήση Rhinoceros

Τομείς	Βαθμολογία Αξιολόγησης Rhinoceros				
	1	2	3	4	5
Ευκολία εκμάθησης				✓	
Επίτευξη επιθυμητής ακρίβειας			✓		
Φιλικό περιβάλλον εργασίας				✓	
Δυνατότητα παραμετροποίησης				✓	
Δυνατότητα σύνδεσης με άλλα προγράμματα				✓	
Απαιτήσεις επιδόσεων hardware		✓			
Παροχή εκπαιδευτικής / δοκιμαστικής άδειας χρήσης				✓	



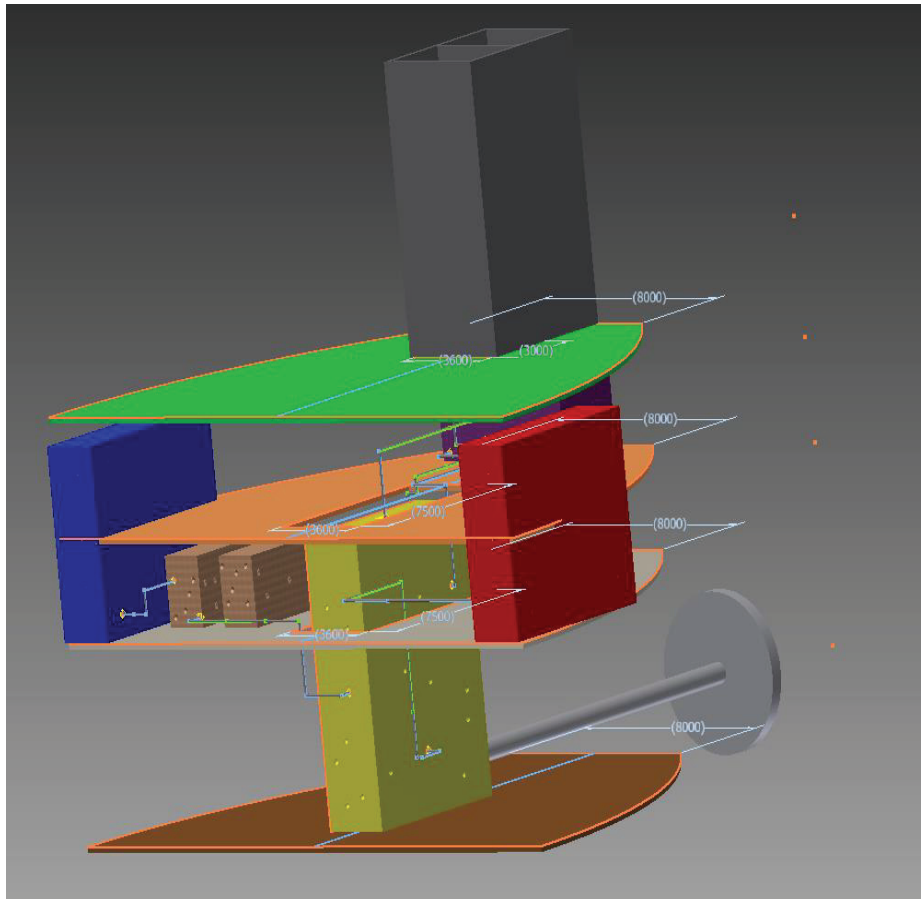
### 3. Autodesk Inventor Professional 2013 – Autodesk

Το Autodesk Inventor Professional είναι από τα προγράμματα που υπάρχουν στο εργαστήριο της σχολής, συνεπώς, ήταν εφικτή η διατριβή με το συγκεκριμένο λογισμικό. Το συγκεκριμένο λογισμικό είναι αρκετά εύχρηστο ακόμα και για άτομα με μικρή εμπειρία στα σχεδιαστικά προγράμματα. Η γραμμή εργαλείων σε πρώτο πλάνο σε συνδυασμό με τα κατανοητά σχήματα του κάθε εργαλείου – εντολής προσφέρει στον χρήστη ένα περιβάλλον εργασίας ιδιαίτερα φιλικό και ευχάριστο. Η δομή του συγκεκριμένου προγράμματος είναι τέτοια που επιτρέπει την άμεση και αποτελεσματική εξοικείωση του χρήστη. Το εγχειρίδιο χρήσης του είναι πλήρες και πολύ κατανοητό, το οποίο δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να μαθαίνουν το Autodesk Inventor Professional σε ικανοποιητικό επίπεδο και σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η εντολή για χάραξη σωληνώσεων που προστέθηκε στις τελευταίες εκδόσεις (συμπεριλαμβανομένου και της συγκεκριμένης), σε συνδυασμό με την μεγάλη και πλήρη ενσωματωμένη βάση δεδομένων σχεδίασης σωληνώσεων δίνει την δυνατότητα χάραξης σύνθετων δικτύων σωληνώσεων με ιδιαίτερα μεγάλη λεπτομέρεια, τόσο γεωμετρική, όσο και υλικοτεχνική (καθορισμός υλικού, υπολογισμός βάρους σωλήνα κτλ). Τόσο οι ιδιαιτερότητες, όσο και η επιθυμητή ακρίβεια της παρούσας μελέτης ικανοποιούνται πλήρως. Το μοντέλο μπορεί να παραμετροποιηθεί με ιδιαίτερη ευκολία. Η επικοινωνία του συγκεκριμένου προγράμματος με άλλα, μπορεί να επιτευχθεί μέσω κώδικα σε γλώσσα προγραμματισμού LISP και εν μέρη με κώδικα σε γλώσσα προγραμματισμού XLM. Επιπλέον επικοινωνία και είσοδος δεδομένων στο παρών πρόγραμμα παρέχεται μέσω αρχείων EXCEL. Η αναδιαμόρφωση της σχεδιασμένης μοντελοποιημένης εγκατάστασης (π.χ. για εργονομικούς λόγους) γίνεται με εύκολο και άμεσο τρόπο. Το Inventor παρέχει ειδική εντολή χάραξης δικτύων σωληνώσεων, μέσω της οποίας παρέχεται η δυνατότητα αναδιάταξής τους, σε περίπτωση μετακίνησης των σημείων σύνδεσης των σωληνώσεων (π.χ. αλλαγή θέσης εγκατάστασης δεξαμενών / μηχανημάτων συνδεδεμένων με σωληνώσεις). Η μεγάλη ακρίβεια και λεπτομέρεια κατά την σχεδίαση δικτύων σωληνώσεων έχει ως συνέπεια τις σχετικά αυξημένες απαιτήσεις επιδόσεων hardware. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Autodesk προσφέρει τα περισσότερα προγράμματά της στους φοιτητές δωρεάν, το οποίο διευκολύνει την όλη μελέτη, μιας και μπορεί να συνεχίζεται και εκτός του εργαστηρίου της σχολής.

Περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με το συγκεκριμένο πρόγραμμα αναγράφονται στην επίσημη ιστοσελίδα του προγράμματος <http://usa.autodesk.com/autodesk-inventor/>.

Παρακάτω φαίνεται ένα μοντέλο που σχεδιάστηκε στο Autodesk Inventor Professional.

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 3.4. Τρισδιάστατο μοντέλο με χρήση Autodesk Inventor Professional

Τομείς	Βαθμολογία Αξιολόγησης Autodesk Inventor Professional				
	1	2	3	4	5
Ευκολία εκμάθησης					✓
Επίτευξη επιθυμητής ακρίβειας					✓
Φιλικό περιβάλλον εργασίας					✓
Δυνατότητα παραμετροποίησης				✓	
Δυνατότητα σύνδεσης με άλλα προγράμματα				✓	
Απαιτήσεις επιδόσεων hardware				✓	
Παροχή εκπαιδευτικής / δοκιμαστικής άδειας χρήσης					✓

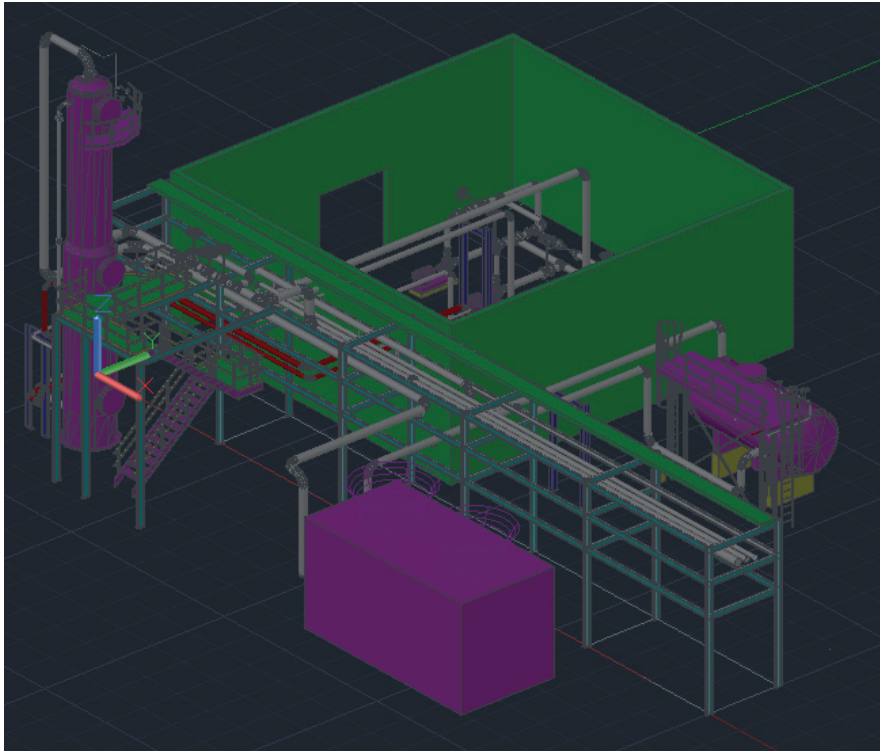
#### 4. Autocad P & ID 2011 – Autodesk

Το Autocad P & ID είναι ένα πρόγραμμα που δεν υπάρχει στο εργαστήριο της σχολής. Παρόλα ταύτα, η Autodesk παρέχει το συγκεκριμένο λογισμικό δωρεάν στους φοιτητές με μία προσωρινή άδεια χρήσης για 30 ημέρες. Το Autocad P & ID είναι ένα λογισμικό ειδικό για σωληνώσεις και παρέχει στον χρήστη μία πλήρη βάση δεδομένων σωληνώσεων, μέσω της οποίας είναι δυνατή η χάραξη σύνθετων δικτύων σωληνώσεων με πολύ μεγάλη λεπτομέρεια, τόσο γεωμετρική, όσο και υλικοτεχνική (καθορισμός υλικού, υπολογισμός βάρους σωλήνα κτλ.). Η απαιτούμενη ακρίβεια της παρούσας διπλωματικής μελέτης καλύπτεται από την μέσω του συγκεκριμένου προγράμματος. Το γεγονός ότι είναι ένα εξειδικευμένο πρόγραμμα σωληνώσεων το κάνει ελαφρώς δύσκολο στην εκμάθησή του μέχρι να φτάσει ο χρήστης σε ένα επίπεδο χρήσης μετρίου επιπέδου. Μπορεί να προγραμματιστεί μέσω κώδικα σε γλώσσα LISP και Visual Basic και να επικοινωνήσει μέσω αυτών με άλλα προγράμματα. Παρόλα αυτά η παραμετροποίηση του μοντέλου δεν είναι εύκολη. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτού του λογισμικού είναι η δυνατότητα άμεσης απεικόνισης του όλου 3D δικτύου της σωληνώσεως με 2D σχέδιο, απεικονίζοντας ταυτόχρονα τα ενδιάμεσα συνδεδεμένα μηχανήματα (αντλίες, βάνες κτλ.) με κατάλληλα σχήματα. Οι απαιτήσεις επιδόσεων hardware είναι μέτριες, αν εξαιρεθεί το μεγάλο μέγεθος των δημιουργούμενων αρχείων. Η εργαλειοθήκη του προγράμματος σε πρώτο πλάνο, σε συνδυασμό με τα εκάστοτε εικονίδια της κάθε εντολής, παρέχει στον χρήστη ένα περιβάλλον εργασίας ιδιαίτερα ευχάριστο.

Περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με το συγκεκριμένο πρόγραμμα αναγράφονται στην επίσημη ιστοσελίδα του προγράμματος <http://usa.autodesk.com/autocad-pid/>.

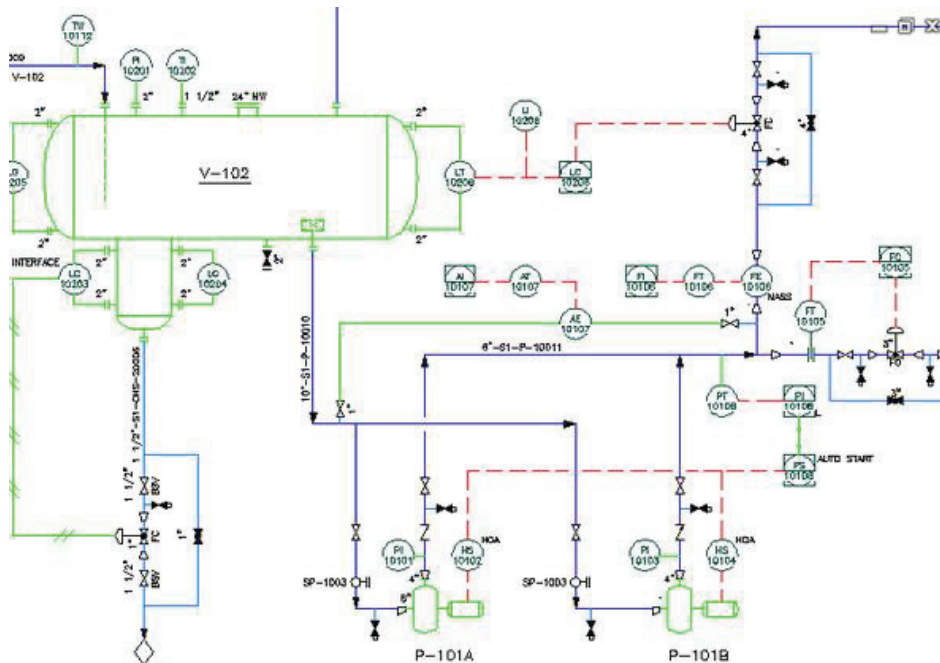
Παρακάτω φαίνεται ένα μοντέλο που παρέχεται από το Autocad P & ID ως παράδειγμα δυνατοτήτων του.

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 3.5. Τρισδιάστατο μοντέλο με χρήση Autocad P & ID

Πηγή: [http://i1-win.softpedia-static.com/screenshots/AutoCAD-P-and-ID\\_1.png](http://i1-win.softpedia-static.com/screenshots/AutoCAD-P-and-ID_1.png)



Εικόνα 3.6. Δισδιάστατο μοντέλο με χρήση Autocad P & ID

Πηγή: <http://autocad.autodesk.com/?readiid=370367>

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Τομείς	Βαθμολογία Αξιολόγησης Autocad P & ID				
	1	2	3	4	5
Ευκολία εκμάθησης			✓		
Επίτευξη επιθυμητής ακρίβειας					✓
Φιλικό περιβάλλον εργασίας				✓	
Δυνατότητα παραμετροποίησης	✓				
Δυνατότητα σύνδεσης με άλλα προγράμματα				✓	
Απαιτήσεις επιδόσεων hardware			✓		
Παροχή εκπαιδευτικής / δοκιμαστικής άδειας χρήσης		✓			

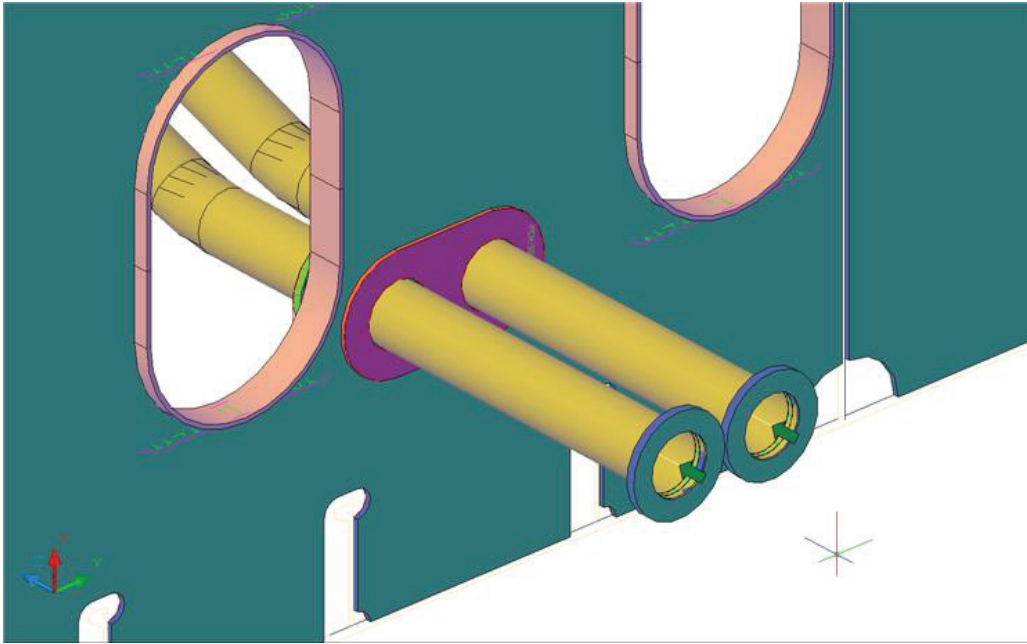
## 5. ShipConstructor 2005

Το ShipConstructor είναι ένα πρόγραμμα που δεν υπάρχει στο εργαστήριο της σχολής. Από έρευνα στο διαδίκτυο σε ποικίλα εγχειρίδια χρήσης και σε βοηθητικά βίντεο, συμπεραίνεται ότι είναι ένα πρόγραμμα με πολλές δυνατότητες στην σχεδίαση της μεταλλικής κατασκευής ενός πλοίου. Παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα σχεδίασης, με ιδιαίτερη λεπτομέρεια, των ενισχυτικών στο εσωτερικό της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου, συμπεριλαμβανομένων των διαμορφώσεων επί αυτών για την υποστήριξη των διαφόρων σωληνώσεων. Θεωρείται αρκετά εξειδικευμένο πρόγραμμα και η εκμάθησή του δεν είναι εύκολη. Η διεξαγωγή διαδικτυακών μαθημάτων χρήσης του συντελεί θετικά στην εξοικείωση του χρήστη, παρόλα αυτά το περιβάλλον εργασίας που παρέχει δεν είναι ιδιαίτερα ευχάριστο και αυτό επιδρά αρνητικά στην επιλογή χρήσης του. Το συγκεκριμένο λογισμικό παρέχει μια πολύ μεγάλη βάση δεδομένων και καλύπτει σε πολύ μεγάλο βαθμό οποιαδήποτε λεπτομέρεια ή ιδιαιτερότητα μπορεί τεθεί σχετικά με το δίκτυο των σωληνώσεων επί του πλοίου. Συνεπώς, η επιθυμητή ακρίβεια της παρούσας μελέτης επιτυγχάνεται, παράλληλα με τις όλες ιδιαιτερότητές της. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα μπορεί να επικοινωνήσει με κατάλληλη γλώσσα προγραμματισμού (XML) με άλλα λογισμικά, μέσω των οποίων δίνεται η δυνατότητα να εισάγονται δεδομένα. Σε ό,τι αφορά τις απαιτήσεις επιδόσεων hardware είναι μέτριες – αναμενόμενες για ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα τέτοιων δυνατοτήτων.

Περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με το συγκεκριμένο πρόγραμμα αναγράφονται στην επίσημη ιστοσελίδα του προγράμματος <http://www.shipconstructor.com/>.

Παρακάτω φαίνεται ένα μοντέλο που παρέχεται από το ShipConstructor ως παράδειγμα δυνατοτήτων του.

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 3.7. Τρισδιάστατο μοντέλο με χρήση ShipConstructor

Πηγή: <http://kb.shipconstructor.com/pages/viewpage.action?pageId=330874>

Τομείς	Βαθμολογία Αξιολόγησης ShipConstructor				
	1	2	3	4	5
Ευκολία εκμάθησης			✓		
Επίτευξη επιθυμητής ακρίβειας					✓
Φιλικό περιβάλλον εργασίας		✓			
Δυνατότητα παραμετροποίησης			✓		
Δυνατότητα σύνδεσης με άλλα προγράμματα				✓	
Απαιτήσεις επιδόσεων hardware			✓		
Παροχή εκπαιδευτικής / δοκιμαστικής άδειας χρήσης	✓				

## 6. PDMS 12.0 SP6 – Aveva

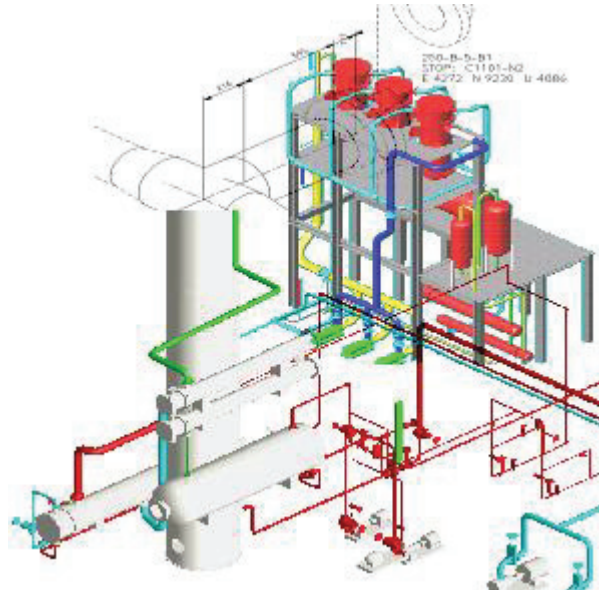
Το PDMS είναι ένα πρόγραμμα που δεν υπάρχει στο εργαστήριο της σχολής, ενώ προσωρινή άδεια χρήσης δεν είναι διαθέσιμη. Συνεπώς, η ανάλυση του συγκεκριμένου προγράμματος βασίζεται σε έρευνα στο διαδίκτυο, σε διάφορα εγχειρίδια χρήσης, σε βοηθητικά βίντεο και σε απόψεις χρηστών αυτού του προγράμματος. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι εξειδικευμένο στην σχεδίαση των σωληνώσεων. Η βάση δεδομένων που διαθέτει για την μοντελοποίηση δικτύων σωληνώσεων είναι πλήρης και δίνει στον χρήστη την δυνατότητα να σχεδιάσει με ιδιαίτερη ακρίβεια οποιοδήποτε δίκτυο σωληνώσεων, με οποιαδήποτε ιδιαιτερότητα και αν έχει. Ο τρόπος χρήσης του συγκεκριμένου προγράμματος είναι ιδιόμορφος και επιβάλλεται η εκπαίδευση του χρήστη μέσω διαφόρων μαθημάτων – σεμιναρίων, τα οποία διεξάγει η κατασκευάστρια εταιρεία. Το περιβάλλον εργασίας που παρέχει το λογισμικό αυτό είναι φιλικό. Σχετικά με τις απαιτήσεις επιδόσεων Hardware, είναι αυξημένες, μιας και με κάθε τροποποίηση της μελέτης – σχεδίου, το όλο σχέδιο σαν σύνολο αναπροσαρμόζεται διαδραστικά. Το κύριο πλεονέκτημα αυτού του λογισμικού είναι η δυνατότητα άμεσης απεικόνισης του όλου 3D μοντελοποιημένου δικτύου σωληνώσεως σε 2D σχέδιο, απεικονίζοντας ταυτόχρονα τα ενδιάμεσα συνδεδεμένα μηχανήματα (αντλίες, βάνες κτλ.) με κατάλληλα σχήματα. Το PDMS μπορεί να παραμετροποιηθεί μέχρι έναν βαθμό και να επικοινωνήσει με άλλα προγράμματα μέσω χρήσης κώδικα XML.

Περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με το συγκεκριμένο πρόγραμμα αναγράφονται στην επίσημη ιστοσελίδα του προγράμματος [http://www.aveva.com/en/Products and Services/Product Finder.aspx#open:34CB3956-1861-4715-AB4C-F62E8D68AF64](http://www.aveva.com/en/Products_and_Services/Product_Finder.aspx#open:34CB3956-1861-4715-AB4C-F62E8D68AF64).

Παρακάτω φαίνεται ένα μοντέλο που παρέχεται από το PDMS ως παράδειγμα των δυνατοτήτων του.



Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 3.8. Τρισδιάστατο μοντέλο με χρήση PDMS

Πηγή: <http://pdmstraining.net/wp-content/uploads/2012/02/piping-pdms-design-tutorial.jpg>

Τομείς	Βαθμολογία Αξιολόγησης PDMS				
	1	2	3	4	5
Ευκολία εκμάθησης			✓		
Επίτευξη επιθυμητής ακρίβειας					✓
Φιλικό περιβάλλον εργασίας			✓		
Δυνατότητα παραμετροποίησης				✓	
Δυνατότητα σύνδεσης με άλλα προγράμματα				✓	
Απαιτήσεις επιδόσεων hardware			✓		
Παροχή εκπαιδευτικής / δοκιμαστικής άδειας χρήσης	✓				

## 7. Solidworks – Dassault Systems

Το Solidworks είναι ένα πρόγραμμα που δεν υπάρχει στο εργαστήριο της σχολής. Η όλη ανάλυση βασίζεται σε έρευνα στο διαδίκτυο και σε διάφορα εγχειρίδια χρήσης. Το Solidworks είναι ένα πρόγραμμα γενικού σχεδίου. Προσφέρει την δυνατότητα σχεδίασης 2D και 3D αντικειμένων με αρκετά ικανοποιητική ακρίβεια σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Το περιβάλλον εργασίας είναι ευχάριστο και σε συνδυασμό με την διάταξη των περισσότερων «εργαλείων» - επιλογών σε πρώτο πλάνο, δίνει την δυνατότητα σε νέους χρήστες να φτάνουν σε σύντομο χρονικό διάστημα σε ικανοποιητικό επίπεδο χρήσης του συγκεκριμένου λογισμικού. Το Solidworks παρέχει μια βάση δεδομένων σχεδίασης σωληνώσεων, μέσω της οποίας ο χρήστης με εύκολο τρόπο μπορεί να σχεδιάσει δίκτυα σωληνώσεων σε σύντομο χρονικό διάστημα, ικανοποιώντας παράλληλα τις απαιτήσεις ακρίβειας της παρούσας μελέτης. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα ικανοποιεί σε μεγάλο βαθμό τις ιδιαιτερότητες της παρούσας μελέτης, ενώ δυνατότητα επικοινωνίας με άλλα λογισμικά επιτυγχάνεται μέσω κώδικα XML. Σχετικά με τις απαιτήσεις επιδόσεων σε hardware, είναι εύλογες και καθόλου απαιτητικές για ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα τέτοιου είδους.

Περεταίρω πληροφορίες σχετικά με το συγκεκριμένο πρόγραμμα αναγράφονται στην επίσημη ιστοσελίδα του προγράμματος <http://www.solidworks.com/>.

Παρακάτω φαίνεται ένα μοντέλο που παρέχεται από το Solidworks ως παράδειγμα των δυνατοτήτων του.

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 3.9. Τρισδιάστατο μοντέλο με χρήση Solidworks

Πηγή: <http://www.youtube.com/watch?v=czGvljMN2Lg>

Τομείς	Βαθμολογία Αξιολόγησης Solidworks				
	1	2	3	4	5
Ευκολία εκμάθησης				✓	
Επίτευξη επιθυμητής ακρίβειας				✓	
Φιλικό περιβάλλον εργασίας					✓
Δυνατότητα παραμετροποίησης				✓	
Δυνατότητα σύνδεσης με άλλα προγράμματα				✓	
Απαιτήσεις επιδόσεων hardware		✓			
Παροχή εκπαιδευτικής / δοκιμαστικής άδειας χρήσης			✓		

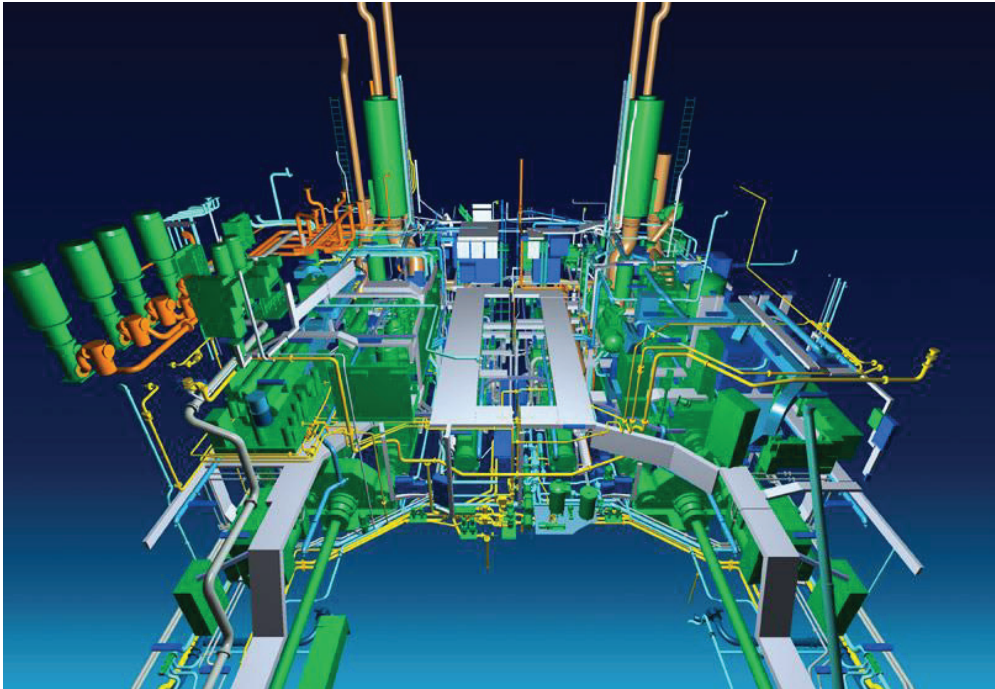
## 8. Nupas Cadmatic HVAC, Outfitting, Accommodation, Electrical

Το Nupas Cadmatic HVAC είναι ένα πρόγραμμα που δεν υπάρχει στο εργαστήριο της σχολής, ενώ δοκιμαστική / προσωρινή άδεια χρήσης δεν παρέχεται. Συνεπώς, η όλη ανάλυση βασίζεται σε έρευνα στο διαδίκτυο και σε διάφορα εγχειρίδια χρήσης. Το συγκεκριμένο λογισμικό προσφέρει την δυνατότητα απεικόνισης σε 2D και σε 3D κατασκευαστικά στοιχεία της μεταλλικής κατασκευής του πλοίου, την γενική διάταξη του πλοίου και δίκτυα σωληνώσεων. Είναι λογισμικό το οποίο μελετάει το πλοίο από πολλές οπτικές γωνίες (κατασκευαστικών στοιχείων και διάταξης των όλων μηχανημάτων στο εσωτερικό του πλοίου). Παρέχει στον χρήστη πολύ μεγάλη ακρίβεια στην όλη μελέτη και ικανοποιεί όλες τις ιδιαιτερότητες της παρούσας μελέτης. Το Nupas είναι πρόγραμμα το οποίο χρησιμοποιείται από αρκετές ναυπηγικές – κατασκευαστικές εταιρείες, με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Οι απαιτήσεις ακρίβειας, καθώς επίσης και οι ιδιαιτερότητες της συγκεκριμένης μελέτης ικανοποιούνται. Η κατασκευάστρια εταιρεία διεξάγει εκπαιδευτικά σεμινάρια για την εκμάθηση και εξοικείωση των χρηστών. Μειονέκτημα του συγκεκριμένου προγράμματος είναι η αδυναμία παραμετροποίησης και η επικοινωνία του με άλλα προγράμματα. Σχετικά με τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου προγράμματος σε επιδόσεις hardware, είναι αρκετά αυξημένες.

Περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με το συγκεκριμένο πρόγραμμα αναγράφονται στην επίσημη ιστοσελίδα του προγράμματος <http://www.nupas-cadmatic.com/index.html>.

Παρακάτω φαίνεται ένα μοντέλο που παρέχεται από το Nupas Cadmatic HVAC, Outfitting, Accommodation, Electrical ως παράδειγμα δυνατοτήτων του.

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 3.10. Τρισδιάστατο μοντέλο με χρήση Nupas Cadmatic HVAC

Πηγή: [http://www.vit.com.br/web/cadmatic\\_portuguese/ship\\_design2\\_arquivos/big7.jpg](http://www.vit.com.br/web/cadmatic_portuguese/ship_design2_arquivos/big7.jpg)

Τομείς	Βαθμολογία Αξιολόγησης Nupas Cadmatic HVAC				
	1	2	3	4	5
Ευκολία εκμάθησης				✓	
Επίτευξη επιθυμητής ακρίβειας					✓
Φιλικό περιβάλλον εργασίας			✓		
Δυνατότητα παραμετροποίησης		✓			
Δυνατότητα σύνδεσης με άλλα προγράμματα		✓			
Απαιτήσεις επιδόσεων hardware			✓		
Παροχή εκπαιδευτικής / δοκιμαστικής άδειας χρήσης	✓				

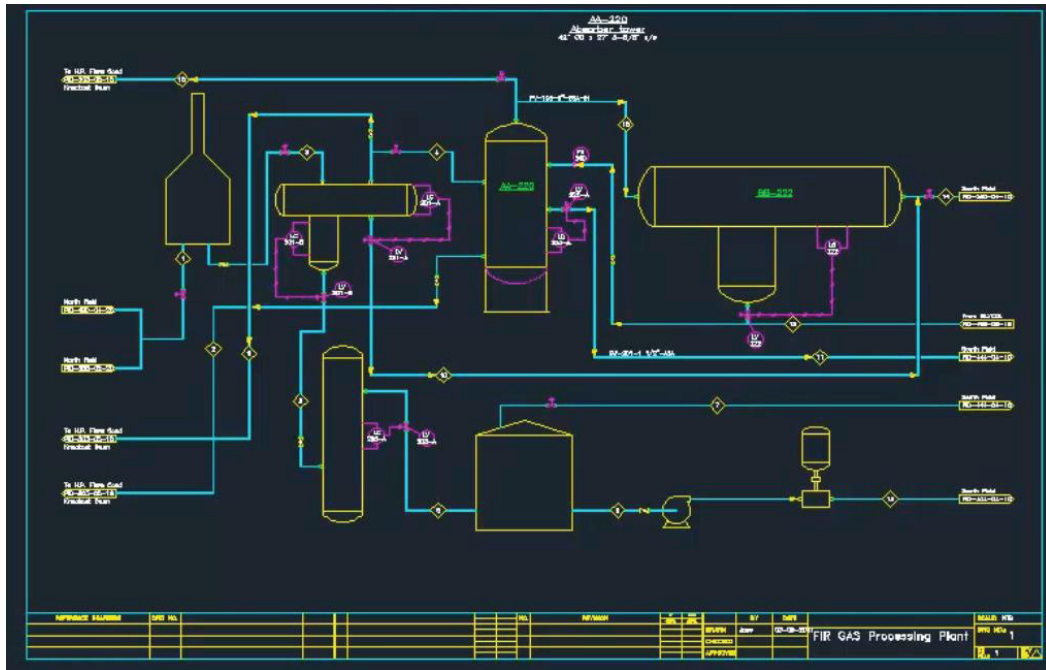
## 9. Papricad 3D – Procad

Το Papricad 3D είναι ένα πρόγραμμα που δεν υπάρχει στο εργαστήριο της σχολής. Η κατασκευάστρια εταιρεία παρέχει το συγκεκριμένο λογισμικό με δοκιμαστική – προσωρινή άδεια χρήσης. Το Papricad 3D είναι ένα εξειδικευμένο πρόγραμμα για την σχεδίαση σωληνώσεων. Χρησιμοποιεί ως βασική πλατφόρμα το Autocad και σε αυτό προστίθενται ορισμένες επιπλέον επιλογές – εργαλεία εξειδικευμένα στην σχεδίαση σωληνώσεων. Το εξεταζόμενο πρόγραμμα παρέχει στον χρήστη δυνατότητα σχεδίασης τόσο 2D όσο και 3D σωληνώσεων με ιδιαίτερες λεπτομέρειες επί του σχεδίου (ονομασία, επιλογή μετάλλου κατασκευής κάθε σωλήνα κτλ.). Η ακρίβεια που επιτυγχάνει το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι ικανοποιητική στα πλαίσια της παρούσας μελέτης. Το περιβάλλον εργασίας είναι ικανοποιητικό, παρόλο που ορισμένα σύμβολα εργαλείων – επιλογών δεν είναι κατανοητά για την χρησιμότητά τους. Ένας χρήστης μπορεί να φτάσει σε ικανοποιητικό επίπεδο χρήσης του εξεταζόμενου προγράμματος, όχι με μετρίου επιπέδου δυσκολία, δεδομένου ότι είναι πρόγραμμα εξειδικευμένο στις σωληνώσεις. Υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας με άλλα προγράμματα μέσω κώδικα προγραμματισμού LISP, όμως δεν παρέχεται δυνατότητα παραμετροποίησης του υπό μελέτη μοντέλου.

Περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με το συγκεκριμένο πρόγραμμα αναγράφονται στην επίσημη ιστοσελίδα του προγράμματος <http://www.procad.com/products/papricad-3d/>.

Παρακάτω φαίνεται ένα μοντέλο που παρέχεται από το Papricad 3D ως παράδειγμα των δυνατοτήτων του.

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 3.11. Δισδιάστατο μοντέλο με χρήση Papticad 3D

Πηγή: <http://www.youtube.com/watch?NR=1&v=tCy9cA95sjY&feature=endscreen>

Τομείς	Βαθμολογία Αξιολόγησης Papticad 3D				
	1	2	3	4	5
Ευκολία εκμάθησης				✓	
Επίτευξη επιθυμητής ακρίβειας				✓	
Φιλικό περιβάλλον εργασίας			✓		
Δυνατότητα παραμετροποίησης	✓				
Δυνατότητα σύνδεσης με άλλα προγράμματα				✓	
Απαιτήσεις επιδόσεων hardware			✓		
Παροχή εκπαιδευτικής / δοκιμαστικής άδειας χρήσης					✓

## 10. Cadpipe Industrial

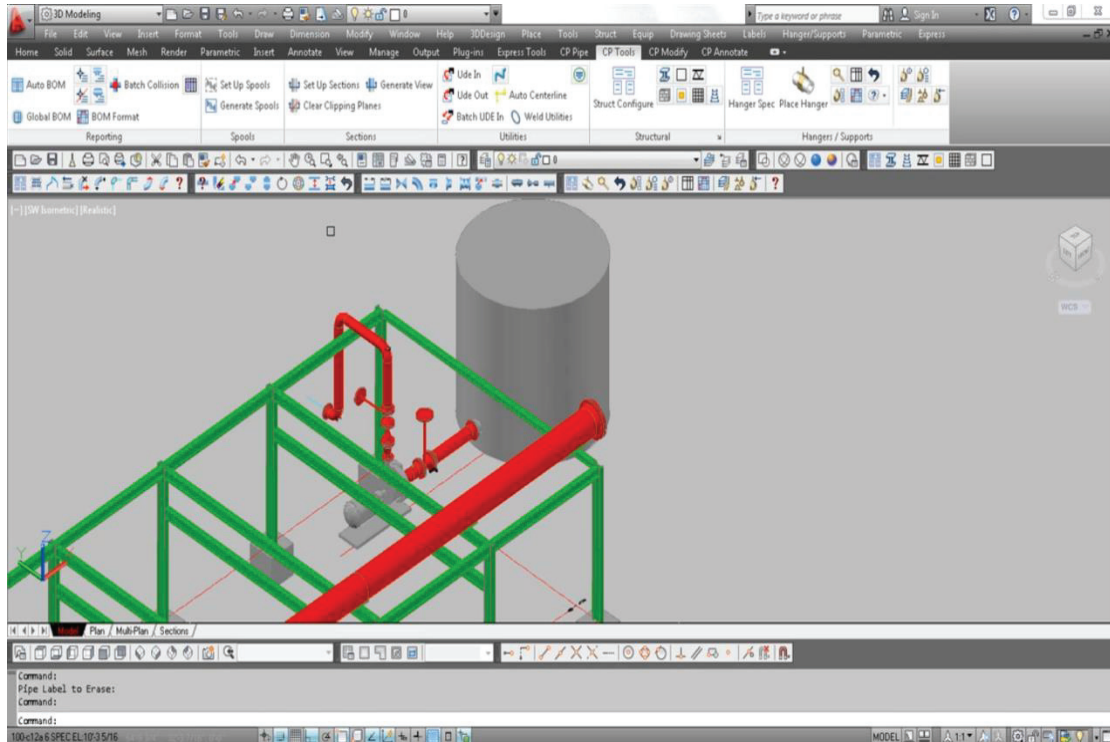
Το Cadpipe Industrial είναι ένα πρόγραμμα που δεν υπάρχει στο εργαστήριο της σχολής, ενώ προσωρινή άδεια χρήσης δεν είναι διαθέσιμη. Συνεπώς, η ανάλυση του συγκεκριμένου προγράμματος βασίζεται σε διαδικτυακά εγχειρίδια χρήσης, καθώς επίσης και σε διάφορα επιμορφωτικά βίντεο. Το Cadpipe Industrial είναι ένα λογισμικό που χρησιμοποιεί ως βασική πλατφόρμα το Autocad της Autodesk και παρέχει ορισμένες επιπλέον επιλογές – εργαλεία στην σχεδίαση σωληνώσεων. Το εξεταζόμενο λογισμικό προσφέρει την σχεδίαση μόνο σωληνώσεων. Η ακρίβεια στους σχεδιασμούς είναι μέτρια. Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιεί είναι περιορισμένη (σε σχέση με τις βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιούν τα παραπάνω προγράμματα που αναλύθηκαν) και δεν δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη σχεδίασης σωληνώσεων περίπλοκων γεωμετριών. Το παραπάνω είναι ένα σημαντικό μειονέκτημα μιας και δεν καλύπτει τις απαιτήσεις ακρίβειας, αλλά και τις ιδιαιτερότητες της παρούσας μελέτης. Το περιβάλλον εργασίας που παρέχει είναι ευχάριστο μιας και παρέχει όλες τις επιλογές – εργαλεία σε πρώτο πλάνο με κατανοητά εικονίδια. Ένας χρήστης ο οποίος έρχεται σε πρώτη επαφή με το συγκεκριμένο πρόγραμμα, μπορεί σχετικά εύκολα να φτάσει σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο χρήσης του. Σε αυτό συντελούν θετικά τα εμπλουτισμένα εγχειρίδια χρήσης που προσφέρει η κατασκευάστρια εταιρεία στους χρήστες. Δυνατότητα παραμετροποίησης του υπό μελέτη σχεδίου δεν δύναται, ενώ η επικοινωνία του προγράμματος αυτού με εξωτερικά προγράμματα γίνεται μέσω γλώσσας προγραμματισμού LISP. Σχετικά με τις απαιτήσεις σε επιδόσεις Hardware, είναι περιορισμένες.

Περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με το συγκεκριμένο πρόγραμμα αναγράφονται στην επίσημη ιστοσελίδα του προγράμματος <http://www.cadpipe.com/industrial.html>.

Παρακάτω φαίνεται ένα μοντέλο που παρέχεται από το Cadpipe Industrial ως παράδειγμα των δυνατοτήτων του.



Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 3.12. Δισδιάστατο μοντέλο με χρήση Cadpipe Industrial

Πηγή: <http://www.cadpipe.com/industrial.html>

Τομείς	Βαθμολογία Αξιολόγησης Cadpipe Industrial				
	1	2	3	4	5
Ευκολία εκμάθησης				✓	
Επίτευξη επιθυμητής ακρίβειας		✓			
Φιλικό περιβάλλον εργασίας			✓		
Δυνατότητα παραμετροποίησης	✓				
Δυνατότητα σύνδεσης με άλλα προγράμματα				✓	
Απαιτήσεις επιδόσεων hardware			✓		
Παροχή εκπαιδευτικής / δοκιμαστικής άδειας χρήσης	✓				

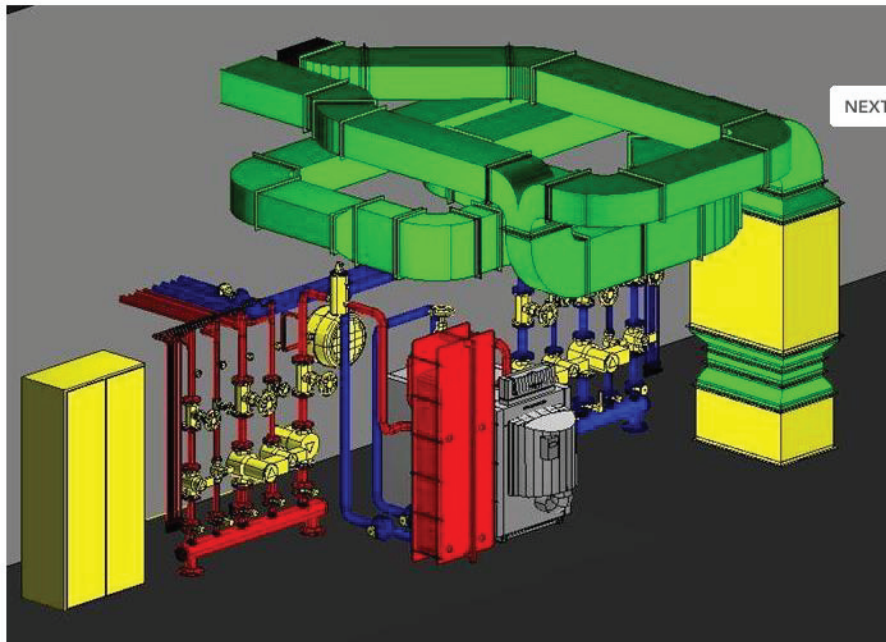
## 11. NPQ Techline

Το NPQ Techline είναι ένα πρόγραμμα που δεν υπάρχει στο εργαστήριο της σχολής, ενώ προσωρινή άδεια χρήσης δεν είναι διαθέσιμη Συνεπώς, η ανάλυση του συγκεκριμένου προγράμματος βασίζεται σε διαδικτυακά εγχειρίδια χρήσης, καθώς επίσης και σε διάφορα επιμορφωτικά βίντεο. Το NPQ Techline είναι ένα λογισμικό που χρησιμοποιεί ως βασική πλατφόρμα το Autocad της Autodesk και παρέχει ορισμένες επιπλέον επιλογές – εργαλεία στην σχεδίαση σωληνώσεων. Είναι ένα λογισμικό εξειδικευμένο στην σχεδίαση σωληνώσεων. Η βάση δεδομένων που προσφέρει το συγκεκριμένο λογισμικό στην σχεδίαση σωληνώσεων είναι ιδιαίτερα εμπλουτισμένη και με αυτόν τον τρόπο δίνει στον χρήστη την δυνατότητα σχεδίασης σωληνώσεων με πολύ μεγάλη ακρίβεια γεωμετρική και με ιδιαίτερες λεπτομέρειες. Οι απαιτήσεις ακρίβειας και οι ιδιαιτερότητες της παρούσας μελέτης ικανοποιούνται πλήρως. Το περιβάλλον εργασίας είναι αρκετά ευχάριστο και εύχρηστο, δίνοντας με αυτό τον τρόπο στον χρήστη την δυνατότητα εκμάθησης του συγκεκριμένου προγράμματος σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Δυνατότητα παραμετροποίησης του σχεδίου δεν δίνεται. Παρόλα αυτά η κατασκευάστρια εταιρεία προσφέρει επικοινωνία του εξεταζόμενου προγράμματος με άλλα προγράμματα μέσω κώδικα XML και LISP. Σχετικά με τις απαιτήσεις σε επιδόσεις hardware είναι ιδιαίτερα αυξημένες.

Περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με το συγκεκριμένο πρόγραμμα αναγράφονται στην επίσημη ιστοσελίδα του προγράμματος [http://www.npqsolutions.com/producten\\_fm\\_en/?v=5&cid=3&id=132&mid=](http://www.npqsolutions.com/producten_fm_en/?v=5&cid=3&id=132&mid=) .

Παρακάτω φαίνεται ένα μοντέλο που παρέχεται από το Cadripe Industrial ως παράδειγμα των δυνατοτήτων του.

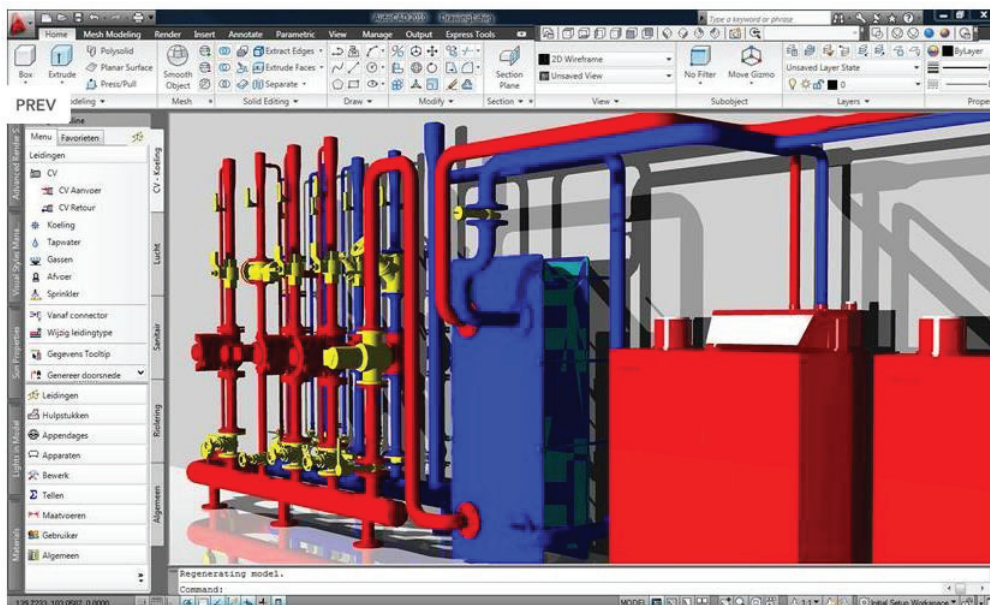
Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 3.13. Τρισδιάστατο μοντέλο με χρήση NPQ Techline

Πηγή:

[http://www.npqsolutions.com/producten\\_fm\\_en/?v=5&cid=3&id=132&mid=&section=movie&movie=110](http://www.npqsolutions.com/producten_fm_en/?v=5&cid=3&id=132&mid=&section=movie&movie=110)



Εικόνα 3.14. Τρισδιάστατο μοντέλο με χρήση NPQ Techline

Πηγή:

[http://www.npqsolutions.com/producten\\_fm\\_en/?v=5&cid=3&id=132&mid=&section=movie&movie=110](http://www.npqsolutions.com/producten_fm_en/?v=5&cid=3&id=132&mid=&section=movie&movie=110)

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Τομείς	Βαθμολογία Αξιολόγησης NPQ Techline				
	1	2	3	4	5
Ευκολία εκμάθησης				✓	
Επίτευξη επιθυμητής ακρίβειας					✓
Φιλικό περιβάλλον εργασίας				✓	
Δυνατότητα παραμετροποίησης	✓				
Δυνατότητα σύνδεσης με άλλα προγράμματα				✓	
Απαιτήσεις επιδόσεων hardware				✓	
Παροχή εκπαιδευτικής / δοκιμαστικής άδειας χρήσης	✓				

## Συγκεντρωτική αξιολόγηση λογισμικών μοντελοποίησης

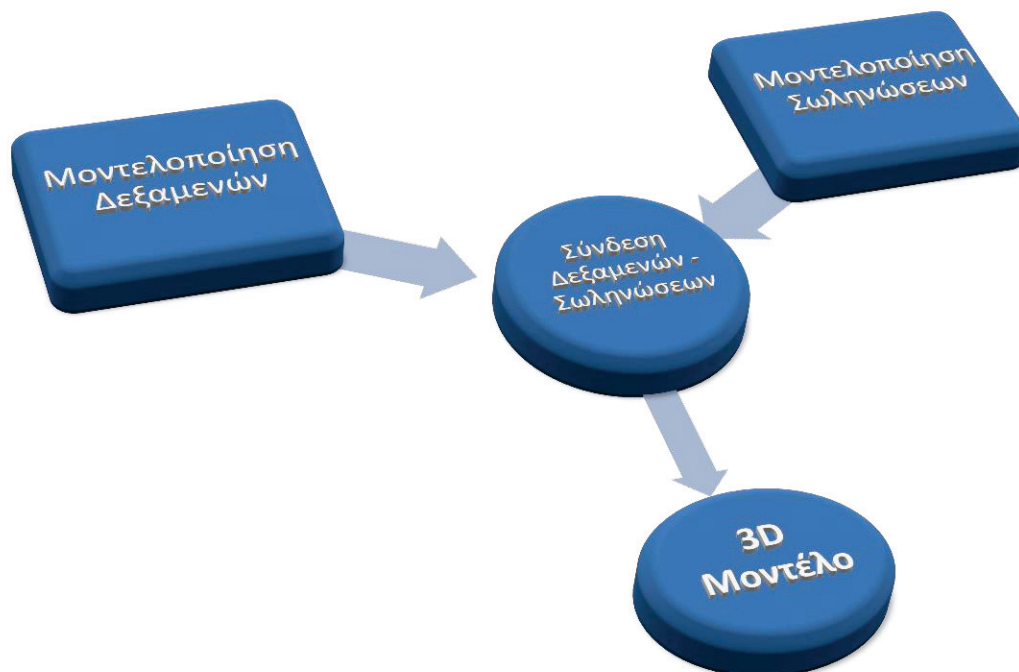
Προγράμματα	Βαθμολογία Τομέων Αξιολόγησης							Άθροισμα
	Ευκολία εκμάθ.	Επίτευξη επιθυμ. ακρίβ.	Φιλικό περιβ. εργασ.	Δυνατ. παραμ.	Δυνατ. σύνδ. με άλλα προγρ.	Απαιτ. hardware	Εκπαιδευτ. / δοκιμαστ. άδεια χρήσης	
Catia V5R21	2	5	4	5	4	-5	4	19
Rhinoceros Ver. 4.0 SR9	4	3	4	4	4	-2	4	21
Autodesk Inventor Prof. 2013	5	5	5	4	4	-4	5	24
Autocad P&ID 2011	3	5	4	1	4	-3	2	16
ShipConstructor 2005	3	5	2	3	4	-3	1	15
PDMS 12.0 SP6	3	5	3	4	4	-3	1	17
Solidworks	4	4	5	4	4	-2	3	22
Nupas Cadmatic	4	5	3	2	2	-3	1	14
Papricad 3D	4	4	3	1	4	-3	5	18
Cadpipe Industrial	4	2	3	1	4	-3	1	12
NPQ Techline	4	5	4	1	4	-4	1	15

Από τα παραπάνω βλέπουμε ότι το πλέον κατάλληλο πρόγραμμα για την υλοποίηση της τρισδιάστατης μοντελοποίησης είναι το **Autodesk Inventor Professional 2013**, το οποίο και χρησιμοποιείται στην πορεία της διπλωματικής εργασίας.

#### 4. Περιγραφή διαδικασίας μοντελοποίησης δεξαμενών φορτίου και έρματος & απαιτούμενων σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής γίνεται παραμετρική μοντελοποίησης των δεξαμενών φορτίου και έρματος ενός Crude Oil Tanker 105.000DWT, καθώς επίσης και του δικτύου των σωληνώσεων που υποστηρίζουν την λειτουργία των ανωτέρω δεξαμενών.

Η διαδικασία μοντελοποίησης έγκειται σε τρεις (3) τομείς. Ο πρώτος τομέας συμπεριλαμβάνει την μοντελοποίησης των δεξαμενών. Ο δεύτερος τομέας εμπεριέχει την μοντελοποίηση του συστήματος σωληνώσεων υποστήριξης και λειτουργίας των δεξαμενών φορτίου και έρματος. Στον τρίτο τομέα έγκειται η σύνδεση των δύο ανωτέρων τομέων, δηλαδή, σύνδεση των μοντελοποιημένων δεξαμενών με το αντίστοιχα μοντελοποιημένο δίκτυο σωληνώσεων, με κατάλληλο τρόπο, ώστε αλλάζοντας τους παραμέτρους των δεξαμενών ή των σωληνώσεων, να μην διαταράσσεται η σύνδεση μεταξύ των δεξαμενών και των σωληνώσεων.



## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Στην συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία εκπόνησης των παραπάνω τριών (3) τομέων.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η μοντελοποίηση τόσο των δεξαμενών, όσο και των σωληνώσεων είναι παραμετρική. Η παραμετρική «είσοδος» των απαιτούμενων μεταβλητών στο Autodesk Inventor γίνεται με χρήση «εξωτερικής πηγής εισόδου δεδομένων», μέσω φύλλων εργασίας μορφής EXCEL, τα οποία έχουν συνδεθεί με τέτοιο τρόπο προκειμένου το τελικό 3D μοντέλο να μορφοποιείται / τροποποιείται άμεσα (real time), με χρήση της εντολής "UPDATE", η οποία παρέχεται από το πρόγραμμα Inventor.

Η διαδικασία της μοντελοποίησης και της σύνδεσης εξωτερικής πηγής δεδομένων (αρχείο EXCEL), τόσο για τις δεξαμενές (τομέας 1), όσο και για τις σωληνώσεις (τομέας 2), περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω. Συγκεκριμένα, ακολουθεί η περιγραφή των στοιχείων που εμπεριέχονται στην εξωτερική πηγή δεδομένων (αρχείο EXCEL) και της διαδικασίας σύνδεσής της με το 3D μοντέλο στο Inventor. Η διαδικασία σύνδεσης βασίζεται σε εντολές του προγράμματος **Autodesk Inventor** έκδοσης **2013**, οι οποίες εντολές δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες τροποποιήσεις με τις εντολές προηγούμενων εκδόσεων του συγκεκριμένου προγράμματος.

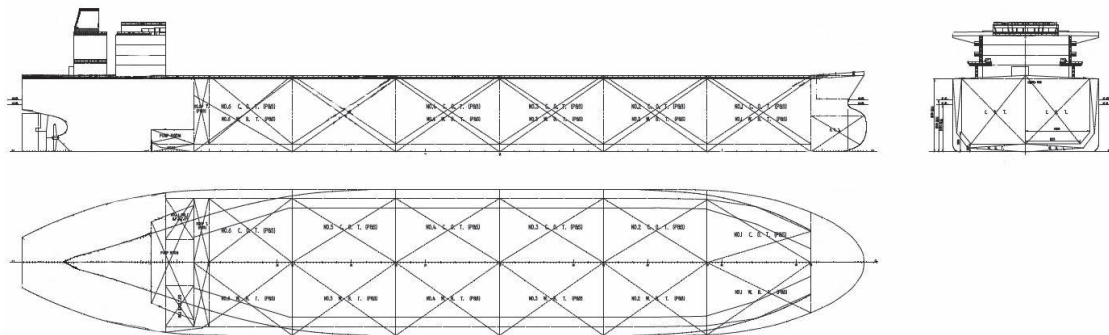
#### 4.1. Κύρια χαρακτηριστικά μοντελοποιημένου πλοίου

Προτού ξεκινήσει η περιγραφή της διαδικασίας μοντελοποίησης, κρίνεται απαραίτητη η παρουσίαση του υπό μελέτη πλοίου που μοντελοποιείται. Ο λόγος που η όλη μοντελοποίηση βασίζεται στο παρακάτω υπάρχον πλοίο είναι ο έλεγχος της ρεαλιστικότητας και της ακρίβειας των διεξαχθέντων αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης.

Κύρια χαρακτηριστικά πλοίου προς μοντελοποίηση:

- Τύπος: Crude Oil Carrier
- Χωρητικότητα DWT: 105.000t
- Ολικό Μήκος  $L_{OA}$  : 243,91m
- Μήκος μεταξύ Καθέτων  $L_{BP}$ : 234,00m
- Πλάτος B: 42,00m
- Κοίλο D: 21,00m
- Βύθισμα Σχεδίασης  $T_{Des}$ : 13,60m

Η διάταξη των δεξαμενών παρατίθεται στην ακόλουθη εικόνα 4.1.1.



Εικόνα 4.1.1. Διάταξη δεξαμενών

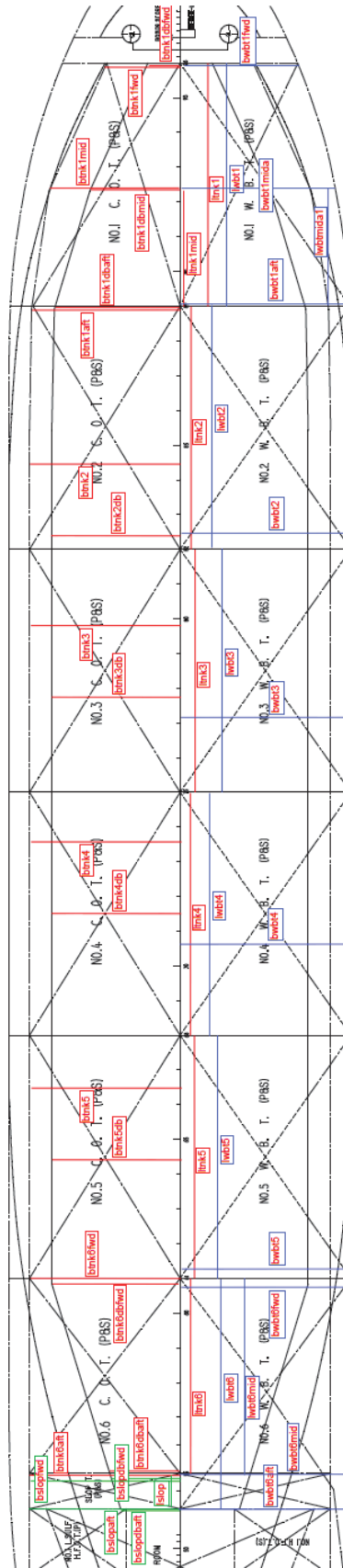


## 4.2. Μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου και έρματος

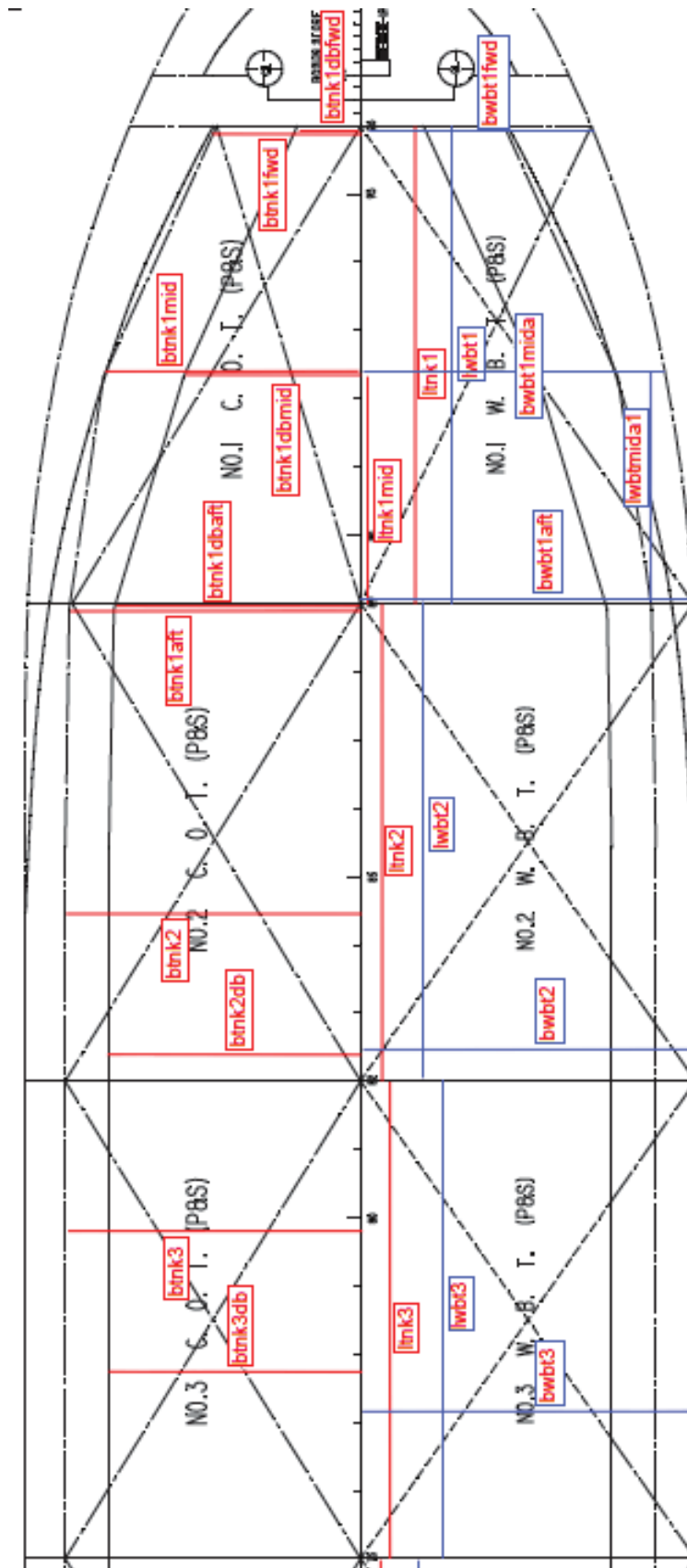
### Παραμετρική διαστασιολόγηση δεξαμενών φορτίου και έρματος

Για την μοντελοποίηση των δεξαμενών φορτίου και έρματος επιτάσσεται ο καθορισμός των κυρίων διαστάσεων και μεγεθών, τα οποία θα δώσουν την τελική μορφή στις προς μοντελοποίηση δεξαμενές. Οι κύριες διαστάσεις παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες 4.2.2(α,β,γ) και 4.2.3. Στην εικόνα 4.2.2(α,β,γ), όπου παρουσιάζεται η κάτοψη του υπό μελέτη πλοίου, με κόκκινες γραμμές διαστασιολογούνται οι δεξαμενές φορτίου (C.O.T.), με μπλε οι δεξαμενές έρματος (W.B.T.) και με πράσινο οι Slop Tanks.

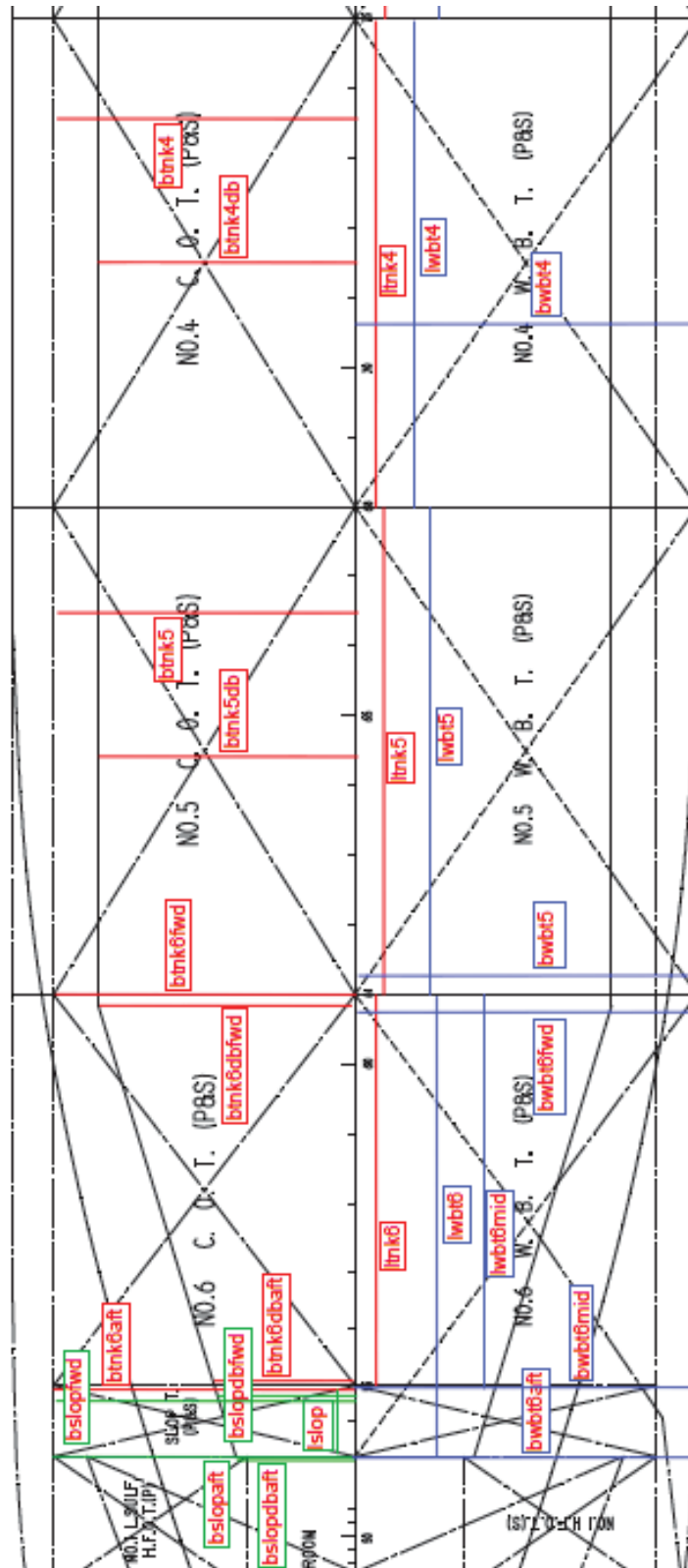
Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.2.2(α). Παράμετροι διαστασιολόγησης σε κάτοψη

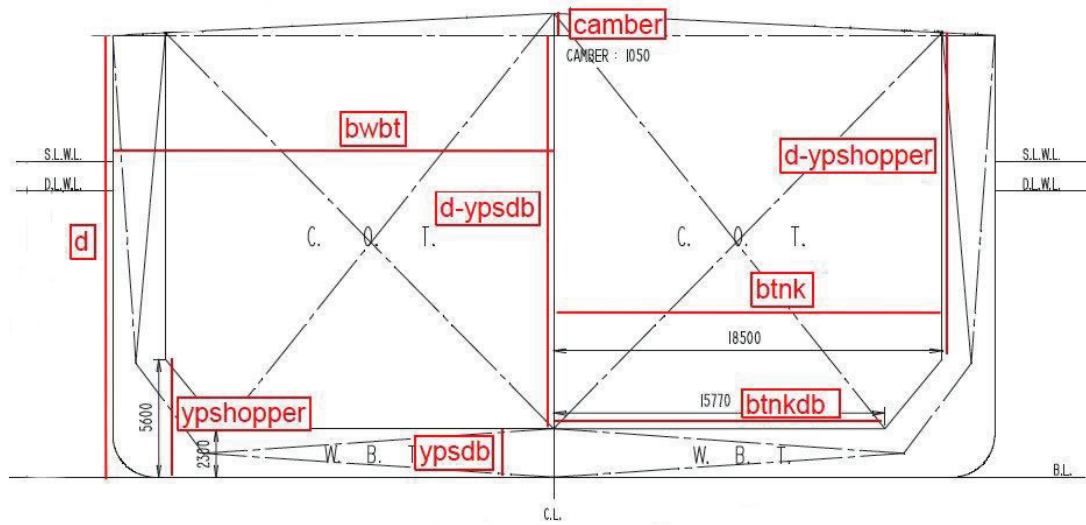


Εικόνα 4.2.2(β). Παράμετροι διαστασιολόγησης σε κάτοψη



Εικόνα 4.2.2(γ). Παράμετροι διαστασιολόγησης σε κάτοψη

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.2.3. Παράμετροι διαστασιολόγησης σε εγκάρσια τομή

Για την ακριβέστερη μοντελοποίηση των δεξαμενών, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη διαστασιολόγηση των σημείων όπου υπάρχει έντονη αλλαγή της γεωμετρίας των δεξαμενών.

## Αρχείο εισαγωγής παραμετροποιημένων μεγεθών / διαστάσεων

Η εισαγωγή των παραμετροποιημένων μεγεθών / διαστάσεων στο Inventor, όπως προαναφέρθηκε, γίνεται μέσω μιας «εξωτερικής πηγής εισόδου δεδομένων», ενός φύλλου εργασίας EXCEL. Η δομή του συγκεκριμένου αρχείου περιγράφεται ακολούθως και φέρει την ονομασία input.xlsx.

Το αρχείο input.xlsx αποτελείται από τρεις (3) στήλες. Στην πρώτη στήλη (στήλη Α) υπάρχουν οι ονομασίες των μεταβλητών που αντιπροσωπεύουν τα παραμετροποιημένα μεγέθη / διαστάσεις, όπως αυτές παρουσιάζονται στις εικόνες 2 και 3. Στην δεύτερη στήλη (στήλη Β) εισάγεται η τιμή της εκάστοτε μεταβλητής που βρίσκεται στην ίδια γραμμή, αλλά στην στήλη Α. Στην τρίτη στήλη (στήλη Η) υπάρχει μια περιγραφή για εκάστοτε μεταβλητή της στήλης Α. Οι στήλες C, D, E, F και G παραμένουν κενές, προκειμένου να αποφευχθεί πρόβλημα σύνδεσης του συγκεκριμένου αρχείου με το Inventor. Παρακάτω φαίνεται το αρχείο input.xlsx που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση του συγκεκριμένου πλοίου.

A	B	C	D	E	F	G	H
loa	243,91						main particulars
lbp	234						main particulars
b	42						main particulars
d	21						main particulars
tdesign	13,6						main particulars
camber	1,05						main particulars
ypsdb	2,3						
ypshopper	5,6						
bilgerad	1,92						
ltnk1	29,92						NO.1 C.O.T. (P)
ltnk1mid	14,2						NO.1 C.O.T. (P)
btnk1dbfwd	3,96						NO.1 C.O.T. (P)
btnk1fwd	9,22						NO.1 C.O.T. (P)
btnk1dbmid	11,1						NO.1 C.O.T. (P)
btnk1mid	15,99						NO.1 C.O.T. (P)
btnk1dbaft	15,77						NO.1 C.O.T. (P)
btnk1aft	18,5						NO.1 C.O.T. (P)
ltnk2	29,97						NO.2 C.O.T. (P)
btnk2db	15,77						NO.2 C.O.T. (P)
btnk2	18,5						NO.2 C.O.T. (P)
ltnk3	29,97						NO.3 C.O.T. (P)
btnk3db	15,77						NO.3 C.O.T. (P)
btnk3	18,5						NO.3 C.O.T. (P)
ltnk4	40						NO.4 C.O.T. (P)
btnk4db	15,77						NO.4 C.O.T. (P)
btnk4	18,5						NO.4 C.O.T. (P)
ltnk5	29,97						NO.5 C.O.T. (P)
btnk5db	15,77						NO.5 C.O.T. (P)
btnk5	18,5						NO.5 C.O.T. (P)
ltnk6	24,03						NO.6 C.O.T. (P)
btnk6dbfwd	15,77						NO.6 C.O.T. (P)
btnk6fwd	18,5						NO.6 C.O.T. (P)
btnk6dbaft	8,65						NO.6 C.O.T. (P)

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

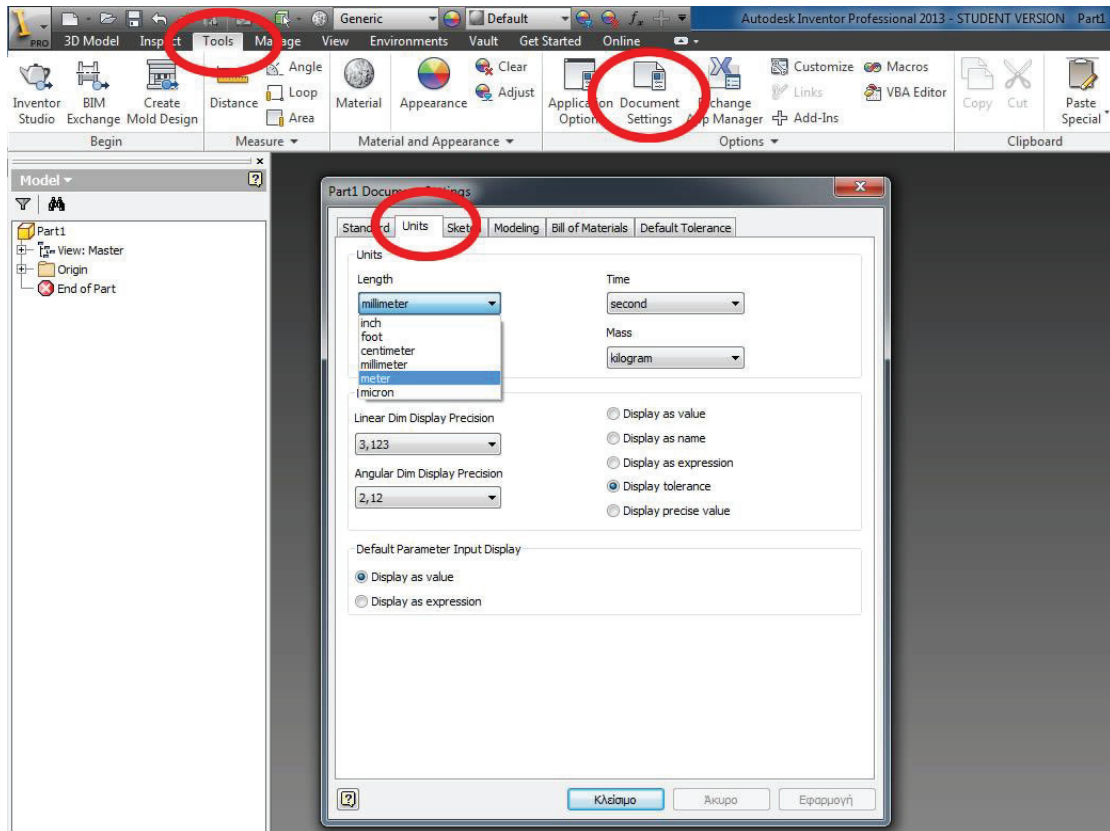
btnk6aft	18,5						NO.6 C.O.T. (P)
lslop	4,36						SLOP (P)
bslopfwd	18,5						SLOP (P)
bslopdbfwd	8,65						SLOP (P)
bslopaft	18,5						SLOP (P)
bslopdbaft	7,3						SLOP (P)
lwbt1	29,92						NO.1 W.B.T. (P)
lwbt1mid	14,2						NO.1 W.B.T. (P)
bwbt1fwd	14,46						NO.1 W.B.T. (P)
bwbt1mid	19,12						NO.1 W.B.T. (P)
bwbt1aft	21						NO.1 W.B.T. (P)
lwbt2	29,97						NO.2 W.B.T. (P)
bwbt2	21						NO.2 W.B.T. (P)
lwbt3	29,97						NO.3 W.B.T. (P)
bwbt3	21						NO.3 W.B.T. (P)
lwbt4	40						NO.4 W.B.T. (P)
bwbt4	21						NO.4 W.B.T. (P)
lwbt5	29,97						NO.5 W.B.T. (P)
bwbt5	21						NO.5 W.B.T. (P)
lwbt6	28,39						NO.6 W.B.T. (P)
lwbt6mid	24,03						NO.6 W.B.T. (P)
bwbt6fwd	21						NO.6 W.B.T. (P)
bwbt6mid	20,91						NO.6 W.B.T. (P)
bwbt6aft	20,77						NO.6 W.B.T. (P)

Πρέπει να σημειωθεί ότι μορφοποίηση στα «συνδεδεμένα» κελιά των στηλών Α και Β (για παράδειγμα, χρώμα γεμίσματος κελιού, πλάγια γραφή, υπογράμμιση κ.τ.λ.) πρέπει να αποφεύγονται, διότι δεν είναι εφικτή η σύνδεσή των μορφοποιημένων κελιών με το πρόγραμμα Inventor.

Επίσης, η ύπαρξη κενής γραμμής οριοθετεί το αρχείο εισόδου. Συνεπώς πρέπει να αποφεύγεται σε ενδιάμεσες γραμμές μεταξύ των στοιχείων εισόδου.

Στην στήλη Α φαίνονται τα μεγέθη των παραμετροποιημένων μεγεθών, όπως αυτά παρουσιάζονται στις εικόνες 2 και 3, ενώ στην στήλη Β υπάρχουν οι τιμές των μεταβλητών της στήλης Α σε μέτρα. Η μονάδα μέτρησης των μεγεθών που εισάγονται και χρησιμοποιούνται στο Inventor καθορίζονται μέσω της εντολής **Tools -> Document Settings -> Unit -> Length**, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2.4. Ο καθορισμός των μονάδων μέτρησης πρέπει να γίνεται στην αρχή κάθε νέου σχεδίου.

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



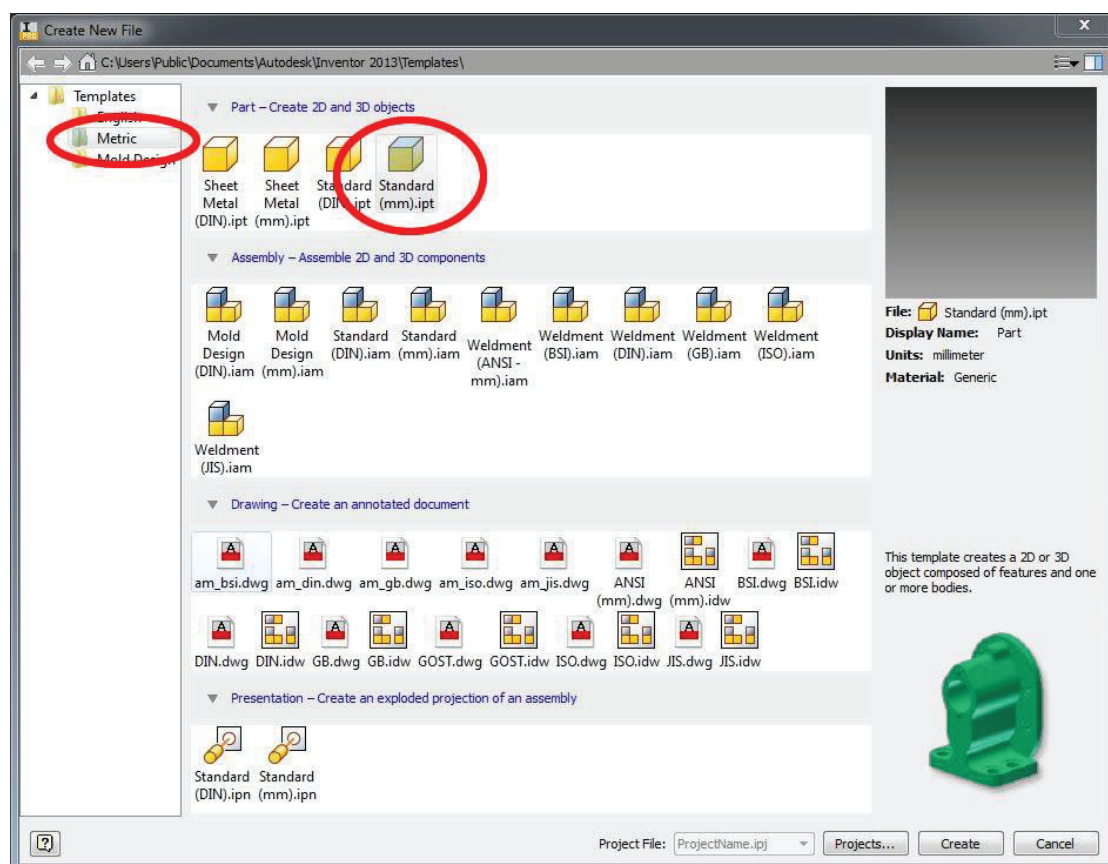
Εικόνα 4.2.4. Καθορισμός μονάδων μέτρησης



## Διαδικασία σχεδίαση δεξαμενής

Για την δημιουργία του τελικού 3D μοντέλου χρειάζεται να σχεδιαστεί η κάθε δεξαμενή ξεχωριστά και στην συνέχεια η σύνδεσή τους μέσω κατάλληλων εντολών περιορισμού της μεταξύ τους συναρμογής.

Η σχεδίαση της κάθε δεξαμενής γίνεται σε αρχείο με την κατάληξη **.ipt**. Για την δημιουργία ενός τέτοιου αρχείου, κατά το άνοιγμα του προγράμματος Inventor επιλέγουμε από την εντολή **New Projects**, την καρτέλα **Metric** και από την κατηγορία **Part – Create 2D and 3D objects** την επιλογή **Standard (mm).ipt**, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2.5.



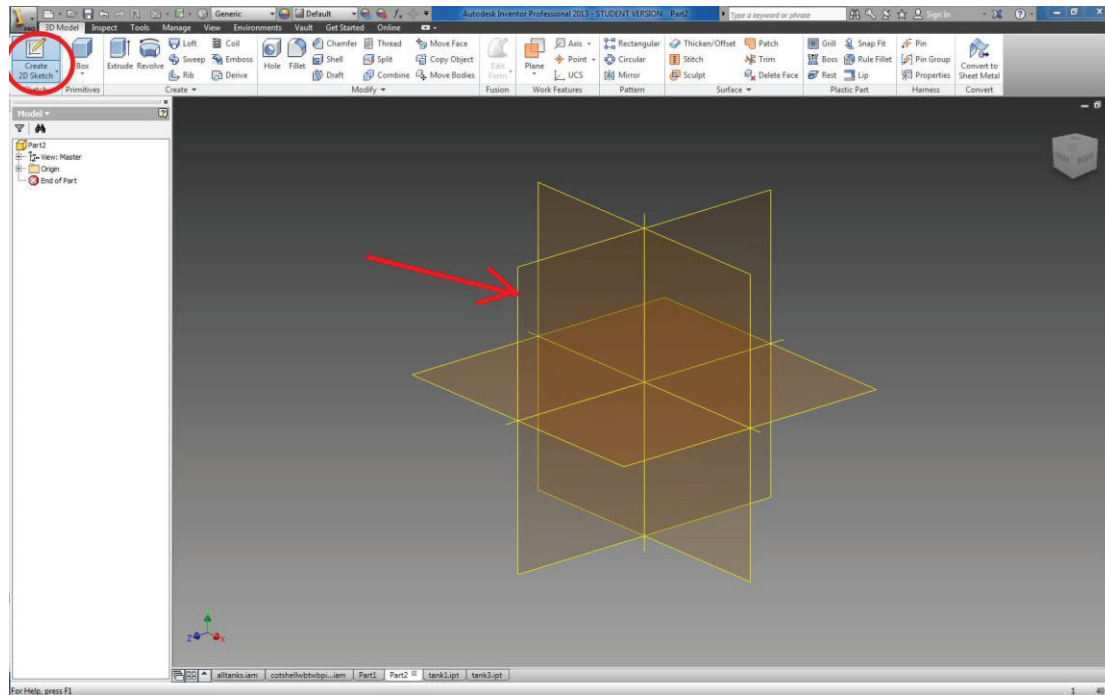
Εικόνα 4.2.5. Δημιουργία νέου .ipt αρχείου

Μετά την δημιουργία του εκάστοτε .ipt αρχείου, πρέπει να γίνει η αλλαγή των μονάδων μέτρησης, όπως περιγράφηκε παραπάνω (εικόνα 4.2.4).

Για την σχεδίαση μιας δεξαμενής (απλής γεωμετρίας) στο παράλληλο τμήμα του πλοίου χρησιμοποιούμε την εντολή **3D Model -> Create 2D Sketch** και

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

επιλέγουμε το επίπεδο στο οποίο θα σχεδιαστεί η εγκάρσια τομή της δεξαμενής (επίπεδο YZ) (εικόνα 4.2.6).

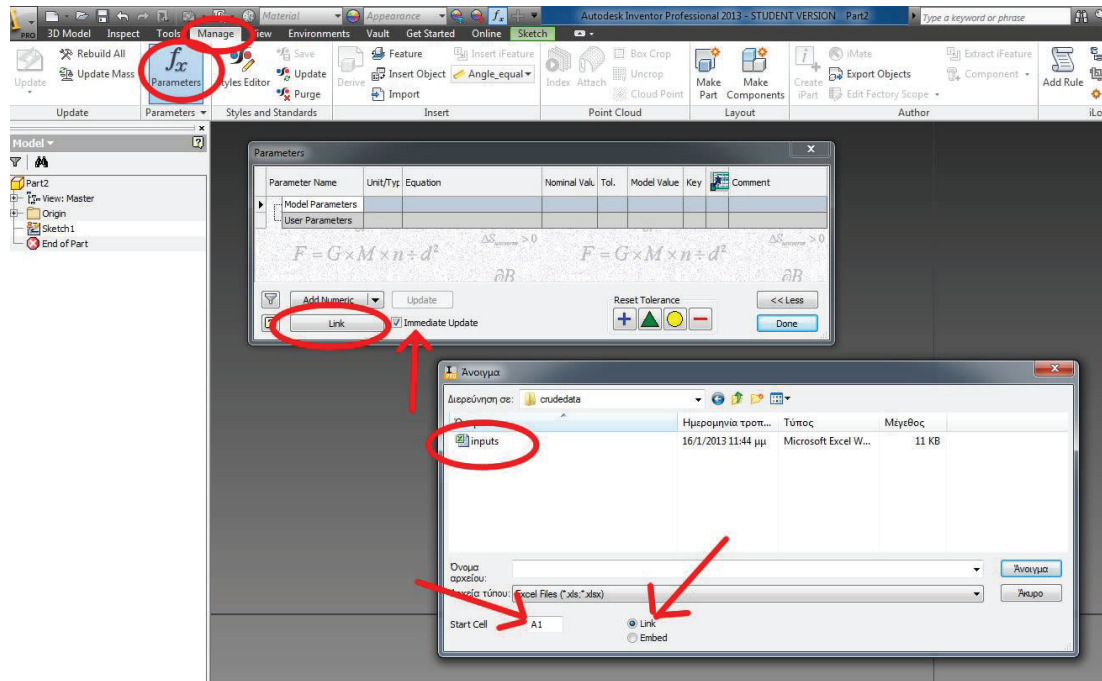


Εικόνα 4.2.6. Δημιουργία 2D σχεδίου – εγκάρσιο επίπεδο

Στην συνέχεια, γίνεται η σύνδεση του αρχείου «εξωτερικής πηγής εισόδου δεδομένων», input.xlsx μέσω της εντολής **Manage -> Parameters -> Link** και επιλέγουμε το αρχείο που θέλουμε να συνδέσουμε το περιεχόμενό του (εικόνα 4.2.7). Για την άμεση σύνδεση και ανανέωση του 3D μοντέλου πρέπει να είναι επιλεγμένη η επιλογή **Immediate Update** και **Link**. Κατά την επιλογή του αρχείου προς σύνδεση, πρέπει να οριστεί ως **Start Cell** το ανώτερο κελί του EXCEL, κάτω από το οποίο υπάρχουν οι υπόλοιπες μεταβλητές με τις αντίστοιχες τιμές του στην αμέσως δεξιά στήλη. Στην παρούσα περίπτωση επιλέγεται ως Start Cell το A1 μιας και στο αρχείο εισόδου δεδομένων input.xlsx το όνομα της πρώτης μεταβλητής κατά αύξοντα αριθμό γραμμής, είναι στο κελί A1.

Εάν αντί για την επιλογή **Link**, επιλεγεί **Embed**, τότε θα εισαχθούν τα στοιχεία του EXCEL, χωρίς να είναι δυνατή η ενημέρωση του προγράμματος σε μία επικείμενη αλλαγή τιμής εντός του EXCEL.

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.2.7. Σύνδεση EXCEL με Inventor

Για τη επιβεβαίωση της σωστής ανωτέρω διαδικασίας, μετά την επιλογή του αρχείου EXCEL προς σύνδεση, τα στοιχεία του αρχείου πρέπει να εμφανιστούν στο παράθυρο Parameters (εικόνα 4.2.8). Συγκεκριμένα, θα εμφανιστούν οι δύο (2) πρώτες στήλες (A και B). Τα στοιχεία της στήλης A (ονόματα μεταβλητών) μπαίνουν στην στήλη Parameter Name, ενώ τα στοιχεία της στήλης B (τιμές μεταβλητών) μπαίνουν στην στήλη Equation. Στην στήλη Unit/Type εμφανίζεται η μονάδα μέτρησης, όπως έχει καθοριστεί κατά την δημιουργία του αρχείου .ipt.

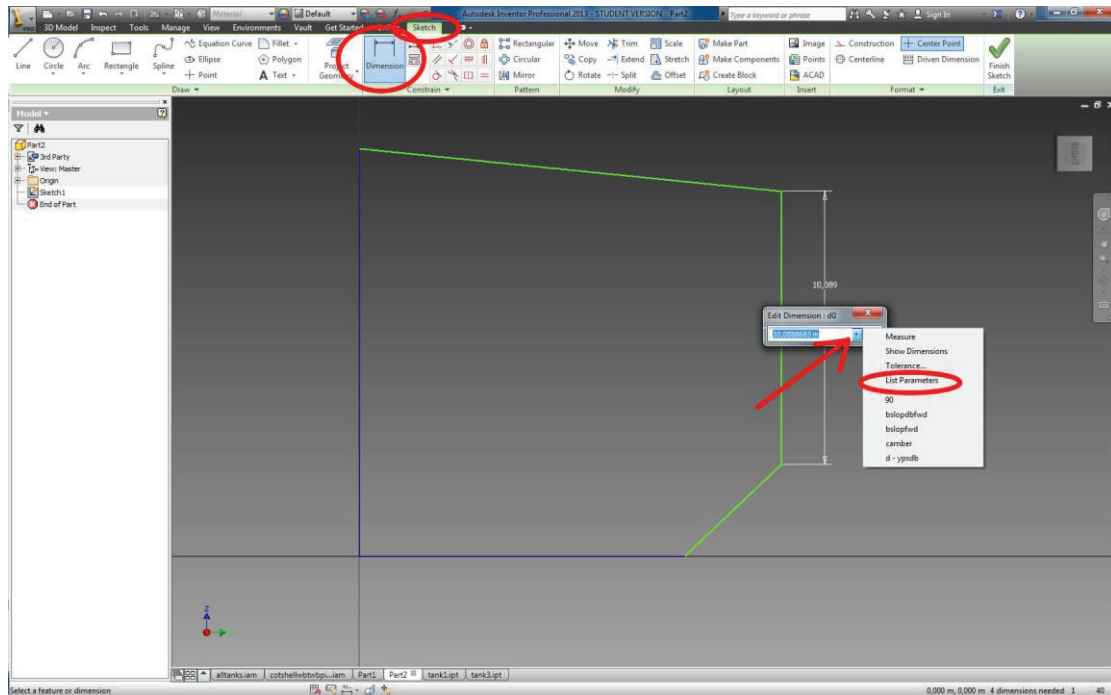
## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Parameter Name	Unit/Type	Equation	Nominal Value	Tol.	Model Value	Key	Comment
loa	m	243,91 m	243,910000		243,910000		
lbp	m	234 m	234,000000		234,000000		
b	m	42 m	42,000000		42,000000		
d	m	21 m	21,000000		21,000000		
ldesign	m	13,6 m	13,600000		13,600000		
camber	m	1,05 m	1,050000		1,050000		
ypscb	m	2,3 m	2,300000		2,300000		
ypshopper	m	5,6 m	5,600000		5,600000		
bilgerad	m	1,92 m	1,920000		1,920000		
ltrnk1	m	29,92 m	29,920000		29,920000		
ltrnk1mid	m	14,2 m	14,200000		14,200000		
btrnk1dabfvd	m	3,96 m	3,960000		3,960000		
btrnk1fvd	m	9,22 m	9,220000		9,220000		
btrnk1dabmid	m	11,1 m	11,100000		11,100000		
btrnk1mid	m	15,99 m	15,990000		15,990000		
btrnk1dabft	m	15,77 m	15,770000		15,770000		
btrnk1aft	m	18,5 m	18,500000		18,500000		
ltrnk2	m	29,97 m	29,970000		29,970000		
btrnk2ab	m	15,77 m	15,770000		15,770000		
btrnk2	m	18,5 m	18,500000		18,500000		
ltrnk3	m	29,97 m	29,970000		29,970000		
btrnk3ab	m	15,77 m	15,770000		15,770000		
btrnk3	m	18,5 m	18,500000		18,500000		
ltrnk4	m	40 m	40,000000		40,000000		
btrnk4ab	m	15,77 m	15,770000		15,770000		
btrnk4	m	18,5 m	18,500000		18,500000		
ltrnk5	m	29,97 m	29,970000		29,970000		
btrnk5ab	m	15,77 m	15,770000		15,770000		
btrnk5	m	18,5 m	18,500000		18,500000		
ltrnk6	m	24,03 m	24,030000		24,030000		
btrnk6abfvd	m	15,77 m	15,770000		15,770000		
btrnk6fvd	m	18,5 m	18,500000		18,500000		

Σχήμα 8. Έλεγχος εισαχθέντων στοιχείων από εξωτερική πηγή δεδομένων EXCEL

Μετά την παραπάνω διαδικασία σύνδεσης αρχείου EXCEL με το Inventor, επιλέγουμε από την καρτέλα **Sketch** τις απαραίτητες εντολές (Line, Circle, Arc κ.τ.λ.) προκειμένου να σχεδιαστεί η εγκάρσια τομή της δεξαμενής, αγνοώντας (προς το παρόν) τις διαστάσεις της σχεδιασμένης διατομής (εικόνα 4.2.9). Προκειμένου να συνδέσουμε τις τιμές του αρχείου inrut.xlsx, τις οποίες εισάγαμε προηγουμένως, χρησιμοποιούμε την εντολή **Dimension** από την καρτέλα **Sketch**. Έχοντας επιλεγμένη την εντολή **Dimension** επιλέγουμε την διάσταση που θέλουμε να ορίσουμε, στην συνέχεια επιλέγουμε από το βέλος στα δεξιά της διάστασης την επιλογή **List Parameters**, εμφανίζεται μια λίστα με τις εισαχθέντες μεταβλητές από το EXCEL και επιλέγουμε την μεταβλητή που αντιπροσωπεύει την προς διαστασιολόγηση πλευρά (εικόνα 4.2.10).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

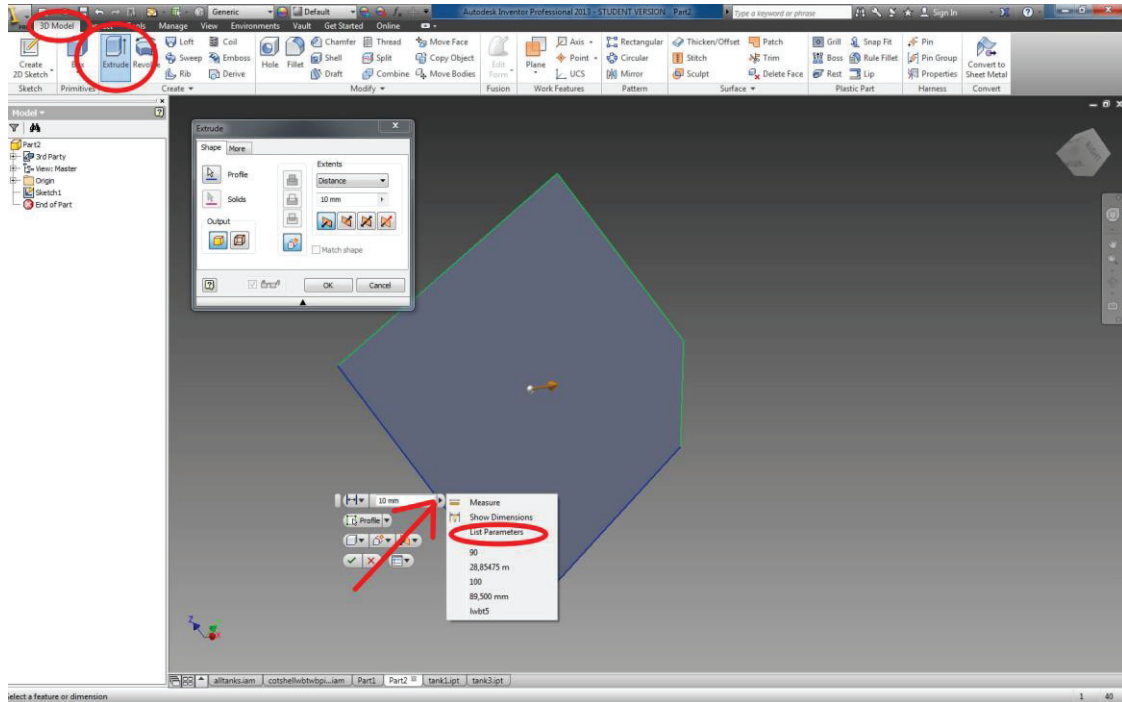


Εικόνα 4.2.10. Ορισμός διάστασης με μεταβλητή σε 2D σχέδιο

Την παραπάνω διαδικασία την επαναλαμβάνουμε με όλες τις πλευρές της εγκάρσιας τομής και με αυτό τον τρόπο ορίζουμε τις διαστάσεις της. Το Inventor δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να ορίσει μια διάσταση μέσω πράξεων μεταξύ εισαχθέντων μεταβλητών. Με τον τρόπο αυτό, ελαχιστοποιείται ο αριθμός των απαιτούμενων μεταβλητών από το EXCEL στο Inventor.

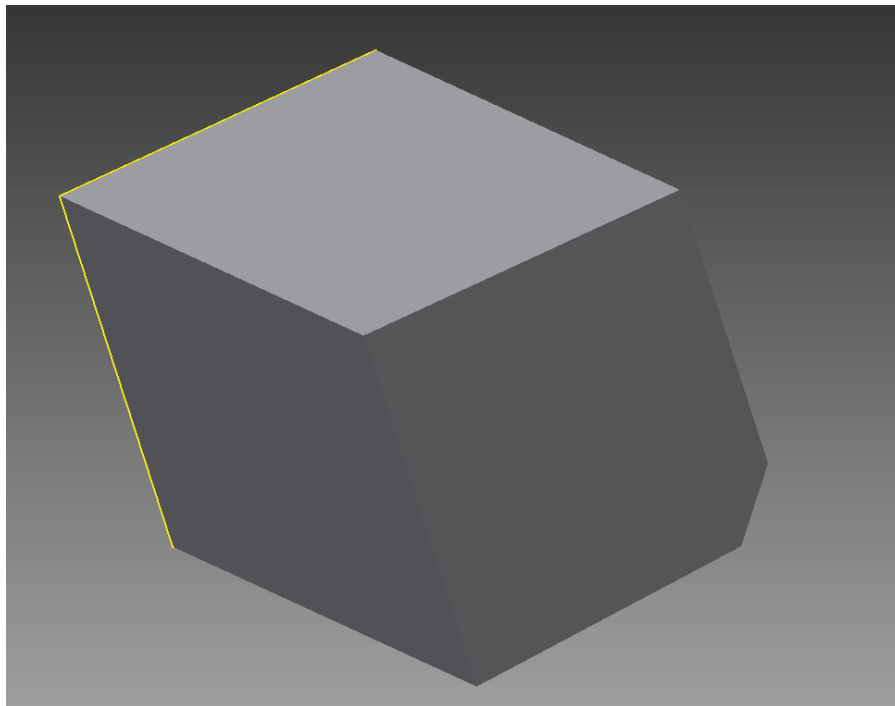
Έχοντας τελειώσει με την διαστασιολόγηση της εγκάρσιας τομής, επιλέγουμε την εντολή **Finish Sketch** και από την καρτέλα **3D Model** επιλέγουμε την εντολή **Extrude**. Επιλέγοντας το βέλος δίπλα από την διάσταση, επιλέγουμε την επιλογή **List Parameters**. Από την εμφανιζόμενη λίστα των μεταβλητών επιλέγουμε την μεταβλητή του μήκους της δεξαμενής (εικόνα 4.2.11).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.2.11. Εντολή Extrude σε 2D σχέδια

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε ένα 3D μοντέλο δεξαμενής στο παράλληλο τμήμα του πλοίου (εικόνα 4.2.12).

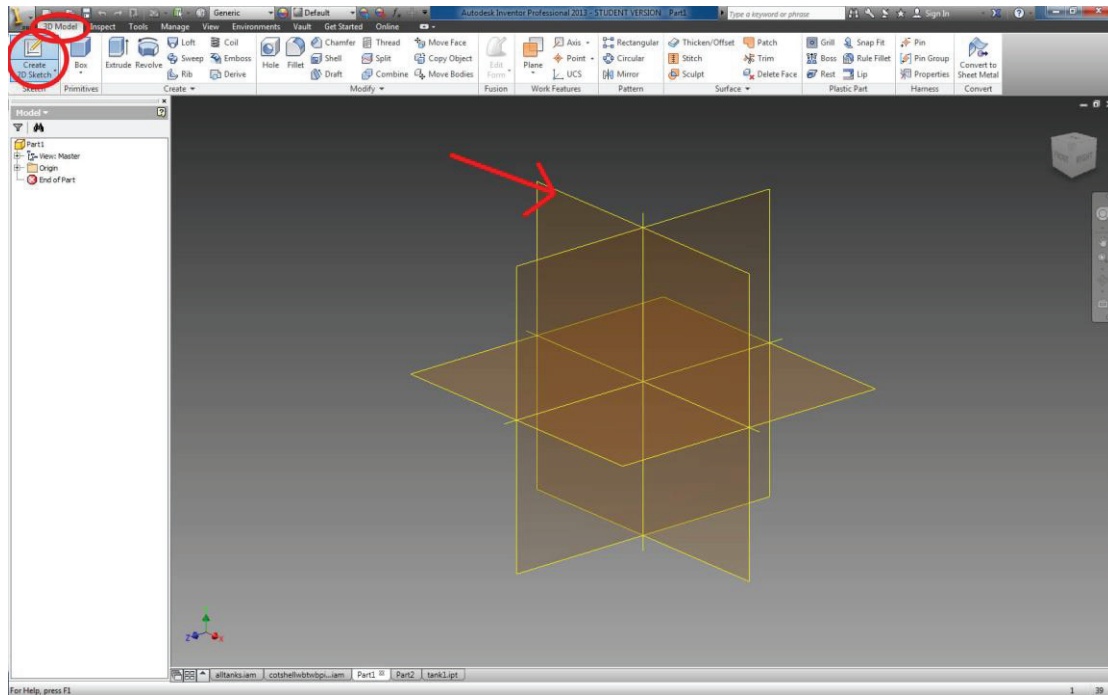


Εικόνα 4.2.12. 3D μοντέλο δεξαμενής παράλληλου τμήματος

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Η εντολή **Extrude** χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή 3D μοντέλων δεξαμενών σταθερής διατομής κατά το διάμηκες. Η σχεδίαση 3D μοντέλων δεξαμενών με μη σταθερή διατομή κατά το διάμηκες παρουσιάζει ορισμένες διαφορές.

Έχοντας δημιουργήσει ένα νέο αρχείο .ipt, με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω (εικόνα 4.2.5), επιλέγουμε την εντολή **3D Model -> Create 2D Sketch** και επιλέγουμε το επίπεδο διαμήκης τομής της δεξαμενής (επίπεδο XZ) (εικόνα 4.2.12).



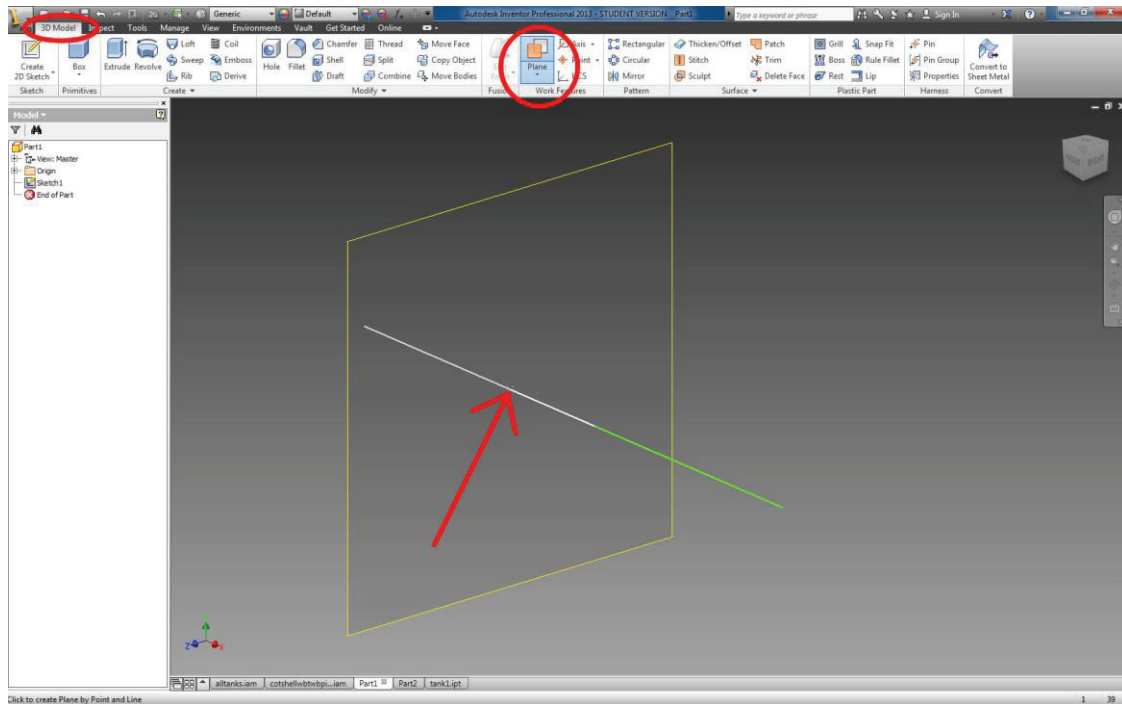
Εικόνα 4.2.12. Δημιουργία 2D σχεδίου – διάμηκες επίπεδο

Στο διάμηκες επίπεδο XZ σχεδιάζονται από την εντολή **Sketch -> Line**, τόσες ευθείες, όσες είναι ο αριθμός των σημείων, κατά το διάμηκες, αλλαγής της εγκάρσιας τομής της δεξαμενής. Η διαδικασία ορισμού των μονάδων μέτρησης και σύνδεσης του αρχείου input.xlsx είναι ίδια με την διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω.

Χρησιμοποιώντας την εντολή **Sketch -> Dimension** καθορίζουμε την διάσταση των ευθειών, οι οποίες αντιπροσωπεύουν την διαμήκης απόσταση μεταξύ των σημείων αλλαγής της εγκάρσιας διατομής της δεξαμενής. Η παραμετρική διαστασιολόγηση γίνεται όπως περιγράφεται ανωτέρω. Ο ορισμός των παραπάνω ευθειών γίνεται με αυτόν τον τρόπο, προκειμένου να δημιουργηθούν επίπεδα κάθετα στις παραπάνω ευθείες, στα οποία σχεδιάζεται η εγκάρσια διατομή της δεξαμενής.

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Για την δημιουργία των κάθετων επιπέδων στις παραπάνω ευθείες γίνεται χρήση της εντολής **3D Model -> Plane** επιλέγοντας τα άκρα των παραπάνω ευθειών κατά το διάμηκες.

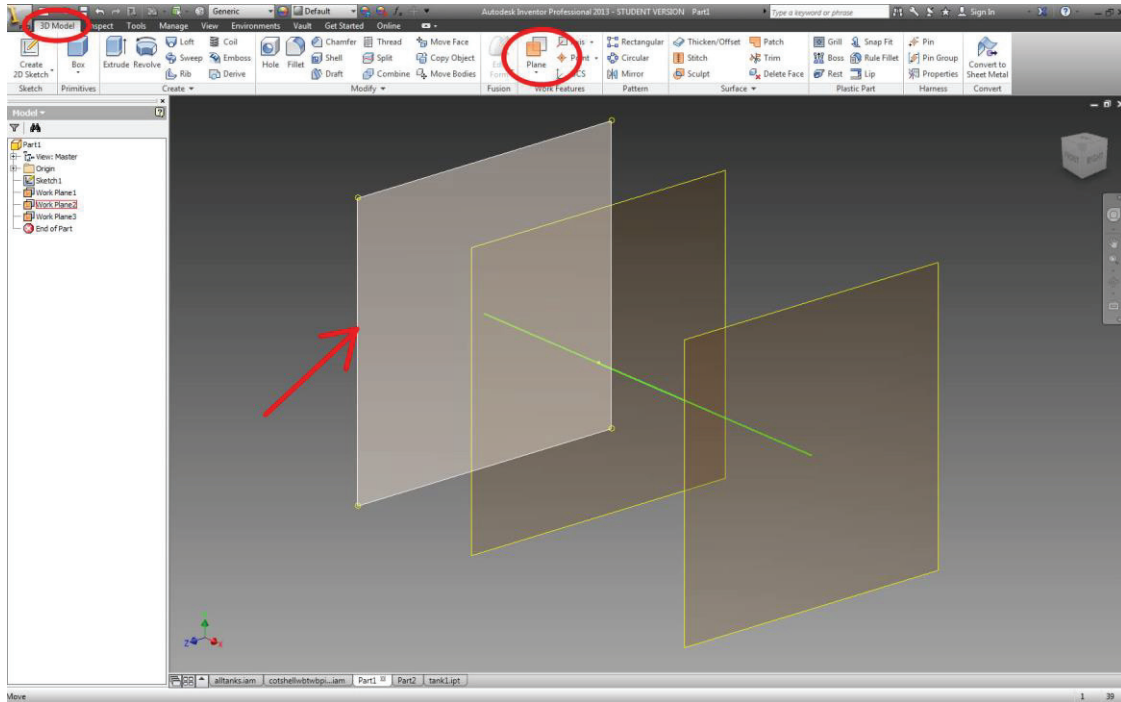


Εικόνα 4.2.13. Δημιουργία επιπέδων σε σημεία αλλαγής εγκάρσιας διατομής δεξαμενής

Στην συνέχεια, προκειμένου να σχεδιαστεί η εγκάρσια τομή της δεξαμενής σε κάθε επίπεδο, χρησιμοποιούμε την εντολή **3D Model -> Create 2D Sketch** και επιλέγουμε το επιθυμητό επίπεδο σχεδίασης της εγκάρσιας τομής (εικόνα 4.2.14).

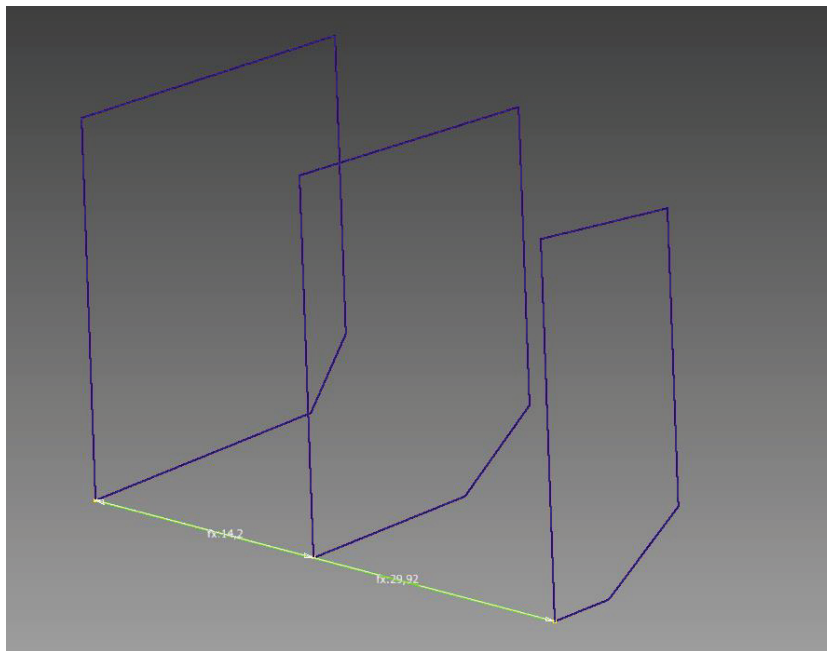


## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.2.14. Επιλογή επιπέδου για σχεδίαση εγκάρσιας τομής δεξαμενής

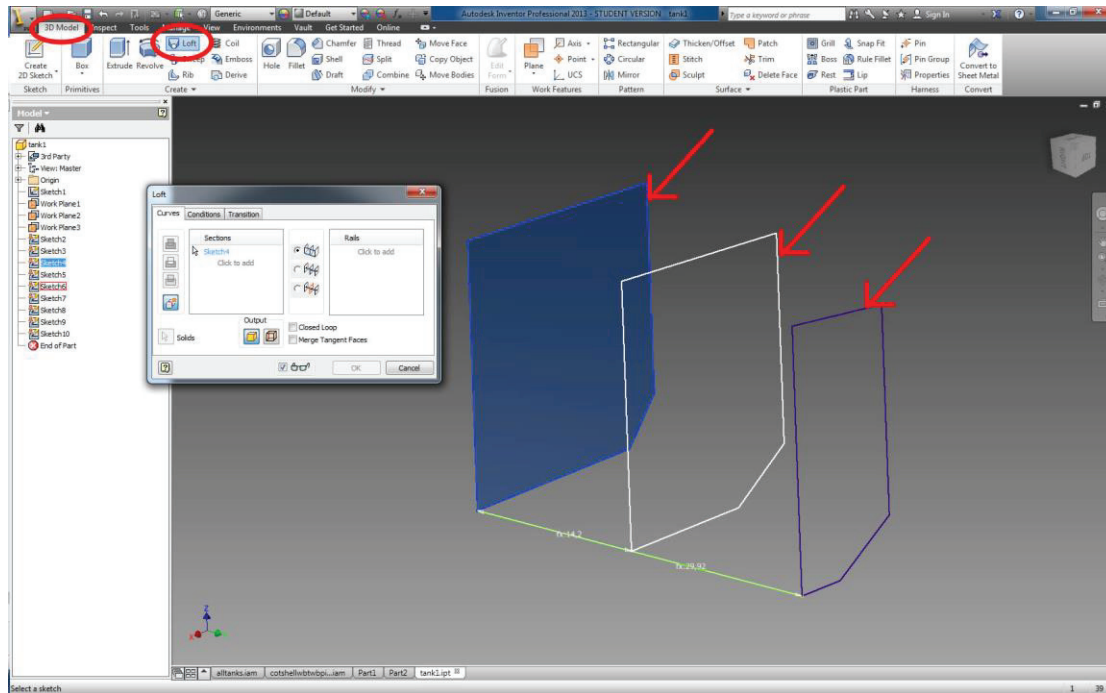
Έχοντας σχεδιάσει και διαστασιολογήσει παραμετρικά τις εγκάρσιες τομές στα διαμήκη σημεία αλλαγής της διατομής της δεξαμενής, έχει δημιουργηθεί ένας αριθμός με 2D εγκάρσιες τομές, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2.15.



Σχήμα 15. 2D εγκάρσιες τομές δεξαμενής σε σημεία αλλαγής γεωμετρίας

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

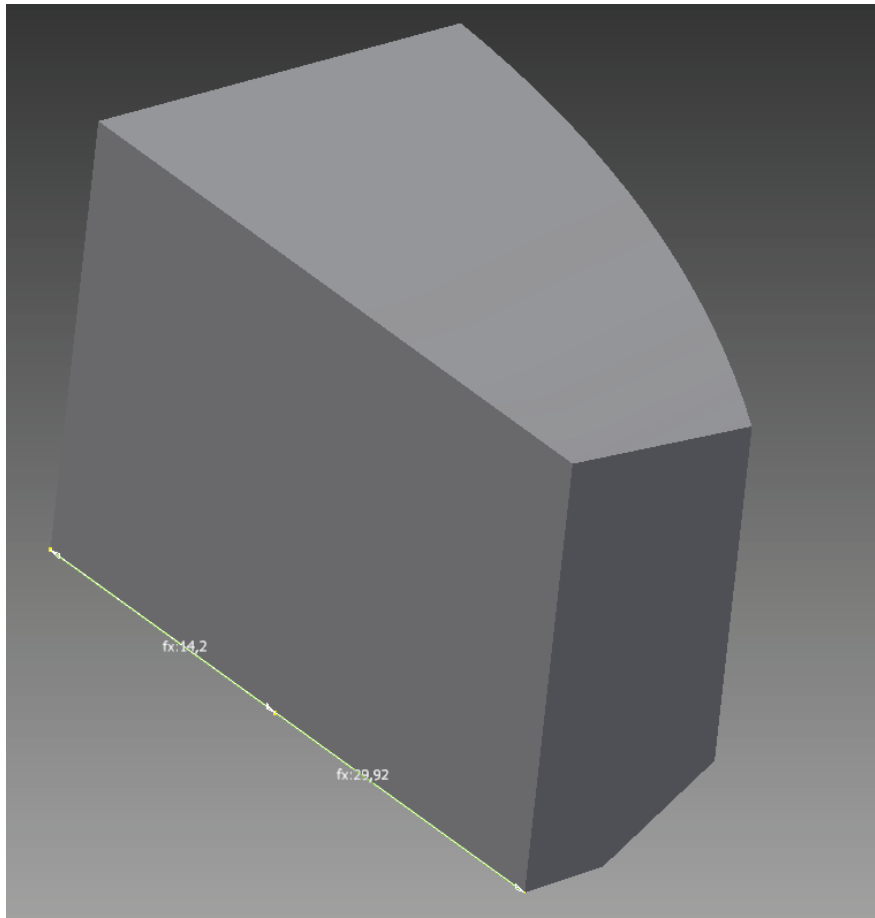
Για την ένωση των παραπάνω εγκάρσιων τομών και την δημιουργία του 3D περιγραμμένου μοντέλου χρησιμοποιείται η εντολή **3D Model -> Loft** και επιλέγονται οι εγκάρσιες τομές κατά διαδοχική σειρά (εικόνα 4.2.16).



Σχήμα 16. Εντολή Loft για παρεμβολή 2D σχεδίων

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε ένα 3D μοντέλο δεξαμενής του πρωαίο τμήματος του πλοίου, όπου η εγκάρσια διατομή του μεταβάλλεται κατά το μήκος της (εικόνα 4.2.17).

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

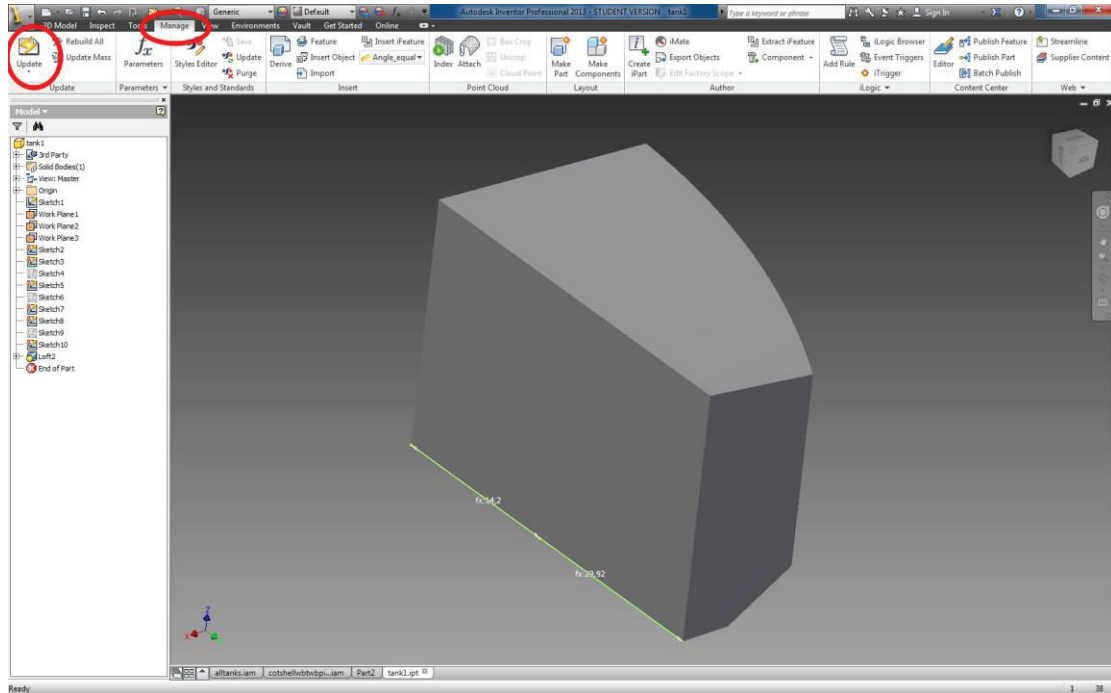


Εικόνα 4.2.17. 3D μοντέλο δεξαμενής πρωραίου τμήματος

Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία, σχεδιάζονται τα 3D μοντέλα όλων των δεξαμενών φορτίου (No. 1 – 6 C.O.T.), των δεξαμενών έρματος (No. 1 – 6 W.B.T.) και τις Slop Tanks.

Έχοντας όλα τα 3D μοντέλα δεξαμενών (αρχεία με κατάληξη .ipt) αποθηκευμένα στον ίδιο φάκελο με το αρχείο input.xlsx, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αλλάξει τις διαστάσεις των δεξαμενών, τροποποιώντας τις τιμές των μεταβλητών στην στήλη B του αρχείου input.xlsx. Παραδείγματος χάριν, προκειμένου να αλλαχθεί το μήκος της απεικονιζόμενης δεξαμενής στην εικόνα 4.2.17 (No.1 C.O.T.(P)), ο χρήστης χρειάζεται να τροποποιήσει την τιμή της μεταβλητής που αντιπροσωπεύει το μήκος της παραπάνω δεξαμενής (ανατρέχοντας στην εικόνα 4.2.2 βλέπουμε ότι είναι η μεταβλητή ltnk1) στην στήλη B (αλλάζουμε το αρχικά ορισμένο μήκος από 29,92m σε 40m) και να αποθηκεύσει το αρχείο input.xlsx. Αυτόματα, στο Inventor «ενεργοποιείται» η εντολή **Manage -> Update**. Επιλέγοντάς την το 3D μοντέλο αναδιαμορφώνεται στην νέα του διάσταση (εικόνα 4.2.18).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

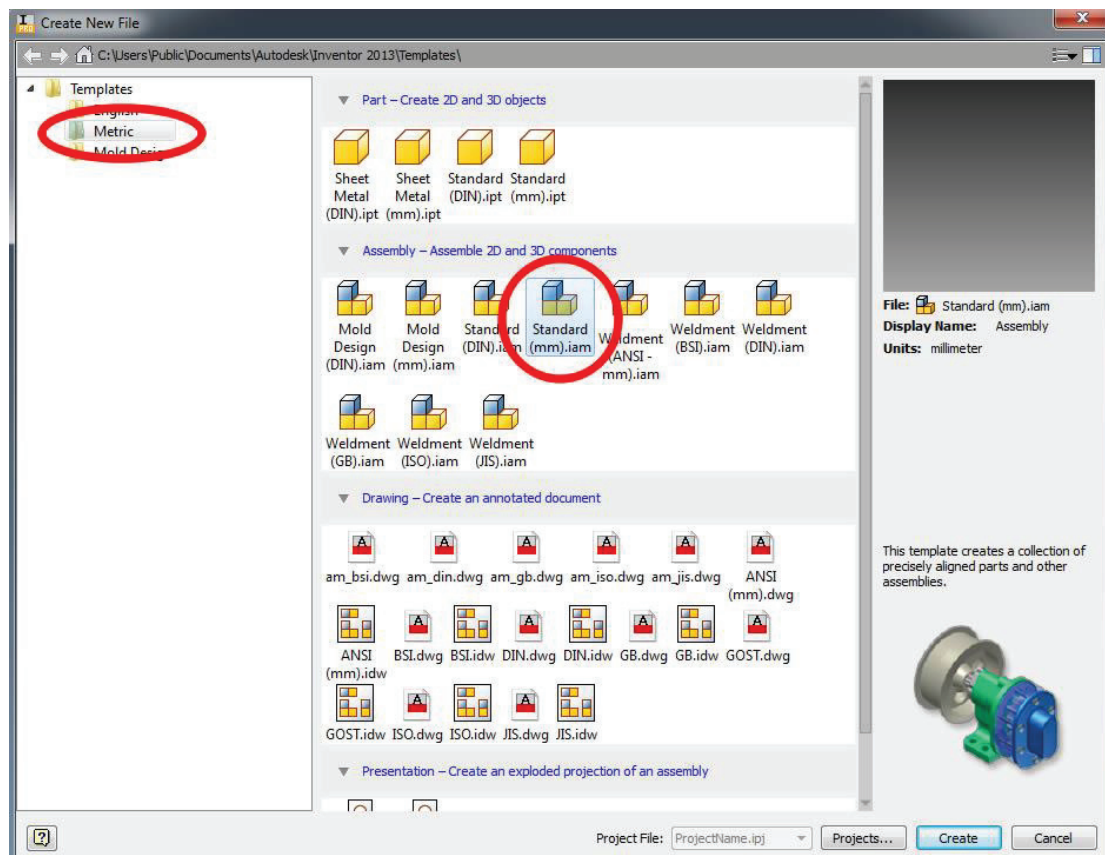


Εικόνα 4.2.18. Αυτόματη τροποποίηση διαστάσεων 3D μοντέλων μέσω αρχείου EXCEL

Στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α** παρουσιάζονται τα 3D μοντέλα των δεξαμενών που δημιουργήθηκαν.

## Δημιουργία ολοκληρωμένου 3D μοντέλου δεξαμενών φορτίου & έρματος

Έχοντας δημιουργήσει σε ξεχωριστά αρχεία .ipt 3D μοντέλα δεξαμενών, η σύνδεση / συναρμογή τους, προκειμένου να δημιουργηθεί το τελικό 3D μοντέλο του υπό μελέτη πλοίου, γίνεται μέσω ενός νέου σχεδίου τύπου **Assembly**. Για την δημιουργία ενός τέτοιου αρχείου, κατά το άνοιγμα του προγράμματος Inventor επιλέγουμε από την εντολή **New Projects**, την καρτέλα **Metric** και από την κατηγορία **Assembly – Assemble 2D and 3D components** την επιλογή **Standard (mm).iam**, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2.19.



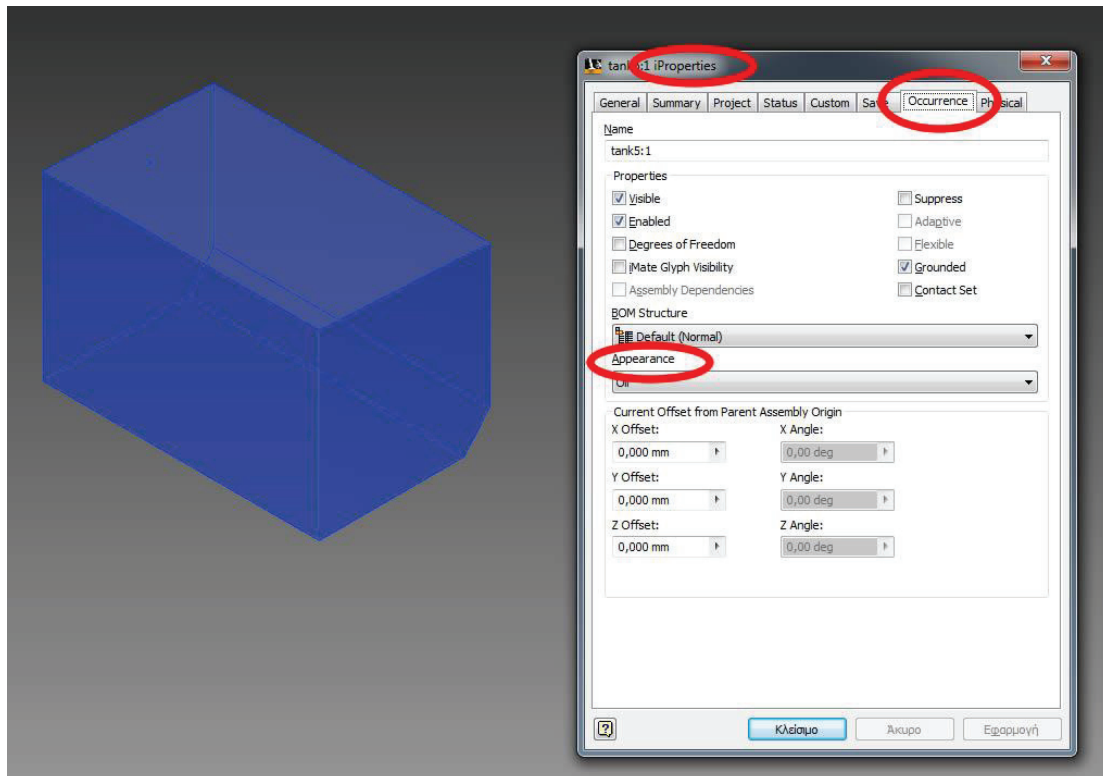
Εικόνα 4.2.19. Δημιουργία νέου .iam αρχείου

Για την εισαγωγή των αρχείων .ipt χρησιμοποιείται η εντολή **Assembly -> Place**.

Η κάθε δεξαμενή, ανάλογα με το είδος του φορτίου με το οποίο γεμίζει, χρωματίστηκε κατάλληλα. Συγκεκριμένα οι δεξαμενές φορτίου χρωματίστηκαν με πράσινο – λαδί ενώ οι δεξαμενές έρματος με μπλε. Ο τρόπος χρωματισμού της κάθε δεξαμενής είναι ο ίδιος. Επιλέγοντας με δεξί «κλικ» μια δεξαμενή, χρησιμοποιούμε την εντολή **iProperties** από την αναδυόμενη λίστα. Στην καρτέλα **Occurrence** χρησιμοποιούμε την εντολή **Appearance**, απ' όπου επιλέγεται το χρώμα της

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

δεξαμενής (εικόνα 4.2.20). Οι υπόλοιπες εντολές / επιλογές μέσω του **iProperties** παρουσιάζονται παρακάτω στην παρούσα έκθεση.



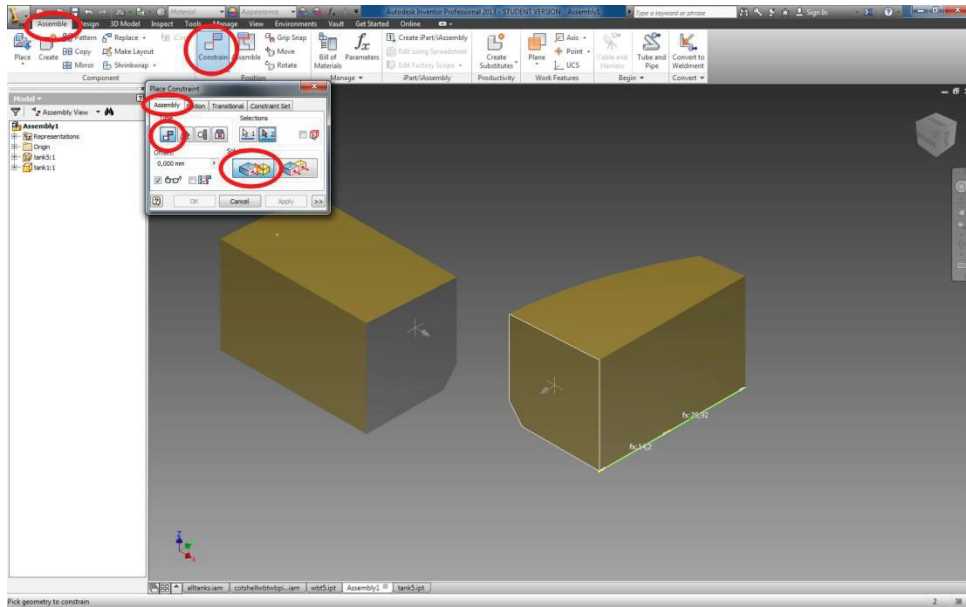
Εικόνα 4.2.20. Αλλαγή χρώματος 3D μοντέλου δεξαμενής

Κάθε δεξαμενή ενώνεται με τις παρακείμενες δεξαμενές με ορισμένους περιορισμούς συναρμογής / επιφανειακές συνθήκες. Για τον ορισμό των προαναφερθέντων περιορισμών συναρμογής, χρησιμοποιείται η εντολή **Assembly -> Constrain**. Η παρουσίαση της χρήσης της εντολής **Assembly -> Constrain** διαχωρίζεται στην χρήση της μεταξύ ομοειδών δεξαμενών και ετεροειδών δεξαμενών.

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

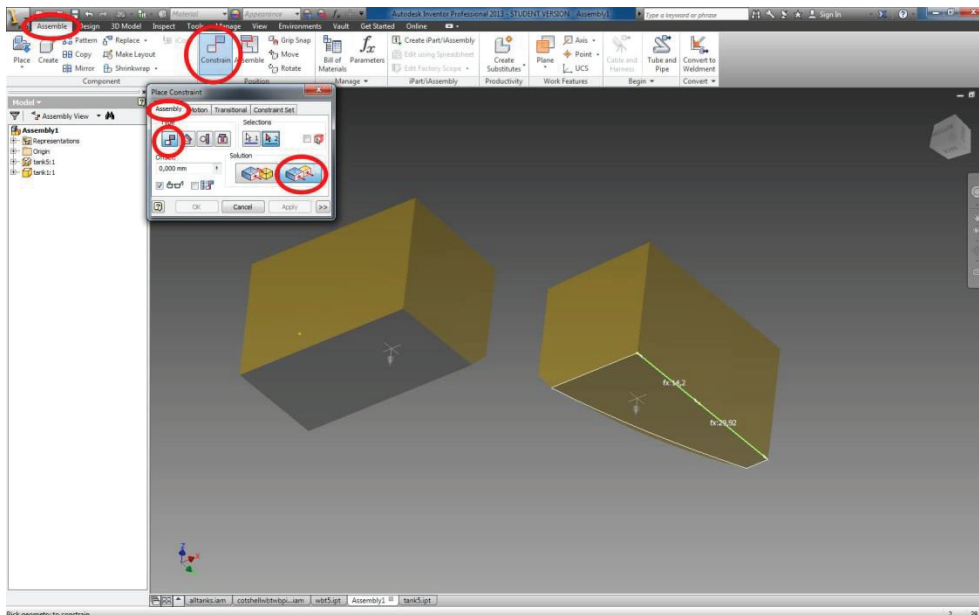
Για ομοειδείς δεξαμενές, οι περιορισμοί είναι οι εξής:

1. Η πρωραία επιφάνεια της πυρμναίας δεξαμενής πρέπει να εφάπτεται με την πυρμναία πλευρά της πρωραίας δεξαμενής (εικόνα 4.2.21).



Εικόνα 4.2.21. Περιορισμός εφάπτομενικότητας

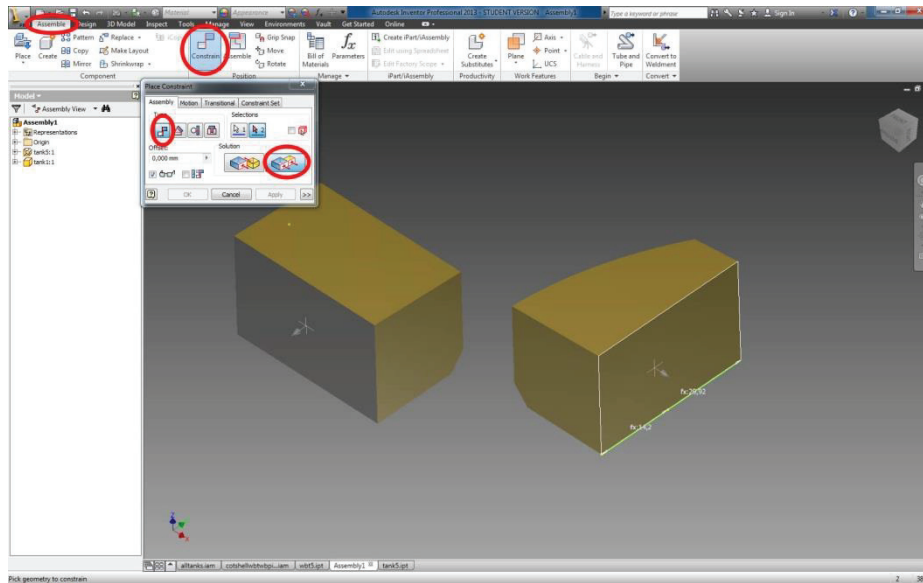
2. Οι επιφάνειες των κάτω πλευρών των προς σύνδεση δεξαμενών πρέπει να είναι συνεπίπεδες (εικόνα 4.2.22).



Εικόνα 4.2.22. Περιορισμός συνεπίπεδων επιφανειών κάτω πλευράς (πυθμένα)

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

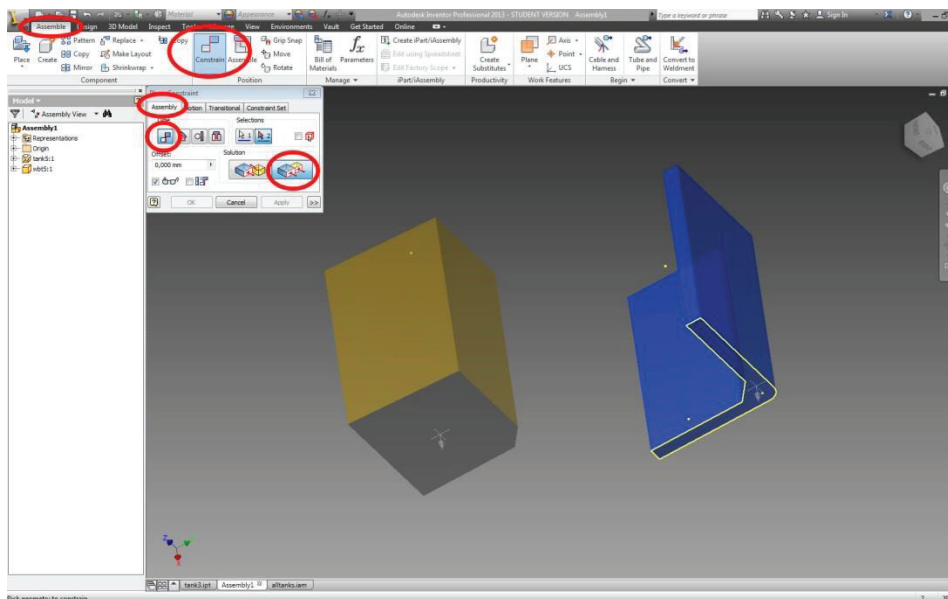
3. Η πλευρά της κάθε δεξαμενής που βρίσκεται στο επίπεδο συμμετρίας του υπό μελέτη πλοίου πρέπει να είναι συνεπίπεδη με τις αντίστοιχες των άλλων δεξαμενών (εικόνα 4.2.23).



Εικόνα 4.2.23. Περιορισμός συνεπίπεδων επιφανειών στο επίπεδο συμμετρίας

Για ετεροειδείς δεξαμενές, οι περιορισμοί είναι οι εξής:

1. Οι πρωταίες επιφάνειες των δύο (2) δεξαμενών πρέπει να είναι συνεπίπεδες (εικόνα 4.2.24).

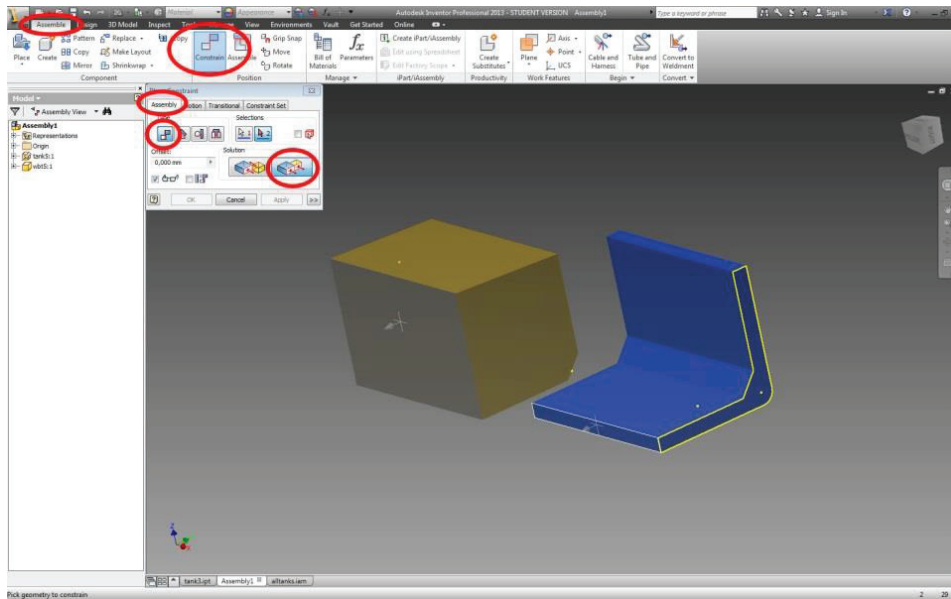


Εικόνα 4.2.24. Περιορισμός συνεπίπεδων πρωταίων επιφανειών



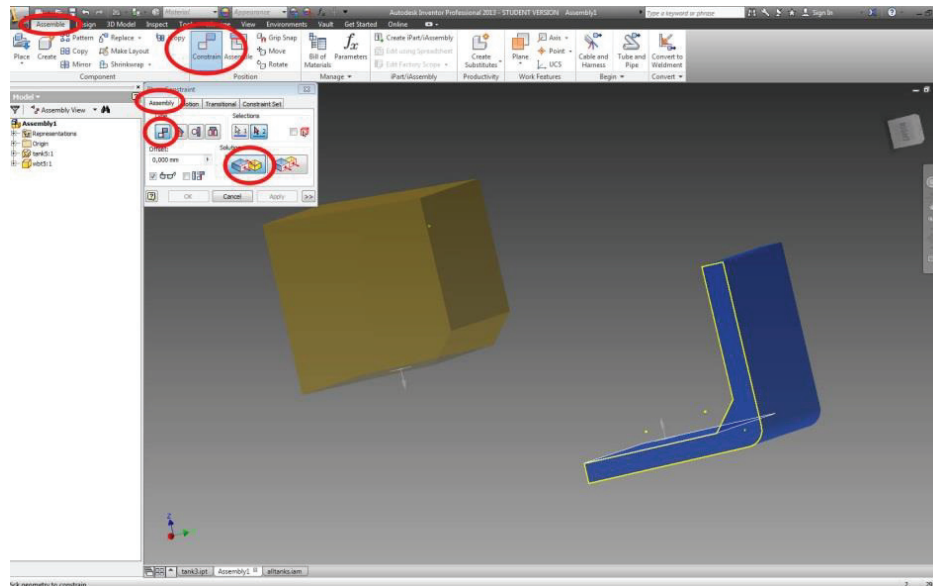
Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

2. Η πλευρά της κάθε δεξαμενής που βρίσκεται στο επίπεδο συμμετρίας του υπό μελέτη πλοίου πρέπει να είναι συνεπίπεδη (εικόνα 4.2.25).



Εικόνα 4.2.25. Περιορισμός συνεπίπεδων επιφανειών στο επίπεδο συμμετρίας

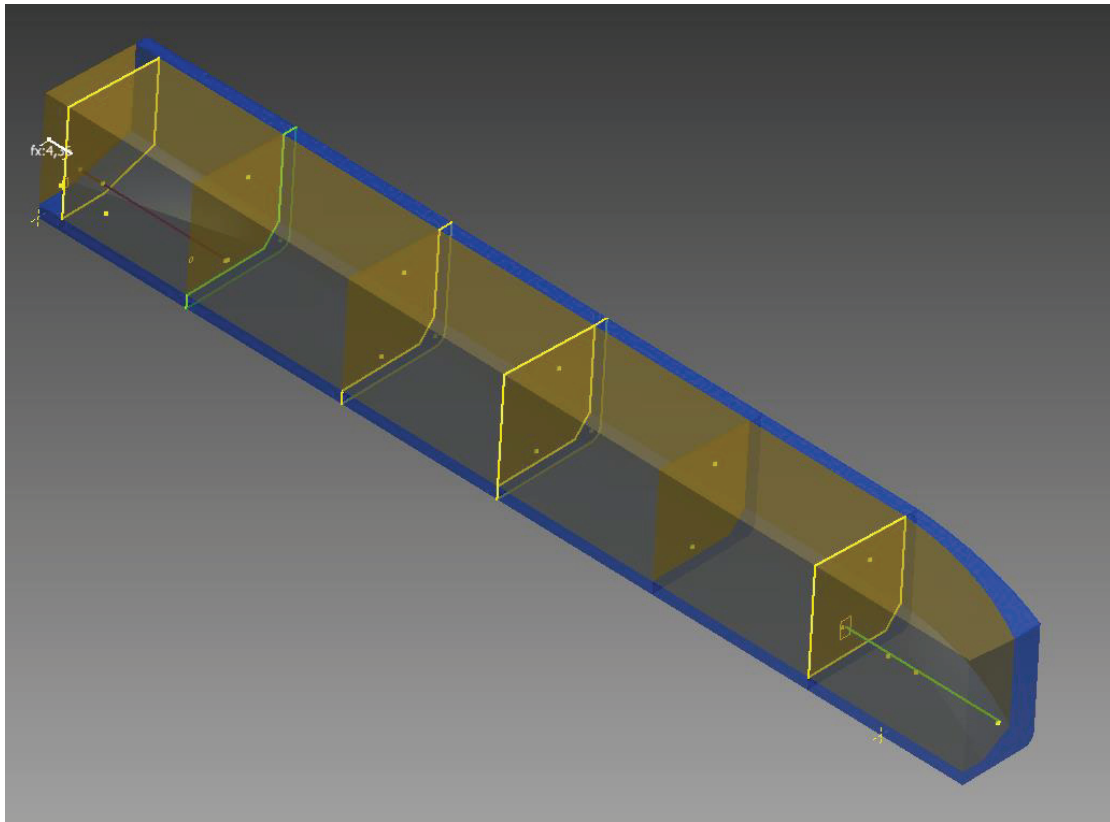
3. Η κάτω επιφάνεια της δεξαμενής φορτίου πρέπει να εφάπτεται με την άνω μεριά της δεξαμενής έρματος (εικόνα 4.2.26).



Εικόνα 4.2.26. Περιορισμός εφάπτημενικότητας κάτω επιφάνειας COT με άνω επιφάνεια WBT

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

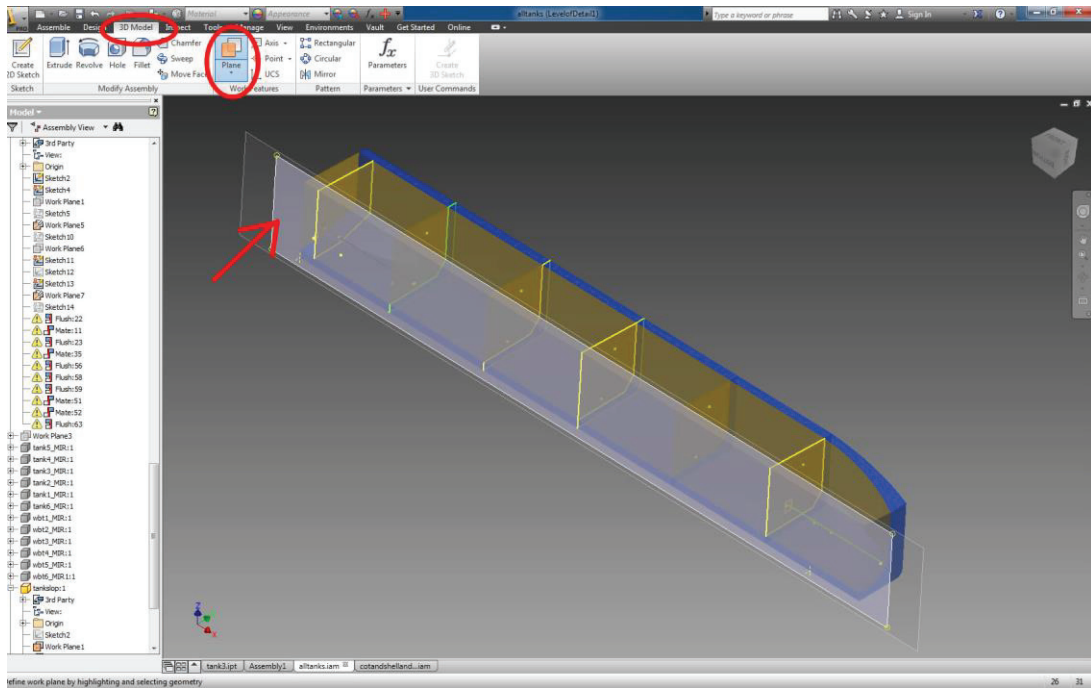
Εισάγοντας όλους τους περιορισμούς συναρμογής σε όλα τα 3D σχεδιασθέντα μοντέλα δεξαμενών, δημιουργήθηκε το μοντέλο δεξαμενών έρματος και φορτίου της αριστερής πλευράς (port side) του υπό μελέτη πλοίου (εικόνα 4.2.27).



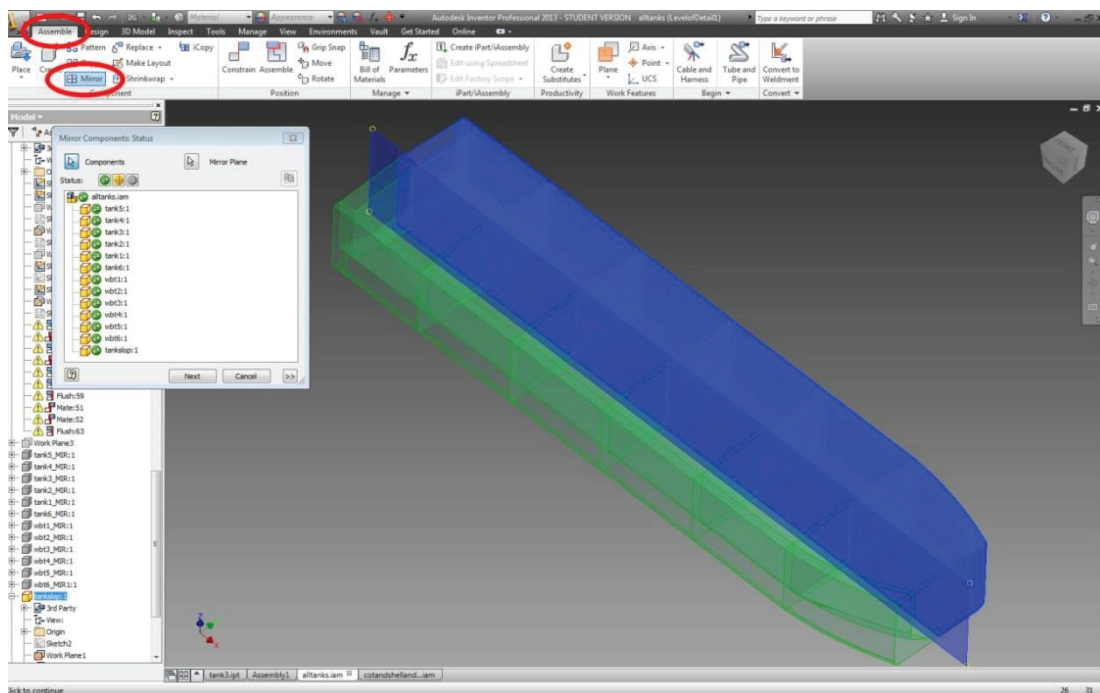
Εικόνα 4.2.27. Αριστερή πλευρά (port side) 3D μοντέλου

Τα παραπάνω δημιουργημένα 3D μοντέλα δεξαμενών σε αρχεία **.ipt** είναι της αριστερής πλευράς (port side) του υπό μελέτη πλοίου και με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε το 3D **Assembly** μοντέλο (αρχείο **.iam**) της αριστερής πλευράς (port side) του πλοίου (εικόνα 4.2.27). Για την δημιουργία των δεξαμενών της δεξιάς πλευράς (starboard side) του υπό μελέτη πλοίου, αφού δημιουργήθηκε το 3D μοντέλο **.iam** μοντέλο της αριστερή πλευράς, χρησιμοποιήθηκε η εντολή **Assembly -> Mirror** (εικόνα 4.2.29), ενώ προηγουμένως είχε οριστεί ένα νέο επίπεδο στο επίπεδο συμμετρίας μέσω της εντολής **3D Model -> Plane** (εικόνα 4.2.28).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.2.28. Δημιουργία επιπέδου στο επίπεδο συμμετρίας του πλοίου

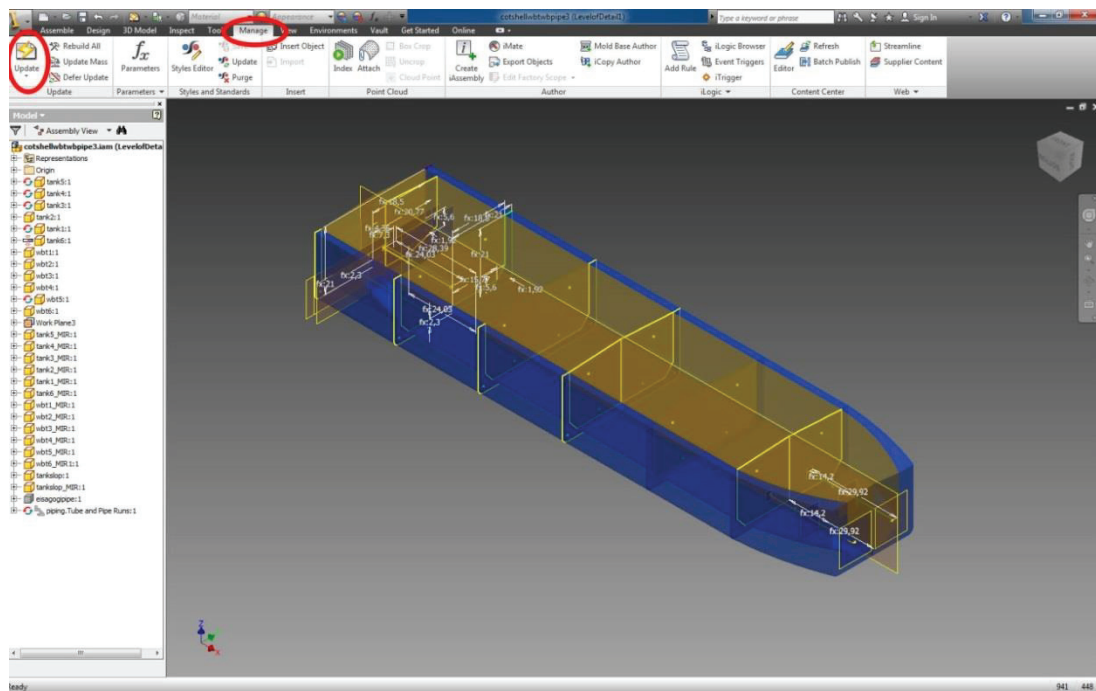


Εικόνα 4.2.29. Δημιουργία συμμετρικών δεξαμενών μέσω εντολής Mirror

Με την παραπάνω διαδικασία δημιουργήθηκε το τελικό 3D μοντέλο δεξαμενών φορτίου και έρματος.

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Το παραχθέν μοντέλο είναι παραμετρικά ορισμένο και τροποποιείται μέσω του αρχείου input.xlsx. Για την τροποποίησή του ακολουθείται η ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε για την τροποποίηση των μεμονομένων 3D μοντέλων δεξαμενών, όπως περιγράφηκε ανωτέρω. Συγκεκριμένα, αλλάζοντας τις τιμές της στήλης B του παραπάνω αρχείου EXCEL και αποθηκεύοντάς το, ενεργοποιείται η εντολή **Manage -> Update**, την οποία και επιλέγουμε (εικόνα 4.2.30). Με αυτόν τον τρόπο ενημερώνονται και τροποποιούνται αυτόματα, τόσο το ολοκληρωμένο 3D μοντέλο δεξαμενών έρματος και φορτίου (αρχείο .iam), όσο και τα μεμονομένα 3D μοντέλα δεξαμενών (αρχείο .ipt).

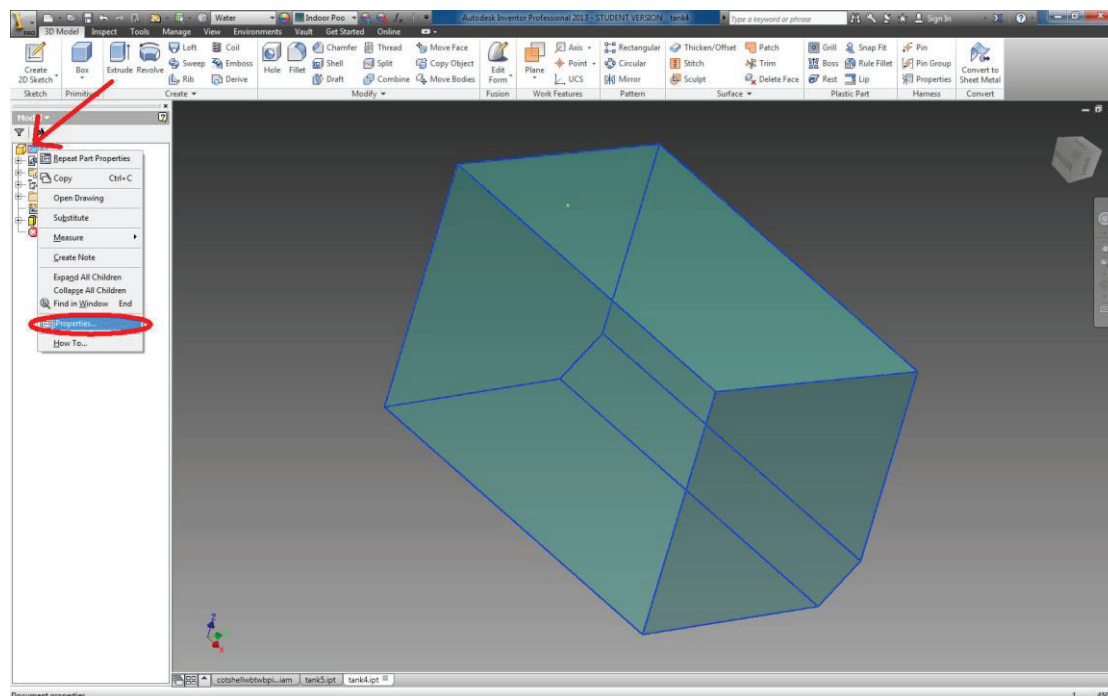


Εικόνα 4.2.30. Αυτόματη τροποποίηση διαστάσεων ολοκληρωμένου 3D μοντέλων μέσω αρχείου EXCEL

## Πλεωνεκτήματα μοντελοποίησης δεξαμενών έρματος και φορτίου στο Inventor – Λήψη αποτελεσμάτων

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και οι πληροφορίες που εξάγονται από το πρόγραμμα Inventor της Autodesk, σχετικά με τις μοντελοποιημένες δεξαμενές.

Το Inventor δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εξαγει γεωμετρικές πληροφορίες για το εκάστοτε 3D μοντέλο της δεξαμενής. Συγκεκριμένα, ανοίγοντας το αρχείο .ipt του κάθε 3D μοντέλου δεξαμενής, με δεξιά «κλικ» στο όνομα της δεξαμενής, όπως αυτό ονομάζεται στην αριστερή στήλη του προγράμματος, επιλέγουμε την εντολή **iProperties** (εικόνα 4.2.31).



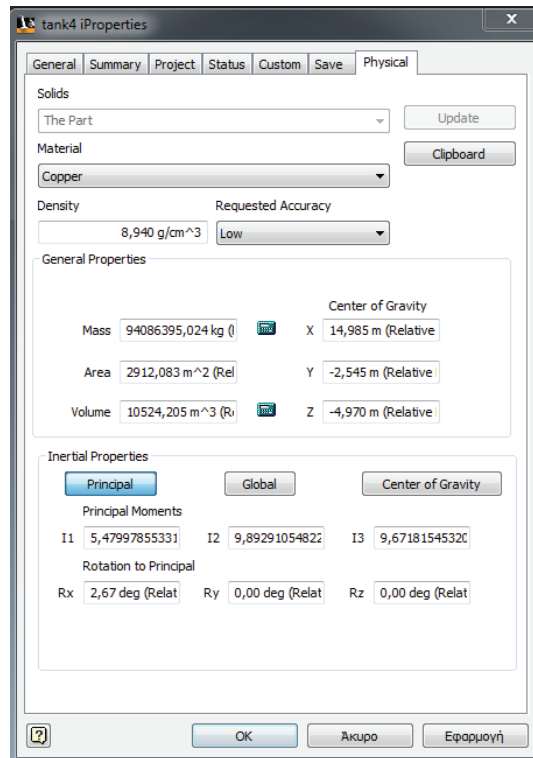
Εικόνα 4.2.31. Επιλογή εντολής iProperties σε αρχείο .ipt

Από το αναδυόμενο παράθυρο επιλέγουμε την καρτέλα **Physical**. Το Inventor δίνει την δυνατότητα να αλλαχθεί το υλικό πλήρωσης της δεξαμενής από την επιλογή **Material**. Τα στοιχεία που εξάγονται για την εκάστοτε δεξαμενή είναι τα παρακάτω (εικόνα 4.2.32):

- Επιφάνεια περιβλήματος δεξαμενής
- Μάζα
- Όγκος
- Κέντρο βάρους, ως προς το ορισμένο σύστημα συντεταγμένων
- Ροπές αδρανείας ως προς το ορισμένο σύστημα συντεταγμένων
- Ροπές αδρανείας ως προς το κέντρο βάρους της δεξαμενής

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

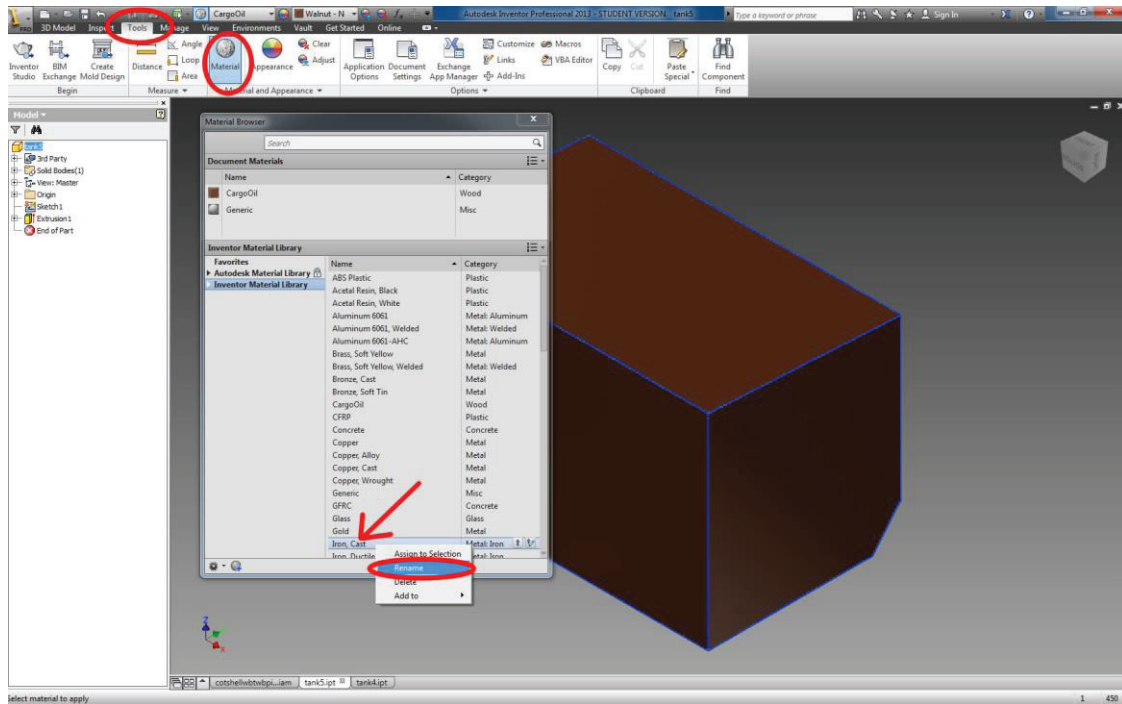
### ➤ Κύριες ροπές αδρανείας



Εικόνα 4.2.32. Γεωμετρικά στοιχεία εκάστοτε δεξαμενής

Σε περίπτωση που δεν υπάρχει το επιθυμητό υλικό εκπλήρωσης της δεξαμενής στην παραπάνω λίστα των υλικών (**Material**), η διαδικασία εισαγωγής του είναι η ακόλουθη. Χρησιμοποιούμε την εντολή **Tools -> Material** και από την αναπτυσσόμενη λίστα επιλέγουμε ένα υλικό που δεν το χρησιμοποιούμε και το μετονομάζουμε στο επιθυμητό υλικό (εικόνα 4.2.33).

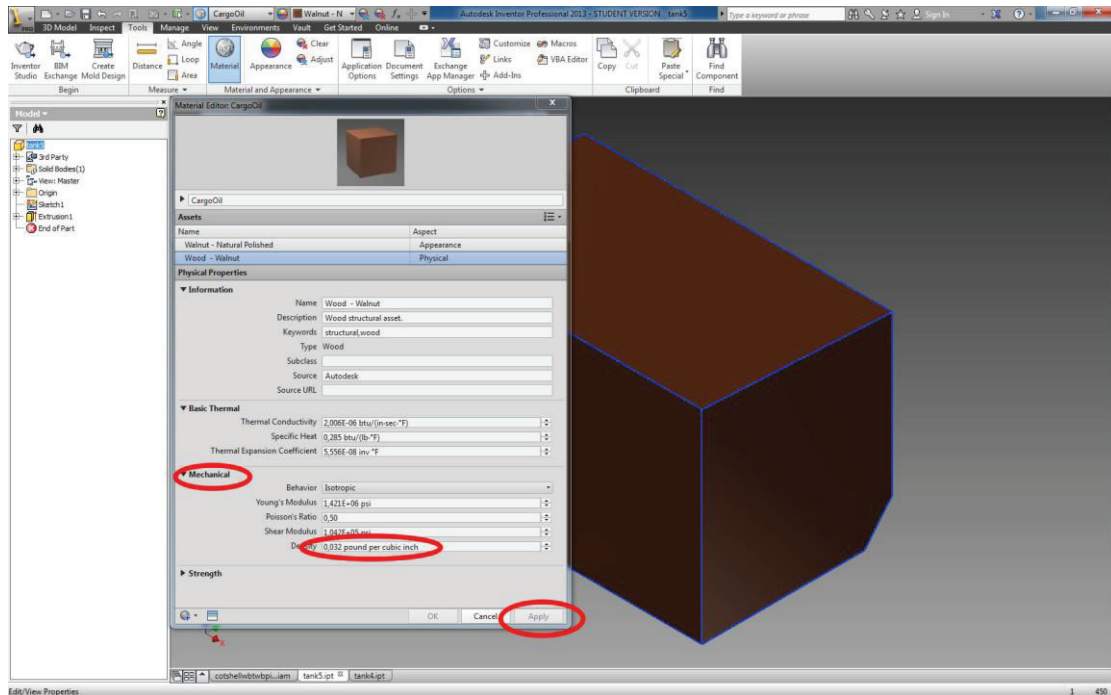
## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.2.33. Εισαγωγή ονόματος νέου υλικού εκπλήρωσης δεξαμενής

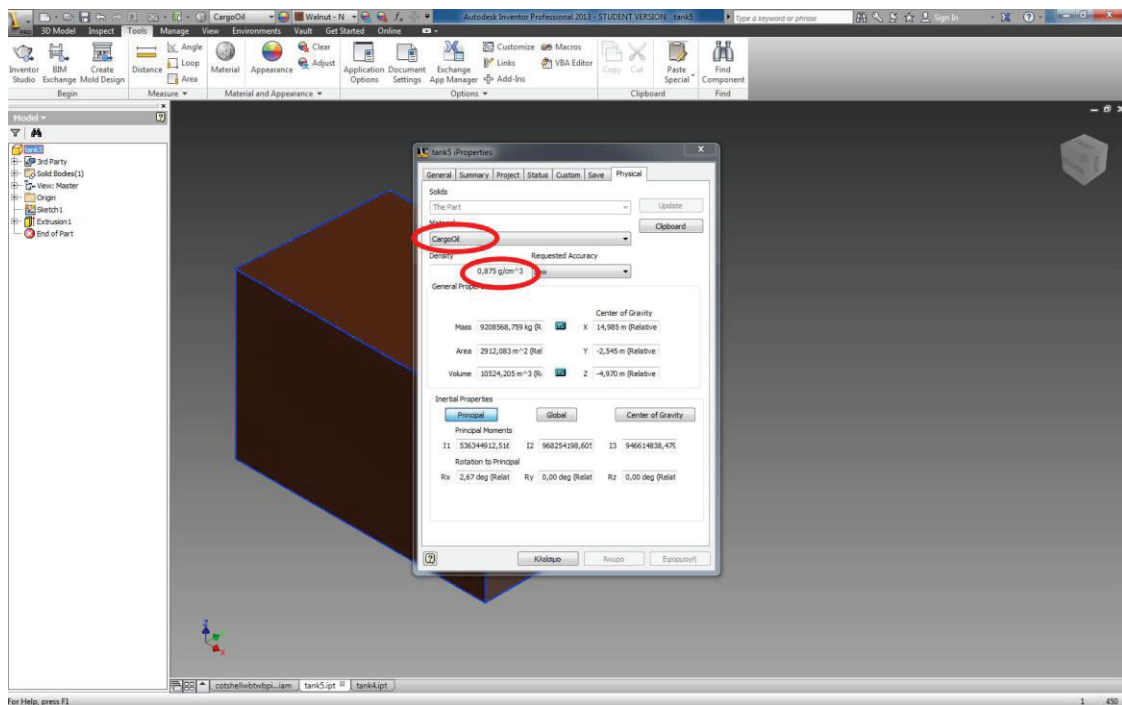
Με τον παραπάνω τρόπο δημιουργείται το υλικό με το όνομα “CargoOil”. Κάνοντας διπλό «κλικ» πάνω στο συγκεκριμένο υλικό μέσα στην λίστα **Material** ανοίγει ένα παράθυρο με λεπτομερή στοιχεία και ιδιότητες του υλικού CargoOil, τα οποία μπορούν να τροποποιηθούν. Συγκεκριμένα, στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, τροποποιήθηκε η πυκνότητα του, μέσω της καρτέλας **Physical Properties** στην ενότητα **Mechanical -> Density**. Θεωρούμε ότι το φορτίο είναι τύπου **API30** πυκνότητας  $875 \text{ kg/m}^3 = 0,0316 \text{ lbm/in}^3$ . Εισάγουμε την παραπάνω τιμή πυκνότητας και επιλέγουμε την εντολή **Apply** (εικόνα 4.2.34).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.2.34. Καθορισμός πυκνότητας νέου υλικού

Επιλέγοντας την εντολή **iProperties** -> **Physical** (εικόνα 4.2.31), επιλέγουμε το νέο υλικό **CargoOil** από την λίστα των **Material**, εισάγεται αυτόματα η νέα πυκνότητα και ενημερώνονται τα κατάλληλα στοιχεία που εξάγονται για την υπό μελέτη δεξαμενή (εικόνα 4.2.35).



Εικόνα 4.2.35. Νέα γεωμετρικά στοιχεία δεξαμενής με νέα πυκνότητα



Αντίστοιχη διαδικασία έγινε για τον ορισμό της πυκνότητας του θαλασσινού νερού, με το οποίο γεμίζουν οι δεξαμενές έρματος. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκε το υλικό με την ονομασία "SaltWater", το οποίο έχει πικνότητα **1025 kgr/m<sup>3</sup>=0,03703 lbm/in<sup>3</sup>**.

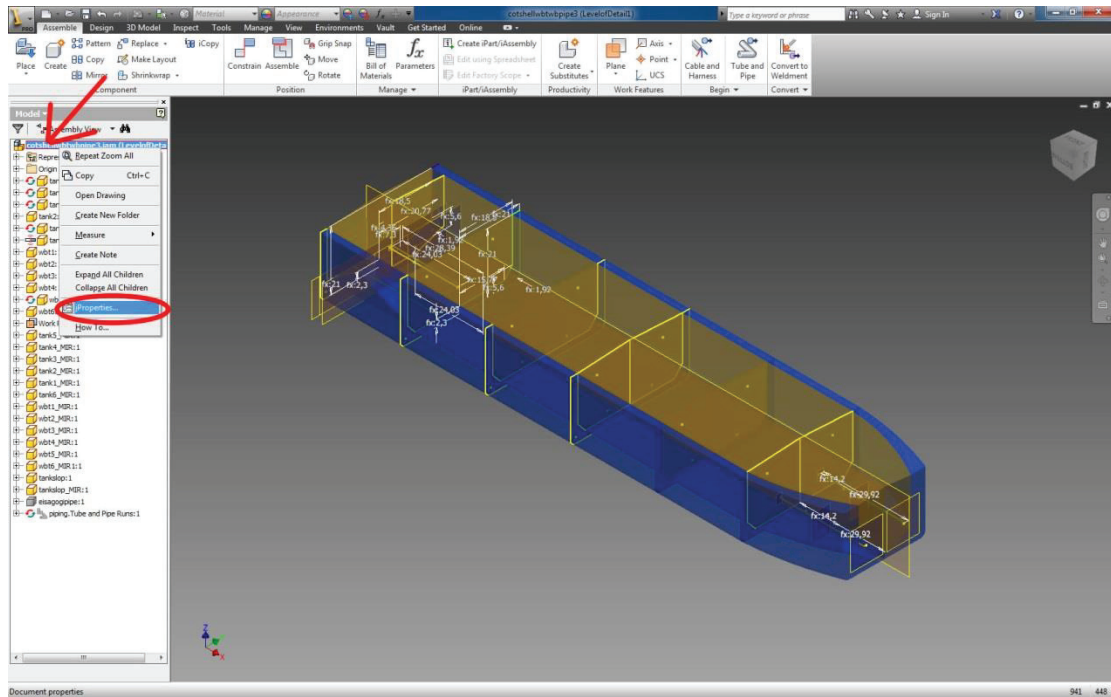
Στο αρχείο .iam όπου είναι συναρμοσμένες όλες οι δεξαμενές, λαμβάνουμε αντίστοιχα στοιχεία για την εκάστοτε δεξαμενή, με τη μόνη διαφορά ότι το επιλεχθέν σύστημα ταυτίζεται με το σύστημα αξόνων του υπό μελέτη πλοίου, έχει κέντρο την τομή της πρυμναίας καθέτου (AP) με την Base Line και οι άξονές του ταυτίζονται με το διάμηκες επίπεδο, το εγκάρσιο και το κατακόρυφο που περνούν από το παραπάνω σημείο τομής (AP με Base Line).

Ένα άλλο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου 3D μοντέλου είναι η εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με τα παρακάτω στοιχεία που αναφέρονται σε όλο το 3D μοντέλο, το οποίο αποτελείται από όλες τις παραπάνω δεξαμενές, θεωρώντας ότι είναι 100% γεμάτες. Τα στοιχεία που εξάγονται για το συγκεντρωτικό 3D μοντέλο είναι τα εξής:

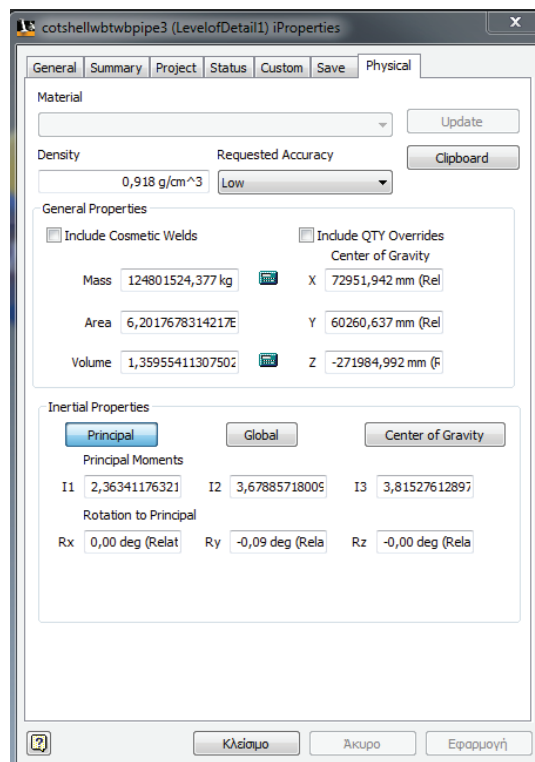
- Επιφάνεια περιβλήματος δεξαμενών
- Μάζα
- Όγκος
- Κέντρο βάρους, ως προς το ορισμένο παραπάνω σύστημα συντεταγμένων
- Ροπές αδρανείας ως προς το ορισμένο παραπάνω σύστημα συντεταγμένων
- Ροπές αδρανείας ως προς το κέντρο βάρους της δεξαμενής
- Κύριες ροπές αδρανείας

Η διαδικασία εξαγωγής των παραπάνω στοιχείων είναι παροιμία με την αντίστοιχη διαδικασία που ακολουθείται σε κάθε μεμονωμένη δεξαμενή. Αναλυτικά, έχοντας ανοιχτό το τελικό αρχείο .iam με όλες τις δεξαμενές τοποθετημένες στην τελική τους θέση, κάνουμε δεξί «κλικ» στο όνομα του όλου μοντέλου, όπως αυτό εμφανίζεται στην αριστερά στήλη του προγράμματος. Από την αναπτυσσόμενη λίστα επιλέγουμε την εντολή **iProperties** (εικόνα 4.2.36).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.2.36. Επιλογή εντολής iProperties σε αρχείο .iam



Εικόνα 4.2.37. Γεωμετρικά στοιχεία συγκεντρωτικού 3D μοντέλου δεξαμενών

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Πρέπει να σημειωθεί, ότι για τον υπολογισμό της μάζας, το πρόγραμμα αυτόματα βρίσκει μια τιμή πυκνότητας, η οποία προκύπτει από τον συνυπολογισμό της πυκνότητας και του όγκου της κάθε δεξαμενής, η οποία απαρτίζει το συνολικό 3D μοντέλο δεξαμενών.

## Ακρίβεια μεθόδου – Σύγκριση ληφθέντων αποτελεσμάτων με ακριβή στοιχεία πλοίου

Η ακρίβεια της παραπάνω μοντελοποίησης ελέγχθηκε με δύο (2) διαφορετικά πλοία ιδίου τύπου, διαφορετικής, όμως, διάταξης δεξαμενών. Καίριας σημασίας για την ακρίβεια των εξαχθέντων αποτελεσμάτων είναι η ακρίβεια των στοιχείων / τιμών που εισάγονται ως δεδομένα για την δημιουργία του 3D μοντέλου δεξαμενών. Στο πρώτο πλοίο (πλοίο Α), με το οποίο συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα, η ακρίβεια των δεδομένων εισόδου στο πρόγραμμα περιορίζεται από το σφάλμα ανάγνωσης των αντίστοιχων εισαχθέντων δεδομένων από το Σχέδιο Γενικής Διάταξης (General Arrangement) και από το Σχέδιο Διάταξης Δεξαμενών (Capacity Plan). Στο δεύτερο πλοίο (πλοίο Β), τα σχέδια που χρησιμοποιήθηκαν για την λήψη των απαραίτητων μεγεθών για την μοντελοποίηση ήταν μεγαλύτερης ακριβείας (Κατασκευαστικά Σχέδια). Όπως είναι αναμενόμενο, το σφάλμα μοντελοποίησης είναι μικρότερο στην δεύτερη περίπτωση. Αναλυτικά, παρακάτω παρατίθενται τα συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ των πραγματικών μεγεθών και του 3D μοντέλου. Παρουσιάζονται οι δεξαμενές στην αριστερή πλευρά (Port Side) του πλοίου, οι οποίες είναι ίδιας διαμόρφωσης και απόκλισης με αυτές στην δεξιά πλευρά του (Starboard Side). Τα δεδομένα εισόδου για την μοντελοποίηση του πλοίου Α φαίνονται στο απεικονιζόμενο αρχείο input.xlsx, στην παράγραφο «Αρχείο εισαγωγής παραμετροποιημένων μεγεθών / διαστάσεων»

Η διαδικασία μοντελοποίησης και στα δύο (2) υπό μελέτη πλοία είναι ακριβώς η ίδια.

### ➤ Σύγκριση Χωρητικότητας δεξαμενών (Volume)

Α' ΠΛΟΙΟ			
Δεξαμενές	VOLUME 100% (m <sup>3</sup> )		
	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ	ΜΟΝΤΕΛΟ	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
NO.1 C.O.T.(P)	8119,7	8473,264	4,3544%
NO.2 C.O.T.(P)	10456,8	10524,205	0,6446%
NO.3 C.O.T.(P)	10494,1	10524,205	0,2869%
NO.4 C.O.T.(P)	10494,1	10524,205	0,2869%
NO.5 C.O.T.(P)	10494,1	10524,205	0,2869%
NO.6 C.O.T.(P)	7943,3	8297,175	4,4550%
SLOP TANK(P)	1276,2	1474,972	15,5753%
NO.1 W.B.T.(P)	2730	3395,848	24,3900%
NO.2 W.B.T.(P)	2855,6	2959,939	3,6538%
NO.3 W.B.T.(P)	2926,9	2959,939	1,1288%
NO.4 W.B.T.(P)	2926,9	2959,939	1,1288%
NO.5 W.B.T.(P)	2841,6	2959,939	4,1645%
NO.6 W.B.T.(P)	2935,8	2922,031	0,4690%

Β' ΠΛΟΙΟ			
Δεξαμενές	VOLUME 100% (m <sup>3</sup> )		
	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ	ΜΟΝΤΕΛΟ	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
NO.1 C.O.T.(C)	4047,4	4064,0	0,4101%
NO.2 C.O.T.(P)	6268,5	6270,5	0,0319%
NO.3 C.O.T.(P)	3460,0	3462,3	0,0665%
NO.4 C.O.T.(P)	3460,0	3462,3	0,0665%
NO.5 C.O.T.(P)	3460,0	3462,3	0,0665%
NO.6 C.O.T.(P)	3460,0	3462,3	0,0665%
NO.7 C.O.T.(P)	6452,2	6462,7	0,1627%
NO.8 C.O.T.(P)	3223,3	3226,8	0,1086%

Από την παραπάνω σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ της πραγματικής τιμής του όγκου των δεξαμενών και της υπολογισμένης μέσω του μοντέλου, παρατηρούνται τα ακόλουθα:

1. Η απόκλιση μικραίνει στην μοντελοποίηση του πλοίου β', αφού η μέτρηση των μεγεθών εισόδου στο Inventor είναι μεγαλύτερης ακρίβειας.
2. Στις πρωραίες και πρυμναίες δεξαμενές, όπου υπάρχει έντονη αλλαγή γεωμετρίας, αυξάνεται η απόκλιση. Αυτό οφείλεται σε μη λεπτομερή γεωμετρικά στοιχεία της εγκάρσιας διατομής της απεικονιζόμενης δεξαμενής.
3. Η πρωραία δεξαμενή έρματος (No.1 W.B.T) παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση, διότι ενώ είναι ικανοποιητικά καθορισμένο το εσωτερικό της σύνορο με την πρωραία δεξαμενή φορτίου (No.1 C.O.T.), η εξωτερική της πλευρά δεν μοντελοποιείται ικανοποιητικά. Η γεωμετρία της εξωτερικής γάστρας στο πρωραίο τμήμα παρουσιάζει ιδιαίτερες αλλαγές (διαμόρφωση βολβού), οι οποίες για να μοντελοποιηθούν ικανοποιητικά επιτάσσουν την λήψη μετρήσεων από Σχέδιο Γραμμών (Lines Plan).

➤ Σύγκριση Διαμήκους Θέσης Βάρους δεξαμενών (LCG) και Κατακόρυφης θέσης Βάρους δεξαμενών (KG)

<b>Α' ΠΛΟΙΟ</b>			
<b>Δεξαμενές</b>	<b>LCG (m)</b>		
	<b>ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ</b>	<b>ΜΟΝΤΕΛΟ</b>	<b>ΑΠΟΚΛΙΣΗ</b>
NO.1 C.O.T.(P)	206,502	207,691	0,5758%
NO.2 C.O.T.(P)	178,224	179,346	0,6295%
NO.3 C.O.T.(P)	148,300	149,376	0,7256%
NO.4 C.O.T.(P)	118,340	119,406	0,9008%
NO.5 C.O.T.(P)	88,380	89,436	1,1948%
NO.6 C.O.T.(P)	61,683	62,504	1,3310%
SLOP TANK(P)	48,198	48,243	0,0934%
NO.1 W.B.T.(P)	208,282	210,172	0,9074%
NO.2 W.B.T.(P)	178,037	179,346	0,7352%
NO.3 W.B.T.(P)	178,307	149,376	16,2254%
NO.4 W.B.T.(P)	118,347	119,406	0,8948%
NO.5 W.B.T.(P)	88,621	89,436	0,9196%
NO.6 W.B.T.(P)	56,907	60,058	5,5371%

<b>Α' ΠΛΟΙΟ</b>			
<b>Δεξαμενές</b>	<b>KG (m)</b>		
	<b>ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ</b>	<b>ΜΟΝΤΕΛΟ</b>	<b>ΑΠΟΚΛΙΣΗ</b>
NO.1 C.O.T.(P)	12,300	12,145	1,2602%
NO.2 C.O.T.(P)	12,068	12,024	0,3646%
NO.3 C.O.T.(P)	12,063	12,024	0,3233%
NO.4 C.O.T.(P)	12,063	12,024	0,3233%
NO.5 C.O.T.(P)	12,063	12,024	0,3233%
NO.6 C.O.T.(P)	12,449	12,171	2,2331%
SLOP TANK(P)	13,118	12,352	5,8393%
NO.1 W.B.T.(P)	7,957	7,225	9,1994%
NO.2 W.B.T.(P)	6,343	6,229	1,7973%
NO.3 W.B.T.(P)	6,253	6,229	0,3838%
NO.4 W.B.T.(P)	6,253	6,229	0,3838%
NO.5 W.B.T.(P)	6,400	6,229	2,6719%
NO.6 W.B.T.(P)	7,840	5,922	24,4643%

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Από την παραπάνω σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των πραγματικών τιμών της διαμήκης και κατακόρυφης θέσης του κέντρο βάρους της εκάστοτε δεξαμενής και της υπολογισμένης μέσω του μοντέλου, παρατηρούνται τα ακόλουθα:

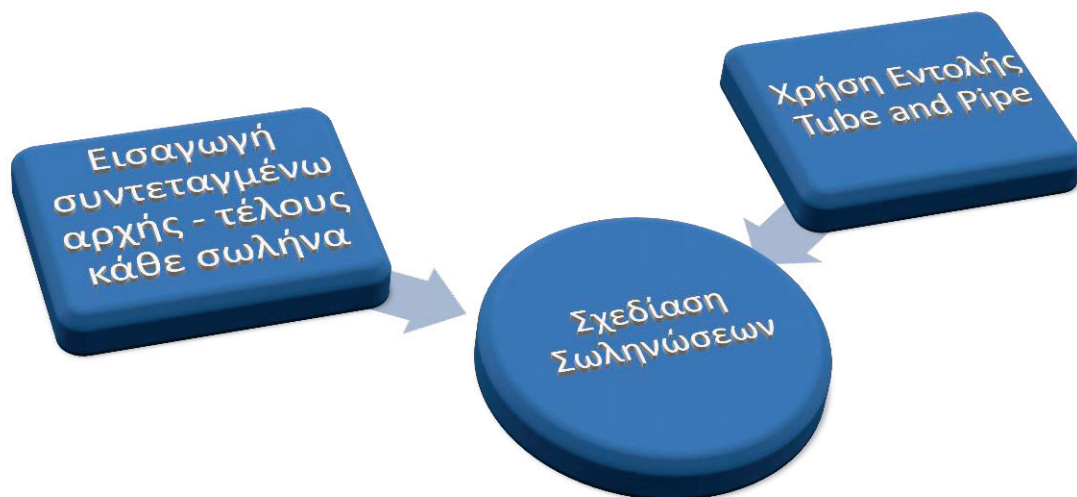
1. Τα αποτελέσματα που εξάγονται για τις δεξαμενές στο παράλληλο τμήμα είναι ικανοποιητικά. Αυτό οφείλεται στο ότι η εγκάρσια διατομή των δεξαμενών αυτών ορίζεται με αρκετή ακρίβεια τόσο με το Midship Section όσο με την Κάτοψη που απεικονίζονται στις εικόνες 4.2.2 και 4.2.3.
2. Η απόκλιση είναι αυξημένη στις δεξαμενές στην πρωραία και πρυμναία πλευρά του πλοίου, διότι εκεί υπάρχει έντονη αλλαγή της γεωμετρίας της γάστρας, η οποία δεν περιγράφεται από τα παρεχόμενα σχέδια (εικόνα 4.2.2 και 4.2.3).
3. Για την ελαχιστοποίηση της απόκλισης επιβάλλεται η χρήση Σχεδίου Γραμμών (Lines Plan).

### 4.3. Μοντελοποίηση δικτύου σωληνώσεων για την υποστήριξη δεξαμενών φορτίου και έρματος

#### Τρόποι χάραξης σωληνώσεων

Η διαδικασία σχεδίασης του δικτύου σωληνώσεων που θα υποστηρίζουν την λειτουργία των δεξαμενών έρματος και φορτίου γίνεται με ιδιαίτερο τρόπο και διαφέρει από τον συνηθισμένο τρόπο σχεδίασης 3D μοντέλων.

Το Inventor παρέχει στον χρήστη του δύο (2) τρόπους σχεδίασης σωληνώσεων. Ο πρώτος βασίζεται στην εισαγωγή από εξωτερικής πηγής αρχείο των συντεταγμένων των σημείων αρχής και τέλους του κάθε σωλήνα που απαρτίζει το κάθε δίκτυο σωληνώσεων. Στην συνέχεια, έχοντας καθορίσει με τον παραπάνω τρόπο την διαδρομή του δικτύου σωληνώσεων γίνεται χρήση της ειδικής εντολής **Assemble -> Tube and Pipe**. Ο δεύτερος τρόπος βασίζεται σε στην ίδια ειδική εντολή (που παρέχουν οι τελευταίες εκδόσεις του Inventor), την **Assemble -> Tube and Pipe**, με την διαφορά ότι ο καθορισμός της διαδρομής που θα ακολουθήσουν οι σωληνώσεις καθορίζεται γραφικά από τον χρήστη.



Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε ο πρώτος τρόπος, οποίος αναλύεται στην συνέχεια, βασική προϋπόθεση του οποίου είναι η ακριβής γνώση της διαδρομής όλων των σωληνώσεων. Αντίθετα, η (εξαρχής) χρήση της εντολής **Tube and Pipe** δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να καθορίζει την διαδρομή της σωληνώσεως κατά την διαδικασία σχεδίασης, έχοντας άμεση οπτική επαφή με την σχεδιασθείσα διαδρομή του σωλήνα.



## Αρχείο εισαγωγής συντεταγμένων αρχής & τέλους κάθε σωλήνα

Κάθε δίκτυο σωληνώσεων αποτελείται από έναν αριθμό, άλλοτε μικρών και άλλοτε μεγάλων σε μήκος, ευθύγραμμων σωλήνων. Η παραμετρική σχεδίαση του δικτύου των σωληνώσεων βασίζεται στην εισαγωγή των συντεταγμένων αρχής και τέλους των επιμέρους ευθύγραμμων σωληνώσεων.

Η εισαγωγή των παραπάνω σημείων γίνεται μέσω μιας «εξωτερικής πηγής εισόδου δεδομένων», ενός φύλλου εργασίας EXCEL. Κάθε μεμονωμένο δίκτυο σωληνώσεων περιγράφεται από ένα (1) ξεχωριστό αρχείο EXCEL. Τα δίκτυα σωληνώσεων που μοντελοποιήθηκαν είναι τα τέσσερα (4) ακόλουθα:

1. Δίκτυο πλήρωσης και εκκένωσης δεξαμενών έρματος (Water Ballast System)
2. Δίκτυο No.1 πλήρωσης και απάντλησης υγρού φορτίου από τις δεξαμενές φορτίου (No.1 Cargo Oil System).
3. Δίκτυο No.2 πλήρωσης και απάντλησης υγρού φορτίου από τις δεξαμενές φορτίου (No.2 Cargo Oil System).
4. Δίκτυο No.3 πλήρωσης και απάντλησης υγρού φορτίου από τις δεξαμενές φορτίου (No.3 Cargo Oil System).

Τα αρχεία με τις συντεταγμένες των σημείων που δημιουργήθηκαν έχουν τις εξής ονομασίες:

1. Για το Water Ballast System -> inputwbpipe.xlsx
2. Για το No.1 Cargo Oil System -> inputco1pipe.xlsx
3. Για το No.2 Cargo Oil System -> inputco2pipe.xlsx
4. Για το No.3 Cargo Oil System -> inputco3pipe.xlsx

Σχετικά με την δομή των παραπάνω αρχείων των συντεταγμένων αποτελούνται από τρεις (3) στήλες. Σε κάθε γραμμή δηλώνεται η συντεταγμένη κάθε σημείου αρχής ή τέλους επιμέρους σωλήνα, σε τριαξονικό σύστημα συντεταγμένων. Στην πρώτη στήλη (στήλη A) υπάρχει η  $x$  – τετμημένη, στην δεύτερη στήλη (στήλη B) η  $y$  – τετμημένη και στη τρίτη στήλη (στήλη C) η  $z$  – τετμημένη της συντεταγμένης του κάθε σημείου. Για αποφυγή παρερμηνειών, να σημειωθεί ότι ο  $x$  άξονας είναι κατά το διάμηκες του πλοίου, ο  $y$  κατά το εγκάρσιο και ο  $z$  καθ' ύψος. Ως αρχή αξόνων θεωρείται η τομή του διαμήκους επιπέδου συμμετρίας και του βασικού επιπέδου αναφοράς. Παρακάτω φαίνεται η δήλωση – παραμετρική εισαγωγή των πρώτων 10 σημείων για το σύστημα Water Ballast System.

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

A	B	C
31,8	8,09	0,5
31,8	0	0,5
31,8	0	3
33,5	0	3
36,37	0	3
39,24	0	3
42,11	0	3
45	0	3
33,5	5	3
36,37	5	3

Ενδεικτικά, για την ακριβέστερη μοντελοποίηση του δικτύου σωληνώσεων, το σύστημα Water Ballast System μοντελοποιήθηκε με 114 σημεία, το No.1 Cargo Oil System με 107 σημεία, το No.2 Cargo Oil System με 126 σημεία και το No.3 Cargo Oil System με 128 σημεία.

Πρέπει να σημειωθεί ότι μορφοποίηση των κελιών στις στήλες A, B και C (για παράδειγμα, χρώμα γεμίματος κελιού, πλάγια γραφή, υπογράμμιση κ.τ.λ.) πρέπει να αποφεύγεται, διότι δεν είναι εφικτή η σύνδεσή των μορφοποιημένων κελιών με το πρόγραμμα Inventor.

Επίσης, η ύπαρξη κενής γραμμής οριοθετεί το αρχείο εισόδου. Συνεπώς πρέπει να αποφεύγεται σε ενδιάμεσες γραμμές μεταξύ των συντεταγμένων.

Η πληροφορία σχετικά με της ακριβή διαδρομή μιας σωλήνωσης είναι αρκετά δυσεύρετη, πόσο μάλλον η πληροφορία σχετικά με τις συντεταγμένες αρχής και τέλους του κάθε επιμέρους σωλήνα. Για την εύρεση των παραπάνω σημείων, τα όποια θα καθορίσουν και την βέλτιστη διαδρομή της σωλήνωσης, αναπτύχθηκαν και αναπτύσσονται κατάλληλοι αλγόριθμοι. Μια γενική εικόνα για τους προαναφερόμενους αλγορίθμους παρουσιάζεται στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ**.

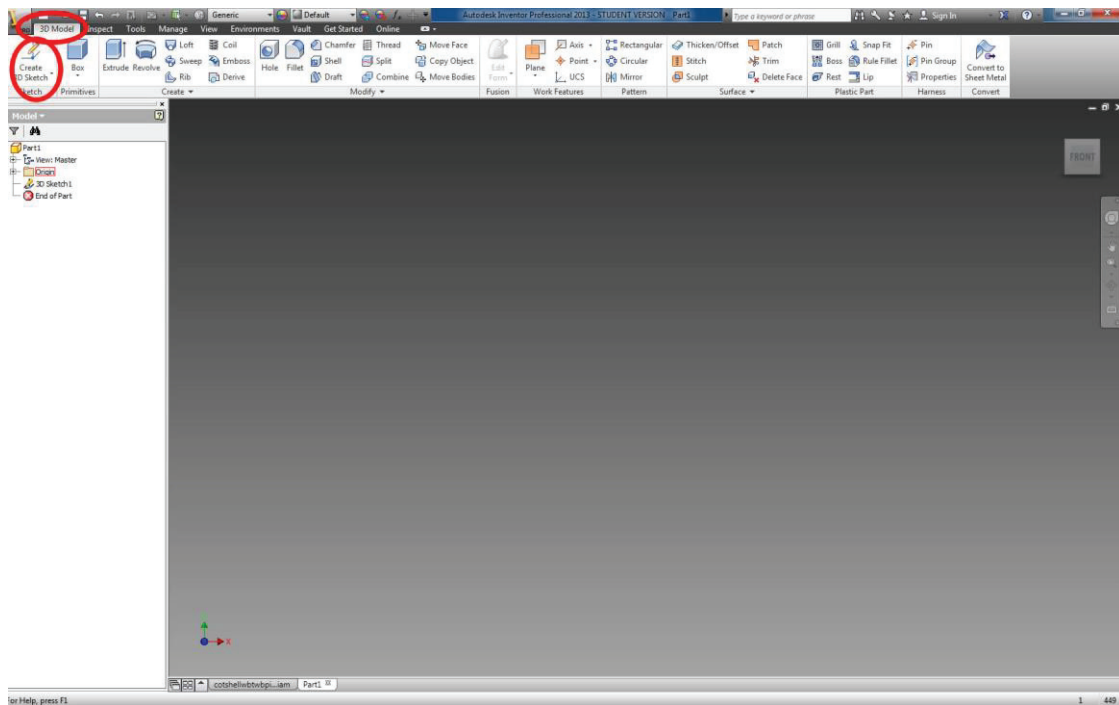
Οι μονάδες μέτρησης των εισαχθέντων συντεταγμένων στο Inventor καθορίζονται μέσω της εντολής **Tools -> Document Settings -> Unit -> Length**, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2.4. Ο καθορισμός των μονάδων μέτρησης πρέπει να γίνεται στην αρχή κάθε νέου σχεδίου.

## Διαδικασία σχεδίαση σωλήνωσης

Για την σχεδίαση του δικτύου σωληνώσεων έχοντας ως δεδομένα τα σημεία αρχής και τέλους των επιμέρους σωλήνων που απαρτίζουν το όλο δίκτυο, ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία.

Η εισαγωγή των σημείων παρεμβολής του δικτύου σωληνώσεων γίνεται μέσω ενός αρχείου **.ipt**. Τόσο η δημιουργία του, όσο και ο καθορισμός των μονάδων μέτρησης των εισαχθέντων στοιχείων αναλύθηκαν ανωτέρω (εικόνα 4.2.4 και εικόνα 4.2.5).

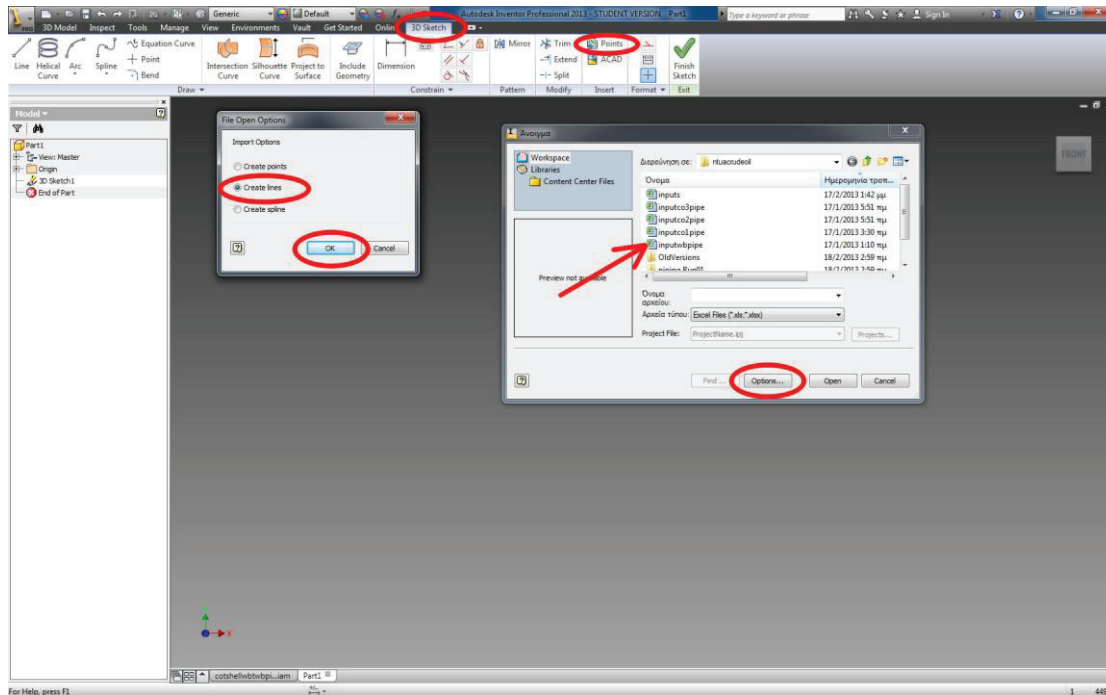
Χρησιμοποιώντας την εντολή **3D Model -> Create 3D Sketch** (εικόνα 4.3.1) μεταβαίνουμε σε μενού επιλογών σχεδίασης 3D σχεδίων μέσω του Inventor.



Εικόνα 4.3.1. Μετάβαση με μενού μορφοποίησης 3D σχεδίων

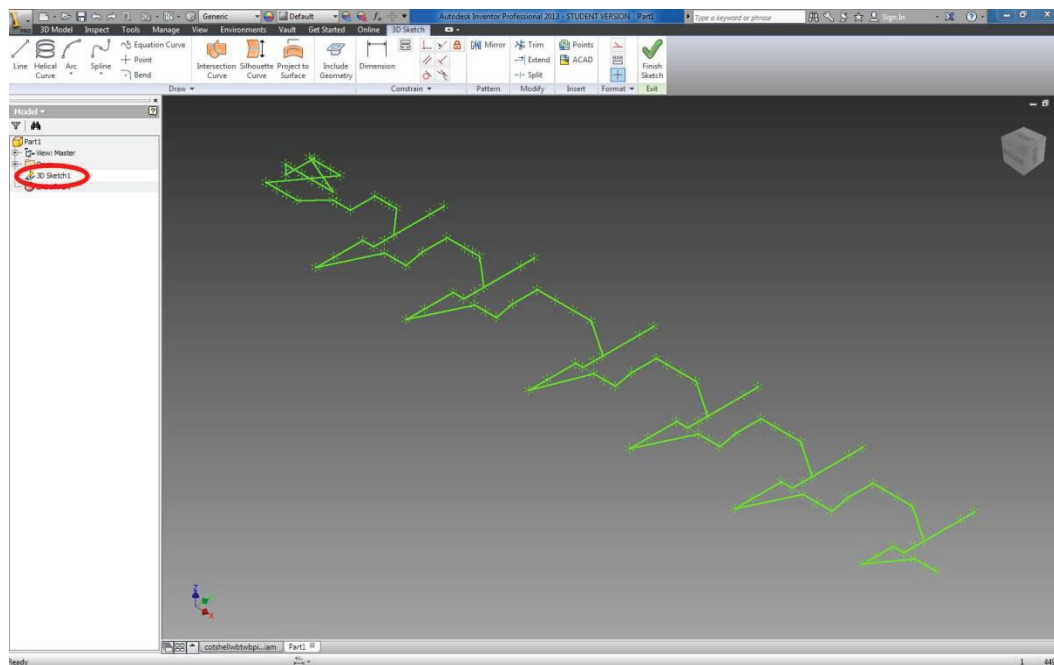
Για την εισαγωγή των ανωτέρω σημείων χρησιμοποιήθηκε η εντολή **3D Sketch -> Points** και από την επιλογή **Options** του αναδυόμενου παραθύρου επιλογής του αρχείου με τις συντεταγμένες προς εισαγωγή, επιλέχθηκε η εντολή **Create Lines**, προκειμένου, κατά την εισαγωγή των σημείων, να παρεμβληθεί γραμμή μεταξύ αυτών (εικόνα 4.3.2).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.3.2. Εισαγωγή συντεταγμένων σημείων παρεμβολής σωλήνωσης από αρχείο EXCEL

Καθώς έγινε η παραπάνω διαδικασία εισαγωγής, το σύστημα των σημείων και των ευθειών που παρεμβλήθηκαν μεταξύ αυτών, αποτυπώθηκαν σε ένα νέο “3D Sketch”, το οποίο φαίνεται στην αριστερή στήλη του παραθύρου (εικόνα 4.3.3).



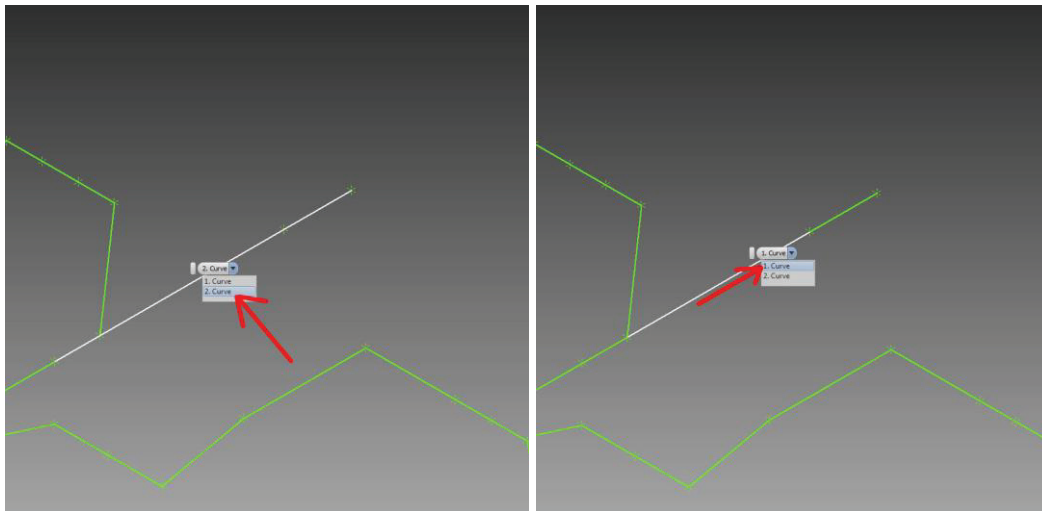
Εικόνα 4.3.3. Εισαγωγή σωλήνωσης σε μεμονωμένο Sketch του Water Ballast System

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

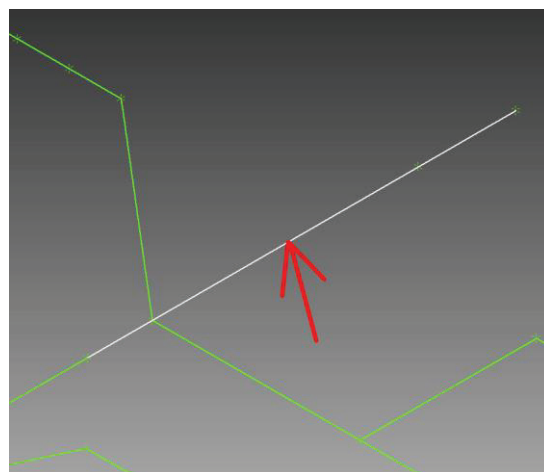
Μετά το τέλος της εισαγωγής των σημείων και των ευθειών μεταξύ αυτών, η πρώτη εικόνα της δημιουργημένης διαδρομής της σωλήνωσης είναι μορφής παρόμοιας με την απεικονιζόμενη στην εικόνα 4.3.3, όπου όλα τα σημεία ενώθηκαν με ευθείες κατά σειρά εισαγωγής τους από το αρχείο EXCEL. Όταν ακόμα μέσα στο περιβάλλον εργασίας για **3D Sketch**, με επιλεγμένο το Sketch του υπό μορφοποίηση δικτύου, μορφοποιούμε την τελική διαδρομή της σωλήνωσης με χρήση του ποντικιού και της εντολής **Line**, η οποία βρίσκεται στα «παρεχόμενα εργαλεία» για 3D Sketch (εικόνα 4.3.3).

Η μορφοποίηση γίνεται προκειμένου να διαφοροποιηθεί η τελική διαδρομή της σωλήνωσης, με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγονται:

1. Τυχών αλληλοεπικαλύψεις ευθειών (εικόνα 4.3.4(α),(β) και (γ))



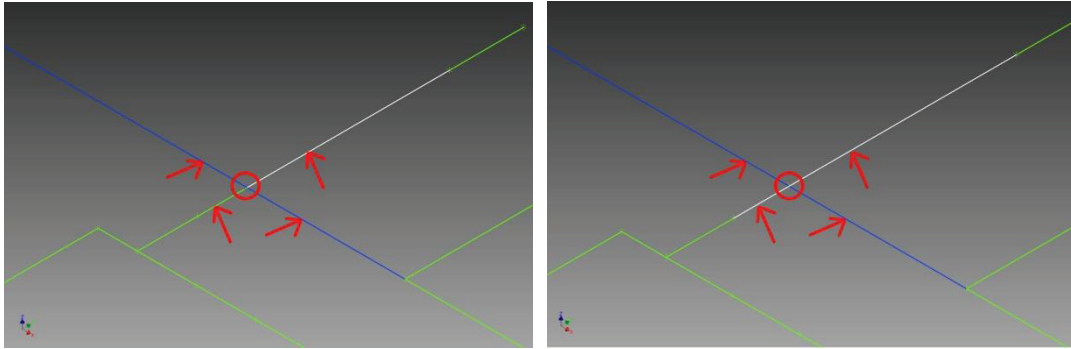
Εικόνα 4.3.4 (α) και (β). Αλληλοεπικάλυψη δύο (2) ευθειών



Εικόνα 4.3.4(γ). Διόρθωση αλληλεπικαλυπτόμενων ευθειών (εικόνα 4.3.4(α) & (β)) με διατήρηση μόνο μιας και διαγραφή της άλλης ευθείας

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

2. Ταύτιση δύο (2) ή περισσότερων σημείων αρχής ή τέλους ευθειών (εικόνα 4.3.5(α) και εικόνα 4.3.5(β))

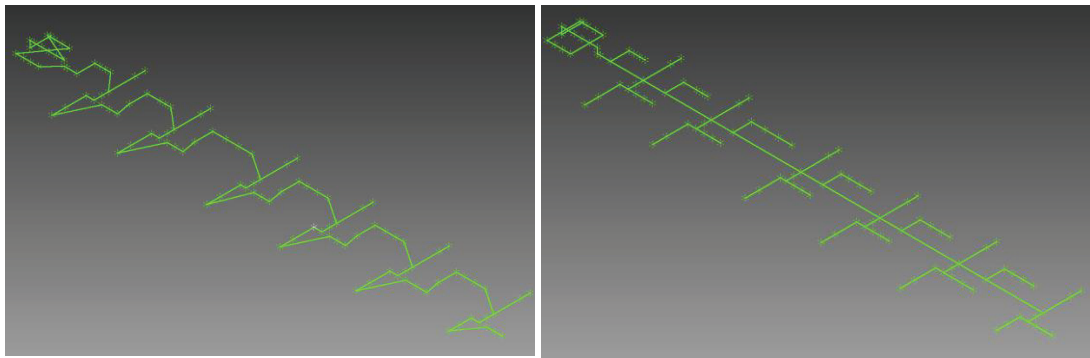


Εικόνα 4.3.5(α) (αριστερή). Κόμβος τεσσάρων (4) υποδεικνυόμενων ευθειών.  
Εικόνα 4.3.5(β) (δεξιά). Διόρθωσή εικόνας 4.3.5(α) με διαγραφή της πράσινης και αντικατάστασή της με την επιμήκυνση της άσπρης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω ευθείες δηλώνουν τον κεντρικό άξονα των σωληνώσεων, όπως αυτές δημιουργούνται ακολούθως.

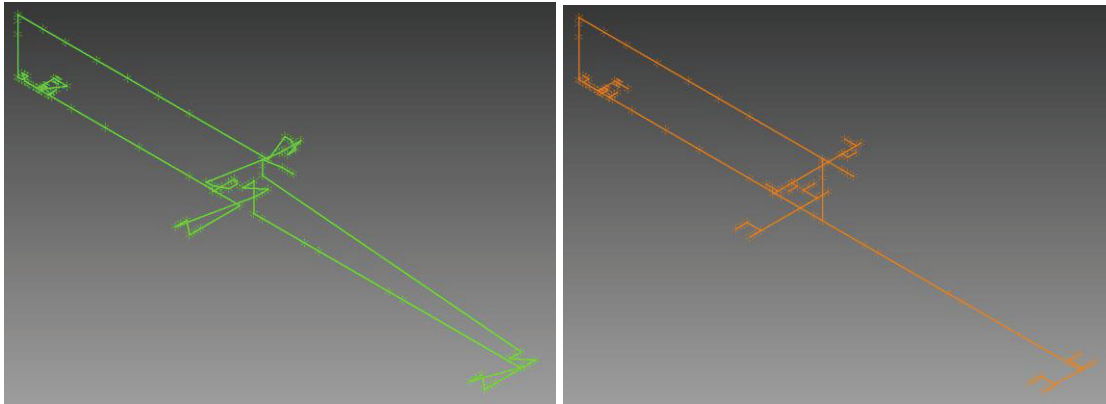
Παρακάτω παρουσιάζονται τα τέσσερα (4) δίκτυα σωληνώσεων, κατά το στάδιο της εισαγωγής τους και κατά το στάδιο της τελικής μορφοποίησής τους.

1. Δίκτυο Water Ballast System



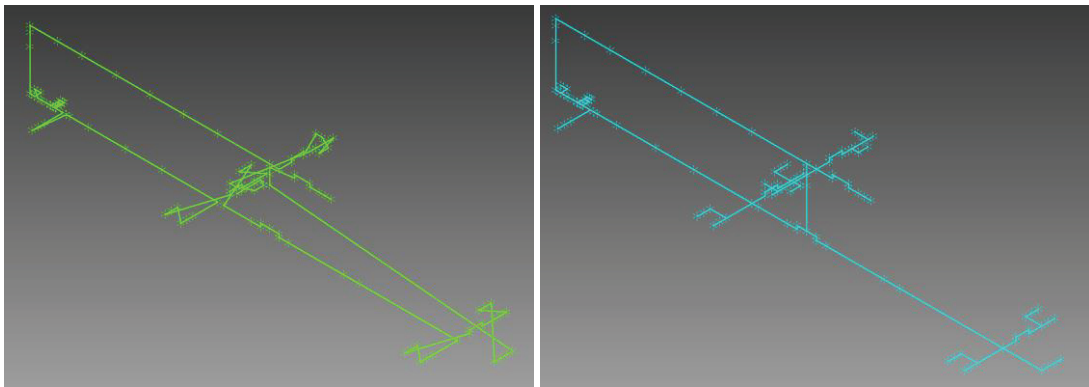
Εικόνα 4.3.6(α),(β). Αρχική (αριστερά) και τελική (δεξιά) διαμόρφωση δικτύου Water Ballast System

## 2. Δίκτυο No.1 Cargo Oil System



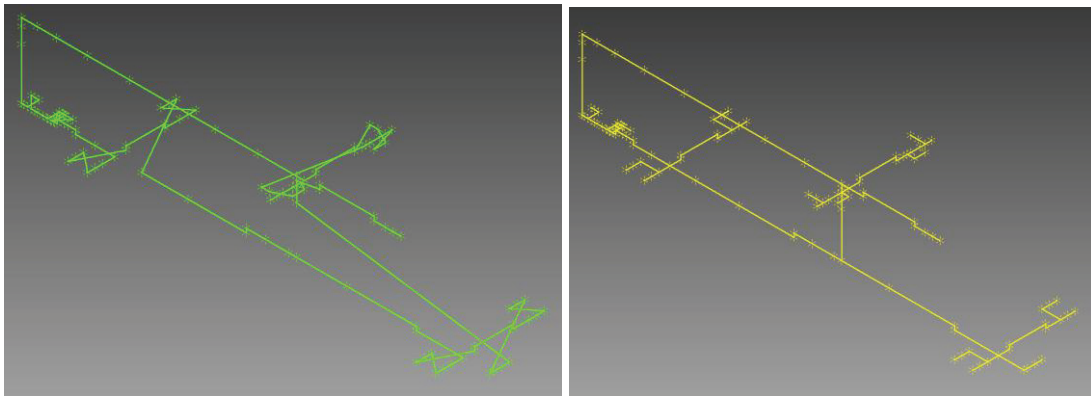
Εικόνα 4.3.7(α),(β). Αρχική (αριστερά) και τελική (δεξιά) διαμόρφωση δικτύου No.1 Cargo Oil System

## 3. Δίκτυο No.2 Cargo Oil System



Εικόνα 4.3.8(α),(β). Αρχική (αριστερά) και τελική (δεξιά) διαμόρφωση δικτύου No.2 Cargo Oil System

#### 4. Δίκτυο No.3 Cargo Oil System



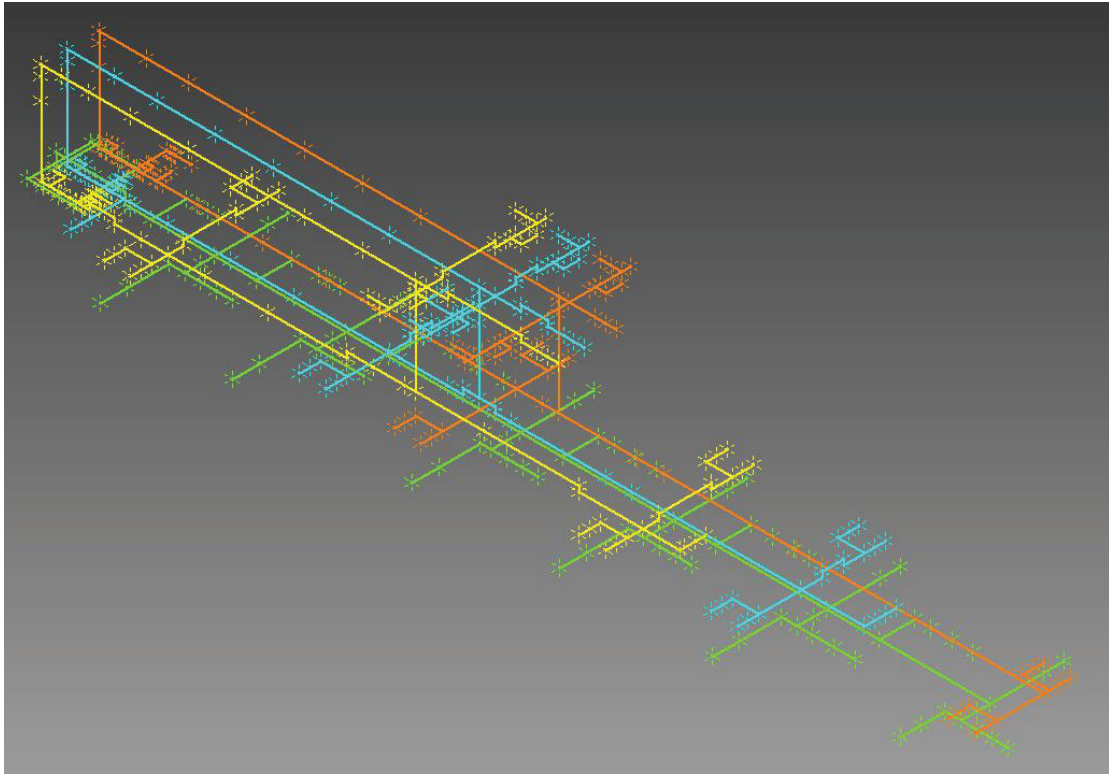
Εικόνα 4.3.8(α),(β). Αρχική (αριστερά) και τελική (δεξιά) διαμόρφωση δικτύου No.3 Cargo Oil System

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο μέσος χρόνος τροποποίησης του εκάστοτε των ανωτέρω δικτύων σωληνώσεων ανέρχεται στα 7 λεπτά, παρόλο που είναι από τα πιο σύνθετα δίκτυα σωληνώσεων που συναντώνται σε ένα πλοίο.

Για την εισαγωγή επιπλέον ανεξάρτητων δικτύων σωληνώσεων, χρησιμοποιείται η εντολή **3D Model -> Create 3D Sketch** (εικόνα 4.3.1) και ακολουθείται η ίδια διαδικασία, όπως περιγράφηκε ανωτέρω.

Μια συνολική εικόνα όλων των τελικά διαμορφωμένων δικτύων σωληνώσεων προς μοντελοποίηση φαίνεται στην εικόνα 4.3.9, όπου κάθε δίκτυο σωληνώσεων χρωματίστηκε διαφορετικά.

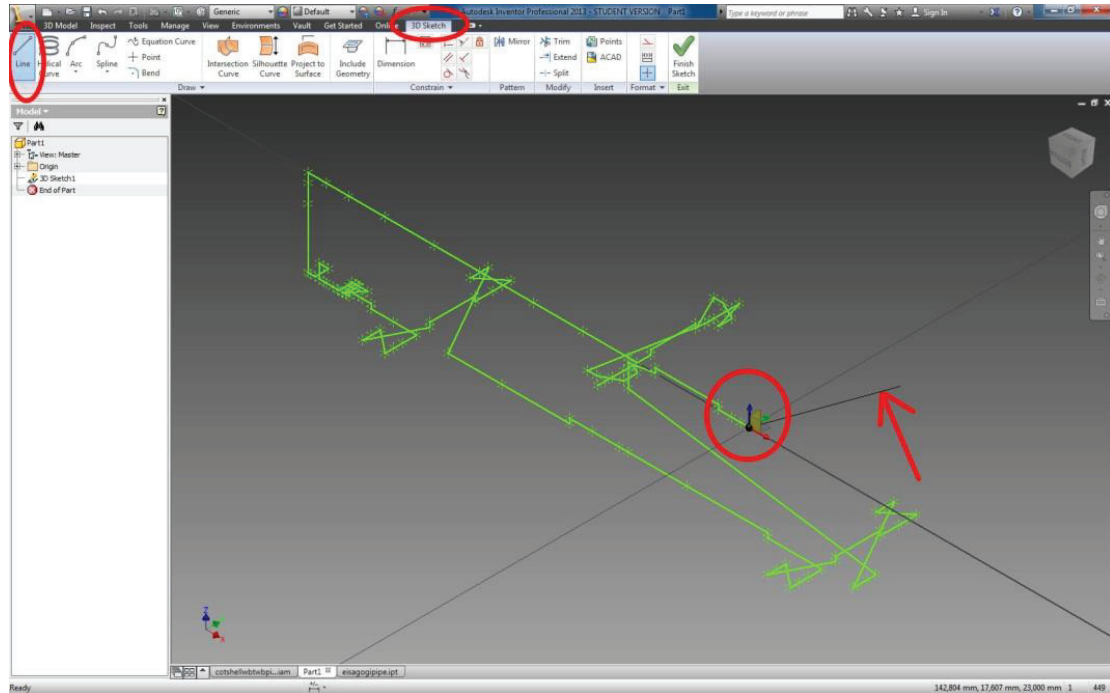




Εικόνα 4.3.9. 3D απεικόνιση διαδρομής υπό μοντελοποίηση δικτύων σωληνώσεων

Το Inventor δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να τροποποιήσει περαιτέρω την διαδρομή των σωληνώσεων, με χάραξη και προσάρτηση νέας διαδρομής σωλήνα στο ήδη εισαχθέν δίκτυο σωληνώσεων. Ενώ έχουμε ενεργοποιήσει το Sketch του προς τροποποίηση δικτύου σωληνώσεων, χρησιμοποιούμε την εντολή **3D Sketch -> Line**, επιλέγεται ως σημείο έναρξης του νέου σωλήνα ένα ήδη εισαχθέν σημείο (από το EXCEL) του δικτύου σωληνώσεων και το τελικό σημείο του καθορίζεται από τον χρήστη μέσω του mouse (εικόνα 4.3.10).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



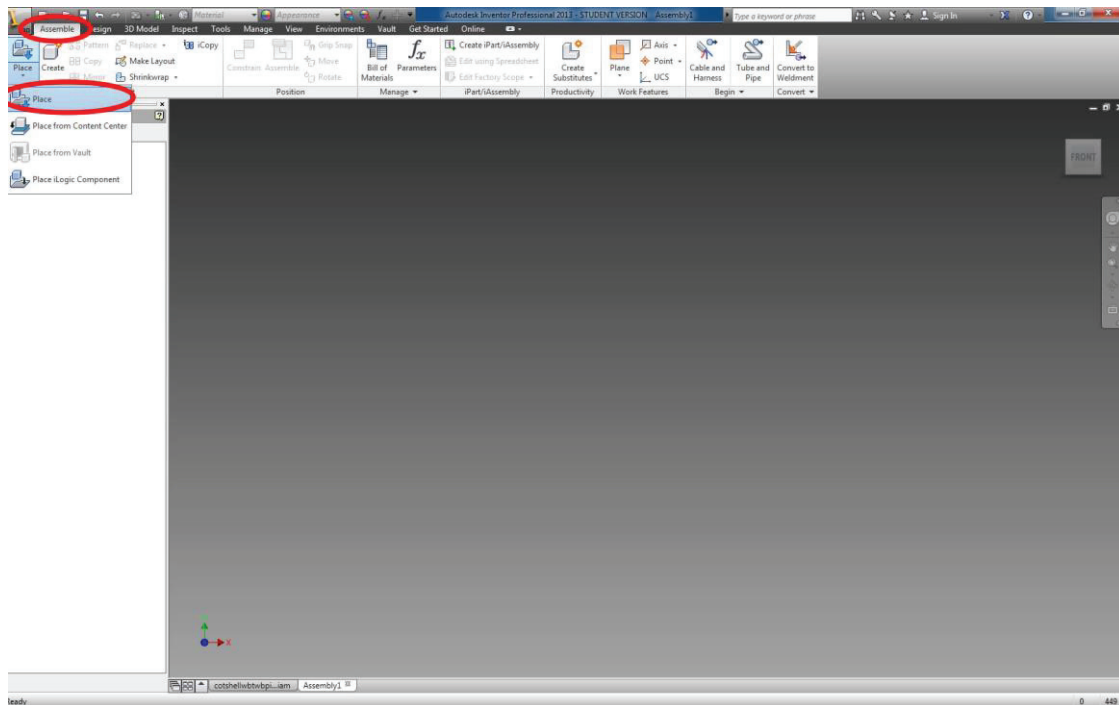
Εικόνα 4.3.10. Χάραξη νέας διαδρομής σωλήνα – Τροποποίηση εισαγμένης διαδρομής από αρχείο EXCEL

Από την παραπάνω διαδικασία διαμόρφωσης και κατασκευής του αρχείου .ipt, δημιουργήθηκε ένα 3D δίκτυο διαδρομής των υπό μοντελοποίηση σωληνώσεων, οι οποίες απεικονίζονται χωρίς όγκο. Για την κατασκευή του 3D μοντέλου σωληνώσεων, το οποίο θα ακολουθεί την παραπάνω καθορισμένη διαδρομή (αρχείο .ipt) ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία.

## Δημιουργία 3D μοντέλου δικτύου σωληνώσεων

Έχοντας δημιουργήσει ένα (1) αρχείο .ipt, με την 3D διαδρομή που θα ακολουθήσει το κάθε δίκτυο σωληνώσεων, η δημιουργία του τελικού 3D μοντέλου σωληνώσεων των υπό μελέτη δικτύων, γίνεται μέσω ενός νέου σχεδίου τύπου **Assembly**. Για την δημιουργία ενός τέτοιου αρχείου, κατά το άνοιγμα του προγράμματος Inventor επιλέγουμε από την εντολή **New Projects**, την καρτέλα **Metric** και από την κατηγορία **Assembly – Assemble 2D and 3D components** την επιλογή **Standard (mm).iam**, όπως περιγράφηκε παραπάνω (εικόνα 4.2.19).

Για την εισαγωγή του αρχείου .ipt με την διαδρομή που θα ακολουθήσουν τα δίκτυα σωληνώσεων, χρησιμοποιείται η εντολή **Assembly -> Place** (εικόνα 4.3.11).

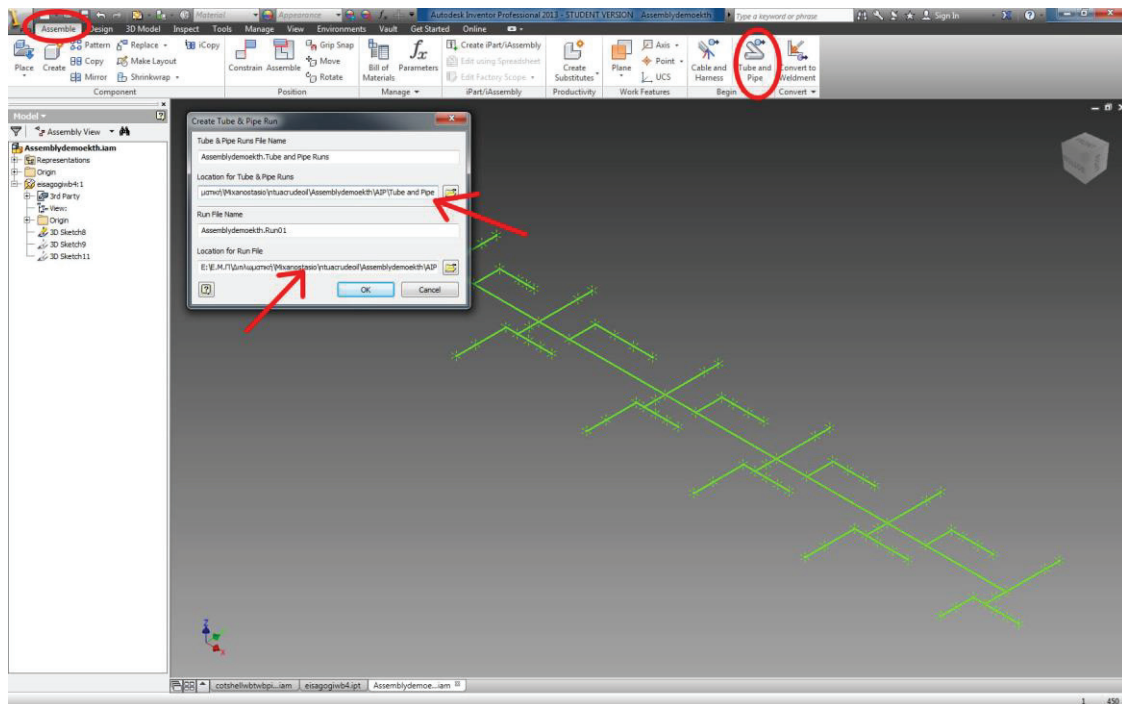


Εικόνα 4.3.11. Εισαγωγή αρχείου .ipt σε αρχείο .iam

Στην πορεία του συγκεκριμένου κεφαλαίου περιγραφής της μεθοδολογίας για την δημιουργία ενός 3D μοντέλου σωληνώσεων, αναφέρεται και απεικονίζεται στις εικόνες, αρχικά, μόνο το δίκτυο σωληνώσεων του **Water Ballast System**. Με τον ίδιο τρόπο έγινε η 3D μοντελοποίηση και των υπολοίπων 3 δικτύων σωληνώσεων (**No.1-3 Cargo Oil System**). Για την απόκρυψη των διαφόρων Sketch που έχουν δημιουργηθεί στο αρχείο .ipt κάνουμε δεξιά «κλικ» στο όνομα του Sketch (μέσα στο αρχείο .ipt) και ξε-επιλέγουμε την εντολή **Visibility** από τα Sketch που δεν θέλουμε να φαίνονται, ενώ έχουν ήδη δημιουργηθεί.

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

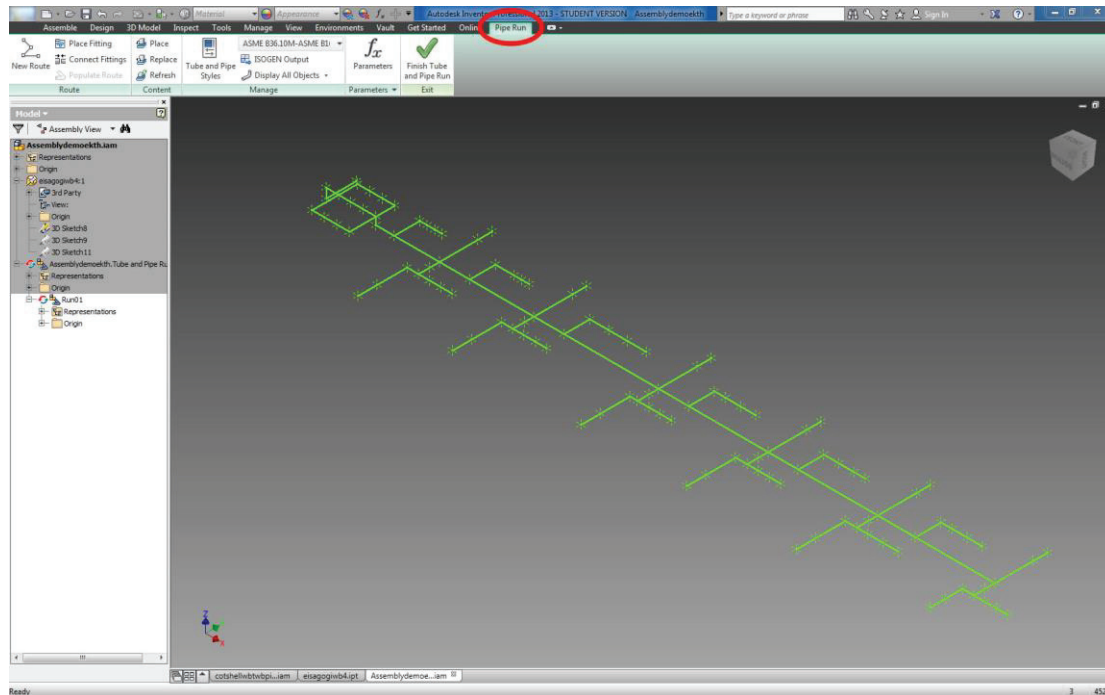
Έχοντας καθορίσει και εισάγει στο αρχείο **.iam** την διαδρομή που θα ακολουθήσουν οι σωληνώσεις (αρχείο **.ipt**) χρησιμοποιείται η εντολή **Assemble -> Tube and Pipe**. Κατά την χρήση της, ζητείται από τον χρήστη να καθορίσει έναν φάκελο αποθήκευσης του τελικού ολοκληρωμένου μοντέλου 3D σωλήνωσης, καθώς επίσης και έναν φάκελο αποθήκευσης των επιμέρους σωλήνων και μέσω των συνδεσμολογίας μεταξύ των σωλήνων που απαρτίζουν το 3D μοντελοποιημένο δίκτυο σωληνώσεων (εικόνα 4.3.12).



Εικόνα 4.3.12. Καθορισμός μέρους αποθήκευσης σωλήνωσης και επιμέρους στοιχείων της

Κατά την ολοκλήρωση των παραπάνω απεικονιζόμενων (εικόνα 4.3.12) πρώτων ρυθμίσεων, ενεργοποιείται η εντολή **Pipe Run** αυτόματα (εικόνα 4.3.13).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.3.13. Περιβάλλον εργαλείων εντολής Pipe Run

### Παρεχόμενα είδη σωλήνων – Επιλογή & διαμόρφωση

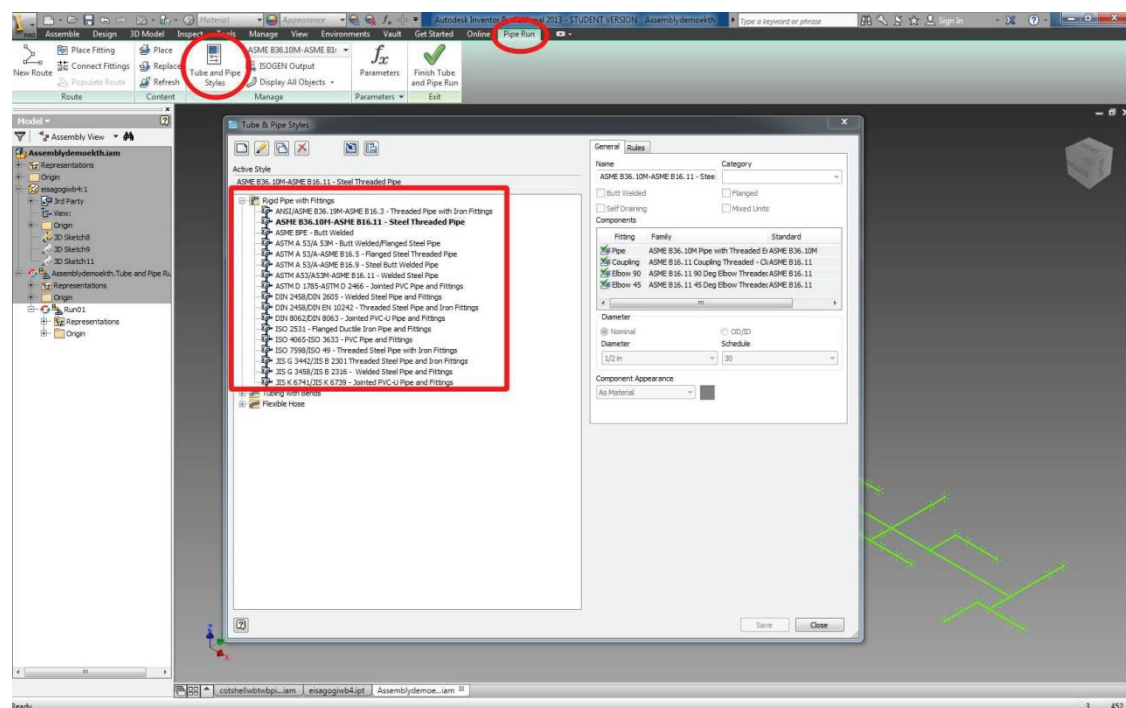
Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει καθορισμός του είδους του σωλήνα που θα «ακολουθήσει» την καθορισμένη διαδρομή. Ο καθορισμός του είδους γίνεται μέσω της εντολής **Pipe Run -> Tube and Pipe Styles** (εικόνα 4.3.14). Το Inventor παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα να επιλέξει μεταξύ τριών (3) βασικών κατηγοριών σωληνώσεων:

- Άκαμπτοι σωλήνες με μέσα συνδεσμολογίας μεταξύ επιμέρους σωλήνων (Rigid Pipe with Fittings)
- Σωληνώσεις με κάμψεις για μεγαλύτερη ευκολία συνδεσμολογίας μεταξύ των επιμέρους σωλήνων (Tubing with Bends)
- Εύκαμπτοι σωλήνες (Flexible Hose)

Από τις παραπάνω κατηγορίες σωληνώσεων, το είδος που χρησιμοποιείται στα υπό μελέτη δίκτυα σωληνώσεων στην ναυπηγική βιομηχανία και που χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα διπλωματική είναι η κατηγορία άκαμπτων σωλήνων με μέσα συνδεσμολογίας μεταξύ επιμέρους σωλήνων (Rigid Pipe with Fittings). Πρόκειται για σωλήνες οι οποίοι δεν δέχονται κάμψεις και η επιμέρους συναρμογή τους γίνεται με χρήση ειδικών μέσων σύνδεσης (φλάντζες κ.τ.λ.). Η

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

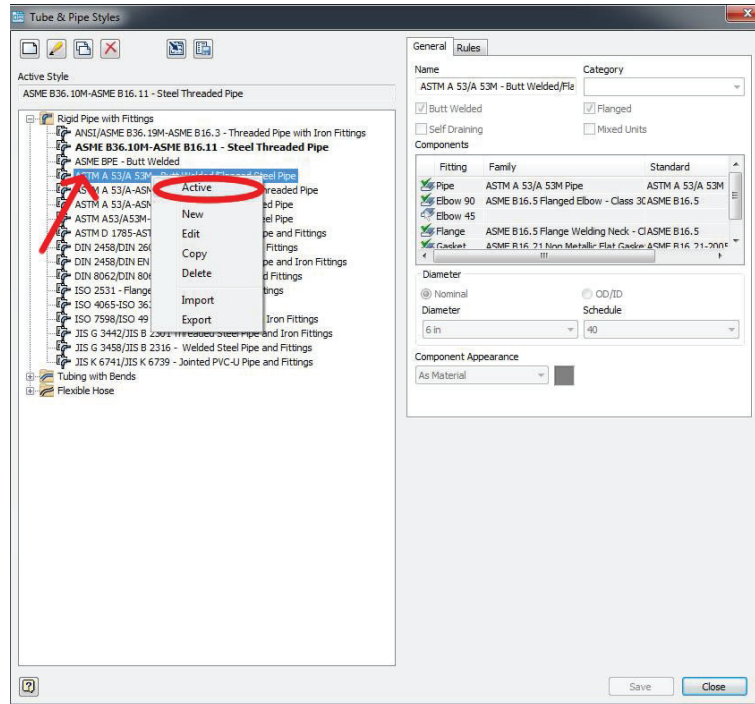
επιλεχθείσα κατηγορία σωλήνων επιτρέπει την σύνδεση επιμέρους σωλήνων με γωνία κλίσης 90° και 180°. Ορισμένα από τα παρεχόμενα πρότυπα σωλήνων που εντάσσονται σε αυτήν την κατηγορία επιτρέπουν την σύνδεση μεταξύ σωλήνων και με μεταξύ τους κλίση 45°. Ο παραπάνω περιορισμός κλίσης μεταξύ συνδεδεμένων σωλήνων δεν διαφέρει από την πρακτική που ακολουθούν τα περισσότερα ναυπηγία για την κατασκευή τέτοιου είδους δίκτυα σωληνώσεων. Παρόλα αυτά, αν ο χρήστης επιθυμεί την σύνδεση μεταξύ επιμέρους σωλήνων διαφορετικής κλίσης, με κατάλληλη ρύθμιση μέσω της εντολής **Pipe Run -> Tube and Pipe Styles** μπορεί να επιτευχθεί.



Εικόνα 4.3.14. Επιλογή είδους σωληνώσεως μέσω εντολής Tube and Pipe Styles

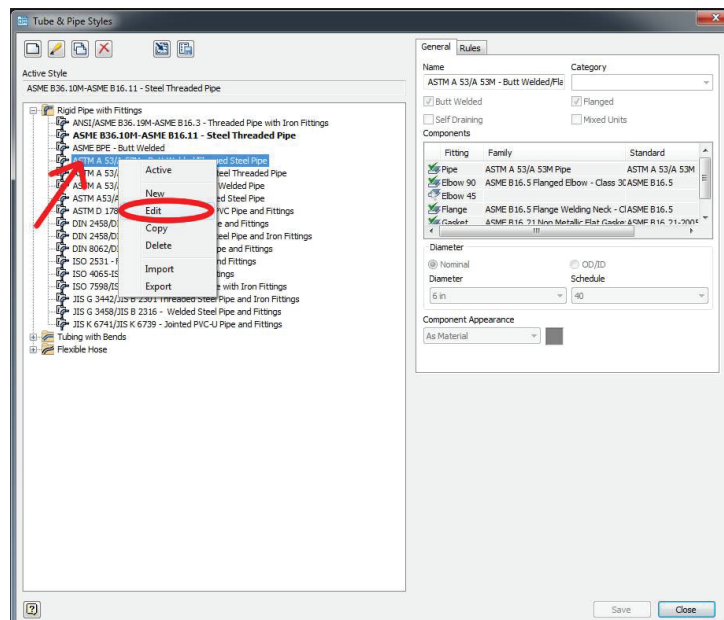
Προκειμένου να επιλέξουμε ένα από τα παρεχόμενα είδη σωληνώσεων, κάνουμε δεξί «κλικ» πάνω σε αυτό και επιλέγουμε την εντολή **Active** (εικόνα 4.3.15).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.3.15. Ενεργοποίηση προτύπου σωλήνωσης

Για την μορφοποίηση κάποιου είδους σωλήνωσης κάνουμε δεξί «κλικ» πάνω στο αναφερόμενο είδος και επιλέγουμε την εντολή **Edit** (εικόνα 4.3.16).

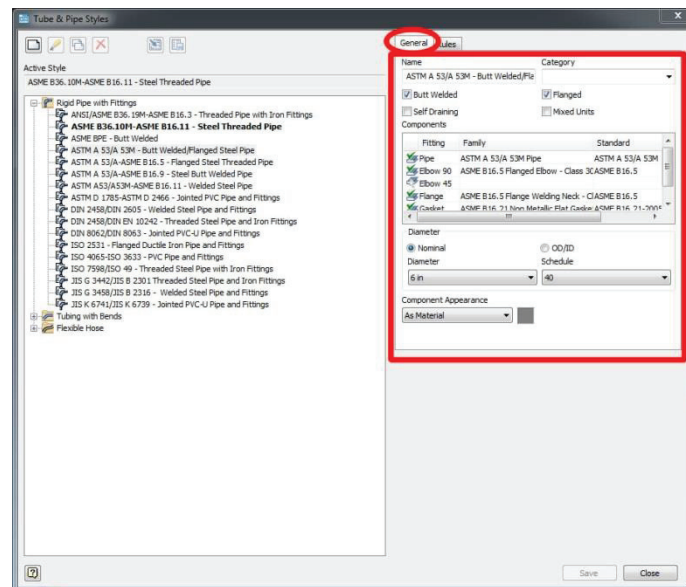


Εικόνα 4.3.16. Μορφοποίηση προτύπου σωλήνωσης

Από το ενεργοποιημένο δεξιό μέρος του παραθύρου (εικόνα 4.3.17) κάνουμε τις επιθυμητές τροποποιήσεις. Ο χρήστης, μέσω της καρτέλας **General**, έχει την

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

δυνατότητα στο να επιλέξει τα μέσα συναρμογής μεταξύ των σωλήνων (συγκόλληση, φλάντζες κ.τ.λ.) και καθορισμός των βασικών στοιχείων τους (διάμετρος, είδος κ.τ.λ.). Επιπλέον, έχει την δυνατότητα επιλογής διαμέτρου σωλήνα (ονομαστική διάμετρο ή κωδικοποιημένη διάμετρο προτύπου) και χρώματος.

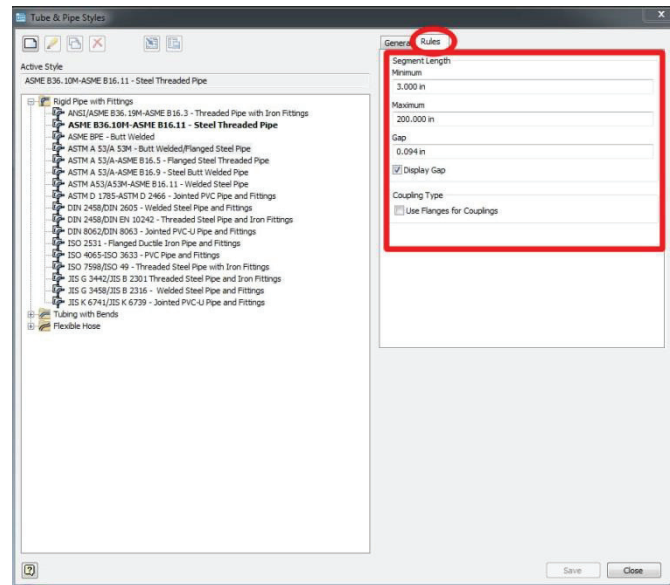


Εικόνα 4.3.17. Μορφοποίηση προτύπου σωληνώσεων – καρτέλα General

Το Inventor δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει ορισμένους κανόνες / περιορισμούς σχετικά με την μοντελοποίηση των επιμέρους σωλήνων του δικτύου. Οι κανόνες / περιορισμοί εισάγονται από την καρτέλα **Rules** (εικόνα 4.3.18) και δίνουν στον χρήστη την δυνατότητα στο να επιλέξει το ελάχιστο και το μέγιστο μήκος των επιμέρους σωλήνων, την απόσταση μεταξύ των σωλήνων κατά την συναρμογή τους και ορισμένες άλλες επιλογές περιορισμών (σύνδεση μεταξύ φλαντζών με χρήση , οι οποίες εμφανίζονται ανάλογα με το είδος του προτύπου.



## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.3.18. Μορφοποίηση προτύπου σωλήνωσης – καρτέλα Rules

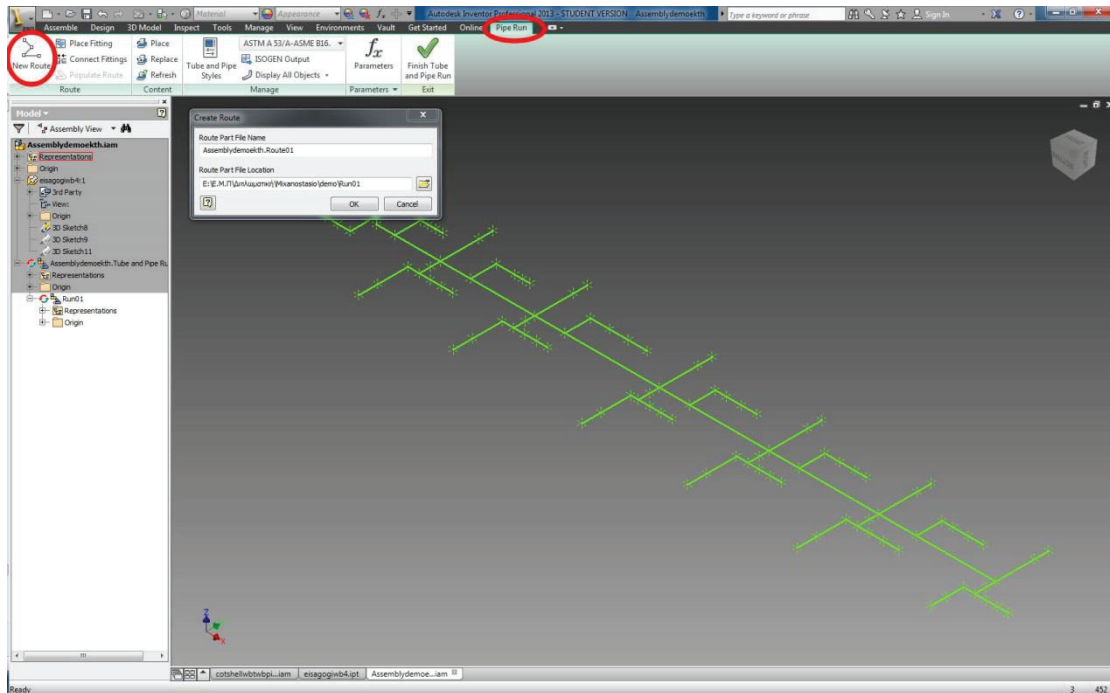
Ο λόγος για τον οποίον παρέχεται η παραπάνω δυνατότητα του Inventor, σχετικά με την εισαγωγή κανόνων / περιορισμών, είναι η καλύτερη διαχείριση και η εξαγωγή ρεαλιστικών μοντέλων δικτύων σωληνώσεων.

Σε αυτό το σημείο, κρίνεται αναγκαίο να αποσαφηνιστεί ο όρος «μήκος σωλήνα», ως η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών σημείων, όπως αυτά εισήχθησαν από το EXCEL και τροποποιήθηκαν κατά την διαμόρφωση του .ipr αρχείου.

### **Καθορισμός διαδρομής δικτύου σωλήνωσης**

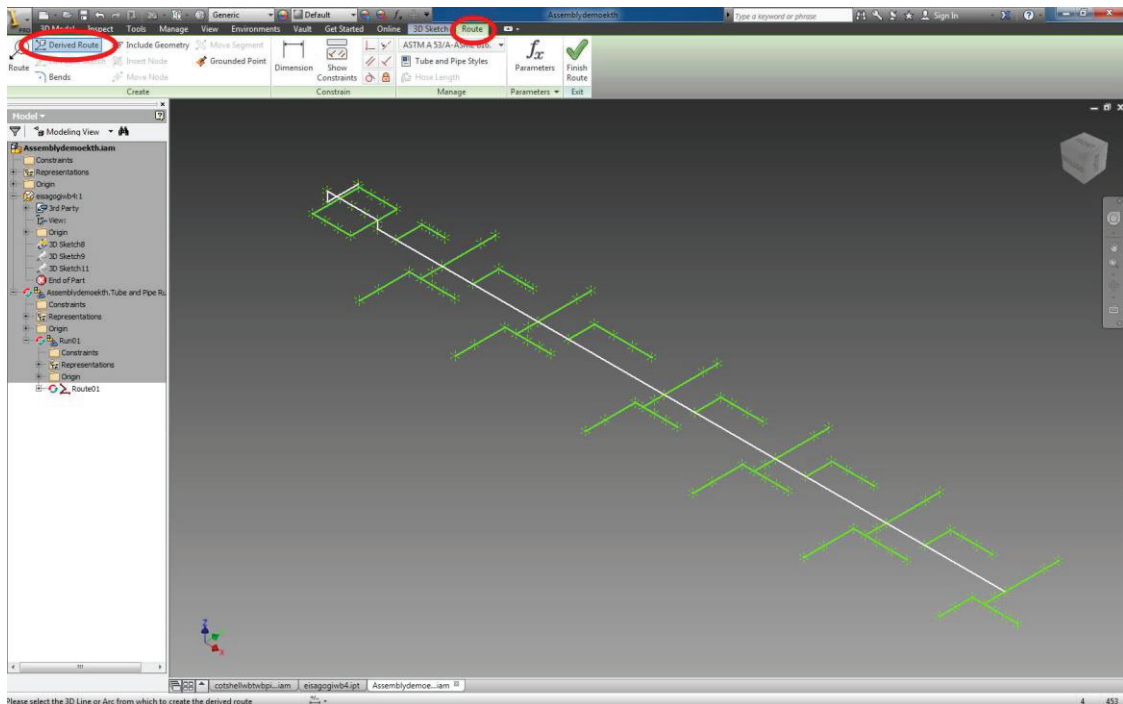
Έχοντας ήδη επιλέξει το είδος του σωλήνα που θα μοντελοποιηθεί, με βάση την σχεδιασμένη / καθορισμένη διαδρομή, γίνεται η 3D μοντελοποίηση του δικτύου σωληνώσεων μέσω της εντολής **Pipe Run -> New Route** (εικόνα 4.3.19). Στο αναδυόμενο παράθυρο καθορίζεται ο φάκελος αποθήκευσης της διαδρομής του δικτύου σωλήνωσης.

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.3.19. Φακέλου αποθήκευσης διαδρομής 3D μοντέλου σωλήνωσης

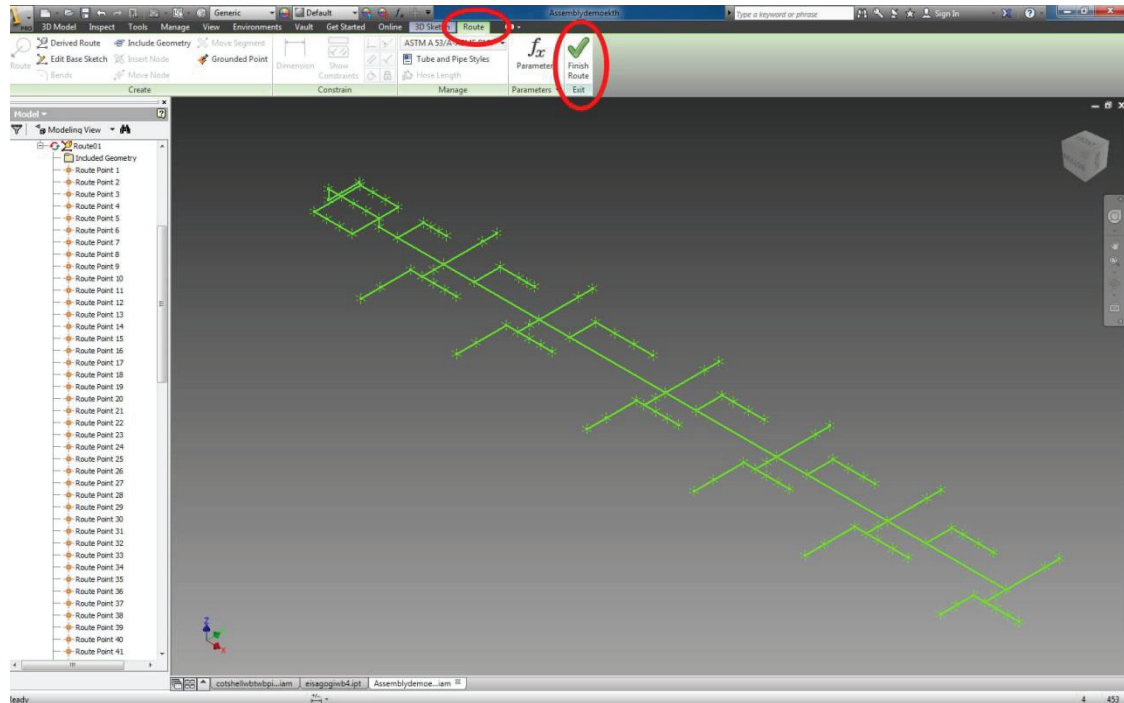
Ο ορισμός της ήδη σχεδιασμένης / καθορισμένης διαδρομής, ως την πορεία που θα ακολουθήσει το 3D μοντέλο σωληνώσεων, γίνεται με χρήση της εντολής **Route -> Derived Route** (εικόνα 4.3.20). Καθώς επιλέξουμε την επιθυμητή διαδρομή με χρήση του ποντικιού (mouse) πατάμε το πλήκτρο ENTER.



Εικόνα 4.3.20. Καθορισμός πορείας 3D μοντέλου σωλήνωσης

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

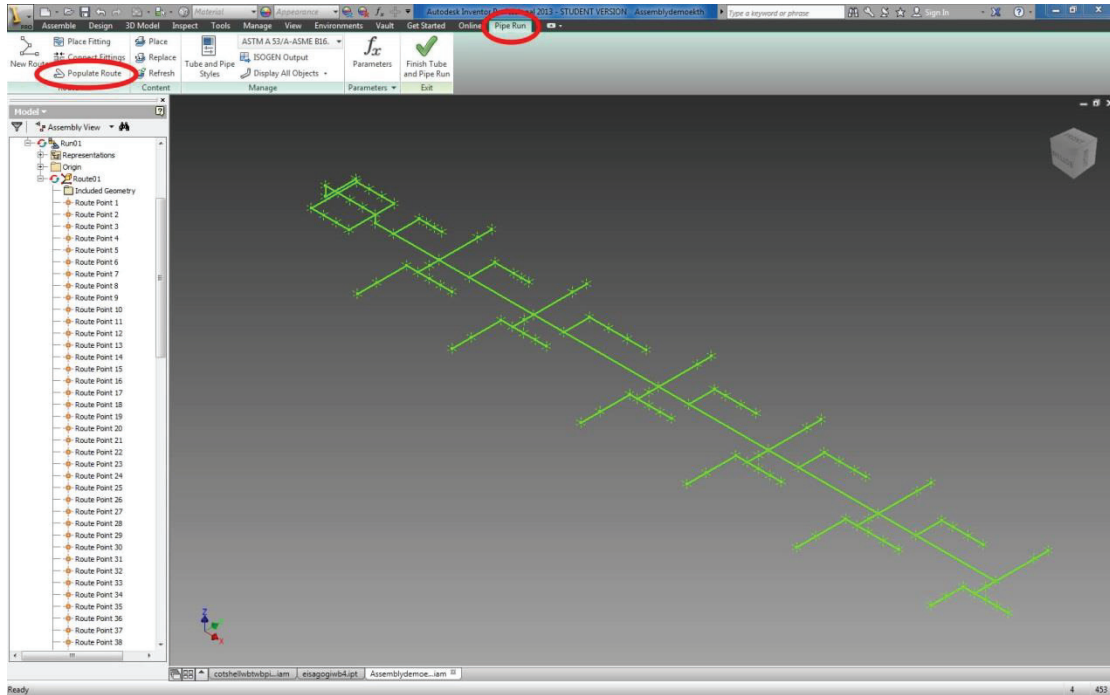
Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας ορισμού της διαδρομής της σωλήνωσης, επιλέγουμε την εντολή **Route -> Finish Route** (εικόνα 4.3.21).



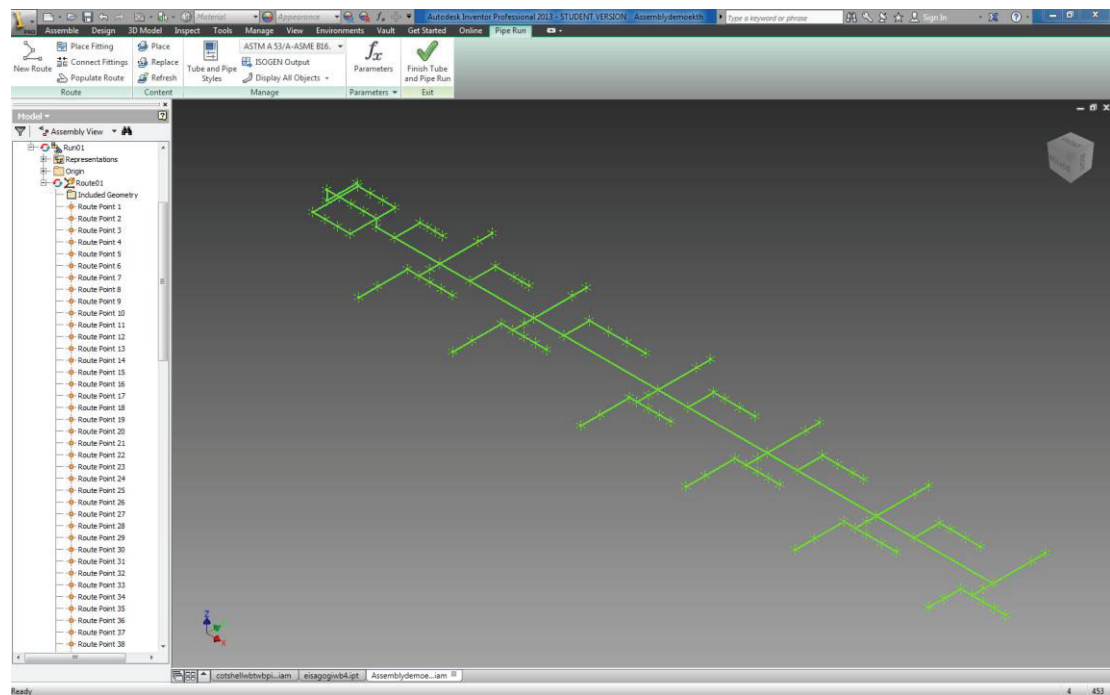
Εικόνα 4.3.21. Τέλος διαδικασίας καθορισμού διαδρομής 3D σωλήνωσης

Το δίκτυο σωλήνωσης περιγράφεται προς το παρόν με την 3D απεικόνιση της διαδρομής του (εικόνα 4.3.23(α)). Για την σχεδίαση του τελικού 3D μοντέλου της σωλήνωσης επιλέγεται η εντολή **Pipe Run -> Populate Route** (εικόνα 4.3.22). Το τελικό 3D μοντέλο του δικτύου Water Ballast System φαίνεται στην εικόνα 4.3.23(β) και 4.3.23(γ).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

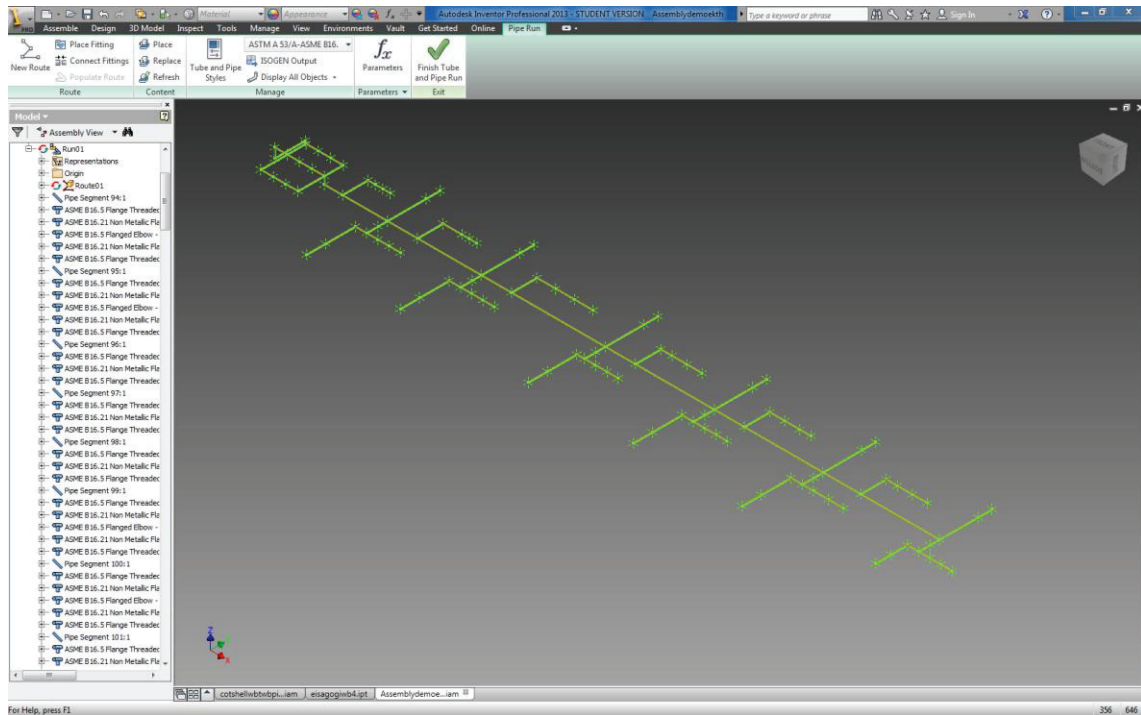


Εικόνα 4.3.22. Σχεδίαση 3D μοντέλου σωλήνωσης – εντολή Populate Route

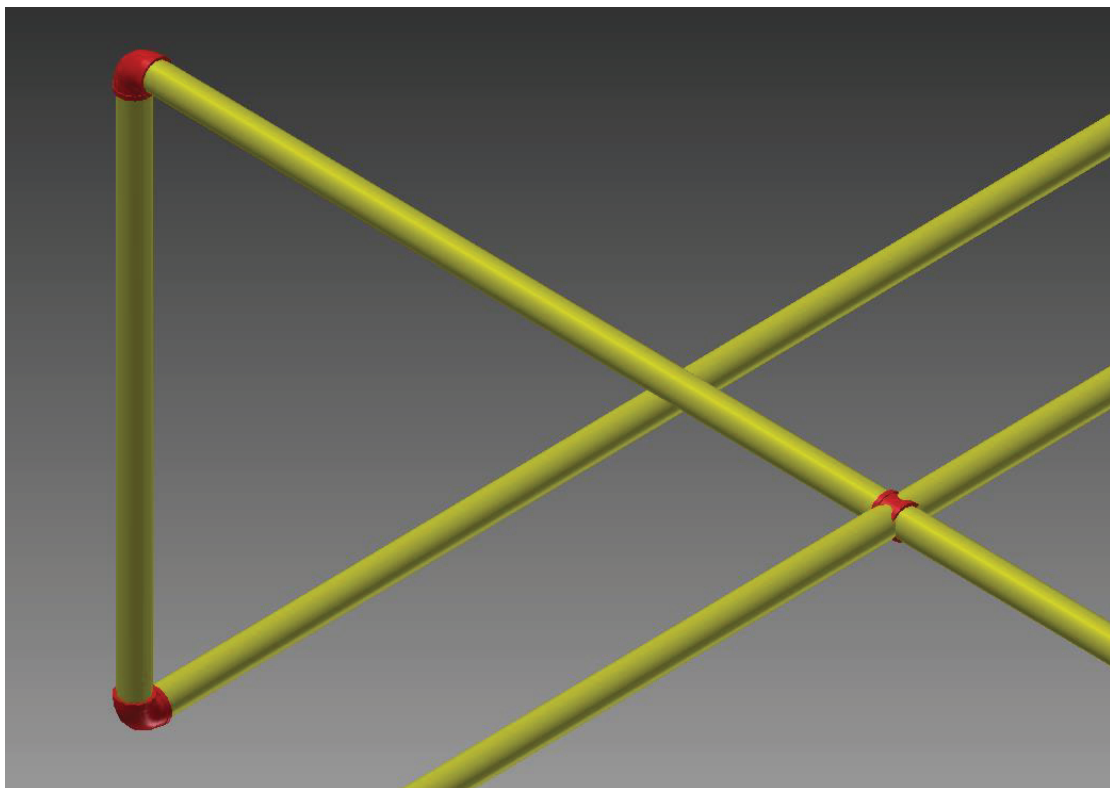


Εικόνα 4.3.23(α). 3D απεικόνιση διαδρομής σωλήνωσης

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.3.23(β). 3D μοντέλο δικτύου σωλήνωσης

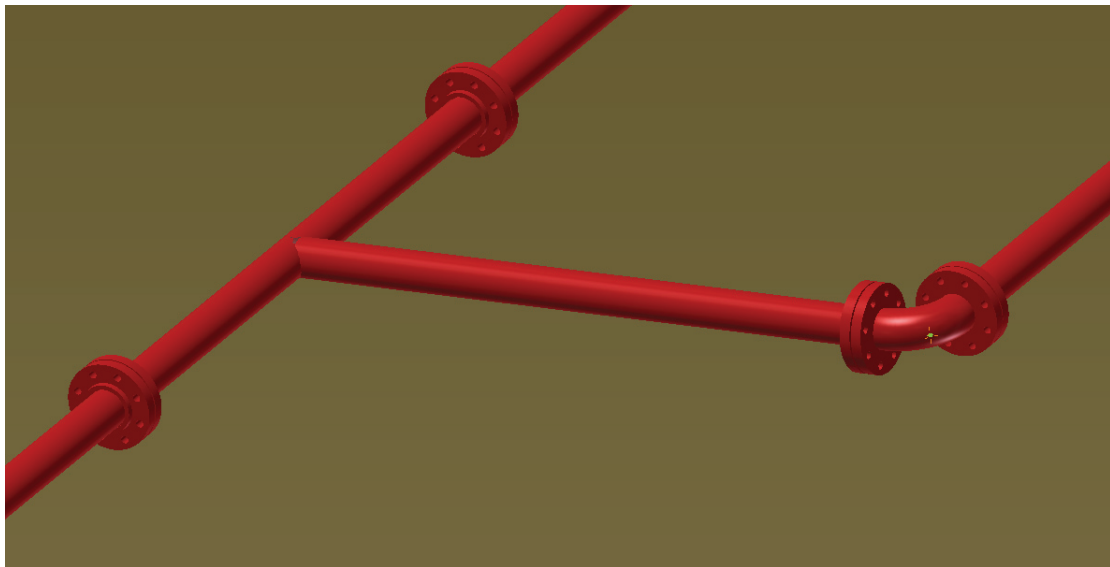


Εικόνα 4.3.23(γ). Μεγέθυνση 3D μοντέλου σωλήνωσης – απεικόνιση μέσω συναρμογής επιμέρους σωληνώσεων

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Όπως παρατηρείται στην εικόνα 4.3.23(γ), το δίκτυο σωλήνωσης χαράσσεται με μεγάλη γεωμετρική ακρίβεια και ιδιαίτερα ρεαλιστική απεικόνιση. Στην εικόνα 4.3.23(γ) με κόκκινο απεικονίζονται τα παρεχόμενα μέσα σύζευξης μεταξύ των επιμέρους σωλήνων.

Αλλάζοντας το επιλεγθέν πρότυπο σωλήνωσης (εικόνα 4.3.16), το είδος των μέσων σύζευξης αλλάζει αυτόματα. Στην εικόνα 4.3.24 απεικονίζεται ένα άλλο είδος προτύπου, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για το δίκτυο φορτίου.

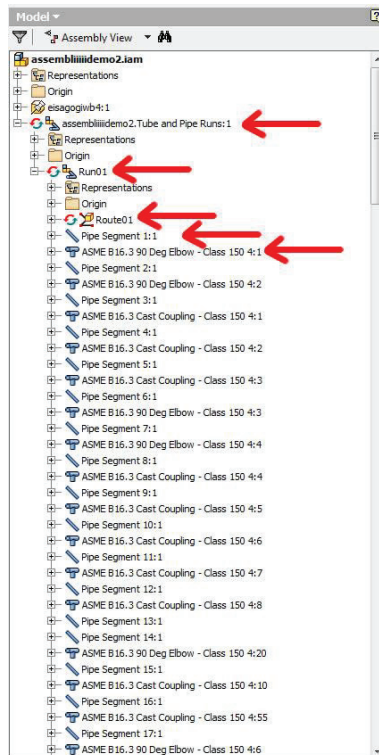


Εικόνα 4.3.24. Μεγεθυμένο 3D μοντέλο σωλήνωσης συστήματος φορτίου

Κατά την δημιουργία του 3D μοντέλου σωλήνωσης, στην αριστερή στήλη του παραθύρου εμφανίζεται ένα «δένδρο» αποτελούμενο με την ακόλουθη δομή (εικόνα 4.3.25):

- Όνομα του αρχείου στο οποίο δημιουργούνται και αποθηκεύονται όλα τα 3D μοντέλα σωληνώσεων
  - Όνομα μίας ευρείας ομάδας δικτύων 3D μοντέλων σωληνώσεων
    - Όνομα κάθε μεμονωμένης 3D σωλήνωσης
    - Όνομα κάθε επιμέρους σωλήνωσης
    - Όνομα κάθε επιμέρους μέσου συναρμογής επιμέρους σωληνώσεων

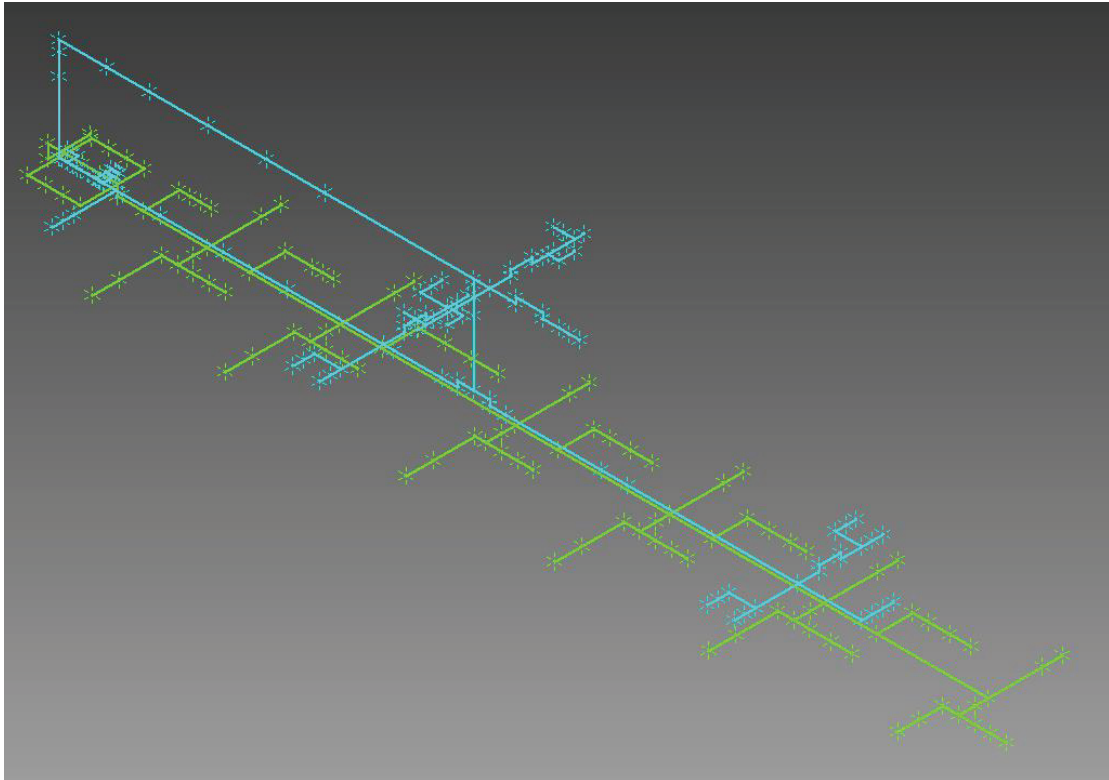
## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.3.25. Διάταξη δένδρου .iam

Η διαδικασία δημιουργίας των υπολοίπων «καθορισμένων», από το υπάρχων αρχείο .ipt, (No.1-3 C.O.S.), 3D μοντέλων δικτύων παρουσιάζεται στην συνέχεια. Ακολουθεί η περιγραφή της δημιουργίας του 3D μοντέλου για το δίκτυο No.2 C.O.S.. Επαναλαμβάνοντας την ίδια ακριβώς διαδικασία, δημιουργούνται τα 3D μοντέλα των υπολοίπων δικτύων σωληνώσεων (No.1 C.O.S. και No.3 C.O.S.)

Για την δημιουργία του 3D μοντέλου για το No.2 C.O.S. ανατρέχουμε στο αρχείο .ipt (όπου έχουν διαμορφωθεί όλες οι διαδρομές των υπό μελέτη δικτύων σωληνώσεων και έχουν αποκρυφτεί), κάνουμε δεξί «κλικ» στο όνομα του Sketch του No.2 C.O.S. και επιλέγουμε την εντολή **Visibility**. Με τον τρόπο αυτό εμφανίζεται στο .ipt αρχείο η διαδρομή του δικτύου σωληνώσεων για το No.2 C.O.S., ενώ παράλληλα, είναι ήδη εμφανισμένο το δίκτυο διαδρομής για το W.B.S. (εικόνα 4.3.26).

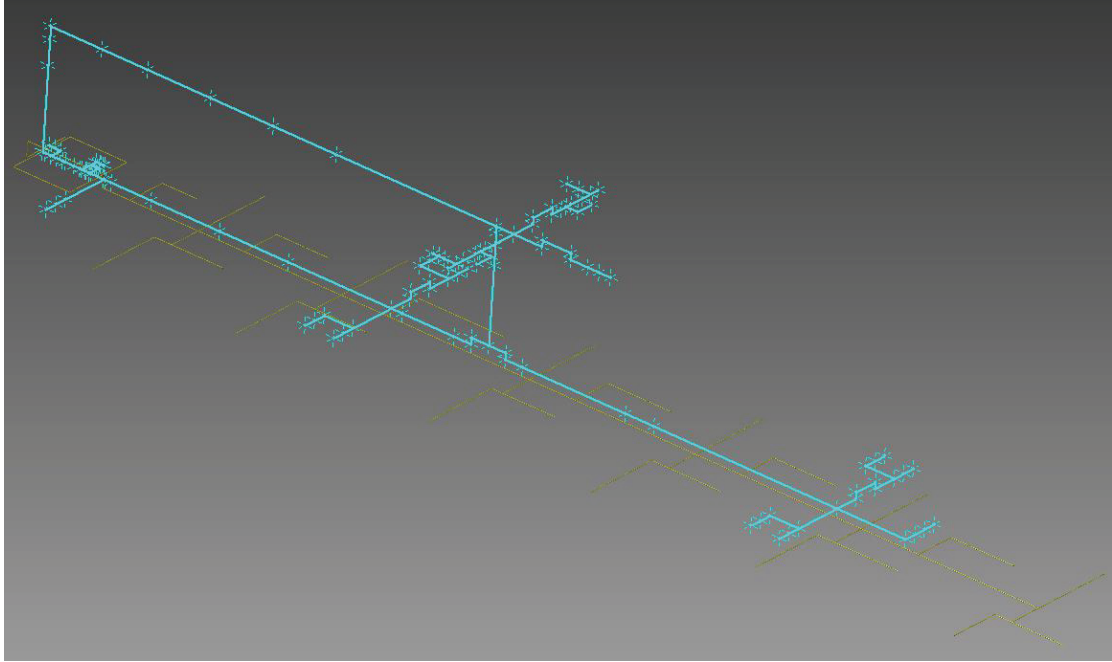


Εικόνα 4.3.26. Διαδρομή W.B.S. (πράσινο) & No.2 C.O.T. (μπλε) στο αρχείο .ipt

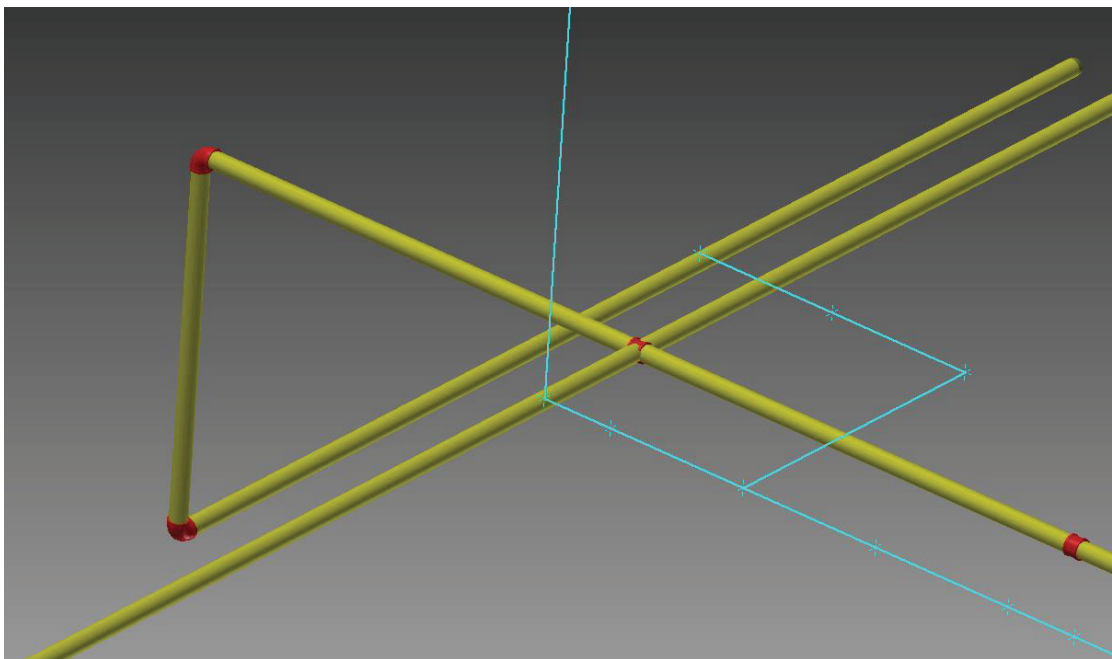
Καθώς εμφανίζεται το δίκτυο διαδρομής του No.2 C.O.S. στο αρχείο .ipt, αυτόματα και ταυτόχρονα, εμφανίζεται η ίδια διαδρομή του No.2 C.O.S. και στο ήδη ανοιχτό αρχείο .iam (εικόνα 4.3.27(α)&(β)). Σε περίπτωση που τροποποιηθεί το αρχείο .ipt χωρίς να είναι ταυτόχρονα ανοιχτό το αρχείο .iam, κατά το άνοιγμα του δεύτερου αρχείου, θα εμφανιστεί η επιλογή ενημέρωσης μέσω της εντολής **Manage -> Update**.



Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



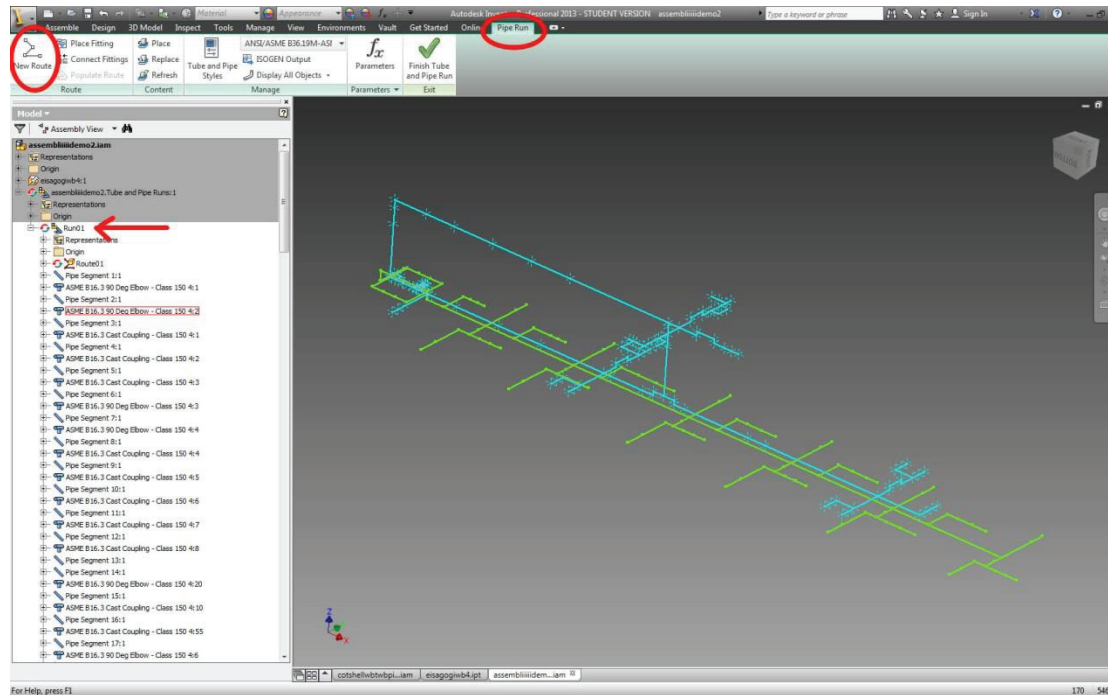
Εικόνα 4.3.27(α). Εμφάνιση διαδρομής No.2 C.O.T. μαζί με το 3D μοντέλο δικτύου σωλήνωσης του W.B.S.



Εικόνα 4.3.27(β). Μεγέθυνση 3D μοντέλου σωλήνωσης W.B.S. και διαδρομής No.2 C.O.T. (μπλε)

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

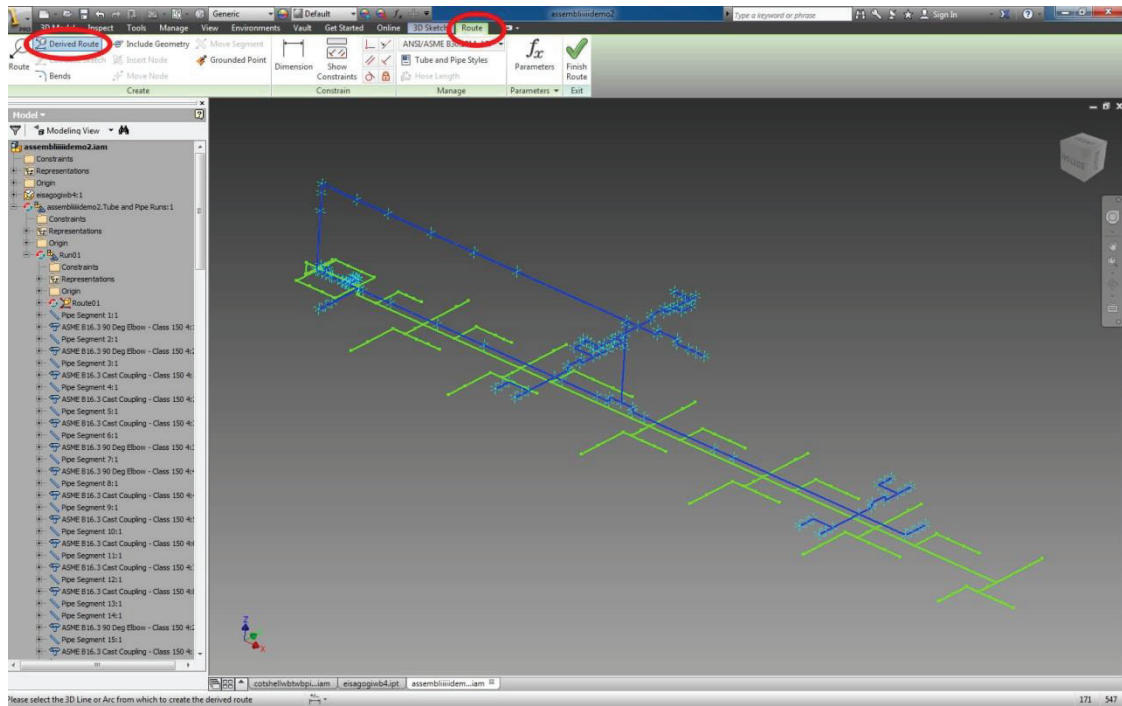
Για την χάραξη του 3D μοντέλου σωλήνωσης για το No.2 C.O.S. κάνουμε διπλό «κλικ» στο όνομα της ευρείας ομάδας δικτύων 3D μοντέλων σωληνώσεων και επιλέγουμε την εντολή **Pipe Run -> New Route** (εικόνα 4.3.28).



Εικόνα 4.3.28. Αρχική διαδικασία σχεδίασης επιπλέον 3D δικτύου σωλήνωσης σε ήδη σχεδιασμένο

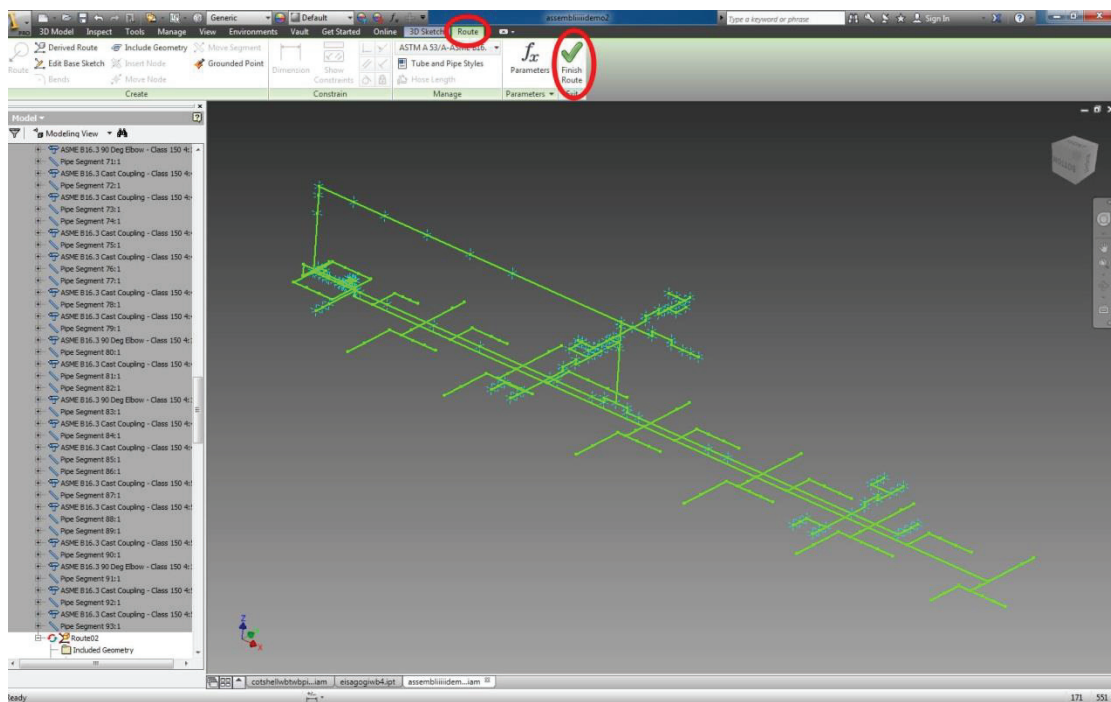
Στην συνέχεια, όπως πράξαμε και στο W.B.S. επιλέγουμε την εντολή **Route -> Derived Route** και με το ποντίκι (mouse) επιλέγουμε την διαμορφωμένη διαδρομή (μπλε) που θα ακολουθήσει το δίκτυο σωληνώσεων No.2 C.O.S. (εικόνα 4.3.29).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.3.29. Καθορισμός πορείας 3D μοντέλου σωλήνωσης No.2 C.O.S.

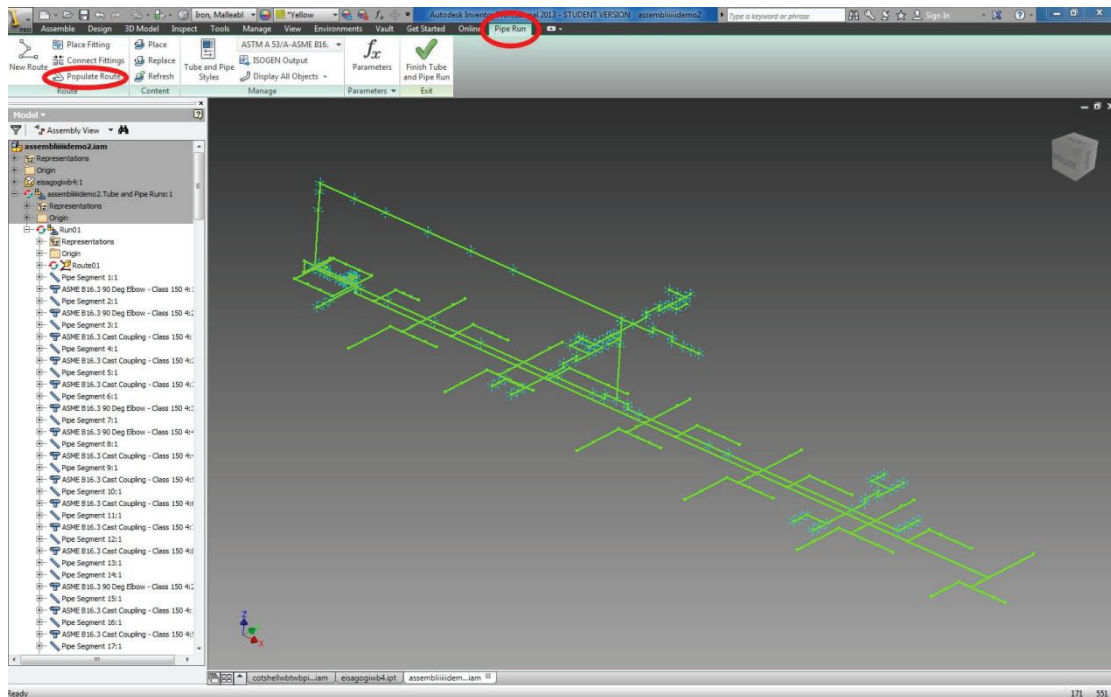
Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας ορισμού της διαδρομής της σωλήνωσης, επιλέγουμε την εντολή **Route -> Finish Route** (εικόνα 4.3.30).



Εικόνα 4.3.30. Τέλος διαδικασίας καθορισμού διαδρομής 3D σωλήνωσης No.2 C.O.S.

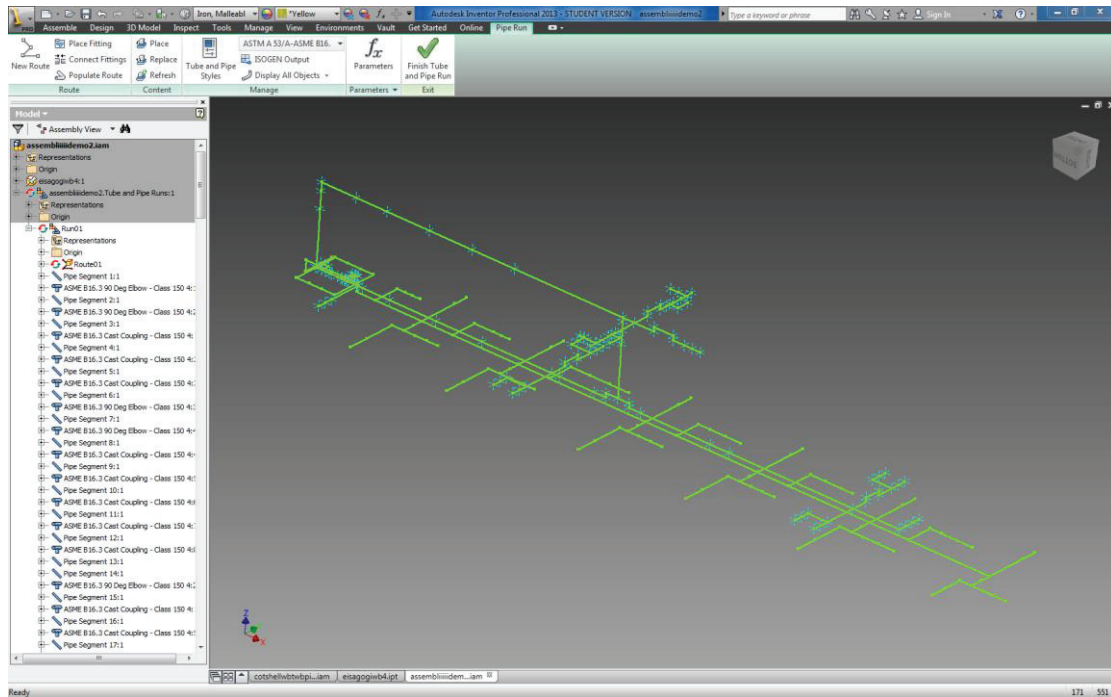
## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Το δίκτυο σωλήνωσης για το No.2 C.O.S. περιγράφεται, προς το παρών, με την 3D απεικόνιση της διαδρομής του, ενώ παράλληλα απεικονίζεται το 3D μοντέλο του δικτύου σωλήνωσης για το W.B.S. (εικόνα 4.3.32(α)). Για την σχεδίαση του τελικού 3D μοντέλου της σωλήνωσης για το No.2 C.O.S. επιλέγεται η εντολή **Pipe Run -> Populate Route** (εικόνα 4.3.31). Το τελικό 3D μοντέλο του δικτύου Water Ballast System φαίνεται στην εικόνα 4.3.32(β) και 4.3.32(γ).

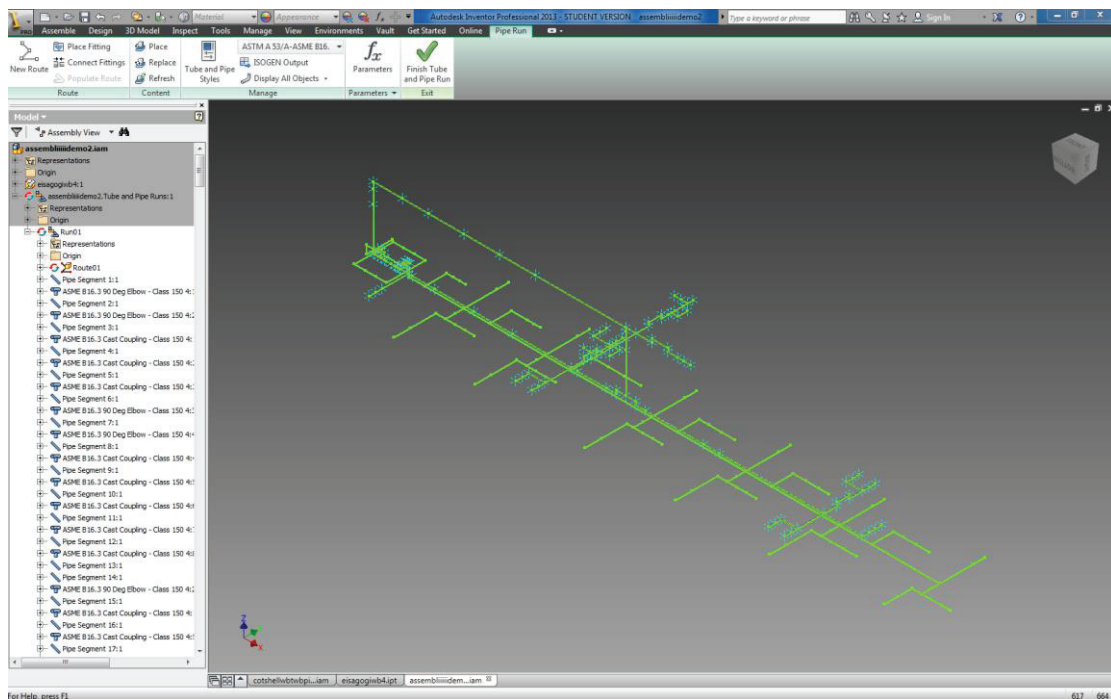


Εικόνα 4.3.31. Σχεδίαση 3D μοντέλου σωλήνωσης No.2 C.O.S. – εντολή Populate Route

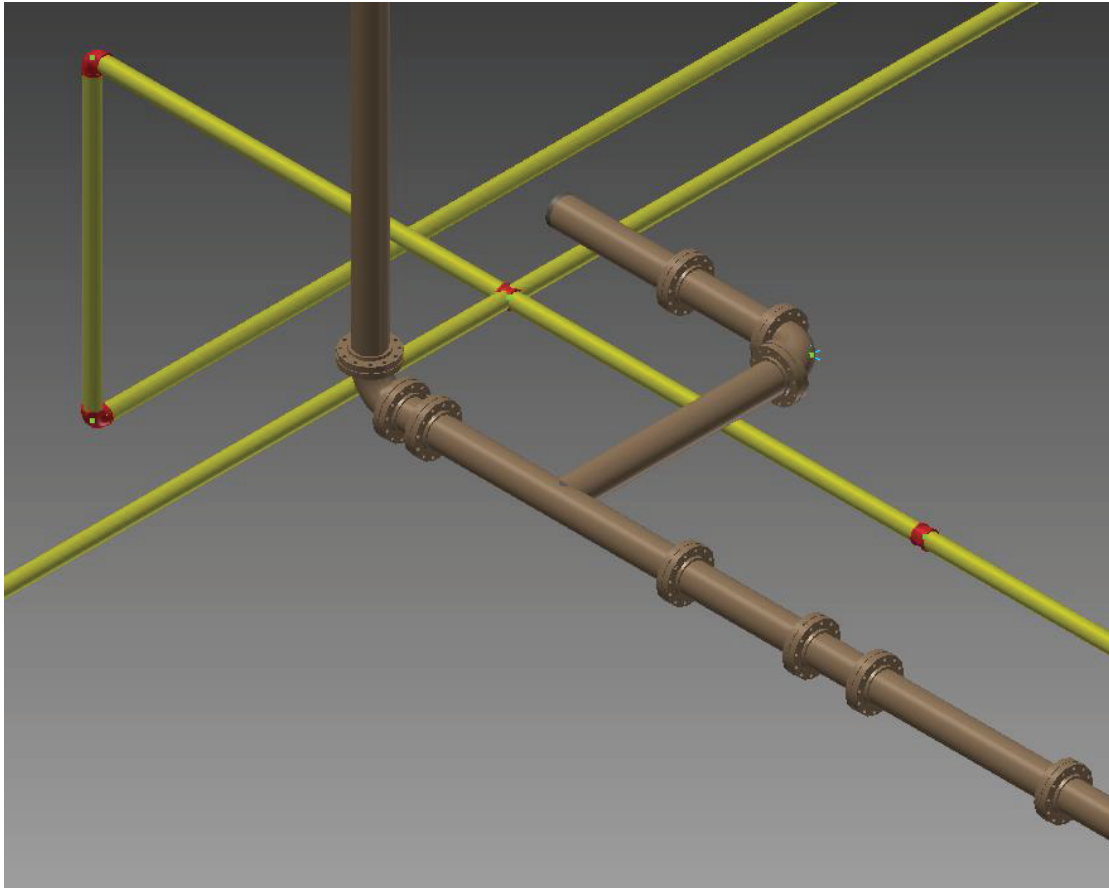
## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.3.32(α). 3D απεικόνιση διαδρομής σωλήνωσης No.2 C.O.S. & 3D μοντέλο σωλήνωσης W.B.S.



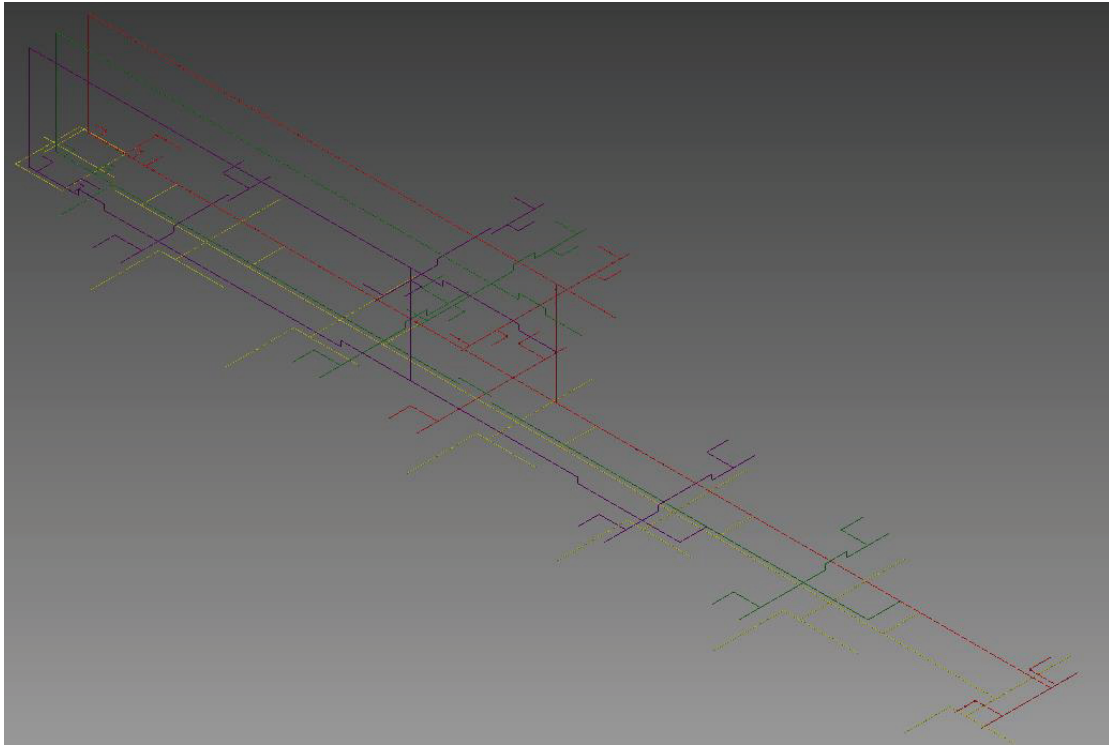
Εικόνα 4.3.32(β). 3D μοντέλο δικτύου σωλήνωσης W.B.S. & No.2 C.O.S.



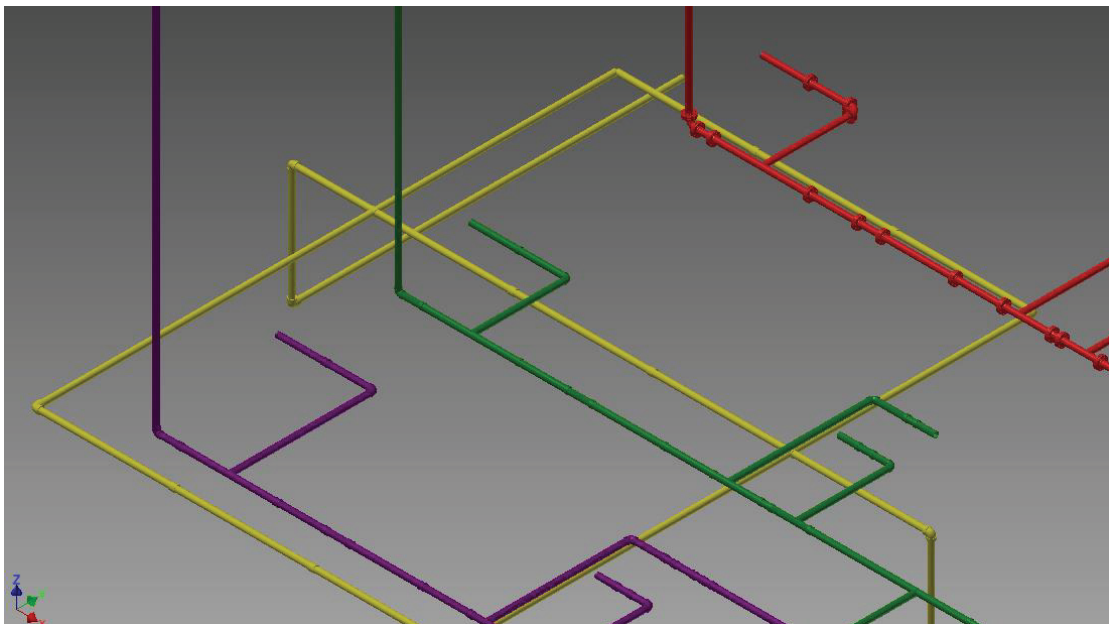
Εικόνα 4.2.32(γ). Μεγέθυνση 3D μοντέλου σωληνώσης W.B.S. (κίτρινο) & No.2 C.O.S. (καφέ)– απεικόνιση μέσω συναρμογής επιμέρους σωληνώσεων

Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία για την 3D μοντελοποίηση του No.2 C.O.S. και για το δίκτυο σωληνώσεων των No.1 & 3 C.O.S., σχεδιάζεται όλο το δίκτυο των 3D μοντέλων των σωληνώσεων για τα συστήματα No.1-3 Cargo Oil System και Water Ballast System. Το τελικό 3D μοντέλο όλων των παραπάνω δικτύων σωληνώσεων φαίνεται στις παρακάτω εικόνες 4.2.33(α) & (β).

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.2.33(α). 3D απεικόνιση ολοκληρωμένου μοντέλου σωληνώσεων για τα δίκτυα W.B.S και No.1-3 C.O.S



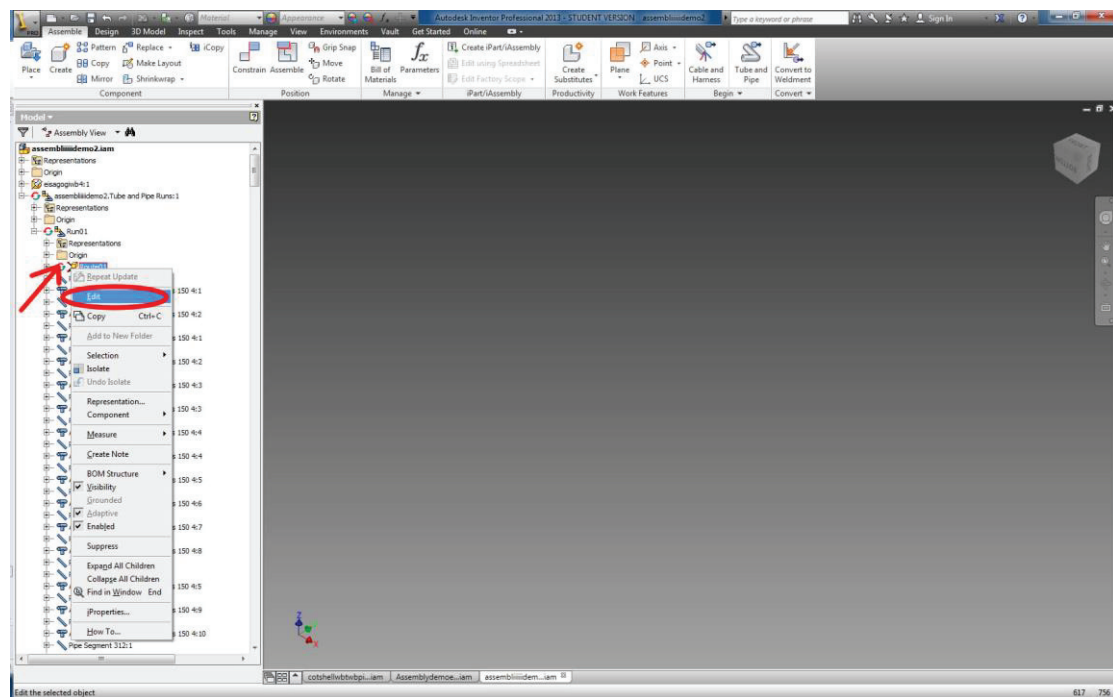
Εικόνα 4.2.33(β). Μεγέθυνση 3D μοντέλων σωλήνωσης W.B.S. (κίτρινο) & No.1-3 C.O.S. (μωβ, πράσινο και κόκκινο)– απεικόνιση μέσω συναρμογής επιμέρους σωληνώσεων

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

### Επιλογή προτύπου σχεδίασης σωλήνωσης σε ήδη σχεδιασμένα 3D μοντέλα – Αλλαγή ιδιοτήτων του

Στις παραπάνω εικόνες 4.2.33 (α) & (β) το κάθε δίκτυο σωλήνωσης παρουσιάζεται με διαφορετικό χρώμα και διαφορετικό πρότυπο σχεδίασης. Οι παραπάνω αλλαγές / επιλογές έγιναν κατά το στάδιο της αρχικής σχεδίασης του εκάστοτε δικτύου σωλήνωσης, όπως περιγράφηκε ανωτέρω (εικόνες 4.3.15-4.3.18). Για ήδη σχεδιασθέντα 3D μοντέλα δικτύων σωληνώσεων, η αλλαγή προτύπου γίνεται μέσω της ακόλουθης διαδικασίας.

Από την αριστερή στήλη ανατρέχουμε στο όνομα της μεμονωμένης διαδρομής σωλήνωσης που θέλουμε να μορφοποιήσουμε, κάνουμε «δεξιά» κλικ πάνω στο όνομα και επιλέγουμε **Edit** (εικόνα 4.3.34).

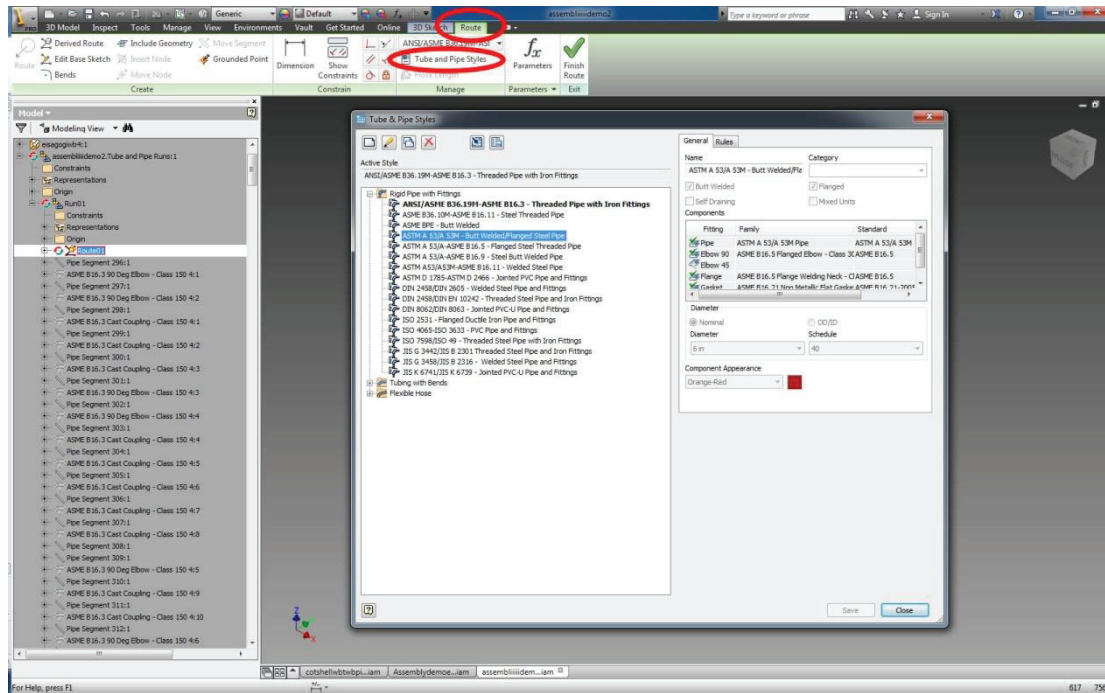


Εικόνα 4.3.34. Αλλαγή και μορφοποίηση προτύπου σωλήνωσης –Edit

Στην συνέχεια χρησιμοποιείται η εντολή **Route -> Tube and Pipe Styles** (εικόνα 4.3.35) μέσω της οποίας γίνεται η διαμόρφωση του ήδη επιλεγμένου προτύπου ή η αλλαγή του και μορφοποίησή του. Η διαδικασία αλλαγής – τροποποίησης – μορφοποίησης προτύπων γίνεται όπως έχει περιγραφεί ανωτέρω (εικόνες 4.3.15-4.3.18).



## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

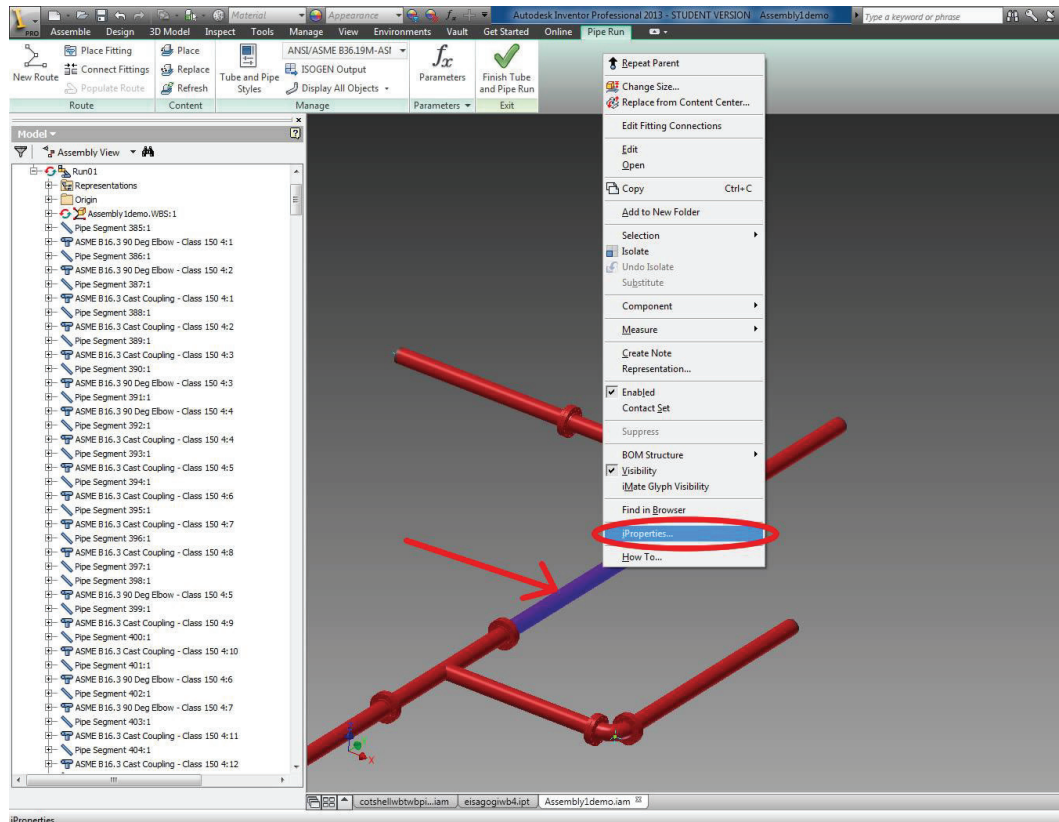


Εικόνα 4.3.35. Αλλαγή και τροποποίηση προτύπου δικτύου σωληνώσεως σε υπάρχουσα 3D μοντέλα σωληνώσεων

Καθώς γίνει η αλλαγή και τροποποίηση του προτύπου, επιλέγουμε την εντολή **Route -> Finish Route** και το υπό μορφοποίηση δίκτυο ξανα-μοντελοποιείται με το νέο πρότυπο.

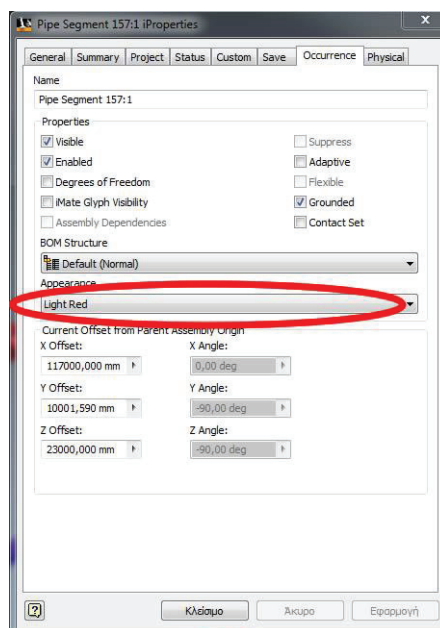
Σε περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί να αλλάξει το χρώμα μεμονωμένα μιας σωλήνας ή ενός συνδέσμου από όλο το δίκτυο, τότε κάνοντας διπλό αριστερό «κλικ» στο υπό μορφοποίηση δίκτυο σωληνώσεων ενεργοποιείται το «πεδίο» μορφοποίησής του. Στην συνέχεια, κάνοντας δεξί «κλικ» στον σωλήνα ή στον σύνδεσμο προς τροποποίηση επιλέγεται την εντολή **iProperties** (εικόνα 4.3.36).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.3.36. Επιλογή μεμονωμένου σωλήνα ενός δικτύου για μορφοποίηση

Έπειτα, μέσω της καρτέλας **Occurrence** (εικόνα 4.3.37), γίνεται η αλλαγή του χρώματος.

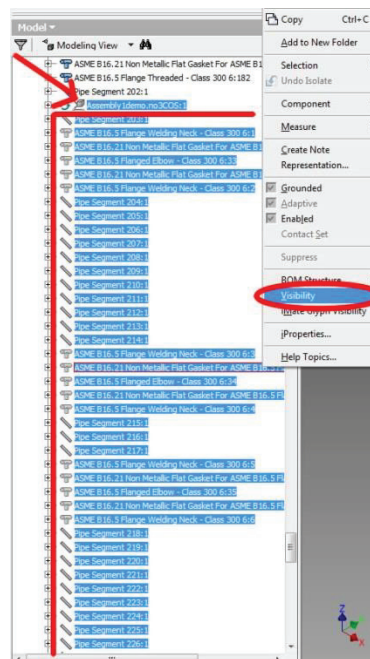


Εικόνα 4.3.37. Αλλαγή χρώματος μεμονωμένου σωλήνα δικτύου

### Αντικατάσταση & μορφοποίηση μέσω προσάρτησης μεταξύ σωλήνων

Το Inventor παρέχει την δυνατότητα αλλαγής/αντικατάστασης των μέσων προσάρτησης ενός σωλήνα με έναν άλλο μέσα από μία εμπλουτισμένη «βιβλιοθήκη» συνδέσμων. Η διαδικασία αντικατάστασης είναι ίδια για όλα τα 3D μοντέλα σωληνώσεων. Για την παρουσίαση του τρόπου, θα εμφανίσουμε μόνο το σύστημα σωληνώσεων για το Water Ballast System.

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να σημειωθεί ότι απόκρυψη ενός δικτύου σωληνώσεων γίνεται και μέσω του αρχείου .iam, εκτός του προαναφερθέν τρόπου μέσω του αρχείου .ipt. Από την αριστερή στήλη του προγράμματος ανατρέχουμε στο όνομα της μεμονωμένης 3D διαδρομής σωλήνωσης που θέλουμε να αποκρύψουμε, κάνουμε δεξί «κλικ» πάνω στο όνομα και ξε-επιλέγουμε την εντολή **Visibility** (εικόνα 4.3.38). Την ίδια διαδικασία την επαναλαμβάνουμε για κάθε επιμέρους σωλήνα και επιμέρους μέσου συναρμογής μεταξύ των σωλήνων και συμπεριλαμβάνεται στο προς απόκρυψη δίκτυο σωλήνωσης.

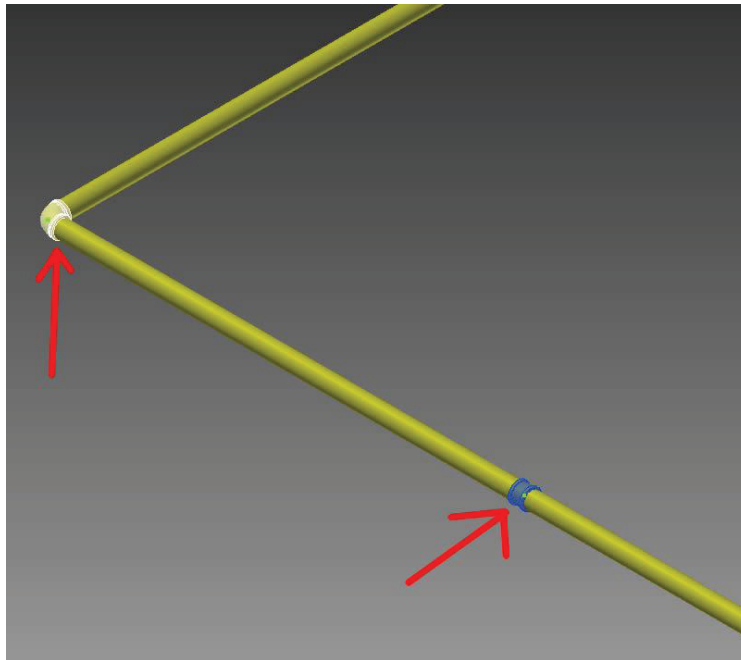


Εικόνα 4.3.38. Απόκρυψη δικτύου σωλήνωσης μέσω αρχείου .iam

Προκειμένου να αλλαχθεί ένας σύνδεσμος μεταξύ διαδοχικών σωλήνων κάνουμε διπλό «κλικ» πάνω στο υπό διαμόρφωση δίκτυο σωλήνωσης και με αυτό τον τρόπο «μπαίνουμε» στο περιβάλλον επεξεργασίας του. Καθώς είμαστε μέσα σε αυτό το περιβάλλον, ο χρήστης έχει την δυνατότητα επιλογής οποιουδήποτε επιμέρους αντικειμένου που απαρτίζει το συνολικό υπό μελέτη δίκτυο. Δηλαδή,

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

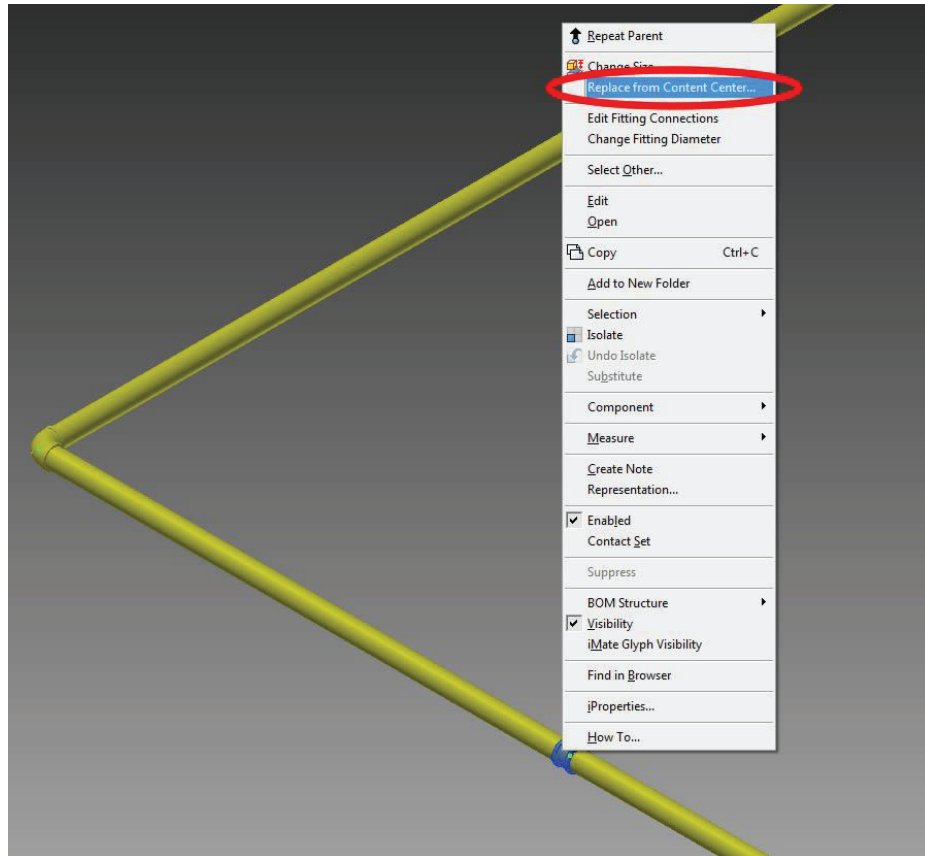
δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει έναν σύνδεσμο ή κάποια ομάδα συνδέσμων που έχουν «εγκατασταθεί» στο δίκτυο σωλήνωσης (εικόνα 4.3.39).



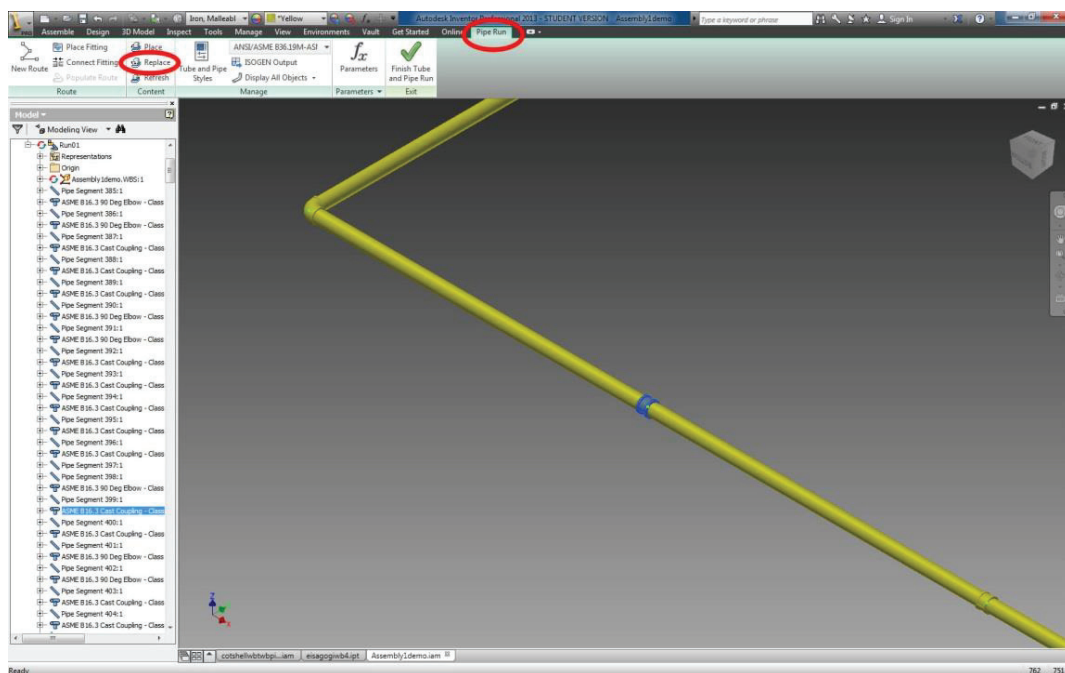
Εικόνα 4.3.39. Επιλογή επιμέρους συνδέσμων ενός 3D μοντέλου σωλήνωσης

Προκειμένου να αλλάξουμε τον μπλε σύνδεσμο της εικόνας 4.3.39, κάνουμε δεξί «κλικ» πάνω σε αυτόν και επιλέγουμε την εντολή **Replace from Content Center** (εικόνα 4.3.40). Ένας άλλος τρόπος αντικατάστασης συνδέσμου χωρίς να χρειάζεται να κάνουμε δεξί «κλικ» πάνω σε αυτόν είναι να επιλέξουμε τον συγκεκριμένο σύνδεσμο και να επιλέξουμε την εντολή **Pipe Run -> Replace** (εικόνα 4.3.41).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



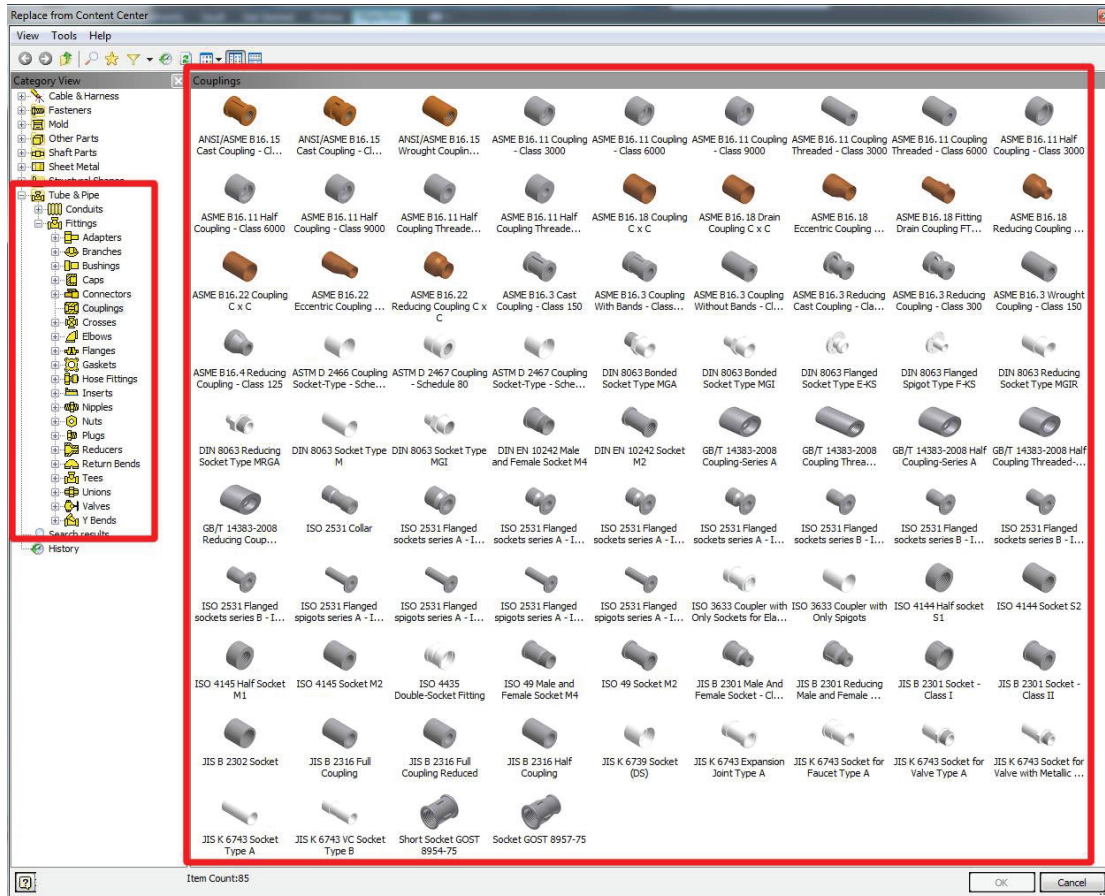
Εικόνα 4.3.40. Αντικατάσταση συνδέσμου 3D σωλήνωσης - Replace from Content Center



Εικόνα 4.3.41. Αντικατάσταση συνδέσμου 3D σωλήνωσης – Replace

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Μετά την επιλογή μίας εκ των ανωτέρω εντολών αντικατάστασης, εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο (εικόνα 4.3.42) με όλα τα παρεχόμενα είδη συνδέσμων από το Inventor.

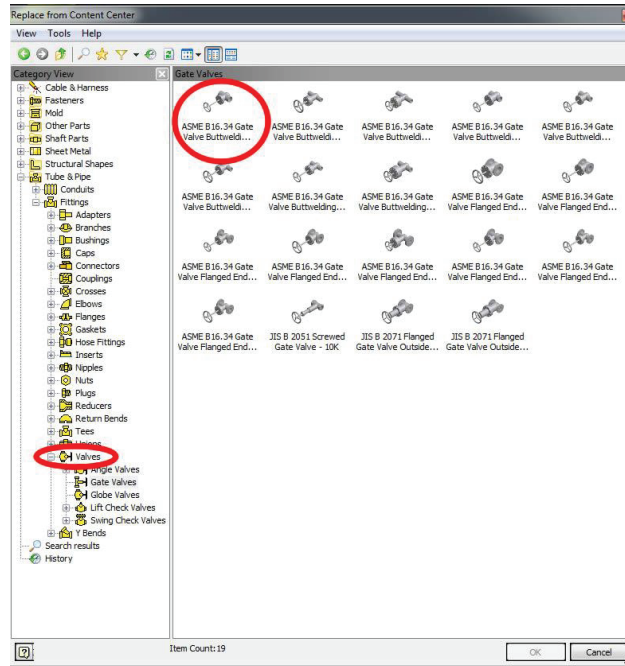


Εικόνα 4.3.42. Παρεχόμενη βιβλιοθήκη μέσω σύνδεσης σωλήνων

Στα αριστερά του παραπάνω παραθύρου φαίνονται όλα τα είδη συνδέσμων με μορφή δένδρου. Επιλέγοντας μία από τις απεικονιζόμενες κατηγορίες εμφανίζονται στα δεξιά του παραθύρου τα μέσα σύνδεσης που εντάσσονται σε αυτήν την κατηγορία.

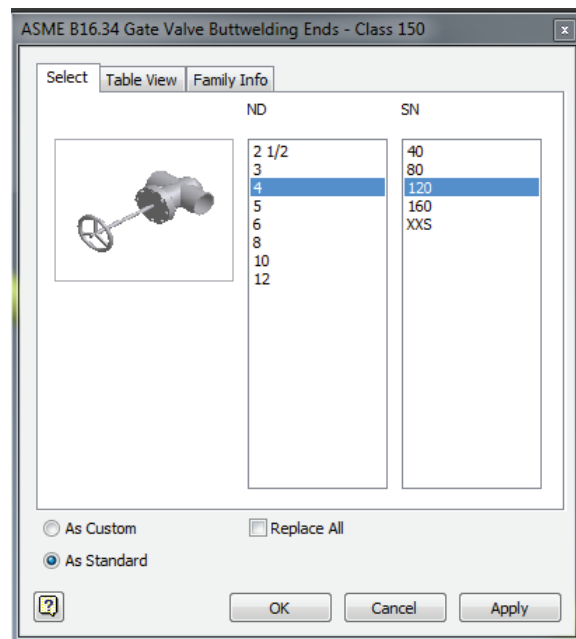
Για την αντικατάσταση του συγκεκριμένου συνδέσμου με κάποια βαλβίδα στραγγαλισμού, ανατρέχουμε στην κατάλληλη κατηγορία με τις βαλβίδες (Valves) και επιλέγουμε μια από τις παρεχόμενες (εικόνα 4.3.43).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.3.43. Αντικατάσταση συνδέσμου με βαλβίδα στραγγαλισμού

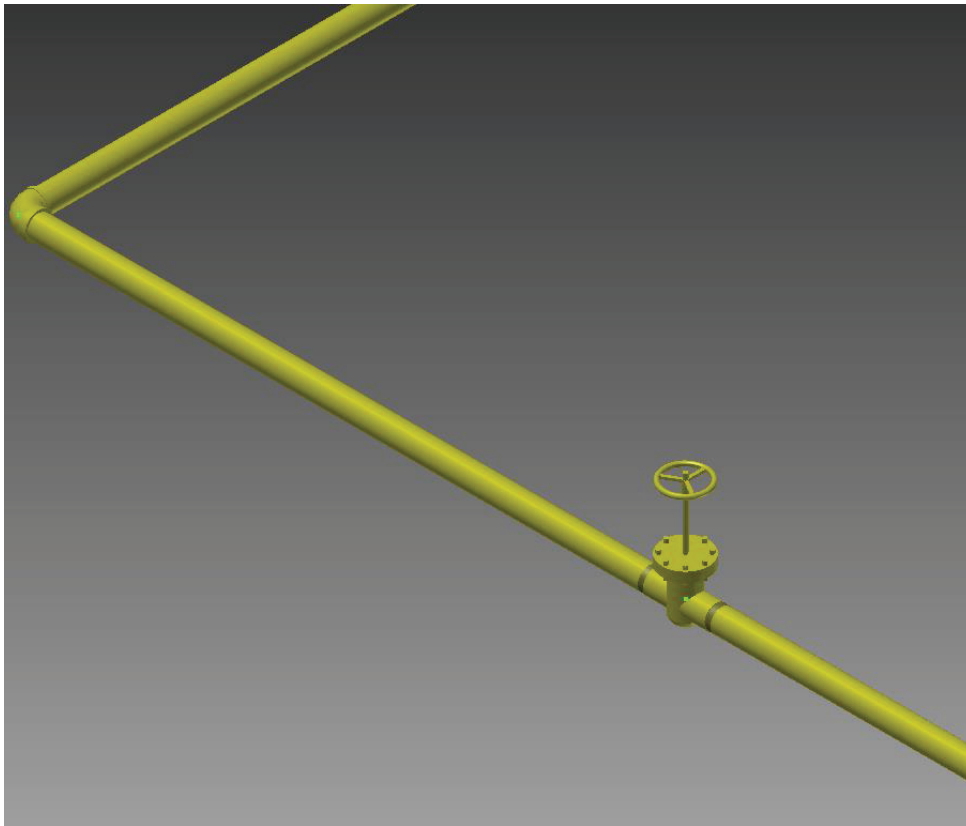
Μετά την επιλογή της βαλβίδας στραγγαλισμού, ακολουθεί ο καθορισμός του μεγέθους της. Το αρχικά προεπιλεγμένο μέγεθος είναι ίδιο με αυτό του σωλήνα. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αλλάξει το μέγεθος μέσω του ακόλουθου εμφανιζόμενου παραθύρου (εικόνα 4.3.44).



Εικόνα 4.3.44. Καθορισμός μεγέθους βαλβίδας στραγγαλισμού

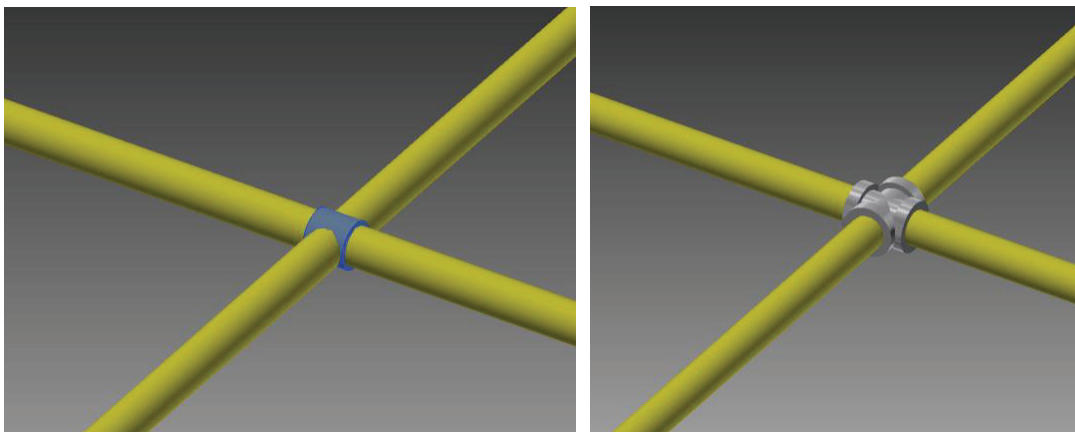
Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Επιλέγοντας το μέγεθος της βαλβίδας, η διαδικασία αντικατάστασης ολοκληρώνεται και η νέα διάταξη φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα 4.3.45.



Εικόνα 4.3.45. Ολοκλήρωση αντικατάστασης απλού συνδέσμου με βαλβίδα

Πρέπει να σημειωθεί ότι σε σημεία τομής του δικτύου σωληνώσεων σε σχήμα «σταυρού», πρέπει αν γίνεται αντικατάσταση του απλού μέσου σύνδεσης με αντίστοιχο σχήματος σταυρού (εικόνα 4.3.46(α)&(β)). Για την αντικατάσταση ακολουθείται η ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε παραπάνω για την αντικατάσταση των μέσων συναρμογής.



Εικόνα 4.3.46(α) & (β). Αντικατάσταση ενδιάμεσου μέσου συναρμογής με σταυρό



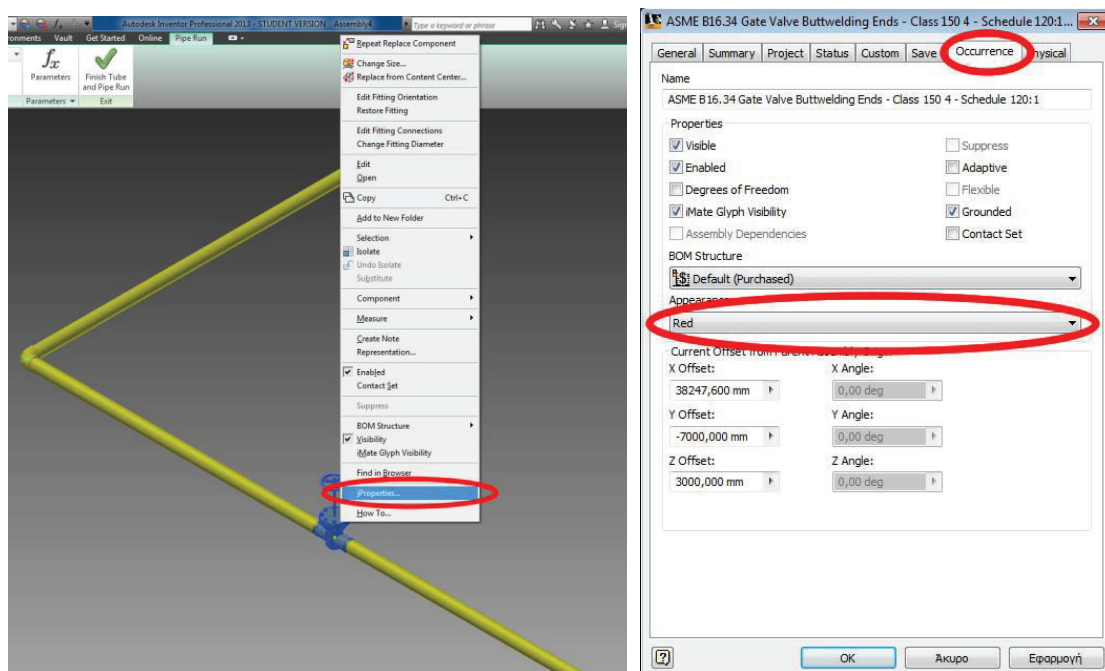
## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Αντί για βαλβίδα στραγγαλισμού, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να εγκαταστήσει οποιοδήποτε άλλο μέσο σύνδεσης υπάρχει στην παρεχόμενη λίστα από το Inventor.

Το Inventor παρέχει στον χρήστη την μορφοποίηση του παραπάνω απεικονιζόμενου μέσου συναρμογής σωλήνων (στην προκειμένη περίπτωση το μέσο είναι βαλβίδα) με τους παρακάτω τρόπους:

➤ **Αλλαγή χρώματος.**

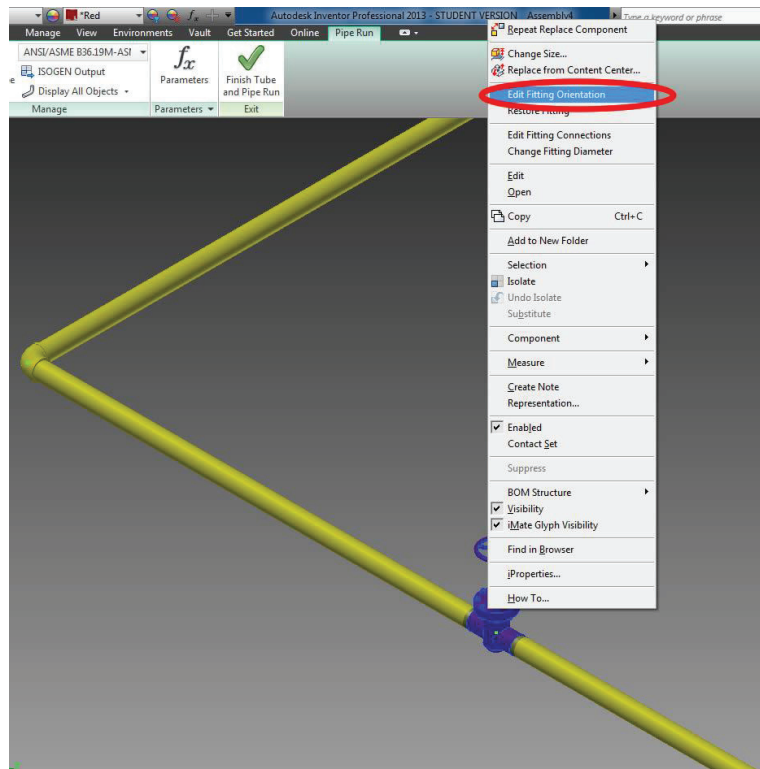
Κάνοντας δεξί «κλικ» πάνω στην βαλβίδα, επιλέγεται η εντολή **iProperties** (εικόνα 4.3.47(α)) και μέσω του φακέλου **Occurrence** γίνεται η αλλαγή του χρώματός της μέσω της παρεχόμενης λίστας (εικόνα 4.3.47(β)).



Εικόνα 4.3.47(α) (αριστερά), (β) (δεξιά). Αλλαγή χρώματος βαλβίδας

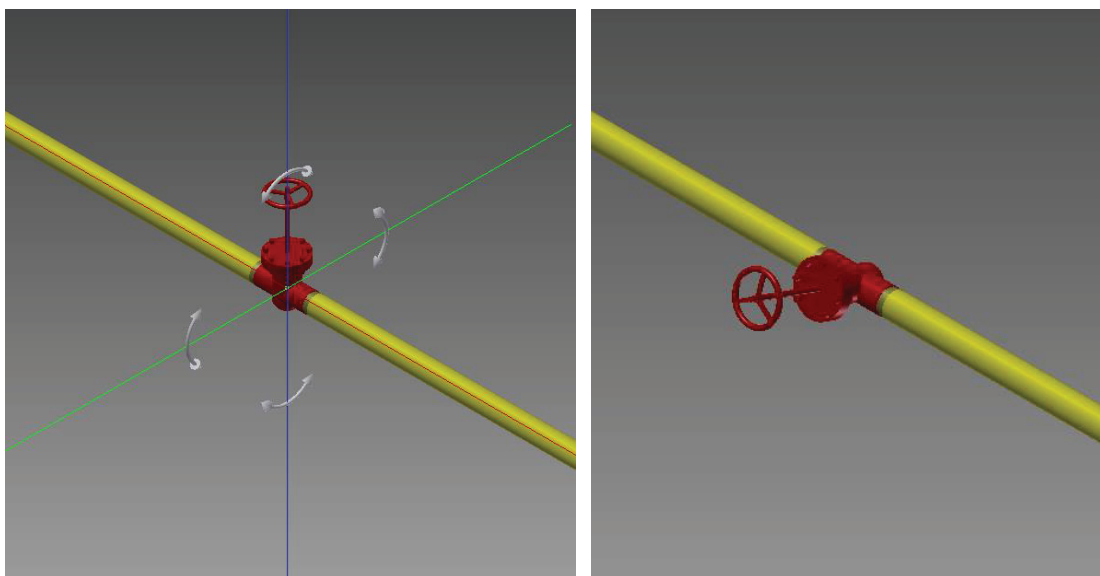
## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

- *Αλλαγή προσανατολισμού στρόφιγγας*  
Κάνοντας δεξί «κλικ» πάνω στην βαλβίδα επιλέγεται η εντολή **Edit Fitting Orientation** (εικόνα 4.3.48).



Εικόνα 4.3.48. Αλλαγή προσανατολισμού βαλβίδας – Edit Fitting Orientation

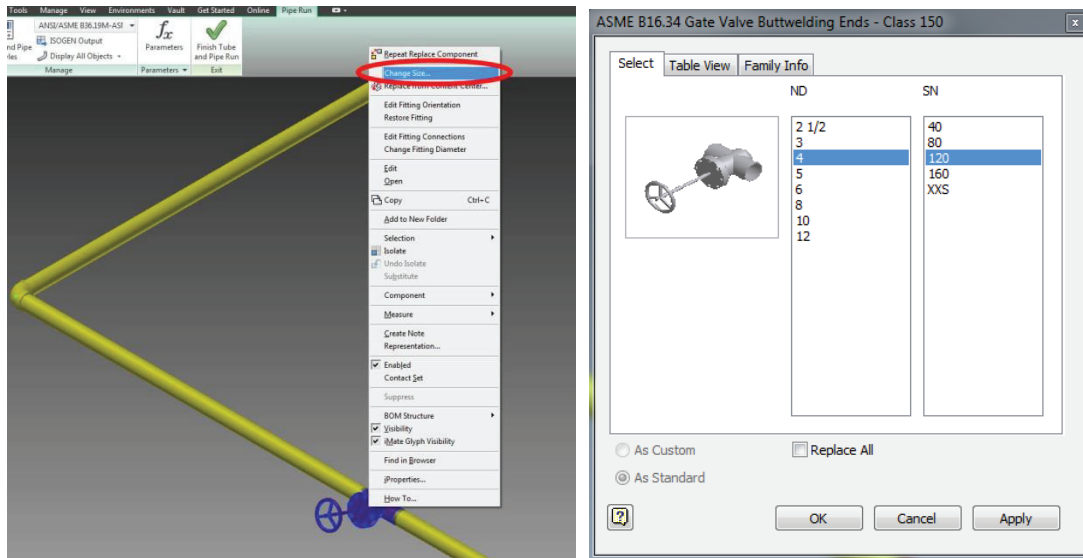
Μετά την επιλογή της συγκεκριμένης εντολής, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να περιστρέψει την βαλβίδα γύρω από τους προσαρτημένους σωλήνες (εικόνα 4.3.49(α) & (β)).



Εικόνα 4.3.49(α) & (β). Αλλαγή προσανατολισμού στρόφιγγας

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

- *Αλλαγή διαστάσεων βαλβίδας*  
Κάνοντας δεξί «κλικ» πάνω στην βαλβίδα, επιλέγεται η εντολή **Change Size** (εικόνα 4.3.50(α)). Μετά την χρήση της συγκεκριμένης επιλογής εμφανίζεται μια λίστα με τις παρεχόμενες διαστάσεις απ όπου μπορεί να επιλεγεί η νέα διάσταση (εικόνα 4.3.50(β))

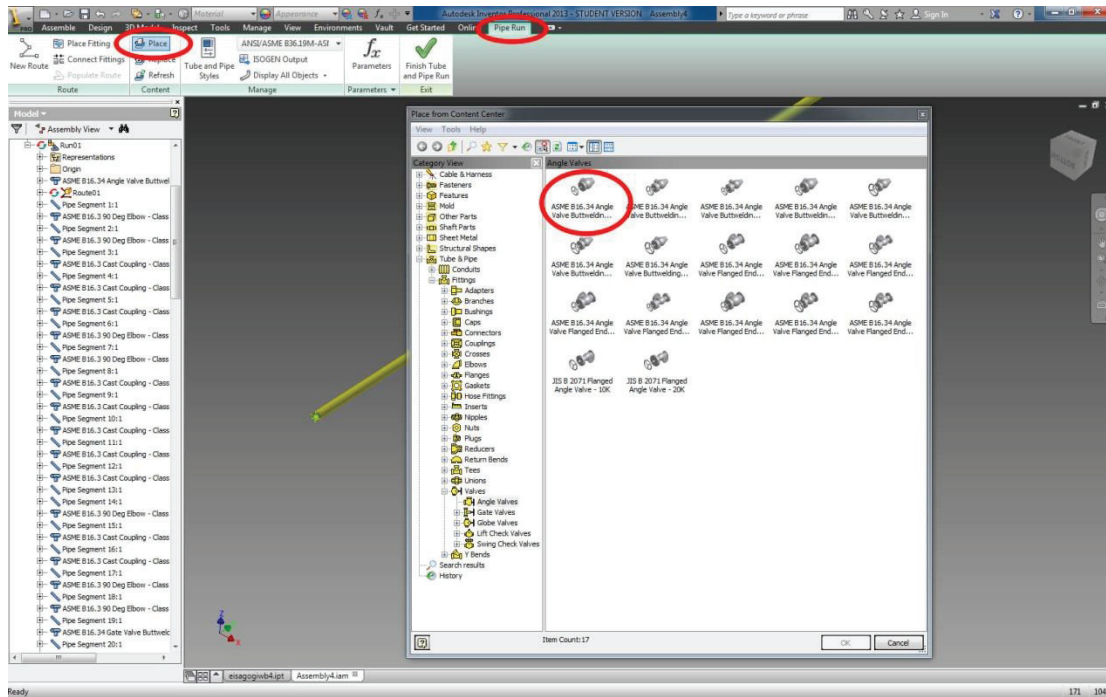


Εικόνα 4.3.50(α) & (β). Αλλαγή διαστάσεων βαλβίδας

### *Εγκατάσταση μέσων προσάρτησης σε ακραίες σωλήνες*

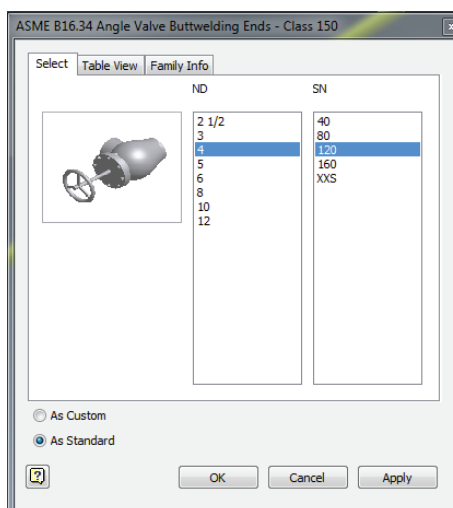
Το Inventor δίνει την δυνατότητα εγκατάστασης διαφόρων μέσων προσάρτησης στις ελεύθερες άκρες σωληνώσεων. Με τον όρο «ακραία μέσα προσάρτησης» αναφερόμαστε στις τάπες, βάνες κ.τ.λ.. Για την τοποθέτησή τους, αρχικά πρέπει να «μπούμε» στο περιβάλλον μορφοποίησης του υπό μελέτη δικτύου σωληνώσεων κάνοντας διπλό «κλικ» πάνω στο αναφερόμενο. Στην συνέχεια γίνεται χρήση της εντολής **Pipe Run -> Place**, ενώ στην συνέχεια εμφανίζεται η παρεχόμενη βιβλιοθήκη μέσων προσάρτησης του Inventor. Ανατρέχοντας στην κατάλληλη κατηγορία μέσων προσάρτησης επιλέγουμε παραδείγματος χάριν την εγκατάσταση ακραίας βαλβίδας με στρόφιγγα (εικόνα 4.3.51).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.3.51. Εγκατάσταση ακραίας βαλβίδας με στρόφιγγα

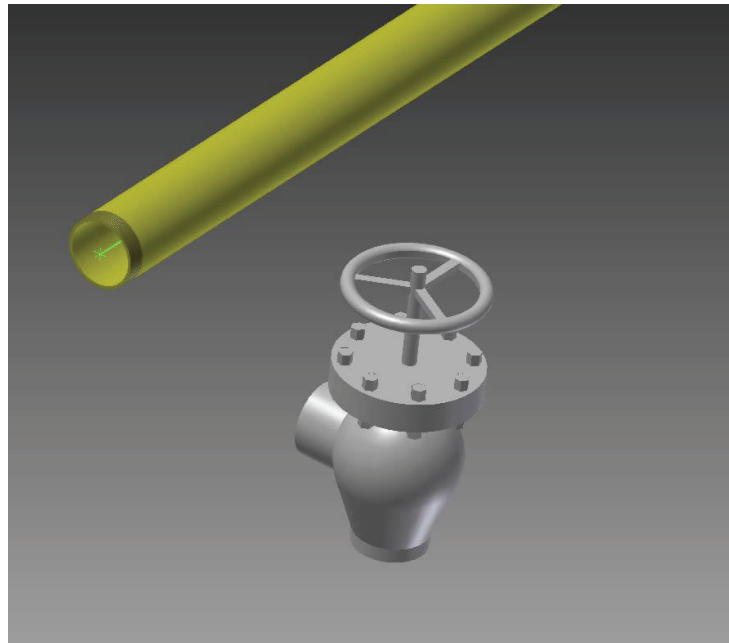
Ακολουθεί η επιλογή του μεγέθους της, μέσω μιας λίστας με τα προσφερόμενων μεγεθών (εικόνα 4.3.52).



Εικόνα 4.3.52. Επιλογή μεγέθους ακραίας βαλβίδας με στρόφιγγα

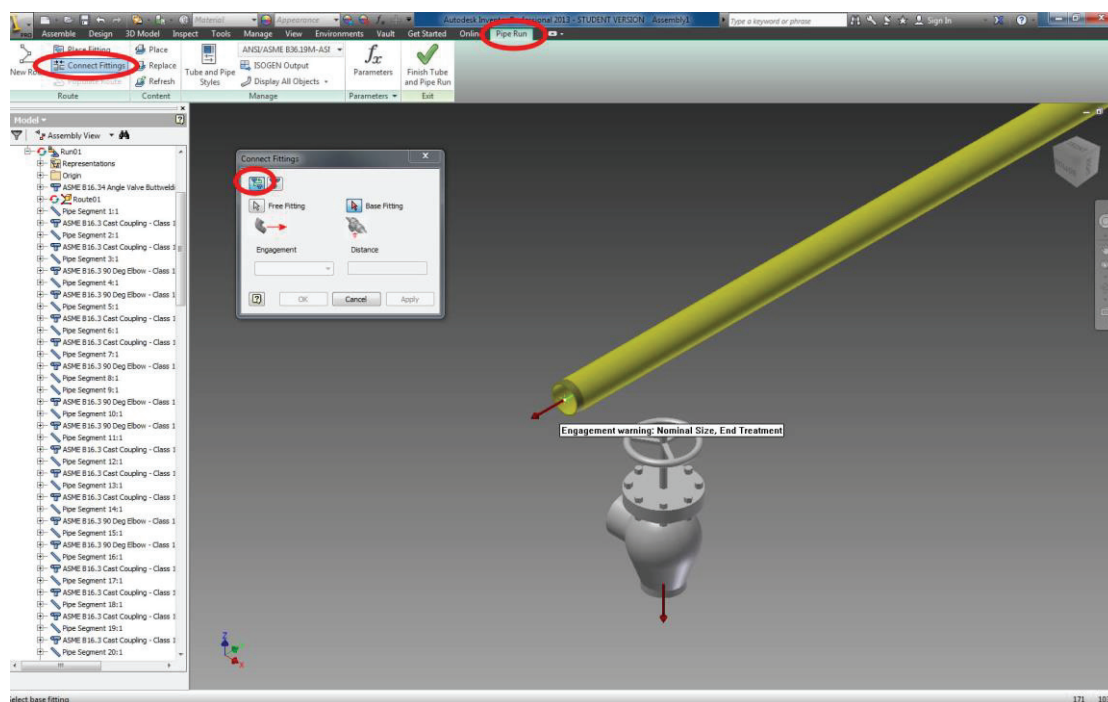
Μετά τον καθορισμό του μεγέθους, η αναφερόμενη βαλβίδα «προσαρτείται» στον δείκτη του ποντικιού, μέσω του οποίου επιλέγεται το σημείο εγκατάστασής της (εικόνα 4.3.53).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.3.53. Επιλογή σημείου εγκατάστασης ακραίας βαλβίδας με στροφή

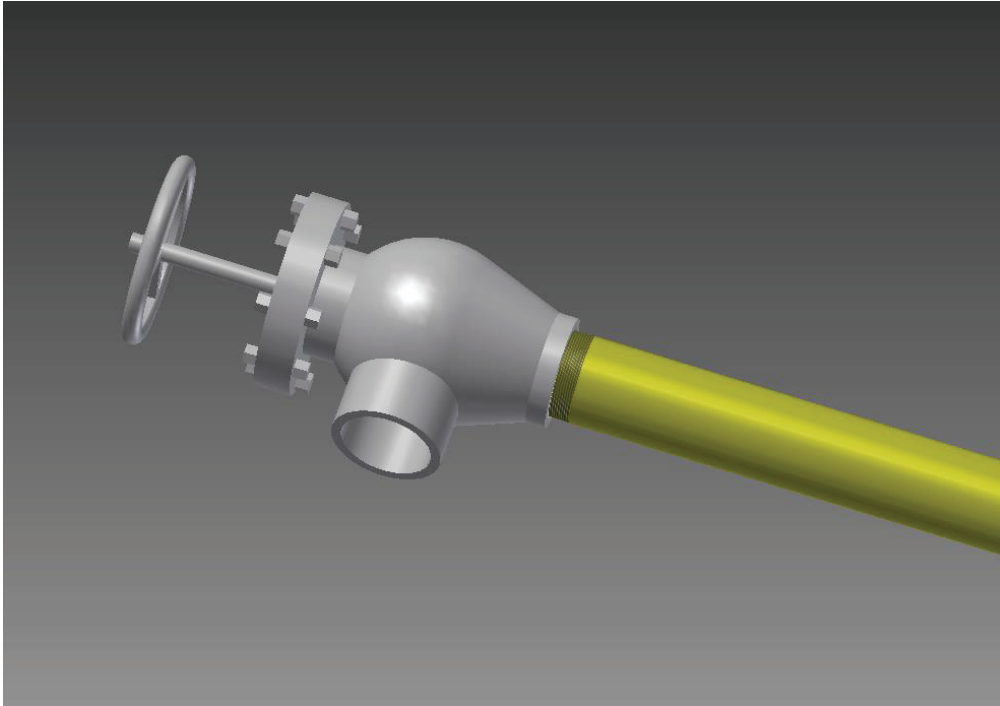
Για τον καθορισμό της σωστής εγκατάστασης της βαλβίδας με τον σωλήνα (προσάρτηση οπή βαλβίδας με οπή σωλήνα), γίνεται χρήση της εντολής **Pipe Run -> Connect Fittings**. Στην συνέχεια, επιλέγοντας την επιλογή **Connect Fitting**, επιλέγω την οπή της βαλβίδας και την οπή του σωλήνα, οι οποίες πρέπει να ενωθούν (εικόνα 4.3.54)



Εικόνα 4.3.54. Επιλογή εντολής προσάρτησης ακριανής βαλβίδας με σωλήνα

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Παρακάτω φαίνεται η τελική προσάρτηση της ακραίας βαλβίδας με τον σωλήνα (εικόνα 4.3.55). Ο χρήστης έχει την δυνατότητα μορφοποίησης της ακραίας βαλβίδας όμοια με του παρεχόμενους τρόπους των ενδιάμεσων μέσων προσάρτησης (εικόνες 4.3.46 - 4.3.49).



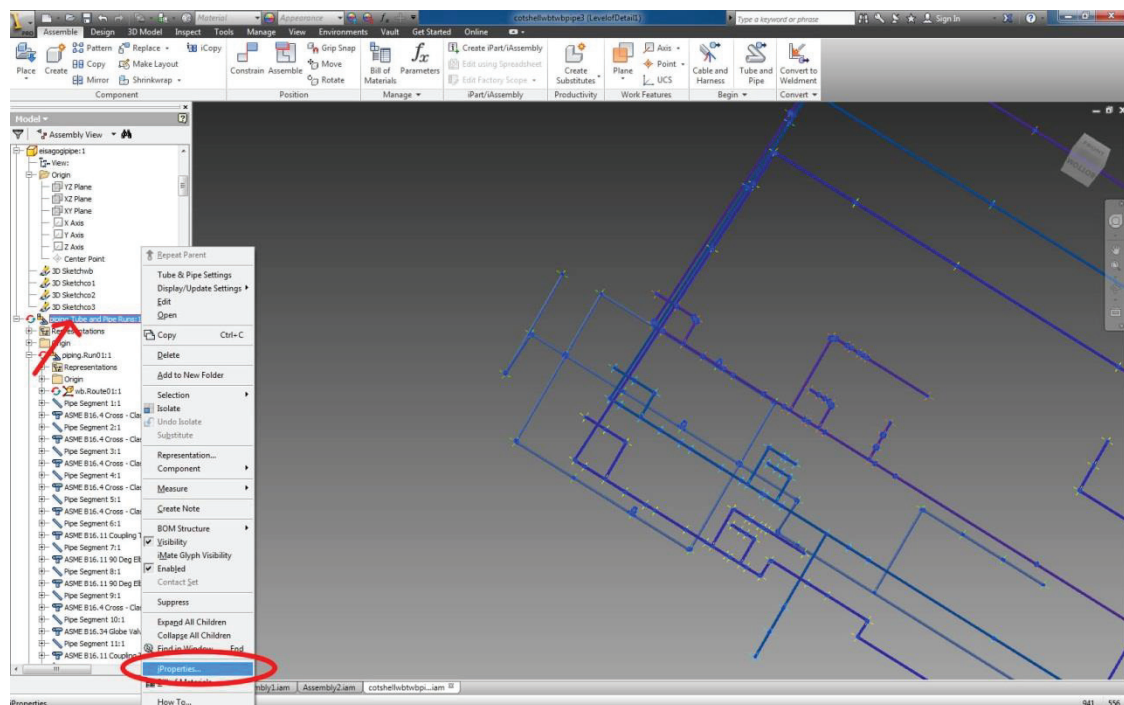
Εικόνα 4.3.55. Προσάρτηση ακραίας βαλβίδας στο άκρο σωλήνας

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

### Πλεονεκτήματα μοντελοποίησης δικτύου σωληνώσεων στο Inventor – Λήψη αποτελεσμάτων

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και οι πληροφορίες που εξάγονται από το πρόγραμμα Inventor της Autodesk, σχετικά με τα μοντελοποιημένα δίκτυα σωληνώσεων.

Το Inventor δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εξαγει γεωμετρικές πληροφορίες για τα 3D μοντέλα σωληνώσεων. Συγκεκριμένα, ανοίγοντας το αρχείο .iam του συνολικού 3D μοντέλου σωληνώσεων, με δεξί «κλικ» στο όνομα της ευρείας ομάδας δικτύων 3D μοντέλων σωληνώσεων, όπως αυτό ονομάζεται στην αριστερή στήλη του προγράμματος, επιλέγουμε την εντολή **iProperties** (εικόνα 4.3.56).



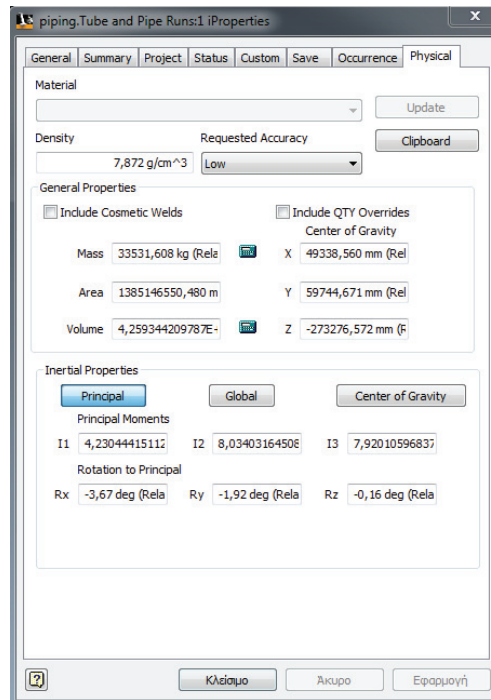
Εικόνα 4.3.56. Επιλογή εντολής iProperties σε αρχείο .iam

Από το αναδυόμενο παράθυρο επιλέγουμε την καρτέλα **Physical**, από όπου εξάγονται τα παρακάτω στοιχεία για το δίκτυο σωληνώσεων (εικόνα 4.3.57):

- Επιφάνεια περιβλήματος δεξαμενής
- Μάζα
- Όγκος
- Κέντρο βάρους, ως προς το ορισμένο σύστημα συντεταγμένων
- Ροπές αδρανείας ως προς το ορισμένο σύστημα συντεταγμένων
- Ροπές αδρανείας ως προς το κέντρο βάρους της δεξαμενής

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

### ➤ Κύριες ροπές αδρανείας



Εικόνα 4.3.57. Γεωμετρικά στοιχεία εκάστοτε δεξαμενής

Πρέπει να σημειωθεί, ότι για τον υπολογισμό της μάζας, το πρόγραμμα αυτόματα βρίσκει μια τιμή πυκνότητας, η οποία προκύπτει από τον συνυπολογισμό της πυκνότητας και του όγκου του κάθε σωλήνα και συνδέσμου, οι οποίοι απαρτίζουν το συνολικό 3D μοντέλο σωληνώσεων.

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα εξαγωγής αντίστοιχων στοιχείων για κάθε επιμέρους σωλήνα ή μέσου προσάρτησης αυτών, που συμπεριλαμβάνονται στο συνολικό υπό μελέτη δίκτυο σωλήνωσης. Η διαδικασία και οι χρησιμοποιούμενες εντολές είναι οι ίδιες με ανωτέρω.

Το υλικό κατασκευής του κάθε σωλήνα καθορίζεται μέσω των ρυθμίσεων του προτύπου, χρησιμοποιώντας την εντολή **Route -> Tube and Pipe Styles** (εικόνα 4.3.35).

Το Inventor δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να αλλάξει το πρότυπο βάση του οποίου μοντελοποιήθηκαν οι 3D σωληνώσεις. Η αλλαγή μπορεί να έγκειται είτε σε αλλαγή ενός διαφορετικού προτύπου, είτε στην διαμόρφωση του ήδη υπάρχοντος. Για την επίτευξη της αλλαγής κάνουμε διπλό «κλικ» πάνω στον δίκτυο σωληνώσεων και «μπαίνουμε» στο περιβάλλον μορφοποίησής του. Χρησιμοποιούμε την εντολή **Pipe Run -> Tube and Pipe Styles** (εικόνα 4.3.35) μέσω της οποίας γίνεται η διαμόρφωση του ήδη επιλεγμένου προτύπου ή η αλλαγή του και μορφοποίησή του.



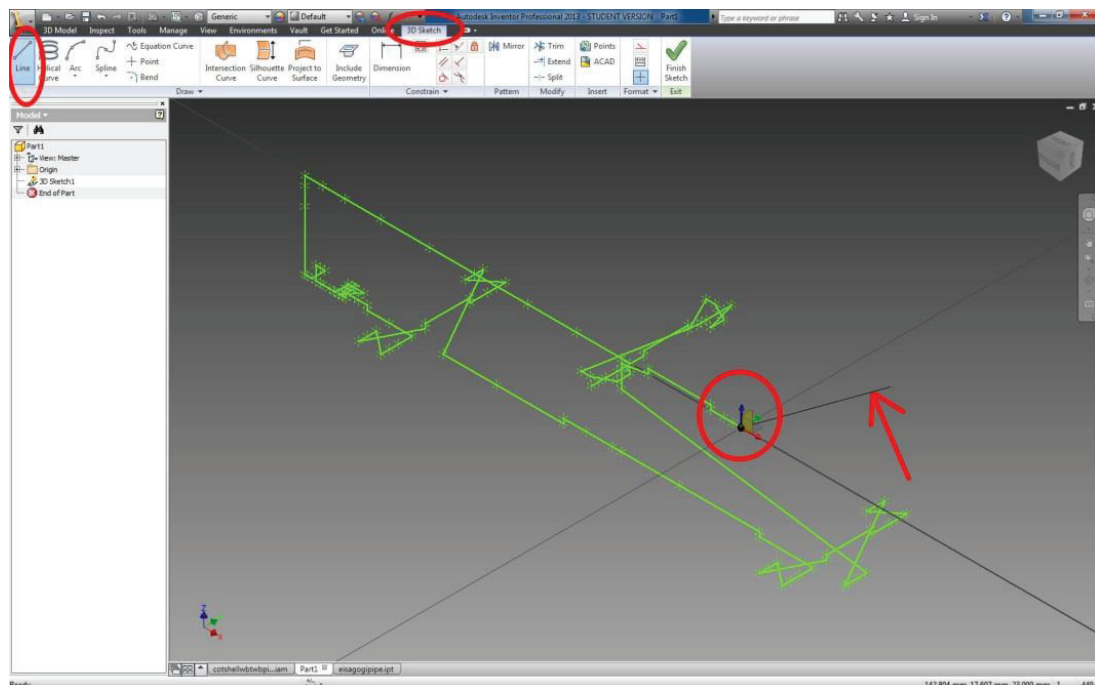
## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Η διαδικασία αλλαγής – τροποποίησης – μορφοποίησης προτύπων γίνεται όπως έχει περιγραφεί ανωτέρω (εικόνες 4.3.15-4.3.18).

Κατά την διαδικασία της παραπάνω τροποποίησης, οι αλλαγές γίνονται αυτόματα σε όλο το επιλεγθέν δίκτυο σωληνώσεων. Σε περίπτωση αλλαγής προτύπου, το οποίο υποδηλώνει και αλλαγή υλικού κατασκευής σωληνώσεων, η πληροφορία της νέας τιμής της πυκνότητας παρέχεται αυτόματα από το πρόγραμμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την άμεση ενημέρωση της τιμής της μάζας.

Επιπλέον, σε περίπτωση αλλαγής της διαμέτρου το υπό μελέτη δικτύου, τα επιμέρους μέσα συναρμογής των σωλήνων αναδιαμορφώνονται στην νέα τιμή διαμέτρου αυτόματα.

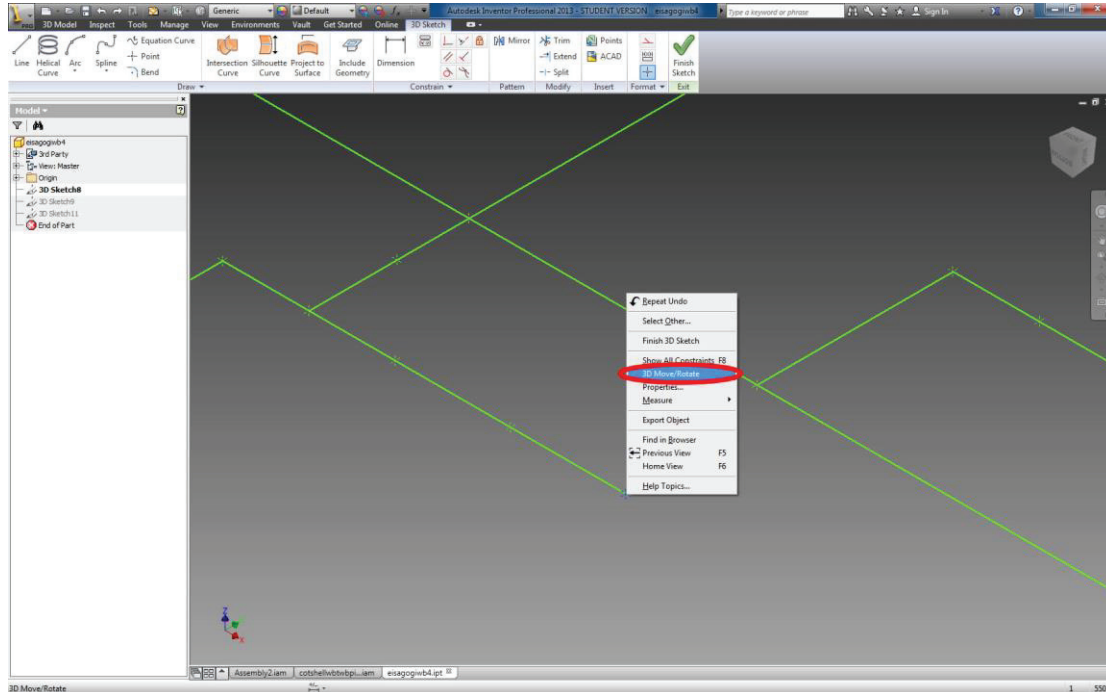
Στην περίπτωση που το αρχικά σχεδιασμένο δίκτυο (αρχείο .ipt) χρίζει κάποιας αλλαγής στην διαδρομή που ακολουθεί, ο χρήστης έχει την δυνατότητα τροποποίησής του. Η τροποποίηση γίνεται εντός του υπάρχοντος αρχείου .ipt με την αρχικά σχεδιασμένη διαδρομή σωληνώσεων. Σε περίπτωση που θέλουμε να σχεδιαστεί μια επιπλέον διαδρομή σωληνώσεων, ενεργοποιούμε το Sketch του προς τροποποίηση δικτύου σωληνώσεων, χρησιμοποιούμε την εντολή **3D Sketch -> Line**, επιλέγεται ως σημείο έναρξης του νέου σωλήνα ένα ήδη εισαχθέν σημείο (από το EXCEL) του δικτύου σωληνώσεων και το τελικό σημείο του καθορίζεται από τον χρήστη μέσω του mouse (εικόνα 4.3.10).



Εικόνα 4.3.10. Χάραξη νέας διαδρομής σωλήνα – Τροποποίηση εισαγμένης διαδρομής από αρχείο EXCEL

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

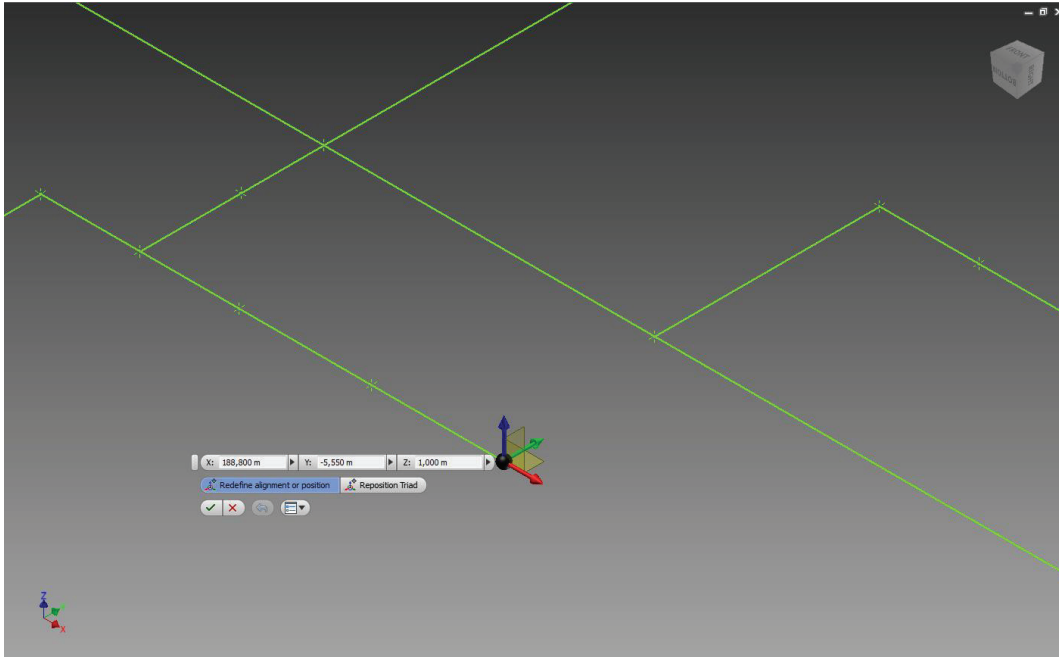
Σε περίπτωση που θέλουμε να μετακινήσουμε ένα σημείο έναρξης – τέλους ενός σωλήνα, ενεργοποιούμε το Sketch του προς τροποποίηση δικτύου σωληνώσεων, κάνουμε δεξί «κλικ» πάνω στο σημείο που θέλουμε να μετακινήσουμε και επιλέγουμε την εντολή **3D Move / Rotate** (εικόνα 4.3.58).



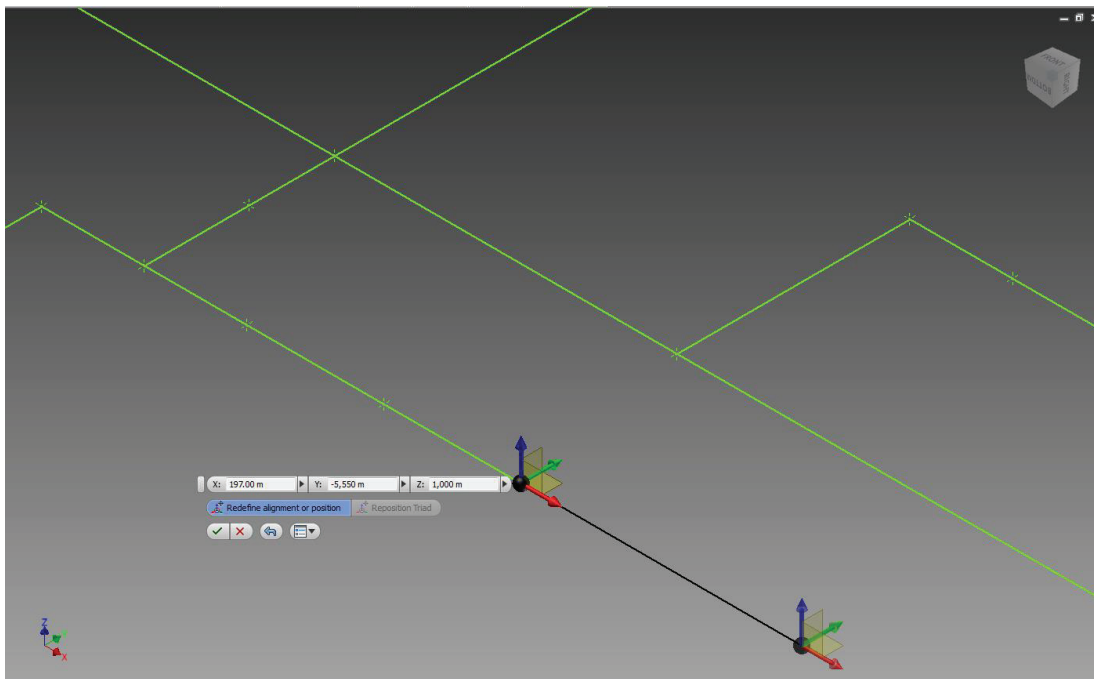
Εικόνα 4.3.58. Μετακίνηση σημείου 3D διαδρομής – εντολή 3D Move / Rotate

Μετά την επιλογή της παραπάνω εντολής, εμφανίζεται η παρακάτω επιλογή καθορισμού της νέας συντεταγμένης του υπό μετακίνηση σημείου (εικόνα 4.3.59). Ο ορισμός της νέας συντεταγμένης του σημείου γίνεται σε σχέση με το αρχικό / γενικό σύστημα αναφοράς, επιλέγοντας την εντολή **Redefine alignment or position**.

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

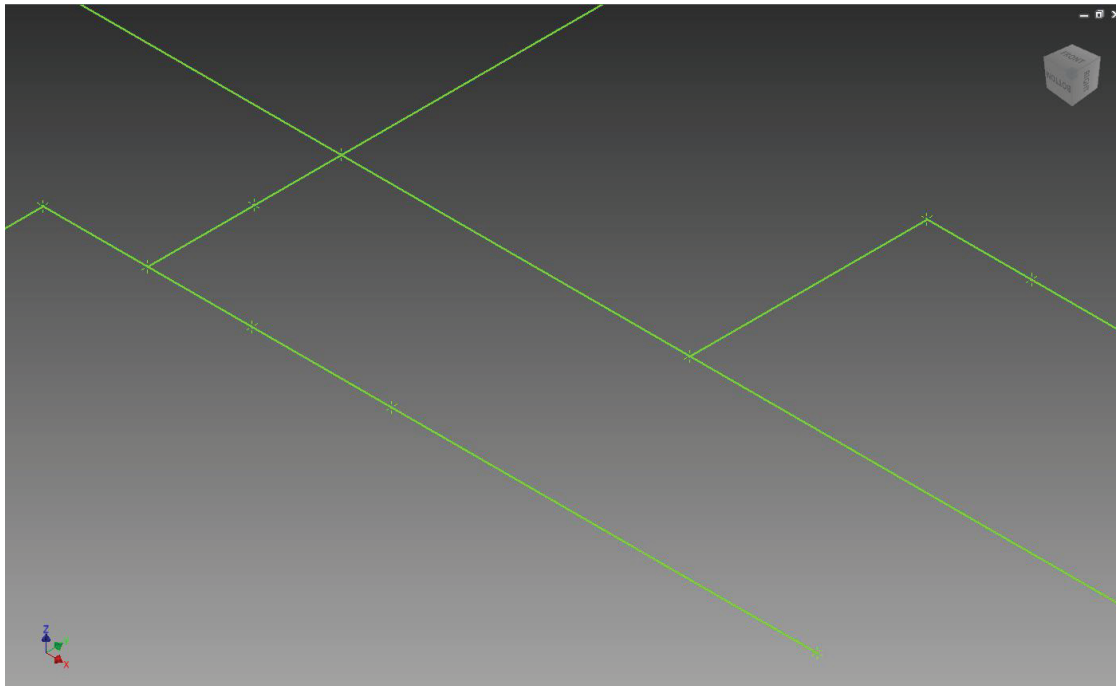


Εικόνα 4.3.59(α). Αρχική θέση υπό μετακίνηση σημείου



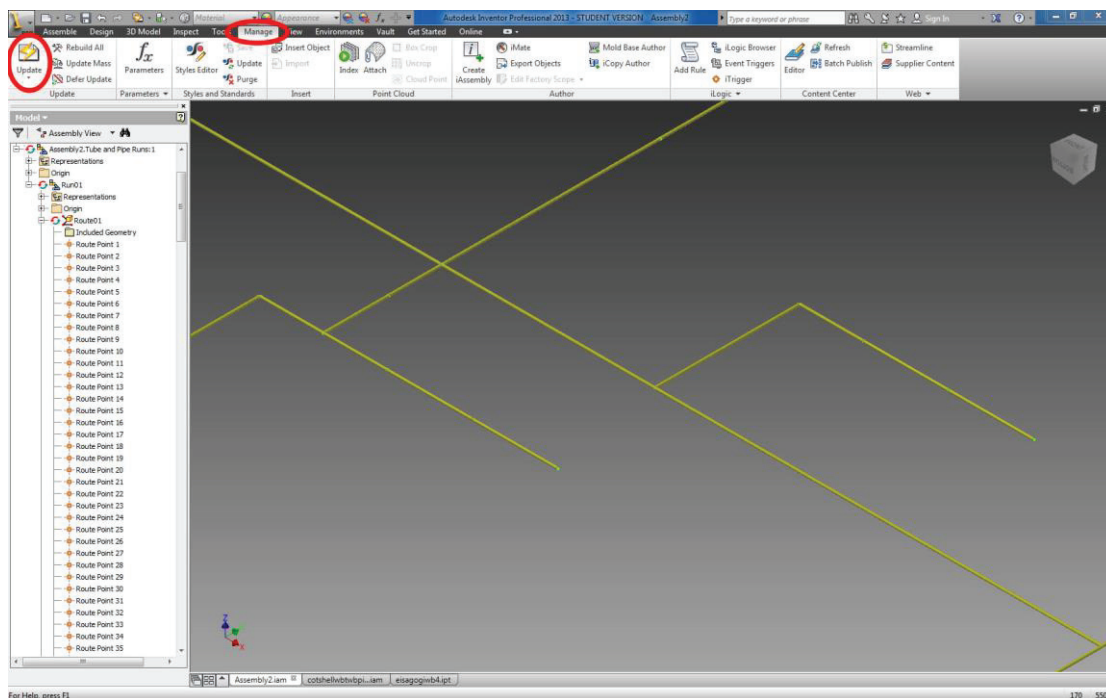
Εικόνα 4.3.59(β). Καθορισμός νέας συντεταγμένης του υπό μετακίνηση σημείου

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.3.59 (γ). Τελική θέση σημείου μετά από μετακίνηση στο .ipt αρχείο

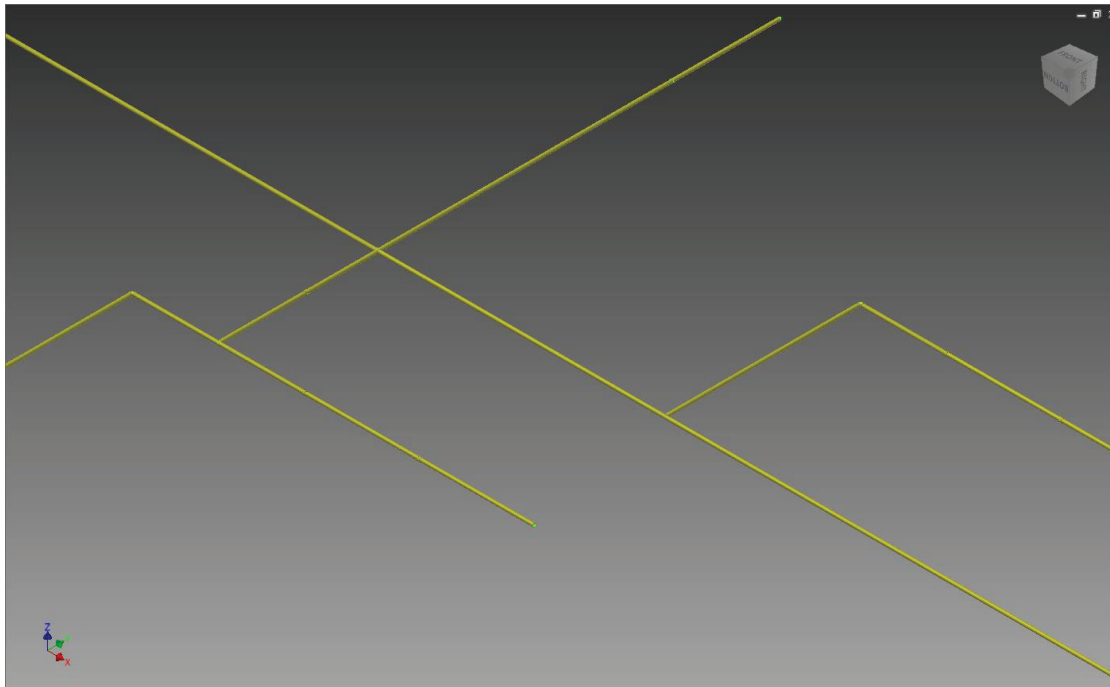
Μετά την διεκπεραίωση της μετακίνησης (εικόνα 4.3.59(γ)) στο αρχείο .ipt, η αντίστοιχη αλλαγή / μετακίνηση γίνεται αυτόματα στο ήδη δημιουργημένο 3D μοντέλο σωληνώσεων στο αρχείο .iam, μέσω της εντολής **Manage -> Update** (εικόνα 4.3.60).



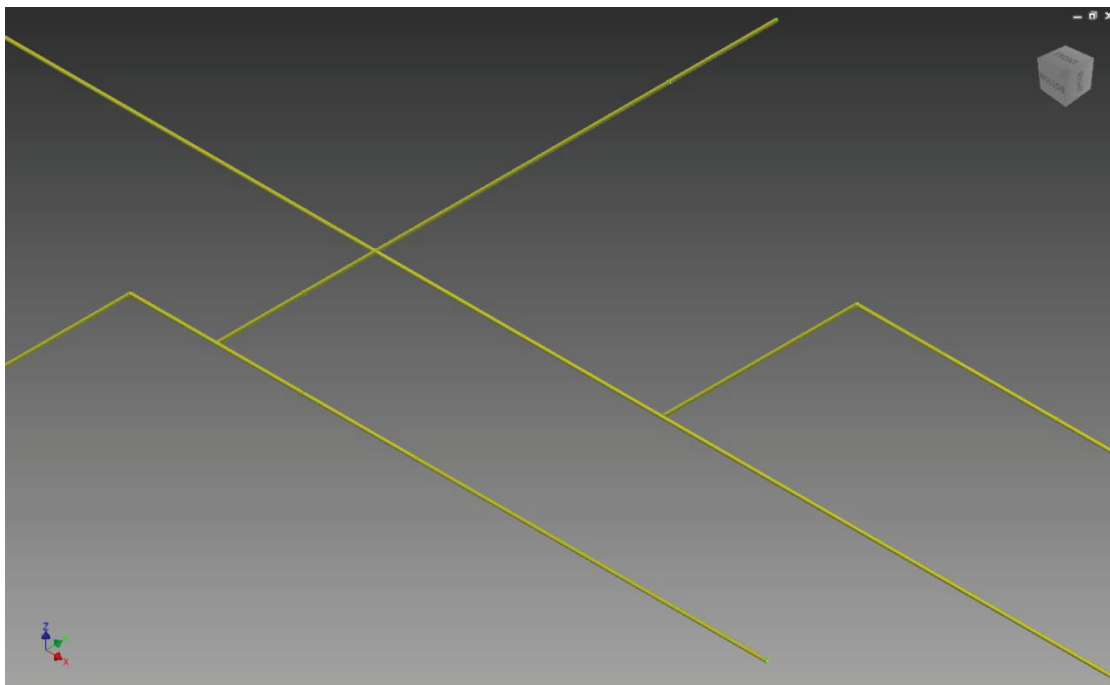
Εικόνα 4.3.60. Ενημέρωση αρχείου .iam από αλλαγή στο αντίστοιχο .ipt

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Παρακάτω αντιπαρατίθενται η αρχική (εικόνα 4.3.61) και η τελική θέση (εικόνα 4.3.62) του υπό μετακίνηση σημείου στο 3D μοντελοποιημένο δίκτυο σωληνώσεων.



Εικόνα 4.3.61. Αρχική θέση σημείου στο 3D μοντέλο σωλήνωσης



Εικόνα 4.3.62. Τελική θέση σημείου στο 3D μοντέλο σωλήνωσης

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την μετακίνηση των διαφόρων σημείων και γενικά της τροποποίησης της διαδρομής ενός δικτύου σωληνώσεων (αρχείο .ipt), του οποίου το 3D μοντέλο είναι ήδη κατασκευασμένο (αρχείο .iam), η μετακίνηση των προσαρτημένων μέσων συναρμογής γίνεται αυτόματα.

Το τελικό 3D μοντέλο του υπό μελέτη δικτύου σωλήνωσης φαίνεται στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**.

### Στοιχεία μοντελοποιημένου 3D δικτύου σωληνώσεων

Στην συνέχεια παρατίθενται τα στοιχεία του 3D μοντέλου σωληνώσεων, όπως αυτά λήφθηκαν από τις παραπάνω διαδικασίες.

Δίκτυο Σωληνώσεων		
Περιφερειακή Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )		1385146550,48
Μάζα (kg)		33531,61
Όγκος (m <sup>3</sup> )		4259344209,79
Κέντρο Βάρους	LCG (m)	107,527
	KG (m)	8,933
	TG (m)	-0,516
Ροπές αδρανείας ως προς το κέντρο βάρους	Ixx (kg*m <sup>2</sup> )	4316
	Iyy (kg*m <sup>2</sup> )	80334
	Izz (kg*m <sup>2</sup> )	79122

Πρέπει να σημειώσουμε ότι τα στοιχεία σχετικά με τα κέντρα βάρους έχουν υπολογιστεί με βάση το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό των σημείων που εισήχθησαν μέσω των αρχείων EXCEL, για τον καθορισμό τα διαδρομής του εκάστοτε δικτύου σωληνώσεων.

Υπενθυμίζεται ότι το χρησιμοποιηθέν σύστημα αναφοράς έχει κέντρο την τομή της πυρμναίας καθέτου και του βασικού επιπέδου αναφοράς. Ο x – άξονας είναι ορισμένος κατά το διάμηκες επίπεδο, ο γ – άξονας κατά το εγκάρσιο και το z – άξονας κατά το ύψος.

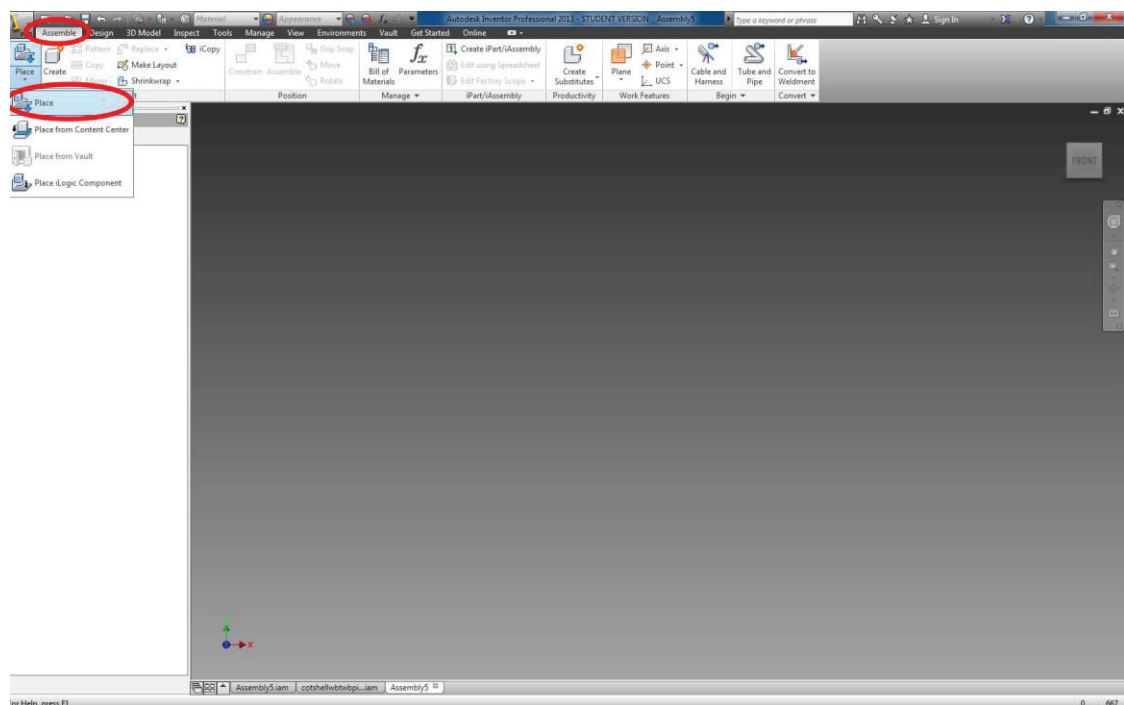
#### 4.4. Σύνδεση μοντελοποιημένων δεξαμενών και μοντελοποιημένου δικτύου σωληνώσεων

Παραπάνω περιγράφηκε ο τρόπος και μοντελοποίησης 3D δεξαμενών και 3D δικτύων σωληνώσεων μέσω του Inventor. Τόσο το 3D μοντέλο δεξαμενών, όσο το 3D μοντέλο σωληνώσεων έχουν δημιουργηθεί σε 2 ξεχωριστά αρχεία .iam.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος ένωσης – ομαδοποίησης των παραπάνω αρχείων σε ένα (1) αρχείο .iam. Επίσης, περιγράφονται και τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που εξάγονται από το Inventor.

#### Εισαγωγή & ένωση 3D μοντέλου δεξαμενών και δικτύου σωληνώσεων

Για την συνένωση των παραπάνω αρχείων .iam δημιουργήθηκε ένα καινούργιο .iam αρχείο (όπως περιγράφεται παραπάνω, εικόνα 4.2.19) και χρησιμοποιώντας την εντολή **Assembly -> Place** (εικόνα 4.4.1) εισήχθησαν τα επιμέρους αρχεία .iam.



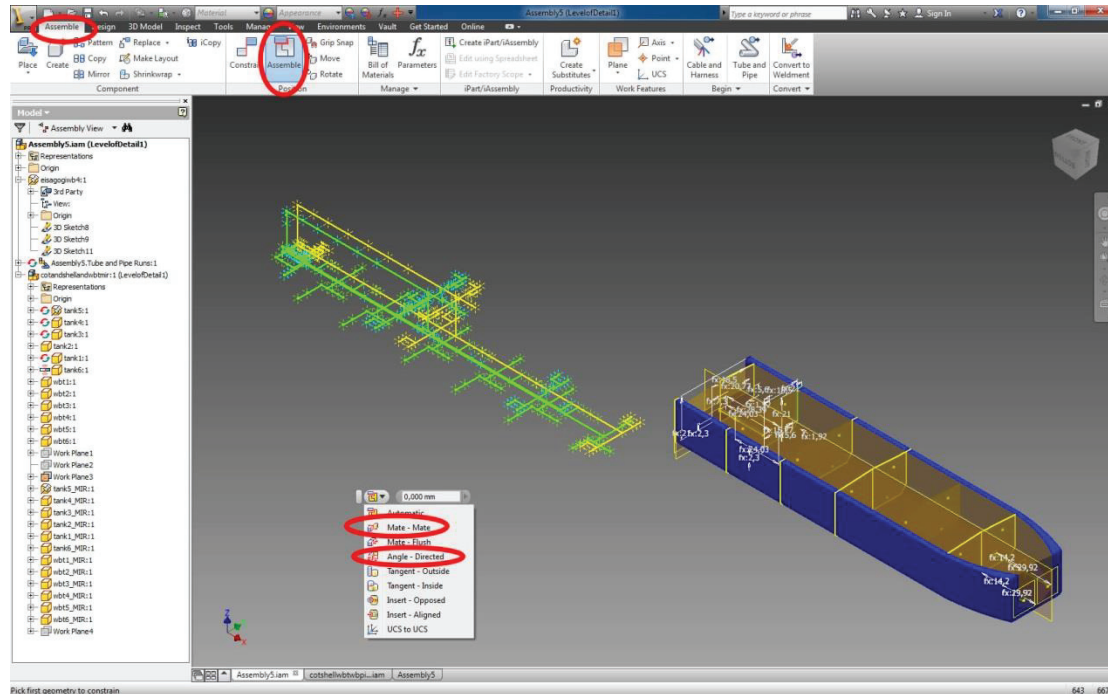
Εικόνα 4.4.1. Εισαγωγή 3D μοντέλων σε νέο .iam αρχείο

Για την συναρμογή των δύο (2) 3D μοντέλων χρησιμοποιείται η εντολή **Assemble -> Assemble** (εικόνα 4.4.2). Με χρήση της παραπάνω εντολής, εισάγονται περιορισμοί μεταξύ των δύο (2) 3D μοντέλων, ώστε σε παραμετρική αλλαγή του



## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

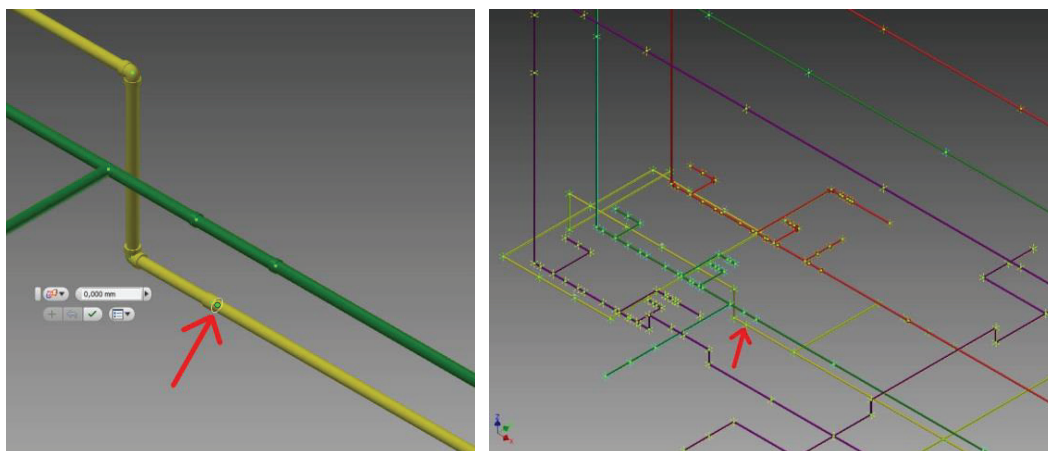
ενός μοντέλου, να διατηρείται η ορθή μεταξύ τους συναρμογή. Κατά την χρήση της παραπάνω εντολής, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει το είδος περιορισμού που θα εφαρμοστεί μέσα από μία λίστα παρεχόμενων περιορισμών (εικόνα 4.4.2).



Εικόνα 4.4.2. Εισαγωγή περιορισμών μεταξύ των 3D μοντέλων για συναρμογή

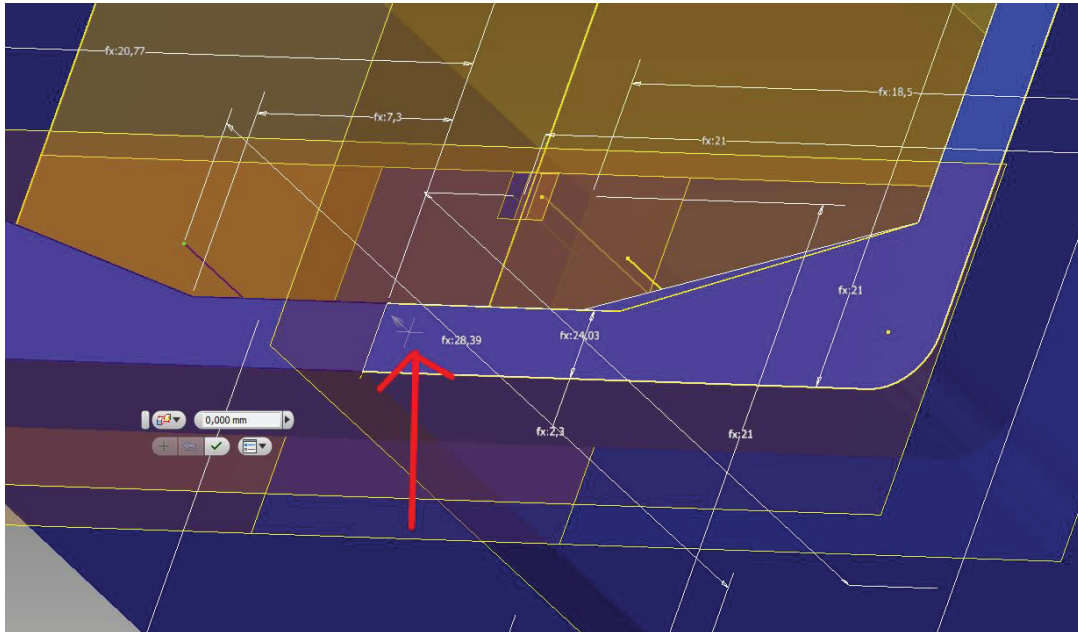
Οι περιορισμοί που χρησιμοποιήθηκαν αναλύονται ακολουθως.

Αρχικά, εφαρμόστηκε ο περιορισμός **Mate –Mate**, μέσω του οποίου το κέντρο του παρακάτω απεικονιζόμενου συνδέσμου (εικόνα 4.4.3 (α) & (β)) του W.B.S. να ταυτιστεί την πρυμναία επιφάνεια της δεξαμενής έρματος WBT6aft (εικόνα 4.4.4).



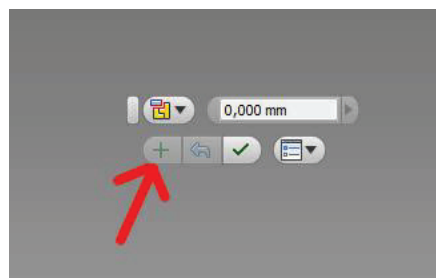
Εικόνα 4.4.3 (α) & (β). Κεντρικό σημείο συνδέσμου σωλήνωσης W.B.S. για περιορισμό επαπτομενικότητας με πρυμναία επιφάνεια WBT6Aft

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.4.4. Πρυμναία επιφάνεια WBT6Aft για περιορισμό εφαπτομενικότητας με κέντρο συνδέσμου W.B.S.

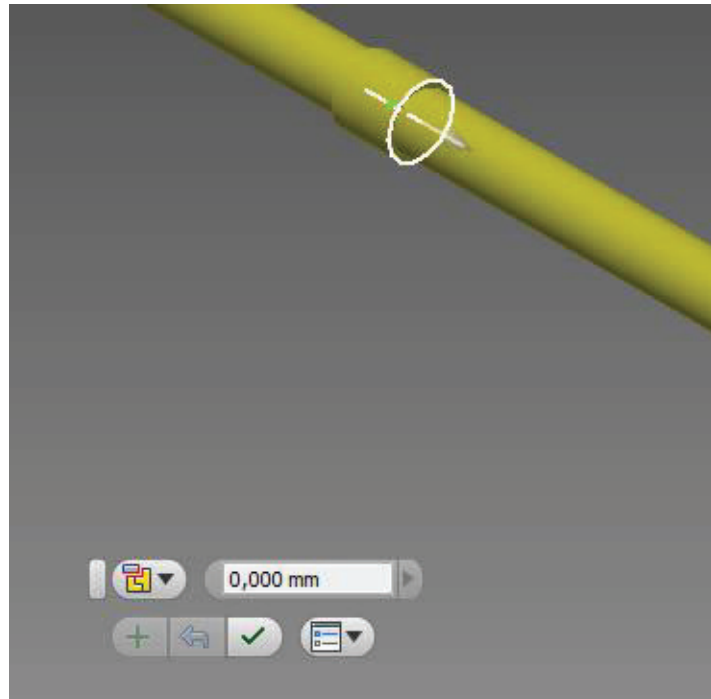
Στην συνέχεια, για την εφαρμογή του δεύτερου περιορισμού, χρησιμοποιούμε την παρακάτω απεικονιζόμενη εντολή (εικόνα 4.4.5), η οποία δηλώνει την ολοκλήρωση όλων των περιορισμών συγκεντρωτικά και όχι μεμονωμένα, κατά την εφαρμογή της κάθε μίας ξεχωριστά.



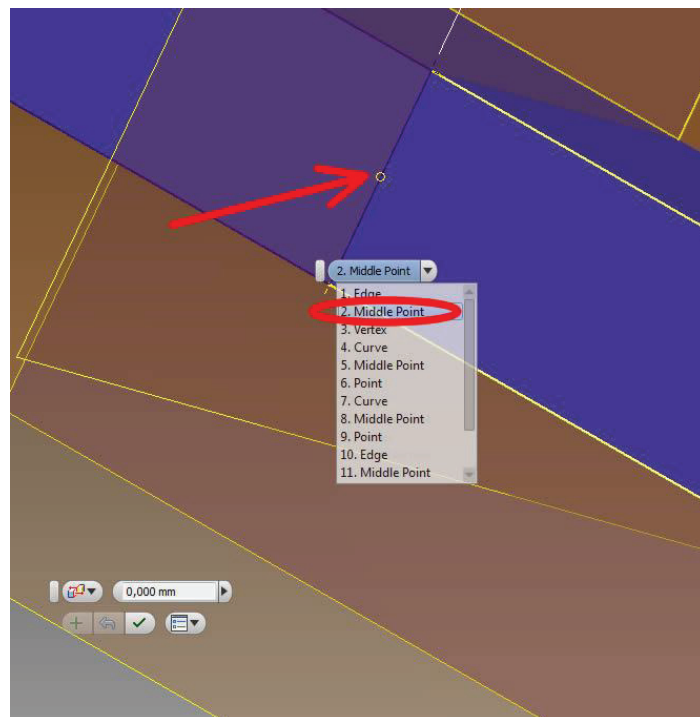
Εικόνα 4.4.5. Εισαγωγή επιπλέον περιορισμού

Ο επόμενος περιορισμός που εφαρμόστηκε ήταν ο **Mate – Mate**, μέσω του οποίου ευθυγραμμίστηκε ο άξονας του σωλήνα (εικόνα 4.4.6) του παραπάνω συνδέσμου με το σημείο της πρυμναίας επιφάνειας του WBT6Aft, που βρίσκεται στο επίπεδο συμμετρίας του πλοίου και σε ύψος ίσο με το μισό του δυφυθμένου (εικόνα 4.4.7).

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



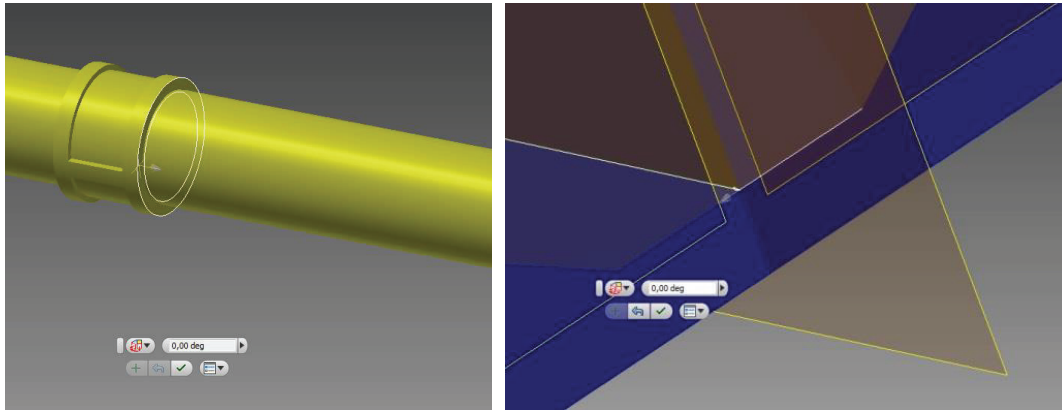
Εικόνα 4.4.6. Επιλογή περιορισμού άξονα σωλήνα WBS



Εικόνα 4.4.7. Επιλογή περιορισμό για σημείο WBT

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Με χρήση της απεικονιζόμενης επιλογής στην εικόνα 4.4.6, εφαρμόζεται ο τελευταίος περιορισμός **Angle – Directed**, μέσω του οποίου εξασφαλίζεται η ευθυγράμμιση του διαμήκη άξονα με το οριζόντιο επίπεδο, όπως καθορίζεται από τον πυθμένα του μοντέλου (εικόνα 4.4.8 (α) & (β)).



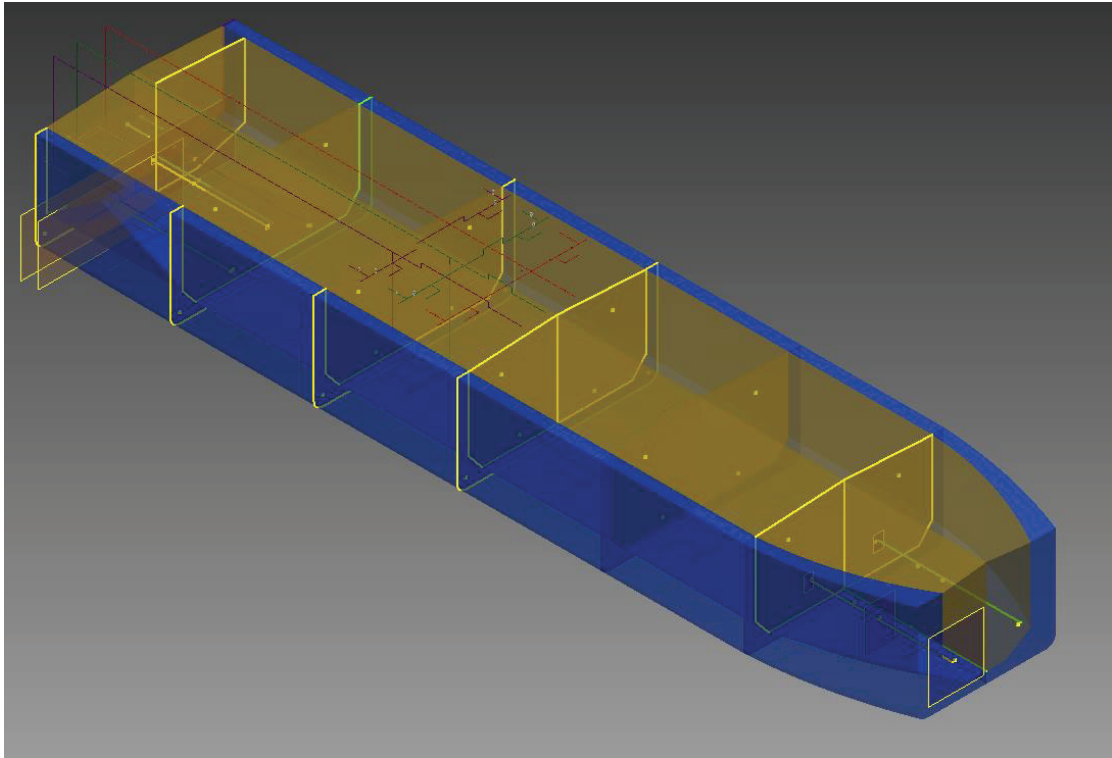
Εικόνα 4.4.8 (α) & (β). Ευθυγράμμιση οριζόντιας σωλήνας με οριζόντιο πυθμένα

Πρέπει να σημειώσουμε ότι στις παραπάνω εντολές περιορισμών, πρώτα επιλέγουμε το σημείο περιορισμού του μοντέλου των δεξαμενών και στην συνέχεια το σημείο περιορισμού του μοντέλου της σωληνώσης. Ακολουθώντας αυτήν την σειρά, δηλώνεται ότι το μοντέλο δεξαμενών θα κινηθεί κατάλληλα προς το μοντέλο σωληνώσεων για την ικανοποίηση του περιορισμού, χωρίς την μετακίνηση του μοντέλου των σωληνώσεων.

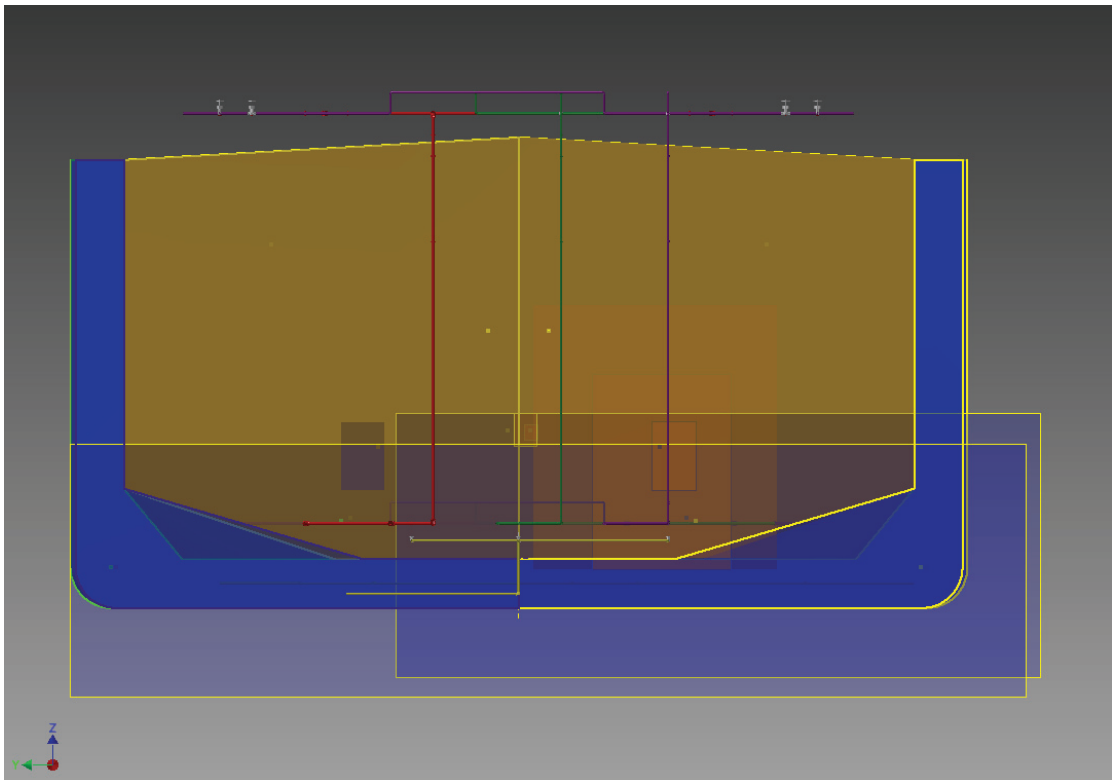
Η παραπάνω λεπτομέρεια σχετικά με την σειρά εφαρμογής των περιορισμών κρίνεται απαραίτητη διότι κατά την εισαγωγή της διαδρομής της σωληνώσης μέσω συντεταγμένων (με χρήση αρχείου EXCEL), οι συντεταγμένες των σωληνώσεων έχουν «κλειδώσει» στο σύστημα συντεταγμένων του Inventor. Αυτό έχει ως συνέπεια τον περιορισμό της μετακίνησης των σωληνώσεων μέσω του αρχείου .iam, χωρίς να έχει διεξαχθεί / υλοποιηθεί η παραπάνω μετακίνηση μέσω του .ipt αρχείου των σωληνώσεων.

Η τελική διάταξη προσάρτησης του 3D μοντέλου δεξαμενών με το 3D μοντέλο σωληνώσεων φαίνεται στην εικόνα 4.4.9.

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

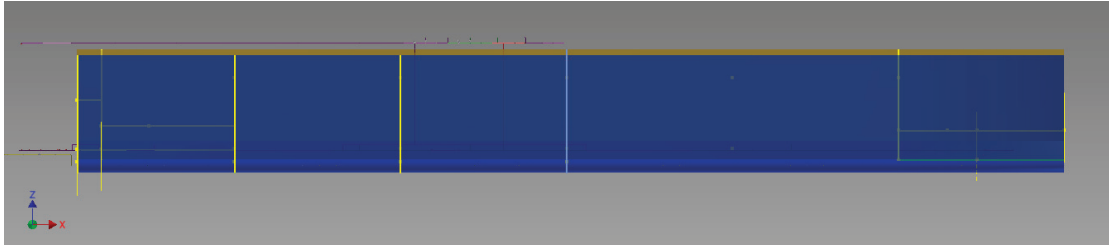


Εικόνα 4.4.9 (α). Πανοραμική απεικόνιση 3D μοντέλου δεξαμενών & σωληνώσεων

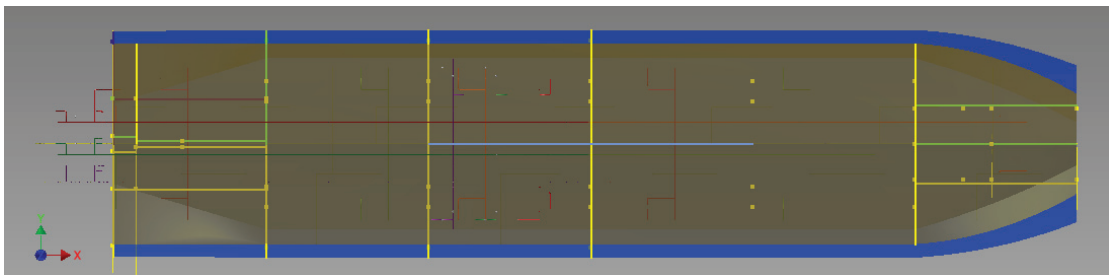


Εικόνα 4.4.9 (β). Εγκάρσια όψη 3D μοντέλου δεξαμενών & σωληνώσεων

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.4.9 (γ). Πλάγια όψη 3D μοντέλου δεξαμενών & σωληνώσεων



Εικόνα 4.4.9 (γ). Κάτοψη 3D μοντέλου δεξαμενών & σωληνώσεων

## Πλεονεκτήματα μοντελοποίησης δεξαμενών έρματος και φορτίου & δικτύου σωληνώσεων στο Inventor

Έχοντας προσαρτήσει το 3D μοντέλο των δεξαμενών και των δικτύων σωληνώσεων, το Inventor δίνει την δυνατότητα λήψης αποτελεσμάτων του συνολικού μοντελοποιημένου σχετικά με τα παρακάτω μεγέθη:

- Επιφάνεια περιβλήματος δεξαμενών και σωληνώσεων
- Μάζα
- Όγκος
- Κέντρο βάρους, ως προς το ορισμένο παραπάνω σύστημα συντεταγμένων
- Ροπές αδρανείας ως προς το ορισμένο παραπάνω σύστημα συντεταγμένων
- Ροπές αδρανείας ως προς το κέντρο βάρους της δεξαμενής

Στην συνέχεια παρατίθενται τα στοιχεία του 3D μοντέλου σωληνώσεων και δεξαμενών, όπως αυτά λήφθηκαν από τις παραπάνω διαδικασίες.

Physical Properties for cotshellwbtwpipe3

General Properties:

Material: {}

Density: 0,918 g/cm<sup>3</sup>

Mass: 124802794,850 kg (Relative Error = 0,000000%)

Area: 6,2023682653738E+010 mm<sup>2</sup> (Relative Error = 0,000101%)

Volume: 1,35955575114032330E+014 mm<sup>3</sup> (Relative Error = 0,000000%)

Center of Gravity:

X: 72951,670 mm (Relative Error = 0,000000%)

Y: 60260,635 mm (Relative Error = 0,000000%)

Z: -271984,892 mm (Relative Error = 0,000000%)

Mass Moments of Inertia with respect to Center of Gravity(Calculated using negative integral)

Ixx 2,3635293374935860000E+016 kg mm<sup>2</sup> (Relative Error = 0,000000%)

Iyx -7,797E+011 kg mm<sup>2</sup> (Relative Error = 0,000000%)

Iyy 3,67887605670238660000E+017 kg mm<sup>2</sup> (Relative Error = 0,000000%)

Izx 5,33259769320652810E+014 kg mm<sup>2</sup> (Relative Error = 0,000000%)

Izy 6,2730139238400E+010 kg mm<sup>2</sup> (Relative Error = 0,000000%)

Izz 3,81528700406061060000E+017 kg mm<sup>2</sup> (Relative Error = 0,000000%)

Mass Moments of Inertia with respect to Global(Calculated using negative integral)

Ixx 9,709221448636497900000E+018 kg mm<sup>2</sup> (Relative Error = 0,000000%)

Iyx -5,486E+017 kg mm<sup>2</sup> (Relative Error = 0,000000%)

Iyy 1,0264465619047655000000E+019 kg mm<sup>2</sup> (Relative Error = 0,000000%)

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Izx 2,476839370857523200000E+018 kg mm<sup>2</sup> (Relative Error = 0,000000%)

Izy 2,045515656900409600000E+018 kg mm<sup>2</sup> (Relative Error = 0,000000%)

Izz 1,498924349404694800000E+018 kg mm<sup>2</sup> (Relative Error = 0,000000%)

Principal Moments of Inertia with respect to Center of Gravity

I1: 2,3634498819973700000E+016 kg mm<sup>2</sup> (Relative Error = 0,000000%)

I2: 3,67887605671727300000E+017 kg mm<sup>2</sup> (Relative Error = 0,000000%)

I3: 3,81529494959534660000E+017 kg mm<sup>2</sup> (Relative Error = 0,000000%)

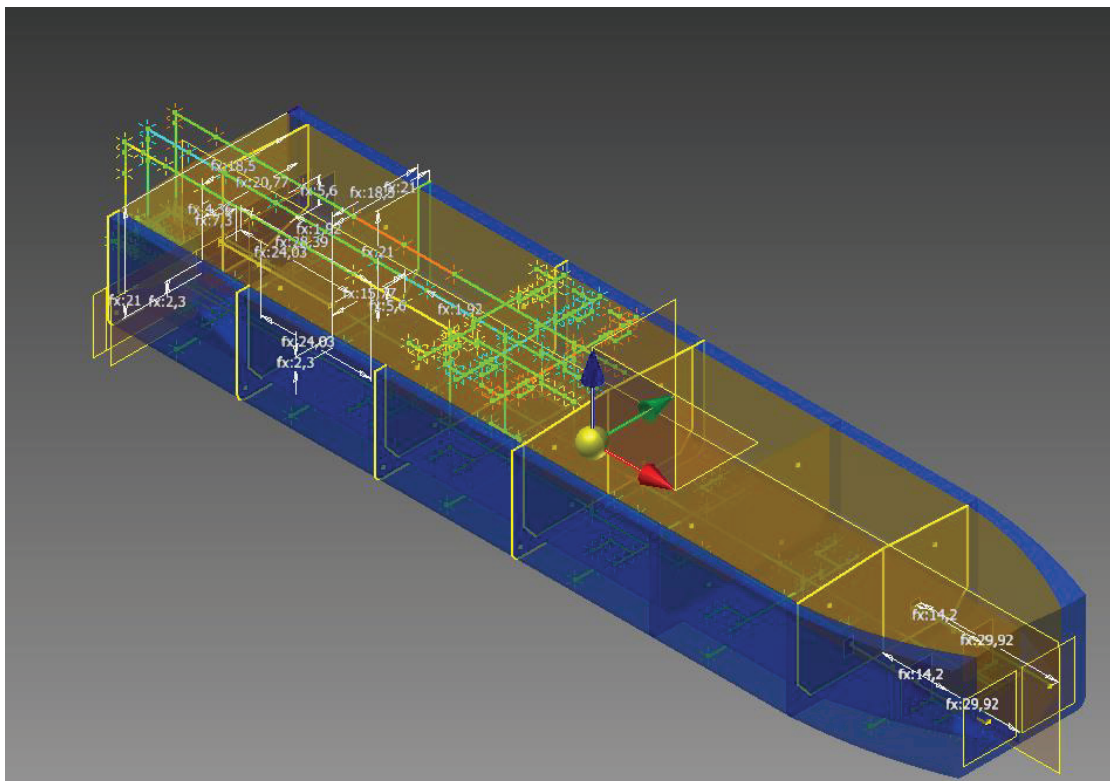
Rotation from Global to Principal

Rx: 0,00 deg (Relative Error = 0,000000%)

Ry: -0,09 deg (Relative Error = 0,000000%)

Rz: -0,00 deg (Relative Error = 0,000000%)

Το Inventor δίνει την δυνατότητα υπολογισμού και επινόησης του συνολικού κέντρου βάρους του αναπτυγμένου μοντέλου μέσω της εντολής **View -> Center of Gravity**, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.4.10.



Εικόνα 4.4.10. Απεικόνιση του κέντρου βάρους του αναπτυγμένου μοντέλου



#### 4.5. Προσομοίωση απόκρισης συνθετικού μοντέλου εκφόρτωσης δεξαμενοπλοίου

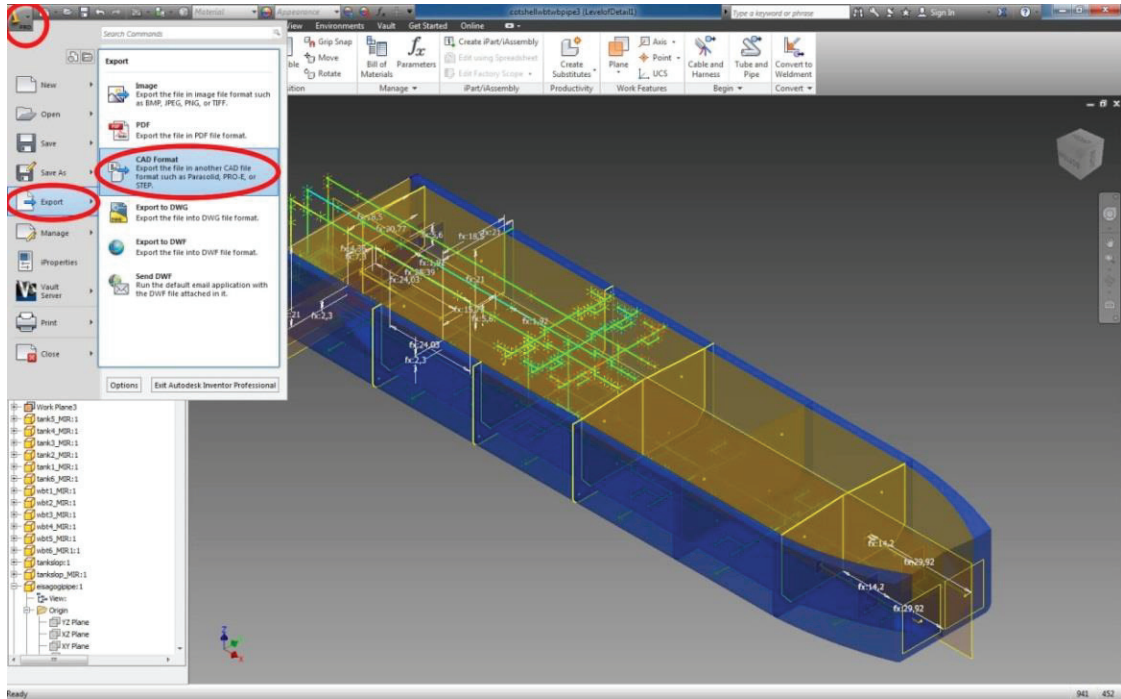
Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας γίνεται προσομοίωση της απόκρισης του παραπάνω μοντελοποιημένου πλοίου τύπου Crude Oil Tanker κατά το στάδιο της εκφόρτωσης του. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε είναι το **Autodesk Maya 2013**, το οποίο παρέχεται από την κατασκευάστρια εταιρεία δωρεάν για τους φοιτητές.

Η μοντελοποίηση των δεξαμενών φορτίου και έρματος και των αντίστοιχων δικτύων σωληνώσεων, όπως περιγράφηκε παραπάνω, πραγματοποιήθηκε στο **Autodesk Inventor 2013**. Για την εισαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου στο **Maya**, προκειμένου να επιτευχθεί η προσομοίωση της απόκρισής του κατά την διάρκεια εκφόρτωσης, ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία.

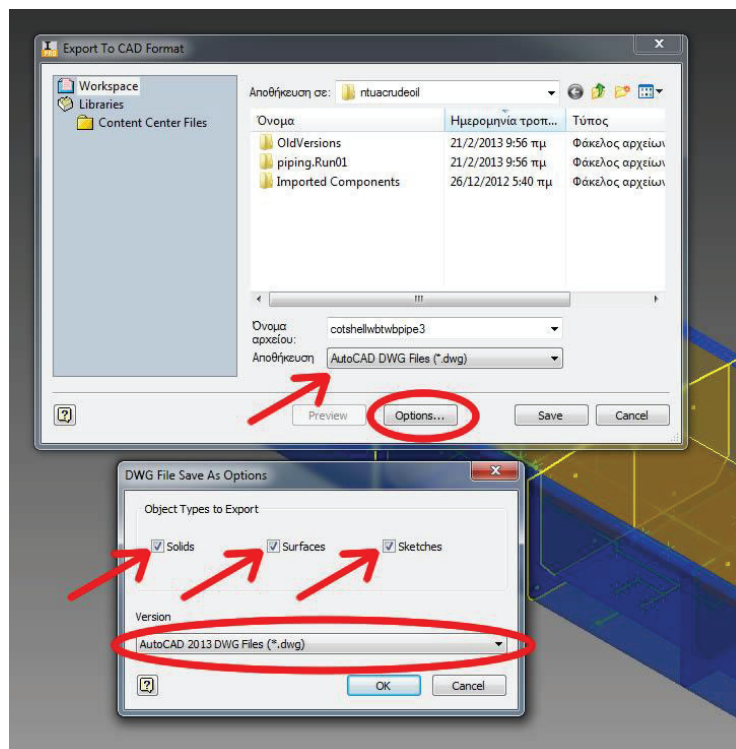
##### Εισαγωγή 3D μοντέλου από το Inventor στο Maya

Μέσω του Inventor αποθηκεύτηκε το τρισδιάστατο μοντέλο σε ενδιάμεσο αρχείο μορφής **.dwg**, μέσω της εντολής **File -> Export -> CAD Format** (εικόνα 4.5.1). Στο αναδυόμενο παράθυρο επιλέγουμε τον τύπο αποθήκευσης **AutoCAD DWG Files (\*.dwg)**, επιλέγουμε την εντολή **Options**, επιλέγουμε ως **Object Types to Export** τα **Solids**, **Surfaces** και **Sketches** και στην επιλογή **Version** επιλέγουμε **AutoCAD 2013 DWG Files (\*.dwg)** (εικόνα 4.5.2).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



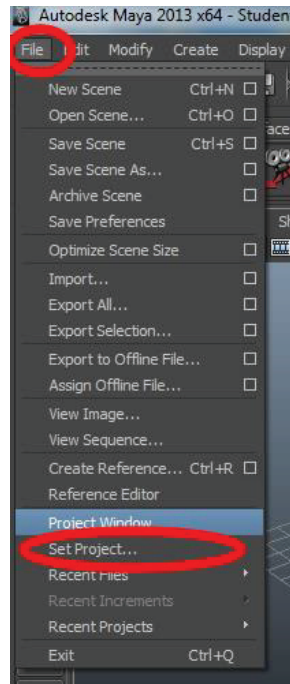
Εικόνα 4.5.1. Εξαγωγή τρισδιάστατου μοντέλου από Inventor –Export



Εικόνα 4.5.2. Εξαγωγή τρισδιάστατου μοντέλου σε .dwg

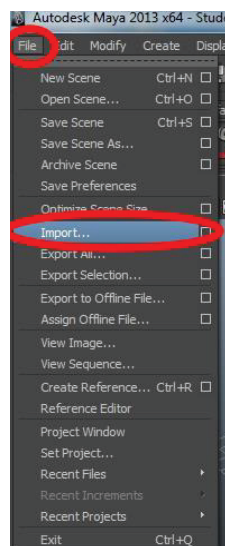
## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Καθώς ανοίγουμε ένα νέο project στο Maya, πρέπει να ορίζουμε τον χώρο / φάκελο αποθήκευσής του, μέσω της εντολής **File -> Set Project** (εικόνα 4.5.3).



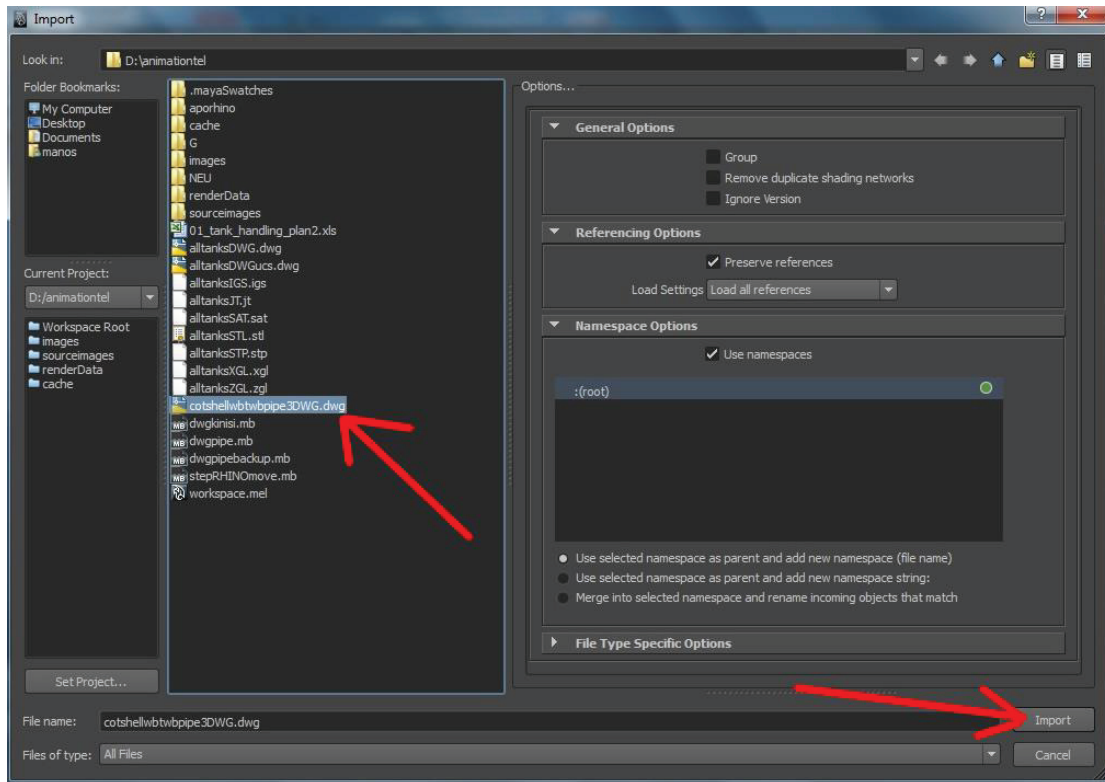
Εικόνα 4.5.3. Καθορισμός χώρου αποθήκευσης νέου project

Προκειμένου να εισάγουμε το αρχείο .dwg με το υποκείμενο μοντέλο, χρησιμοποιούμε την εντολή **File -> Import** και στην συνέχεια επιλέγουμε το αρχείου .dwg (εικόνα 4.5.4 (α) & (β)).



Εικόνα 4.5.4(α). Εισαγωγή αρχείου .dwg – εντολή import

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

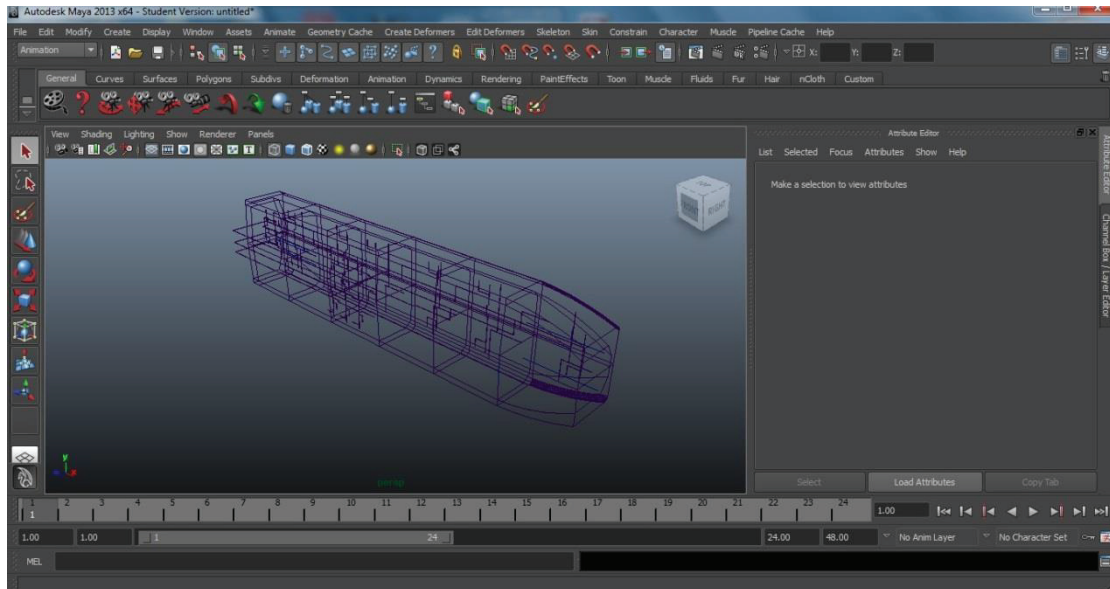


Εικόνα 4.5.4(β). Επιλογή αρχείου .dwg –εντολή import

### Τροποποίηση / επεξεργασία μοντέλου

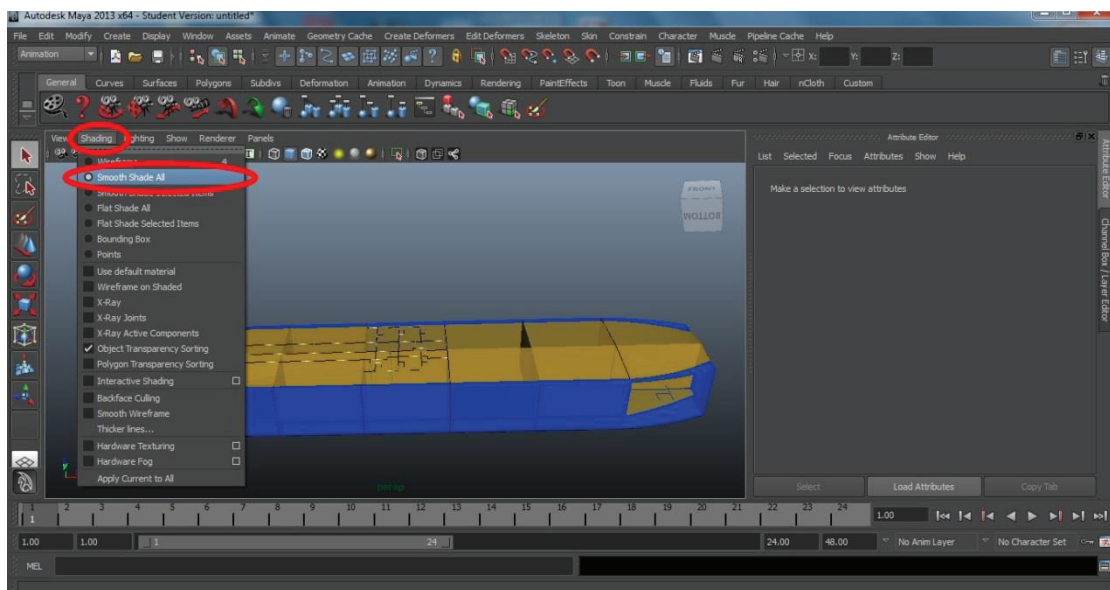
Κατά την εισαγωγή του αρχείου, η μορφή του περιγράφεται από της ακμές των δεξαμενών και των σωληνώσεων, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.5.5.

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.5.5. Εισαγωγή μοντέλου – μορφή ακμών

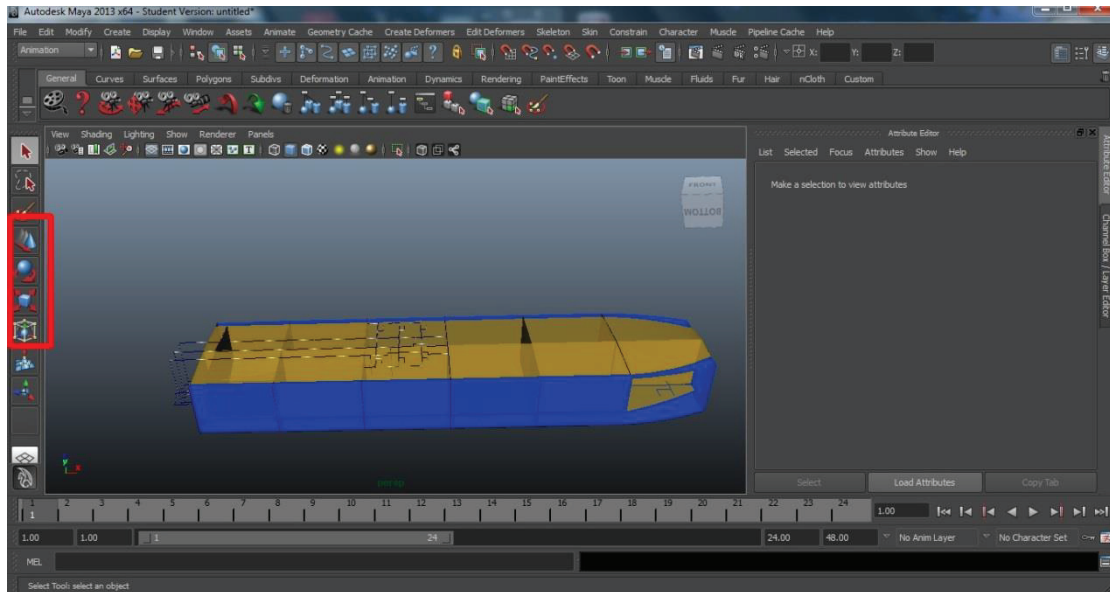
Για την ευκολία της προσομοίωσης χρησιμοποιείται η εντολή **Shading -> Smooth Shade All**, μέσω της οποίας παρεμβάλλονται επιφάνειες μεταξύ των ακμών (εικόνα 4.5.6).



Εικόνα 4.5.6. Παρεμβολή επιφανειών μεταξύ των ακμών

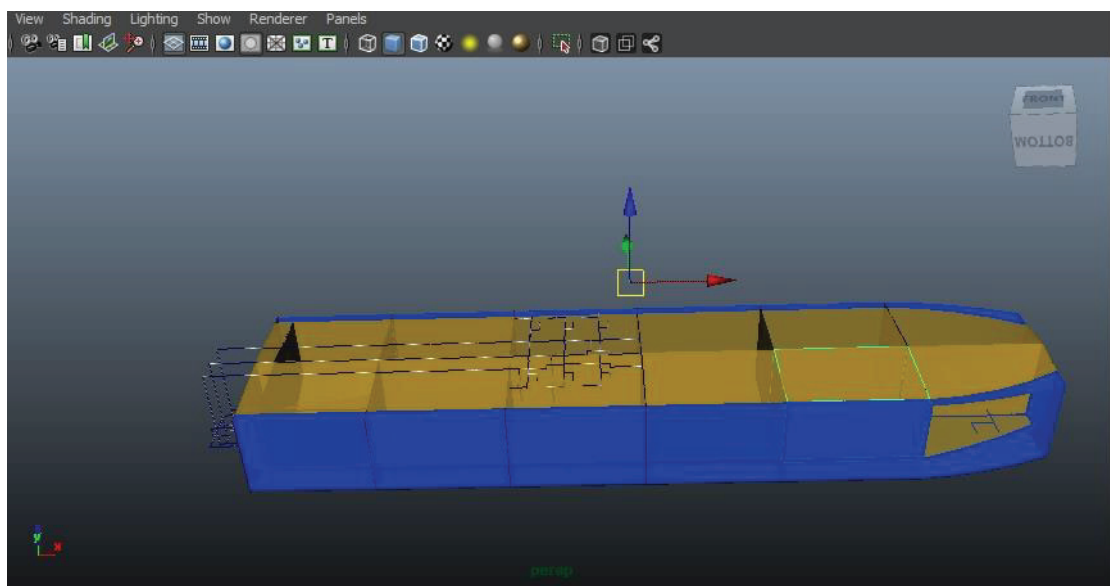
Οι βασικές εντολές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα προσομοίωση είναι η εντολή μετακίνησης (**Move**), περιστροφής (**Rotate**), αλλαγή κλίμακας (**Scale**) και συνολικού χειρισμού (**Universal Manipulator**), όπως αυτές παρουσιάζονται στο αριστερό μέρος του παραθύρου του Maya, κατά κατακόρυφη σειρά (εικόνα 4.5.7).

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



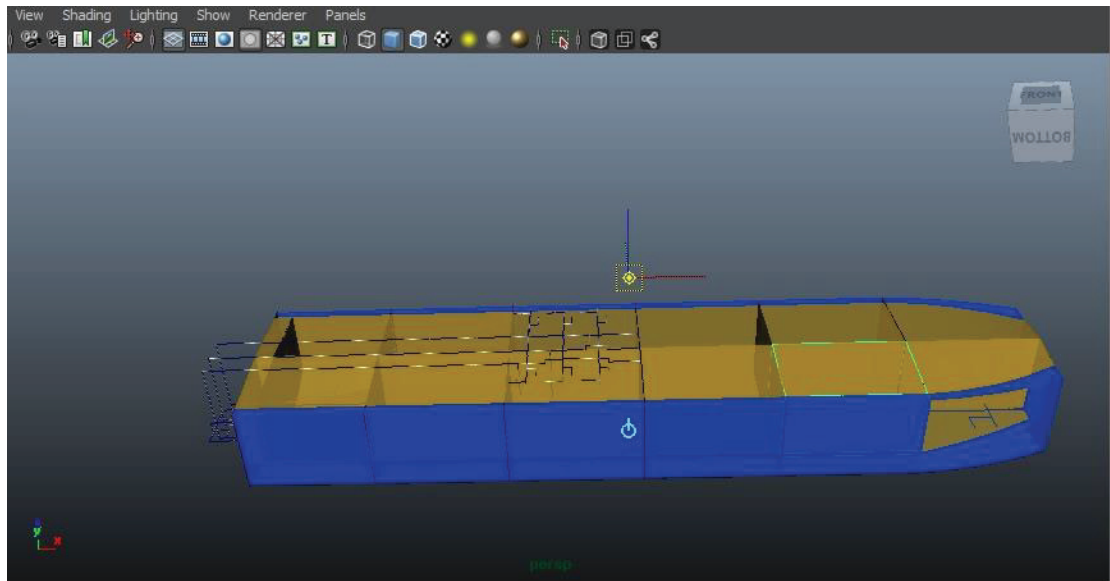
Εικόνα 4.5.7. Χρησιμοποιηθείσες εντολές στο Maya

Για τον καθορισμό του κέντρου ως προς του οποίου γίνεται η οποιαδήποτε από τις ανωτέρω εντολές, χρησιμοποιείται το πλήκτρο **Insert** του πληκτρολογίου. Συγκεκριμένα, αφού επιλέξουμε την κατάλληλη εντολή και στην συνέχεια το αντικείμενο που θέλουμε να τροποποιήσουμε, εμφανίζεται το τριαξονικό σύστημα ως προς του οποίου είναι προεπιλεγμένη να πραγματοποιηθεί η εντολή (εικόνα 4.5.8). Προκειμένου να μετακινήσουμε το συγκεκριμένο τριαξονικό σύστημα επιλέγουμε το πλήκτρο **Insert**, ο συμβολισμός του τριαξονικού συστήματος αλλάζει όπως φαίνεται στην εικόνα 4.5.9 και με το ποντίκι μπορούμε να το μεταφέρουμε στο επιθυμητό σημείο εγκατάστασης με την διαδικασία drag and drop.



Εικόνα 4.5.8. Επιλεγμένο σύστημα μετασχηματισμού

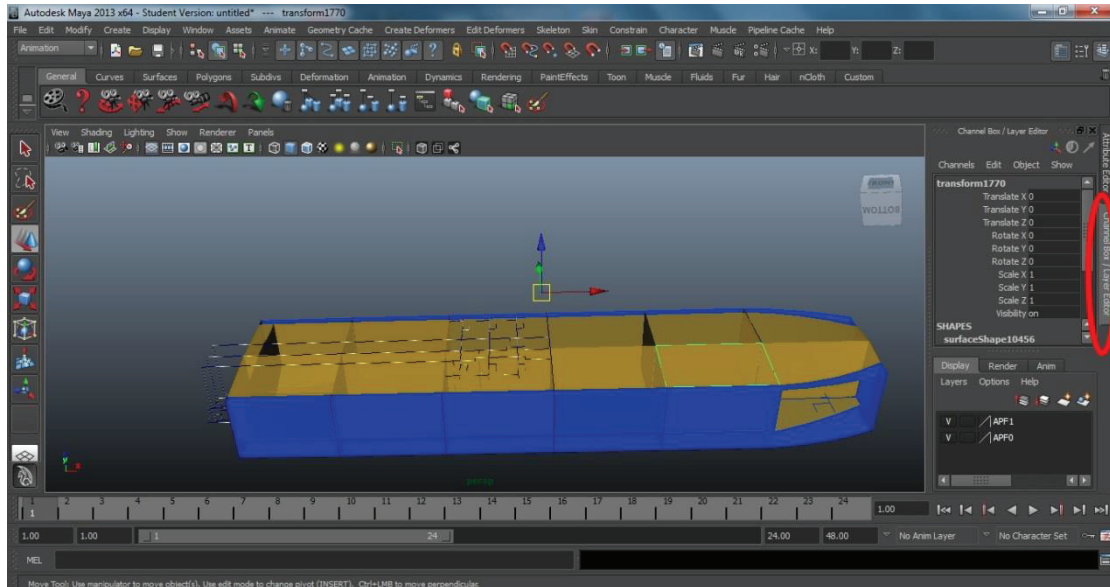
Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.5.9. Τροποποίηση συστήματος μετασχηματισμού

Οι αλλαγές κάθε τρισδιάστατου αντικειμένου δύναται κυρίως στην μεταφορά του (**Translate X, Translate Y, Translate Z**), στην περιστροφή του (**Rotate X, Rotate Y, Rotate Z**), στην αλλαγή κλίμακας (**Scale X, Scale Y, Scale Z**) και στην επιλογή εμφάνισής του (**Visibility**). Για τον καθορισμό των ανωτέρω επιλέγουμε το τρισδιάστατο αντικείμενο και χρησιμοποιούμε την καρτέλα στα δεξιά του παραθύρου με την ονομασία **Channel Box / Layer Editor** (εικόνα 4.5.10). Πρέπει να σημειώσουμε ότι προκειμένου να γίνουν οι παραπάνω αλλαγές πρέπει να είναι επιλεγμένο το / τα τρισδιάστατα αντικείμενα που θα υποστούν την αλλαγή. Επιπλέον, η οποιαδήποτε αλλαγή θα γίνει με βάση το καθορισμένο τριαξονικό σύστημα, όπως αυτό ορίστηκε στις εικόνες 4.5.8 και 4.5.9.

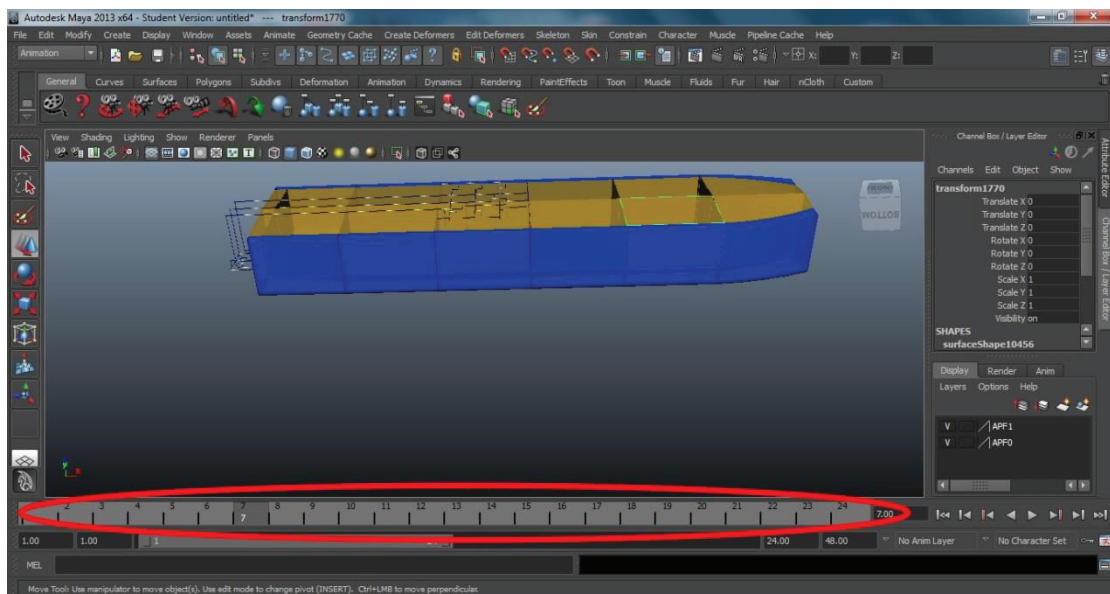
## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.5.10. Επιλογές τροποποίησης επιλεγμένων 3D αντικειμένων

### Διαδικασία προσομοίωσης trim και στάθμης ρευστού στις δεξαμενές

Στο κάτω μέρος του παραθύρου του Maya υπάρχει μια λωρίδα χρονοσειράς (time label), όπου κάθε κελί του ορίζει και ένα στιγμιότυπο (frame) επί του τελικού βίντεου (εικόνα 4.5.11).



Εικόνα 4.5.11. Frames στο time label



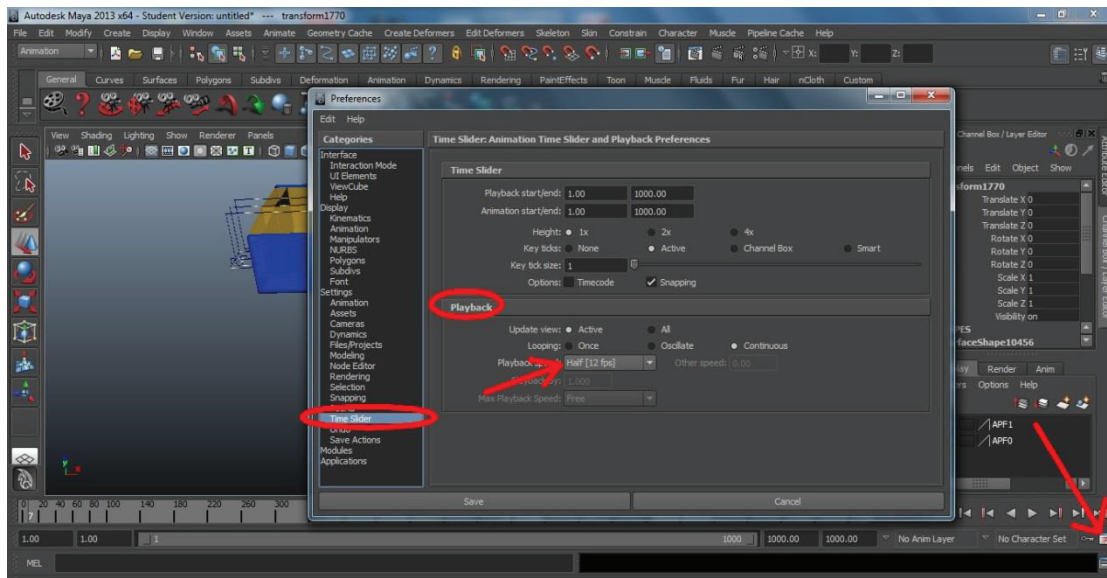
## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Ο αριθμός των frames που αποτελούν μια ολοκληρωμένη προσομοίωση της υπό μελέτη διαδικασίας και υπάρχουν στο time label μπορεί να αλλάξει μέσω του παρακάτω απεικονιζόμενου κελιού στην εικόνα 4.5.12.



Εικόνα 4.5.12. Αλλαγή αριθμό frames της διαδικασίας προσομοίωσης

Η ταχύτητα προσπέλασης του κάθε frame ορίζεται μέσω της εντολής **Animation Preferences -> Time Slider -> Playback -> Playback Speed** (εικόνα 4.5.13).

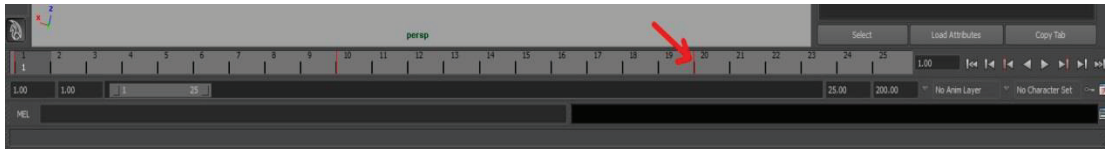


Εικόνα 4.5.13. Αλλαγή ταχύτητας προσπέλασης κάθε frame

Ο τρόπος προσομοίωσης έγκειται στον καθορισμό της κατάστασης του μοντέλου στο εκάστοτε frame. Για τον καθορισμό της κατάστασης, αρχικά επιλέγουμε το τρισδιάστατο αντικείμενο που θέλουμε να καθορίσουμε την κατάστασή του, στην συνέχεια επιλέγουμε το frame το οποίο καθορίζουμε, έπειτα κάνουμε όποιες μετατροπές θέλουμε προκειμένου να το μορφοποιήσουμε στην τελική επιθυμητή κατάσταση για το συγκεκριμένο στιγμιότυπο / frame και στο τέλος της όλης μορφοποίησης, προκειμένου να «αποθηκευτούν» οι παραπάνω τροποποιήσεις πληκτρολογούμε τα γράμμα «S». Στο τέλος της τροποποίησης, στο

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

αριστερό μέρος του κελιού του frame που ορίστηκε η παραπάνω μετατροπή, θα εμφανιστεί μια κόκκινη γραμμή (εικόνα 4.5.14).

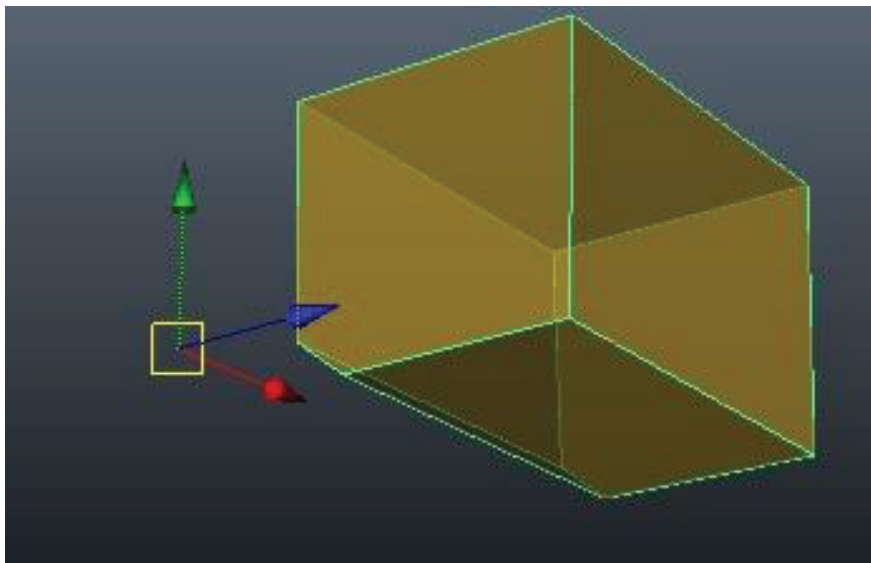


Εικόνα 4.5.14. Καθορισμός frame

Τα frames που καθορίζονται δεν χρειάζεται να είναι εν συνεχεία. Το Maya δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να ορίσει την αρχική και την τελική κατάσταση, ενώ οι ενδιάμεσες ορίζονται αυτόματα από το ίδιο το πρόγραμμα. Η διαδικασία εκφόρτωσης διαρκεί περίπου 20 ώρες. Στην παρούσα διαδικασία προσομοίωσης, απεικονίζεται η κατάσταση εκφόρτωσης του πλοίου στις 11 πρώτες ώρες της διαδικασίας εκφόρτωσης. Το βίντεο αποτελείται από 110 frames και ανά 10 frames περιγράφεται η απόκριση του πλοίου ανά 1 ώρα.

### *Προσομοίωση στάθμης υγρού σε δεξαμενή*

Η περιγραφή της ακόλουθης διαδικασίας παρουσιάζεται για μία μεμονωμένη δεξαμενή (εικόνα 4.5.15). Αντίστοιχα πράττουμε και για τις υπόλοιπες.



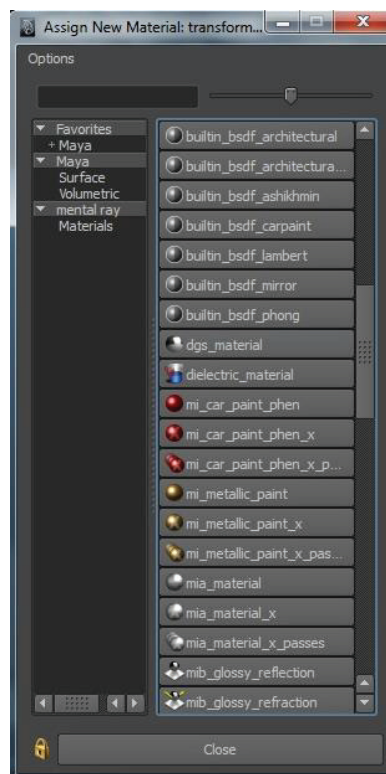
Εικόνα 4.5.15. Ενδεικτική δεξαμενή προσομοίωσης

## Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Για την προσομοίωση της στάθμης του υγρού, δημιουργείται άλλη μία, ακριβώς ίδια, δεξαμενή στο εσωτερικό της κάθε μίας με την διαδικασία του copy – past. Για να μπορεί να ξεχωρίσει από την αρχική κίτρινη δεξαμενή, αλλάζουμε το χρώμα της κάνοντας δεξί κλικ πάνω της, επιλέγουμε την εντολή **Assign New Material** (εικόνα 4.5.16) και από την αναδυόμενη λίστα επιλέγουμε το επιθυμητό υλικό και το χρώμα (εικόνα 4.5.17).



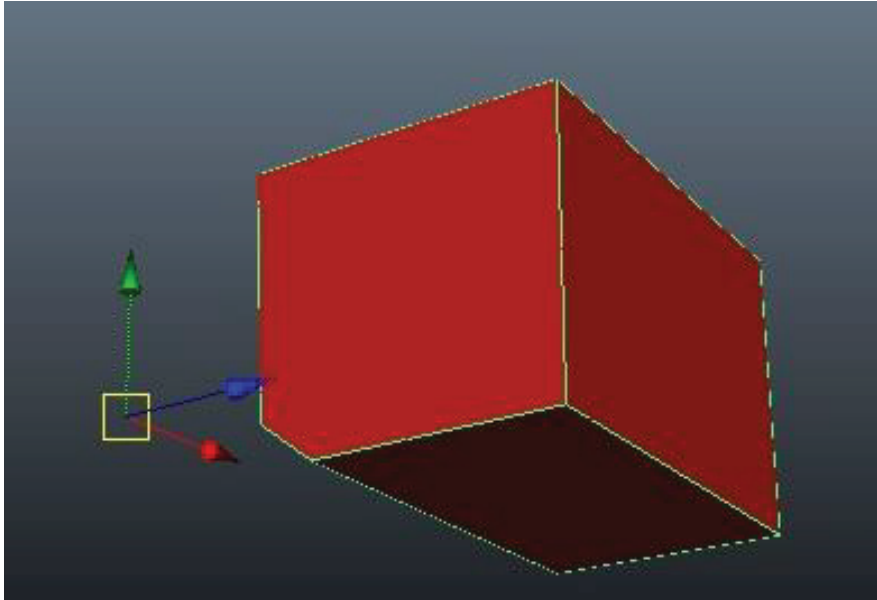
Εικόνα 4.5.16. Αλλαγή υλικού και χρώματος δεξαμενής – Assign New Material



Εικόνα 4.5.17. Επιλογή υλικού και χρώματος δεξαμενής

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

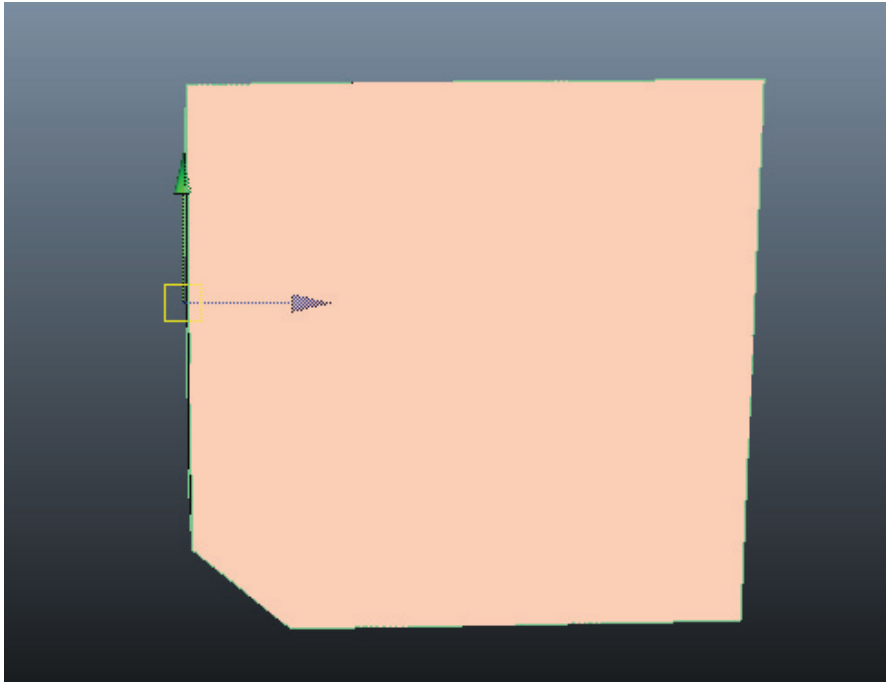
Η νέα διάταξη της παλιάς (κίτρινης) και της νέας (κόκκινης) δεξαμενής φαίνονται στην παρακάτω εικόνα 4.5.18.



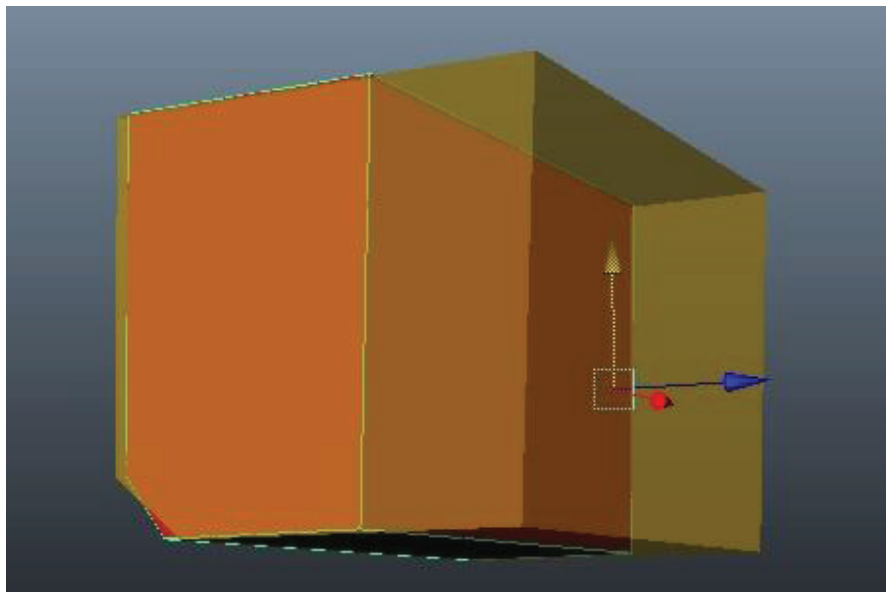
Εικόνα 4.5.18. Απεικόνιση νέας και παλιάς δεξαμενής

Στην παραπάνω εικόνα, η δεξαμενή απεικονίζεται γεμάτη (100%). Για την απεικόνισή της με ύψος στάθμης στο 60% του συνολικού ύψους, επιλέγουμε την κόκκινη δεξαμενή, ορίζουμε με ένα αριστερό κλικ το frame που θέλουμε να καθορίσουμε και μέσω της καρτέλας **Channel Box / Layer Editor** (εικόνα 4.5.10) αλλάζουμε την τιμή του **Scale Z** από 1 σε 0,6 εικόνα (4.5.20), αφού πρώτα έχουμε ορίσει ως αρχή αξόνων για το scale το κάτω επίπεδο της δεξαμενής. (εικόνα 4.5.19).

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor



Εικόνα 4.5.19. Ορισμός τριαξονικού συστήματος για scale



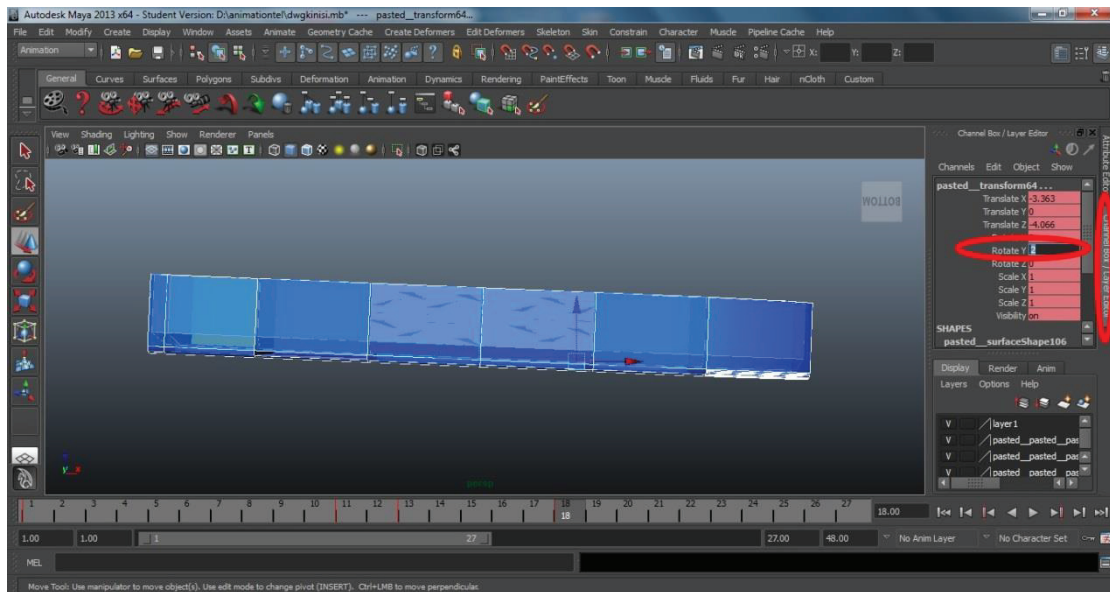
Εικόνα 4.5.20. Αλλαγή μεγέθους εσωτερικής δεξαμενής

Καθώς τελειώσει η μορφοποίηση της εσωτερικής δεξαμενής, πληκτρολογούμε το γράμμα «S» προκειμένου να καταχωρίσουμε το συγκεκριμένο στιγμιότυπο στο κατάλληλο επιλεγμένο frame.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις δεξαμενές.

### Προσομοίωση διαμήκουσ κλήσης μοντέλου

Η προσομοίωση της διαμήκουσ κλήσης γίνεται με τον εξής τρόπο. Επιλέγουμε το σύνολο όλου του μοντέλου, επιλέγουμε το frame που θέλουμε να καθορίσουμε την διαμήκη κλήση και μέσω της καρτέλας **Channel Box / Layer Editor** (εικόνα 4.5.10) αλλάζουμε την τιμή του **Rotate Y** από 0 σε 2, προκειμένου να ορίσουμε κλήση 2° (εικόνα 4.5.21). Η παραπάνω περιστροφή γίνεται αφού πρώτα ορίσουμε το τριαξονικό σύστημα περιστροφής μέσω της παραπάνω περιγραφείσας διαδικασίας (εικόνα 4.5.8 και 4.5.9).

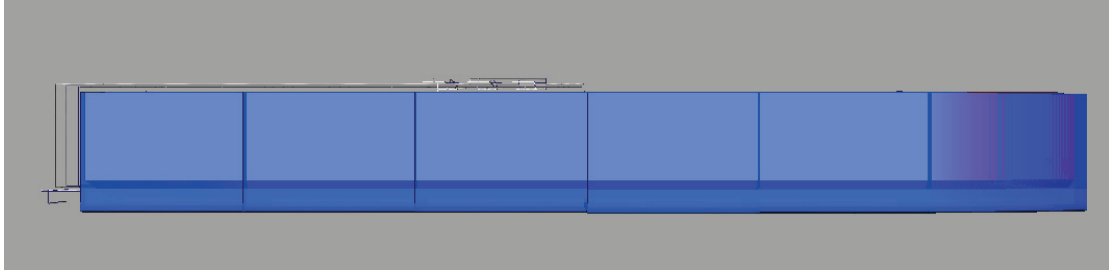


Εικόνα 4.5.21. Ορισμός διαμήκουσ κλήσης

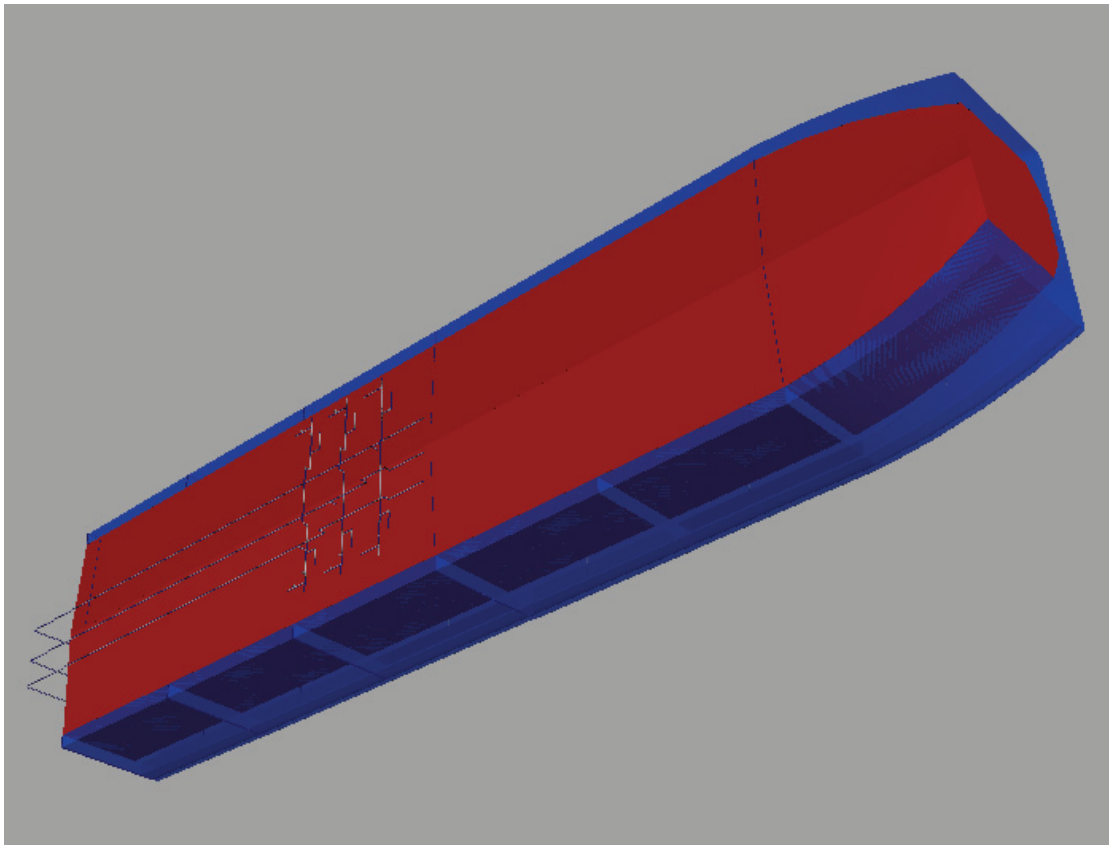
Καθώς τελειώσει η μορφοποίηση της εσωτερικής δεξαμενής, πληκτρολογούμε το γράμμα «S» προκειμένου να καταχωρίσουμε το συγκεκριμένο στιγμιότυπο στο κατάλληλο επιλεγμένο frame.

*Στιγμιότυπα κατά την διαδικασία εκφόρτωσης*

➤ **0% διαδικασίας εκφόρτωσης**



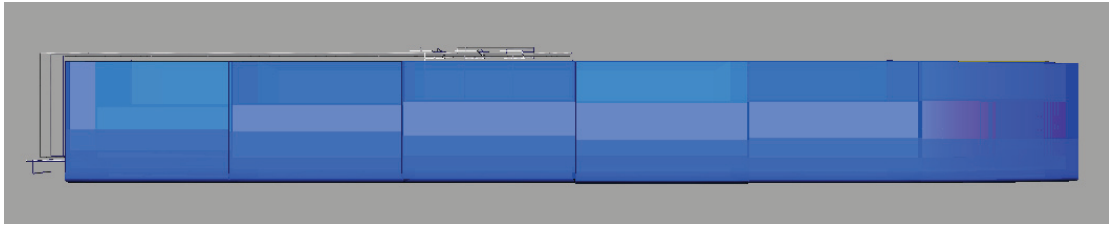
Εικόνα 4.5.22. Πλάγια όψη μοντέλου στο 0% διαδικασίας εκφόρτωσης



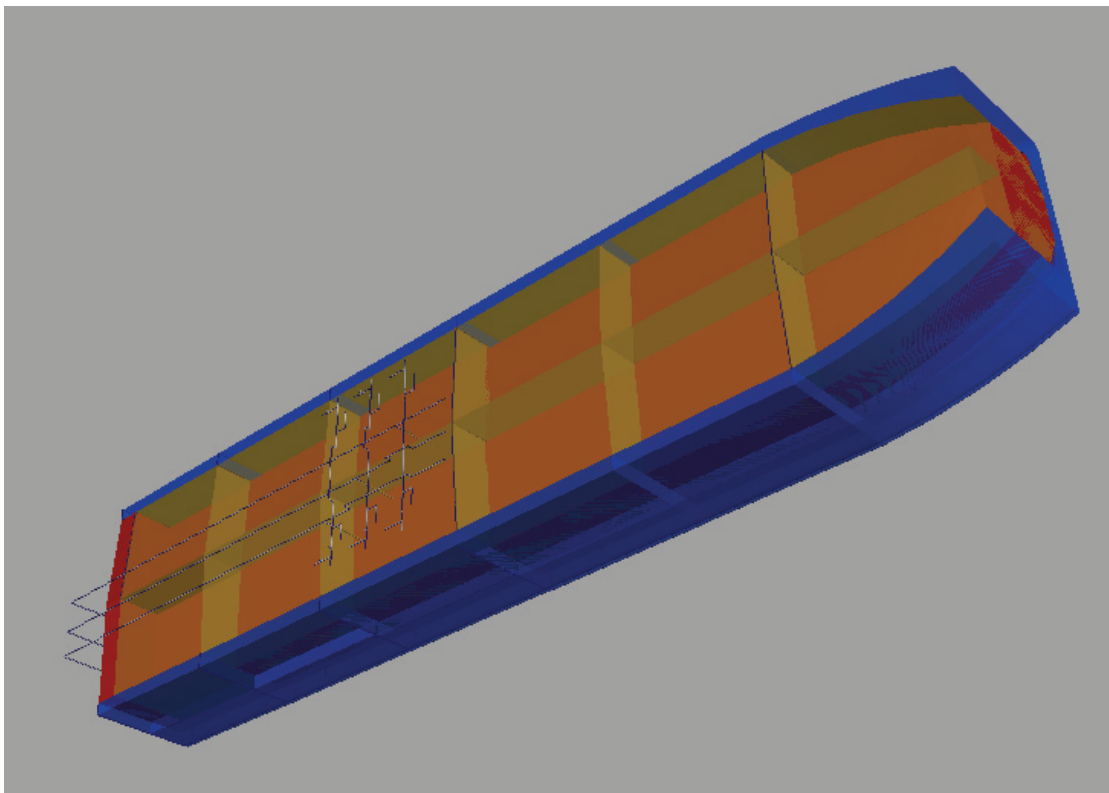
Εικόνα 4.5.23. Τρισδιάστατη όψη μοντέλου στο 0% διαδικασίας εκφόρτωσης

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

➤ **45% διαδικασίας εκφόρτωσης**



Εικόνα 4.5.24. Πλάγια όψη μοντέλου στο 45% διαδικασίας εκφόρτωσης

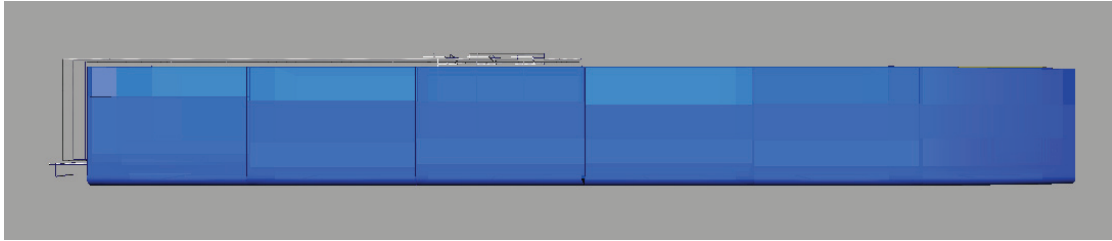


Εικόνα 4.5.25. Τρισδιάστατη όψη μοντέλου στο 45% διαδικασίας εκφόρτωσης

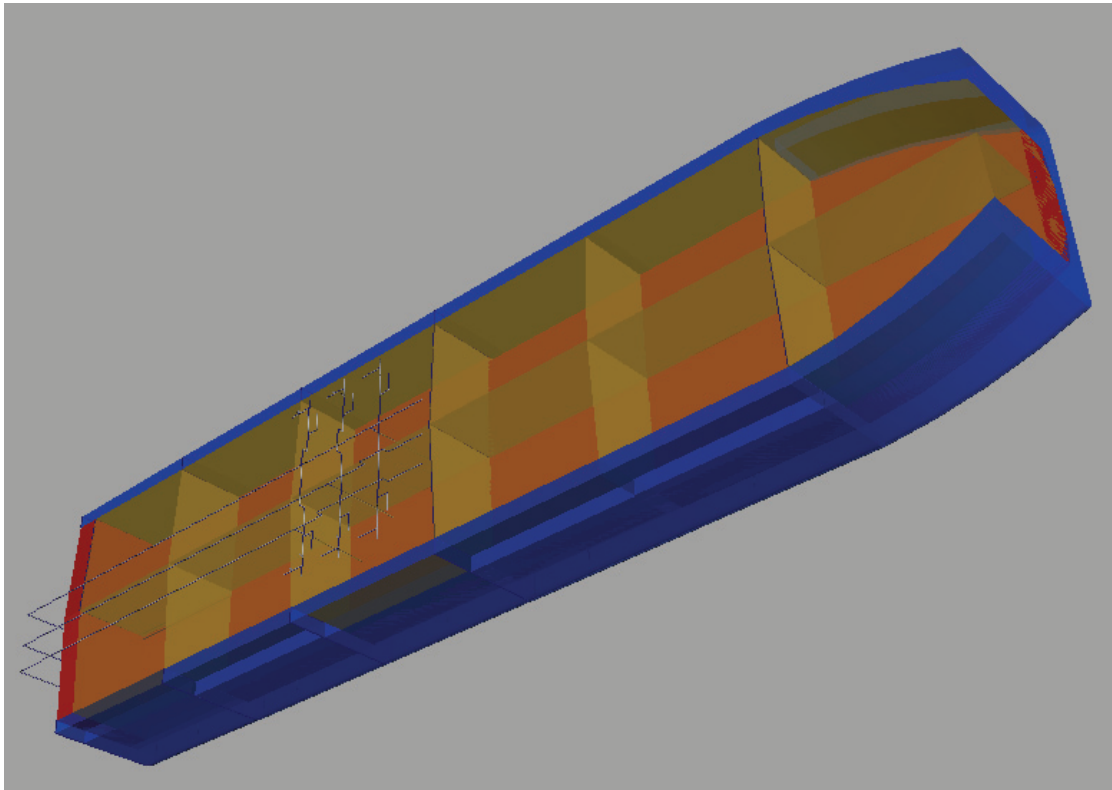


Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

➤ **60% διαδικασίας εκφόρτωσης**



Εικόνα 4.5.26. Πλάγια όψη μοντέλου στο 60% διαδικασίας εκφόρτωσης



Εικόνα 4.5.27. Τρισδιάστατη όψη μοντέλου στο 60% διαδικασίας εκφόρτωσης

#### 4.6. Σύνοψη εξαγόμενων αποτελεσμάτων κατά την πορεία της μοντελοποίησης

Έχοντας ολοκληρώσει την περιγραφή της διαδικασίας παραμετρικής μοντελοποίησης τρισδιάστατων δεξαμενών φορτίου και έρματος, καθώς επίσης και του δικτύου σωληνώσεων που υποστηρίζει την λειτουργία των ανωτέρω δεξαμενών, κρίνεται σκόπιμο η συγκεντρωτική παρουσίαση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων.

Αρχικά, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την διαδικασία μοντελοποίησης των δεξαμενών φορτίου και έρματος, ενώ στην συνέχεια, από την διαδικασία μοντελοποίησης του δικτύου σωληνώσεων.

#### Αποτελέσματα από διαδικασία μοντελοποίησης δεξαμενών φορτίου και έρματος

Κατά το στάδιο της τρισδιάστατης μοντελοποίησης των δεξαμενών φορτίου και έρματος, για κάθε δεξαμενή εξήχθησαν οι ακόλουθες πληροφορίες:

- Επιφάνεια περιβλήματος δεξαμενών
- Μάζα
- Όγκος
- Κέντρο βάρους, ως προς το ορισμένο σύστημα συντεταγμένων
- Ροπές αδρανείας ως προς το ορισμένο σύστημα συντεταγμένων
- Ροπές αδρανείας ως προς το κέντρο βάρους της δεξαμενής
- Κύριες ροπές αδρανείας

Στην συνέχεια ακολουθούν οι τιμές των παραπάνω στοιχείων για κάθε δεξαμενή ξεχωριστά. Στις δεξαμενές φορτίου, υπογραμμίζεται ότι για τον υπολογισμό της μάζας ορίστηκε η πυκνότητα του φορτίου ίση με **0,875gr/cm<sup>3</sup>**, ενώ στις δεξαμενές έρματος, η πυκνότητα του θαλασσινού νερού ορίστηκε ίση με **1,025gr/cm<sup>3</sup>**. Σχετικά με το κέντρο βάρους, ορίζεται με βάση του συστήματος αναφοράς, το οποίο έχει κέντρο την τομή της πρυμναίας καθέτου και του βασικού επιπέδου αναφοράς του υπό μελέτη πλοίου.

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

Δεξαμενές	Περιμετρική Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	Μαζα (kg)	Όγκος (m <sup>3</sup> )
NO.1 C.O.T.(P)	2539,77	7414106,00	8473,26
NO.2 C.O.T.(P)	2912,08	9208679,38	10524,21
NO.3 C.O.T.(P)	2912,08	9208679,38	10524,21
NO.4 C.O.T.(P)	2912,08	9208679,38	10524,21
NO.5 C.O.T.(P)	2912,08	9208679,38	10524,21
NO.6 C.O.T.(P)	2446,88	7260028,13	8297,18
SLOP TANK(P)	993,57	1290600,50	1474,97
NO.1 W.B.T.(P)	2560,11	3480744,20	3395,85
NO.2 W.B.T.(P)	2637,95	3033937,48	2959,94
NO.3 W.B.T.(P)	2637,95	3033937,48	2959,94
NO.4 W.B.T.(P)	2637,95	3033937,48	2959,94
NO.5 W.B.T.(P)	2637,95	3033937,48	2959,94
NO.6 W.B.T.(P)	2490,95	2995081,78	2922,03

Δεξαμενές	Κέντρο Βάρους			Ροπές αδρανείας ως προς το κέντρο βάρους		
	LCG (m)	KG (m)	TG (m)	Ixx (kg*m <sup>2</sup> )	Iyy (kg*m <sup>2</sup> )	Izz (kg*m <sup>2</sup> )
NO.1 C.O.T.(P)	207,691	12,145	67,853	382760131	735709511	678815450
NO.2 C.O.T.(P)	179,346	12,024	69,319	536327945	968176761	946631700
NO.3 C.O.T.(P)	149,376	12,024	69,319	536327945	968176761	946631700
NO.4 C.O.T.(P)	119,406	12,024	69,319	536327945	968176761	946631700
NO.5 C.O.T.(P)	89,436	12,024	69,319	536327945	968176761	946631700
NO.6 C.O.T.(P)	62,504	12,171	69,216	415677265	563539362	550746144
SLOP TANK(P)	48,243	12,352	69,128	83064583	44351710	43385959
NO.1 W.B.T.(P)	210,172	7,225	73,726	239582434	408844428	354628933
NO.2 W.B.T.(P)	179,346	6,229	75,382	241257210	350439014	344993251
NO.3 W.B.T.(P)	149,376	6,229	75,382	241257210	350439014	344993251
NO.4 W.B.T.(P)	119,406	6,229	75,382	241257210	350439014	344993251
NO.5 W.B.T.(P)	89,436	6,229	75,382	241257210	350439014	344993251
NO.6 W.B.T.(P)	60,058	5,922	51,306	223521913	315106350	310931214

Ο έλεγχος της ακρίβειας των εξαγόμενων αποτελεσμάτων συγκρίθηκε με τις αντίστοιχες τιμές που δίδονται από το ναυπηγείο για το υπό μελέτη πλοίο. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα της παραπάνω μοντελοποίησης ελέγχθηκαν με δύο (2) πλοία ιδίου τύπου (Crude Oil Tanker), με την μόνη διαφορά ότι στο πλοίο Α' οι τιμές εισόδου κατά την σχεδίαση της μοντελοποίησης πάρθηκαν από τα σχέδια General Arrangement και Capacity Plan, ενώ στο πλοίο Β' χρησιμοποιήθηκαν κατασκευαστικά σχέδια της περιοχής των δεξαμενών φορτίου. Όπως είναι

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

αναμενόμενο, τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης για το πλοίο Β' είναι περισσότερο ακριβή, δεδομένου ότι τα κατασκευαστικά σχέδια δίδουν πιο λεπτομερή στοιχεία για την υπό μελέτη διάταξη.

➤ **Σύγκριση Χωρητικότητας δεξαμενών (Volume)**

<b>Α' ΠΛΟΙΟ</b>			
<b>Δεξαμενές</b>	<b>VOLUME 100% (m<sup>3</sup>)</b>		
	<i>ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ</i>	<i>ΜΟΝΤΕΛΟ</i>	<i>ΑΠΟΚΛΙΣΗ</i>
NO.1 C.O.T.(P)	8119,7	8473,264	4,3544%
NO.2 C.O.T.(P)	10456,8	10524,205	0,6446%
NO.3 C.O.T.(P)	10494,1	10524,205	0,2869%
NO.4 C.O.T.(P)	10494,1	10524,205	0,2869%
NO.5 C.O.T.(P)	10494,1	10524,205	0,2869%
NO.6 C.O.T.(P)	7943,3	8297,175	4,4550%
SLOP TANK(P)	1276,2	1474,972	15,5753%
NO.1 W.B.T.(P)	2730	3395,848	24,3900%
NO.2 W.B.T.(P)	2855,6	2959,939	3,6538%
NO.3 W.B.T.(P)	2926,9	2959,939	1,1288%
NO.4 W.B.T.(P)	2926,9	2959,939	1,1288%
NO.5 W.B.T.(P)	2841,6	2959,939	4,1645%
NO.6 W.B.T.(P)	2935,8	2922,031	0,4690%

<b>Β' ΠΛΟΙΟ</b>			
<b>Δεξαμενές</b>	<b>VOLUME 100% (m<sup>3</sup>)</b>		
	<i>ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ</i>	<i>ΜΟΝΤΕΛΟ</i>	<i>ΑΠΟΚΛΙΣΗ</i>
NO.1 C.O.T.(C)	4047,4	4064,0	0,4101%
NO.2 C.O.T.(P)	6268,5	6270,5	0,0319%
NO.3 C.O.T.(P)	3460,0	3462,3	0,0665%
NO.4 C.O.T.(P)	3460,0	3462,3	0,0665%
NO.5 C.O.T.(P)	3460,0	3462,3	0,0665%
NO.6 C.O.T.(P)	3460,0	3462,3	0,0665%
NO.7 C.O.T.(P)	6452,2	6462,7	0,1627%
NO.8 C.O.T.(P)	3223,3	3226,8	0,1086%

➤ Σύγκριση Διαμήκους Θέσης Βάρους δεξαμενών (LCG) και Κατακόρυφης θέσης Βάρους δεξαμενών (KG)

<b>Α' ΠΛΟΙΟ</b>			
<b>Δεξαμενές</b>	<b>LCG (m)</b>		
	<b>ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ</b>	<b>ΜΟΝΤΕΛΟ</b>	<b>ΑΠΟΚΛΙΣΗ</b>
NO.1 C.O.T.(P)	206,502	207,691	0,5758%
NO.2 C.O.T.(P)	178,224	179,346	0,6295%
NO.3 C.O.T.(P)	148,300	149,376	0,7256%
NO.4 C.O.T.(P)	118,340	119,406	0,9008%
NO.5 C.O.T.(P)	88,380	89,436	1,1948%
NO.6 C.O.T.(P)	61,683	62,504	1,3310%
SLOP TANK(P)	48,198	48,243	0,0934%
NO.1 W.B.T.(P)	208,282	210,172	0,9074%
NO.2 W.B.T.(P)	178,037	179,346	0,7352%
NO.3 W.B.T.(P)	178,307	149,376	16,2254%
NO.4 W.B.T.(P)	118,347	119,406	0,8948%
NO.5 W.B.T.(P)	88,621	89,436	0,9196%
NO.6 W.B.T.(P)	56,907	60,058	5,5371%

<b>Α' ΠΛΟΙΟ</b>			
<b>Δεξαμενές</b>	<b>KG (m)</b>		
	<b>ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ</b>	<b>ΜΟΝΤΕΛΟ</b>	<b>ΑΠΟΚΛΙΣΗ</b>
NO.1 C.O.T.(P)	12,300	12,145	1,2602%
NO.2 C.O.T.(P)	12,068	12,024	0,3646%
NO.3 C.O.T.(P)	12,063	12,024	0,3233%
NO.4 C.O.T.(P)	12,063	12,024	0,3233%
NO.5 C.O.T.(P)	12,063	12,024	0,3233%
NO.6 C.O.T.(P)	12,449	12,171	2,2331%
SLOP TANK(P)	13,118	12,352	5,8393%
NO.1 W.B.T.(P)	7,957	7,225	9,1994%
NO.2 W.B.T.(P)	6,343	6,229	1,7973%
NO.3 W.B.T.(P)	6,253	6,229	0,3838%
NO.4 W.B.T.(P)	6,253	6,229	0,3838%
NO.5 W.B.T.(P)	6,400	6,229	2,6719%
NO.6 W.B.T.(P)	7,840	5,922	24,4643%

## Αποτελέσματα από διαδικασία μοντελοποίησης δικτύου σωληνώσεων

Κατά το στάδιο της τρισδιάστατης μοντελοποίησης του δικτύου σωληνώσεων υποστήριξης των δεξαμενών φορτίου και έρματος εξήχθησαν οι ακόλουθες πληροφορίες:

- Επιφάνεια περιβλήματος δεξαμενών
- Μάζα
- Όγκος
- Κέντρο βάρους, ως προς το ορισμένο σύστημα συντεταγμένων
- Ροπές αδρανείας ως προς το ορισμένο σύστημα συντεταγμένων
- Ροπές αδρανείας ως προς το κέντρο βάρους της δεξαμενής
- Κύριες ροπές αδρανείας

Στην συνέχεια ακολουθούν οι τιμές των παραπάνω στοιχείων, οι οποίες αφορούν το σύνολο όλων των τεσσάρων (4) δικτύων των μοντελοποιημένων σωληνώσεων (Cargo Oil System No. 1, 2 & 3 και Water Ballast System). Αντίστοιχα στοιχεία μπορούν να εξαχθούν και για κάθε ένα από τα παραπάνω τέσσερα (4) δίκτυα σωληνώσεων. Πρέπει να υπογραμμίσουμε ότι ο υπολογισμός του βάρους και της ροπής των παραπάνω δικτύων σωληνώσεων βασίστηκε στην πυκνότητα του υλικού των επιμέρους σωλήνων και των μέσων συναρμογής τους, όπως αυτή ορίζεται από το επιλεγθέν πρότυπο για το εκάστοτε δίκτυο σωληνώσεων. Συγκεκριμένα, πρότυπο σχεδίασης για το εκάστοτε δίκτυο σωληνώσεων φαίνεται παρακάτω:

**Water Ballast System** → *ASME B36.10M – ASME B16.11 – Steel Threaded Pipe*

**No.1 Cargo Oil System** → *ASTM A53/A – ASME B16.5 – Flanged Steel Threaded Pipe*

**No.2 Cargo Oil System** → *ASTM A53/A53M – ASME B16.11 – Welded Steel Pipe*

**No.3 Cargo Oil System** → *ANSI/ASME B36.19M – ASME B16.3 – Threaded Pipe with Iron Fittings*

Το πρότυπο σχεδίασης του εκάστοτε δικτύου σωληνώσεων δεν συνηθίζεται να διαφέρει εντός του ίδιου πλοίου, μεταξύ διαφορετικών δικτύων σωληνώσεων. Παρόλα αυτά, για ποικιλία του παραχθέντος τρισδιάστατου μοντέλου σωληνώσεων, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, τα πρότυπα σχεδίασης σωληνώσεων επιλέχθηκαν διαφορετικά, όπως φαίνεται παραπάνω.

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

<b>Δίκτυο Σωληνώσεων</b>		
<b>Περιφερειακή Επιφάνεια (m<sup>2</sup>)</b>		1385146550,48
<b>Μάζα (kg)</b>		33531,61
<b>Όγκος (m<sup>3</sup>)</b>		4259344209,79
<b>Κέντρο Βάρους</b>	<b>LCG (m)</b>	107,527
	<b>KG (m)</b>	8,933
	<b>TG (m)</b>	-0,516
<b>Ροπές αδρανείας ως προς το κέντρο βάρους</b>	<b>Ixx (kg*m<sup>2</sup>)</b>	4316
	<b>Iyy (kg*m<sup>2</sup>)</b>	80334
	<b>Izz (kg*m<sup>2</sup>)</b>	79122

## 5. Σύνοψη και συμπεράσματα

Κάνοντας μια γενική ανασκόπηση στην όλη πορεία της παρούσας διπλωματικής, γίνεται εμφανής η αναγκαιότητα και η υψίστη σημασία που παρουσιάζει η χρήση των προγραμμάτων μοντελοποίησης στην δουλειά του επαγγελματία μηχανικού, ειδικότερα του ναυπηγού μηχανολόγου μηχανικού.

Το πρόγραμμα που επιλέχθηκε (Autodesk Inventor Professional 2013) για την παραμετρική μοντελοποίησης των δεξαμενών φορτίου και έρματος, καθώς επίσης και του δικτύου σωληνώσεων που υποστηρίζει τις παραπάνω δεξαμενές, εξάγει αποτελέσματα υψηλής ακρίβειας και σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η τροποποίηση του τρισδιάστατου μοντέλου δεξαμενών γίνεται άμεσα με κατάλληλη αλλαγή των τιμών των παραμέτρων που εισάγονται στο πρόγραμμα μέσω του συνδεδεμένου αρχείου EXCEL (input.xlsx). Σχετικά με την τροποποίηση του δικτύου σωληνώσεων, δύναται να γίνει είτε μέσω των συνδεδεμένων αρχείων EXCEL (inputwbrpipe.xlsx, inputco1pipe.xlsx, inputco2pipe.xlsx και inputco3pipe.xlsx ), που φέρουν τα σημεία παρεμβολής των σωληνώσεων, είτε με άμεση μετακίνηση των ήδη εισαγμένων σημείων, μέσω του προγράμματος. Ο δεύτερος τρόπος τροποποίησης των σωληνώσεων είναι ιδιαίτερα γρήγορος και εύκολος, ακόμα και για μη έμπειρους χρήστες προγραμμάτων μοντελοποίησης.

Ανατρέχοντας για μία ακόμη φορά στα εξαγόμενα αποτελέσματα των τρισδιάστατων μοντέλων δεξαμενών φορτίου και έρματος, βλέπουμε ότι επιτυγχάνεται πολύ μεγάλη ακρίβεια. Η απόκλιση στην μοντελοποίηση των δεξαμενών είναι αντιστρόφως ανάλογη της ακρίβειας των δεδομένων που εισάγονται κατά το πρώτο στάδιο της μοντελοποίησής τους.

Σχετικά με το μοντελοποιημένο δίκτυο σωληνώσεων επισημαίνονται δύο κυρίως πράγματα. Εκτός της ιδιαίτερα μεγάλης ακρίβειας και του ρεαλιστικού αποτελέσματος, είναι ένας πρωτότυπος τρόπος άμεσης εξαγωγής γεωμετρικών στοιχείων (κέντρο βάρους κτλ.) που αφορούν το μοντελοποιημένο δίκτυο σωληνώσεων, στο οποίο συμπεριλαμβάνονται τόσο οι επιμέρους σωλήνες, όσο και τα μέσα συναρμογής τους (σύνδεσμοι, βάνες κτλ.).



## 6. Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη και επέκταση εργασίας

Η μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο πρόγραμμα και το αναπτυχθέν παραμετροποιημένο τρισδιάστατο μοντέλο, επιδέχεται των ακόλουθων περαιτέρω αναπτύξεων:

- Παραμετρική μοντελοποίηση του συνόλου των εγκατεστημένων δεξαμενών και σύνδεση των διαστάσεών τους με τις κύριες διαστάσεις του υπό μελέτη πλοίου.
- Χωροταξική βελτιστοποίηση του συνόλου των δεξαμενών, για την αποφυγή εγκάρσιας διαγωγής και διαμήκους κλήσης, στην πορεία ενός ταξιδιού, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την αλλαγή στην τιμή του βάρους τους, όσο και την θέση του κέντρου βάρους τους.
- Βελτιστοποίηση της διαδρομής του δικτύου των σωληνώσεων, με απώτερο στόχο την ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απωλειών, του βάρους του καθώς επίσης και της αναπτυσσόμενης ροπής εγκάρσιας κλήσης και διαμήκους διαγωγής.
- Μοντελοποίηση του συνολικά εγκατεστημένου δικτύου σωληνώσεων επί υπάρχοντος πλοίου και υπολογισμός ακριβές ποσοστού τους επί του συνολικού Lightship.
- Βελτιστοποίηση της διαδικασίας μετασκευής υπάρχοντος πλοίου με στόχο την επιδιόρθωση προβλημάτων κατανομής βάρους, εγκάρσιας διαγωγής και διαμήκους κλήσης.
- Σύνδεση υπάρχοντος παραμετρικού μοντέλου με αρχείο περιγραφής γραμμών υπό μελέτη πλοίου, με στόχο την ακριβέστερη μοντελοποίηση των δεξαμενών έρματος.
- Ανάλυση της καταπόνησης των μοντελοποιημένων δεξαμενών και εγκατεστημένων σωληνώσεων σε συνθήκες λειτουργίας του πλοίου (δυναμική καταπόνηση) και σε στατική καταπόνηση.
- Βελτιστοποίηση διάταξης δεξαμενών έρματος και φορτίου, με στόχο την ελαχιστοποίηση των απαιτούμενων δεξαμενών έρματος.

## 7. Βιβλιογραφία

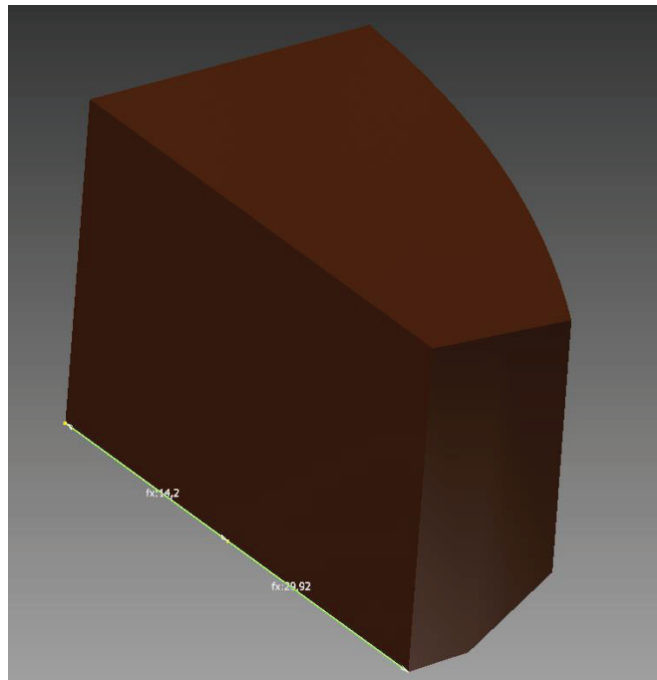
1. E. K. Μπουλουγούρης, “Ship design optimization for enhanced survivability after damage for Ro-Ro passenger and naval ships”, PhD Thesis, Ship Design Laboratory, National Technical University of Athens, November 2003
2. R. Omar, “Path Planning For Unmanned Aerial Vehicles Using Visibility Line-Based Methods”, PhD Thesis, University of Leicester, March 2011
3. H. Kimura, “Automatic Designing System For Piping and Instruments Arrangement Including Branches of Pipes”, International Conference on Computer Applications in Shipbuilding 2011
4. G. McCue, “Implementing 3D for Ship Production And Overhaul using 3D Work Instructions, PCs and Mobile Devices”, 2011 SNAME Annual Meeting and Ship Production Symposium of, Houston, Texas 2011
5. W. Boze, A. Chemaly, M. Diggs, J. Walker, “Ship Cable Management”, 2012 SNAME Annual Meeting and Ship Production Symposium, Providence, Road Island 2012
6. J. Baumer, Y. Kim, M. Polini, “Real Benefits of 3D Design”, 2012 SNAME Annual Meeting and Ship Production Symposium, Providence, Road Island 2012
7. A. Douglas, L. Guarin, J. Logan, J. Cichowicz, “A Tool For The Assessment Of The Operability Of Ship Systems In Accordance With SOLAS Safe Return To Port Requirements”, International Conference on Computer Applications in Shipbuilding 2011
8. I. Kuutti, N. Mizutani, H. S. Kim, “Efficient Integration Of 3D Design with Engineering At The Early Design Stages”, International Conference on Computer Applications in Shipbuilding 2011
9. Y. Ando, H. Kimura, “An Automatic Piping Algorithm Including Elbows And Bends”, International Conference on Computer Applications in Shipbuilding 2011
10. Chung-Hung Lin, Li0Wei Wang, Jiun-Shian Peng, “Engine Room Pipeline Arrangement With Consideration Of Equipments Operability Space By Genetic Algorism”, International Conference on Computer Applications in Shipbuilding 2011
11. G. Dimopoulos, C. Georgopoulou, N. Kakalis, “Modeling And Optimization of An Integrated Marine Combined Cycle System”, ECOS 2011, Serbia
12. G. Theotokatos, “On The Cycle Mean Value Modeling Of a Large Two-Stroke Marine Diesel Engine”, IMechE Vol. 224

13. G. Dimopoulos, N. Kakalis, "An Integrated Modeling Framework For The Design, Operation and Control Of Marine Energy Systems", CIMAC Congress 2010, Bergen
14. G. Theotokatos, "Ship Propulsion Plant Transient Response Investigation Using a Mean Value Engine Model", International Journal Of Energy, Issue 4, Vol. 2, 2008
15. G. Theotokatos, G. Livanos, "Exhaust Gas Waste Heat Recovery In Marine Propulsion Plants", Sustainable Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources – Rizzuto & Guedes Soares
16. H. Choset, K. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. Kavraki, S. Thrun, "Principles of Robot Motion – theory Algorithm and Implementations", MIT Press 2005
17. J. Carstem, D. Ferguson, A. Stentz, "3D Field D\*: Improved Path Planning and Replanning in Three Dimensions", International Conference on Intelligent Robots and Systems, China 2006
18. S. Miedema, Z. Lu, "The Dynamic Behavior of a Diesel Engine", WEDA XXII Technical Conference & 34<sup>th</sup> Texas A&M Dredging Seminar, Colorado, USA
19. I. Nikolos, n. Tsourveloudis, K. Valavanis, "Evolutionary Algorithm Based 3D Path Planner for UAV Navigation"
20. A. Botea, M. Muller, J. Schaeffer, "Near Optimal Hierarchical Path-Finding", Department of Computing Science, University of Alberta, Canada
21. <http://www.3ds.com/products/catia/welcome>
22. <http://www.rhino3d.com>
23. <http://usa.autodesk.com/autodesk-inventor>
24. <http://usa.autodesk.com/autocad-pid>
25. <http://www.shipconstructor.com>
26. <http://www.aveva.com>
27. <http://www.solidworks.com>
28. <http://www.nupas-cadmatic.com/index.html>
29. <http://www.procad.com/products/papricad-3d>
30. <http://www.cadpipe.com/industrial.html>
31. <http://www.npqolutions.com>
32. [http://download.autodesk.com/global/docs/maya2013/en\\_us](http://download.autodesk.com/global/docs/maya2013/en_us)

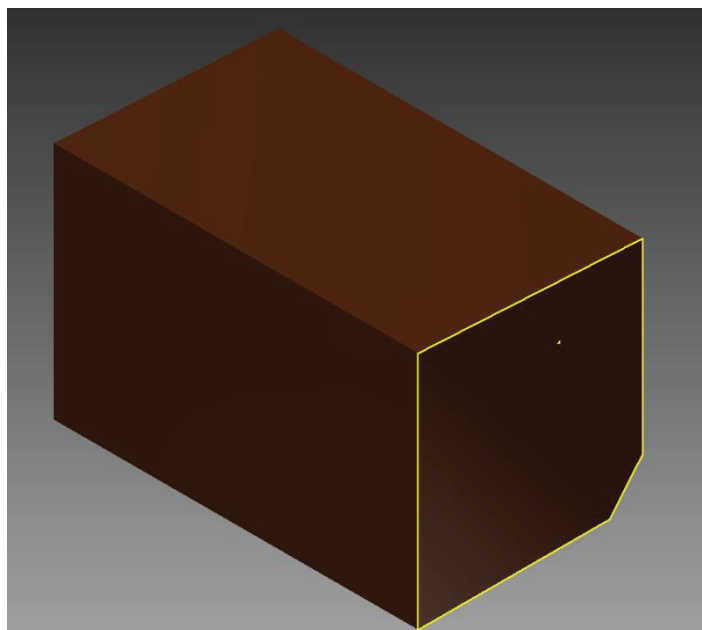
## Παράρτημα Α: 3D μοντέλα δεξαμενών φορτίου & έρματος

### Δεξαμενές Φορτίου Αριστερής Πλευράς (Port Side)

- No.1 Cargo Oil Tank (Port)

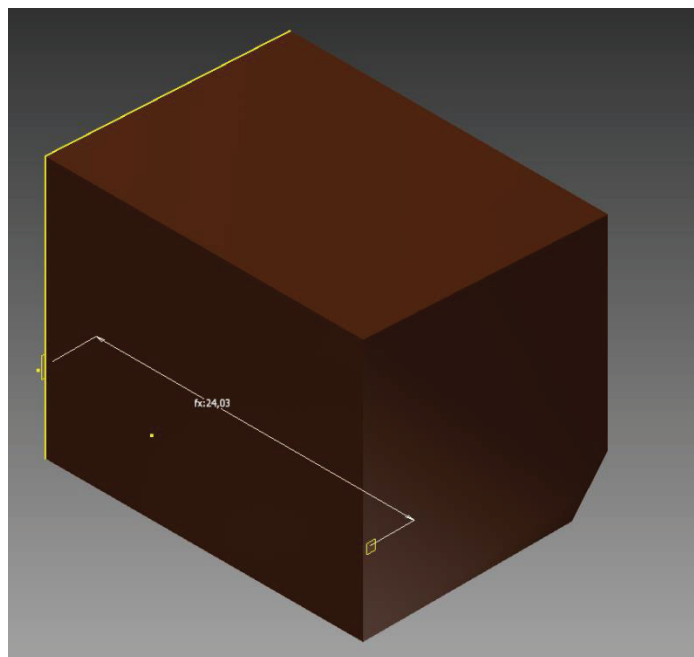


- No.2 - 5 Cargo Oil Tank (Port)

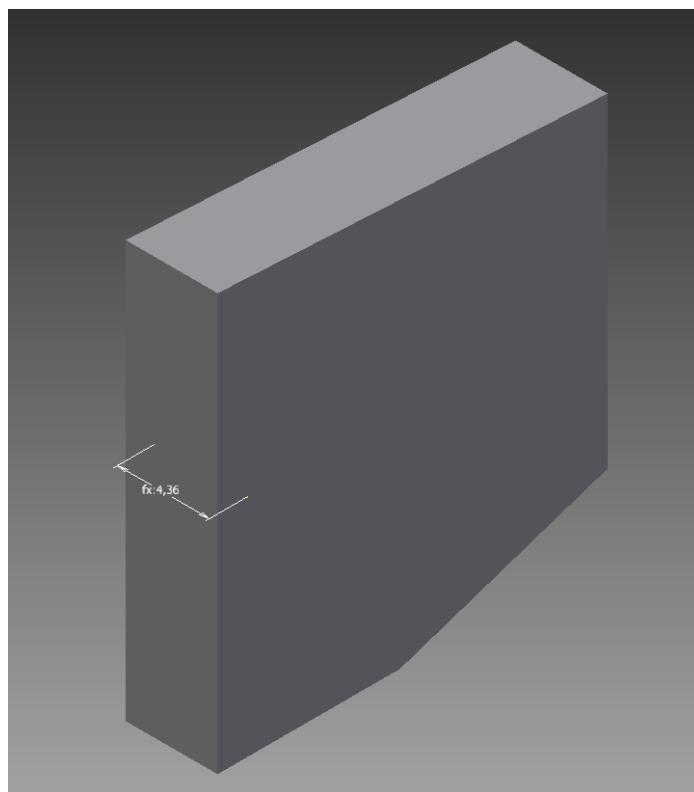


Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

➤ No.6 Cargo Oil Tank (Port)

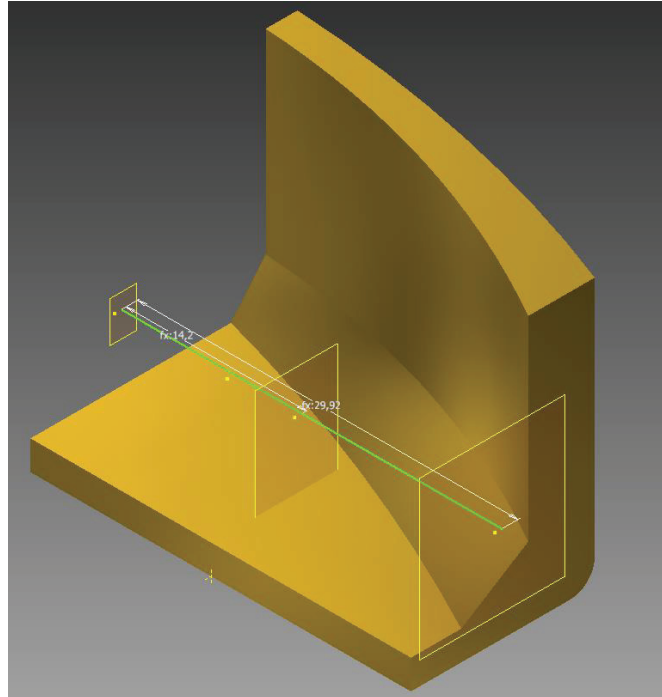


➤ Slop Tank (Port)

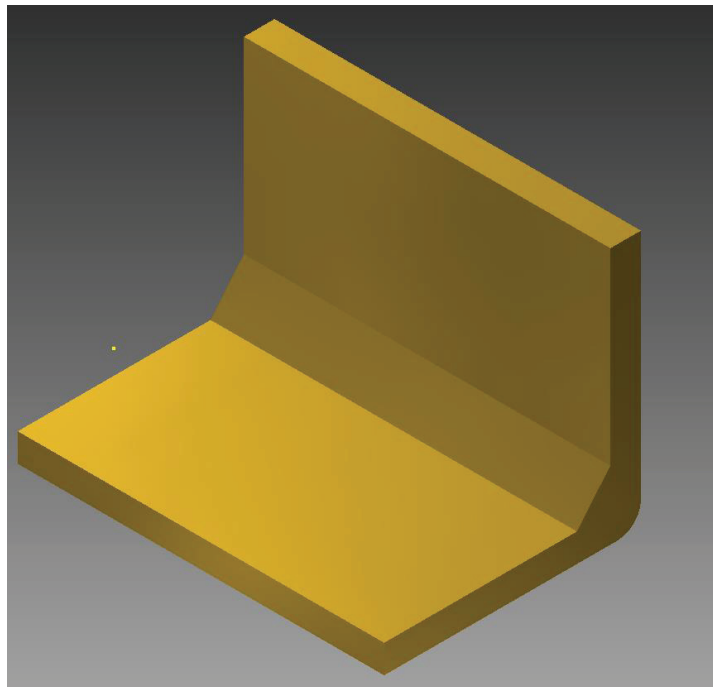


## Δεξαμενές Έρματος Αριστερής Πλευράς (Port Side)

➤ No.1 Water Ballast Tank (Port)

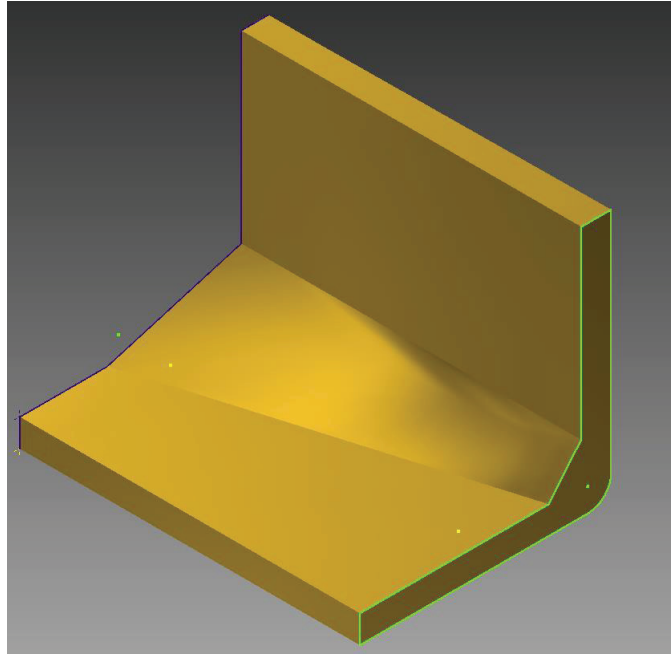


➤ No.2 - 5 Water Ballast Tank (Port)

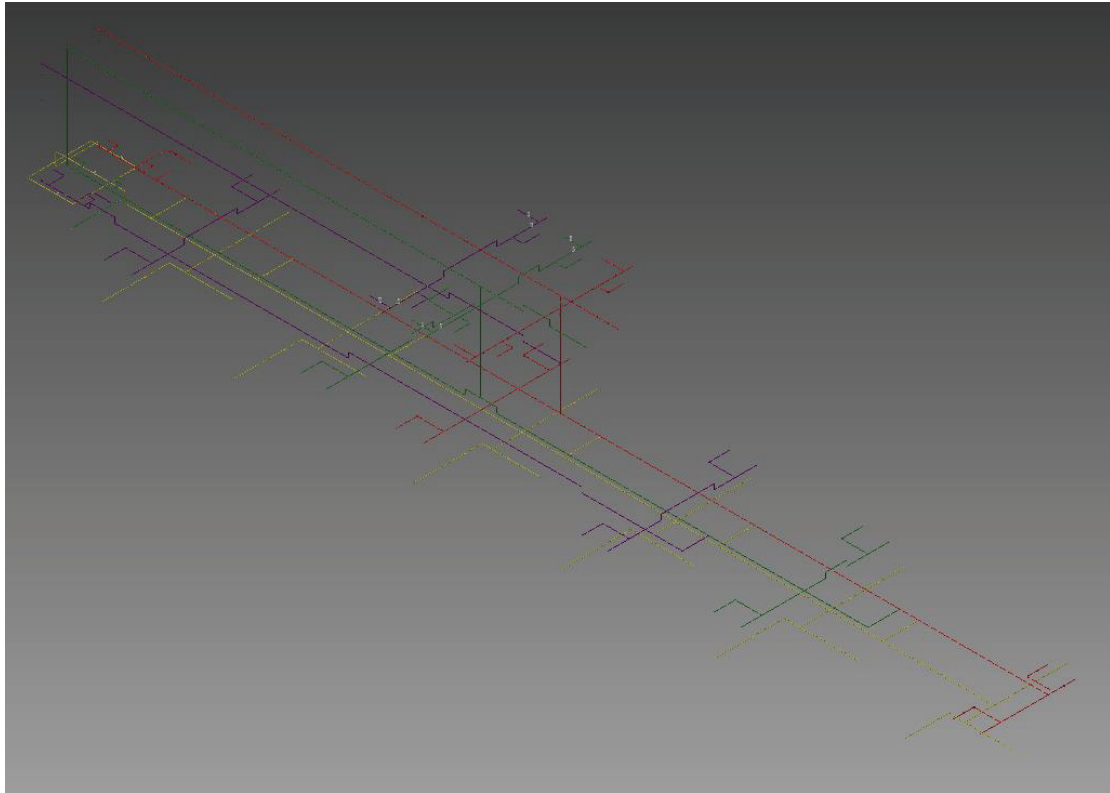


Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

➤ No.6 Water Ballast Tank (Port)



## Παράρτημα Β: 3D μοντέλο δικτύου σωληνώσεων





## Παράρτημα Γ: Περιγραφή διαδικασίας εύρεσης βέλτιστης διαδρομής σωληνώσεων

Η διαδικασία βελτιστοποίησης θα υλοποιείται έχοντας ως δεδομένα τα παρακάτω:

1. Την ακριβή χωρική θέση εγκατάστασης των μηχανημάτων που απαρτίζουν το δίκτυο σωληνώσεων
2. Τις διαστάσεις του εκάστοτε μηχανήματος και εμποδίου
3. Τον χώρο περιμετρικά που πρέπει να αφεθεί σε κάθε μηχανήμα για την λειτουργία και την συντήρησή του
4. Τα χωρικά όρια μέσα στα οποία πρέπει να ενταχθούν οι σωληνώσεις και τα μηχανήματα (περιμετρικά ελάσματα πλοίου και δωματίων).

Με τον καθορισμό των ανωτέρω δεδομένων, ορίζονται παράλληλα οι βασικοί περιορισμοί του συστήματος, μέσω των οποίων αναζητείται η διαδρομή που θα ακολουθήσουν οι σωληνώσεις και ολοκληρώσουν την εγκατάσταση του κυκλώματος. Ορισμένοι βασικοί περιορισμοί φαίνονται παρακάτω:

1. Ο χώρος μέσα στον οποίο θα πρέπει να ενταχθούν οι σωληνώσεις και τα μηχανήματα. Ο συγκεκριμένος περιορισμός οριοθετεί τον σωλήνα στο να «σχεδιαστεί» εσωτερικά του εξωτερικού ελάσματος της γάστρας.
2. Ο συνδυασμός της θέσης εγκατάστασης και των διαστάσεων των μηχανημάτων καθορίζουν μονοσήμαντα μια περιοχή στην οποία οι σωληνώσεις δεν πρέπει να εισέλθουν. Αυτό γίνεται επειδή δεν πρέπει να σχεδιάζονται σωλήνες οι οποίες περνούν από το εσωτερικό μηχανημάτων.
3. Περιμετρικά των μηχανημάτων, για λόγους συντήρησης και λειτουργίας τους, πρέπει να ορίζεται καθορισμένη περιοχή στην οποία οι σωληνώσεις δεν πρέπει να εισέλθουν

Οι παραπάνω τρεις (3) περιορισμοί είναι βασικοί για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής της σωληνώσεως στο περιβάλλον ενός πλοίου. Ασφαλώς, υπάρχουν και άλλοι περιορισμοί ασφαλείας, οι οποίοι περιγράφονται μέσω διεθνών κανόνων, αλλά και εργονομικοί, οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη στα πλαίσια της βελτιστοποίησης.

Η διαδικασία βελτιστοποίησης βασίζεται σε «αλγορίθμους εύρεσης βέλτιστης διαδρομής» (Path finding algorithm). Οι αλγόριθμοι αυτοί δέχονται τα παραπάνω

δεδομένα και περιορισμούς και με βάση ορισμένα αντικειμενικά κριτήρια βρίσκουν την βέλτιστη διαδρομή, η οποία καλύπτει τις παραπάνω προϋποθέσεις. Τα αντικειμενικά κριτήρια που συνήθως χρησιμοποιούνται στην αναφερόμενη διαδικασία βελτιστοποίησης, παρουσιάζονται στην συνέχεια. Οι πιο γνωστοί Path finding algorithms είναι ο A\* (A-star) και ο Dijkstra. Ο 2<sup>ος</sup> από του παραπάνω αλγόριθμους (Dijkstra) έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν από την ναυπηγική βιομηχανία για την βελτιστοποίηση σωληνώσεων, δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα σε 2D μελέτες, αλλά παρουσιάζοντας προβλήματα όταν οι μελέτες γίνονταν σε 3D επίπεδο. Ο A\* (A-Star) αλγόριθμος είναι σχεδιασμένος για 2D μελέτες. Ο ανωτέρω αλγόριθμος έχει επεκταθεί σε  $2\frac{1}{2}D$ , προκειμένου τα αποτελέσματά του να είναι περισσότερο ευπαρουσίαστα. Η  $2\frac{1}{2}D$  έκδοση του παραπάνω αλγορίθμου χρησιμοποιείται κυρίως σε εικονικά περιβάλλοντα παιχνιδιών, στα οποία η ακολουθία της διαδρομής φαίνεται από μία οπτική γωνία διαφορετική της κάτοψης. Προσπάθεια δημιουργίας 3D έκδοσης του A\* (A-Star) έγινε για πρώτη φορά περίπου το 2006, όπου τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά. Το 2009, μετά από πολλές προσπάθειες, μια ομάδα προγραμματιστών δημιούργησαν μια νέα έκδοσή του, η οποία είχε ξεπεράσει πολλά από τα προβλήματα της προηγούμενης του έκδοσης. Αντίστοιχοι μέθοδοι αναπτύσσονται στο εργαστήριο μελέτης πλοίου, υπό την επίβλεψη του καθηγητή Α. Παπανικολάου.

Με την χρήση των παραπάνω αλγορίθμων, ορίζεται ως στόχος η ελαχιστοποίηση του μήκους των σωλήνων, συνεπώς του βάρους και του κόστους του και της πτώσης πίεσης. Η ελαχιστοποίηση των παραπάνω 4 μεγεθών ορίζουν, τις αντικειμενικές συναρτήσεις της διαδικασίας βελτιστοποίησης.

Παραμετρική μοντελοποίηση δεξαμενών φορτίου, έρματος και υποστηριζόμενου δικτύου σωληνώσεων με χρήση Autodesk Inventor

