

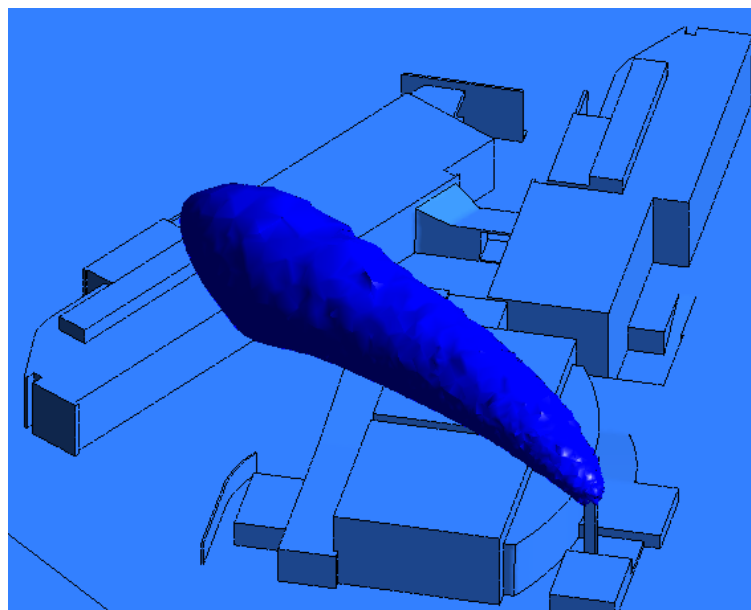


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Προσομοίωση της διασποράς αέριων ρύπων λέβητα κεντρικής θέρμανσης γύρω από κτήρια του Πολυτεχνείου Κρήτης.



Κιτσάκης Παναγιώτης

ΑΜ: 2004010069

Επιβλέπων: Ιωάννης Κ. Νικολός, Επίκουρος Καθηγητής

Χανιά 2010

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου κ. Ι.Κ. Νικολό, για την καθοδήγησή του και την βοήθεια του σε κάθε φάση δημιουργίας της. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Σαρακηνό Σωτήρη, Υποψήφιο Διδάκτορα στο τμήμα Μ.Π.Δ. του Πολ. Κρήτης, για τις χρήσιμες συμβουλές του. Θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου για την διαρκή τους υποστήριξη, που επέτρεψε την επιτυχή διεκπεραίωση των σπουδών μου. Τέλος θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου για τα όμορφα φοιτητικά χρόνια που περάσαμε μαζί.

Κιτσάκης Παναγιώτης,

Χανιά 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	Σελ.3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	Σελ.4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	Σελ.6
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	Σελ.7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
1.1 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	Σελ.8
1.2 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	Σελ.10
1.3 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΠΝΟΥ - ΔΙΑΣΠΟΡΑ - ΔΙΑΧΥΣΗ.....	Σελ.12
1.4 ΤΥΠΟΙ ΠΛΟΥΜΙΟΥ	Σελ.13
1.5 ΠΗΓΕΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ	Σελ.13
1.6 ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΡΥΠΩΝ	Σελ.15
1.7 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΑΝΑΤΑΡΑΞΕΙΣ - ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΡΥΠΩΝ.....	Σελ.17
1.8 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΡΥΠΩΝ.....	Σελ.19
1.9 ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	Σελ.20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
2.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΚΤΗΡΙΩΝ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΣΑΤΙΑ V5	Σελ.21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
3.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ	Σελ.30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
4.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ.....	Σελ.48
4.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΜΗ ΜΟΝΙΜΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ (TRANSIENT SIMULATION	Σελ.61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	
5.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	Σελ.65
5.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	Σελ.76
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	Σελ.80
ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ.....	Σελ.81

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 1.1: Πλούμιο εξαγόμενο από καμινάδα
Εικόνα 1.2: Διαταραχές Τυρβώδους Πεδίου
Εικόνα 1.3: Gaussian Plume
Εικόνα 1.4: Συντελεστές διασποράς ως συνάρτηση της απόστασης και της ατμοσφαιρικής ευστάθειας
Εικόνα 1.5: Κάτοψη Συγκροτήματος
Εικόνα 2.1: Αμφιθέατρο - Κάτοψη δώματων
Εικόνα 2.2: Σχέδιο βάσης αμφιθέατρου στο CATIA V5
Εικόνα 2.3: Δημιουργία Επιφάνειας στο CATIA V5
Εικόνα 2.4: Δημιουργία όγκου στο CATIA V5
Εικόνα 2.5α: Διαδοχικά βήματα σχεδίασης αμφιθέατρου στο CATIA V5
Εικόνα 2.5β: Διαδοχικά βήματα σχεδίασης αμφιθέατρου στο CATIA V5
Εικόνα 2.5γ: Διαδοχικά βήματα σχεδίασης αμφιθέατρου στο CATIA V5
Εικόνα 2.5δ: Διαδοχικά βήματα σχεδίασης αμφιθέατρου στο CATIA V5
Εικόνα 2.6: Πτέρυγα Μ.Π.Δ - Κάτοψη δώματων
Εικόνα 2.7: Σχέδιο βάσης πτέρυγας Μ.Π.Δ στο CATIA V5
Εικόνα 2.8: Πτέρυγα Μ.Π.Δ σχεδιασμένη στο CATIA V5
Εικόνα 2.9: Πτέρυγα Η.Μ.Μ.Υ - Κάτοψη δώματων
Εικόνα 2.10: Σχέδιο βάσης πτέρυγας Η.Μ.Μ.Υ στο CATIA V5
Εικόνα 2.11: Πτέρυγα Η.Μ.Μ.Υ σχεδιασμένη στο CATIA V5
Εικόνα 2.12: Συμπληρωματικά κτήρια των Η.Μ.Μ.Υ και Μ.Π.Δ σχεδιασμένα στο CATIA V5
Εικόνα 3.1: Όψη συγκροτήματος κτηρίων πριν την απλοποίηση
Εικόνα 3.2: Όψη συγκροτήματος κτηρίων μετά την απλοποίηση
Εικόνα 3.3: Δημιουργία επιφάνειας για την μοντελοποίηση του όγκου του αέρα
Εικόνα 3.4: Δημιουργία όγκου αέρα ύψους 40 m
Εικόνα 3.5: Ο όγκος του αέρα που περικλείει το συγκρότημα
Εικόνα 3.6: Παράμετροι ορισμού του υπολογιστικού πλέγματος
Εικόνα 3.7: Περιοχή "Default 2D Regions"
Εικόνα 3.8: Περιοχή "Top"
Εικόνα 3.9: Περιοχή "Base"
Εικόνα 3.10: Περιοχή "Inlet"
Εικόνα 3.11: Περιοχή "Outlet"
Εικόνα 3.12: Περιοχή "Wall1"
Εικόνα 3.13: Περιοχή "Wall2"
Εικόνα 3.14: Περιοχή αναφοράς του "face spacing 1"
Εικόνα 3.15: Περιοχή αναφοράς του "face spacing 2"
Εικόνα 3.16: Παράδειγμα κύβου διαστάσεων 1m και εφαρμογή των παραμέτρων του πλέγματος
Εικόνα 3.17: Παράμετροι του "face spacing 1"
Εικόνα 3.18: Παράμετροι του "face spacing 2"
Εικόνα 3.19: Παράδειγμα εφαρμογής "Inflation"
Εικόνα 3.20: Περιοχή αναφοράς του "Inflated Boundary 1"

Εικόνα 3.21: Περιοχή αναφοράς του "Inflated Boundary 2"

Εικόνα 3.22: Παράμετροι του "inflation", όπως εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία

Εικόνα 3.23: Τελικό επιφανειακό πλέγμα - Όψη 1

Εικόνα 3.24: Τελικό επιφανειακό πλέγμα - Όψη 2

Εικόνα 3.25: Λειπομέρεια στρώματος πρισμάτων

Εικόνα 3.26: Χαρακτηριστικά πλέγματος

Εικόνα 4.1: Εικόνα του υπολογιστικού χωρίου στο ANSYS CFX-PRE

Εικόνα 4.2: Το δέντρο ορισμού μεταβλητών στο ANSYS CFX-PRE

Εικόνα 4.3: Βασικές ρυθμίσεις της πυκνότητας του καπνού

Εικόνα 4.4: Γενικές ρυθμίσεις υπολογιστικού χωρίου

Εικόνα 4.5: Γενικές ρυθμίσεις υπολογιστικού χωρίου

Εικόνα 4.6: Προεπιλεγμένο υπολογιστικό χωρίο (Default Domain)

Εικόνα 4.7: Λειπομέρειες ορισμού της οριακής συνθήκης "Opening" στις αντίστοιχες επιφάνειες του υπολογιστικού χωρίου

Εικόνα 4.8: Οι επιφάνειες που συνθέτουν την οριακή συνθήκη "Atmosphere", τύπου "Opening"

Εικόνα 4.9: Λειπομέρειες από την εφαρμογή των οριακών συνθηκών στην περιοχή "Atmosphere"

Εικόνα 4.10: Λειπομέρειες από τον ορισμό της οριακής συνθήκης "Chimney" τύπου "Inlet"

Εικόνα 4.11: Θέση της οριακής συνθήκης "Chimney"

Εικόνα 4.12: Λειπομέρειες από την εφαρμογή των οριακών συνθηκών στην περιοχή "Chimney"

Εικόνα 4.13: Λειπομέρειες από τον ορισμό της οριακής συνθήκης "Inlet" τύπου "Inlet"

Εικόνα 4.14: Θέση της οριακής συνθήκης "Inlet"

Εικόνα 4.15: Λειπομέρειες από την εφαρμογή των οριακών συνθηκών στην περιοχή "Inlet"

Εικόνα 4.16: Λειπομέρειες από τον ορισμό της οριακής συνθήκης "Solid" τύπου "Wall"

Εικόνα 4.17: Θέση της οριακής συνθήκης "Solid"

Εικόνα 4.18: Λειπομέρειες από την εφαρμογή των οριακών συνθηκών στην περιοχή "Solid"

Εικόνα 4.19: Όψη των οριακών συνθηκών, όπως απεικονίζονται στο περιβάλλον του CFX PRE

Εικόνα 4.20: Simulation Type - Basic Settings

Εικόνα 4.21: Ορισμός των μαθηματικών συναρτήσεων

Εικόνα 4.22: Ρυθμίσεις Γραφήματος - ExpFunction

Εικόνα 4.23: Γράφημα "ExpFunction", που δίνει την εκθετική μεταβολή της συγκέντρωσης του καπνού στην έξοδο της καμινάδας με τον χρόνο (επιβαλλόμενη οριακή συνθήκη για την μη μόνιμη χρονικά επίλυση).

Εικόνα 4.24: Σύγκλιση των εξισώσεων ορμής και συνέχειας

Εικόνα 5.1: Χάρτης μεταβολής της στατικής πίεσης στην επιφάνεια των κτηρίων και του εδάφους

Εικόνα 5.2: Γραμμές ροής του αέρα γύρω από τα κτήρια

Εικόνα 5.3: Συγκέντρωση $2.02006e-05$ kg/m³
Εικόνα 5.4: Συγκέντρωση $1.02006e-05$ kg/m³
Εικόνα 5.5: Συγκέντρωση $6.02006e-06$ kg/m³
Εικόνα 5.6: Συγκέντρωση $4.02006e-06$ kg/m³
Εικόνα 5.7: Συγκέντρωση $2.02006e-06$ kg/m³
Εικόνα 5.8: Συγκέντρωση $1.02006e-06$ kg/m³
Εικόνα 5.9: Συγκέντρωση $4.02006e-07$ kg/m³
Εικόνα 5.10: Συγκέντρωση $1.02006e-07$ kg/m³
Εικόνα 5.11: Συγκέντρωση $2.064e-08$ kg/m³

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Pasquill-Έξι κατηγορίες σταθερότητας

Πίνακας 1.2: Pasquill- Μετεωρολογικές συνθήκες που προσδιορίζουν την κατηγορία σταθερότητας

Πίνακας 1.3: Ενδεικτικές Εκπομπές ρύπων

Πίνακας 1.4: Ταχύτητα ανέμου (km/h)

Πίνακας 5.1: Συγκεντρώσεις Καπνού - SO₂

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η προσομοίωση της διασποράς των ρύπων από λέβητα κεντρικής θέρμανσης των συμπληρωματικών κτηρίων των Τμημάτων Μ.Π.Δ. και Η.Μ.Μ.Υ. του Πολυτεχνείου Κρήτης, με λογισμικό υπολογιστικής ρευστοδυναμικής ANSYS CFX v.11. Αρχικά γίνεται βιβλιογραφική επισκόπηση του φαινομένου διασποράς ρύπων, αναφορά σε ορισμούς και ορολογίες, που αφορούν στο συγκεκριμένο θέμα, για την ευκολότερη κατανόηση του προβλήματος, καθώς και περιγραφή μαθηματικών μοντέλων διασποράς ρύπων. Στην συνέχεια γίνεται ανάλυση των ρύπων που εξέρχονται από την καμινάδα κεντρικής θέρμανσης με σκοπό τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του εξερχόμενου καπνού. Στο λογισμικό σχεδίασης CATIA V5 σχεδιάζονται τα προαναφερθέντα κτήρια και με συγκεκριμένη τεχνική (η οποία περιγράφεται αναλυτικά στην εργασία) μοντελοποιείται ο όγκος του αέρα που περιβάλλει τα κτήρια. Ο συγκεκριμένος όγκος εισάγεται στο λογισμικό υπολογιστικής ρευστοδυναμικής ANSYS CFX v.11 όπου μοντελοποιούνται οι κατάλληλες οριακές συνθήκες του προβλήματος και τελικά πραγματοποιείται η προσομοίωση της διασποράς των ρύπων. Τέλος συγκρίνονται οι τιμές συγκέντρωσης του εξερχόμενου διοξειδίου του θείου με ανώτατα επιτρεπόμενα όρια που έχουν θεσπιστεί και γίνεται ανάλυση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1.1 Βιβλιογραφική επισκόπηση

Από τη δεκαετία του '70 και μετά υπήρξε ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την παρουσία χημικών στο περιβάλλον. Σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. εντομοκτόνα, αρώματα) τα χημικά απελευθερώνονται στο περιβάλλον ηθελημένα. Σε άλλες περιπτώσεις (π.χ. CO₂, H₂S) τα χημικά εκπέμπονται στο περιβάλλον από διάφορες διεργασίες. Άλλα χημικά (π.χ. διοξίνες, NH₃, ισοκυανιούχο μεθύλιο) διαρρέουν στο υπέδαφος, στα υδάτινα συστήματα και στον αέρα λόγω ατυχημάτων. Γενικά υπάρχει δημόσιος προβληματισμός για την μακροχρόνια επίδρασή τους στο περιβάλλον, κάτι που οδήγησε σε σειρά μέτρων νόμων και οδηγιών, αναφορικά με τα επιτρεπόμενα όρια συγκέντρωσης των χημικών (μέση συγκέντρωση σε 1 ώρα, 1 μέρα, 1 χρόνο) [1].

Αντίθετα με την κοινή αντίληψη, το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αέριων ρύπων προέρχεται από φυσικές πηγές. Με τον όρο φυσικές πηγές αναφερόμαστε στις πηγές εκπομπών αέριων ρύπων που δεν οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Παρ' όλα αυτά οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα, που εμφανίστηκαν. Αυτό οφείλεται βεβαίως στην ανατροπή της φυσικής ισορροπίας αλλά επίσης και στην μεγάλη πυκνότητα των εκπομπών από ανθρωπογενείς εκπομπές, οι οποίες συγκεντρώνονται σε μικρές γεωγραφικές περιοχές (κυρίως αστικές περιοχές και βιομηχανικές ζώνες). Αντίθετα, η καλή διασπορά των φυσικών πηγών ανά την υφήλιο προσφέρει τη δυνατότητα καλύτερης ανάμιξης των ρύπων με τον καθαρό αέρα. Κατά συνέπεια, με κάποιες μικρές εξαιρέσεις, οι εκπομπές αέριων ρύπων από φυσικές πηγές από μόνες τους δεν οδηγούν σε υψηλές συγκεντρώσεις [2].

Οι σημαντικότερες **φυσικές πηγές** είναι:

1. Τα ηφαίστεια (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου, υδρόθειο και μεθάνιο).
2. Οι πυρκαγιές δασών (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα).
3. Οι ωκεανοί και γενικότερα οι θαλάσσιες εκτάσεις (κυρίως χλωριούχο νάτριο και θειικά άλατα).
4. Η βιολογική αποσύνθεση των φυτών και των ζώων (κυρίως υδρογονάνθρακες, αμμωνία και υδρόθειο).
5. Η αποσάθρωση του εδάφους (αιωρούμενα σωματίδια).
6. Τα φυτά και τα δέντρα (κυρίως υδρογονάνθρακες) [2].

Η **ανθρωπογενής ρύπανση** διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες [2]:

1. Κοινωνική ονομάζεται η περιβάλλουσα ή εξωτερική ατμοσφαιρική ρύπανση την οποία υφίσταται το σύνολο του πληθυσμού.
2. Επαγγελματική ονομάζεται η ρύπανση του εργασιακού περιβάλλοντος την οποία υφίστανται συγκεκριμένες ομάδες ή κατηγορίες εργαζομένων.
3. Προσωπική ρύπανση (κάπνισμα, διάφορα σπρέι κ.λπ.).

Οι κυριότερες **ανθρωπογενείς πηγές** είναι [2]:

- ❖ Βιομηχανικές πηγές (καύσεις, επεξεργασία).
- ❖ Παραγωγή και μεταφορά ενέργειας.
- ❖ Μεταφορές.
- ❖ Κεντρική θέρμανση.

Τα κτήρια έχουν άμεσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση πρωτογενών υλικών (κατασκευή, επισκευές), την κατανάλωση φυσικών πόρων (νερό, καύσιμα) καθώς και την παραγωγή ρύπων και οικιακών αποβλήτων. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, υπάρχουν 193 εκατ. κτήρια, τα οποία ευθύνονται για το 40% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας (το 25.9% για τα κτήρια κατοικιών) και το ένα τρίτο περίπου των εκπεμπόμενων αερίων θερμοκηπίου, από τα οποία τα δύο τρίτα οφείλονται σε κτήρια κατοικιών [3],[4].

Η κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα αποτελεί περίπου το 65% της συνολικής κατανάλωσης του κτηριακού τομέα (οικιακός και τριτογενής τομέας), φτάνοντας τους 279 Mtoe (Million Tonnes of Oil Equivalent). Η μέση ετήσια ενεργειακή κατανάλωση σε κτήρια κατοικιών κυμαίνεται μεταξύ 150-230 kWh/m² [5]. Στην Βόρεια Ευρώπη, τα καλά θερμομονωμένα κτήρια παρουσιάζουν ετήσια κατανάλωση 120-150 kWh/m², ενώ στα αποκαλούμενα «ενεργειακά αποδοτικά» κτήρια η κατανάλωση φτάνει μέχρι και 60-80 kWh/m². Στα Ευρωπαϊκά κτήρια κατοικιών, περίπου το 57% της συνολικής κατανάλωσης είναι για θέρμανση χώρων, 25% για θέρμανση νερού χρήσης και 11% για ηλεκτρισμό [6].

Τα κτήρια, επίσης, συμβάλουν σημαντικά στη ρύπανση του περιβάλλοντος, αφού ευθύνονται περίπου για το 50% των εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO₂), το 35% των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), το 25% των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (NO_x) και 10% των εκπεμπόμενων σωματιδίων [7]. Παρά το γεγονός ότι τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται για την θέρμανση χώρων και του ζεστού νερού χρήσης διαφέρουν από χώρα σε χώρα, η επικρατούσα τάση είναι η χρήση φυσικού αερίου και η όλο και λιγότερη χρήση πετρελαίου, άνθρακα και βιομάζας.

Η συσσώρευση ρύπων σε μια περιοχή εξαρτάται προφανώς από τους **ρυθμούς εκπομπής** των διαφόρων πηγών, από τους **ρυθμούς διασποράς** (και απομάκρυνσης) των ρύπων και τους **ρυθμούς παραγωγής ή καταστροφής** (μέσω χημικών αντιδράσεων). Η διασπορά των ρύπων εξαρτάται σημαντικά από τις τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες και την ατμοσφαιρική ευστάθεια (δηλ. την τάση του αέρα να μην αναμιγνύεται σε κάθετη διεύθυνση). Προφανώς εξαρτάται και από το είδος και τις ποσότητες των ρύπων. Με δυνατό άνεμο και καλή κατακόρυφη ανάμιξη οι ρύποι διασπείρονται γρήγορα σε μεγάλο όγκο αέρα [1].

1.2 Ατμοσφαιρικός κύκλος της ρύπανσης

Οι αέριοι ρύποι όταν αφήνουν την καμινάδα είναι κατά κανόνα θερμότεροι από τον περιβάλλοντα αέρα. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την αρχική ορμή που έχουν τα καυσαέρια όταν φθάνουν στην κορυφή της καμινάδας, έχει ως αποτέλεσμα το πλουμίο να ανυψώνεται μέχρι ενός ορισμένου ύψους. Το ύψος αυτό είναι βέβαια υψηλότερο του φυσικού (κατασκευαστικού) ύψους της καμινάδας και ονομάζεται **ενεργό ύψος της καμινάδας**. Η διαφορά ανάμεσα στο φυσικό και στο ενεργό ύψος της καμινάδας ονομάζεται **αρχική ανύψωση του πλουμίου**. Στις περισσότερες περιπτώσεις η αρχική ανύψωση του πλουμίου έχει πολύ μεγάλη σημασία στην ποιότητα του αέρα της περιοχής, διότι μπορεί να αυξήσει το ενεργό ύψος της καμινάδας με ένα παράγοντα 2 έως 10 φορές το κατασκευαστικό ύψος της. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η μέγιστη συγκέντρωση εδάφους είναι χονδρικά αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου του ενεργού ύψους εκπομπής, είναι φανερό ότι η ανύψωση του πλουμίου μπορεί, στη ακραία περίπτωση, να μειώσει τις συγκεντρώσεις εδάφους με ένα παράγοντα της τάξης του 100.

Ο καπνός μεταφέρεται μακριά από την πηγή από τον μέσο οριζόντιο άνεμο. Η οριζόντια μεταφορά αποτελεί τον πλέον σημαντικό μηχανισμό απομάκρυνσης και αραίωσης των ρύπων. Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ χαμηλή (άπνοια) οι συνθήκες διασποράς είναι άσχημες και υπάρχει αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης επεισοδίου ρύπανσης σε περιοχές με μεγάλη πυκνότητα εκπομπών.

Οι αναταρακτικές κινήσεις του αέρα (τυρβώδεις στρόβιλοι) είναι υπεύθυνες για την κατακόρυφη μεταφορά και την διαπλάτυνση του πλουμίου, με τελικό αποτέλεσμα την αραίωση. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται διάχυση. Η κλίμακα και η ένταση της αραίωσης εξαρτώνται από τον βαθμό ανατάραξης της ατμόσφαιρας. Σε συνθήκες ευστάθειας οι τυρβώδεις στρόβιλοι είναι μικρότερης κλίμακας και η κατακόρυφη διάχυση γίνεται αργά ενώ σε συνθήκες μεγάλης αστάθειας οι τυρβώδεις στρόβιλοι είναι μεγαλύτεροι και η διάχυση πολύ έντονη. Η διάχυση των ρύπων γίνεται μέχρι ένα συγκεκριμένο ύψος από την επιφάνεια της γης το οποίο ονομάζεται **ύψος ανάμειξης**. Το

στρώμα το οποίο περιέχεται ανάμεσα στην επιφάνεια της γης και το ύψος ανάμειξης ονομάζεται **στρώμα ανάμειξης**.

Η μεταφορά των ρύπων από την ατμόσφαιρα στο έδαφος ονομάζεται απόθεση. Γενικά ξεχωρίζουμε τρεις διαφορετικούς τύπους απόθεσης:

1. **Καθίζηση** ονομάζεται η πτώση λόγω βαρύτητας των σχετικά μεγάλων και βαρέων σωματιδίων.
2. **Ξηρή απόθεση** υφίστανται τα μικρά σωματίδια και οι αέριες ενώσεις τα οποία ακολουθούν αδρανώς τις κινήσεις του αέρα και τα οποία κατακρατούνται, όταν έρθουν σε επαφή, από την υποκείμενη επιφάνεια.
3. **Υγρή απόθεση** μπορεί να συμβεί σε κάποιο από τα παρακάτω ενδεχόμενα: Είτε σάρωση των ρύπων, οι οποίοι βρίσκονται στην ατμόσφαιρα, από την βροχή ή το χιόνι (απόπλυση), είτε πρόσληψη των ρύπων σε ένα προηγούμενο στάδιο από τα μικρά σταγονίδια του νέφους, τα οποία αργότερα ενώνονται μεταξύ τους φτιάχνοντας σταγόνες βροχής.

Κατά τον χρόνο της παραμονής τους στην ατμόσφαιρα οι ρύποι υφίστανται διάφορους χημικούς μετασχηματισμούς, λόγω αντιδράσεων είτε μεταξύ τους είτε με τα συστατικά της καθαρής ατμόσφαιρας. Η ατμόσφαιρα είναι ένα αποτελεσματικό εργαστήριο αντιδράσεων, μέσα στο οποίο διοχετεύονται χημικά ενεργά συστατικά, με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός αριθμού καινούργιων ουσιών. Οι καινούργιες ουσίες παράγονται από αέρια και υγρά, τα οποία αντιδρούν μεταξύ τους, καθώς και με τα σωματίδια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Οι χημικές αντιδράσεις των ρύπων μπορεί να δώσουν και ουσίες οι οποίες δεν είναι ρύποι. Σε πολλές περιπτώσεις όμως στα προϊόντα των χημικών αντιδράσεων περιλαμβάνονται και νέοι ρύποι, οι οποίοι ονομάζονται δευτερογενείς ρύποι, σε αντιδιαστολή με αυτούς που εκπέμπονται από τις πηγές, οι οποίοι ονομάζονται πρωτογενείς ρύποι.

Ένα μέρος της ρύπανσης διαφεύγει από το στρώμα ανάμειξης στην ελεύθερη ατμόσφαιρα. Η απουσία αναταρακτικών κινήσεων στην ελεύθερη ατμόσφαιρα έχει ως αποτέλεσμα η διάχυση και η κατακόρυφη μεταφορά των ρύπων να γίνεται με πολύ βραδύτερους ρυθμούς. Από την άλλη μεριά, οι αντίστοιχοι ατμοσφαιρικοί μηχανισμοί είναι μεγαλύτερης χωρικής και χρονικής κλίμακας, με αποτέλεσμα τα φαινόμενα να επηρεάζουν ευρύτερες περιοχές της γης [2].

1.3 Συγκέντρωση καπνού - διασπορά - διάχυση

Ως **συγκέντρωση καπνού** χαρακτηρίζεται κάποια αυθαίρετη «μέση» τιμή της συγκέντρωσης όλων των συστατικών, είτε αυτά είναι μόρια ή σωματίδια (ή σταγονίδια).

Διάχυση, ή παθητική μεταφορά, χαρακτηρίζεται η τάση των μορίων μιας ουσίας να διασπείρονται από περιοχές υψηλότερης συγκέντρωσης προς τις περιοχές μικρότερης συγκέντρωσης. Η τάση αυτή εκδηλώνεται με αντίστοιχη μετακίνηση των μορίων.

Η διασπορά ρύπων (pollutant dispersion) συνδέεται με τη διάχυση (diffusion) σε 2 επίπεδα:

1. Η **διασπορά** είναι ένα είδος ανάμιξης (δηλ. σε μικροσκοπικό επίπεδο απαιτείται διάχυση μορίων). Αυτή η μικροσκοπική «διασπορά» δεν είναι πλήρως κατανοητή, αλλά γίνεται ιδιαίτερα γρήγορα.
2. Η διασπορά και η διάχυση περιγράφονται με παρόμοιες μαθηματικές σχέσεις [1]:

$$[\text{Διασπορά}] = [\text{Μεταφορά μάζας λόγω ροής (ανέμου)}] + [\text{Διάχυση}]$$

1.4 Τύποι πλουμίου

Οι καμινάδες είναι σχεδιασμένες να εκπέμπουν καπνό. Το ρυπασμένο αέριο ρεύμα που εξέρχεται από μια καμινάδα καλείται **πλούμιο (plume)** [1].



Εικόνα 1.1: Πλούμιο εξαγόμενο από καμινάδα [1]

- ❖ **Ανωστικά πλούμια (Buoyant plumes):** Πλούμια ελαφρύτερα από τον αέρα (π.χ. καυσαέρια από καυστήρες, μεθάνιο).
- ❖ **Πυκνά πλούμια (Dense gas plumes):** Πλούμια βαρύτερα από τον αέρα (π.χ. CO₂, ψυχρά αέρια).
- ❖ **Παθητικά ή ουδέτερα πλούμια (Passive or neutral plumes):** Πλούμια με αέρια περίπου στην πυκνότητα του αέρα [1].

1.5 Πηγές διάχυσης

Οι πιο συνηθισμένοι χαρακτηρισμοί των πηγών διάχυσης είναι [1]:

- ❖ **Σημειακή πηγή (Point source):** Μια σημειακή πηγή είναι μία μοναδική, αναγνωρίσιμη πηγή εκπομπής αέριων ρύπων (π.χ. από μια καμινάδα). Σε moles/s.
- ❖ **Γραμμική πηγή (Line source):** Μία πηγή εκπομπής ρύπων που βρίσκεται σε μία γραμμή (π.χ. οι εκπομπές από έναν φορτωμένο αυτοκινητόδρομο). Σε moles/m s.
- ❖ **Επιφανειακή πηγή (Area source):** Μια επιφανειακή πηγή σε δύο διαστάσεις (π.χ. οι εκπομπές από μια δασική πυρκαγιά, εξάτμιση από μία μεγάλη διαρροή). Σε moles/m² s.

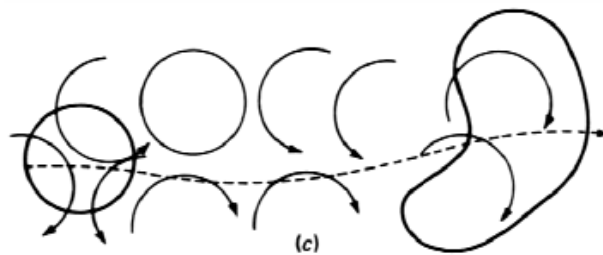
- ❖ **Πηγή όγκου (volume source):** Από μία τρισδιάστατη πηγή (π.χ. εκπομπές από ένα διωλιστήριο σε διάφορα επίπεδα). Σε moles/ m³·s.

Άλλοι χαρακτηρισμοί των πηγών διάχυσης είναι:

- ❖ Σταθερές ή κινητές (stationary or mobile).
- ❖ Αστικές ή αγροτικές (urban or rural).
- ❖ Επιφανειακές ή στο επίπεδο του εδάφους, κοντά στην επιφάνεια ή υπερυψωμένες (surface or ground-level, near surface or elevated).

Οι πηγές μπορούν επίσης να χαρακτηρίζονται από τη χρονική τους διάρκεια:

- ❖ **Στιγμιαία πηγή (puff or intermittent):** η ταχεία απελευθέρωση ποσότητας ενός υλικού στην ατμόσφαιρα, που θα διασπαρθεί από τις διαταραχές του τυρβώδους πεδίου.
- ❖ **Συνεχής πηγή (continuous):** μπορεί να θεωρηθεί ως ένας άπειρος αριθμός στιγμιαίων πηγών.



Εικόνα 1.2: Διαταραχές Τυρβώδους Πεδίου [1]

1.6 Μοντέλα διασποράς ρύπων

Τα κυριότερα μοντέλα διασποράς της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι τα ακόλουθα:

1. **Μοντέλο "κουτιού" (Box Model):** Το μοντέλο αυτό είναι το απλούστερο. Διεκπεραιώνεται σε ένα συγκεκριμένο όγκο ατμοσφαιρικού αέρα σε μια γεωγραφική περιοχή που έχει το σχήμα ενός κουτιού. Προϋποθέτει ότι οι ρύποι στο εσωτερικό του κουτιού είναι κατανεμημένοι ομοιογενώς και χρησιμοποιεί αυτή την υπόθεση για τον υπολογισμό του μέσου όρου των συγκεντρώσεων των ρύπων σε οποιοδήποτε σημείο εντός αυτού. Αν και χρήσιμο, το μοντέλο αυτό είναι πολύ περιορισμένο στην ικανότητά του να προβλεφθεί με ακρίβεια η διασπορά των αερίων ρύπων, γιατί η υπόθεση της ομοιογενούς κατανομής ρύπων είναι πολύ απλοϊκή [8].
2. **Γκαουσιανό Μοντέλο (Gaussian Model):** Το μοντέλο αυτό είναι ίσως το παλαιότερο (γύρω στο 1936) [9] και ίσως το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο. Υποθέτει ότι η διασπορά των αερίων ρύπων έχουν Gaussian κατανομή, πράγμα που σημαίνει ότι ο ρύπος διανομής έχει μια κανονική κατανομή πιθανοτήτων. Τα μοντέλα Gaussian πιο συχνά χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της διασποράς συνεχών, ανωστικών πλουμίων. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της διασποράς των μη συνεχών πλουμίων (που ονομάζεται puff models). Ο πρωταρχικός αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στα Gaussian μοντέλα είναι ο «*Generalized Dispersion Equation For A Continuous Point-Source Plume*» [10]:

$$\langle c(x,y,z) \rangle = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_x} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(z+H)^2}{\sigma_z^2}\right) \right\}$$

Όπου,

C = συγκέντρωση σε μόνιμες συνθήκες στο σημείο (x,y,z), (mg/m³)

Q = ρυθμός εκπομπής, (mg/s)

σ_y, σ_z = οριζόντια και κατακόρυφη παράμετρος εξάπλωσης (m), που είναι παράμετροι της απόστασης x και της ατμοσφαιρικής ευστάθειας.

u = μέση ταχύτητα ανέμου στο ύψος της καμινάδας, (m/s)

y = οριζόντια απόσταση από τον κεντρικό άξονα του πλουμίου, (m)

z = κατακόρυφη απόσταση από το επίπεδο του εδάφους, (m)

H = ενεργό ύψος καμινάδας (H = h + Δh), (m)

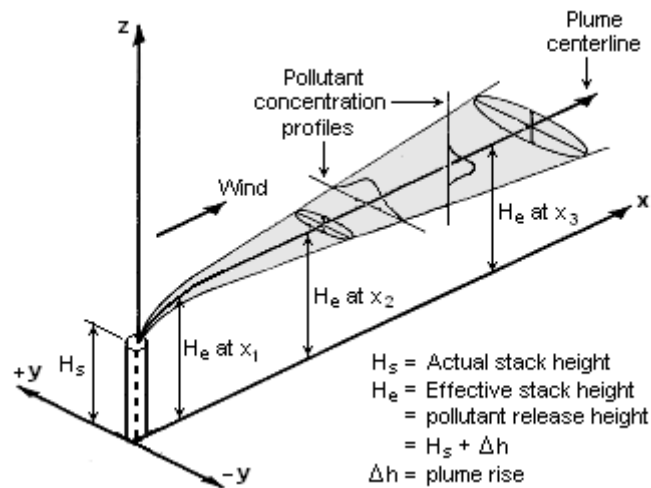
h = φυσικό ύψος καμινάδας, (m)

Δh = ανύψωση πλουμίου, (m) [1].

3. **Μοντέλο Lagrangian (Lagrangian Model):** Το συγκεκριμένο μοντέλο ακολουθεί την κίνηση κάποιων σωματιδίων (parcels) των ρύπων καθώς αυτά κινούνται στην ατμόσφαιρα και μοντελοποιεί τη κίνηση τους ως μια διαδικασία τυχαίου περιπάτου (random walk). Στη συνέχεια υπολογίζει τη διασπορά των ρύπων με υπολογισμό των στατιστικών της πορείας ενός μεγάλου αριθμού των σωματιδίων (parcels) των ρύπων. Ένα μοντέλο Lagrangian χρησιμοποιεί ένα κινούμενο πλαίσιο αναφοράς καθώς τα σωματίδια (parcels) μετακινούνται από την αρχική θέση τους. Ένας παρατηρητής του Lagrangian μοντέλου κινείται μαζί με το πλούμιο. [11]

4. **Μοντέλο Eulerian (Eulerian Model):** Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι παρόμοιο με το μοντέλο Lagrangian, δεδομένου ότι ακολουθεί επίσης την κυκλοφορία ενός μεγάλου αριθμού σωματιδίων (parcels) καθώς μετακινούνται από την αρχική θέση τους. Η πιο σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων είναι ότι το Eulerian μοντέλο χρησιμοποιεί ένα σταθερό τρισδιάστατο Καρτεσιανό σύστημα αναφοράς και όχι ένα κινούμενο σύστημα αναφοράς [11].

5. **Μοντέλα Πυκνού αέριου (Dense gas model):** Είναι μοντέλα που προσομοιώνουν τη διασπορά πυκνών πλουμίων (πλούμια βαρύτερα από τον αέρα). Τα τρία πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μοντέλα πυκνού αερίου (Dense gas model) είναι τα ακόλουθα:
 - ❖ **DEGADIS MODEL**, που αναπτύχθηκε από τους Dr. Jerry Havens και Dr. Tom Spicer στο πανεπιστήμιο του Αρκάνσας υπό την προμήθεια των US Coast Guard and US EPA. [12]
 - ❖ **SLAB MODEL**, που αναπτύχθηκε από το Lawrence Livermore National Laboratory χρηματοδοτούμενο από το αμερικανικό Υπουργείο Ενέργειας (US Department of Energy), την Αμερικανική Πολεμική Αεροπορία (US Air Force) και το American Petroleum Institute [13].
 - ❖ **HEGADAS MODEL** αναπτύχθηκε από το τμήμα έρευνας της Shell Oil Company [14].



Εικόνα 1.3: Gaussian Plume [18]

1.7 Ατμοσφαιρικές αναταράξεις - διασπορά ρύπων

Το ποσό των αναταράξεων στην ατμόσφαιρα έχει σημαντική επίδραση στη διασπορά των ρύπων, επειδή οι αναταράξεις ευνοούν την παράσυρση και την ανάμειξη του μη ρυπασμένου (καθαρού) αέρα με το πλούμιο και ως εκ τούτου συντελεί στο να μειωθεί η συγκέντρωση των ρύπων μέσα στο πλούμιο (δηλαδή, ενισχύει τη διασπορά των ρύπων στο πλούμιο). Επομένως είναι σημαντικό να κατηγοριοποιηθούν οι ατμοσφαιρικές αναταράξεις σε κάθε δεδομένη στιγμή.

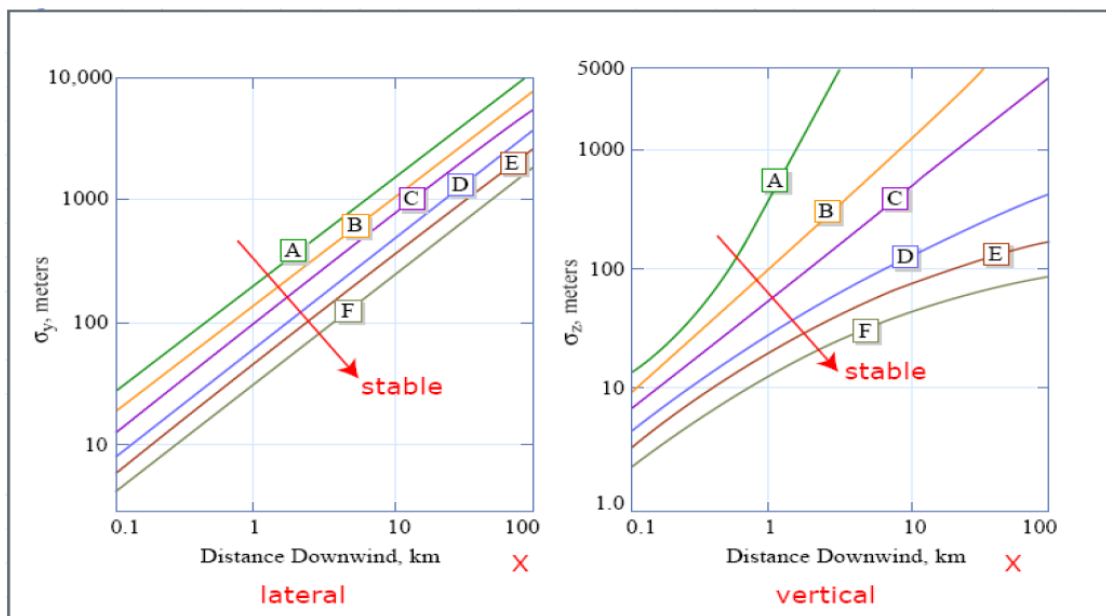
Η παλαιότερη και, για πάρα πολλά χρόνια, ευρύτερη χρησιμοποιούμενη μέθοδος κατηγοριοποίησης του ποσού των ατμοσφαιρικών αναταράξεων (atmospheric turbulence) ήταν η μέθοδος που αναπτύχθηκε από τον Pasquill το 1961 [15]. Ο Pasquill έχει χωρίσει την ατμοσφαιρική τύρβη (atmospheric turbulence) σε έξι κατηγορίες σταθερότητας που ονομάζονται A, B, Γ, Δ, E και ΣΤ με την κατηγορία A να είναι το πιο ασταθής ή πιο παραγμένη τάξη (most turbulent class) και κατηγορία F η πιο σταθερή ή λιγότερο παραχώδης κατηγορία (least turbulent class). Οι παρακάτω Πίνακες παραθέτουν τις έξι τάξεις και τις μετεωρολογικές συνθήκες που προσδιορίζουν την κάθε κατηγορία, αντίστοιχα.

Κατηγορία σταθερότητας	Χαρακτηρισμός		Κατηγορία σταθερότητας	Χαρακτηρισμός
A	πολύ ασταθής		Δ	ουδέτερος
B	ασταθής		Ε	ελαφρώς σταθερός
Γ	ελαφρώς ασταθής		ΣΤ	σταθερός

Πίνακας 1.1: Pasquill-Έξι κατηγορίες σταθερότητας [22]

Προφίλ ταχύτητας ανέμου		Ημερήσια Ηλιακή ακτινοβολία			Νυχτερινή κάλυψη σύννεφων	
m/s	mi/h	Ισχυρή	Μέτρια	Μικρή	> 50%	< 50%
< 2	< 5	A	A – B	B	Ε	ΣΤ
2 – 3	5 – 7	A – B	B	Γ	Ε	ΣΤ
3 – 5	7 – 11	B	B – Γ	Γ	Δ	Ε
5 – 6	11 – 13	Γ	Γ – Δ	Δ	Δ	Δ
> 6	> 13	Γ	Δ	Δ	Δ	Δ

Πίνακας 1.2: Pasquill- Μετεωρολογικές συνθήκες, που προσδιορίζουν την κατηγορία σταθερότητας [22]



Εικόνα 1.4: Συντελεστές διασποράς ως συνάρτηση της απόστασης και της ατμοσφαιρικής ευστάθειας [1]

1.8 Χαρακτηριστικά εξερχόμενων ρύπων

Προκειμένου να προσομοιώσουμε τον καπνό που εξέρχεται από την καμινάδα των κτηρίων χρειάστηκε να υπολογίσουμε κατά προσέγγιση την συγκέντρωσή του. Για τον σκοπό έπρεπε 1) να αναγνωριστούν οι κυριότεροι ρύποι που περιέχονται στον καπνό και 2) να υπολογιστεί η επιμέρους συγκέντρωσή τους μέσα σε αυτόν.

Οι κυριότερες μετρήσιμες εκπομπές ρύπων, που εξέρχονται από την καμινάδα κεντρικής θέρμανσης, είναι το μονοξείδιο του άνθρακα CO, το διοξείδιο του θείου SO₂, τα οξείδια του αζώτου NO_x, οι υδρογονάνθρακες C_xH_y και η αιθάλη.

Για να υπολογιστεί η επιμέρους συγκέντρωση του καθενός παραπάνω ρύπου μέσα στον καπνό χρησιμοποιήσαμε κάποιες δειγματοληπτικές μετρήσεις, που πραγματοποιήθηκαν στις πόλεις Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Λάρισα με σκοπό την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης της ρύπανσης, που προκαλείται από τη λειτουργία των εγκαταστάσεων Κεντρικής Θέρμανσης και τη δημιουργία υποδομής για την καταγραφή των εκπομπών [17].

Αέριοι Ρύποι				
CO (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	C _x H _x ανηγμένοι σε C ₃ H ₈ (mg/m ³)	Αιθάλη (mg/m ³)
165	220	187	569	6

Πίνακας 1.3: Ενδεικτικές Εκπομπές ρύπων [17]

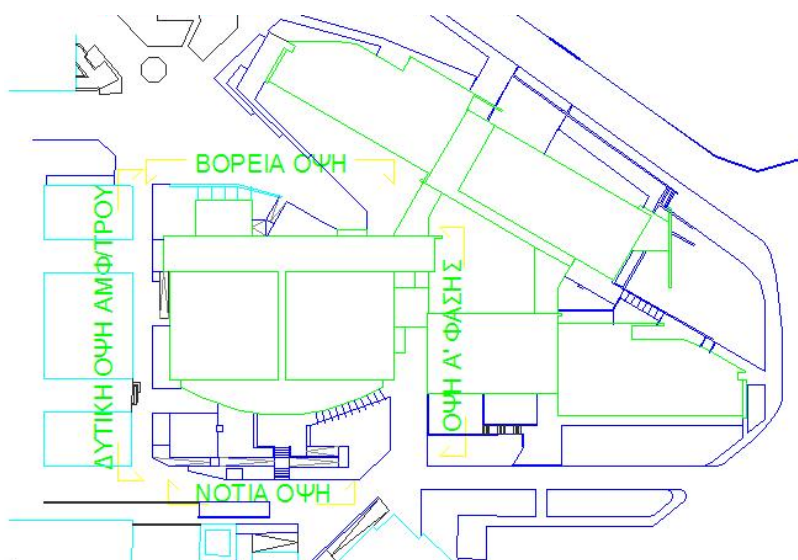
$$\begin{aligned} \text{Συγκέντρωση καπνού} &= \sum_{1}^n C(i), \text{όπου } C(i) \text{ η συγκέντρωση κάθε στοιχείου} \\ &= C(1) + C(2) + C(3) + C(4) + C(5) = \\ &= 165+220+187+569+6=1147 \text{ mg/m}^3=0.001147 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

1.9 Ανεμολογικά δεδομένα

Year	Month	Average	HI	DATE	DIR
2009	1	10,2	90,1	22	SW
2009	2	12,4	80,5	4	SW
2009	3	11,1	69,2	5	SW
2009	4	9,3	56,3	15	E
2009	5	6,4	46,7	1	SW
2009	6	8,4	51,5	3	W
2009	7	8,6	45,1	11	SW
2009	8	6,4	37	6	NNW
2009	9	6,2	45,1	24	NNW
2009	10	7,5	59,5	25	SW
2009	11	8	56,3	4	SW
2009	12	9,5	61,2	15	SW
		8,6	90,1	JAN	SW

Πίνακας 1.4: Ταχύτητα ανέμου(km/h) [19]

Η προσομοίωση της συγκεκριμένης μελέτης θα πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τα ανεμολογικά δεδομένα του έτους 2009 [19]. Στον παραπάνω Πίνακα 1.4 δίνονται οι μέσες τιμές της ταχύτητας του ανέμου για κάθε μήνα καθώς και η κατευθύνσεις του. Επομένως για όλο το έτος του 2009 η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι **8,6 km/h** και η κατεύθυνσή του είναι **νοτιοδυτική(SW)**.



Εικόνα 1.5: Κάτοψη Συγκροτήματος

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2.1 Σχεδιασμός συγκροτήματος κτηρίων στο λογισμικό CATIA V5

Ο σχεδιασμός των συμπληρωματικών κτηρίων των Τμημάτων Η.Μ.Μ.Υ. και Μ.Π.Δ. πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό CATIA V5 βάση των διαθέσιμων αρχιτεκτονικών σχεδίων. Η μελέτη αφορά στη ροή αέρα έξω και γύρω από τα κτήρια και για τον λόγο αυτό τα κτήρια στο εσωτερικό τους σχεδιάστηκαν συμπαγή.

Οι κυριότερες εντολές που χρησιμοποιήθηκαν για τον σχεδιασμό των κτηρίων στο CATIA V5 είναι οι εξής:

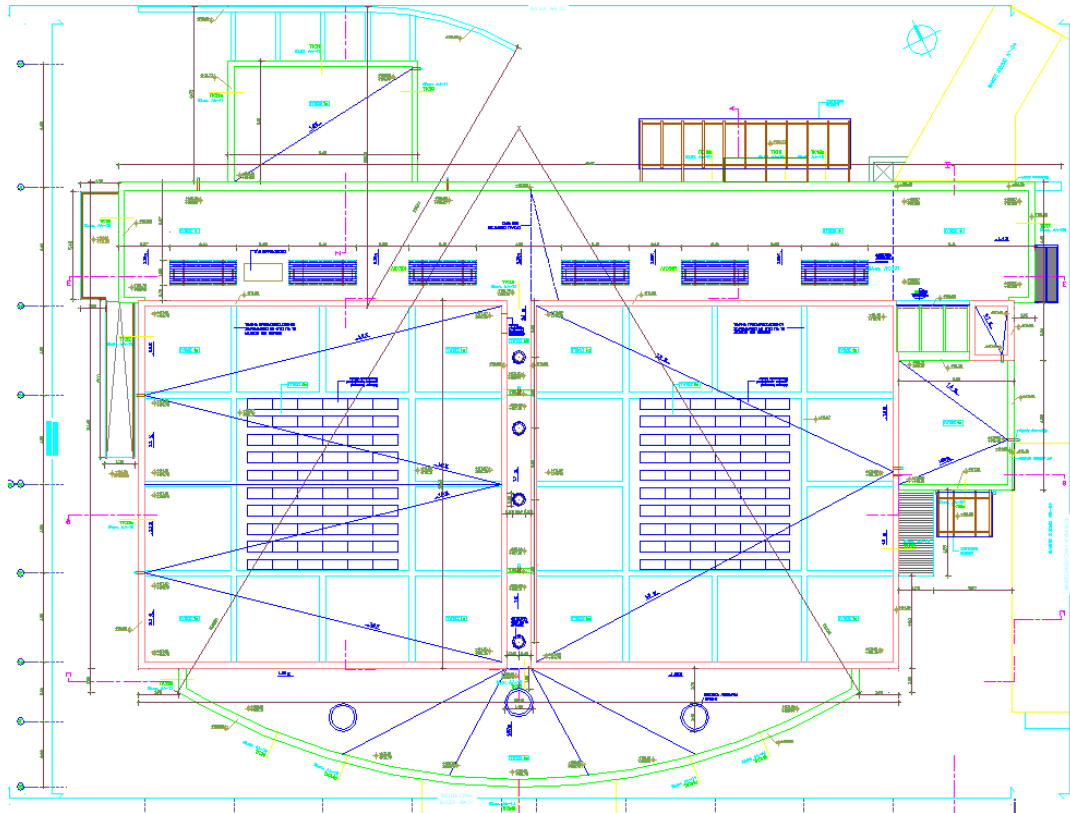
1. Η δημιουργία συστήματος συντεταγμένων (axis system).
2. Η δημιουργία επιφάνειας ως οδηγό (plane).
3. Η δημιουργία σημείου (point).
4. Η δημιουργία γραμμής (line).
5. Η δημιουργία επιφάνειας (fill).
6. Η δημιουργία όγκου (volume extrude).
7. Η δημιουργία κύκλου-τόξου (circle).
8. Η ένωση στοιχείων (join).
9. Η δημιουργία κλειστής επιφάνειας (close surface).
10. Η δημιουργία καμπύλου γεωμετρικού σχήματος (sweep).
11. Η ενσωμάτωση στοιχείων (add).
12. Η αφαίρεση μιας γεωμετρίας από κάποια άλλη (remove).

Τα γενικά βήματα που ακολουθήθηκαν κατά τον σχεδιασμό είναι τα ακόλουθα:

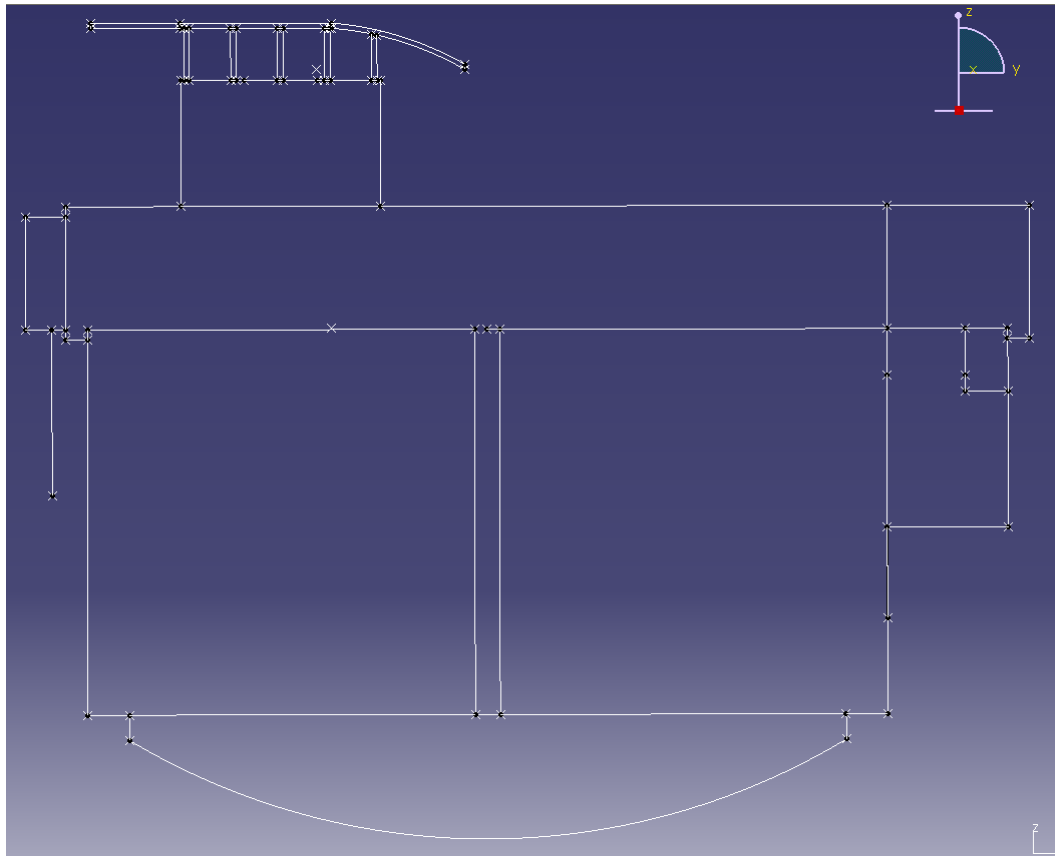
1. Δημιουργία ενός συστήματος συντεταγμένων.
2. Δημιουργία σημείου αναφοράς το (0,0,0).
3. Τοποθέτηση σημείων που οριοθετούν τη βάση του κάθε κτηρίου με βάση τις διαστάσεις των αρχιτεκτονικών σχεδίων.
4. Τοποθέτηση γραμμών ανάμεσα στα σημεία.
5. Δημιουργία επιφανειών, που περικλείονται από τις παραπάνω γραμμές.
6. Δημιουργία όγκων.
7. Δημιουργία εδάφους από τα τοπογραφικά σχέδια.
8. Περαιτέρω επεξεργασία των κτηρίων για την δημιουργία λεπτομερειών στην εξωτερική γεωμετρία των κτηρίων.

Ο σχεδιασμός του συγκροτήματος ξεκίνησε με αυτόν του κτηρίου του αμφιθέατρου.

- Αρχικά εισήχθησαν όλα τα σημεία, που σχηματίζουν την βάση του αμφιθέατρου (βάση του αρχιτεκτονικού σχεδίου) και ενώθηκαν με τις απαραίτητες γραμμές.

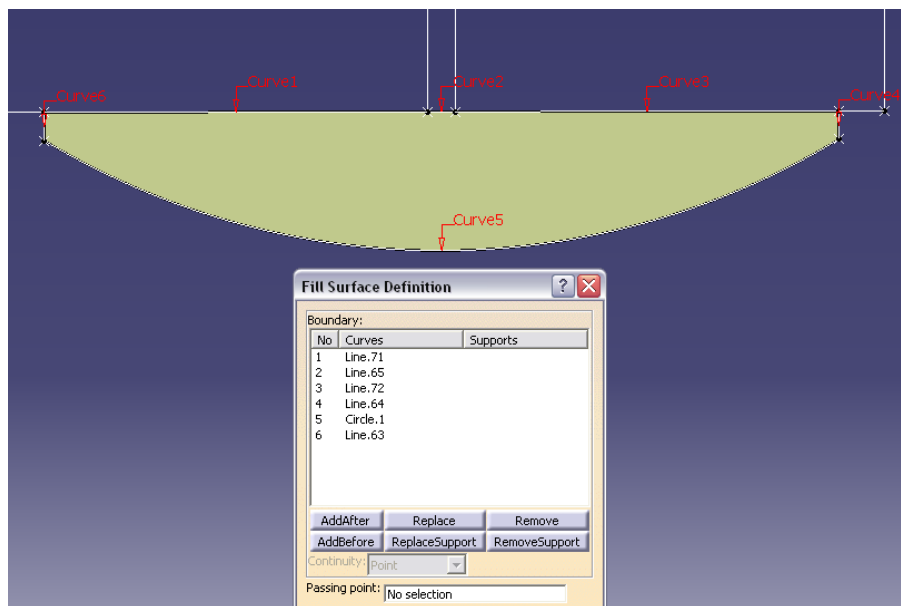


Εικόνα 2.1: Αμφιθέατρο - Κάτοψη δωμάτων



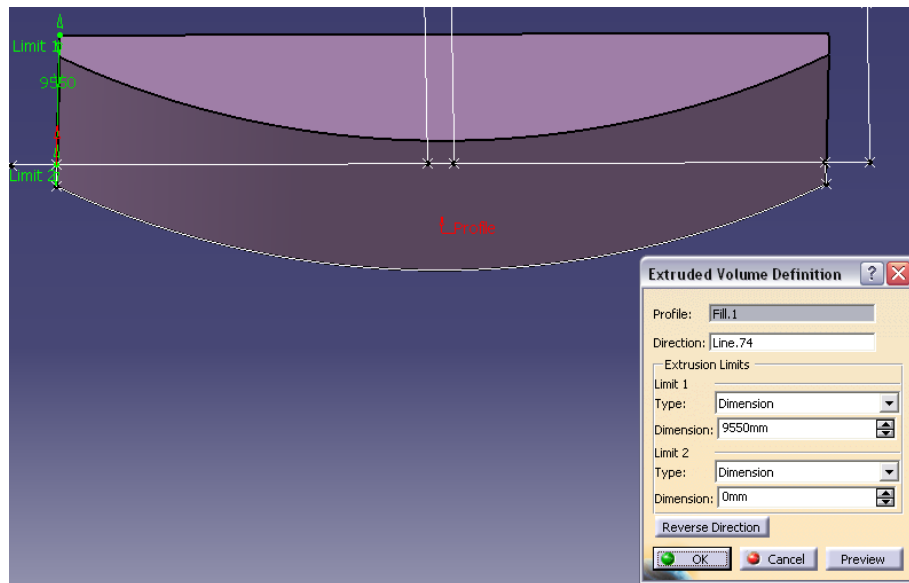
Εικόνα 2.2: Σχέδιο βάσης αμφιθέατρου στο CATIA V5

- Στο μπροστινό μέρος του αμφιθέατρου, που αποτελεί και την κεντρική είσοδο του κτηρίου, δημιουργούμε μια επιφάνεια (Εντολή: Fill) που περικλείεται από τις γραμμές line.71 , line.65 , line.72 , line.64 , line.63 και το τόξο Circle.1.



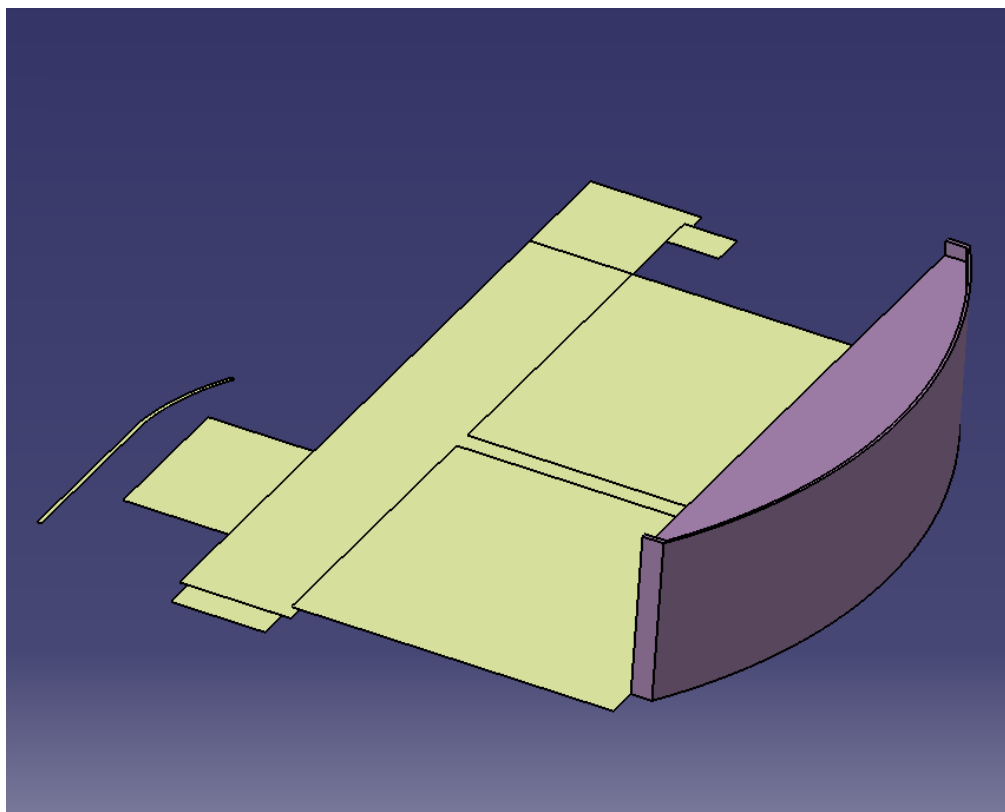
Εικόνα 2.3: Δημιουργία Επιφάνειας στο CATIA V5

- Στην συνέχεια την παραπάνω επιφάνεια την κάνουμε όγκο (Εντολή: Volume Extrude) εισάγοντας το αντίστοιχο ύψος του κτηρίου, που είναι 9,55 m.

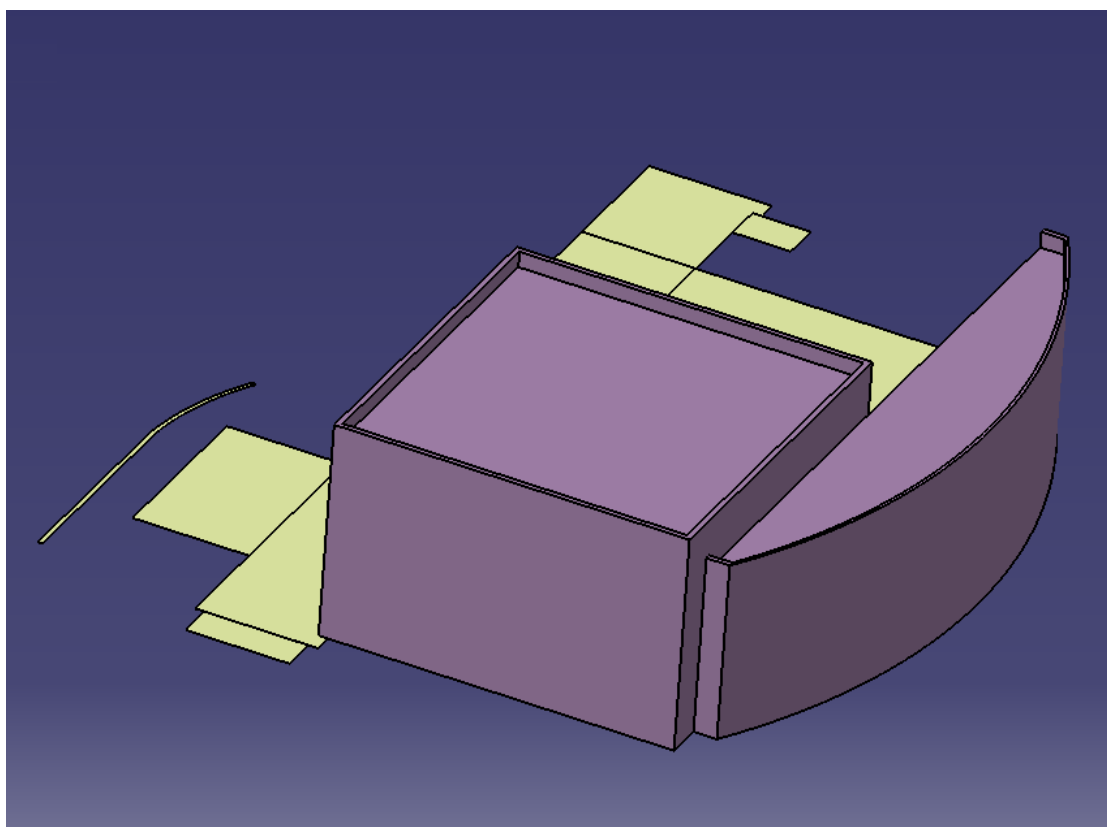


Εικόνα 2.4: Δημιουργία όγκου στο CATIA V5

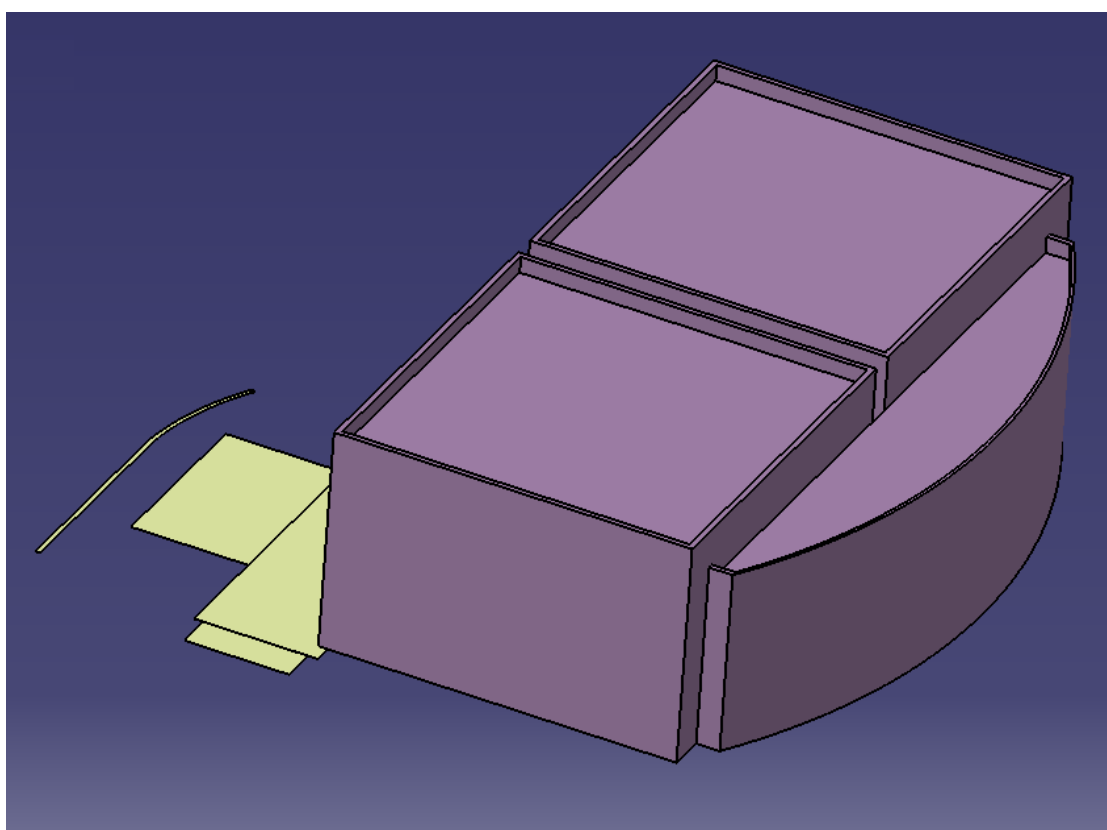
Ακολουθώντας παρόμοια βήματα δημιουργούμε τις υπόλοιπες επιφάνειες και τους όγκους του αμφιθέατρου, όπως φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν.



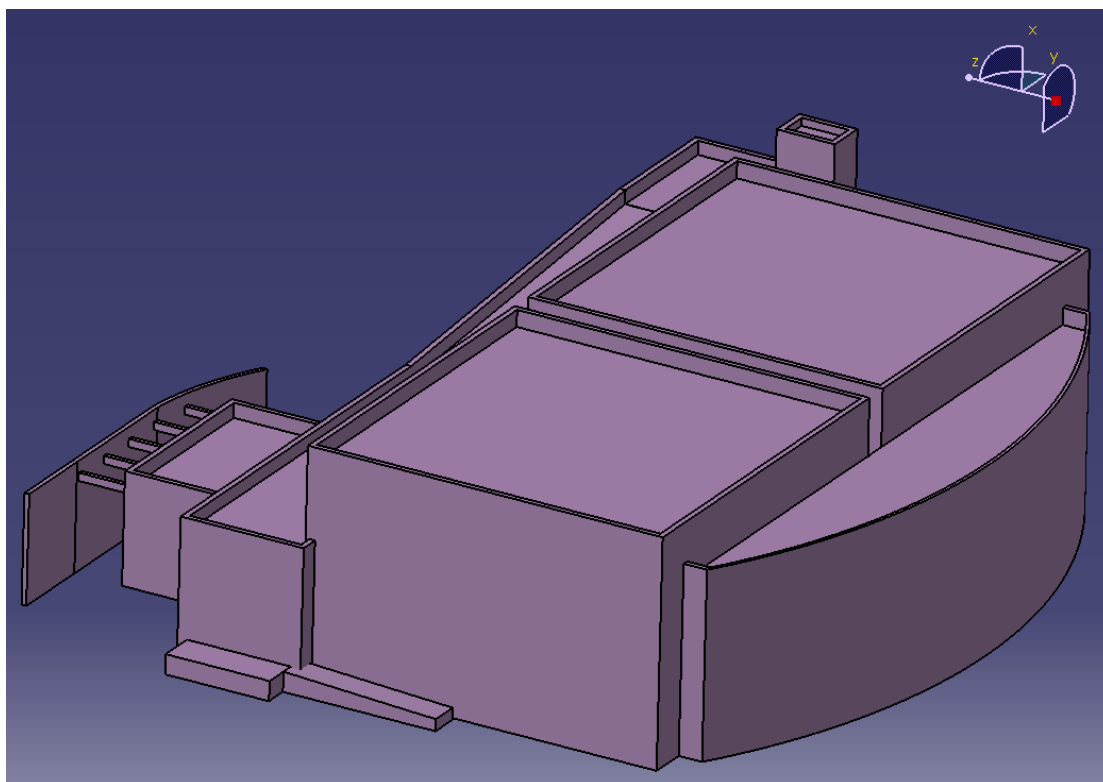
Εικόνα 2.5α: Διαδοχικά βήματα σχεδίασης αμφιθέατρου στο CATIA V5



Εικόνα 2.5β: Διαδοχικά βήματα σχεδίασης αμφιθέατρου στο CATIA V5

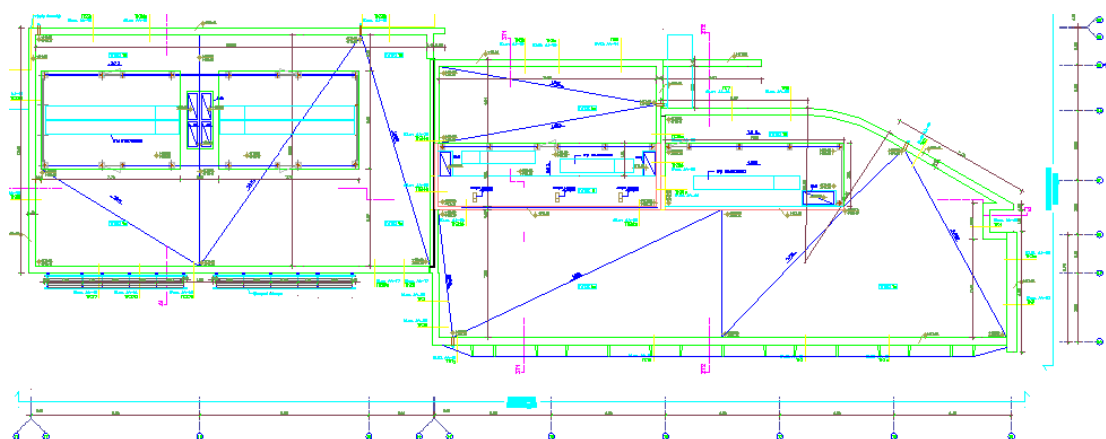


Εικόνα 2.5γ: Διαδοχικά βήματα σχεδίασης αμφιθέατρου στο CATIA V5

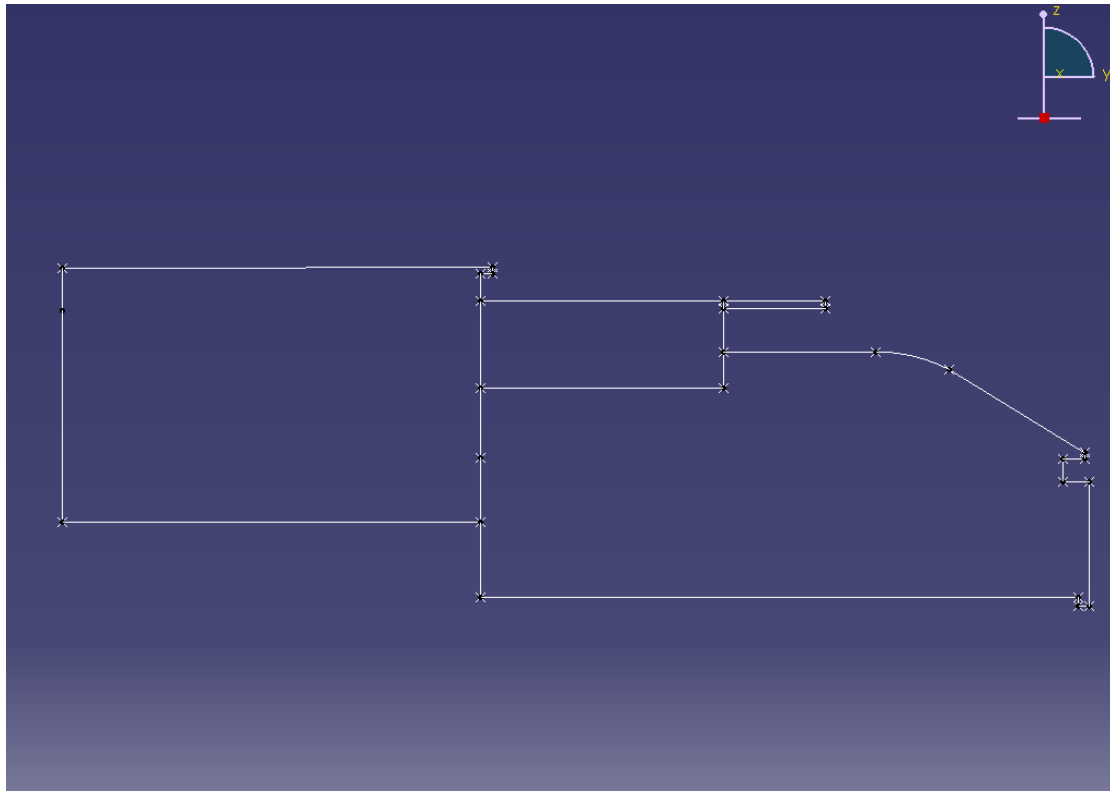


Εικόνα 2.5δ: Διαδοχικά βήματα σχεδίασης αμφιθέατρου στο CATIA V5

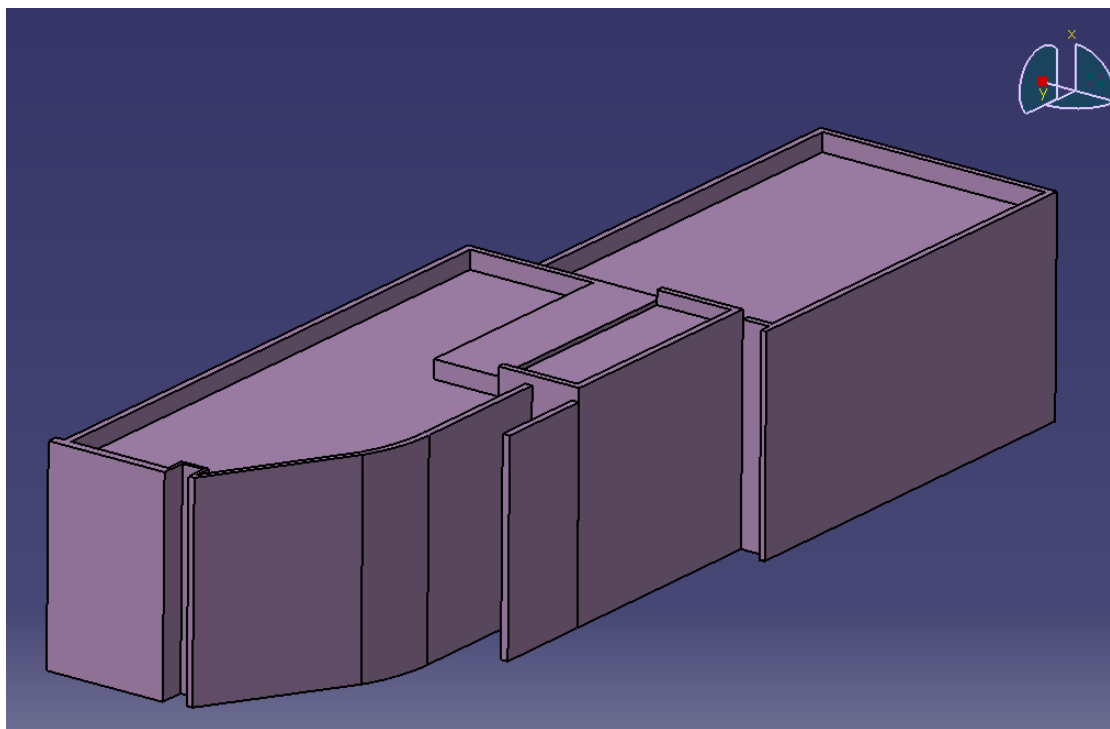
Ακολουθώντας παρόμοια διαδικασία δημιουργούμε και τα υπόλοιπα κτήρια του συγκροτήματος.



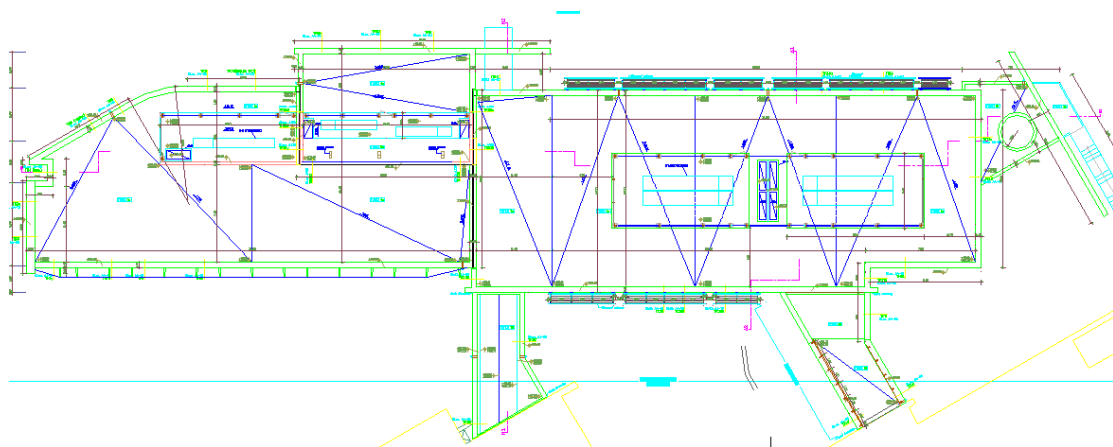
Εικόνα 2.6: Πτέρυγα Μ.Π.Δ - Κάτοψη δωμάτων



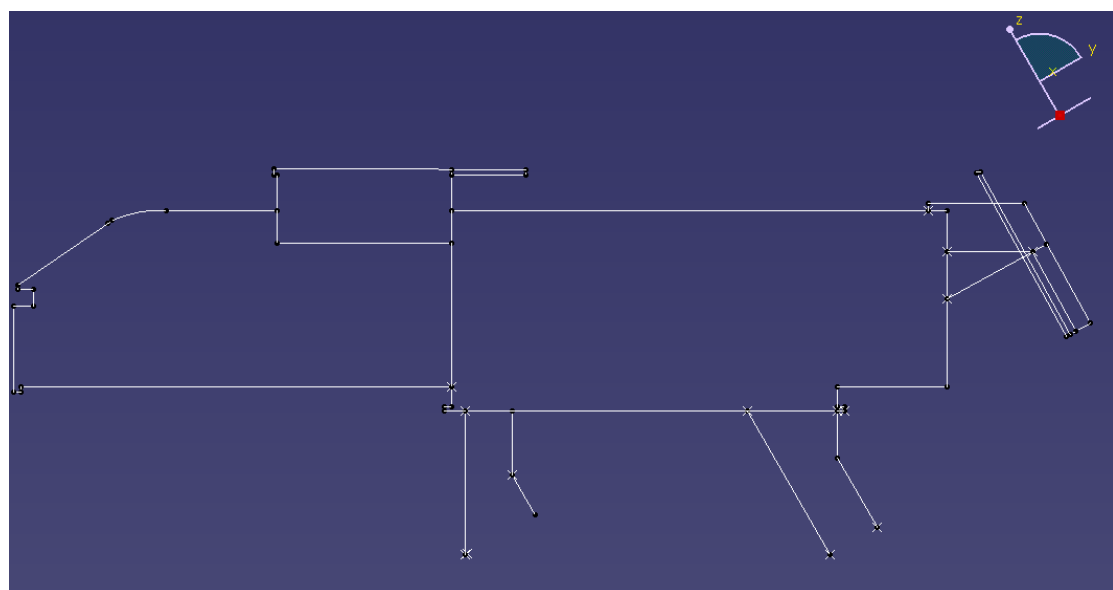
Εικόνα 2.7: Σχέδιο βάσης πτέρυγας Μ.Π.Δ στο CATIA V5



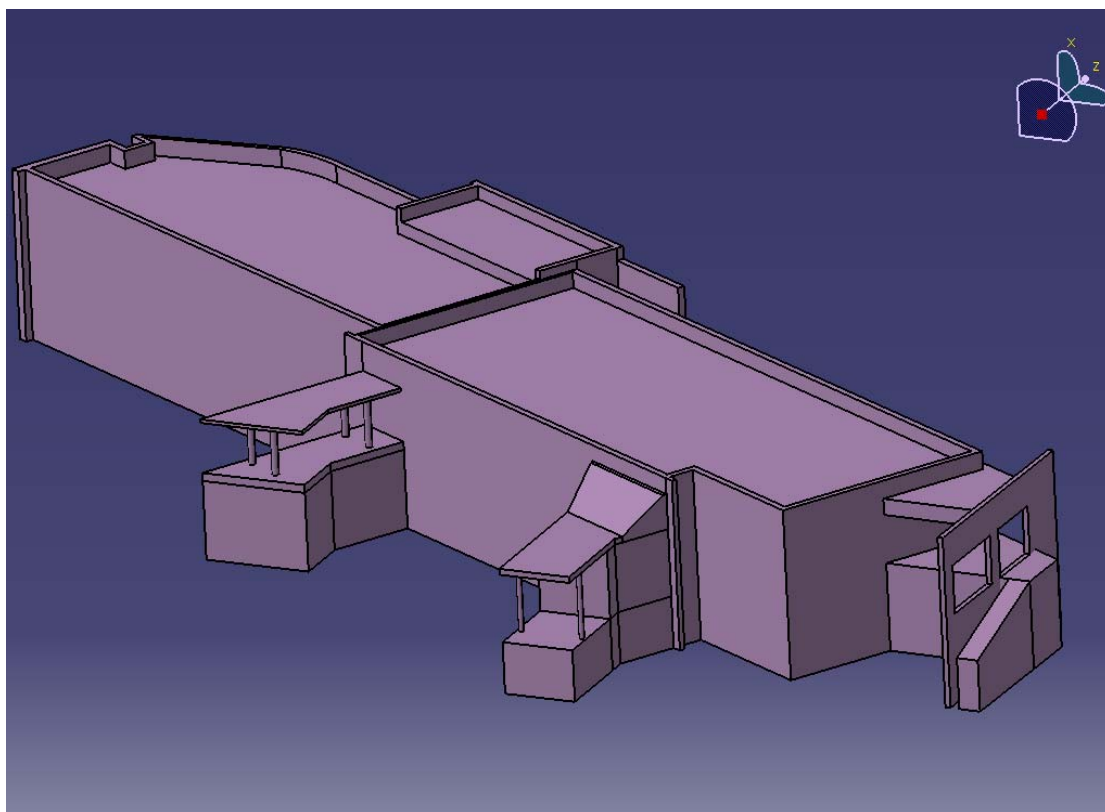
Εικόνα 2.8: Πτέρυγα Μ.Π.Δ. σχεδιασμένη στο CATIA V5



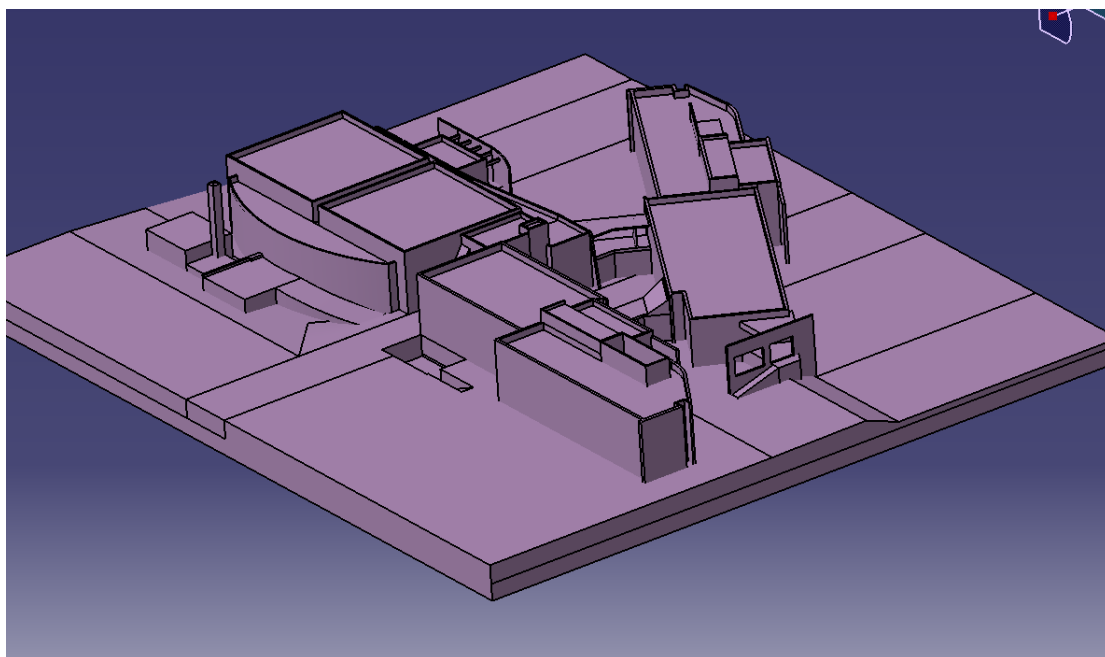
Εικόνα 2.9: Πτέρυγα Η.Μ.Μ.Υ - Κάτοψη δωμάτων



Εικόνα 2.10: Σχέδιο βάσης πτέρυγας Η.Μ.Μ.Υ στο CATIA V5



Εικόνα 2.11: Πτέρυγα Η.Μ.Μ.Υ σχεδιασμένη στο CATIA V5



Εικόνα 2.12: Συμπληρωματικά κτήρια των Τμημάτων Η.Μ.Μ.Υ. και Μ.Π.Δ., σχεδιασμένα στο CATIA V5

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

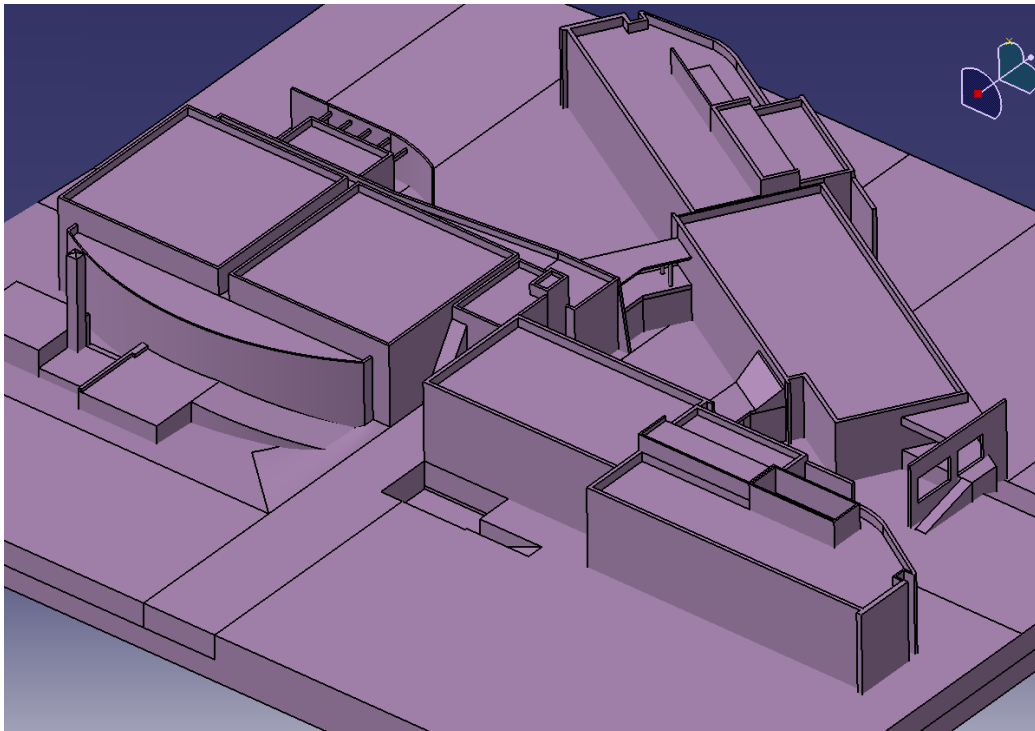
3.1 Δημιουργία του πλέγματος

Προκειμένου να μελετηθεί η ροή μάζας του αέρα και η διασπορά των ρύπων γύρω από το συγκρότημα κτηρίων, πρέπει να δημιουργηθεί το υπολογιστικό πλέγμα που περικλείει τα κτήρια και να μοντελοποιηθούν οι κατάλληλες οριακές συνθήκες. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ANSYS CFX v11.0.

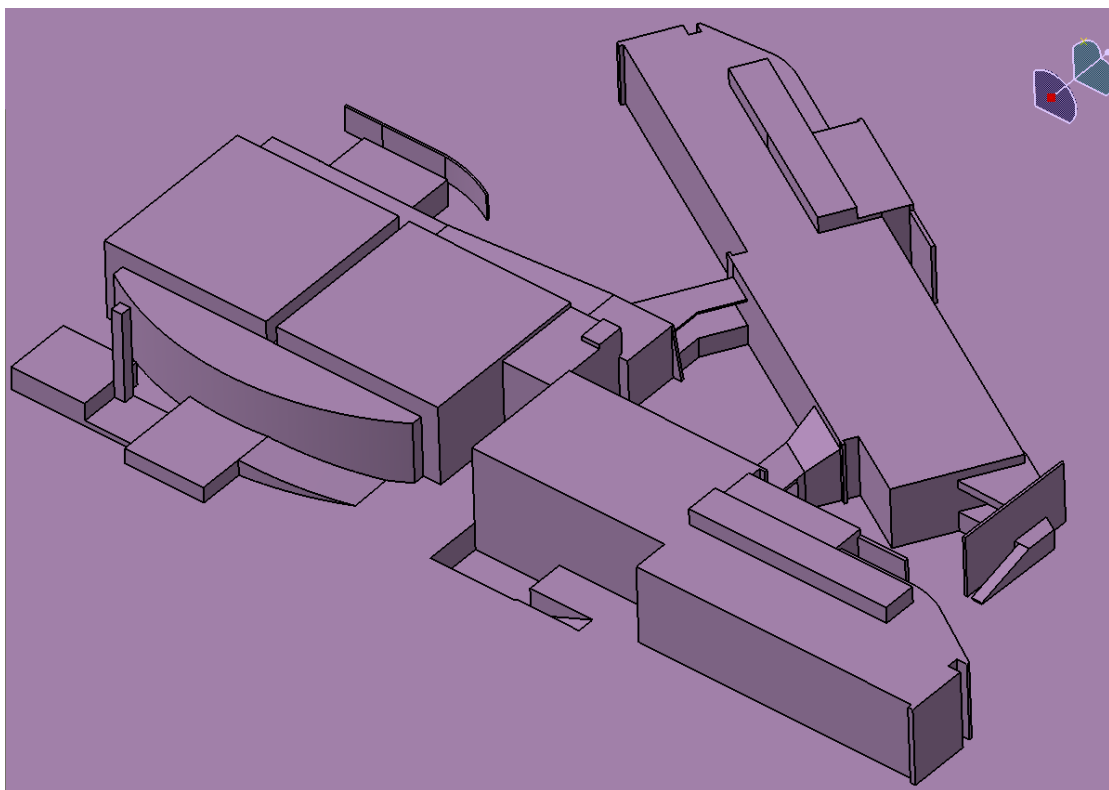
Στο τελικό σχέδιο των κτηρίων πραγματοποιήθηκαν κάποιες απλοποιήσεις, με σκοπό την απλοποίηση και του πλέγματος που θα δημιουργηθεί. Οι απλοποιήσεις που έγιναν είναι οι εξής:

- Αφαίρεση λεπτομερειών στις ταράτσες των κτηρίων.
- Αφαίρεση κολονών από τους διαδρόμους επικοινωνίας των κτηρίων.
- Αφαίρεση παραθύρων και πορτών στην ανατολική πλευρά του κτηρίου του Τμήματος Η.Μ.Μ.Υ.
- Αφαίρεση των στηριγμάτων της πέργολας στη βόρεια πλευρά του αμφιθέατρου.
- Απλοποίηση γεωμετρίας εδάφους - καθορισμός κατάλληλων διαστάσεων του εδάφους για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση - προσανατολισμός των κτηρίων σύμφωνα με τα ανεμολογικά δεδομένα με σκοπό η "είσοδος" του ανέμου να είναι από την νοτιοδυτική πλευρά.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω απλοποιήσεων παρουσιάζονται στις εικόνες που ακολουθούν.



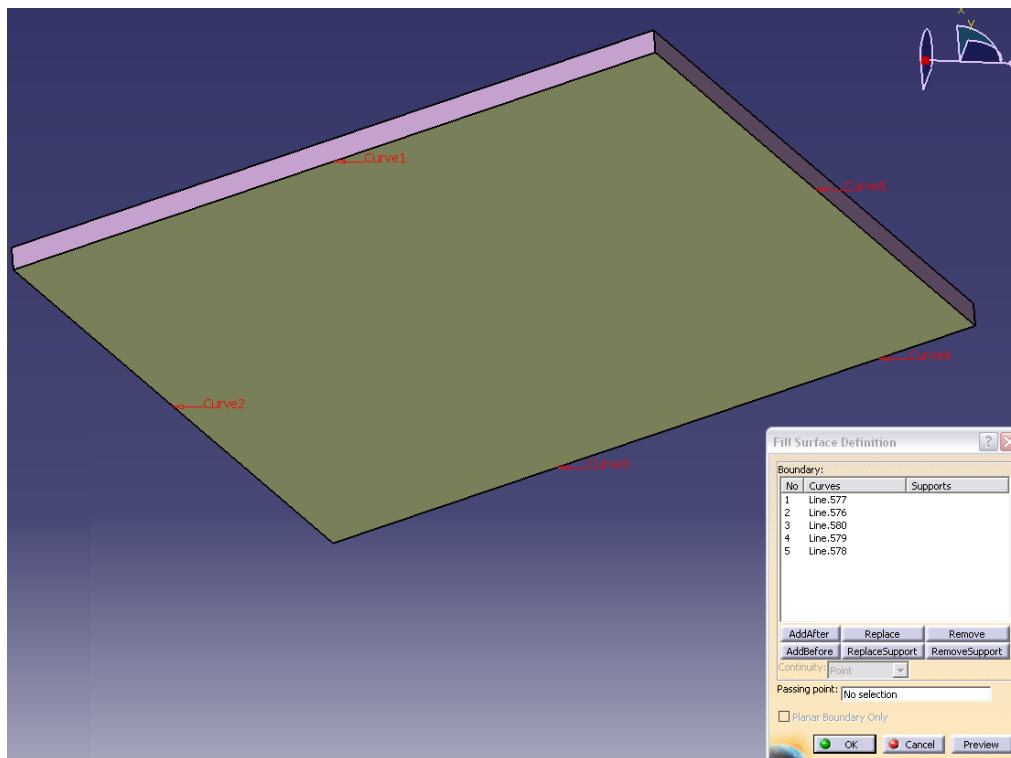
Εικόνα 3.1: Όψη συγκροτήματος κτηρίων πριν την απλοποίηση



Εικόνα 3.2: Όψη συγκροτήματος κτηρίων μετά την απλοποίηση

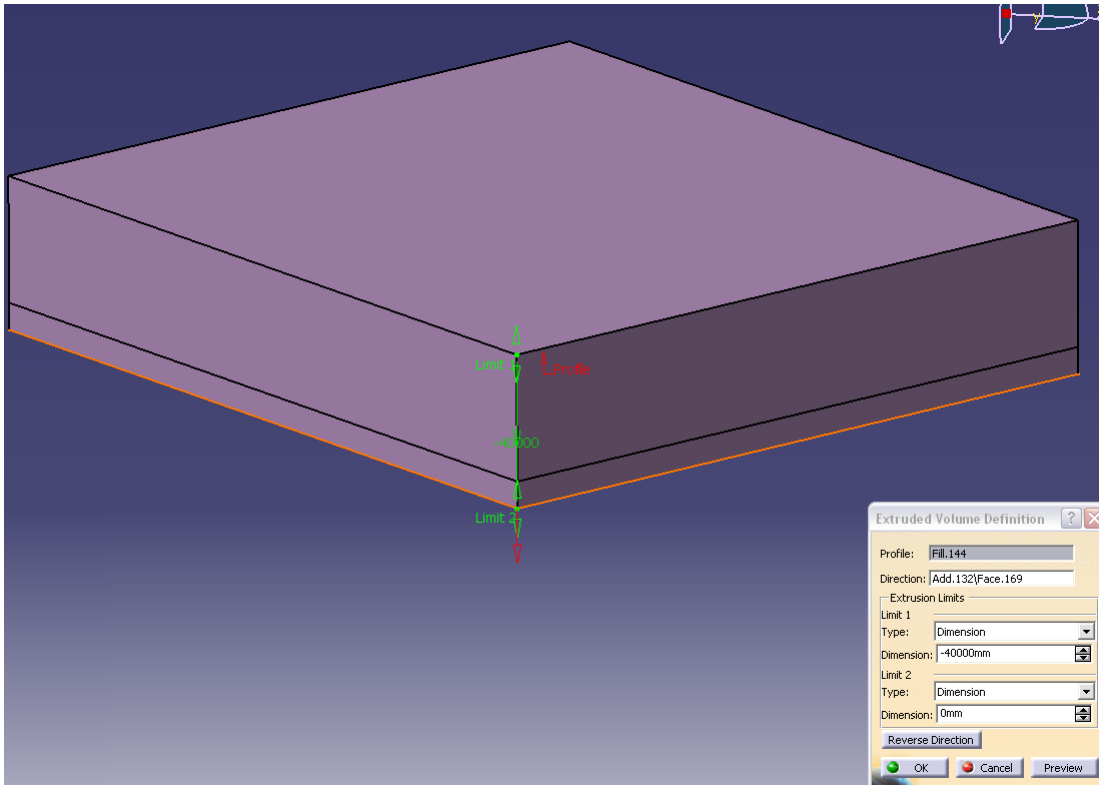
Η μοντελοποίηση του χώρου ροής του αέρα, που περιβάλλει το συγκρότημα, πραγματοποιήθηκε στα ακόλουθα βήματα:

1. Σχεδιάστηκε μια επιφάνεια (Εντολή: Fill) περιμετρικά του εδάφους, που εφάπτεται σε αυτό.



Εικόνα 3.3: Δημιουργία επιφάνειας για την μοντελοποίηση του όγκου του αέρα

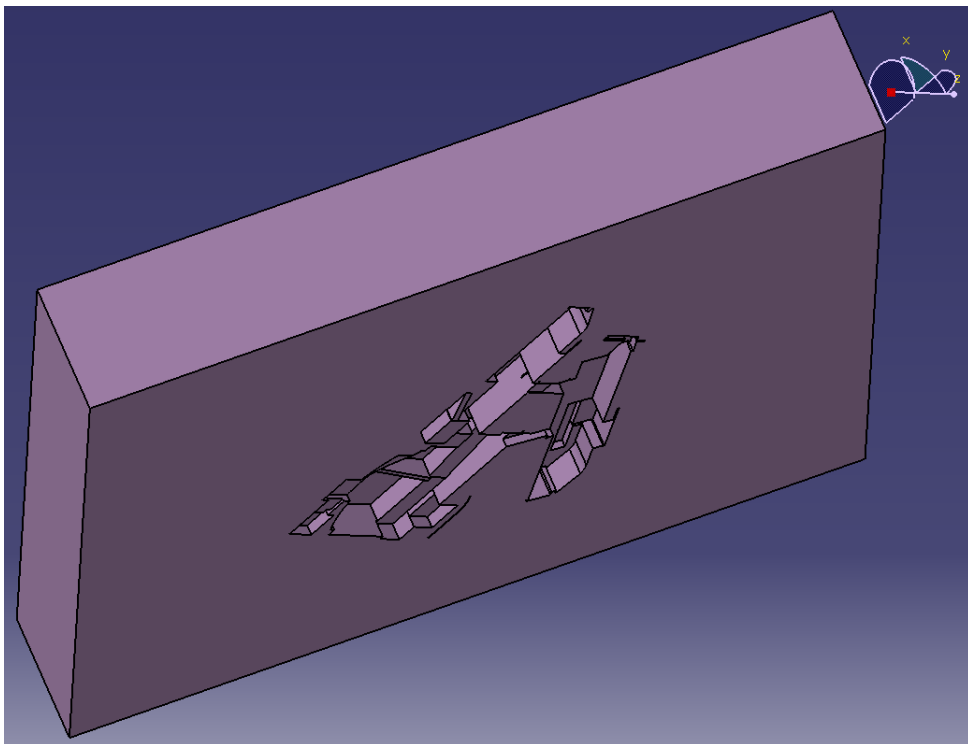
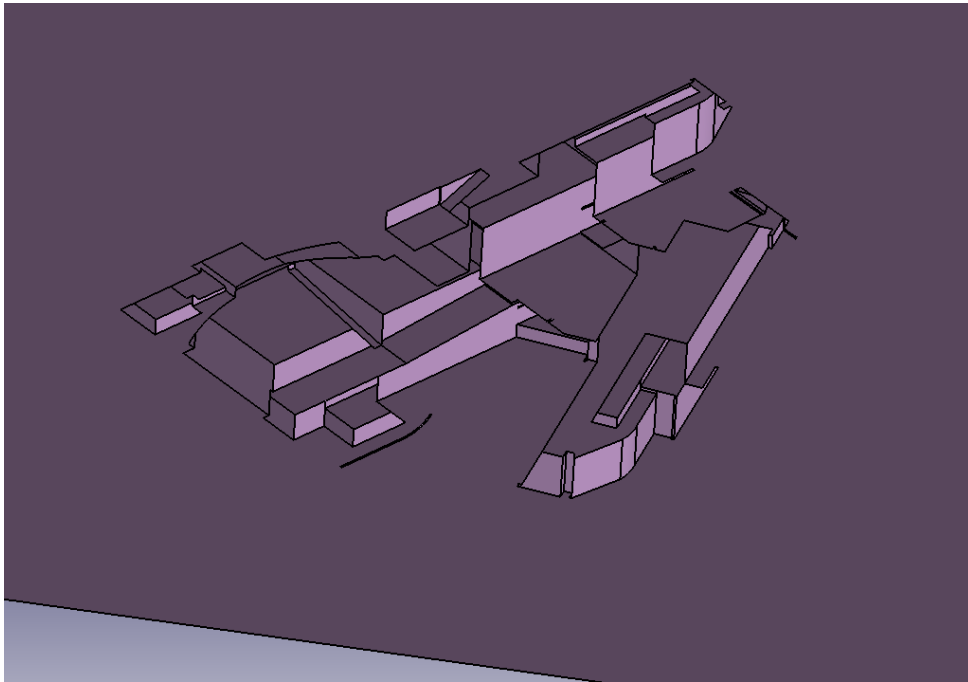
2. Δημιουργία όγκου (Εντολή: Volume Extrude) ύψους 40 m από την επιφάνεια, που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο βήμα.



Εικόνα 3.4: Δημιουργία όγκου ύψους 40 m

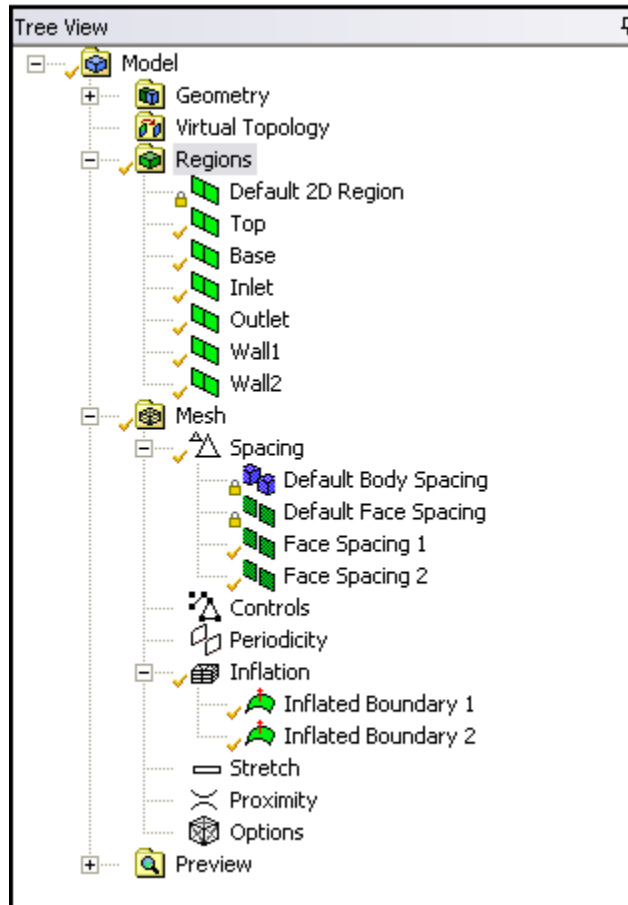
3. Αφαίρεση (Εντολή: Remove) του αρχικού όγκου των κτηρίων από τον νέο όγκο, που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο βήμα.

Τελικά προκύπτει η συγκεκριμένη γεωμετρία, όπως φαίνεται παρακάτω, που αντιπροσωπεύει τον αέρα που περιβάλλει το συγκρότημα των κτηρίων.



Εικόνα 3.5: Ο όγκος του αέρα που περικλείει το συγκρότημα

Η τελική γεωμετρία που προκύπτει εισάγεται στο λογισμικό ANSYS CFX 11.0 και γίνεται ο απαραίτητος καθορισμός των παραμέτρων για τη δημιουργία του υπολογιστικού πλέγματος. Οι παράμετροι που προσδιορίζονται, όπως φαίνονται στην ακόλουθη Εικόνα 3.6, είναι:

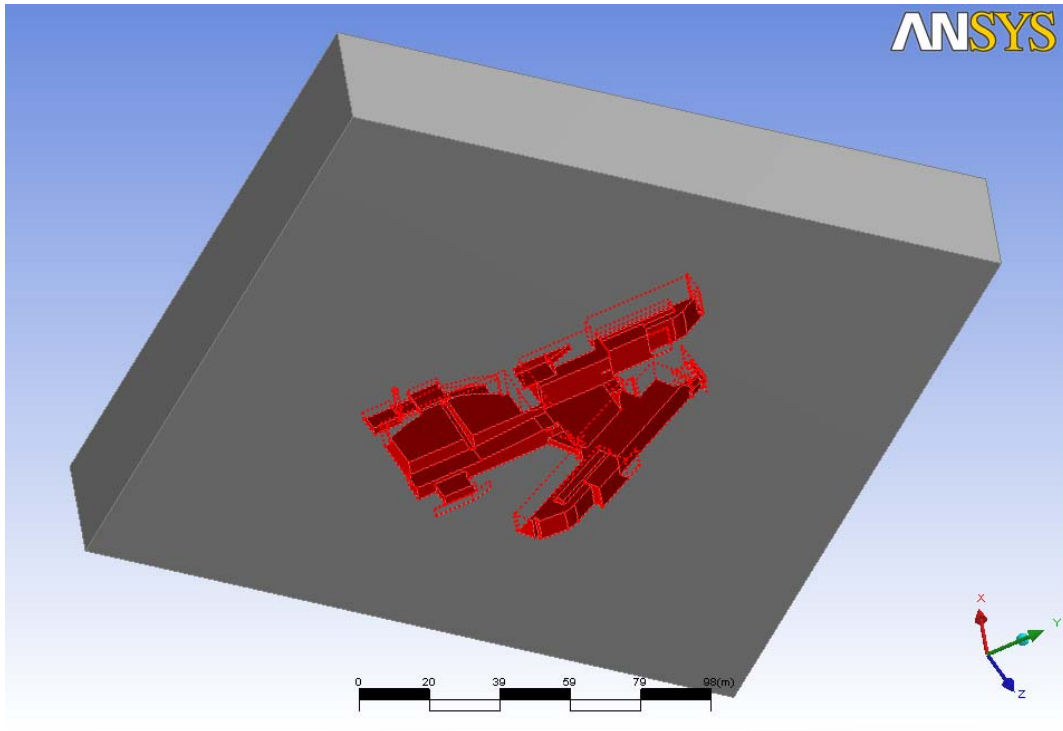


Εικόνα 3.6: Παράμετροι ορισμού του υπολογιστικού πλέγματος

1. Regions

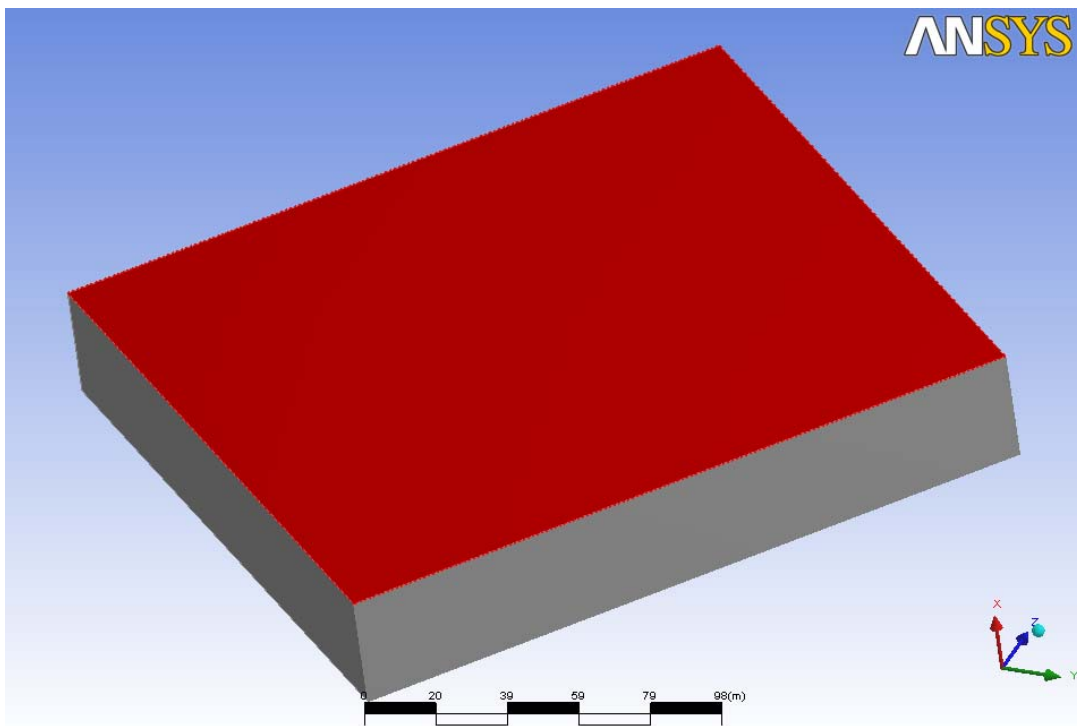
Στο συγκεκριμένο πεδίο προσδιορίζονται οι περιοχές του προς μελέτη όγκου για να είναι ξεκάθαρο στο εξής σε πια πλευρά αναφερόμαστε. Έτσι προκύπτουν τα συγκεκριμένα "regions":

- ❖ Default 2D Regions: Αντιπροσωπεί όλα τα κτήρια του συγκροτήματος.



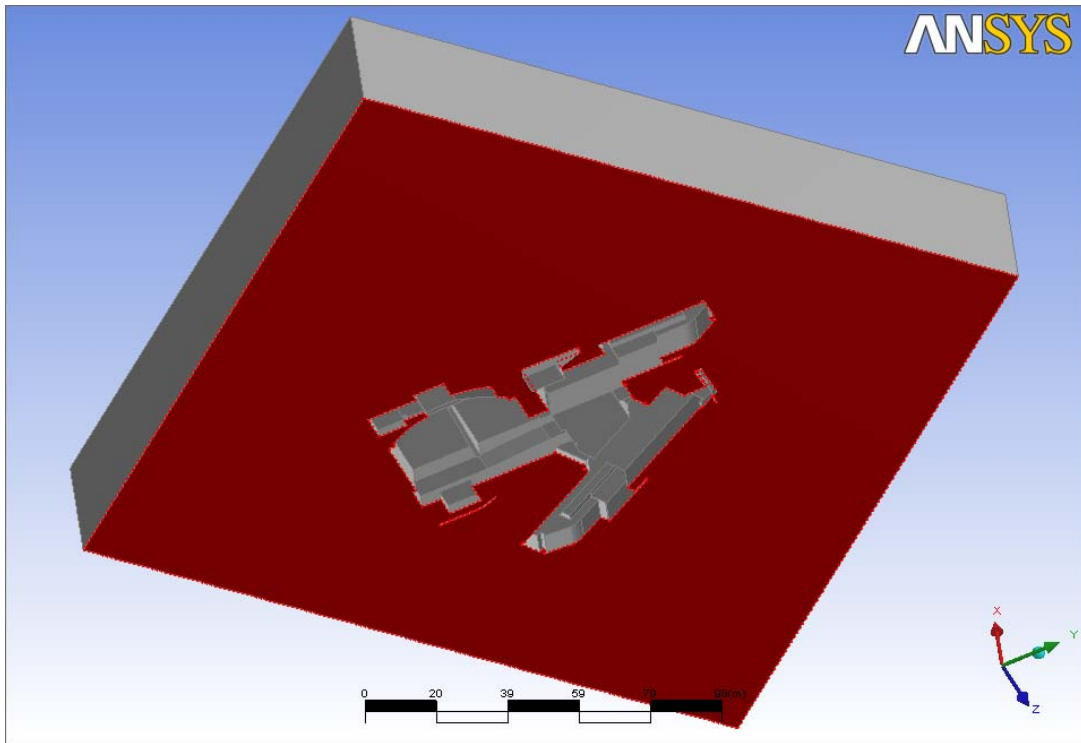
Εικόνα 3.7: Περιοχή "Default 2D Regions"

- ❖ Top: Αντιπροσωπεί την πάνω πλευρά του όγκου.



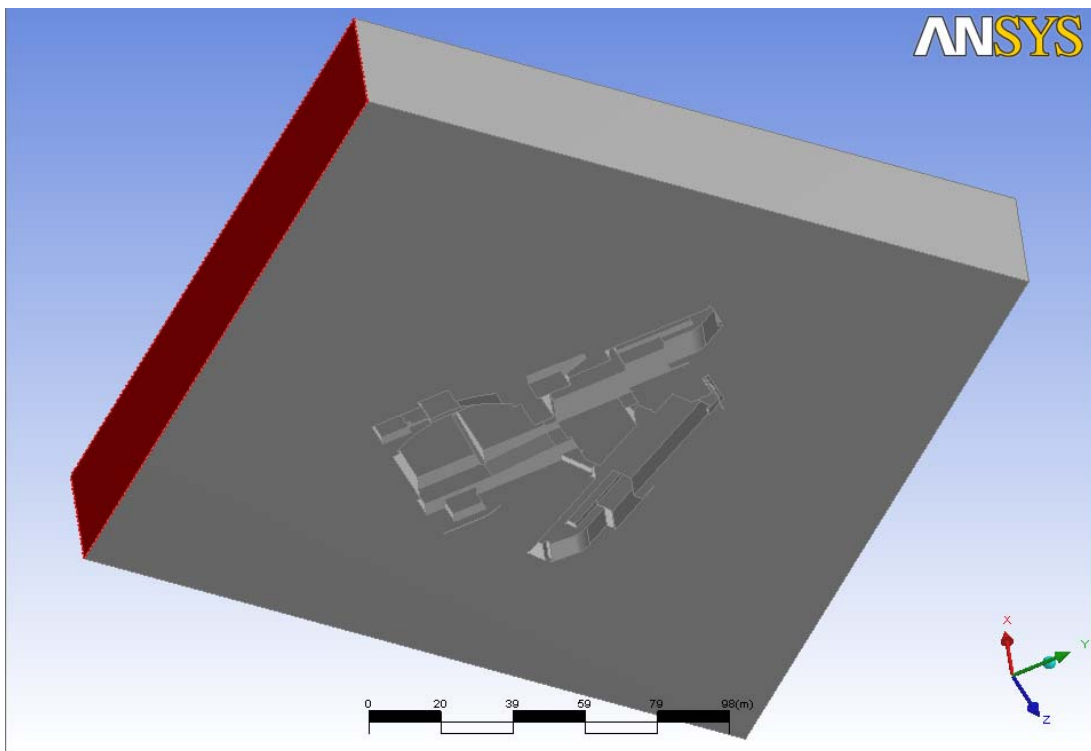
Εικόνα 3.8: Περιοχή "Top"

❖ Base: Αντιπροσωπεύει το έδαφος.



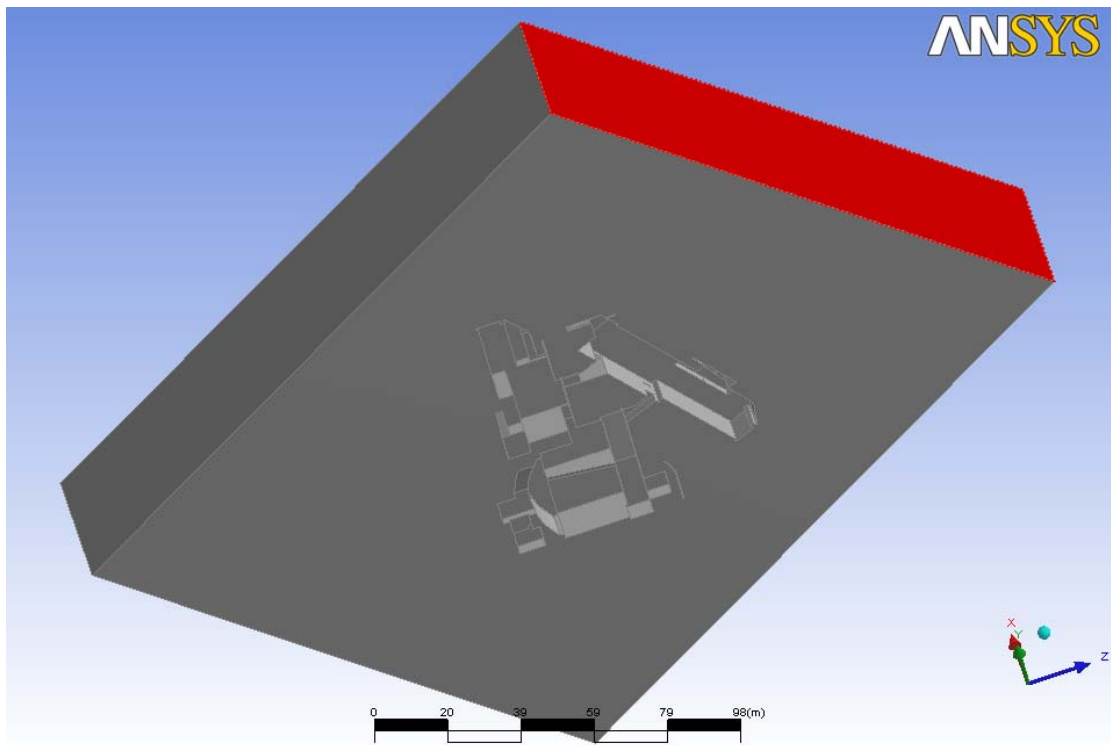
Εικόνα 3.9: Περιοχή "Base"

❖ Inlet: Αντιπροσωπεύει τη νοτιοδυτική πλευρά του όγκου.



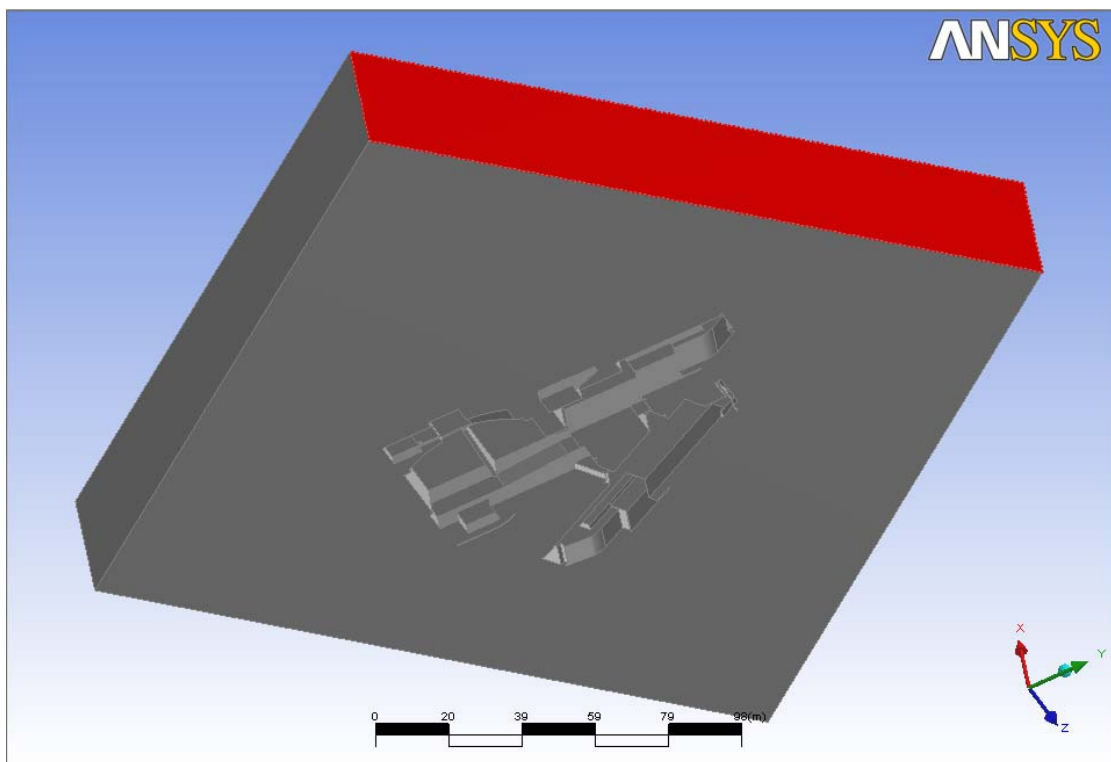
Εικόνα 3.10: Περιοχή "Inlet"

- ❖ Outlet: Αντιπροσωπεύει την βορειοανατολική πλευρά του όγκου.



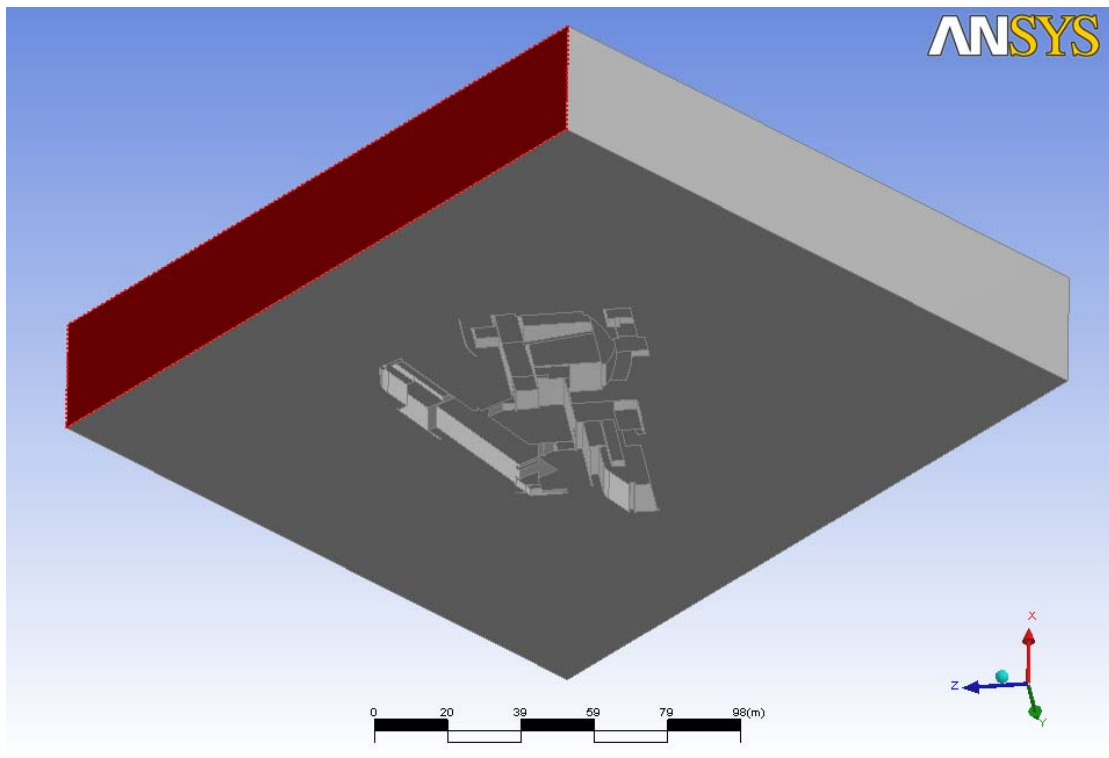
Εικόνα 3.11: Περιοχή "Outlet"

- ❖ Wall1: Αντιπροσωπεύει τη νοτιοανατολική πλευρά του όγκου.



Εικόνα 3.12: Περιοχή "Wall1"

❖ Wall2: Αντιπροσωπεύει τη βορειοδυτική πλευρά του όγκου.

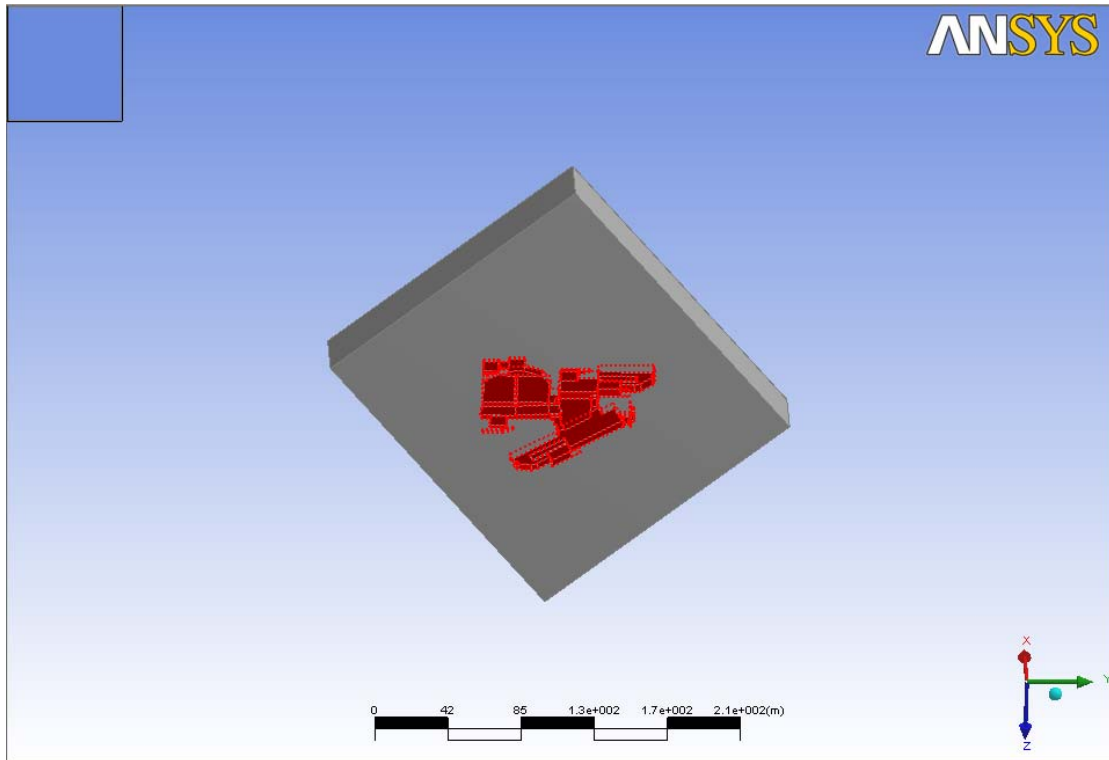


Εικόνα 3.13: Περιοχή "Wall2"

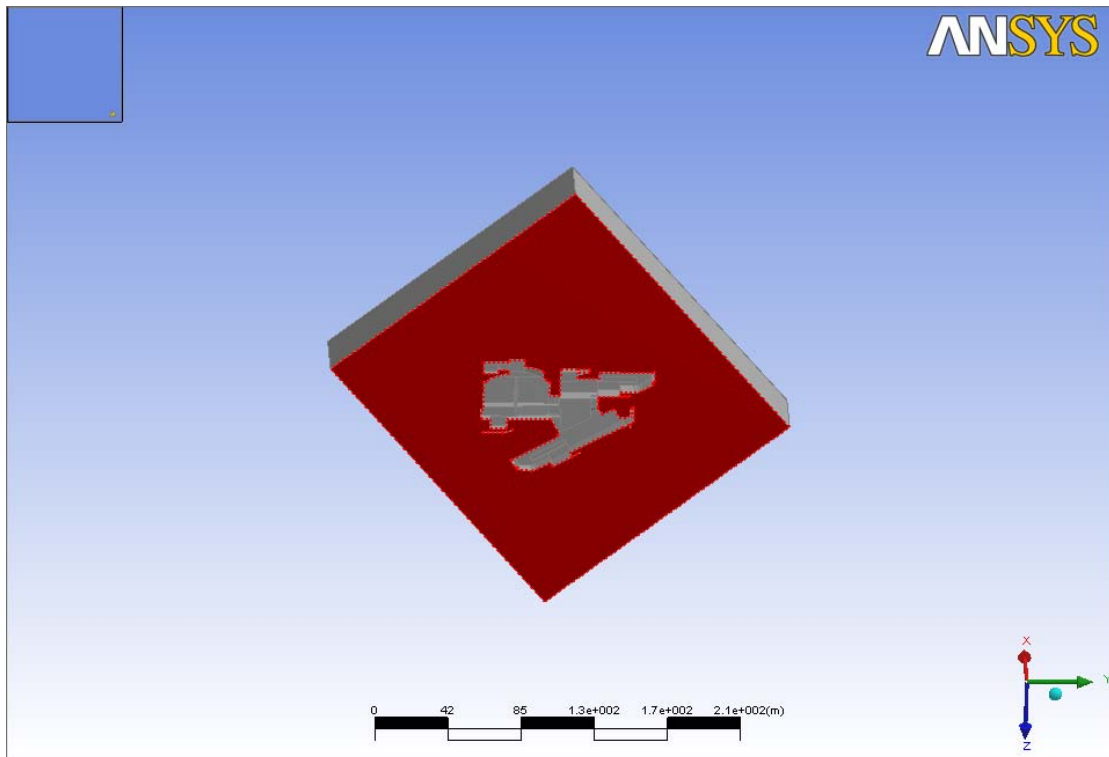
2. Spacing

Στο συγκεκριμένο πεδίο ορίζεται η κλίμακα μήκους πλέγματος (mesh length scale) σε μια ή περισσότερες επιφάνειες (face or faces).

Για την δική μας περίπτωση ορίστηκαν δυο face spacings. Το ένα (face spacing 1) αφορά την περιοχή του πλέγματος γύρω από τα κτήρια και το άλλο (face spacing 2) την περιοχή του πλέγματος στο έδαφος, όπως φαίνεται και στις εικόνες που ακολουθούν.



Εικόνα 3.14: Περιοχή αναφοράς του "face spacing 1"



Εικόνα 3.15: Περιοχή αναφοράς του "face spacing 2"

Οι παράμετροι που προσδιορίζονται σε κάθε face spacing είναι οι ακόλουθες:

❖ **Option**

Είναι το είδος του face spacing. Υπάρχουν τέσσερεις τύποι:

1. Angular Resolution
2. Relative Error
3. Constant
4. Volume Spacing

Για την δική μας περίπτωση επιλέχθηκε το Constant Face Spacing στην σύμφωνα με το οποίο το μήκος πλέγματος είναι σταθερό.

❖ **Constant Edge Length [m]**

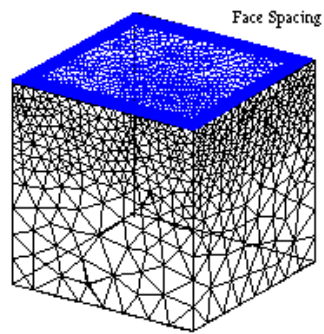
Είναι το μήκος του κάθε στοιχείου του πλέγματος.

❖ **Radius of Influence [m]**

Είναι η ακτίνα επιρροής της κάθε περιοχής (face). Πέρα από την ακτίνα επιρροής της συγκεκριμένης περιοχής, το μέγεθος των στοιχείων μεγαλώνει, σύμφωνα με τον παράγοντα επέκτασης (Expansion factor).

❖ **Expansion Factor [m]**

Είναι ο παράγοντας επέκτασης δηλαδή πόσο γρήγορα μεγαλώνει η κλίμακα μήκους πλέγματος καθώς απομακρυνόμαστε πέρα από την ακτίνα επιρροής. Για παράδειγμα στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται ο συγκεκριμένος κόβος διαστάσεων 1m με "face spacing" την επιλεγμένη μπλε περιοχή, με μήκος στοιχείου (Constant Edge Length) 0.05 m, ακτίνα περιοχής (Radius of Influence) 0.2 m και παράγοντα επέκτασης (Expansion Factor) 1.2.



Εικόνα 3.16: Παράδειγμα κύβου διαστάσεων 1m και εφαρμογή των παραμέτρων του πλέγματος

Στην δική μας περίπτωση οι παράμετροι των δύο "face spacing" είναι οι παρακάτω:

Face Spacing 1	
Option	Constant
Constant Edge Length [m]	0.7
Radius of Influence [m]	2
Expansion Factor	1.2
Location	1 Composite

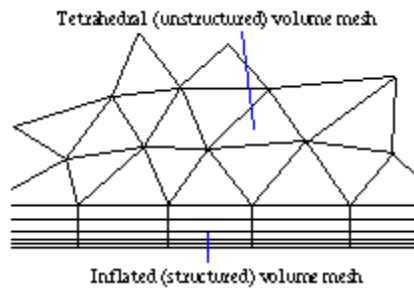
Εικόνα 3.17: Παράμετροι του "face spacing 1"

Face Spacing 2	
Option	Constant
Constant Edge Length [m]	4.2
Radius of Influence [m]	0
Expansion Factor	1.2
Location	1 Composite

Εικόνα 3.18: Παράμετροι του "face spacing 2"

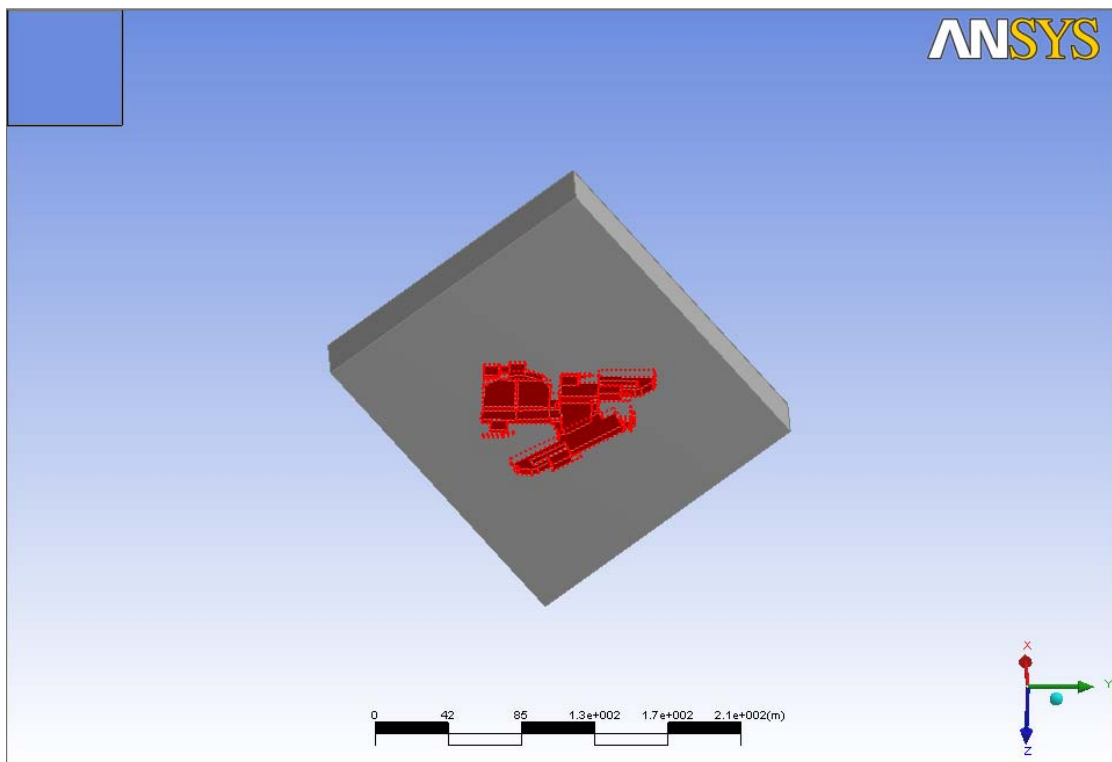
3. Inflation

Σε επαφή με τα στερεά τοιχώματα χρησιμοποιούνται πρισματικά στοιχεία πλέγματος, ώστε να υπάρχει μεγάλη πυκνωση για την ορθή προσομοίωση των συνεκτικών οριακών στρωμάτων. Αυτό πραγματοποιείται με την εντολή "inflation".

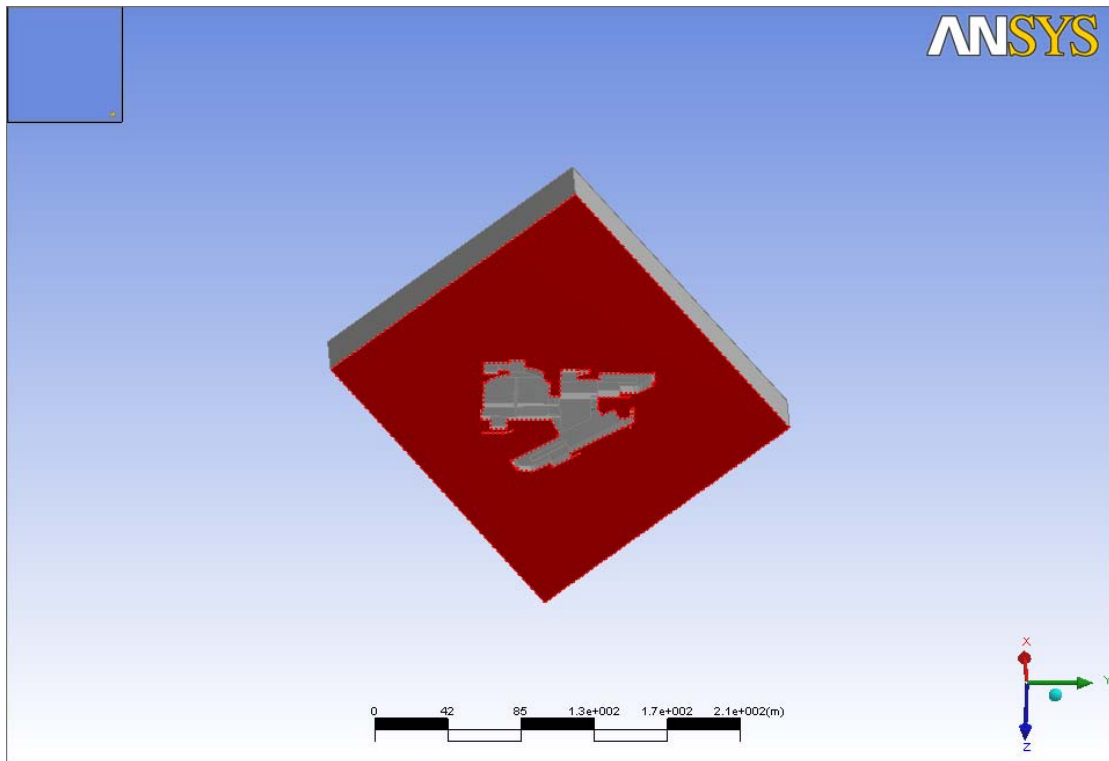


Εικόνα 3.19: Παράδειγμα εφαρμογής "Inflation"

Όπως και στην περίπτωση του "Spacing" έτσι και εδώ ορίστηκαν δύο "inflated boundaries". Το ένα στην περιοχή των κτηρίων (Inflated Boundary 1) και το άλλο στο έδαφος (Inflated Boundary 2), όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες:



Εικόνα 3.20: Περιοχή αναφοράς του "Inflated Boundary 1"



Εικόνα 3.21: Περιοχή αναφοράς του "Inflated Boundary 2"

Οι παράμετροι που καθορίζονται στο συγκεκριμένο πεδίο είναι:

❖ **Number of Inflated Layers**

Είναι ο αριθμός των διαδοχικών στρωμάτων από πρίσματα.

❖ **Expansion Factor**

Είναι ο παράγοντας επέκτασης, δηλαδή πόσο γρήγορα μεγαλώνει η κλίμακα πάχους των στρωμάτων, καθώς μετακινούμαστε στα επόμενα στρώματα.

❖ **Number of Spreading Iterations**

Αφορά στον αριθμό των επαναληπτικών διαδικασιών που θα χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή της διαδικασίας.

❖ **Minimum Internal Angle [Degrees] - Minimum External Angle [Degrees]**

Αφορούν τις εσωτερικές και εξωτερικές γωνίες των πρισμάτων για να κρινεται αν είναι αποδεκτά σύμφωνα με την θεωρία της διαγραφής.

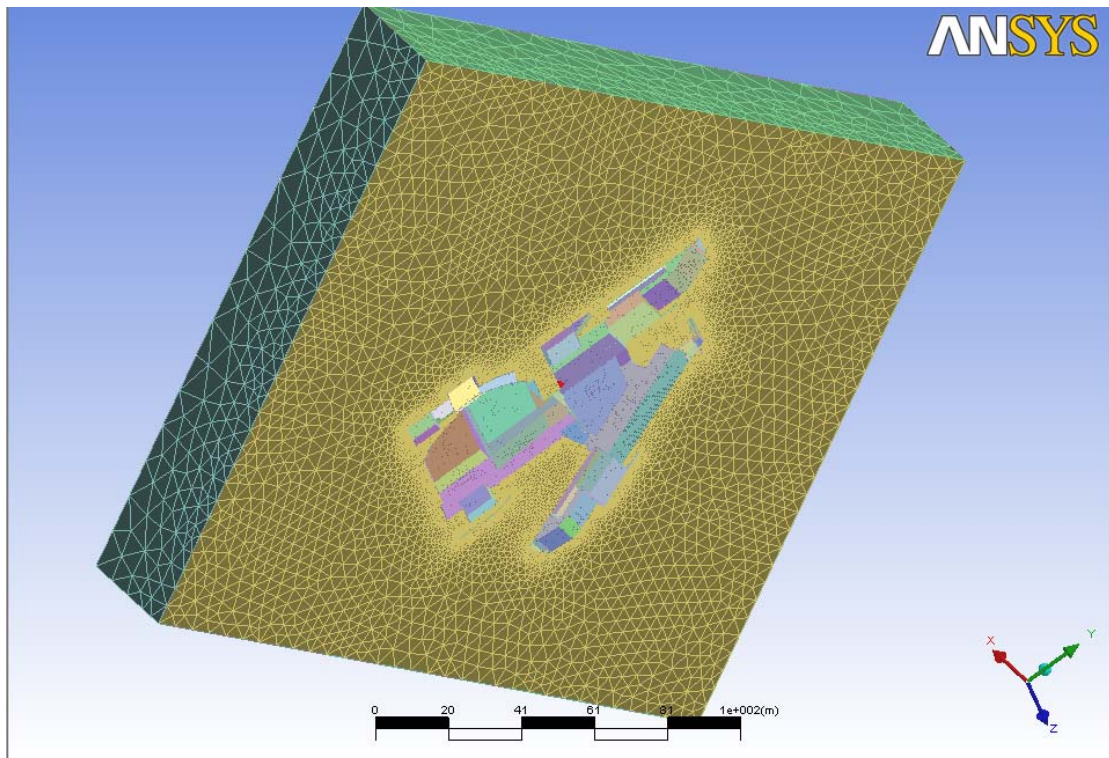
❖ First Prism Height [m]

Είναι το πάχος (ύψος) του πρώτου στρώματος πρισμάτων σε επαφή με το τοίχωμα.

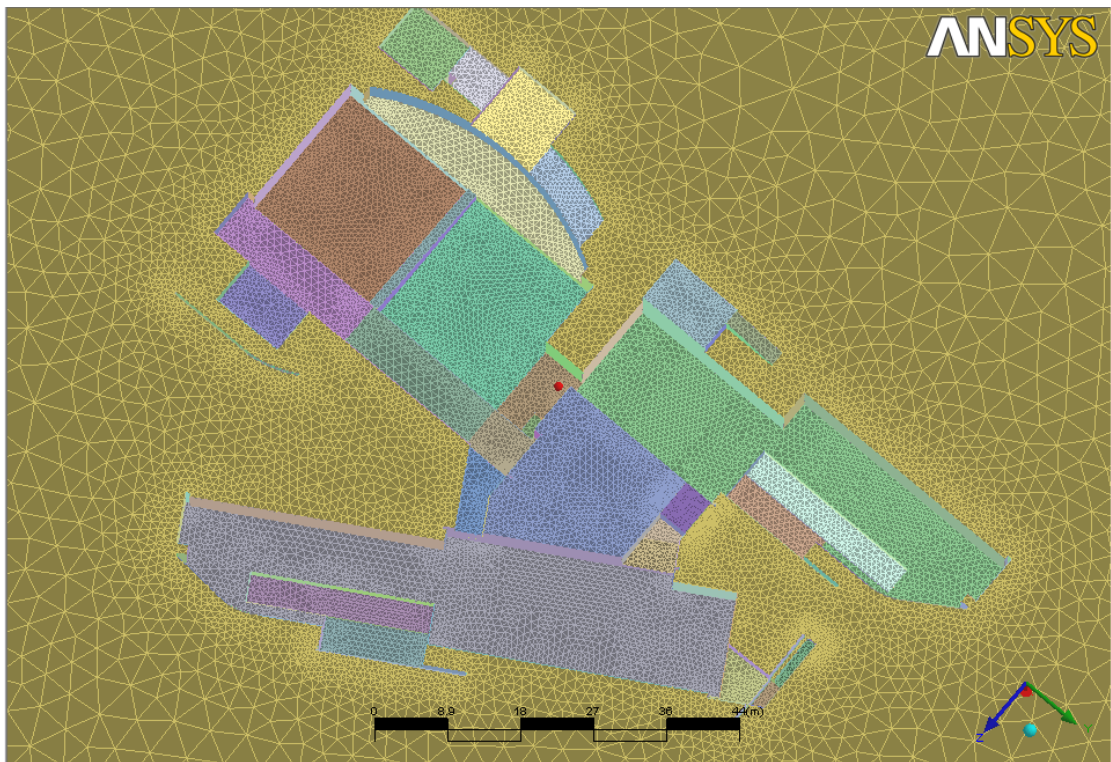
Παρακάτω φαίνονται οι παράμετροι, όπως ορίστηκαν στην δική μας εφαρμογή:

Inflation	
Number of Inflated Layers	10
Expansion Factor	1.2
Number of Spreading Iterations	4
Minimum Internal Angle [Degrees]	2.5
Minimum External Angle [Degrees]	10.0
Inflation Option	
Option	First Layer Thickness
Define First Layer By	First Prism Height
First Prism Height [m]	0.01
Extended Layer Growth	Yes
Layer by Layer Smoothing	No

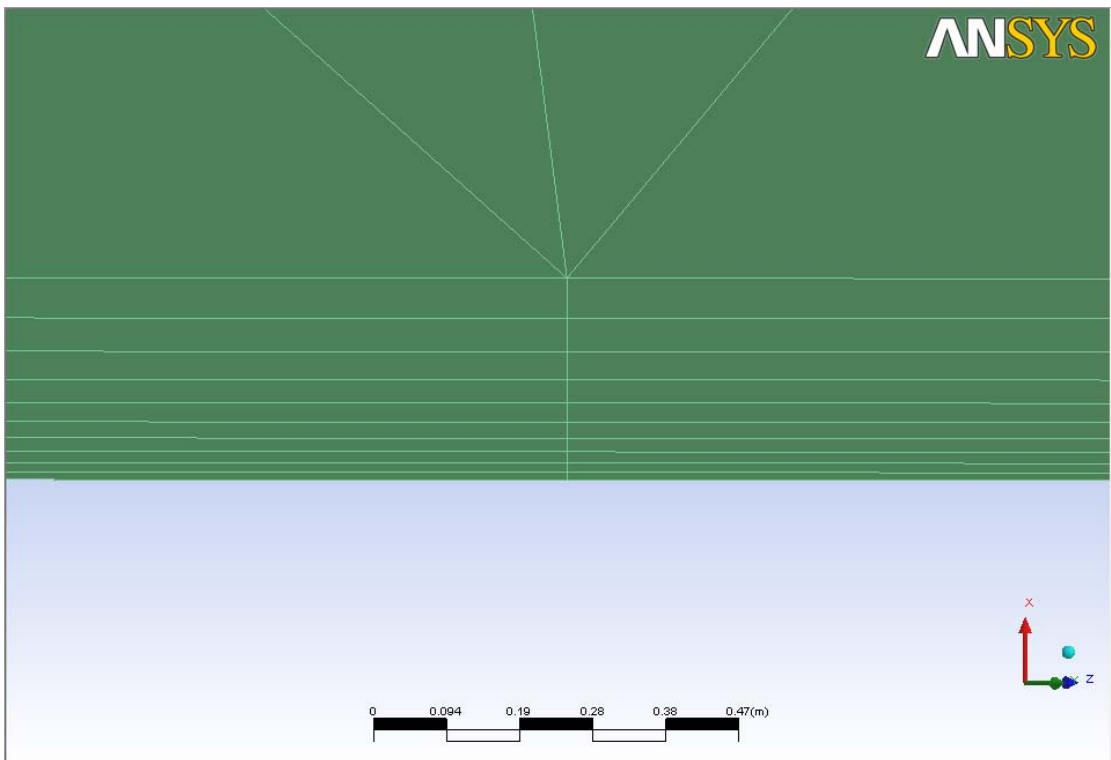
Εικόνα 3.22: Παράμετροι του "inflation", όπως εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία



Εικόνα 3.23: Τελικό επιφανειακό πλέγμα - Όψη 1



Εικόνα 3.24: Τελικό επιφανειακό πλέγμα - Όψη 2



Εικόνα 3.25: Λεπτομέρεια στρώματος πρισμάτων

Το τελικό υπολογιστικό πλέγμα γύρω από το συγκρότημα των κτηρίων έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

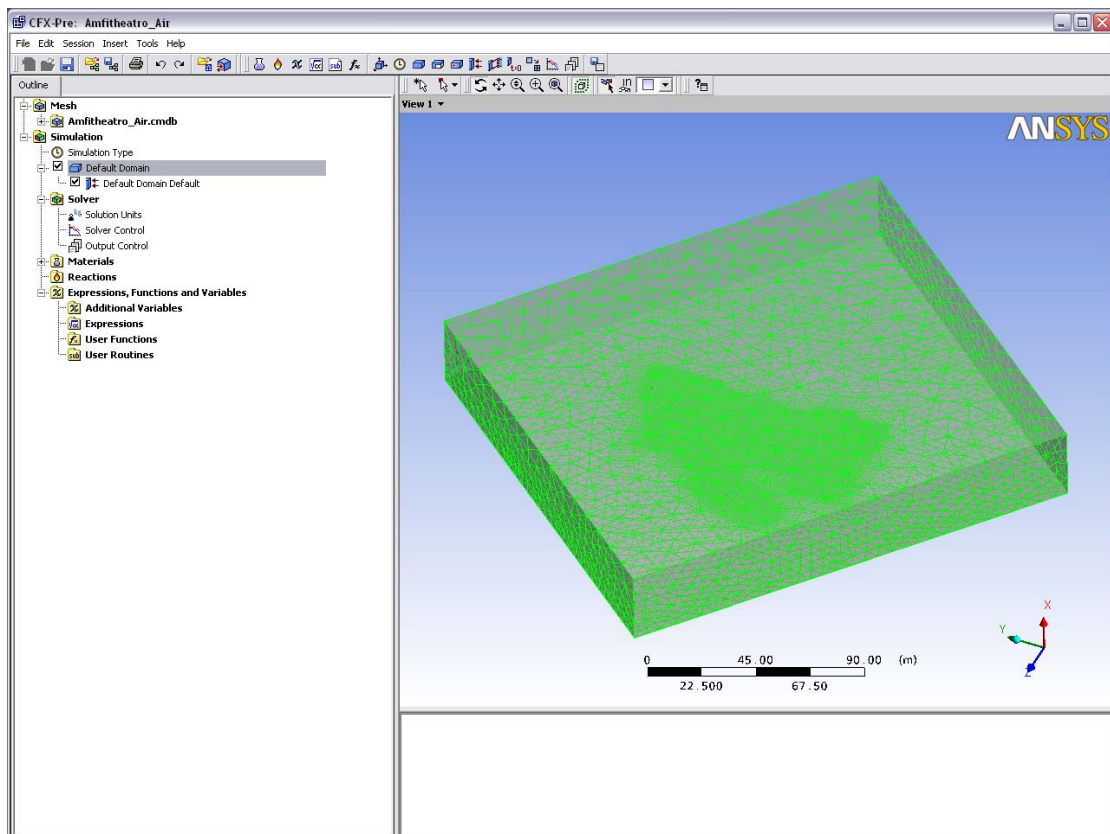
Mesh statistics	
Total number of nodes	683542
Total number of tetrahedra	2701266
Total number of pyramids	15388
Total number of prisms	393498
<hr/>	
Total number of elements	3110152
<hr/>	

Εικόνα 3.26: Χαρακτηριστικά πλέγματος

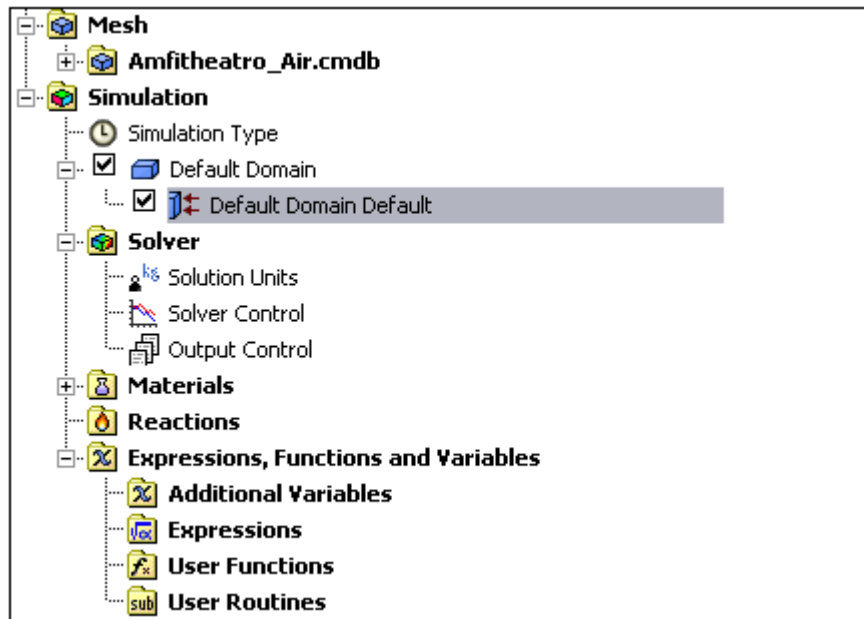
4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

4.1 Μοντελοποίηση των οριακών συνθηκών

Η μοντελοποίηση των οριακών συνθηκών του προβλήματος θα πραγματοποιηθεί εισάγοντας το υπολογιστικό πλέγμα που έχουμε δημιουργήσει στο λογισμικό ANSYS CFX-PRE. Πραγματοποιώντας το τελευταίο η εικόνα που έχουμε μέσα στο περιβάλλον του λογισμικού παρουσιάζεται στη συνέχεια:

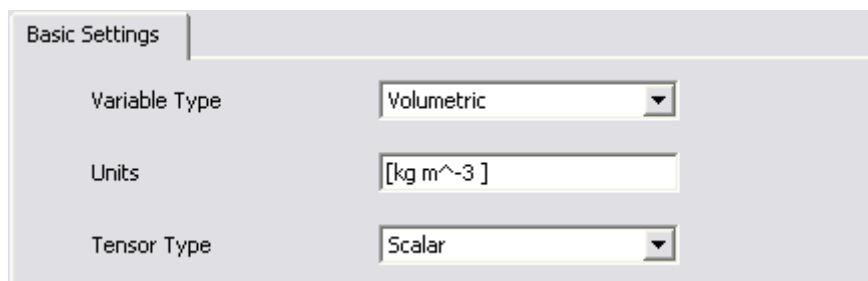


Εικόνα 4.1: Εικόνα του υπολογιστικού χωρίου στο ANSYS CFX-PRE



Εικόνα 4.2: Το δέντρο ορισμού μεταβλητών στο ANSYS CFX-PRE

Αρχικά δημιουργούμε μια επιπρόσθετη μεταβλητή (additional variable) με όνομα “smoke”, η οποία αντιπροσωπεύει τη συγκέντρωση του εξερχόμενου καπνού από την καμινάδα.



Εικόνα 4.3: Βασικές ρυθμίσεις της πυκνότητας του καπνού

Στην συνέχεια ρυθμίζουμε τις παραμέτρους του χωρίου (DOMAIN) στο οποίο θα επιλύσουμε τις εξισώσεις. Οι παράμετροι αναφέρονται στις συνθήκες που θα επικρατούν μέσα στον όγκο ελέγχου (τύπος Domain, θερμοκρασία, πίεση κ.λπ.):

General Options | Fluid Models | Initialisation

Basic Settings

Location: B4

Domain Type: Fluid Domain

Fluids List: Air at 25 C

Coord Frame: Coord 0

Particle Tracking

Domain Models

Pressure

Reference Pressure: 1 [atm]

Buoyancy

Option: Buoyant

Gravity X Dirn.: -9.81 [m s⁻²]

Gravity Y Dirn.: 0 [m s⁻²]

Gravity Z Dirn.: 0 [m s⁻²]

Buoy. Ref. Temp.: 25 [C]

Ref. Location

Option: Automatic

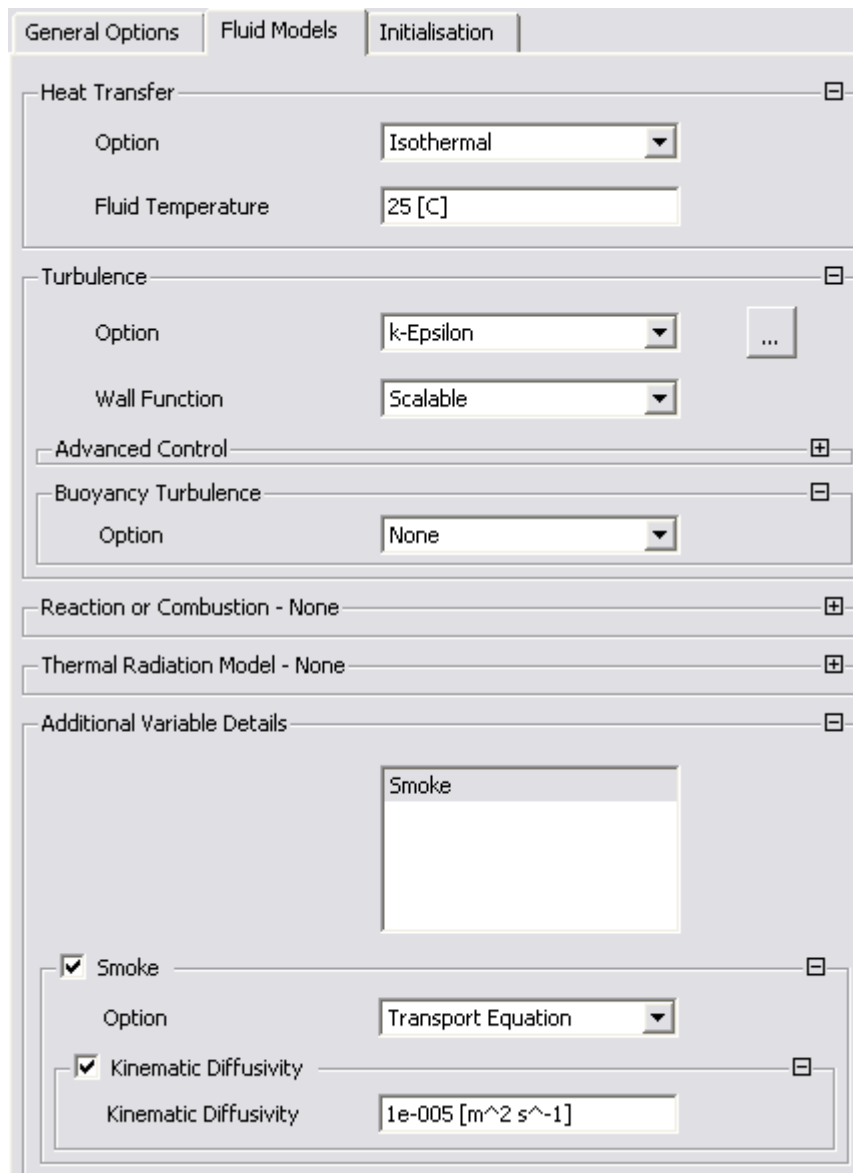
Domain Motion

Option: Stationary

Mesh Deformation

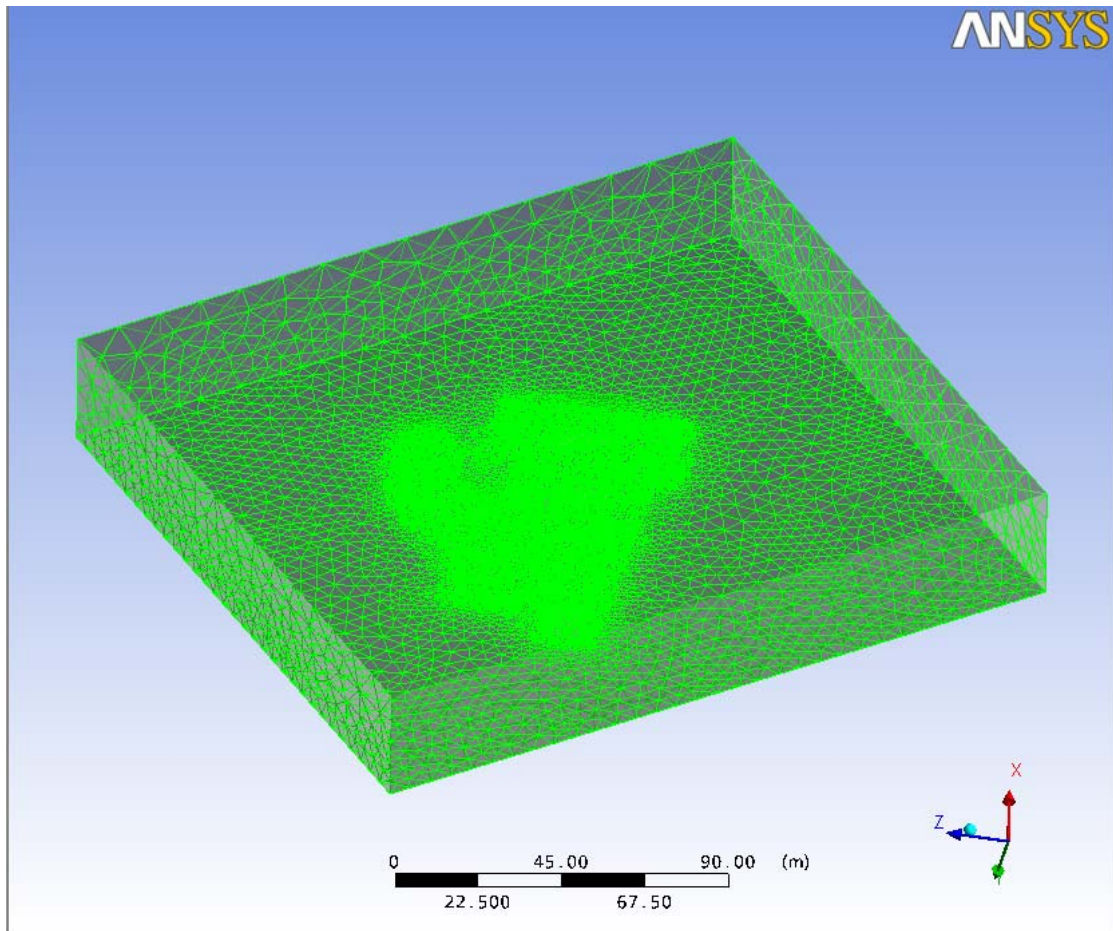
Option: None

Εικόνα 4.4: Γενικές ρυθμίσεις υπολογιστικού χωρίου



Εικόνα 4.5: Γενικές ρυθμίσεις υπολογιστικού χωρίου

Παρατηρούμε ότι το λογισμικό αυτόματα ορίζει ως προεπιλεγμένη περιοχή όλο τον όγκο του υπολογιστικού χωρίου. Έτσι προχωρούμε στη δημιουργία επιμέρους περιοχών με συγκεκριμένες οριακές συνθήκες (Boundaries):



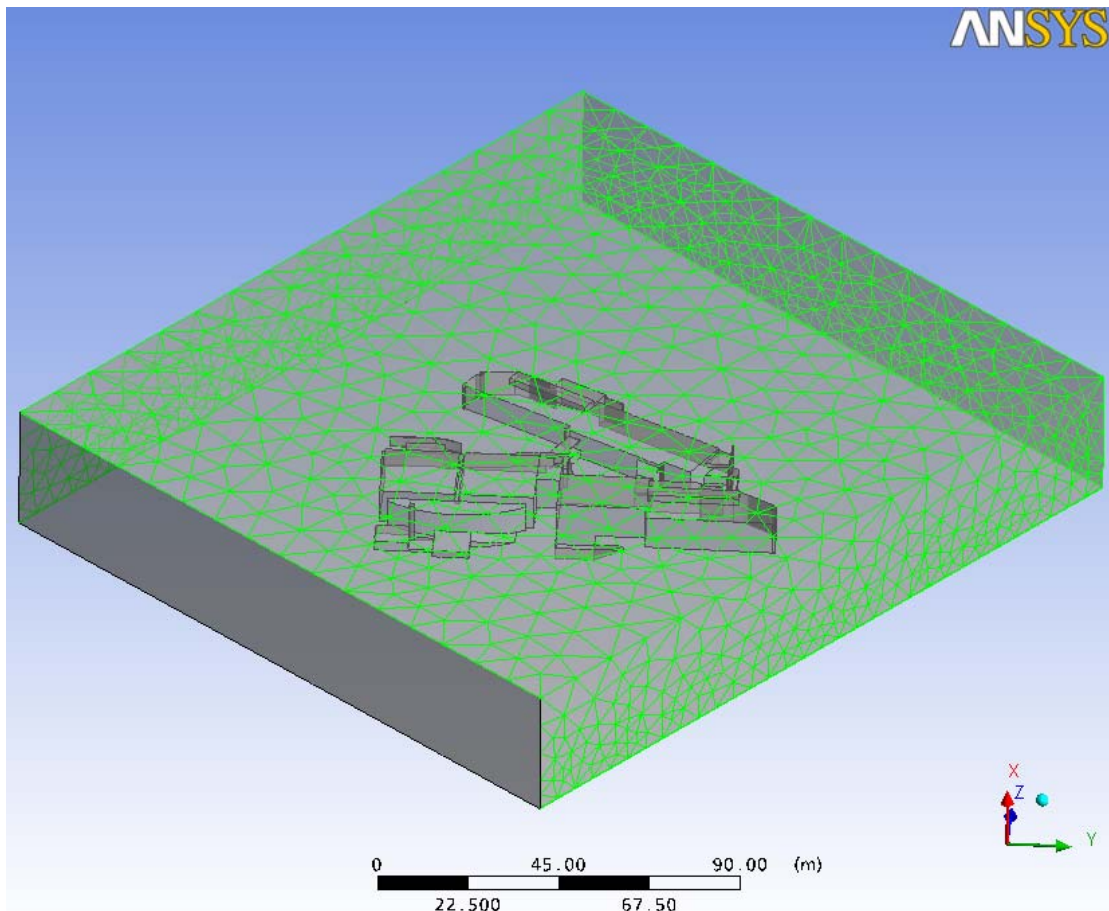
Εικόνα 4.6: Προεπιλεγμένο υπολογιστικό χωρίο (Default Domain)

1. "Atmosphere"

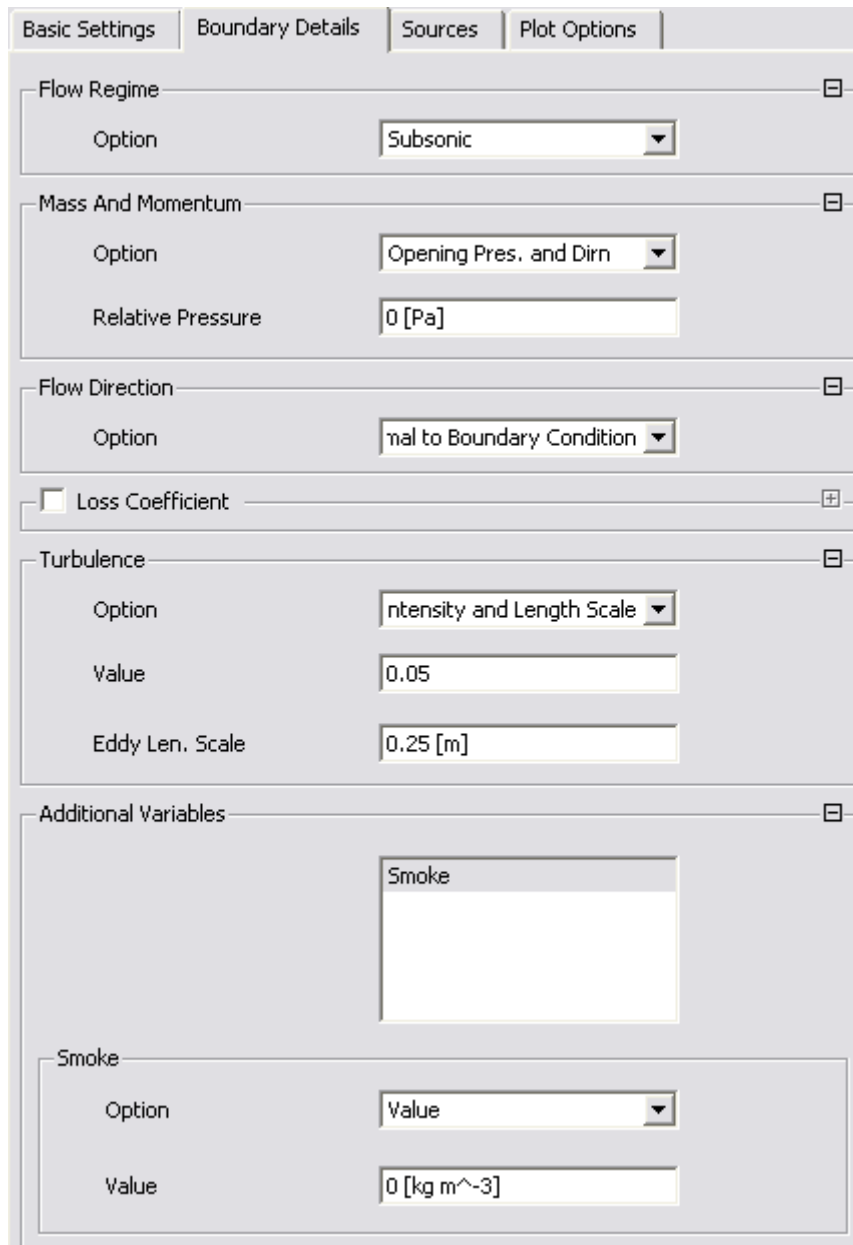
Με τον συγκεκριμένο τύπο ορίου αναφερόμαστε στον περιβάλλοντα αέρα γύρω από το υπολογιστικό χωρίο. Έτσι, προχωρώντας στις επιμέρους παραμέτρους, κάνουμε τις ακόλουθες ρυθμίσεις (τύπος οριακής συνθήκης "Opening"):



Εικόνα 4.7: Λεπτομέρειες ορισμού της οριακής συνθήκης "Opening" στις αντίστοιχες επιφάνειες του υπολογιστικού χωρίου



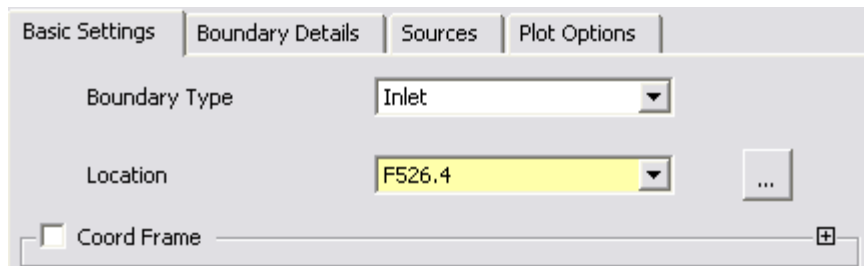
Εικόνα 4.8: Οι επιφάνειες που συνθέτουν την οριακή συνθήκη "Atmosphere", τύπου "Opening"



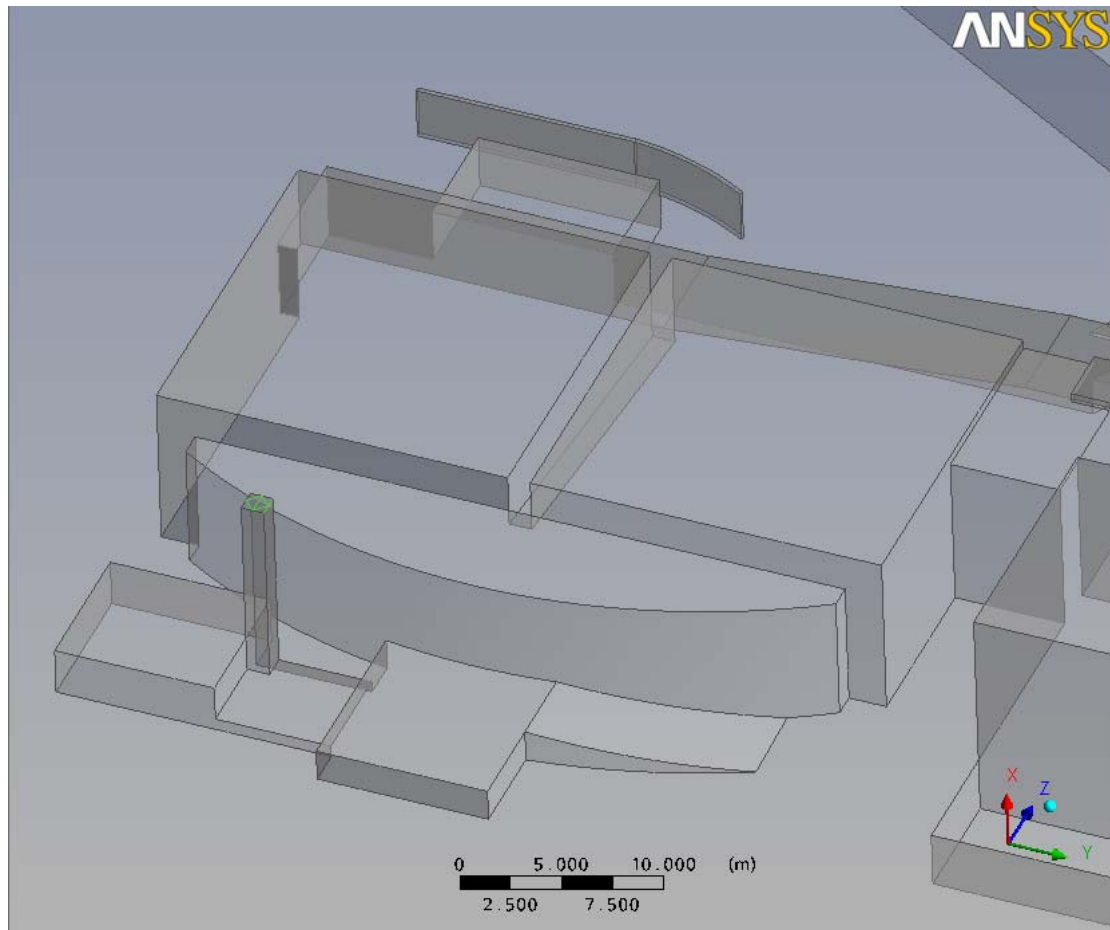
Εικόνα 4.9: Λεπτομέρειες από την εφαρμογή των οριακών συνθηκών στην περιοχή "Atmosphere"

2. "Chimney"

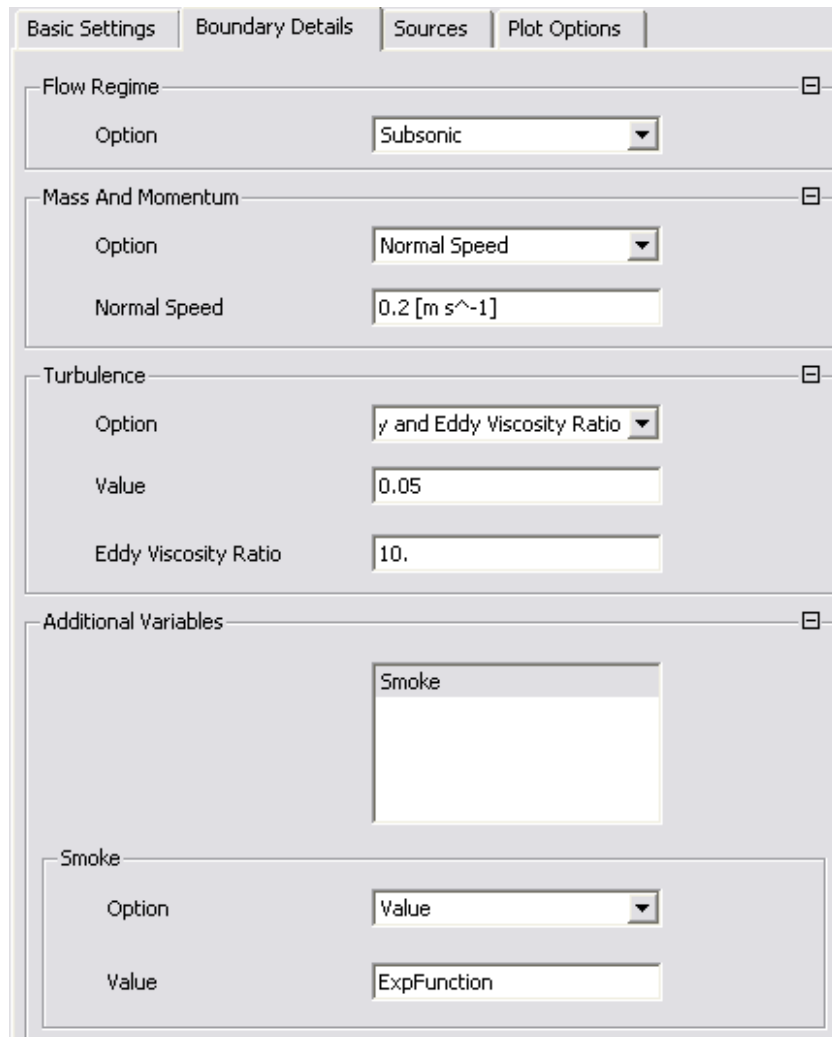
Με το συγκεκριμένο όριο αναφερόμαστε στην έξοδο της καπνοδόχου. Έτσι, προχωρώντας στις επιμέρους παραμέτρους, κάνουμε τις ακόλουθες ρυθμίσεις:



Εικόνα 4.10: Λειτουργίες από τον ορισμό της οριακής συνθήκης "Chimney" τύπου "Inlet"



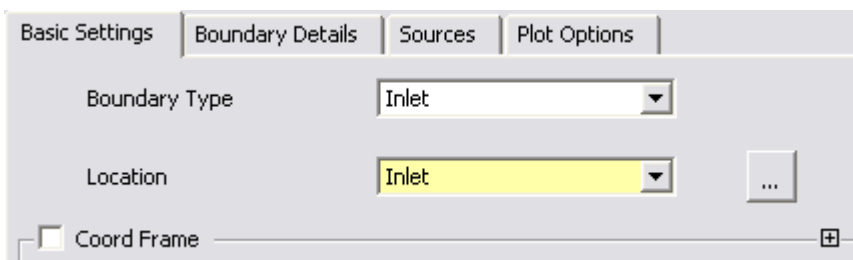
Εικόνα 4.11: Θέση της οριακής συνθήκης "Chimney"



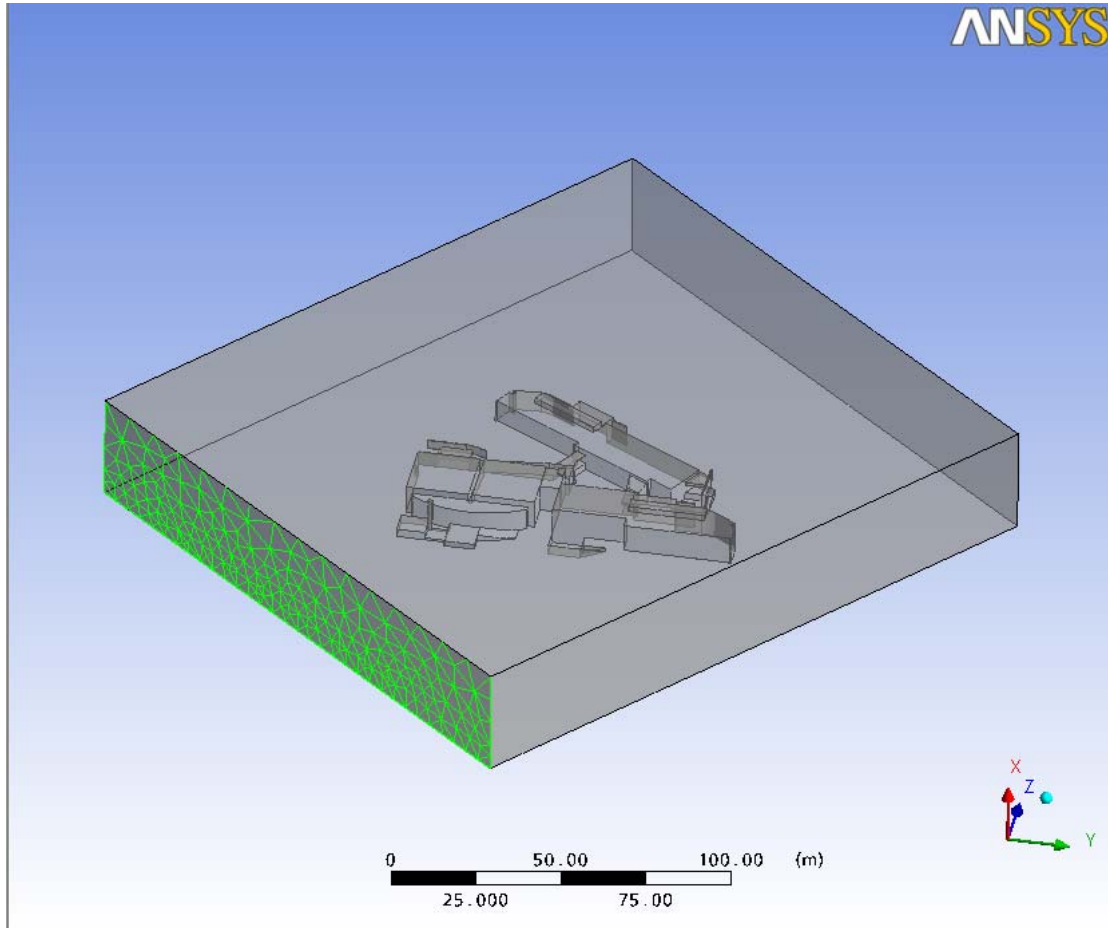
Εικόνα 4.12: Λεπτομέρειες από την εφαρμογή των οριακών συνθηκών στην περιοχή "Chimney"

3. "Inlet"

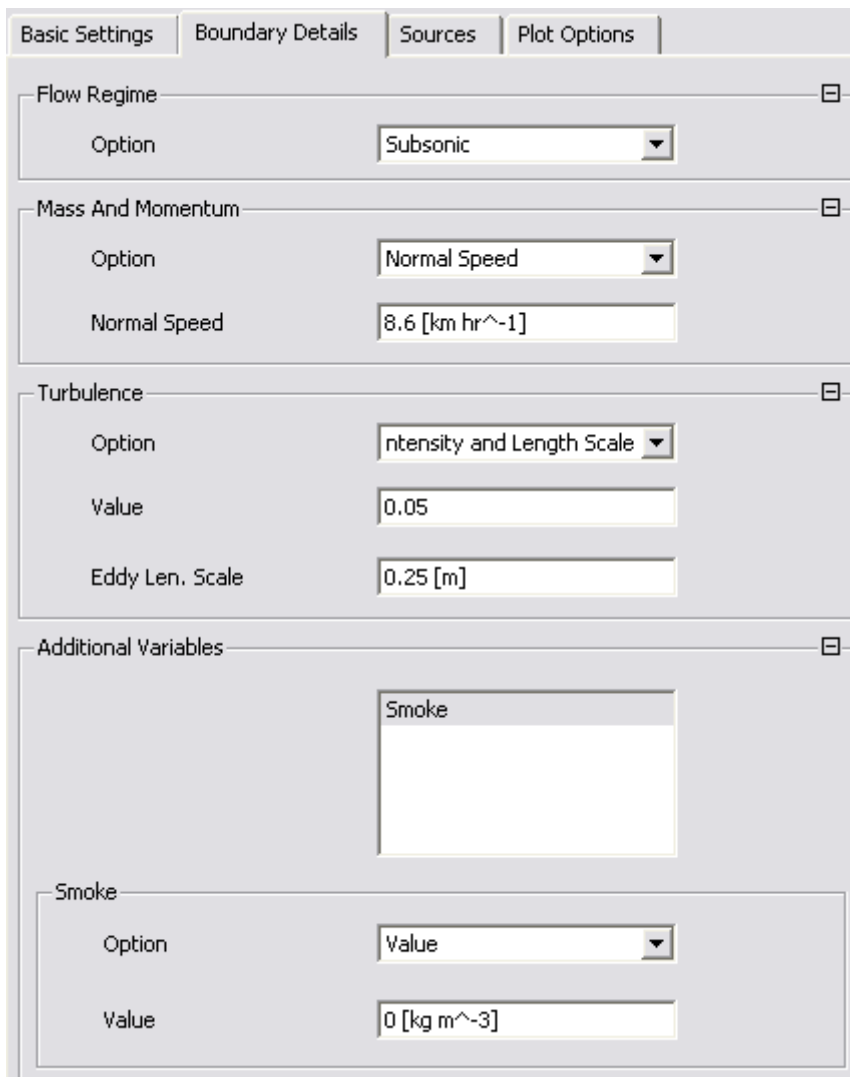
Με το συγκεκριμένο όριο αναφερόμαστε στην είσοδο του αέρα. Έτσι, προχωρώντας στις επιμέρους παραμέτρους, κάνουμε τις ακόλουθες ρυθμίσεις:



Εικόνα 4.13: Λεπτομέρειες από τον ορισμό της οριακής συνθήκης "Inlet" τύπου "Inlet"



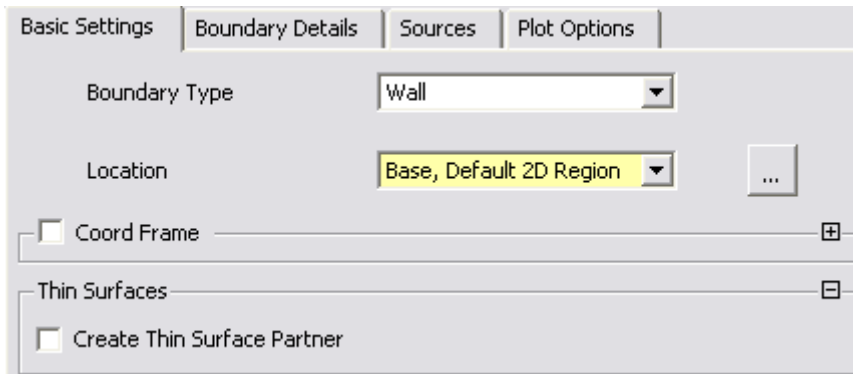
Εικόνα 4.14: Θέση της οριακής συνθήκης "Inlet"



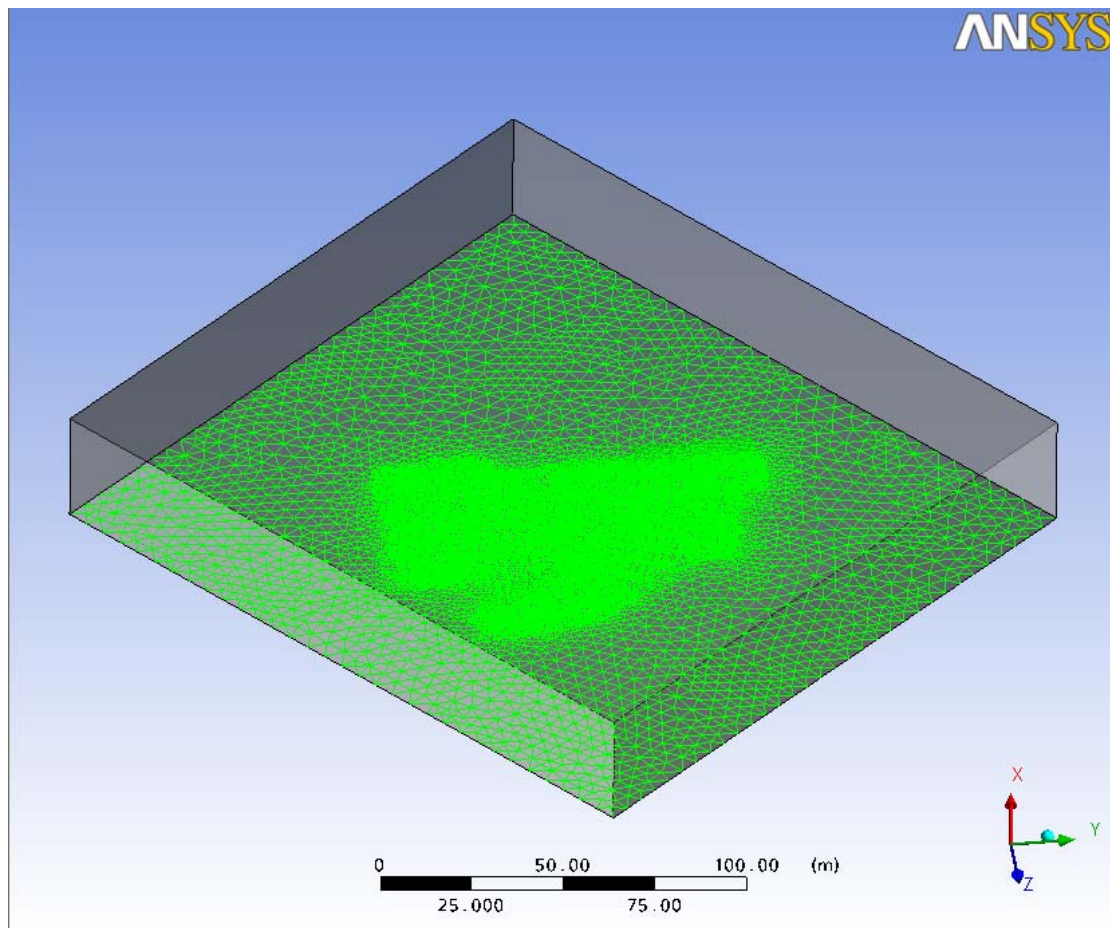
Εικόνα 4.15: Λεπτομέρειες από την εφαρμογή των οριακών συνθηκών στην περιοχή "Inlet"

4. "Solid"

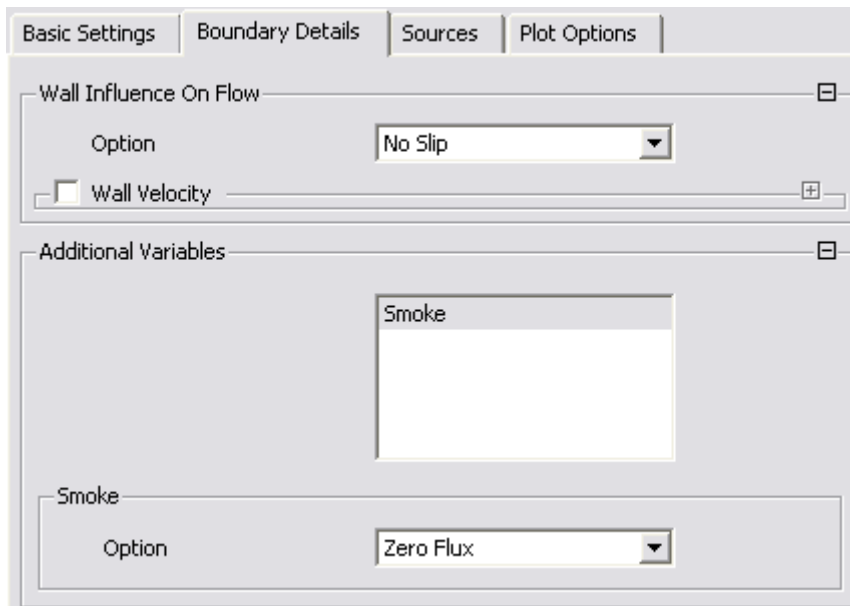
Με το συγκεκριμένο όριο αναφερόμαστε σε οτιδήποτε στερεό υπάρχει μέσα στον όγκο ελέγχου (κτίρια, έδαφος). Έτσι, προχωρώντας στις επιμέρους παραμέτρους, κάνουμε τις ακόλουθες ρυθμίσεις:



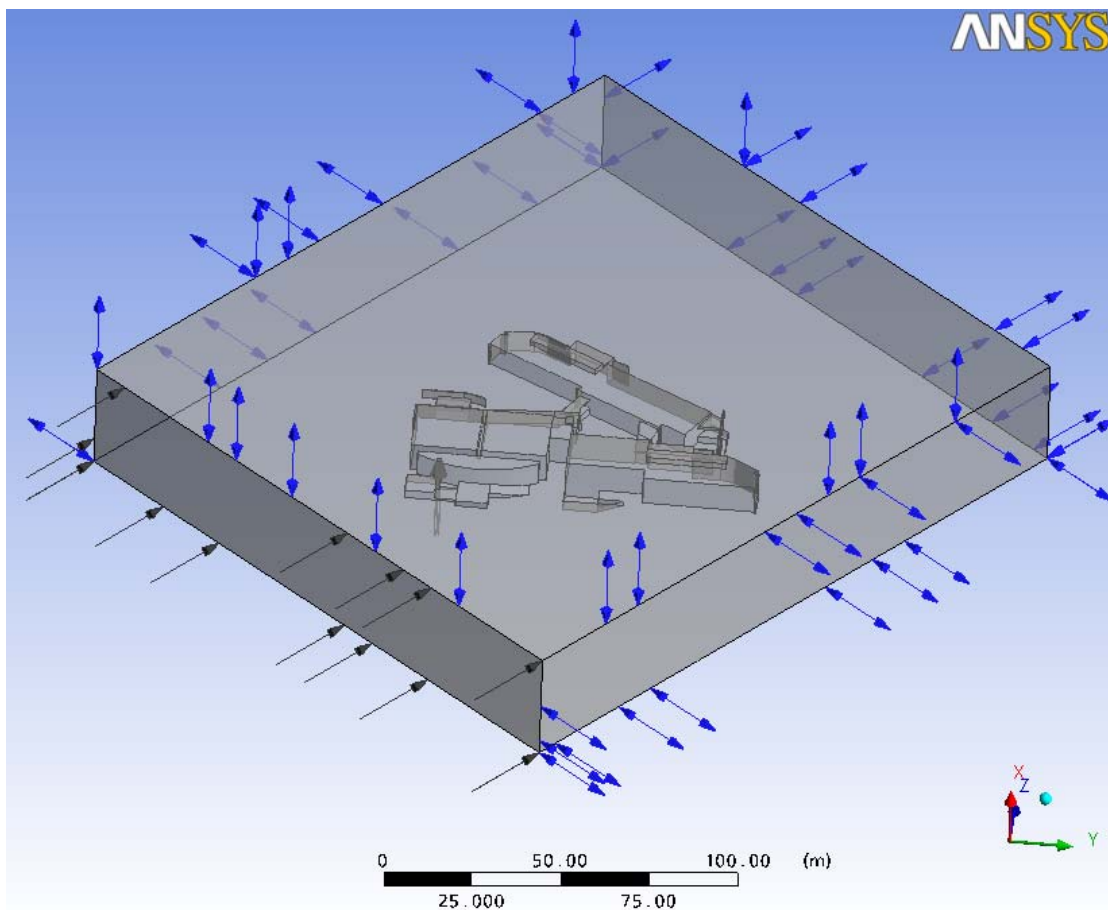
Εικόνα 4.16: Λεπτομέρειες από τον ορισμό της οριακής συνθήκης "Solid" τύπου "Wall"



Εικόνα 4.17: Θέση της οριακής συνθήκης "Solid"



Εικόνα 4.18: Λεπτομέρειες από την εφαρμογή των οριακών συνθηκών στην περιοχή "Solid"



Εικόνα 4.19: Όψη των οριακών συνθηκών, όπως απεικονίζονται στο περιβάλλον του CFX PRE

4.2 Μοντελοποίηση μη μόνιμης προσομοίωσης (transient simulation)

Στην συνέχεια προχωρούμε στη ρύθμιση των παραμέτρων, που απαιτούνται για μια μη μόνιμη χρονικά προσομοίωση της ροής (transient simulation). Η διαφορά μίας τέτοιας προσομοίωσης από μια μόνιμη χρονικά ροή (steady state) είναι ότι στην πρώτη περίπτωση (transient) δίνεται η δυνατότητα να φαίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης του καπνού καθώς βγαίνει από την καμινάδα συναρτήσει του χρόνου.

Αρχικά επιλέγουμε από την γραμμή εντολών "Outline" το "Simulation Type" και πραγματοποιούμε τις ακόλουθες ρυθμίσεις που παρουσιάζονται στη συνέχεια:

The image shows a software interface for configuring simulation settings. It is titled "Basic Settings" and contains several sections:

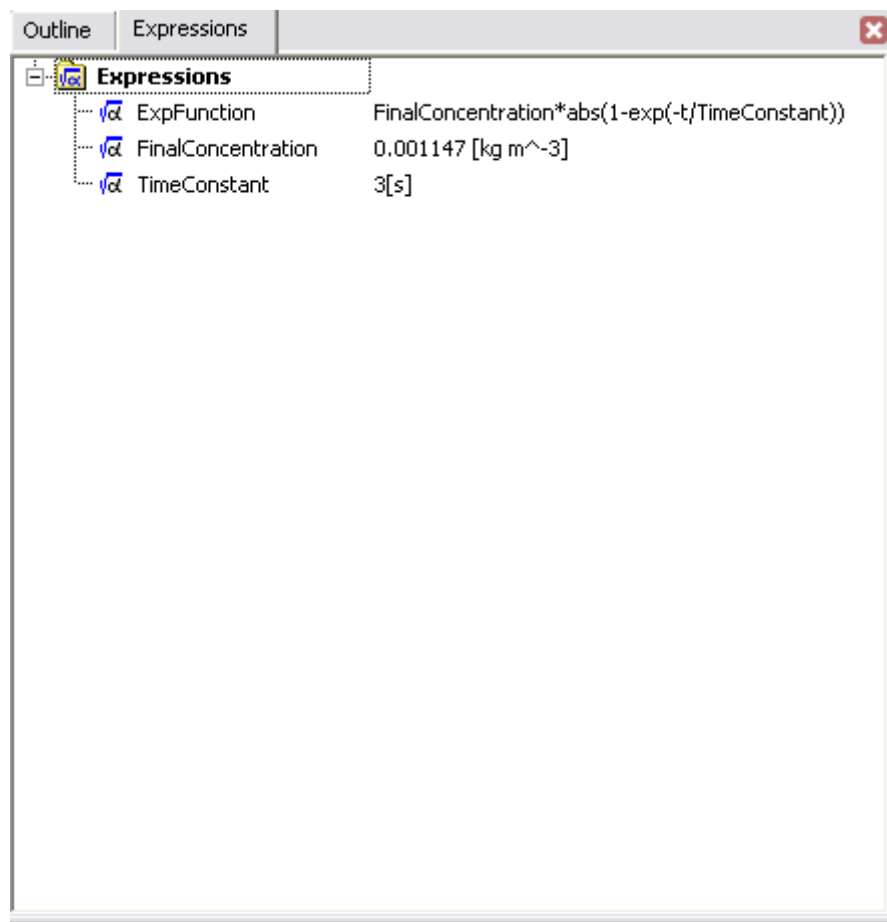
- External Solver Coupling:** Option set to "None".
- Simulation Type:** Option set to "Transient".
- Time Duration:** Option set to "Total Time", with a value of "30 [s]".
- Time Steps:** Option set to "Timesteps", with a value of "30*1 [s]".
- Initial Time:** Option set to "Automatic with Value", with a value of "0 [s]".

Εικόνα 4.20: Simulation Type - Basic Settings

- ❖ **Simulation Type:** Το είδος της προσομοίωσης που, όπως εξηγήσαμε και παραπάνω, στην δική μας περίπτωση είναι μη μόνιμη (Transient Simulation)

- ❖ **Time Duration:** Η διάρκεια της προσομοίωσης. Ορίσαμε να πραγματοποιείται για 30 sec.
- ❖ **Time Steps:** Είναι οι επιμέρους χρόνοι, στους οποίους χωρίζεται η συνολική διάρκεια προσομοίωσης των 30 sec. Ορίσαμε 30 χρόνους (Time Steps) του 1 sec.

Στην συνέχεια δημιουργούμε κάποιες μαθηματικές συναρτήσεις (Expressions) που μας υπολογίζουν τις τιμές των συγκεντρώσεων του καπνού συναρτήσει του χρόνου, όπως φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 4.21: Ορισμός των μαθηματικών συναρτήσεων

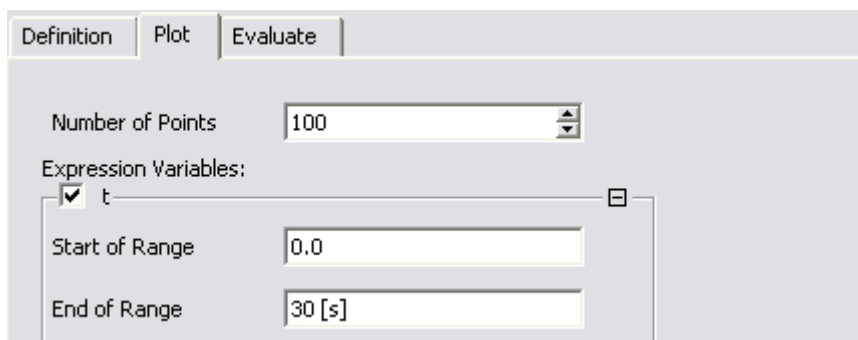
Πιο συγκεκριμένα, δημιουργούμε τις εξής συναρτήσεις (Expressions) :

- ❖ **Time Constant:** Μια χρονική σταθερά με τιμή 3 sec.
- ❖ **Final Concentration:** Μια μεταβλητή, που αντιπροσωπεύει την τελική τιμή συγκέντρωσης καπνού, ίση με 0,001147 kg/m³ (Βλέπε Χαρακτηριστικά Εξερχόμενων ρύπων - Υπολογισμός Συγκέντρωσης Καπνού).

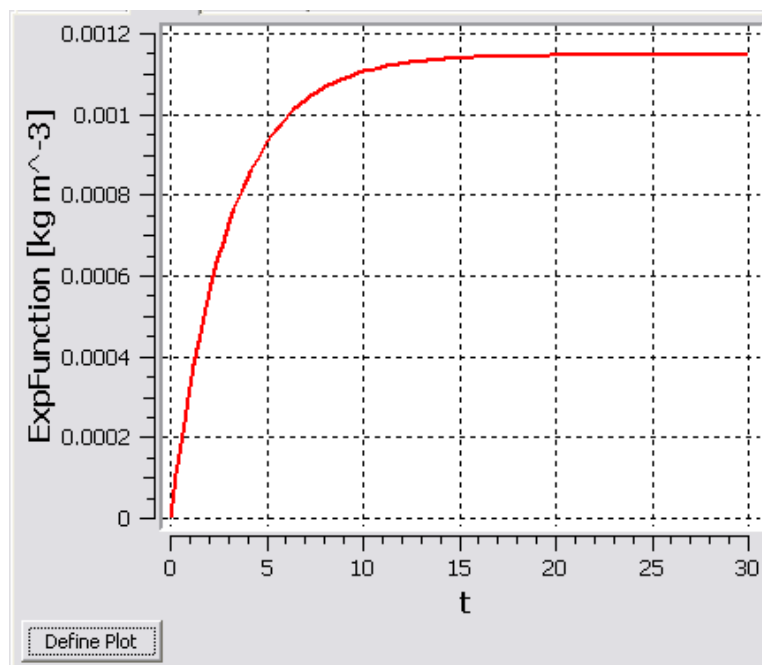
- ❖ **ExpFunction:** Η συνάρτηση υπολογισμού των συγκεντρώσεων του καπνού σε συνάρτηση με τον χρόνο, που επιβάλλεται κάθε χρονική στιγμή στην έξοδο της καμινάδας (εκθετική μεταβολή της συγκέντρωσης):

$$\text{ExpFunction} = 0,001147 \times (1 - \text{Exp}(-t/3))$$

Δημιουργούμε το γράφημα της συγκέντρωσης του καπνού συναρτήσει του χρόνου επιλέγοντας την καρτέλα "Plot" της συνάρτησης "ExpFunction".



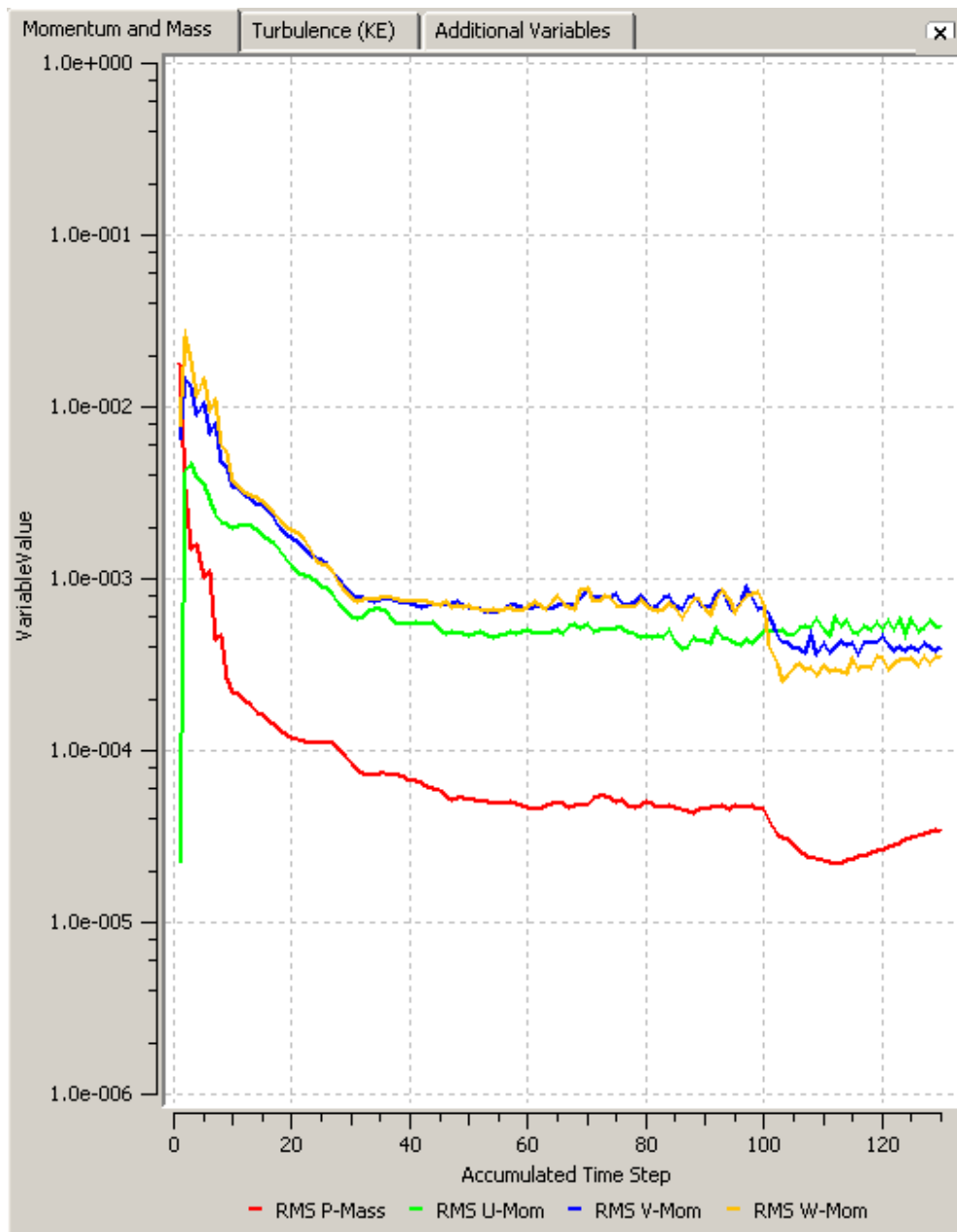
Εικόνα 4.22: Ρυθμίσεις Γραφήματος – ExpFunction



Εικόνα 4.23: Γράφημα "ExpFunction", που δίνει την εκθετική μεταβολή της συγκέντρωσης του καπνού στην έξοδο της καμινάδας με τον χρόνο (επιβαλλόμενη οριακή συνθήκη για την μη μόνιμη χρονικά επίλυση).

Παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση του καπνού αυξάνεται εκθετικά από 0 sec μέχρι 20 sec και μετά σταθεροποιείται στην τιμή 0,001147 kg/m³ που είναι και η τελική συγκέντρωση του καπνού στην καμινάδα.

Τελικά εισάγουμε το τελικό αρχείο στο CFX-Solver, όπου θα πραγματοποιηθεί η προσομοίωση. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα τυπικό ιστορικό σύγκλισης των εξισώσεων ορμής και συνέχειας όπου: **κόκκινο χρώμα**: υπόλοιπο εξίσωσης συνέχειας, **πράσινο χρώμα**: υπόλοιπο εξίσωσης x-ορμής, **γαλάζιο χρώμα**: υπόλοιπο y-ορμής, **πορτοκαλί χρώμα**: υπόλοιπο z-ορμής.



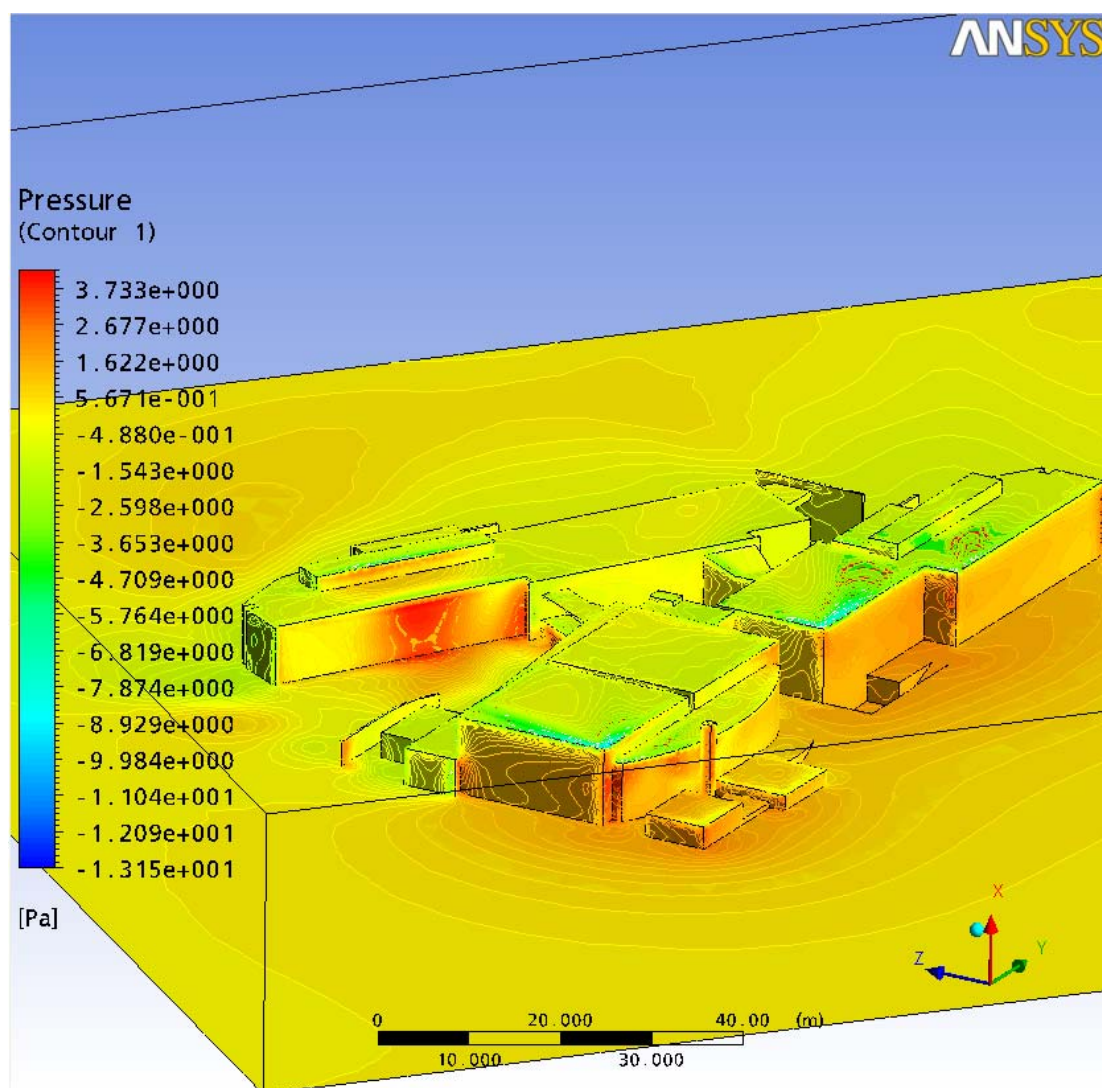
Εικόνα 4.24: Σύγκλιση των εξισώσεων ορμής και συνέχειας

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

5.1 Αποτελέσματα

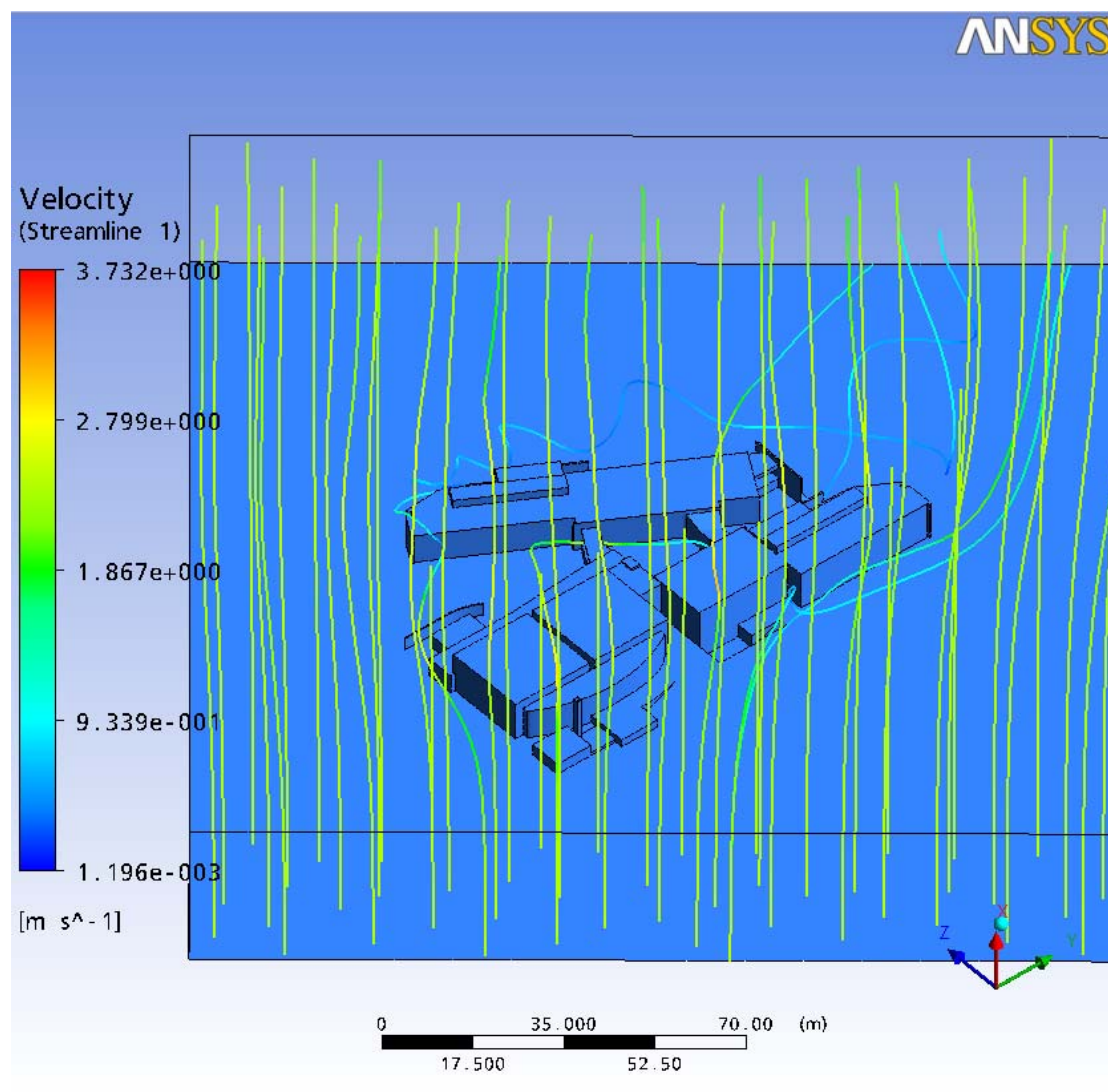
Αφού πραγματοποιηθεί η προσομοίωση χρησιμοποιείται το λογισμικό CFX-POST για την επεξεργασία και οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων.

Στην Εικόνα 5.1 παρουσιάζονται οι ισογραμμές στατικής πίεσης πάνω στις στερεές επιφάνειες του υπολογιστικού χωρίου. Οι έντονα κόκκινες περιοχές αντιστοιχούν σε περιοχές υψηλών πιέσεων (κυρίως σημεία ανακοπής), ενώ οι γαλάζιες περιοχές αντιστοιχούν σε χαμηλές πιέσεις. Οι στατικές πιέσεις είναι σχετικές πιέσεις (για το λόγο αυτό εμφανίζονται και αρνητικές τιμές).



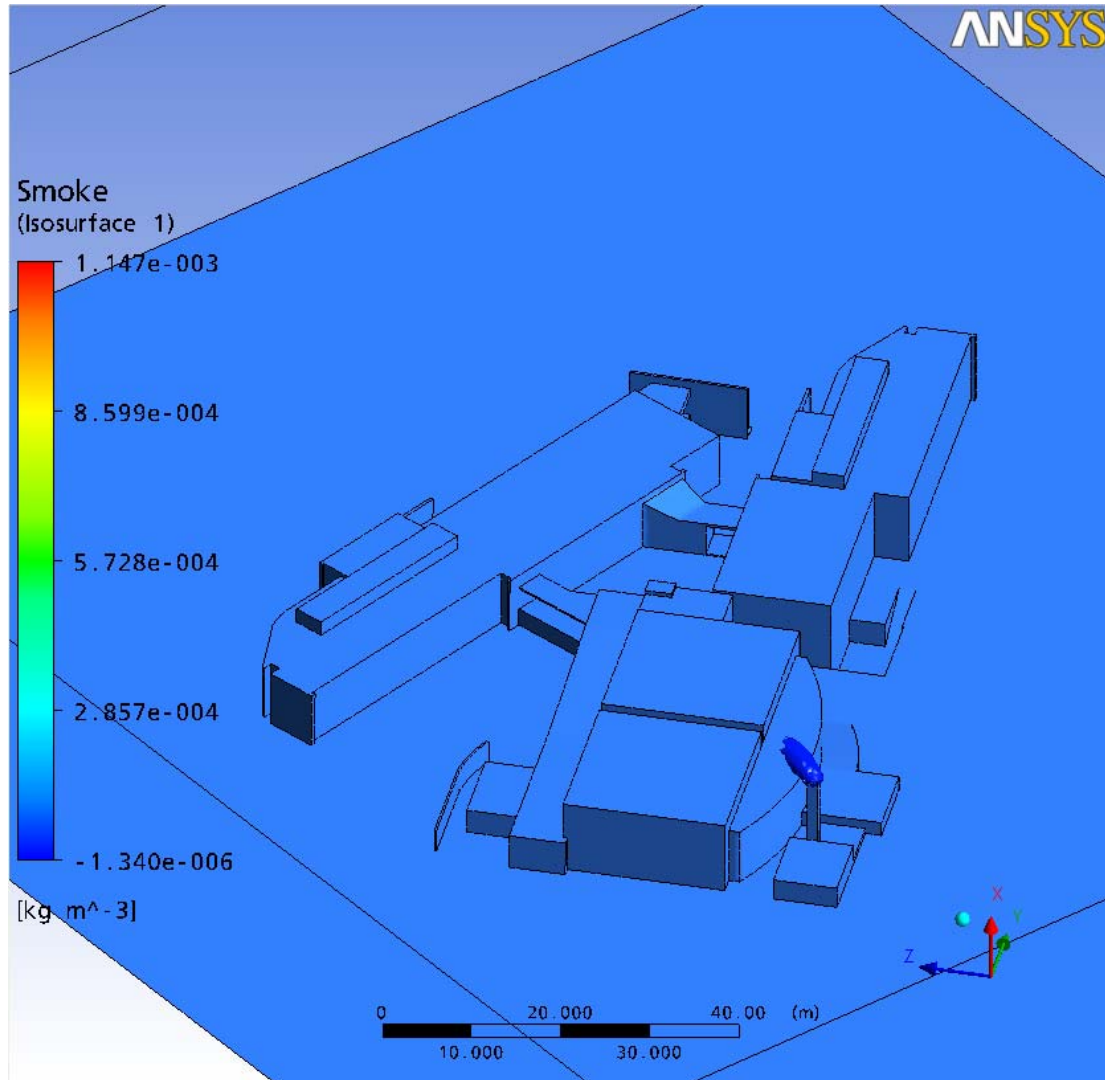
Εικόνα 5.1: Χάρτης μεταβολής της στατικής πίεσης στην επιφάνεια των κτηρίων και του εδάφους

Στην Εικόνα 5.2 παρουσιάζονται οι γραμμές ροής του αέρα γύρω από τα κτήρια. Φαίνονται χαρακτηριστικά περιοχές έντονου στροβιλισμού της ροής πίσω από τα κτήρια, όπως άλλωστε ήταν αναμενόμενο να συμβεί. Είναι ενδιαφέρον αν δούμε στη συνέχεια εάν αυτοί οι στροβιλισμοί επιδρούν στη διάχυση των ρύπων.

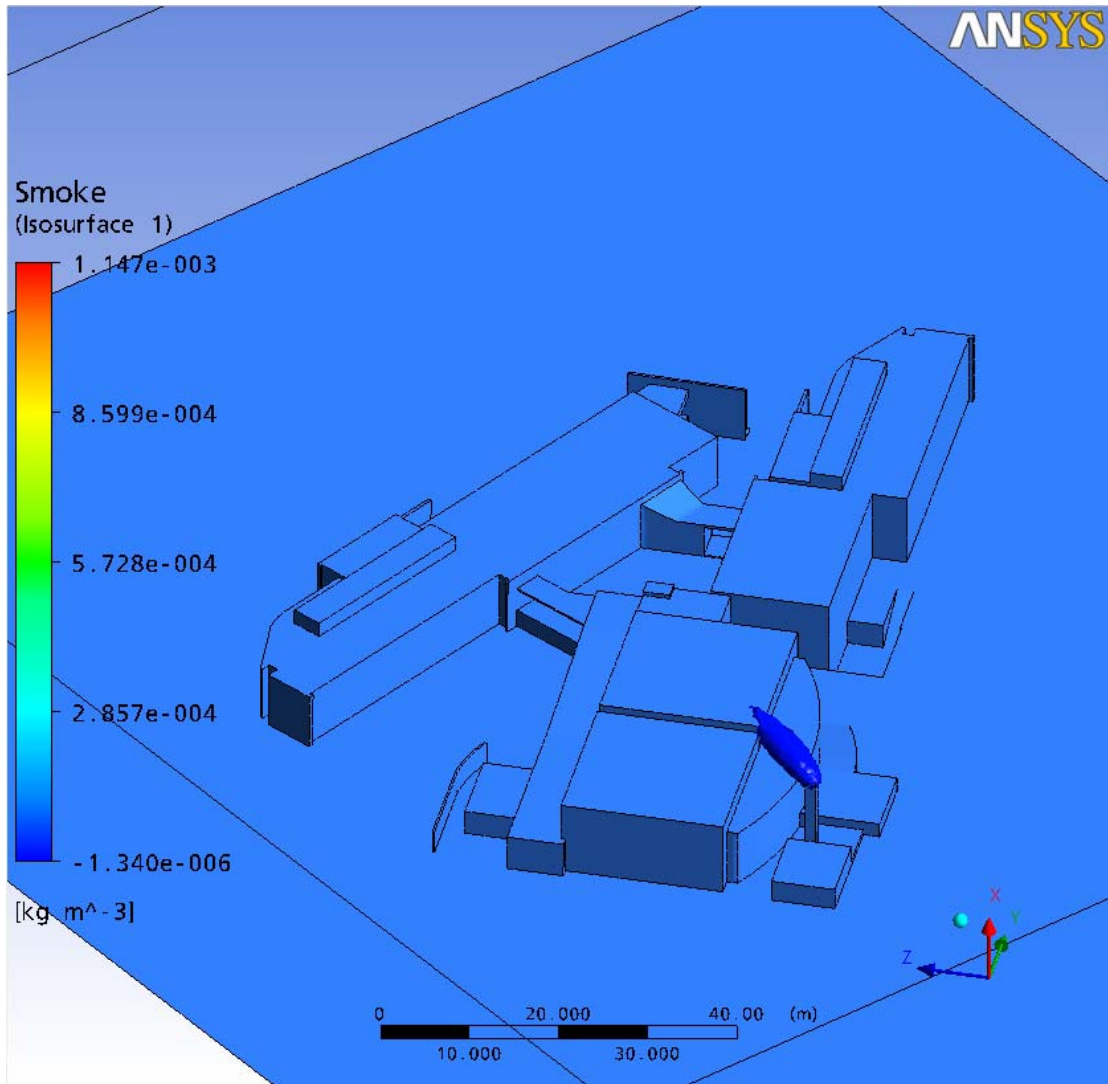


Εικόνα 5.2: Γραμμές ροής του αέρα γύρω από τα κτήρια

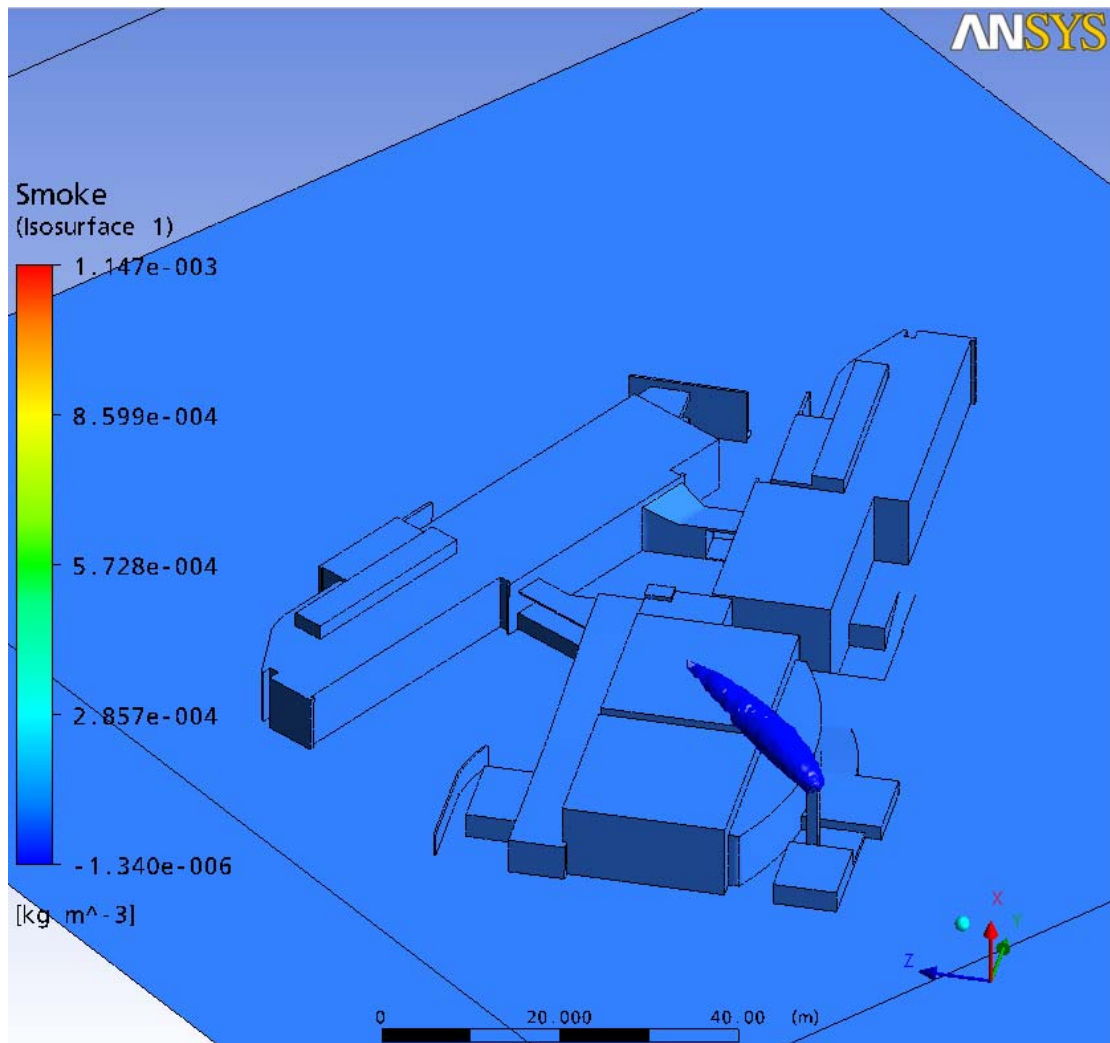
Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι ισοεπιφάνειες της συγκέντρωσης των ρύπων για διαφορετικές τιμές συγκέντρωσης, όπου οπτικοποιείται η μεταφορά και η διάχυση των ρύπων από την καμινάδα γύρω από τα κτήρια.



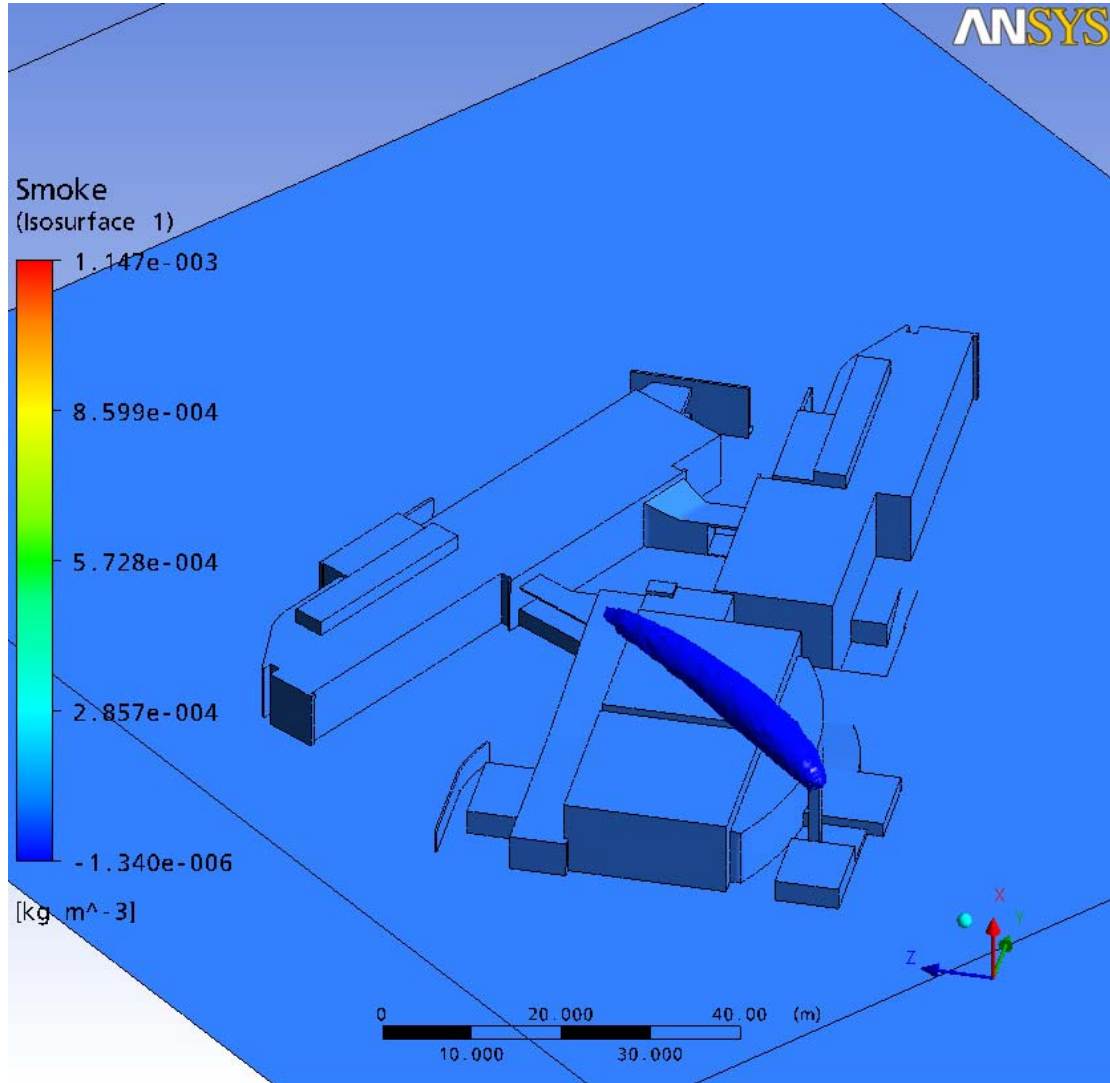
Εικόνα 5.3: Συγκέντρωση $2.02006 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^3$



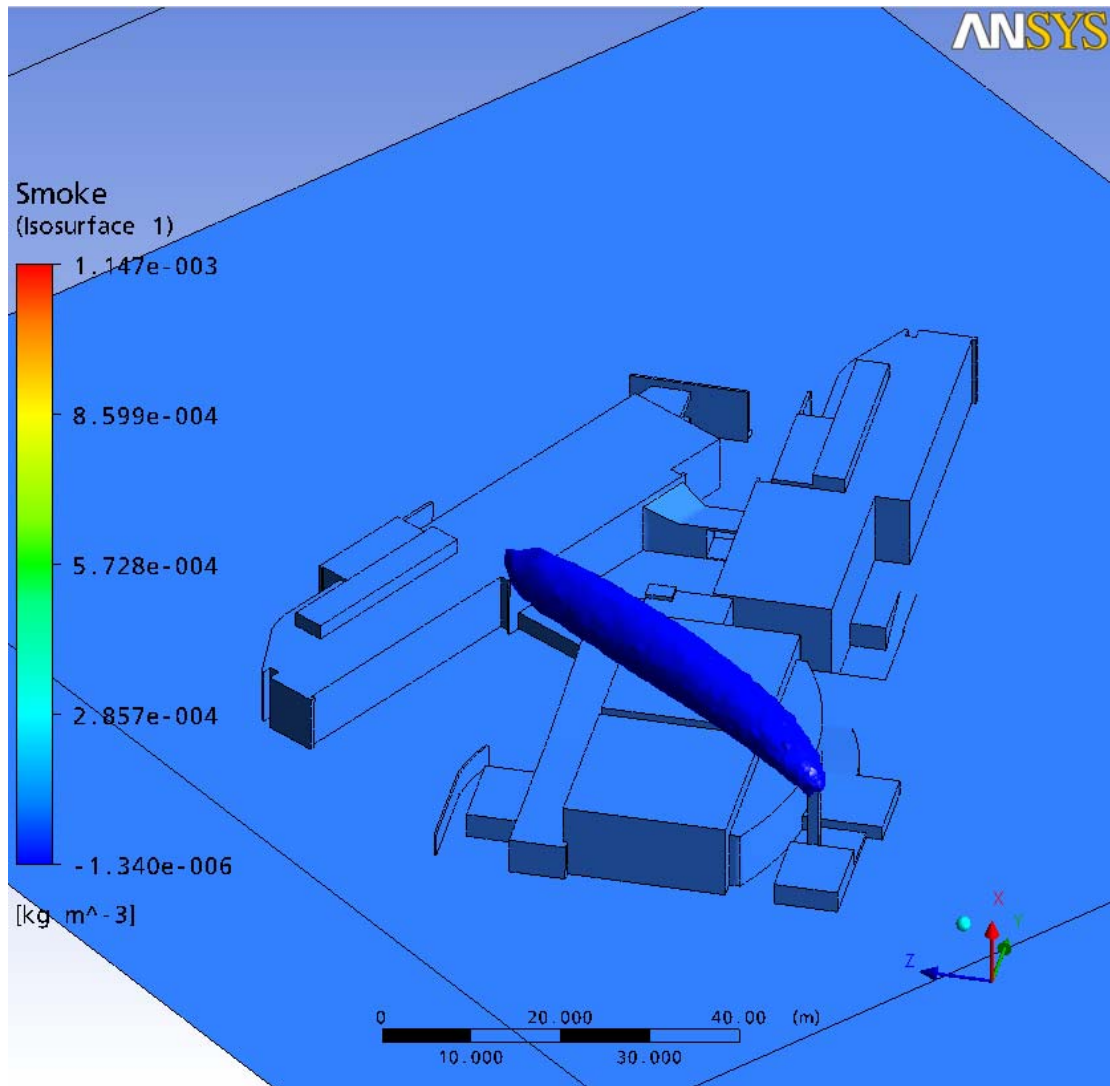
Εικόνα 5.4: Συγκέντρωση $1.02006 \times 10^{-5} \text{ kg/m}^3$



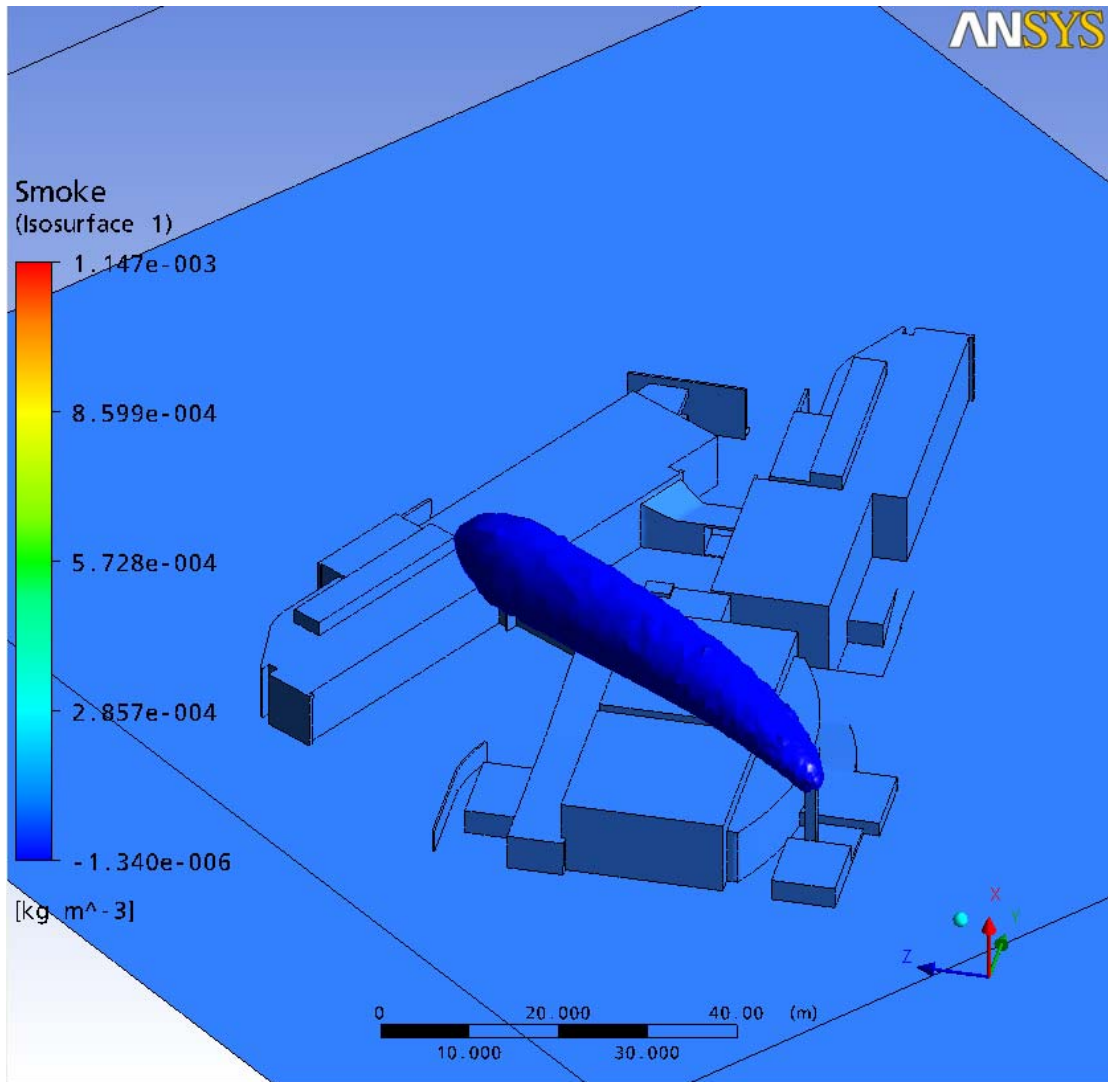
Εικόνα 5.5: Συγκέντρωση $6.02006 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$



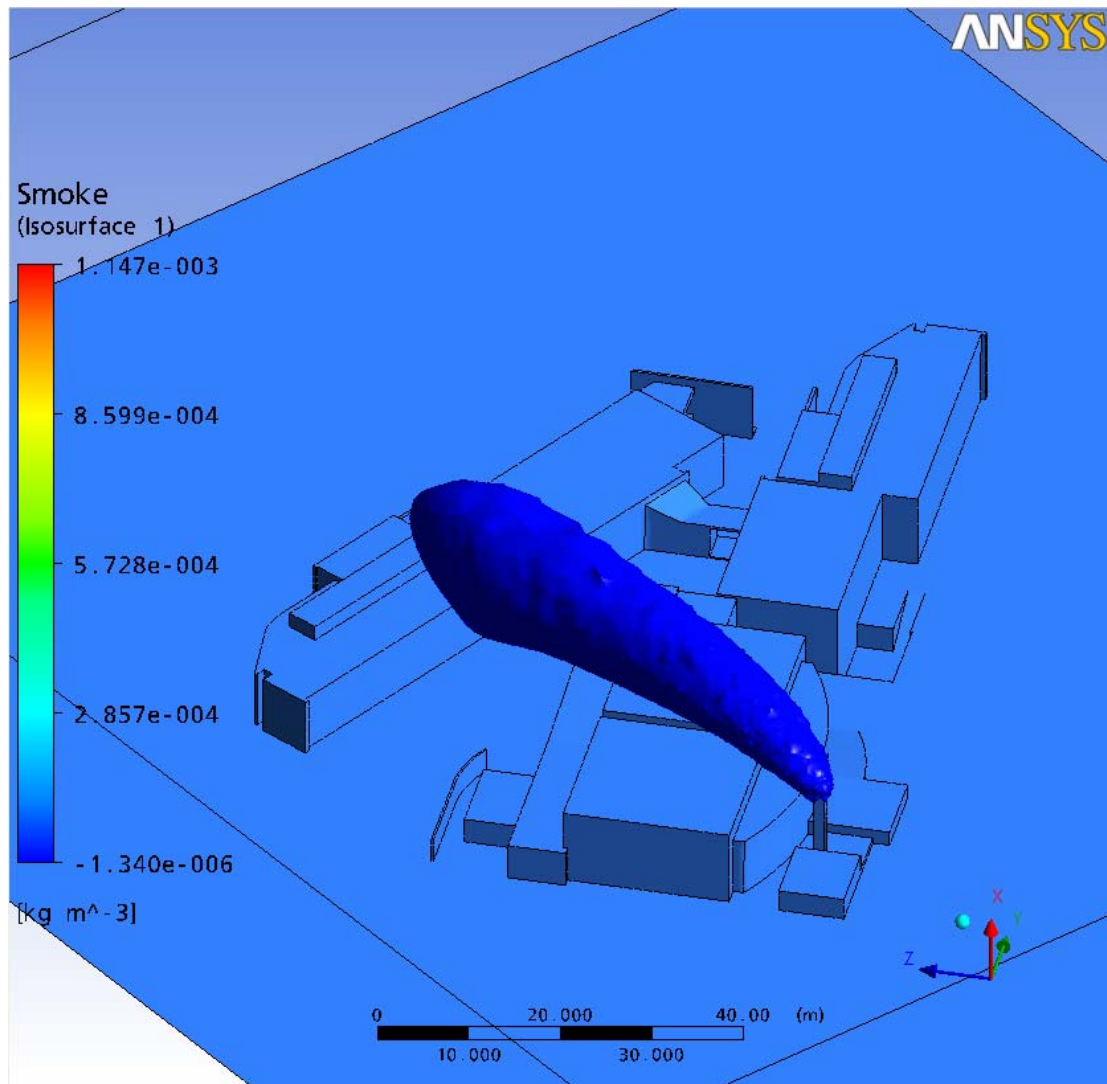
Εικόνα 5.6: Συγκέντρωση $4.02006 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$



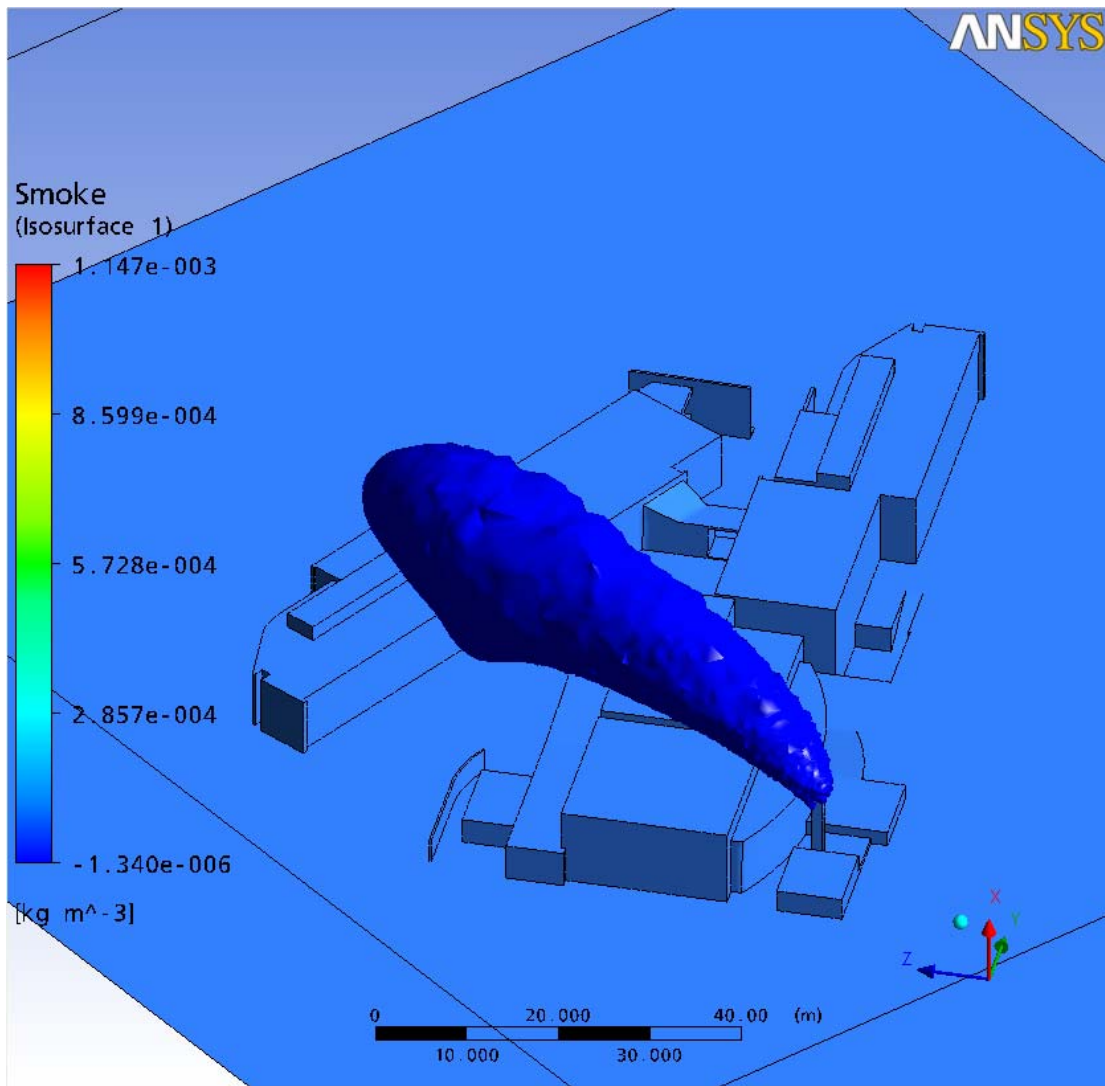
Εικόνα 5.7: Συγκέντρωση $2.02006 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$



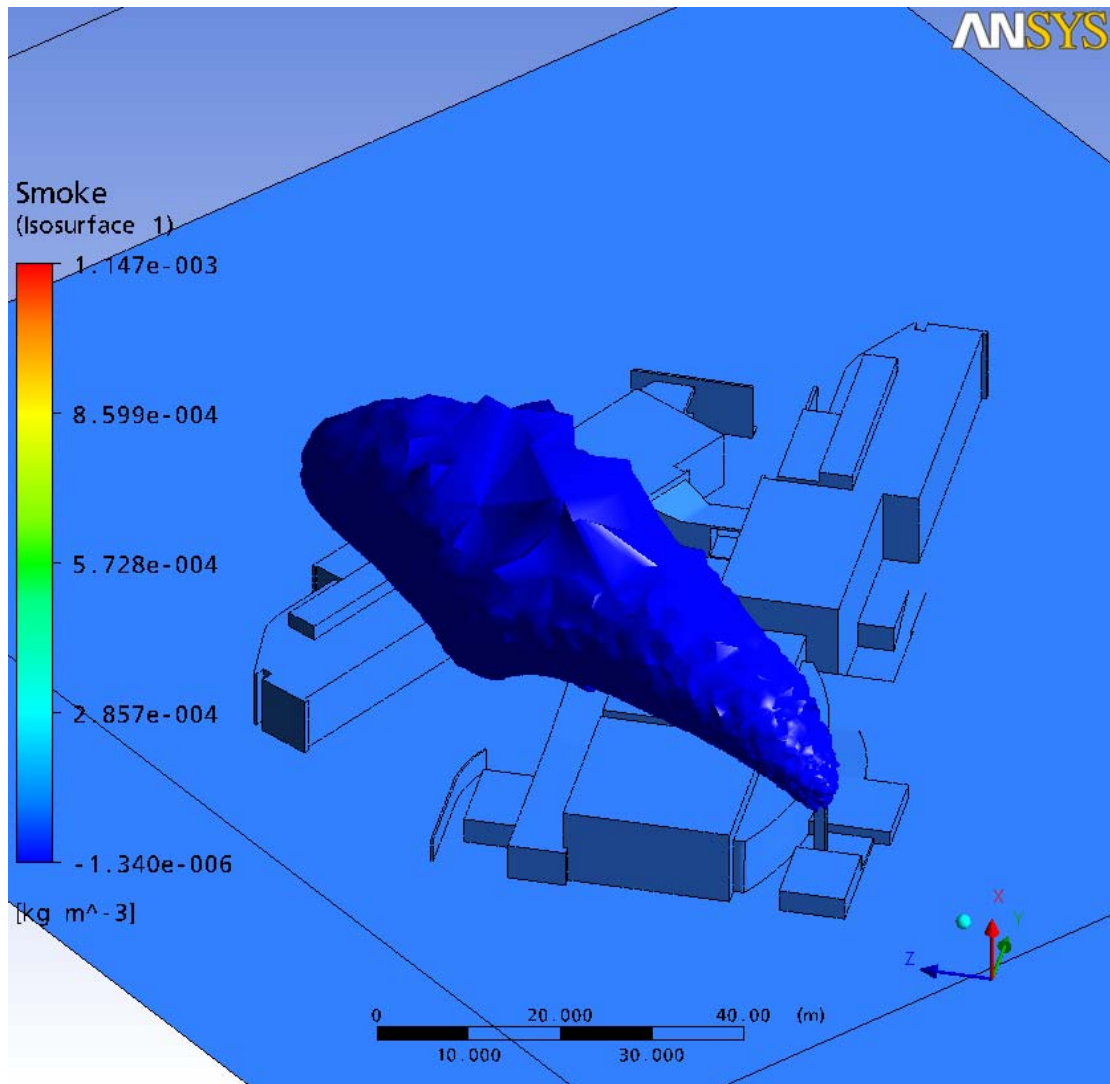
Εικόνα 5.8: Συγκέντρωση $1.02006 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^3$



Εικόνα 5.9: Συγκέντρωση $4.02006 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^3$



Εικόνα 5.10: Συγκέντρωση $1.02006e-07 \text{ kg/m}^3$



Εικόνα 5.11: Συγκέντρωση $2.064 \times 10^{-8} \text{ kg/m}^3$

Στις προηγούμενες εικόνες οπτικοποιείται η διάχυση των ρύπων γύρω από τα κτήρια και φαίνεται ότι αυτά δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα από την παρουσία της καμινάδας. Το πλούμιο κινείται πάνω από τα κτήρια και ιδιαίτερα μικρές συγκεντρώσεις παρατηρούνται κοντά σε αυτά. Η ανύψωση του πλουμίου διευκολύνεται και από την καμπύλωση των γραμμών ροής που προκαλεί η παρουσία των κτηρίων.

5.2 Συμπεράσματα

Οι εξαγόμενοι ρύποι από την καπνοδόχο σε υψηλές συγκεντρώσεις και μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα έκθεσης σε αυτούς μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στην ανθρώπινη υγεία και ιδιαίτερα σε συγκεκριμένες ευπαθείς ομάδες ανθρώπων. Οι κυριότερες επιπτώσεις, ορισμένων ρύπων, στην ανθρώπινη υγεία είναι:

Το **μονοξείδιο του άνθρακα(CO)** αντιδρά με την αιμογλομίνη του αίματος και σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να οδηγήσει σε ανωμαλίες της όρασης, κακή εκτίμηση του χώρου και του χρόνου και πιθανόν σε αναισθησία.

Το **διοξείδιο του θείου(SO₂)** επιδρά στο αναπνευστικό σύστημα, ιδιαίτερα όταν συνδυάζεται με υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων

Κάποιες ενώσεις **υδρογονανθράκων(CxHx)** έχουν καρκινογόνο δράση.

Τα **οξειδία του αζώτου (NO_x)** σε έκθεση μικρής διάρκειας (π.χ. για λιγότερο από 3 ώρες) σε τρέχοντα επίπεδα NO₂, πιθανόν να οδηγήσει σε δυσλειτουργίες της αναπνευστικής ανταπόκρισης. Παρατεταμένη έκθεση προκαλεί ευαισθησία του αναπνευστικού συστήματος και δύναται να οδηγήσει σε σοβαρές, μόνιμες αλλοιώσεις των πνευμόνων [21].

Για την εκτίμηση των επιπτώσεων από την παρουσία τοξικών ουσιών στην ατμόσφαιρα χρησιμοποιούνται συνήθως οριακές τιμές, οι οποίες εκφράζουν τη συγκέντρωση μιας τοξικής ουσίας στον αέρα στην οποία εκτίθεται ένας πληθυσμός (συνήθως για 30 min) στην οποία αντιστοιχούν συγκεκριμένες επιδράσεις. Πιο συγκεκριμένα, όπως προκύπτει από διερεύνηση της διεθνούς βιβλιογραφίας κατά κανόνα χρησιμοποιούνται κάποια όρια (**IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health), LC50 (Lethal Concentration 50), LC1 (Lethal Concentration κ.α)** εκ των οποίων εμείς θα μελετήσουμε τα όρια IDLH, αφού τα υπόλοιπα αφορούν συγκεντρώσεις για σοβαρότερες τοξικές ουσίες που μπορούν να φέρουν ακόμα και θάνατο σε συγκεκριμένα ποσοστά πληθυσμών που θα εκτεθούν σε αυτές για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα [16].

IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health) Ορίζεται ως η μέγιστη συγκέντρωση μιας τοξικής ουσίας στον αέρα στην οποία μπορεί να εκτεθεί ένας υγιής εργαζόμενος για 30 min και να διαφύγει χωρίς να υποστεί μη-ανατάξιμες βλάβες στην υγεία του ή τραυματισμούς που εμποδίζουν τη διαφυγή του (κυρίως ερεθισμούς ματιών ή πνευμόνων) (*Technical Guidance for Hazards Analysis - Emergency Planning for Extremely Hazardous Substances, 1987*) [16].

Το όριο για το $IDLH_{SO_2}$ είναι ίσο με 26.5 mg/m^3 [16].

Στην συνέχεια θα υπολογίσουμε τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου για τις δεδομένες τιμές συγκέντρωσης του εξερχόμενου καπνού, που προέκυψαν από την προσομοίωση και θα τις συγκρίνουμε με τα όρια $IDLH_{SO_2}$ για να δούμε αν υπάρχει κάποιος κίνδυνος για την υγεία των φοιτητών.

Η συγκέντρωση του SO_2 στον εξερχόμενο καπνό είναι 220 mg/m^3 (Βλέπε Κεφάλαιο 2 - Πίνακας 2.1: Ενδεικτικές Εκπομπές ρύπων).

Επομένως το ποσοστό που καταλαμβάνει του SO_2 στον καπνό την ώρα που εξέρχεται από την καμινάδα είναι:

$$\text{Ποσοστό } SO_2 = \frac{C(SO_2)}{C(\text{καπνού})} = \frac{220 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}}{1147 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}} = 0.1918 = 19.18 \%$$

Όπου $C(n)$ είναι η συγκέντρωση. Στη συνέχεια για τις ισοεπιφάνειες που σχεδιάστηκαν στις προηγούμενες εικόνες υπολογίζουμε τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις SO_2 , θεωρώντας σταθερό ποσοστό του μέσα στο πλούμιο.

ΣΥΓΚΕΤΡΩΣΗ ΚΑΠΝΟΥ (kg/m3)	ΣΥΓΚΕΤΡΩΣΗ ΚΑΠΝΟΥ (mg/m3)	ΣΥΓΚΕΤΡΩΣΗ SO_2 (mg/m3)
2,02E-05	20,2	3,87
1,02E-05	10,2	1,96
6,02E-06	6,02	1,15
4,02E-06	4,02	0,771
2,02E-06	2,02	0,387
1,02E-06	1,02	0,196
4,02E-07	0,402	0,0771
1,02E-07	0,102	0,0196
2,06E-08	0,0206	0,00396

Πίνακας 5.1: Συγκεντρώσεις Καπνού - SO₂

Παρατηρούμε ότι όλες οι τιμές συγκέντρωσης του SO₂ είναι κατά πολύ μικρότερες από τα όρια για το **IDLH_{SO₂}** που είναι 26.5 mg/m³.

Επομένως διαπιστώνουμε πως δεν τίθεται θέμα κινδύνου για την υγεία των φοιτητών από την συγκεκριμένη καμινάδα.

Η τιμή συγκέντρωσης καπνού που αντιστοιχεί στο όριο **IDLH_{SO₂}** = **26.5 mg/m³** είναι:

$$c(\text{καπνού}) = \frac{c(\text{SO}_2)}{0,1918} = \frac{220 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}}{0,1918} = 1147,08 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

Η συγκεκριμένη τιμή συγκέντρωσης αντιστοιχεί σε καπνό που βρίσκεται πάρα πολύ κοντά στην καμινάδα. Επομένως και πάλι δεν αποτελεί κίνδυνο για την υγεία των φοιτητών.

Επιπλέον Σχόλια

- ❖ Οι εκπομπές ρύπων που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς δεν αφορούν τον καυστήρα των συγκεκριμένων κτηρίων, διότι τα συγκεκριμένα κτήρια δεν έχουν τεθεί ακόμη σε λειτουργία και δεν ήταν δυνατή η δειγματοληπτική μελέτη των ρύπων του συγκεκριμένου καυστήρα.
- ❖ Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με νοτιοδυτική κατεύθυνση ανέμου και ταχύτητα 8,6 km/h. Τα δεδομένα αυτά δεν είναι τίποτα περισσότερο από τις μέσες τιμές των ανεμολογικών δεδομένων του έτους 2009 (αφού το 2010 είναι ακόμα τρέχον έτος και δεν έχουμε ολοκληρωμένη άποψη όλων των μηνών).
- ❖ Για τους υπολογισμούς της συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου υποθέσαμε την ομοιόμορφη κατανομή του (SO₂) μέσα στο καπνό.
- ❖ Το λογισμικό ANSYS CFX v11 έδωσε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα και η προσομοίωση του καπνού ήταν αρκετά ρεαλιστική. Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα προσομοίωσης του πεδίου ροής με μεγάλη λεπτομέρεια, οπότε η διασπορά των ρύπων υπολογίζεται χωρίς σημαντικές απλοποιητικές παραδοχές.
- ❖ Η συγκεκριμένη μελέτη πραγματοποιήθηκε γνωρίζοντας εκ των προτέρων ότι οι συγκεντρώσεις των εξερχόμενων ρύπων δεν θα είναι

βλαβερές για την υγεία των φοιτητών. Ωστόσο μια παρόμοια μελέτη θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί σε μία άλλη εγκατάσταση (π.χ. εργοστάσιο), του οποίου οι εκπεμπόμενοι ρύποι θα ήταν κατά πολύ περισσότεροι και με υψηλότερες συγκεντρώσεις και επομένως το ενδιαφέρον για την επίδραση τους στην ανθρώπινη υγεία θα ήταν μεγαλύτερο. Η συγκεκριμένη εφαρμογή της μεθοδολογίας επιλέχθηκε ως "case study" λόγω της ύπαρξης αναλυτικών δεδομένων της γεωμετρίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] 'Διασπορά Ρύπων- Εμβάθυνση στα φαινόμενα μεταφοράς', 2009-2010.
- [2]Μελάς Δημήτριος, 'Διασπορά Αερίων Ρύπων', Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 52 σ, 1997.
- [3]Mantzou, L., Capros, P., Kouvaritakis, N. & Zeka-Paschou, M., 'European Energy & Transport – Trends to 2030', Directorate General Energy & Transport, Brussels, (ISBN 92-894-4444-4), pp. 220, January 2003.
- [4]EC Green Paper, 'Towards a European strategy for the security of energy supply', Commission of the European Communities, COM 769, Brussels, November 2000.
- [5]Balaras, C.A., Drousa, K., Argiriou, A.A. & Asimakopoulos, D.N., 'Potential for energy conservation in apartment buildings', *Energy&Buildings* 31(2), 143-154, 2000.
- [6]Chwieduk, D., 'Towards sustainable-energy buildings', *Applied Energy* 76(1-3), 211-217, , 2003.
- [7]Vine, E., 'Opportunities for promoting energy efficiency in buildings as an air quality compliance approach', *Energy* 28(4), 319-341, 2003.
- [8]Ventilation Factor by Dr. Nolan Atkins, Lyndon State College, 'Air Pollution Dispersion'.
- [9]Bosanquet, C.H. and Pearson, J.L., 'The spread of smoke and gases from chimney', *Trans. Faraday Soc.*, 32:1249 ,1936.
- [10]Beychok, Milton R., 'Fundamentals Of Stack Gas Dispersion ' (4th Edition ed.). author-published. ISBN 0-9644588-0-2. (Chapter 8, page 124), 2005.
- [11]Features of Dispersion Models publication of the European Union Joint Research Centre (JRC).
- [12]DEGADIS Technical Manual and User's Guide (US EPA's download website).
- [13]SLAB User's Manual.
- [14]HEGADIS Technical Reference Manual.
- [15]Pasquill, F., 'The estimation of the dispersion of windborne material' , *The Meteorological Magazine*, vol 90, No. 1063, pp 33-49, 1961.
- [16] Χρήστος Δ. Αργυρόπουλος, Διπλωματική Εργασία, 'Προσομοίωση διασποράς τοξικών ρύπων και εκτίμηση επιπτώσεων στο περιβάλλον από πυρκαγιές σε δεξαμενές καυσίμων για την εφαρμογή της οδηγίας Seveso II', 2006.

ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

[17]ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ:

<http://www.minenv.gr>

[18]ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ Η ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΓΚΥΚΛΟΠΑΙΔΕΙΑ:

http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

[19]ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ – ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ

<http://penteli.meteo.gr/stations/chania/>

[20]CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION

<http://www.cdc.gov/>

[21] GREEN WAY STRUCTURE-ΑΕΙΦΟΡΟΣ ΔΟΜΗ

<http://www.gwstr.gr/>

[22]NATIONAL CLIMATIC DATA CENTER

<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html>