



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΑ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**Βελτιστοποίηση σχεδιασμού ανιχνευτή καπνού με τη χρήση  
προχωρημένων τεχνικών μοντελοποίησης.**

Smoke detector design and optimization using advanced modeling techniques.

υπό τον

Νικόπουλο Σταμάτη

Επιβλέπων Καθηγητής

Νικόλαος Ταπόγλου

Υποβλήθηκε ως απαιτούμενο για την απόκτηση του μεταπτυχιακού διπλώματος  
ειδίκευσης στα εφαρμοσμένα συστήματα αυτοματοποίησης

Θεσσαλονίκη, Ιούλιος, 2023



Η παρούσα Διπλωματική Εργασία καλύπτεται στο σύνολό της νομικά από δημόσια άδεια πνευματικών δικαιωμάτων Creative Commons:

Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Παρόμοια Διανομή



**Μπορείτε να:**

- **Μοιραστείτε:** αντιγράψετε και αναδιανέμετε το παρόν υλικό με κάθε μέσο και τρόπο
- **Προσαρμόστε:** αναμείξτε, τροποποιήστε και δημιουργήστε πάνω στο παρόν υλικό

**Υπό τους ακόλουθους όρους:**

- **Αναφορά Δημιουργού:** Θα πρέπει να καταχωρίσετε αναφορά στο δημιουργό, με σύνδεσμο της άδειας, και με αναφορά αν έχουν γίνει αλλαγές. Μπορείτε να το κάνετε αυτό με οποιονδήποτε εύλογο τρόπο, αλλά όχι με τρόπο που να υπονοεί ότι ο δημιουργός αποδέχεται το έργο σας ή τη χρήση που εσείς κάνετε.
- **Μη Εμπορική Χρήση:** Δε μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το υλικό για εμπορικούς σκοπούς.
- **Παρόμοια Διανομή:** Αν αναμείξετε, τροποποιήσετε, ή δημιουργήσετε πάνω στο παρόν υλικό, πρέπει να διανείμετε τις δικές σας συνεισφορές υπό την ίδια άδεια CreativeCommonsόπως και το πρωτότυπο.

Αναλυτικές πληροφορίες νομικού κώδικα στην ηλεκτρονική διεύθυνση:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode>

## Υπεύθυνη Δήλωση

Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις που προβλέπονται από τον Κανονισμό Σπουδών του Μεταπτυχιακού Προγράμματος στα Εφαρμοσμένα Συστήματα Αυτοματοποίησης του Διεθνούς Πανεπιστημίου Ελλάδος, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αποτελεί έργο αποκλειστικά δικής μου δημιουργίας, έρευνας, μελέτης και συγγραφής.
- Για τη συγγραφή της Διπλωματικής μου Εργασίας δεν χρησιμοποίησα ολόκληρο ή μέρος έργου άλλου δημιουργού ή τις ιδέες και αντιλήψεις άλλου δημιουργού χωρίς να γίνεται σαφής αναφορά στην πηγή προέλευσης(βιβλίο, άρθρο από επιστημονικό περιοδικό, ιστοσελίδα κλπ.).

Θεσσαλονίκη, Τετάρτη, Ιούλιος, 2023

Ο Δηλών : Σταμάτης Νικόπουλος

Copyright © υπό Σταμάτη Νικόπουλο

Θεσσαλονίκη 2023

Αυτή η αδημοσίευτη διατριβή είναι πνευματική ιδιοκτησία του συγγραφέα δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας του δημιουργού ή τρίτων σε σχέση αυτού του έργου είναι όπως ορίζονται από τον νόμο περί σχεδίων και ευρεσιτεχνιών πνευματικών δικαιωμάτων 1988 ή όπως τροποποιήθηκε από οποιαδήποτε διάδοχη νομοθεσία. Οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που περιέχονται σε αυτή τη διατριβή πρέπει να είναι σε συμφωνία με αυτή τη νομοθεσία και πρέπει να αναγνωρίζονται δεόντως. Περαιτέρω, η διανομή ή η αναπαραγωγή σε οποιαδήποτε μορφή απαγορεύεται χωρίς την άδεια του κατόχου των πνευματικών δικαιωμάτων.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη προς τον επιβλέποντα καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Διεθνούς Πανεπιστημίου Ελλάδος κ. Νικόλαο Ταπόγλου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, την άψογη συνεργασία, την αγόγγυστη καθοδήγηση, την πολύτιμη και καταλυτική συμβολή του, καθώς και τις εύστοχες παρατηρήσεις του στην ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω θερμά για την ανάθεση ενός τόσο ελκυστικού θέματος που άπτεται του πεδίου ενδιαφερόντων μου. Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω την εταιρεία στην οποία εργάζομαι εδώ και πολλά χρόνια, την Olympra Electronics, για την διάθεση και την πρόσβαση στον βιομηχανικό της εξοπλισμό. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, τον αδερφό μου, την κοπέλα μου και τους φίλους μου, για την υπομονή τους, τη βοήθειά τους, τη συνεχή τους στήριξη και ενθάρρυνση σε αυτή μου την προσπάθεια.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	4
Περίληψη .....	7
Abstract .....	8
1.Εισαγωγή.....	9
1.1 Στόχος εργασίας.....	9
1.2 Δομή εργασίας.....	9
2.Στάθμη των γνώσεων .....	10
2.1 Συνοπτική παρουσίαση των νέων τεχνολογιών ανιχνευτών.....	11
2.2 Αισθητήρες πυρκαγιάς.....	12
2.3 Οι αισθητήρες θερμότητας.....	13
2.4 Κατανεμημένοι ανιχνευτές θερμότητας οπτικών ινών .....	14
2.5 Αισθητήρες αερίου.....	14
2.6 Αισθητήρες καπνού .....	16
2.6.1 Μη οπτική ανίχνευση καπνού.....	16
2.6.2 Οπτική ανίχνευση καπνού.....	17
2.7 Συμπεράσματα και προοπτική.....	18
2.8 Ασύρματο σύστημα συναγερμού καπνού χαμηλής ισχύος.....	20
2.9 Έλεγχος καπνού σε σιδηροδρομική σήραγγα .....	22
3.Σχεδίαση 3D μοντέλου .....	24
3.1 Εισαγωγή .....	24
3.2 Το λογισμικό Solidworks.....	25
3.3 Βάση ανιχνευτή καπνού .....	26
3.4 Καπάκι ανιχνευτή καπνού.....	27
3.5 Επιτοίχια βάση στήριξης ανιχνευτή καπνού.....	28
3.6 Κρύσταλλο ενεργοποίησης δοκιμής ανιχνευτή καπνού .....	28
3.7 Τρισδιάστατη απεικόνιση πλακέτας ανιχνευτή καπνού .....	28
3.8 Συναρμολόγηση ανιχνευτή καπνού.....	29
4. Προσομοίωση με την μέθοδο της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (Computational Fluid Dynamics).....	30
4.1 Εισαγωγή στην υπολογιστική ρευστοδυναμική .....	30
4.2 Αεροδυναμική μελέτη στην φόρμουλα 1 .....	33
4.3 Προσομοίωση φωτιάς σε κτίριο με το Fire Dynamic Simulator.....	34
4.4 Προσομοίωση ροής στο SolidWorks.....	39
4.5 Ορισμός παραμέτρων προσομοίωσης.....	40
4.6 Υπολογιστικός τομέας-πεδίο.....	42
4.7 Απλοποίηση υπολογιστικού πεδίου .....	44

4.8 Mesh (Πλέγμα) .....	45
4.9 Τροχιές ροής - οριζόντιες τομές .....	48
4.10 Τροχιές ροής - κάθετες τομές.....	50
4.11 Σημεία συλλογής δεδομένων – παράμετροι σημείου .....	50
5.Επαλήθευση–Αξιολόγηση με την μέθοδο σχεδιασμού πειραμάτων .....	52
5.1 Εισαγωγή στο Design of Experiments .....	52
5.2 Factorial design (παραγοντικός σχεδιασμός).....	54
5.3 MODDE .....	56
5.4 Ανάλυση του παράγοντα της ταχύτητας πριν τον μετασχηματισμό.....	58
5.4.1 Αντίγραφα (Replicates) .....	58
5.4.2 Ιστόγραμμα (Histogram).....	59
5.4.3 Συντελεστές (Coefficients).....	61
5.4.4 Περίληψη της προσαρμογής (Summary of fit) .....	62
5.4.5 Υπολειμματική κανονική πιθανότητα (Residual normal probability) .....	63
5.4.6 Ανάλυση παλινδρόμησης (Regression).....	64
5.4.7 Δισδιάστατα διαγράμματα περιγράματος (2D Response Contour Plot) .....	65
5.4.8 Surfaceplot (Διάγραμμα επιφάνειας) .....	66
5.5 Ανάλυση του παράγοντα της ταχύτητας μετά τον μετασχηματισμό.....	67
5.5.1 Ταχύτητα (velocity) – μετασχηματισμένη μορφή .....	67
5.5.2 Στροβιλισμός (Vorticity) – μετασχηματισμένη μορφή .....	70
5.5.3 Αναταράξεις – τυρβώδη ροή (Turbulence) – μετασχηματισμένη μορφή.....	74
5.5.4 Συμπεράσματα .....	77
6.Διερεύνηση βέλτιστων συνθηκών & πειραματικά αποτελέσματα .....	78
6.1 Βελτιστοποίηση μέσω του MODDE .....	78
6.2 Τρισδιάστατη εκτύπωση δοκιμίου .....	83
6.3 Επανεκτύπωση .....	85
6.4 Πειραματική δοκιμή.....	87
6.5 Σύγκριση και επαλήθευση βελτιστοποιημένου ανιχνευτή καπνού .....	90
6.6 Εγκυρότητα – πιστοποίηση ανιχνευτή καπνού.....	91
Σύνοψη .....	91
Βιβλιογραφία.....	93

## Περίληψη

Μέχρι και σήμερα ο σχεδιασμός των ανιχνευτών καπνού γινόταν με εμπειρικό τρόπο, ο οποίος δεν οδηγούσε στα επιθυμητά αποτελέσματα, με συνέπεια να αδυνατεί να αποδώσει στο μέγιστο δυνατό του. Μια κακή σχεδίαση της γεωμετρίας του ανιχνευτή καπνού συνήθως περιλαμβάνει σχισμές περιμετρικά με ακανόνιστο τρόπο, οδηγώντας σε μη επιθυμητές ροές και ψευδείς συναγερούς με πολλά σφάλματα.

Επομένως, είναι ζωτικής σημασίας να παράγουμε ένα ανιχνευτή καπνού με υψηλή ποιότητα, ελαχιστοποιώντας τα σφάλματα που μπορούν να προκύψουν από μια κακή σχεδίαση. Γνωρίζοντας πώς να βελτιστοποιήσουμε το βήμα αυτό της σχεδίασης, θα επιταχύνουμε τη διαδικασία παραγωγής του προϊόντος και θα εξοικονομήσουμε στους σχεδιαστές πολύτιμο χρόνο. Ο στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας, είναι να διερευνήσει την επιρροή διαφορετικών ροών μείγματος καπνού στο εσωτερικό του ανιχνευτή, τροποποιώντας τον ίδιο τον ανιχνευτή με χρήση της μεθόδου της σχεδίασης πειράματος (Design of Experiments). Ειδικότερα, η μέθοδος της σχεδίασης για την επίτευξη της καταλληλότερης διατομής του ανιχνευτή καπνού, διερευνάται με βάση τις διαφορετικές παραμέτρους. Η διαδικασία σχεδιασμού των πειραμάτων υλοποιείται με τέτοιο τρόπο, ώστε να συλλεχθούν και να αναλυθούν κατάλληλα δεδομένα μέσω στατιστικών μεθόδων, προκειμένου να εξαχθούν έγκυρα και αντικειμενικά συμπεράσματα.

Βελτιστοποιώντας τη σχεδίαση παρατηρούμε θεωρητικά και πρακτικά ότι τα συμπεράσματα μας επαληθεύονται. Εκτυπώνοντας τη βέλτιστη σχεδίαση του ανιχνευτή καπνού μας δίνετε την δυνατότητα να πειραματιστούμε με πραγματικές ροές και να αξιοποιήσουμε τη μέθοδο της σχεδίασης πειραμάτων.

## **Abstract**

Up until today, the design of smoke detectors was done in an empirical way, which did not lead to the desired results. Consequently, the smoke detector was unable to perform at its best. A poor design of smoke detector geometry usually involves slits around the perimeter in an irregular fashion, leading to unwanted flows and false alarms with many errors.

Therefore, it is vital to produce a smoke detector of high quality, minimizing the errors that can result from a poor design. Knowing how to optimize this design step will speed up the product manufacturing process and save designers' valuable time. The aim of this thesis is to investigate the influence of different smoke mixture flows inside the detector by modifying the detector itself using the Design of Experiments method. In particular, the design method to achieve the most suitable cross-section of the smoke detector is investigated based on the different parameters. The design process of the experiments is implemented in such a way that appropriate data are collected and analysed through statistical methods in order to draw valid and objective conclusions.

While optimising the design we observe theoretically and practically that our conclusions are verified. Printing the optimal smoke detector design allows us to experiment with real flows and utilize the Design of Experiments method.



# 1.Εισαγωγή

## 1.1 Στόχος εργασίας

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μοντέλου προσομοίωσης για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του σχεδιασμού ενός ανιχνευτή καπνού. Η μοντελοποίηση που παρουσιάζεται είναι μια από τις κυριότερες λειτουργίες που ακολουθείται στη μηχανουργική τεχνολογία. Ωστόσο, υπάρχουν ελάχιστα μοντέλα προσομοίωσης ανιχνευτών καπνού έως τώρα, που η βελτιστοποίηση γίνεται με τη μέθοδο trial and error και τα αποτελέσματα συνήθως δεν είναι βέλτιστα, πράγμα που πολλές φορές οδηγεί στην κακή λειτουργία ενός προϊόντος.

Συνοπτικά, οι εργασίες που αναπτύχθηκαν είχαν τους παρακάτω σκοπούς:

- Αναζήτηση σχετικής βιβλιογραφίας
- Μελέτη των διαφόρων τεχνολογιών και λογισμικών για την ανάπτυξη μοντέλων προσομοίωσης φωτιάς και μοντελοποίησης καπνού (Fire dynamic simulator, Blenderfds, PyroSim, OpenFOAM, SimScale)
- Ανάπτυξη μοντέλου με τη χρήση ενός εμπορικού πακέτου CAD
- Επιβεβαίωση του μοντέλου με πειραματικές μετρήσεις
- Ανάπτυξη πλαισίου Design of Experiments(DOE)
- Βέλτιστος σχεδιασμός και επιβεβαίωση

## 1.2 Δομή εργασίας

Το κεφάλαιο της **στάθμης των γνώσεων** είναι ένα από τα πιο σημαντικά διότι παρουσιάζεται μια ανασκόπηση από τη βιβλιογραφία που υπάρχει σε θέματα νέων τεχνολογιών σε ανιχνευτές καπνού αλλά και προσομοίωσης καταστάσεων φωτιάς.

Οι κυριότερες κατηγορίες είναι:

- Διάφοροι ανιχνευτές φωτιάς(καπνού , αερίου , θερμότητας)
- Αυτόνομοι ανιχνευτές καπνού χαμηλής κατανάλωσης
- Εφαρμογή προσομοίωσης φωτιάς σε σιδηροδρομική σήραγγα

Στο **κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται το μοντέλο που αναπτύχθηκε με χρήση εμπορικού λογισμικού CAD.

Η δομή που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

- Σχεδιασμός της βάσης του ανιχνευτή καπνού
- Σχεδιασμός του καπακιού
- Σχεδιασμός της επιτοίχιας βάσης
- Σχεδιασμός του Pcb της πλακέτας για μεγαλύτερη λεπτομέρεια
- Σχεδιασμός κρύσταλλου για την ενεργοποίηση του τεστ μπουτόν
- Συναρμολόγηση των εξαρτημάτων του ανιχνευτή καπνού

Στο **κεφάλαιο 4** παρουσιάζεται με μια μικρή εισαγωγή η μέθοδος της προσομοίωσης της υπολογιστικής μηχανικής (CFD) και έπειτα γίνεται μια ανασκόπηση σε διάφορους τομείς, όπου χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος, όπως στο σχεδιασμό αεροδυναμικής, στη Formula 1, και στη μελέτη πυρασφάλειας κτηριακών εγκαταστάσεων .Στη συνέχεια, εισάγεται το λογισμικό το οποίο επιλέξαμε να κάνουμε την προσομοίωση. Έπειτα, ακολουθεί ο ορισμός της διαδικασίας και, τέλος, η συλλογή δεδομένων του πειράματος.

Στο **κεφάλαιο 5** παρουσιάζεται μια μικρή εισαγωγή στη μέθοδο του σχεδιασμού πειραμάτων. Επιλέγεται ο κατάλληλος τύπος του πειράματος καθώς και οι παράμετροί του. Ύστερα, γίνεται μια θεωρητική ανάλυση στα αποτελέσματα που εξήχθησαν από το λογισμικό ανάπτυξης σχεδιασμού πειραμάτων και μετά ακολουθεί μια βελτιστοποίηση των παραμέτρων από το πρόγραμμα.

Στο **κεφάλαιο 6** για την επιβεβαίωση του βέλτιστου σχεδιασμού με βάση τις μεθόδους, οι οποίες αναφέρθηκαν, αλλά και μέσω των πειραματικών αποτελεσμάτων, επιλέχθηκε και εκτυπώθηκε από 3DPrinterη βάση με την βέλτιστη ικανοποίηση των συνθηκών των οποίων τέθηκαν.

Τέλος, ακολουθεί η σύνοψη με τα συμπεράσματα της διπλωματικής αλλά και η βιβλιογραφία.

## 2.Στάθμη των γνώσεων

### 2.1 Συνοπτική παρουσίαση των νέων τεχνολογιών ανίχνευτών καπνού

Η πυρκαγιά είναι πράγματι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλει σε θανάτους, υλικές ζημιές και οικονομική αναστάτωση. Ένας μεγάλος αριθμός περιστατικών πυρκαγιών σε όλο τον κόσμο προκαλούν καταστροφές πέρα από κάθε μέτρηση και περιγραφή κάθε χρόνο. Για να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις τους, είναι απαραίτητη η εφαρμογή καινοτόμων και αποτελεσματικών τεχνολογιών έγκαιρης προειδοποίησης πυρκαγιάς. Παρά το γεγονός ότι οι ερευνητικές δημοσιεύσεις για την τεχνολογία πυρανίχνευσης έχουν αντιμετωπίσει το ζήτημα σε κάποιο βαθμό, η τεχνολογία πυρανίχνευσης εξακολουθεί να αντιμετωπίζει εμπόδια στη μείωση των ψευδών ειδοποιήσεων, στη βελτίωση της ευαισθησίας και της δυναμικής ευθύνης και στην παροχή προστασίας για δαπανηρές και περίπλοκες εγκαταστάσεις. Σε αυτή την ανασκόπηση, στοχεύουμε να παρέχουμε μια ολοκληρωμένη ανάλυση των τρεχουσών φουτουριστικών πρακτικών στο πλαίσιο των στρατηγικών ανίχνευσης και παρακολούθησης πυρκαγιάς, με έμφαση στις μεθόδους ανίχνευσης πυρκαγιάς μέσω της συνεχούς παρακολούθησης μεταβλητών, όπως θερμοκρασία, φλόγα, περιεκτικότητα σε αέρια και καπνό, μαζί με τα αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τα πρότυπα μέτρησης και τα εύρη μέτρησης παραμέτρων. Παρέχονται, επίσης, τρέχουσες ερευνητικές κατευθύνσεις και προκλήσεις που σχετίζονται με την τεχνολογία πυρανίχνευσης και μελλοντικές προοπτικές για την κατασκευή προηγμένων αισθητήρων πυρκαγιάς. Ευελπιστούμε πως μια τέτοια ανασκόπηση μπορεί να αποτελέσει έμπνευση για την έρευνα αισθητήρων πυρκαγιάς, που είναι αφιερωμένη στην ανάπτυξη προηγμένων τεχνικών ανίχνευσης πυρκαγιάς.

Η φωτιά υπήρξε ένα πολύτιμο gadget σε όλη την ιστορία της ανθρωπότητας, ωστόσο, μπορεί, επίσης, να φέρει καταστροφή αν δεν ελεγχθεί προσεκτικά. Με την πρόοδο στις ηλεκτρονικές συσκευές, τους αισθητήρες, τις επικοινωνίες πληροφοριών και τις τεχνολογίες, ο κατασκευαστικός κλάδος βιώνει μια μεταμόρφωση. Αυτό οδήγησε στην εμφάνιση πολλών τεχνολογικών εξελίξεων. Η ψηφιακή επανάσταση βοήθησε σημαντικά στη μείωση των λειτουργικών εξόδων, ενώ παράλληλα βελτίωσε την απόδοση. Ομοίως, όταν τα υλικά και οι τεχνολογίες μόνωσης βελτιώνονται και χρησιμοποιούνται ευρύτερα στις κτιριακές κατασκευές, ο κίνδυνος απώλειας ζωής και οικονομικών περιουσιακών στοιχείων, ως αποτέλεσμα πυρκαγιάς, αυξάνεται. Η ευπάθεια στη φωτιά είναι ένας αδιάκοπος κίνδυνος στην καθημερινή ζωή. Από τα τέλη της δεκαετίας του 1900, υπήρξε σημαντική μείωση στον αριθμό των θανάτων από πυρκαγιές λόγω της αυξημένης χρήσης τεχνολογιών για την πρόληψη ή την αναστολή πυρκαγιών, όπως ανίχνευτές καπνού, και σχέδια εκκένωσης έκτακτης ανάγκης. Ακόμη και με όλες αυτές τις εξελίξεις, η πυρκαγιά

παραμένει μια σημαντική ανησυχία, κοστίζοντας περίπου το 1% του παγκόσμιου ΑΕΠ κάθε χρόνο και έχοντας ως αποτέλεσμα την απώλεια χιλιάδων ζώων. Οι πρόσφατες τραγωδίες πυρκαγιών περιλαμβάνουν την έκρηξη στη Βηρυτό του Λιβάνου το 2020, τις πυρκαγιές στην Αυστραλία 2019–2020, τη φωτιά της Παναγίας των Παρισίων (Γοτθικός καθεδρικός ναός) το 2019, η πυρκαγιά του London Grenfell Tower το 2017. Από το 2013 έως το 2017 η «Διεθνής Ένωση των Υπηρεσιών Πυροσβεστικής και Διάσωσης» ανέφερε κατά μέσο όρο 1097 θανάτους ετησίως (~4 θανάτους/ημέρα) σε ατυχήματα πυρκαγιάς σε όλο τον κόσμο. Αυτό οδήγησε τα τελευταία χρόνια στην εμφάνιση αρκετών νέων τεχνικών ανίχνευσης και πρόληψης πυρκαγιάς. Ως εκ τούτου, δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στην κατασκευή έξυπνων κτιρίων και κατασκευών παγκοσμίως.

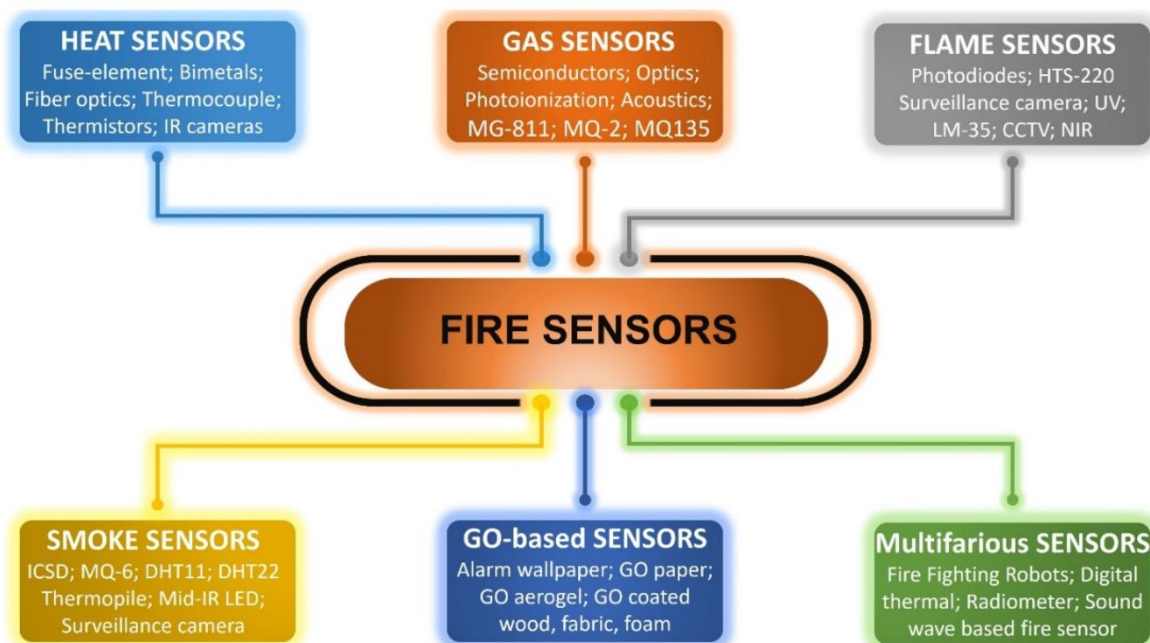
Την τελευταία δεκαετία, πολλές νέες τεχνολογίες ανίχνευσης πυρκαγιάς έχουν δημιουργηθεί με προόδους στους αισθητήρες, την πληροφορική και τη μικροηλεκτρονική καθώς και τη σε βάθος κατανόηση της φυσικής πυρκαγιάς. Τεχνικές για τη μέτρηση σχεδόν κάθε σταθερού αερίου είδους, που δημιουργήθηκε πριν ή κατά τη διάρκεια της καύσης είναι πλέον διαθέσιμες. Η εισαγωγή κατανεμημένων αισθητήρων θερμοκρασίας οπτικών ινών σε εφαρμογές με δύσκολες κλιματολογικές συνθήκες, όπως σήραγγες, υπόγειοι σιδηρόδρομοι και σταθμοί, μπορεί να αποτελέσει στοιχείο για πρόληψη πυρκαγιάς. Διάφορα στοιχεία πυρκαγιάς, όπως καπνός, θερμότητα και μονοξειδίο του άνθρακα, ανιχνεύονται από πολλούς αισθητήρες και χρησιμοποιείται ένας πολύπλοκος αλγόριθμος για να διακρίνει έξυπνα τη διαφορά μεταξύ πυρκαγιάς και μη απειλητικών συνθηκών. Επιπλέον, τα συστήματα συναγερμού πυρκαγιάς συνδυάζονται με άλλα συστήματα κτιριακών εγκαταστάσεων για την εξάλειψη των ψευδών συναγερμών, την επιτάχυνση της εκκένωσης των κτιρίων και την παροχή βοήθειας στην πυρόσβεση. Σύμφωνα με την Εθνική Ένωση Πυροπροστασίας (NFPA), στις Ηνωμένες Πολιτείες, ο αριθμός των μεγάλων πυρκαγιών «οικιών» έχει μειωθεί τα τελευταία χρόνια, εν μέρει, επειδή έχουν εισαχθεί ανιχνευτές πυρκαγιάς σε κτίρια κατοικιών. Από την άλλη, όμως, την τελευταία δεκαετία, τα φυσικά υλικά, όπως το ξύλο, έχουν αντικατασταθεί από συνθετικά υλικά σε θερμομόνωση, δομικά υλικά, έπιπλα και φινιρίσματα. Ως αποτέλεσμα, ο κίνδυνος για τη ζωή και την ιδιοκτησία έχει μετατοπιστεί δραματικά, επειδή η καύση συνθετικών υλικών όχι μόνο παράγει πολύ επιβλαβή δηλητηριώδη καπνό αλλά απελευθερώνει, επίσης, πολύ περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα από τα φυσικά υλικά με αποτέλεσμα μικρότερο χρόνο διαφυγής. Πολλά από τα μέρη που χρειάζονται περισσότερη προστασία είναι αφύλακτα, όπως οι τηλεπικοινωνιακές εγκαταστάσεις, και η διακοπή της υπηρεσίας, που προκαλείται από πυρκαγιά, γίνεται ολοένα και πιο ακριβή. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μια πυρκαγιά μπορεί να εντοπιστεί μόνο αφού έχει αναπτυχθεί πλήρως, η οποία θα βλάψει σοβαρά την ιδιοκτησία ή θα προκαλέσει απώλεια ζωής. Για την καλύτερη προστασία του κοινού και την εκπλήρωση των εξελισσόμενων απαιτήσεων, η τεχνολογία πυρανίχνευσης εξακολουθεί να αντιμετωπίζει εμπόδια στη μείωση των ψευδών ειδοποιήσεων, στη βελτίωση της ευαισθησίας, στη δυναμική ευθύνη και στην παροχή προστασίας για δαπανηρές και περίπλοκες εγκαταστάσεις.

Τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη των αισθητήρων πυρκαγιάς έχει αναθεωρηθεί και συνοψιστεί από διάφορες οπτικές γωνίες: χημικοί αισθητήρες που σχετίζονται με την ανίχνευση πυρκαγιάς, αλγόριθμοι πυρανίχνευσης, ανίχνευση πυρκαγιάς βίντεο, ανίχνευση καπνού βίντεο, αισθητήριες μονάδες, συστήματα παρακολούθησης πυρκαγιάς, ανίχνευση δασικών πυρκαγιών, κατανεμημένοι αισθητήρες θερμότητας και αισθητήρες πυρκαγιάς για συγκεκριμένη τοποθεσία και ακραίες συνθήκες. Ωστόσο, κανένα από αυτά δεν παρέχει μια ολοκληρωμένη ανάλυση που να καλύπτει όλες τις επισημασμένες και αναδυόμενες τεχνολογίες πυρανίχνευσης μέχρι σήμερα, καθώς και τη συζήτηση για το ποιες περαιτέρω βελτιώσεις μπορούν να γίνουν. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η

ανασκόπηση της πρόσφατης έρευνας και ανάπτυξης τεχνολογίας πυρανίχνευσης, συμπεριλαμβανομένης της αναδυόμενης τεχνολογίας αισθητήρων, της τεχνολογίας επεξεργασίας και παρακολούθησης σημάτων πυρκαγιάς και ενός ολοκληρωμένου συστήματος πολύ έγκαιρης ανίχνευσης πυρκαγιάς για πυρκαγιές κτιρίων. Συζητούνται και συγκρίνονται ορισμένες ανησυχίες και πιθανές λειτουργίες, που σχετίζονται με την τεχνολογία πυρανίχνευσης, ενώ παρέχονται, επίσης, μελλοντικές κατευθύνσεις και προοπτικές για την κατασκευή προηγμένων αισθητήρων πυρκαγιάς.

## 2.2 Αισθητήρες πυρκαγιάς

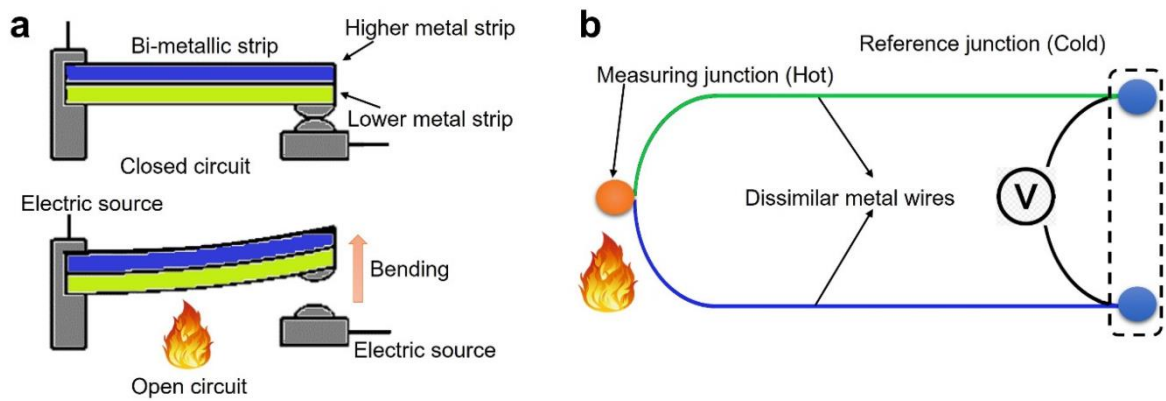
Η τεχνολογία για την ανίχνευση πυρκαγιάς εξαρτάται από τη θέση και τη φύση της πυρκαγιάς. Σε αυτή την ανασκόπηση, εξηγείται η κατάσταση εφαρμογής και υλοποίησης συστημάτων συναγερμού, τα πλεονεκτήματα των τελευταίων τεχνολογιών καθώς και οι περιορισμοί και οι ελλείψεις τους. Κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου, πολλές τεχνολογίες ανίχνευσης πυρκαγιάς έχουν εξελιχθεί. Μερικές από αυτές τις μεθόδους εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σήμερα, ενώ άλλες είναι παρωχημένες. Οι πέντε βασικές μέθοδοι ανίχνευσης, που περιλαμβάνουν ανίχνευση με βάση τη θερμότητα, το αέριο, τη φλόγα, τον καπνό και το οξείδιο του γραφένιου (GO), καθώς και άλλες τεχνολογίες ανίχνευσης πυρκαγιάς και τρέχουσα έρευνα, εξηγούνται σε βάθος. Στην ανίχνευση πυρκαγιάς με βάση την ανίχνευση θερμότητας, τα περισσότερα τρέχοντα συστήματα πυρανίχνευσης χρησιμοποιούν ηλεκτρονικούς και καταναμημένους οπτικούς θερμικούς ανιχνευτές που βασίζονται σε θερμίστορ. Η θερμική ανίχνευση με βάση το υπέρυθρο είναι μια χρήσιμη τεχνική, ιδιαίτερα κατάλληλη για τη θερμική ανίχνευση της στοχευμένης τοποθεσίας. Σε σύγκριση με τις μη οπτικές μεθόδους, οι οπτικές προσεγγίσεις για την ανίχνευση καπνού και φλόγας προσελκύουν το ενδιαφέρον της έρευνας λόγω του γρήγορου χρόνου απόκρισης και του χαμηλού ρυθμού εξόδου ανακρίβειας. Η μεγάλη αλγοριθμική ικανότητα των υπαρχόντων ψηφιακών συστημάτων έχει ανοίξει νέες ερευνητικές προοπτικές για τη βαθιά εκμάθηση περίπλοκων τεχνολογιών που βασίζονται σε νευρωνικά δίκτυα. Μεταξύ των διαφορετικών τεχνολογιών ανίχνευσης αερίων, οι αισθητήρες αερίων που βασίζονται σε οξείδια μετάλλων ημιαγωγών ήταν χρήσιμοι στην πράξη λόγω της μεγάλης ευαισθησίας, του μικρού μεγέθους και του μειωμένου κόστους τους. Ωστόσο, έχουν προβλήματα σταθερότητας, τα οποία απαιτούν περισσότερη μελέτη για να επιλυθούν. Επί του παρόντος, η έρευνα βρίσκεται, επίσης, σε εξέλιξη στον τομέα της ανίχνευσης αερίου με βάση νανοσωλήνες άνθρακα για ανίχνευση πυρκαγιάς. Η ανίχνευση πυρκαγιάς που βασίζεται σε ραδιόμετρα μικροκυμάτων είναι μια από τις πιο σημαντικές σύγχρονες προσεγγίσεις λόγω του βασικού της πλεονεκτήματος της ανίχνευσης πυρκαγιάς σε εμπόδια όπως τοίχοι. Για την ανίχνευση πυρκαγιάς, είναι κατάλληλη η μέθοδος σύντηξης πολλαπλών αισθητήρων, που βασίζεται σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) και στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). Η νέα αναδυόμενη τεχνική ανίχνευσης με βάση το οξείδιο του γραφένιου (GO) έχει παρουσιάσει έναν εξαιρετικό σύντομο χρόνο απόκρισης. Δεδομένων των εύφλεκτων υλικών, η ιδιότητα του πυρίμαχου και της ανίχνευσης πυρκαγιάς μπορεί σίγουρα να μειώσει τα περιστατικά πυρκαγιάς αλλά πρέπει να γίνει περαιτέρω δουλειά για την πρακτική εφαρμογή του. Αυτές οι τρέχουσες τεχνικές ανίχνευσης πυρκαγιάς απεικονίζονται στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1 Σύνοψη των τρεχουσών τεχνολογιών ανίχνευσης πυρκαγιάς

### 2.3 Αισθητήρες θερμότητας

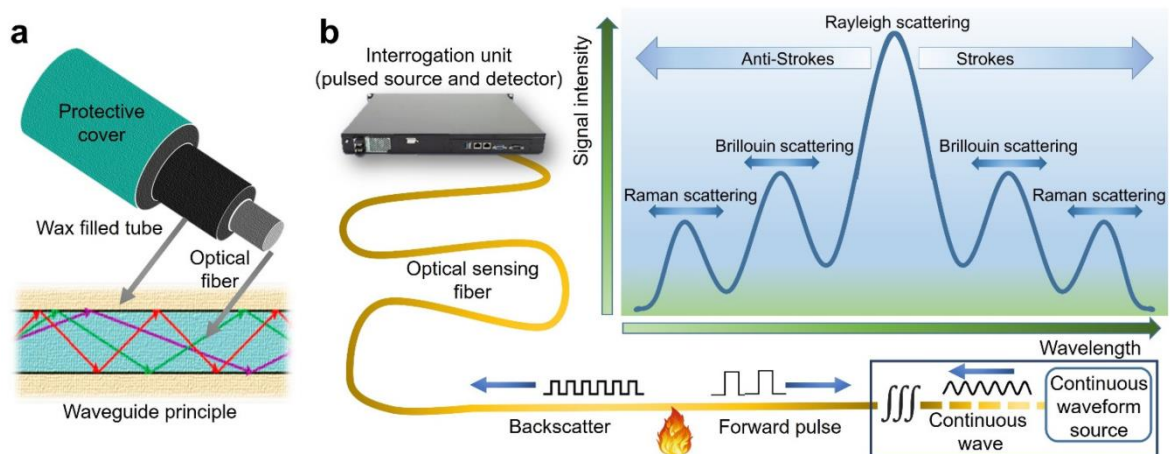
Οι αισθητήρες θερμότητας χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της θερμότητας περιβάλλοντος σε μια κατοικία λόγω της εκδήλωσης πυρκαγιών. Οι αισθητήρες είναι ευαίσθητοι στη θερμοκρασία που σχετίζεται με τη διακύμανση της αντίστασης, τη μετατόπιση και το δείκτη διάθλασης. Γενικά, υπάρχουν τρεις τύποι αισθητήρων θερμότητας: σταθερής θερμοκρασίας, ρυθμού αύξησης και ρυθμού αντιστάθμισης. Ο αισθητήρας θερμότητας σταθερής θερμοκρασίας ενεργοποιείται όταν η θερμοκρασία ανεβαίνει πάνω από την τιμή κατωφλίου, η οποία ανέρχεται στους 60 °C ή πάνω από αυτήν. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες αισθητήρων σταθερής θερμοκρασίας, όπως το στοιχείο ασφάλειας, τα διμεταλλικά και οι κατανεμημένες οπτικές ίνες. Ο αισθητήρας θερμότητας τύπου στοιχείου ασφάλειας λειτουργεί σε ένα καθορισμένο επίπεδο θερμοκρασίας με βάση την τήξη του θερμαντικού στοιχείου και χρησιμοποιείται κυρίως στο σύστημα εκτοξευτήρα πυρκαγιάς. Ο διμεταλλικός αισθητήρας θερμότητας λειτουργεί σύμφωνα με το μηχανισμό θερμικής διαστολής των μετάλλων. Όταν η θερμοκρασία αυξάνεται, η διμεταλλική λωρίδα θα λυγίσει προς το μέταλλο με χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής. Οι αισθητήρες κατανεμημένης θερμότητας χωρίζονται περαιτέρω σε τρεις ομάδες: ηλεκτρικούς, θερμοστοιχεία με επένδυση και οπτικούς. Οι ηλεκτρικοί και επενδυμένοι αισθητήρες θερμότητας θερμοστοιχείου λειτουργούν σύμφωνα με την αρχή της αλλαγής της αντίστασης του σύρματος και της θερμοκρασίας επιφάνειας. Οι ηλεκτρονικοί ανιχνευτές θερμότητας λειτουργούν με ένα θερμοηλεκτρικό φαινόμενο, το οποίο χρησιμοποιεί ένα ή δύο θερμίστορ για την ανίχνευση της θερμοκρασίας. Ο τύπος του οπτικού κατανεμημένου αισθητήρα θερμότητας που βρίσκει την εφαρμογή του σε ορυχεία, σήραγγες και υπόγειους αγωγούς λειτουργεί σύμφωνα με την αρχή του μοτίβου φωτός οπισθοσκέδασης. Ο αισθητήρας θερμότητας είναι κατασκευασμένος με ελάχιστη θερμοκρασία εργασίας ή περιβάλλον θερμοκρασίας κατωφλίου. Ο ρυθμός αντιστάθμισης του αισθητήρα θερμότητας ενεργοποιείται όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη από την καθορισμένη θερμοκρασία.



Σχήμα 2.2 Αισθητήρες θερμότητας: (α) Αρχή λειτουργίας αισθητήρα διμεταλλικής ταινίας, (β) κεφαλή λειτουργίας θερμοστοιχείου.

## 2.4 Κατανεμημένοι ανιχνευτές θερμότητας οπτικών ινών

Μία από τις πιο ευνοϊκές τεχνολογίες παρακολούθησης θερμότητας για εφαρμογές πυρασφάλειας είναι ο κατανεμημένος αισθητήρας θερμοκρασίας οπτικών ινών. Ο αισθητήρας οπτικών ινών, σε αντίθεση με τους συνηθισμένους αισθητήρες θερμότητας, χρησιμοποιεί ολόκληρη την οπτική ίνα ως μέσο ανίχνευσης. Οι μετρήσεις θερμοκρασίας μπορούν να πραγματοποιηθούν κατά μήκος του καλωδίου οπτικών ινών σε οποιοδήποτε σημείο. Η θερμοκρασία που καταγράφεται κυμαίνεται από 160 έως 800 °C και περιορίζεται μόνο από την αντοχή της ίνας ή, ακριβέστερα, από την κύρια επίστρωσή της. Το καλώδιο αισθητήρα οπτικών ινών αντιδρά γρήγορα στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας λόγω της χαμηλής μάζας του σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς αισθητήρες θερμότητας. Το ίδιο το καλώδιο ινών είναι στιβαρό, ελαστικό και προσαρμόσιμο σε μια ποικιλία γεωμετριών και μπορεί να εγκατασταθεί απευθείας ή κοντά σε προστατευμένες περιοχές. Έχουν χρησιμοποιηθεί για την παροχή πυροπροστασίας σε ορισμένες εφαρμογές με δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως σήραγγες, γραμμές μεταφοράς, υπόγειοι σιδηρόδρομοι και σταθμοί, χαλυβουργεία και πετροχημικές βιομηχανίες.



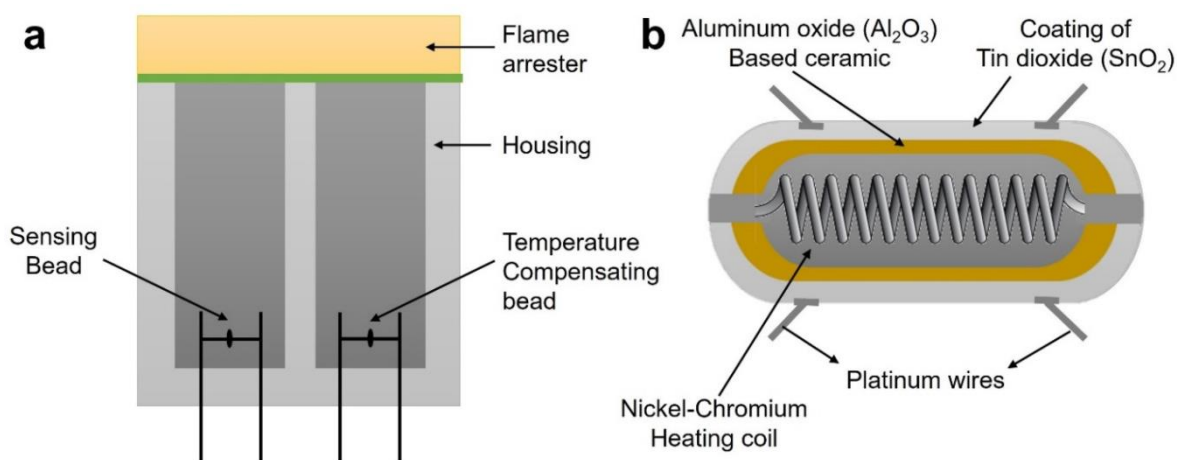
Σχήμα 2.3 Οπτική ίνα: (α) τυπική αρχή της διατομής και του κυματοδηγού, (β) βασικό σχήμα εγκατάστασης ανίχνευσης πυρκαγιάς και διαφορετικά εξαρτήματα σκέδασης σε οπτικές ίνες γυαλιού.

## 2.5 Αισθητήρες αερίου

Αέρια εκπέμπονται σε κάθε στάδιο της καύσης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν μοναδικά χαρακτηριστικά αερίου για την αξιόπιστη ανίχνευση πυρκαγιών. Οι Jackson et al προσδιόρισαν την πυκνότητα του CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> και του καπνού που παράγεται από τη φωτιά στα ξύλα, το βαμβάκι, την πλαστική φωτιά, το υγρό ν-επτάνιο και τις πυρκαγιές από

οινοπνευματώδη. Η χημική σύσταση του καπνού από διάφορα είδη πυρκαγιών ποικίλλει ριζικά, ανάλογα με την πηγή τους. Το CO είναι το καλύτερο από τα τέσσερα προειδοποιητικά αέρια, που εμφανίζεται και στους έξι τύπους πυρκαγιών. Οι αισθητήρες πυρκαγιάς CO που λειτουργούν σε θερμοκρασία δωματίου, απαιτούν πηγή χαμηλής ισχύος σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς ανιχνευτές και μπορούν να προστατεύσουν από τη φωτιά που σιγοκαίει, συμπεριλαμβανομένης της καύσης οργανικών υλικών, από τα οποία εκπέμπονται σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα νωρίς στη διαδικασία καύσης.

Οι Liu et al παρουσίασαν μια διεξοδική ανάλυση της τεχνολογίας ανίχνευσης αερίων και συνέκρινε την επιλεκτικότητα και την ευαισθησία διαφόρων τεχνολογιών ανίχνευσης αερίων. Συζητήθηκαν η κατανάλωση ενέργειας, ο χρόνος απόκρισης, η αναστρεψιμότητα, η ικανότητα προσρόφησης, η σταθερότητα, το κόστος κατασκευής και άλλες παράμετροι. Με τη μέτρηση της αλλαγής στην έξοδο του αισθητήρα αερίου, η ύπαρξη αερίων σε μια συγκεκριμένη θέση γίνεται αισθητή από τον αισθητήρα αερίου. Οι υπάρχοντες αισθητήρες αερίων βασίζονται σε καταλυτικά σφαιρίδια, ημιαγωγούς, οπτική, φωτοϊονισμό, ακουστική, IR, ηλεκτροχημεία, αέρια χρωματογραφία, θερμοδομετρικά συστήματα. Σε σύγκριση με τα συστατικά της καλής ποιότητας αέρα, τα πρότυπα ποιότητας του αέρα διαταράσσονται από τους κινδύνους πυρκαγιάς. Στην περίπτωση των κινδύνων πυρκαγιάς, εκπέμπεται σημαντική ποσότητα CO<sub>2</sub> και τα πιο επιβλαβή αέρια σε μια πυρκαγιά είναι το CO και το HCN. Η περιεκτικότητα σε οξυγόνο μειώνεται καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε CO. Οι χαμηλές αλλαγές συγκέντρωσης οξυγόνου είναι σημάδι σιγαστήρα, ενώ μια υψηλή αλλαγή συγκέντρωσης οξυγόνου είναι μια προειδοποίηση για την καύση υγρού καυσίμου. Οι αισθητήρες καταλυτικών σφαιριδίων, γνωστοί και ως pellistors, είναι τα πιο κοινά αισθητήρια στοιχεία για την ανίχνευση συγκεντρώσεων καυσίμων αερίων στον αέρα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κινητό και σταθερό εξοπλισμό σε ορυχεία και άλλες βιομηχανίες για να υποδείξουν την παρουσία εκρηκτικών συνθηκών. Ένα από τα ζητήματά του είναι ότι τα σήματα εξόδου τους κυμαίνονται με τις αλλαγές στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Σε περίπτωση εκρηκτικών καταστάσεων, μπορεί να οδηγήσει είτε σε ψευδείς συναγερμούς είτε σε έλλειψη απόκρισης. Έχουν χρησιμοποιηθεί πολυάριθμοι τύποι αισθητήρων αερίων αλλά οι αισθητήρες αερίων ημιαγωγικών οξειδίων μετάλλων έχουν λάβει μεγάλη προσοχή λόγω του χαμηλού κόστους, της ευκολίας λειτουργίας, της υψηλής σταθερότητας και της ικανότητας απόκρισης σε ένα ευρύ φάσμα χημικών ουσιών.



Σχήμα 2.4 Αισθητήρες αερίων: (α) αισθητήρας εύφλεκτου αερίου καταλυτικών σφαιριδίων, (β) αισθητήρας αντίστασης με βάση ημιαγωγούς οξειδίου μετάλλου (MOS)

## 2.6 Αισθητήρες καπνού

Ο καπνός εκπέμπεται πολύ νωρίτερα από άλλα χαρακτηριστικά πυρκαγιάς κατά τη διάρκεια των φάσεων ανάπτυξης. Στις αρχικές φάσεις της πυρκαγιάς, η γρήγορη ανίχνευση καπνού θα αυξήσει την πιθανότητα αποτελεσματικής καταστολής πυρκαγιάς, επιτυχούς πυρόσβεσης, διαφυγής και επιβίωσης. Κάνοντας μια δέσμη φωτός ή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία να περάσει τη διεπιφάνεια των σωματιδίων, μπορεί να ανιχνευθεί καπνός. Η συγκέντρωση μάζας καπνού, το κλάσμα όγκου και η διάδοση του μεγέθους είναι γνωστές ως πρωτεύουσες παράμετροι ανίχνευσης καπνού. Οι ανιχνευτές καπνού πρέπει να είναι σε θέση να ανταποκρίνονται στην καύση και στον καπνό που παράγεται από την ανάφλεξη επειδή υπάρχουν σημαντικές διαφορές στη δομή και τη σύνθεση του καπνού, που παράγεται από αυτές τις πυρκαγιές. Ο καπνός, που παράγεται από τη φλόγα που καίει, είναι συχνά μεγαλύτερος από τα σωματίδια του προϊόντος καύσης. Η φωτιά δημιουργεί καπνό κατά την καύση, ο οποίος είναι μια συλλογή στερεών σωματιδίων, υγρών σωματιδίων και αερίων στον αέρα. Δημιουργείται από την καύση υλικού και, επίσης μειώνει, την ποιότητα του αέρα στο περιβάλλον. Για τη μέτρηση του καπνού, χρησιμοποιούνται μη οπτικές και οπτικές τεχνικές. Συνοψίζονται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους όπως παρακάτω.

### 2.6.1 Μη οπτική ανίχνευση καπνού

Η μέτρηση του καπνού εξαρτάται από τις συνθήκες καύσης καπνού, για παράδειγμα, πυρόλυση, ανάφλεξη και καύση. Η μέθοδος ανίχνευσης καπνού καθορίζεται από τον τύπο της φωτιάς και τη θέση της. Η τεχνολογία μέτρησης καπνού με βάση το φωτοηλεκτρικό χρησιμοποιείται ειδικά για να σιγοκαίει και μπορεί να ανιχνεύσει τη φωτιά πιο γρήγορα. Ο καπνός μετριέται από το επίπεδο ιονισμού του αέρα από έναν αισθητήρα καπνού ιονισμού. Η ανίχνευση γίνεται με τη δημιουργία διαφοράς δυναμικού μεταξύ των θαλάμων και τη μέτρηση του ρεύματος που προκύπτει. Η ικανότητα του καπνού να διασκορπίζει το φως καθορίζεται από την ποσότητα του καπνού στον αέρα. Μετρώντας τη διαφορά στη διασπορά του φωτός χρησιμοποιώντας μια οπτική συσκευή, ο φωτοηλεκτρικός αισθητήρας καπνού υπολογίζει το επίπεδο καπνού. Ο ανιχνευτής καπνού θαλάμου ιονισμού (ICSD) ανιχνεύει τη φωτιά που δημιουργείται όταν τα σωματίδια καπνού φτάνουν στον θάλαμο ιονισμού και μεταβάλλουν το ρεύμα παρεμποδίζοντας τη ροή των ιόντων. Η κίνηση των ιόντων επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, την πίεση, τη σύνθεση αερίου και την υγρασία. Ένα είδος ICSD με διαχωρισμένους θαλάμους ιονισμού έχει σχεδιαστεί για να επιτυγχάνει την ευαισθησία της ανίχνευσης. Ο ένας θάλαμος είναι πλήρως σφραγισμένος και δεν επηρεάστηκε από το περιβάλλον, ενώ ο άλλος θάλαμος εκτίθεται σε δείγματα αέρα περιβάλλοντος.

Ο ανιχνευτής επαγωγής πολλαπλών σημείων, ο οποίος συνδυάζει την ανίχνευση καπνού με άλλους τύπους αισθητήρων, θεωρείται ότι είναι μια καλή επιλογή που μπορεί να προσφέρει ποικίλες δυνατότητες ανίχνευσης και να ελαχιστοποιήσει τον ερεθιστικό συναγερμό χωρίς να θυσιάζει την ευαισθησία του ανιχνευτή καπνού. Ένας ανιχνευτής πολλαπλής ανίχνευσης δημιουργήθηκε για να ανιχνεύει φλόγες που καίγονται και σιγοκαίει συνδυάζοντας την οπτική ανίχνευση καπνού με τη θερμική αίσθηση. Ένα υποκατάστατο των ανιχνευτών ιονισμού είναι η ενοποίηση οπτικών και θερμικών αισθητήρων με πνευματικούς αλγόριθμους. Άλλη έρευνα πολυτροπικής ανίχνευσης περιλαμβάνει ανιχνευτές που συνδυάζουν φωτοηλεκτρική και ανίχνευση αερίων, ανίχνευση ιόντων και αερίων και φωτοηλεκτρική και ιόντα με θερμική αίσθηση. Οι Gottuketal παρουσίασαν πολυαισθητηριακές μεθόδους ανίχνευσης καπνού, χρησιμοποιώντας διάφορους συνδυασμούς μέτρησης καπνού, όπως ανίχνευση αερίου με βάση φωτοηλεκτρικό και ανίχνευση αερίου με ανίχνευση ιόντων, για την ελαχιστοποίηση των ψευδών συναγερμών. Σε ένα διαμέρισμα με ανοιχτή πόρτα, οι Jeongetal μελέτησαν

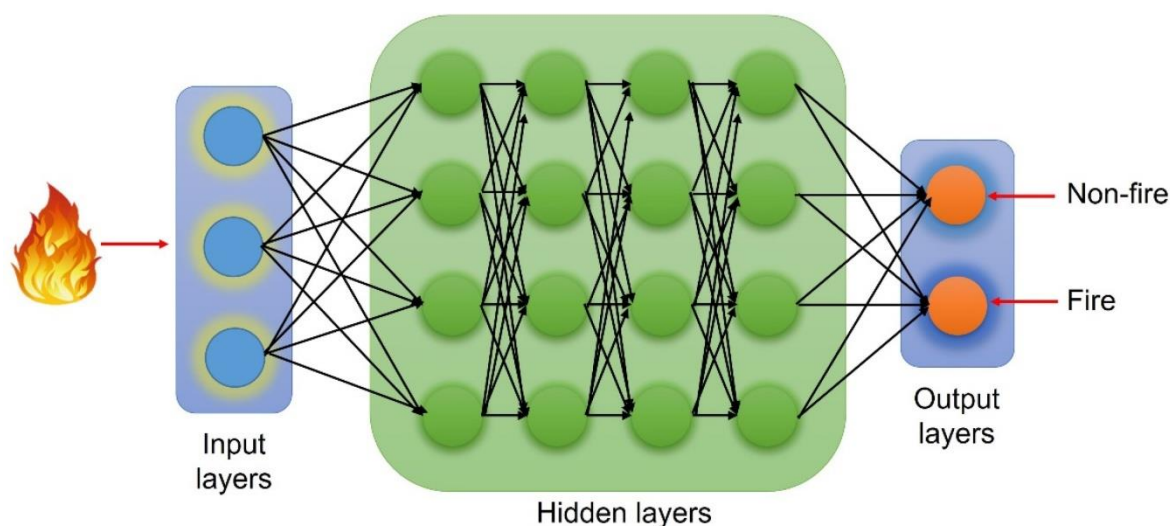


το μονοπάτι του καπνού και κατασκεύασαν, επίσης, ένα μοντέλο πεδίου πυρκαγιάς για τον υπολογισμό του ρυθμού εξάπλωσης της φωτιάς. Οι Liuetal πρότειναν έναν ανιχνευτή σωματιδίων καπνού με ένα άμορφο φιλμ πυριτίου ως πηγή ακτινοβολίας. Ένας εξαιρετικά ευαίσθητος ανιχνευτής καπνού εισήχθη από τους Bakhometal στον οποίο τα σωματίδια άλφα επηρεάζουν το τερματικό της πύλης του MOSFET και δημιουργούν θετικό φορτίο. Η αύξηση των σωματιδίων καπνού στην περιοχή του ανιχνευτή μειώνει την ποσότητα των σωματιδίων άλφα στον ακροδέκτη της πύλης, προκαλώντας μείωση του ρεύματος που υποδηλώνει αύξηση της ποσότητας καπνού. Οι Aspeyetal επινόησαν μια συσκευή οπτικής ανίχνευσης καπνού, αποτελούμενη από οπτική ίνα, λευκό πολυχρωμικό LED, γυάλινο παράθυρο Pyrex και φωτοδίοδο, για να παρέχει πληροφορίες για τα υλικά που καίγονται. Για τον καπνό του ξύλου οι συγγραφείς ανέλυσαν το φάσμα μετάδοσης.

### 2.6.2 Οπτική ανίχνευση καπνού

Ο καπνός και η φωτιά, αντίστοιχα, μπορούν να καταγραφούν από κάμερες. Η ροή του καπνού είναι ταχύτερη και εμφανίζεται συνήθως στην αρχή μιας πυρκαγιάς, αλλά σε σύγκριση με την ανίχνευση φλόγας, είναι δύσκολο να εντοπιστεί. Για την ανίχνευση φλόγας και καπνού, έχουν δημιουργηθεί κανόνες pixel για τις τιμές R, G, B και μοντέλα με βάση διαφορετικούς χρωματικούς χώρους για να δείξουν καλύτερα αποτελέσματα. Οι Gubbietal ανίχνευσαν καπνό μέσω της προσέγγισης μπλοκ με διακριτούς μετασχηματισμούς συνημίτονου. Προκειμένου να εξαιρεθούν τα ψευδώς θετικά που προκαλούνται από την ευρετική συνάρτηση, οι Koetal πρότειναν έναν χάρτη φωτεινότητας και μια προσέγγιση ανίχνευσης πυρκαγιάς βασισμένη σε αλγόριθμο δικτύου Bayesian, που υποστηρίζει τον αλγόριθμο διανυσματικών μηχανών (SVM). Χρειάζεται μεγάλο αριθμό καρέ, επομένως ο χρόνος απόκρισης είναι μεγάλος. Στην ανίχνευση που βασίζεται σε βίντεο, οι Yuanetal χρησιμοποίησαν δυναμική ανάλυση υψής για την ανίχνευση καπνού. Qureshi et al ανέπτυξαν ένα σύστημα ανίχνευσης φλόγας και καπνού βασισμένο σε συνθήματα χρώματος και κίνησης. Για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος, διεξήγαγαν μορφολογικές εργασίες. Οι Yuanetal συγχώνευσαν το Adaboost με μια τεχνική αναζήτησης σκάλας ανίχνευσης καπνού και χρησιμοποίησε δυναμική ανάλυση εγκυρότητας καπνού για να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της ανίχνευσης καπνού. Αυτή η μέθοδος ανίχνευσης πυρκαγιάς παρέχει καλή απόδοση εάν το εκπαιδευμένο σύνολο δεδομένων είναι αρκετά μεγάλο και οι αλγόριθμοι είναι φορητοί χωρίς να θυσιάζεται η ακρίβεια.

Τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα (CNN) έχουν επιτρέψει σε συστήματα που βασίζονται στην όραση να ανιχνεύουν φωτιά και καπνό κατά την επιτήρηση μετά τις πρόσφατες εξελίξεις στην ενσωματωμένη επεξεργασία. Είναι μοναδικό στο είδος του, καθώς μπορεί να αναγνωρίσει και να κατανοήσει αποτελεσματικά τα μοτίβα στις εικόνες και την προώθηση. Οι Sergioetal πρότειναν μια εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο και ενσωματωμένη τεχνολογία ανίχνευσης καπνού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με συμβατικές βιντεοκάμερες παρακολούθησης που χρησιμοποιούν YOLOv2 CNN. Οι Khanetal πρότειναν ένα πλαίσιο έγκαιρης ανίχνευσης πυρκαγιάς για κάμερες ασφαλείας CCTV που χρησιμοποιούν βελτιωμένα CNN για την ανίχνευση καπνού σε διάφορα εσωτερικά και εξωτερικά σενάρια και αντίστοιχα πρότεινε ένα μοντέλο για θολά περιβάλλοντα χρησιμοποιώντας αρχιτεκτονική σημασιολογικής τμηματοποίησης. Οι Yakhyokhujaetal χρησιμοποίησαν διευρυμένες περιελίξεις για την ανίχνευση καπνού, ο οποίος ήταν πλήρως αυτοματοποιημένος και ο αριθμός των ψευδών συναγεργμών μειώθηκε λόγω γενίκευσης. Το σχήμα 2.5 δείχνει ένα βασικό μοντέλο αλγορίθμων βαθιάς μάθησης CNN.



Σχήμα 2.5 Σχηματική απεικόνιση συνελκτικών νευρωνικών δικτύων (CNN) για ανίχνευση πυρκαγιάς

## 2.7 Συμπεράσματα και προοπτική

Αρκετά καινοτόμα συστήματα ανίχνευσης πυρκαγιάς, που αναπτύχθηκαν την τελευταία δεκαετία, έχουν την εξαιρετική δυνατότητα να μειώσουν τους ψευδείς συναγερμούς, να βελτιώσουν την ευαισθησία στη φωτιά και τη γρήγορη απόκριση και να αυξήσουν την πυρασφάλεια. Αυτή η ενότητα παρέχει μια επισκόπηση της έρευνας, που έχει πραγματοποιηθεί στον τομέα της τεχνολογίας πυρανίχνευσης. Επικεντρώνεται σε συστήματα πυρανίχνευσης, που βασίζονται σε ενεργοποιητές αισθητήρων για κτίρια. Περιγράφει τις ελλείψεις και τους περιορισμούς των υφιστάμενων συστημάτων ανίχνευσης πυρκαγιάς και παρέχει προτάσεις για ουσιαστικές αλλαγές. Ο βασικός στόχος ενός συστήματος πυρανίχνευσης είναι η έγκαιρη αναγνώριση της πυρκαγιάς με όσο το δυνατόν λιγότερους ψευδείς συναγερμούς. Ένα σύστημα γρήγορης ανίχνευσης πυρκαγιάς απαιτεί έναν αισθητήρα με γρήγορο χρόνο απόκρισης, που μπορεί να ανιχνεύσει τις απειλές πυρκαγιάς στα αρχικά τους στάδια.

Οι περίοδοι πριν και μετά το φλας έχουν χρησιμοποιηθεί συχνά για τη διάσπαση της πορείας μιας πυρκαγιάς διαμερίσματος. Αναφέρεται ότι η κατανόηση της πορείας μιας πυρκαγιάς πριν αναβοσβήσει είναι κρίσιμη για τη διάσωση ζωών και η κατανόηση των χαρακτηριστικών της μετά την αναλαμπή δίνει τη βάση για τη δημιουργία μέτρων εξοικονόμησης περιουσίας. Κατά τη διάρκεια μιας διάσωσης, οι συνθήκες εκκένωσης θέτουν τόσο τους πυροσβέστες όσο και τα εγκλωβισμένα άτομα σε σοβαρό κίνδυνο, ο οποίος μπορεί να αντιμετωπιστεί επιτυχώς με τη χρήση BIM (Building Information Modelling).

Τα συστήματα ανίχνευσης θερμότητας είναι πιο αξιόπιστα και παρέχουν λιγότερους ψευδείς συναγερμούς αλλά είναι αργά στην αντίδραση. Με την κινητοποίηση αυτών των αισθητήρων θερμότητας ο χρόνος απόκρισής τους μπορεί να βελτιωθεί. Οι αισθητήρες θερμότητας συνήθως τοποθετούνται στους τοίχους ή τις οροφές και η φωτιά εξαπλώνεται κυρίως μέσω του δαπέδου. Οι οπτικοί ανιχνευτές θερμότητας που χρησιμοποιούν μεταβολή του δείκτη διάθλασης είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι ακόμη και σε μέτριες αλλαγές θερμοκρασίας. Είναι σημαντικό να διεξαχθεί έρευνα σχετικά με την εφαρμογή τους σε συστήματα πυρανίχνευσης και οι μονάδες ελαφρού βάρους και χαμηλής ισχύος τους πρέπει να είναι σε θέση να πληρούν τις πιο πρόσφατες απαιτήσεις ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Οι οπτικοί αισθητήρες θερμότητας χρησιμοποιούνται ευρέως σε ορυχεία και σήραγγες, σύμφωνα με την πλειοψηφία της βιβλιογραφίας. Ωστόσο, είναι ιδανικοί για χρήση σε περιβάλλοντα με γκαλερί, μεγάλες αίθουσες και πολύπλοκους χώρους. Μπορεί

να αντικαταστήσουν και να ελαχιστοποιήσουν τον προϋπολογισμό της χρήσης ενός αριθμού αισθητήρων θερμότητας σημείου σε ένα κτίριο. Το άμεσο αυτοματοποιημένο σήμα ενεργοποίησης για βαλβίδες, που χρησιμοποιούνται σε συστήματα πυρόσβεσης, είναι ιδανικό για αισθητήρες θερμότητας διμεταλλικού τύπου. Οι θερμικοί αισθητήρες, που βασίζονται στο ρυθμό μεταβολής της θερμότητας, είναι ιδανικοί για εφαρμογές ανίχνευσης πυρκαγιάς καθώς μια απόλυτη τιμή θερμοκρασίας δεν επαρκεί για την ανίχνευση κινδύνου πυρκαγιάς. Παρ' όλα αυτά, τα δεδομένα ρυθμού αλλαγής μπορούν να ληφθούν από οποιονδήποτε τύπο θερμικού αισθητήρα χωρίς ρυθμό αλλάζοντας τον αλγόριθμο, που χρησιμοποιείται στο σήμα εξόδου του θερμικού αισθητήρα. Συνεπώς, αυτό είναι σημαντικό επειδή οι αισθητήρες θερμότητας χωρίς ταχύτητα ανταποκρίνονται πιο γρήγορα από τους αισθητήρες θερμότητας τύπου ρυθμού. Το θερμίστορ είναι ένας μικρός, ελαφρύς και ευαίσθητος αισθητήρας θερμοκρασίας. Στη βιβλιογραφία παρέχονται καλύτεροι αλγόριθμοι γραμμικοποίησης, που μπορούν να τοποθετηθούν σε συστοιχίες αισθητήρων και είναι κατάλληλοι για εντοπισμό πυρκαγιάς. Απαιτείται, βέβαια, περαιτέρω έρευνα για την αξιολόγηση της ανάδρασής τους για διάφορους πίνακες σχημάτων. Αυτοί οι αισθητήρες προτιμώνται έναντι των συμβατικών θερμικών αισθητήρων με πιο ογκώδη μηχανική δομή.

Τα κύρια ζητήματα με τους περισσότερους αισθητήρες αερίου είναι η μη αναστρεψιμότητα, η αστάθεια και η χαμηλή επιλεκτικότητα με αποτέλεσμα να περιορίζεται η χρήση τους στα κτίρια. Οι αισθητήρες αερίων ημιαγωγών οξειδίου μετάλλου έχουν υψηλή ευαισθησία και είναι φθηνοί. Φυσικά, η αδυναμία τους να διατηρήσουν την ισορροπία απαιτεί αντιστάθμιση θερμοκρασίας. Δεδομένου ότι η θερμοκρασία, συνήθως, ποικίλλει κατά τη διάρκεια ενός κινδύνου πυρκαγιάς, αυτή η πτυχή γίνεται ακόμη πιο σημαντική επειδή έχει τη δυνατότητα να μειώσει την παραγωγικότητα των αισθητήρων αερίων. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να διεξαχθεί πειραματική έρευνα σχετικά με την αντιστάθμιση θερμοκρασίας του CO, CO<sub>2</sub>, HCN και άλλων επικίνδυνων αερίων πυρκαγιάς, που παράγονται κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Η μη γραμμικότητα είναι ένα άλλο ζήτημα με τους αισθητήρες αερίων ημιαγωγών οξειδίου μετάλλου. Ως αποτέλεσμα, απαιτείται, επίσης, αποζημίωση με τη μορφή υλικού ή λογισμικού για να ληφθεί υπόψη αυτή η πτυχή. Ο αισθητήρας αερίου που βασίζεται σε νανοσωλήνες άνθρακα έχει υψηλή ευαισθησία, είναι λιγότερο διαβρωτικός και έχει χαμηλό κόστος, σύντομο χρόνο απόκρισης, ισχυρή ικανότητα προσρόφησης και μεγάλο εύρος ζώνης. Οι οπτικοί αισθητήρες αερίου είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι, επιλεκτικοί και αξιόπιστοι αλλά έχουν μεγάλο βάρος και είναι πιο ακριβοί. Απαιτείται περαιτέρω μελέτη για την ελαχιστοποίηση της τιμής και του βάρους τους για εφαρμογή σε έξυπνες κατασκευές.

Η χρήση ρομπότ στην ανίχνευση πυρκαγιών έχει ανοίξει ένα νέο ερευνητικό πεδίο. Τα ρομπότ πυρόσβεσης θα συμπληρώσουν το έργο των ανθρώπων πυροσβεστών, όμως δεν μπορούν να αντικαταστήσουν τους ανθρώπους αφού η ανθρώπινη διάνοια ξεπερνά αυτή των ρομπότ. Εάν υπάρχει μεγάλος κίνδυνος πυρκαγιάς, η ανθρώπινη ζωή δεν μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο και η χρήση ρομπότ είναι μια ασφαλέστερη επιλογή. Θα μπορούσαν είτε να είναι αυτόνομα είτε να καθοδηγούνται από ανθρώπους. Σε περίπτωση που υπάρξει μεγάλος κίνδυνος πυρκαγιάς, η απόκριση των πυροσβεστών για να φτάσουν στο σημείο της ανάφλεξης χρειάζεται να είναι γρήγορη και με ακριβείς κινήσεις (ισορροπία). Από αυτή την άποψη, δεν μπορούμε να βασιστούμε στα ρομπότ και στην αξιολόγηση του κινδύνου από μέρος τους. Τα συστήματα πυρόσβεσης και αισθητήρων που είναι τοποθετημένα σε αυτά τα καθιστούν πιο βαριά γεγονός, που καθιστά δύσκολη την εξισορρόπηση και την επίτευξη υψηλών ταχυτήτων. Αυτό είναι ένα σημαντικό ζήτημα για συστήματα πυρανίχνευσης εσωτερικών χώρων. Προς το παρόν, δίνεται έμφαση στη χρήση ρομπότ για την κατάσβεση πυρκαγιών σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και, στη

συντριπτική πλειονότητα των περιπτώσεων, αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται έξω από το φλεγόμενο κτίριο.

Στο σύστημα ανίχνευσης πυρκαγιάς που βασίζεται σε ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN), οι ανιχνευτές τοποθετούνται ως κόμβοι ανιχνευτών με ενσωματωμένο υλικό επικοινωνίας. Το κύριο μέλημα είναι να τους προσδώσουμε χαμηλή ισχύ και να τα καταστήσουμε σταθερά και ανεκτά σε σφάλματα. Ο αισθητήρας φλόγας έχει υψηλό ψευδή συναγερμό λόγω υπέρυθρης, ορατής και υπεριώδους ακτινοβολίας. Αυτές οι παρεμβολές προκαλούνται από πηγές μη πυρκαγιάς και πρέπει να αντισταθμιστούν. Ο θόρυβος EMI (Electromagnetic Interference) θα επηρεάσει, επίσης, την απόδοση του αισθητήρα. Επομένως, είναι επιτακτική ανάγκη να μελετηθεί.

Η ανίχνευση και ο έλεγχος πυρκαγιάς είναι μια πολύπλοκη λειτουργία. Λόγω των διαφόρων φάσεων, της διαφορετικής εμφάνισης, των χρωμάτων, των φασμάτων εκπομπής, του καυσίμου καύσης και της θέσης του προκύπτουν πολυπλοκότητες. Σε αυτές τις συνθήκες, η χρήση ασαφούς λογικής και αλγορίθμων που βασίζονται σε βαθιά μάθηση για τη βελτίωση της απόδοσης του τρέχοντος συστήματος πυρανίχνευσης θα μπορούσε να είναι επωφελής. Οι τεχνικές βελτιστοποίησης πρέπει να καλυτερεύσουν για να ελαχιστοποιηθούν οι ψευδείς συναγερμοί. Μετά από ταυτόχρονη διερμηνεία, όλα τα δεδομένα από διάφορους αισθητήρες πρέπει να υποβληθούν σε επεξεργασία και να αναλυθούν σύμφωνα με την τεχνολογία σύντηξης αισθητήρων.[1]

## 2.8 Ασύρματο σύστημα συναγερμού ανιχνευτή καπνού χαμηλής ισχύος

Ο ανιχνευτής πυρκαγιάς χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό πολλών αισθητήρων που όχι μόνο ανιχνεύουν καπνό αλλά κάνουν διάκριση μεταξύ διαφορετικών τύπων καπνού. Αυτή η λειτουργία αποφεύγει τους ψευδείς συναγερμούς και προειδοποιεί για διαφορετικές καταστάσεις. Η κατανάλωση ενέργειας είναι βελτιστοποιημένη τόσο από πλευράς υλικού όσο και λογισμικού παρέχοντας υψηλό βαθμό αυτονομίας σχεδόν πέντε ετών. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τη συσκευή μεταδίδονται μέσω ασύρματης επικοινωνίας σε σταθμό βάσης. Το χαμηλό κόστος και ο συμπαγής σχεδιασμός παρέχουν ευρείες προοπτικές εφαρμογής.

Η οικιακή ανίχνευση πυρκαγιάς προκαλεί μεγάλη ανησυχία και ως εκ τούτου πολλές προσπάθειες αφιερώνονται στις περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες στο σχεδιασμό συστημάτων αυτόματης ανίχνευσης. Ένα σύστημα συναγερμού πυρκαγιάς θα πρέπει να ειδοποιεί αξιόπιστα και έγκαιρα τους ενοίκους του κτιρίου για την παρουσία ενδείξεων πυρκαγιάς, όπως καπνού ή υψηλές θερμοκρασίες. Ένας ανιχνευτής πυρκαγιάς εφαρμόζεται συνήθως ως αισθητήρας καπνού λόγω της ικανότητας έγκαιρου εντοπισμού πυρκαγιάς, του γρήγορου χρόνου απόκρισης και του σχετικά χαμηλού κόστους. Άλλες επιλογές για την ανίχνευση πυρκαγιάς βασίζονται σε αισθητήρες αερίου ή αισθητήρες θερμοκρασίας. Οι ανιχνευτές πυρκαγιάς που χρησιμοποιούν έναν μόνο αισθητήρα, γενικά έναν αισθητήρα καπνού, παρουσιάζουν υψηλούς ρυθμούς ψευδούς συναγερμού λόγω αλλαγών θερμοκρασίας. Ο αισθητήρας καπνού βασίζεται στη διάθλαση του υπέρυθρου φωτός (IR) λόγω της παρουσίας καπνού σε ένα μικρό θάλαμο. Τόσο το IR LED όσο και η φωτοδίοδος εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και επομένως η ευαισθησία του αισθητήρα καπνού εξαρτάται, επίσης, από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος αν και αυτό το φαινόμενο ακυρώνεται σε συσκευές υψηλής απόδοσης. Επομένως, ένας ανιχνευτής πυρκαγιάς, που συνδυάζει διάφορους τύπους αισθητήρων, παρέχει ένα πιο αποτελεσματικό σύστημα συναγερμού πυρκαγιάς.

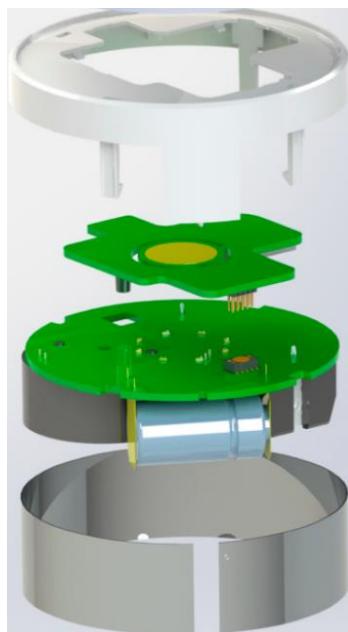
Οι συμβατικές προσεγγίσεις βασίζονται σε ενσύρματα συστήματα, όπως το CAN bus, λόγω της υψηλής ασφάλειας σε κρίσιμες εφαρμογές. Αν και τα δίκτυα λεωφορείων έχουν βελτιωθεί σημαντικά ως προς την επεκτασιμότητα και τη συντήρηση, τα ασύρματα συστήματα έχουν γίνει πιο ελκυστικά τα τελευταία χρόνια προσφέροντας μια λύση χαμηλού κόστους και ευελιξία στο χώρο. Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων απαιτεί κόμβους αισθητήρων μικρού μεγέθους για να διευκολύνουν την ανάπτυξη και την περιορισμένη κατανάλωση ενέργειας λόγω της λειτουργίας τους με μπαταρία. Ένα ασύρματο σύστημα πυρκαγιάς πρέπει να εγγυάται τη λειτουργικότητα και την ασφάλεια των επικοινωνιών ραδιοσυχνότητας, αποφεύγοντας τις ειδοποιήσεις ψευδούς συναγερμού. Επιπλέον, το σύστημα πρέπει να ειδοποιεί για την αστοχία εξαρτημάτων, τη φυσική βλάβη ή την απόπειρα δολιοφθοράς διευκολύνοντας τη συντήρηση και μειώνοντας έτσι το περιττό κόστος.

Η ανεπτυγμένη συσκευή ανίχνευσης επιτρέπει την ανάπτυξη ενός ασύρματου δικτύου όπου τα δεδομένα που συλλέγονται αποστέλλονται σε ένα σταθμό βάσης για περαιτέρω επεξεργασία. Ο σταθμός βάσης χρησιμεύει ως πύλη μεταξύ των κόμβων αισθητήρων και των χρηστών. Έχει, επίσης, αναπτυχθεί μια εφαρμογή για κινητά για να ειδοποιεί τον χρήστη σε πραγματικό χρόνο για συναγερμό πυρκαγιάς. Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων συλλέγει δεδομένα ανίχνευσης μιας οικιακής πυρκαγιάς, αναλύει τα δεδομένα ανίχνευσης και ενεργοποιεί με ακρίβεια έναν συναγερμό πυρκαγιάς. Ο σχεδιασμός ικανοποιεί τις απαιτούμενες απαιτήσεις μικρού μεγέθους και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας για έναν ασύρματο κόμβο. Η ανάπτυξη μεγάλου αριθμού κόμβων ανίχνευσης χρειάζεται, επίσης, μια λύση χαμηλού κόστους. Το σύστημα εκτελεί διαφορετικές μετρήσεις παραμέτρων για την έγκαιρη ανίχνευση οικιακών πυρκαγιών. Ο κόμβος περιλαμβάνει αναλογικούς αισθητήρες για τη μέτρηση του καπνού, του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και της θερμοκρασίας.

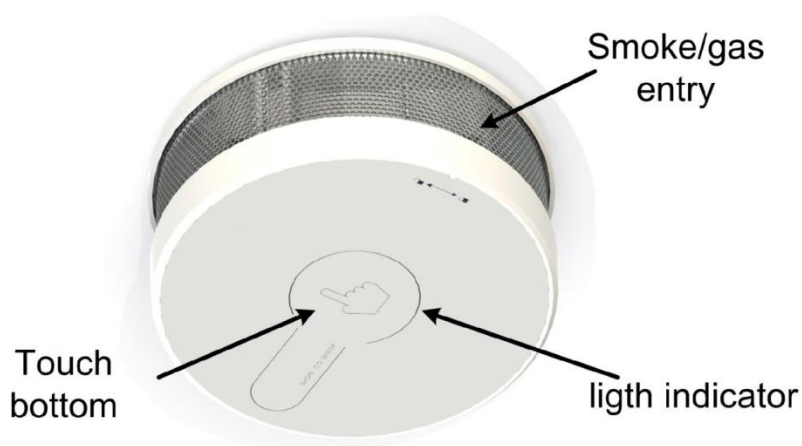
Το σχήμα 2.6 δείχνει το περίβλημα, που έχει σχεδιαστεί για την προστασία της συσκευής ανίχνευσης από το περιβάλλον. Αυτό είναι ένα κυλινδρικό κουτί με τη μεταλλική πλευρά διάτρητη για να επιτρέπει την είσοδο καπνών και αερίων και ένα μπροστινό πάνελ εφοδιασμένο με ένα χωρητικό κουμπί αφής. Το πακέτο δεν επηρεάζει τον χρόνο απόκρισης, την ακρίβεια των αισθητήρων και τη μετάδοση δεδομένων. Οι τελικές διαστάσεις του πακέτου αισθητήρων είναι 70 mm σε διάμετρο με ύψος 30 mm.

Οι προτεινόμενες λύσεις υλικού και λογισμικού επικυρώθηκαν και αξιολογήθηκαν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά απόδοσης των συσκευών, όπως η εμβέλεια, η ευελιξία και η ευρωστία. Η συσκευή πυρανίχνευσης συνδυάζει τρεις τύπους αισθητήρων: καπνό, θερμοκρασία και μονοξείδιο του άνθρακα, μειώνοντας έτσι τον αριθμό των ψευδών συναγερμών λόγω υδρατμών, καπνού.

Η διαδικασία ανίχνευσης πυρκαγιάς εκτελείται απευθείας με την εμφάνιση καπνού, επιτρέποντας τον εντοπισμό του σημείου της πυρκαγιάς και τη διάδοση της φωτιάς με ακρίβεια. Η χρήση αισθητήρα CO και αισθητήρων θερμοκρασίας αυξάνει την αξιοπιστία του συστήματος και μειώνει τους ψευδείς συναγερμούς.[2]



Σχήμα 2.6 Λεπτομέρεια κατασκευής ολόκληρου του ασύρματου συστήματος καπνού

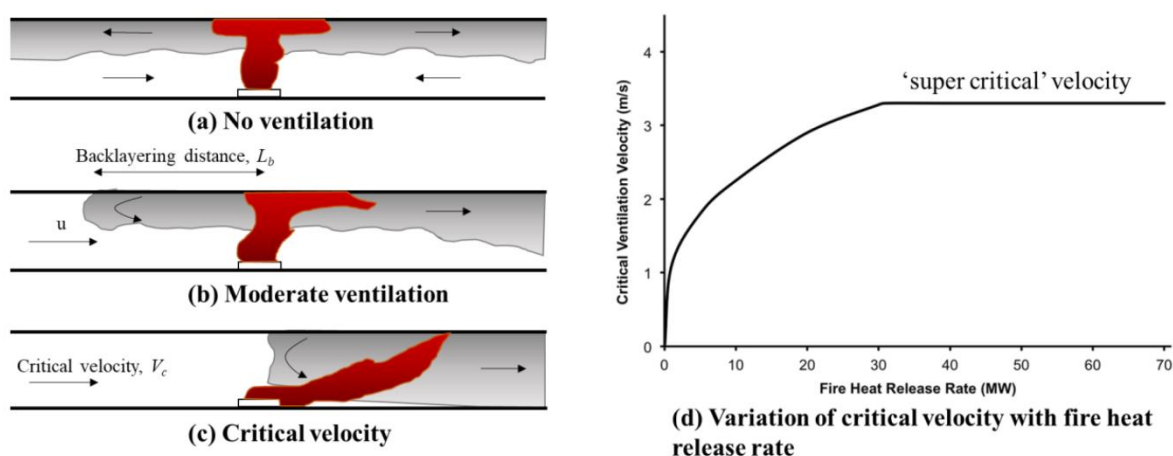


Σχήμα 2.7 Ο ασύρματος ανιχνευτής καπνού

## 2.9 Έλεγχος καπνού σε σιδηροδρομική σήραγγα

Η πυρασφάλεια στις υπόγειες σιδηροδρομικές σήραγγες έχει αποκτήσει αυξημένο ενδιαφέρον τις τελευταίες δεκαετίες λόγω των καταστροφικών πυρκαγιών σε σήραγγες διεθνώς και ενός αυξανόμενου αριθμού έργων μητροπολιτικών σιδηροδρομικών σήραγγας. Για παράδειγμα, η καταστροφή Karun στην Αυστρία (2000) σκότωσε 155 άτομα όταν οι περισσότεροι επιβαίνοντες τράπηκαν σε φυγή προς τα πάνω μακριά από τη φωτιά. Στην Αυστραλία, τα πρόσφατα έργα σιδηροδρομικής σήραγγας περιλαμβάνουν το πλέον λειτουργικό Sydney Metro Northwest και το έργο δίδυμη σιδηροδρομική σήραγγα Μελβούρνης μήκους 9 χιλιομέτρων, το οποίο αναμένεται να ολοκληρωθεί στα τέλη του 2025. Ως εκ τούτου, η συνεχής βελτιστοποίηση των στρατηγικών πυρασφάλειας και η διασφάλιση της ασφαλούς εκκένωσης των επιβατών κατά τη διάρκεια ενός σεναρίου έκτακτης ανάγκης για σιδηροδρομικές σήραγγες είναι πρωταρχικής σημασίας. Μια κύρια πτυχή της εκκένωσης των επιβατών σε σήραγγες είναι οι διασταυρώσεις που συνδέουν τις σήραγγες με δύο οπές και επιτρέπουν την ασφαλή διέλευση από το συμβάν στην οπή χωρίς συμβάν κατά τη διάρκεια έκτακτης ανάγκης. Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης πυρκαγιάς σε υπόγεια σιδηροδρομική σήραγγα, είναι απαραίτητο να μην εισέρχεται

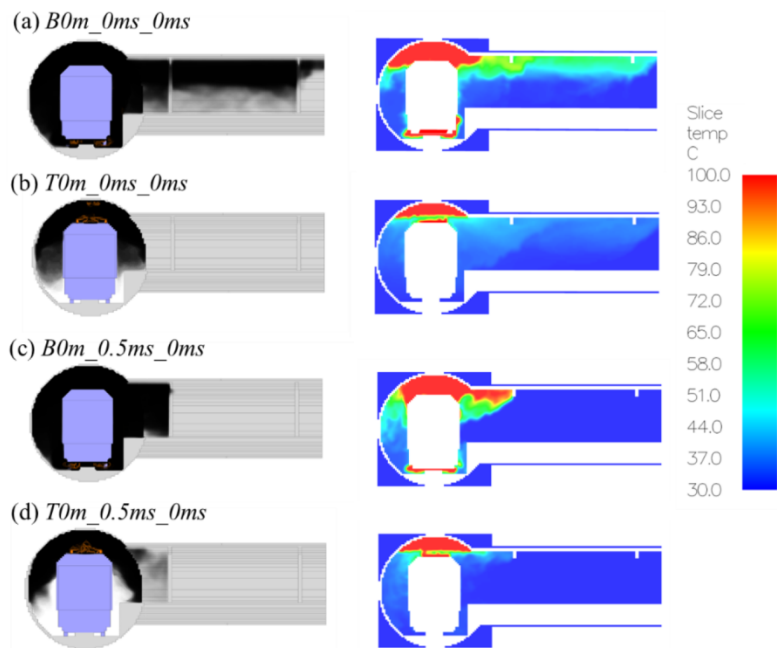
καπνός στις διαβάσεις για να διασφαλιστεί η ασφάλεια των επιβατών της σιδηροδρομικής σήραγγας κατά την εκκένωση. Επομένως, η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο ο καπνός διαδίδεται σε μια διασταύρωση κάτω από διαφορετικά σενάρια και, στη συνέχεια, η ελάχιστη ταχύτητα σε μια διάβαση σιδηροδρομικής σήραγγας αποτρέπει την είσοδο καπνού (γνωστή ως κρίσιμη ταχύτητα για μια διέλευση). Εάν ο ρυθμός ροής αέρα μέσω της εγκάρσιας διόδου προς την κατεύθυνση από τη μη πρόσκρουση στην οπή πρόσπτωσης είναι πολύ χαμηλός, εμφανίζεται η είσοδος καπνού στη διασταύρωση και στη μη πρόσκρουση οπή. Εάν η ταχύτητα εισερχόμενου αέρα περιβάλλοντος είναι πολύ υψηλή, η στρατηγική αερισμού γίνεται πολύ συντηρητική, οδηγώντας σε υπερβολικές εγκαταστάσεις ανεμιστήρες jet και μεγαλύτερη χωρητικότητα αξονικού ανεμιστήρα που σχετίζεται με υψηλότερο οικονομικό κόστος. Επομένως, ο καθορισμός της σωστής κρίσιμης ταχύτητας είναι κρίσιμος για το σχεδιασμό βέλτιστων στρατηγικών αερισμού.



Σχήμα 2.8 Απεικόνιση σχετικά με (α-γ) την έννοια της οπίσθιας στρώσης καπνού σε μια διαμήκη σήραγγα και (δ) την κρίσιμη ταχύτητα για διαφορετικά μεγέθη πυρκαγιάς

Σύμφωνα με το AS1668.1, απαιτείται θύρα διασταύρωσης 1,0 m/s για σχέδια σήραγγας. Αυτό διασφαλίζει ότι δεν επανακυκλοφορούν καπνός και ασφυξιογόνα αέρια πίσω στη διάβαση κάτι που ισχύει για τις σήραγγες με δύο οπές, που συνήθως απαντώνται στην Αυστραλία. Μια πρόσθετη εκτίμηση είναι οι διαφορές πίεσης μεταξύ των οπών, οι οποίες θα επηρεάσουν την κρίσιμη ταχύτητα στη διασταύρωση. Κατά γενικό κανόνα, η οπή πρόσπτωσης θα έχει χαμηλότερη πίεση από τη οπή, που δεν έχει συμβεί σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Η κλίση πίεσης μεταξύ της κύριας σήραγγας και της διόδου δεν πρέπει να είναι πολύ υψηλή. Οι επιβάτες, σε αντίθετη περίπτωση, της σιδηροδρομικής σήραγγας δεν θα μπορούν να ανοίξουν την πόρτα διέλευσης. Η πίεση της προσπίπτουσας σήραγγας που αφαιρείται από την πίεση της σήραγγας χωρίς πρόσκρουση είναι θετική για να αποτραπεί η διέλευση καπνού στη μη πρόσκρουση οπή. Ωστόσο, η υιοθέτηση ενός ενιαίου κριτηρίου κρίσιμης ταχύτητας για όλα τα σχέδια υπόγειων μεταφορών είναι υπερβολικά συντηρητική. Επιπλέον, πρόσφατες εργασίες έχουν αναπτύξει αναθεωρημένες μεθόδους για τον υπολογισμό της ελάχιστης ταχύτητας κατά μήκος της θύρας διασταύρωσης για να αποτραπεί η είσοδος καπνού στη διάβαση από την οπή πρόσπτωσης.

Ο ελάχιστος ρυθμός ροής για τον έλεγχο του καπνού μέσω μιας πόρτας διασταύρωσης κατά τη διάρκεια ενός σεναρίου πυρκαγιάς εφαρμόζεται κατάλληλα και εάν απαιτείται αναθεώρηση του AS1668.1. Ένα μοντέλο πεδίου πυρκαγιάς που βασίζεται σε προσομοίωση μεγάλων δινών (LES) θα χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς καπνού σε μια τυπική σιδηροδρομική σήραγγα με εγκάρσια δίοδο.[3]



Σχήμα 2.9 Σύγκριση της θερμοκρασίας και της κατανομής καπνού της διασταύρωσης μεταξύ πυρκαγιών πάνω και κάτω του οχήματος

### 3.Σχεδίαση 3D μοντέλου

#### 3.1 Εισαγωγή

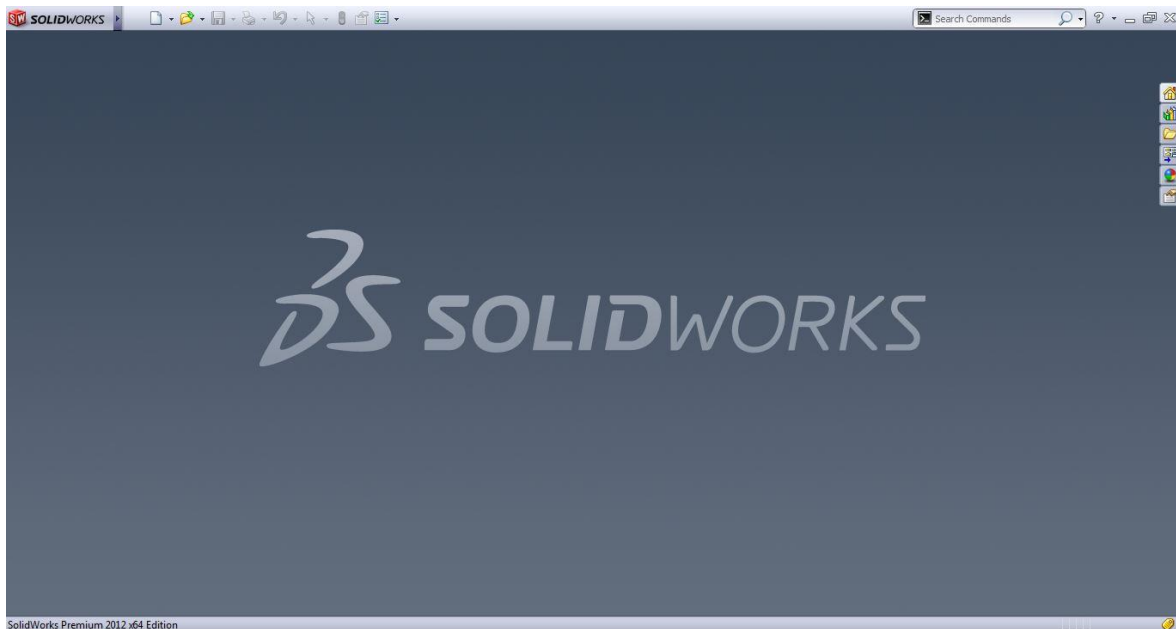
Για την σχεδίαση των εξαρτημάτων του ανιχνευτή καπνού χρησιμοποιήσαμε το περιβάλλον σχεδίασης του SolidWorks το οποίο είναι ένα επαγγελματικό λογισμικό 3D CAD που χρησιμοποιείται παγκοσμίως. Με τη μοντελοποίηση βάσει περιορισμών, όλα τα χαρακτηριστικά αποθηκεύονται σε ένα δέντρο ιστορικού μαζί με τις παραμέτρους τους. Από το πρώτο σκίτσο, ο σχεδιαστής πρέπει να εισάγει αριθμούς για να κλειδώσει το σκίτσο στην προβλεπόμενη θέση του καθώς και τις σχέσεις του με άλλα στοιχεία του σχεδίου. Το ίδιο ισχύει και για τις συνελεύσεις. Τα εξαρτήματα είναι στενά συνδεδεμένα με άλλα εξαρτήματα και τα υποσυστήματα με άλλα συγκροτήματα. Σε κάθε σημείο που οι περιορισμοί εξαρτημάτων καθορίζουν τη γεωμετρία του προϊόντος και την πρόθεση κατασκευής, οι περιορισμοί αντιστοίχισης καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να κινηθούν τα εξαρτήματα σε ένα συγκρότημα.

Το κύριο πλεονέκτημα αυτού του συλ μοντελοποίησης είναι ότι, σε περίπτωση ενημερώσεων και αναθεωρήσεων, το μοντέλο θα ενημερώνεται δυναμικά καθώς αλλάζουν οι απαιτήσεις σχεδιασμού. Μόλις αυτό κατακτηθεί, θα γίνεται όλο και πιο διαισθητικό. Ο τρόπος μοντελοποίησης είναι αρκετά ισχυρός και απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό και μια αυστηρά διαδικαστική μέθοδο εργασίας σε αντίθεση με πιο διερευνητικές προσεγγίσεις. Ένα από τα μειονεκτήματα του λογισμικού είναι ότι θα συμβούν σφάλματα στο δέντρο χαρακτηριστικών όταν τα μέρη δεν είναι σωστά περιορισμένα ή οι επιφάνειες αποτελούνται από πολλαπλές σύνθετες καμπύλες εισόδου. Αυτό μπορεί να συμβεί ακόμη και με την επαναφόρτωση του ίδιου τμήματος, με αποτέλεσμα το δέντρο της ιστορίας να ανάβει με κόκκινες προειδοποιήσεις σαν να ήταν χριστουγεννιάτικο δέντρο. Στα χειρότερα σενάρια, ο χειρισμός σφαλμάτων μπορεί να διαρκέσει μέρες για βαριές συναρμολογήσεις.



### 3.2 Το λογισμικό Solidworks

Το SolidWorks είναι ένας συμπαγής μοντελιστής και χρησιμοποιεί μια παραμετρική προσέγγιση βασισμένη σε χαρακτηριστικά, η οποία αναπτύχθηκε αρχικά από την PTC (Creo /Pro-Engineer) για τη δημιουργία μοντέλων και συγκροτημάτων. Το λογισμικό χρησιμοποιεί τον πυρήνα μοντελοποίησης Parasolid.



Σχήμα 3.1 Το περιβάλλον του SolidWorks

Οι παράμετροι αναφέρονται σε περιορισμούς των οποίων οι τιμές καθορίζουν το σχήμα ή τη γεωμετρία του μοντέλου ή του συγκροτήματος. Οι παράμετροι μπορεί να είναι είτε αριθμητικές παράμετροι, όπως μήκη γραμμών ή διάμετροι κύκλων, είτε γεωμετρικές παράμετροι, όπως εφαπτομένη, παράλληλη, ομόκεντρη, οριζόντια ή κατακόρυφη. Οι αριθμητικές παράμετροι μπορούν να συσχετιστούν μεταξύ τους μέσω της χρήσης σχέσεων, που τους επιτρέπει να συλλάβουν την πρόθεση σχεδιασμού.

Σχεδιαστική πρόθεση είναι ο τρόπος με τον οποίο ο δημιουργός του τμήματος θέλει να ανταποκρίνεται σε αλλαγές και ενημερώσεις. Για παράδειγμα, θα θέλατε η τρύπα στο επάνω μέρος ενός κουτιού ποτών να παραμένει στην επάνω επιφάνεια, ανεξάρτητα από το ύψος ή το μέγεθος του κουτιού. Το SolidWorks επιτρέπει στο χρήστη να προσδιορίσει ότι η τρύπα είναι ένα χαρακτηριστικό στην επάνω επιφάνεια και, στη συνέχεια, θα εκτιμήσει την πρόθεση σχεδίασής του ανεξάρτητα από το ύψος που θα ορίσει αργότερα στο κουτί.

Τα χαρακτηριστικά αναφέρονται στα δομικά στοιχεία του εξαρτήματος. Είναι τα σχήματα και οι πράξεις που κατασκευάζουν το μέρος. Τα χαρακτηριστικά, που βασίζονται στο σχήμα, ξεκινούν συνήθως με ένα σκίτσο 2D ή 3D σχημάτων όπως κεφαλές, τρύπες, υποδοχές. Αυτό το σχήμα στη συνέχεια εξωθείται για να προστεθεί ή να κοπεί για να αφαιρεθεί υλικό από το εξάρτημα. Τα χαρακτηριστικά που βασίζονται στη λειτουργία δεν βασίζονται σε σκίτσο και περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά όπως φιλέτα, λοξοτομές, κοχύλια, εφαρμογή ρεύματος στις όψεις ενός εξαρτήματος.

Η κατασκευή ενός μοντέλου στο SolidWorks ξεκινά με ένα σκίτσο 2D (αν και τα τρισδιάστατα σκίτσα είναι διαθέσιμα για ισχυρούς χρήστες). Το σκίτσο αποτελείται από γεωμετρία όπως σημεία, γραμμές, τόξα, κωνικά (εκτός από την υπερβολή) και σφήνες. Οι

διαστάσεις προστίθενται στο σκίτσο για να καθορισθεί το μέγεθος και η θέση της γεωμετρίας. Οι σχέσεις χρησιμοποιούνται για τον ορισμό χαρακτηριστικών όπως η εφαπτομένη, ο παραλληλισμός, η καθετότητα και η ομόκεντρη. Η παραμετρική φύση του SolidWorks σημαίνει ότι οι διαστάσεις και οι σχέσεις οδηγούν τη γεωμετρία και όχι το αντίστροφο. Οι διαστάσεις στο σκίτσο μπορούν να ελέγχονται ανεξάρτητα ή από σχέσεις με άλλες παραμέτρους εντός ή εκτός του σκίτσου.

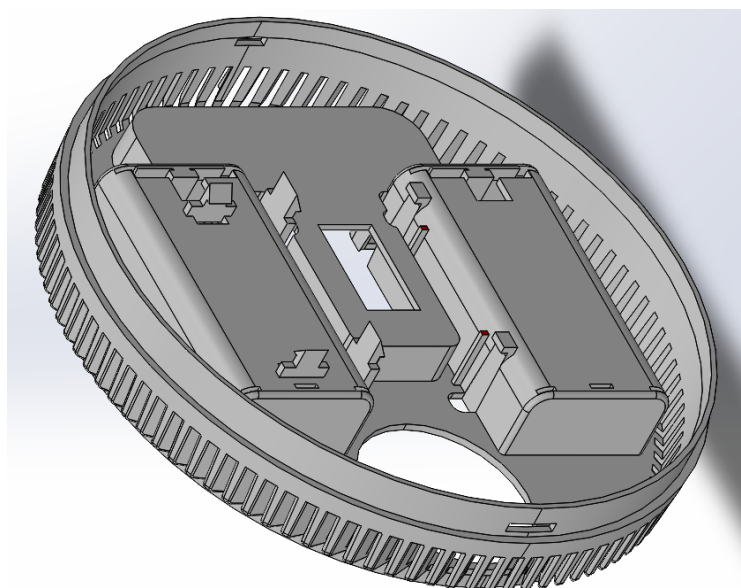
Σε ένα συγκρότημα, οι σχέσεις αναλογικού προς σκίτσο αναφέρονται ως mate. Ακριβώς όπως οι σχέσεις σκίτσου ορίζουν συνθήκες όπως η εφαπτομένη, ο παραλληλισμός και η ομόκεντρη σε σχέση με τη γεωμετρία σκίτσων, οι συνεργάτες συναρμολόγησης ορίζουν ισοδύναμες σχέσεις σε σχέση με τα επιμέρους μέρη ή εξαρτήματα, επιτρέποντας την εύκολη κατασκευή συγκροτημάτων. Το SolidWorks περιλαμβάνει επίσης πρόσθετα προηγμένα χαρακτηριστικά ζευγαρώματος, όπως γρανάζια και ακολούθους έκκεντρου, που επιτρέπουν σε συγκροτήματα μοντελοποιημένων γραναζιών να αναπαράγουν με ακρίβεια την περιστροφική κίνηση ενός πραγματικού γραναζιού.

Τέλος, σχέδια μπορούν να δημιουργηθούν είτε από εξαρτήματα είτε από συγκροτήματα. Οι προβολές δημιουργούνται αυτόματα από το συμπαγές μοντέλο και οι σημειώσεις, οι διαστάσεις και οι ανοχές μπορούν στη συνέχεια να προστεθούν εύκολα στο σχέδιο, όπως απαιτείται. Η ενότητα σχεδίασης περιλαμβάνει τα περισσότερα μεγέθη και πρότυπα χαρτιού (ANSI, ISO, DIN, GOST, JIS, BSI και SAC).

### 3.3 Βάση ανιχνευτή καπνού

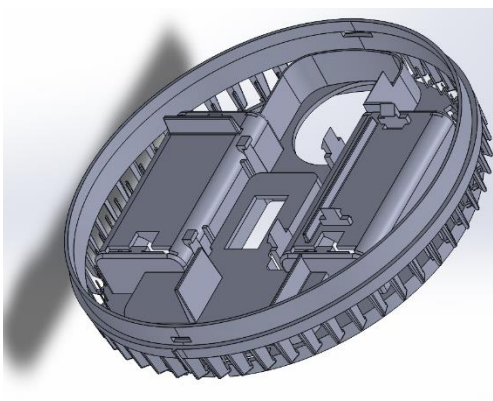
Η βάση του ανιχνευτή καπνού είναι ένα από τα πιο σημαντικά εξαρτήματα διότι όλες οι αλλαγές που γίνονται την επηρεάζουν και είναι αυτή που θα μελετηθεί. Τα τρία βασικά μέρη από το τοίχωμα της βάσης του ανιχνευτή καπνού που θα μας απασχολήσουν είναι:

- Το ύψος
- Το πλάτος
- Ο αριθμός των σχισμών



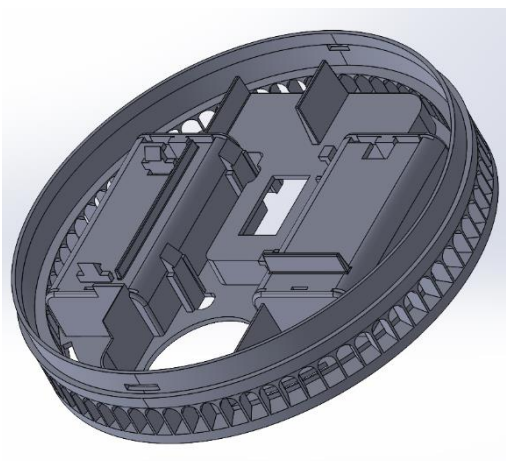
Σχήμα 3.2 Αρχική σχεδίαση βάσης ανιχνευτή καπνού

Η δεύτερη έκδοση της βάσης του ανιχνευτή καπνού έπειτα από πολλές εμπειρικές δοκιμές σχεδιάστηκε για να αντικαταστήσει την πρώτη, όχι και τόσο αποδοτική σχεδίαση.



Σχήμα 3.3 Δεύτερη βελτιωμένη έκδοση

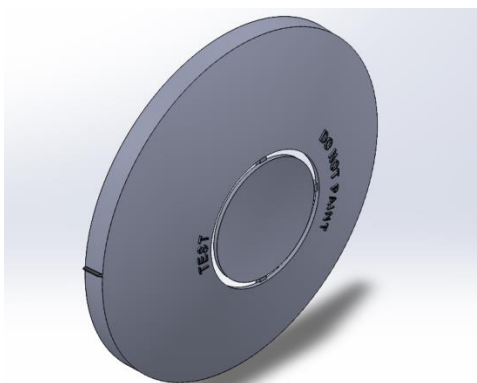
Η τελευταία έκδοση της βάσης του ανιχνευτή καπνού είναι η βελτιστοποιημένη έπειτα από θεωρητικό και πρακτικό πειραματισμό.



Σχήμα 3.4 Τελική βελτιστοποιημένη έκδοση

### 3.4 Καπάκι ανιχνευτή καπνού

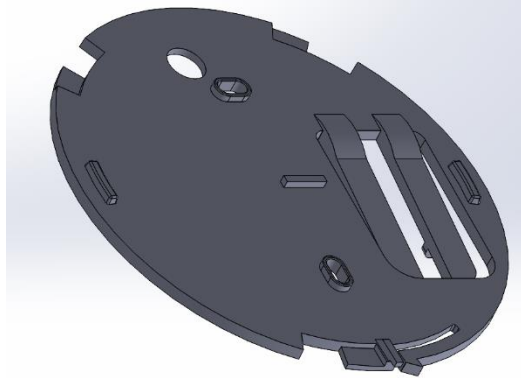
Το καπάκι του ανιχνευτή διαθέτει σχήμα με καμπύλη που βοηθά τον καπνό να διοχετεύεται καλύτερα προς την βάση του ανιχνευτή.



Σχήμα 3.5 Καπάκι ανιχνευτή καπνού

### 3.5 Επιτοίχια βάση στήριξης ανιχνευτή καπνού

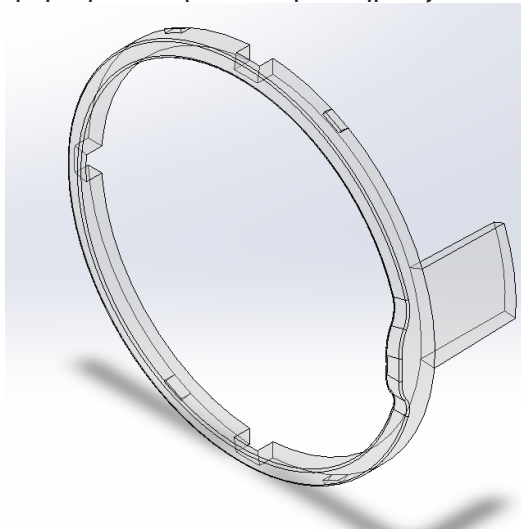
Η επιτοίχια βάση για την στήριξη του ανιχνευτή καπνού είναι το εξάρτημα που δεν παίζει μεγάλο ρόλο στην απόδοση του ανιχνευτή. Χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση του ανιχνευτή στην οροφή του δωματίου.



Σχήμα 3.6 Επιτοίχια βάση ανιχνευτή καπνού

### 3.6 Κρύσταλλο ενεργοποίησης δοκιμής ανιχνευτή καπνού

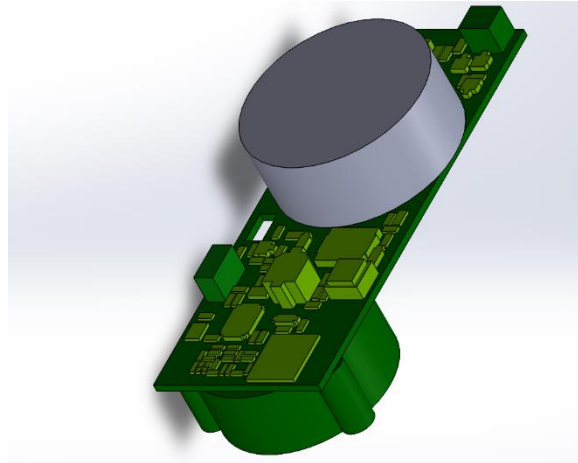
Το κρύσταλλο σχεδιάστηκε για να μπορεί να γίνεται δοκιμή στο led και στο buzzer του ανιχνευτή καπνού. Είναι ένα σημαντικό εξάρτημα διότι το κομμάτι που ακουμπάει στην πλακέτα μπαίνει μέσα στην ροή του αέρα και την επηρεάζει.



Σχήμα 3.7 Κρύσταλλο ανιχνευτή καπνού

### 3.7 Τρισδιάστατη απεικόνιση πλακέτας ανιχνευτή καπνού

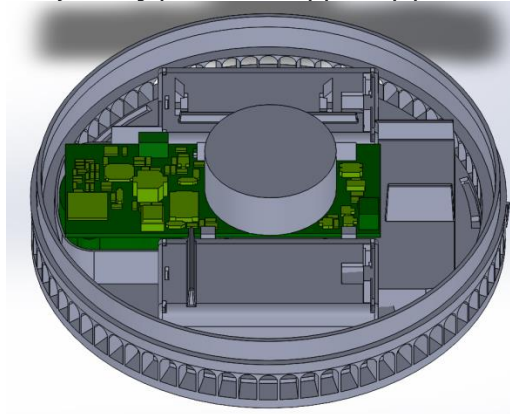
Η πλακέτα του ανιχνευτή έγινε εισήχθη από σχεδιαστικό πρόγραμμα πλακετών και το μόνο που σχεδιάστηκε είναι η θαλάμη όπου από την περίμετρο της θα αντλήσουμε τα δεδομένα μας.



Σχήμα 3.8 Η πλακέτα του ανιχνευτή καπνού

### 3.8 Συναρμολόγηση ανιχνευτή καπνού

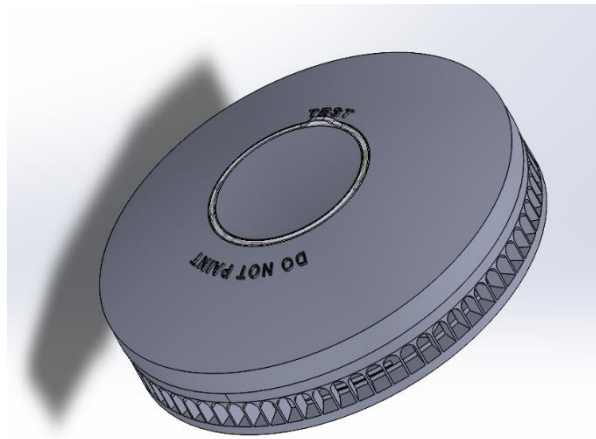
Αφού ολοκληρώθηκε η σχεδίαση των εξαρτημάτων του ανιχνευτή καπνού έπειτα χρειάστηκε να ενωθούν μεταξύ τους για να συναρμολογηθεί σαν τελικό προϊόν.



Σχήμα 3.9 Συναρμολόγηση της βάσης με την πλακέτα του ανιχνευτή καπνού



Σχήμα 3.10 Φωτογραφική απεικόνιση του εσωτερικού του ανιχνευτή καπνού



Σχήμα 3.11 Τελική συναρμολόγηση του ανιχνευτή καπνού



Σχήμα 3.11 Φωτογραφική απεικόνιση του βελτιστοποιημένου ανιχνευτή καπνού

## 4. Προσομοίωση με την μέθοδο της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (Computational Fluid Dynamics)

### 4.1 Εισαγωγή στην υπολογιστική ρευστοδυναμική

Η δυναμική των ρευστών ασχολείται με την κίνηση των ρευστών (υγρών και αερίων) και τις δυνάμεις πάνω τους. Το "υπολογιστικό" αναφέρεται στον υπολογισμό της ροής και των δυνάμεων με χρήση αριθμητικής ανάλυσης. Ένας κυριολεκτικός ορισμός της δυναμικής των υπολογιστικών ρευστών θα μπορούσε να είναι η πρόβλεψη της κίνησης και των δυνάμεων του ρευστού με υπολογισμό χρησιμοποιώντας αριθμητική ανάλυση.

Σήμερα, ο όρος υπολογιστική ρευστοδυναμική, που συντομεύεται σε CFD, χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα ευρύτερο φάσμα υπολογισμών για μια μεγάλη ποικιλία επιστημονικών και μηχανικών εφαρμογών. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται για εφαρμογές που περιλαμβάνουν θερμότητα, συμπεριλαμβανομένων των εξής:

- Κινητήρες, π.χ. κινητήρες εσωτερικής καύσης, τουρμπίνες
- Ανάκτηση θερμότητας, π.χ. εναλλάκτες θερμότητας
- Θερμική διαχείριση, π.χ. ψύξη, συστήματα εξάτμισης
- Θερμική άνεση, με θέρμανση, εξαερισμό, και κλιματισμό

Η θερμοδυναμική είναι ένα σημαντικό ζήτημα σε πολλές από αυτές τις εφαρμογές. Συσχετίζει την εσωτερική ενέργεια με τη θερμοκρασία, η οποία επηρεάζει τη ροή της θερμότητας. Περαιτέρω πηγές θερμότητας περιλαμβάνουν τη θερμική ακτινοβολία και τις χημικές αντιδράσεις, ιδιαίτερα την καύση. Η μεταφορά θερμότητας μπορεί να περιλαμβάνει αγωγιμότητα σε στερεά υλικά, σε συνδυασμό με τη ροή του ρευστού, γνωστή ως συζευγμένη μεταφορά θερμότητας.

Εάν συμπεριλάβουμε τα παραδείγματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, ένας σύγχρονος ορισμός της υπολογιστικής δυναμικής των ρευστών θα ήταν η πρόβλεψη της κίνησης και των δυνάμεων του ρευστού με υπολογισμό χρησιμοποιώντας αριθμητική ανάλυση, γενικά επεκταθείσα για να συμπεριλάβει τη θερμότητα, τη θερμοδυναμική, τη χημεία και τα στερεά.

Η αριθμητική ανάλυση παρέχει πολλές μεθόδους και αλγόριθμους, που είναι κατάλληλοι για CFD. Οι μέθοδοι περιλαμβάνουν πεπερασμένο όγκο, πεπερασμένο στοιχείο και πεπερασμένη διαφορά, που υπολογίζουν τις κατανομές των ιδιοτήτων, π.χ. πίεση, ταχύτητα και θερμοκρασία, πάνω από περιοχές του χώρου που είναι συνήθως σταθερές. Οι εναλλακτικές μέθοδοι αποδίδουν ιδιότητες σε σωματίδια που αντιπροσωπεύονται από σημεία στο χώρο, των οποίων οι κινήσεις υπολογίζονται.

Οι μέθοδοι σωματιδίων χρησιμοποιούνται συχνά για την προσέγγιση των χαρακτηριστικών ροής μικρής κλίμακας όπως τα υγρά σπρέι, π.χ. για ψύξη, επίστρωση, καθαρισμό, γεωργία, παραγωγή τροφίμων, καταστολή πυρκαγιάς, μείωση εκπομπών και έγχυση καυσίμου. Τα στερεά σωματίδια μπορούν, επίσης, να προσομοιωθούν σε εφαρμογές όπως η διήθηση, η διάβρωση και οι ρευστοποιημένες κλίμες.

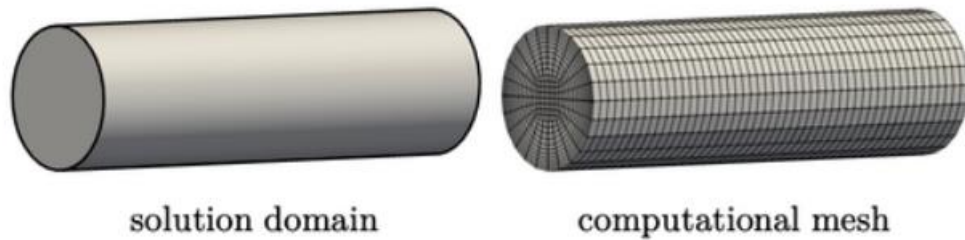
Ως παρουσίαση γενικών αρχών, περιγράφονται αριθμητικές μέθοδοι για την επίλυση προβλημάτων στη δυναμική των ρευστών, μέχρι και τη θερμότητα και κάποια βασική θερμοδυναμική, χωρίς να επεκταθεί στη θερμική ακτινοβολία, τη χημεία και τα στερεά. Ας φανταστούμε τον υπολογισμό της ροής ρευστού κατά μήκος ενός σωλήνα με CFD.

Για να εκτελέσετε τον υπολογισμό πρώτα απαιτείται περιγραφή του προβλήματος με:

- Την περιοχή που καταλαμβάνει το υγρό, δηλαδή την εσωτερική περιοχή του σωλήνα
- Εξισώσεις που αντιπροσωπεύουν τη συμπεριφορά του ρευστού, από την άποψη των ιδιοτήτων όπως η πίεση  $p$  και η ταχύτητα  $q$
- Συνθήκες στο όριο της περιοχής ρευστού και αρχικά εντός της περιοχής για τις ιδιότητες του ρευστού

Αυτή η περιγραφή αντιπροσωπεύεται στο CFD από τα ακόλουθα:

- Ένα υπολογιστικό πλέγμα για το υγρό
- «Διακριτές» εξισώσεις και αλγόριθμοι για τον υπολογισμό των  $p$  και  $q$
- Οριακές και αρχικές συνθήκες για  $p$  και  $q$



Σχήμα 4.1 Διακριτοποίηση πλέγματος ενός σωλήνα

Σύνολα εξισώσεων και μοντέλων συνδυάζονται για να προσομοιώσουν διαφορετικά προβλήματα ροής. Οι αριθμητικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται στο CFD για την επίλυση των εξισώσεων αφού κλειστής μορφής, αναλυτικές λύσεις υπάρχουν μόνο για πολύ απλές γεωμετρίες και καθεστώς ροής. Οι αριθμητικές μέθοδοι αντιπροσωπεύουν συνεχείς φυσικές οντότητες με ισοδύναμες διακριτές οντότητες, όπως βλέπουμε παρακάτω.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι διακριτοποίησης για τη δημιουργία του συνόλου των γραμμικών εξισώσεων. Τα σύνολα των εξισώσεων μπορούν να λυθούν χρησιμοποιώντας μια ποικιλία αλγορίθμων με τη διακριτοποίηση πεπερασμένου όγκου να προσφέρεται για επαναληπτικές μεθόδους.

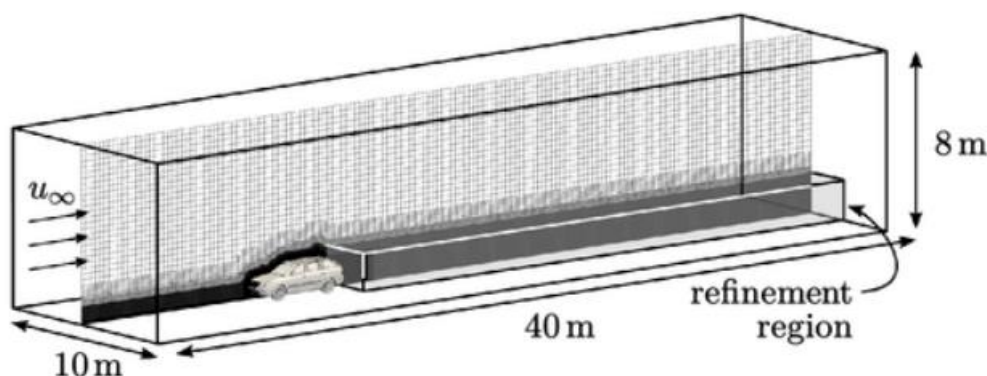
Υπάρχουν πολλές αριθμητικές μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση των μερικών διαφορικών εξισώσεων που συναντώνται στη δυναμική των ρευστών. Καμία μέθοδος δεν είναι αναμφισβήτητα καλύτερη από άλλες. Αντίθετα, η αποτελεσματικότητα κάθε μεθόδου εξαρτάται από πτυχές της περίπτωσης που προσομοιώνεται, π.χ. το μέγεθός του, το απαιτούμενο επίπεδο ακρίβειας και τα χαρακτηριστικά και την πολυπλοκότητα των εξισώσεων που επιλύονται. Για να είναι χρήσιμη μια μέθοδος πρέπει να προγραμματιστεί σε λογισμικό. Τα πολύπλοκα προγράμματα απαιτούν καλό σχεδιασμό και ο σχεδιασμός βασίζεται σε καλές ιδέες. Έτσι, αναπόφευκτα οι έννοιες πίσω από οποιαδήποτε μέθοδο είναι εξίσου σημαντικές με τις λεπτομέρειες που περιέχονται μέσα.

Η μέθοδος πεπερασμένου όγκου υιοθετεί την ιδέα των όγκων ελέγχου που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία μοντέλων φυσικών συστημάτων. Ένας όγκος ελέγχου αντιπροσωπεύει μια περιοχή του χώρου, η οποία είναι γενικά σταθερή, που περικλείεται από μια επιφάνεια μέσω της οποίας ρέει υγρό μέσα και έξω. Εφαρμόζει εξισώσεις διατήρησης, π.χ. μάζας, ορμής και ενέργειας, με εξισορρόπηση ροών, λόγω εισροής και εκροής στην οριοθετημένη επιφάνεια, με πρόσθετες πηγές εντός του όγκου. Αντί να χρησιμοποιείτε έναν ενιαίο τόμο ελέγχου για να περιγράψετε ένα ολόκληρο φυσικό σύστημα, π.χ. μια δεξαμενή θέρμανσης, η μέθοδος πεπερασμένου όγκου χωρίζει τον τομέα του συστήματος, δηλαδή τη δεξαμενή, σε πολλαπλούς συνδεδεμένους πεπερασμένους όγκους. Οι εξισώσεις διατήρησης εφαρμόζονται σε κάθε όγκο, διασφαλίζοντας ότι οι ροές μάζας, ορμής και θερμότητας στις επιφάνειες είναι συνεπείς μεταξύ των όγκων που συνδέουν.

Μια προσομοίωση CFD ξεκινά με ένα πεδίο λύσης, που καθορίζει μια περιοχή του χώρου ενός συγκεκριμένου γεωμετρικού σχήματος, στην οποία περιοχή λύνονται εξισώσεις δυναμικής ρευστών. Για παράδειγμα, κατά την προσομοίωση της ροής κατά μήκος ενός σωλήνα, η περιοχή λύσης θα είναι κάποια περιοχή του χώρου που καταλαμβάνεται από το υγρό εντός του σωλήνα.



Η διαδικασία δημιουργίας πλέγματος υποδιαιρεί την περιοχή του διαλύματος σε ένα πλέγμα μικρών όγκων ή κυψελών. Τα προγράμματα υπολογιστών χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των κελιών σύμφωνα με ορισμένες προδιαγραφές χρήστη. Δεν συζητάμε ούτε για το λογισμικό δημιουργίας πλέγματος ούτε για τις υποκείμενες μεθόδους που χρησιμοποιούν.[4]



Σχήμα 4.2 Ένα παράδειγμα ροής γύρω από ένα οδικό όχημα

#### 4.2 Αεροδυναμική μελέτη στην Φόρμουλα 1

Η δυσκολία των αυτοκινήτων της Formula 1 να ακολουθούν στενά το ένα το άλλο οφείλεται κυρίως στην πολύπλοκη αεροδυναμική τους. Οι προηγμένες αεροδυναμικές λύσεις που χρησιμοποιούνται για να αυξηθεί η πίεση κάτω από το αυτοκίνητο, προκαλούν τυρβώδη αφύπνιση και αστάθεια στη ροή του αέρα, με αποτέλεσμα να δυσκολεύεται η πίσω αυτοκίνητα να ακολουθήσουν τα μπροστινά. Για να αξιολογηθεί αριθμητικά η απώλεια αεροδυναμικών φορτίων ενός μονοθέσιου της F1, σε σχέση με μια κατάσταση ελεύθερης ροής, χρησιμοποιούνται μοντέλα ροής αέρα και ανάλυσης ρευστοδυναμικής, με βάση περίπλοκες αριθμητικές μεθόδους. Αυτό επιτρέπει την κατανόηση των αεροδυναμικών φαινομένων που επηρεάζουν την ακολουθία των αυτοκινήτων και την απώλεια αεροδυναμικών φορτίων που συμβαίνει κατά τη διάρκεια της αγωνιστικής δράσης.

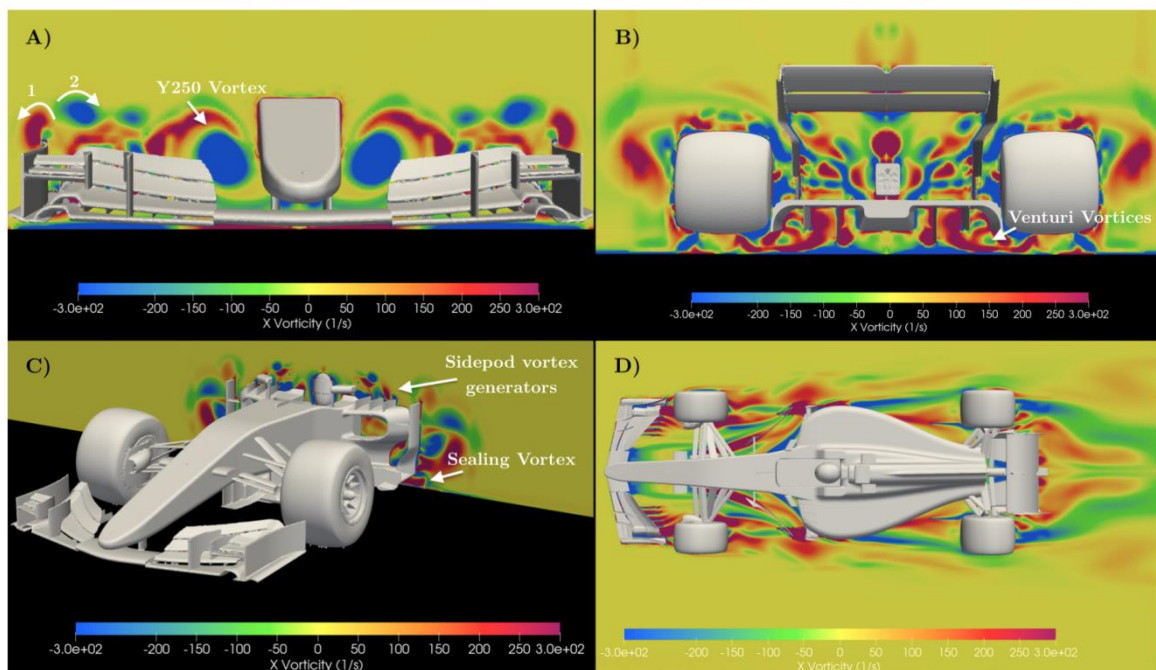
Οι έρευνες που έχουν διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια από τις ομάδες της F1 και άλλες πηγές έχουν επικεντρωθεί στη χρήση υπολογιστικής δυναμικής ρευστών (CFD) και σχεδίασης βοηθούμενης από υπολογιστή (CAD) για την αξιολόγηση των αεροδυναμικών χαρακτηριστικών των μονοθέσιων της F1. Οι μελέτες των Ravelli και Savini έχουν χρησιμοποιηθεί ως αναφορές, καθώς θεωρούνται εφικτές προσεγγίσεις σε αυτό το πολύπλοκο πρόβλημα, αξιολογώντας τα μοντέλα CFD όπως και τα μοντέλα CAD. Τα αποτελέσματα που έχουν ληφθεί από αυτές τις έρευνες έχουν αποκαλύψει ενδιαφέρουσες συμπεριφορές στροβιλισμού και έχουν παράσχει στοιχεία αναφοράς για τη σύγκριση αριθμητικών αποτελεσμάτων κάτω από ροές ελεύθερης ροής. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθεί η απώλεια αεροδυναμικών φορτίων και να αναπτυχθούν μοντέλα που μπορούν να βοηθήσουν στη βελτίωση του παρακολουθούμενου αγώνα στη Formula 1.

Τα έργα των Newbown και Perry αναφέρονται ως ένα θετικό προηγούμενο για την αξιολόγηση αριθμητικά ενός μονοθέσιου της F1 υπό συνεχείς ροές, παρά τη χρήση ενός ξεπερασμένου CAD γεωμετρίας. Η μεθοδολογία που χρησιμοποίησαν βασίζεται στη διαφοροποίηση των αποστάσεων μεταξύ διαφορετικών αυτοκινήτων, και αυτή η προσέγγιση θεωρείται ως καλή έμπνευση για τον τρόπο λειτουργίας του παρόντος μοντέλου. Ωστόσο, προτείνεται η μελέτη στενότερων αποστάσεων μεταξύ των αυτοκινήτων κάτω από τις ροές μετάδοσης, προκειμένου να προσφέρει μια πιο πλήρης

εικόνα της ροής. Άλλοι συγγραφείς, όπως ο Ogawa και οι συνεργάτες του, έχουν επίσης συμβάλει στον ορισμό της μεθοδολογίας που χρησιμοποιείται σε αυτήν τη μελέτη CFD. Ο Larsson, υποστηριζόμενος από την ομάδα BMW Sauber F1, έχει επίσης διεξάγει έρευνα που ασχολείται με την αλληλεπίδραση των φτερών με την αφαίρεση του ελαστικού, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της ροής στο κάτω μέρος του αμαξώματος.

Πράγματι, η χρήση πειραματικών λύσεων, όπως αεροσήραγγα ή πειράματα επί πραγματικών αυτοκινήτων, μπορεί να παρείχε πρόσθετη αξιολόγηση και επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων. Η μεθοδολογία CFD παρέχει μια πιο οικονομική και πρακτική λύση για τη μελέτη των αεροδυναμικών χαρακτηριστικών, ιδίως όταν οι άλλες εναλλακτικές λύσεις δεν είναι εφικτές ή προσβάσιμες. Το CFD έχει αναπτυχθεί ως μια αξιόπιστη μέθοδος για την αντιμετώπιση αεροδυναμικών προβλημάτων και έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλές μελέτες και βιομηχανικές εφαρμογές. Παρόλο που τα μοντέλα CFD είναι βαθμονομημένα και ενδέχεται να υπάρχουν περιορισμοί, η μεθοδολογία είναι αποδεκτή και χρήσιμη για τη διερεύνηση αεροδυναμικών φαινομένων σε ελεγχόμενες συνθήκες. Όσον αφορά την προοπτική πειραματικής συλλογής δεδομένων για την επικύρωση των αποτελεσμάτων, αυτό θα μπορούσε να είναι μια καλή ιδέα για μελλοντικές έρευνες. Συμπεριλαμβάνοντας πειραματικά δεδομένα μπορεί να παρέχει επιπλέον επιβεβαίωση και να βοηθήσει στην αξιολόγηση της ακρίβειας των μοντέλων CFD.

Συνοψίζοντας, η χρήση της μεθοδολογίας CFD στην αεροδυναμική έρευνα αυτοκινήτων είναι αποδεκτή και πρακτική λύση, παρέχοντας αξιόπιστες πληροφορίες για τη ροή και την απόδοση. Ωστόσο, η επικύρωση μέσω πειραματικών δεδομένων μπορεί να είναι χρήσιμη για μελλοντικές έρευνες.[5]



Σχήμα 4.3 Διάφορα περιγράμματα αξονικής δίνης: (A) Επίπεδο YZ στα 0,65 m προς την κατεύθυνση X, (B) Επίπεδο XY στο 3,65 m στην κατεύθυνση X, (C) YZ επίπεδο στα 2,60 m στην κατεύθυνση X και (D) XY επίπεδο στα 0 m στην Κατεύθυνση Z

#### 4.3 Προσομοίωση φωτιάς σε κτίριο με το Fire Dynamic Simulator

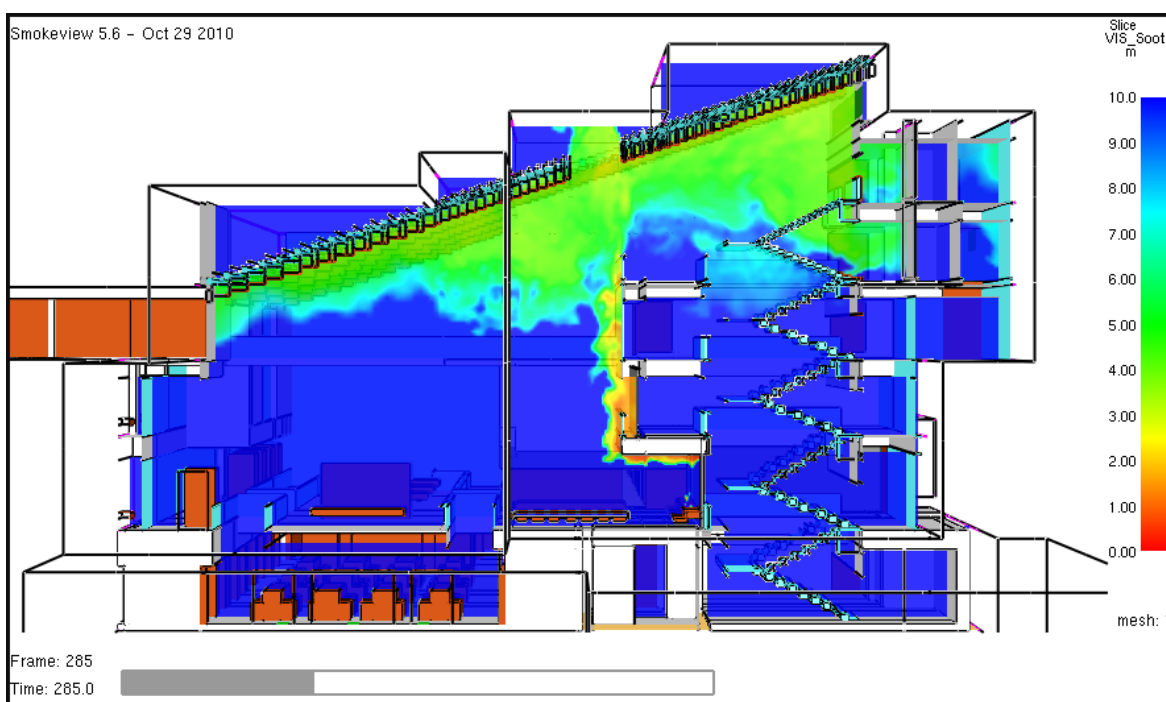
Στη διαδικασία της αστικοποίησης, το ύψος και το συνολικό μέγεθος των κτιρίων αυξάνονται λόγω του υπερπληθυσμού και της αποτελεσματικής χρήσης της γης στις πόλεις. Ταυτόχρονα, δίνεται έμφαση στις λειτουργικές πτυχές των κτιρίων και αυξάνεται η

ζήτηση για ευελιξία, ανθεκτικότητα, ευκολία συντήρησης και αντισεισμική αντοχή στις κατασκευές, οδηγώντας σε πιο αυστηρή διαχείριση και ρύθμιση αυτών των πτυχών. Εκτός από αυτές τις διάφορες αλλαγές και βελτιώσεις στην κατασκευή κτιρίων, η πυρασφάλεια είναι μια κρίσιμη απαίτηση απόδοσης. Επειδή οι πυρκαγιές, που συμβαίνουν σε σύγχρονα κτίρια, μπορούν να εξελιχθούν σε μεγάλης κλίμακας, περίπλοκες καταστροφές, είναι δύσκολο να προβλεφθεί η εξάπλωση των πιθανών πυρκαγιών. Επιπλέον, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί το εύρος της ζημιάς μετά την καταστολή μιας πυρκαγιάς και δεδομένης της πιθανής εκτεταμένης κλίμακας ζημιών, η λήψη των κατάλληλων μετέπειτα μέτρων και οι εργασίες αποκατάστασης είναι πρόκληση. Ως εκ τούτου, έχει δοθεί μια αυξανόμενη εστίαση στη διασφάλιση της πυρασφάλειας και στη μείωση των ζημιών σε σύγχρονα κτίρια με υψηλούς δυνητικούς κινδύνους, όπως περιγράφεται παραπάνω, χρησιμοποιώντας αντιπροσωπευτικά μέσα όπως ο πυράντοχος σχεδιασμός, ο πυροσβεστικός εξοπλισμός, τα σχέδια εκκένωσης και η καταστολή πυρκαγιάς.

Όσον αφορά στην καταστολή πυρκαγιάς, η μείωση των ζημιών που προκαλούνται από πυρκαγιές σε διαφορετικούς τύπους κτιρίων εξαρτάται πλήρως από την κοινωνική υποδομή για τις δυνατότητες αντίδρασης και πυρόσβεσης. Ωστόσο, τα γενικά αντίμετρα κατά της πυρκαγιάς που προετοιμάζονται από άτομα, ομάδες, οργανισμούς και την κυβέρνηση, καθώς και τα αρχικά μέτρα αντιμετώπισης, αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις όσον αφορά στην απόκριση σε περίπλοκους ή νέους τύπους πυρκαγιών. Αυτό οφείλεται στις δυσκολίες που προκύπτουν από την ποικιλία των κτιρίων και τους περιορισμούς στην αναπαραγωγή γεγονότων πυρκαγιάς. Για παράδειγμα, υπάρχουν πρακτικοί περιορισμοί στην αναπαραγωγή πυρκαγιών πλήρους κλίμακας για τη διεξαγωγή εκπαίδευσης πυρόσβεσης σε μεγάλης κλίμακας στόχους πυρόσβεσης, όπως πολυώροφα κτίρια, εγκαταστάσεις πολλαπλών χρήσεων και σταθμούς υπόγειου σιδηροδρόμου. Επιπλέον, απαιτούνται υψηλά κόστη εκπαίδευσης για αυτό το είδος εκπαίδευσης στην πραγματική ζωή και υπάρχουν άλλοι πρακτικοί περιορισμοί, όπως ο αριθμός των σεναρίων εκπαίδευσης που μπορούν να εκτελεστούν και η ανάπτυξη σχετικών προγραμμάτων.

Από αυτή την άποψη, είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί μια νέα ιδέα για συστήματα εκπαίδευσης πυρόσβεσης ικανά να αναπαράγουν διάφορους τύπους πραγματικών πυρκαγιών με σχετικά χαμηλό κόστος εκπαίδευσης και υψηλή αναπαραγωγικότητα. Αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν εκπαιδευτικό περιεχόμενο εικονικής πραγματικότητας (π.χ. VR, AR, MR) για να ξεπεραστούν χρονικοί, χωρικοί περιορισμοί και περιορισμοί κόστους. Το κύριο περιεχόμενο εκπαίδευσης περιγράφεται στον Πίνακα 1. Η εκπαίδευση στην εικονική πραγματικότητα έχει τα πλεονεκτήματα της πρόληψης της άμεσης έκθεσης σε κινδύνους όταν η πραγματική κατάσταση είναι εξαιρετικά επικίνδυνη, της καταλληλότητας για την τεχνητή αναπαραγωγή του συμβάντος πυρκαγιάς και της δυνατότητας επαναλαμβανόμενης εκπαίδευσης για διάφορα σενάρια με χαμηλό επίπεδο κόστους. Ειδικότερα, το περιεχόμενο εκπαίδευσης και εκπαίδευσης πυροσβεστών για ανάληψη καθηκόντων έχει αναπτυχθεί με έμφαση στις πληροφορίες εκπαίδευσης και τα κίνητρα, αλλά η ικανότητα αναπαραγωγής μιας ρεαλιστικής κατάστασης πυρκαγιάς παραμένει σχετικά βασική. Επιπλέον, το υπάρχον περιεχόμενο δεν έχει δημιουργηθεί με επαρκή δεδομένα για την προσομοίωση ενός ευρέος φάσματος καταστάσεων πυρκαγιάς, όπως τύπος κτιρίου, αιτία πυρκαγιάς και χαρακτηριστικά πυρκαγιάς (έκλυση θερμότητας, παραγωγή καπνού και εξάπλωση) για εκπαίδευση πυρόσβεσης. Ως εκ τούτου, υπήρξαν περιορισμοί στην ικανότητα της εικονικής εκπαίδευσης πυρόσβεσης να δοκιμάσει τις δυνατότητες λήψης αποφάσεων σε καταστάσεις πυρκαγιάς και λήψης κατάλληλων αντίμετρων σύμφωνα με το σενάριο και τη ρύθμιση.

Ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας (HRR) και η απελευθέρωση παραγωγής καπνού (SPR) είναι οι βασικές παράμετροι, που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση καταστάσεων πυρκαγιάς. Αυτοί είναι σημαντικοί παράγοντες για την εκτίμηση της έκτασης και της κλίμακας μιας πυρκαγιάς και επηρεάζονται σημαντικά από τον τύπο του κτιρίου, όπου εκδηλώθηκε η πυρκαγιά, τις συνθήκες εσωτερικού χώρου και τα εύφλεκτα υλικά στον χώρο. Για τη διερεύνηση των χαρακτηριστικών πυρκαγιάς σε εσωτερικούς χώρους, είναι απαραίτητο να ληφθούν δεδομένα δοκιμής πυρκαγιάς σύμφωνα με τα εύφλεκτα υλικά, τη ρύθμιση και τη διάταξη του χώρου στόχου. Απαιτείται, επίσης, μια προσομοίωση που εξετάζει μια κατάσταση πυρκαγιάς με βάση τα αποκτηθέντα δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να γίνει δοκιμή πυρκαγιάς για εύφλεκτα υλικά και δοκιμή πυρκαγιάς πλήρους κλίμακας σε χώρο πλήρους κλίμακας, που περιέχει εύφλεκτα υλικά. Σε αυτή τη μελέτη, για την καλύτερη κατανόηση των ποσοτικών χαρακτηριστικών πυρκαγιάς εσωτερικών χώρων κτιρίων κατοικιών, διεξήχθη μια δοκιμή πυρκαγιάς πλήρους κλίμακας και μια δοκιμή πυρκαγιάς εύφλεκτων υλικών υπό συνθήκες παρόμοιες με τις πραγματικές καταστάσεις πυρκαγιάς. Με βάση αυτές τις δοκιμές, στοχεύουμε να αναλύσουμε τα χαρακτηριστικά πυρκαγιάς των τύπων κτιρίων κατοικιών με τη μεγαλύτερη συχνότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς. Τέλος, η μελέτη στοχεύει να επαληθεύσει τη δυνατότητα εφαρμογής των αποτελεσμάτων, που προέκυψαν στην εκπαίδευση πυρόσβεσης με διάφορα σενάρια πυρκαγιάς σε μια προσομοίωση δυναμικής πυρκαγιάς (FDS).



Σχήμα 4.4 Προσομοίωση πυρκαγιάς σε κτίριο μέσω FDS και απεικόνιση στο SmokeView

Στο θέμα της πυροπροστασίας στα κτίρια, οι οικοδομικοί κώδικες και πρότυπα παίζουν έναν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση και την εφαρμογή των πυροπροστατικών μέτρων. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, ο Διεθνής Οικοδομικός Κώδικας (International Building Code - IBC) χρησιμοποιείται συνήθως από τις αρμόδιες αρχές, και περιλαμβάνει διατάξεις που αφορούν την πυροπροστασία. Αυτοί οι κανονισμοί έχουν σχεδιαστεί για να μειώσουν τον κίνδυνο πυρκαγιάς στα κτίρια, αλλά παρ' όλα αυτά η πυρκαγιά παραμένει ένα σοβαρό πιθανό συμβάν.

Οι τραυματισμοί, οι θάνατοι και οι οικονομικές απώλειες λόγω πυρκαγιάς εξακολουθούν να αυξάνονται. Για παράδειγμα, σύμφωνα με εκτιμήσεις της Εθνικής Ένωσης Πυροπροστασίας (National Fire Protection Association - NFPA), το συνολικό ετήσιο κόστος της πυρκαγιάς στις Ηνωμένες Πολιτείες το 2011, περιλαμβανομένων των ανθρώπινων και οικονομικών απωλειών, του κόστους της πυροσβεστικής υπηρεσίας και άλλων συναφών δαπανών, ήταν σημαντικό. Αυτά τα στοιχεία υπογραμμίζουν τη σημασία της πυροπροστασίας και την ανάγκη τήρησης των προτύπων και κανονισμών για την ασφάλεια των κτιρίων. Οι οικοδομικοί κώδικες παρέχουν τις κατευθυντήριες γραμμές και τις απαιτήσεις για την πυροπροστασία, καθιστώντας την υποχρεωτική για τους κατασκευαστές και τους ιδιοκτήτες των κτιρίων.

Η πυροπροστασία αποτελεί έναν σημαντικό ασφαλιστικό κλάδο και το κόστος που σχετίζεται με αυτήν είναι σημαντικό. Σύμφωνα με τα δεδομένα που παρέχονται, το κόστος αυτό ανήλθε σε περίπου 330 δισεκατομμύρια δολάρια, που αντιστοιχεί σε περίπου δύο τοις εκατό του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος των Ηνωμένων Πολιτειών. Η ανάπτυξη των έξυπνων κτιρίων και η προοδευτική πορεία προς τις μελλοντικές έξυπνες πόλεις επιφέρουν νέες προκλήσεις στην πυροπροστασία. Αυτές περιλαμβάνουν ζητήματα που σχετίζονται με φωτοβολταϊκά πάνελ οροφής, μονωτικά υλικά και ελαφρύ κατασκευασμένα ξύλινα πλαίσια. Ωστόσο, η δημιουργία ενός πραγματικού πειράματος πυρκαγιάς σε ένα κτίριο είναι δύσκολη και δαπανηρή, εάν όχι αδύνατη. Οι σύγχρονες τεχνολογίες έξυπνων κτιρίων παρέχουν όμως νέες ευκαιρίες για τη σημαντική μείωση των απωλειών από πυρκαγιά. Τα έξυπνα συστήματα κτιρίων μπορούν να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται την απόδοση του κτιρίου σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας δεδομένα που προέρχονται από αισθητήρες όπως προγραμματιζόμενους θερμοστάτες και συσκευές που μπορούν να ελεγχθούν από κινητά τηλέφωνα. Το πλούσιο περιβάλλον αισθητήρων ενός έξυπνου κτιρίου παρέχει πληροφορίες και δεδομένα που μπορούν να ενσωματωθούν για την πυροπροστασία.

Τα συστήματα αυτά μπορούν να ανιχνεύουν πρόωρα πιθανά επικίνδυνα σημεία ή πηγές πυρκαγιάς, να ειδοποιούν αυτόματα τους υπεύθυνους για την ασφάλεια και να λαμβάνουν μέτρα για την κατάσβεση της πυρκαγιάς, όπως την ενεργοποίηση των συστημάτων πυρανίχνευσης, την απομόνωση των επικινδύνων περιοχών και την εκκένωση του κτιρίου. Αυτές οι εξελίξεις στην τεχνολογία μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση των απωλειών από τη φωτιά και στην αύξηση της ασφάλειας των κτιρίων.

Οι αναφορές και οι έρευνες που αναφέρονται αναδεικνύουν τη σημασία της ενσωμάτωσης της πυροπροστασίας στα έξυπνα κτίρια. Οι τεχνολογίες HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην πυροπροστασία επιτρέποντας τον έλεγχο του αερισμού κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς. Με τη χρήση αλγορίθμων και πρωτοκόλλων ελέγχου καπνού, μπορεί να επιτευχθεί η αυτόματη ρύθμιση του συστήματος HVAC για τη μείωση της διάδοσης του καπνού και τη βελτίωση των συνθηκών αναγνώρισης και εκκένωσης. Η δυνατότητα συνεργασίας και αλληλεπίδρασης μεταξύ των συστατικών ενός έξυπνου κτιρίου, όπως οι σχεδιαστές, οι ιδιοκτήτες, οι ένοικοι και οι ανταποκριτές έκτακτης ανάγκης, μπορεί να συμβάλει στην αποτελεσματική αντίδραση σε περιπτώσεις πυρκαγιάς. Μέσω της διασύνδεσης των συστημάτων διαχείρισης απόδοσης των κτιρίων, μπορούν να αντληθούν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και να γίνεται άμεση ανταπόκριση στην περίπτωση πυρκαγιάς, ενισχύοντας την ασφάλεια και την προστασία των ανθρώπων και των κτιρίων.

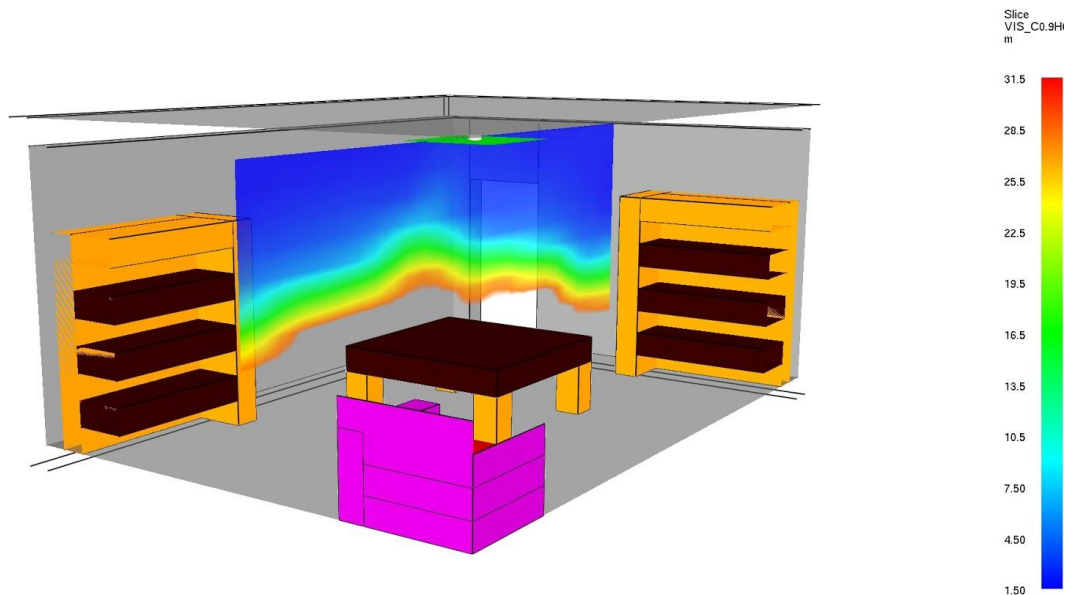
Ο οδικός χάρτης έξυπνης πυρόσβεσης που αναφέρεται από το NIST και το FPRF αναδεικνύει τη σημασία της επικοινωνίας και της ανταλλαγής πληροφοριών για την

πυρόσβεση. Ο σκοπός του είναι να παρέχει σε πραγματικό χρόνο σημαντικές πληροφορίες στους πρώτους ανταποκριτές πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από μια πυρκαγιά. Αυτό μπορεί να διευκολύνει τη λήψη έγκαιρων και κατάλληλων μέτρων για την προστασία της ασφάλειας και την αποτροπή της επέκτασης της πυρκαγιάς. Η τεχνολογία και οι εξελίξεις στον τομέα των έξυπνων κτιρίων έχουν τη δυνατότητα να ενισχύσουν σημαντικά την πυροπροστασία και την ασφάλεια των κτιρίων, δημιουργώντας περιβάλλοντα που μπορούν να ανιχνεύουν, αντιδρούν και προλαμβάνουν περιστατικά πυρκαγιάς με μεγαλύτερη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα.

Το Fire Dynamics Simulator (FDS) είναι ένα λογισμικό που αναπτύχθηκε από το National Institute of Standards and Technology (NIST) και χρησιμοποιείται για την προσομοίωση πυρκαγιών σε κτίρια. Το FDS χρησιμοποιεί προηγμένες αριθμητικές μεθόδους για να λύσει τις εξισώσεις Navier-Stokes, οι οποίες περιγράφουν τη ροή των αερίων και τη θερμική συμπεριφορά σε έναν χώρο. Με αυτόν τον τρόπο, το FDS μπορεί να παρακολουθεί τη θερμότητα, τη μεταφορά μάζας και την ορμή σε κάθε κύτταρο του τομέα προσομοίωσης. Το FDS επιτρέπει την οπτικοποίηση των δεδομένων, προσφέροντας ένα περιβάλλον για την αναγνώριση της δυναμικής της πυρκαγιάς, όπως το μέγεθος, οι μορφές και η θερμοκρασία. Το λογισμικό περιλαμβάνει επίσης το εργαλείο SmokeView (SMV), το οποίο χρησιμοποιείται για την οπτικοποίηση της στιγμιαίας διάδοσης του καπνού. Ακόμη, το FDS μπορεί να επεκταθεί με τη χρήση της μονάδας προσομοίωσης εκκένωσης, γνωστή ως FDS + Evacuation.

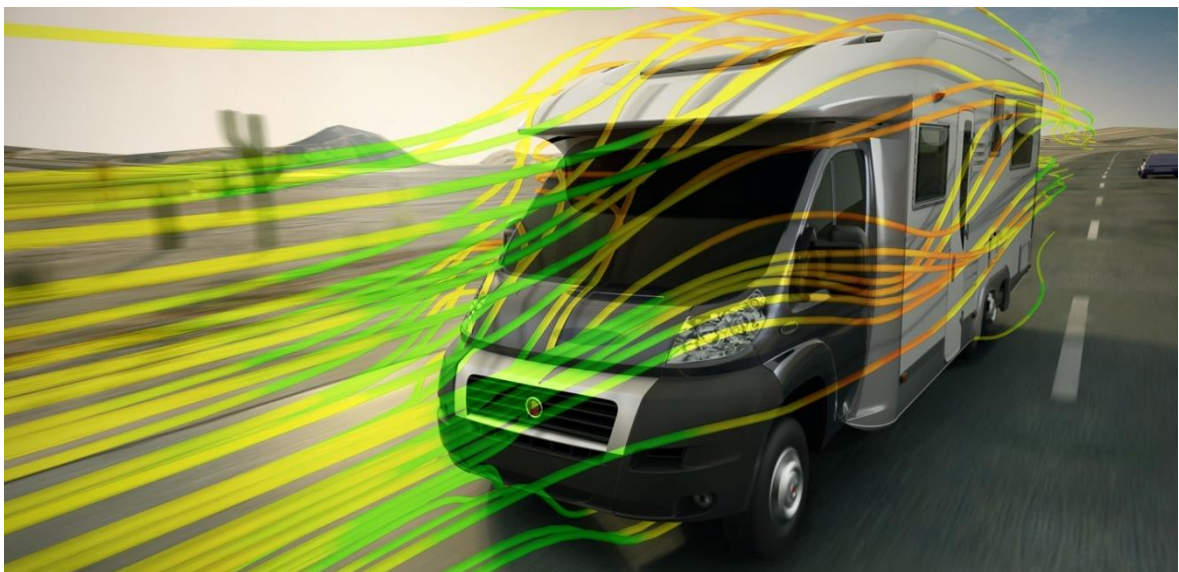
Το FDS + Evac προσομοιώνει την κίνηση των ανθρώπων κατά τη διάρκεια καταστάσεων εκκένωσης και επιτρέπει την ολοκλήρωση των προσομοιώσεων πυρκαγιάς με τις προσομοιώσεις εκκένωσης. Για τη μοντελοποίηση της καύσης πυρκαγιών, το FDS χρησιμοποιεί ένα μοντέλο βαθμωτής προσέγγισης, το οποίο υποθέτει ότι η καύση ελέγχεται με την ανάμειξη γρήγορης ρυθμού αντίδρασης μεταξύ καυσίμου και οξυγόνου. Συνολικά, το FDS είναι ένα πανίσχυρο εργαλείο προσομοίωσης πυρκαγιών που χρησιμοποιεί προηγμένες αριθμητικές μεθόδους και μοντέλα για την ανάλυση της δυναμικής των πυρκαγιών και την πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους σε κτίρια.

Τα κλάσματα μάζας των κύριων αντιδρώντων και προϊόντων υπολογίζονται χρησιμοποιώντας επικυρωμένες επιστημονικές αναλύσεις. Η μεταφορά θερμότητας ακτινοβολίας προσομοιώνεται μέσω της λύσης της εξίσωσης μεταφοράς ακτινοβολίας για ένα μη σκεδαζόμενο γκρι αέριο. Τα υπολογιστικά μεγέθη κυψελών είναι συνήθως στο εύρος των εκατοστών για την προσομοίωση «large eddy» στο FDS για την επίτευξη της ανάλυσης και του ρεαλισμού των δομών ροής σε τυρβώδη πλευστή ροή. Η διαδικασία λύσης βαδίζει σε πραγματικό χρόνο. Τα στιγμιαία αποτελέσματα μπορούν να εμφανιστούν σε φωτογραφίες εικόνες, σε κίνηση ή σε εικονική πραγματικότητα για να παρακολουθείτε, για παράδειγμα, την ανάπτυξη της φωτιάς και τη διάδοση του καπνού.[6]



Σχήμα 4.5 Προσομοίωση μεταφοράς θερμότητας σε δωμάτιο έπειτα από άνοιγμα της πόρτας

#### 4.4 Προσομοίωση ροής στο SolidWorks



Σχήμα 4.6 SolidWorks Flow Simulation

Το SOLIDWORKS® Flow Simulation είναι μια διαισθητική λύση Computational Fluid Dynamics (CFD) ενσωματωμένη στο SOLIDWORKS 3D CAD που σας επιτρέπει να προσομοιώνετε γρήγορα και εύκολα τις ροές υγρών και αερίων μέσα και γύρω από τα σχέδιά σας για να υπολογίσετε την απόδοση και τις δυνατότητες του προϊόντος.

Το SOLIDWORKS Flow Simulation είναι ένα γενικό εργαλείο προσομοίωσης παραμετρικής ροής που χρησιμοποιεί τη μέθοδο πεπερασμένου όγκου (FVM) για τον υπολογισμό της απόδοσης του προϊόντος μέσω μελετών "what if", που σας επιτρέπουν να πραγματοποιήσετε βελτιστοποίηση χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα.

Η προσομοίωση ροής είναι μια μορφή υπολογιστικής δυναμικής ρευστών, που αναπαράγει ψηφιακά τις ροές σε επιφανειακά νερά ή συστήματα συλλογής. Η εκτέλεση της προσομοίωσης ροής επιτρέπει την πρόβλεψη και την ανάλυση του τρόπου με τον

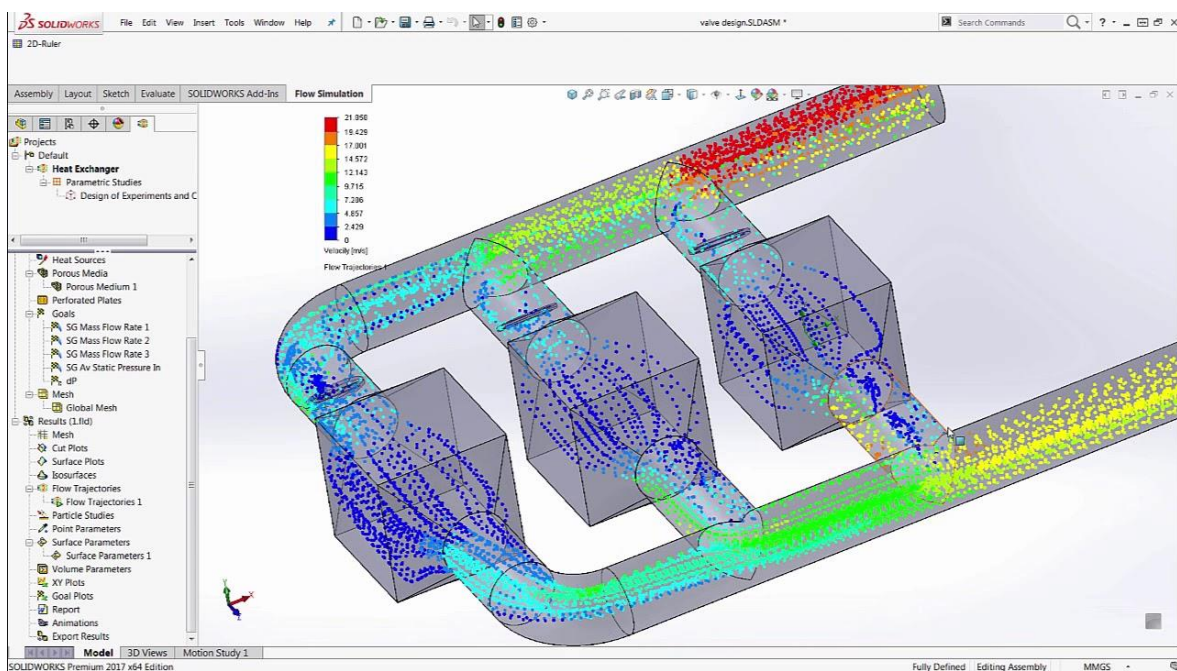
οποίο μια ροή μπορεί να επηρεαστεί από πολύπλοκη γεωμετρία σε ένα λειτουργικό περιβάλλον.

Με την SOLIDWORKS FEA Simulation μπορούμε να εφαρμόσουμε φορτία πίεσης, ωστόσο, αυτά τα φορτία πίεσης δεν είναι σε θέση να αναπαραστήσουν με ακρίβεια μεταβλητή πίεση σε ασυνεπή γεωμετρία. Η προσομοίωση ροής από την άλλη πλευρά είναι ένας επιλύτης VOF που μπορεί να αναπαραστήσει με ακρίβεια την πίεση σε στερεά σώματα από τη ροή ρευστού.

Η οπτικοποίηση ροής στη δυναμική ρευστών χρησιμοποιείται για να κάνει ορατά τα μοτίβα ροής, προκειμένου να ληφθούν ποιοτικές ή ποσοτικές πληροφορίες σχετικά με αυτά.

Η οπτικοποίηση ροής είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για να διερευνηθεί ποιοτικά η δυναμική συμπεριφορά των φυσαλίδων αερίου διοξειδίου του άνθρακα στα κανάλια ανόδου και των σταγόνων υγρού νερού στην κάθοδο ενός DAFC.

Η προσομοίωση ροής SOLIDWORKS χρησιμοποιεί ανάλυση Υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD) για να επιτρέψει τη γρήγορη, αποτελεσματική προσομοίωση της ροής ρευστού και της μεταφοράς θερμότητας όπου μας είναι εύκολο να υπολογίσουμε τις δυνάμεις του ρευστού και να κατανοήσουμε την επίδραση ενός υγρού ή αερίου στην απόδοση του προϊόντος.[7]



Σχήμα 4.7 Προσομοίωση ρευστού στο SolidWorksFlowSimulation

#### 4.5 Ορισμός παραμέτρων προσομοίωσης

Ο καπνός είναι ένα ναιώρημα αιωρούμενων σωματιδίων και αερίων, που εκπέμπεται όταν ένα υλικό υφίσταται καύση ή πυρόλυση, μαζί με την ποσότητα αέρα που παρασύρεται ή αναμειγνύεται με άλλο τρόπο στη μάζα. Είναι, συνήθως, ένα ανεπιθύμητο υποπροϊόν των πυρκαγιών (συμπεριλαμβανομένων σομπών, κεριών, μηχανών εσωτερικής καύσης, λαμπτήρων λαδιού και τζακιών), αλλά μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί για έλεγχο παρασίτων (καπνισμός), επικοινωνία (σήματα καπνού), αμυντικές και επιθετικές δυνατότητες σε ο στρατός (προπέτασμα καπνού).



Υπάρχουν μείγματα καπνού στο εμπόριο που χρησιμοποιούνται για να δοκιμάσουν τους ανιχνευτές καπνού εάν είναι σε λειτουργία. Το παρακάτω σχήμα δείχνει την σύσταση που αποτελείται ο καπνός, που χρησιμοποιήθηκε από το πρόγραμμα σε όλες τις προσομοιώσεις.

Product as supplied: Aerosol.

### 3.1 Mixtures

EC Classification No. 1272/2008

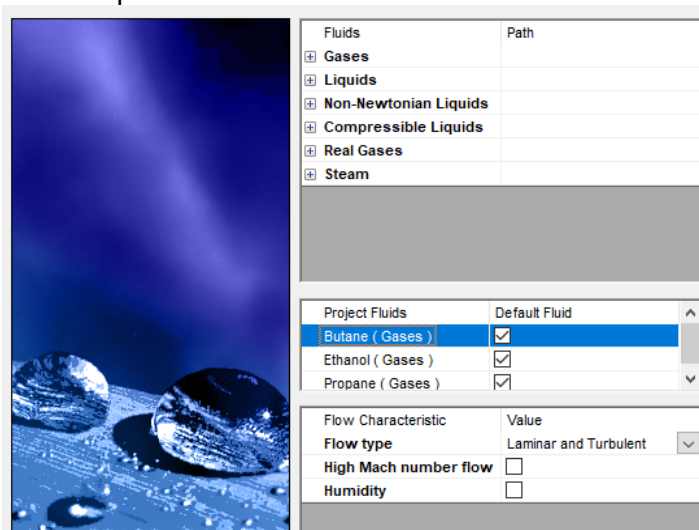
Hazardous Ingredient(s)	%W/W	CAS No.	EC No.	REACH Registration No.	Hazard Pictogram(s) and Hazard Statement(s)
Butane	50 - 100	106-97-8	203-448-7	01-2119474691-32	GHS02, Flam. Gas 1; H220, GHS04, Press. Gas; H280
Propane	10 - 25	74-98-6	200-827-9	01-2119486944-21	GHS02, Flam. Gas 1; H220, GHS04, Press. Gas; H280
Ethanol	0 - 5	64-17-5	200-578-6	01-2119457610-43	GHS02, Flam. Liq. 2; H225

### 3.2 Additional Information

For full text of H/P statements see section 16.

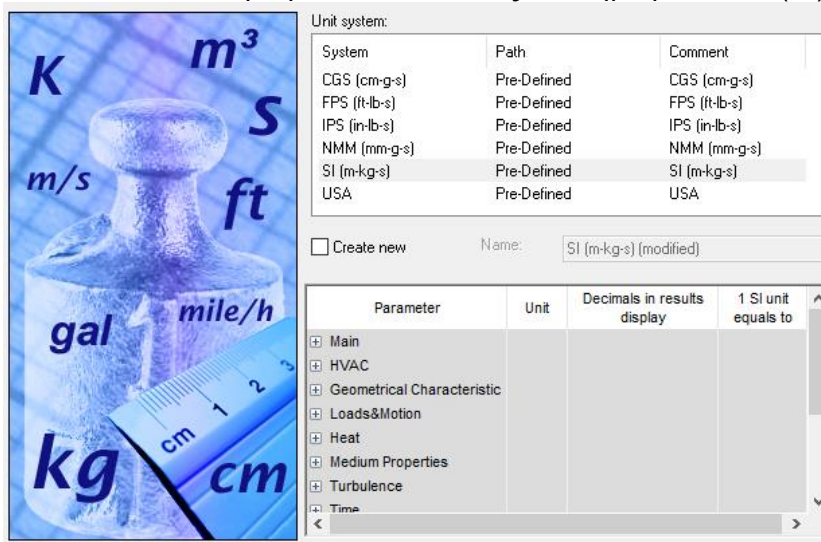
Σχήμα 4.8 Τα συστατικά του μείγματος καπνού

Ξεκινώντας το πρόγραμμα μας οδηγεί από μόνο του στο να διαλέξουμε τι συστατικά θα χρησιμοποιήσουμε στην προσομοίωση μας. Μπορούμε να διαλέξουμε διάφορα υγρά και αέρια αλλά επιλέγουμε τα τρία, που αποτελούν ένα μείγμα καπνού, το βουτάνιο, το προπάνιο και την αιθανόλη.



Σχήμα 4.9 Επιλογή ρευστών στοιχείων

Έπειτα από την επιλογή κατάλληλου ρευστού σειρά έχει το σύστημα στο οποίο αναφερόμαστε. Αυτό που επιλέγουμε είναι το διεθνές σύστημα μονάδων (SI).

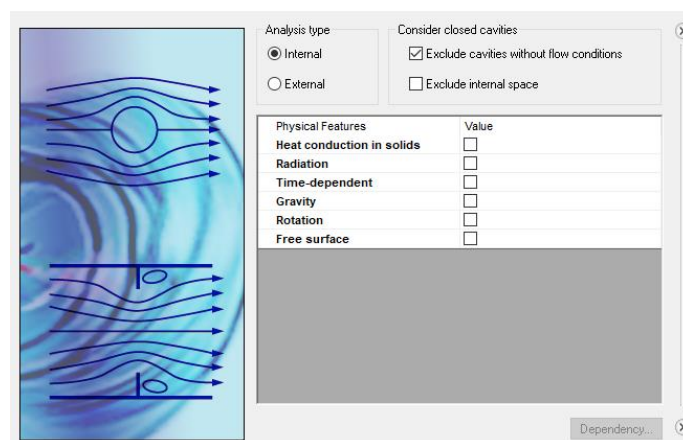


Σχήμα 4.10 Επιλογή συστήματος μονάδων

Και τέλος, κάτι πολύ σημαντικό είναι το είδος προσομοίωσης στο οποίο αναφερόμαστε, εσωτερική ή εξωτερική.

Η εσωτερική ανάλυση περιλαμβάνει ροή ρευστού, που οριοθετείται από εξωτερικές στερεές επιφάνειες. Για παράδειγμα, ροές μέσα σε σωλήνες, δεξαμενές, συστήματα HVAC και άλλα. Οι εσωτερικές ροές περιορίζονται μέσα στη γεωμετρία. Για εσωτερικές ροές το ρευστό εισέρχεται σε ένα μοντέλο μέσω των εισαγωγών και εξέρχεται από το μοντέλο μέσω εξόδων. Για να πραγματοποιηθεί ανάλυση εσωτερικής ροής, το μοντέλο πρέπει να είναι πλήρως κλειστό χρησιμοποιώντας καπάκια.

Η εξωτερική ανάλυση περιλαμβάνει συμπαγές μοντέλο το οποίο περιβάλλεται πλήρως από τη ροή. Για παράδειγμα, ροές πάνω από αεροσκάφη, αυτοκίνητα, κτίρια. Η ροή του ρευστού δεν περιορίζεται από εξωτερικές στερεές επιφάνειες, αλλά οριοθετείται μόνο από τα όρια του υπολογιστικού τομέα και δεν απαιτεί καπάκι εκτός εάν η εφαρμογή περιλαμβάνει πηγή ροής.



Σχήμα 4.11 Επιλογή εσωτερικής & εξωτερικής ανάλυσης

#### 4.6 Υπολογιστικός τομέας-πεδίο

Ένας τομέας της υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD) είναι το τμήμα του χώρου, όπου υπολογίζεται η λύση της προσομοίωσης CFD. Ο υπολογιστικός τομέας πρέπει να διαχωριστεί σε ένα υπολογιστικό πλέγμα (ή πλέγμα) για την επίλυση των διακριτικών εξισώσεων των ροών ρευστών. Στην εξωτερική αεροδυναμική, απαιτούνται προσομοιώσεις CFD της ροής γύρω από ένα γεωμετρικό αντικείμενο («γεωμετρία»), επομένως το υπολογιστικό πεδίο είναι ένας όγκος επαρκών διαστάσεων γύρω από τη γεωμετρία ενδιαφέροντος. Εν τω μεταξύ, στις εσωτερικές ροές, το υπολογιστικό πεδίο ορίζεται από τα όρια της ίδιας της γεωμετρίας και ο χώρος μέσα στη γεωμετρία διακρίνεται σε ένα υπολογιστικό πλέγμα.

Η χρήση της υπολογιστικής δυναμικής των ρευστών (CFD) για τον ανθεκτικό στον αέρα σχεδιασμό ψηλών κτιρίων έχει αποκτήσει ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια καθώς η πρόοδος στην υπολογιστική ισχύ έχει κάνει την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων ροής όλο και πιο προσιτή. Ένας βασικός παράγοντας που επηρεάζει την ακρίβεια και το κόστος των προσομοιώσεων CFD είναι το μέγεθος του υπολογιστικού τομέα.

Ο υπολογιστικός τομέας αναφέρεται σε μια εξωτερική ογκομετρική περιοχή που περιβάλλει το μοντέλο κτιρίου, όπου οι βασικές εξισώσεις ροής διακριτοποιούνται και επιλύονται. Συνολικά έξι όρια ορίζουν τις εκτάσεις μιας τυπικής περιοχής κυβοειδούς

σχήματος. Εκτός από το κάτω μέρος του τομέα, αυτά τα όρια είναι ως επί το πλείστον μη φυσικά, επομένως οι επιρροές τους στην περιοχή ροής αποτελούν πηγή σφάλματος στην προσομοίωση (εδώ ονομάζονται σφάλματα τομέα). Τα μη φυσικά όρια πρέπει να τοποθετούνται αρκετά μακριά από το κτίριο για να αποφευχθούν σημαντικές επιρροές στα αποτελέσματα. Ωστόσο, η τοποθέτηση των ορίων πολύ μακριά θα μπορούσε να αυξήσει το υπολογιστικό κόστος του μοντέλου. Η εξέταση τόσο του υπολογιστικού κόστους όσο και της ακρίβειας της λύσης υπαγορεύει την ανάγκη βελτιστοποίησης του μεγέθους του υπολογιστικού τομέα.

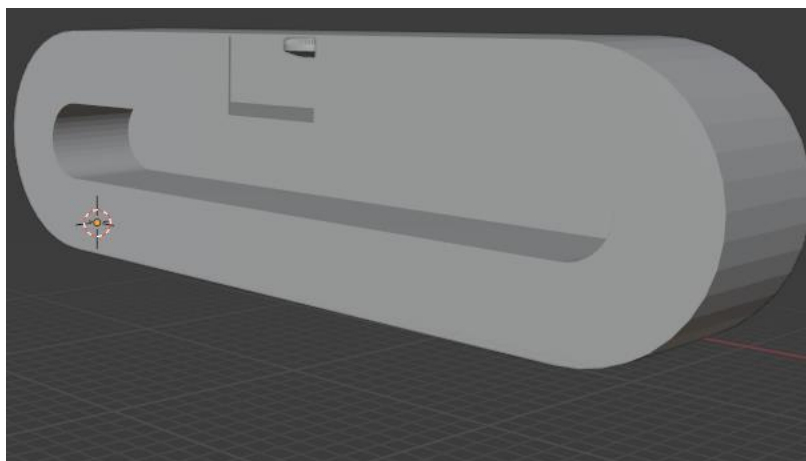
Οι διαστάσεις ενός υπολογιστικού τομέα εξαρτώνται από τον τύπο του προβλήματος: είτε πρόκειται για εξωτερικό αεροδυναμικό πρόβλημα είτε για πρόβλημα εσωτερικής ροής. Στην εξωτερική αεροδυναμική, ο υπολογιστικός τομέας, που συχνά αναφέρεται ως εξωτερικός τομέας, περιγράφει την περιοχή γύρω από τη γεωμετρία ενδιαφέροντος όπου απαιτείται η λύση ροής. Το σχήμα και το μέγεθός του εξαρτώνται κυρίως από τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά της γεωμετρίας.

Ένα σώμα βυθισμένο σε ένα πεδίο ροής επηρεάζει τη ροή γύρω από αυτό, καθώς η ροή πρέπει να περάσει και να περάσει από το σώμα. Σε μια προσομοίωση χαμηλής ταχύτητας (χαμηλός αριθμός Mach / υποηχητική ροή), η πίεση αυξάνεται στις περιοχές όπου η ταχύτητα ροής μειώνεται και μειώνεται όπου η ροή επιταχύνεται. Επιπλέον, η παρουσία του σώματος γίνεται αισθητή και η ροή αρχίζει να εκτρέπεται πριν έρθει στην πραγματικότητα σε επαφή με το σώμα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η γεωμετρία του σώματος είναι τέτοια που αφήνει πίσω του μια ροή χαμηλής ενέργειας, καθώς η ροή διαχωρίζεται από αυτό.

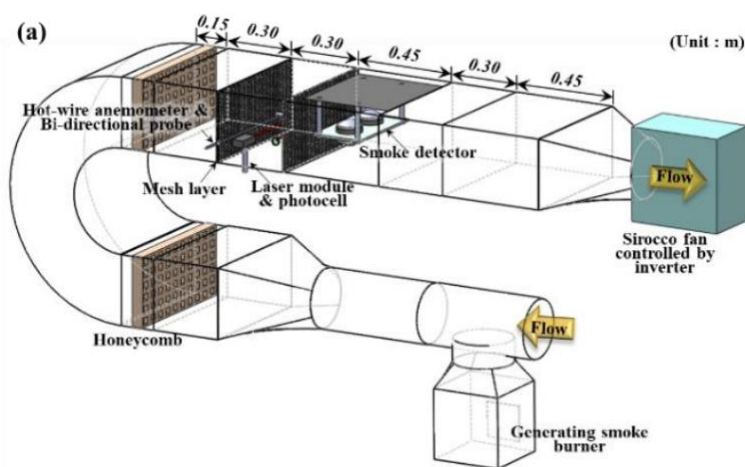
Επομένως, οι πλευρές του υπολογιστικού τομέα, που δεν αντιπροσωπεύουν φυσικές γεωμετρίες όπως τοίχοι, εδάφη και οροφές τοποθετούνται γενικά όσο το δυνατόν πιο μακριά από τη γεωμετρία που πρέπει να μοντελοποιηθεί. Αυτή η απόσταση θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να διασφαλίζεται ότι οι οριακές συνθήκες που έχουν εκχωρηθεί στον εξωτερικό τομέα δεν αλλάζουν τη ροή δίπλα του και επηρεάζουν την ποιότητα των αποτελεσμάτων.[8]



Σχήμα 4.12 Ο θάλαμος για την διακρίβωση των ανιχνευτών καπνού



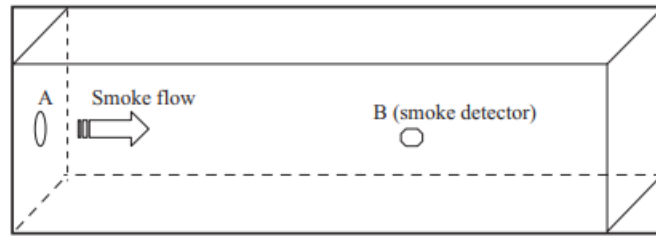
Σχήμα 4.13 Αναπαράσταση του θαλάμου σε τρισδιάστατο περιβάλλον



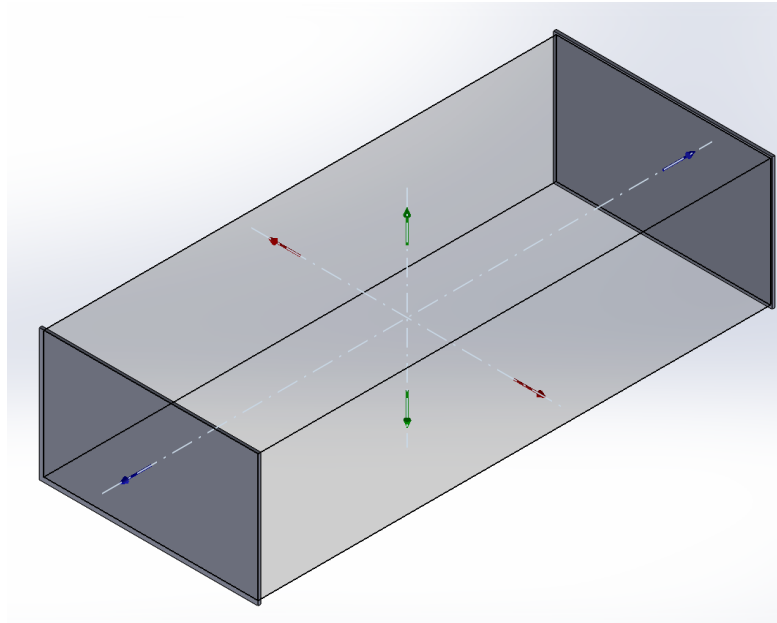
Σχήμα 4.14 Σχηματική αναπαράσταση του θαλάμου καπνού

#### 4.7 Απλοποίηση υπολογιστικού πεδίου

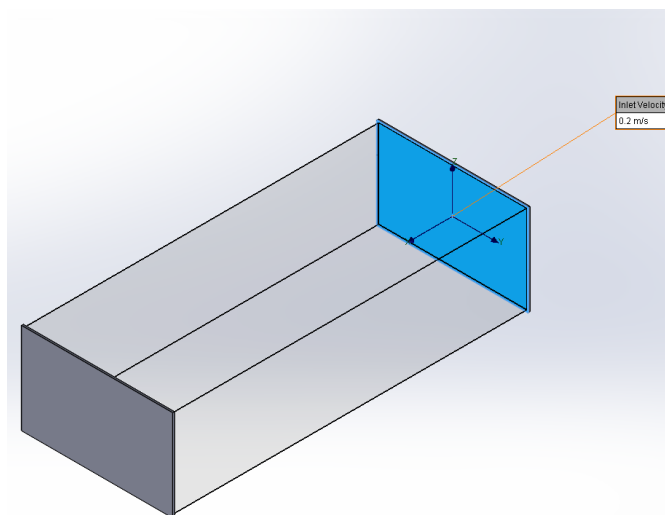
Ένα εξωτερικό πρόβλημα αεροδυναμικής μπορεί να περιλαμβάνει τα παρόντα φυσικών ορίων, όπως τα τοιχώματα μιας αεροδυναμικής σήραγγας ή το έδαφος σε μια προσομοίωση ανοιχτού δρόμου ή συνθήκες προσγείωσης αεροσκάφους. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το υπολογιστικό πεδίο ορίζεται από τη γεωμετρία των φυσικών τοιχωμάτων και γενικά μόνο η θέση των ορίων εισόδου και εξόδου χρειάζεται να καθοριστεί. Εάν είναι γνωστά λεπτομερή δεδομένα για τη ρύθμιση των οριακών συνθηκών εισόδου και εξόδου, αυτά μπορούν να τοποθετηθούν ώστε να ταιριάζουν με τις πειραματικές μετρήσεις. Αντίθετα, όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα και χρησιμοποιείται απλή σταθερή ταχύτητα εισόδου και οριακή συνθήκη εξόδου σταθερής πίεσης, θα πρέπει να χρησιμοποιείται η ίδια αρχή μιας εξωτερικής αεροδυναμικής θήκης. Αντίθετα, σε εσωτερικά αεροδυναμικά προβλήματα, η ίδια η γεωμετρία ορίζει τον υπολογιστικό τομέα και οι οριακές συνθήκες εφαρμόζονται απευθείας στις επιφάνειες της γεωμετρίας.



Σχήμα 4.15 Απλοποιημένο διάγραμμα του θαλάμου καπνού



Σχήμα 4.16 Απλοποιημένο διάγραμμα του θαλάμου καπνού στο περιβάλλον του SolidWorks



Σχήμα 4.17 Ορισμός εισόδου και εξόδου της ροής του μείγματος αερίου

#### 4.8 Mesh (Πλέγμα)

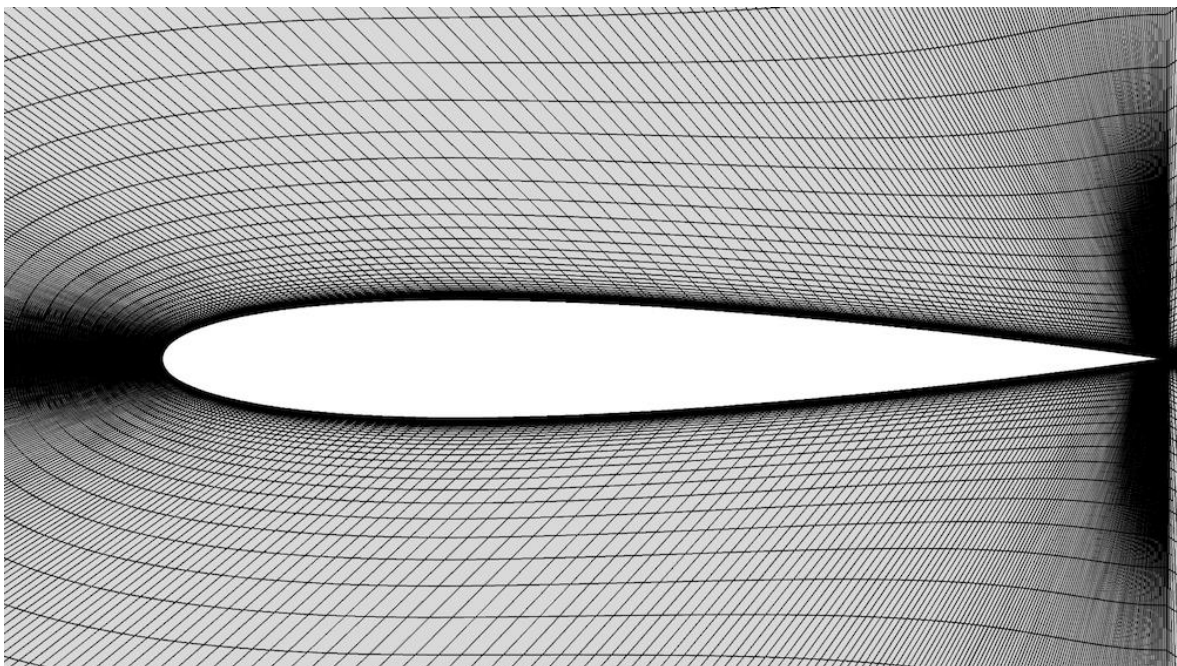
Κατά την εκτέλεση υπολογιστικής ανάλυσης μιας δομικής ή ρευστής προσομοίωσης χρησιμοποιώντας υπολογιστική δυναμική ρευστών (CFD) ή ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (FEA), το πλέγμα παίζει σημαντικό ρόλο. Το πλέγμα απλώς διασπά το

αντικείμενο, που πρόκειται να προσομοιωθεί σε μικρότερα κελιά που έχουν την ικανότητα να ορίζουν με ακρίβεια τη γεωμετρία του αντικειμένου. Η κυρίαρχη εξίσωση μπορεί να συσχετιστεί με κάθε κελί, κάτι που βοηθά στην προσομοίωση της ροής σε αυτόν τον διακριτό χώρο. Με ένα υψηλής ποιότητας πλέγμα, η αριθμητική ανάλυση μπορεί να εξασφαλιστεί με ακρίβεια και ακρίβεια.

Γνωρίζουμε ότι η βασική διαφορά μεταξύ FEA και CFD είναι ότι η FEA είναι γενικά η προτιμώμενη μέθοδος για δομική ανάλυση και προβλήματα περιορισμένων ρευστών, ενώ η CFD παρέχει υποστήριξη υπολογιστικής ανάλυσης για προβλήματα ροής ρευστού. Το Meshing, ωστόσο, παρέχει ένα παρόμοιο είδος λειτουργίας και για τους δύο τύπους ανάλυσης. Κατά τη διαδικασία δικτύωσης, το σύνθετο γεωμετρικό αντικείμενο διαχωρίζεται σε έναν αριθμό κελιών με διακριτό αριθμό κόμβων. Αυτά τα κελιά έχουν προβλέψιμα σχήματα και μπορούν να αποτυπώσουν σωστά το φυσικό σχήμα του αντικειμένου. Οι επιλύτες CFD μπορούν να εκτελούν δομημένο, αδόμητο ή υβριδικό πλέγμα με 2D (τρίγωνο, τετράπλευρο) ή 3D (τετράεδρο, εξαέδρο) φύση και ποικίλες πυκνότητες ενώ συνδυάζουν μια δομή.

Η κύρια σημασία της δικτύωσης σε CFD ή FEA έγκειται στην ικανότητα επίλυσης των επιμέρους διαφορικών εξισώσεων στο εκχωρημένο κελί. Οι υπολογιστικοί λύτες δεν μπορούν να λύσουν εξισώσεις όταν εφαρμόζονται απευθείας σε ολόκληρο το αντικείμενο λόγω της πολυπλοκότητας ή της ανωμαλίας του σχήματος. Ως εκ τούτου, με το πλέγμα, οι μερικές διαφορικές εξισώσεις εφαρμόζονται σε κάθε μεμονωμένο κελί με μαθηματικά καθορισμένους όγκους. Η επίλυση αυτών των μεμονωμένων εξισώσεων παρέχει τη λύση για την πλήρη προσομοίωση.

Η δημιουργία ενός πλέγματος υψηλής ποιότητας είναι το κλειδί για την ακρίβεια της προσομοίωσης. Ακολουθούν μερικοί τρόποι με τους οποίους μπορείτε να δημιουργήσετε ένα πλέγμα υψηλής ποιότητας για να επιτύχετε ακριβή αποτελέσματα προσομοίωσης.



Σχήμα 4.18 Ένα χαρτογραφημένο πλέγμα για ένα μοντέλο αεροτομής.

## 1. Η Γεωμετρία του Πλέγματος

Το πλέγμα πρέπει να είναι καλά καθορισμένο χωρίς διασταυρώσεις ή ακραίες θέσεις. Ανάλογα με τη γεωμετρία του αντικειμένου που χρησιμοποιείται στην ανάλυση, η γεωμετρία πλέγματος μπορεί να έχει εξαεδρικές, τετραεδρικές, πυραμιδικές ή τετράπλευρες τομές. Οι σύνθετες γεωμετρίες χρησιμοποιούν γενικά εξαεδρικά ή τετραεδρικά πλέγματα. Η ποιότητα αυτών των σχημάτων μπορεί να αναλυθεί μέσω μετρήσεων όπως η λοξότητα και ο λόγος διαστάσεων.

Γενικά προτιμάται να έχουμε:

- Ελάχιστη λοξότητα. Τα έντονα λοξά κελιά μειώνουν την ακρίβεια του διαλύματος
- Κατάλληλη αναλογία διαστάσεων ανάλογα με τη θέση της κυψέλης και τη σταθερότητα της ροής. Γενικά προτιμάται να υπάρχει λόγος διαστάσεων μεταξύ 0,25 έως 5 για τη ροή μακριά από τα οριακά τοιχώματα
- Η αλλαγή στον όγκο μεταξύ των παρακείμενων κελιών πρέπει να είναι ελάχιστη

Ειδικά για την προσομοίωση ροής ρευστού CFD, η γεωμετρία του πλέγματος πρέπει να είναι αρκετά συμπαγής και στεγανή ώστε ο επιλύτης CFD να προσδιορίζει το κατάλληλο πεδίο ροής για εσωτερική και εξωτερική προσομοίωση ροής.

## 2. Πυκνότητα πλέγματος

Είναι γενικά αλήθεια ότι η υψηλότερη πυκνότητα πλέγματος παράγει μια πιο ακριβή λύση. Το λεπτότερο πλέγμα μπορεί να απεικονίσει με ακρίβεια τις κλίσεις τάσεων. Ωστόσο, πριν αυξηθεί η πυκνότητα του πλέγματος, πρέπει να σημειωθεί ότι περισσότερα κελιά σημαίνουν περισσότερο χρόνο για την επίλυση της εξίσωσης. Αυτό μπορεί να καταλαμβάνει περισσότερο χώρο στο δίσκο και να επιβραδύνει την υπολογιστική ταχύτητα του λύτη. Αυτό εγείρει, επίσης, το ζήτημα της σχέσης κόστους αποτελεσματικότητας.

Έτσι, για λόγους αποτελεσματικότητας, μόνο η πυκνότητα κοντά σε κρίσιμα σημεία με υψηλότερα επίπεδα τάσης μπορεί να ρυθμιστεί ενώ διατηρείται σταθερό το συνολικό μέγεθος κυψέλης. Αυτό μπορεί να αυξήσει την ακρίβεια της προσομοίωσης διατηρώντας παράλληλα το κόστος εντός ορίων.

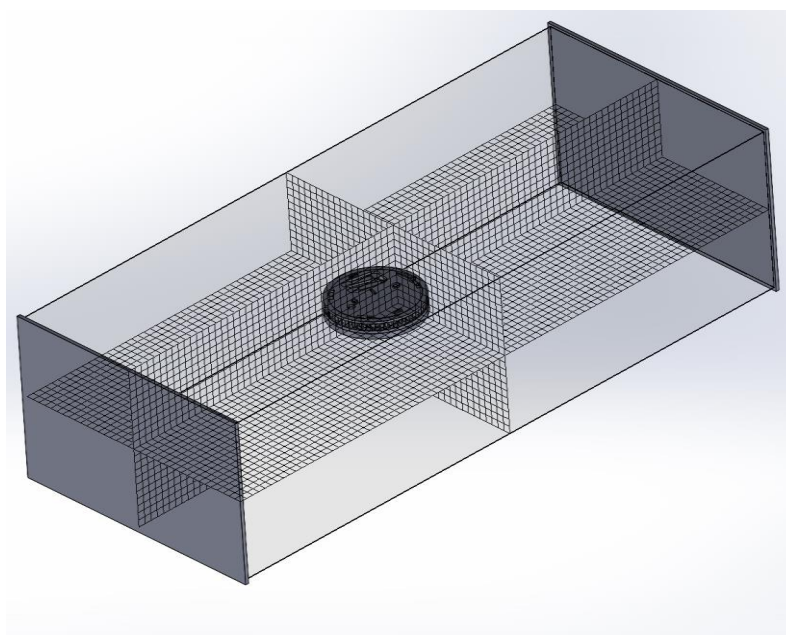
## 3. Μελέτη Σύγκλισης

Όταν γίνεται πλέγμα για FEA ή CFD, μια μελέτη σύγκλισης βοηθά στον προσδιορισμό της πυκνότητας πλέγματος, που απαιτείται για την επίτευξη σύγκλισης. Μόλις το αποτέλεσμα, που προκύπτει από την εκτέλεση της προσομοίωσης συγκλίνει, η επακόλουθη αλλαγή στο μέγεθος του πλέγματος έχει μικρή έως καθόλου επίδραση στο αποτέλεσμα. Το αποτέλεσμα που προέκυψε από τη μελέτη σύγκλισης έχει μέγιστη ακρίβεια για το δεδομένο πλέγμα.

## 4. Λεπτό Πλέγμα με Εμπορική Επίλυση

Οι μηχανικοί και οι σχεδιαστές συστημάτων, που εργάζονται με σύνθετες αναλύσεις CFD και FEA, μπορούν να χρησιμοποιήσουν εμπορικούς λύτες για πολύπλοκες προσομοιώσεις. Εργαλεία όπως το Pointwise από το Cadence μπορούν να υποστηρίξουν διάφορους τύπους πλέγματος και τεχνικές για προσομοίωση CFD υψηλής πιστότητας σε

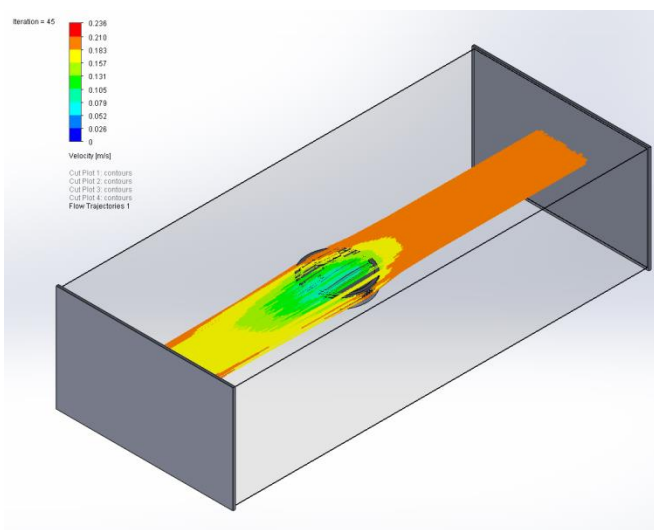
ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών. Με την απρόσκοπτη δικτύωση, μπορείτε να εξασφαλίσετε ακρίβεια υψηλότερης τάξης για τις κρίσιμες εφαρμογές σας σε χρόνο μηδέν.



Σχήμα 4.19 Το πλέγμα στον υπολογιστικό τομέα του θαλάμου

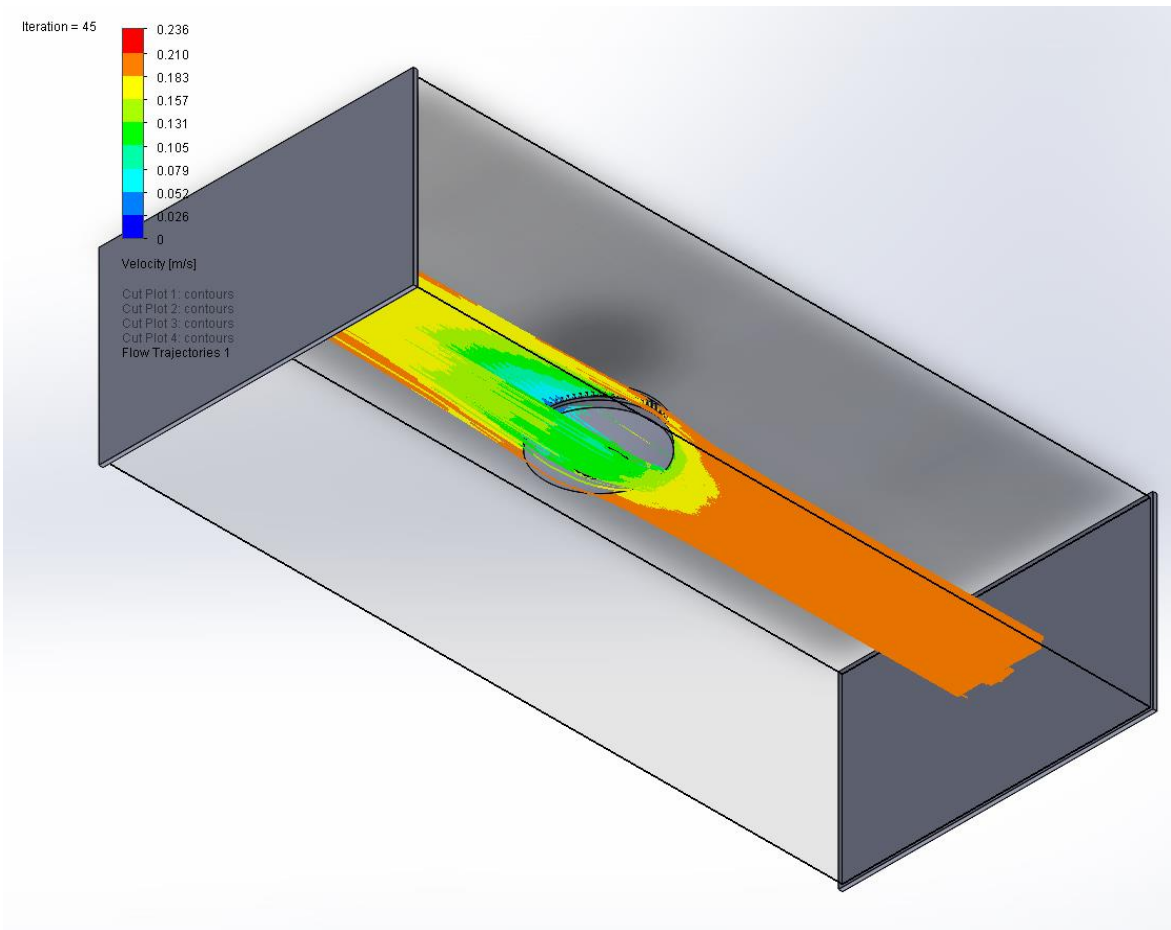
#### 4.9 Τροχιές ροής - οριζόντιες τομές

Χρησιμοποιώντας τις τροχιές ροής είναι δυνατή η προβολή των γραμμών ροής. Οι τροχιές ροής παρέχουν ένα πολύ καλή εικόνα της τρισδιάστατης ροής του ρευστού, μας δείχνουν πώς οι παράμετροι αλλάζουν κατά μήκος κάθε τροχιάς. Έτσι, αντιλαμβανόμαστε με μεγαλύτερη λεπτομέρεια που παρουσιάζονται δυσκολίες στην ροή και που χρειάζεται να επεμβούμε για βελτίωση.



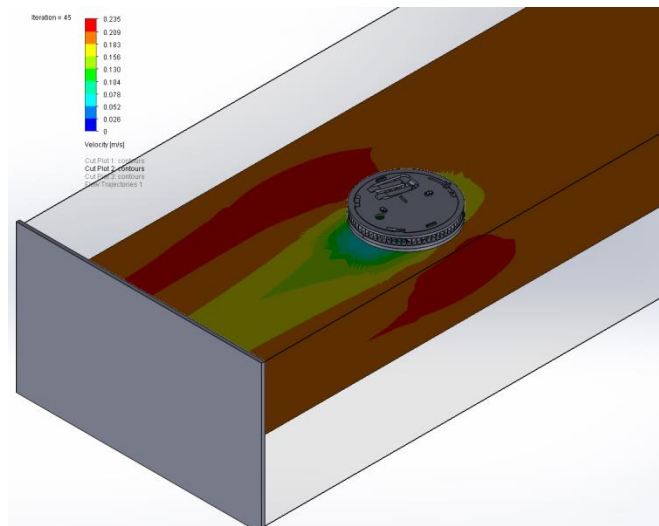
Σχήμα 4.20 Απεικόνιση τροχιάς ροής από την πάνω όψη του ανιχνευτή καπνού(κατεύθυνση X-Y προς Z)





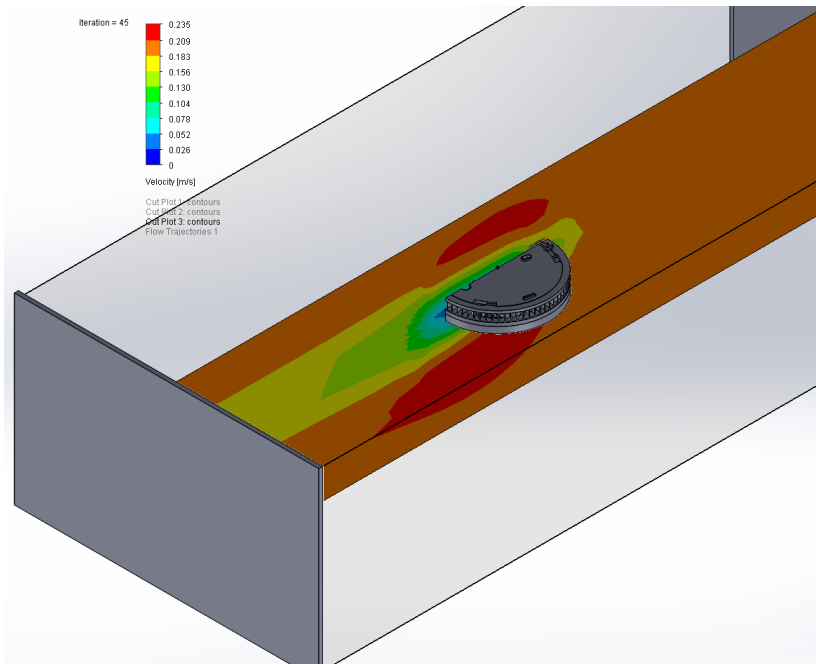
Σχήμα 4.21 Απεικόνιση τροχιάς ροής από την κάτω όψη του ανιχνευτή καπνού(κατεύθυνση X-Y προς Z)

Η λειτουργία Cut Plot εμφανίζει τα αποτελέσματα μιας επιλεγμένης παραμέτρου σε μια επιλεγμένη ενότητα προβολής. Όταν επιθεωρούμε μια τομή σε ρευστή φάση, ορισμένες ιδιότητες είναι συγκεκριμένες για τη φάση του υλικού αλλά συνήθως υποδεικνύονται από τη χρωματική διαβάθμιση.

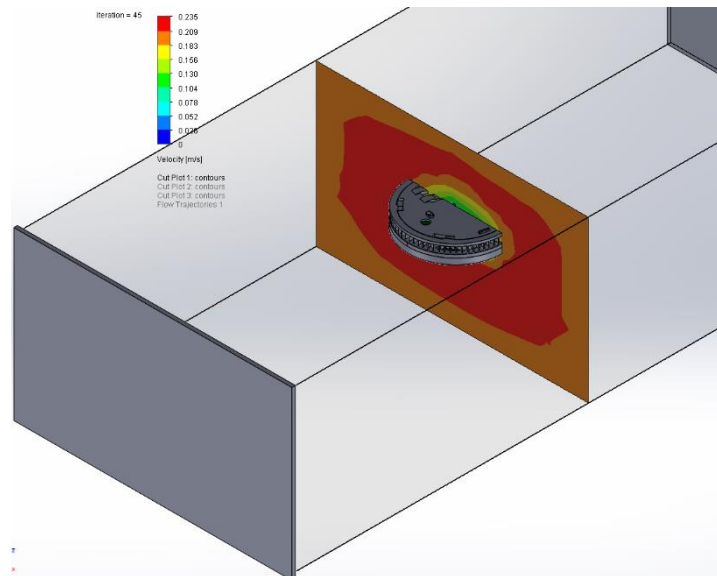


Σχήμα 4.22 Απεικόνιση οριζόντιας τομής του ανιχνευτή καπνού (κατεύθυνση X-Y προς Z)

## 4.10 Τροχιές ροής - κάθετες τομές



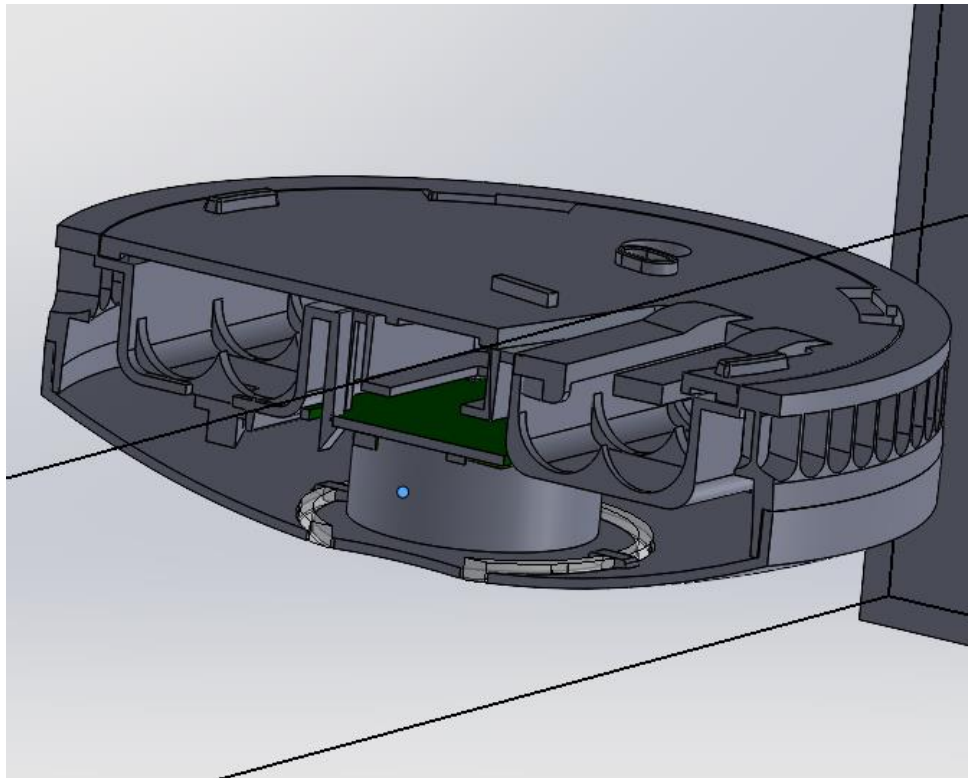
Σχήμα 4.23 Απεικόνιση κάθετης τομής του ανιχνευτή καπνού(κατεύθυνση X-Z προς Y)



Σχήμα 4.24 Απεικόνιση κάθετης τομής του ανιχνευτή καπνού (κατεύθυνση Y-Z προς X)

## 4.11 Σημεία συλλογής δεδομένων – παράμετροι σημείου

Υπάρχει ένα χαρακτηριστικό που ονομάζεται "Παράμετροι σημείου" έπειτα από μια τομή του ανιχνευτή καπνού τοποθετήσαμε την κουκίδα ακριβώς στο σημείο εισόδου και εξόδου της ροής του ανιχνευτή καπνού χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους του σημείου για μπορέσουμε να αναλύσουμε οποιαδήποτε διαθέσιμη παράμετρο (θερμοκρασία, ταχύτητα, πίεση, στροβιλισμό) σε αυτό το σημείο. Αυτό θα μας επιτρέψει να επαναλάβουμε πολλές αλλαγές στην σχεδίαση μας χρησιμοποιώντας αυτό το σημείο ως αναφορά.



Σχήμα 4.25 Επιλογή σημείου συλλογής δεδομένων

Point Parameters 1

Points

Face<1>@Assem1-1/801182000\_120522-1

H: 0 m

Pick points

xyz	X [m]	Y [m]	Z [m]
	0.457	0.727	1.087

Global Coordinate System

Parameters

- Bottleneck Number
- Heat Transfer Coefficient
- ShortCut Number
- Surface Heat Flux
- Surface Heat Flux (Convective)
- Total Enthalpy Flux
- Turbulence Intensity
- Acoustic Power
- Acoustic Power Level

More Parameters...

X [m]	Y [m]	Z [m]	Medium	Velocity [m/s]	Vorticity [1/s]	Turbulence Intensity [%]
0.457	0.727	1.087	Fluid	0.071	2.77	4.60

Σχήμα 4.26 Απεικόνιση των συντεταγμένων του σημείου και των διαθέσιμων αποκρίσεων

## 5.Επαλήθευση – Αξιολόγηση με την μέθοδο σχεδιασμού πειραμάτων

### 5.1 Εισαγωγή στο Design of Experiments

Το Design of Experiments (DOE) είναι μια ισχυρή τεχνική για τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων ή των διαδικασιών και την μείωση αυτών. Η απόδοση μετρά τη μεταβλητότητα γύρω από το στοχευόμενο επίπεδο με ένα αποτελεσματικό και αποδοτικό τρόπο. Είναι μια αποτελεσματική προσέγγιση για τη διερεύνηση, την κατανόηση και την καθιέρωση της σχέσης μεταξύ των παραμέτρων του συστήματος και των μέτρων απόδοσης τους. Η εκτέλεση του πειράματος περιλαμβάνει μια σκόπιμη αλλαγή των παραμέτρων που είναι γνωστές ή τουλάχιστον πιστεύεται ότι επηρεάζει την απόδοση μιας μελετημένης διαδικασίας έτσι ώστε η γνώση για την απόδοση τους να μπορεί να επιτευχθεί, να επεκταθεί ή να επαληθευτεί. Το DOE αναπτύχθηκε αρχικά από τον Sir R. A. Fisher στο Rothamsted Agricultural Station στην Αγγλία στις αρχές της δεκαετίας του 1920 (Fisher, 1971). Η εμφάνιση σηματοδότησε μια σημαντική αλλαγή από την παλιά «επιστημονική» παράδοση που διαφοροποιούσε μόνο μία παράμετρο κάθε φορά προς την ταυτόχρονη εξέταση των μελετημένων παραμέτρων προκειμένου να αξιολογήσει τις διάφορες αλληλεπιδράσεις τους με τον πιο οικονομικό τρόπο. Από την εξέλιξή του, το DOE έχει υποστεί μια αξιοσημείωτη εξέλιξη όσον αφορά στο σχεδιασμό και στην ανάλυση δεδομένων.

Ένα πείραμα μπορεί να οριστεί ως «μια δοκιμή υπό ελεγχόμενες συνθήκες, που γίνεται για να επιδείξουμε μια γνωστή αλήθεια, να εξετάσουμε την εγκυρότητα μιας υπόθεσης ή να προσδιορίσουμε την αποτελεσματικότητα της σε κάτι που δεν είχε δοκιμαστεί προηγουμένως». Ο Montgomery (2010) το όρισε ως «μια δοκιμή ή μια σειρά δοκιμών στις οποίες γίνονται σκόπιμες αλλαγές στις μεταβλητές εισόδου μιας διαδικασίας ή συστήματος όπου μπορεί να είναι δυνατό να παρατηρηθούν και να εντοπιστούν οι λόγοι για τις αλλαγές που μπορεί να συμβούν στην απόκριση εξόδου». Η διαδικασία του σχεδιασμού ενός πειράματος, έτσι ώστε να μπορούν να είναι κατάλληλα τα δεδομένα που θα συλλεχθούν και έτσι ώστε να μπορούν να αναλυθούν με στατιστικές μεθόδους, με αποτέλεσμα να προκύψουν έγκυρα και αντικειμενικά συμπεράσματα αναφέρεται ως DOE (Montgomery, 2010). Οι Antony και Kaye (2000) όρισαν το σύστημα σχεδιασμού πειραμάτων (DOE) ως μια ισχυρή τεχνική που χρησιμοποιείται για την ανακάλυψη των σημαντικότερων παραμέτρων μιας διαδικασίας και τον καθορισμό των βέλτιστων επιπέδων τους για τη βελτιστοποίηση των μετρήσεων απόδοσης.

Αυτές είναι ορισμένες βασικές έννοιες που συνδέονται με το DOE και τη σχεδίαση πειραμάτων. Οι μέθοδοι DOE μπορούν να εφαρμοστούν για τη βελτιστοποίηση διαδικασιών, τη βελτίωση της απόδοσης και τη μείωση της διακύμανσης των αποτελεσμάτων:

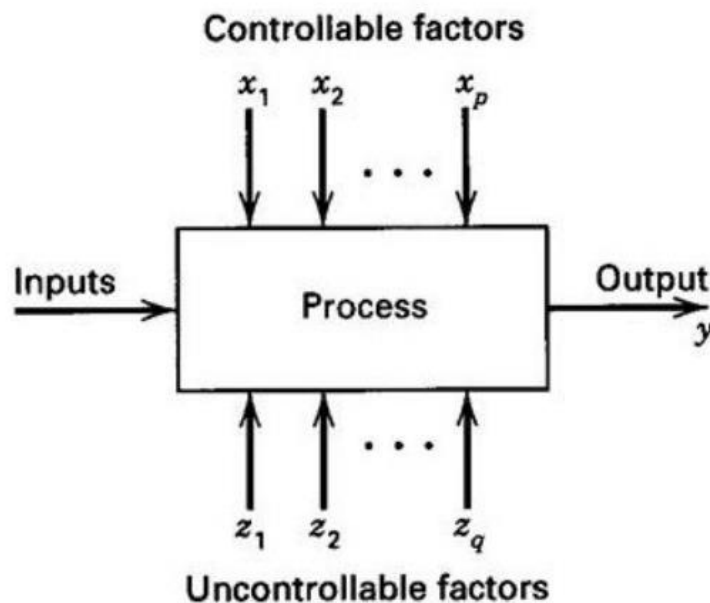
- Απόκριση (Response): Η απόκριση είναι το πειραματικό αποτέλεσμα που αντιστοιχεί στην ρύθμιση των παραμέτρων της διαδικασίας. Αντιπροσωπεύει ένα μετρήσιμο χαρακτηριστικό της απόδοσης της διαδικασίας και μπορεί να θεωρηθεί ως μέτρο ποιότητας ή απόδοσης.
- Παράγοντες (Factors): Οι παράγοντες είναι οι παράμετροι της διαδικασίας που αναμένεται να επηρεάσουν την απόκριση. Μπορούν να είναι ποσοτικοί (μετρήσιμοι) ή ποιοτικοί (κατηγορικοί) παράγοντες. Οι παράγοντες μπορούν να έχουν διάφορα επίπεδα, δηλαδή τιμές στις οποίες μπορεί να υποθέσουμε ή να λάβουμε τον καθένα από αυτούς.

- Επίπεδα (Levels): Τα επίπεδα αναφέρονται στις διάφορες τιμές που μπορεί να πάρει ένας παράγοντας. Συνήθως χρησιμοποιούνται δύο επίπεδα για κάθε παράγοντα, χαμηλό και υψηλό, προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδρασή τους στην απόκριση.
- Επίδραση (Effect): Η επίδραση είναι η μεταβολή στη μέση απόκριση που προκύπτει από μια αλλαγή στα επίπεδα ενός παράγοντα. Η επίδραση αναφέρεται στους κύριους παράγοντες ενδιαφέροντος που επηρεάζουν την απόδοση.
- Αλληλεπίδραση (Interaction): Η αλληλεπίδραση αναφέρεται στην απόκριση που διαφέρει σε διάφορα επίπεδα ενός παράγοντα ανάλογα με τα επίπεδα ενός ή περισσότερων άλλων παραγόντων. Αυτό σημαίνει ότι η επίδραση ενός παράγοντα μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα με την παρουσία ή απουσία άλλων παραγόντων.

Γενικά, τα πειράματα χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της απόδοσης των διεργασιών και συστημάτων. Ένα γενικό μοντέλο μιας διαδικασίας ή συστήματος

Η διαδικασία μπορεί να απεικονιστεί ως ένας συνδυασμός μηχανών, μεθόδων, ανθρώπων και άλλων πόρων, που μετατρέπουν κάποια είσοδο σε έξοδο, που έχει μία ή περισσότερες παρατηρήσιμες απαντήσεις. Οι μεταβλητές διεργασίας μπορούν να είναι ελεγχόμενες ( $x_1, x_2, \dots, x_p$ ) ή μη ελεγχόμενες ( $z_1, z_2, \dots, z_q$ ). Ο στόχος της διεξαγωγής των πειραμάτων μπορεί να περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- 1 Τον προσδιορισμό των μεταβλητών που επηρεάζουν περισσότερο την απόκριση  $y$
- 2 Τον προσδιορισμό των τιμών των μεταβλητών  $x$ , ώστε η  $y$  να είναι κοντά στην επιθυμητή ονομαστική τιμή.
- 3 Τον προσδιορισμό των τιμών των μεταβλητών  $x$ , ώστε η διακύμανση της  $y$  να είναι μικρή.
- 4 Τον προσδιορισμό των τιμών των μεταβλητών  $x$ , ώστε οι επιπτώσεις των μη ελέγξιμων μεταβλητών να ελαχιστοποιούνται.



Σχήμα 5.1 Είσοδος – Έξοδος και παράγοντες σε μια διαδικασία

Υπάρχουν διάφορες στρατηγικές, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προγραμματισμό και τη διεξαγωγή του πειράματος προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση, που ασκούν διαφορετικοί παράγοντες στην απόκριση εξόδου του συστήματος.

Μια προσέγγιση θα ήταν η επιλογή ενός αυθαίρετου συνδυασμού των παραγόντων, να τους δοκιμάσουμε και να δούμε τι θα συμβεί (trial and error). Αυτή η στρατηγική πειραματισμού, που ονομάζεται προσέγγιση καλύτερης εικασίας, λειτουργεί συχνά αρκετά καλά επειδή ο πειραματιστής έχει την θεωρητική γνώση του συστήματος καθώς και σημαντική πρακτική εμπειρία. Υπάρχουν, ωστόσο, τουλάχιστον δύο μειονεκτήματα αυτής της προσέγγισης:

- Πρώτον, εάν η αρχική καλύτερη εικασία δεν παράγει τα επιθυμητά αποτελέσματα, είναι απαραίτητο να κάνουμε άλλη μια εικασία για τον σωστό συνδυασμό παραγόντων-επίπεδου. Αυτό θα μπορούσε να συνεχιστεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, χωρίς καμία εγγύηση επιτυχίας
- Δεύτερον, εάν η αρχική καλύτερη εικασία παράγει ένα αποδεκτό αποτέλεσμα εκεί είναι ο πειρασμός να σταματήσετε τις δοκιμές χωρίς καμία εγγύηση ότι θα υπάρξει η καλύτερη λύση

Μια άλλη στρατηγική πειραματισμού, που χρησιμοποιείται ευρέως στην πράξη είναι η προσέγγιση ενός παράγοντα κάθε φορά. Αυτή η μέθοδος συνίσταται στην επιλογή ενός σημείου εκκίνησης για κάθε παράγοντα, και στη συνέχεια να μεταβάλλεται διαδοχικά κάθε παράγοντας στο εύρος του με τους άλλους παράγοντες να παραμένουν σταθεροί στο ίδιο επίπεδο. Αφού πραγματοποιηθούν όλες οι δοκιμές, συνήθως κατασκευάζεται μια σειρά από γραφήματα που δείχνει πώς επηρεάζεται η μεταβλητή απόκρισης μεταβάλλοντας κάθε παράγοντα καθώς οι άλλοι παράγοντες παραμένουν σταθεροί. Το κύριο μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι αποτυγχάνει να εξετάσει οποιαδήποτε πιθανή αλληλεπίδραση μεταξύ των παραγόντων.

Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ παραγόντων είναι πολύ συχνές και, εάν συμβούν, η προσέγγιση ενός παράγοντα κάθε φορά θα παράγει φτωχά αποτελέσματα. Η σωστή προσέγγιση για την αντιμετώπιση πολλών παραγόντων είναι η διεξαγωγή ενός παραγοντικού πειράματος (factorial experiment). Με αυτή τη στρατηγική, οι παράγοντες ποικίλλουν μαζί αντί για έναν κάθε φορά.

Το DOE εφαρμόζεται σε τρεις κύριους τύπους προβλημάτων στα οποία μπορούν να αναφερθούν ως πειραματικοί στόχοι. Ο πρώτος πειραματικός στόχος είναι διαλογής. Ο προσυμπτωματικός έλεγχος χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των παραγόντων, που επηρεάζουν περισσότερο και για να καθορίζουν τα εύρη στα οποία θα πρέπει να διερευνηθούν. Τα σχέδια διαλογής απαιτούν λίγα πειράματα σε σχέση με τον αριθμό των παραγόντων. Ο δεύτερος πειραματικός στόχος είναι η βελτιστοποίηση. Η βελτιστοποίηση χρησιμοποιείται για να ορίσει ποιος συνδυασμός των κύριων παραγόντων θα έχει ως αποτέλεσμα τις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας. Τα σχέδια βελτιστοποίησης απαιτούν περισσότερα πειράματα ανά παράγοντα σε σύγκριση με τον σχεδιασμό διαλογής. Ο τρίτος πειραματικός στόχος είναι δοκιμή ευρωστίας. Εδώ, ο στόχος είναι να προσδιοριστεί πόσο ευαίσθητο είναι ένα προϊόν ή διαδικασία παραγωγής είναι σε μικρές αλλαγές στις ρυθμίσεις του παράγοντα.

## 5.2 Factorial design (παραγοντικός σχεδιασμός)

Πολλά πειράματα περιλαμβάνουν τη μελέτη των επιδράσεων δύο ή περισσότερων παραγόντων. Γενικά, τα παραγοντικά σχέδια είναι πιο αποτελεσματικά για αυτού του

είδους τα πειράματα όπου είναι απαραίτητο να μελετηθεί η κοινή επίδραση των παραγόντων σε μια απόκριση. Ένας παραγοντικός σχεδιασμός συνίσταται στη διερεύνηση όλων των πιθανών συνδυασμών των επιπέδων των παραγόντων σε κάθε αναπαραγωγή του πειράματος. Για παράδειγμα, αν υπάρχουν  $a$  επίπεδα του παράγοντα  $A$  και  $B$  επίπεδα του παράγοντα  $B$ , κάθε αντίγραφο περιέχει όλους τους συνδυασμούς των  $ab$ .

Το  $2^k$  παραγοντικός σχεδιασμός είναι μια ειδική περίπτωση του γενικού παραγοντικού σχεδιασμού, όπου στο οποίο υπάρχουν  $k$  παράγοντες, ο καθένας σε δύο μόνο επίπεδα. Αυτά τα επίπεδα μπορεί να είναι ποσοτικά ή ποιοτικά. Μια τέτοια σχεδίαση απαιτεί πλήρης αναπαραγωγή  $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$  παρατηρήσεων. Τέτοια παραγοντικά σχέδια υποστηρίζουν την αλληλεπίδραση μοντέλων και χρησιμοποιούνται στον έλεγχο. Είναι σημαντικά για μια σειρά από διάφορους λόγους:

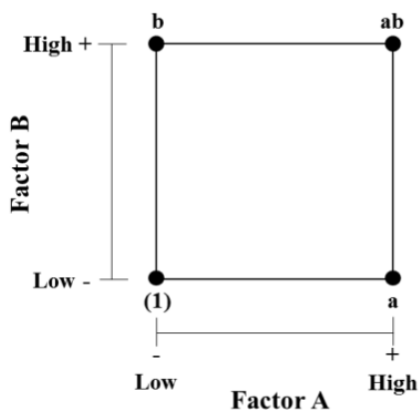
- Απαιτούν σχετικά λίγες εκτελέσεις προσομοίωσης ανά παράγοντα που ερευνήθηκε
- Μπορούν να αναβαθμιστούν για να σχηματίσουν σύνθετα σχέδια, τα οποία χρησιμοποιούνται σε βελτιστοποίηση
- Αποτελούν τη βάση για κλασματικά παραγοντικά σχέδια δύο επιπέδων, τα οποία είναι μεγάλης πρακτικής αξίας σε αρχικό στάδιο ενός έργου

Τα παραγοντικά σχέδια χρησιμοποιούνται συνήθως με 2 – 4 παράγοντες. Όταν περισσότεροι παράγοντες πρέπει να διερευνηθούν, τα κλασματικά παραγοντικά σχέδια αποτελούν μία περισσότερο κατάλληλη εναλλακτική.

Για να εκτελεστεί ένας γενικός παραγοντικός σχεδιασμός δύο επιπέδων, είναι απαραίτητο να εκχωρήσετε ένα χαμηλό επίπεδο και ένα υψηλό επίπεδο για κάθε παράγοντα. Αυτές οι ρυθμίσεις χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μια ορθογώνιας σειράς πειραμάτων

Συνήθως, το χαμηλό επίπεδο του παράγοντα συμβολίζεται με  $-1$  και το υψηλό επίπεδο με  $+1$ . Κατά συνέπεια, η κεντρική, το επίπεδο, που συνήθως επιλέγεται για αναπαραγωγή, συμβολίζεται με  $0$ .

Το σχήμα 5.2 παρουσιάζει μια σχεδίαση  $2^k$  με μόνο δύο παράγοντες,  $A$  και  $B$ , όπου κάθε τρέξιμο γίνεται σε δύο μόνο επίπεδα. Αυτό το σχέδιο ονομάζεται  $2^2$  σχέδιο. Με δύο παράγοντες και δύο επίπεδα για κάθε παράγοντα, υπάρχουν τέσσερις πιθανοί συνδυασμοί, δηλαδή, χαμηλό-χαμηλό, υψηλό-χαμηλό, χαμηλό-υψηλό και υψηλό-υψηλό. Γεωμετρικά, το πειραματικό σχέδιο που δημιουργήθηκε μπορεί να ερμηνευτεί ως τετράγωνο. Κάθε σειρά στον πειραματικό σχεδιασμό αντιστοιχεί σε ένα πείραμα.



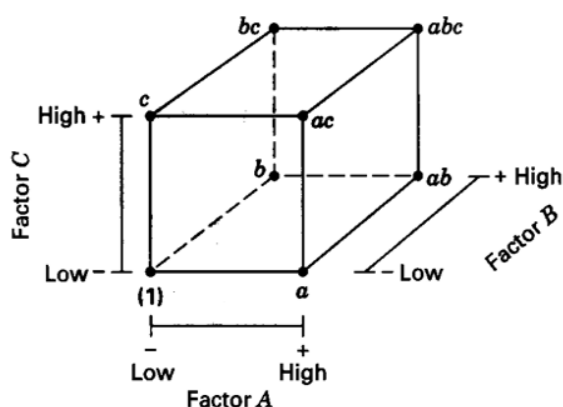
Run	Labels	A	B
1	(1)	-1	-1
2	a	1	-1
3	b	-1	1
4	ab	1	1

a)

b)

Σχήμα 5.2 Παραγοντικός σχεδιασμός  $2^2$  επιπέδων

Ο παραγοντικός σχεδιασμός δύο επιπέδων σε τρεις παράγοντες, που συμβολίζεται με  $2^3$  κατασκευάζεται ανάλογα με τον παραγοντικό σχεδιασμό σε δύο παράγοντες. Οι οκτώ συνδυασμοί μπορούν πλέον να εμφανίζονται γεωμετρικά ως κύβος. Η μήτρα σχεδίασης των 8 συνδυασμών εμφανίζεται παρακάτω στο σχήμα 5.3. [9]



Run	Labels	A	B	C
1	(1)	-1	-1	-1
2	a	1	-1	-1
3	b	-1	1	-1
4	ab	1	1	-1
5	c	-1	-1	1
6	ac	1	-1	1
7	bc	-1	1	1
8	abc	1	1	1

a)

b)

Σχήμα 5.3 Παραγοντικός σχεδιασμός  $2^3$  επιπέδων

### 5.3 MODDE

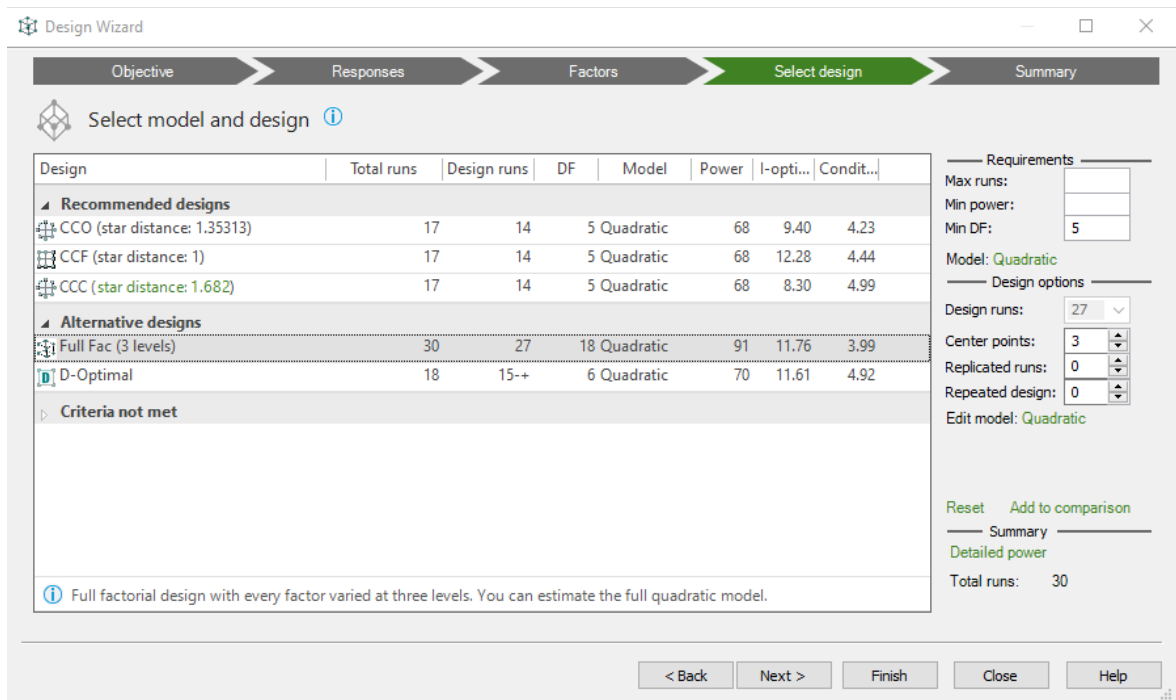
Το Design of Experiments (DOE) είναι ο ταχύτερος και πιο οικονομικός τρόπος για να σχεδιάσουμε αποτελεσματικά πειράματα, να αυξήσουμε την παραγωγικότητα και να αντιμετωπίσουμε τις πιο δύσκολες προκλήσεις στην ανάπτυξη και την κατασκευή. Με το MODDE® μπορούμε να αξιοποιήσουμε τη δύναμη του DOE και αυτό σημαίνει ότι αποκομίζουμε την εξοικονόμηση κόστους και χρόνου γρηγορότερα.

Το MODDE® κάνει πολύ περισσότερα από τα συνηθισμένα λογισμικά DOE. Η ενσωματωμένη καθοδήγηση και τα μέτρα ποιότητας διασφαλίζουν ότι οι χρήστες κάνουν τις καλύτερες πειραματικές επιλογές, ώστε να έχουμε τα πιο σχετικά και αποτελεσματικά αποτελέσματα. Το MODDE® έχει σχεδιαστεί για να βοηθά τους πειραματιστές να



αποκτήσουν το DOE από την αρχή. Με μια αποτελεσματική προσέγγιση DOE για την επίλυση προβλημάτων, μπορείτε να επιτύχετε:

- Σημαντική μείωση του πειραματικού κόστους.
- Απομακρύνουμε τα έργα και αυξάνουμε τα ποσοστά επιτυχίας
- Αξιοποιούμε στο έπακρο πολύτιμα δείγματα, πρώτες ύλες και ανθρώπινο δυναμικό
- Επιταχύνουμε την πρόοδο και τον χρόνο για την αγορά, διατηρώντας παράλληλα τον προϋπολογισμό
- Επίτευξη στόχων ποιότητας και ικανοποίηση των απαιτήσεων Quality by Design (QbD)



Σχήμα 5.4 Επιλογή πλήρους παραγοντικού σχεδιασμού<sup>33</sup> επιπέδων

Οι παράγοντες και τα επίπεδα που θα χρησιμοποιηθούν είναι στο DOE είναι:

Παράγοντες:

- Ταχύτητα (Velocity)
- Στροβιλισμός (Vorticity)
- Τυρβώδης ροή (Turbulence)

Επίπεδα:

	Στήλες (Columns)	Ύψος (Height)(mm)	Πλάτος (Width)(mm)
Ελάχιστη τιμή	12	1	1
Μεσαία τιμή	42	4	3
Μέγιστη τιμή	72	7	5

Worksheet X											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Exp No	Exp Name	Run Order	Incl/Excl	columns	height	width	velocity	vorticity	turbulence	
1	1	N1	25	Incl	∨	72	4	5	0.078	2.09	4.1
2	2	N2	11	Incl	∨	12	4	5	0.067	2.8	3.86
3	3	N3	1	Incl	∨	42	1	3	0.069	2.78	3.89
4	4	N4	30	Incl	∨	42	1	5	0.069	2.71	3.88
5	5	N5	13	Incl	∨	12	7	3	0.068	2.82	4.1
6	6	N6	10	Incl	∨	42	7	3	0.068	2.86	3.81
7	7	N7	2	Incl	∨	42	7	1	0.069	2.52	4.36
8	8	N8	22	Incl	∨	42	7	5	0.078	2.28	4.63
9	9	N9	24	Incl	∨	12	4	3	0.068	2.8	3.98
10	10	N10	21	Incl	∨	72	7	3	0.083	1.79	5.07
11	11	N11	9	Incl	∨	42	4	5	0.072	2.46	4.25
12	12	N12	23	Incl	∨	12	7	5	0.068	2.77	3.94
13	13	N13	8	Incl	∨	72	4	3	0.072	2.24	4.7
14	14	N14	6	Incl	∨	12	1	1	0.074	2.95	4.18
15	15	N15	29	Incl	∨	72	4	1	0.068	2.67	4.07
16	16	N16	28	Incl	∨	42	1	1	0.07	2.55	4.11
17	17	N17	4	Incl	∨	12	4	1	0.068	2.8	4.14
18	18	N18	16	Incl	∨	72	1	3	0.063	2.67	3.98
19	19	N19	18	Incl	∨	42	4	1	0.072	2.55	4.19
20	20	N20	5	Incl	∨	72	1	1	0.071	2.67	4.08
21	21	N21	27	Incl	∨	12	7	1	0.069	2.8	4.11
22	22	N22	3	Incl	∨	12	1	3	0.067	2.82	4.01
23	23	N23	15	Incl	∨	72	7	5	0.095	1.72	4.41
24	24	N24	20	Incl	∨	42	4	3	0.068	2.8	3.8
25	25	N25	7	Incl	∨	72	7	1	0.069	2.71	4.05
26	26	N26	19	Incl	∨	72	1	5	0.065	2.57	3.75
27	27	N27	14	Incl	∨	12	1	5	0.067	2.82	3.92
28	28	N28	26	Incl	∨	42	4	3	0.068	2.8	3.8
29	29	N29	17	Incl	∨	42	4	3	0.068	2.8	3.8
30	30	N30	12	Incl	∨	42	4	3	0.068	2.8	3.8

Σχήμα 5.5 Η λίστα με τα 27 πειράματα του DOE και τα αποτελέσματα των πειραμάτων

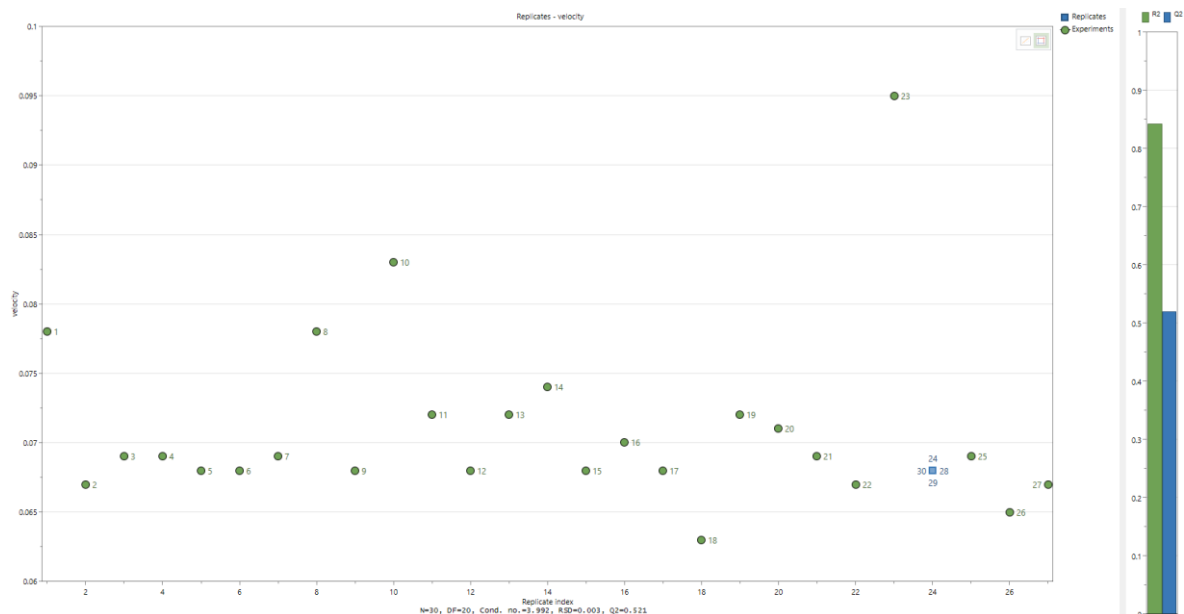
## 5.4 Ανάλυση του παράγοντα της ταχύτητας πριν τον μετασχηματισμό

### 5.4.1 Αντίγραφα (Replicates)

Τα αντίγραφα είναι η πρώτη σελίδα που εμφανίζεται κατά το άνοιγμα του οδηγού ανάλυσης και παρέχει μια γρήγορη επισκόπηση των πρωτογενών δεδομένων.

Ένα αντίγραφο είναι ένα ακριβές αντίγραφο ενός δείγματος που αναλύεται, όπως ένα κύτταρο, ένας οργανισμός ή ένα μόριο, στο οποίο γίνεται ακριβώς η ίδια διαδικασία. Αυτό γίνεται συχνά για να ελεγχθεί για πειραματικό ή διαδικαστικό σφάλμα. Ελλείψει σφαλμάτων, τα αντίγραφα θα πρέπει να έχουν το ίδιο αποτέλεσμα. Ωστόσο, τα αντίγραφα δεν είναι ανεξάρτητες δοκιμές της υπόθεσης επειδή εξακολουθούν να είναι το ίδιο δείγμα και επομένως δεν ελέγχονται για διακύμανση μεταξύ των δειγμάτων.

Τα αντίγραφα δημιουργούνται συχνά για να δοκιμαστεί η ποιότητα και η επαναληψιμότητα μιας διαδικασίας ή για μια καταστροφική διαδικασία όπου είναι επιθυμητή η διατήρηση του αρχικού δείγματος. Επίσης, μερικές φορές χρησιμοποιούνται ακατάλληλα για να διογκώσουν τον εμφανή αριθμό των παρατηρήσεων σε ένα δείγμα, δημιουργώντας μια ψευδαίσθηση στατιστικής σημασίας.



Σχήμα 5.6 Διάγραμμα αντίγραφων πειραμάτων (Replicates)

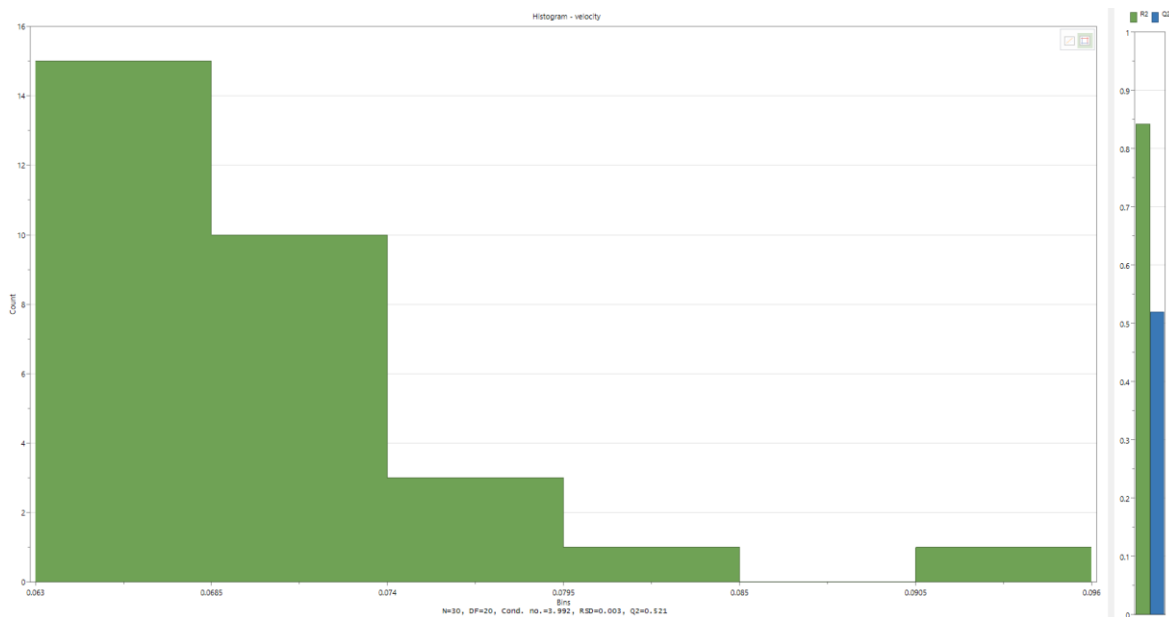
Είναι δυνατό να εντοπιστούν ακραίες τιμές κατά την εξέταση της γραφικής παράστασης. Μερικές από τις κοινές αιτίες και τις προτεινόμενες λύσεις για τις ακραίες τιμές είναι:

- Λανθασμένη εισαγωγή δεδομένων στο φύλλο εργασίας.
- Το πείραμα δεν έγινε σωστά.
- Το αποκλίνον αποτέλεσμα είναι σωστό και το πείραμα δεν ταιριάζει στο μοντέλο.

Το σημείο είναι σωστό αλλά δεν έχει ενδιαφέρον, στη συνέχεια αφαιρείτε από την ανάλυση και τοποθετήστε ξανά το μοντέλο χωρίς αυτό. Εάν το σημείο απόκλισης βρίσκεται σε μια ενδιαφέρουσα περιοχή, μπορεί να είναι απαραίτητο για την κατασκευή ενός λεπτομερούς σχεδίου σε αυτήν την περιοχή.

#### 5.4.2 Ιστόγραμμα (Histogram)

Το ιστόγραμμα παρέχει την ευκαιρία να δούμε το σχήμα της κατανομής απόκρισης και να εφαρμόσετε έναν μετασχηματισμό εάν απαιτείται. Το ιστόγραμμα είναι γραφική απεικόνιση στατιστικών συχνοτήτων περιοχών τιμών ενός μεγέθους. Σχηματίζεται από παρακείμενα ορθογώνια. Η επιφάνεια κάθε ορθογωνίου είναι μέτρο της συχνότητας εμφάνισης της συγκεκριμένης περιοχής τιμών ενώ το ύψος του ισούται με το λόγο της συχνότητας προς το εύρος των τιμών που αντιπροσωπεύει το ορθογώνιο. Πρόκειται για τη συνηθέστερη επιλογή γραφικής παράστασης συνεχών μεταβλητών. Στα συνεχή δεδομένα, οι τιμές της μεταβλητής ομαδοποιούνται και οι ομάδες διατάσσονται στον οριζόντιο άξονα κατά αύξουσα σειρά. Στη συνέχεια από κάθε ομάδα υψώνουμε ορθογώνια το ύψος των οποίων αντιστοιχεί στη συχνότητα κάθε ομάδας.



Σχήμα 5.7 Διάγραμμα ιστογράμματος (Histogram)

Μια σωστή εκτίμηση της κατανομής απαιτεί τουλάχιστον 11 παρατηρήσεις. Μία σημαντική απόφαση που πρέπει να λάβουμε σε αυτό το βήμα στον οδηγό ανάλυσης είναι να αποφασίσουμε εάν απαιτείται μετασχηματισμός. Όταν η τιμή δοκιμή της λοξοτροπίας (Skewness) πέφτει εκτός του εύρους -2 έως 2 υπάρχει μια προειδοποίηση που προτείνει έναν μετασχηματισμό.

Επιλέγοντας έναν κατάλληλο μετασχηματισμό, μπορεί να είναι μια μη κανονική κατανομή που μετατράπηκε σε κανονική κατανομή. Γενικά, κανονικά κατανομημένες απαντήσεις θα δώσουν καλύτερες εκτιμήσεις μοντέλων και στατιστικά στοιχεία. Εάν η κατανομή δεν είναι μια κανονική κατανομή "σε σχήμα καμπάνας", τότε είναι πιθανό να απαιτείται μεταμόρφωση.

### 5.3.2.1 Λοξοτροπία (Skewness)

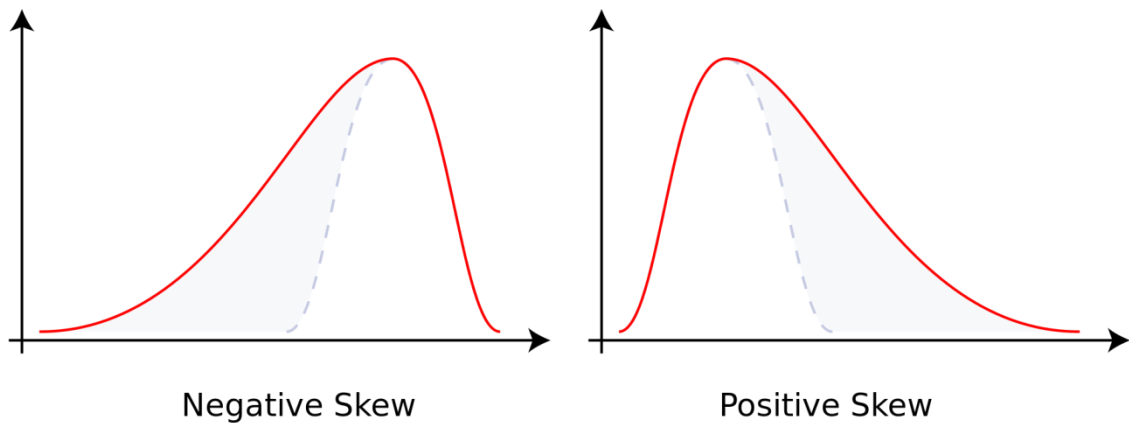
Στην θεωρία και τις στατιστικές πιθανοτήτων, η ασυμμετρία αναφέρεται στη μέτρηση της απόκλισης μιας κατανομής πιθανοτήτων από τη συμμετρία. Αντί να μιλήσουμε για "ασυμμετρία", μπορούμε να πούμε ότι αναφερόμαστε στο πώς μια κατανομή κυμαίνεται γύρω από τον μέσο όρο της.

Η ασυμμετρία μπορεί να είναι θετική, αρνητική, ή μπορεί να μην υπάρχει ασυμμετρία. Όταν η ασυμμετρία είναι θετική, αυτό σημαίνει ότι η ουρά της κατανομής είναι πιο μακριά από τον μέσο όρο στη δεξιά πλευρά. Αντίστοιχα, όταν η ασυμμετρία είναι αρνητική, η ουρά της κατανομής είναι πιο μακριά από τον μέσο όρο στην αριστερή πλευρά. Εάν η ασυμμετρία είναι μηδέν, τότε η κατανομή είναι συμμετρική γύρω από τον μέσο όρο της.

Αντί να αναφερόμαστε σε "ουρές" για να περιγράψουμε την ασυμμετρία, μπορούμε να πούμε ότι η ασυμμετρία μας δίνει μια ιδέα για το πώς κατανέμονται οι τιμές στην κατανομή. Για παράδειγμα, μια αρνητική ασυμμετρία υποδηλώνει ότι οι τιμές συγκεντρώνονται περισσότερο στην αριστερή πλευρά του μέσου όρου, ενώ μια θετική ασυμμετρία υποδεικνύει ότι οι τιμές συγκεντρώνονται περισσότερο στη δεξιά πλευρά του μέσου όρου.

Ασυμμετρία σε μορφή λοξότητας μπορεί να ερμηνευθεί και με τους εξής τρόπους:

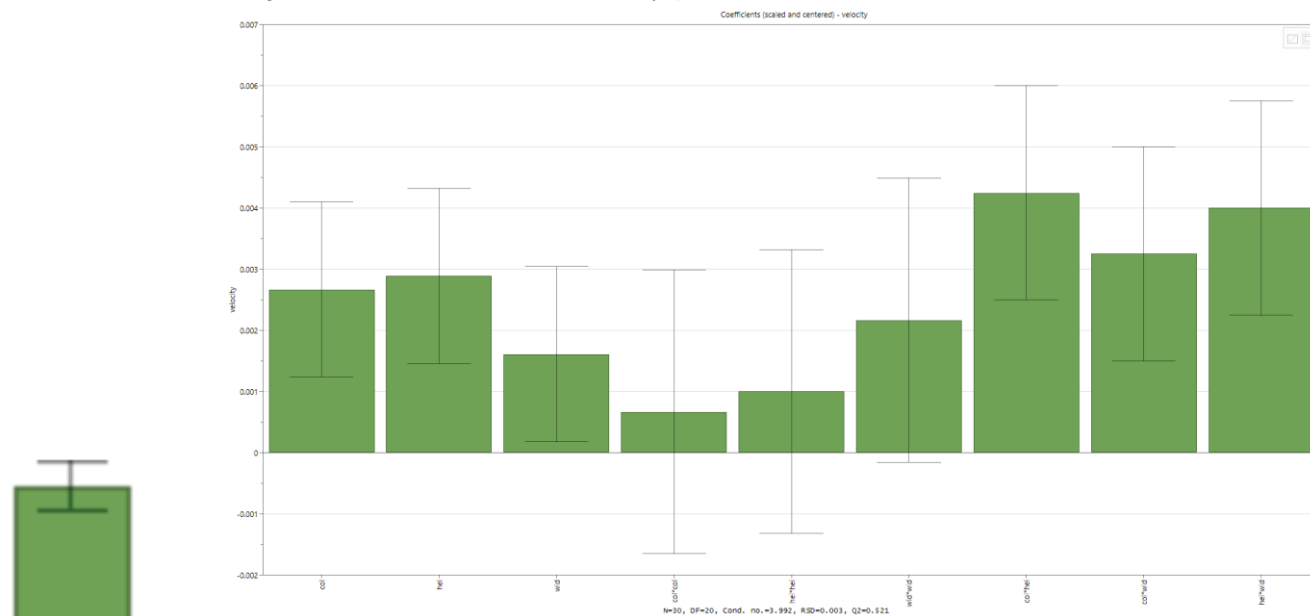
- Αρνητική λοξότητα: Όταν μια κατανομή έχει αρνητική λοξότητα, σημαίνει ότι η ουρά της κατανομής εκτείνεται περισσότερο προς τα αριστερά του μέσου όρου. Συνήθως, τα δεδομένα συγκεντρώνονται περισσότερο στις μεγαλύτερες τιμές και η αριστερή ουρά είναι μακρύτερη από τη δεξιά. Μπορεί να απεικονιστεί ως μια καμπύλη με κλίση προς τα δεξιά.
- Θετική λοξότητα: Όταν μια κατανομή έχει θετική λοξότητα, σημαίνει ότι η ουρά της κατανομής εκτείνεται περισσότερο προς τα δεξιά του μέσου όρου. Συνήθως, τα δεδομένα συγκεντρώνονται περισσότερο στις μικρότερες τιμές και η δεξιά ουρά είναι μακρύτερη από την αριστερή. Μπορεί να απεικονιστεί ως μια καμπύλη με κλίση προς τα αριστερά.



Σχήμα 5.8 Λοξοτροπία

#### 5.4.3 Συντελεστές (Coefficients)

Η σελίδα συντελεστών του οδηγού ανάλυσης παρέχει πρόσβαση στην γραφική παράσταση. Συντελεστές για την τρέχουσα απόκριση (Y).



Σχήμα 5.9 Διάγραμμα συντελεστών (coefficients)

Σημαντικός όρος είναι αυτός με μεγάλη απόσταση από  $y=0$  καθώς και με επίπεδο αβεβαιότητας που δεν εκτείνεται σε  $y=0$ . Ένας μη σημαντικός όρος μοντέλου είναι όρος μοντέλου κοντά στη γραμμή  $y=0$  και με επίπεδο αβεβαιότητας που διασχίζει το  $y=0$ . Η γραφική παράσταση συντελεστών παρέχει υποστήριξη για συντονισμό του μοντέλου με προσθήκη ή αφαίρεση όρου μοντέλου.



Σημαντικοί όροι μοντέλου:

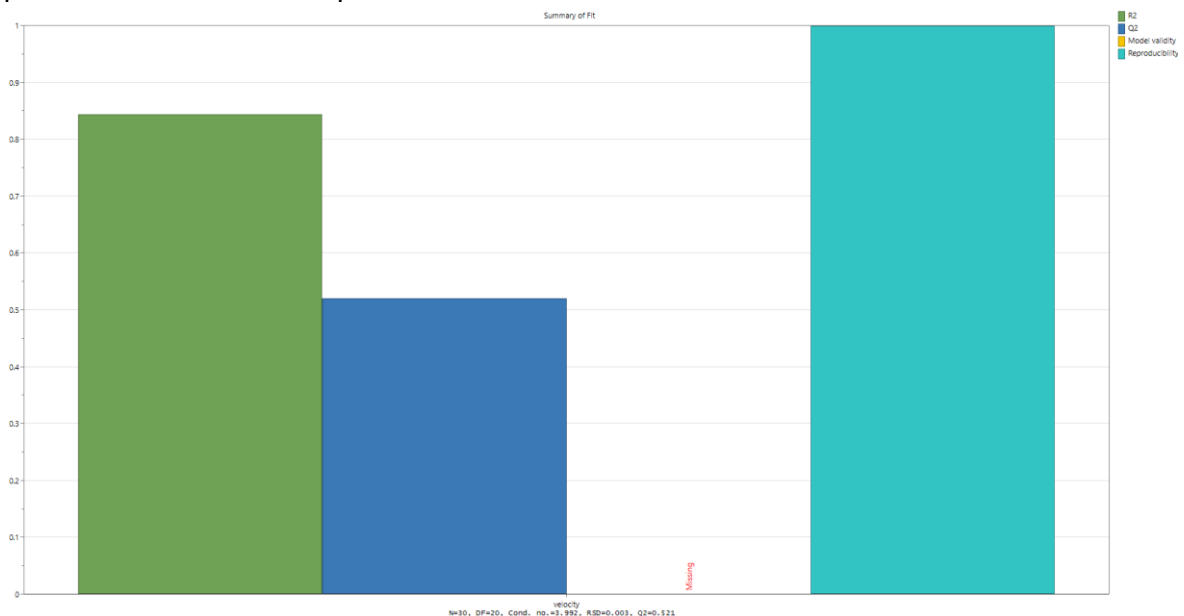
- Μακριά από  $y=0$  (είτε θετικό είτε αρνητικό)
- Το εύρος αβεβαιότητας δεν διασχίζει το  $y=0$

Μη σημαντικοί όροι μοντέλου:

- Κοντά στο  $y=0$
- Το εύρος αβεβαιότητας διασχίζει το  $y=0$

#### 5.4.4 Περίληψη της προσαρμογής (Summary of fit)

Η σελίδα περίληψη προσαρμογής του οδηγού ανάλυσης παρέχει μια περίληψη των βασικών στατιστικών του μοντέλου.



Σχήμα 5.10 Διάγραμμα περίληψης προσαρμογής (Summary of fit)

Τα συνοπτικά στατιστικά στοιχεία παρουσιάζονται σε τέσσερις παραμέτρους (R2, Q2, εγκυρότητα μοντέλου και αναπαραγωγιμότητα) όπου το 1, ή το 100%, είναι τέλειο. R2 και Q2. Οι δύο πρώτες στήλες, πρέπει να είναι κοντά σε μέγεθος. Η διαφορά δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 20% στις περισσότερες περιπτώσεις

- R2

Δείχνει την εφαρμογή του μοντέλου. Ένα μοντέλο με  $R^2$  0,5 είναι ένα μοντέλο με μάλλον χαμηλή σημασία.

- $Q^2$

Εμφανίζει μια εκτίμηση της μελλοντικής ακρίβειας πρόβλεψης. Το  $Q^2$  θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 0,1 για ένα σημαντικό μοντέλο και μεγαλύτερο από 0,5 για ένα καλό μοντέλο. Η διαφορά μεταξύ  $R^2$  και το  $Q^2$  θα πρέπει επίσης να είναι μικρότερο από 0,3 για ένα καλό μοντέλο. Το  $Q^2$  είναι το καλύτερο και το πιο ευαίσθητος δείκτης.

- Εγκυρότητα μοντέλου

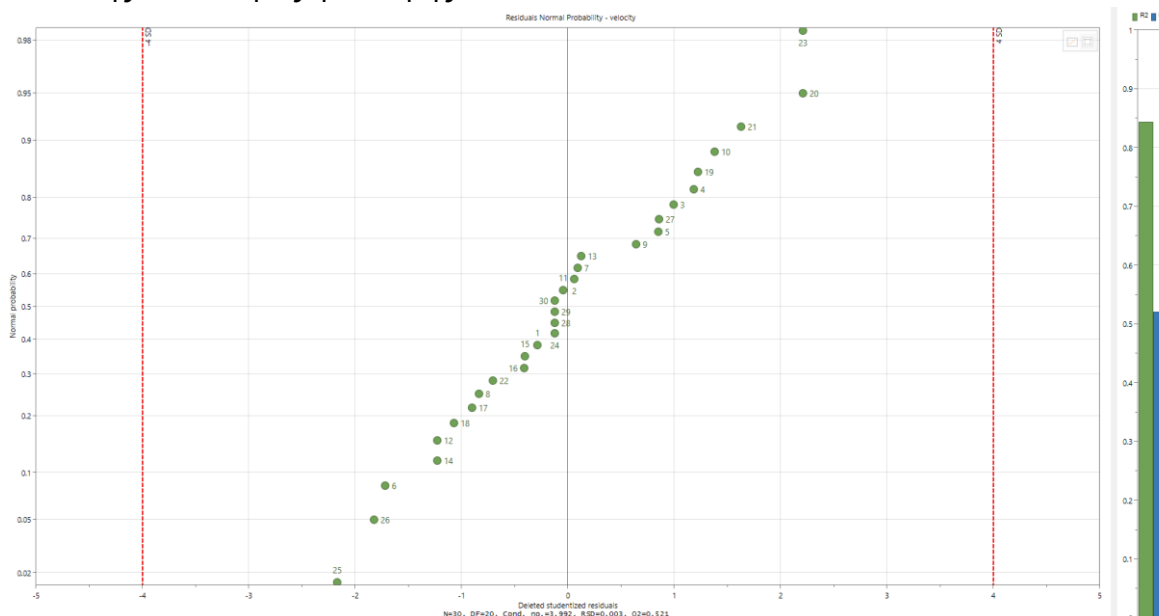
Μια δοκιμή διαφορετικών προβλημάτων μοντέλων. Υποδεικνύει μια τιμή μικρότερη από 0,25 για την εγκυρότητα του μοντέλου στατιστικά σημαντικά προβλήματα του μοντέλου, όπως η παρουσία ακραίων τιμών, είναι λάθος μοντέλο ή πρόβλημα μετασχηματισμού. Μια χαμηλή τιμή εδώ μπορεί, επίσης, να υποδεικνύει ότι ένας όρος, όπως λείπει μια αλληλεπίδραση ή ένα τετράγωνο. Όταν το καθαρό σφάλμα είναι πολύ μικρό (αντιγράφει σχεδόν πανομοιότυπα), η εγκυρότητα του μοντέλου μπορεί να είναι χαμηλή παρόλο που το μοντέλο είναι καλό και πλήρες. Όταν το καθαρό σφάλμα είναι τόσο μικρό που τα αντίγραφα θεωρούνται ταυτόσημο από το MODDE, η εγκυρότητα του μοντέλου επισημαίνεται ως μη ολοκληρωμένη (missing) καθώς δεν μπορεί να υπολογιστεί. Η εγκυρότητα του μοντέλου μπορεί να είναι χαμηλή σε πολύ καλά μοντέλα ( $Q^2 > 0,9$ ) λόγω της υψηλής ευαισθησίας στη δοκιμή ή εξαιρετικά καλές επαναλήψεις

- Αναπαραγωγιμότητα

Η διακύμανση των αντιγράφων σε σύγκριση με τη συνολική μεταβλητότητα. Η αναπαραγωγιμότητα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 0,5.

#### 5.4.5 Υπολειμματική κανονική πιθανότητα (Residual normal probability)

Αυτή η σελίδα δείχνει ένα διάγραμμα με τα υπολείμματα μιας απόκρισης έναντι της κανονικής πιθανότητας ή διανομής.



Σχήμα 5.11 Διάγραμμα υπολειμματικής κανονικής πιθανότητας (Residual normal probability)

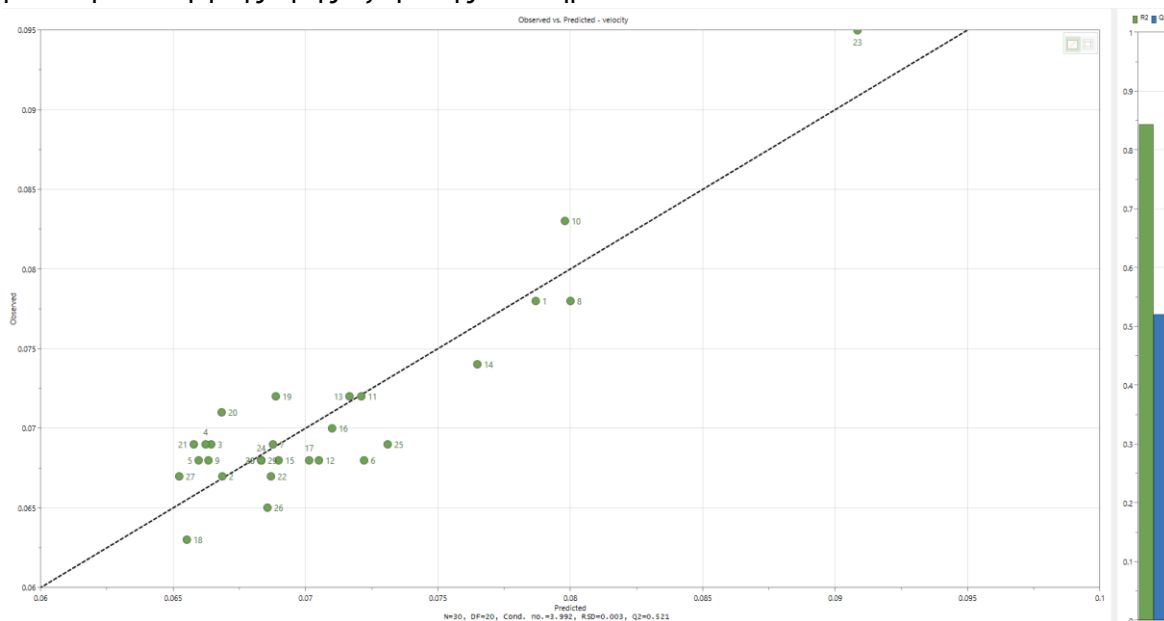
Εάν τα πειράματα είναι σε ευθεία γραμμή, τότε τα υπολείμματα κατανέμονται κανονικά. Τα σημεία εκτός  $\pm 4$  SD θεωρούνται ακραία και θα πρέπει να εξετάζονται για σφάλματα. Ένα καμπύλο μοτίβο υποδηλώνει μη μοντελοποιημένες τετραγωνικές σχέσεις ή

λανθασμένο μετασχηματισμό της ανταπόκρισης. Εάν οι βαθμοί ελευθερίας είναι κάτω από 5 ( $DF < 5$ ), η γραφική παράσταση μπορεί να εμφανίζει περίεργο μοτίβο.

Εάν τα σημεία δεν είναι γραμμικά, η απόκριση μπορεί να απαιτεί διαφορετική μεταμόρφωση.

Τα πειράματα μπορούν να αποκλειστούν, αλλά αυτό δεν συνιστάται και επομένως, οι ακραίες τιμές θα πρέπει να ελέγχονται εάν έχουν καταχωρηθεί σωστά στο φύλλο εργασίας.

Εάν ένα σημείο αποδειχθεί ότι είναι μια κακή καταχώρηση ή ένα μεγάλο ακραίο αλλά μη ενδιαφέρον σημείο, κάθε μετασχηματισμός θα πρέπει να αφαιρεθεί και το μοντέλο θα πρέπει να επαναφερθεί στην προεπιλογή πριν από την επανεκκίνηση του για ανάλυση μετά την αλλαγή της τιμής/εξαίρεσης του σημείου.



Σχήμα 5.12 Διάγραμμα παρατηρούμενων τιμών έναντι των προβλεπόμενων τιμών.

Διαγράμματα με σημεία κοντά σε ευθεία γραμμή δείχνουν καλά μοντέλα. Αν οι βαθμοί ελευθερίας είναι κάτω από 3 ( $DF < 3$ ), η καμπύλη θα δώσει σιωπηρά μια τέλεια εφαρμογή γραμμή παλινδρόμησης για να δείτε μια τέλεια παρατηρούμενη έναντι της προβλεπόμενης γραμμής.

#### 5.4.6 Ανάλυση παλινδρόμησης (Regression)

Η ανάλυση παλινδρόμησης χρησιμοποιείται κυρίως για δύο εννοιολογικά διακριτούς σκοπούς.

Πρώτον, η ανάλυση παλινδρόμησης χρησιμοποιείται ευρέως για την πρόβλεψη και την πρόβλεψη, όπου η χρήση της έχει ουσιαστική επικάλυψη με το πεδίο της μηχανικής μάθησης.

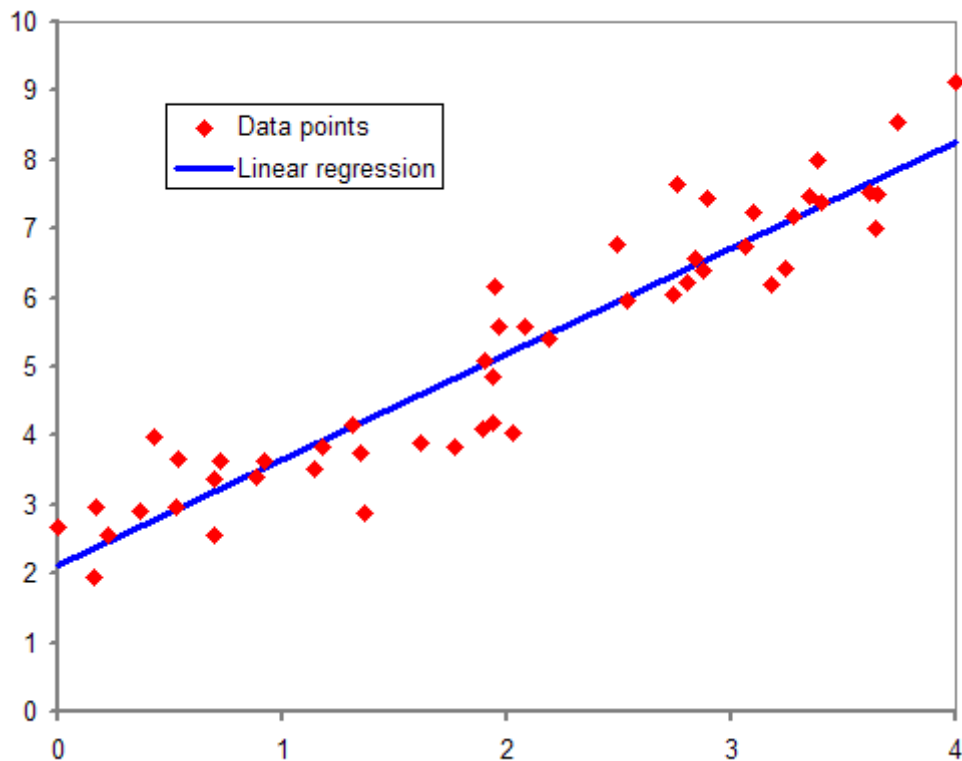
Δεύτερον, σε ορισμένες περιπτώσεις η ανάλυση παλινδρόμησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συμπεράνει αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των ανεξάρτητων και των εξαρτημένων μεταβλητών. Είναι σημαντικό ότι οι παλινδρομήσεις από μόνες τους αποκαλύπτουν μόνο σχέσεις μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής και μιας συλλογής ανεξάρτητων μεταβλητών σε ένα σταθερό σύνολο δεδομένων. Για να χρησιμοποιήσει



παλινδρομήσεις για πρόβλεψη ή για να συμπεράνει αιτιώδεις σχέσεις, αντίστοιχα, ένας ερευνητής πρέπει να αιτιολογήσει προσεκτικά γιατί οι υπάρχουσες σχέσεις έχουν προγνωστική δύναμη για ένα νέο πλαίσιο ή γιατί μια σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών έχει αιτιολογική ερμηνεία. Το τελευταίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν οι ερευνητές ελπίζουν να εκτιμήσουν τις αιτιώδεις σχέσεις χρησιμοποιώντας δεδομένα παρατήρησης.

#### Regression Equation

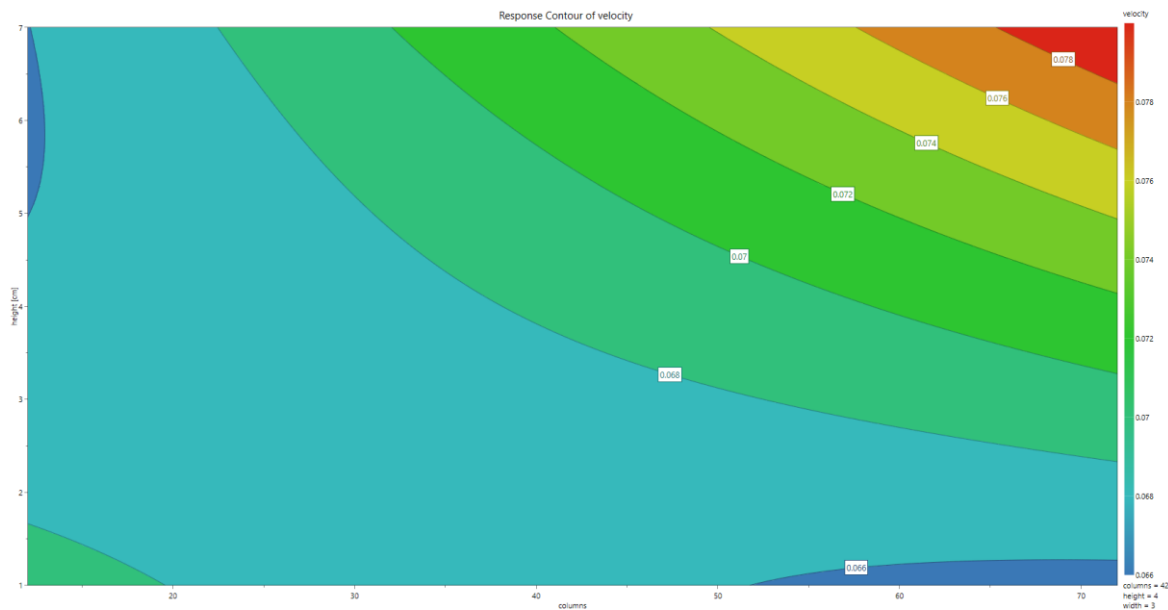
$$\begin{aligned} \text{Velocity [m/s]} = & 0.07093 - 0.00248 \text{ Columns}_{12} - 0.00037 \text{ Columns}_{42} \\ & + 0.00285 \text{ Columns}_{72} \\ & - 0.00259 \text{ Height}_{1} - 0.00059 \text{ Height}_{4} + 0.00319 \text{ Height}_{7} \\ & - 0.00093 \text{ Width}_{1} - 0.00137 \text{ Width}_{3} + 0.00230 \text{ Width}_{5} \end{aligned}$$



Σχήμα 5.13 Διάγραμμα παλινδρόμησης (regression)

#### 5.4.7 Δισδιάστατα διαγράμματα περιγράμματος (2D Response Contour Plot)

Η γραφική παράσταση περιγράμματος είναι μια γραφική τεχνική για την αναπαράσταση μιας τρισδιάστατης επιφάνειας σχεδιάζοντας σταθερές τομές  $z$ , που ονομάζονται περιγράμματα, σε μια δισδιάστατη μορφή. Δηλαδή, με δεδομένη μια τιμή για το  $z$ , σχεδιάζονται γραμμές για τη σύνδεση των συντεταγμένων  $(x,y)$  όπου εμφανίζεται αυτή η τιμή  $z$ .



Σχήμα 5.14 Διάγραμμα περιγράμματος (Contour plot)

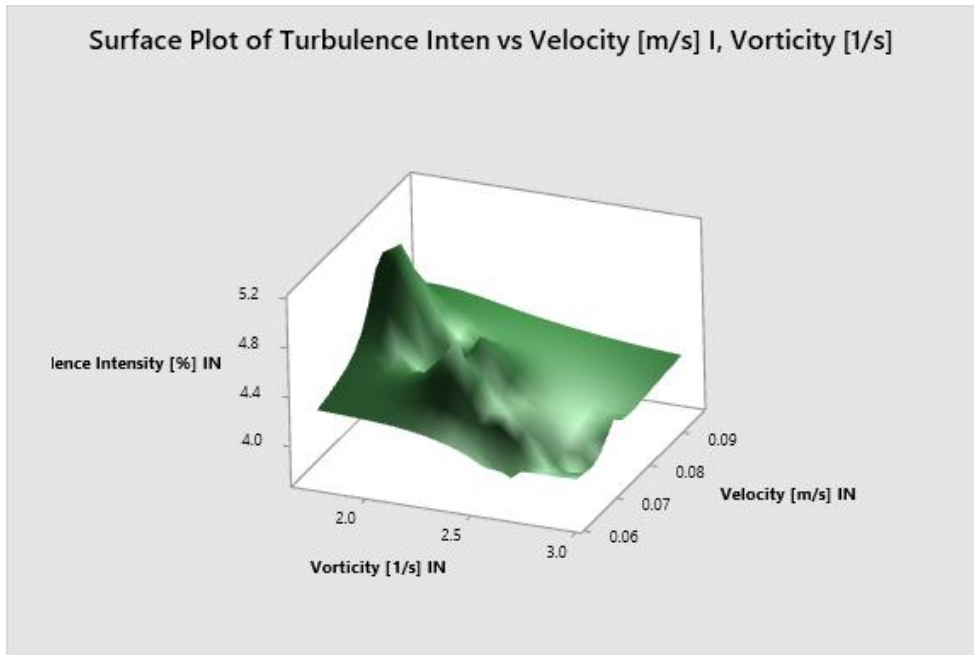
Τα διαγράμματα περιγράμματος (μερικές φορές ονομάζονται γραφήματα επιπέδου) είναι ένας τρόπος για να εμφανιστεί μια τρισδιάστατη επιφάνεια σε ένα δισδιάστατο επίπεδο. Παρουσιάζει γραφικά δύο μεταβλητές πρόβλεψης ΧΥ στον άξονα y και μια μεταβλητή απόκρισης Z ως περιγράμματα. Αυτά τα περιγράμματα ονομάζονται μερικές φορές z-slices ή τιμές ισοαπόκρισης.

Αυτός ο τύπος γραφήματος χρησιμοποιείται ευρέως στη χαρτογραφία, όπου οι γραμμές περιγράμματος σε έναν τοπολογικό χάρτη δείχνουν υψόμετρα που είναι ίδια. Πολλοί άλλοι μαθητές χρησιμοποιούν γραφήματα περιγράμματος όπως: αστρολογία, μετεωρολογία και φυσική. Οι γραμμές περιγράμματος συνήθως δείχνουν υψόμετρο (όπως το ύψος ενός γεωγραφικού χαρακτηριστικού), αλλά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να δείξουν την πυκνότητα, τη φωτεινότητα ή το ηλεκτρικό δυναμικό.

Ένα διάγραμμα περιγράμματος είναι κατάλληλο εάν θέλετε να δείτε πώς αλλάζει κάποια τιμή Z ως συνάρτηση δύο εισόδων, X και Y:  $z = f(x, y)$ .

#### 5.4.8 Surfaceplot (Διάγραμμα επιφάνειας)

Τα επιφανειακά διαγράμματα είναι διαγράμματα τρισδιάστατων δεδομένων. Αντί να εμφανίζονται τα μεμονωμένα σημεία δεδομένων, τα διαγράμματα επιφάνειας δείχνουν μια λειτουργική σχέση μεταξύ μιας καθορισμένης εξαρτημένης μεταβλητής (Y) και δύο ανεξάρτητες μεταβλητές (X και Z). Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε πώς κατασκευάζονται αυτά τα διαγράμματα. Το εύρος αυτού του πλέγματος είναι ίσο με το εύρος των δεδομένων. Στη συνέχεια, υπολογίζεται μια τιμή Y για κάθε ένα σημείο πλέγματος. Αυτή η τιμή Y είναι ένας σταθμισμένος μέσος όρος όλων των τιμών δεδομένων που βρίσκονται "κοντά" σε αυτό το σημείο πλέγματος. Η τρισδιάστατη επιφάνεια κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας αυτούς τους μέσους όρους. Ως εκ τούτου, το διάγραμμα επιφάνειας δεν δείχνει τη διακύμανση σε κάθε σημείο του πλέγματος. Αυτά τα διαγράμματα είναι χρήσιμα στην ανάλυση παλινδρόμησης για την προβολή της σχέσης μεταξύ ενός εξαρτημένου και δύο ανεξάρτητων μεταβλητών. Η πολλαπλή παλινδρόμηση προϋποθέτει ότι αυτή η επιφάνεια είναι τέλεια επίπεδη επιφάνεια. Η γραφική παράσταση επιφάνειας μάς επιτρέπει να προσδιορίσουμε οπτικά εάν είναι κατάλληλη η πολλαπλή παλινδρόμηση.



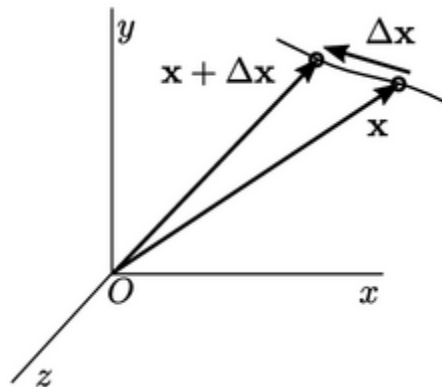
Σχήμα 5.15 Διάγραμμα επιφάνειας των παραγόντων

## 5.5 Ανάλυση του παράγοντα της ταχύτητας μετά τον μετασχηματισμό

### 5.5.1 Ταχύτητα (velocity) – μετασχηματισμένη μορφή

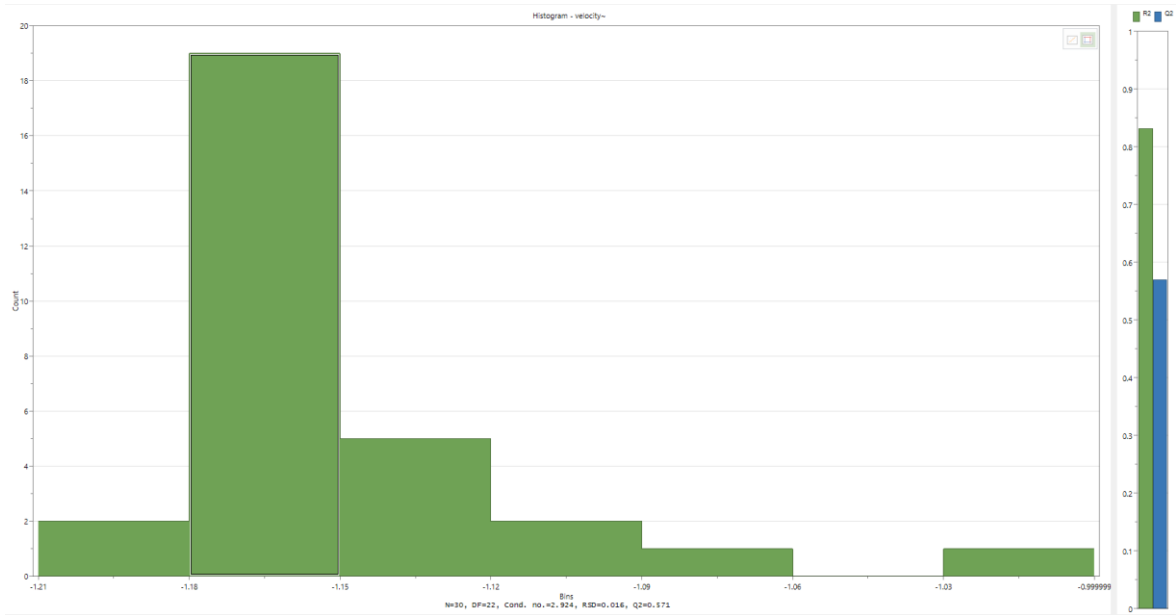
Όπως η δύναμη, έτσι και η ταχύτητα  $u$  είναι ένα διάνυσμα με κατεύθυνση και μέγεθος. Χρησιμοποιώντας το διάνυσμα  $u$  για να δηλώσουμε τη θέση ενός σωματιδίου ρευστού, η ταχύτητά του είναι:

$$\mathbf{u} = \frac{d\mathbf{x}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{x}}{\Delta t}$$

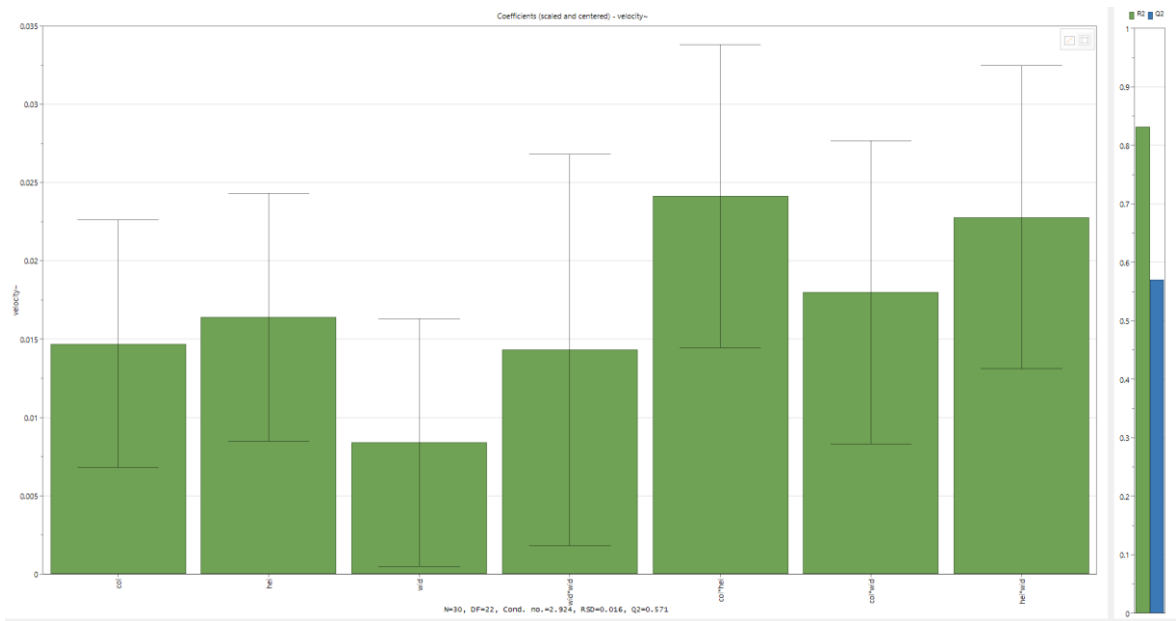


Σχήμα 5.16 Ταχύτητα ενός ρευστού σωματιδίου στο χώρο

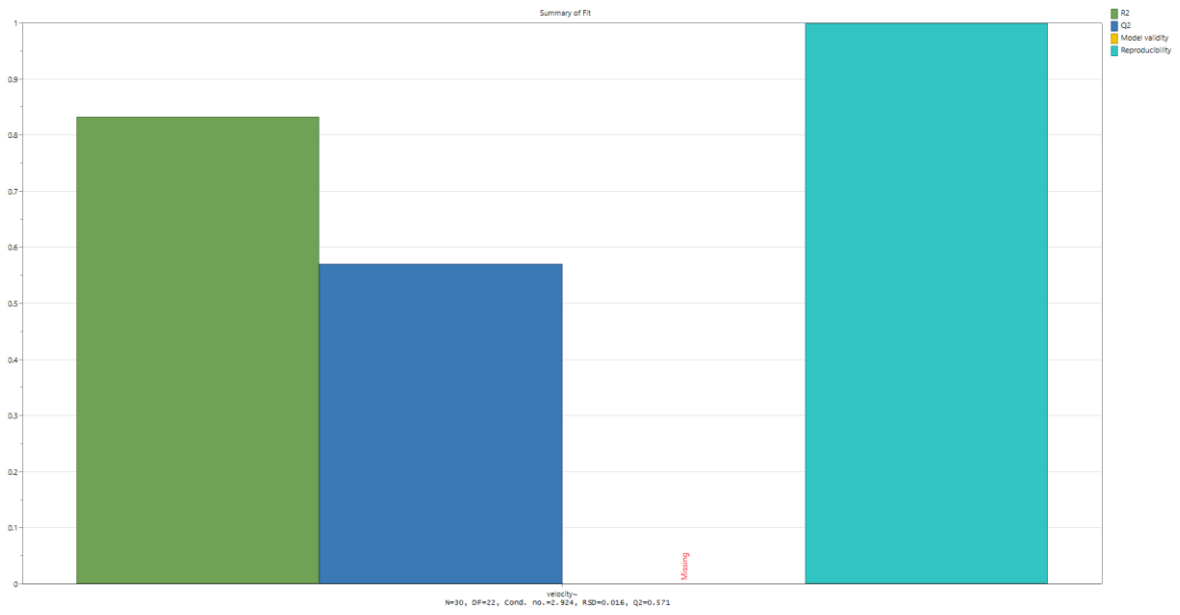
Ενώ το  $u$  μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υποδηλώσει μια μεμονωμένη ταχύτητα με μέγεθος και κατεύθυνση, μπορεί επίσης να υποδηλώσει ένα διανυσματικό πεδίο ταχύτητας που ποικίλλει από σημείο σε σημείο σε ένα χωρικό πεδίο. Ένα διάνυσμα αντιπροσωπεύεται από 3 αριθμούς, που σχετίζονται με το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται, π.χ.  $u_x$ ,  $u_y$ ,  $u_z$ , στο καρτεσιανό σύστημα.



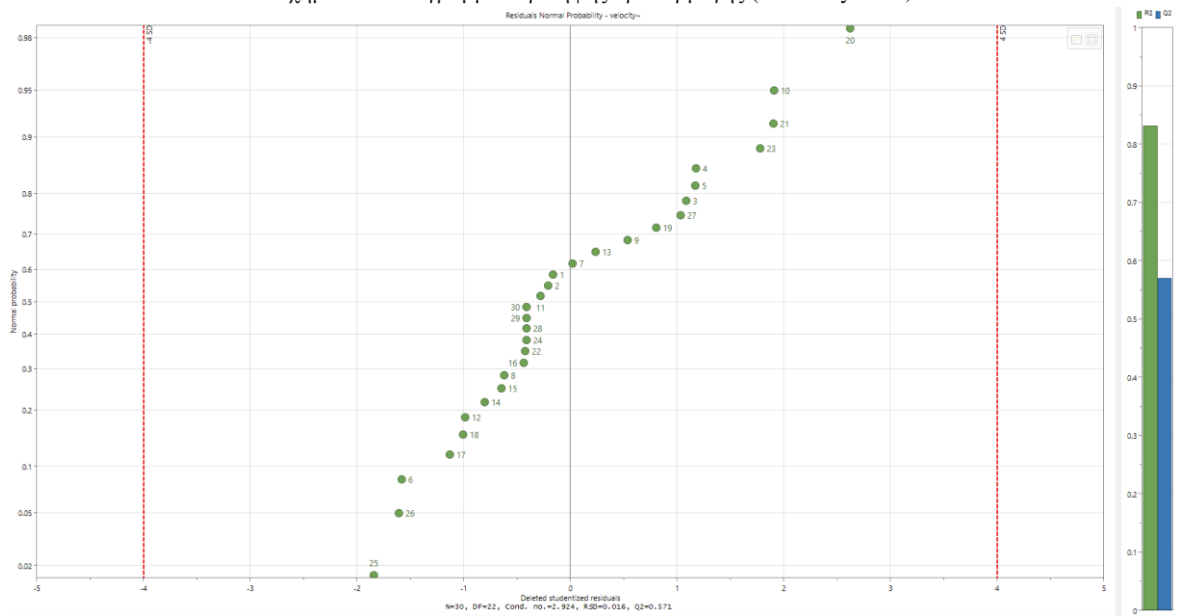
Σχήμα 5.17 Διάγραμμα ιστογράμματος (Histogram)



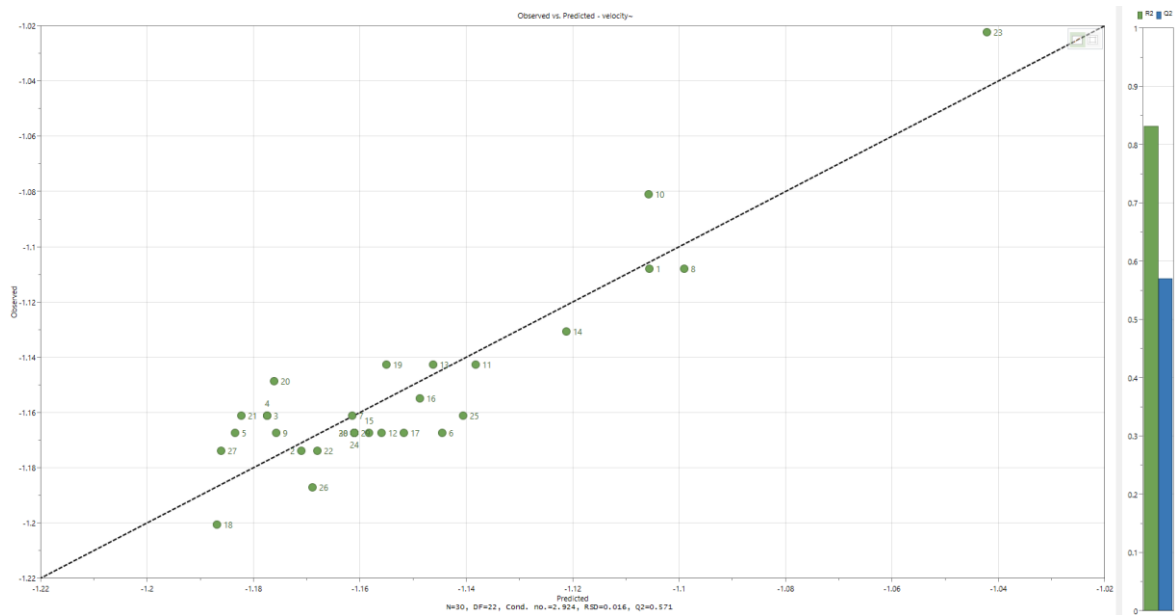
Σχήμα 5.18 Διάγραμμα συντελεστών (coefficients)



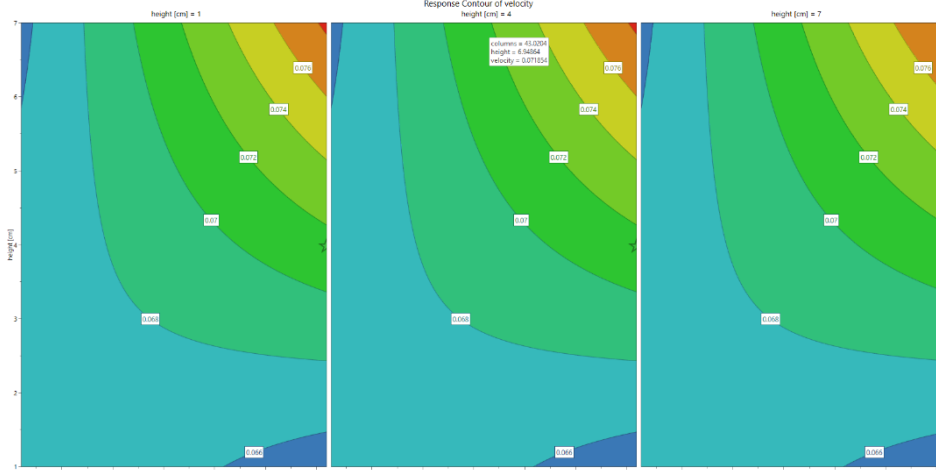
Σχήμα 5.19 Διάγραμμα περίληψης προσαρμογής (Summary of fit)



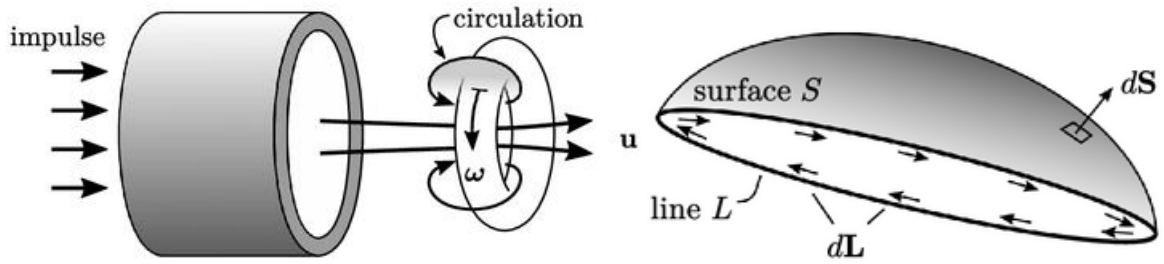
Σχήμα 5.20 Διάγραμμα υπολειματικής κανονικής πιθανότητας (Residual normal probability)



Σχήμα 5.21 Διάγραμμα παρατηρούμενων τιμών έναντι των προβλεπόμενων τιμών.

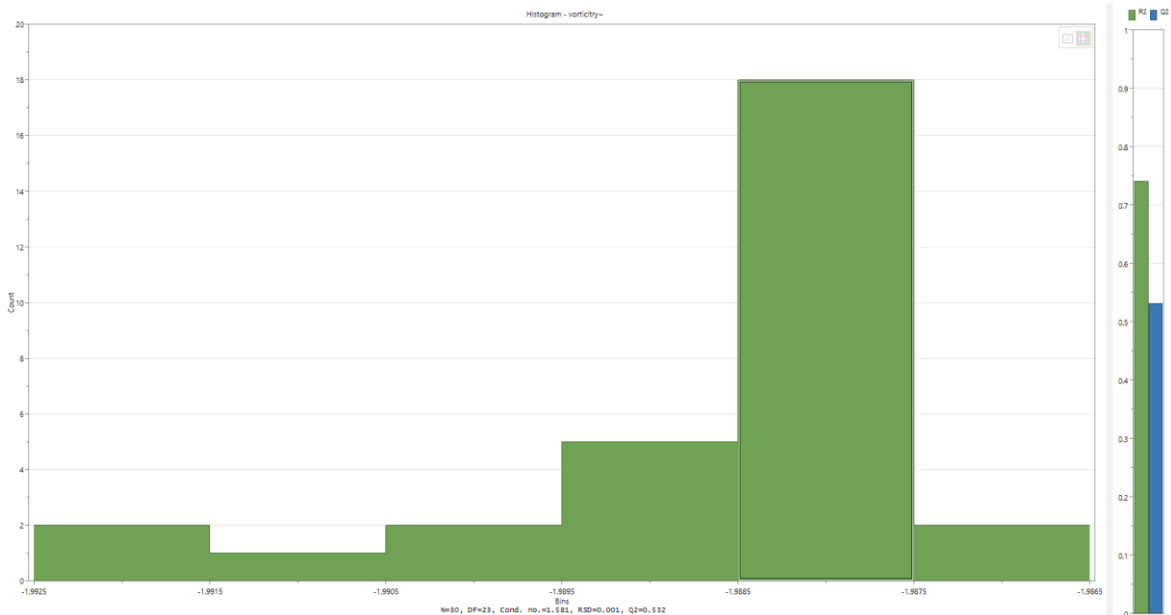


Η στροβιλότητα είναι δύσκολο να απεικονιστεί υπό διάτμηση επειδή η παραμόρφωση καλύπτει την τοπική περιστροφή. Διαχωρίζοντας την παραμόρφωση, αποκαλύπτεται η τοπική περιστροφή.

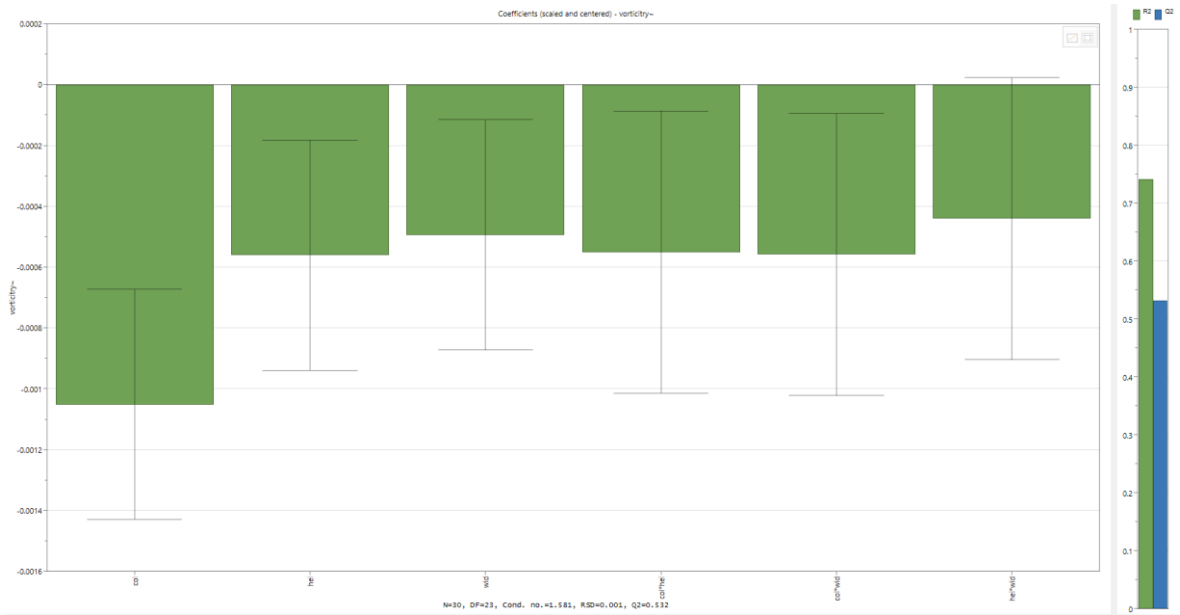


Σχήμα 5.23 Ο ορισμός του στροβιλισμού

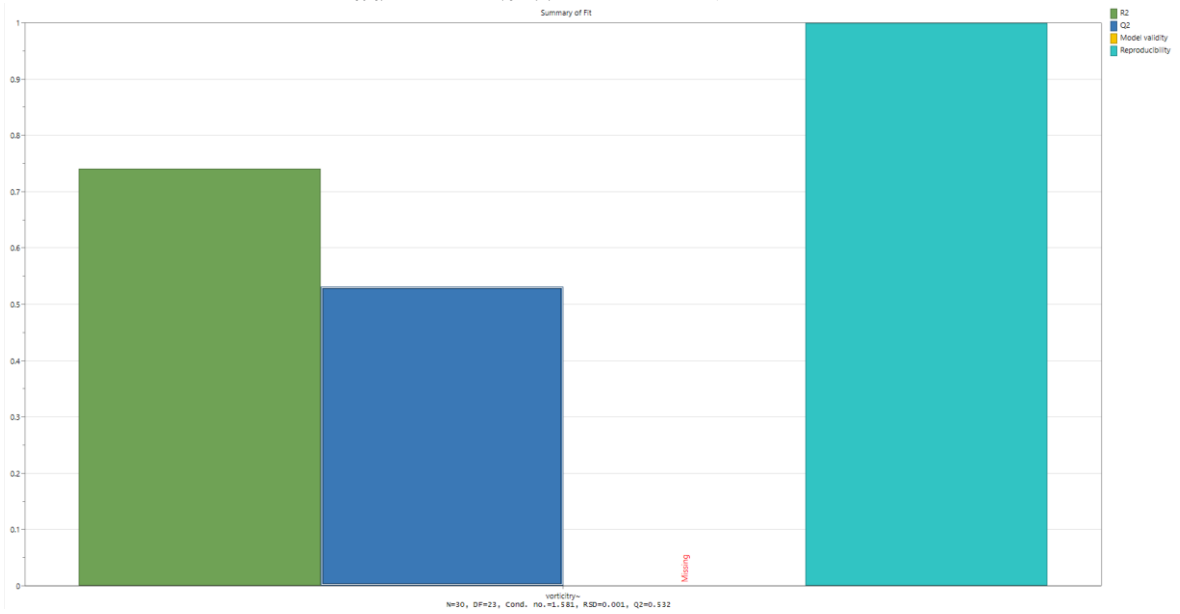
Η εξίσωση στροβιλισμού συχνά αποδεικνύεται από έναν δακτύλιο στροβιλισμού που παράγεται από ένα «κανόνι» αέρα με καπνό για να οπτικοποιήσει τη ροή. Αποκαλύπτει την κυκλοφορία ροής γύρω από τμήματα του δακτύλου, από μπροστά προς τα πίσω. Τα διανύσματα στροβιλισμού είναι κανονικά στα επίπεδα κυκλοφορίας, κατά μήκος του άξονα του δακτυλίου.



Σχήμα 5.24 Διάγραμμα ιστογράμματος (Histogram)

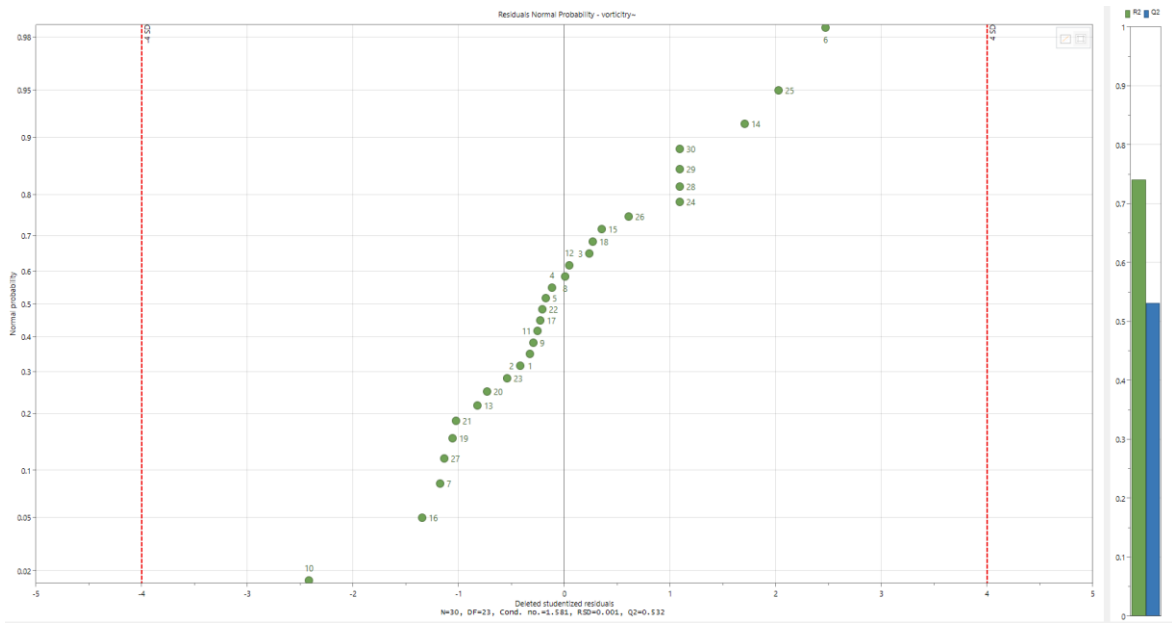


Σχήμα 5.25 Διάγραμμα συντελεστών (coefficients)

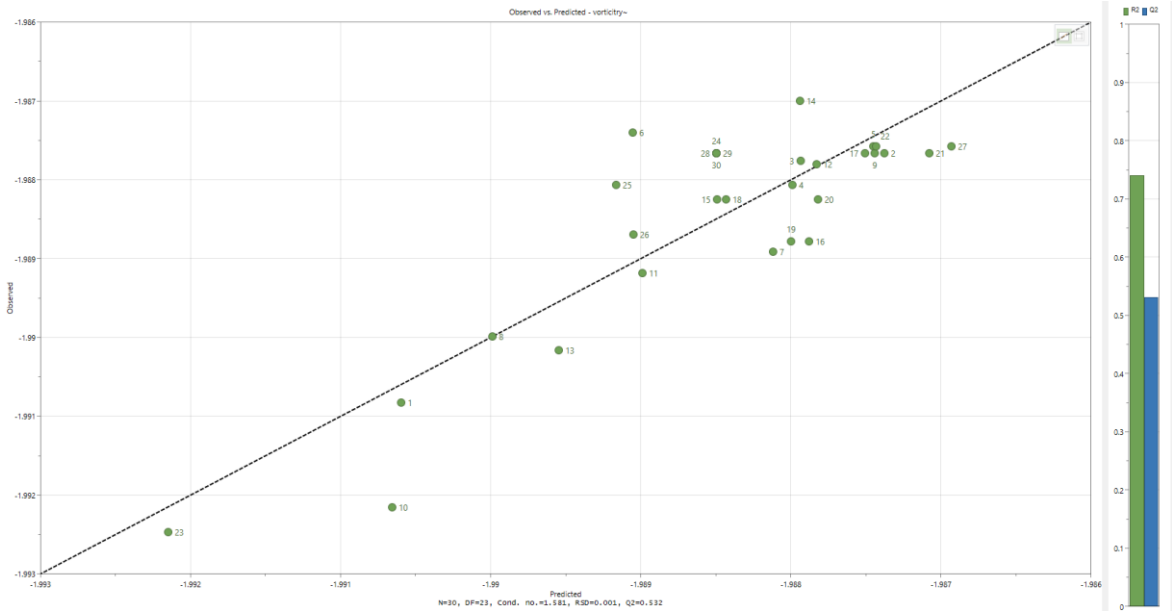


Σχήμα 5.26 Διάγραμμα περίληψης προσαρμογής (Summary of fit)

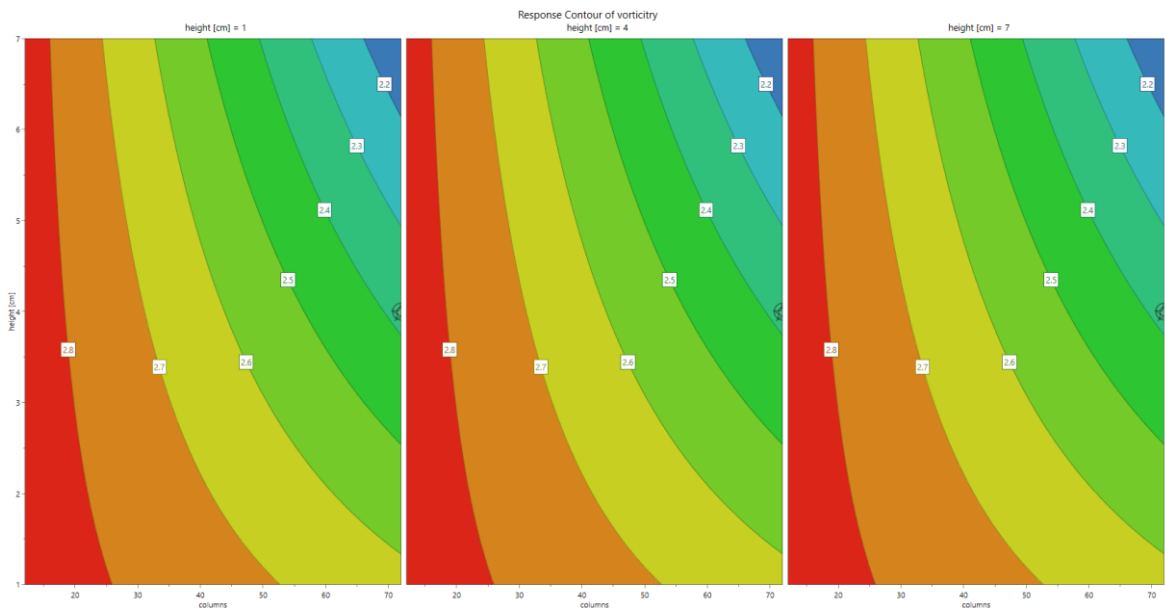




Σχήμα 5.27 Διάγραμμα υπολειματικής κανονικής πιθανότητας (Residual normal probability)



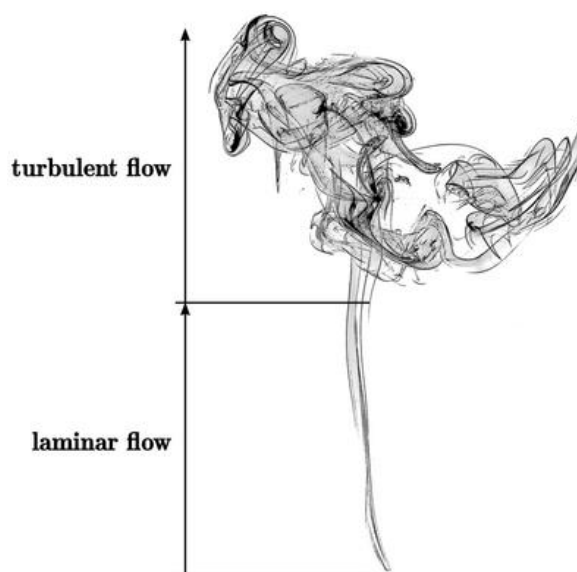
Σχήμα 5.28 Διάγραμμα παρατηρούμενων τιμών έναντι των προβλεπόμενων τιμών.



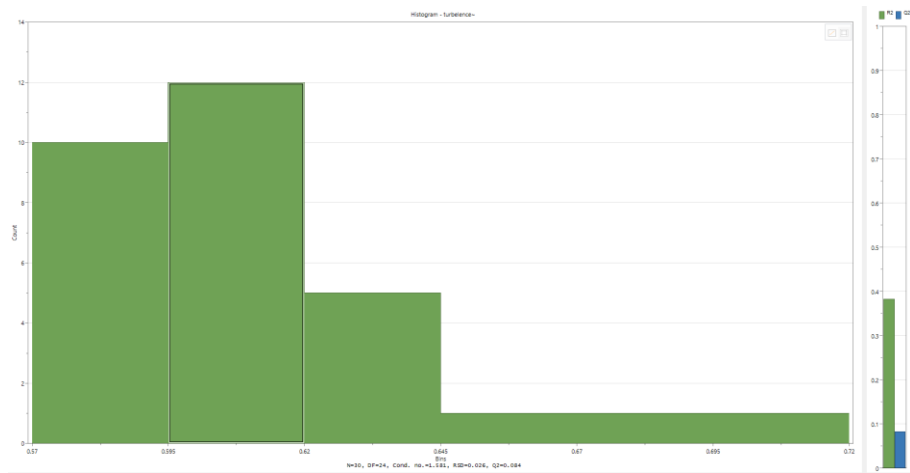
Σχήμα 5.29 Διάγραμμα περιγράμματος (Contour plot)

### 5.5.3 Αναταράξεις – τυρβώδη ροή (Turbulence) – μετασχηματισμένη μορφή

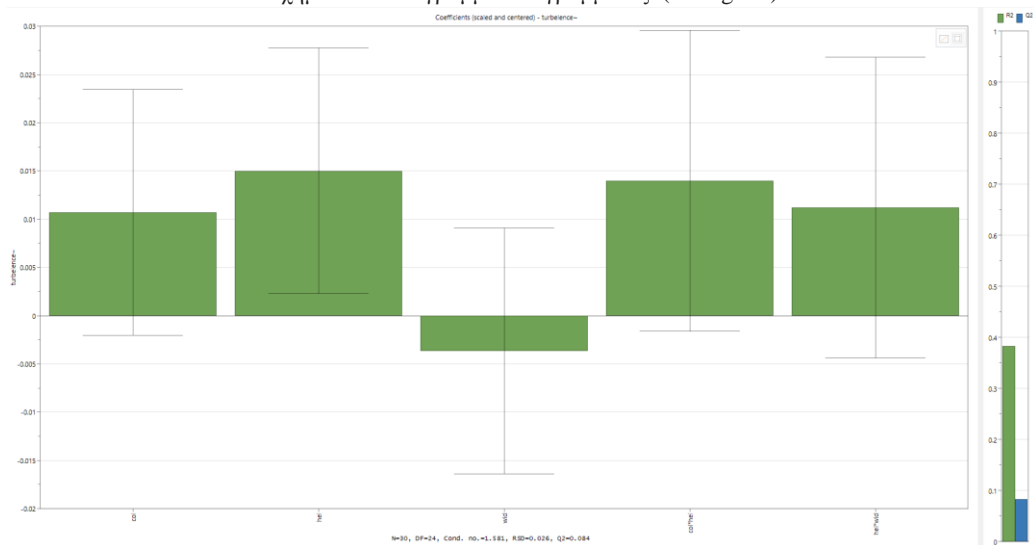
Οι αναταράξεις απεικονίζονται από ένα σωρό καπνού παρακάτω. Ο καπνός ανεβαίνει κατακόρυφα από τη βάση, διαγράφοντας αρχικά ένα σχετικά ευθύ, στενό μονοπάτι, χαρακτηριστικό της στρωτής ροής. Σε κάποιο σημείο, υπάρχει μια απότομη μετάβαση στην τυρβώδη ροή στην οποία τα σωματίδια ρευστού ακολουθούν καμπύλες διαδρομές που διασταυρώνονται το ένα με το άλλο με άτακτο, ακανόνιστο τρόπο, προκαλώντας τυχαία διακύμανση της εξίσωσης και της εξίσωσης στο χρόνο. Η τυρβώδης ροή προφανώς περιλαμβάνει σημαντική ανάμειξη του ρευστού, η οποία είναι σημαντική σε πολλά προβλήματα CFD. Για παράδειγμα, επηρεάζει άμεσα τον ρυθμό διασποράς των ρύπων και τον ρυθμό αντίδρασης μιας χημικής διεργασίας. Αναγκάζει τη θερμότητα να διαχέεται πιο γρήγορα. Ομοίως, η ανάμειξη επηρεάζει τη διάχυση της ορμής και, κατά συνέπεια, τις αεροδυναμικές δυνάμεις μέσα σε ένα υγρό και τα γύρω οχήματα, τις ανεμογεννήτριες, τα κτίρια.



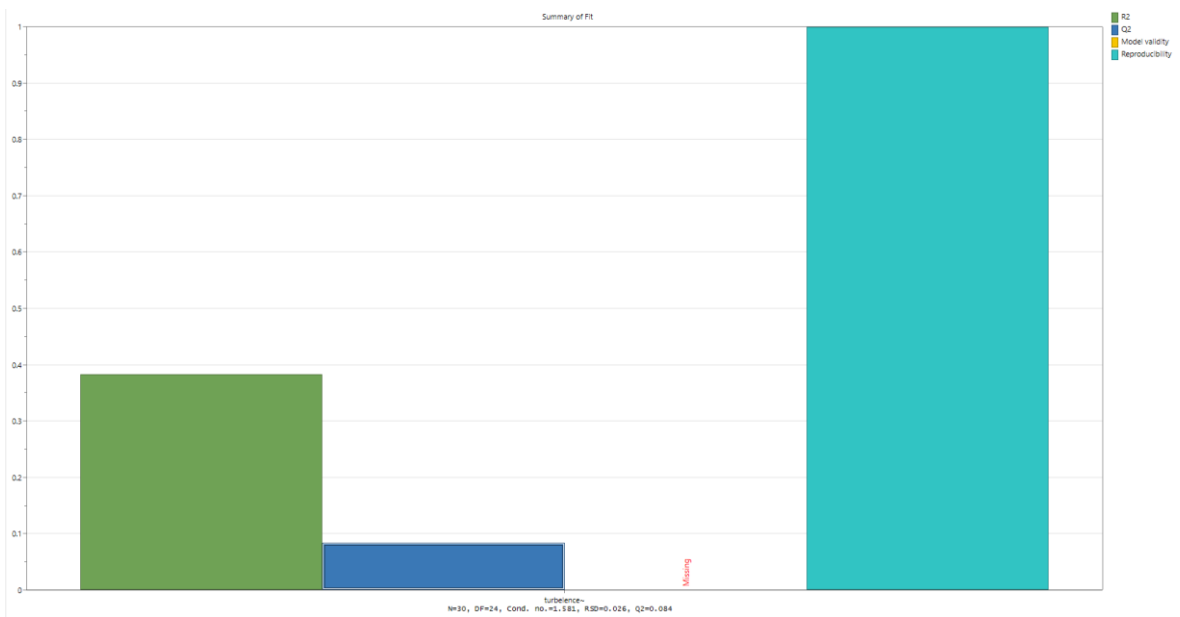
Σχήμα 5.30 Διάγραμμα στρωτής και τυρβώδης ροής



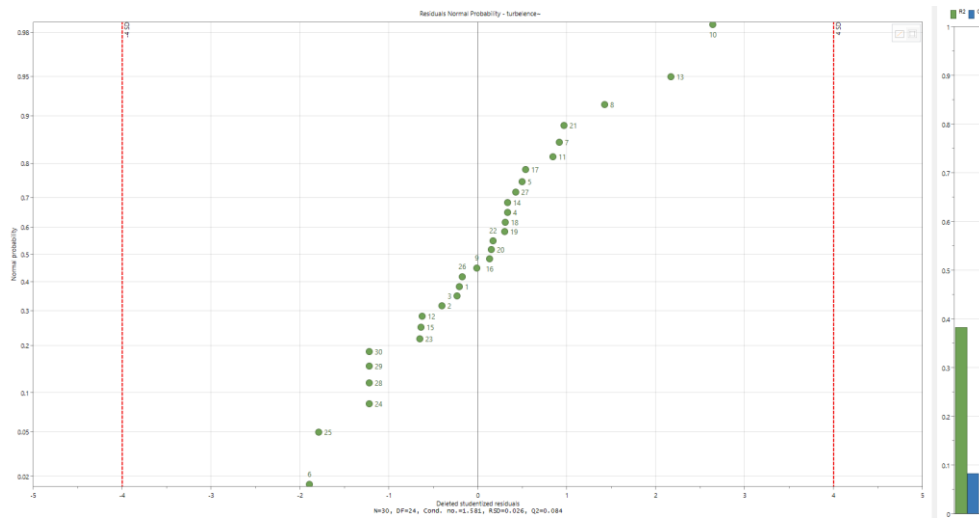
Σχήμα 5.31 Διάγραμμα ιστογράμματος (Histogram)



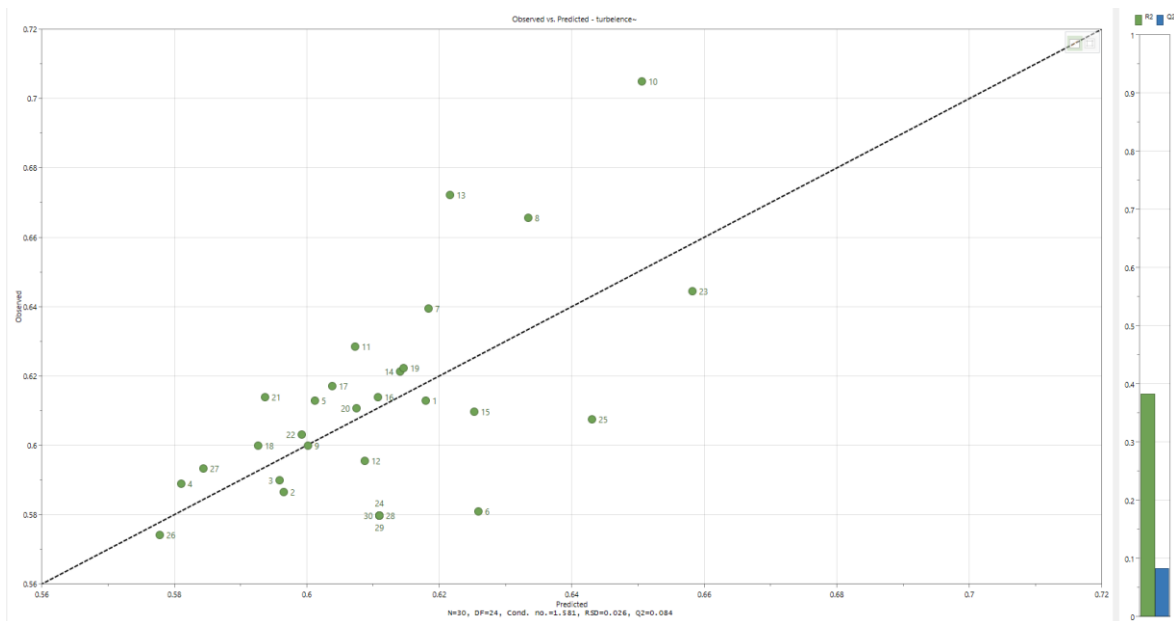
Σχήμα 5.32 Διάγραμμα συντελεστών (coefficients)



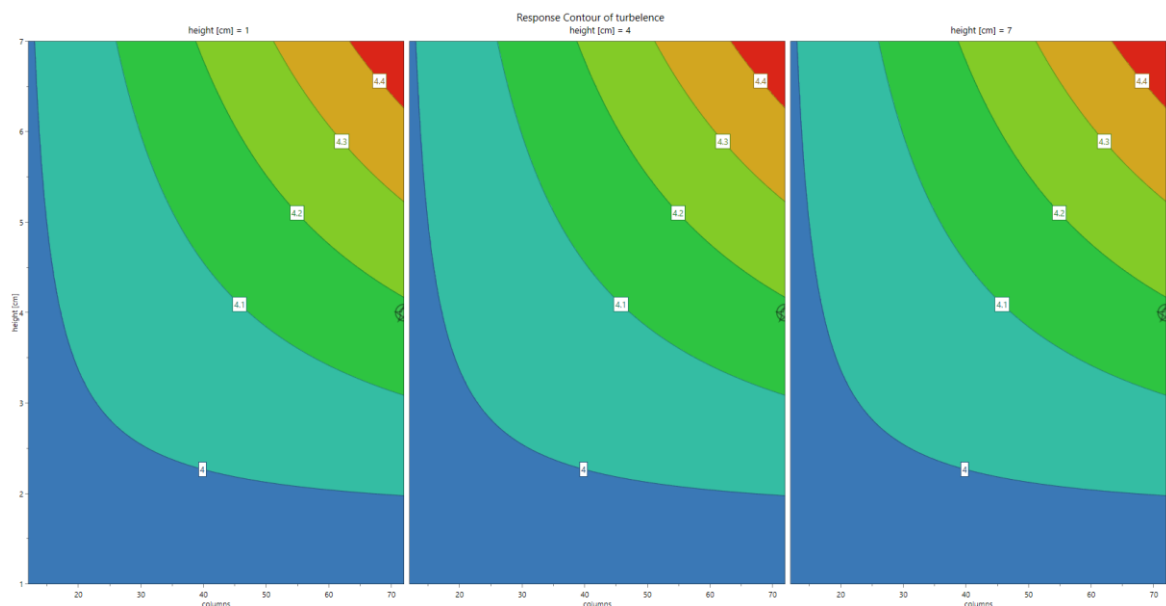
Σχήμα 5.33 Διάγραμμα περίληψης προσαρμογής (Summary of fit)



Σχήμα 5.34 Διάγραμμα υπολειματικής κανονικής πιθανότητας (Residual normal probability)



Σχήμα 5.35 Διάγραμμα παρατηρούμενων τιμών έναντι των προβλεπόμενων τιμών.



Σχήμα 5.36 Διάγραμμα περιγράμματος (Contour plot)

#### 5.5.4 Συμπεράσματα

Καθώς εκτελέσαμε και τα 27 πειράματα με την βοήθεια του σχεδιασμού πειραμάτων παρατηρήσαμε ότι το μοντέλο που μελετάμε βελτιώθηκε με τον μετασχηματισμό των παραγόντων με χρήση λογαριθμικού μετασχηματισμού, αλλάζοντας την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Οι μετασχηματισμένες τιμές δεν βρίσκονται πλέον στις αρχικές μονάδες αλλά σε λογαριθμικές μονάδες. Αυτό σημαίνει ότι το αποτέλεσμα μιας αλλαγής μιας μονάδας στη μετασχηματισμένη μεταβλητή αντιστοιχεί σε μια αναλογική αλλαγή στην αρχική μεταβλητή. Ενώ ο λογαριθμικός μετασχηματισμός μπορεί να είναι επωφελής, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν είναι κατάλληλος για όλους τους τύπους δεδομένων. Συνήθως εφαρμόζεται σε μεταβλητές που είναι αυστηρά θετικές, καθώς ο λογάριθμος μηδενικών ή αρνητικών τιμών είναι απροσδιόριστος. Επιπλέον, η επιλογή της βάσης του λογαρίθμου εξαρτάται από το συγκεκριμένο πλαίσιο και τη φύση των δεδομένων.

Ο λογαριθμικός μετασχηματισμός χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των οικονομικών, των οικονομικών, της βιολογίας και των περιβαλλοντικών επιστημών. Είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για το χειρισμό λοξών δεδομένων και τη βελτίωση της εγκυρότητας των στατιστικών αναλύσεων.

Τα διαγράμματα περιγράμματος μπορούν να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τη βελτιστοποίηση, βοηθώντας μας να οπτικοποιήσουμε τη συμπεριφορά μιας αντικειμενικής συνάρτησης σε διαφορετικές περιοχές του χώρου παραμέτρων. Η γραφική παράσταση περιγράμματος μπορεί να μας βοηθήσει να προσδιορίσουμε τις περιοχές όπου η αντικειμενική συνάρτηση φτάνει τις μέγιστες ή τις ελάχιστες τιμές της. Να αναζητήσουμε τις περιοχές όπου οι γραμμές περιγράμματος είναι πιο κοντά μεταξύ τους, υποδεικνύοντας πιο απότομες κλίσεις. Τα βέλτιστα σημεία που μπορεί να βρίσκονται στο σημείο σύγκλισης αυτών των γραμμών περιγράμματος, όπου η συνάρτηση φτάνει τη μέγιστη ή την ελάχιστη τιμή της. Τα διαγράμματα περιγράμματος αποκαλύπτουν το σχήμα και τη δομή του τοπίου της αντικειμενικής συνάρτησης. Εάν οι γραμμές περιγράμματος είναι επιμήκεις, η συνάρτηση είναι σχετικά επίπεδη ή έχει μια ήπια κλίση προς αυτή την κατεύθυνση. Εάν οι γραμμές περιγράμματος είναι στενά συσσωρευμένες μεταξύ τους, η συνάρτηση έχει μια πιο απότομη κλίση. Εξετάζοντας το οικόπεδο περιγράμματος, μπορείτε να αποκτήσετε πληροφορίες για το έδαφος της αντικειμενικής συνάρτησης, συμπεριλαμβανομένων κοιλάδων, κορυφογραμμών και επίπεδων περιοχών. Μπορούν επίσης να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε τη διαδρομή που ακολουθεί ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης. Οι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης συχνά κινούνται κατά μήκος της πιο απότομης κατεύθυνσης καθόδου ή ακολουθούν τις γραμμές περιγράμματος προς τη βέλτιστη λύση. Μάς επιτρέπουν να απεικονίσουμε την ευαισθησία της αντικειμενικής συνάρτησης σε αλλαγές στις μεταβλητές εισόδου. Παρατηρώντας πώς αλλάζουν οι γραμμές περιγράμματος καθώς μετακινούμαστε κατά μήκος του χώρου παραμέτρων, μπορείτε να προσδιορίσετε περιοχές όπου μικρές αλλαγές στις μεταβλητές εισόδου οδηγούν σε σημαντικές αλλαγές στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Αυτές οι πληροφορίες είναι χρήσιμες για την κατανόηση της ευαισθησίας του προβλήματος βελτιστοποίησης και τον εντοπισμό κρίσιμων περιοχών που απαιτούν προσεκτική εξέταση.

## 6.Διερεύνηση βέλτιστων συνθηκών & πειραματικά αποτελέσματα

### 6.1 Βελτιστοποίηση μέσω του MODDE

Η βελτιστοποίηση είναι ένα πρόβλημα που σχετίζεται με την καλύτερη απόφαση που είναι αποτελεσματική και αποδοτική λήψη αποφάσεων είτε αξίζει το μέγιστο είτε το ελάχιστο μέσω του προσδιορισμού μιας ικανοποιητικής λύσης.

Η βελτιστοποίηση δεν είναι μια νέα επιστήμη. Ανέκαθεν έχει αναπτύξει μεθόδους για την επίλυση προβλημάτων, από την εποχή του Νεύτωνα τον 17ο αιώνα, όταν ανακαλύφθηκαν μέθοδοι για τον υπολογισμό ριζών. Σήμερα, η επιστήμη της βελτιστοποίησης συνεχίζει να εξελίσσεται όσον αφορά τις τεχνικές και τις εφαρμογές της. Υπάρχουν πολλές καθημερινές περιπτώσεις ή προβλήματα που απαιτούν βελτιστοποίηση για την επίλυσή τους. Τον τελευταίο καιρό έχουν αναπτυχθεί πολλές νέες τεχνικές για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης. Ας αναφέρουμε μερικές από αυτές:

- 1 Κωνικός Προγραμματισμός: Ο κωνικός προγραμματισμός ασχολείται με την ανάλυση και την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης με συνθήκες κωνικών περιορισμών. Αυτή η τεχνική είναι χρήσιμη όταν τα περιοριστικά κριτήρια μπορούν να εκφραστούν ως κωνικές ανισότητες.
- 2 Ημιορισμένος Προγραμματισμός: Ο ημιορισμένος προγραμματισμός ασχολείται με προβλήματα βελτιστοποίησης όπου μέρος των μεταβλητών μπορεί να περιοριστεί σε συγκεκριμένα εύρη.
- 3 Ημιάπειρος Προγραμματισμός: Ο ημιάπειρος προγραμματισμός ασχολείται με προβλήματα βελτιστοποίησης όπου ορισμένες μεταβλητές μπορούν να πάρουν απειροελάχιστες ή απειρομέγιστες τιμές.
- 4 Μετά-ευρετικές τεχνικές: Οι μετά-ευρετικές τεχνικές χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης που δεν μπορούν να επιλυθούν απευθείας με αναλυτικές μεθόδους. Αυτές οι τεχνικές συνήθως βασίζονται σε αλγορίθμους αναζήτησης, όπως οι γενετικοί αλγόριθμοι ή οι μέθοδοι σμίκρυνσης.

Η βελτιστοποίηση παίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία σχεδιασμού ενός συστήματος. Με τη βελτιστοποίηση, ο σχεδιασμός ενός συστήματος μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα φθηνότερο ή υψηλότερο κόστος, χαμηλότερο χρόνο επεξεργασίας και ούτω καθεξής. Προς το παρόν, απαιτείται πολλή βοήθεια λογισμικού για την επίλυση του λανθασμένου προβλήματος που βρέθηκε για να βρεθεί η βέλτιστη λύση με χρόνο υπολογισμού όχι πολύ μεγάλο. Οι εφαρμογές των τεχνικών βελτιστοποίησης έχουν αναπτυχθεί γρήγορα σε διάφορους τομείς.

Η επιτυχής εφαρμογή των τεχνικών βελτιστοποίησης απαιτεί τουλάχιστον τρεις προϋποθέσεις. Αυτές οι απαιτήσεις είναι η ικανότητα κατασκευής μαθηματικών μοντέλων προβλημάτων που αντιμετωπίζονται, η γνώση τεχνικών βελτιστοποίησης και η γνώση προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η έννοια της βελτιστοποίησης μπορεί να εξηγηθεί ως ένα σύνολο μαθηματικών τύπων και αριθμητικών μεθόδων για την εύρεση και τον προσδιορισμό των καλύτερων υποψηφίων από ένα σύνολο εναλλακτικών λύσεων χωρίς να χρειάζεται να υπολογιστούν και να αξιολογηθούν ρητά όλες οι πιθανές εναλλακτικές.[10]

Η βελτιστοποίηση είναι η διαδικασία μεγιστοποίησης ή ελαχιστοποίησης μιας συνάρτησης σκοπού έχοντας υπόψη τους υπάρχοντες περιορισμούς. Μια συνάρτηση ορίζεται ως ένας κανόνας που εκχωρεί σε κάθε επιλογή τιμής  $x$  μια μοναδική τιμή  $y = f(x)$ . Σε αυτή την

περίπτωση  $x$  είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή και  $y$  είναι η εξαρτημένη μεταβλητή. Μαθηματικά, ας υποθέσουμε ότι έχουμε θέσει  $S \subset \mathbb{R}$ , όπου  $\mathbb{R}$  είναι το σύνολο όλων των πραγματικών αριθμών. Μπορούμε να ορίσουμε έναν μετασχηματισμό που εκχωρεί μια αριθμητική τιμή για κάθε  $x \in S$ . Αυτή η σχέση ονομάζεται συχνά κλιμακωτή συνάρτηση  $f$  που ορίζεται στο σύνολο  $S$ .

Τα προβλήματα βελτιστοποίησης μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες:

- Βελτιστοποίηση χωρίς περιορισμούς: Εάν μια συνάρτηση  $f$  ισχύει για  $S = \mathbb{R}$ , τότε η συνάρτησή μας είναι συνάρτηση μιας μη περιορισμένης ή μη περιορισμένης συνάρτησης, είτε με μία μεταβλητή είτε με δύο μεταβλητές.
- Περιορισμένη βελτιστοποίηση: Εάν το  $S$  είναι ένα υποσύνολο του  $\mathbb{R}$ , τότε έχουμε μια συνάρτηση που ορίζεται σε μια περιορισμένη περιοχή ή μια περιορισμένη περιοχή.

Επιπλέον, τα προβλήματα βελτιστοποίησης μπορούν επίσης να ομαδοποιηθούν με βάση τον αριθμό των μεταβλητών:

- Βελτιστοποίηση μίας μεταβλητής: Το πρόβλημα βελτιστοποίησης με μία μεταβλητή είναι η πιο αφοπλισμένη μορφή του προβλήματος βελτιστοποίησης. Οι συναρτήσεις με μία μεταβλητή γίνονται το επίκεντρο του προβλήματος βελτιστοποίησης τόσο στη θεωρία όσο και στην πράξη, επειδή αυτή η μορφή αντιμετωπίζεται συχνότερα από τους μηχανικούς στην πράξη. Επιπλέον, μια συνάρτηση με μία μεταβλητή είναι συνήθως επίσης ένα υποπρόβλημα στη διαδικασία επανάληψης επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης με πολλές μεταβλητές. Λόγω του σημαντικού του ρόλου, δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι αναπτύσσονται πολλοί αλγόριθμοι που προορίζονται συνήθως για την ολοκλήρωση συναρτήσεων με μία μεταβλητή, αλλά όχι σπάνια και το πρόβλημα της καθημερινής βελτιστοποίησης είναι ένα πρόβλημα πολλαπλών μεταβλητών.
- Βελτιστοποίηση πολλαπλών μεταβλητών: Ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης που περιλαμβάνει περισσότερες από μία μεταβλητές.

Τα προβλήματα βελτιστοποίησης μπορούν επίσης να φανούν από την τιμή της μεταβλητής. Τα προβλήματα βελτιστοποίησης ομαδοποίησης με βάση μεταβλητές τιμές είναι:

- Το πρόβλημα βελτιστοποίησης με συνεχή μεταβλητή, το πρόβλημα βελτιστοποίησης με την τιμή του  $x$  μπορεί να είναι οτιδήποτε στην εφικτή περιοχή. Το πρόβλημα του γραμμικού προγραμματισμού ή του τετραγωνικού προγραμματισμού είναι ένα παράδειγμα συνεχούς βελτιστοποίησης.
- Διακριτά προβλήματα βελτιστοποίησης, είναι ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης με την τιμή της λύσης να περιορίζεται σε συγκεκριμένες τιμές που είναι συνήθως ακέραιοι. Γενικά, η επίλυση διακριτών προβλημάτων βελτιστοποίησης είναι πιο δύσκολη από τη συνεχή βελτιστοποίηση. Το πρόβλημα του προγραμματισμού ακεραίων είναι ένα παράδειγμα διακριτής βελτιστοποίησης. Σε μια κατάσταση όπου δεν υπάρχουν πληροφορίες για τον ακριβή πολυωνυμικό αλγόριθμο (υπολογιστικός χρόνος ανάλογος του  $N^n$ , όπου  $N$  είναι ο αριθμός των παραμέτρων που αναζητούνται και  $n$  μια ακέραια σταθερά) λέγεται ότι είναι το πρόβλημα ως NP-hard (nondeterministic polynomial time). Στην κατηγορία NP-

hard δεν υπάρχει τιμή του  $n$  οπότε ο χρόνος υπολογισμού περιορίζεται από ένα πολυώνυμο με ισχύ  $n$ .

Χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό ιδιόκτητων προσαρμοστικών DOE και πρωτοποριακών εξομοιωτών μας, η στατιστική βελτιστοποίηση αξιολογεί γρήγορα τον χώρο σχεδιασμού και κάνει προβλέψεις για υποσχόμενες περιοχές.

Η στατιστική βελτιστοποίηση λειτουργεί καλά με προβλήματα τόσο χαμηλών όσο και μεγάλων διαστάσεων. Το λογισμικό μας ελαχιστοποιεί τον αριθμό των εκτελέσεων προσομοίωσης που απαιτούνται για τη λήψη βέλτιστων αποτελεσμάτων για μια μεγάλη ποικιλία προβλημάτων και είναι σε θέση να χειριστεί μεγάλο αριθμό τύπων εισόδου και εξόδου, συμπεριλαμβανομένων δυαδικών και διακριτών, πολλαπλών περιορισμών και βελτιστοποίησης με πολλαπλούς στόχους.

Με τη στατιστική βελτιστοποίηση στο Smart UQ (Uncertainty Quantification), μπορείτε να χρησιμοποιήσετε μια επαναληπτική τεχνική δειγματοληψίας με βάση το DOE για να βελτιώσετε τη γνώση τόσο του συνόλου του σχεδιαστικού χώρου όσο και των περιοχών που ενδέχεται να περιέχουν βέλτιστα σημεία. Η εκτέλεση δειγματοληψίας DOE σε παράλληλες παρτίδες, αντί να εκτελούνται μεμονωμένα σημεία στη σειρά, επιτρέπει την πλήρη χρήση των υπολογιστικών πόρων και μπορεί να δώσει απαντήσεις εκατοντάδες φορές πιο γρήγορα.

Ως πρόσθετο πλεονέκτημα, μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση πόρων χρησιμοποιώντας τις ίδιες αξιολογήσεις συστήματος για την εύρεση βέλτιστων καθώς και για ανάλυση και ανάλυση UQ των αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης. Όχι μόνο μπορούμε να εξερευνήσουμε βέλτιστες περιοχές του χώρου σχεδιασμού, μπορούμε να προσδιορίσουμε πόσο ευαίσθητα είναι τα βέλτιστα σε αλλαγές στις παραμέτρους εισόδου και εάν οι διακυμάνσεις γύρω από τα βέλτιστα σημεία μπορεί να οδηγήσουν σε απροσδόκητη ή ανεπιθύμητη συμπεριφορά, όπως παραβιάσεις περιορισμών.

Συνδυασμοί στατιστικής βελτιστοποίησης και συναρτήσεων βελτιστοποίησης βάσει αναζήτησης, όπως γενετικοί αλγόριθμοι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αξιοποιηθούν οι καλύτερες ιδιότητες και των δύο.

Ο βελτιστοποιητής λειτουργεί με βάση ένα σύνολο προδιαγραφών και επιλέγει τις τιμές των παραγόντων και τις απαντήσεις με σκοπό να επιτύχει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Ωστόσο, εάν οι προδιαγραφές απόκρισης δεν είναι ρεαλιστικές, είναι πιθανόν να μην είναι δυνατόν να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση από τον βελτιστοποιητή. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια καλή στρατηγική και πρόσθετα εργαλεία, όπως γραφήματα περιγράμματος, εκτιμήσεις πιθανότητας αποτυχίας, χώρος σχεδιασμού εκτιμήσεων, ισχυρά σημεία ρύθμισης, ανάλυση σημείων ρύθμισης και προβλεπόμενες ελάχιστες/μέγιστες τιμές που αναφέρονται στον βελτιστοποιητή. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση των πιθανών προδιαγραφών που λαμβάνονται υπόψη. Επίσης, σημειώνεται ότι η πιο σημαντική παράμετρος για την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων στη βελτιστοποίηση είναι να διασφαλιστεί ότι οι προδιαγραφές "Pred. min" και "Pred. max" καλύπτουν τουλάχιστον εν μέρει τις προδιαγραφές απόκρισης.[11]

Ο βελτιστοποιητής χρησιμοποιείται για να βρει ένα πειραματικό σημείο ρύθμισης που ικανοποιεί διάφορα κριτήρια. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται μέσω μιας συνάρτησης



αναζήτησης, η οποία αξιολογεί διάφορες τιμές των παραμέτρων και επιλέγει αυτή που οδηγεί στη βέλτιστη λύση της εξίσωσης που εξαρτάται από τα κριτήρια λειτουργίας.

Ο βελτιστοποιητής έχει διάφορες δυνατότητες και περιορισμούς. Μπορεί να προσαρμόζεται για να επιλύει διάφορα προβλήματα βελτιστοποίησης, όπως ελαχιστοποίηση ή μεγιστοποίηση μιας συνάρτησης, εύρεση βέλτιστων τιμών παραμέτρων, εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης κλπ. Ωστόσο, υπάρχουν και περιορισμοί που πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως η διαθεσιμότητα πληροφοριών, η πολυπλοκότητα υπολογισμού και οι περιορισμοί στις τιμές των παραμέτρων.

Όσον αφορά τους στόχους της βελτιστοποίησης, μπορούν να επιλεγούν διάφορα κριτήρια έναρξης. Αυτά τα κριτήρια καθορίζουν ποιες παράμετροι θα προσαρμοστούν και πώς θα προχωρήσει ο βελτιστοποιητής στην αναζήτηση της βέλτιστης λύσης. Η επιλογή κατάλληλων κριτηρίων είναι σημαντική για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων.

Για να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση του βελτιστοποιητή, είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι οι προδιαγραφές "Pred. min" και "Pred. max" καλύπτουν τουλάχιστον εν μέρει τις προδιαγραφές απόκρισης. Αυτό σημαίνει ότι ο βελτιστοποιητής πρέπει να επιλέγει παραμέτρους που είναι εντός των αποδεκτών ορίων και να προσαρμόζεται ώστε να πληροί τους περιορισμούς των προδιαγραφών.

Ο βελτιστοποιητής μπορεί να ρυθμιστεί για διαφορετικούς στόχους:

1. Βελτιστοποίηση ορίων – όπου ο στόχος είναι να επιτευχθεί μια λύση στην οποία η απόκριση είναι εντός των ορίων προδιαγραφών (ελάχιστο και μέγιστο όριο). Αυτό είναι το προεπιλεγμένη προσέγγιση στο MODDE.

2. Βελτιστοποίηση στόχου – όπου ο στόχος είναι να επιτευχθεί μια λύση στην οποία η απάντηση είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στον στόχο. Για να λειτουργήσει η βελτιστοποίηση στόχου σωστά, είναι απαραίτητο η απόκριση να μπορεί να βελτιστοποιηθεί κοντά ή εντός στόχου διαφορετικά η αναζήτηση μπορεί να καταλήξει σε μια απαράδεκτη λύση.

3. Προσαρμοσμένη βελτιστοποίηση – προσαρμογή του στόχου που ορίζεται από το χρήστη.

4. Βελτιστοποίηση εστίασης – όπου ο στόχος είναι να ευνοηθούν μία ή περισσότερες αποκρίσεις πάνω από τα άλλα? επιτυγχάνεται με το χειρισμό των επιμέρους βαρών.

5. Ισχυρό σημείο ρύθμισης – όπου βρίσκεται το πιο ισχυρό σημείο ρύθμισης. Εξαρτάται από ύπαρξη λύσης βασισμένης στους στόχους 1-4.

Η συνάρτηση επιθυμητότητας (ή συνάρτηση αξιολόγησης) παίζει έναν βασικό ρόλο στον έλεγχο της βελτιστοποίησης. Αντιπροσωπεύει τον συνολικό στόχο ή τον επιθυμητό στόχο που επιδιώκεται και προσδιορίζει πόσο καλή είναι μια δεδομένη λύση.

Συνήθως, ο βελτιστοποιητής προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει τη συνάρτηση επιθυμητότητας, δηλαδή να προσεγγίσει τη χαμηλότερη δυνατή τιμή της. Αυτό επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση και την προσαρμογή των παραμέτρων και την εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης.

Οι ρυθμίσεις των κριτηρίων (Min, Target, Max) για κάθε απάντηση προσδιορίζουν τα λογικά όρια για τους στόχους και τις απαντήσεις που επιδιώκονται. Ο βελτιστοποιητής

προσπαθεί να επιλέξει τιμές παραμέτρων που θα οδηγήσουν σε απαντήσεις που είναι εντός των επιθυμητών ορίων και να πληρούν τους περιορισμούς που έχουν τεθεί. Ο βελτιστοποιητής χρησιμοποιεί τη συνάρτηση επιθυμητότητας και τις ρυθμίσεις των κριτηρίων για να καθορίσει πώς θα εξερευνησει τον χώρο αναζήτησης και ποιες τιμές παραμέτρων θα επιλέξει για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος. Με την επιλογή των κατάλληλων κριτηρίων έναρξης και των ρυθμίσεων, είναι δυνατόν να επιτευχθούν διάφοροι στόχοι και αποτελέσματα στη διαδικασία της βελτιστοποίησης.[12]

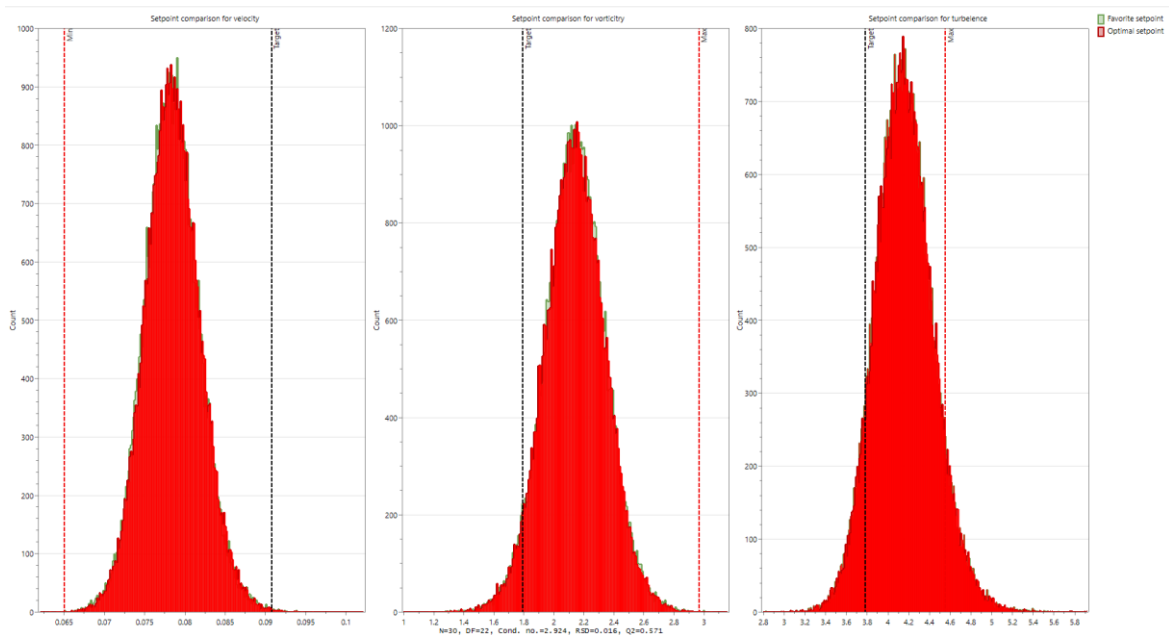
Objective	Setpoint (#8)	Alternative setpoints	Name	Condition	Objective	Min	Target	Max	Predicted min	Predicted max	Response range	Desirability type	Desirability weight
1	velocity	Desired	Maximize	0.0650216	0.0907382				0.0650216	0.0907382		Limit	1
2	vorticity	Desired	Minimize		1.79125	2.96499			1.79125	2.96499		Limit	1
3	turbulence	Desired	Minimize		3.78253	4.55147			3.78253	4.55147		Limit	1

Σχήμα 6.1 Επιλογή στόχου ως συνάρτηση πολλών παραγόντων

Αφού ο βελτιστοποιητής έχει τρέξει τα δεδομένα, θα μας δώσει τη καλύτερη δυνατή απάντηση που ικανοποιεί την συνθήκη που του έχουμε ορίσει. Συνήθως μας δίνει ακριβώς τις αναλογικές τιμές που έχει επιτευχθεί η συνθήκη αλλά σε κάποιες περιπτώσεις στρογγυλοποιεί τους αριθμούς χωρίς αυτό να έχει τεράστιες συνέπειες στην τελική απόφαση. Στην περίπτωση μας το αποτέλεσμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Objective	Setpoint (#8)	Alternative setpoints	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			columns	height	width	velocity	vorticity	turbulence	Iterations	log(D)	Prob. of failure	Cpk (velocity)	Cpk (vorticity)	Cpk (turbulence)
1	12.5063	1.0227	1.00037	0.0755203	2.7399	4.1105	39	-0.413766						
2	71.9817	4.0422	4.97273	0.0784463	2.14005	4.15502	32	-0.747993						
3	69.6766	4.10217	4.99468	0.0783193	2.15863	4.15411	32	-0.737849						
4	68.3591	4.15613	4.99081	0.0782311	2.16916	4.15609	32	-0.72902						
5	57.4681	4.77321	4.98075	0.0778785	2.24448	4.18214	31	-0.662318						
6	69.6888	4.14579	4.98482	0.0784344	2.15469	4.15974	31	-0.736653						
7	71.754	4.00205	4.9979	0.0783738	2.14448	4.14869	31	-0.750946						
8	72	4	5	0.0784249	2.1415	4.14923	31	-0.753009						
9	68.0106	4.14405	4.99438	0.078134	2.17437	4.15329	33	-0.727085						
10	72	4	5	0.0784249	2.1415	4.14923	31	-0.753009						
11	70.4384	4.07381	4.99136	0.0783506	2.15294	4.15332	32	-0.741903						
12	71.8521	4.00595	4.96481	0.0782446	2.14676	4.15009	32	-0.744969						

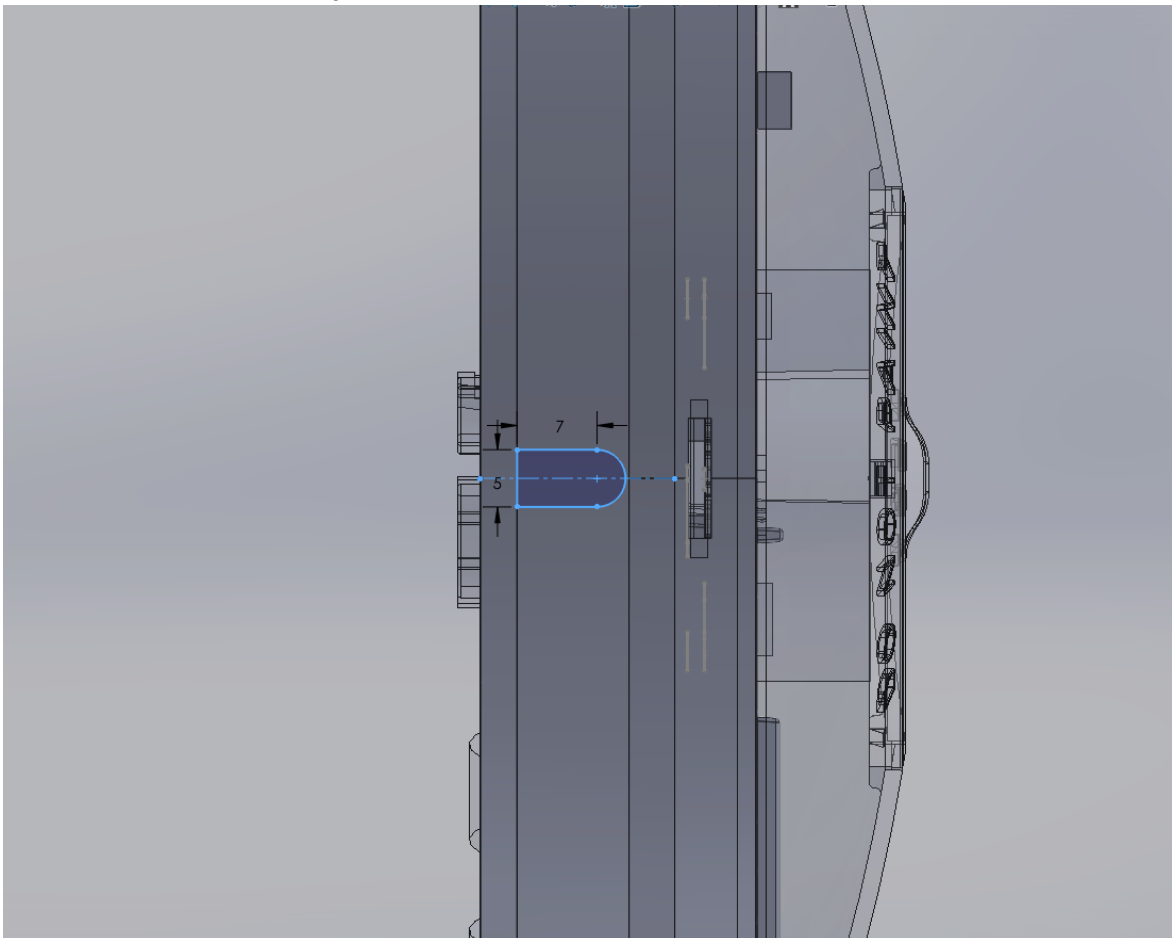
Σχήμα 6.2 Αποτέλεσμα βέλτιστης ικανοποίησης του προβλήματος



Σχήμα 6.3 Γραφική αναπαράσταση βέλτιστου σημείου ρύθμισης

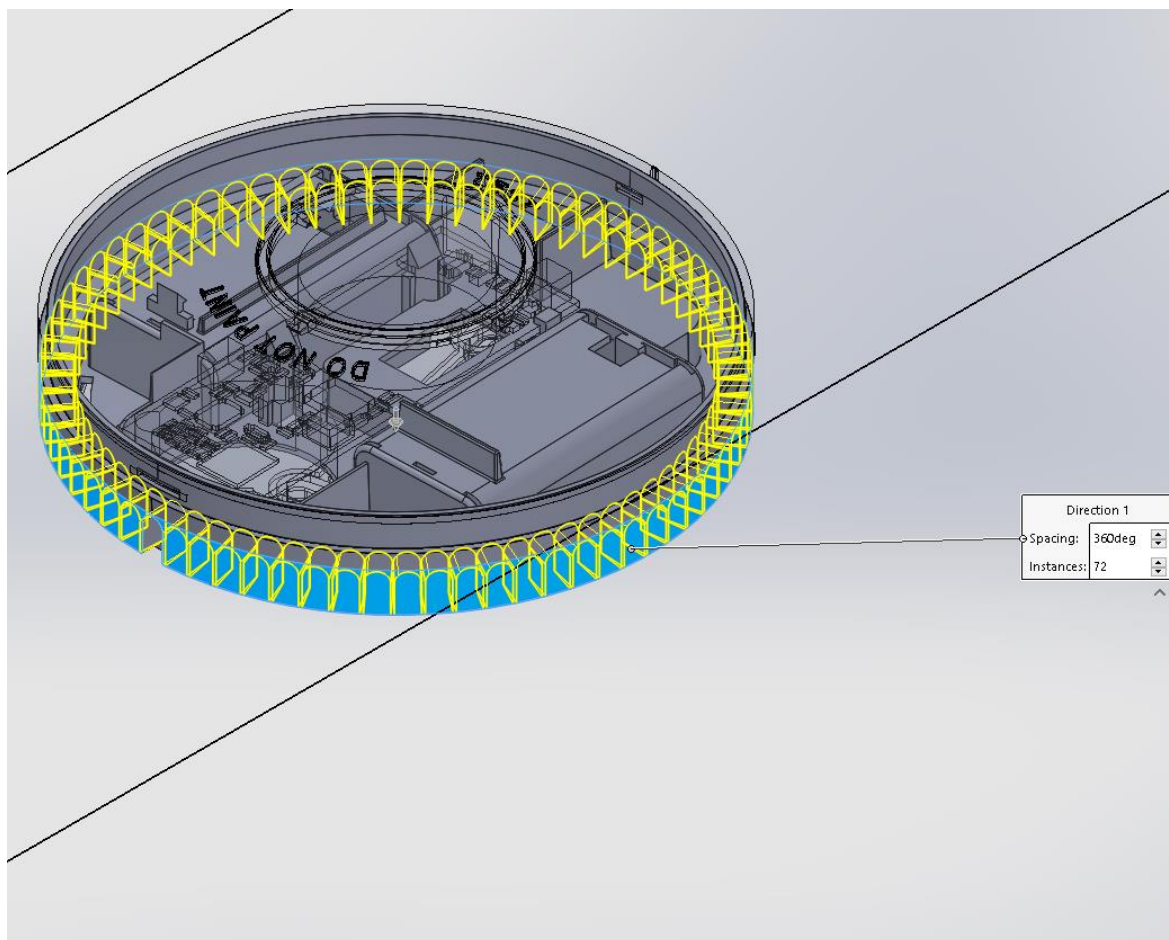
## 6.2 Τρισδιάστατη εκτύπωση δοκιμίου

Αφού πήραμε την απάντηση μας από τον βελτιστοποιητή πηγαίνουμε και αλλάζουμε τις τιμές του ύψους και πλάτους της βάσης του ανιχνευτή καπνού σύμφωνα με αυτές που ορίστηκαν προηγουμένως.



Σχήμα 6.4 Τροποποίηση του ανοίγματος της βάσης του ανιχνευτή σύμφωνα με την βέλτιστη λύση

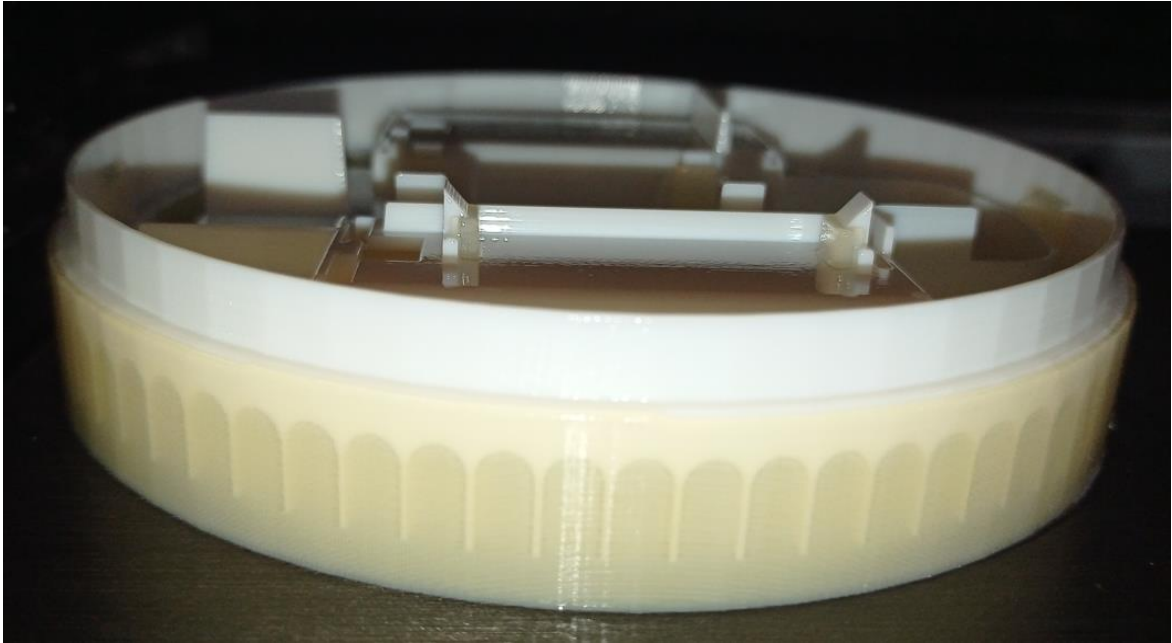
Το ίδιο ακριβώς κάνουμε και με τις στήλες του περιγράμματος της βάσης του ανιχνευτή καπνού.



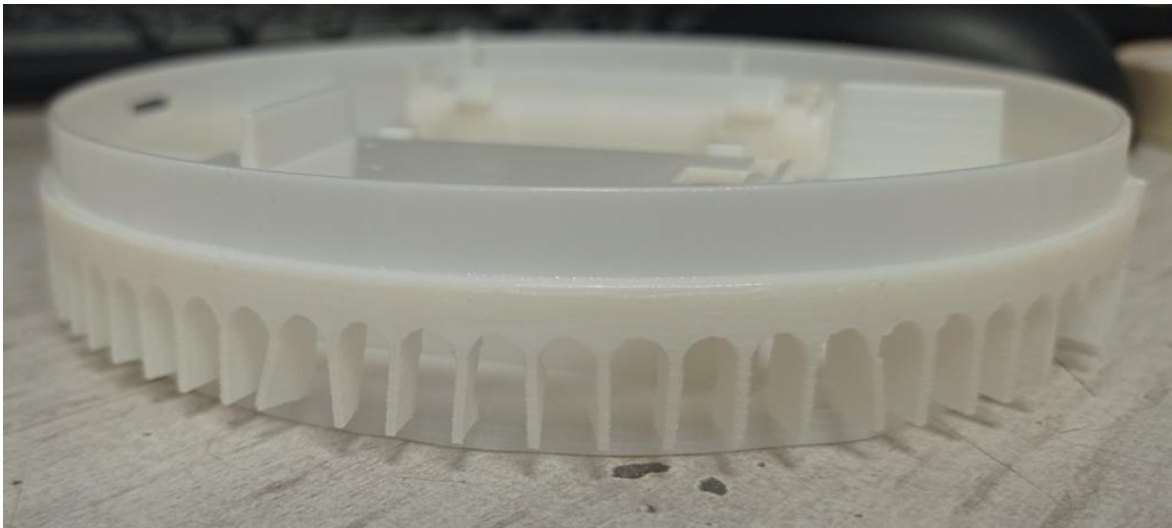
Σχήμα 6.5 Τροποποίηση των στηλών της βάσης του ανιχνευτή σύμφωνα με την βέλτιστη λύση.

Στην συνέχεια το επόμενο βήμα είναι να στείλουμε για τρισδιάστατη εκτύπωση την βάση του ανιχνευτή καπνού. Η εκτύπωση έγινε σε τρισδιάστατο εκτυπωτή τύπου PolyJet η οποία είναι μια ισχυρή τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης που παράγει λεία, ακριβή εξαρτήματα. Με ανάλυση μικροσκοπικού στρώματος και ακρίβεια έως 0,014 mm, μπορεί να παράγει λεπτά τοιχώματα και σύνθετες γεωμετρίες χρησιμοποιώντας την ευρύτερη γκάμα υλικών που διατίθεται με οποιαδήποτε τεχνολογία.

Τόσο οι εκτυπωτές Fused Deposition Modeling (FDM) όσο και οι εκτυπωτές Polyjet δημιουργούν τρισδιάστατα μοντέλα επίπεδο προς στρώμα. Ωστόσο, η διαδικασία με την οποία το κάνουν αυτό διαφέρει πολύ. Ενώ οι εκτυπωτές 3D FDM θερμαίνουν ένα θερμοπλαστικό νήμα για να δημιουργήσουν στρώμα, η εκτύπωση 3D Polyjet βασίζεται στη χρήση υγρών πολυμερών, που εκτοξεύονται στο κρεβάτι του εκτυπωτή.



Σχήμα 6.6 Πρώτη προσπάθεια εκτύπωσης της βάσης του ανιχνευτή καπνού.

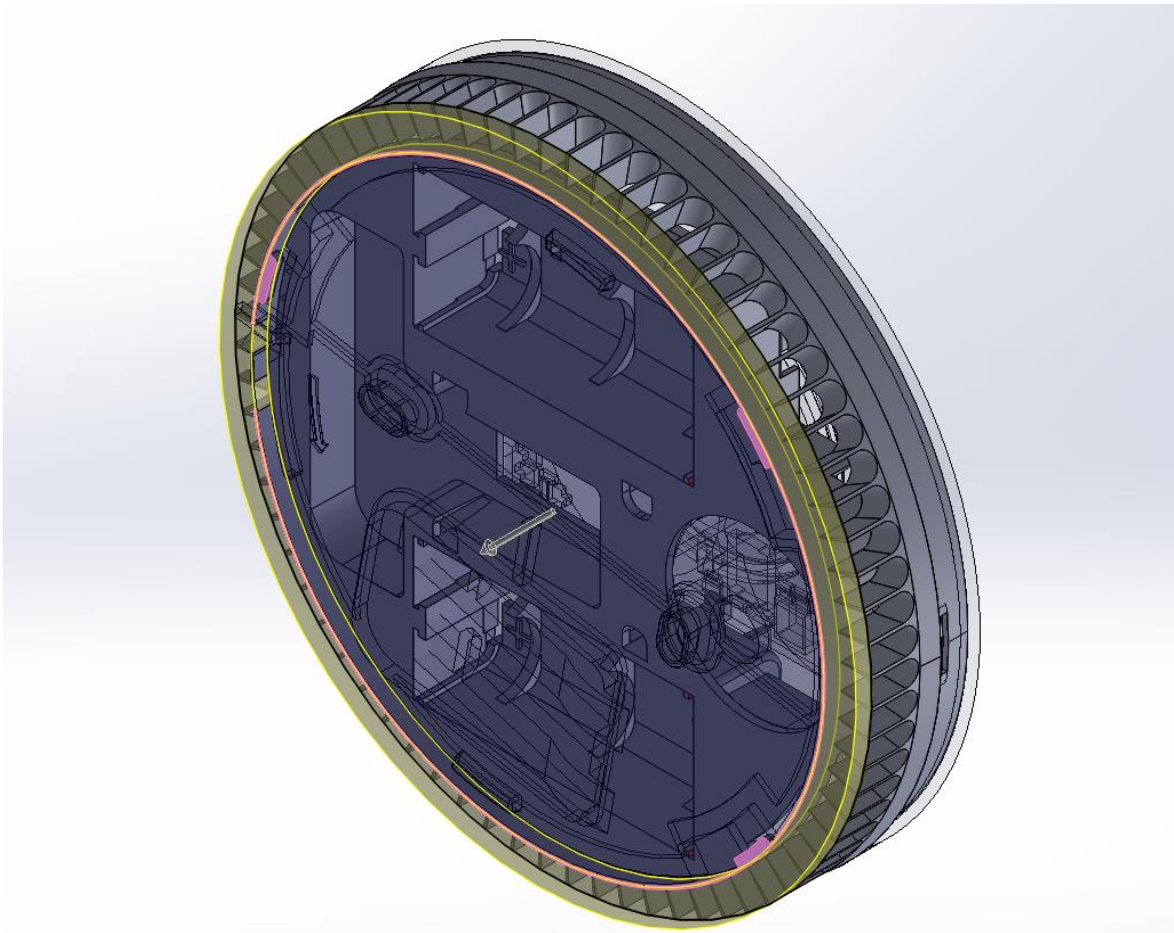


Σχήμα 6.7 Αποτυχία εκτύπωσης λόγω μη σωστής στήριξης

### 6.3 Επανεκτύπωση

Έπειτα από μια προσπάθεια εκτύπωσης των συγκεκριμένων ρυθμίσεων που πρότεινε ο βελτιστοποιητής παρατηρήσαμε ότι οι στήλες ήταν στο κενό χωρίς να έχουν βάση στήριξης. Έτσι, είχαμε ατέλεια στην πραγματική 3D εκτύπωση μας.

Τροποποιώντας την βάση εισάγοντας ένα απλό δακτύλιο καταφέραμε να στηρίξουμε τις στήλες της βάσης του ανιχνευτή καπνού. Μετά από αυτό το βήμα ξανά στείλαμε την βάση για επανεκτύπωση.



Σχήμα 6.8 Πρόσθεση στήριξης για τις στήλες του ανιχνευτή καπνού



Σχήμα 6.9 Ρεαλιστική απεικόνιση της βάσης του ανιχνευτή καπνού έπειτα από την δεύτερη προσπάθεια εκτόπωσης

#### 6.4 Πειραματική δοκιμή

Η συσκότιση είναι μια μονάδα μέτρησης που έχει γίνει ο τυπικός τρόπος προσδιορισμού της ευαισθησίας του ανιχνευτή καπνού. Η συσκότιση είναι η επίδραση του καπνού που μειώνει την ένταση του φωτός, εκφρασμένη σε ποσοστό απορρόφησης ανά μονάδα μήκους. υψηλότερες συγκεντρώσεις καπνού έχουν ως αποτέλεσμα υψηλότερα επίπεδα συσκότισης.

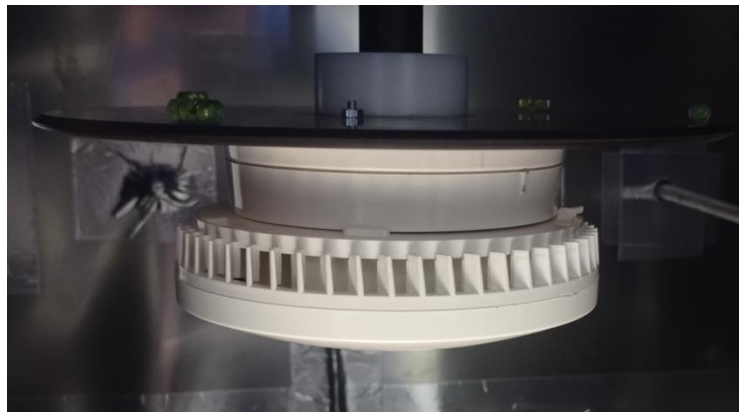
Μια δέσμη υπέρυθρου φωτός, με συχνότητα λειτουργίας 1000 παλμών ανά δευτερόλεπτο, λαμβάνεται από ένα φωτοηλεκτρικό στοιχείο και αναλύεται. Σε μια πυρκαγιά, ο καπνός ανεβαίνει και εξαπλώνεται κάτω από το επίπεδο της οροφής και η ένταση του φωτός που πέφτει στον δέκτη μειώνεται λόγω της σκέδασης ή της απορρόφησης του φωτός. Ο συναγερμός πυρκαγιάς ηχεί όταν η ισχύς του σήματος μειωθεί μεταξύ 40 – 90 % για περίοδο περίπου 5 δευτερολέπτων. Η χρήση μιας πηγής παλμικού φωτός εξοικονομεί ενέργεια και επιτρέπει τη χρήση ενός δέκτη στραμμένου στη συχνότητα παλμού για τη μείωση του ψευδούς συναγερμού που προκαλείται από το ηλιακό φως ή τον φωτισμό. Ο ανιχνευτής καπνού ελαφριάς σκίασης είναι κατάλληλος για την κάλυψη μεγάλων περιοχών με επίπεδες οροφές. Δεν είναι κατάλληλα για εξωτερική χρήση.

Η τιμή κατωφλίου απόκρισης του προς δοκιμή δείγματος θα μετρηθεί οκτώ φορές όπως περιγράφεται. Το δείγμα περιστρέφεται κατά 45 μοίρες γύρω από τον κατακόρυφο άξονά του μεταξύ κάθε μέτρησης, έτσι ώστε οι μετρήσεις να λαμβάνονται για οκτώ διαφορετικούς προσανατολισμούς σε σχέση με την κατεύθυνση ροής αέρα.

Η μέγιστη τιμή κατωφλίου απόκρισης ορίζεται  $y_{max}$  ή  $max$  σημειώνεται, η ελάχιστη τιμή ο προσανατολισμός για τον οποίο μετρήθηκε το μέγιστο όριο απόκρισης αναφέρεται ως ο λιγότερο ευαίσθητος προσανατολισμός και ο προσανατολισμός για τον οποίο μετρήθηκε το ελάχιστο όριο απόκρισης αναφέρεται ως ο πιο ευαίσθητος προσανατολισμός.

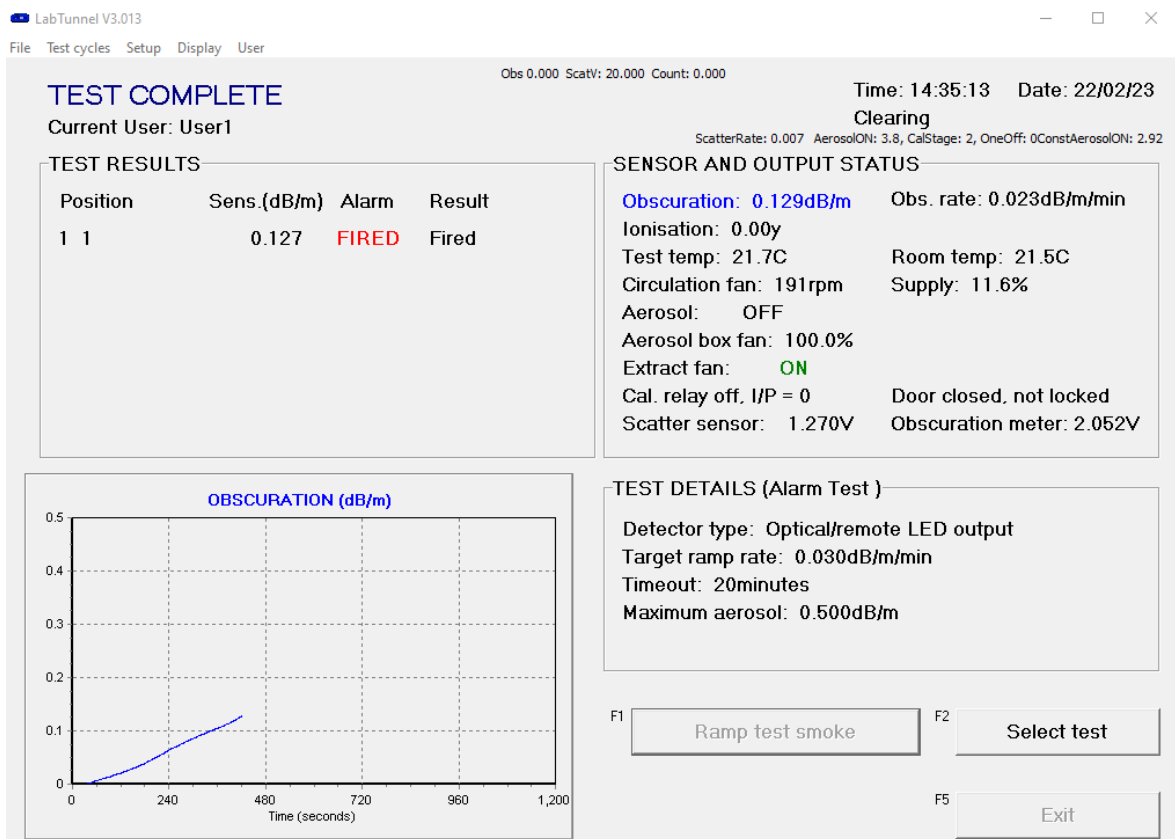


Σχήμα 6.10 Διάταξη δοκιμής κατεύθυνσης εξωτερική πλευρά



Σχήμα 6.11 Διάταξη δοκιμής κατεύθυνσης εσωτερική πλευρά (Μη βελτιστοποιημένη μορφή)



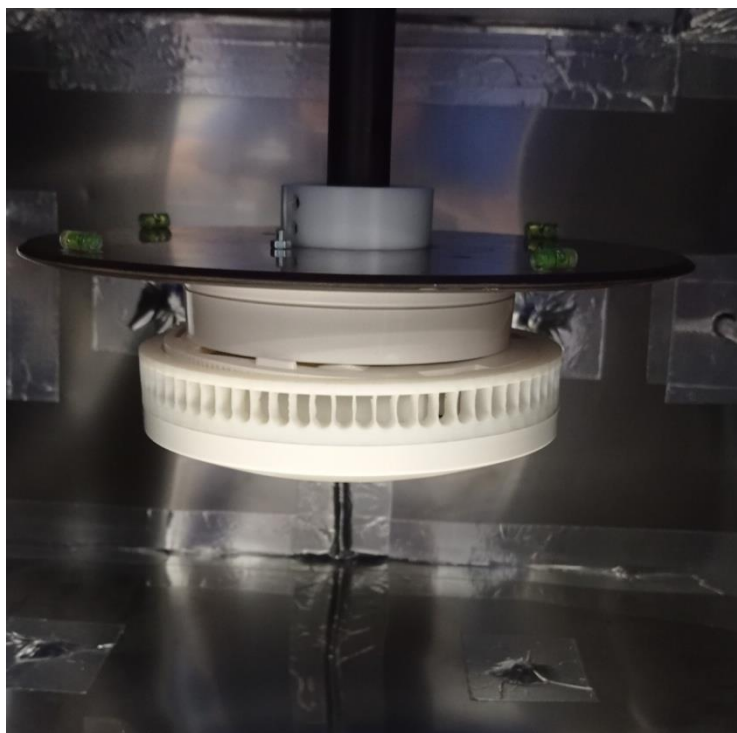


Σχήμα 6.12 Δοκιμή του ανιχνευτή καπνού και συλλογή δεδομένων

Degrees (Μοίρες)	Obscuration (Επισκόπιση)	Ratio (Αναλογία)
0	0.167	$\frac{Y_{max}+Y_{min}}{2} \leq 0.160$
45	0.153	
90	0.146	$\frac{0.167+0.132}{2} \leq 0.160$
135	0.145	
180	0.154	0.149 ≤ 0.160
225	0.141	
270	0.133	
315	0.158	

Πίνακας 6.1 Πίνακας δοκιμών κατεύθυνσης

## 6.5 Σύγκριση και επαλήθευση βελτιστοποιημένου ανιχνευτή καπνού



Σχήμα 6.13 Διάταξη δοκιμής κατεύθυνσης εσωτερική πλευρά (Βελτιστοποιημένη μορφή)

Degrees (Μοίρες)	Obscuration (Επισκόπηση)	Ratio (Αναλογία)
0	0.160	$\frac{Y_{max}+Y_{min}}{2} \leq 0.160$
45	0.147	
90	0.139	
135	0.140	$\frac{0.160+0.124}{2} \leq 0.160$
180	0.147	
225	0.134	0.142 ≤ 0.160
270	0.124	
315	0.153	

Πίνακας 6.2 Πίνακας δοκιμών κατεύθυνσης

Βάσει των δοκιμών που πραγματοποιήσαμε στους δύο ανιχνευτές καπνού και συγκρίνοντας τους πίνακες 6.1 και 6.2, διαπιστώσαμε ότι με τον βελτιστοποιημένο σχεδιασμό μπορούμε να επιτύχουμε ακόμα καλύτερα αποτελέσματα στην απόκριση του ανιχνευτή καπνού. Ο στόχος μας είναι να επιτύχουμε ένα χαμηλότερο όριο ανίχνευσης, έτσι ώστε να μπορούμε να πιστοποιήσουμε τον ανιχνευτή καπνού χωρίς αμφιβολία.

Ο βελτιστοποιημένος σχεδιασμός πιθανότατα περιλαμβάνει τη βελτίωση των αλγορίθμων ανίχνευσης, των παραμέτρων του συστήματος και του εξοπλισμού που χρησιμοποιούμε. Μπορεί να περιλαμβάνει επίσης τη βελτίωση των μεθόδων ελέγχου και αξιολόγησης της απόδοσης του ανιχνευτή. Με την επίτευξη ενός χαμηλότερου ορίου ανίχνευσης, ο ανιχνευτής καπνού θα είναι πιο ευαίσθητος και θα μπορεί να ανιχνεύει την παρουσία καπνού σε πιο χαμηλές συγκεντρώσεις. Αυτό θα μας επιτρέψει να πιστοποιήσουμε τον ανιχνευτή με μεγαλύτερη αξιοπιστία, καθώς θα μπορεί να ανιχνεύει ακόμα και τις πιο μικρές ποσότητες καπνού στο περιβάλλον.

Ο βελτιστοποιημένος σχεδιασμός μπορεί επίσης να περιλαμβάνει τη βελτίωση της απόκρισης του ανιχνευτή σε διάφορες συνθήκες, όπως θερμοκρασία, υγρασία και παρεμβολές από άλλες πηγές. Αυτό θα καταστήσει τον ανιχνευτή πιο αξιόπιστο και αποτελεσματικό στην ανίχνευση καπνού, ανεξάρτητα από τις συνθήκες λειτουργίας.

#### 6.6 Εγκυρότητα – πιστοποίηση ανιχνευτή καπνού

Για να διασφαλιστεί η ποιότητα και η αξιοπιστία του ανιχνευτή καπνού που κατασκευάστηκε για τα πειράματα, προσήλθε στη βοήθεια της υπηρεσίας πιστοποίησης BSI (British Standards Institution). Η BSI είναι μια ανεξάρτητη οργάνωση πιστοποίησης και προϊόντων πυρόσβεσης που διασφαλίζει την συμμόρφωση του εξοπλισμού και των προϊόντων με τα πρότυπα ασφάλειας.

Για τη δοκιμή και την πιστοποίηση του ανιχνευτή καπνού, εφαρμόστηκε το άρθρο 19 των προτύπων πυρασφάλειας για αυτόματο εξοπλισμό πυρανίχνευσης και συστήματα οπτικού συναγερμού. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής, ο ανιχνευτής τοποθετείται σε έναν θάλαμο πυρανίχνευσης και αξιολογείται η απόδοσή του.

Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε ένα πείραμα βαθμονόμησης του αισθητήρα ανίχνευσης καπνού. Αυτό σημαίνει ότι μελετήθηκε η αντίδραση του ανιχνευτή σε διάφορες συγκεντρώσεις καπνού και ελέγχθηκε η ευαισθησία του. Η πιστοποίηση απόδοσης του προϊόντος ολοκληρώθηκε μέσω δοκιμών λειτουργίας και μη λειτουργίας. Οι δοκιμές αυτές μετρούν την απόδοση του ανιχνευτή σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις καπνού και επιβεβαιώνουν ότι λειτουργεί σωστά και ευαισθητοποιείται σε περιπτώσεις καπνού.

#### Σύνοψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η βελτιστοποίηση ενός ανιχνευτή καπνού με την χρήση προχωρημένων τεχνικών. Στην αρχή σχεδιάστηκε ο ανιχνευτής καπνού έπειτα προσομοιώθηκε και στην συνέχεια έγινε διερεύνηση των δεδομένων ώστε να καταλήξουμε στην βέλτιστη σχεδίαση του ανιχνευτή και στην επαλήθευση του μέσω πειραματικών δοκιμών.

Πιο αναλυτικά πρώτα από όλα μελετήθηκε βιβλιογραφικά το αντικείμενο της μοντελοποίησης καπνού και της προσομοίωσης της φωτιάς. Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίσαμε ήταν πως μπορεί μια πιο σύνθετη γεωμετρία όπως είναι ένας ανιχνευτής καπνού να προσομοιωθεί. Η απάντηση ήρθε έπειτα από πολύ μεγάλη αναζήτηση τα περισσότερα λογισμικά είτε είναι προσανατολισμένα σε διαφορετικά θέματα από ότι αυτό που αναλύουμε είτε δεν δέχονται πολύπλοκες γεωμετρίες και αν δέχονται συνήθως χρειάζεται η προσθήκη μεγάλου κώδικα για την περιγραφή της γεωμετρίας. Η ανάπτυξη του μοντέλου έγινε με την χρήση ενός εμπορικού προγράμματος CAD, το SolidWorks. Η χρήση του SolidWorks δεν ήταν τυχαία καθώς το σχεδιαστικό πρόγραμμα περιλαμβάνει διάφορες πλατφόρμες επέκτασης όπως το SolidWorks Flow Simulation το οποίο έχει την δυνατότητα να προσομοιώνει απευθείας τα CAD μοντέλα χωρίς να χρειάζεται να τα περάσουμε από άλλο λογισμικό προσομοίωσης. Στην συνέχεια αφού δείξαμε πόσο σημαντική είναι η υπολογιστική δυναμική ρευστών και πόσο χρησιμοποιείτε στην σημερινή τεχνολογία προχωρήσαμε στην προσομοίωση του ανιχνευτή καπνού και σύμφωνα με την μέθοδο του σχεδιασμού των πειραμάτων (DOE) και την βοήθεια του λογισμικού MODDE εκτελέσαμε 27 πειράματα ( $3^3$  3 levels-3 Factors) αλλάζοντας κάθε φορά την γεωμετρία του ανιχνευτή καπνού και καταγράφοντας τα αποτελέσματα. Η καταγραφή αυτή τροφοδοτήθηκε στον αναλυτή των πειραμάτων του προγράμματος MODDE και έπειτα από μια σειρά διαφόρων σταδίων επιλέχθηκε μέσω του βελτιστοποιητή του προγράμματος η κατάλληλη γεωμετρία ώστε να επιτύχουμε τους

στόχους που είχαμε θέσει στον ανιχνευτή καπνού πχ μείωση στροβιλισμού. Αφού επιτεύχθηκε ο σκοπός αυτός εκτυπώθηκε από 3D Printer η βέλτιστη σχεδίαση του ανιχνευτή καπνού η οποία με την βοήθεια ενός ειδικού θαλάμου προσομοίωσης καπνού δοκιμάστηκε με βάση προτύπων και κανονισμού πιστοποίησης ανιχνευτών καπνού για την εξαγωγή αληθινών αποτελεσμάτων και απόδειξης των πειραματικών δεδομένων.

Μελλοντικές κατευθύνσεις και περαιτέρω ερευνητικές δοκιμές:

Μια μελλοντική επέκταση που θα μπορούσαμε να κάνουμε στην υπάρχουσα διπλωματική εργασία θα ήταν να εισάγουμε εκτός από το εξωτερικό περίβλημα του ανιχνευτή και την θαλάμη του καπνού και να εξετάσουμε μαζί ή και χωριστά τον σχεδιασμό ενός νέου ακόμα πιο αποδοτικού ανιχνευτή καπνού.

## Βιβλιογραφία

- [1] Fawad Khan , Zhiguang Xu,\*, Junling Sun, Fazal Maula Khan, Adnan Ahmed and Yan Zhao, Recent Advances in Sensors for Fire Detection, Review, 2023.
- [2] Juan Aponte Luis, Juan Antonio Gómez Galán, Javier Alcina Espigado, Article, OnTech Security LLC, Sevilla, Spain, Department Electronic Engineering, Computer Systems, and Automatics, University of Huelva, Spain, 2015.
- [3] Timothy Bo Yuan Chen, Anthony Chun Yin Yuen, Ivan Miguel De Cachinho Cordeiro, Hengrui Liu, Ruifeng Cao, Amy Ellison and Guan Heng Yeoh, School of Mechanical and Manufacturing Engineering, University of New South Wales, Sydney, Australia, Department of Architecture and Civil Engineering, City University of Hong Kong, 88 Tat Chee Avenue, Kowloon, Hong Kong, Australian Nuclear Science and Technology Organization (ANSTO), Lucas Heights, NSW 2234, Australia, Review, 2022.
- [4] CFD Direct The Architects of OpenFOAM, Notes on Computational Fluid Dynamics: General Principles, 2022.
- [5] Alex Guerrero and Robert Castilla., Aerodynamic Study of the Wake Effects on a Formula 1 Car, Department of Fluid Mechanics, Article, Universitat Politècnica de Catalunya,, Catalunya, Spain, 2020.
- [6] William W. Liou, PhD, Title: Fire Safety in Smart Building – 4D Fire and Smoke Simulation, Report, Mechanical and Aerospace Engineering Department Western Michigan University, 2018.
- [7] An Introduction to Flow Analysis Applications with SolidWorks Flow Simulation, Instructor Guide, pdf, 2010.
- [8] CFD computational domain definition <https://www.idealsimulations.com/resources/cfd-computational-domain/>
- [9] Malvina Roci , Minimizing Variation in Width and Height of Cutting Tool Inserts, Master's Thesis in Production Engineering and Management, Production Engineering and Management KTH Royal Institute of Technology Stockholm, August 2016
- [10] Alan R. Parkinson, Richard J. Balling, John D. Hedengren, Optimization Methods for Engineering Design, Brigham Young University, 2013.
- [11] Tomas Lindberg, An application of DOE in the evaluation of optimization functions in a statistical software, <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:393126/FULLTEXT01.pdf>
- [12] Manny Uy and Jacqueline K. Telford, Optimization by Design of Experiment Techniques, Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Article, 2009.