

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΑΠΟ ΔΙΑΡΡΟΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ
ΣΕ ΚΤΙΡΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΟΠΟΥΛΟΣ
ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής
Τουρλιδάκης Αντώνιος

ΚΟΖΑΝΗ 2004

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΑΠΟ ΔΙΑΡΡΟΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ
ΣΕ ΚΤΙΡΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ**

**ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΟΠΟΤΛΟΣ
ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ**

Α.Π.Θ. - ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
Αριθμ. Εισαγ.:.....1353
Ημερομηνία:.....4.11.04

Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής
Τουρλιδάκης Αντώνιος

ΚΟΖΑΝΗ 2004

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Πολυτεχνικού Τμήματος της Κοζάνης, Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων, για τις γνώσεις που μου προσέφεραν αυτά τα χρόνια μέσω των μαθημάτων. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Τουρλιδάκη Αντώνιο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος και Επιβλέπων Καθηγητή της διπλωματικής μου, για τη συνεργασία που είχαμε ώστε να φέρουμε εις πέρας το συγκεκριμένο σύγγραμμα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ. Σπύρο Λυσσούδη και κ. Γεώργιο Θεοδορίδη, υπεύθυνους του προγράμματος CFX για τις γνώσεις και τη φιλοξενία που μας προσέφεραν κατά τη διάρκεια του σεμιναρίου, πάνω στο υπολογιστικό πρόγραμμα CFX, όπου και εργαστήκαμε.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους συμφοιτητές μου, για την πολύτιμη συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης του προγράμματος CFX, για την περάτωση της εργασίας, καθώς και όλους τους φίλους μου.

Τέλος, ευχαριστώ εκ καρδιάς τους γονείς μου και όλη την οικογένεια μου για τη συμπαράσταση και την υποστήριξη τους στην περάτωση των σπουδών μου.

ΣΤΟΥΣ ΤΟΝΕΙΣ ΜΟΥ

ΣΤΗΝ ΑΔΕΛΦΗ ΜΟΥ

ΣΤΟΝ ΑΔΕΛΦΟ ΜΟΥ



KOZANH 2004

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1	Τι είναι το φυσικό αέριο!	4
1.2	Κύρια χαρακτηριστικά του φυσικού αερίου	5
1.3	Το ευρωπαϊκό δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου	6
1.4	Τα οφέλη του φυσικού αερίου	7
1.4.1	ΣΕΑ: Ένα "μέσο" για σωστές ενεργειακές αποφάσεις	8
1.5	Οι νέες τεχνολογίες και η πληθώρα πηγών φυσικού αερίου θα εξασφαλίσουν επαρκή ανεφοδιασμό	9
1.5.1	Οι τιμές αερίου θα παραμείνουν ανταγωνιστικές παρόλη την συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση	10
1.5.2	Η συνεχής αύξηση των πόρων και οι τεχνολογικές βελτιώσεις θα εξασφαλίσουν μακροπρόθεσμη σταθερότητα τιμών	10
1.6	Το Φυσικό αέριο ενδυναμώνει την ηλεκτρική ενέργεια στην Παραγωγή των μονάδων	11
1.6.1	Η χρησιμοποίηση του φυσικού αερίου αντί άλλων πηγών ενέργειας παρέχει πολλά εθνικά και καταναλωτικά οφέλη	12
1.6.2	Με την εφαρμογή των κατάλληλων πολιτικών, η χρήση φυσικού αερίου θα μπορούσε να αυξηθεί κατά 20 τοις εκατό	13
1.7	ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ: ΣΤΟΙΧΕΙΟ μιας ΚΑΘΑΡΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ	14
1.7.1	Φυσικό αέριο και σφαιρική αλλαγή κλίματος	15
1.7.2	Στατιστικά στοιχεία	17
1.8	ΕΚΡΗΞΗ ΑΕΡΙΟΥ ΣΕ ΜΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	19
1.8.1	Τι είναι μια έκρηξη αερίου	20
1.8.2	Ανάλυση και διαχείριση της ασφάλειας έκρηξης αερίου	23
1.9	Ατυχήματα Φυσικού Αερίου	26
1.9.1	Σχέδια για τα προσεχή έτη	29
2	Η τεχνολογία μπορεί να περιορίσει τα προβλήματα διαρροής αερίου	31
2.1	Η επιλογή των σωστών οργάνων μπορεί να μειώσει τη διαρροή αερίου κατά 60%	31
2.2	Αντισεισμικές βαλβίδες αυτόματου κλεισίματος	31
2.2.1	Απομακρυσμένος αισθητήρας	32
2.2.2	Φορητό όργανο ελέγχου	32
2.3	ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ	33
2.3.1	ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ	33
2.3.2	Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ	33
2.3.3	Ο ΣΤΟΧΟΣ ΜΑΣ	34
2.4	Εσωτερική ατμοσφαιρική ποιότητα και Συσκευές φυσικού αερίου μη εξαεριζόμενες	34
2.5	Γεγονότα ανίχνευσης και μέτρησης διαρροών by James E. Huebler	36
2.5.1	Έρευνα διαρροών	37
2.5.2	Νέες και παλαιές τεχνολογίες	38
2.5.3	Υπέρυθροι ανιχνευτές	39
2.5.4	Ανίχνευση ιονισμού φλογών	40
2.5.5	Ηχητική επισήμανση διαρροών	41
2.5.6	Τεχνικές ανίχνευσης φυσικού αερίου με τη μέτρηση ποσοστών ροών αέρα στα κτίρια	43
2.5.7	Τεχνικές ανίχνευσης φυσικού αερίου εν συγκρίσει με ποσοστά ροών αέρα σε εσωτερικούς χώρους	45
2.5.8	Μετρήσεις και συμπεράσματα ανίχνευσης φυσικού αερίου και των ποσοστών αέρα σε εσωτερικούς χώρους	46
3	ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ	49
	για την εγκατάσταση των συσκευών αερίου	49

3.1	Πεδίο Εφαρμογής	49
3.2	Συμμόρφωση με πρότυπα	50
3.3	Εγκατάσταση των συσκευών αερίου.....	50
3.3.1	Απαιτήσεις για συσκευές αερίου	50
3.3.2	Διάκριση των χώρων εγκατάστασης.....	51
3.3.3	Απαγορευμένοι χώροι εγκατάστασης.....	51
3.3.4	Απαιτήσεις για την εγκατάσταση	52
3.3.5	Εγκατάσταση συσκευών αερίου του τύπου Α.....	54
3.3.6	Εγκατάσταση συσκευών αερίου του τύπου Β.....	57
3.3.7	Εγκαταστάσεις συσκευών του τύπου C	64
3.4	Εγκατάσταση συσκευών αερίου σε λεβητοστάσιο.....	71
3.4.1	Προσαγωγή και απαγωγή αέρα	72
3.4.2	Μηχανική προσαγωγή και απαγωγή αέρα	73
3.4.3	Εγκατάστασης βάνας Λεβητοστασίου.....	73
4	Νόμοι και αρχές που διέπουν την Υπολογιστική Ρευστομηχανική.....	75
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	75
4.2	Μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων υπολογιστικής ρευστομηχανικής.....	76
4.3	Υπολογιστικά Σφάλματα	76
4.4	Θεμελίωση των Νόμων που διέπουν την ΡευστοΜηχανική.....	78
4.5	Τυρβώδης ροή	82
4.6	Στατιστική επεξεργασία κατά Reynolds.....	85
4.7	Διακριτοποίηση	91
4.7.1	Διακριτοποίηση στο χώρο.....	92
4.7.2	Διακριτοποίηση Διαφορικών Εξισώσεων.....	92
4.8	ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΑΕΡΙΟΥ.....	93
4.8.1	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ.....	93
4.8.2	ΑΣΥΜΠΤΕΣΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΔΙΑΡΡΟΗΣ.....	95
4.8.3	ΣΥΜΠΙΕΣΙΜΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΤΗΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ.....	97
4.8.4	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	99
5	Ανάλυση διαρροής φυσικού αερίου στην εγκατάσταση με το λογισμικό CFX.....	100
5.1	Πρόγραμμα Υπολογιστικής ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ CFX.....	100
5.2	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	100
5.3	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ.....	101
5.4	ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	101
5.5	ΕΠΙΛΥΣΗ.....	102
5.5.1	(CFX-Solver).....	102
5.5.2	Είδη μοντέλων	104
5.6	ΜΕΤ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	107
5.6.1	Επεξεργασία αποτελεσμάτων (CFX-Post):.....	107
5.7	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ.....	108
5.7.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	108
5.7.2	Γεωμετρία.....	108
5.7.3	ΠΛΕΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ (MESHING).....	109
5.7.4	ΠΡΟ- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (PRE-PROCESSING).....	113
5.7.5	ΕΠΙΛΥΣΗ (SOLVER CONTROL).....	116
5.7.6	ΜΕΤ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (POST-PROCESSING).....	118
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	136
6.1	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	136
7	Βιβλιογραφία	137

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Τι είναι το φυσικό αέριο!

Το φυσικό αέριο είναι ένα καύσιμο, αέριο μίγμα απλών ενώσεων υδρογονανθράκων, που βρίσκεται συνήθως στις βαθιές υπόγειες δεξαμενές που διαμορφώνονται από πορώδεις βράχους. Το φυσικό αέριο είναι απολιθωμένα καύσιμα που αποτελούνται σχεδόν εξ ολοκλήρου από το μεθάνιο, αλλά περιέχει και μικρά ποσά άλλων αερίων, συμπεριλαμβανομένου του αιθανίου, του προπανίου, του βουτανίου και του πεντανίου. Το μεθάνιο αποτελείται από ένα μόριο ενός ατόμου άνθρακα και τεσσάρων ατόμων υδρογόνου (**CH₄**).

Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται εκτενώς στις κατοικημένες, εμπορικές και βιομηχανικές περιοχές. Η χρήση του φυσικού αερίου αυξάνεται επίσης γρήγορα στην ηλεκτρική παραγωγή και στον κλιματισμό, και ως καύσιμο μεταφοράς.

Το φυσικό αέριο είναι τα καθαρότερο από τα απολιθωμένα καύσιμα, και παράγει πρώτιστα διοξείδιο του άνθρακα, υδρατμούς και μικρά ποσά οξειδίων του αζώτου. Άλλα απολιθωμένα καύσιμα είναι ο άνθρακας και το πετρέλαιο.

Η επικρατούσα επιστημονική θεωρία είναι ότι το φυσικό αέριο είχε διαμορφωθεί εκατομμύρια έτη πριν όταν θάφτηκαν τα φυτά και τα μικροσκοπικά ζώα της θάλασσας από την άμμο και τα βράχια. Στρώμα λάσπης, άμμου, βράχων, φυτών και ζωικών ιστών επικάθονταν μέχρι η πίεση και η θερμότητα της γης να τα μετατρέψει σε πετρέλαιο και φυσικό αέριο.

Το φυσικό αέριο, όπως άλλες μορφές ενέργειας θερμότητας, μετρείται στις βρετανικές θερμικές μονάδες, btu. Ένα btu είναι ισοδύναμο με τη θερμότητα που απαιτείται για να αυξήσει τη θερμοκρασία μιας λίβρας νερού κατά ένα βαθμό Fahrenheit στην ατμοσφαιρική πίεση.

Ένα κυβικό μέτρο (m³) του φυσικού αερίου έχει περίπου 1.027 btu. Το φυσικό αέριο πωλείται κανονικά από την πηγή στον τομέα παραγωγής στους αγοραστές, σε τυποποιημένες μετρήσεις όγκου, σε χιλιάδες κυβικά πόδια (Mcf). Εντούτοις, οι καταναλωτικοί λογαριασμοί μετρούνται συνήθως στο περιεχόμενο ή τους όρους θερμότητας. Ένας όρος θερμότητας είναι μια μονάδα θέρμανσης ίση με 100.000 Btu.

1.2 Κύρια χαρακτηριστικά του φυσικού αερίου

Το φυσικό αέριο είναι ορυκτό καύσιμο, άρα η διαθεσιμότητά του εξαρτάται από την επάρκεια των κοιτασμάτων (οι σημερινές προβλέψεις είναι για 50 - 80 χρόνια). Δεν πρέπει να σχετίζεται με υγραέριο βουτάνιο ή προπάνιο που είναι συνήθως παράγωγο καύσιμο από τα διυλιστήρια, επομένως η διαθεσιμότητά του εξαρτάται από την παραγωγική ικανότητα των διυλιστηρίων.

Το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα (σχετική πυκνότητα περίπου 0.55). Σε περίπτωση, επομένως διαρροής διαφεύγει προς την ατμόσφαιρα. Η Ανωτέρα Θερμογόνος Δύναμη του φυσικού αερίου κυμαίνεται από 9000 - 11000 Kcal/Nm³. Η Ανωτέρα Θερμογόνος Δύναμη του υγραερίου είναι υψηλότερη 23000 - 30000 Kcal/Nm³. Αυτό σε συνδυασμό με την διαφορετική σχετική πυκνότητα των δύο καυσίμων, σημαίνει ότι το φυσικό αέριο και το υγραέριο δεν είναι μεταξύ τους εναλλάξιμα, δηλαδή δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί το ένα σε καυστήρες που είναι σχεδιασμένοι για την καύση του άλλου.

Τα όρια ανάφλεξης του φυσικού αερίου είναι 4,5% - 15% (δηλαδή η καύση δεν μπορεί να διατηρηθεί εάν η περιεκτικότητα του αέρα σε φυσικό αέριο είναι εκτός αυτών των ορίων) ενώ του υγραερίου είναι 2% - 9,3%. Η τυπική σύσταση του φυσικού αερίου που εισάγεται στην Ελλάδα από την Αλγερία και τη Ρωσία φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

ΣΥΣΤΑΣΗ	ΡΩΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	ΦΥΣΙΚΟ	ΑΛΓΕΡΙΝΟ ΑΕΡΙΟ	ΦΥΣΙΚΟ
Περιεκτικότητα (% κ.ο.) σε :				
Μεθάνιο (C1)	98		91,2	
Αιθάνιο (C2)	0,6		6,5	
Προπάνιο (C3)	0,2		1,1	
Βουτάνιο (C4)	0,2		0,2	
Πεντάνιο (C5) και βαρύτερα	0,1		-	
Αζωτο (N2)	0,8		1,0	
Διοξείδιο του άνθρακα (CO2)	0,1		-	
Ανωτέρα Θερμογόνος Δύναμη	από 8,600 kcal/Nm ³ έως 9,200 kcal/Nm ³		από 9,640 kcal/Nm ³ έως 10,650 kcal/Nm ³	

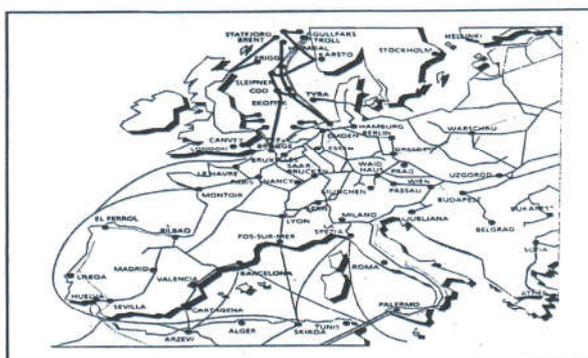
Το φυσικό αέριο δεν περιέχει στερεά σώματα.

Πίνακας 1-1

1.3 Το ευρωπαϊκό δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου

Η Δ. Ευρώπη καλύπτει τις ανάγκες της (1993) κατά 70 % από δυτικοευρωπαϊκές πηγές, όπου το 24 % των εισαγωγών προέρχεται από την Ολλανδία (ίδια κατανάλωση κατά 50%) και το 18 % από τη Νορβηγία. Το υπόλοιπο 31 % καλύπτεται από την ΚΑΚ μέσω δικτύου, από την Αλγερία με τάνκερ και τη Λιβύη μέσω υποθαλάσσιου δικτύου.

Από τη δεκαετία του 60 άρχισε να αναπτύσσεται ένα πυκνό διευρωπαϊκό δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου, το οποίο έχει πλέον ξεπεράσει τις 700.000 km. Το συνδεδεμένο αυτό δίκτυο καθιστά δυνατή την εκμετάλλευση των πλέον διαφορετικών πηγών παραγωγής, τη διαφοροποίηση των οδών προμήθειας και τις διεθνείς ανταλλαγές σε περιόδους στενότητας διάθεσης. Συνδέει ακόμη και πηγές εκτός της ευρωπαϊκής ενδοχώρας, όπως π.χ. πηγές στη Β. Θάλασσα, στη Β. Αφρική και στη Σιβηρία, (σχήμα-26), ενώ επεκτείνεται συνεχώς. Εκτός της μεταφοράς μέσω αγωγών, φυσικό αέριο μεταφέρεται υγροποιημένο με τάνκερ σε ειδικούς τερματικούς σταθμούς, όπου βρίσκονται εγκαταστάσεις αποθήκευσης υγροποιημένου φυσικού αερίου, το οποίο στη συνέχεια εξαερώνεται και προσάγεται στο δίκτυο



Εικόνα 1-1 Το διευρωπαϊκό δίκτυο μεταφοράς φυσικού αερίου

1.4 Τα οφέλη του φυσικού αερίου

Η χρησιμοποίηση του φυσικού αερίου αντί άλλων καυσίμων μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση διάφορων περιβαλλοντικών εκπομπών, όπως — το αέριο του θερμοκηπίου, την όξινη βροχή, την αιθαλομίχλη, τα στερεά απόβλητα και τη ρύπανση των υδάτων. Όταν το φυσικό αέριο καίγεται, δεν παράγει ουσιαστικά καμία εκπομπή διοξειδίου του θείου ή χαμηλότερα μοριακά επίπεδα αερίων του "θερμοκηπίου" και οξειδίων αζώτου από τέτοιες ανταγωνιστικές πηγές ενέργειας όπως το πετρέλαιο και τον άνθρακα.

Επιπλέον, αντίθετα από το πετρέλαιο, τον άνθρακα και τις πυρηνικές διαδικασίες, η διαδικασία φυσικού αερίου δεν παράγει ουσιαστικά κανένα στερεό απόβλητο και ασκεί πολύ λιγότερη επίδραση στην ποιότητα νερού. Η έμφυτη καθαρότητα του φυσικού αερίου σε σύγκριση με εκείνη των άλλων καυσίμων, που συνδέεται με την υψηλή αποδοτικότητα του εξοπλισμού φυσικού αερίου, σημαίνει ότι η αντικατάσταση του αερίου για τα άλλα καύσιμα μπορεί να βοηθήσει να μειώσει την εκπομπή των ατμοσφαιρικών ρύπων που παράγουν την αιθαλομίχλη και την όξινη βροχή και που θα μπορούσαν να επιδεινώσουν την επίδραση στο φαινόμενο του "θερμοκηπίου".

Το σύστημα φυσικού αερίου είναι πολύ αποδοτικό ενεργειακά όπως είναι οι περισσότεροι τύποι συσκευών και εξοπλισμών που λειτουργούν στο φυσικό αέριο. Η ενεργειακή αποδοτικότητα αναφέρεται στην ενεργειακή εισαγωγή της παραγωγής ανά μονάδα χρήσιμης ενέργειας. Με άλλα λόγια, η ενεργειακή αποδοτικότητα μετρά πόση ενέργεια χρησιμοποιείται ή χάνεται στην παροχή τέτοιων πραγμάτων όπως το καυτό νερό, τον ατμό, το θερμό ή δροσερό αέρα.

Όσο υψηλότερη η ενεργειακή αποδοτικότητα, τόσο μεγαλύτερη η συντήρηση της ενέργειας και τόσο χαμηλότερες οι περιβαλλοντικές επιδράσεις. Όταν ολόκληρος ο κύκλος της παραγωγής, της επεξεργασίας, της μεταφοράς και της χρησιμοποίησης της ενέργειας εξετάζεται, το φυσικό αέριο παραδίδεται στον καταναλωτή με μια "συνολική ενεργειακή αποδοτικότητα" περίπου 90 τοις εκατό, έναντι περίπου 27 τοις εκατό για την ηλεκτρική ενέργεια. Επιπλέον, οι συσκευές αερίου και ο εξοπλισμός είναι εξαιρετικά αποδοτικοί όπως αποδεικνύονται από το γεγονός ότι η οικιακή χρήση του αερίου ανά πελάτη είναι περίπου 16 τοις εκατό λιγότερο σήμερα από ότι ήταν το 1980. Το φυσικό αέριο είναι η πιο οικονομική ενεργειακή επιλογή.

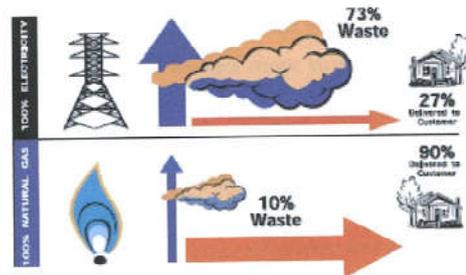
Το φυσικό αέριο είναι συνήθως η πιο οικονομική διαθέσιμη μορφή ενέργειας ανεξάρτητα από τα ανταγωνιστικά καύσιμα που μετριούνται κατά, τη σχετική εφαρμογή ή τη γεωγραφική θέση του καταναλωτή. Παραδείγματος χάριν, η χρησιμοποίηση των τιμών ενέργειας του 1999 που δημοσιεύονται από το Τμήμα Ενέργειας, που θερμαίνει ένα σπίτι μέσου μεγέθους σε ένα μέτριο κλίμα κοστίζει 5 τοις εκατό λιγότερη θερμότητα με το αέριο από ό,τι με το πετρέλαιο θέρμανσης και 33 τοις εκατό λιγότερο απ' ό,τι με μια ηλεκτρική αντλία θερμότητας. Ομοίως, η χρησιμοποίηση του αερίου για θέρμανση οικιακού νερού έχει το μισό κόστος από ότι αν χρησιμοποιούσαμε την ηλεκτρική ενέργεια. Ακόμη και με τα αυξανόμενα επίπεδα απαίτησης, το αέριο θα παραμείνει το πιο ανταγωνιστικό.

1.4.1 ΣΕΑ: Ένα "μέσο" για σωστές ενεργειακές αποφάσεις

Η έννοια της ενεργειακής αποδοτικότητας συχνά εφαρμόζεται μόνο στην αποδοτικότητα ενός συγκεκριμένου προϊόντος, όπως ένας λέβητας, ένας φούρνος ή ένας στρόβιλος. Μια πιο ρεαλιστική μέτρηση της ενεργειακής αποδοτικότητας λαμβάνει υπόψη όλη την ενέργεια που χρησιμοποιείται ή που χάνεται στα βήματα παραγωγής, επεξεργασίας και παράδοσης που περιλαμβάνονται στην παροχή της ενέργειας για να δοθεί στα εργοστάσια, τις επιχειρήσεις, στα σπίτια και οχήματα, συν την αποδοτικότητα του ίδιου του προϊόντος ενέργειας. Η μέτρηση της αποδοτικότητας ολόκληρου του ενεργειακού κύκλου από την παραγωγή μέσω της πραγματικής χρήσης καλείται "συνολική ενεργειακή αποδοτικότητα," ή ΣΕΑ. Η διαφορά που κάνει το ΣΕΑ μπορεί να εμφανιστεί σε έναν οικιακό θερμοσίφωνα.

Ένας ηλεκτρικός θερμοσίφωνα μπορεί να θεωρηθεί "90 τοις εκατό ενεργειακά αποδοτικός." Στην πραγματικότητα, εντούτοις, μόνο περίπου 27 τοις εκατό της ενέργειας που περιλαμβάνεται στον άνθρακα, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο ή το ουράνιο που χρησιμοποιούνται για να παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια που διατρέχει το θερμοσίφωνα φθάνουν πραγματικά στον εξοπλισμό σε μια χρήσιμη μορφή. Με άλλα λόγια, περίπου 73 τοις εκατό της ενέργειας "χάνονται," συνήθως στο στάδιο της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Αφ' ετέρου, με τη χρησιμοποίηση της μέτρησης του ΣΕΑ, το φυσικό αέριο παραδίδεται στους καταναλωτές με μια συνολική ενεργειακή αποδοτικότητα κατά προσέγγιση 90 τοις εκατό.

Το φυσικό αέριο είναι καθαρότερο και αποδοτικότερο από την Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από κάρβουνο ή λιγνίτη.



Εικόνα 1-2

1.5 Οι νέες τεχνολογίες και η πληθώρα πηγών φυσικού αερίου θα εξασφαλίσουν επαρκή ανεφοδιασμό.

Η δεκαετία του '90 έχει καταδείξει την απέραντη και διαφορετική φύση της βάσης των πόρων αερίου. Περαιτέρω, η βάση των πόρων συνεχίζει "να επεκτείνεται" —οι εκτιμήσεις του μεγέθους της είναι μεγαλύτερη σήμερα από,τι στις αρχές της δεκαετίας του '90 παρά το γεγονός ότι το έθνος κατανάλωσε περισσότερα από 150 τρισεκατομμύρια κυβικά πόδια (Tcf) του αερίου από τη βάση των πόρων κατά τη διάρκεια εκείνης της δεκαετίας. Μερικές πηγές σημερινού ανεφοδιασμού αερίου, όπως το μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων, δεν ήταν ακόμη αναγνωρίσιμα ακόμη και 10 έως 15 έτη πριν. Τώρα, το μεθάνιο από κοιτάσματα γαιανθράκων, που δεν περιλήφθηκε στις περισσότερες εκτιμήσεις βάσεων ως πόρος πριν από το 1988, αποτελεί 6 τοις εκατό της εσωτερικής παραγωγής αερίου.

Ο τεράστιες τεχνολογικές πρόοδοι στην εξερεύνηση και την παραγωγή φυσικού αερίου επίσης έχουν εμφανιστεί στα προηγούμενα 10 έτη, συμπεριλαμβανομένης της τρισδιάστατης σεισμολογίας, της οριζόντιας διάτρησης και τις αναρίθμητες, σχετικές με υπολογιστή, σημαντικές ανακαλύψεις. Οι παρόμοιες πρόοδοι απαιτούνται, και αναμένονται για να πραγματοποιηθούν, κατά τη διάρκεια των επόμενων 20 ετών για να επιτευχθεί το επίτευγμα του προβαλλόμενου επιπέδου απαίτησης αερίου των 35 quads. Με τέτοιες προόδους, η εσωτερική παραγωγή αερίου μπορεί να αυξηθεί από τα σημερινά 19 quads σε περισσότερα από 29 quads το 2020.

1.5.1 Οι τιμές αερίου θα παραμείνουν ανταγωνιστικές παρόλη την συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση.

Ο κανονισμός τιμών του φυσικού αερίου έπαψε να ισχύει μια δεκαετία πριν. Από το 1987 ως το 1999, η τιμή του αερίου που παραδόθηκε στους καταναλωτές αυξήθηκε κατά μόνο 3 τοις εκατό ενώ οι τιμές διάθεσης στην κατανάλωση γενικά αυξήθηκαν κατά 36 τοις εκατό. Κατά συνέπεια, οι τιμές φυσικού αερίου έχουν μειωθεί σημαντικά " σε πραγματικό " ή σύμφωνα με τον πληθωρισμό, κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου άρσης των ελέγχων. Ο κύριος παράγοντας σε αυτήν την πτώση ήταν η σταθερή προς τα κάτω μετακίνηση στο κόστος μέσω των συστημάτων σωληνώσεων. Αυτή η μετακίνηση προς τα κάτω αποδίδεται στα κέρδη αποδοτικότητας που έχουν μειώσει το κόστος του τμήματος μετάδοσης και διανομής της υπηρεσίας αερίου κατά 35 τοις εκατό. Η τιμή εξόρυξης του αερίου επίσης έχει μειωθεί, κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, ακόμα κι αν η διακύμανση των τιμών πηγών ήταν πιο ασταθής και πρόσφερε λιγότερα από τη μετακίνηση του τμήματος μετάδοσης και διανομής. **Μπορεί να κοστίζει ένα τρίτο λιγότερο για να θερμανθεί το ίδιο σπίτι με το φυσικό αέριο από ό,τι με μια ηλεκτρική αντλία θερμότητας.**

1.5.2 Η συνεχής αύξηση των πόρων και οι τεχνολογικές βελτιώσεις θα εξασφαλίσουν μακροπρόθεσμη σταθερότητα τιμών.

Ένας από τους κύριους λόγους για αυτό είναι ότι οι ειδικοί στις προβλέψεις τείνουν να υιοθετήσουν μια μέθοδο εφαρμοσμένης μηχανικής στην ποσολόγηση της βάσης των πόρων αερίου. Υποθέτουν ότι η αρχική τους πρόβλεψη για τις βάσεις των πόρων είναι ακριβής, και επομένως, κατά τη διάρκεια του χρόνου, αυτή η βάση των πόρων θα μειωθεί, ωθώντας τις τιμές επάνω. Στην πραγματικότητα, όλες οι εκτιμήσεις της βάσης των πόρων αερίου που εκτελείται κατά τη διάρκεια του χρόνου από τους ίδιους εκτιμητές και η χρησιμοποίηση των ίδιων μεθόδων έχουν αυξηθεί, συχνά εντυπωσιακά. Οι εκτιμήσεις των πόρων τείνουν να επηρεάσουν σημαντικά τις προβλέψεις τιμών.



Παραδείγματος χάριν, η NPC's πρόσφατα απελευθερωμένη εργασία δείχνει ότι εάν η εκτίμηση των πόρων της αυξηθεί στα 260 quads, η εκτίμηση τιμών αερίου του 2010 θα μειωνόταν περίπου 0.9€ ανά MMBtu — μια μείωση κατά προσέγγιση του ενός τρίτου. Κατά τρόπο ενδιαφέροντα, η NPC's για το 1999 η εκτίμηση των πόρων ήταν 176 quads μεγαλύτερη από την εκτίμηση του 1992, και 304 quads μεγαλύτερη λαμβάνοντας υπόψη τα 128 quads που παρήγαγε

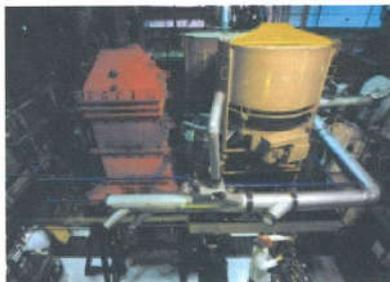
από την εκτίμηση του 1992. Επιπλέον, οι ειδικοί στις προβλέψεις δεν είχαν υπολογίσει τον αντίκτυπο των νέων τεχνολογιών στην εξερεύνηση, την παραγωγή, την μεταφορά και τη χρήση αερίου. Η NPC υπολογίζει ότι εάν είχε υιοθετήσει ένα υψηλότερο ποσοστό τεχνολογικής βελτίωσης για την παραγωγή αερίου η εκτίμηση τιμών αερίου του 2010 θα μειωνόταν από 0.3€ — περίπου 10 τοις εκατό.

1.6 Το Φυσικό αέριο ενδυναμώνει την ηλεκτρική ενέργεια στην Παραγωγή των μονάδων

Λόγω των μεγάλων οικονομικών και των περιβαλλοντικών οφελών, το φυσικό αέριο έχει γίνει το καύσιμο της επιλογής για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στη δεκαετία του '90, υπήρξε μια δραματική μετατόπιση στο φυσικό αέριο για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Ο άνθρακας και οι πυρηνικές παραγωγικές εγκαταστάσεις ήταν η σαφής επιλογή των αρμόδιων για το σχεδιασμό ηλεκτρικής χρησιμότητας στη δεκαετία του '70 και τη δεκαετία του '80, αλλά ένας συνδυασμός οικονομικών, περιβαλλοντικών και τεχνολογικών παραγόντων έχει οδηγήσει σε μια έντονη μετακίνηση στο αέριο. Στην πραγματικότητα, ουσιαστικά όλη η νέα παραγωγική ικανότητα που προστίθεται σήμερα θα στηριχθεί στο αέριο. Η τεχνολογία με γκάζι είναι η συντριπτική επιλογή σε αυτές τις νέες παραγωγικές εγκαταστάσεις.

Οι εγκαταστάσεις συνδυασμένου κύκλου προσφέρουν την εξαιρετικά υψηλή αποδοτικότητα, την καθαρή λειτουργία, τις χαμηλές κύριες δαπάνες και τους πιο σύντομους χρόνους κατασκευής. Η αποδοτικότητα των μονάδων συνδυασμένου κύκλου πλησιάζει τώρα το 60 τοις εκατό έναντι το 34 τοις εκατό αποδοτικότητας για τις παραδοσιακές μονάδες λεβήτων ανεξάρτητα από την πηγή καυσίμων. Η υψηλότερη αποδοτικότητα σημαίνει τους χαμηλότερους λογαριασμούς καυσίμων και τη λιγότερη ρύπανση.



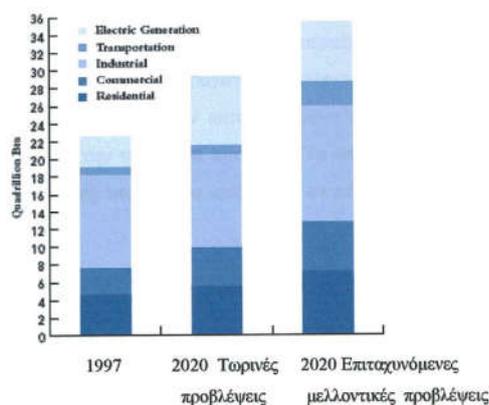
Παραδείγματος χάριν, η αντικατάσταση μιας μονάδας παραγωγής άνθρακα με μια εγκατάσταση συνδυασμένου κύκλου με αέριο θα μπορούσε να αποβάλει τις εκπομπές διοξειδίου του θείου (η αρχική αιτία της όξινης βροχής), να μειώσει το διοξείδιο του άνθρακα (το κύριο αέριο θερμοκηπίου) κατά τα δύο τρίτα και να μειώσει τα οξείδια αζώτου (η αρχική αιτία της αιθαλομίχλης) κατά τουλάχιστον 95 τοις εκατό. Επίσης, όχι μόνο είναι η χρονική ανοχή για την κατασκευή μιας μονάδας συνδυασμένου κύκλου πιο σύντομη από αυτή των νέων εγκαταστάσεων με κάρβουνο, αλλά η κατασκευή μπορεί να εφαρμοστεί σε μια μικρότερη έκταση. Έτσι αντί να κατασκευάσουν μια μονάδα άνθρακα ή την πυρηνική μονάδα σήμερα και με την ελπίδα ότι η προβλεπόμενη απαίτηση για την ηλεκτρική ενέργεια θα αυξηθεί, οι μικρότερες μονάδες αερίου μπορούν να κατασκευαστούν σαν εγγύηση —χωρίς τις οικονομικές ποινικές ρήτρες που συνδέονται με την οικοδόμηση μικρών μονάδων άνθρακα ή των πυρηνικών εγκαταστάσεων.

Η κατανάλωση αερίου από τις παραγωγικές εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας θα διπλασιαστεί κατά τη διάρκεια των επόμενων 20 ετών, αν και η αύξηση μπορεί να είναι χαμηλότερη από την προβλεπόμενη από μερικούς ειδικούς στις προβλέψεις. Η κατανάλωση αερίου στις παραγωγικές εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας των κεντρικών σταθμών (συμπεριλαμβανομένων των εγκαταστάσεων ηλεκτρικής χρησιμότητας και των ανεξάρτητων παραγωγών ενέργειας) είναι αυτήν την περίοδο 3.3 quads ετησίως. Η επιταχυνόμενη ανάγκη για ενέργεια δείχνει ότι η κατανάλωση θα αυξηθεί πάνω από το διπλάσιο μέχρι το 2020 – σε 6.7 quads ετησίως.

1.6.1 Η χρησιμοποίηση του φυσικού αερίου αντί άλλων πηγών ενέργειας παρέχει πολλά εθνικά και καταναλωτικά οφέλη.

Αντικαθιστώντας με το φυσικό αέριο, πρώτιστα για την ηλεκτρική ενέργεια, τον άνθρακα και το πετρέλαιο, οι βοήθειες διευκολύνουν διάφορες περιβαλλοντικές ανησυχίες, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών αερίου θερμοκηπίου, την όξινη βροχή, την αιθαλομίχλη, τα στερεά απόβλητα και τη ρύπανση των υδάτων. Το 2020, παραδείγματος χάριν, οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα, το κύριο αέριο του "θερμοκηπίου", θα μειώνονταν από κατ' εκτίμηση 930 εκατομμύρια τόνους ετησίως εάν η αυξανόμενη χρήση του φυσικού αερίου συνεχιστεί. Η χρήση του φυσικού αερίου μειώνει επίσης την εξάρτηση στο εισαγόμενο πετρέλαιο. Περαιτέρω, λόγω της υψηλής αποδοτικότητας του συστήματος φυσικού αερίου και των συσκευών φυσικού αερίου, η κατανάλωση ενέργειας είναι 6 τοις εκατό χαμηλότερα σε όλες τις περιπτώσεις.

Προβλέψεις κατανάλωσης φυσικού αερίου



1.6.2 Με την εφαρμογή των κατάλληλων πολιτικών, η χρήση φυσικού αερίου θα μπορούσε να αυξηθεί κατά 20 τοις εκατό.

Με την εξέλιξη των προγραμμάτων, η κατανάλωση φυσικού αερίου το 2020 θα είναι περισσότερη από 35 quads ετησίως, σχεδόν 6 quads επάνω από την απαιτούμενη πρόβλεψη. Σχεδόν η μισή από την αύξηση έρχεται στις κατοικίες και στους εμπορικούς τομείς, όπου περισσότεροι νέοι πελάτες επιλέγουν το φυσικό αέριο και περισσότεροι υπάρχοντες πελάτες μεταπηδούν από άλλα καύσιμα στο φυσικό αέριο. Αυτό το σενάριο παρουσιάζει επίσης συνεχή επέκταση στο ποσοστό φυσικού αερίου που πωλείται για τις σχετικά νέες εφαρμογές, όπως οι κατοικημένες εστίες αερίου και τα εμπορικά συστήματα ψύξης αερίου.

Επιπλέον, η διανεμημένη παραγωγή υπό μορφή εναλλασσόμενων μηχανών, στροβίλων, μικροϋπολογιστών και καυσίμων κυττάρου για οχήματα, αποτελούν κατά προσέγγιση 20 τοις εκατό όλης της νέας παραγωγικής ικανότητας ηλεκτρικής ενέργειας. Η βιομηχανική ζήτηση φυσικού αερίου θα μπορούσε να αυξηθεί κατά τη διάρκεια των επόμενων 20 ετών περίπου 2,5 quads, που συνεχίζει τη σημαντική αύξηση των προηγούμενων 10 έως 15 ετών. Ο ιδιαίτερα αποδοτικός εξοπλισμός θέρμανσης και ψύξης



συνεχίζει να εξελίσσεται, επιτρέποντας στο φυσικό αέριο να παραμείνει μια κυρίαρχη πηγή ενέργειας.

Αν και η κατανάλωση φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται από τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας κεντρικών σταθμών για να παραγάγει την ηλεκτρική ενέργεια διπλασιάζεται περισσότερο απ' ό,τι μέχρι το 2020 κάτω από την επιταχυνόμενη περίπτωση, είναι περίπου 1 τετράγωνο λιγότερο απ' ό,τι κάτω από την τρέχουσα προβολή. **Το φυσικό αέριο θα παραμείνει ένα κυρίαρχο καύσιμο για παραγωγική ικανότητα ακόμα κι αν κάποια νέα εφεύρεση βρεθεί που να βασίζεται στον άνθρακα.**

1.7 ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ: ΣΤΟΙΧΕΙΟ μιας ΚΑΘΑΡΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

α) Το φυσικό αέριο μπορεί να αντικαταστήσει τον άνθρακα και το πετρέλαιο αμέσως και να επιβραδύνει την αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, αλλά το αέριο δεν μπορεί μόνο να αποβάλει τη μακροπρόθεσμη απειλή της σφαιρικής αλλαγής κλίματος. Η ανανεώσιμη ενέργεια πρέπει να διαδραματίσει έναν αυξανόμενο ρόλο σε εκείνη την διαδικασία και, τελικά, τον κυρίαρχο ρόλο.

Μια βιομηχανία ανανεώσιμης ενέργειας ικανή για να τροφοδοτήσει τα δισεκατομμύρια των ανθρώπων δεν θα αναπηδήσει στη ζωή μας σε μια μέρα. Θα απαιτήσει μια εκτεταμένη περίοδο συνεχούς και ταχείας ανάπτυξης. Σαν ανταγωνιστής, το αέριο αποτελεί τρομερή απειλή για αύξηση μη αποδεκτή από τις Ηνωμένες Πολιτείες και μερικές άλλες περιοχές. Συγχρόνως, εντούτοις, το φυσικό αέριο μπορεί να παρέχει μια φτηνή και εύλογα καθαρή ενέργεια στο μέλλον.

Η πρόκληση είναι να χρησιμοποιηθεί το αέριο όχι ακριβώς όπως μια συσκευή στις σκληρές πολιτικές και οικονομικές αποφάσεις καθυστέρησης αλλά ως τρόπο να προετοιμαστεί για την επόμενη γενιά των ενεργειακών τεχνολογιών.

1.7.1 Φυσικό αέριο και σφαιρική αλλαγή κλίματος

Το φυσικό αέριο διαδραματίζει έναν πιο σύνθετο ρόλο στη σφαιρική αλλαγή κλίματος. Αυτή η απειλή προκύπτει από τις αυξανόμενες εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου, μια κατηγορία ατμοσφαιρικών ουσιών που επιτρέπουν στο φως του ήλιου για να φθάσουν στη γήινη επιφάνεια αλλά μερικώς εμποδίζουν την ακτινοβολία της γήινης θερμότητας πίσω στο διάστημα. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι το κύριο αέριο θερμοκηπίου, και η καύση των απολιθωμένων καυσίμων είναι η αρχική πηγή εκπομπών του CO₂ λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας. Από ένα προβιομηχανικό επίπεδο 280 μερών ανά εκατομμύριο όγκου (ppmv), η ατμοσφαιρική συγκέντρωση του αερίου έχει ανέλθει στα 350 ppmv. Κάτω από την υπάρχουσα ενεργειακή πολιτική, οι εμπειρογνώμονες αναμένουν για να αυξηθούν καθ' όλη τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα.

Όταν καίγεται, το φυσικό αέριο εκπέμπει περίπου 14 χιλιόγραμμα του CO₂ ανά gigajoule της παραγόμενης ενέργειας (kg/GJ): το πετρέλαιο και ο άνθρακας εκπέμπουν περίπου 20 και 25 kg/GJ αντίστοιχα. Η υψηλότερη αποδοτικότητα των γεννητριών που χρησιμοποιούν αέριο καύσιμο ενισχύουν το φυσικό πλεονέκτημα των καυσίμων. Ένα σύστημα με φυσικό αέριο, συνδυασμένου κύκλου με αποδοτικότητα 48% απελευθερώνει μόνο το μισό CO₂ συμβατικών εγκαταστάσεων άνθρακα της ίδιας ικανότητας και μικρότερης αποδοτικότητας 38%. Η συμπαραγωγή αερίου, που συλλαμβάνει τη θερμότητα των αποβλήτων για τις οικιακές ή βιομηχανικές χρήσεις, αποδίδει ακόμα καλύτερα.

Εντούτοις, υπάρχει μια περιπλοκή. Το φυσικό αέριο αποτελείται κατά ένα μεγάλο μέρος από το μεθάνιο (CH₄), το οποίο αποτελεί αέριο θερμοκηπίου, ισχυρότερο από το CO₂. Η Παγκόσμια Τράπεζα υπολογίζει ότι εάν εγκαταστάσεις αερίου χάνουν το 3% του ανεφοδιασμού τους στην ατμόσφαιρα, χάνεται το πλεονέκτημα που έχει σε σχέση με τον άνθρακα. Όμως, οι εμπειρογνώμονες διαφωνούν για τη διαρροή από το σύστημα σωληνώσεων, ότι ανέρχεται βεβαίως σε λιγότερο από 3%. Εντούτοις, αν υπήρχε καλύτερη διατήρηση στο σύστημα σωληνώσεων οι διαρροές θα ήταν πολύ μικρότερες. Το πρόσφατο αδημοσίευτο στοιχείο από τους ρωσικούς ερευνητές ενημερώνει ότι το ρωσικό σύστημα αερίου διαρρέει 35 εκατομμύρια μετρικούς τόνους του μεθανίου ετησίως, που υπονοούν τη διαρροή 9% σε ρυθμό απόδοσης.

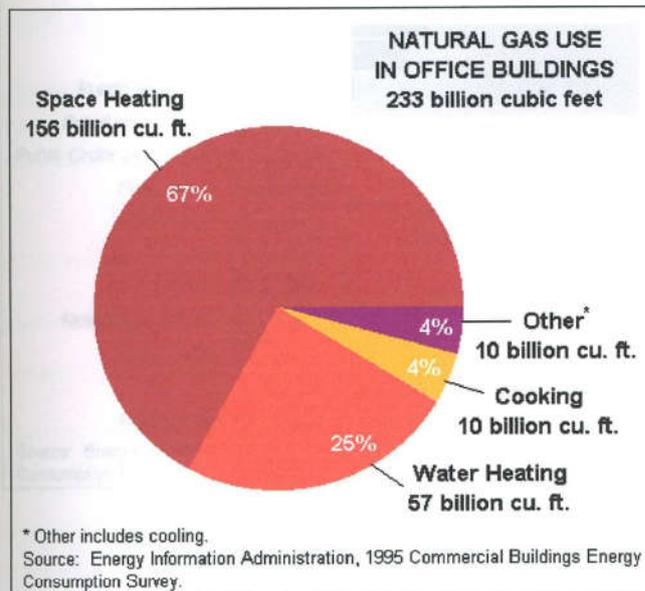
Από δύο απόψεις, εντούτοις, η διαρροή μεθανίου από τη βιομηχανία φυσικού αερίου παρουσιάζει ένα πρόβλημα θερμοκηπίου λιγότερο σοβαρό από τις εκπομπές του CO₂. Κατ' αρχάς, δεν υπάρχει κανένα τεχνικό μυστήριο σχετικά με τα απαραίτητα μέτρα μείωσης της διαρροής αερίου. Η εφαρμογή τέτοιων ελέγχων στο απέραντο ρωσικό σύστημα σωληνώσεων μπορεί να είναι

ακριβή, αλλά ένα πιο αυστηρό σύστημα θα κατελάμβανε επίσης ένα μεγάλο και άμεσο εμπορικό όφελος.

Δεύτερον, το μεθάνιο παραμένει στην ατμόσφαιρα για σχετικά μικρό χρονικό διάστημα – περίπου δώδεκα έτη-που συγκρίνεται με 50 έως 200 έτη για το CO₂. Ακόμη και στις μεγάλες περιπτώσεις ανεφοδιασμού, τα αποθέματα παγκόσμιου φυσικού αερίου θα υπάρχουν μέχρι τις τελευταίες δεκαετίες του επόμενου αιώνα και το φαινόμενο του θερμοκηπίου και της διαρροής μεθανίου κατά τη διάρκεια της χρησιμοποίησης του αερίου θα μειωθεί. Η διαρροή επομένως θα ασκήσει μικρή επίδραση στη μακροπρόθεσμη σφαιρική θερμοκρασία. Ο κύριος κίνδυνος, έπειτα, είναι ότι η διαρροή μεθανίου θα προκαλούσε μια γρηγορότερη άνοδο στη θερμοκρασία στο εγγύς μέλλον, κάτι που μειώνει το διαθέσιμο χρόνο στους ανθρώπους και στα άλλα είδη για να προσαρμοστούν σε μια θερμότερη ατμόσφαιρα.

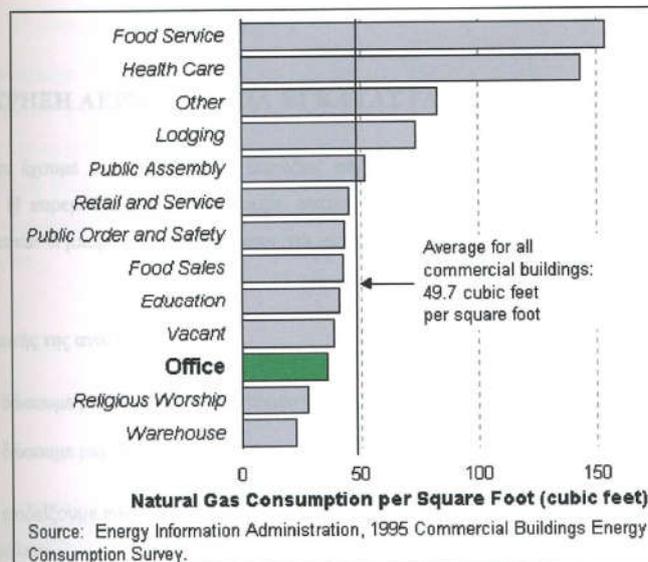
Οι επιστήμονες, οι σχεδιαστές πολιτικής και οι βιομήχανοι διαφωνούν πέρα από ποιο όριο στην ατμοσφαιρική συγκέντρωση του CO₂ πρέπει να δοθεί μια λογική πολιτική κλίματος. Μερικοί αρνούνται ακόμα την ανάγκη για οποιοδήποτε τέτοιο όριο (και οποιαδήποτε πολιτική). Εντούτοις, η συζήτηση στρέφεται συχνά σε ένα ανώτατο όριο 550 ppmv, που είναι δύο φορές το προβιομηχανικό επίπεδο. Ο αριθμός αντιπροσωπεύει έναν πολιτικό συμβιβασμό μεταξύ πολλών συγκρουόμενων ανησυχιών, και ειδικότερα τις διαμαρτυρίες μερικών κυβερνητικών οικονομολόγων και ορισμένων βιομηχανικών ενδιαφερόντων, ότι ένας πιο φιλόδοξος στόχος θα κατακρήμιζε τον οικονομικό όλεθρο.

1.7.2 Στατιστικά στοιχεία



Εικόνα 1-3

Τα κτίρια γραφείων χρησιμοποιούν 233 δισεκατομμύρια κυβικά πόδια (ή 239 τρισεκατομμύρια btu) του φυσικού αερίου ετησίως. Η πλειοψηφία αυτού του φυσικού αερίου χρησιμοποιείται για τη θέρμανση χώρου και τη θέρμανση ύδατος. Η ένταση φυσικού αερίου (μόνο για τα κτίρια που χρησιμοποιούν το φυσικό αέριο) στα κτίρια γραφείων είναι 36,6 btu ανά τετραγωνικό πόδι, ένα από το χαμηλότερα μεταξύ όλων των εμπορικών τύπων οικοδόμησης.



Εικόνα 1-4

Τα μικρά γραφεία χρησιμοποιούν το φυσικό αέριο περισσότερο από τα μεγαλύτερα γραφεία. Υπάρχουν διάφορες πιθανές εξηγήσεις για αυτό: τα μικρότερα κτίρια μπορούν να έχουν λιγότερο εξοπλισμό γραφείων που εκπέμπουν τη θερμότητα, επομένως απαιτώντας περισσότερο τη θέρμανση χώρου μπορούν να έχουν τα περισσότερο αποδοτικά συστήματα θέρμανσης, ή, επειδή έχουν σχετικά περισσότερη επιφάνεια τοίχων από μεγαλύτερα κτίρια, μπορούν περισσότερο να επηρεαστούν από τον καιρό από κάποια μεγαλύτερα κτίρια.

Τα μεγάλα γραφεία πληρώνουν λιγότερο ανά κυβικό πόδι για το φυσικό αέριο από ότι τα μικρότερα. Αυτό συμβαίνει επειδή στους υψηλότερους καταναλωτές της ενέργειας προσφέρονται καλύτερα ποσοστά για τις χρησιμότητές τους.

1.8 ΕΚΡΗΞΗ ΑΕΡΙΟΥ ΣΕ ΜΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Όλοι έχουμε ακούσει για τις εκρήξεις αερίου και την καταστροφή που μπορούν να επιφέρουν. Η παρεμπόδιση τους να συμβεί απαιτεί μια καλή κατανόηση αυτό που μια έκρηξη αερίου είναι και τι μπορεί να κάνει κάποιος για να μειώσει τη συχνότητα και τις συνέπειες τέτοιων γεγονότων.

Ο στόχος αυτής της ανάλυσης είναι:

- i. Να δώσουμε μια εισαγωγή στον τομέα των εκρήξεων αερίου
- ii. Να δώσουμε μια επισκόπηση από τις εμπειρίες απωλειών
- iii. Να επιδείξουμε πώς μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη γνώση μας για να βελτιώσουμε την ασφάλεια.

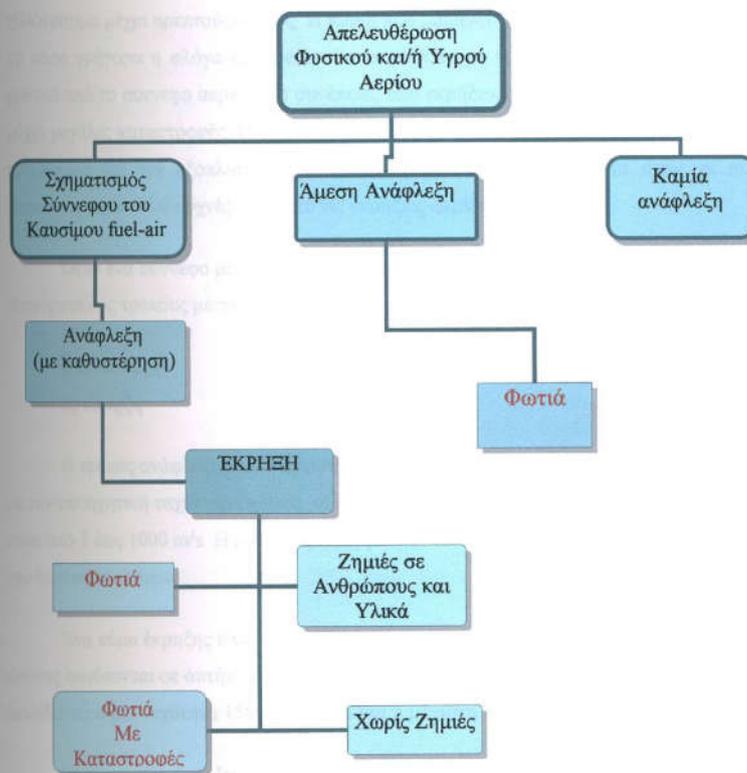
Εάν το καύσιμο απελευθερωθεί τυχαία μέσα σε μια εν μέρει περιορισμένη περιοχή ή εάν το καύσιμο αέριο παρασυρθεί σε μια τέτοια περιοχή, μπορούν να εμφανιστούν εκρήξεις. Οι συνέπειες τέτοιων εκρήξεων θα εξαρτηθούν από διάφορες παραμέτρους, όπως ο τύπος καυσίμων, μέγεθος και συγκέντρωση του σύννεφου αερίου, ανάφλεξης και γεωμετρικού σχεδιαγράμματος, δηλαδή αντικείμενα περιορισμού και παρεμπόδισης. Στις αναλύσεις συνέπειας όλοι αυτοί οι παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη. Οι παραλλαγές αυτών των παραμέτρων μπορούν να οδηγήσουν σε μεγάλες αλλαγές στη μέγιστη πίεση έκρηξης.

Σε αυτό το τμήμα θα εστιάσουμε κυρίως στις απλές οδηγίες για τη βελτίωση της ασφάλειας έκρηξης αερίου και θα συζητήσουμε τις μεθόδους για τις εκρήξεις αερίου στα διαμερίσματα. Οι στόχοι αυτού του τμήματος είναι:

- Να περιγράψουμε πώς μια έκρηξη αερίου συμπεριφέρεται σε ένα διαμέρισμα και να εξηγήσουμε ποιοι παράγοντες είναι σημαντικοί για τη συγκέντρωση πίεσης.
- Να συζητήσουμε τις απλές οδηγίες και τις πιθανές μεθόδους για τις εκρήξεις αερίου στα διαμερίσματα.
- Γιατί είναι δύσκολο να προβλεφθούν οι συνέπειες των εκρήξεων αερίου.

1.8.1 Τι είναι μια έκρηξη αερίου

Καθορίζουμε μια έκρηξη αερίου ως μια διαδικασία όπου η καύση ενός μίγματος αερίου, (δηλαδή fuel-air) προκαλεί τη γρήγορη αύξηση της πίεσης. Οι εκρήξεις αερίου μπορούν να εμφανιστούν μέσα στον εξοπλισμό ή στους σωλήνες, στα κτίρια και στις περιοχές λειτουργίας του καυσίμου. Όταν μιλάμε για μια έκρηξη αερίου ως γεγονός, είναι ένας γενικότερος όρος. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε την εξέλιξη των γεγονότων πριν και μετά από τη διαδικασία έκρηξης αερίου.



Σχήμα 1-1 Ένα οργανόγραμμα γεγονότων που παρουσιάζει τις χαρακτηριστικές συνέπειες των τυχαίων απελευθερώσεων του καυσίμου αερίου.

Το Σχήμα 1-1 παρουσιάζει τι μπορεί να συμβεί εάν το καύσιμο αέριο απελευθερώνεται τυχαία στην ατμόσφαιρα. Εάν το σύννεφο αερίου, που διαμορφώνεται από την απελευθέρωση, δεν είναι μέσα στα όρια εύφλεκτου ή εάν η πηγή ανάφλεξης λείπει, το σύννεφο αερίου μπορεί να αραιωθεί και να εξαφανιστεί. Η ανάφλεξη μπορεί να εμφανιστεί αμέσως, ή μπορεί να καθυστερήσει, ανάλογα με τις περιστάσεις. Σε περίπτωση άμεσης ανάφλεξης θα έχουμε εμφάνιση πυρκαγιάς.

Η πιο επικίνδυνη κατάσταση εμφανίζεται όταν ένα μεγάλο σύννεφο μίγματος fuel-air διαμορφωθεί και αναφλεχθεί. Ο χρόνος από την έναρξη απελευθέρωσης στην ανάφλεξη μπορεί να είναι από μερικά δευτερόλεπτα μέχρι αρκετά λεπτά. Το ποσό καυσίμων μπορεί να είναι από μερικά χιλιόγραμμα μέχρι αρκετούς τόνους. Η πίεση που παράγεται από το κύμα καύσης θα εξαρτηθεί από το πόσο γρήγορα η φλόγα διαδίδεται και τον τρόπο με τον οποίο η πίεση μπορεί να επεκταθεί μακριά από το σύννεφο αερίου. Οι συνέπειες των εκρήξεων αερίου κυμαίνονται από μικρές ζημιές μέχρι μεγάλες καταστροφές. Η συγκέντρωση πίεσης λόγω της έκρηξης αερίου μπορεί να βλάψει το προσωπικό και τον εξοπλισμό ή μπορεί να οδηγήσει σε ατυχήματα όπως οι πυρκαγιές. Οι πυρκαγιές είναι πολύ συχνές μετά από τις εκρήξεις αερίου.

Όταν ένα σύννεφο μίγματος αερίου αναφλέγεται η φλόγα μπορεί να διαδοθεί με δύο διαφορετικούς τρόπους μέσω των εύφλεκτων μερών του σύννεφου. Αυτοί οι τρόποι είναι:

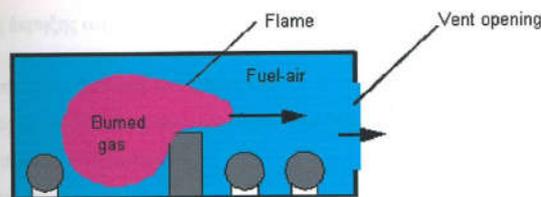
i) Ανάφλεξη

ii) έκρηξη

Ο τρόπος ανάφλεξης και διάδοσης της φλόγας είναι ο πιο συχνός. Μια ανάφλεξη διαδίδεται με την υποηχητική ταχύτητα σχετικά με το άκαυτο αέριο, οι χαρακτηριστικές ταχύτητες φλογών είναι από 1 έως 1000 m/s. Η πίεση έκρηξης μπορεί να φθάσει σε πολύ υψηλά bar, σε συνάρτηση με την ταχύτητα φλογών.

Ένα κύμα έκρηξης είναι ένα υπερηχητικό κύμα καύσης. Το κύμα κλονισμού και το κύμα καύσης συνδέονται σε αυτήν την περίπτωση. Σε ένα σύννεφο μίγματος fuel-air το κύμα έκρηξης διαδίδεται με μια ταχύτητα 1500-2000 m/s και η μέγιστη πίεση είναι από 15 μέχρι 20 bar.

Σε μια τυχαία έκρηξη αερίου ενός σύννεφου αέρα- υδρογονάνθρακα (που αναφλέγεται από μια μικρή πηγή -π.χ. ένα σπινθήρα) η φλόγα θα αρχίσει να μεταδίδεται κανονικά αποτελούμενη από στρώματα με μια ταχύτητα της τάξης 3-4 m/s. Εάν το σύννεφο είναι ανεμπόδιστο η φλόγα δεν είναι πιθανό να επιταχύνει σε ταχύτητες μεγαλύτερες από 20-25 m/s, και η υπερπίεση θα είναι αμελητέα εάν το σύννεφο δεν είναι περιορισμένο.



Εικόνα 1-5 Έκρηξη αερίου σε μια περιορισμένη περιοχή (π.χ. διαμέρισμα)

Σε ένα κτίριο ή σε μια εν μέρει περιορισμένη περιοχή με τον ανάλογο εξοπλισμό όπως παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 1-5, η φλόγα μπορεί να επιταχυνθεί σε αρκετά εκατοντάδες μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Ο κύριος μηχανισμός της επιτάχυνσης φλόγας υπό τέτοιους όρους είναι η τυρβώδης ανάμιξη. Όταν το αέριο εκραγεί η θερμοκρασία θα αυξηθεί και το αέριο θα επεκταθεί πολύ γρήγορα. Το άκαυτο αέριο επομένως ωθείται μπροστά από τη φλόγα και παράγεται ένας τομέας με τυρβώδη ροή. Όταν η φλόγα διαδίδεται σε ένα τομέα τυρβώδους ροής, και το ποσοστό επέκτασης της έκρηξης θα αυξηθεί καθώς και η ταχύτητα διάδοσης. Αυτός ο ισχυρός μηχανισμός ανατροφοδότησης προκαλεί την επιτάχυνση της φλόγας και τις υψηλές πιέσεις και σε μερικές περιπτώσεις τη μετάβαση σε φαινόμενα έκρηξης.

Στην Εικόνα 1-5 παρουσιάζεται ένα διαμέρισμα γεμισμένο με ένα σύννεφο μίγματος καυσίμου fuel-air. Το σύννεφο αναφλέγεται στο κέντρο του διαμερίσματος. Όταν η φλόγα καταναλώσει το σύννεφο μίγματος fuel-air, το αέριο επεκτείνεται. Λόγω της επέκτασης, το άκαυτο αέριο ωθείται μπροστά από τη φλόγα, και παράγεται μια ροή στο διαμέρισμα. Ένα ποσοστό από το άκαυτο αέριο στην πρόωρη φάση της έκρηξης θα ωθηθεί έξω από το διαμέρισμα μέσω του ανοίγματος. Μέσα στο διαμέρισμα το αέριο ρέει μέσω και γύρω από του εξοπλισμού του διαμερίσματος.

Στην Εικόνα 1-5 η έκρηξη ξεκινά στο κέντρο ενός διαμερίσματος. Δεδομένου ότι η περιοχή διεξόδων βρίσκεται μόνο στη δεξιά πλευρά του διαμερίσματος, η κυρίαρχη κατεύθυνση της ροής και της διάδοσης της φλόγας θα είναι προς αυτή την περιοχή. Η ροή σε αυτήν την περιοχή γίνεται τυρβώδης και οφείλεται στην επίδραση παρεμπόδισης του εξοπλισμού κ.λπ. και αυτή η δίνη θα επιταχύνει τις φλόγες. Η θέση του σημείου ανάφλεξης σχετικά με το που βρίσκεται η διεξόδος είναι ένας βασικός παράγοντας για το πώς ο η τυρβώδης επιτάχυνση της φλόγας αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια μιας έκρηξης αερίου.

Οι συνέπειες μιας έκρηξης αερίου θα εξαρτηθούν από:

- Τον τύπο και την οξειδωση του καυσίμου
- Το μέγεθος και τη συγκέντρωση καυσίμου του μίγματος
- θέση του σημείου ανάφλεξης
- Δύναμη της πηγής ανάφλεξης
- Το μέγεθος, τη θέση και το είδος των περιοχών διεξόδων της έκρηξης
- Τη θέση και το μέγεθος των δομικών στοιχείων και του εξοπλισμού
- Τα σχέδια μετριασμού της έκρηξης

Οι εκρήξεις αερίου είναι πολύ ευαίσθητες στις αλλαγές σε αυτούς τους παράγοντες. Επομένως δεν είναι ένας απλός στόχος να υπολογιστούν οι συνέπειες μιας έκρηξης αερίου.

1.8.2 Ανάλυση και διαχείριση της ασφάλειας έκρηξης αερίου

Η εμπειρία με τις καταστροφές δείχνει ότι η πρόληψη των εκρήξεων αερίου μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο τυχαίων απελευθερώσεων, το σχηματισμό των εκρηκτικών σύννεφων και την ανάφλεξη, αλλά και πάλι δεν είναι ικανοποιητική. Η συχνότητα των εκρήξεων αερίου είναι ακόμα υψηλές και οι συνέπειες μιας έκρηξης αερίου μπορούν να είναι δραματικές. Επομένως, πρέπει να ενσωματώσουμε ένα τελευταίο εμπόδιο ενάντια στις εκρήξεις αερίου στις εγκαταστάσεις μας. Αυτό μπορεί να γίνει με την εκτέλεση των αναλύσεων ασφάλειας και με την ακολουθία της ορθής πρακτικής εφαρμοσμένης μηχανικής. Με αυτόν τον τρόπο, ο κίνδυνος εκρήξεων αερίου μπορεί να μειωθεί σε μεγάλο βαθμό.

Θεμελιώδης μελέτη	<ol style="list-style-type: none">1. Κύριο σχεδιάγραμμα ελέγχου εγκατάστασης /χωρισμού όσον αφορά τα φορτία.2. Διαμόρφωση σπιτιού ανεξάρτητα ρυθμισμένη/ εξαερισμός έκρηξης.3. Τυχαία φορτία εκτίμησης.4. Ανοικτή βαθμίδα- κλειστός τοίχος/ σύμφωνα με HVAC.
Εμπεριστατωμένη εφαρμοσμένη μηχανική	<ol style="list-style-type: none">1. Τελικός υπολογισμός των φορτίων εκτόνωσης που χρησιμοποιούνται στην τυχαία προδιαγραφή φορτίων.2. Εξασφαλίστε ότι τα φορτία εκτόνωσης συμπεριλαμβάνονται στις σχετικές προδιαγραφές όπως η συσκευασία HVAC, οι συναγερμοί πυρκαγιάς, οι αισθητήρες αερίου κ.λπ....

Επεξεργασία και εγκατάσταση

1. Έλεγχος ότι οι ανάδοχοι επεξεργασίας έχουν καταλάβει τους λόγους για το σχέδιο και τις λειτουργικές απαιτήσεις.
2. εγκατάσταση και λεπτομερής ανάλυση και παρουσίαση του πίνακα ελέγχου του αερίου.
3. εγκατάσταση και λεπτομερής ανάλυση των κατάλληλων διεξόδων.
4. Έλεγχος εάν η παραμόρφωση των τοίχων θα έχει μη αποδεκτές συνέπειες για τους τυχαίους σωλήνες

Στα αναπτυξιακά έργα, οι κίνδυνοι έκρηξης αερίου πρέπει να ληφθούν υπόψη εξαρχής. Στα αρχικά στάδια του έργου (δηλ. Θεμελιώδης μελέτη) λαμβάνονται σημαντικές αποφάσεις όπως η θέση των διαφορετικών περιοχών, ο διαχωρισμός των περιοχών και η συνολική διαρρύθμιση. Στη λεπτομερή φάση της Εμπειριστατωμένης εφαρμοσμένης μηχανικής ο τελικός υπολογισμός των φορτίων της έκρηξης του αερίου είναι μια σημαντική δραστηριότητα. είναι σημαντικό να υπάρξει η καλή κατανόηση των κινδύνων έκρηξης αερίου και να εφαρμοστούν οι απαραίτητες οδηγίες.

Η αποτίμηση των συνεπειών και των φορτίων από τις εκρήξεις αερίου είναι συχνά μέρος μιας ανάλυσης κινδύνου. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1-2 μια χαρακτηριστική ανάλυση κινδύνου αποτελείται από 5 στοιχεία. Ο κίνδυνος αποτελείται από τη συχνότητα και τις συνέπειες ενός γεγονότος.

(Κίνδυνος = συχνότητα * συνέπειες)



Σχήμα 1-2

Τα οφέλη που μπορούμε να λάβουμε από μια ανάλυση των συνεπειών και εκτίμησης των κινδύνων είναι:

- αξιολόγηση του κινδύνου στις επίσημες μελέτες αξιολόγησης του κινδύνου
- βελτιωμένα σχέδια και λειτουργίες
- ενισχυτική λήψη απόφασης
- μεταφορά της γνώσης
- όφελος δαπανών
- ΑΣΦΑΛΕΙΑ

1.9 Ατυχήματα Φυσικού Αερίου

Η Υπηρεσία Ενεργειακής Ασφάλειας (ΥΕΑ) ιδρύθηκε τον Δεκέμβριο του 1999 για να φέρει μια σαφέστερη εστίαση στην ασφάλεια, την ποιότητα ανεφοδιασμού, και τη μέτρηση στους τομείς του αερίου και της ηλεκτρικής ενέργειας. Το ΥΕΑ ευθυγραμμίζεται με το Υπουργείο Καταναλωτικών υποθέσεων, αλλά υπάγεται στον Υπουργό Ενέργειας.

Το ΥΕΑ έχει υποχρέωση να ενισχύσει και να διατηρήσει τις συνδέσεις του με τις ηλεκτρικές και τις βιομηχανίες αερίου, καθώς επίσης και να προωθήσει και να ενισχύσει την ασφάλεια για τους εργαζομένους, τους καταναλωτές και το κοινό. Το ΥΕΑ υποστηρίζει την ευρύτερη συζήτηση της ενεργειακής ασφάλειας, της ποιότητας ανεφοδιασμού και των ζητημάτων μέτρησης.

Αυτή η δημοσίευση καλύπτει όλα τα ατυχήματα φυσικού αερίου από το 1993-2000 δηλωμένα στο πλαίσιο του νόμου του 1992 για το αέριο.

- Υπήρξαν 110 δηλωμένα ατυχήματα με LPG από το 1993 ως το 2000 και 71 για το φυσικό αέριο. Το γράφημα 1 παρουσιάζει τους αριθμούς των δηλωμένων ατυχημάτων, των μοιραίων περιστατικών και τραυματισμών φυσικού αερίου από το 1993 ως το 2000.

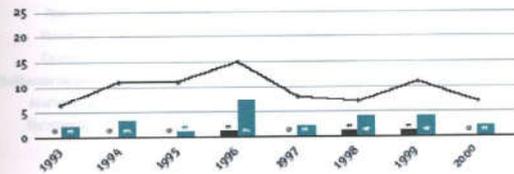
- Δεν υπήρξε καμία στατιστική αλλαγή σε αριθμό των δηλωμένων μοιραίων περιστατικών ή των τραυματισμών από ατυχήματα φυσικού αερίου στην περίοδο από το 1993 ως το 2000. Υπήρξαν τρία μοιραία ατυχήματα φυσικού αερίου (συνολικά τρεις θάνατοι) στα οκτώ έτη. Δεν υπήρξε κανένα μοιραίο ατύχημα κατά τη διάρκεια του 2000 αλλά, αλλά και στα δυο χρόνια , το 1998 και το 1999 υπήρξε μόνο ένα μοιραίο ατύχημα. Κατά τη διάρκεια της περιόδου οκτώ ετών, υπήρξαν 19 ατυχήματα όπου και τραυματίστηκαν 21 άτομα



Δηλωμένα Ατυχήματα Φυσικού Αερίου 1993 – 2000 Γράφημα 1

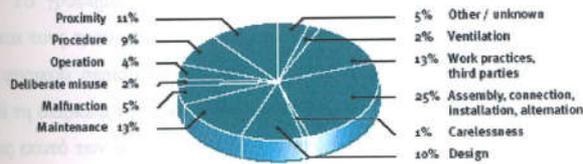
Δηλωμένα Ατυχήματα LPG

- Μοιραία περιστατικά
- Τραυματισμοί
- Δηλωμένα ατυχήματα



Δηλωμένα Ατυχήματα Φυσικού Αερίου 1993 – 2000 Γράφημα 2

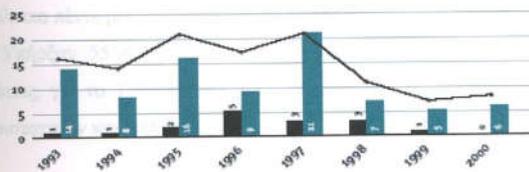
Με τον αιτιολογικό παράγοντα



Δηλωμένα Ατυχήματα LPG 1993 – 2000 Γράφημα 3

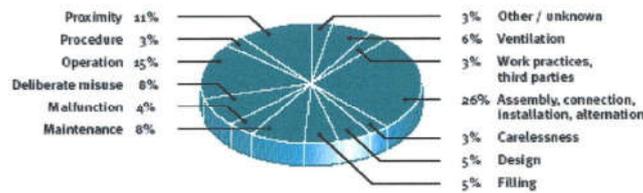
Δηλωμένα Ατυχήματα LPG (συνέχεια)

- Μοιραία περιστατικά
- Τραυματισμοί
- Δηλωμένα ατυχήματα



Δηλωμένα Ατυχήματα LPG 1993 – 2000 Γράφημα 4

Με τον αιτιολογικό παράγοντα



Το γράφημα 2 παρουσιάζει τα αίτια για τα δηλωμένα ατυχήματα, τα μοιραία περιστατικά και τους τραυματισμούς φυσικού αερίου από το 1993 ως το 2000. Ένα τέταρτο των ατυχημάτων φυσικού αερίου θα μπορούσε να έχει αποφευχθεί εάν η είχε ληφθεί κατάλληλη προσοχή κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης (σύνδεση και εγκατάσταση) του συστήματος αερίου. Δέκα τρία τοις εκατό των ατυχημάτων θα μπορούσαν να έχουν αποφευχθεί με τη διατήρηση των συσκευών αερίου και των συστημάτων ανεφοδιασμού. Ο ίδιος αριθμός ατυχημάτων θα μπορούσε να έχει αποφευχθεί από τις σωστές πρακτικές εργασίας από τους εργαζομένους αερίου και από τους εργαζομένους ανεφοδιασμού (ή συμβάσεων).

Το γράφημα 3 παρουσιάζει τους αριθμούς δηλωμένων ατυχημάτων LPG, τα μοιραία περιστατικά, και τους τραυματισμούς από το 1993 ως το 2000. Υπήρξαν 13 μοιραία ατυχήματα LPG (συνολικά 16 θάνατοι) στην περίοδο από το 1993 ως το 2000. Έξι μοιραία ατυχήματα εμφανίστηκαν σε κτίρια και τρία σε τροχόσπιτα. Άλλα τέσσερα ατυχήματα εμφανίστηκαν σε ένα αυτοκίνητο, σε ένα φορτηγό, και δυο εξωτερικά.

Τέσσερα από τα 13 μοιραία ατυχήματα από LPG, προκλήθηκαν από συσκευές που παρήγαγαν υψηλά επίπεδα μονοξειδίου άνθρακα και οδήγησαν σε επτά μοιραία περιστατικά. Άλλα τέσσερα ατυχήματα, με συνέπεια τέσσερα μοιραία περιστατικά, οφείλονταν στην κατάχρηση ουσιών. Τα υπόλοιπα πέντε μοιραία περιστατικά προκλήθηκαν από πυρκαγιά/ εκρήξεις.

Υπήρξαν 55 ατυχήματα από LPG που τραυμάτισαν 80 ανθρώπους στην ίδια περίοδο. Εντούτοις, για το 1999 και το 2000 υπήρξε μια σημαντική μείωση του αριθμού των δηλωμένων περιστατικών και τραυματισμών.

1.9.1 Σχέδια για τα προσεχή έτη

Προσέγγιση

Η υπηρεσία ενεργειακής ασφάλειας (ΥΕΑ) είναι δεσμευμένη και υπεύθυνη για την προστασία των ανθρώπων και της ιδιοκτησίας από τους κινδύνους της ηλεκτρικής ενέργειας και του αερίου. Επιτηρούν την ασφάλεια, την ποιότητα ανεφοδιασμού, και τις απαιτήσεις μέτρησης σύμφωνα με το νόμο από το 1992 για την ηλεκτρική ενέργεια και για το αέριο. Τα κυριότερα σχέδια της υπηρεσίας για τα επόμενα έτη είναι τα εξής :

Πρόγραμμα

- Δικτύωση με άλλους ενδιαφερόμενους εθνικούς και διεθνείς οργανισμούς.
- Κοινοποίηση της ενεργειακής ασφάλειας, και συμβουλή των καταναλωτών και της επιχείρησης για την ασφάλεια των ενεργειακών προϊόντων και των υπηρεσιών.
- Έρευνες στις επιχειρήσεις, διορθωτική δράση και επιβολή του νόμου.

Μερικές από τις συγκεκριμένες δραστηριότητες που θα πρέπει να αναλάβουν οι αρμόδιοι φορείς στα προσεχή έτη για να επιτύχουν το όραμα **"ασφαλής ενέργεια – ασφαλείς άνθρωποι"** είναι:

Προτάσεις

- Εφαρμόζοντας τις κυβερνητικές αποφάσεις σχετικά με τη διευκρίνιση των ευθυνών για την ασφάλεια των εργασιακών χώρων και της δημόσιας ασφάλειας προϊόντων και στις περιοχές ηλεκτρικής ενέργειας και αερίου, μέσω του *ενεργειακού ασφαλούς προγράμματος*.
- Σε συνεργασία με την ηλεκτρική βιομηχανία για να αναπτύξει από κοινού μια στρατηγική προσέγγιση στην ασφάλεια, συμπεριλαμβανομένου ενός συμφωνηθέντος σχεδίου για τη δράση.
- Συνεργασία με τη βιομηχανία αερίου για να αναπτύξει ένα πρόγραμμα εκπαίδευσης των καταναλωτών σύμφωνα και με το πλάνο **" παράδοση του αερίου - παράδοση ασφάλειας "**. Αυτό θα περιλάβει την παραγωγή, την προώθηση, και τη διανομή των ετικετών ταλάντευσης τευχών ασφάλειας αερίου και αφισών και LPG με τα μηνύματα ασφάλειας.
- Παραγωγή, προώθηση, και διανομή ενός βιβλίου πάνω στην ηλεκτρική ασφάλεια που στόχο έχει την ενημέρωση του ιδιοκτήτη.

- Εισαγωγή των νέων σχεδίων δήλωσης για το αέριο και τις ηλεκτρικές συσκευές.
- Αναθεώρηση και ενημέρωση ενός ευρέως φάσματος των ηλεκτρικών και των προτύπων αερίου.
- Αναπτύσσοντας και εφαρμόζοντας μια στρατηγική επικοινωνιών που παρέχει τις σχετικές και έγκαιρες πληροφορίες για την ασφάλεια αερίου.
- Κώδικες αναθεώρησης συμπεριφοράς για την ασφάλεια αερίου.
- Έρευνα των νέων εγκαταστάσεων για να αξιολογηθούν τα επίπεδα εργασίας, ικανότητας και συμμόρφωσης.
- Ερευνώντας τις εσωτερικές εγκαταστάσεις αερίου.
- Έρευνα στις εγκαταστάσεις και στις εργασίες υψηλής τάσης για να αξιολογηθεί η συμμόρφωση με τους νόμους.

2 Η τεχνολογία μπορεί να περιορίσει τα προβλήματα διαρροής αερίου

2.1 Η επιλογή των σωστών οργάνων μπορεί να μειώσει τη διαρροή αερίου κατά 60%

Μερικά συστήματα μπορούν να μειώσουν τουλάχιστον 80% της διαρροής αερίου. Έτσι λέει η διακυβερνητική επιτροπή της αλλαγής κλίματος. Το IPCC αναφέρει τη χρήση των δεικτών καύσιμου αερίου, τις φλόγες υδρογόνου, τη θέση των διαρροών, τη συχνότητα, την ανάλυση στοιχείων πίεσης και την εισαγωγή των μαγνητικών ή ακουστικών αισθητήρων που ανιχνεύουν τη διάβρωση που αφήνει την διαρροή αερίου να εμφανιστεί περισσότερο.

Η χρήση των εξωτερικών ανεμοδεικτών, των σφιγκτήρων, των σφραγίδων, και των εσωτερικών ένθετων που χρησιμοποιούνται για την επισκευή ή την αντικατάσταση με τα κατάλληλα (συχνά πλαστικά) υλικά παρέχουν τη διαδρομή στις τέμνουσες διαρροές σύμφωνα με αυτήν την έκθεση

2.2 Αντισεισμικές βαλβίδες αυτόματου κλεισίματος

Οι σεισμικά ενεργοποιημένες βαλβίδες είναι σχεδιασμένες να κλείνουν αυτόματα τη ροή του αερίου στις εγκαταστάσεις εάν εμφανιστεί ένας σεισμός 5 R (ή μεγαλύτερος).

Δεν ξέρουμε ποτέ ή που θα εμφανιστεί ο επόμενος σεισμός και η προστασία του προσωπικού της δουλειάς (ή της οικογένειας) με μια εγκεκριμένη βαλβίδα σεισμού κρίνεται απαραίτητη προστατεύοντας και τις ζωές και την ιδιοκτησία.

Η τεχνολογία έχει βελτιώσει την αποτελεσματικότητα αυτών των βαλβίδων σεισμού με τους κώδικες ενίσχυσης και με κανονισμούς που έχουν μειώσει εντυπωσιακά το θόρυβο όταν είναι σε θέση λειτουργίας, ουσιαστικά εξαλείφοντας την ανάγκη για επαναρύθμιση. Ακόμα και όταν απαιτείται, η επαναρύθμιση μπορεί να εκτελεσθεί σε λίγα δευτερόλεπτα.

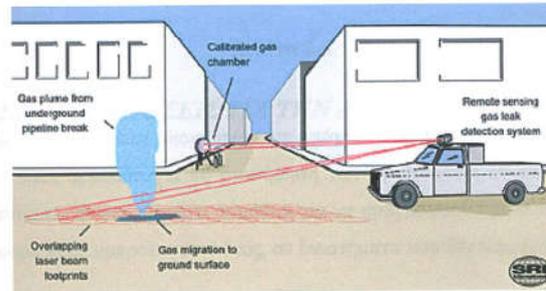
2.2.1 Απομακρυσμένος αισθητήρας

Η Διεθνής εταιρεία SRI έχει αναπτύξει έναν αισθητήρα διαρροών εξ αποστάσεως αερίου για τις υπόγειες σωληνώσεις παρουσιάζοντας ακόμα νεώτερη τεχνολογία.

Συnergαζόμενο με το [ιδρυμα τεχνολογίας αερίου](#), η SRI σχεδίασε έναν κινητό αισθητήρα διαρροών αερίου διόδων βασισμένο σε λέιζερ από απόσταση. Αυτή η μονάδα λειτουργεί χρησιμοποιώντας τη φασματοσκοπία διαμόρφωσης μήκους κύματος.

Το σύστημα περιλαμβάνει μια κινητή πλατφόρμα, μια οπτική κεφαλή ανίχνευσης, μια τηλεοπτική φωτογραφική μηχανή, ένα ικανό λέιζερ διόδων, και ένα λέιζερ που μετράει με ακρίβεια την απόσταση. Ο έλεγχος είναι αυτοματοποιημένος.

Στο χώρο δοκιμών, οι διαρροές θα μπορούσαν να ανιχνευθούν από 10 έως 15 μέτρα. Το σύστημα μετρά τη διαρροή για να παρουσιάσει τα ποσοστά της ροής σε κάθε θέση. Ο τρόπος λειτουργίας μπορεί να παρατηρηθεί ευκολότερα στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 2-1

2.2.2 Φορητό όργανο ελέγχου

Ο αισθητήρας της μονάδας είναι ένα ηλεκτροχημικό κύτταρο που καλύπτει μια σειρά από 1 έως 10.000 ppm CO εισάγοντας το κύτταρο μέσω μιας μεμβράνης Goretex που εκτίθεται στο ρέον δείγμα. Το CO οξειδώνεται σε CO₂ στην επιφάνεια ενός ηλεκτροδίου από λευκόχρυσο, μέσα στο κύτταρο. Εκεί, η απελευθέρωση των ηλεκτρονίων δημιουργεί ένα ρεύμα ανάλογο προς τη συγκέντρωση CO.

Οι εταιρείες αερίου του Μίσιγκαν διεύθυναν τις πρώτες δοκιμές αυτής της μονάδας, και τώρα χρησιμοποιούν περισσότερα από 70 όργανα για να ανιχνεύσουν τις διαρροές φυσικού αερίου, του μονοξειδίου του άνθρακα, του σουλφιδίου του υδρογόνου, του μεθανίου, και του οξυγόνου.

Ενώ αρχικά πραγματοποιούσαν 8.500 επιθεωρήσεις ετησίως, με τη χρησιμοποίηση των οργάνων οι δαπάνες και οι επιθεωρήσεις ελαττώθηκαν κατά περίπου 70% έναντι της εφαρμογής των συμβατικότερων μεθόδων.

2.3 ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ

Στο τμήμα μεταφοράς, έχουν τεθεί "κανονισμοί για την ασφάλεια των σωληνώσεων".



Εικόνα 2-2

2.3.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ

Όποιοι δηλώνουν ότι είναι ιδιοκτήτες - με υπόγεια ή υπέργεια συστήματα διοχέτευσης με σωλήνες αερίου - είναι αρμόδιοι για τη συντήρηση των εγκαταστάσεων διανομής αερίου τους. Επομένως, όλοι αυτοί οι ιδιοκτήτες είναι αρμόδιοι για να πραγματοποιήσουν τις έρευνες διαρροής τουλάχιστον μία φορά κάθε ημερολογιακό έτος, σε διαστήματα που δεν υπερβαίνουν τους 15 μήνες

2.3.2 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ

Η διαδικασία ανίχνευσης της διαρροής των **τεχνολογιών ελέγχου αερίου** αρχίζει με τον καθορισμό της κατά προσέγγιση θέσης της υπόγειας διοχέτευσης με σωλήνες από την υπάρχουσα χαρτογράφηση συστημάτων διανομής φυσικού αερίου. Το υπόγειο σύστημα φυσικού αερίου αξιολογείται και έπειτα χρησιμοποιώντας έναν ανιχνευτή ιονισμού φλογών, ο οποίος είναι ο πιο τεχνολογικά προηγμένος διαθέσιμος εξοπλισμός, μετρά τα δείγματα σε πολύ μικρό ποσοστό, όπως ένα μέρος ανά εκατομμύριο. Όταν η διαρροή ανιχνεύεται, μια περαιτέρω μελέτη διεξάγεται για να καθορίσει την έκταση της διαρροής αερίου, για να καθιερώσει ένα επίπεδο προτεραιότητας.

Μια πρόσθετη υπηρεσία που παρέχουμε είναι "η διαρροή που επισημαίνει" η υπηρεσία. Με

την εντόπιση της περιοχής της θαμμένης σωλήνωσης φυσικού αερίου, μπορούμε να επισημάνουμε την υπόγεια διαρροή χρησιμοποιώντας έναν δείκτη καύσιμου αερίου που μετρά τα δείγματα από 1 έως 100 τοις εκατό από τον όγκο. Αυτό επιτρέπει σε μας να καθορίσουμε τα πιο υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης και "να επισημάνουμε" τη διαρροή, που παρέχει μια περιοχή για την ανασκαφή. Αυτή η υπηρεσία είναι ευεργετική κατά την παραγωγή των επισκευών σε μια απομονωμένη περιοχή.

Στην ολοκλήρωση της αξιολόγησης, μια λεπτομερής έκθεση συντάσσεται, παρέχοντας όλες τις θέσεις διαρροής και τα σχέδια μετανάστευσης αερίου, τις λεπτομερείς μετρήσεις θέσης όσον αφορά τα κτίρια και άλλα σταθερά σημεία αναφοράς. Όπου είναι δυνατόν, περιλαμβάνουμε επίσης τις συστάσεις μας (και τις εκτιμήσεις) για τις επισκευές των σωληνώσεων ή/και τις χρήσιμες αντικαταστάσεις.

2.3.3 Ο ΣΤΟΧΟΣ ΜΑΣ

Ο στόχος μας είναι να παρέχουμε μια πλήρη κατανόηση του υπόγειου συστήματος διανομής φυσικού αερίου, την ανίχνευση και τελικά την ενίσχυση στην εξάλειψη της άγνωστης διαρροής αερίου. Επομένως, πρέπει οι εκθέσεις αξιολόγησης της διαρροής **τεχνολογιών ελέγχου αερίου** ακολουθούν τους κανονισμούς για την ασφάλεια σωληνώσεων.

2.4 Εσωτερική ατμοσφαιρική ποιότητα και Συσκευές φυσικού αερίου μη εξαεριζόμενες

Η καύση παράγει υποπροϊόντα, όπως και η καύση φυσικού αερίου. Διάφορες φυσικές gas-burning συσκευές σχεδιάζονται για να χρησιμοποιηθούν στο εσωτερικό, των προϊόντων καύσης χωρίς εξαερισμό. Κατά συνέπεια είναι σημαντικό να γίνει κατανοητή η φύση και οι ποσότητες χημικών ιχνών των ουσιών που εκπέμπονται από αυτές τις συσκευές. Το μεγαλύτερο μέρος της προσοχής τα τελευταία χρόνια έχει στραφεί στο μονοξείδιο του άνθρακα και το διοξείδιο του αζώτου. Εντούτοις, πολλές άλλες χημικές ουσίες διαμορφώνονται ως προϊόντα της ελλιπούς καύσης, και εκπέμπονται στο εσωτερικό περιβάλλον σε επίπεδα ιχνών.

Η ατμοσφαιρική επιστήμη του Battelle και το εφαρμοσμένο τμήμα τεχνολογίας ολοκλήρωσαν πρόσφατα μια εκτενή μελέτη για να ερευνηθεί η φύση των οργανικών και ανόργανων χημικών ουσιών ιχνών που εκπέμφθηκαν από αυτές τις συσκευές, συμπεριλαμβανομένων των μεμονωμένων υδρογονανθράκων, της φορμαλδεΐδης, άλλων ενώσεων

καρβονυλίων, του νιτρώδους οξέος, του νιτρικού οξέος, του διοξειδίου του θείου, του νιτρώδους οξειδίου, του νιτρικού οξειδίου, του υδροκυανίου, του διοξειδίου του άνθρακα, του μυρμηκικού οξέος, του οξικού οξέος, των πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων, και των πολύ λεπτών μορίων. Οι εκπομπές ποσολογήθηκαν και υπό τους κανονικούς και τους ανάμεικτους λειτουργούντες όρους.

Τα στοιχεία έχουν χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσουν τους παράγοντες εκπομπής για κάθε μολυσματικό παράγοντα ιχνών. Αυτοί οι παράγοντες εκπομπής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εσωτερική διαμόρφωση της ατμοσφαιρικής ποιότητας, ή τους εμπειρικούς υπολογισμούς για να υπολογίσουν την επίδραση των εκπομπών στην εσωτερική ατμοσφαιρική ποιότητα. Αυτές οι εκτιμήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για την αξιολόγηση του κινδύνου. Οι παράγοντες εκπομπής από τις διαφορετικές συσκευές και τους διαφορετικούς λειτουργούντες όρους μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν από τους καταναλωτές για να επιλέξουν τις συσκευές και τους όρους που ελαχιστοποιούν τον αντίκτυπο στην ατμοσφαιρική ποιότητα με τη χρήση των συσκευών φυσικού αερίου.

Η πειραματική μερίδα του προγράμματος είχε ως σκοπό να μετρήσει τις εκπομπές ενός μεγάλου αριθμού οργανικών και ανόργανων χημικών ουσιών από τέσσερις διαφορετικούς τύπους συσκευών φυσικού αερίου. Αυτοί περιελάμβαναν ένα καυστήρα, μια εκ μεταφοράς θερμάστρα, μια ακτινοβόλο θερμάστρα και ένα σύνολο εστιών αερίου. Όλες οι συσκευές προάγονται για τη χρήση στο εσωτερικό. Η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε για να μετρήσει τις χημικές ουσίες ιχνών από τις εκπομπές των συσκευών περιελάμβανε την ενεργοποίηση κάθε συσκευής σε $17,3 \mu^3$ στη περιβαλλοντική αίθουσα που γέμισαν με καθαρό υγραποιημένο αέρα. Οι εκπομπές προσμετρήθηκαν και αραιώθηκαν στην αίθουσα, και μετρήθηκαν από μια ακολουθία οργάνων.

Οι μετρημένες συγκεντρώσεις μολυσματικών παραγόντων και άλλες απαραίτητες παράμετροι χρησιμοποιήθηκαν με μια εξίσωση μαζικής ισορροπίας για να υπολογίσουν τους παράγοντες εκπομπής στις μονάδες των μικρογραμμαρίων του μολυσματικού παράγοντα ανά kilojoule της ενέργειας που καταναλώθηκε (mg/kJ). Μερικά πειράματα εκτελέστηκαν χρησιμοποιώντας διαφορετικούς όρους των συσκευών, για να ερευνήσουν την επίδραση στις εκπομπές. Αυτά τα πειράματα περιελάμβαναν την ενεργοποίηση της συσκευής με την εμποδισμένη ροή αέρα, την ανακριβή φυσική διαμόρφωση, ή τη λειτουργία του αέρα ως αέρα καύσης.

Τα αρχικά αποτελέσματα από αυτήν την μελέτη είναι οι παράγοντες εκπομπής για έναν μεγάλο αριθμό ρύπων. Οι παράγοντες εκπομπής για μερικούς από τους μολυσματικούς παράγοντες προφανώς δεν έχουν μετρηθεί πριν. Τα στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξετάσουν την επίδραση στις εκπομπές των παραγόντων όπως, το ποσοστό βάζοντας φωτιά, το σχέδιο

καυστήρων ΚΑΠ, της διαρροής φυσικού αερίου, της ανάμεικτης διαμόρφωσης (συσσωρευμένα κούτσουρα), της εμποδισμένης ροής αέρα, και της φθοράς του αέρα καύσης.

Αυτή η μελέτη επεκτείνει πολύ τα διαθέσιμα στοιχεία που έχουμε επάνω στις εκπομπές συσκευών φυσικού αερίου. Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν και να προσδιορίσουν τους όρους που οδηγούν στις προβληματικές εκπομπές, να προσδιορίσουν τις πρακτικές που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για να μειώσουν την έκθεση κατόχων στις εκπομπές, και μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσουν την εσωτερική ατμοσφαιρική ποιότητα σε μια κατοικία.

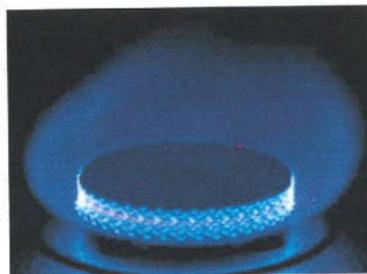


2.5 Γεγονότα ανίχνευσης και μέτρησης διαρροών

by James E. Huebler

Οι καθημερινές λειτουργικές ανάγκες της βιομηχανίας φυσικού αερίου απαιτούν την ανίχνευση και τη μέτρηση των συγκεντρώσεων φυσικού αερίου για τη θέση των διαρροών φυσικού αερίου. Οι διαρροές φυσικού αερίου εμφανίζονται στις συσκευές αερίου, στα εσωτερικά των κτιρίων της διοχέτευσης με σωλήνες, και από στη θαμμένη διοχέτευση των σωλήνων. Η νέα τεχνολογία, καθώς επίσης και οι καινούριες μέθοδοι, μπορούν να βοηθήσουν να λύσουν το πρόβλημα.

Η αναγνώριση της μυρωδιάς του φυσικού αερίου είναι η πρώτη γραμμή υπεράσπισης. Η μυρωδιά επιτρέπει την ανίχνευση των μικρών ποσών αερίου. Οι μεγάλες προσπάθειες καταβάλλονται για να εξασφαλίσουν ότι το αέριο είναι κατάλληλο, ότι το κοινό αναγνωρίζει τη μυρωδιά, και οι κατάλληλες ενέργειες λαμβάνονται, δηλώνοντας ειδικά την τοπική χρησιμότητα του αερίου.



2.5.1 Έρευνα διαρροών

Το πρώτο βήμα σε μια γενική έρευνα διαρροών χρησιμοποιεί ένα πολύ ευαίσθητο όργανο, τοποθετημένο σε αμάξι που είναι σε θέση να εντοπίζει τη συγκέντρωση αερίου σε λιγότερο από μερικά μέρη ανά εκατομμύριο. Ένα όργανο τοποθετημένο σε αμάξι είναι πολύ σημαντικό επειδή ένα υψηλό ποσοστό των κεντρικών αγωγών αερίου βρίσκεται κάτω ή πλησιάζει στις οδούς και τους δρόμους. Αυτή η προσέγγιση ανιχνεύει το αέριο που έχει φθάσει στην επιφάνεια του εδάφους από τη διάχυση μέσω του χώματος και των ρωγμών στο πεζοδρόμιο. Ανιχνεύει επίσης την παρουσία αερίου στους υπονόμους και άλλους θαμμένους αγωγούς. Ο αέρας μπορεί να έχει επιπτώσεις στη διανομή τέτοιου αερίου. Όποτε το αέριο ανιχνεύεται, η θέση σημειώνεται, και ένας χειριστής ερευνά την περιοχή με τα πόδια για έναν ακριβέστερο προσδιορισμό του πιθανού προβλήματος. Η διοχέτευση με σωλήνες μακριά από το πλέγμα οδών ερευνείται επίσης με τα πόδια ή με ένα όργανο που τοποθετείται σε ένα όχημα για όλα τα εδάφη.

Για πολλά έτη τα τυποποιημένα κινητά όργανα ερευνών είναι ανιχνευτές υπέρυθρου φωτός και ιονισμού φλογών. Μια σειρά διασυνδεδεμένων κώνων τοποθετείται πέρα από το μέτωπο του οχήματος για να συλλέξει την ατμόσφαιρα που εξετάζουμε. Το αέριο περνά μέσω ενός σωλήνα στον ανιχνευτή ιονισμού υπέρυθρων ακτινών ή φλογών μέσα στο όχημα. Η παραγωγή του ανιχνευτή καταγράφεται. Επειδή το αέριο πρέπει να συρθεί μέσω των κώνων και της σωληνώσης που συνδέονται με το όργανο, και λόγω του χρόνου απόκρισης οργάνων, οι χαρακτηριστικές ταχύτητες έρευνας είναι 2 έως 7 km/h. Κατά συνέπεια, οι έρευνες εκτελούνται κατά περιόδους όταν η κυκλοφορία είναι χαμηλή. Τώρα ένα νέο όργανο, ο οπτικός ανιχνευτής μεθανίου, μπορεί να τοποθετηθεί στο μπροστινό μέρος των οχημάτων. Ο χρόνος μέτρησης αυξάνεται πολύ και οι ταχύτητες ερευνών οχημάτων 20 έως 40 km/h είναι δυνατές.

Οι διαρροές είναι ταξινομημένες ως προς την επείγουσα ανάγκη της επισκευής βασισμένη στον πιθανό κίνδυνο που παρουσιάζουν. Χαρακτηριστικά, οι διαρροές είναι ταξινομημένες σε τρεις ομάδες: εκείνες που η ανάγκη για επισκευή είναι σε 24 έως 48 ώρες, εκείνες που επισκευάζονται μέσα σε 30 ημέρες, και εκείνες που δεν χρειάζονται την άμεση επισκευή αλλά ελέγχονται ετησίως. Μερικές χρησιμότητες υποδιαίρουν τη δεύτερη κατηγορία διαρροών σε εκείνες που πρέπει να επισκευαστούν σε 5 έως 10 ημέρες και εκείνες που πρέπει να ξανά επιθεωρηθούν μέσα σε 3 έως 4 μήνες. Στο σύστημα ταξινόμησης, οι χρησιμότητες σφάλλουν πάντα στην πλευρά της ασφάλειας, που επιταχύνει παρά που καθυστερεί μια επισκευή. Φορητοί ανιχνευτές ιονισμού φλογών, δείκτες καύσιμου αερίου, και αισθητήρες ημιαγωγών μεταλλικών οξειδίων χρησιμοποιούνται στις έρευνες της περιοχής που γίνονται από χειριστή με τα πόδια, για την ταξινόμηση και την επισήμανση των διαρροών.

Οι διαρροές έξω από το κτίριο εμφανίζονται συνήθως στη θαμμένη διοχέτευση με σωλήνες. Το γεγονός ότι ο σωλήνας θάβεται περιπλέκει τον προσδιορισμό και τη θέση διαρροών. Τις περισσότερες φορές, η υψηλότερη συγκέντρωση αερίου είναι πιο πέρα από τη κύρια διαρροή και η διαρροή του αερίου επισημαίνεται συνήθως μέσα στην πρώτη τρύπα που σκάβεται για να εξεταστεί ο σωλήνας. Η ακρίβεια εντόπισης μειώνεται, εντούτοις, όταν μεταναστεύει το αέριο μακριά από τη διαρροή, όταν το αέριο διαποτίζει το έδαφος, όταν πολλαπλάσιες διαρροές είναι παρούσες ή όταν τα υπόγεια νερά μετατοπίζουν το αέριο και τον αέρα στο χώμα. Επίσης οι διαρροές από χαμηλής πίεσεως ενώσεις χυτοσιδήρων είναι συχνά πολύ πιο δύσκολες να εντοπιστούν.

Η ανίχνευση διαρροών περιπλέκεται και από άλλους παράγοντες. Μερικά όργανα (όπως ο ανιχνευτής ιονισμού φλογών και ο δείκτης καύσιμου αερίου) δεν είναι συγκεκριμένα για το μεθάνιο — δηλαδή θα ανιχνεύσουν τους ατμούς υδρογονανθράκων εκτός από το μεθάνιο. Αυτά τα αέρια μπορούν να είναι από τις πηγές και όχι από τις διαρροές αερίου. Οι φυσικά εμφανιζόμενες πηγές μεθάνιου (από σαπισμένο αέριο βλάστησης και των υπονόμων) μπορούν να συγχωρευθούν ως διαρροή. Επειδή τα όργανα δεν διακρίνουν αυτές τις πηγές, ο χειριστής πρέπει να καθορίσει την πηγή. Αυτό μπορεί να είναι πολύ δύσκολο κατά περιόδους.

Οι διαρροές στις συσκευές, στην εσωτερική διοχέτευση με σωλήνες, και τα σύνολα μετρητών που βρίσκονται έξω από το κτίριο ανιχνεύονται συχνά από έναν αισθητήρα που τοποθετείται κοντά στην πιθανή θέση διαρροών. Υπό αυτήν τη μορφή, είναι κανονικά ευκολότερο να ανιχνεύσουν και να επισημάνουν τις διαρροές στο θαμμένο σωλήνα. Η προφανής εξαίρεση είναι οι διαρροές στη σωλήνωση μέσα στους τοίχους. Πριν εισάγουν τον αισθητήρα σε ένα περιορισμένο τμήμα, είναι σημαντικό ότι το πρόσωπο υπηρεσιών εξασφαλίζει ότι η περιοχή δεν είναι επικίνδυνη για τον πελάτη.

Σε τέτοιες περιπτώσεις, το καύσιμο αέριο, το οξυγόνο και οι συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα πρέπει να μετρηθούν. Τα όργανα με έναν συνδυασμό αισθητήρων σε μια ενιαία μονάδα είναι δυνατό να αξιολογήσουν τον πιθανό κίνδυνο και να ρυθμίσουν την κατάλληλη λειτουργία της συσκευής. Τα όργανα που είναι διαθέσιμα συνδυάζουν τους αισθητήρες για να μετρήσουν ένα ή περισσότερα από τα καύσιμα αέρια (σε διάφορα στάδια συγκέντρωσης), το οξυγόνο, το μονοξείδιο του άνθρακα, ή/και το σουλφίδιο υδρογόνου. Μερικά όργανα προσθέτουν τη θερμοκρασία, την πίεση, και τις μετρήσεις NOx σε αυτόν τον κατάλογο υπολογισμών.

2.5.2 *Νέες και παλαιές τεχνολογίες*

Ένας δείκτης καύσιμου αερίου είναι το όργανο της επιλογής μας για τον καθορισμό της έκτασης του αερίου που διαδίδεται και της ακριβούς θέσης μιας διαρροής. Σε μια χαρακτηριστική

λειτουργία, μια σειρά από κλειστές τρύπες δημιουργούνται στο έδαφος. Το βάθος μιας κλειστής τρύπας είναι χαρακτηριστικά ίσο με το βάθος σωλήνων, ονομαστικά 3 ft. Ο φραγμός αφαιρείται. Ένας σωλήνας τοποθετείται στην τρύπα και ένα δείγμα της ατμόσφαιρας εισέρχεται από το κατώτατο σημείο της τρύπας. Το δείγμα περνάει σε ένα ελεγχόμενο ποσοστό μέσω αισθητήρα που μετρά τη συγκέντρωση του αερίου. Η υψηλότερη συγκέντρωση αερίου είναι συνήθως πιο πέρα από τη διαρροή.

Ο παραδοσιακός αισθητήρας ήταν μια βελόνα γαλβανομέτρων. Υπάρχουν επίσης εκδόσεις που συνδυάζουν τους ανιχνευτές υδρογονανθράκων από 0 έως 999 ppm, CO ανιχνευτές, O₂, καθώς και ανιχνευτές H₂S. Τα τελευταία είναι χρήσιμα για την αποδοτικότητα καύσης των φούρνων και άλλων συσκευών αερίου.

2.5.3 Υπέρυθροι ανιχνευτές

Αυτοί οι ανιχνευτές χρησιμοποιούν την υπέρυθη ακτινοβολία για να ανιχνεύσουν και να μετρήσουν τη συγκέντρωση του αερίου. Ένα καθαρό αέριο απορροφά τα συγκεκριμένα μήκη κύματος του υπέρυθρου φωτός που μας ενδιαφέρουν. Κατά συνέπεια, από μια κατάλληλη επιλογή των υπέρυθρων μηκών κύματος, ένα όργανο μπορεί να συναρμολογηθεί για να ανιχνεύσει μόνο το μονοξείδιο άνθρακα, το διοξείδιο του άνθρακα, ή ενός από τα αέρια υδρογονανθράκων. Όλοι οι υδρογονάνθρακες που βρίσκονται στο φυσικό αέριο απορροφούν έντονα σε χαμηλά μήκη κύματος υπέρυθρων (1100 έως 1450 nanometers).

Σε μικρά μήκη κύματος μεταξύ 2,5 και 5,0 μικρών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διακρίνει και να ποσολογήσει το μεθάνιο, το αιθάνιο, το προπάνιο, το βουτάνιο, το CO₂, και τμήματα αερίου υδρατμού. Το μήκος κύματος 4 μικρών δεν απορροφάται από οποιαδήποτε από τα αέρια υδρογονανθράκων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εσωτερική αναφορά για να κρατήσει τον αισθητήρα στη βαθμολόγηση. Αυτή η προσέγγιση εξαλείφει την ανάγκη για ένα αέριο αναφοράς.

Ένα σχέδιο με υπέρυθρο ανιχνευτή έχει δύο διαμερίσματα με τα υπέρυθρα διαφανή παράθυρα σε κάθε τέλος. Το ένα διαμέρισμα σφραγίζεται και περιέχει ένα αέριο σύγκρισης, όπως ο καθαρός αέρας. Το φυσικό αέριο για να ανιχνευθεί περνάει συνεχώς μέσω του δεύτερου κυττάρου. Με διαδοχικά περάσματα από το υπέρυθρο φως μέσω κάθε διαμερίσματος, το επιθυμητό αέριο μπορεί να ανιχνευθεί. Όσο μεγαλύτερη η συγκέντρωση του αερίου, τόσο μεγαλύτερη η απορρόφηση και το αντίστοιχο σήμα παραγωγής. Το κύτταρο σύγκρισης αντισταθμίζει αυτόματα τις παραλλαγές στην υπέρυθη πηγή φωτός. Το αέριο με μια γνωστή σύνθεση περνά περιοδικά μέσω της πλευράς δειγμάτων για να βαθμολογήσει το όργανο. Ένας υπέρυθρος ανιχνευτής μεθανίου μπορεί να ανιχνεύσει τις συγκεντρώσεις σε λιγότερο και από μερικά ppm.

2.5.4 Ανίχνευση ιονισμού φλογών

Σε αυτόν τον ανιχνευτή, το δείγμα της ατμόσφαιρας που εξετάζεται τροφοδοτεί μια φλόγα υδρογόνου. Δύο ηλεκτρόδια που συνδέονται με μια μπαταρία βρίσκονται στη φλόγα. Εάν το δείγμα περιέχει τους υδρογονάνθρακες, ο αριθμός των μορίων ή ιόντων που διαμορφώνονται στη φλόγα αυξάνεται αισθητά. Αυτή η αύξηση συνοδεύεται από μια αύξηση στην ηλεκτρική τρέχουσα ροή μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων. Ένα πολύ ευαίσθητο αμπερόμετρο μετρά το ποσοστό ηλεκτρικής τρέχουσας ροής και παράγει ένα αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα παραγωγής που μπορεί να καταγραφεί. Οι ανιχνευτές ιονισμού φλογών έχουν ακόμα μεγαλύτερη ευαισθησία από τους υπέρυθρους ανιχνευτές.

Τα εργαστηριακά όργανα είναι σε θέση να εντοπίσουν 0,01 ppm του μεθανίου στον αέρα και οι μονάδες του εμπορίου μπορούν να έχουν μια ευαισθησία 0,1 ppm. Αφ' ετέρου, οι μονάδες ιονισμού φλογών δεν είναι εκλεκτικές, αλλά αποκρίνονται σε οποιοδήποτε υδρογονάνθρακα. Η επιλεκτικότητα μπορεί να βελτιωθεί αν πρώτα περάσει το αέριο μέσω ενός καταλυτικού φούρνου καύσης που ρυθμίζεται για να αντιδράσει στους υδρογονάνθρακες σε μια χαμηλότερη θερμοκρασία ανάφλεξης από το μεθάνιο. Κατ' αυτό τον τρόπο, οι ψεύτικες ενδείξεις διαρροών από τη βενζίνη ή οι διαλυτικοί ατμοί μπορούν να αποτραπούν.

Οι αισθητήρες ημιαγωγών μεταλλικών οξειδίων αποτελούνται από έναν σβόλο ή μια ταινία ενός συμπακνωμένου μεταλλικού οξειδίου που κατατίθεται σε ένα υπόστρωμα. Τα οξείδια κασσίτερου και σιδήρου χρησιμοποιούνται συνήθως σε αυτούς τους αισθητήρες. Μια θερμάστρα και ένα ζευγάρι των ηλεκτροδίων τοποθετούνται επίσης στο υπόστρωμα. Τα ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν την ηλεκτρική αντίσταση του υλικού. Η θερμάστρα χρησιμοποιείται για να αυξήσει τη θερμοκρασία των συμπακνωμένων υλικών των μεταλλικών οξειδίων. Όταν ο ημιαγωγός ενεργοποιείται με το ρεύμα, τα μόρια οξυγόνου συσσωρεύουν στην επιφάνεια του οξειδίου κασσίτερου ή σιδήρου που δημιουργεί μια γνωστή ηλεκτρική αντίσταση. Όταν ένα καύσιμο αέριο περνά μέσα από τον αισθητήρα, μερικά από τα μόρια οξυγόνου παρασύρονται μαζί από τον αισθητήρα, προκαλώντας μια αλλαγή στην αξία αντίστασης του ημιαγωγού.

Οι αισθητήρες ημιαγωγών μεταλλικών οξειδίων έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, ευαισθησία, και σταθερότητα και είναι οι ανθεκτικότεροι στη οξείδωση από το θείο - ή άλλων αέριων - έναντι άλλων τεχνολογιών αισθητήρων στερεάς κατάστασης. Ο αρχικός περιορισμός τους είναι η επιλεκτική τους λειτουργία δηλαδή αποκρίνονται σε πολλά αέρια. Παραδείγματος χάριν, ο ίδιος αισθητήρας θα ανιχνεύσει το μεθάνιο, την ασετυλίνη, τους βιομηχανικούς διαλύτες, το υδρογόνο και το προπάνιο καθώς επίσης και διάφορα άλλα αέρια.

Η οπτική επιθεώρηση του κεντρικού αγωγού αερίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση μερικών τύπων διαρροών. Εάν η στάθμη νερού αυξηθεί αρκετές ίντσες επάνω από την κορυφή ενός κεντρικού αγωγού αερίου που λειτουργεί με την πίεση των ιντσών της υδάτινης στήλης, το νερό μπορεί να εισαχθεί μέσω μιας διαρροής στο σωλήνα. Αυτό το νερό μπορούμε να το συλλέξουμε κυρίως σε ένα χαμηλό σημείο, μακριά από το σημείο εισόδων. Εάν εισαχθεί αρκετό νερό, η ροή του φυσικού αερίου μπορεί να εμποδιστεί. Η εύρεση της θέσης μιας αντίστροφης διαρροής είναι δύσκολη.

Μια φωτογραφική μηχανή που σχεδιάζεται συγκεκριμένα για τη χρήση στους κεντρικούς αγωγούς αερίου μπορεί να παρεμβληθεί σε έναν κεντρικό αγωγό μέσω μιας ειδικής συναρμολόγησης εισόδων ή μέσω ενός τμήματος υπηρεσιών που έχει αφαιρεθεί. Μια δέσμη από οπτικά καλώδια ινών και ακτίνες εκπέμπουν ένα φωτεινό φως στον εσωτερικό του σωλήνα που χαρακτηρίζει την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος έξω από το σωλήνα. Η είσοδος νερού μέσα στον κεντρικό αγωγό αφήνει τα αποκαλυπτικά οπτικά σημάδια που μπορούν να παρατηρηθούν με τη φωτογραφική μηχανή. Η εσωτερική οπτική επιθεώρηση μπορεί επίσης να βρει τη θέση των ενώσεων, των εγκαταλειμμένων υπηρεσιών και άλλων παρεμποδίσεων.

2.5.5 Ηχητική επισήμανση διαρροών.

Όπως περιγράφεται νωρίτερα, ένας δείκτης καύσιμου αερίου χρησιμοποιείται συνήθως για να επισημάνει τις διαρροές. Οι όροι στους οποίους η CGI έχει τη δυσκολία είναι να επισημάνουν ακριβώς τις διαρροές που περιγράφηκαν πριν. Επομένως, ένα πρόσθετο εργαλείο βασισμένο σε μια διαφορετική αρχή της επισήμανσης διαρροών έχει επιδιωχτεί από καιρό για να ελαχιστοποιήσει τις πρόσθετες ανασκαφές. Η επισήμανση της θέσης των διαρροών αερίου με τη χρησιμοποίηση του ήχου που παράγουν, παρέχει ένα τέτοιο νέο εργαλείο. Τα ακουστικά σήματα δεν μπορούν να μεταναστεύουν κάτω από τις στρωμένες επιφάνειες. Επειδή το ακουστικό σήμα μιας θαμμένης διαρροής είναι μικρό και συγκεκριμένο, το όργανο πρέπει να είναι πολύ ευαίσθητο. Πρέπει επίσης να είναι σε θέση να ελαχιστοποιήσει τα αποτελέσματα των παρασιτικών θορύβων στο σήμα διαρροών.

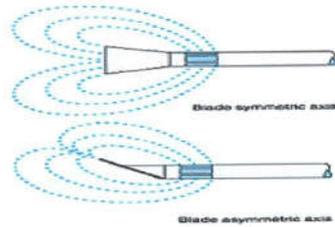
Η αυτοματοποίηση των ρυθμιστών της κάθε περιοχής επιβάλλεται για να ρυθμίζουν αυτόματα την πίεση που βασίζεται στη θερμοκρασία και θα παράσχει τα ουσιαστικά οφέλη των χρησιμοτήτων αερίου, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης διαρροής. Οι ρυθμιστές περιοχής είναι μηχανικές συσκευές που υπάρχουν μεταξύ του συστήματος διανομής που παραδίδει το αέριο στις εγκαταστάσεις των πελατών και στο πλέγμα μεταφορών υψηλής πίεσης. Ρυθμίζουν την πίεση κάτω

από ένα καθορισμένο σημείο χαμηλότερης πίεσης κατάλληλο για τη χρήση πελατών. Χαρακτηριστικά, τα καθορισμένα σημεία των ρυθμιστών της κάθε περιοχής ρυθμίζονται με το χέρι εποχικά. Επειδή το καθορισμένο σημείο πρέπει να είναι αρκετά υψηλό για να μπορεί το αέριο να παρέχει για την πιο κρύα ημέρα μεγαλύτερο φορτίο κατά τη διάρκεια εκείνης της εποχής, το σύστημα λειτουργεί συνήθως σε μια υψηλότερη πίεση από την απαραίτητη.

Ο πιο οικονομικός και αποδοτικός τρόπος να ελαχιστοποιηθεί η μέση πίεση συστημάτων είναι να εγκατασταθεί το αυτοματοποιημένο υλικό και το λογισμικό ελέγχου πίεσης στους ρυθμιστές περιοχής και στα χαμηλής πίεσεως σημεία. Επειδή η ιστορία, η γεωγραφία, και η φιλοσοφία των μεμονωμένων χρησιμότητων είναι διαφορετικές, το σύστημα ελέγχου πρέπει να έχει την ικανότητα να μάθει αυτόματα τις κατάλληλες τοποθετήσεις ελέγχου για να ελαχιστοποιεί την πίεση κάθε συστήματος.

Κάτω από την εγγυοδοσία εταιρειών αναπτύχθηκε ένα τέτοιο σύστημα. Τα αποτελέσματα από τις αρχικές υπαίθριες δοκιμές κατέδειξαν ότι οι μειώσεις της μέσης πίεσης συστημάτων 30 ως 60% είναι δυνατές. Η μείωση της μέσης πίεσης συστημάτων μειώνει το καταχωρημένο αέριο στους μετρητές και μειώνει τις απώλειες διήθησης με τις αντίστοιχες μειωμένες εκπομπές ενός αερίου θερμοκηπίου. Η παρουσία αυτοματοποιημένων ελέγχων στους υπόγειους θαλάμους θα δώσει επίσης στις χρησιμότητες την πρόσθετη ευελιξία και την απάντηση στην έκτακτη ανάγκη ή τις ασυνήθιστες καταστάσεις. Ένα σύστημα διανομής αερίου μπορεί να ωφεληθεί με την εξάλειψη των δαπανηρών επισκέψεων στους μακρινούς ρυθμιστές, με τη μείωση του κινδύνου και της απώλειας αερίου στη ζήμια τρίτων και παροχή πρόσθετης ευελιξίας στην αποδοχή του αερίου από πολλούς προμηθευτές.

2.5.6 Τεχνικές ανίχνευσης φυσικού αερίου με τη μέτρηση ποσοστών ροών αέρα στα κτίρια



Εικόνα 2-3

Υπάρχει μια ποικιλία τεχνικών ανίχνευσης αερίου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση ποσοστού για τη ροή αέρα στα κτίρια υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας για τα συστήματα οικοδόμησης (Lagus and Persily 1985; Roulet and Vandaele 1991). Σε αυτές τις τεχνικές, ένας ή περισσότεροι ανιχνευτές αερίων ανταποκρίνονται σε ένα κτίριο με έναν ελεγχόμενο τρόπο και η ανταπόκριση της συγκέντρωσης του ανιχνευτή αερίου μέσα στο κτίριο αναλύεται για να καθορίσει τα ποσοστά ροής αέρα που μας ενδιαφέρουν. Τεχνικές ανίχνευσης αερίου συμπεριλαμβάνονται σε αυτήν την βιβλιογραφική επισκόπηση για δύο λόγους. Πρώτον, γιατί οι τεχνικές ανίχνευσης αερίου απαιτούν μια ομοιόμορφη συγκέντρωση για την ανίχνευση αερίου μέσα σε ένα κτίριο ή ένα τμήμα ενός κτιρίου και η εμπειρία βοηθάει στην αξιολόγηση της ομοιομορφίας των συγκεντρώσεων για την ανίχνευση αερίου στα κτίρια και μπορούν να παρέχουν κάποια διορατικότητα στη διασπορά του CO στα κτίρια. Επίσης, οι τεχνικές ανίχνευσης αερίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση ποσοστών αέρα μεταξύ διάφορων τμημάτων ενός κτιρίου. Επομένως μπορεί να είναι χρήσιμο στην κατανόηση της μεταφοράς των αερομεταφερόμενων μολυσματικών παραγόντων στα κτίρια.

Οι τεχνικές ανίχνευσης αερίου μπορούν να διακριθούν: α) σε εκείνες που μετρούν το ποσοστό εναλλαγής αέρα ολόκληρου του κτιρίου και β) σε εκείνες που μετρούν τα ποσοστά ροών αέρος στο εσωτερικό των κτιρίων που ενεργούν ως συστήματα σε όλες τις ζώνες. Οι τεχνικές ανίχνευσης αερίου σε ένα ενιαίο χώρο έχουν χρησιμοποιηθεί για δεκαετίες και αποτελεί το αντικείμενο μιας τυποποιημένης μεθόδου δοκιμής (ASTM 1995). Στην πραγματικότητα, το CO έχει χρησιμοποιηθεί ως αέριο ανίχνευσης σε μερικές από αυτές τις μελέτες, αν και απελευθερώθηκε

σκόπιμα και αναμίχθηκε κατά τη διάρκεια της δοκιμής και επομένως αυτά τα αποτελέσματα δεν είναι ιδιαίτερα σχετικά με τη διανομή CO κάτω από τις κανονικές συνθήκες .

Υπάρχουν τρεις τεχνικές ανίχνευσης φυσικού αερίου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν το ποσοστό στο οποίο ο εξωτερικός αέρας εισάγεται σε ένα κτίριο και προσμετράτε :

- i. αποσύνθεση,
- ii. σταθερή συγκέντρωση και
- iii. σταθερή έγχυση

Αυτές οι τεχνικές διαφέρουν στο τρόπο με τον οποίο το αέριο ανίχνευσης εγχέεται στο διάστημα δοκιμής και στο πώς οι συγκεντρώσεις αερίου ανίχνευσης αναλύονται για να καθορίσουν το ποσοστό εναλλαγής αέρα. Σε μια τεχνική για ενιαίο χώρο για να ισχύσει σε ένα δεδομένο κτίριο ή ένα διάστημα, η συγκέντρωση του φυσικού αερίου που ανιχνεύουμε στο κτίριο πρέπει να είναι ομοιόμορφη καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου μέτρησης. Αυτή η ομοιομορφία μπορεί να επιτευχθεί στα κτίρια που δεν μπορούν να εμφανιστούν να ενεργούν ομοιόμορφα σαν ενιαίος χώρος μέσω της χρήσης της κατάλληλης έγχυσης αερίου ανίχνευσης. Σε μερικά κτίρια, δεν μπορεί να διατηρηθεί ομοιόμορφη συγκέντρωση του αερίου που ανιχνεύουμε οπότε σε αυτή την περίπτωση μια τεχνική πολλαπλών αερίων ανίχνευσης πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει τα ποσοστά ροών αέρα στο κτίριο.

Οι τεχνικές ανίχνευσης του φυσικού αερίου σε ένα ενιαίο χώρο είναι βασισμένες στην κρίσιμη υπόθεση ότι η συγκέντρωση του αερίου που ανιχνεύουμε είναι ομοιόμορφη μέσα στο διάστημα που μελετάται (Hunt 1980; Sherman 1990). Η μέθοδος δοκιμής ανίχνευσης φυσικού αερίου σε ένα ενιαίο χώρο απαιτεί ότι η συγκέντρωση αερίου στο χώρο του διαστήματος διαφέρει κατά λιγότερο από 10% από τη μέση συγκέντρωση του διαστήματος.

Εάν δεν επιτυγχάνεται ομοιόμορφη συγκέντρωση, κατόπιν μπορούν να υπάρξουν σημαντικά λάθη στα αποτελέσματα της δοκιμής. Κατά τη χρησιμοποίηση των τεχνικών ενιαίας ζώνης, με κάποιο τρόπο πρέπει να ελεγχθεί η ομοιομορφία της συγκέντρωσης του αερίου ανίχνευσης με τη δειγματοληψία της συγκέντρωσης σε πολλαπλά σημεία στο κτίριο. Η ανάμιξη μπορεί να ενισχυθεί με τον ανεμιστήρα διανομής αέρα στα κτίρια με εξαναγκασμένη θέρμανση αέρα και ψύξη, ή με το να ενεργοποιήσουν τους συμπληρωματικούς ανεμιστήρες ανάμιξης .

Και οι δύο προσεγγίσεις έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς στον παρελθόν (Bassett 1981), και η λειτουργία της εξαναγκασμένης παροχής αέρα με ανεμιστήρες χρησιμοποιήθηκε για να δημιουργήσει μια ομοιόμορφη συγκέντρωση του αερίου μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα 5 min

μέσα σε ένα κατοικημένο κτίριο. Εντούτοις, με την ενεργοποίηση εξαναγκασμένης παροχής αέρα με ανεμιστήρα μπορεί να αλλάξει το ποσοστό εναλλαγής αέρα ενός κτιρίου λόγω της διαρροής αγωγών και να δημιουργήσει διαφορές πίεσης πέρα από το χώρο οικοδόμησης. Επίσης, κατά την ανάμιξη σε κλειστό δωμάτιο, δεν παρουσιάζεται καμία ανομοιομορφία στη συγκέντρωση αερίου ανίχνευσης ακόμη και κατά τη διάρκεια εξαναγκασμένης παροχής αέρα με τη λειτουργία ανεμιστήρων (Haghighat et al. 1990). Σε μερικά κτίρια, η εκ μεταφοράς ανάμιξη λόγω διαφορών θερμοκρασίας μπορεί να είναι επαρκής για να επιτύχει μια ομοιόμορφη συγκέντρωση του αερίου που ανιχνεύουμε χωρίς τη χρήση των ανεμιστήρων.

2.5.7 Τεχνικές ανίχνευσης φυσικού αερίου εν συγκρίσει με ποσοστά ροών αέρα σε εσωτερικούς χώρους

Υπάρχει ένας αριθμός τεχνικών ανίχνευσης φυσικού αερίου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετρώντας τα ποσοστά ροών αέρος μεταξύ κάποιων τμημάτων ενός κτιρίου και μεταξύ αυτών των τμημάτων και της υπαίθρου. Αυτές οι τεχνικές διαφέρουν πρώτιστα στη μορφή του αερίου ανίχνευσης που χρησιμοποιείται και στις εξισώσεις που υιοθετούνται, καθώς επίσης και στη στρατηγική εγγύσεων που χρησιμοποιείται στη διανομή του αερίου μέσα στο κτίριο (Heidt et al. 1991; Persily ; , and Axley 1990). Οι πιο κοινά χρησιμοποιημένες τεχνικές είναι οι ακόλουθες: i) η πολυδιάστατη αποσύνθεση , ii) η ακέραια μέθοδος του σφυγμού, iii) της σταθερής συγκέντρωσης , iv) η ημισυνεχής σταθερή έγχυση, και v) η μέση σταθερή έγχυση μεγάλου χρονικού διαστήματος.

Η μέθοδος της πολυδιάστατης αποσύνθεσης είναι βασισμένη σε μια διαφορική διατύπωση της εξίσωσης μαζικής ισορροπίας του αερίου που ανιχνεύουμε. Η πολυδιάστατη αποσύνθεση είναι πιθανώς η πιο κοινά χρησιμοποιούμενη τεχνική, παρά το γεγονός ότι έχει το πρόβλημα των σημαντικών λαθών σε σχέση με τα χρονικά παράγωγα καθορισμού των συγκεντρώσεων αερίου. Αυτή η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλά αέρια ανίχνευσης ή και μόνο με ένα αέριο. Η προσέγγιση ενός μόνο αερίου παίρνει περισσότερο χρόνο, κατά τη διάρκεια του οποίου τα ποσοστά ροών αέρος θα μπορούσαν να αλλάξουν, οδηγώντας πιθανόν σε λάθη στα κατ' εκτίμηση ποσοστά ροών αέρος.

Η αποκαλούμενη ακέραια μέθοδος σφυγμού είναι βασισμένη σε μια ολοκληρωμένη διατύπωση της μαζικής ισορροπίας του αερίου που ανιχνεύουμε , η οποία αποφεύγει τα λάθη με τα χρονικά παράγωγα που συνδέονται με τη μέθοδο αποσύνθεσης. Η ακέραια προσέγγιση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί με πολλαπλούς ή έναν ενιαίο ανιχνευτή, αλλά το ζήτημα της αλλαγής

ποσοστού ροών αέρος κατά τη διάρκεια του χρόνου υπάρχει όπως στη μέθοδο αποσύνθεσης. Στη μέθοδο σταθερής συγκέντρωσης, το ποσοστό εγχύσεων του αερίου ανίχνευσης σε κάθε τμήμα ελέγχεται έτσι ώστε οι συγκεντρώσεις του αερίου σε όλες τις ζώνες να διατηρείται σε μια συγκέντρωση επιθυμητού στόχου. Αυτή η μέθοδος απαιτεί ειδικό εξοπλισμό για να ελέγχει συνεχώς το ποσοστό εγχύσεων του αερίου που ανιχνεύουμε και καθορίζει μόνο τα υπαίθρια ποσοστά ροών αέρος στις εξωτερικές ζώνες κτηρίων και όχι τα ποσοστά ροών αέρος μέσα στο κτίριο.

Στην ημισυνεχή σταθερή μέθοδο έγχυσης, ένα μόνο αέριο ανίχνευσης εγχέεται σε σταθερό ποσοστό σε κάθε τμήμα, με έναν ελεγχόμενο τρόπο για να διατηρήσουμε μια επιθυμητή συγκέντρωση σε εκείνο το τμήμα. Στη μέση σταθερή έγχυση μεγάλου χρονικού διαστήματος πολλαπλοί ανιχνευτές απελευθερώνονται σε ένα σταθερό ποσοστό σε διαφορετικά τμήματα της οικοδομής και οι μέσες (γενικά κατά τη διάρκεια των ημερών ή των εβδομάδων) συγκεντρώσεις του αερίου ανίχνευσης είναι καθορισμένοι σε κάθε τμήμα. Τα ποσοστά αέρα σε εσωτερικούς χώρους καθορίζονται βασισμένα σε μια ανάλυση μαζικής ισορροπίας υποθέτοντας ότι η συγκέντρωση του φυσικού αερίου βρίσκεται σε μια σταθερή κατάσταση κατά τη διάρκεια μιας μέσης περιόδου.

Οι τεχνικές ποιοτικού ελέγχου σε πολλά τμήματα έχουν περιγραφεί και στις οποίες το καθένα καθιερώνει μια ομοιόμορφη συγκέντρωση του αερίου σε ένα κτίριο και ελέγχει έπειτα την επόμενη αποσύνθεση του αερίου ανίχνευσης σε κάθε τμήμα. (Maldonado and Woods 1983). Τα διαφορετικά ποσοστά αποσύνθεσης σε κάθε τμήμα, ή η ακέραια συγκέντρωση του αερίου ανίχνευσης σε κάθε τμήμα, μπορούν να συγκριθούν στη συνέχεια ως ένδειξη της σχετικής αποτελεσματικότητας του εξαερισμού με τον αέρα της υπαίθρου στα διάφορα τμήματα. Παρόλα αυτά, τα ποσοστά αποσύνθεσης δεν είναι τα πραγματικά υπαίθρια ποσοστά εξαερισμού αέρα, ούτε μπορεί αυτή η προσέγγιση να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστούν τα εσωτερικά ποσοστά ροών αέρα.

2.5.8 Μετρήσεις και συμπεράσματα ανίχνευσης φυσικού αερίου και των ποσοστών αέρα σε εσωτερικούς χώρους

Οι τεχνικές ανίχνευσης αερίου σε πολλαπλές ζώνες και κυρίως σε εσωτερικούς χώρους περιγράφηκαν στο προηγούμενο τμήμα καθώς και οι τρόποι που έχουν χρησιμοποιηθεί στα κατοικημένα κτίρια για να καθορίσουν τα ποσοστά ροών αέρα. Αυτές οι μετρήσεις μπορούν να περιγραφούν ως προσπάθειες για να καταδειχθούν οι τεχνικές και να ερευνηθούν τα ζητήματα

σχετικά με την χρησιμοποίησή τους στον τομέα. Σε αυτό το σημείο, η χρήση αυτών των τεχνικών έχει περιοριστεί στις ερευνητικές προσπάθειες, και επομένως, τα αποτελέσματα με επιτυχία περιορίζονται σε έναν μικρό αριθμό συγκεκριμένων περιστάσεων και δομών.

Η τεχνική αποσύνθεσης έχει εφαρμοστεί σε δύο κατοικημένα κτίρια (Prior et al. 1985; Sieber et al. 1993). Στην πρώτη περίπτωση, τα ποσοστά ροών αέρα μετρήθηκαν μεταξύ ενός παθητικά-θερμαινόμενου χώρου και του κύριου ζωτικού χώρου ενός σπιτιού. Στη δεύτερη μελέτη, τα ποσοστά ροών αέρα μετρήθηκαν μεταξύ του υπογείου και των κύριων επιπέδων του σπιτιού με και χωρίς τη λειτουργία ανεμιστήρων ανάμιξης. Η σταθερή μέθοδος συγκέντρωσης εφαρμόστηκε σε ένα σπίτι για να καθορίσει το ποσοστό στο οποίο ο υπαίθριος αέρας εισερχόταν στο κάθε δωμάτιο (Freeman et al. 1982).

Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν για τις καταστάσεις με και χωρίς θέρμανση και με τη λειτουργία συστημάτων εξαερισμού εξάτμισης. Το αποτέλεσμα παρουσίασε μεγαλύτερες διαφορές στα ποσοστά εξαερισμού των δύο πατωμάτων, χωρίς θέρμανση από ό,τι σε εκείνα με τη θέρμανση. Χωρίς θέρμανση, η ανάμιξη μέσα σε ένα πάτωμα ήταν αποδοτικότερη από ό,τι ανάμεσα στα πατώματα. Η ημισυνεχής σταθερή μέθοδος έγχυσης εφαρμόστηκε σε δύο σπίτια (Sherman and Dickertoff 1989). Το πρώτο ήταν ένα μη κατοικήσιμο σπίτι, με τέσσερα δωμάτια (ζώνες), στο οποίο τα εσωτερικά ποσοστά αέρα μετρήθηκαν πάνω από 1,5 ημέρες και με αναφορά κάθε 30 λεπτά. Το δεύτερο σπίτι ήταν κατοικήσιμο και χωρισμένο ως σύστημα τριών τμημάτων. Η μέση σταθερή έγχυση μεγάλου χρονικού διαστήματος εφαρμόστηκε σε τέσσερα σπίτια, εν μέρει για να αποκτηθεί κάποια επίγνωση στο ρόλο που έχουν οι σοφίτες, στα κενά διαστήματα μεταξύ των ανθρώπων και στα υπόγεια (Dietz et al. 1986). Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιήθηκε επίσης για να ερευνηθεί τα ποσοστά ροών αέρα σε ένα κτίριο χωρισμένο σε τέσσερα τμήματα (Dietz et al. 1984). Η προσέγγιση της ποιοτικής αποσύνθεσης εφαρμόστηκε σε ένα ερευνητικό σπίτι, στο οποίο το ποσοστό αποσύνθεσης του φυσικού αερίου που ανιχνευόταν ελεγχόταν και παρακολουθούνταν σε 12 εσωτερικές θέσεις (Maldonado and Woods 1983a).

Έχουν υπάρξει διάφορες μελέτες στις οποίες τα αποτελέσματα των διαφορετικών τεχνικών ανίχνευσης φυσικού αερίου συγκρίθηκαν στο ίδιο κτίριο. Οι διενεργηθείσες μετρήσεις που έγιναν σε ένα σπίτι, συγκρίνουν τα αποτελέσματα διάφορων διατυπώσεων της μεθόδου αποσύνθεσης και της αέριας προσέγγισης μαζικής ισορροπίας. Τα μετρημένα ποσοστά ροών αέρα για τα διάφορα τμήματα συγκρίθηκαν με όλες τις μεθόδους, και παρατηρήθηκε ένα ευρύ φάσμα τιμών. Η μέθοδος εξέτασης της σταθερής συγκέντρωσης ενός μοναδικού αερίου, η μέση σταθερή έγχυση μεγάλου

χρονικού διαστήματος και οι ημισυνεχείς σταθερές μέθοδοι εγχύσεων συγκρίθηκαν σε δύο όμοια σπίτια δοκιμής (Fortmann et al. 1990).

Σε αυτές τις δοκιμές, τα σπίτια αναλύθηκαν ως συστήματα με δύο τμήματα χωρισμένα ως το επάνω και το κάτω τμήμα του σπιτιού. Οι μετρήσεις έγιναν με βάση τη μέση σταθερή έγχυση μεγάλου χρονικού διαστήματος λαμβάνοντας υπόψη και τα ποσοστά ροών αέρα από τη σοφίτα και το γκαράζ. Τα αποτελέσματα μέτρησης ήταν συνεπή για μερικές από τις ροές αέρα, ενώ υπήρξαν μεγάλες διαφορές για τις άλλες. Έτσι έγινε σύγκριση για τις μεθόδους από την άποψη της εφαρμογής των απαιτήσεων εξοπλισμού και της πολυπλοκότητας.

Η πολυπλοκότητα των κτιρίων, ιδιαίτερα εκείνων που είναι φυσικά αεριζόμενων, σε ψηλά κτίρια ή συνδυασμός και των δύο, κάνουν την ανίχνευση του φυσικού αερίου πολύ δύσκολη. Η έγχυση του αερίου που θέλουμε να ανιχνεύσουμε μπορεί να είναι πολύ δύσκολη, όπως επίσης η επίτευξη και η διατήρηση της συγκέντρωσης του αερίου κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης (Shaw and Magee 1990). Άλλες επιλογές για την αξιολόγηση της ροής αέρα στα κτίρια περιλαμβάνουν τη δοκιμή πίεσης, της διαρροής αέρα των εξωτερικών τοίχων και των χωρισμάτων μεταξύ των διαμερισμάτων για τη χρήση ως εισαγωγές στα πρότυπα ροών αέρα.

Η τελευταία μελέτη χρησιμοποίησε επίσης τις ποιοτικές τεχνικές αερίου ανίχνευσης στις οποίες το φυσικό αέριο απελευθερώθηκε σε ένα συγκεκριμένο σημείο σε ένα κτίριο. Η συγκέντρωση υπολογίστηκε σε όλο το κτίριο προκειμένου να ληφθεί μια ποιοτική ένδειξη των εσωτερικών ροών αέρα. Τα αποτελέσματα αυτών των αξιολογήσεων δείχνουν ότι τα κτίρια με ρωγμές διαρροής στους εξωτερικούς τοίχους παρουσιάζουν μεγάλη μετακίνηση αέρα λόγω της επίδρασης των καμινάδων και του αέρα. Στα καλά μονωμένα κτίρια η μετακίνηση αέρα επηρεάζεται περισσότερο από τις καμινάδες και σχεδόν καθόλου από τον αέρα. Αυτές οι εσωτερικές δραστηριότητες κτιρίου περιλαμβάνουν την κίνηση του ασανσέρ, το άνοιγμα και το κλείσιμο της πόρτας και τη μετακίνηση αντικειμένων, με αποτέλεσμα η ανίχνευση του αερίου να γίνεται πολύ πιο εύκολα.

3 ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

για την εγκατάσταση των συσκευών αερίου

3.1 Πεδίο Εφαρμογής

Ο κανονισμός περιέχει την περιλήψη των βασικών και πιο σημαντικών σημείων του νέου κανονισμού σχετικά με την πραγματοποίηση των εγκαταστάσεων χρήσης Φ.Α. για τον οικιακό τομέα και με πίεση τροφοδότησης Φ.Α. μέχρι 1 bar. Οι Εσωτερικές Εγκαταστάσεις Αερίου πρέπει να σχεδιάζονται, να κατασκευάζονται, να υπόκεινται σε μετατροπή, να δοκιμάζονται και να τίθενται σε λειτουργία καθώς και να λειτουργούν και να συντηρούνται με βάση τον Τεχνικό κανονισμό

"Εσωτερικές εγκαταστάσεις φυσικού αερίου με πίεση λειτουργίας έως και 1 bar".

Ο Κανονισμός αυτός ισχύει για Το τμήμα της εγκατάστασης αερίου μετά το μετρητή (σημείο παράδοσης-παραλαβής του αερίου) μέχρι Το σημείο εξόδου της εγκατάστασης καυσαερίων στο ύπαιθρο.

Η Εταιρία Αερίου μπορεί να θέτει ειδικές απαιτήσεις επί πλέον των διατάξεων του Κανονισμού, στις περιπτώσεις στις οποίες κρίνει αυτό σκόπιμο για λόγους ασφαλείας

Μέγιστες επιτρεπόμενες πιέσεις εσωτερικής εγκατάστασης εντός κτιρίου

Κατηγορία χρήσης	Είδος χρήσης	Πίεση
1	Οικιακή χρήση (μαγειρέμα, ζεστό νερό ατομική θέρμανση)	25 mbar
2	Λεβητοστάσια κεντρικής θέρμανσης κατοικιών	100 mbar
3	Λεβητοστάσια επαγγελματικής χρήσης	300 mbar
4	Λεβητοστάσια μεγάλων κτιρίων, νοσοκομείων, ξενοδοχείων βιομηχανιών κλπ με συνολική παροχή $\leq 300 \text{ Nm}^3/\text{h}$	300 mbar
5	Λεβητοστάσια μεγάλων κτιρίων, νοσοκομείων, ξενοδοχείων βιομηχανιών κλπ με συνολική παροχή $> 300 \text{ Nm}^3/\text{h}$	1 bar
6	Επαγγελματικά μαγειρεία	25 mbar
7	Εκπαιδευτικά εργαστήρια	25 mbar
8	Ερευνητικά εργαστήρια	1 bar

3.2 Συμμόρφωση με πρότυπα

Οι εγκαταστάσεις αερίου καθώς και τα υλικά, τα εξαρτήματα και οι συσκευές τους πρέπει να ικανοποιούν τουλάχιστον τις απαιτήσεις των αντίστοιχων προτύπων της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Τυποποίησης CEN.

Όπου στον παρόντα οδηγό γίνεται αναφορά σε πρότυπα τα οποία δεν είναι ελληνικά (ΕΛΟΤ) ή ευρωπαϊκά (EN ή ΕΛΟΤ), και συνήθως πρόκειται για γερμανικά πρότυπα DIN, αυτό που οφείλεται ότι την στιγμή της έκδοσης δεν υπήρχαν αντίστοιχα ελληνικά ή ευρωπαϊκά πρότυπα.

Η αναφορά των προτύπων αυτών είναι ενδεικτική. Αντί των προτύπων που αναφέρονται και δεν είναι ελληνικά ή ευρωπαϊκά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντίστοιχα εθνικά πρότυπα Κρατών Μελών της Ευρωπαϊκής ένωσης (UNI, NF, BS κλπ.), υπό την προϋπόθεση ότι πληρούν τις απαιτήσεις των προτύπων που αναφέρονται στον Κανονισμό.

3.3 Εγκατάσταση των συσκευών αερίου

3.3.1 *Απαιτήσεις για συσκευές αερίου*

Οι συσκευές αερίου πρέπει να φέρουν τη σήμανση CE, όπως προβλέπει η Κοινοτική Οδηγία 90/396/ΕΟΚ.

Οι συσκευές αερίου πρέπει να είναι κατάλληλες για τη χώρα προορισμού. Για την Ελλάδα η ένδειξη προορισμού είναι το γνωστό σύμβολο GR.

Οι καυστήρες αερίου και οι λέβητες πρέπει να φέρουν τη σήμανση CE, και να είναι συμβατοί μεταξύ τους. Οι λέβητες υπάγονται στην Κοινοτική Οδηγία 92/42/ΕΟΚ, η οποία ισχύει μέχρι τα 400 kW. Για ισχύ μεγαλύτερη από 400 kW δεν προβλέπεται σήμανση CE για τους λέβητες.

Οι συσκευές αερίου του τύπου B₁ και B₄ οι οποίες έχουν ασφάλεια ροής, επιτρέπεται να εγκατασταθούν σε χώρους παραμονής ανθρώπων (διαμερίσματα, υπόγεια, σοφίτες, χώρους ψυχαγωγίας κλπ.) μόνον αν διαθέτουν μια διάταξη επιτήρησης των καυσαερίων (με πρόσθετη σήμανση "BS").

3.3.2 Διάκριση των χώρων εγκατάστασης

Οι συσκευές αερίου με συνολική ισχύ μέχρι 50 kW μπορούν να εγκαθίστανται μέσα σε διαμερίσματα ή άλλους χώρους παραμονής ατόμων, ενώ οι συσκευές με συνολική ισχύ μεγαλύτερη από 50 kW πρέπει να εγκαθίστανται μόνον σε λεβητοστάσια.

Τα λεβητοστάσια διακρίνονται σε :

- κοινά λεβητοστάσια, στα οποία εκτός από λέβητες αερίου μπορούν να εγκατασταθούν και λέβητες άλλων καυσίμων (πετρέλαιο κλπ) και
- λεβητοστάσια αερίου, στα οποία μπορούν να εγκατασταθούν μόνον λέβητες αερίου.

3.3.3 Απαγορευμένοι χώροι εγκατάστασης

Απαγορεύεται η εγκατάσταση συσκευών αερίου:

- i) σε κλιμακοστάσια και σε πολυσύχναστους διαδρόμους που χρησιμεύουν ως οδοί διαφυγής
- ii) σε χώρους στους οποίους αποθηκεύονται ή μπορούν να δημιουργηθούν εύφλεκτες ουσίες σε επικίνδυνες ποσότητες
- iii) σε χώρους, στους οποίους αποθηκεύονται ή παράγονται εκρηκτικές ουσίες.

Επιτρέπεται η εγκατάσταση συσκευών του τύπου C σε αίθουσες στάθμευσης (γκαράζ), εφ' όσον αυτές προορίζονται για εγκατάσταση σε γκαράζ και έχουν σημειωθεί αναλόγως (συσκευές αερίου για γκαράζ).

Απαγορεύεται η εγκατάσταση συσκευών αερίου των τύπων A και B:

- i) Σε λουτρά και τουαλέτες χωρίς εξωτερικά παράθυρα
- ii) Σε κομμωτήρια, καθαριστήρια, βαφεία και παρόμοιους χώρους, όπου ψεκάζονται αέρια ή παράγονται ατμοί υδρογονανθράκων,
- iii) Σε χώρους όπου παράγονται σκόνες, πριονίδια ή ρινίσματα

Δεν επιτρέπεται να εγκαθίστανται συσκευές αερίου του τύπου Β σε χώρους από τους οποίους αναρροφάται αέρας από ανεμιστήρες. Κατ' εξαίρεση επιτρέπεται να εγκαθίστανται τέτοιες συσκευές, όταν:

- i. Διατάξεις ασφαλείας εξασφαλίζουν ότι οι συσκευές αερίου δεν μπορούν να βρίσκονται σε λειτουργία όταν λειτουργεί η εγκατάσταση αερισμού,
- ii. Ο ανεμιστήρας δεν επηρεάζει την τροφοδοσία του αέρα καύσης και την απαγωγή των καυσαερίων των συσκευών αερίου.

Δεν επιτρέπεται να εγκαθίστανται συσκευές αερίου του τύπου Β σε χώρους όπου έχουν εγκατασταθεί ανοικτά τζάκια χωρίς δικό τους άνοιγμα τροφοδοσίας με αέρα καύσης.

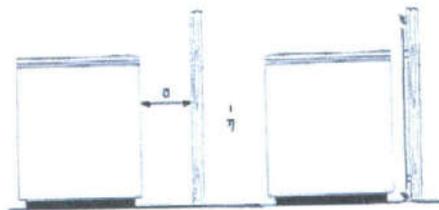
Απαγορεύεται να εγκαθίστανται οι συσκευές σε χώρους με όγκο μικρότερο από 6 m^3

3.3.4 Απαιτήσεις για την εγκατάσταση

Αν οι συσκευές αερίου εγκαθίστανται κοντά σε τοιχία, υποστυλώματα, οροφές ή άλλα φέροντα δομικά στοιχεία, τότε πρέπει να εξασφαλίζεται με ιδιαίτερη θερμομόνωση ή με επαρκή απόσταση ότι οι συσκευές δεν θα θερμάνουν τις επιφάνειες σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από 50°C . Για τα πατώματα (κάτω από λέβητα κλπ.) επιτρέπεται θέρμανση μέχρι 80°C .

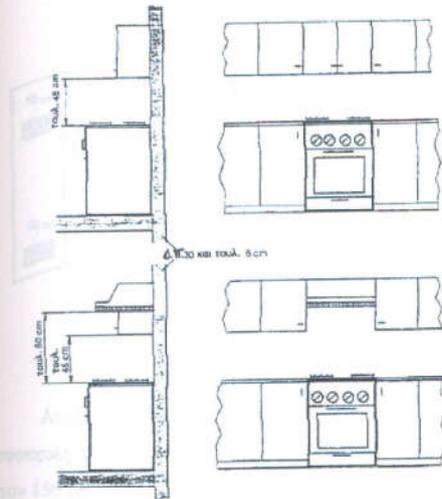
Περισσότερες πληροφορίες για τα προστατευτικά μέτρα λαμβάνονται από τις οδηγίες εγκατάστασης του κατασκευαστή.

Οι απαιτήσεις...



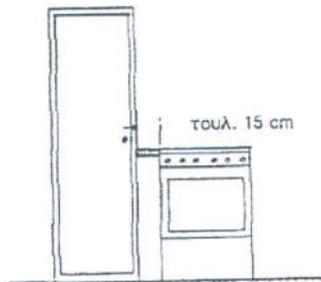
Προστασία καύσιμων δομικών στοιχείων (ξύλα, μοριοσανίδες κλπ.), αν αναπτύσσονται σημαντικές θερμοκρασίες στις συσκευές αερίου

Η απόσταση a ορίζεται από τον κατασκευαστή. Αλλιώς λαμβάνουμε $a=40 \text{ cm}$

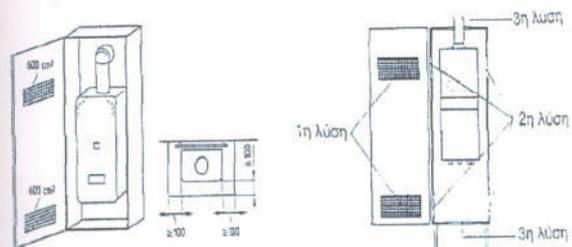


Εγκατάσταση μαγειρικών εστιών

Ο εντοιχισμός πρέπει να γίνεται με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή.



Εγκατάσταση μαγειρικής συσκευής δίπλα σε ψηλό ερμάριο



Ανοίγματα σε έπιπλο επένδυσης συσκευής του τύπου B₁ ή B₄

Για τις συσκευές των τύπων B₂, B₃ και B₅ αρκούν ανοίγματα ελεύθερης διατομής το καθένα τουλάχιστον 150 cm²

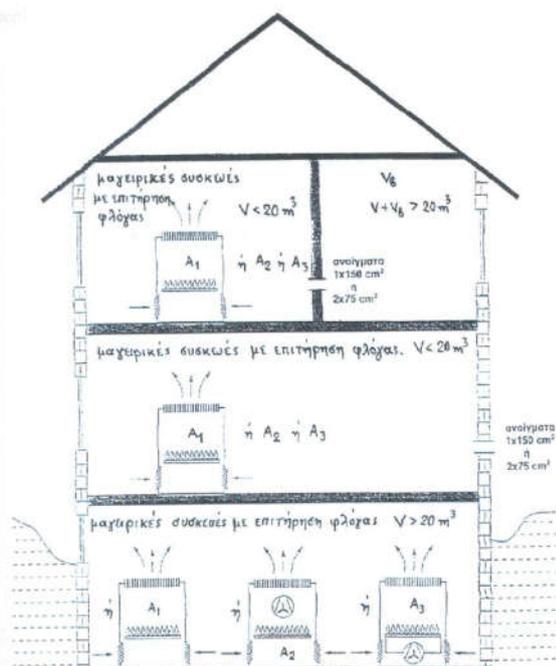
Α. χωρίς αερίων

3.3.5 Εγκατάσταση συσκευών αερίων του τύπου A

Β. με αερίων

Συσκευή αερίου χωρίς εγκατάσταση απαγωγής καυσαερίων

Οι οικιακές μαγειρικές έχουν θερμική ισχύ μέχρι 11 kW

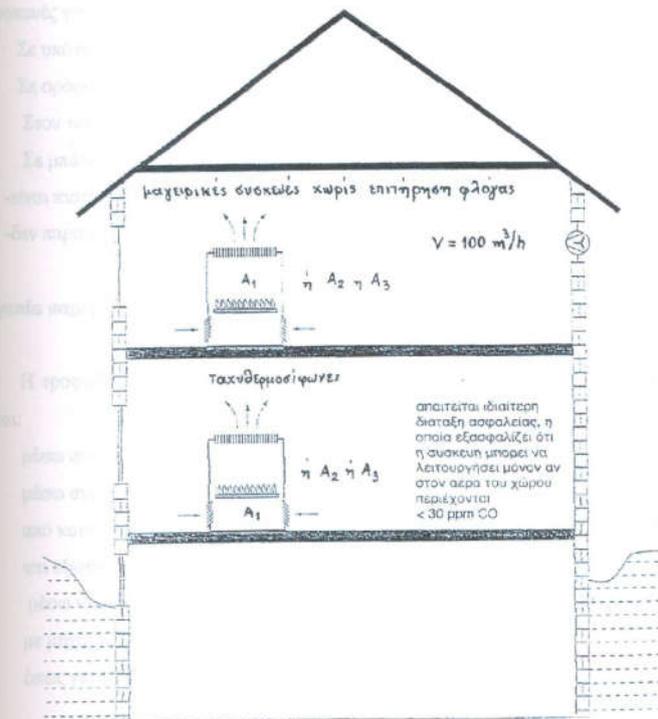


A₁ χωρίς ανεμιστήρα

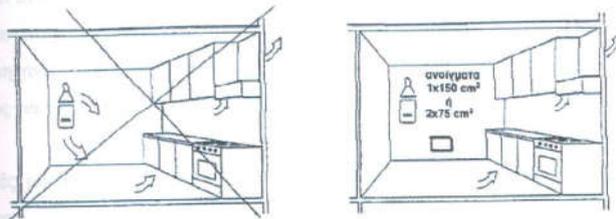
A₂ με ανεμιστήρα μετά τον καυστήρα/εναλλάκτη θερμότητας

A₃ με ανεμιστήρα πριν τον καυστήρα

Συσκευή αερίου του τύπου A



Εγκατάσταση συσκευής τύπου A και συσκευής τύπου B



3.3.6 Εγκατάσταση συσκευών αερίου του τύπου B

Οι συσκευές γενικά μπορούν να εγκαθίστανται:

- i) Σε υπόγεια λεβητοστάσια, 1^ο ή 2^ο υπόγειο
- ii) Σε ορόφους
- iii) Στον τελευταίο όροφο
- iv) Σε μπαλκόνια υπό τους όρους ότι :
-είναι πιστοποιημένες για εξωτερική χρήση (στο ύπαιθρο)
-δεν παραβιάζουν πολεοδομικές διατάξεις.

Αναγκαία παροχή αέρα 1,6 m³/h για κάθε 1 kW συνολικής θερμικής ισχύος των συσκευών

Η τροφοδοσία αέρα για τις συσκευές με συνολική θερμική ισχύ μέχρι 35 kW μπορεί να γίνεται:

- i) μέσω ανοιγμάτων προς το ύπαιθρο.
- ii) μέσω ανοιγμάτων προς το ύπαιθρο έμμεσα μέσω αγωγών,
- iii) από κοινού μέσω στοιχείων διέλευσης εξωτερικού αέρα στο χώρο εγκατάστασης και εξωτερικών αρμών,
- iv) μέσω ιδιαίτερων φρεατίων εξαερισμού, για τις συσκευές των τύπων B₁ και B₂
- v) με μηχανική προσαγωγή ή
- vi) όπως για τα λεβητοστάσια.

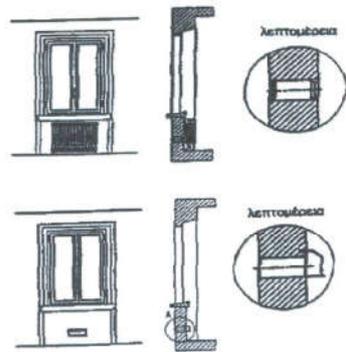
Η τροφοδοσία αέρα για τις συσκευές με συνολική θερμική ισχύ από 35 kW μέχρι 50 kW μπορεί να γίνεται:

- i) μέσω ανοιγμάτων προς Το ύπαιθρο εμβαδού 150 cm²,
- ii) μέσω ανοιγμάτων προς το ύπαιθρο έμμεσα μέσω αγωγών,
- iii) με μηχανική προσαγωγή ή
- iv) όπως για τα λεβητοστάσια.

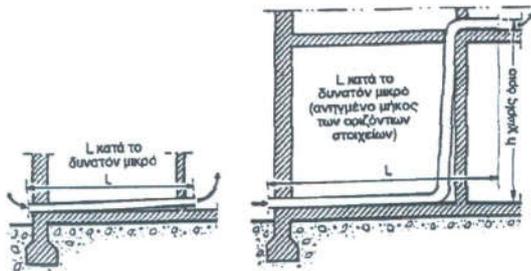
Οι συσκευές με συνολική θερμική ισχύ μεγαλύτερη από 50 kW πρέπει να εγκαθίστανται σε λεβητοστάσια.

Τα λεβητοστάσια διακρίνονται σε :

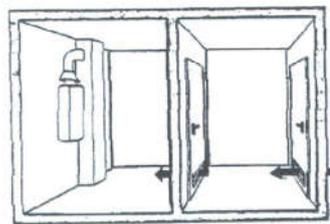
- i) κοινά λεβητοστάσια, στα οποία εκτός από λέβητες αερίου μπορούν να εγκατασταθούν και λέβητες άλλων καυσίμων (πετρέλαιο κλπ) και
- ii) λεβητοστάσια αερίου, στα οποία μπορούν να εγκατασταθούν μόνο λέβητες αερίου.



Παραδείγματα θέσεων ανοιγμάτων τροφοδοσίας αέρα



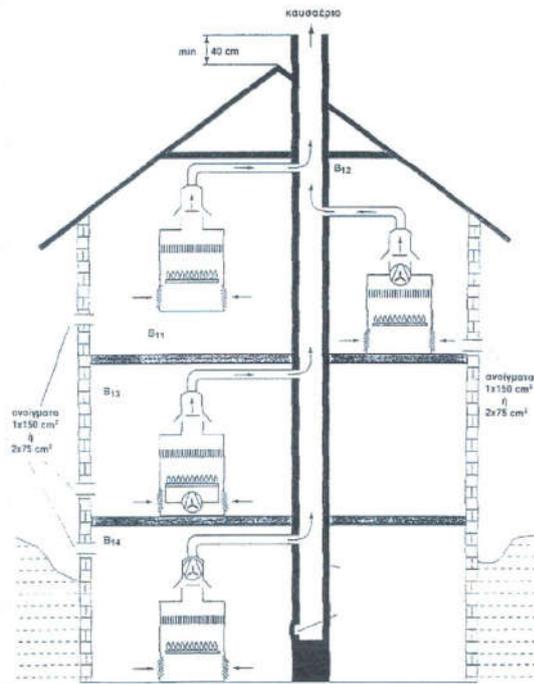
Παραδείγματα οδήγησης αγωγών τροφοδοσίας αέρα καύσης



Προσαγωγή αέρα σε εσωτερικό χώρο δια μέσου βοηθητικού χώρου μέσω ανοιγμάτων

ΤΥΠΟΣ Β₁ Συσκευή αερίου με ασφάλεια ροής

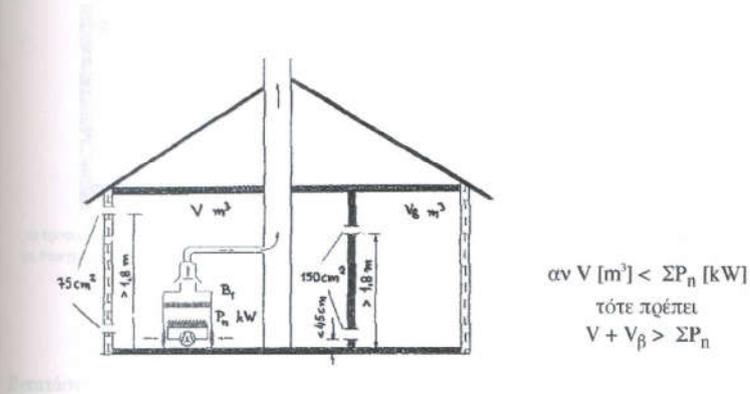
- Β₁₁ χωρίς ανεμιστήρα
- Β₁₂ με ανεμιστήρα μετά τον εναλλάκτη θερμότητας
- Β₁₃ με ανεμιστήρα πριν τον καυστήρα
- Β₁₄ με ανεμιστήρα μετά την ασφάλεια ροής



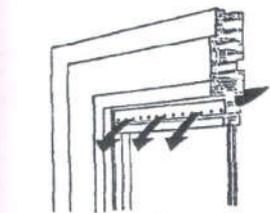
Η τροφοδοσία αέρα μπορεί να γίνεται και έμμεσα μέσω αγωγών, μέσω στοιχείων διέλευσης εξωτερικού αέρα στο χώρο εγκατάστασης και εξωτερικών αρμών, μέσω ιδιαίτερων φρεατίων εξαερισμού, ή με μηχανική προσαγωγή

Ο χώρος εγκατάστασης πρέπει να έχει όγκο $\geq 1\text{m}^3$ ανά 1 KW

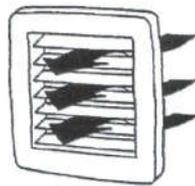
Συσκευές αερίου του τύπου B₁



Ο χώρος εγκατάστασης για τις συσκευές του τύπου B1 πρέπει να έχει όγκο $\geq 1 m^3$ ανά 1 kW.



πατούρα αερισμού σε παράθυρο

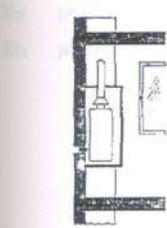


ηλεκτροκίνητο κλειόμενο στοιχείο

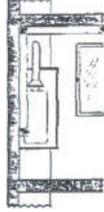
Παραδείγματα στοιχείων διέλευσης εξωτερικού αέρα

Ο χώρος εγκατάστασης πρέπει να έχει όγκο $> 2 m^3$ ανά 1 kW συνολικής θερμικής ισχύος και τα στοιχεία εισόδου εξωτερικού αέρα πρέπει να έχουν παροχή αέρα $0,8 m^3/h$ ανά 1 kW

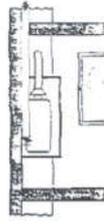
τύπου B₁



α) τροφοδοσία αέρα καύσης με άνοιγμα προς το ύπαιθρο



β) τροφοδοσία αέρα καύσης με αγωγό αέρα προς το ύπαιθρο



γ) τροφοδοσία αέρα καύσης με φρεάτιο επάνω από τη στέγη

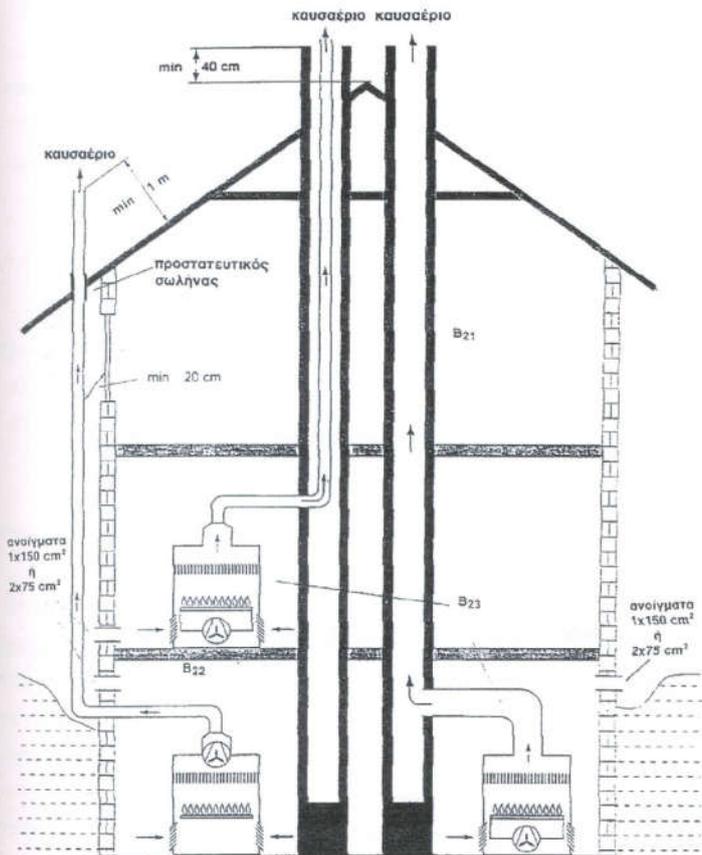
Εγκατάσταση συσκευής του τύπου B₁ ή B₄ σε ιδιαίτερο στεγανό περιβλήμα

Τύπος Β₂

Τύπος Β₂ Συσκευή αερίου χωρίς ασφάλεια ροής

Β₂₂ με ανεμιστήρα μετά τον εναλλάκτη θερμότητας

Β₂₃ με ανεμιστήρα πριν τον καυστήρα

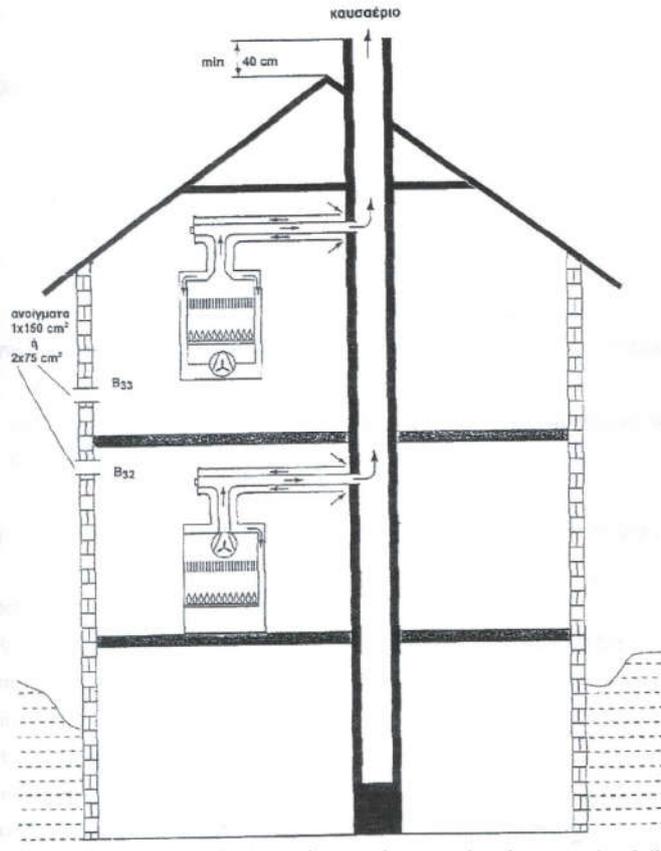


Η τροφοδοσία αέρα μπορεί να γίνεται και έμμεσα μέσω αγωγών, μέσω στοιχείων διέλευσης εξωτερικού αέρα στο χώρο εγκατάστασης και εξωτερικών αρμών, μέσω ιδιαίτερων φρεατίων εξαερισμού, ή με μηχανική προσαγωγή

Τύπος Β₃ Συσκευή αερίου χωρίς ασφάλεια ροής, για σύνδεση με κοινή
καπνοδόχο

Β₃₂ με ανεμιστήρα μετά τον εναλλάκτη θερμότητας

Β₃₃ με ανεμιστήρα πριν τον καυστήρα



Η τροφοδοσία αέρα μπορεί να γίνεται και έμμεσα μέσω αγωγών, μέσω στοιχείων διέλευσης εξωτερικού αέρα στο χώρο εγκατάστασης και εξωτερικών αρμών ή με μηχανική προσαγωγή.

3.3.7 Εγκαταστάσεις συσκευών του τύπου C

Οι συσκευές γενικά μπορούν να εγκαθίστανται:

- i. σε υπόγεια λεβητοστάσια, 1^ο ή 2^ο υπόγειο
- ii. σε ορόφους
- iii. στον τελευταίο όροφο

Επίσης:

Επίσης:

Σε μπαλκόνια υπό τους όρους ότι:

- i. είναι πιστοποιημένες για εξωτερική χρήση (στο ύπαιθρο)
- ii. δεν παραβιάζουν πολεοδομικές διατάξεις.

3.3.7.1 Απαγορευμένες θέσεις για τα στόμια των αγωγών

Οι αγωγοί προσαγωγής αέρα και απαγωγής καυσαερίων δεν πρέπει να έχουν στόμια σε:

- a) στενά διάκενα μεταξύ κτιρίων και
- b) αποθήκες υγρών καυσίμων και παρόμοιους χώρους, όπου παράγονται, αποθηκεύονται ή μπορούν να προκύψουν εύφλεκτες ή εκρηκτικές ύλες.

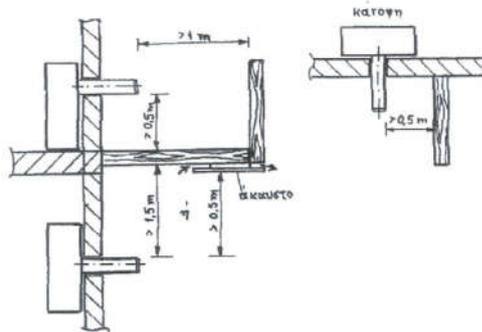
Οι αγωγοί απαγωγής καυσαερίων ακόμη δεν πρέπει να αποβάλλουν τα καυσαέρια σε:

- i. διόδους πεζών και διελεύσεις οχημάτων
- ii. γωνίες εσωτερικών αυλών, με εξαίρεση τις συσκευές αερίου των τύπων C₁₂ και C₂₃
- iii. εσωτερικές αυλές (πρασίδες), όταν η απόσταση από απέναντι κτίριο είναι < 8 m,
- iv. φρέατα αερισμού και φωταγωγούς,
- v. στοές και αίθρια,
- vi. κοντά στο δάπεδο μπαλκονιών και
- vii. κάτω από προεξέχοντα δομικά στοιχεία, τα οποία μπορούν να παρεμποδίσουν την εκροή των καυσαερίων (μπαλκόνια, χαγιάτια).

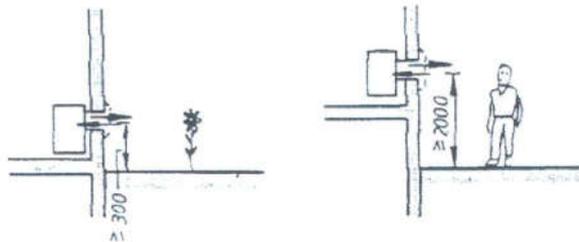
Οι αγωγοί απαγωγής καυσαερίων πρέπει να απέχουν > 10 cm από καύσιμα δομικά στοιχεία. Δεν είναι αναγκαίο να τηρηθούν αυτές οι αποστάσεις, όταν για την ονομαστική θερμική ισχύ της συσκευής δεν μπορούν να εμφανισθούν στα δομικά στοιχεία θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 85 °C και αυτό έχει πιστοποιηθεί και δίνεται στις οδηγίες του κατασκευαστή

3.3.7.2 Στόμια στην περιοχή σταθμών ανεφοδιασμού υγρών και αέριων καυσίμων

Οι αγωγοί για την προσαγωγή αέρα καύσης και την απαγωγή καυσαερίων πρέπει να έχουν στόμια σε οριζόντια απόσταση $> 10\text{ m}$ από τις αντλίες και τις δεξαμενές καυσίμων. Μικρότερες αποστάσεις επιτρέπονται, όταν τα στόμια βρίσκονται τουλάχιστον 3 m επάνω από το έδαφος. Τα στόμια δεν επιτρέπεται να βρίσκονται μέσα στην ενεργό περιοχή των βαλβίδων πλήρωσης (μήκος του εύκαμπτου σωλήνα συν 1 m).



Αποστάσεις στομίων από προεξοχές κτιρίων και δομικά στοιχεία από καύσιμα υλικά



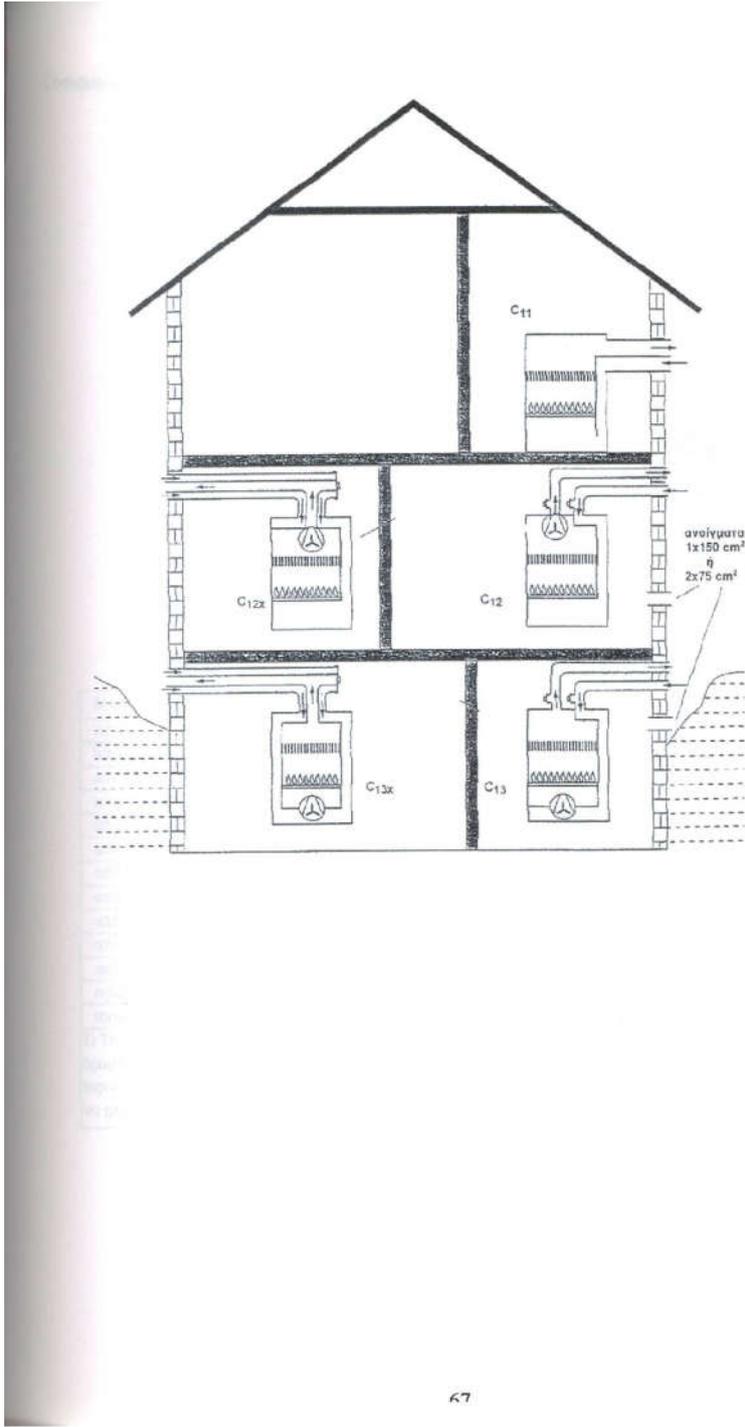
Στόμια αγωγών πάνω από το έδαφος, σε δρόμους και πλατείες



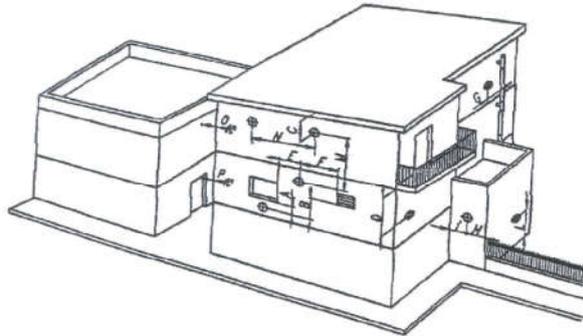
Εγκατάσταση συσκευών αερίου σε αίθουσες στάθμευσης

Τύπος C₁ **Συσκευή αερίου με οριζόντια προσαγωγή αέρα και απαγωγή καυσαερίων μέσω εξωτερικού τοίχου**

- C₁₁ χωρίς ανεμιστήρα
- C₁₂ με ανεμιστήρα μετά τον εναλλάκτη θερμότητας
- C₁₃ με ανεμιστήρα πριν τον καυστήρα



Συσκευές αερίου του τύπου C₁



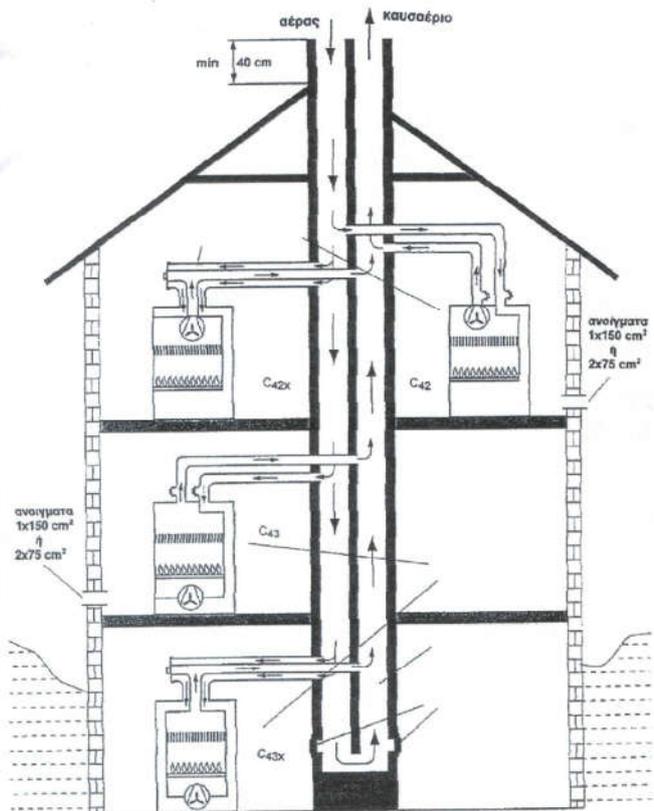
Αποστάσεις στομίων συσκευών αερίου των τύπων C₁ σε m

θέση στομίου	σύμβολο	C ₁₁	C ₁₂ ή C ₁₃
κάτω από παράθυρο	A	2,5	2,5
κάτω από άνοιγμα αερισμού	B	2,5	2,5
κάτω από γείσο	C	0,5	0,5
κάτω από μπαλκόνι 1)	D	0,4	0,4
από γειτονικό παράθυρο	E	1,0	0,5
από γειτονικό άνοιγμα αερισμού	F	1,0	1,0
από σωληνώσεις ή αγωγούς κατακόρυφους	G	0,3	0,3
από εξωτερική γωνία κτιρίου	H	0,3	0,3
από εσωτερική γωνία κτιρίου	I	1,0	1,0
από το έδαφος	L	2,0	2,0
κατακόρυφα μεταξύ δύο στομίων	M	2,5	2,5
οριζόντια μεταξύ δύο στομίων	N	1,0	1,0
από απέναντι πρόσοψη	O	8,0	8,0

1) Τα στόμια πρέπει πρακτικά να τοποθετούνται σε θέση τέτοια ώστε η συνολική διάδρομη των καυσαερίων από το σημείο εξόδου τους μέχρι την κατάληξή τους στην εξωτερική περιμέτρο του μπαλκονιού, (περιλαμβανομένου του ύψους του κιγκιλιόματος) να μην είναι μικρότερη από 2 m

Τύπος C₄ Συσκευή αερίου με προσαγωγή αέρα και απαγωγή καυσαερίων για σύνδεση με σύστημα αέρα-καυσαερίων

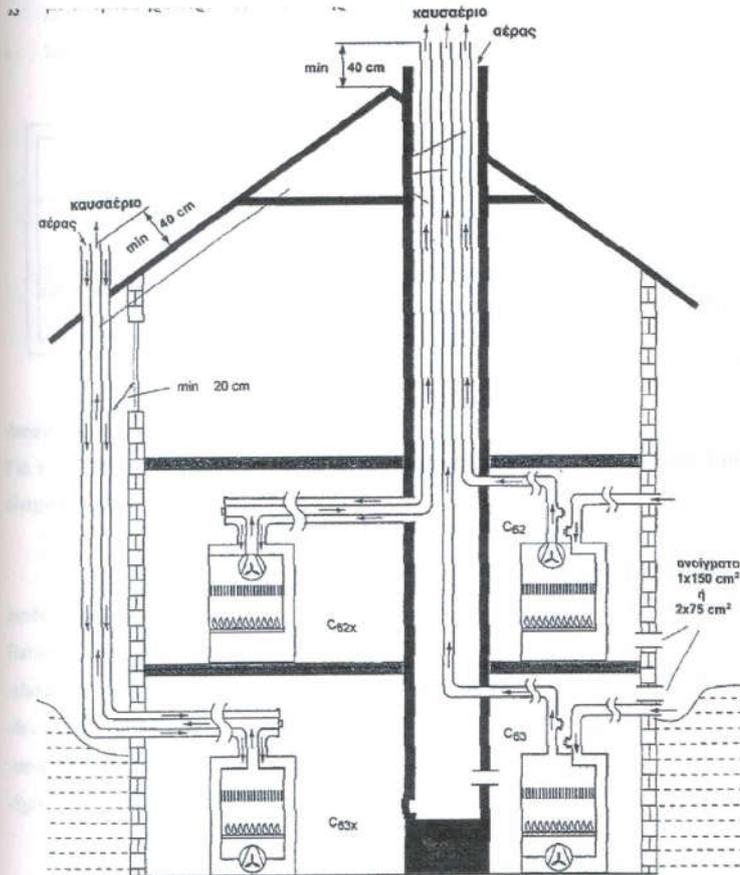
- C₄₂ με ανεμιστήρα μετά τον εναλλάκτη θερμότητας
- C₄₃ με ανεμιστήρα πριν τον καυστήρα



Τύπος C₆ Συσκευή αερίου για οποία προβλέπεται σύνδεση με διάταξη -προσαγωγής αέρα και απαγωγής καυσαερίων που δεν έχει δοκιμασθεί μαζί με τη συσκευή

C₆₁ με ανεμιστήρα μετά τον εναλλάκτη θερμότητας

C₆₃ με ανεμιστήρα πριν τον καυστήρα

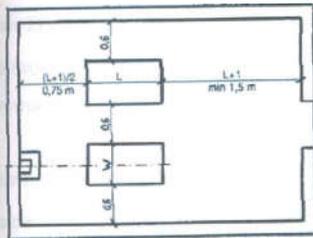


Οι συσκευές αερίου του τύπου C₆ πρέπει να εγκαθίστανται σύμφωνα με τις οδηγίες εγκατάστασης για τη συσκευή, την προσαγωγή αέρα καύσης και την απαγωγή καυσαερίων.

3.4 Εγκατάσταση συσκευών αερίου λεβητοστάσιο

Τα λεβητοστάσια διακρίνονται σε:

- κοινά λεβητοστάσια, στα οποία εκτός από λέβητες αερίου μπορούν να εγκατασταθούν και λέβητες άλλων καυσίμων (πετρέλαιο κλπ) και
- λεβητοστάσια αερίου, στα οποία μπορούν να εγκατασταθούν μόνο λέβητες αερίου



H = 2,2 m όταν
H = 2,4 m όταν
H = 3,0 m όταν

$P_N \leq 70 \text{ kW}$,
 $70 < P_N \leq 230 \text{ kW}$,
 $P_N > 230 \text{ kW}$

Διαστάσεις κάτοψης λεβητοστασίου

Για τα υφιστάμενα λεβητοστάσια τα οποία θα μετατραπούν σε λεβητοστάσια αερίου επιτρέπεται ελάχιστο ύψος 2,20 m.

Τα λεβητοστάσια δεν επιτρέπεται να βρίσκονται σε άμεση σύνδεση με χώρους παραμονής, εκτός από χώρους παραμονής προσωπικού συντήρησης και λειτουργίας, και με κλιμακοστάσια. Επιτρέπεται η σύνδεση μέσω θύρας, αν :

- είναι εξ ολοκλήρου σιδερένια, από έλασμα πάχους 1,5 mm,
- δεν έχει ανοίγματα (π.χ. γρύλιες),
- εφάπτεται σε πατούρες της κάσας σε πλάτος τουλάχιστον 25 mm και
- έχει μηχανισμό επαναφοράς

Στα λεβητοστάσια πρέπει να προσάγεται και να απαγάγεται αέρας για την ανανέωση του αέρα του χώρου. Η προσαγωγή και η απαγωγή αέρα μπορεί να γίνεται:

- με ανοίγματα σε εξωτερικούς τοίχους,
- με αγωγούς χωρίς ανεμιστήρα
- με μηχανικές εγκαταστάσεις.

Η απαγωγή αέρα μπορεί ακόμη να γίνεται:

- με φρεάτια απαγωγής αέρα

3.4.1 Προσαγωγή και απαγωγή αέρα

Λεβητοστάσια αερίου

Τα ανοίγματα προσαγωγής αέρα πρέπει να έχουν τουλάχιστον το εμβαδόν

$$A = 150 + 2(\Sigma P_N - 50) \text{ σε cm}^2$$

όπου ΣP_N συνολική ονομαστική θερμική ισχύς των συσκευών σε kW

Τα ανοίγματα απαγωγής αέρα πρέπει να έχουν ελεύθερη διατομή ίση με την ελεύθερη διατομή των ανοιγμάτων προσαγωγής αέρα.

Κοινά λεβητοστάσια

Τα ανοίγματα προσαγωγής αέρα πρέπει να έχουν τουλάχιστον Το εμβαδά

$$A = Fa[2,5(\Sigma P_N + 70)] \text{ σε cm}^2$$

F : συντελεστής για τη μορφή του ανοίγματος

F = 1,0 για στρογγυλά ανοίγματα και ορθογώνια ανοίγματα με λόγο πλευρών < 1,5 F = 1,1

για ορθογώνια ανοίγματα, με λόγο πλευρών < 5

F = 1,25 για ορθογώνια ανοίγματα, με λόγο πλευρών < 10

a : συντελεστής για την ύπαρξη πλέγματος στο άνοιγμα

ο συντελεστής a έχει τιμή:

a = 1,0 για άνοιγμα χωρίς πλέγμα

a = 1,2 για άνοιγμα με πλέγμα

ΣP_N η συνολική ονομαστική θερμική ισχύς σε kW

Αγωγοί προσαγωγής αέρα από το ύπαιθρο

Η διατομή εξαρτάται από

-τη συνολική ονομαστική θερμική ισχύ των συσκευών

-Το μήκος του και

-τις γωνίες που παρουσιάζει.

Οι γωνίες λαμβάνονται υπ' όψη με ένα ισοδύναμο μήκος 3 m για τις 90° και 1,5 m για τις

45°. Η διατομή του αγωγού λαμβάνεται από διάγραμμα του Κανονισμού.

Φρεάτια απαγωγής αέρα

Η διατομή του φρεατίου απαγωγής αέρα εξαρτάται από

- τη συνολική ονομαστική θερμική ισχύ των συσκευών και
- το μήκος του.

Η διατομή του φρεατίου λαμβάνεται από διάγραμμα του Κανονισμού.

3.4.2 Μηχανική προσαγωγή και απαγωγή αέρα

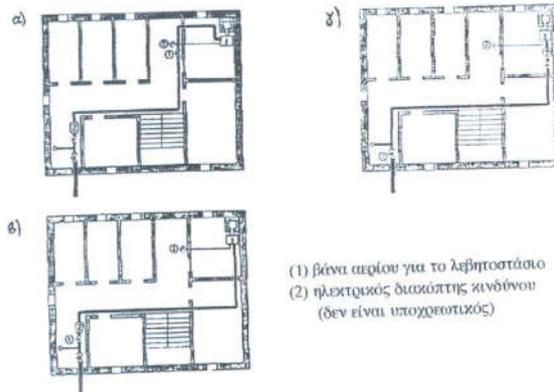
Οι μηχανικές εγκαταστάσεις προσαγωγής αέρα υπολογίζονται για παροχή $1,6 \text{ m}^3/\text{h}$ για κάθε 1 kW συνολικής ονομαστικής θερμικής ισχύος των λεβήτων.

Οι μηχανικές εγκαταστάσεις απαγωγής αέρα μπορούν να απάγουν τον αέρα:

- επάνω από τη στέγη ή
- μέσω εξωτερικού τοίχου, οπότε πρέπει να δίνεται προσοχή στις θέσεις των στομιών

Οι μηχανικές εγκαταστάσεις απαγωγής αέρα υπολογίζονται για παροχή $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ για κάθε 1 kW συνολικής θερμικής ισχύος. Πρέπει να μην μπορούν να δίνουν παροχές μεγαλύτερες από $0,65 \text{ m}^3/\text{h}$ για κάθε 1 kW

3.4.3 Εγκατάσταση βάνας λεβητοστασίου



Παραδείγματα εγκατάστασης βάνας λεβητοστασίου :

α) Βάνα αερίου κοντά στην πόρτα του λεβητοστασίου

β) Η βάνα του μετρητή πληρεί τη λειτουργία της βάνας αερίου για το λεβητοστάσιο

γ) Η ΚΑΔ πληρεί τη λειτουργία της βάνας αερίου για το λεβητοστάσιο

4 Νόμοι και αρχές που διέπουν την Υπολογιστική Ρευστομηχανική

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός

Ο βασικός σκοπός της Υπολογιστικής Ρευστομηχανικής (Computational Fluid Dynamics) είναι να βρίσκει εύχρηστες μεθόδους για την επίλυση προβλημάτων που μπορεί να εκφραστούν με μαθηματικές εξισώσεις, με την βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Αναλυτικές λύσεις των προβλημάτων, όταν υπάρχουν, μπορεί μεν να είναι ακριβείς αλλά να μη βρίσκονται σε εύχρηστη μορφή, από την άποψη να μην είναι δυνατή η απ' ευθείας αριθμητική επεξεργασία. Στην περίπτωση αυτή ο αναλυτής πρέπει να επιχειρήσει να δημιουργήσει μια μέθοδο για την παραπέρα αριθμητική επεξεργασία της λύσης ή μπορεί να προτιμήσει να βασίσει την ανάλυσή του στην απαρχής μόρφωση και αριθμητική λύση του προβλήματος.

Γενικά ο αναλυτής δεν ενδιαφέρεται για το αυστηρό μαθηματικό πρόβλημα αλλά κυρίως επιχειρεί να διαμορφώσει μια μεθοδολογία που θα δώσει τη λύση στο πρόβλημα με μια προσέγγιση που θα διαφέρει από την ακριβή λύση λιγότερο από μια ορισμένη ανοχή. Όταν πάλι η πληροφορία που του παρέχεται δεν είναι ακριβής επιχειρεί να αποκτήσει ένα μέτρο της αβεβαιότητας της λύσης που προκύπτει από την ανακρίβεια της πληροφορίας, αβεβαιότητα όμως που να είναι συγκρίσιμη με την ανακρίβεια της πληροφορίας.

Ένα από τα πιο γρήγορα αυξανόμενα πεδία αριθμητικής ανάλυσης είναι εκείνο που ασχολείται με την προσεγγιστική επίλυση των μερικών διαφορικών εξισώσεων. Συνεχώς νέοι αλγόριθμοι αριθμητικής επίλυσης διαφορικών εξισώσεων προτείνονται και εφαρμόζονται με κριτήρια αξιολόγησής τους, την ευστάθεια, την ταχύτητα επίλυσης του προβλήματος, την απαιτούμενη χωρητικότητα μνήμης του υπολογιστή και φυσικά την ακρίβεια της λύσης.

4.2 Μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων υπολογιστικής ρευστομηχανικής

Ο σύγχρονος τρόπος επίλυσης προβλημάτων ρευστομηχανικής κινείται στο πρίσμα της προσομοίωσής τους σε Η/Υ. Με τη λέξη κώδικας εννοούμε συνήθως το πρόγραμμα σε Η/Υ που επεξεργάζεται τη ροή που θέλουμε να προσομοιώσουμε. Οι κώδικες που επεξεργάζονται προβλήματα ρευστομηχανικής είναι βασισμένοι πάνω σε αλγορίθμους ευρείας έκτασης και σε γνωστές γλώσσες προγραμματισμού όπως Fortran, C κτλ.

Η προσέγγιση και επίλυση ενός προβλήματος ρευστομηχανικής είναι ενιαία σε κάθε περίπτωση και ακολουθεί συγκεκριμένα βήματα:

- Προεπεξεργασία του προβλήματος (Preprocessing)
- Επίλυση (Solving)
- Μετεπεξεργασία του προβλήματος (Post Preprocessing)

Αναλυτική αναφορά στα βήματα επίλυσης αναφέρονται διεξοδικά στο πρόγραμμα CFX (Computational Fluid Dynamics) που θα χρησιμοποιήσουμε παρακάτω για την επίλυση του προβλήματος μας.

4.3 Υπολογιστικά Σφάλματα

Ένα βασικό ερώτημα που απασχολεί κάθε αναλυτή-προγραμματιστή είναι η ακρίβεια των αριθμητικών πράξεων που ο Η/Υ εκτελεί, η μετάδοση του σφάλματος από αριθμητική πράξη στην επόμενη κατά τη διάρκεια επίλυσης του προβλήματος και το σφάλμα που περιέχεται στο τελικό αποτέλεσμα των υπολογισμών. Για αυτό το λόγο πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή και κατά τη διάρκεια των υπολογισμών μας να βάζουμε μια πολύ μικρή τιμή στο σφάλμα ώστε να αποφύγουμε πιθανά λάθη στους υπολογισμούς μας. Στην συνέχεια και πολύ συνοπτικά παρουσιάζονται διάφορα είδη αριθμητικών σφαλμάτων χωρίς το θέμα να καλύπτεται ούτε κατ'ελάχιστο μια και αυτό αποτελεί ένα από τα βασικά αντικείμενα της αριθμητικής ανάλυσης.

Διακρίνονται δυο τιμές μιας ποσότητας x , η ακριβής τιμή x και η υπολογισμένη αλλά προσεγγιστική τιμή \bar{x} . Η διαφορά

$$\sigma_x = \bar{x} - x$$

καλείται απόλυτο σφάλμα, και ο λόγος

$$\frac{\sigma_x}{x} = \frac{x}{x} - 1$$

καλείται σχετικό σφάλμα.

Από τις σχέσεις αυτές προκύπτει ότι, κατά κανόνα για μεγάλους αριθμούς, το απόλυτο σφάλμα σ_x είναι μεγάλος αριθμός, το δε σχετικό σφάλμα μικρός. Αντίθετα για πολύ μικρούς αριθμούς το απόλυτο σφάλμα είναι μικρός αριθμός το δε σχετικό πολύ μεγάλος. Για αριθμούς της τάξης της μονάδας τα δύο σφάλματα είναι της ίδιας τάξης μεγέθους.

Στην συνέχεια αναφέρονται οι διάφορες πηγές σφαλμάτων που οδηγούν στην διαφοροποίηση της τιμής υπολογισμού από την ακριβή τιμή.

■ Προσέγγιση αριθμών

Πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ των αριθμών που είναι ακριβείς και εκείνων που είναι προσεγγιστικοί. Ακριβείς αριθμοί είναι εκείνοι που αντιπροσωπεύονται με ένα σύμβολο, π.χ. όλοι οι ακέραιοι, όλα τα κλάσματα που εκφράζονται ως πηλίκο ακεραίων καθώς και οι αριθμοί π , e .

■ Σφάλματα από στρογγυλοποίηση

Η παράσταση στον υπολογιστή αριθμών με περιορισμένο αριθμό ψηφίων δημιουργεί σφάλματα στην εκτέλεση αριθμητικών πράξεων, ακόμη και στην περίπτωση που οι αριθμοί είναι ακριβείς

■ Σφάλματα αρχικών ή οριακών τιμών

Αυτά είναι σφάλματα στις τιμές των δεδομένων που εισάγονται στον υπολογιστή και που προέρχονται από αβεβαιότητα της φυσικής κατάστασης των πραγμάτων (π.χ. θερμοκρασία).

■ Σφάλματα αποκοπής

Τα σφάλματα αυτά προέρχονται από την προσέγγιση μιας συνάρτησης από λίγους μόνον όρους του αναπτύγματά της σε σειρά Taylor

Τα πρώτα σφάλματα εξαρτώνται από το μηχανικό μέρος του υπολογιστή (αντιπροσώπευση αριθμού με 8 ή 16 ή 32 bits), ενώ το σφάλμα αποκοπής εξαρτάται από το λογισμικό του αναλυτή και είναι ανεξάρτητο του μηχανικού μέρους. Η ελαχιστοποίηση του σφάλματος αποκοπής πρέπει να αποτελεί έναν από τους στόχους του αναλυτή, διότι το σφάλμα αυτό θα υπάρχει ακόμα και σε ιδανικό υπολογιστή στον οποίο η αντιπροσώπευση του αριθμού γίνεται με άπειρο αριθμό «δυναδικών» ψηφίων.

4.4 Θεμελίωση των Νόμων που διέπουν την ΡευστοΜηχανική

✦ Οι εξισώσεις Navier- Stokes

Οι εξισώσεις Navier- Stokes εκφράζουν μαθηματικά τα πεδία ροής ρευστών. Πρόκειται για δεύτερης τάξης, μη γραμμικές διαφορικές εξισώσεις, οι οποίες εκφράζουν ουσιαστικά τον ισολογισμό των αδρανειακών δυνάμεων, των δυνάμεων πίεσης και των εσωτερικών δυνάμεων τριβής μέσα σε ένα κινούμενο ρευστό. Οι εξισώσεις αυτές αποτελούν τη διαφορική διατύπωση του θεωρήματος της ορμής του Newton που λέει ότι : *η μεταβολή της ορμής ενός στοιχείου ρευστού ισούται με την συνισταμένη των δυνάμεων που ενεργούν πάνω στο στοιχείο αυτό.*

$$F = \frac{\partial(mu)}{\partial t}$$

και το οποίο συνδέει την κινηματική με τη δυναμική κατάσταση του ρευστού.

Οι εξισώσεις Navier-Stokes εκφράζουν το πεδίο ροής συνεκτικό ρευστού ,που σε καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων για ισοθερμοκρασιακή ροή ασυμπίεστου ρευστού έχουν την μορφή:

$$\rho \frac{D\bar{u}}{Dt} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \bar{u} + F$$

και ισχύει για νευτώνειο ρευστό.

Η επίλυση των εξισώσεων αυτών γίνεται συνήθως, αφού γίνουν κάποιες παραδοχές. Αυτό όμως έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων.

→ Η εξίσωση της διατήρησης της μάζας

Για ένα ροϊκό στοιχείο η εξίσωση διατήρησης της μάζας εκφράζεται από την πρόταση:

Η ροή μάζας διαμέσου ενός ροϊκού στοιχείου παραμένει σταθερή. Η ύλη ούτε καταστρέφεται ούτε δημιουργείται.

Η εξίσωση της συνέχειας είναι η μαθηματική έκφραση της αρχής της διατήρησης της μάζας και μαθηματικά αυτό εκφράζεται από την εξίσωση:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho U) = 0$$

η οποία είναι γραμμένη σε συμπαγή μορφή και αφορά περιπτώσεις μη-μόνιμης, τριδιάστατης συμπιεστής ροής και αναπτύσσεται στην παρακάτω μορφή:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0$$

Η εξίσωση συνέχειας αποτελεί μια από τις θεμελιώδεις εξισώσεις περιγραφής ενός ροϊκού προβλήματος και η χρήση της είναι επιβεβλημένη σχεδόν σε όλες τις εφαρμογές που συναντά κανείς.

→ Η εξίσωση διατήρησης της ενέργειας

Η αρχή της διατήρησης της ενέργειας σε ένα ροϊκό στοιχείο εκφράζεται από την παρακάτω πρόταση:

Ο ρυθμός μεταβολής της ενέργειας ενός ροϊκού στοιχείου ισούται με τον ρυθμό μεταβολής της θερμικής του ενέργειας συν το καθαρό έργο που αποδίδεται ή προσδίδεται στο ρευστό.

Η μαθηματική έκφραση αυτής της πρότασης είναι:

$$\rho \frac{Dl}{Dt} = -p \operatorname{div}(U) + \operatorname{div}(k \operatorname{grad} T) + \tau_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} + \tau_{yy} \frac{\partial u}{\partial y} + \tau_{zz} \frac{\partial u}{\partial z} + \tau_{xy} \frac{\partial v}{\partial x} + \tau_{yx} \frac{\partial v}{\partial y} + \tau_{zy} \frac{\partial v}{\partial z} + \tau_{xz} \frac{\partial w}{\partial x} + \tau_{yz} \frac{\partial w}{\partial y} + \tau_{zx} \frac{\partial w}{\partial z} + s_i$$

Σε αυτή την εξίσωση, U είναι η εσωτερική ενέργεια του ροϊκού στοιχείου και k ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας. Το S αποτελεί το αλγεβρικό άθροισμα των έργων που ασκούνται προς ή από το ροϊκό πεδίο.

Η εξίσωση διατήρησης της ενέργειας του ρευστού δίνεται σε πολλές μορφές ανάλογα με το είδος της ροής και τις θερμοδυναμικές παραδοχές που κάνουμε για αυτή. Μια κλασσική έκφραση είναι αυτή της διατήρησης της ενθαλπίας του ρευστού, που χρησιμοποιείται κυρίως για τις συμπιεστές ροές. Τέλος, στην εξίσωση αυτή παρατηρεί κανείς και την εισαγωγή της θερμοκρασίας T του ρευστού. Προκειμένου να είναι εφικτή μια σύνδεση αυτής με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του ρευστού, χρησιμοποιείται η καταστατική εξίσωση που αποτελεί μια συνάρτηση της πίεσης με πεδίο ορισμού την πυκνότητα και τη θερμοκρασία $P=P(\rho, T)$.

Για την περίπτωση ιδανικών αερίων, η εξίσωση που δίνεται είναι:

$$P = \rho RT$$

→ Η εξίσωση διατήρησης της ορμής

Ο 2^{ος} Νόμος του Newton λέει ότι η δύναμη που ασκείται πάνω σε ένα σώμα προς μια κατεύθυνση είναι ίση με την μεταβολή της ορμής στη διεύθυνση αυτή. Θα ορίσουμε πρώτα ορμή του ρευστού προς μια διεύθυνση, το γινόμενο της μάζας του ρευστού επί την ταχύτητα του ρευστού στη διεύθυνση αυτή. Η ορμή είναι διανυσματικό μέγεθος.

Ο ρυθμός μεταβολής της ορμής ενός ροϊκού στοιχείου ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των δυνάμεων που ασκούνται σε αυτό

Μαθηματικά, ο ρυθμός μεταβολής της ορμής για ένα ροϊκό στοιχείο δίνεται από τις ολικές παραγωγίσεις των τριών συνιστωσών των ταχυτήτων, $\rho \frac{Du}{Dt}$, $\rho \frac{Dv}{Dt}$, $\rho \frac{Dw}{Dt}$. Οι δυνάμεις που ασκούνται σε ένα ροϊκό στοιχείο είναι οι δυνάμεις λόγω πίεσης και ιξώδους καθώς και οι τυχόν

εξωτερικές δυνάμεις εξαιτίας της βαρύτητας, της φυγοκέντρου, της επιτάχυνσης Coriolis και άλλα. Κατά τη μαθηματική μοντελοποίηση αυτών των δυνάμεων, συνήθως οι δυνάμεις πίεσης και ιξώδους διαχωρίζονται από τις υπόλοιπες και ενσωματώνονται με τις μεταβολές τους στη γενική εξίσωση μεταφοράς της ορμής, ενώ οι υπόλοιπες αποτελούν ένα ξεχωριστό όρο πηγής που αναφέρεται σε όλο το ροϊκό στοιχείο. Αυτό συμβαίνει διότι οι πρώτες αφορούν και υπολογίζονται συνήθως στις επιφάνειες ενός στοιχειώδους τμήματος της ροής, ενώ οι άλλες σε όλο το ροϊκό στοιχείο. Η μαθηματική έκφραση του 2^{ου} Νόμου του Νεύτωνα για ρευστά δίνεται από τη σχέση:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + s_x$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + s_y$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{zz})}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + s_z$$

Όπως μπορεί να δει κανείς, οι εξισώσεις είναι εκφρασμένες για τις τρεις διευθύνσεις του χώρου προκειμένου να εκφραστεί η μεταβολή της ορμής για κάθε διεύθυνση. Επίσης έχουν δοθεί οι εκφράσεις για τις μεταβολές των δυνάμεων επιφανείας (που είναι η πίεση αλλά και οι τάσεις που ασκούνται πάνω στις επιφάνειες του ροϊκού στοιχείου) ενώ οι υπόλοιπες δυνάμεις έχουν ενσωματωθεί σε έναν όρο πηγής S για κάθε μία από τις διευθύνσεις. Στην εξίσωση αυτή όμως δεν έχουν δοθεί οι ακριβείς εκφράσεις για τον υπολογισμό των τάσεων.

Οι εξισώσεις μεταφοράς της ορμής είναι ό,τι πιο γενικό υπάρχει για να περιγραφεί η κίνηση ενός ρευστού. Όμως αν σε κάθε περίπτωση ροής κάνουμε συγκεκριμένες παραδοχές, δημιουργούμε ένα πιο απλό πρόβλημα. Έτσι, θα δούμε παρακάτω, για ασυμπίεστη ιδανική ροή ότι οι εξισώσεις παίρνουν τη γενική μορφή των εξισώσεων του Euler.

4.5 Τυρβώδης ροή

Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο στη ροή με μεγάλο αριθμό Reynolds, είναι η τυρβώδης ροή. Παρακάτω γίνεται μια ανάπτυξη της έννοιας της τύρβης. Αναπτύσσονται οι εξισώσεις Navier-Stokes για τυρβώδεις ροές και αναφέρονται μερικά κλασσικά μοντέλα τύρβης που χρησιμοποιούνται σε μηχανολογικές εφαρμογές μέσα από τα υπολογιστικά εργαλεία.

● Η έννοια της τύρβης

Έως τώρα δεν εξετάστηκε καθόλου η έννοια της τύρβης αλλά μόνο οι περιπτώσεις στρωτών ροών. Βασική διάκριση μεταξύ αυτών των δύο πεδίων ροής αποτελεί η χρονική συμπεριφορά μιας διαταραχής ορισμένου πλάτους και συχνότητας που δημιουργείται μέσα στο πεδίο ροής. Η τύρβη είναι μια κατάσταση συνεχούς αστάθειας της ροής. Είναι γνωστό από τη μηχανική ρευστών ότι στη φύση η πλειοψηφία των ροών χαρακτηρίζεται ως τυρβώδης. Η έννοια της τύρβης μπορεί σε πρώτο στάδιο να οριστεί μέσα από μια διακύμανση της τοπικής ταχύτητας του ρευστού που παρατηρείται για συγκεκριμένο σημείο σε ένα ροϊκό πεδίο. Ο ορισμός αυτός μπορεί να παραπέμψει κάποιον στη μη-μόνιμη ροή δεδομένου ότι οι παρατηρούμενες διακυμάνσεις είναι σαφώς συναρτήσεις του χρόνου.

Κατά την εξέλιξη της μετρητικής τεχνολογίας, εμφανίστηκαν όργανα μέτρησης ταχύτητας, τα οποία είχαν υψηλή ακρίβεια και ήταν σε θέση να μετρήσουν με πολύ καλή απόκριση τις ελάχιστες διακυμάνσεις της ροής. Παράλληλα, οι μέθοδοι οπτικοποίησης της ροής γινόντουσαν ολοένα και πιο αποδοτικές. Τα δύο αυτά συνέκλιναν στην παρατήρηση ότι τελικά μια ροή μπορεί να δώσει ένα εύρος τιμών ταχυτήτων γύρω από μία μέση τιμή.

Κατά τη στρωτή ροή, η μετρούμενη ταχύτητα είναι μία ευθεία γραμμή χωρίς καμία διαταραχή. Στη φάση της μετάβασης από στρωτή σε τυρβώδη παρατηρούνται κάποιες τυχαίες διακυμάνσεις της ταχύτητας αλλά στο μεγαλύτερο εύρος η μετρούμενη ταχύτητα είναι ευθεία γραμμή. Στην τρίτη περίπτωση μετρώνται ισχυρές διαταραχές με κάποιο εύρος και παράλληλα μπορεί να εξαχθεί μία μέση τιμή γύρω από την οποία κινούνται αυτές οι διαταραχές. Η ροή όντως φαίνεται ότι είναι μη-μόνιμη. Αλλά αυτό ισχύει για μια πολύ μικρή χρονική κλίμακα, η οποία σε κάθε περίπτωση είναι τόσο μικρή ώστε στη μεγάλη κλίμακα της ροής που μπορεί να ενδιαφέρει τον μηχανικό, να μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Τελικά η τυρβώδης ροή, σε πραγματική κλίμακα χρόνου, μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μόνιμη ροή. Το ουσιαστικό χαρακτηριστικό της είναι ότι έχει

έτοιμα υφή ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί η στατιστική προκειμένου να εξαχθούν μεγέθη όπως η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, το εύρος, η συσχέτιση κ.α.

• Τα χαρακτηριστικά της τύρβης

Ένας πρώτος ορισμός της τύρβης δόθηκε από τον Reynolds και αναφέρθηκε από τον Von Karman το 1937:

Τύρβη είναι η ακανόνιστη κίνηση που εν γένει εμφανίζεται στα ρευστά όταν ροή αυτών διέρχεται κοντά σε στερεές επιφάνειες ή ακόμα όταν γειτονικά ρεύματα του ίδιου ρευστού αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Εδώ υπήρξε μία πρώτη ένδειξη της διαταραχής που εισάγει μία στερεή επιφάνεια μέσω του οριακού στρώματος που αποτελεί άμεση απόρροια του ιξώδους. Σαφώς και δε σημαίνει αυτό ότι πάντα τα οριακά στρώματα είναι τυρβώδη. Υπάρχει όμως μία περίπτωση το στρωτό οριακό στρώμα για κάποιο λόγο (π.χ. αποκόλληση ή φυσική αστάθεια) να γίνει τυρβώδες και στη συνέχεια η διαταραχή αυτή να διαδοθεί σε όλο το ροϊκό πεδίο με αποτέλεσμα την πλήρη τυρβώδη ροή. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι η τύρβη είναι άμεσα συνυφασμένη με τον αριθμό Reynolds. Είναι γνωστή σε όλους η χαρακτηριστική τιμή του 2300 για σωλήνες που αποτελεί και μια ένδειξη της μεταπήδησης σε τυρβώδη ροή. Παρακάτω φαίνεται αναλυτικά τι συμβαίνει για τις διάφορες τιμές που παίρνει ο αριθμός Reynolds :

* Στρωτή ροή ($Re < 2300$)

$$f = f_l = \frac{64}{Re}$$

Μεταβατική περιοχή ($2300 < Re < 4000$)

$$f = xf_l + (1-x)f_t$$

$$:x = \frac{Re - 2000}{2000}$$

* Τυρβώδης περιοχή ($Re > 4000$)

$$f = f_t = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{k}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Για τον αριθμό Reynolds θα πρέπει να αναφερθούν τα εξής: α) ο αριθμός αυτός ισχύει αποκλειστικά και μόνο για σωλήνες, δεν είναι αυστηρά καθορισμένος και σίγουρα επιδέχεται κάποιες αποκλίσεις. Παράλληλα είναι ορισμένος βάσει της υδραυλικής διαμέτρου του σωλήνα. Έτσι για άλλου είδους ροή (π.χ. για ροή πάνω από επίπεδη πλάκα) έχουμε άλλο αριθμό Re. β) είναι δυνατόν ροές με μεγάλο αριθμό Re να είναι στρωτές γιατί κατέστη δυνατόν να αποφευχθεί οποιαδήποτε διαταραχή. Αντίθετα, μπορεί να υπάρξουν ροές που αντιστοιχούν σε χαμηλό αριθμό Re και να είναι τυρβώδες.

Ο Hinze το 1975 έδωσε έναν πιο ολοκληρωμένο ορισμό για την τύρβη:

Η τυρβώδης ροή είναι μία «ανώμαλη» κατάσταση κίνησης, όπου οι διάφορες παράμετροι της ροής έχουν μία τυχαία μεταβολή σε σχέση με το χρόνο αλλά και με τον χώρο, τέτοιες που είναι δυνατή η εξαγωγή μέσων τιμών μέσω στατιστικής.

Ο βασικός λόγος για τον οποίο υπάρχει αυτή η ακανόνιστη κίνηση είναι η ύπαρξη μικρών δομών δινών. Αυτές είναι υπαίτιες για την μεταφορά των διαταραχών από το ένα στρώμα του ρευστού στο άλλο και για τη μεταφορά κινητικής ενέργειας μέσω της περιστροφής τους. Παράλληλα, λόγω της ακανόνιστης κίνησης αλλά και της περιστροφής, η αλληλεπίδραση μεταξύ τους εισάγει τάσεις, τις λεγόμενες τυρβώδεις τάσεις, οι οποίες συνήθως είναι πολύ μεγαλύτερες από τις τάσεις της στρωτής ροής. Το μέγεθος αυτών των δινών ποικίλει. Κατά αυτόν τον τρόπο ορίζονται πολλές κλίμακες τύρβης, η κάθε μία εκ των οποίων έχει μία μέση διάσταση και συνεισφέρει στο φάσμα της ενέργειας της τύρβης.

4.6 Στατιστική επεξεργασία κατά Reynolds

Ένας χαρακτηριστικός αδιάστατος αριθμός που χαρακτηρίζει το πεδίο ροής που μελετάμε είναι ο αριθμός Reynolds. Σε ένα πεδίο ροής αγωγού, όπου ρέει ρευστό ο αριθμός Reynolds δίνεται από τον λόγο :

$$Re = \frac{\text{δυνάμεις}}{\text{δυνάμεις}} \frac{\text{αδρανειαξ}}{\text{ιξώδους}} = \rho L u / \mu$$

Στην προσπάθεια να γίνει η μεταπήδηση από τις στιγμιαίες τιμές των παραμέτρων της ροής στις μέσες τιμές, μια ιδιαίτερη τεχνική «μέσης τιμής» στην παράμετρο του χρόνου μπορεί να εφαρμοστεί. Έτσι για ασυμπίεστη ροή μπορούν να γραφτούν οι ταχύτητες και οι πιέσεις σαν ένα άθροισμα μίας μέσης τιμής και μιας διακυμάνσης:

$$\vec{u}(x, y, z, t) = \bar{\vec{u}}(x, y, z, t) + \vec{u}'(x, y, z, t)$$

$$p(x, y, z, t) = \bar{p}(x, y, z, t) + p'(x, y, z, t)$$

όπου οι μπάρες δηλώνουν μέση τιμή και οι τόνοι διακυμάνσεις. Η τιμή της στιγμιαίας ταχύτητας δίδεται από τη σχέση:

$$\bar{\vec{u}}(x, y, z) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \vec{u}(x, y, z, t) dt$$

Από τη Στατιστική είναι επίσης γνωστό ότι:

$$\bar{\vec{u}}(x, y, z) = \bar{\vec{u}}(x, y, z)$$

$$\overline{\frac{\partial p}{\partial x}} = \frac{\partial \bar{p}}{\partial x}, \quad \overline{\frac{\partial \vec{u}}{\partial x}} = \frac{\partial \vec{u}}{\partial x}$$

Επίσης για οποιαδήποτε ποσότητα ϕ και ψ ισχύει:

$$\overline{c_1\phi + c_2\psi} = c_1\bar{\phi} + c_2\bar{\psi}$$

και τέλος:

$$\overline{\phi\psi} = \overline{(\bar{\phi} + \phi')(\bar{\psi} + \psi')} = \overline{\bar{\phi}\bar{\psi} + \bar{\phi}\psi' + \bar{\psi}\phi' + \phi'\psi'} = \bar{\phi}\bar{\psi} + \phi'\psi'$$

Το επόμενο βήμα είναι η αντικατάσταση των ορισμένων στιγμιαίων μεγεθών στις εξισώσεις Navier Stokes, όπως έχουν δοθεί μέχρι τώρα και η εφαρμογή των προηγούμενων σχέσεων της στατιστικής. Η τελική μορφή των εξισώσεων Navier Stokes είναι για τις τρεις συνιστώσες:

$$\frac{d\bar{u}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + f_x + \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \right) + \left(-\frac{\partial \bar{u}'u'}{\partial x} - \frac{\partial \bar{u}'v'}{\partial y} - \frac{\partial \bar{u}'w'}{\partial z} \right)$$

$$\frac{d\bar{v}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + f_y + \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial z^2} \right) + \left(-\frac{\partial \bar{v}'u'}{\partial x} - \frac{\partial \bar{v}'v'}{\partial y} - \frac{\partial \bar{v}'w'}{\partial z} \right)$$

$$\frac{d\bar{w}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial z} + f_z + \nu \left(\frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial z^2} \right) + \left(-\frac{\partial \bar{w}'u'}{\partial x} - \frac{\partial \bar{w}'v'}{\partial y} - \frac{\partial \bar{w}'w'}{\partial z} \right)$$

Η ουσιαστική διαφορά πλέον από τις εξισώσεις για στρωτή ροή είναι η εμφάνιση των μέσων τιμών των συσχετίσεων των στιγμιαίων διακυμάνσεων των ταχυτήτων. Οι όροι αυτοί στην ουσία αποτελούν την μεταβλητότητα από τη μέση τιμή και ονομάζονται και τάσεις Reynolds διότι στην ουσία απορροφούν ή παράγουν ενέργεια από τη ροή ομοιάζοντας με τις κλασσικές τάσεις εξαιτίας του ιξώδους (εκφρασμένο εδώ σαν κινηματικό ιξώδες αφού η πυκνότητα ενσωματώθηκε στο δεξί σκέλος της εξίσωσης).

Αν εξετάσει κανείς τις προηγούμενες εξισώσεις υπό το πρίσμα μοντελοποίησης θα παρατηρήσει ότι υπάρχει ένα πρόβλημα όσον αφορά την εύρεση των τιμών των τάσεων Reynolds. Και αυτό γιατί παρόλο που έγινε αναγωγή στις μέσες τιμές της ροής, εξακολουθεί να υπάρχει η χροιά των στιγμιαίων συσχετίσεων υπό το πρίσμα της μεταβλητότητας που εισάγουν οι τάσεις Reynolds. Το πρόβλημα αυτό επιχειρήθηκε να επιλυθεί με τη χρήση των μοντέλων τύρβης.

• Η μοντελοποίηση της τύρβης.

Εάν κάποιος έθετε το πρόβλημα της επίλυσης των εξισώσεων Navier- Stokes σε έναν μαθηματικό, τότε με την στεγνή λογική των μαθηματικών θα προσπαθούσε να κάνει μία απευθείας επίλυση με τη χρήση κάποιας τεχνικής διακριτοποιώντας αυτές στην χρονική μικροκλίμακα της τύρβης, τάξης nsec ένεκα πάντα της ύπαρξης των τάσεων Reynolds. Ή με μία ακόμη πιο στεγνή αντίληψη θα προσπαθούσε να επιλύσει τις εξισώσεις ξεκινώντας από την πρωταρχική εξίσωση:

$$\begin{aligned}\bar{u}(x, y, z, t) &= \bar{u}(x, y, z, t) + \bar{u}'(x, y, z, t) \\ p(x, y, z, t) &= \bar{p}(x, y, z, t) + p'(x, y, z, t)\end{aligned}$$

και επαναδιατυπώνοντας το ΘMR (Θεώρημα Μεταφοράς Reynolds) με τη χρήση αυτής. Η απευθείας αυτή επίλυση- προσομοίωση γίνεται (DNS- Direct Numerical Simulation) αλλά απαιτεί υπολογιστές τερατώδους ισχύος και ροές προς επίλυση αρκετά κλασσικές και πολύ απλής γεωμετρίας.

Ο μηχανικός στα προβλήματα που αντιμετωπίζει λαμβάνει πάντοτε το χρόνο επίλυσης και το κόστος επίλυσης. Προτιμά να έχει μία ικανοποιητική λύση με κάποιες καλές παραδοχές σε ένα δύσκολο πρόβλημα σε μικρό χρόνο που ουσιαστικά θα αυξήσει την παραγωγικότητά του, παρά μία τέλεια λύση σε κυριολεκτικά ουτοπικό χρόνο για ένα πρόβλημα που μόνο σε συνθήκες εργαστηρίου μπορεί να υπάρξει. Για αυτόν τον λόγο εμφανίστηκαν τα μοντέλα τύρβης τα οποία και κατέστησαν την προσομοίωση ένα ρεαλιστικό εργαλείο στα χέρια του μηχανικού.

• Τα γραμμικά μοντέλα τύρβης.

Ο σκοπός να μοντελοποιηθούν οι τάσεις Reynolds οδήγησε σε μία πληθώρα μοντέλων που εμφανίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία. Το κάθε ένα από αυτά χρησιμοποιεί μία, δύο ή και παραπάνω εξισώσεις οι οποίες σε συνδυασμό με τις τυρβώδεις Navier- Stokes δίδουν ικανοποιητικές λύσεις.

Μία κατηγορία μοντέλων είναι αυτή που θεμελιώνεται από την υπόθεση του Boussinesq η οποία δίδει μία εξίσωση για την προσομοίωση των τάσεων Reynolds υπό την χροιά των κλασικών τάσεων που εμφανίζονται στη στρωτή ροή. Σε αυτή την εξίσωση ισχύει:

$$\tau_{ij} = -\rho \overline{u_i' u_j'} = \nu_t \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} - \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \kappa \delta_{ij}$$

όπου ν_t είναι το λεγόμενο ιξώδες της τύρβης (δεν μετράται γιατί δεν είναι φυσικό μέγεθος αλλά υπολογιστικό) και κ είναι η κινητική ενέργεια της τύρβης η οποία θα οριστεί παρακάτω. Ουσιαστικά μεταβαίνει κανείς από τις μέσες τιμές των στιγμιαίων συσχετίσεων στις μέσες τιμές της ροής. Από τη σχέση αυτή φαίνεται επιπροσθέτως ότι απαιτείται μία σχέση για τον υπολογισμό του ιξώδους της τύρβης και της κινητικής ενέργειας της τύρβης.

Πριν δοθούν οι ορισμοί των δύο τελευταίων παραμέτρων της ροής, πρέπει να σημειωθεί ότι η υπόθεση αυτή είναι πραγματικό εργαλείο στην προσομοίωση της τύρβης αλλά έχει ένα βασικό μειονέκτημα: στηρίζεται στην αρχή του ισότροπου ιξώδους της τύρβης κάτι που δεν ισχύει στην πραγματικότητα διότι αυτό προδιαγράφεται άμεσα από τους ρυθμούς παραμόρφωσης της ροής στις τρεις κατευθύνσεις. Κατά αυτόν τον τρόπο χάνεται και η έντονη τριδιάστατη υφή της τύρβης και οι λύσεις που δίδονται κρίνονται οριακά ικανοποιητικές. Προκειμένου να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, διάφοροι ερευνητές δώσανε διάφορες μορφές στις εξισώσεις συγκεκριμένες ροές οι οποίες καθιστούσαν για το λόγο αυτό τα μοντέλα να έχουν έλλειψη «παγκοσμιότητας» εφαρμογών.

Επιστρέφοντας πάλι στους ορισμούς των μεγεθών των μοντέλων τύρβης, η κινητική ενέργεια της τύρβης ορίζεται σαν:

$$k = \frac{1}{2}(\bar{u}^2 + \bar{v}^2 + \bar{w}^2)$$

είναι ένα μέγεθος που μπορεί να μετρηθεί αλλά και να υπολογιστεί. Δεδομένου ότι αποτελεί ιδιότητα της ροής, μπορεί να καταστρωθεί για αυτό μία εξίσωση μεταφοράς κατά τα πρότυπα της Navier- Stokes και υπό το πρίσμα της ενέργειας που καταστρέφεται αλλά και παράγεται.

Το ιξώδες της τύρβης σε έναν πρωτογενή τύπο δίδεται από τη σχέση:

$$\nu_t = 0.09 \frac{k^2}{\varepsilon}$$

Το ε είναι ο αριθμός διασποράς της τύρβης και συνήθως τίθεται ανάλογο του πηλίκου $k^{3/2}/l$ όπου l είναι το χαρακτηριστικό μήκος κλίμακας της τύρβης. Και για το ε υπάρχει μία εξίσωση μεταφοράς.

Οι εξισώσεις που περιγράφουν την μεταφορά της κινητικής ενέργειας της τύρβης και του ρυθμού διασποράς της είναι:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = -\bar{u}_i \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} [(v + \nu_t / \sigma_k) \frac{\partial k}{\partial x_j}]$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = -C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \bar{u}_i \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} [(v + \nu_t / \sigma_\varepsilon) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}]$$

Όπου $C_{\varepsilon 1}=1,44$ $C_{\varepsilon 2}=1,92$ $\sigma_k=1,0$ $\sigma_\varepsilon=1,3$

Οι σταθερές αυτές υπολογίστηκαν για συγκεκριμένες ροές και επιδέχονται πληθώρα αλλαγών για διάφορες ροές που εφαρμόζονται αυτές οι εξισώσεις. Για το λόγο αυτό εξηγείται και η πληθώρα των μοντέλων τύρβης. Εναπόκειται στην εμπειρία του μηχανικού για την επιλογή του μοντέλου που θα είναι ανάλογο με το είδος της ροής που θα πρέπει να επιλύσει.

Στην εξίσωση μεταφοράς του k το αριστερό σκέλος είναι σε πλήρη αντιστοιχία με τις εξισώσεις ορμής, με τη διαφορά ότι η μεταβαλλόμενη ποσότητα είναι η κινητική ενέργεια της τύρβης. Στο δεξί σκέλος διαφαίνεται η διασπορά της με το ε , η διάχυσή της με τον τελευταίο όρο

όπου σε αυτόν τον μηχανισμό συμμετέχει και το φυσικό ιξώδες της ροής μαζί με ιξώδες της τύρβης. Τέλος, ο όρος :

$$u'_i u'_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j}$$

αποτελεί την λεγόμενη παραγωγή της τύρβης, που αποτελεί στην ουσία τη συσχέτιση των τάσεων Reynolds με τις κλίσεις της ταχύτητας. Όπου εμφανίζεται κλίση ταχύτητας (οριακά στρώματα, ροές που υπόκεινται σε κλίση ταχύτητας κλπ) εμφανίζεται και παραγωγή κινητικής ενέργειας της τύρβης. Ο όρος παραγωγής πολλές φορές εμφανίζεται στην βιβλιογραφία και ως P_k .

Αντίστοιχα για το ρυθμό διασποράς της τύρβης έχουμε την παραγωγή διασποράς (πάντα για το δεξί σκέλος), την διασπορά της διασποράς και την διάχυση της διασποράς λόγω φυσικού και τυρβώδους ιξώδους.

Το μοντέλο που αναφέρθηκε αποτελεί το γνωστό ως $k-\epsilon$ και είναι το πιο διαδεδομένο σε βιομηχανικές εφαρμογές. Κάθε εμπειρικό πακέτο λογισμικού που σέβεται τον εαυτό του περιέχει πάντα και αυτό το μοντέλο, όχι τόσο για τα ικανοποιητικά σχετικά αποτελέσματα που δίδει όσο για την ευστάθειά του σε μία επαναληπτική διαδικασία επίλυσης. Υπάρχουν φυσικά και άλλα μοντέλα, τα οποία διαφοροποιούνται κυρίως ως την χρήση μίας άλλης μεταβλητής αντί του ϵ όπως είναι το ω που είναι ο ειδικός ρυθμός διασποράς.

Τα εναλλακτικά μοντέλα, εκτός από την καλύτερη συμπεριφορά σε κάποια είδη ροών έχουν κάποιες φορές έναν πιο εύχρηστο τρόπο εισαγωγής οριακών συνθηκών για τις τιμές των τυρβωδών παραμέτρων σε περιοχές τοιχωμάτων.

● Τα μη γραμμικά μοντέλα τύρβης

Στην προσπάθειά τους οι μοντελιστές να υπερπηδήσουν τον σκόπελο της αρχής του Boussinesq υπό το πρίσμα της ανισοτροπίας της τύρβης, επικεντρώθηκαν σε μια ανάπτυξη της σχέσης του Boussinesq με επιπλέον όρους προκειμένου να ενσωματωθούν οι ταυιστές παραμόρφωσης γωνιακής παραμόρφωσης και παραμόρφωσης όγκου. Η λογική ήταν ότι εφόσον υπάρχουν διαφορετικές παραμορφώσεις σε διαφορετικές κατευθύνσεις της ροής, οι τάσεις Reynolds πρέπει να αισθάνονται αυτές τις παραμορφώσεις. Έτσι, την τελευταία δεκαετία γίνεται μια ευρεία χρήση της παρακάτω έκφρασης των τάσεων Reynolds:

$$\frac{u'_i u'_j}{k} = \frac{2}{3} \delta_{ij} - \frac{\nu_t}{k} S_{ij} + c_1 \frac{\nu_t}{\varepsilon} (S_{ik} S_{kj} - \frac{1}{3} \delta_{ij} S_{kl} S_{kl}) + c_2 \frac{\nu_t}{\varepsilon} (\Omega_{ik} S_{kj} + \Omega_{jk} S_{ki}) + c_3 \frac{\nu_t}{\varepsilon} (\Omega_{ik} \Omega_{jk} - \frac{1}{3} \delta_{ij} \Omega_{kl} \Omega_{kl}) + c_4 \frac{\nu_t k}{\varepsilon^2} (S_{ki} \Omega_{ij} + S_{kj} \Omega_{ji}) S_{kl} + c_5 \frac{\nu_t k}{\varepsilon^2} (S_{ki} S_{kl} - \Omega_{ki} \Omega_{kl}) S_{ij}$$

Η έκφραση των τάσεων Reynolds για κάθε επίπεδο εξάγεται με την αποπομπή του K στο δεξί μέλος της εξίσωσης και την αντικατάσταση των δεικτών i, j στις κατευθύνσεις που απαιτείται.

Τα μοντέλα αυτά ουσιαστικά διαφοροποιούνται ως προς την έκφραση των τάσεων Reynolds ενώ κρατούν ίδιες τις εξισώσεις μεταφοράς του K και του ε . Δίδουν πολύ καλύτερα αποτελέσματα αλλά το κόστος σε χρόνο υπολογισμών και σε μεγάλες αστάθειες είναι πολλές φορές τεράστιο.

Πέρα από τις απλές αναφορές που έγιναν στα συγκεκριμένα μοντέλα τύρβης υπάρχουν και άλλα μοντέλα τα οποία δεν στηρίζονται στην υπόθεση του ιζώδους της τύρβης. Αυτά επιλύουν απευθείας τις τάσεις Reynolds με την χρήση 9 εξισώσεων (για τρεις διαστάσεις) μεταφοράς των τάσεων.

4.7 Διακριτοποίηση

Οι εξισώσεις που περιγράφουν την ροή ενός ρευστού είναι διαφορετικές εξισώσεις στις οποίες εμφανίζονται μικτών παραγωγίσεων. Για συγκεκριμένες συνθήκες- σχετικά απλές- τα μαθηματικά μπορούν να δώσουν λύσεις αλλά σε δυσκολότερες περιπτώσεις οι διαδικασίες επίλυσης είναι πολύπλοκες και αρκετές φορές ανέφικτες.

Σε τέτοιες περιπτώσεις η χρήση της υπολογιστικής ρευστομηχανικής δίνει λύσεις οι οποίες όμως δεν είναι ακριβείς αλλά προσεγγιστικές. Οι προσεγγιστικές αυτές λύσεις χρησιμοποιούν τη μέθοδο της διακριτοποίησης. Σύμφωνα με αυτή το διαφορικό και κατ' επέκταση η παράγωγος μιας συνάρτησης προσεγγίζεται με μικρές διαφορές. Όσο αυτές οι διαφορές τείνουν στο ελάχιστο τόσο και η προσέγγιση μιας εκφράσεως παραγώγου γίνεται πιο ακριβής.

Οι προσεγγιστικές λύσεις για ένα πρόβλημα δίνουν τιμές των μεγεθών που επιλύονται πάνω σε διακριτά σημεία του πεδίου ροής του ρευστού. Τα διακριτά σημεία ονομάζονται κόμβοι ενός πλέγματος και δημιουργούνται με συγκεκριμένο τρόπο επάνω στο πεδίο ροής. Βασικό χαρακτηριστικό αυτών των σημείων είναι η δεδομένη μεταξύ τους απόσταση για κάθε κατεύθυνση στο χώρο.

4.7.1 Διακριτοποίηση στο χώρο

Αυτό που γίνεται με την διακριτοποίηση του χώρου είναι η τοποθέτηση πάνω στο φυσικό χώρο του πεδίου ροής κατάλληλο αριθμητικό πλέγμα. Τα βασικά στοιχεία που διακρίνονται σε αυτό το πλέγμα είναι:

α) υπάρχει ένας συγκεκριμένος τρόπος αρίθμησης των κόμβων που συνθέτουν το πλέγμα. Στη γενική περίπτωση χρησιμοποιούνται οι δείκτες i, j εφόσον έχουμε δύο διαστάσεις. Για ένα τυχαίο σημείο, έστω P ορίζονται το ζεύγος i, j . Γύρω από αυτό υπάρχουν τα γειτονικά σημεία του, τα οποία βάσει αυτού θα έχουν τις αριθμήσεις όπως φαίνονται στο σχήμα 1.

β) δύο γειτονικά σημεία θα έχουν απόσταση έστω Δx κατά τη x - διεύθυνση και Δy κατά την y - διεύθυνση. Στη γενική περίπτωση αυτές είναι διαφορετικές σε κάθε περιοχή και για κάθε διεύθυνση. Στην ειδική περίπτωση τα Δx μπορούν να θεωρηθούν ίσα μεταξύ τους και τα Δy επίσης ίσα μεταξύ τους. Σε πιο ειδική περίπτωση μπορεί να θεωρηθεί ότι όλες οι αποστάσεις είναι ίσες μεταξύ τους.

γ) σε κάθε σημείο υπάρχει και η προς εύρεση τιμή του πεδίου ροής. Επίσης για κάθε πλέγμα υπάρχει και η χωρική πληροφορία, δηλαδή ποιες είναι οι συντεταγμένες του στο χώρο, οπότε εύκολα συνάγεται ότι χρήζουν τα ζεύγη $x(i, j)$ και $y(i, j)$ για δύο διαστάσεις.

4.7.2 Διακριτοποίηση Διαφορικών Εξισώσεων

Άλλο ένα βήμα στη διαδικασία της αριθμητικής επίλυσης γίνεται με τη μετατροπή σε κάθε κόμβο του πλέγματος της διαφορικής εξίσωσης σε αλγεβρική. Έστω έχουμε την άγνωστη συνάρτηση ϕ παίρνει διακριτή τιμή στη θέση (i, j) και συμβολίζεται με Φ_{ij} . Οι αλγεβρικές εξισώσεις για κάθε εσωτερικό κόμβο μαζί με τις αντίστοιχες εκφράσεις για τις οριακές συνθήκες πρέπει να αποτελούν ένα σύστημα τόσων εξισώσεων όσων και αγνώστων, όπου άγνωστοι θα είναι οι παράμετροι που ζητάμε στο πρόβλημα μας, όπως π.χ. η θερμοκρασία ή η συγκέντρωση.

Στην πράξη, τα πλέγματα που προσομοιώνουν ένα πεδίο ροής για δύσκολα υπολογιστικά ρευστομηχανικά προβλήματα δεν είναι τόσο απλά. Προκειμένου να αποδοθούν πολύπλοκοι χώροι ροής τα πλέγματα διαμορφώνονται σε ιδιαίτερα σχήματα στα οποία δεν είναι δυνατόν να

αποτελούνται ούτε από γραμμές που είναι κάθετες μεταξύ τους αλλά ούτε και από κόμβους που ισαπέχουν.

Αφού δημιουργηθούν οι κόμβοι του πλέγματος (σε πολύπλοκο ή μη πρόβλημα πεδίου ροής) το επόμενο βήμα είναι η επιλογή της τεχνικής με την οποία θα επιλυθεί το πρόβλημα. Για επίλυση τέτοιου είδους προβλημάτων υπάρχουν τρεις βασικές μεθοδολογίες:

- * Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών
- * Η μέθοδος των πεπερασμένων όγκων
- * Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων

4.8 ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΑΕΡΙΟΥ

Η εστίασή μας είναι εδώ να αναπτύξουμε ένα μονοδιάστατο πρότυπο για το πώς η ροή αερίου επιταχύνεται, και τις διαφορές που εμφανίζονται εν συγκρίσει με τη δισδιάστατη ροή.

Σχολιάζουμε αρχικά εν συντομία αυτό που συμβαίνει. Τα κομμάτια διαμορφώνονται ως (i) έμβολο και (ii) διάφραγμα σε έναν σωλήνα κλονισμού, με το αέριο να περιορίζεται σε έναν εννοιολογικό, χωρίς τριβή σωλήνα σε κάθε περίπτωση. Κανένας δεν δίνει ένα ρεαλιστικό πρότυπο για τη ροή αερίου στην επιταχυνόμενη διασπορά, αλλά παρέχουν τον περιορισμό των περιπτώσεων για τα πρότυπα στα οποία η διασπορά αντιπροσωπεύεται από ένα πορώδες έμβολο. Αυτό ορίζεται ως μια συλλογή των κατά προσέγγιση ευθυγραμμισμένων αποσυνδεδεμένων στοιχείων, η οποία είναι σχετικά λεπτή στην κατεύθυνση της ροής μέσω αυτού. Ο στόχος μας είναι να επιτύχουμε τα αξιόπιστα αριθμητικά αποτελέσματα από το πρότυπο συμπίεσης.

4.8.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ

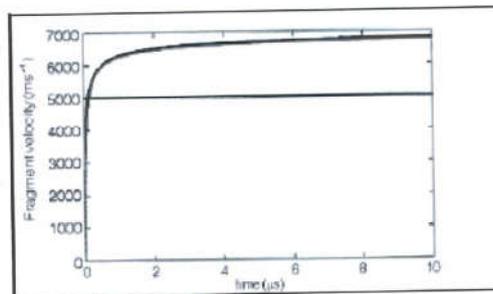
Το απλούστερο παράδειγμα είναι να διαμορφωθεί η διασπορά ως μια μονοδιάστατη διαδρομή μάζας m και ταχύτητας $U(t)$ ωθούμενα σε ένα κενό από αρχικά ομοιόμορφο αέριο. Μπορούμε να εφαρμόσουμε τη θεωρία της απλής ροής κυμάτων επειδή αυτή η ροή αερίου είναι ισεντροπική. Αφήνουμε p να είναι πίεση, ρ να είναι η πυκνότητα, $a =$

$\sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$ η ταχύτητα του ήχου.

Κατόπιν, όταν δείχνουμε τις τιμές στασιμότητας για τιμές "0" και τη χρήση $mU = P$, $u = U$ στο έμβολο και $U(0)=0$, λαμβάνουμε μια συνηθισμένη διαφορική εξίσωση για την ταχύτητα εμβόλων που δίνεται από :

$$U(r) = \frac{2a_0}{\gamma - 1} \left(1 - \left(1 + \left\{ \frac{\gamma + 1}{2ma_0} \right\} p_0 t \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right),$$

το διάγραμμα της οποίας παρουσιάζεται στο Σχ. 1. Τείνει στη μέγιστη ταχύτητα με την οποία μονοδιάστατο έμβολο μπορεί να φτάσει ένα ρευστό πριν δημιουργηθεί ένα κενό. Λήψη των τιμών $a_0=7$ kms/s και $\gamma=3$ δίνει μια μέγιστη ταχύτητα των 7 kms/s, η οποία είναι, ένα ρεαλιστικό μέγεθος για την ταχύτητα διασποράς .



Σχήμα 4-1 Διάγραμμα της ταχύτητας διασποράς σε σχέση με το χρόνο για το έμβολο και πρότυπα σωλήνων κρούσης (σταθερής αξίας), με παραμέτρους :

$$a_0 = 7 \text{ km/s}, \quad p_0 = 32 \text{ GPa}, \quad \gamma = 3, \quad \text{and} \quad m = 0.1 \text{ kgm}^{-2}.$$

Το δεύτερο περιοριστικό πρότυπο εξετάζει μια μεγάλη διασπορά ,με μικρό περίβλημα αδράνειας με τη διαμόρφωση του ως σπασμένο διάφραγμα σε έναν σωλήνα κρούσης. Αυτό υποθέτει ότι το περίβλημα έχει αποσυνθέσει τα κομμάτια που έχουν την αμελητέα αδράνεια και ως εκ τούτου κινούνται ως διάφραγμα στο όριο μεταξύ των ρευστών. Χρησιμοποιώντας τη συνοχή της πίεσης και της ταχύτητας αλλά όχι της θερμοκρασίας ή της πυκνότητας πέρα από τη "ασυνέχεια επαφών" και παίρνοντας τις κατάλληλες τιμές για τις παραμέτρους που συνδέονται με τα εκρηκτικά προϊόντα λαμβάνουμε μια ταχύτητα τεμαχίων της τιμής 5 kms^{-1} , επιλύοντας τις:

$$U = \sqrt{\frac{2}{\gamma_1}} \alpha_1 \left(\frac{P_3}{P_1} - 1 \right) \left((\gamma_1 + 1) \frac{P_3}{P_1} + \gamma_1 - 1 \right)^{-1/2} \quad \text{όπου} \quad P_3 = P_4 \left(1 - \frac{\gamma_4 - 1}{2} U \right)^{2\gamma_4 / (\gamma_4 - 1)}$$

Υποθέτουμε ότι αυτά τα δύο που περιορίζουν τα πρότυπα δίνουν τα εξιδανικευμένα όρια στην ταχύτητα διασποράς, ακόμα κι αν δεν συνίσταται καμία διαρροή αερίου.

4.8.2 ΑΣΥΜΠΙΕΣΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΔΙΑΡΡΟΗΣ

Χρησιμοποιούμε τώρα τις ιδέες από τη θεωρία των εσωτερικών ροών [8] για να αναπτύξουμε τα πρότυπα διαρροής. Εξετάζουμε ένα μονοδιάστατο "όγκο ελέγχου" ενός ρευστού σε μια περιοχή σταθερού σωλήνα.

Απαιτείται συντήρηση της μάζας και της ορμής,

$$u_1 = u_2, \\ (p_1 + \rho u_1^2) - (p_2 + \rho u_2^2) = D,$$

όπου u μας δίνει τη ταχύτητα ρευστού και οι 1 και 2 μας δίνουν δύο θέσεις κατά μήκος του σωλήνα. Η τριβή στους τοίχους του όγκου ελέγχου διαμορφώνεται από μια έλξη D ανά μονάδα μήκους. Χαρακτηριστικά, D είναι ένα σταθερό πολλαπλάσιο της πυκνότητας που πολλαπλασιάζεται με κάποια τοπική ταχύτητα, όπου η τριβή είναι μεγαλύτερη στην τυρβώδη από ό,τι στη στρωτή ροή [8]. Το τελικό ισοζύγιο προέρχεται από το υπολογισμό της εξίσωσης Bernoulli, η οποία ισχύει παντού εκτός από τα τοιχώματα. Παρατηρείται, εντούτοις, ότι οι προβλέψεις βασισμένες σε ένα συνολικό ισοζύγιο δεν συμφωνούν με τα πειράματα σε ορισμένη γεωμετρική διαμόρφωση.

Για τους γρήγορα συγκλίνοντες-αποκλίνοντες σωλήνες, ή τους σωλήνες με τις αιχμηρές ακμές, ισχύει:

$$\left(\frac{P_1}{\rho} + \frac{1}{2} u_1^2 \right) - \left(\frac{P_2}{\rho} + \frac{1}{2} u_2^2 \right) = \frac{1}{2} K u_2^2$$

για κάποια θετική σταθερά K η οποία βρέθηκε πειραματικά να εξαρτάται κυρίως από τη γεωμετρία των σωλήνων. Αυτή η παρατήρηση, και ειδικότερα η εξάρτηση από την u_2 , μπορεί να αποδοθεί στη διάσπαση της στρωτής ροής. Η εξίσωση (5) προτείνει ότι το D σε (7) πρέπει να γραφτεί όπως $D=1/2 \rho C_d u_2^2$, όπου το C_d , μια θετική σταθερά, που πρόκειται να καθοριστούν πειραματικά. Είναι αυτονόητο (3)-(5) ότι παίρνουμε το κάτω όριο του όγκου ελέγχου που είναι αρκετά μακριά από τα κάτω χωρισμένα στρώματα που συνδυασμένα μπορούν να δημιουργήσουν μια πλήρως αναπτυσσόμενη ροή.

Προτείνουμε τώρα ένα πρότυπο διαρροής για την ασυμπίεστη ροή. Διαμορφώνεται η διασπορά όπως φαίνεται παρακάτω (σχέδιο 2) και εφαρμόζεται η ιδέα για τη ροή διάδοσης στην κίνηση αερίου στα χάσματα ανάμεσα στη διασπορά. Η ρευστή ροή επιταχύνεται μέσω των χασμάτων όπως φαίνεται στην οθόνη, που προκύπτουν ως αεριοθούμενα αεροπλάνα υψηλής ταχύτητας που διαχωρίζονται από τα ίχνη κάτω και πίσω από την διασπορά. Η τυρβώδης ροή οδηγείται προς τα κάτω με τα ίχνη της να φαίνονται στον ενεργειακό διασκεδασμό. Ως εκ τούτου καθορίζοντας το $U(t)$ για να είναι η ταχύτητα διασποράς, (3)-(5) ακολουθούν οι τρεις συνθήκες, διατήρησης της μάζας, της ορμής και της ενέργειας μεταξύ της περιοχής 1, στο πάνω μέρος της οθόνης, και της περιοχής 2, που μας δίνει την πλήρως αναπτυσσόμενη ροή στο κάτω μέρος της οθόνης:

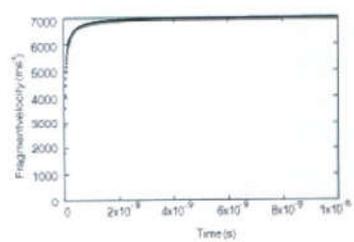
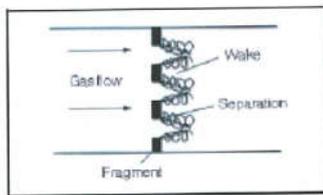
$$(u_1 - U) - (u_2 - U) = 0, \quad (6)$$

$$(p_1 + \rho(u_1 - U)^2) - (p_2 + \rho(u_2 - U)^2) = m\dot{U} + D_s, \quad (7)$$

$$\left(\frac{p_1}{\rho} + \frac{(u_1 - U)^2}{2} \right) - \left(\frac{p_2}{\rho} + \frac{(u_2 - U)^2}{2} \right) = \frac{1}{2} K(u_2 - U)^2, \quad (8)$$

όπου $D_s = \frac{1}{2} \rho C_d (u_2 - U)$ είναι η συνολική έλξη σε ολόκληρη την περιοχή μας και χωρίς να υποθέσουμε καμία σημαντική παραλλαγή περιοχής. Χρησιμοποιώντας οριακή συνθήκη $U(0) = 0$ λαμβάνουμε τη λύση:

$$U = u_1 - \left(\frac{1}{u_1} + \frac{\rho(K - C_d)}{2m} t \right)^{-1},$$



Σχήμα 4-2 Πρότυπο διασποράς

Διάγραμμα της ταχύτητας διασποράς σε συνάρτηση με το χρόνο

που παρουσιάζεται στο διάγραμμα του σχήματος 3. Η ταχύτητα διασποράς δεν μπορεί να υπερβεί την ταχύτητα αερίου βάσει της σχέσης (9) $K > C d$, για μια ρεαλιστική λύση. Μπορούμε επίσης να δούμε αυτό με την εκ νέου ρύθμιση των οριακών συνθηκών που δίνεται από :

$$(p_1 - p_2) (1 - C d / K) = m U$$

και χρησιμοποιώντας το γεγονός ότι η διαρροή επιταχύνεται προς τα δεξιά. Η περαιτέρω εργασία απαιτείται για να ερευνησουμε την ακριβή σχέση μεταξύ K και Cd .

4.8.3 ΣΥΜΠΙΕΣΙΜΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΤΗΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ

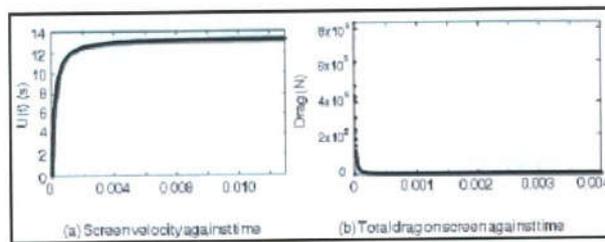
Παράγουμε τώρα ένα συμπίεσιμο πρότυπο ροής για τη διασπορά, που αρχίζει με την εξέταση της περιοχής στην αρχή του διαγράμματος. Σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα, αναμένουμε οξεία διασπορά σε σχήμα "βαρελιού" γύρω από τα σημεία εξόδων διαρροής, που παρουσιάζονται στο σχέδιο 4 (α). Εντούτοις, όταν εξετάζουμε για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και μια για μεγαλύτερη απόσταση από το σημείο διασποράς, η διασπορά σε σχήμα "βαρελιού" θα συγχωνευθεί σε μια ομοιόμορφη διασπορά όπως στο σχέδιο 4 (β). Ως εκ τούτου στο ρεαλιστικότερο πρότυπο διασποράς, η ροή θα καταταχθεί σε τρεις περιοχές. Η περιοχή 1 αποτελείται από μια διάδοση ροής πριν την διασπορά. Στην περιοχή 2, υποθέτουμε μια πλήρως αναπτυγμένη τυρβώδη ροή και στη περιοχή 3 είναι ο αέρας περιβάλλοντος. Στις ασυνέχειες μεταξύ των περιοχών 1/2 και 2/3, η διατήρηση της μάζας, της ορμής και της ενέργειας ισχύουν.

Αντανεκλώντας τις προηγούμενες ιδέες μας από την ασυμπίεστη ροή στην οθόνη, έχουμε τους ακόλουθους όρους με τις συνθήκες που τους διέπουν ως εξής :

$$\rho_1(u_1 - U) - \rho_2(u_2 - U) = 0, \quad (10)$$

$$(p_1 + \rho_1(u_1 - U)^2) - (p_2 + \rho_2(u_2 - U)^2) = m\dot{U} + D \quad (11)$$

$$\left(\frac{\gamma p_1}{(\gamma - 1)\rho_1} + \frac{1}{2}(u_1 - U)^2 \right) - \left(\frac{\gamma p_2}{(\gamma - 1)\rho_2} + \frac{1}{2}(u_2 - U)^2 \right) = \frac{1}{2}K(u_2 - U(t))^2 \quad (12)$$



Σχήμα 4-3 Γραφική παράσταση της ταχύτητας διαρροής και της συνολικής έλξης.

όπου D S , η συνολική έλξη, όπως απεικονίζεται. Παρατηρήστε τη συνοχή με το ασυμπίεστο πρότυπο ροής, το οποίο ανακτάμε στο όριο γ . Στον ομοιόμορφη διασπορά μεταξύ των περιοχών 2 και 3, έχουμε τις συνθησιμένες οριακές συνθήκες του Rankine – Hugoniot. Οι εξισώσεις (10)-(12), μαζί με τις τρεις οριακές συνθήκες και τις συνθήκες εξισώσεις, της μονοδιάστατης ισεντροπικής αερίου μας δίνουν ένα πρότυπο για τη διαρροή αερίου.

4.8.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το παράδειγμα στα συγκεκριμένα μοντέλα μας έδωσε καλές εκτιμήσεις μεγέθους για την ταχύτητα διασποράς, με κίνητρο για τη διαμόρφωση παροχής ακόμη πιο ρεαλιστικών ροών. Τα αποτελέσματα της τυρβώδους ροής και των ιχνών λήφθηκαν υπόψη με την εισαγωγή των απολειών ορμής και ενέργειας πέρα από το φράγμα, που παρακινήθηκαν από τη θεωρία των εσωτερικών ροών. Εξετάσαμε τις γενικότερες συμπίεσιμες ροές χρησιμοποιώντας τις ιδέες από το ασυμπίεστο πρότυπο ροής, και η διαφορά που υπάρχει είναι ότι δημιουργούνται φαινόμενα κρούσης. Σύγκριση με τα υπάρχοντα στοιχεία δείχνουν ότι το πρότυπό μας προβλέπει ένα ακριβές μέγεθος για την τελική ταχύτητα διασποράς.

5 Ανάλυση διαρροής φυσικού αερίου στην εγκατάσταση με το λογισμικό CFX

5.1 Πρόγραμμα Υπολογιστικής ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ CFX

Το CFX-5.7 παρέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία για την κατασκευή της γεωμετρίας (ANSYS Design Modeler) και του πλέγματος (ICEM CFD), για τον ορισμό των οριακών συνθηκών και της φυσικής του προβλήματος (CFX-Pre) καθώς επίσης και για την επίλυση των εξισώσεων ροής (CFX-Solver) και της ανάλυσης των αποτελεσμάτων (CFX-Post).

5.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

Κατασκευή Γεωμετρίας

Ο ANSYS DesignModeler είναι ένα ολοκληρωμένο σχεδιαστικό πακέτο το οποίο δίνει τη δυνατότητα για τη δημιουργία 3D (τριδιάστατων) γεωμετριών.

Η φιλοσοφία σχεδιασμού της τριδιάστατης γεωμετρίας βασίζεται στην δημιουργία διδιάστατων σχημάτων από τα οποία, με τη βοήθεια των κατάλληλων εργαλείων όπως περιστροφή γύρω από έναν άξονα ή προέκταση μίας επιφάνειας στο χώρο, προκύπτει το τελικό μας μοντέλο (3D) που θα αποτελέσει το χώρο για την επίλυση του ρευστομηχανικού προβλήματος.

Ο τύπος αρχείου που δημιουργείται για τη γεωμετρία είναι της μορφής *.agdb και όλο το project το αποθηκεύουμε με τη μορφή *.wbdb

5.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Το επόμενο βήμα είναι η κατασκευή πλέγματος στη γεωμετρία που δημιουργήσαμε. Για το σκοπό αυτό γίνεται εισαγωγή της γεωμετρίας που κατασκευάστηκε στον DesignModeler στον ICEM CFD. Υπάρχει η δυνατότητα να εισάγουμε μία γεωμετρία η οποία κατασκευάστηκε σε κάποιο άλλο CAD πακέτο. Συνήθως η γεωμετρία που κατασκευάστηκε σε άλλο πακέτο, έχει τη μορφή κάποιου IGES αρχείου.

Τα βασικά βήματα για την κατασκευή του πλέγματος είναι η επιλογή της μορφής του (τετραέδρα ή εξάεδρα). Η διαδικασία που ακολουθείται είναι διαφορετική για τις δύο μορφές πλέγματος. Η κατασκευή των εξάεδρων είναι μια πιο πολύπλοκη διαδικασία συγκριτικά με αυτήν των τετραέδρων. Η επιλογή της μορφής των στοιχείων και της πυκνότητας του πλέγματος γίνεται τελικά με βάση τις ιδιαιτερότητες και απαιτήσεις του κάθε ρευστομηχανικού προβλήματος.

Υπάρχει επίσης η δυνατότητα για περαιτέρω επεξεργασία, βελτίωση του πλέγματος και της ίδιας της γεωμετρίας με τη χρήση των κατάλληλων εργαλείων.

Στο τέλος αποθηκεύουμε αρχείο τύπου *.msh

5.4 ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Ο ορισμός των οριακών συνθηκών και της φυσικής του προβλήματος πραγματοποιείται στον CFX-Pre, όπου εισάγεται το αρχείο του πλέγματος *.msh και δημιουργείται το simulation file.

Συγκεκριμένα επιλέγουμε τις περιοχές εισόδου και εξόδου του ρευστού, εισάγοντας για την κάθε μία τις συνθήκες (π.χ. πίεση, θερμοκρασία, ταχύτητα) που υπάρχουν στα δεδομένα του προβλήματος. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα επιλογής πλήθους ρευστών καθώς και η δημιουργία οποιουδήποτε άλλου, ακόμα και μείγματος με την εισαγωγή όλων των φυσικών ιδιοτήτων του.

Τέλος καθορίζουμε το μέγιστο αριθμό επαναλήψεων για την επίλυση του προβλήματος και όλες τις παραμέτρους της ροής.

Τελικά δημιουργείται ένα αρχείο τύπου *.def.

5.5 ΕΠΙΛΥΣΗ

Στην καρδιά του CFX-5 βρίσκεται το CFD solver, το οποίο συγκεντρώνει μαζί πολλές τεχνολογίες για την υψηλότερη απόδοση του CFD. Ο solver επιτυγχάνει την αξιόπιστη και γρήγορη σύγκλιση με την επίλυση των γραμμικών εξισώσεων.

Η multigrid μέθοδος CFX έχει εξελιχθεί για περισσότερο από 20 χρόνια και έχει χρησιμοποιηθεί για να λύσει εκατομμύρια προσομοιώσεις. Διαθέσιμο είναι μόνο το γραμμικό solver στο CFX 5. Οι δυνατότητες του είναι:

- Πλήρως αυτόματη και δεν απαιτεί καμία εισαγωγή χρηστών,
- Πλήρως εξελίσσιμη, επιτυγχάνει γραμμική αύξηση ανάλογα με το μέγεθος του προβλήματος,
- Ανεξάρτητα από το λόγο διάστασης πλέγματος επιτυγχάνει μεγάλη σύγκλιση ακόμη και αν απαιτείται μεγάλος καθορισμός για το οριακό στρώμα,
- Προσομοιώνει την πραγματική φυσική του προβλήματος,
- Εύκολο να στηθεί και σε συνεχή και σε παράλληλη επίλυση.

Είναι σημαντικό ότι τα αριθμητικά λάθη μειώνουν γρήγορα και αξιόπιστα καθώς το πλέγμα έχει καθοριστεί. Τα αριθμητικά λάθη εμφανίζονται στα βασικά μεγέθη, στη μεταφορά διάχυσης και στις πηγές. Η μέθοδος ανάλυσης πλέγματος του CFX-5 που εφαρμόζεται στη γεωμετρία δημιουργεί τις κλίσεις για τη διάχυση και εξάγει με ακρίβεια τα αποτελέσματα του πλέγματος.

5.5.1 (CFX-Solver)

Στον CFX-Solver εισάγεται το αρχείο *.def και ξεκινά η επίλυση του προβλήματος

5.5.1.1 Parallelization (Παράλληλη επίλυση)

Το CFX-5 συνδυάζει τη μνήμη και τις πηγές των πολλαπλών επεξεργαστών για να μειώσει το χρόνο υπολογισμού, και για να καταστήσει πιθανές τις μεγαλύτερες προσομοιώσεις. Όλα τα φυσικά μοντέλα, οι ιδιότητες, οι τρόποι, και οι επιλογές του CFX-5 λειτουργούν παράλληλα χωρίς καμία εξαίρεση. Η παράλληλη επίλυση είναι εύκολο να αποδοθεί σε έναν υπολογιστή, σε ένα δίκτυο υπολογιστών ή σε οποιοδήποτε συνδυασμό τους. Το μόνο που χρειάζεται είναι να

επιλεχτούν οι επεξεργαστές. Η πρωτογενής επίλυση βασίζεται, εν μέρει, στο γεγονός ότι η παράλληλη προσομοίωση ακολουθεί τα ίδια χαρακτηριστικά σύγκλισης με την ισοδύναμη προσομοίωση ενός προβλήματος. Η μνήμη αλλά και οι ιδιότητες των επεξεργαστών παραμένουν ακόμη και για μεγάλο αριθμό επεξεργαστών.

5.5.1.2 Solver Manager

Ο solver μας δίνει αποτελέσματα για τις οριακές ροές, για τις δυνάμεις, για τα ισοζύγια, τα σημεία που έχουν επιλεχτεί από τον χρήστη (monitor points) και τα διαγράμματα που μπορούν να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια της επίλυσης και κατά τα χρονικά βήματα (timesteps) που έχουν οριστεί. Όταν είναι απαραίτητο, οι παράμετροι όπως οι οριακές συνθήκες, το χρονικό βήμα (timesteps) και τα κριτήρια σύγκλισης μπορούν έπειτα να τροποποιηθούν χωρίς να γίνει παύση του solver προκειμένου να επιταχυνθεί η σύγκλιση.

Στο CFX-5 υπάρχουν εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την τελειοποίηση του μοντέλου κατά τον σχεδιασμό, τη ταχύτερη ολοκλήρωση των αποτελεσμάτων και την ευκολότερη σύγκλιση. Μερικά από αυτά τα εργαλεία είναι:

5.5.1.3 CFX Command Language

Η Command Language (CCL) είναι η εσωτερική γλώσσα επικοινωνίας και εντολής που διευκρινίζει τις παραμέτρους, όπως την ταχύτητα εισροής ή τις παραμέτρους επίλυσης και επιτρέπει την πρόσβαση στα προηγμένα χαρακτηριστικά. Επιπλέον, η Command Language του CFX επιτρέπει τον έλεγχο της σύνθεσης των παραμέτρων που εμείς ορίζουμε.

5.5.1.4 CFX Expression Language

Η γλώσσα CFX (CEL) είναι μια ερμηνευμένη γλώσσα που επιτρέπει στους χρήστες να ενισχύσουν τις προσομοιώσεις χωρίς προσφυγή στις εξωτερικές γλώσσες FORTRAN. Οι κανόνες σύνταξης για τα CEL ακολουθούν τη συμβατική αριθμητική ανάλυση και έχουν πρόσβαση στις εσωτερικές μεταβλητές επίλυσης. Οι χρήστες μπορούν περαιτέρω να επεκτείνουν τη γλώσσα CEL και να την εισάγουν σε άλλο λογισμικό.

5.5.2 *Είδη μοντέλων*

Η ακριβής προσομοίωση είναι πιο ακριβής επειδή σχεδόν όλα τα φυσικά πρότυπα επικοινωνούν το ένα με το άλλο, σε όλες τις γραμμές πλέγματος και τους τύπους διασύνδεσης, χρησιμοποιώντας συνδεδεμένο multigrid solver.

5.5.2.1 **Multiphase**

Οι multiple φάσεις (ρευστά) λύνονται ταυτόχρονα με συνδεδεμένο τον solver, που παρέχει σταθερότητα και κερδίζοντας χρόνο στον χρόνο επίλυσης. Αυτό εξασφαλίζει ότι η σύζευξη του inter-phase επιλύεται κατά τρόπο γρήγορο και αποδοτικό.

5.5.2.2 **Free Surface**

Με τον εντοπισμό μίας ακμής που δημιουργείται μεταξύ δύο φάσεων κατά ακριβή τρόπο, ο CFX-5 δημιουργεί την ακριβή προσομοίωση της ροής σε ελεύθερες επιφάνειες. Χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση του Euler, ο CFX-5 παρέχει μια τεχνολογία που είναι περισσότερο ακριβής και γρηγορότερη στη διαμόρφωση της ροής στις ελεύθερες επιφάνειες.

5.5.2.3 **Lagrangian Particle Tracking**

Ακολουθεί πρότυπο μορίων και επιτρέπει την επίλυση μιας ή περισσότερων φάσεων μορίων μέσα σε μια συνεχή ροή. Οι φάσεις μπορούν να συνδεθούν μέσω της διπλής κατεύθυνσης ορμής, της ενέργειας και της μεταφοράς της μάζας. Υπάρχουν επιλογές που καθορίζουν το μέγεθος των μορίων, τη θέση εγχύσεως και του καθορισμού του ορίου έτσι ώστε η προσομοίωση να ταιριάζει με τους πραγματικούς όρους.

5.5.2.4 **Interphase Mass Transfer**

Ένα γενικό πλαίσιο για τη μεταφορά της μάζας σε ενδιάμεση φάση παρέχεται στον CFX-5 μαζί με τα πρότυπα για τη δημιουργία κοιλότητας, τη συμπύκνωση, την εξάτμιση και να το σημείο βρασμού.

5.5.2.5 Heat Transfer (Μετάδοση θερμότητας)

Ο CFX-5 παρέχει την πιο πρόσφατη τεχνολογία για την επίλυση της ροής των ρευστών στις τριδιάστατες περιοχές συμπεριλαμβανομένης του υπολογισμού της μεταφοράς θερμότητας. Οι υπολογισμοί συνδέονται με τον υπολογισμό της θερμοκρασίας των ρευστών.

5.5.2.6 Radiation

Τα πρότυπα ακτινοβολίας καλύπτουν μια ευρεία κατηγορία προβλημάτων μεταφοράς της θερμότητας συμπεριλαμβανομένης της μη-θερμικής παράλληλης ακτινοβολίας (ηλιακή θέρμανση).

5.5.2.7 Rotating Machinery

Το λογισμικό του CFX έχει χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση περιστρεφόμενων μηχανών για σχεδόν 20 έτη. Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί για ποικίλες εφαρμογές συμπεριλαμβανομένων των αντλιών, των συμπιεστών, των ανεμιστήρων, των στροβίλων, των στροφειών, του στάτη και του περυγίου του κινητήρα. Όλα τα αναμενόμενα εργαλεία και τα παραδείγματα που απαιτούνται στη βιομηχανία περιστρεφόμενων μηχανημάτων παρέχονται.

5.5.2.8 Turbulence

Ο CFX-5 προσφέρει μια επιλογή από 16 διαφορετικά πρότυπα τυρβώδους ροής, συμπεριλαμβανομένου του τυποποιημένου K-E μοντέλου. Εντούτοις, το ευρέως διαδεδομένο πρότυπο SST τυρβώδους ροής προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα για το τυρβώδες οριακό στρώμα και τις προβλέψεις της μετάδοσης θερμότητας. Το SST πρότυπο είναι τόσο οικονομικό όσο και το K-E μοντέλο, αλλά προσφέρει υψηλότερη ακρίβεια, ειδικά για ασταθής ροές, και δίνει άριστα αποτελέσματα για ένα ευρύ φάσμα ροών και στην περίπτωση που θέλουμε να εξετάσουμε τη ροή στα πλέγματα κοντά στα τοιχώματα.

5.5.2.9 Combustion (καύση)

Ο CFX-5 επιλύει όλα τα είδη ως ενιαίο σύστημα συγκλίνοντας πολύ γρήγορα, ειδικά για τους σύνθετους μηχανισμούς αντίδρασης. Τα φαινόμενα ανάφλεξης και εξάλειψης της φλόγας συμπεριλαμβάνονται μέσω των χημικών χρονοδιαγραμμάτων και της θερμοκρασίας. Οι μηχανισμοί και οι ιδιότητες που θέλουμε να εφαρμόσουμε μπορούν να επιλεγούν εύκολα από μια παρεχόμενη βιβλιοθήκη με επιλεγμένες τιμές.

5.5.2.10 Real Fluid

Οι ιδιότητες κάθε ρευστού εμπεριέχονται στο CFX-5 και υποστηρίζονται από τα γενικά θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά για οποιοδήποτε κορεσμένο ρευστό συμπεριλαμβανομένου και των υγροποιημένων ατμών. Τα γενικά χαρακτηριστικά και όλες οι θερμοδυναμικές σχέσεις δίνονται από πίνακες που βρίσκονται ενσωματωμένοι στο πρόγραμμα.

5.5.2.11 Moving Mesh

Όταν προσομοιώνουμε ροή ρευστού τροποποιώντας τη γεωμετρία, παραδείγματος χάριν οι συσκευές όπως οι συμπιεστές, οι αντλίες, οι βαλβίδες καρδιάς και οι μηχανές εσωτερικής καύσεως, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μεταβαλλόμενα πλέγματα. Τα πλέγματα που είναι διαθέσιμα: η μετακίνηση επιφανειών με αυτόματα πλέγματα και η τρισδιάστατη μετακίνηση πλέγματος. Αυτές οι περιπτώσεις καλύπτουν σχεδόν κάθε ανάγκη μετακίνησης πλέγματος.

5.5.2.12 Fluid Structure Interaction*

Σε περιπτώσεις όπου η επίδραση ενός ρευστού γύρω από το στερεό είναι σημαντική, μπορεί να εφαρμοστεί μια προσομοίωση (FSI). Για τις πιο σύνθετες περιπτώσεις FSI, όπως οι μεγάλης κλίμακας στερεές παραμορφώσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το CFX-5 και να γίνει η ανάλυση στο ANSYS.

5.6 ΜΕΤ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

5.6.1 Επεξεργασία αποτελεσμάτων (CFX-Post):

Ο CFX-Post χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων που έχουν εξαχθεί από τον Solver. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων γίνεται στον CFX-Post, ο οποίος διαβάζει το αρχείο της μορφής *_001.res. Οι δυνατότητες του προγράμματος είναι οι εξής:

- Μπορούν να παραχθούν διανύσματα ταχυτήτων, ισοψείς θερμοκρασιών, πιέσεων, συγκεντρώσεων κλπ.
- Μπορούν να παραχθούν contours, surface plots, isosurfaces, vectors και streamlines στις επιφάνειες που εμείς θα ορίσουμε.
- Μπορούμε να εξάγουμε τα αποτελέσματα και να τα επεξεργαστούμε σε άλλο λογισμικό, όπως π.χ. στο excel.
- Μπορούμε να εξετάσουμε μεμονωμένα σημεία (monitor points) στο χώρο υπολογίζοντας τις παραμέτρους που παρουσιάζουν ενδιαφέρον.
- Μας επιτρέπει να εισάγουμε εξισώσεις χρονικά μεταβαλλόμενες, τις οποίες εμείς ορίζουμε, καθώς και να εισάγουμε ουσίες και μίγματα με συγκεκριμένη σύσταση που εμείς θα ορίσουμε.
- Τέλος, μια σημαντική δυνατότητα του post είναι η δημιουργία αρχείου βίντεο *.mpeg, το οποίο μας επιτρέπει να δούμε την εξέλιξη του φαινομένου είτε χρονικά στο ίδιο επίπεδο είτε σε διαφορετικά επίπεδα στον ίδιο χρόνο.

5.7 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ

Υπάρχει η δυνατότητα απελευθέρωσης του φυσικού αερίου μέσα σε εσωτερικό χώρο. Ανάλογα με τα ποσοστά ροής και τις συνθήκες απελευθέρωσης, υπάρχει κίνδυνος να δημιουργηθεί μια συσσώρευση εύφλεκτου μίγματος αέρα-φυσικού αερίου που θα είχε ως αποτέλεσμα το δηλητηριασμό των ατόμων που ζούνε σε αυτή την κατοικία. Η ανάφλεξη μιας τέτοιας συσσώρευσης μπορεί να προκαλέσει μεγάλη καταστροφή στην κατοικία και κυρίως τον τραυματισμό στους ανθρώπους μέσα και γύρω από την περιοχή.

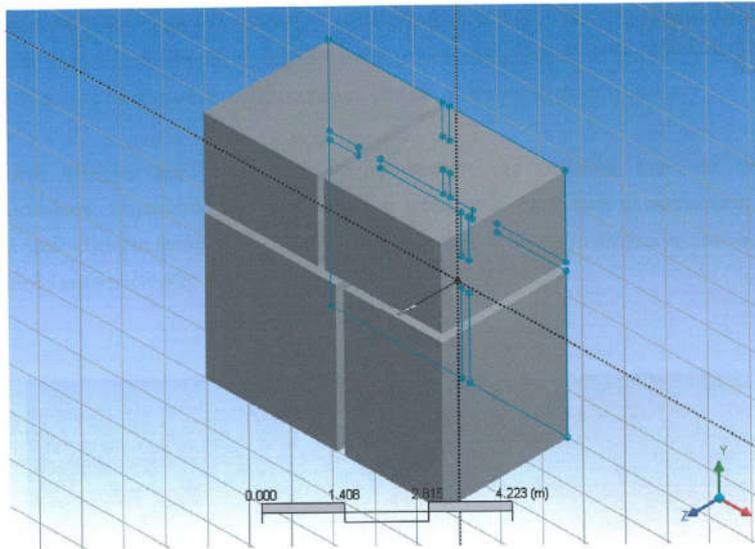
5.7.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

5.7.2 Γεωμετρία

Η κατοικία που θα εξετάσουμε απαρτίζεται από 4 δωμάτια. Τα χαρακτηριστικά κάθε δωματίου είναι τα εξής:

- Το δωμάτιο 1 είναι διαστάσεων 3,1 x 3,5 x 3 m και υπάρχει αγωγός διαμέτρου 40 mm και παροχής 0,05 kg/sec, από τον οποίο θα έχουμε τη διαρροή του φυσικού αερίου. Επίσης υπάρχουν 2 πόρτες, η πόρτα 1-2 που συνορεύει με το δωμάτιο 2 και η πόρτα 1-4 που συνορεύει με το δωμάτιο 4. Όλες οι πόρτες στο πείραμα είναι διαστάσεων 0,8 x 2 m.
- Το δωμάτιο 2 είναι διαστάσεων 2,9 x 2,12 x 3 m και υπάρχουν 2 πόρτες, οι πόρτες 1-2 και 2-3 που συνορεύει με το δωμάτιο 3.
- Το δωμάτιο 3 είναι διαστάσεων 2,73 x 2,12 x 3 m και υπάρχουν 2 πόρτες, οι πόρτες 2-3 και 3-4 που συνορεύει με το δωμάτιο 4 και ένα παράθυρο σε ύψος 1,7 m με διαστάσεις 0,5 x 0,3 m
- Το δωμάτιο 4 είναι διαστάσεων 2,52 x 3,5 x 3 m και υπάρχουν 2 πόρτες, οι πόρτες 3-4 και 1-4.

- Συνολικά οι διαστάσεις της πρότυπης κατοικίας που εξετάζουμε είναι :
- 5,63 x 5,62 x 3 m**



Σχήμα 5-1 Γεωμετρία Πρότυπης Κατοικίας

Παρατήρηση: Στο Σχήμα 5-1 η αρίθμηση των δωματίων ξεκινάει από κάτω αριστερά ως δωμάτιο 1 και συνεχίζουμε αντίθετα από τους δείκτες του ρολογιού. Η γεωμετρία έχει πραγματοποιηθεί στο XY επίπεδο και στη συνέχεια πατώντας το extrude δίνουμε στην γεωμετρία το κατάλληλο ύψος που θέλουμε. Στην πρότυπη κατοικία το ύψος του σπιτιού είναι 3m και το ύψος από τις πόρτες στα 2m.

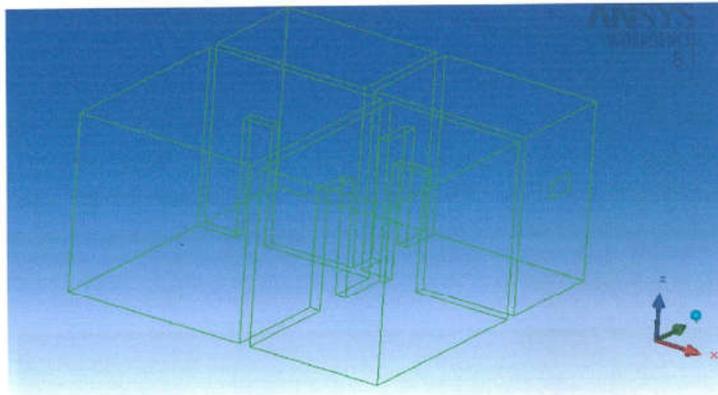
5.7.3 ΠΛΕΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ (MESHING)

Το πλέγμα το δημιουργούμε στο advanced- meshing. Αρχικά ονομάζουμε όλα τα τμήματα της γεωμετρίας, π.χ. ορίζουμε εισροή (inlet) το τμήμα που εισέρχεται το ρευστό, εκροή (outlet) από εκεί που εξέρχεται, τα τοιχώματα (wall) κ.τ.λ. Στη συνέχεια ορίζουμε ένα σημείο στο εσωτερικό της γεωμετρίας σαν **Body** ώστε να καθοριστεί που θα γίνει η πλεγματοποίηση.

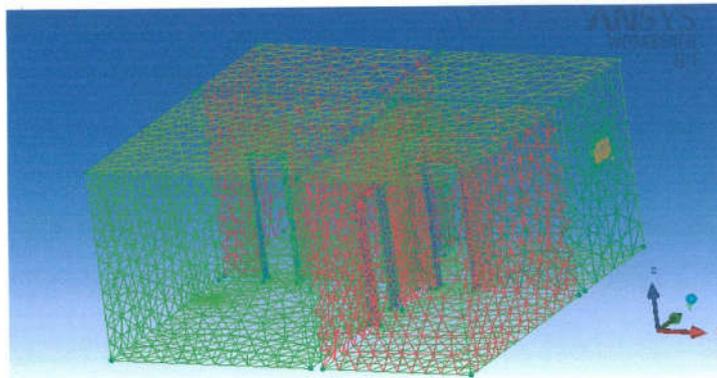
Το δεύτερο βήμα που κάνουμε είναι να ορίσουμε το μέγεθος που θέλουμε να έχει το element ώστε να είναι ικανοποιητικό το πλέγμα. Στη συνέχεια κάνουμε tetra- mesh (τετράεδρα) για την πλεγματοποίηση της γεωμετρίας. Για καλύτερη πλεγματοποίηση στα τοιχώματα διαιρούμε το πλέγμα σε 5 layers με hexa-mesh (εξάεδρα). Στα σημεία που θεωρούμε ότι θα παρουσιαστεί τυρβώδης ροή κάνουμε το πλέγμα πιο πυκνό ελαττώνοντας το element size. Τα σημεία αυτά είναι

συνήθως κατά την εισροή και εκροή του ρευστού, ή στα σημεία που παρουσιάζει στένωση η γεωμετρία. Στην περίπτωση μας τα σημεία που ελάττωσα το element size είναι ο αγωγός από όπου έχουμε τη διαρροή και το παράθυρο που είναι η μόνη διαφυγή για το φυσικό αέριο.

Στη συνέχεια παραθέτουμε τις δύο γεωμετρίες της κατοικίας πριν και μετά την πλεγματοποίηση. Παρατηρώντας από μια πρώτη ματιά το πλέγμα είναι ικανοποιητικό. Για να είμαστε όμως σίγουροι θα εξετάσουμε και τις περιοχές που χρειάζεται το πλέγμα να είναι πιο πυκνό στην είσοδο και στην έξοδο.



Σχήμα 5-2 Γεωμετρία πριν την Πλεγματοποίηση



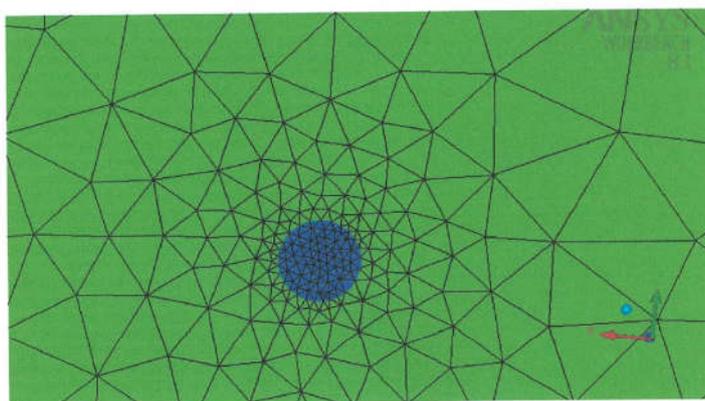
Σχήμα 5-3 Γεωμετρία μετά την Πλεγματοποίηση

Παρακάτω παρατίθενται ο αριθμός των στοιχείων (*Elements*) και των κόμβων (*Nodes*) που έχει δημιουργήσει το πλέγμα που βλέπουμε στο Σχήμα 5-3.

DOMAIN DETAILS

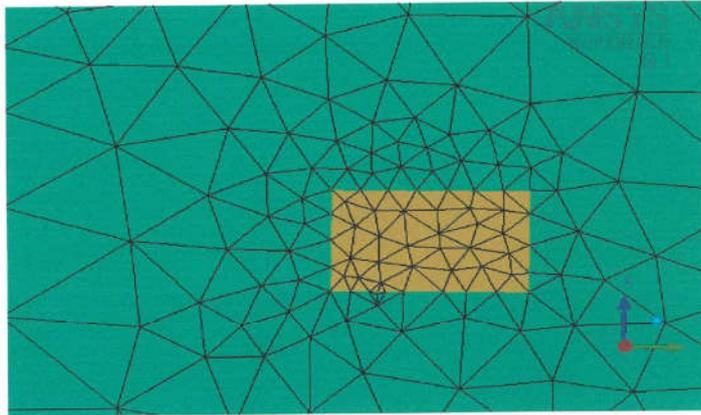
	Nodes	Elements
Room	40118	126543

Παρατηρήσεις: Στο παρακάτω Σχήμα 5-4 έχουμε εστιάσει στην είσοδο και όπως φαίνεται ξεκάθαρα το πλέγμα είναι ικανοποιητικό και μπορούμε να προχωρήσουμε στις μετρήσεις μας. Ο τρόπος με τον οποίο εργαστήκαμε είναι καθώς εστίασαμε πριν την πλεγματοποίηση επιλέξαμε το κομμάτι γύρω από την είσοδο και ελαττώσαμε κατά πολύ το element size. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουμε σωστές μετρήσεις ακόμη και πολύ κοντά στην είσοδο.



Σχήμα 5-4 Πλεγματοποίηση στην είσοδο

Παρατηρήσεις: στο Σχήμα 5-5 έχουμε εστιάσει στην έξοδο και ομοίως παρατηρούμε ότι και η πλεγματοποίηση στην έξοδο είναι ικανοποιητική καθώς το πλέγμα στην περιοχή του παραθύρου είναι αρκετά πιο πυκνό κάτι το οποίο επιζητούμε. Επομένως και σε αυτή τη περίπτωση ο στόχος μας επιτεύχθηκε κάτι το οποίο μας επιτρέπει να συνεχίσουμε στο PRE και στην εισαγωγή των οριακών συνθηκών του προβλήματος.



Σχήμα 5-5 Πλεγματοποίηση στην έξοδο

5.7.4 ΠΡΟ- ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (PRE-PROCESSING)

Το πρώτο βήμα που κάνουμε στο **PRE-PROCESSING** είναι να βάλουμε τις οριακές συνθήκες (boundary conditions). Στην εισροή εισάγουμε την εξίσωση του ρευστού που στην περίπτωση μας αποτελείται από 50% αέρα και 50% φυσικό αέριο και είναι η εξής:

$$\text{ExpFunction} = m_0 * \text{step}((t_0 - t + \text{tsmall}) / \text{tunit}) * \text{abs}(1 - \exp(-t / \text{TimeConstant}))$$

Παρατηρούμε ότι η εξίσωση είναι λογαριθμική με ορισμένη αρχική παροχή μάζας και απότομο κλείσιμο της παροχής μετά το 60 sec.

Τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται είναι :

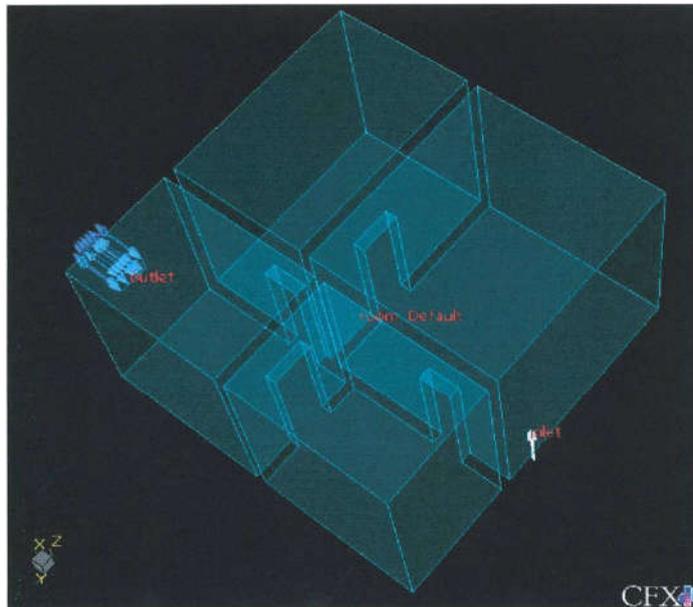
$$m_0 = 0.05 [\text{kg s}^{-1}] \text{ (παροχή μάζας)}$$

$$t_0 = 60. [\text{s}]$$

$$\text{TimeConstant} = 3. [\text{s}]$$

$$\text{tsmall} = 0.0000001 [\text{s}]$$

$$t \text{ unit} = 1. [\text{s}]$$



Σχήμα 5-6 Ορισμός εισόδου – εξόδου

Παρατηρήσεις : Στο σχήμα 5-6 έχουμε ορίσει σαν είσοδο τον αγωγό από όπου πραγματοποιείται η διαρροή και σαν έξοδο το παράθυρο ως ένα opening. Το υπόλοιπο τμήμα της κατοικίας έχει οριστεί σαν τοίχωμα (wall) κάτι το οποίο σημαίνει ότι δεν έχουμε αλληλεπίδραση με το περιβάλλον.

Το δεύτερο βήμα είναι να εισάγουμε στο SIMULATION TYPE το χρόνο και τον τρόπο με τον οποίο εισέρχεται το ρευστό. Στη συγκεκριμένη περίπτωση τη χρονική στιγμή που το ρευστό εισάγεται έχουμε $t=0$ και έχουμε χρονικά μεταβαλλόμενη ροή (transient). Παρακάτω παραθέτουμε τις αρχικές συνθήκες για το χρόνο διάρκειας του πειράματος και τον τρόπο με τον οποίο εισέρχεται.

Option = **Transient**

INITIAL TIME:

Time = 0 [s]

TIME DURATION:

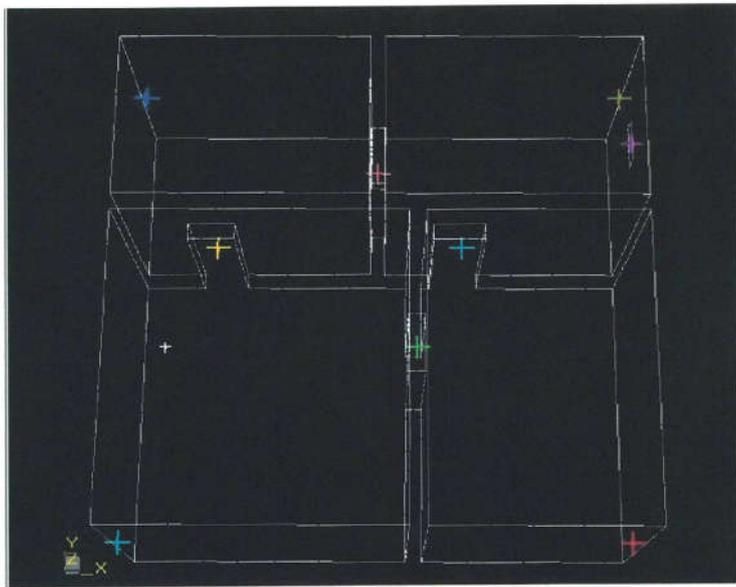
Total Time = 2 [min]

TIME STEPS:

Timesteps = 0.5 [s]

Στο πείραμα επειδή μας ενδιαφέρει να υπολογίσουμε την συγκέντρωση του φυσικού αερίου σε συγκεκριμένα σημεία, στο OUTPUT CONTROL εισάγουμε συγκεκριμένα MONITOR POINTS με τις συντεταγμένες τους για να λάβουμε στον POST-PROCESSING τα αποτελέσματα στο κάθε σημείο ξεχωριστά. Στην περίπτωση μας εισάγουμε δέκα σημεία τα οποία παρατίθενται στα παρακάτω σχήμα.

Τα σημεία που έχουν επιλεγεί είναι καίριας σημασίας για την ασφάλεια του σπιτιού καθώς και για την ποιοτική ανάλυση στη διάδοση του φυσικού αερίου μέσα στο χώρο. Τα σημεία στις γωνίες έχουν ιδιαίτερη σημασία καθώς μπορούμε να παρακολουθήσουμε τη μεταβολή της συγκέντρωσης στο κάθε δωμάτιο υπολογίζοντας το σημείο με τη μεγαλύτερη επικινδυνότητα.. αφού και να τοποθετήσουμε ένα ηλεκτρονικό αισθητήρα αυτόματης διακοπής της παροχής στο σημείο.

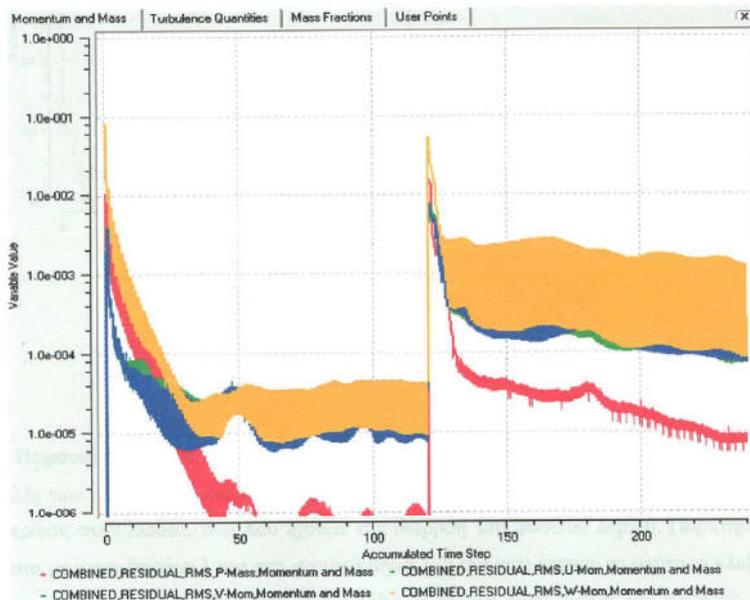


Σχήμα 5-7 MONITOR POINTS

5.7.5 ΕΠΙΛΥΣΗ (SOLVER CONTROL)

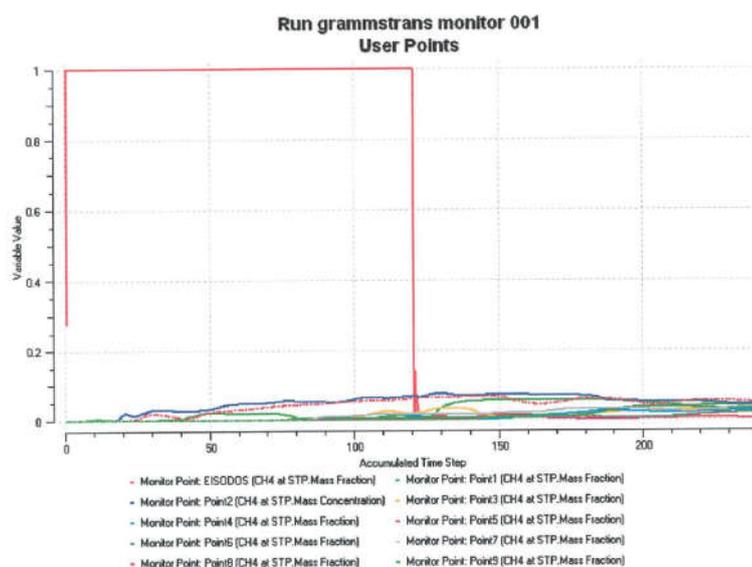
Στον **SOLVER** του CFX-5.7 αυτό που κάνουμε είναι να εισάγουμε το .def –file στο definition file που έχουμε δημιουργήσει στον PRE κατά την έξοδο μας, και να πατήσουμε το Start Run για να ξεκινήσει το πρόγραμμα. Παρακάτω βλέπουμε το διάγραμμα μάζας και ταχύτητας σε συνάρτηση με τα Time Steps μετά την περάτωση της ανάλυσης καθώς και το διάγραμμα των Monitor Points που έχουμε θέσει στον PRE σε συνάρτηση με τα Time Steps παρατηρώντας τη μεταβολή της συγκέντρωσης του φυσικού αερίου στο κάθε σημείο ξεχωριστά.

Η επίλυση θα σταματήσει όταν το διάγραμμα συγκλίνει στη τιμή του σφάλματος που εμείς έχουμε θέσει. Συνήθως αυτή η τιμή είναι πολύ μικρή για να έχουμε όσο το δυνατόν μικρότερο σφάλμα και στην περίπτωση που εξετάζουμε είναι residual target= 1e-005



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5-1

Παρατηρήσεις: Παρατηρούμε ότι έχουμε καλή σύγκλιση στο σφάλμα που επιθυμούμε καθώς οι τιμές στα μεγέθη σε όλη τη διάρκεια του πειράματος συγκλίνουν στο σφάλμα που έχουμε θέσει. Αυτό που παρατηρείται επίσης είναι ότι στο χρονικό βήμα 120, που βρισκόμαστε στο 60 sec του πειράματος, έχουμε μια απότομη αύξηση όλων των μεγεθών. Αυτό συμβαίνει γιατί τη χρονική στιγμή 60, η παροχή σταματάει, σύμφωνα και με την μεταβλητή χρονικά εξίσωση που έχουμε θέσει στον PRE και το φαινόμενο συνεχίζεται με κλειστή την παροχή για επιπλέον ένα λεπτό. Μετά το κλείσιμο η σύγκλιση συνεχίζεται κανονικά, αλλά με πιο αργούς ρυθμούς.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5-2

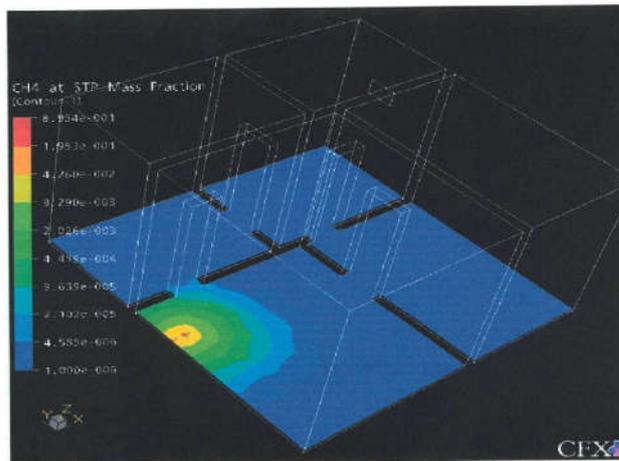
Παρατηρήσεις: Σε αυτό το σχήμα παρατηρούμε πιο ξεκάθαρα τι συμβαίνει και τις μεταβολές των συγκεντρώσεων σε συνάρτηση με τον χρόνο. Η κόκκινη γραμμή υποδηλώνει την συγκέντρωση στην είσοδο, εκεί που έχουμε την διαρροή του φυσικού αερίου. Παρατηρούμε ότι εισέρχεται με mass fraction 1 και στο χρονικό βήμα 120 (60 sec) έχουμε το απότομο κλείσιμο και την πτώση της συγκέντρωσης κοντά στο μηδέν. Η πτώση είναι ομαλή και απότομη. Από τα υπόλοιπα στοιχεία η μεγαλύτερη συγκέντρωση του φυσικού αερίου εμφανίζεται στο σημείο 3 στην πόρτα 1-4. Αντίθετα, η μικρότερη συγκέντρωση εμφανίζεται στη γωνία του δωματίου 3. Αυτό είναι κάτι το αναμενόμενο, εφόσον στο δωμάτιο αυτό βρίσκεται και το παράθυρο από το οποίο γίνεται η εκροή.

5.7.6 MET-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ (POST-PROCESSING)

Αφού τελειώσει ο solver εισάγουμε τα αποτελέσματα, που είναι της μορφής *_001.res στον CFX-Post. Από εδώ θα εξάγουμε όλα τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας contours, surface plots, isosurfaces, vectors και streamlines στις επιφάνειες που παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Αυτό που ενδιαφέρει στο πείραμα που εξετάζουμε είναι να υπολογίσουμε τη συγκέντρωση στα σημεία που έχουμε θέσει στον PRE και να παρακολουθήσουμε τη μεταβολή τους σε συνάρτηση με τον χρόνο. Επίσης να παρατηρήσουμε τι συμβαίνει χρονικά σε όλα τα δωμάτια και να επεξεργαστούμε ποιοτικά τη ροή του αερίου μέσα στο χώρο. Το ενδιαφέρον εστιάζεται και στο δωμάτιο που έχουμε αερισμό και διαφυγή του φυσικού αερίου στο περιβάλλον.

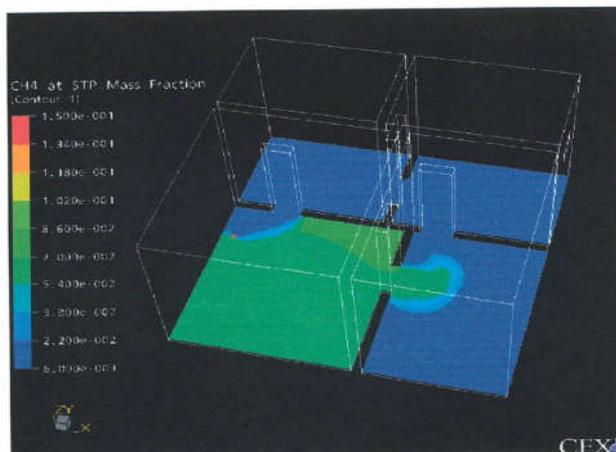
Αρχικά αυτό που κάνουμε είναι να δημιουργήσουμε ορισμένα planes στα επίπεδα που παρουσιάζουν ενδιαφέρον μετά από λεπτομερή εξέταση στα διάφορα επίπεδα σε συνάρτηση με τις χρονικές μεταβολές. Τα planes που παρουσιάζουν περισσότερο ενδιαφέρον εξάγοντας ορισμένα συμπεράσματα και στα οποία υπολογίζουμε τα αποτελέσματα είναι στο XY plane και σε ύψη $Z = 0.05, 1.5, 1.85, 2, 2.5, 3 \text{ m}$

Παρακάτω παρουσιάζουμε τα contours σε τρεις διαφορετικά χρονικές στιγμές, στην αρχή(1sec), στο κλείσιμο (60sec) και στο τέλος του πειράματος (240sec) στα διάφορα επίπεδα. Με αυτό τον τρόπο θα μπορούσαμε να παρακολουθήσουμε τη μεταβολή της συγκέντρωσης και να εξάγουμε κάποια ασφαλή συμπεράσματα, παρατηρώντας τις μεταβολές και τις διαφορές σε κάθε plane .



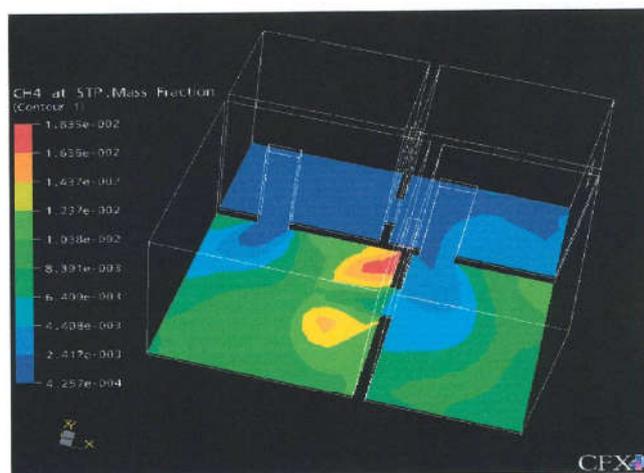
Εικόνα 5-1 Contour του CH4 στο plane 1
0,05cm από το πάτωμα τη χρονική στιγμή 1 sec (TIME-STEP 2)

Παρατηρήσεις: Στην εικόνα 5-1 παρατηρούμε τι συμβαίνει τη χρονική στιγμή 1sec, ακριβώς μετά από την διαρροή του φυσικού αερίου στο Δωμάτιο 1. Αυτό που παρατηρείται είναι κάτι το αναμενόμενο, ότι στην περιοχή γύρω από τη διαρροή έχουμε και τη μεγαλύτερη συγκέντρωση αλλά επίσης και την αρκετά μεγάλη περιοχή που κάλυψε μόλις 1sec μετά την διαρροή



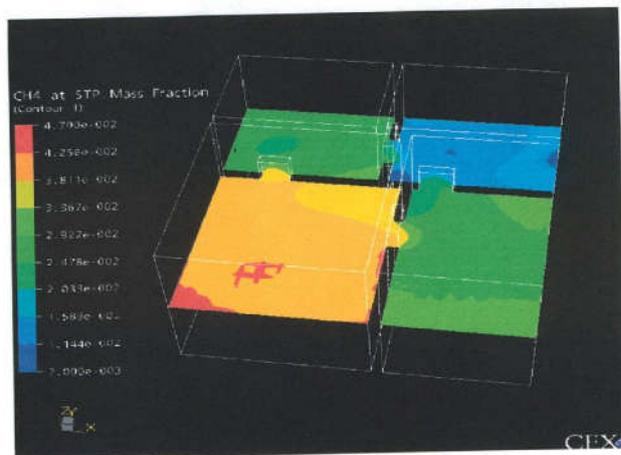
Εικόνα 5-2 Contour του CH4 στο plane 1
0,05cm από το πάτωμα τη χρονική στιγμή 60 sec

Παρατηρήσεις: Αυτό που παρατηρείται τόσο στην Εικόνα 5-2 όσο και στα υπόλοιπα επίπεδα είναι ότι δεν εμφανίζει μεγάλες διαφορές εν σύγκριση με τις χρονικές στιγμές στο άνοιγμα και λίγο μετά με αποτέλεσμα να επικεντρώσουμε περισσότερο την προσοχή μας αφού κλείσει η παροχή και στο τέλος του πειράματος. Σε όλα τα plane αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί είναι η ομαλή εξέλιξη του φαινομένου κατά τη διάχυση του αερίου.



Εικόνα 5-3 Contour του CH4 τη χρονική στιγμή 120 sec στο plane 1
0,05cm από το πάτωμα (TIME-STEP 240)

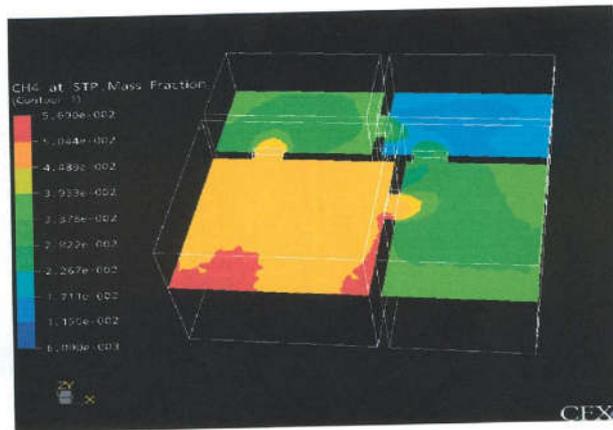
Παρατηρήσεις: Στην εικόνα 5-3 απεικονίζεται το τέλος του πειράματος στο 120 sec. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι 5 cm από το πάτωμα στο plane που εξετάζουμε, το φυσικό αέριο παγιδεύεται στο Δωμάτιο 1, έχοντας αυξημένη συγκέντρωση στην γωνία του δωματίου που συνορεύει με το δωμάτιο 4 και 3 Αυτό μας δίνει μια πρώτη ιδέα για το μέρος όπου παρουσιάζει μεγαλύτερη επικινδυνότητα και την εστίαση της προσοχής μας σε αυτό το σημείο και σε αυτό το δωμάτιο. Από τα υπόλοιπα δωμάτια το μόνο που παρουσιάζει αυξημένη συγκέντρωση είναι το δωμάτιο 4 που συνορεύει στα δεξιά του δωματίου καθώς είναι και το επόμενο δωμάτιο στο οποίο το φυσικό αέριο εισέρχεται.



Εικόνα 5-4 Contour του CH4 τη χρονική στιγμή 120 sec στο plane 2
1,5 m από το πάτωμα (TIME-STEP 240)

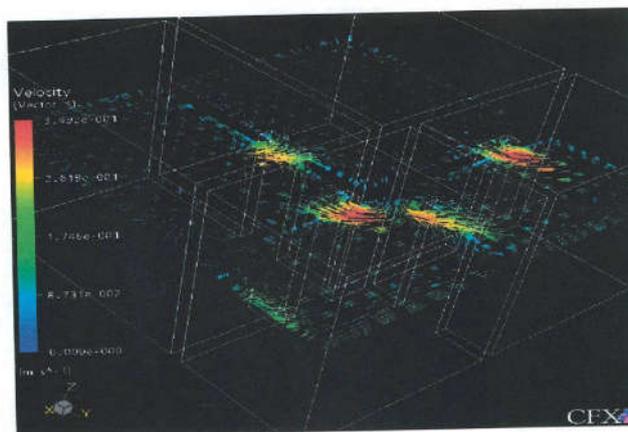
Παρατηρήσεις: Συνεχίζουμε τις απεικονίσεις στο τέλος του πειράματος, βρισκόμενοι στο plane 2 σε ύψος 1,5 m. Παρακολουθούμε αυτό το ύψος γιατί εδώ έχουμε τοποθετήσει και τα σημεία και θέλουμε να εξετάσουμε τις μεταβολές που έχουμε και ποιο σημείο παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Παρατηρώντας το Contour, το σημείο που παρουσιάζει αυξημένη συγκέντρωση είναι η γωνία του δωματίου 1 από όπου έχουμε και τη διαρροή.

Επομένως σε αυτό το σημείο που έχουμε αυξημένη συγκέντρωση και παγίδευση του αερίου θα μπορούσαμε να τοποθετήσουμε ένα ηλεκτρονικό αισθητήρα. Αυτό το χρησιμοποιούμε για να προλάβουμε περαιτέρω αύξηση του ποσοστού του φυσικού αερίου εφόσον με τον αισθητήρα θα κλείσει αυτόματα η παροχή μόλις μετρήσει μια τιμή του φυσικού αερίου πέραν του μη επικίνδυνου. Με αυτό τον τρόπο θα αποφύγουμε την πιθανότητα έκρηξης και θα αποτρέψουμε το ατύχημα προλαμβάνοντας οποιοδήποτε συμβάν με δυσάρεστη κατάληξη. Η τοποθέτηση του θα πραγματοποιηθεί ακριβώς στην γωνία που έχουμε και την μέγιστη συγκέντρωση την οποία θα εξετάσουμε ακόμα πιο διεξοδικά στη συνέχεια.



Εικόνα 5-5 Contour του CH4 τη χρονική στιγμή 120 sec στο plane 3
1,85 m από το πάτωμα (TIME-STEP 240)

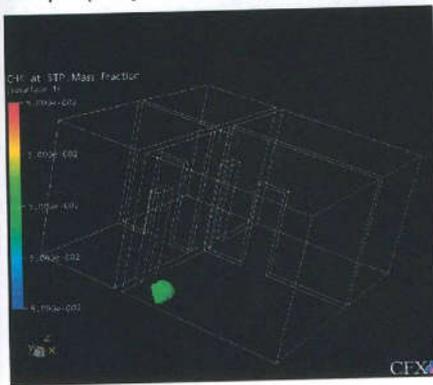
Παρατηρήσεις: Εξετάζουμε και το plane 3 σε ύψος 1,85m στο οποίο έχουμε και το παράθυρο. Παρατηρούμε ότι είναι σχεδόν όμοια με το plane 2 που αναλύσαμε παραπάνω χωρίς ιδιαίτερες μεταβολές σε περιοχές ή σημεία. Επομένως ισχύουν και επαληθεύονται όσα ειπώθηκαν παραπάνω.



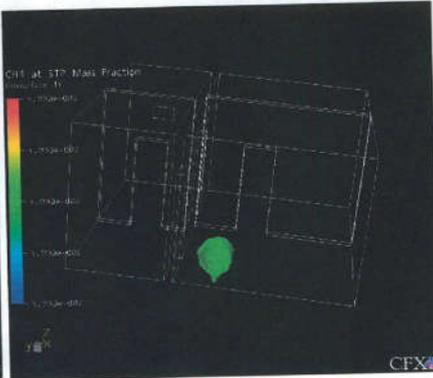
Εικόνα 5-6 Vector ταχύτητας τη χρονική στιγμή 120 sec

Παρατηρήσεις: Σε αυτό το σημείο παραθέτουμε ένα vector και παρατηρούμε το διάνυσμα της ταχύτητας τι κατεύθυνση έχει σε κάθε δωμάτιο και κυρίως στην έξοδο . αυτό που μας δείχνουν τα βέλη είναι η κατεύθυνση που έχει τη χρονική αυτή στιγμή η ταχύτητα

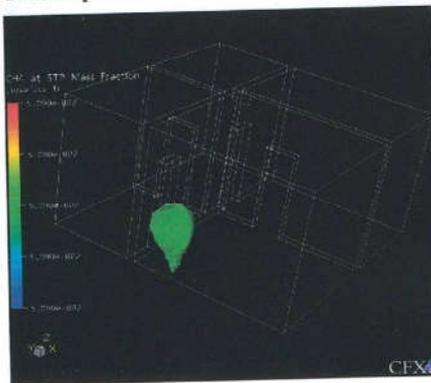
Μεταβολή ενός isosurface και μετάδοση του φυσικού αερίου στο χώρο με 0.05 value.



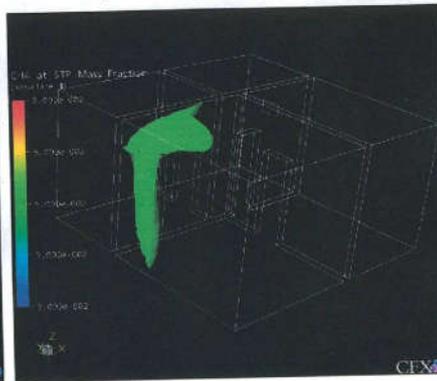
Time-step 2



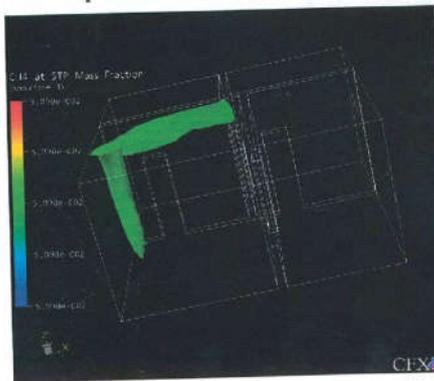
Time-step 4



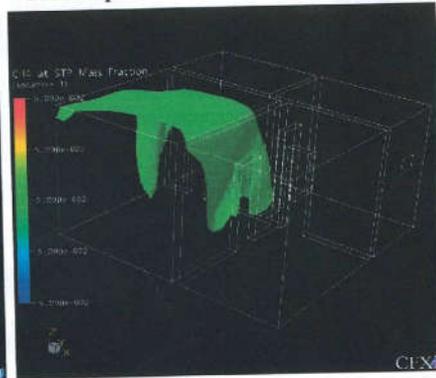
Time-step 6



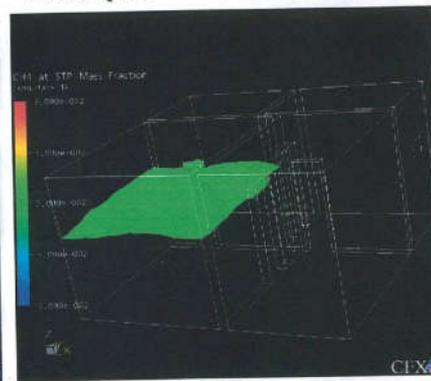
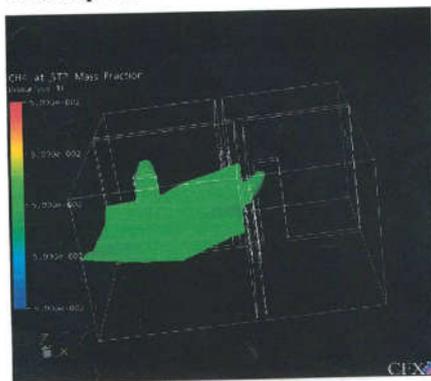
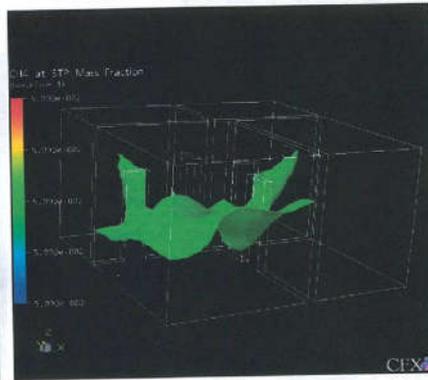
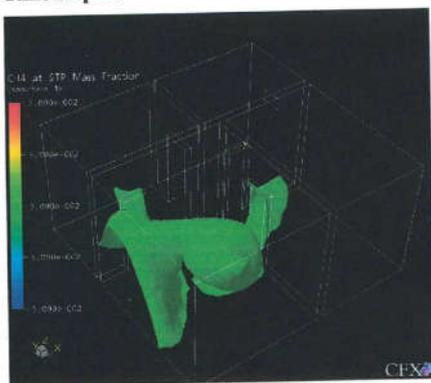
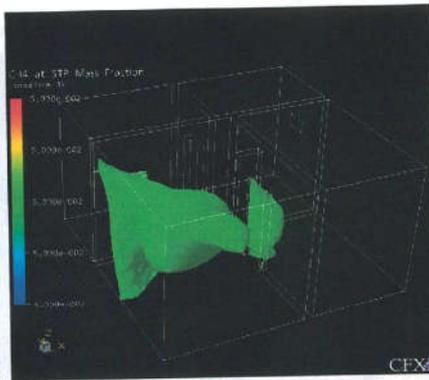
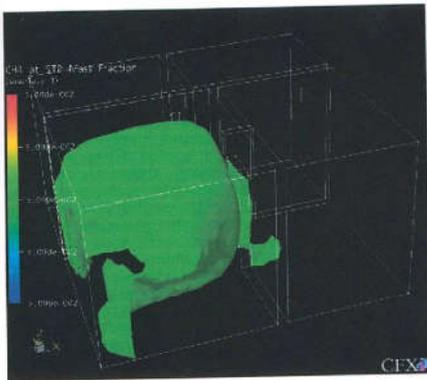
Time-step 20



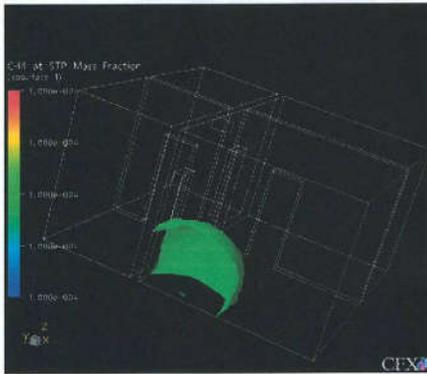
Time-step 40



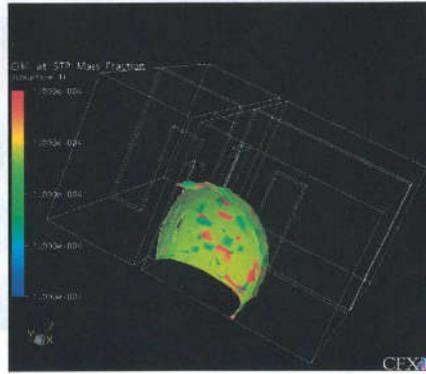
Time-step 60



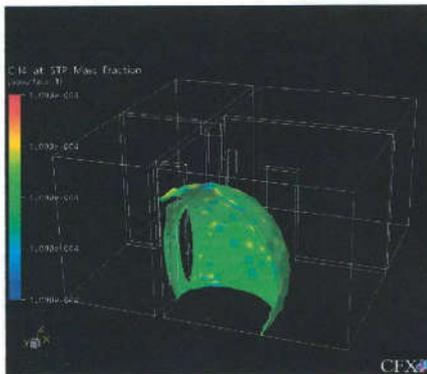
Μεταβολή ενός isosurface και μετάδοση του φυσικού αερίου στο χώρο με $1,0e-004$ value



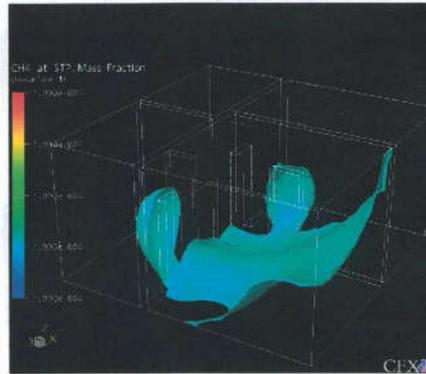
Time-step 2



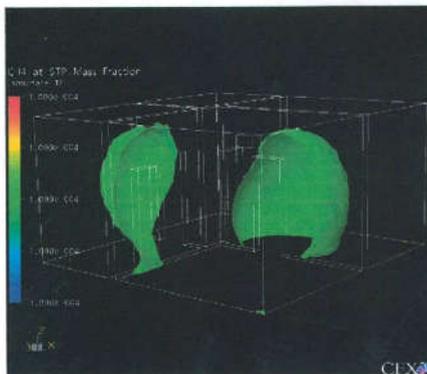
Time-step 4



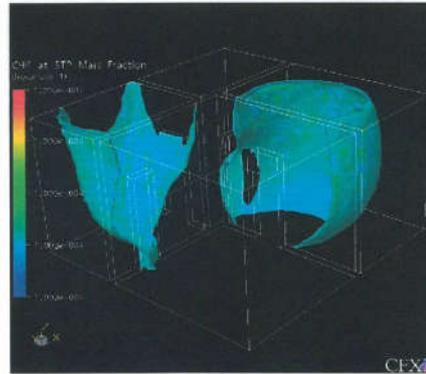
Time-step 6



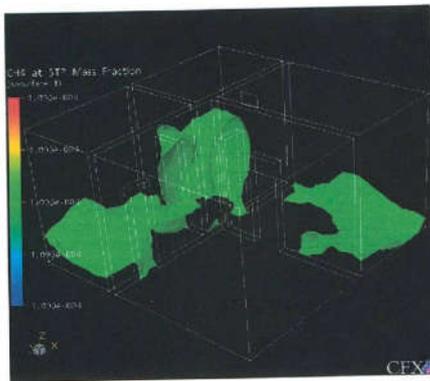
Time-step 20



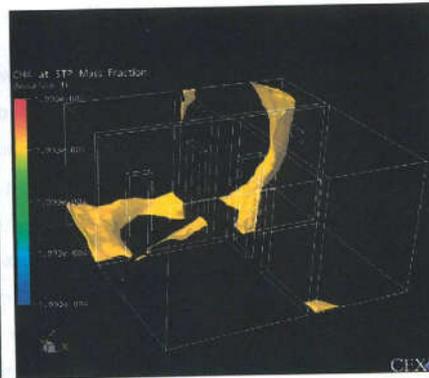
Time-step 40



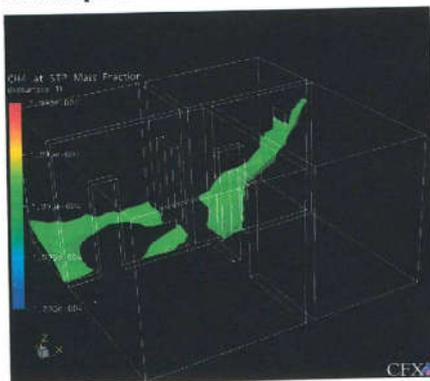
Time-step 60



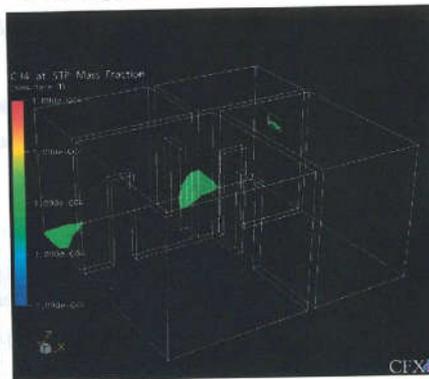
Time-step 100



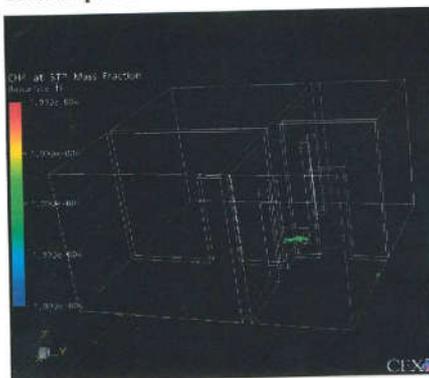
Time-step 130



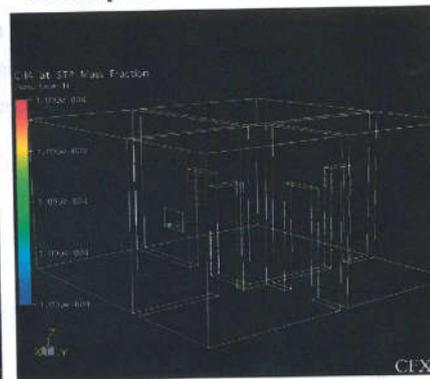
Time-step 140



Time-step 180



Time-step 200



Time-step 240

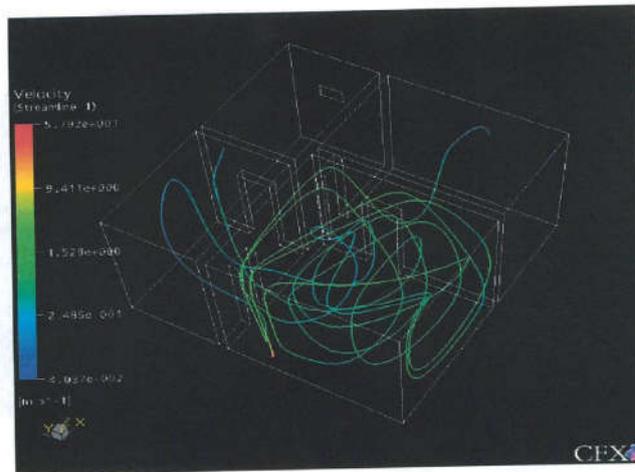
Παρατηρήσεις: Αρχικά για isosurface με συγκέντρωση 0,05 στην ισοϋψή επιφάνεια

Δημιουργώ αρχικά ένα isosurface ξεκινώντας από τη χρονική στιγμή 1sec. Το στοιχείο που θέλω να παρακολουθήσω είναι το CH₄ σε μια τιμή συγκέντρωσης 0,05 η οποία έχει και μια ιδιαίτερη σημασία γιατί είναι η ελάχιστη τιμή που μπορεί να μετρήσει ένας υπέρυθρος ανιχνευτής φυσικού αερίου για τη διακοπή της παροχής. Η ανάλυση κατέληξε σε 12 διαφορετικά Time-steps στα οποία η διάδοση του φυσικού αερίου παρατηρείται πιο εύκολα.

Στις πρώτες τρεις εικόνες, μέχρι το Time-step 6, η διάχυση του αερίου περιορίζεται σαν μια μικρή σφαίρα γύρω από τη διαρροή. Στη συνέχεια από το Time-step 20 και μετά παρατηρούμε το φυσικό αέριο να έχει φτάσει στο ταβάνι σαν ένας μακρόστενος κύλινδρος στον οποίο περιέχεται και το αέριο. Μέχρι και το 60^ο Time-step, η πορεία διάδοσης του αερίου είναι οριακά με το ταβάνι του δωματίου ένα και να φτάνει οριακά στην πόρτα 1-4. Από εκεί και έπειτα παρατηρώντας το isosurface σιγά σιγά αρχίζει να γεμίζει μόνο το δωμάτιο ένα όπως φαίνεται και στις εικόνες μέχρι το Time-step 140. Στη συνέχεια και μέχρι το τέλος του πειράματος το αέριο με value 0,05 υπάρχει μόνο στο δωμάτιο ένα και σε ύψος περίπου ίσο με της πόρτας. Επομένως το συμπέρασμα είναι ότι από πλευράς ασφάλειας πρέπει να επικεντρωθούμε στο δωμάτιο που έχουμε τη διαρροή.

Παρατηρήσεις: Για isosurface με συγκέντρωση 1e-0.04 στην ισοϋψή επιφάνεια

Για να παρακολουθήσουμε την πορεία διάδοσης του αερίου και στα υπόλοιπα δωμάτια θα βάλουμε μια τιμή συγκέντρωσης αρκετά μικρότερη της τάξης 1e-0.04. Ήδη στα πρώτα 3sec μέχρι το Time-step 6 το αέριο έχει καλύψει το μισό δωμάτιο και έχει στα όρια της πόρτας 1-2. Μέχρι το 30 sec έχει καλύψει σχεδόν και τα δύο δωμάτια που συνορεύουν με τη διαρροή τα δωμάτια 2 και 4. Στο Time-step 100 το αέριο με value 1e-0.04 έχει εισέλθει και στο δωμάτιο 3 που έχει το παράθυρο. Σε είκοσι sec από τη στιγμή που εισήλθε το αέριο στο δωμάτιο 3 έχει ήδη καλύψει το περισσότερο μέρος του δωματίου και έχει αρχίσει να εξέρχεται από το παράθυρο. Από το Time-step 140 και μετά όλο το σπίτι έχει αυτή τη τιμή της συγκέντρωσης και εξέρχεται και στο περιβάλλον.



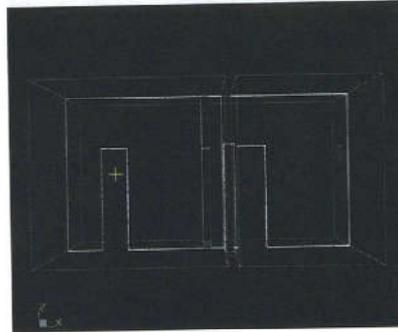
Εικόνα 5-7 Streamline ταχύτητας στο Time-step 60

Παρατηρήσεις: Στην εικόνας 5-7 παραθέτω τυπικά σε δύο χρονικές στιγμές την πορεία της ροικής γραμμής της ταχύτητας μία από την είσοδο και μία από την έξοδο. Παρατηρούμε ότι η ροική γραμμή από την είσοδο ακολουθεί την πορεία του οριακού στρώματος γύρω από το δωμάτιο ένα ώσπου εξέρχεται μετά από την πορεία της στα δωμάτια 2 και 4

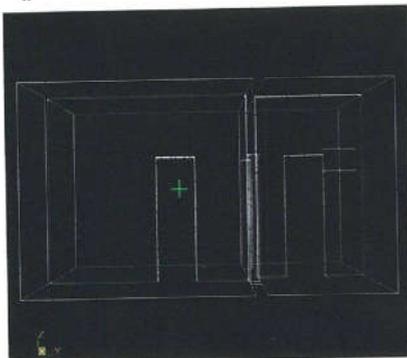
Παρουσίαση των σημείων (Monitor Points) καθένα ξεχωριστά για καλύτερη κατανόηση στην ανάλυση των διαγραμμάτων που θα συζητήσουμε στη συνέχεια.



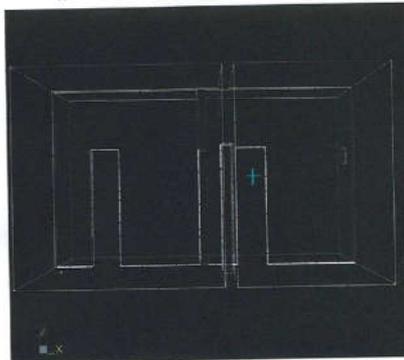
Σημείο 1-ΕΙΣΟΔΟΣ



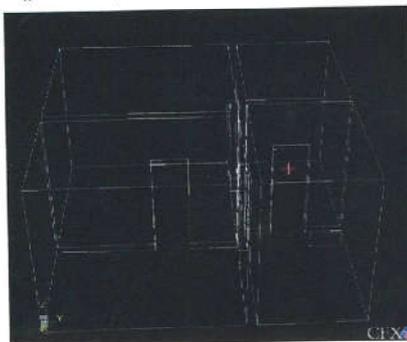
Σημείο 2-Πόρτα 1-2



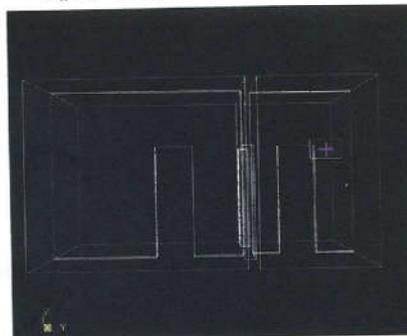
Σημείο 3-Πόρτα 1-4



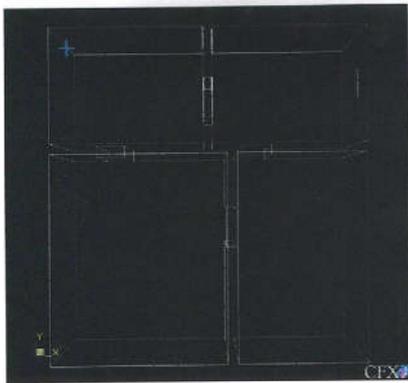
Σημείο 4-Πόρτα 3-4



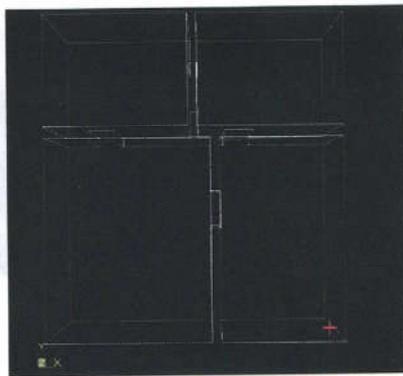
Σημείο 5-Πόρτα 2-3



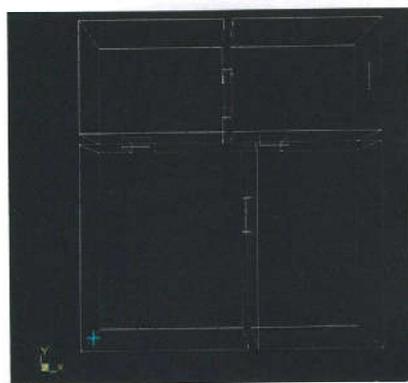
Σημείο 6-Παράθυρο



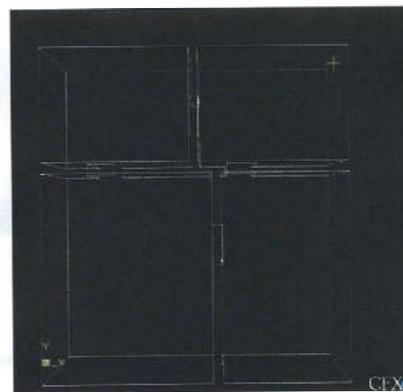
Σημείο 7-Γωνία δωματίου 2



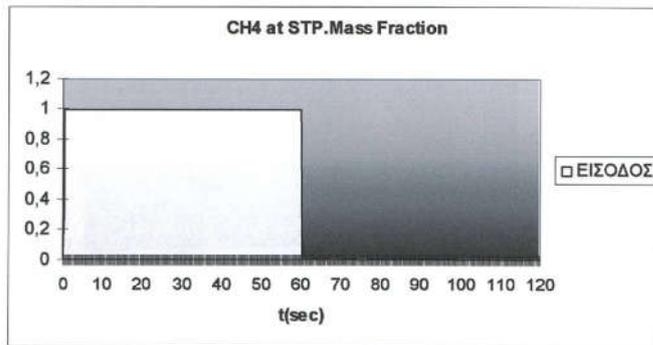
Σημείο 8-Γωνία δωματίου 4



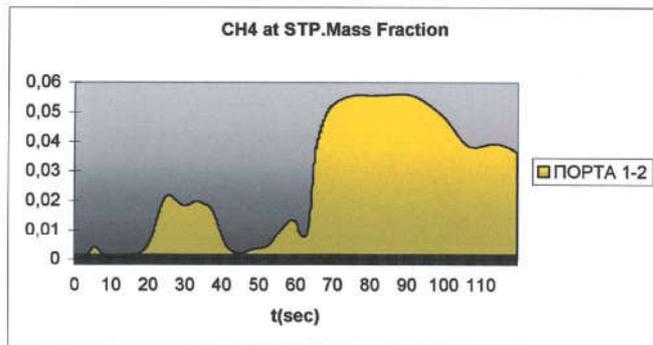
Σημείο 9-Γωνία δωματίου 1



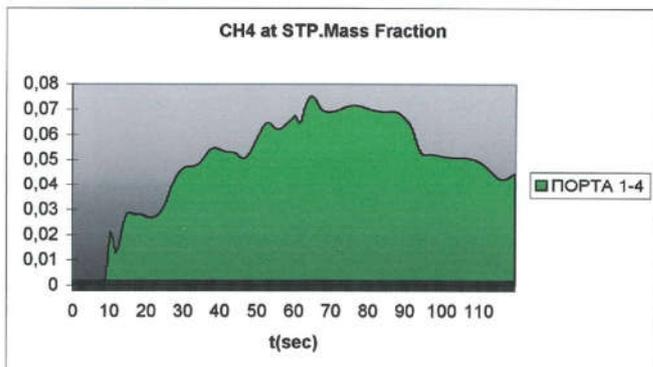
Σημείο 10-Γωνία δωματίου 3



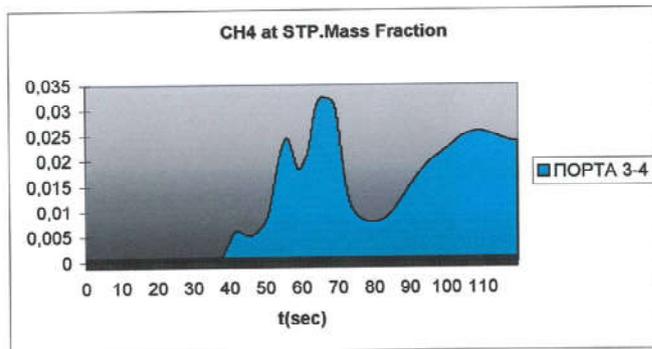
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5-3



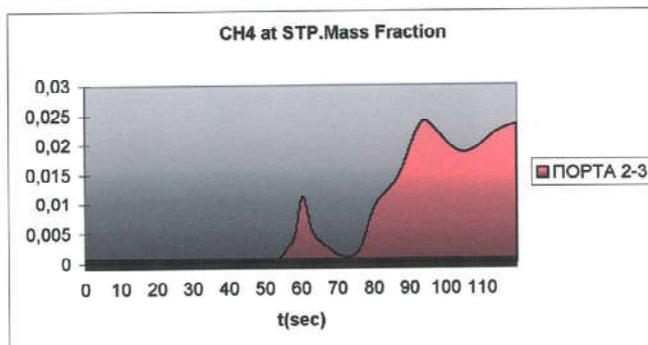
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5-4



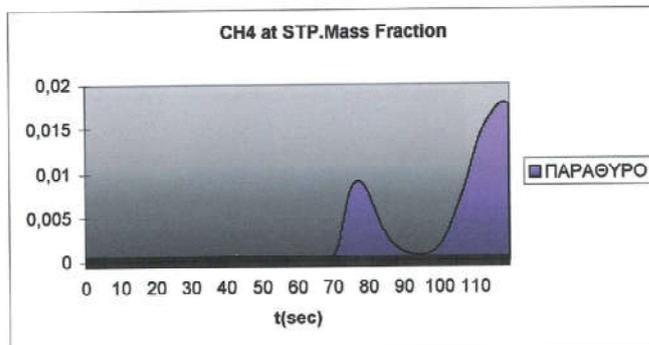
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5-5



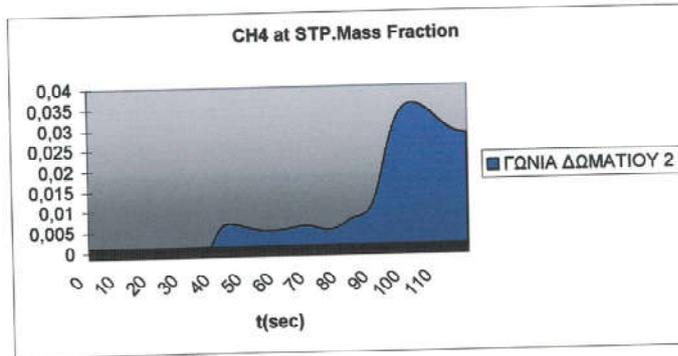
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5-6



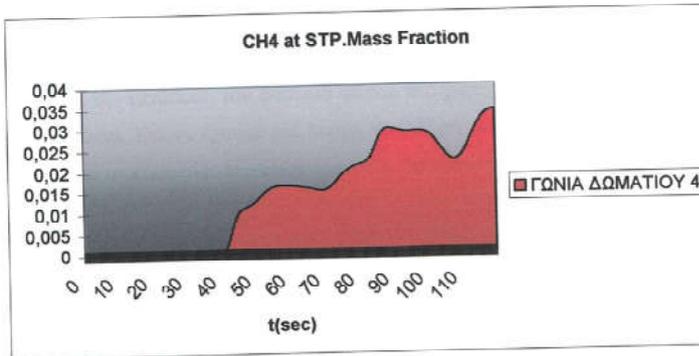
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5-7



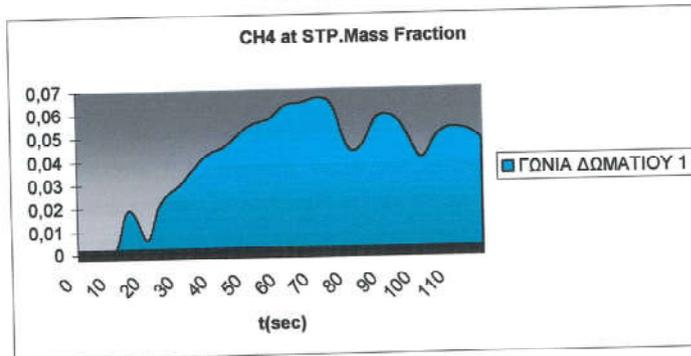
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5-8



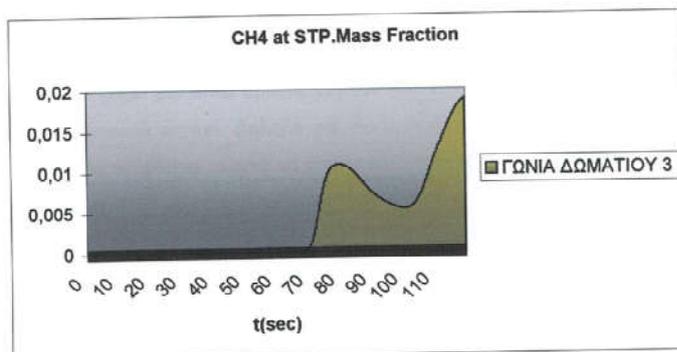
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5-9



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5-10



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5-11



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5-12

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ: Αρχικά συζητήσαμε το πείραμα εξετάζοντας τις συγκεντρώσεις και την μετάδοση του φυσικού αερίου στο χώρο με διάφορα contours, streamlines, vectors και isosurfaces. Για να έχουμε μια ακόμη πιο πλήρη εικόνα θα εξετάσουμε τις μεταβολές από τα διαγράμματα σε κάθε σημείο που έχουμε θέσει συναρτήσει του χρόνου.

Παρατηρώντας αρχικά την είσοδο και έξοδο παρατηρούμε αυτό που περιμέναμε πριν την εκτέλεση του πειράματος, την συγκέντρωση στην είσοδο να εισέρχεται με ποσοστό 100% (mass fraction 1) και μετά τα πρώτα 60sec και το κλείσιμο της παροχής η συγκέντρωση να πέφτει στο μηδέν. Αντίθετα στο παράθυρο παρατηρούμε την εμφάνιση του αερίου μετά το 70sec μια φυσιολογική αύξηση της συγκέντρωσης καθώς περνάει ο χρόνος και πιθανόν να αυξανόταν και άλλο όσο το πείραμα συνεχιζόταν.

Στη συνέχεια μπορούμε να παρατηρήσουμε και από τα διαγράμματα 5-4 και 5-5 ότι το αέριο έχει μια τάση να διαφύγει περισσότερο προς το δωμάτιο 4 που συνορεύει με το 3 που έχει το παράθυρο. Στο δωμάτιο 3 η εμφάνιση της συγκέντρωσης του αερίου σε κάποιο ποσοστό πραγματοποιείται μετά το 70sec. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα το δωμάτιο 3 λόγω μη αερισμού θα κατακρατήσει το φυσικό αέριο με αποτέλεσμα να είναι επικίνδυνο για την πρόκληση κάποιου ατυχήματος. Δηλαδή το δωμάτιο 4 παρουσιάζει στην πόρτα αρχικά μια αυξημένη συγκέντρωση που μεγιστοποιείται μεταξύ 60-70 sec άρα και μεγαλύτερη επικινδυνότητα σε μικρούς χρόνους διαρροής.

Τελικά παρατηρώντας προσεκτικά και τις συγκεντρώσεις στις γωνίες των δωματίων μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα συμπεράσματα που υποθέσαμε εξετάζοντας κυρίως τα contours

στο τέλος του πειράματος επαληθεύονται. Δηλαδή η μέγιστη συγκέντρωση του φυσικού αερίου παρατηρείται στο δωμάτιο 1 από όπου έχουμε και την διαρροή. Παρόλα αυτά το ποσοστό του φυσικού αερίου στο χώρο δεν είναι αρκετά μεγάλο για να προκληθεί έκρηξη λόγω δημιουργίας σύννεφου αέρα – φυσικού αερίου. Δηλαδή για ένα χρονικό διάστημα διαρροή ενός λεπτού και παροχής 0,05 kg/s το πρόβλημα μπορεί να εστιαστεί στην πρόληψη και ασφάλεια της κτιριακής εγκατάστασης

Αυτό μας επιτρέπει να σκεφτούμε τι μέτρα προφύλαξης μπορούμε να λάβουμε σε πραγματικές συνθήκες ώστε να αποτρέψουμε οποιαδήποτε καταστροφή ή τραυματισμό. Αυτό μπορεί να γίνει με την τοποθέτηση ενός υπέρυθρου ανιχνευτή φυσικού αερίου μηχανήμα πολύ ευαίσθητο στην ανίχνευση του αερίου, καθώς μπορεί να ανιχνεύσει συγκεντρώσεις μέχρι και 0,05 ppm. Ο ανιχνευτής θα τοποθετηθεί στην γωνία του δωματίου ένα στο σημείο που έχουμε ήδη εξετάσει και στο οποίο παρατηρείται και η μέγιστη συγκέντρωση στο τέλος του πειράματος. Παρατηρώντας το διάγραμμα αυτού του σημείου βλέπουμε ότι η συγκέντρωση του αρχίζει να ξεπερνάει τα 0,05 ppm περίπου στο 50sec. Αυτό σημαίνει ότι ακόμη και αν υποθέταμε ότι η διαρροή θα διαρκούσε μόνο ένα λεπτό, όπως κάναμε στην υπόθεση, ο αισθητήρας θα είχε ήδη διακόψει την παροχή στο 50 sec, εφόσον θα είχε ήδη ανιχνεύσει τη συγκέντρωση που θα ξεπερνούσε τα 0,05 ppm.

Τέλος παρατηρούμε ότι το δωμάτιο με την μικρότερη συγκέντρωση φυσικού αερίου είναι στο δωμάτιο 3 κάτι που ήταν αναμενόμενο εξαιτίας εφόσον εκεί βρίσκεται τοποθετημένο το παράθυρο. Αυτό μας επιτρέπει να συμπεράνουμε ότι τα δωμάτια που έχουν αερισμό, εξαναγκασμένο ή μη, οι πιθανότητες παρουσίασης κινδύνου μειώνονται δραματικά. Με αυτό τον τρόπο βοηθάμε στην ασφάλεια τόσο της εγκατάστασης όσο και των ατόμων εφόσον το φυσικό αέριο με μικρότερη πυκνότητα από τον αέρα διαφεύγει στο περιβάλλον.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Το φυσικό αέριο είναι οικονομικό, φιλικό στο περιβάλλον και αποδοτικότερο εν συγκρίσει με τις άλλες μορφές ενέργειας.
- Τα όρια ανάφλεξης του φυσικού αερίου είναι 4,5% - 15% (δηλαδή η καύση δεν μπορεί να διατηρηθεί εάν η περιεκτικότητα του αέρα σε φυσικό αέριο είναι εκτός αυτών των ορίων)
- Το CFX είναι ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα το οποίο είναι φιλικό στο χρήστη και δε χρειάζεται ιδιαίτερες υπολογιστικές γνώσεις. Επίσης ελαττώνει το χρόνο επεξεργασίας και δε χρειάζεται μεγάλες απαιτήσεις της μνήμης και της χωρητικότητας του υπολογιστή.
- Τα πρώτα 30 sec παρατηρούμε ότι το φυσικό αέριο είναι παγιδευμένο μόνο στο δωμάτιο που υπάρχει η διαρροή του αερίου.
- Για την ασφάλεια διαρροής του φυσικού αερίου μετά την εκτέλεση του πειράματος, συμπεραίνουμε ότι θα πρέπει να τοποθετηθεί ένας υπέρυθρος ανιχνευτής φυσικού αερίου στη γωνία 1 του δωματίου που έχουμε τη διαρροή.
- Συμπεραίνουμε ότι τα δωμάτια που έχουν αερισμό, εξαναγκασμένο ή μη, οι πιθανότητες παρουσίας κινδύνου μειώνονται δραματικά.

6.1 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Οι δυνατότητες χρησιμοποίησης του φυσικού αερίου είναι πάρα πολλές και σε πολλές χώρες αποτελεί το κύριο καύσιμο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θέρμανσης. Στην Ελλάδα το φυσικό αέριο βρίσκεται ακόμη στα πρώτα βήματα ανάπτυξης καθώς η εισαγωγή του από το εξωτερικό έχει ελάχιστα χρόνια. Η ανάπτυξη στα δίκτυα διανομής στις τέσσερις πόλεις που το αέριο αρχικά αναπτύσσεται δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμη. Επομένως η ανάγκη για την εκμάθηση του αερίου και τις απαιτήσεις του, είναι άμεση και επιτακτική για τους ήδη υπάρχοντες μηχανικούς. Κυρίως όμως η εξειδίκευση των μηχανικών που έπονται θα βοηθούσε στην ανάπτυξη και προώθηση αυτό του οικονομικού και κυρίως φιλικού προς το περιβάλλον αερίου.

Ένα από τα κυριότερα θέματα που απασχολούν επιστήμονες ανά τον κόσμο στο φυσικό αέριο είναι και η ασφάλεια. Εμείς ασχοληθήκαμε με μια μικρή περίπτωση διαρροής σε κτιριακή εγκατάσταση. Υπάρχουν πολλοί τομείς που μπορεί και πρέπει το φυσικό αέριο να εξεταστεί. Μια πρόταση είναι η εξέταση ασφάλειας από διαρροή φυσικού αερίου σε δημόσιο κτίριο, όπως νοσοκομείο, στα οποία ο νόμος υποχρεώνει από εδώ και στο εξής να χρησιμοποιούν φυσικό αέριο. Επίσης θα μπορούσε να εξεταστεί κτίριο με εξαναγκασμένο αερισμό μετά από διαρροή φυσικού αερίου με πολλές παραλλαγές.

7 Βιβλιογραφία

- 1) Τεχνολογία Εγκαταστάσεων και Χρήσεων Φυσικού Αερίου Κωνσταντίνου Γ. Πασπαλά, Έκδοση Συλλόγου Μηχανολόγων-Ηλεκτρολόγων Β. Ελλάδας, Επιμέλεια έκδοσης : Falcon Advertising 1999, ΣΜΗΒΕ, Θεσσαλονίκη
- 2) Τεχνολογίες Χερσαίων & Θαλάσσιων Μεταφορών Ενεργειακών Πόρων Παυλουδάκη Φραγκίσκου
- 3) Υπολογιστική Ρευστομηχανική, Γ.ΜΠΕΡΓΕΛΕΣ, Καθηγητή Ε.Μ.Π, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 1993
- 4) Μηχανική Ρευστών Απόστολου Κ. Γούλα, Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη Ο.Ε
- 5) Τεχνολογία Φυσικού Αερίου Καραπάνος Χαράλαμπος, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 2000
- 6) Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology October 1996 by Andrew K Persily
- 7) Technology can reduce gas leakage problems by Ruth W. Stidger,
- 8) Experimental study of the build-up and dispersal of natural gas in a house by R W Hill BSc CPhys and G Pool BSc PhD CChem
- 9) Summary of reported electrical and gas accidents by Energy Safety Service, January 2002
- 10) Uses and resources of natural gas by WS Atkins Safety & Reliability for the health and Safety Executive, 1997
- 11) National Greenhouse Gas Inventory FROM THE AUSTRALIAN GREENHOUSE OFFICE — SEPTEMBER 2003

11) Ιστοσελίδες:

- www.depa.gr
- www.gasindustries.com
- www.ess.govt.nz
- www.ansys.com
- www.GexCon.com
- www.siri.org/library/flood.html
- www.aga.org
- www.gascontroltech.com
- <http://solstice.crest.org>
- www.hse.gov.uk

- www.eia.doe.gov
- www.maths.ox.ac.uk
- www.offshore-environment.com
- www.fuelingthefuture.org
- www.cincypost.com
- www.battelle.org