

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

ΘΕΩΡΙΑ ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΔΙΑΣΩΣΗΣ

Μετά την κατάρρευση κτιρίων από ένα καταστροφικό σεισμό, οι ομάδες διάσωσης καλούνται να προβούν σε συντονισμένες ενέργειες ώστε να εντοπίσουν και να απεγκλωβίσουν τα παγιδευμένα άτομα. Όσο αυξάνεται ο χρόνος παραμονής των εγκλωβισμένων στα ερείπια τόσο μειώνονται οι πιθανότητες επιβίωσής τους. Στον πίνακα 1 δίνεται το ποσοστό των ατόμων που βρέθηκαν ζωντανοί κάτω από τα ερείπια σε συνάρτηση με το χρόνο, μετά το σεισμό στην Αρμενία το 1988. Συνήθως μετά από ένα καταστροφικό σεισμό οι περιπτώσεις κτιρίων που καταρρέουν είναι αρκετές σε αριθμό, ώστε η ανάγκη για άμεση οργάνωση της επιχείρησης διάσωσης να γίνεται επιτακτική.

Καταρχήν η επιχείρηση διάσωσης προσανατολίζεται στον εντοπισμό των ατόμων που βρίσκονται στην επιφάνεια των ερειπίων, ή όπως ονομάζονται «αφρός». Είναι άτομα που χτυπήθηκαν από οικοδομικά υλικά κατά την κατάρρευση του κτιρίου, τα οποία συνήθως είναι ελαφρά τραυματισμένα και αποτελούν το 50% των εγκλωβισμένων που τελικά επιβιώνουν. Στη συνέχεια εντοπίζονται τα άτομα που είναι ελαφρώς παγιδευμένα πίσω από κάποιο έπιπλο ή κάτω από ελαφριά οικοδομικά υλικά που μπορούν να μετακινηθούν σχετικά εύκολα. Το 30% του συνόλου των ατόμων που επιβιώνουν τελικά ανήκουν σ' αυτή την κατηγορία..

Άλλη κατηγορία παγιδευμένων είναι αυτοί που βρίσκονται στα κενά, που δημιουργούνται από τα συντρίμια, χωρίς να μπορούν να μετακινηθούν και αποτελούν το 15% των ατόμων που καταφέρνουν να επιζήσουν τελικά. Ο μέσος όρος του χρόνου που απαιτείται για τον απεγκλωβισμό αυτών των ανθρώπων είναι περίπου 4 ώρες με τη βοήθεια 10 άριστα εκπαιδευμένων διασωστών. Σε περίπτωση που κάποιοι είναι εγκλωβισμένοι σε αρκετό βάθος κάτω από βαριά οικοδομικά υλικά, όπως τοίχο ή κάποιο δοκάρι, ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για τον απεγκλωβισμό τους από έμπειρη ομάδα διάσωσης είναι 10 ώρες.[20]

Μέχρι σήμερα οι συνήθεις μέθοδοι εντοπισμού των εγκλωβισμένων είναι οι ειδικά εκπαιδευμένοι σκύλοι, οι ηχο-εντοπιστικές συσκευές, η αυτοψία από εμπειρογνώμονες και αξιοποίηση των πληροφοριών που δίνονται από συγγενείς των εγκλωβισμένων ή από γείτονες [1]. Με τη βοήθεια μιας θεωρίας εγκλωβισμού μπορεί να βελτιωθούν οι υπάρχουσες μέθοδοι εντοπισμού αλλά και να αναπτυχθούν νέες.

Η διατύπωση μιας θεωρίας εγκλωβισμού περιλαμβάνει καταρχήν την κατηγοριοποίηση των καταστάσεων εγκλωβισμού με βάση το χρόνο εγκλωβισμού και τις βιοχημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται. Κατά δεύτερον περιλαμβάνει την κατηγοριοποίηση των κτιρίων με βάση τον τύπο τους και κατά τρίτον, με τη χρήση ενός μοντέλου πρόβλεψης, περιλαμβάνει το συσχετισμό του είδους κατάρρευσης, του τύπου του κτιρίου και άλλων παραγόντων με τις καταστάσεις των εγκλωβισμένων και τον αριθμό των θυμάτων που αναμένονται.

Επιπλέον η διατύπωση μιας θεωρίας εγκλωβισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην έρευνα για την ανάπτυξη μιας νέας χημικής μεθόδου που χρησιμοποιεί κατάλληλο χημικό αισθητήρα σε συνδυασμό με τη συσκευή εντοπισμού, δηλαδή μιας συσκευής που θα διεισδύει στα ερείπια και που θα είναι δυνατό να ανιχνεύσει ουσίες του εκπνεόμενου αέρα ή ανθρώπινων εκκρίσεων του εγκλωβισμένου, χαρακτηριστικών της ανθρώπινης παρουσίας.

Πίνακας 1 : Ποσοστό παγιδευμένων που επέζησαν στα ερείπια συναρτήσει του χρόνου εγκλωβισμού τους, στο σεισμό της Αρμενίας το 1988.[20]

Χρόνος	% Επιζήσαντες
30 λεπτά	91
1 μέρα	81
2 μέρες	36,7
3 μέρες	33,7
4 μέρες	19
5 μέρες	7,4

ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

Αναλύοντας τη **θνησιμότητα** σε περιπτώσεις σεισμών φαίνεται ότι αυτή είναι αυξημένη σε ισχυρούς σεισμούς και σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές. Από το 1900 έως το 1990 έγιναν πάνω από 1000 σεισμοί μεγέθους πάνω από 7 Richter. Τουλάχιστον σε 650 από αυτούς υπήρξαν νεκροί που υπολογίζονται σε 1.300.000. Οι 5 μεγαλύτεροι σεισμοί από αυτούς ήταν υπεύθυνοι για το 50% των νεκρών οι 20 μεγαλύτεροι για το 80% των νεκρών. Περίπου το 50% των θανάτων αυτών παρουσιάστηκε στην Κίνα, όπου η πληθυσμιακή πυκνότητα είναι εξαιρετικά υψηλή, τα κτίρια είναι ευπαθή και οι σεισμοί είναι δυνατοί και συχνοί .

Στους μεγάλους σεισμούς η θνησιμότητα υπερβαίνει το 10% του πληθυσμού που κατοικεί σε συγκεκριμένου τύπου κατασκευές μέσα στη ζώνη του επίκεντρου, ενώ μερικές πληγείσες περιοχές μπορεί να παρουσιάσουν θνησιμότητα μέχρι και 85%. Σύμφωνα με κάποιους ερευνητές, οι τραυματισμοί είναι συνήθως τριπλάσιοι των θανάτων, αν και ποτέ δε δόθηκε ακριβής ορισμός του όρου « τραυματισμός ». Για σεισμούς με μεγέθη μεταξύ 5 και 7 της κλίμακας Richter, παρατηρούμε 3 τραυματισμούς ανά 1 θάνατο. Ο αριθμός των τραυματισμών και των θανάτων μειώνεται δραστικά όσο απομακρυνόμαστε από το επίκεντρο ή τη ρηξιγενή ζώνη, όπου τότε μόνο μεμονωμένα περιστατικά παρατηρούνται. Η πολυπλοκότητα του αστικού περιβάλλοντος, όπως ο τύπος των κατοικιών και η κτιριακή πυκνότητα, καθώς και η έλλειψη ομοιομορφίας των γεωλογικών παραγόντων συντείνει στην πολυπλοκότητα της κατανομής και του τύπου των καταστροφών αλλά και των θανάτων ή τραυματισμών.

Τα παραπάνω φαίνονται αναλυτικότερα στο σχήμα 1 όπου παρουσιάζεται ένα χωρικό μοντέλο καταστροφής και δίνονται τέσσερις υποθέσεις που αφορούν στην πιθανή εξάπλωση των δυστυχημάτων. Στο ομόκεντρο μοντέλο, ο αριθμός των θανάτων είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των τραυματισμών κοντά στην περιοχή του επίκεντρου, όπου συγκεντρώνεται και η κατάρρευση των κτιρίων.

Καθώς απομακρυνόμαστε από το επίκεντρο, οι αριθμοί των θανάτων και των τραυματισμών σχεδόν εξισώνονται και όσο περισσότερο μετακινούμαστε προς την περιφέρεια της πληγείσας περιοχής ο βαθμός απωλειών μειώνεται και περιορίζεται μόνο σε βλάβες των κτιρίων. Σε σεισμούς που προκαλούν μικρό ποσοστό καταρρεύσεων, ο μεγαλύτερος αριθμός θανάτων οφείλεται σε καρδιακά επεισόδια.

Σχήμα 1:. Τέσσερις υποθέσεις για την κατανομή των δυστυχημάτων σε ένα σεισμό σε σχέση με την απόσταση από το επίκεντρο.[21]



ΒΙΟΧΗΜΙΚΟ & ΙΑΤΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΕΝΩΝ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΕΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ

ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΒΙΟΧΗΜΙΚΗ & ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΚΟΠΙΑ

Όσο πιο σοβαρή είναι η κατάστασή του εγκλωβισμένου από πλευράς τραυμάτων και όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος παραμονής του κάτω από τις αντίξοες συνθήκες των ερειπίων, τόσο λιγότερες οι πιθανότητες να επιζήσει τελικά. Γι' αυτό το λόγο κρίθηκε αναγκαίο η κατηγοριοποίηση των πιθανών καταστάσεων των εγκλωβισμένων να γίνει με βάση το χρόνο εγκλωβισμού, και συγκεκριμένα πριν και μετά τις 24 ώρες. Σε κάθε μια από αυτές τις καταστάσεις πραγματοποιούνται συγκεκριμένες βιοχημικές αντιδράσεις, που περιγράφονται παρακάτω και από τις οποίες προκύπτουν τα αντίστοιχα μεταβολικά προϊόντα.

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Α

Η κατάσταση Α περιγράφει την κατηγορία των εγκλωβισμένων χωρίς κακώσεις, που έχουν έντονο stress. Σε συνάρτηση με το χρονικό διάστημα του εγκλωβισμού, η παραπάνω κατηγορία διαχωρίζεται στις εξής επιμέρους καταστάσεις:

- **Κατάσταση Α1 ή φάση “Ebb” (χρονική διάρκεια μέχρι 24h)**

Η φάση Ebb περιλαμβάνει τις παρακάτω νευροενδοκρινικές, μεταβολικές και σωματικές αντιδράσεις :

α) Νευροενδοκρινικές αντιδράσεις

Με τη γνώση ότι ο κίνδυνος πλησιάζει, παρόλο που δεν υπάρχει τραυματισμός, ενεργοποιείται η περιοχή άμυνας του υποθαλάμου και εκκρίνεται κυρίως νοραδρεναλίνη, αδρεναλίνη και γλυκοκορτικοειδή. Ηπίως εκκρίνονται ουσίες όπως είναι η ντοπαμίνη, η ισταμίνη, η σεροτονίνη, η ινσουλίνη, η προλακτίνη, α2 μακροσφαιρίνες, η ιντερλευκίνη I και VI, η TNF – A, όπως και το NO στο αίμα. Η TSH αυξάνει σ' αυτή τη φάση ενώ η T3 και T4 παραμένουν στα φυσιολογικά όρια.[25]

β) Μεταβολικές αντιδράσεις

Οι ορμόνες που εκκρίνονται στην κατάσταση αυτή, ενεργοποιούν κάποιους μηχανισμούς μεταβολισμού. Έτσι πραγματοποιείται λιπόλυση με αποτέλεσμα να αυξάνουν τα ελεύθερα λιπαρά οξέα. Επίσης ξεκινά η γλυκογονόλυση, εξαιτίας της δράσης της αδρεναλίνης, με αποτέλεσμα να αυξάνει ελαφρά το επίπεδο της γλυκόζης στο αίμα. Ακόμα, παρατηρείται αύξηση των λευκών αιμοσφαιρίων και παράλληλα αρχίζει ήπια παραγωγή κετοσωμάτων.[9],[25],[26]

γ) Σωματικές αντιδράσεις

Τόσο οι νευροενδοκρινικές όσο και οι μεταβολικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στην κατάσταση A1, εξωτερικεύονται με τη μορφή σωματικών αντιδράσεων όπως υπεριδρωσία, ταχυκαρδία, υπέρταση, αύξηση της θερμοκρασίας και των αντανεκλαστικών, μυδρίαση. Άλλα συμπτώματα είναι προκάρδιοι παλμοί, τρόμος, ζάλη, ανησυχία, ναυτία, διάρροια, συχνουρία και έπειξη προς ούρηση, καθώς και αυξημένη συμπεριφορά πείνας.[5],[25]

- **Κατάσταση A2 ή φάση καταβολισμού (χρονική διάρκεια μεγαλύτερη από 24h)**

Στην φάση αυτή αρχίζει ο καταβολισμός, δηλαδή κινητοποιούνται όλες οι αποθηκευμένες πηγές καυσίμων, προκειμένου να εξοικονομηθεί ενέργεια. Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται είναι οι παρακάτω :

α) Νευροενδοκρινικές αντιδράσεις

Εκκρίνονται συμπαθητικές αδρενεργικές ουσίες, κατεχολαμίνες καθώς επίσης και ορμόνες της υπόφυσης, όπως ACTH και ADH. Άλλες ορμόνες είναι τα γλυκοκορτικοειδή και αλδοστερόνη, που εκκρίνονται από τα επινεφρίδια, καθώς και η ρενίνη που εκκρίνεται από τους νεφρούς, και η γλυκαγόνη και ινσουλίνη που εκκρίνονται από το πάγκρεας. Εκκρίνονται και υποθαλάμιες ουσίες, όπως ενδορφίνες και εγκεφαλίνες, αλλά και κάποιες ιστικές, όπως ισταμίνη, κινίνες, προσταγλανδίνες, σεροτονίνη.

β) Μεταβολικές αντιδράσεις

Παρατηρείται υπεργλυκαιμία, δηλαδή αυξημένη παραγωγή γλυκόζης. Αυτή οφείλεται στη συνδυασμένη δράση των κατεχολαμινών, της κορτιζόλης, της αυξητικής ορμόνης και της γλυκαγόνης, η οποία τώρα αρχίζει ουσιαστικά να παράγεται από το πάγκρεας. Η αναστολή της έκκρισης της ινσουλίνης, η οποία είναι αναβολική ορμόνη, ενισχύει τη φάση του καταβολισμού. Η υπεργλυκαιμία είναι αποτέλεσμα μηχανισμών όπως είναι η αύξηση της γλυκογονόλυσης, λόγω αποικοδόμησης των υδατανθράκων, η αύξηση της νεογλυκογένεσης, κατά την οποία γίνεται αποικοδόμηση λιπών και πρωτεϊνών, και η παρεμπόδιση της εισόδου της γλυκόζης στο κύτταρο, εξαιτίας των μειωμένων επιπέδων ινσουλίνης. Αποτέλεσμα όλων των ανωτέρω είναι η αύξηση του γαλακτικού οξέος στο αίμα, δηλαδή η μεταβολική οξέωση καθώς επίσης και η αυξημένη παραγωγή κετοσωμάτων, δηλαδή ακετόνης, ακετοξικού και β-υδροξυβουτυρικού οξέος.

Πραγματοποιείται διάσπαση του μυϊκού λευκώματος σε αμινοξέα, κυρίως από την δράση της κορτιζόλης, που καταλήγει σε αύξηση του πυροσταφυλικού οξέος και της ουρίας στο αίμα, δηλαδή σε αύξηση της NH_3 . Επίσης γίνεται λιπόλυση, με αποτέλεσμα την αύξηση των λιπαρών οξέων, των τριγλυκεριδίων και του υδρόξυ – βουτυρικού οξέος. Παρατηρείται υπερκαλιαιμία και υπονατριαμία, ενώ η δράση της ινσουλίνης που δεν είναι αρκετά έντονη, παρεμποδίζεται εξαιτίας της αυξημένης συγκέντρωσης των ανταγωνιστών της. Τέλος, ενώ αναμένεται αύξηση των ορμονών του θυρεοειδούς δεν παρατηρείται.[22],[25]

γ) Σωματικές αντιδράσεις

Οι σωματικές αντιδράσεις για την κατάσταση A2 είναι ολιγουρία, λόγω της έκκρισης της αντιδιουρητικής ορμόνης, αύξηση του καρδιακού ρυθμού, υποθερμία, ελάττωση της κινητικότητας του εντερικού σωλήνα και αναστολή της εφίδρωσης.[5]

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Β

Η κατάσταση Β περιγράφει εγκλωβισμένους με έντονο stress και τραύματα. Η κατάσταση του πολυτραυματία είναι συνυφασμένη με την ύπαρξη μόλυνσης, φλεγμονής και νεκρών κατεστραμμένων ιστών. Σε συνάρτηση με το χρόνο εγκλωβισμού διαχωρίζεται στις εξής επιμέρους περιπτώσεις:

- **Κατάσταση B1 (χρονική διάρκεια μέχρι 24h)**

Στην κατάσταση αυτή συνυπάρχουν δύο φάσεις με διαφορετικό συντελεστή βαρύτητας η καθεμία. Αυτές είναι η φάση Ebb, η οποία περιγράφεται στην κατάσταση A1, και η φάση του υπερμεταβολισμού, η οποία θα περιγραφεί στη συνέχεια. Για τις πρώτες 2h περίπου, η φάση με τον μεγαλύτερο συντελεστή βαρύτητας είναι αυτή του υπερμεταβολισμού. Αξίζει να σημειωθεί ότι εξαιτίας της

ύπαρξης τραυματισμού η φάση Ebb στην κατάσταση B2 διαρκεί πολύ λιγότερο σε σχέση με την κατάσταση A1. Συχνά ο τραυματισμός μπορεί να είναι τόσο σοβαρός ώστε η φάση Ebb, η οποία συνυπάρχει με τη φάση του υπερμεταβολισμού, να διαρκέσει πολύ λιγότερο από 2h και μέσα στα πρώτα 10 λεπτά να επικρατήσει η φάση του υπερμεταβολισμού έναντι της φάσης Ebb.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η κατάσταση B1 περιλαμβάνει τις νευροενδοκρινικές, μεταβολικές και σωματικές αντιδράσεις τόσο της φάσης Ebb όσο και της φάσης του υπερμεταβολισμού. Αυτές περιγράφονται παρακάτω [9],[23] :

I. Φάση Ebb στην κατάσταση B1

α) Νευροενδοκρινικές αντιδράσεις

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην κατάσταση A1, στην Ebb φάση ενεργοποιείται η περιοχή άμυνας του υποθαλάμου, διεγείρεται το συμπαθητικό σύστημα και εκκρίνονται ορμόνες της υπόφυσης, όπως ACTH, GH, PRL, ADH, με κύριο αποτέλεσμα την αυξημένη παραγωγή κορτιζόλης. Από τις ορμόνες της υπόφυσης, η αντιδιουρητική ορμόνη ADH είναι πιο πιθανή για να σχετισθεί με τις μεταβολικές αλλαγές που έπονται, ενώ η ινσουλίνη και η γλυκαγόνη σχετίζονται περισσότερο με τη ρύθμιση αυτών των αλλαγών. Εξαιτίας του τραυματισμού, όλες οι ενδοκρινικές αντιδράσεις, όπως αυτές περιγράφονται στην κατάσταση A1, πραγματοποιούνται με ταχύτερο ρυθμό. Επιπλέον εκκρίνονται ουσίες από τους κατεστραμμένους ιστούς, εξαιτίας της μείωσης του όγκου (υποογκαιμία) και της πίεσης του αίματος (υπόταση), για παράδειγμα η AVP. Τέλος εκκρίνονται οσμο-, γλυκο-και υποδοχείς ορμονών, εξαιτίας της αλλαγής της σύστασης του αίματος.[9],[10],[24]

β) Μεταβολικές αντιδράσεις

Η Ebb φάση στον τραυματισμό συνεπάγεται την κινητοποίηση όλων των αποθηκών καυσίμων, όπως είναι το γλυκογόνο και η τριακυλογλυκερόλη. Η πιο

πιθανή ορμόνη που ενεργοποιεί τις αποθήκες της τριακυλογλυκερόλης είναι η αδρεναλίνη. Αντίθετα, η δράση της κορτιζόλης απαιτεί την επαγωγή πρωτεϊνοσύνθεσης, επομένως συγκρατεί παρά κινητοποιεί τις αποθήκες καυσίμων. Επίδραση φαίνεται να έχει και η αυξητική ορμόνη, τα ποσοστά της οποίας είναι αυξημένα μετά από τραυματισμό.

Πολλές από τις ορμόνες που εκκρίνονται στα αρχικά στάδια πριμοδοτούν τη λιπόλυση και τη γλυκογονόλυση. Η λιπόλυση πραγματοποιείται αμέσως μετά τον τραυματισμό. Παρόλα αυτά τα επίπεδα των ελεύθερων λιπαρών οξέων στο πλάσμα είναι πολύ μικρά. Γλυκογονόλυση παρατηρείται κυρίως στους μύες και προκαλείται από της δράσης της αδρεναλίνης. Η γλυκογονόλυση στους μύες έχει σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση γαλακτικού και πυρουβικού οξέος, τα οποία μετατρέπονται σε γλυκόζη στο ήπαρ. Παρατηρείται γενικά διέγερση της ηπατικής νεογλυκογέννεσης, η οποία οφείλεται τόσο στη απελευθέρωση του γαλακτικού οξέος όσο και στη γλυκερόλη, που απελευθερώνεται από το λιπώδη ιστό. Ορμόνες, όπως η αδρεναλίνη κατά κύριο λόγο, η κορτιζόλη και η γλυκαγόνη, δρουν συνεργατικά για να πριμοδοτήσουν την αύξηση της γλυκόζης, οπότε παρατηρείται υπεργλυκαιμία.

Η κινητοποίηση των καυσίμων βρίσκεται στην αιχμή της γύρω στις 1-2 h μετά τον τραυματισμό, όπου αρχίζει να επικρατεί η φάση του υπερμεταβολισμού. Παρόλα αυτά, τα χαρακτηριστικά της φάσης Ebb διατηρούνται για αρκετό χρόνο ακόμα. Έτσι, παρόλο που τα αποθέματα του ηπατικού γλυκογόνου έχουν εξαντληθεί, παρατηρείται εμμονή της υπεργλυκαιμίας. Αυτό οφείλεται στο ότι συνεχίζεται η γλυκονεογέννεση στο ήπαρ και στο ότι δε γίνεται εκμετάλλευση της περιφερειακής γλυκόζης, αφενός γιατί η ινσουλίνη δεν παρουσιάζει έντονη μεταβολική δράση και αφετέρου γιατί αυτή η δράση παρεμποδίζεται από την αδρεναλίνη.[9],[10],[23],

γ) Σωματικές αντιδράσεις

Παρατηρείται μείωση της πίεσης του αίματος, δηλαδή υπόταση. Άλλα συμπτώματα είναι η απάθεια προς το περιβάλλον, η μείωση της αίσθησης του πόνου, πιθανή λιποθυμία και ολιγουρία εξαιτίας της δράσης της ADH.[5]

II. Φάση υπερμεταβολισμού στην κατάσταση B1

α) Νευροεδοκρινικές αντιδράσεις

Λαμβάνει χώρα έκλυση ιστικών παραγόντων από το τραύμα που επιδρούν αφενός στην περαιτέρω έκκριση κατεχολαμινών από τα επινεφρίδια, ρεννίνης από τους νεφρούς και αγγειοτενσίνης από τους νεφρούς και τους πνεύμονες, και αφετέρου στην αύξηση της γλυκαγόνης, λόγω των κατεχολαμινών, και στη μείωση της ινσουλίνης, λόγω των κυτοκινών. Οι ιστικοί παράγοντες που συμμετέχουν στη διαδικασία ενεργοποίησης του μεταβολισμού του πολυτραυματία μπορεί να είναι χημικοί παράγοντες, κυτταροκίνες ή παράγωγα του αραχιδονικού οξέος και αναλύονται παρακάτω, στην κατάσταση B2.[9],[10]

β) Μεταβολικές αντιδράσεις

Λαμβάνει χώρα μεγάλη κινητοποίηση του ενεργειακού υποστρώματος. Παρατηρείται υπεργλυκαιμία λόγω νεογλυκογέννεσης, αύξηση του πυροσταφυλικού και του γαλακτικού οξέος εφόσον το τραύμα αποτελεί υπόστρωμα νεογλυκογέννεσης, καθώς και αύξηση των ελεύθερων λιπαρών οξέων και αμινοξέων, όπως της λευκίνης και της ισολευκίνης αρχικά και της αλανίνης αργότερα. Επίσης παρατηρείται αύξηση της γλυκερόλης και των κετοσωμάτων. [11],[12]

γ) Σωματικές αντιδράσεις

Παρατηρείται ταχύπνοια με αποτέλεσμα την παραγωγή CO₂. Άλλα συμπτώματα είναι ταχυκαρδία, ολιγουρία, θόλωση διάνοιας, λευκοκυττάρωση, δηλαδή αύξηση των λευκών αιμοσφαιρίων, που αποτελεί ένδειξη λοιμώξεως, υποξία, δηλαδή πτώση της μερικής πίεσης του οξυγόνου του αίματος. [6],[9]

- **Κατάσταση B2 ή φάση “flow” (χρονική διάρκεια μεγαλύτερη από 24h)**

Η φάση flow είναι η φάση του σταθερού υπερμεταβολισμού. Η έναρξη του υπερμεταβολισμού μπορεί να οφείλεται σε μεμονωμένη ή πολυοργανική ανεπάρκεια. Στην περίπτωση των εγκλωβισμένων, επειδή οι τραυματισμοί είναι πολλαπλοί και ιδιαίτερα σοβαροί, παρατηρείται το φαινόμενο της πολυοργανικής ανεπάρκειας [9], [10]. Το αμέσως επόμενο στάδιο, αν δεν υπάρξει ανάνηψη, είναι ο θάνατος. Οι νευροενδοκρινικές, μεταβολικές και σωματικές αντιδράσεις που περιγράφουν την κατάσταση flow είναι τόσο αυτές που περιγράφουν τη φάση του υπερμεταβολισμού της κατάστασης B1, όσο και οι παρακάτω :

α) Νευροενδοκρινικές αντιδράσεις

Όλοι οι ιστικοί παράγοντες της κατάστασης B1 είναι πλήρως ενεργοποιημένοι και εκλύονται από τους κατεστραμμένους ιστούς, τις ενδοτοξίνες του τραύματος και τα βακτηρίδια. Οι παράγοντες αυτοί συμβάλλουν στην έκλυση και στην ενεργοποίηση κάποιων προϊόντων, τα οποία κυκλοφορούν στο αίμα. Αυτά τα προϊόντα είναι:

-Χημικοί παράγοντες

Τέτοια είναι τα συμπληρώματα C3a, C5a που συμβάλλουν στην πήξη του αίματος.

-Κυτταροκίνες

Η ιντερλευκίνη-1 (IL-1), ευθύνεται πρώτον για τη σύνθεση πυρετογόνων ουσιών (EP) που δρουν στον υποθάλαμο και δημιουργούν υπερπηξία. Δεύτερον είναι ο υπεύθυνος παράγοντας για τη διέγερση του ήπατος και την παραγωγή πρωτεϊνών οξείας φάσεως (LEM). Τρίτον συντελεί στη διέγερση του ανοσολογικού συστήματος (LAM) και τέταρτον ενεργοποιεί το μηχανισμό σύνθεσης των προσταγλανδινών. Ο

παράγοντας νέκρωσης των κυττάρων **TNF** συμβάλλει στην παραγωγή β-ενδορφινών. Άλλες κυτταροκίνες είναι η ιντερλευκίνη-6 (IL-6) και η γ-ιντερφερόνη (INF-γ).

-Παράγωγα του αραχιδονικού οξέος

Τέτοια παράγωγα είναι οι θρομβοξανές B2 (TBX2), οι προσταγλνδίνες της PGE2 που οδηγούν σε ανοσοκαταστολή, δηλαδή καταστολή του ανοσοποιητικού συστήματος, και τα λευκοτριένια που προκαλούν καρδιακή ανεπάρκεια.[7]-[9]

β)Μεταβολικές αντιδράσεις

Παρατηρείται αύξηση του μεταβολικού ρυθμού 1,5 έως 2 φορές σε σχέση με το πρώτο 24ωρο και γενικά μεγάλη κινητοποίηση του ενεργειακού υποστρώματος. Εξαιτίας της διαβητογόνου δράσης των αυξημένων επιπέδων της κορτιζόλης, των κατεχολαμινών, της αυξητικής ορμόνης και της γλυκαγόνης, παρατηρείται υπεργλυκαιμία. Η σταδιακά ανερχόμενη ινσουλίνη παραμένει αδρανής. Για τα αυξημένα επίπεδα ινσουλίνης έχουν γίνει κάποιες παραδοχές, όπως ότι δεν περιορίζεται η έκκρισή της από τις αδρενεργικές ουσίες και ότι αναστέλλεται η αναβολική της δράση. Η επερχόμενη υπεργλυκαιμία μπορεί να οφείλεται κατά πρώτο λόγο στη νεογλυκογέννεση, δηλαδή στην αποικοδόμηση λιπών και πρωτεϊνών και στη χρησιμοποίηση των ελεύθερων λιπαρών οξέων, των αμινοξέων και του γαλακτικού οξέως για το σχηματισμό γλυκόζης. Κατά δεύτερο λόγο, η υπεργλυκαιμία μπορεί να οφείλεται στην παρεμπόδιση της εισόδου της γλυκόζης στο κύτταρο, και κατά τρίτο λόγο μπορεί να οφείλεται στη γλυκογονόλυση, εξαιτίας της εξάντλησης των αποθεμάτων.

Επίσης παρατηρείται αύξηση του γαλακτικού οξέος του αίματος λόγω αυξημένης γλυκόλυσης στους μυς, γιατί η παροχή αίματος ή οξυγόνου είναι ελλιπής. Η αναερόβια γλυκόλυση οδηγεί σε παραγωγή γαλακτικού και πυροσταφυλικού οξέος, τα οποία ή καίγονται όπως είναι ή μετατρέπονται στο ήπαρ σε γλυκόζη. Λαμβάνει χώρα διάσπαση των πρωτεϊνών σε αμινοξέα, λόγω δράσης της κορτιζόλης. Η διάσπαση των πρωτεϊνών καταλήγει σε αύξηση του πυροσταφυλικού οξέος, της ουρίας και των παραγώγων του αζώτου στο αίμα και στα ούρα. Επίσης παρατηρείται λιπόλυση με συνέπεια την αύξηση των λιπαρών οξέων.

Η αύξηση των κετονοσωμάτων, δηλαδή της ακετόνης, του β-υδροξυβουτυρικού οξέος και του ακετοξικού οξέος είναι ιδιαίτερα σημαντική. Τα κετοσώματα παράγονται λόγω του έντονου καταβολισμού των λιπών και των αμινοξέων, με αποτέλεσμα υπερβολική συσσώρευση Acetyl-CoA, αδυναμία οξείδωσής του και εκτροπής του αρχικά σε ακετοξικό οξύ και στη συνέχεια σε β-υδροξυβουτυρικό, τα οποία επίσης χρησιμεύουν ως καύσιμα. Από τα κετοσώματα μόνο η ακετόνη δεν είναι μεταβολίσιμο προϊόν και είναι το πιο πτητικό.

Επιπλέον παρατηρείται υπερκαλιαιμία, υπονατριαιμία και υπερασβεστιαίμια καθώς επίσης και αύξηση τρανσαμινών όπως είναι οι SGOT, SGPT, που εκκρίνονται από το ήπαρ. Τέλος παρατηρείται αύξηση της μυοσφαιρίνης και της κρεατινινικής φωσφορικής κινάσης CPK, που εκκρίνονται στους μυς. [5]-[10]

γ)Σωματικές αντιδράσεις

Στη φάση flow τα συμπτώματα είναι υπέρπνοια, αύξηση του καρδιακού ρυθμού, υπερθερμία αρχικά και με την πάροδο του χρόνου υποθερμία, ελάττωση της κινητικότητας του εντερικού σωλήνα, αναστολή της εφίδρωσης, ολιγουρία, υπόταση, απώλεια των αισθήσεων και λιποθυμία. Σε κλινικό επίπεδο η εμφάνιση πυρετού, υπνηλίας, λευκοκυττάρωσης προειδοποιεί για τη συνύπαρξη σηψαιμίας. [5]

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Γ

Η κατάσταση Γ αναφέρεται σε εγκλωβισμένους, οι οποίοι είναι νεκροί. Ο θάνατος ενός εγκλωβισμένου μπορεί να επέλθει άμεσα ή μετά από κάποιο χρόνο. Στην πρώτη περίπτωση αιτία θανάτου μπορεί να είναι έμφραγμα του μυοκαρδίου, ασφυξία από κατάχωση, δηλαδή απόφραξη της αναπνευστικής οδού από την εισπνεόμενη σκόνη που δημιουργείται κατά την κατάρρευση του κτιρίου, κρανιοεγκεφαλικές κακώσεις από πλήξη με οικοδομικά υλικά, εσωτερική αιμορραγία, δηλητηρίαση με CO₂ όταν δεν υπάρχουν δίοδοι για να εισέλθει οξυγόνο στο χώρο του εγκλωβισμένου.

Η δηλητηρίαση με CO₂ δεν οφείλεται στην άμεση δράση του, αλλά στις ανοξυγοναιμικές συνθήκες που δημιουργούνται λόγω αντίστοιχης μείωσης της συγκέντρωσης του οξυγόνου στον εισπνεόμενο αέρα. Θεωρείται ότι είναι αδύνατη η παραμονή σε χώρο που περιέχει CO₂ σε συγκέντρωση 4-5% περισσότερο από 9-10 min, εφόσον προκαλείται δύσπνοια, κεφαλαλγία, ίλιγγοι καθώς και νευροψυχιατρικές διαταραχές. Σε συγκέντρωση CO₂ 20-30% επέρχεται ταχέως απώλεια συνειδήσεως και οριστική απώλεια των αισθήσεων, ενώ σε συγκέντρωση 40% ο θάνατος επέρχεται ακαριαία και οφείλεται σε παράλυση του κέντρου της αναπνοής. Άλλα τοξικά αέρια που μπορούν να έχουν ασφυξιογόνο δράση είναι το CO και το μεθάνιο. [19],[31]

Στη δεύτερη περίπτωση, όπου ο εγκλωβισμένος πεθαίνει μετά από κάποιο χρόνο από τη στιγμή του εγκλωβισμού του, αιτίες θανάτου μπορούν να είναι η αφυδάτωση και η ασιτία. Επίσης κακώσεις που αρχικά δεν ήταν θανατηφόρες μπορεί λόγω της παρατεταμένης παραμονής του εγκλωβισμένου στα συντρίμια να αποβούν τελικά θανατηφόρες. Άλλη αιτία θανάτου είναι το λεγόμενο σύνδρομο καταπλάκωσης ή crush syndrome, όπου ανάλογα με το μέρος του σώματος που έχει καταπλακωθεί καθορίζεται και ο χρόνος στον οποίο ο εγκλωβισμένος απεβιώνει.

Οι νευροενδοκρινικές, μεταβολικές και σωματικές αντιδράσεις που περιγράφουν την κατάσταση Γ είναι :

α)Νευροενδοκρινικές αντιδράσεις

Όσον αφορά τις ορμόνες, παρατηρείται αύξηση της επινεφρίνης μετά το θάνατο και μείωση της θυροξίνης. Η κορτιζόλη του ορού μετά το θάνατο βρέθηκε να ανταποκρίνεται σε τιμές που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της ζωής και οι οποίες είναι σταθερές για τον “εγγύς” από τη στιγμή του θανάτου χρόνο. Περισσότερο σταθερές φαίνονται οι συγκεντρώσεις της TSH, ενώ τα επίπεδα των 17-υδροξυκορτικοστεροειδών και της αυξητικής ορμόνης αυξάνουν καταφανώς.

β)Μεταβολικές αντιδράσεις

Η αποικοδόμηση της οργανικής ζώσας ύλης αρχίζει αμέσως μετά το θάνατο. Πραγματοποιείται αποικοδόμηση των πρωτεϊνών με την επίδραση ορισμένων

ενζύμων, όμως αυτή η πρωτεόλυση δεν ακολουθεί σταθερό ρυθμό σε ολόκληρο το σώμα. Συνέπεια της πρωτεόλυσης είναι η παραγωγή φαινολών, CO_2 , H_2S , NH_3 και CH_4 . Επίσης λαμβάνει χώρα υδρόλυση των ουδέτερων λιπών με αποτέλεσμα την παραγωγή ελεύθερων λιπαρών οξέων καθώς και αποικοδόμηση των υδατανθράκων προς CO_2 και H_2O . Παρατηρείται αύξηση της NH_3 και των αζωτούχων βάσεων στο αίμα και μείωση της συγκέντρωσης του Na^+ και του Cl^- , με ρυθμό περίπου 1mEq/l/h. Σημειώνεται ότι όσο μεγαλώνει ο χρόνος που πέρασε από το θάνατο, οι τιμές του K^+ στο αίμα αυξάνονται, ενώ αντίθετα οι τιμές του Na^+ και του Cl^- είναι δυνατό να μειωθούν.

Οι συγκεντρώσεις του ανόργανου και του οργανικού φωσφόρου αυξάνουν με ταχύ ρυθμό μετά θάνατον, ενώ αισθητή είναι η μείωση των εστέρων της χοληστερόλης στο αίμα λόγω της δράσης των εστερασών του ορού.

γ)Σωματικές αντιδράσεις

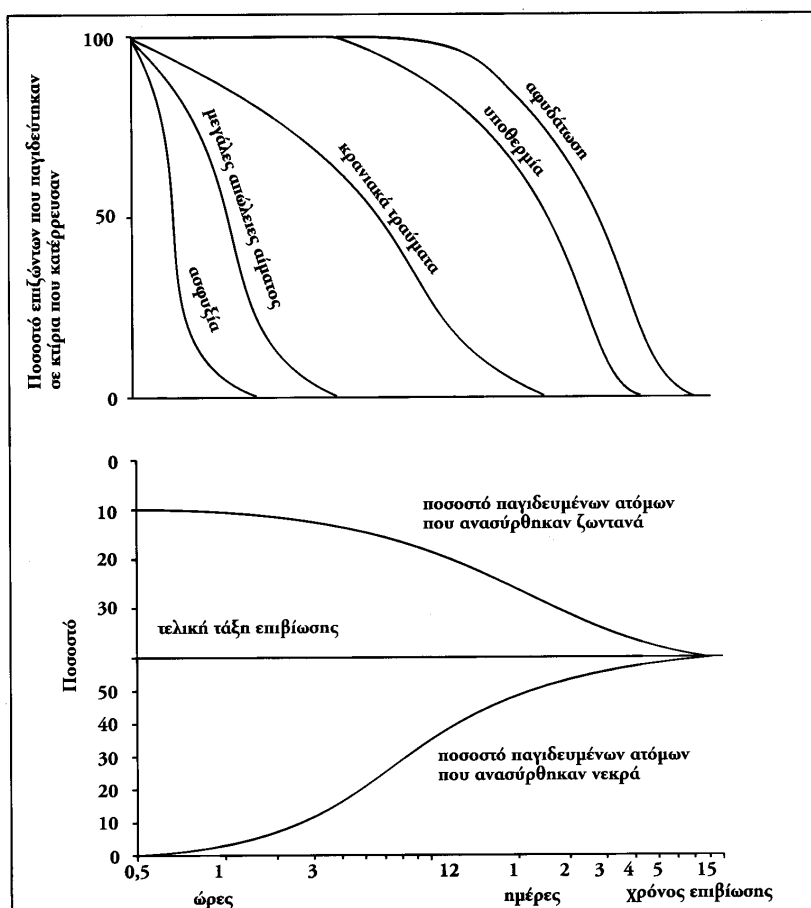
Τα πρώτα σημεία θανάτου που εμφανίζονται στο θύμα είναι η παύση των ζωτικών λειτουργιών της αναπνοής και της κυκλοφορίας. Παρατηρείται μυϊκή χάλαση, απώλεια των αισθήσεων, διάνοιξη των βλεφάρων, απώλεια ούρων και κοπράνων.[13]

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΕΠΙΒΙΩΣΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΕΝΩΝ

Για τους εγκλωβισμένους της κατάστασης Α, δηλαδή γι' αυτούς που έχουν stress χωρίς κακώσεις, και τους εγκλωβισμένους της κατάστασης Β, δηλαδή για τους πολυτραυματίες, η μετάβαση στην κατάσταση Γ είναι ζήτημα χρόνου αν δεν εντοπισθούν έγκαιρα από τα συνεργεία διάσωσης.

Σχεδόν το 50% των ατόμων που έχουν υποστεί κρανιοεγκεφαλικές κακώσεις πεθαίνει μέσα σε 24 ώρες, ενώ όσοι έχουν εξωτερικές πληγές ή εσωτερική αιμορραγία και δε δεχτούν άμεση ιατρική περίθαλψη συνήθως αποβιώνουν.

Έχει βρεθεί ότι το να είναι κάποιος εγκλωβισμένος κάτω από τα ερείπια, αυξάνει την πιθανότητα να είναι τραυματισμένος στο πενταπλάσιο. Τα παγιδευμένα άτομα δυσκολεύονται να αναπνεύσουν εξαιτίας της υπερβολικής πίεσης που δέχονται στο θώρακα ή εξαιτίας της σκόνης που δημιουργείται από την κατάρρευση. Τόσο τα κτίρια με τοιχοποιία όσο και αυτά με οπλισμένο σκυρόδεμα μπορούν να παράγουν κατά την κατάρρευσή τους τεράστια ποσότητα σκόνης, που μπορεί να προκαλέσει ασφυξία με αποτέλεσμα το θάνατο. Μόνο 2-6 ώρες μετά το σεισμό, το ποσοστό των εγκλωβισμένων που αναμένεται να είναι ακόμα ζωντανοί είναι μικρότερο από 50%.



Σχήμα 2 : Χρόνος επιβίωσης για τους εγκλωβισμένους στα ερείπια [21]

Αυτοί που δεν έχουν υποκύψει στα τραύματά τους μπορεί να πεθάνουν από ισχυρό ψυχικό stress ή υποθερμία μετά περίπου από 48 ώρες, ενώ υπάρχουν λίγες περιπτώσεις ατόμων που έχουν απεγκλωβισθεί ζωντανοί μετά από 48 ώρες. Τα παγιδευμένα άτομα που δεν έχουν τραυματισθεί μπορεί να πεθάνουν, αρκετά

γρήγορα από αφυδάτωση. Τα θύματα που έχουν τραυματιστεί πρέπει να διατηρούνται ζεστά και τα σπασμένα μέλη τους να παραμένουν ακίνητα σε νάρθηκα, που φυσικά είναι αδύνατο να συμβεί κάτι τέτοιο όσο βρίσκονται κάτω από τα ερείπια. Επίσης, οι ηλικιωμένοι ή άτομα με ειδικές ανάγκες είναι λιγότερο πιθανό να καταφέρουν να επιβιώσουν κάτω από τόσο αντίξοες συνθήκες. Στο σχήμα 2 φαίνεται η σχέση μεταξύ χρόνου και επιβίωσης σε περιπτώσεις παγιδευμένων ατόμων. [21]

Με βάση το σχήμα 2 λοιπόν παρατηρούμε ότι ο θάνατος από ασφυξία επέρχεται πολύ γρήγορα, δηλαδή το πολύ μέσα σε 2 ώρες από τη στιγμή του εγκλωβισμού. Από ασφυξία μπορεί να πεθάνουν εγκλωβισμένοι τόσο της κατάστασης Α όσο και της Β. Η περίπτωση εγκλωβισμένων με μεγάλες απώλειες αίματος μπορεί να περιγραφεί από την κατάσταση Β και η μετάβαση στην κατάσταση Γ διαρκεί το πολύ 2 ώρες ανάλογα με το μέγεθος της αιμορραγίας. Η περίπτωση εγκλωβισμένων με κρανιακά τραύματα μπορεί να περιγραφεί από την κατάσταση Β και η μετάβαση στην κατάσταση Γ διαρκεί το πολύ 2-3 ημέρες ανάλογα με τη σοβαρότητα των τραυμάτων. Στο σχήμα 2 φαίνεται ότι ο θάνατος από υποθερμία δεν είναι άμεσος αλλά επέρχεται το πολύ μετά από 10 μέρες, ενώ ο θάνατος από αφυδάτωση επέρχεται μετά από 15 μέρες. Αυτές οι δύο τελευταίες περιπτώσεις αφορούν εγκλωβισμένους της κατάστασης Α, γι' αυτό και η μετάβαση στην κατάσταση Γ δεν είναι άμεση.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην πραγματικότητα ένας εγκλωβισμένος μπορεί να ανήκει στην κατάσταση Β, δηλαδή να έχει πολλαπλά τραύματα αλλά τελικά να πεθάνει από υποθερμία ή αφυδάτωση. Οι συνθήκες που δημιουργούνται μετά από ένα καταστροφικό σεισμό δεν μπορούν να προβλεφθούν με απόλυτη ακρίβεια, αλλά με τη συσχέτιση του χρόνου επιβίωσης με τις καταστάσεις των εγκλωβισμένων γίνεται μια οργανωμένη προσπάθεια για την προσέγγιση της πραγματικότητας.

ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΟΥ ΚΑΙ VOCs

Λαμβάνοντας υπόψη τις νευροενδοκρινικές, τις βιοχημικές και τις σωματικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στις καταστάσεις Α, Β, Γ μπορεί να εκτιμηθεί σε ποιες ανθρώπινες εκκρίσεις αναμένεται να βρίσκεται το μεγαλύτερο ποσοστό των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs).

Αυτή η ταξινόμηση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη γιατί έτσι μπορεί να υπολογισθεί με ικανοποιητική ακρίβεια σε ποιες εκκρίσεις για κάθε κατάσταση εγκλωβισμού θα πρέπει να αναζητώνται οι πτητικές οργανικές ουσίες που είναι χαρακτηριστικές για τον άνθρωπο και που μπορούν να είναι ανιχνεύσιμες από τα αναλυτικά όργανα. Σημειώνεται ότι οι περιπτώσεις που παρουσιάζονται στον πίνακα 2 είναι ανεξάρτητες από την τοπολογία του εγκλωβισμού.

Πίνακας 2 : Καταστάσεις εγκλωβισμένων και σχετικές ανθρώπινες εκκρίσεις

<p><u>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Α1</u></p> <p>α) Διάρκεια εγκλωβισμού μέχρι 24h β) Χωρίς κακώσεις γ) Έντονο stress</p>	<p><u>Εκκρίσεις που ενδιαφέρουν και περιέχουν πτητικές οργανικές ουσίες:</u></p> <p>α) Κατά κύριο λόγο ούρα (έντονα) β) Κατά δεύτερο λόγο εκπνεόμενος αέρας</p> <p><u>Πιθανές βιοχημικές αντιδράσεις:</u></p> <p>α) Αύξηση ελεύθερων λιπαρών οξέων β) Αύξηση των λευκών αιμοσφαιρίων γ) Αύξηση ελαφρώς γλυκόζης δ) Εκπομπή κετοσωμάτων από την αναπνοή</p>
---	--

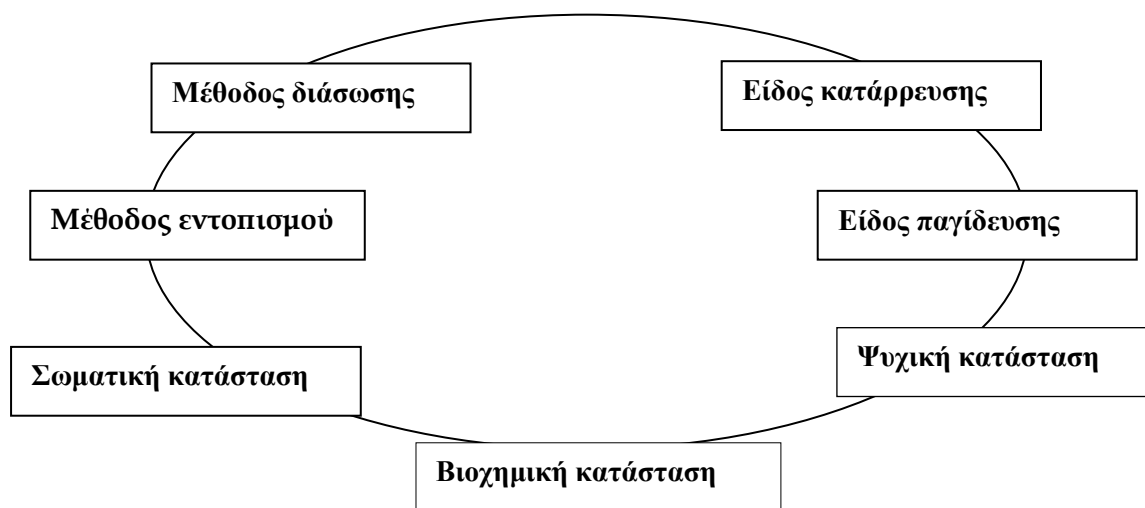
<p><u>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Α2</u></p> <p>α) Διάρκεια εγκλωβισμού μεγαλύτερη από 24h</p> <p>β) Χωρίς κακώσεις</p> <p>γ) Έντονο stress</p>	<p><u>Εκκρίσεις που ενδιαφέρουν και περιέχουν πτητικές οργανικές ουσίες:</u></p> <p>α) Κατά κύριο λόγο εκπνεόμενος αέρας</p> <p>β) Κατά δεύτερο λόγο ούρα</p> <p><u>Πιθανές βιοχημικές αντιδράσεις:</u></p> <p>α) Αύξηση ελεύθερων λιπαρών οξέων</p> <p>β) Αυξημένη παραγωγή γλυκόζης (υπεργλυκαιμία)</p> <p>γ) Αύξηση του γαλακτικού οξέος στο αίμα</p> <p>δ) Αύξηση της NH_3</p> <p>ε) Αυξημένη εκπομπή κετοσωμάτων από την αναπνοή</p> <p>στ) Υπερκαλιαιμία</p> <p>ζ) Υπονατριαιμία</p>
<p><u>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Β1</u></p> <p>α) Διάρκεια εγκλωβισμού μέχρι 2h (Φάση <i>Ebb</i> και φάση υπερμεταβολισμού)</p> <p>β) Κακώσεις</p> <p>γ) Έντονο stress</p>	<p><u>Εκκρίσεις που ενδιαφέρουν και περιέχουν πτητικές οργανικές ουσίες:</u></p> <p>α) Κατά κύριο λόγο εκπνεόμενος αέρας</p> <p>β) Κατά δεύτερο λόγο αίμα</p> <p>γ) Κατά τρίτο λόγο ούρα και ιδρώτας (πολύ μικρές ποσότητες).</p> <p><u>Πιθανές βιοχημικές αντιδράσεις:</u></p> <p>α) Λιπόλυση</p> <p>β) Υπεργλυκαιμία</p> <p>γ) Διάσπαση της τριακυλογλυκερόλης</p> <p>δ) Αύξηση της αυξητικής ορμόνης</p>

<p><u>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Β1</u></p> <p>α) Διάρκεια εγκλωβισμού μεγαλύτερη από 2h και μικρότερη από 24h (<i>Φάση υπερμεταβολισμού και φάση Ebb</i>)</p> <p>β) Κακώσεις</p> <p>γ) Έντονο stress</p>	<p><u>Εκκρίσεις που ενδιαφέρουν και περιέχουν πτητικές οργανικές ουσίες:</u></p> <p>α) Κατά κύριο λόγο εκπνεόμενος αέρας β) Κατά δεύτερο λόγο αίμα γ) Κατά τρίτο λόγο ούρα (ελάχιστα)</p> <p><u>Πιθανές βιοχημικές αντιδράσεις :</u></p> <p>α) Έκλυση ιστικών παραγόντων β) Υπεργλυκαιμία γ) Αύξηση των ελεύθερων λιπαρών οξέων δ) Αύξηση γλυκερόλης ε) Αύξηση των κετοσωμάτων</p>
<p><u>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Β2</u></p> <p>α) Διάρκεια εγκλωβισμού μεγαλύτερη από 24h (<i>Φάση υπερμεταβολισμού ή φάση flow</i>)</p> <p>β) Κακώσεις</p>	<p><u>Εκκρίσεις που ενδιαφέρουν και περιέχουν πτητικές οργανικές ουσίες:</u></p> <p>α) Κατά κύριο λόγο εκπνεόμενος αέρας β) Κατά δεύτερο λόγο αίμα γ) Κατά τρίτο λόγο ούρα (ελάχιστα)</p> <p><u>Πιθανές βιοχημικές αντιδράσεις:</u></p> <p>α) Πλήρης ενεργοποίηση των ιστικών παραγόντων β) Διπλασιασμός του μεταβολικού ρυθμού σε σχέση με το πρώτο 24ωρο γ) Υπεργλυκαιμία δ) Αύξηση των λιπαρών οξέων ε) Αύξηση των κετοσωμάτων στ) Λευκοκυττάρωση ζ) Υπερκαλιαιμία η) Υπονατρία</p>

<u>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Γ</u>	<u>Εκκρίσεις που ενδιαφέρουν και περιέχουν πτητικές οργανικές ουσίες:</u>
Θάνατος και έναρξη σήψης	<p>α) Κατά κύριο λόγο αίμα</p> <p>β) Κατά δεύτερο λόγο ούρα (ελάχιστα)</p> <p><u>Πιθανές βιοχημικές αντιδράσεις:</u></p> <p>α) Αποικοδόμηση οργανικής ζώσας ύλης (πρωτεϊνών και υδατανθράκων)</p> <p>β) Παραγωγή ελεύθερων λιπαρών οξέων</p> <p>γ) Παραγωγή φαινολών, CO₂, H₂S, NH₃ και CH₄</p> <p>δ) Αύξηση του K⁺ στο αίμα</p>

ΚΥΚΛΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΣΩΣΗΣ

Η ψυχική κατάσταση του εγκλωβισμένου και οι βιοχημικές και σωματικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται μπορούν να συνδυαστούν με το είδος παγίδευσης και την προσπάθεια διάσωσης, δηλαδή τον εντοπισμό και τη διάσωση, σε ένα ενιαίο κύκλο, ο οποίος αποτελείται από καταστάσεις και διαδικασίες που βρίσκονται σε ισορροπία όπως φαίνεται στο σχήμα 3. Μεταβολή σε ένα μέρος του κύκλου επηρεάζει όλα τα άλλα μέρη.



Σχήμα 3: Κύκλος εντοπισμού και διάσωσης εγκλωβισμένων.

Σύμφωνα με τον κύκλο αυτό, το είδος κατάρρευσης καθορίζει το είδος παγίδευσης και αυτό με τη σειρά του επιδρά στη διαμόρφωση της ψυχικής κατάστασης του εγκλωβισμένου, η οποία καθορίζει τη βιοχημική και σωματική κατάσταση του εγκλωβισμένου. Με βάση λοιπόν την κατάσταση αυτή επιλέγεται τόσο η μέθοδος εντοπισμού όσο και η μέθοδος διάσωσης.

Η χρησιμότητα αυτού του κύκλου είναι προφανής εφόσον βοηθά στη συσχέτιση της κατάστασης του εγκλωβισμένου τόσο με τις προσπάθειες διάσωσης όσο και με την τοπολογία και το είδος κατάρρευσης, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.

ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΕΝΩΝ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ ΠΟΥ ΈΧΟΥΝ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΕΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ

ΧΩΡΟΣ ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΟΥ

Με τον όρο χώρος εγκλωβισμού αναφερόμαστε τόσο στο είδος κατάρρευσης, λαμβάνοντας υπόψη μια μακροκλίμακα, όσο και στο μικρόχωρο εγκλωβισμού, λαμβάνοντας υπόψη μια μικροκλίμακα. Ο μικρόχωρος εγκλωβισμού είναι ουσιαστικά ο κενός χώρος που δημιουργείται μετά την κατάρρευση ενός κτιρίου και μέσα σ' αυτόν βρίσκεται ο εγκλωβισμένος. Το είδος της κατάρρευσης ενός κτιρίου επηρεάζει τόσο τις διαστάσεις όσο και τον αριθμό των κενών χώρων που προκύπτουν μετά την κατάρρευση.

ΤΥΠΟΙ ΚΤΙΡΙΩΝ & ΠΩΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΟΥ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ

Το είδος της κατασκευής ενός κτιρίου συνδέεται άμεσα με τη σεισμική τρωτότητά του, δηλαδή με το πόσο επιρρεπές είναι στο να καταρρεύσει εν' όψει ενός σεισμού. Όταν μάλιστα ο σεισμός είναι μεγάλης έντασης οι πιθανότητες να καταρρεύσει ένα κτίριο αυξάνονται.

Στην Ελλάδα οι κυριότεροι τύποι κτιρίων είναι κτίρια με φέροντα οργανισμό από ωπλισμένο σκυρόδεμα, κτίρια με φέρουσα τοιχοποιία και ξύλινα δάπεδα, κτίρια με φέρουσα τοιχοποιία και δάπεδα από ωπλισμένο σκυρόδεμα και κτίρια με μικτό σύστημα δόμησης. Για κάθε ένα τύπο κτιρίου προκύπτουν διαφορετικές συνθήκες εγκλωβισμού μετά την κατάρρευση.

Οι συνθήκες εγκλωβισμού αναφέρονται στον αριθμό των εγκλωβισμένων μέσα στα ερείπια, στην κατάσταση τους, στους κενούς χώρους που δημιουργούνται και στην ευκολία ή μη για την προσέγγισή τους από τα συνεργεία διάσωσης. Πιο κάτω περιγράφονται οι τύποι των κτιρίων καθώς και οι συνθήκες εγκλωβισμού που διαμορφώνονται μετά από την κατάρρευσή τους.

- ***Τύπος 1 - Κτίρια με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα***

Τα κτίρια με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, που δεν υπερβαίνουν τους 10 ορόφους, αποτελούν την πλειοψηφία των κτιρίων των μεγάλων πόλεων και τη συντριπτική πλειοψηφία των νέων μικρών ή μεγάλων κατασκευών. Τα κτίρια αυτά κατά κανόνα δεν καταρρέουν με τις πρώτες ισχυρές δονήσεις κι αυτό επειδή υπάρχει θεσμοθετημένη υποχρέωση να ακολουθούνται οι προβλεπόμενες διατάξεις για το σχεδιασμό, τη μελέτη και την κατασκευή τους. Παρόλα αυτά υπάρχουν πολλές αποκλίσεις από αυτό τον κανόνα στην πράξη. Μπορεί να έχουν γίνει κάποιες επεμβάσεις και μετατροπές στο κτίριο εκ των υστέρων, χωρίς να ελεγχθούν οι πιθανές επιπτώσεις στην αντισεισμική συμπεριφορά του. Επίσης συχνά υποτιμάται η σεισμική επικινδυνότητα μιας περιοχής ή η ακαταλληλότητα του εδάφους για την ανέγερση μιας πολυκατοικίας.

Όταν λοιπόν ένα τέτοιο κτίριο καταρρεύσει συνήθως υπάρχει αρκετός χρόνος για εκκένωσή του, αν φυσικά κάποιες τοπικές καταρρεύσεις δε φράζουν τις εξόδους διαφυγής. Έτσι ο αριθμός των εγκλωβισμένων αναμένεται θεωρητικά μικρός. Στην πράξη όμως, λόγω επικράτησης πανικού και έλλειψης συντονισμού κατά την εκκένωση του κτιρίου, ο αριθμός των εγκλωβισμένων ειδικά σε πολώροφα κτίρια είναι μεγάλος. Μάλιστα οι πιθανότητες για τραυματισμό τους είναι ιδιαίτερα αυξημένες γιατί τα κατασκευαστικά υλικά, δηλαδή το τσιμέντο, είναι βαριά με συνέπεια να προκαλούν πολύ σοβαρό τραυματισμό κατά την πτώση τους. Επομένως αναμένεται μεγάλο ποσοστό κατάστασης Β και αρκετά μεγάλο ποσοστό κατάστασης Γ. Επιπλέον, τα βαριά κατασκευαστικά υλικά δυσχεραίνουν το έργο της διάνοιξης τούνελ από τα συνεργεία διάσωσης για την προσέγγιση των εγκλωβισμένων.

Η ύπαρξη δοκαριών και υποστυλωμάτων παρόλα αυτά συμβάλλει στη δημιουργία αρκετών κενών χώρων στους οποίους μπορούν να βρουν καταφύγιο οι

εγκλωβισμένοι και να σωθούν τελικά. Επομένως είναι δυνατό να υπάρξει και ένα ποσοστό εγκλωβισμένων με κατάσταση Α, αλλά αυτό θα είναι μικρό.

- ***Τύπος 2 - Κτίρια με φέρουσα τοιχοποιία και ξύλινα δάπεδα***

Στη μεγάλη τους πλειοψηφία είναι ισόγεια ή διώροφα κτίρια σε οικισμούς, που τα τελευταία χρόνια είχαν πολύ χαμηλή οικιστική ανάπτυξη. Έχουν κατασκευαστεί χωρίς αντισεισμικές προδιαγραφές και γενικά έχουν αυξημένη σεισμική τρωτότητα.

Οι φέρουσες τοιχοποιίες είναι βαριές και ογκώδεις, οπότε μετά το σεισμό δε διατηρούν τη συνοχή τους αλλά θρυμματίζονται και διασπείρονται στο χώρο, μειώνοντας τον όγκο των κενών χώρων. Έτσι το ποσοστό εγκλωβισμένων με κατάσταση Α που θα μπορούσαν να επιζήσουν αν έβρισκαν καταφύγιο σε τέτοιους χώρους, αναμένεται να είναι πολύ μικρό. Παρόλα αυτά ο αριθμός των εγκλωβισμένων, άρα και των θυμάτων, μπορεί να είναι μειωμένος, αν δεν εκδηλωθεί ο σεισμός τις ώρες κατάκλισης, επειδή τα κτίρια αυτά στεγάζουν μικρό αριθμό ατόμων και επειδή συνήθως οι διαδρομές για την εκκένωσή τους είναι σύντομες.

Το μεγαλύτερο ποσοστό εγκλωβισμένων αναμένεται να έχει τραυματιστεί και ίσως σοβαρά, εξαιτίας των πολλών θραυσμάτων που δημιουργούνται μετά την κατάρρευση, ενώ οι συνθήκες επιβίωσης αναμένονται να είναι ιδιαίτερα αντίξοες λόγω της σκόνης που δημιουργείται από το θρυμματισμό της τοιχοποιίας. Επομένως το ποσοστό εγκλωβισμένων με κατάσταση Β θα είναι ιδιαίτερα αυξημένο, ενώ δεν αποκλείεται και ένα ποσοστό εγκλωβισμένων με κατάσταση Γ. Γενικά πάντως σε τέτοιου τύπου κτίρια ο εντοπισμός των εγκλωβισμένων είναι ευκολότερος, επειδή τα κτίρια αυτά έχουν περιορισμένη επιφάνεια και λίγους ορόφους.

- ***Τύπος 3 - Κτίρια με φέρουσα τοιχοποιία και δάπεδα από οπλισμένο σκυρόδεμα***

Τα κτίρια αυτά έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τα κτίρια της προηγούμενης κατηγορίας, δηλαδή συνήθως δεν ξεπερνούν τους δύο ορόφους. Η σεισμική τους

τρωτότητα είναι σημαντική αλλά ίσως λίγο μικρότερη σε σχέση με την προηγούμενη κατηγορία.

Μετά την κατάρρευση ενός τέτοιου κτιρίου, λόγω της υπάρχουσας τοιχοποιίας αναμένονται πολλά θραύσματα και αρκετή σκόνη, ενώ λόγω του τσιμέντου μπορεί να υπάρξουν και κάποια χαλάσματα τα οποία δε θα θρυμματιστούν. Επομένως οι πιθανότητες να δημιουργηθούν έστω και λίγοι κενοί χώροι μετά την κατάρρευση είναι περισσότερες σε σχέση με την προηγούμενη κατηγορία.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, υπάρχει η πιθανότητα να βρίσκονται στα ερείπια και κάποιοι εγκλωβισμένοι που ανήκουν στην κατάσταση Α. Το μεγαλύτερο ποσοστό όμως όσων βρίσκονται παγιδευμένοι αναμένεται να ανήκει στην κατάσταση Β. Αυτό κυρίως οφείλεται στα βαριά κατασκευαστικά υλικά, τα οποία προκαλούν σοβαρό τραυματισμό κατά την πτώση τους. Επίσης, λόγω του ωπλισμένου σκυροδέματος γίνεται πιο δύσκολη η διάνοιξη των τούνελ από τα συνεργεία διάσωσης για την προσέγγιση των εγκλωβισμένων.

• Τύπος 4 - Κτίρια με μικτό σύστημα δόμησης

Τα κτίρια με μικτό σύστημα δόμησης είναι αυτά που αποτελούνται από λιθόκτιστα και πλινθόκτιστα κατακόρυφα φέροντα στοιχεία και ξύλινα, χαλύβδινα ή από ωπλισμένο σκυρόδεμα οριζόντια φέροντα στοιχεία. Είναι συνήθως παλαιότερες κατασκευές και απαντώνται κατά κανόνα σε χωριά και κωμοπόλεις με χαμηλό ρυθμό οικιστικής ανανέωσης.

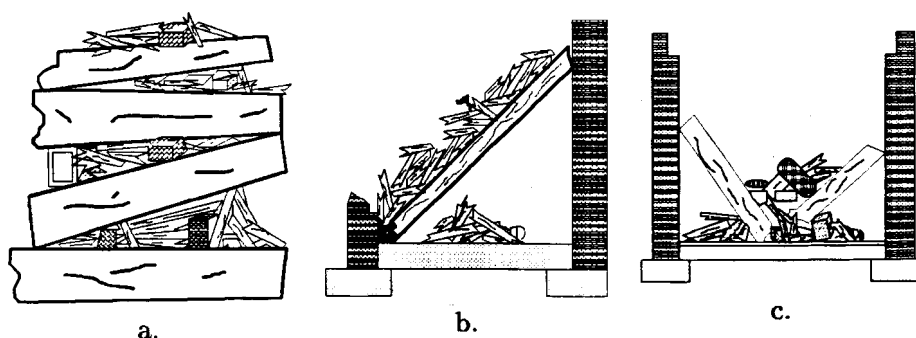
Λόγω της πλαστικότητας του χάλυβα είναι πολύ πιθανή η τοπική μερική κατάρρευση του οικοδομήματος κι όχι η ολική, με τον ίδιο τρόπο που συμβαίνει στα οικοδομήματα με ψαθυρά υλικά δόμησης. Κτίρια με φέροντα οργανισμό από χάλυβα απαντώνται σε μικρό ποσοστό στις σεισμογενείς περιοχές της Ευρώπης.

Τα κατασκευαστικά υλικά δεν είναι πολύ βαριά οπότε μπορεί να μην υπάρξει μεγάλο ποσοστό σοβαρών τραυματισμών. Αν ληφθεί υπόψη και το γεγονός ότι οι κενοί χώροι που αναμένεται να δημιουργηθούν μετά την κατάρρευση ενός τέτοιου κτιρίου είναι ικανοποιητικοί, τότε αυξάνονται οι πιθανότητες να υπάρχουν αρκετοί εγκλωβισμένοι κατάστασης Α, λιγότεροι κατάστασης Β και σχεδόν καθόλου Γ.[2],[3]

ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΙΔΩΝ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑ ΤΟ ΣΕΙΣΜΟ

Ο τρόπος με τον οποίο θα καταρρεύσει ένα κτίριο και η τελική του μορφή είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, όπως η γεωμετρία του φορέα, η κατανομή των στοιχείων πληρώσεως, τα υλικά κατασκευής και οπωσδήποτε της ακολουθίας των τοπικών αστοχιών στα επιμέρους φέροντα στοιχεία του κτιρίου. Έτσι, η τελική γεωμετρία του ερειπίου που μεταβάλλεται σε άμορφο όγκο συσσωρευμένων υλικών αναμένεται διαφορετική ακόμα και για κτίρια που εκ κατασκευής είναι όμοια μεταξύ τους.

Επομένως, όπως κάθε τύπος κτιρίου έτσι και κάθε είδος κατάρρευσης κτιρίου δημιουργεί συγκεκριμένες συνθήκες εγκλωβισμού, οι οποίες αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Τα είδη κατάρρευσης μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, την ολική και τη μερική κατάρρευση, ενώ καθεμιά από αυτές μπορεί να περιλαμβάνει κάποιες επιμέρους περιπτώσεις, οι οποίες περιγράφονται στη συνέχεια. Στο σχήμα 4 φαίνονται τρεις περιπτώσεις κατάρρευσης κτιρίων. [20]



Σχήμα 4: Τρεις περιπτώσεις κατάρρευσης κτιρίων: a. Pancake, b. Lean-to, c. V-shape

I. Ολική κατάρρευση

Όταν η κατάρρευση ενός κτιρίου είναι ολική, τότε είναι αυξημένες οι πιθανότητες για σοβαρό τραυματισμό και απώλειας αισθήσεων των εγκλωβισμένων. Επομένως οι καταστάσεις εγκλωβισμένων που αναμένονται είναι κυρίως Β και Γ.

Το είδος κατάρρευσης επηρεάζει όχι μόνο τον αριθμό των κενών χώρων, αλλά και τις διαστάσεις τους. Σε μια ολική κατάρρευση οι κενοί χώροι που δημιουργούνται είναι συνήθως λίγοι και μικροί. Ο μικρόχωρος εγκλωβισμού δηλαδή είναι περιορισμένος, οπότε και η επιβίωση ενός παγιδευμένου μέσα σ' ένα τέτοιο χώρο είναι δύσκολη. Άρα σε ένα κτίριο που έχει υποστεί ολική κατάρρευση το ποσοστό ατόμων που αναμένεται να ανήκει στην κατάσταση Α θα είναι πολύ μικρό.

Η διαδικασία διείσδυσης στα ερείπια και η προσέγγιση των εγκλωβισμένων αναμένεται ιδιαίτερα δυσχερής, κοπιαστική και χρονοβόρα λόγω των πολλαπλών εμποδίων. Παρόλα αυτά ο όγκος των ερειπίων παρουσιάζει κάποια σταθερότητα, η οποία δεν διαταράσσεται από τυχόν εκδήλωση μετασεισμού, οπότε οι διασώστες δεν κινδυνεύουν να τραυματισθούν άμεσα.[1]-[3]

- ***Επίπεδη κατάρρευση ορόφων (PANCAKE COLLAPSE)***

Η κατάρρευση τύπου σάντουιτς όπως ονομάζεται, σχήμα 4a, είναι η χειρότερη περίπτωση ολικής κατάρρευσης. Σπάνια καταφέρνουν να επιζήσουν άτομα, τα οποία έχουν εγκλωβιστεί κάτω από τσιμεντένιες πλάκες που η μία έχει πέσει πάνω στην άλλη. Οι κενοί χώροι που δημιουργούνται είναι ελάχιστοι και πάρα πολύ μικρών διαστάσεων για την επιβίωση των παγιδευμένων. Οι συνθήκες είναι ασφυκτικές, το βάθος εγκλωβισμού είναι μεγάλο, δηλαδή σίγουρα μεγαλύτερο από 5 μέτρα, ενώ η καταπλάκωση είναι ολική δυσχεραίνοντας ή καθιστώντας αδύνατη την επικοινωνία του εγκλωβισμένου με τα σωστικά συνεργεία.

Σύμφωνα με τα παραπάνω οι καταστάσεις εγκλωβισμένων σε μια τέτοια κατάρρευση θα είναι Β και Γ. Παρόλα αυτά, έχουν αναφερθεί περιστατικά απεγκλωβισμού ζωντανών από

κτίρια που έχουν υποστεί κατάρρευση τύπου σάντουιτς γιατί εγκλωβίσθηκαν στα κενά που δημιουργήθηκαν κατά την κατάρρευση του κτιρίου, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4a. Αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο η πιθανότητα ένας εγκλωβισμένος να είναι ζωντανός όσο και η επιτυχία του απεγκλωβισμού του, εξαρτώνται από τη θέση και την κατάστασή του λίγο πριν την ώρα του σεισμού. Αναφέρεται ότι υπήρξε απεγκλωβισμός ζωντανού ατόμου μετά από 14 μέρες γιατί είχε δυνατότητα πρόσβασης σε νερό.[1]

II. Μερική κατάρρευση

Η μερική κατάρρευση ενός κτιρίου φαίνεται να είναι πιο ευνοϊκή. Αυτό γιατί συνήθως οι περισσότεροι από τους παρευρισκόμενους στο κτίριο την ώρα του σεισμού κατορθώνουν να το εκκενώσουν έγκαιρα, ενώ οι πιθανότητες σοβαρού τραυματισμού των εγκλωβισμένων είναι μικρότερες σε σχέση με αυτές στην ολική κατάρρευση. Επομένως οι καταστάσεις των εγκλωβισμένων που αναμένονται σε μεγαλύτερο ποσοστό είναι κυρίως Α και Β, ενώ το ποσοστό της κατάστασης Γ αναμένεται να είναι μειωμένο σε σχέση με αυτό που παρουσιάζεται σε μια ολική κατάρρευση.

Μερικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα της μερικής κατάρρευσης είναι η παγίδευση σε μικρό βάθος, δηλαδή το πολύ μέχρι 5 μέτρα, και η πιο εύκολη επικοινωνία του εγκλωβισμένου με τα συνεργεία διάσωσης. Επίσης οι κενοί χώροι που δημιουργούνται είναι αρκετοί και με ικανοποιητικές διαστάσεις, ώστε υπάρχει δυνατότητα επιβίωσης των εγκλωβισμένων μέχρι τη στιγμή του απεγκλωβισμού τους. Η ύπαρξη ελεύθερου και φωτεινότερου χώρου που επιτρέπει οπτική επαφή με τον εγκλωβισμένο και τα λιγότερα εμπόδια, διευκολύνουν σημαντικά την πρόσβαση των συνεργείων διάσωσης στο σημείο που βρίσκεται ο εγκλωβισμένος.

Παρόλα αυτά η μερική κατάρρευση κρύβει μεγάλες παγίδες, τόσο για τους εγκλωβισμένους όσο και για τις διασωστικές ομάδες, μιας και πάντοτε ελοχεύει ο κίνδυνος μετασεισμικών δονήσεων που μπορεί φυσικά να οδηγήσουν σε περαιτέρω κατάρρευση του κτιρίου. Ο αριθμός των πολυτραυματιών μπορεί ανά πάσα στιγμή να αυξηθεί ενώ δεν αποκλείονται και επιπλέον ανθρώπινες απώλειες.[2], [3]

- **Κεκλιμένος τύπος (*LEAN- TO COLLAPSE*)**

Αυτή η περίπτωση μερικής κατάρρευσης περιλαμβάνει την υποχώρηση ενός εξωτερικού τοίχου με κατάρρευση ορόφου ή στέγης και δημιουργία ενός μεγάλου τριγωνικού κενού χώρου, σχήμα 4b.

- **Κατάρρευση σε σχήμα V (*V- SHAPE COLLAPSE*)**

Αυτή η περίπτωση μερικής κατάρρευσης λαμβάνει χώρα όταν οι εξωτερικοί τοίχοι μένουν ανέπαφοι και υποχωρούν πλάκες των ορόφων. Συγκεκριμένα υποχωρεί η οροφή στο κέντρο και τελικά δημιουργούνται δύο μεγάλοι κενοί τριγωνικοί χώροι, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4c.

- **Κατάρρευση Προβολών (*CANTILEVER COLLAPSE*)**

Σε αυτή την περίπτωση μερικής κατάρρευσης λαμβάνει χώρα κατάρρευση των τοίχων ή κάποιου κατακόρυφου στοιχείου.

Σημειώνεται ότι όλες οι επιμέρους περιπτώσεις μερικής κατάρρευσης που αναφέρθηκαν, παρουσιάζουν όλα τα χαρακτηριστικά της μερικής κατάρρευσης όπως αυτά περιγράφηκαν παραπάνω.[1]

Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΗΣ 7^{ης} ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ ΤΟ 1999 ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ

Στις 7 Σεπτεμβρίου του 1999 έγινε ένας καταστροφικός σεισμός στην Αθήνα επιφανειακού μεγέθους 5,9 Richter.¹ Ο σεισμός αυτός είχε αποτελέσματα μεταξύ VIII και IX της κλίμακας Mercalli - Sieberg.[30] Ο σεισμός εκδηλώθηκε 11:56 GMT ή 14:56 ώρα Ελλάδας και είχε επίκεντρο 38,10°N, 23,56°E και βάθος 19 km. Η μέση

θερμοκρασία την ώρα του σεισμού ήταν 29,3° C και η σχετική υγρασία 49%, που ήταν κανονικές για την εποχή².

Στη συνέχεια παρατίθεται ένας πίνακας με τα κτίρια που κατέρρευσαν και δίνονται στοιχεία για τους ορόφους κάθε κτιρίου, το είδος της κατάρρευσης που υπέστην, τον τύπο τους, καθώς και για τον αριθμό των νεκρών που ανασύρθηκαν και τον αριθμό των ζωντανών που απεγκλωβίστηκαν σε κάθε περίπτωση.

Τα γράμματα Γ, Β και Α, συμβολίζουν αντίστοιχα τον αριθμό των νεκρών, των πολυτραυματιών και των ατόμων με έντονο stress χωρίς κακώσεις. Τα άτομα της κατηγορίας Α απεγκλωβίστηκαν μόνα τους ή με τη βοήθεια γειτόνων και ο αριθμός τους ίσως να είναι μεγαλύτερος από αυτόν που φαίνεται στον πίνακα, όμως επισημαίνουμε ότι στον πίνακα αναγράφεται μόνο ο αριθμός των ατόμων χωρίς κακώσεις που είναι καταγεγραμμένα στα αρχεία της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας.

Για τα άτομα που απεγκλωβίστηκαν με τη βοήθεια της ΕΜΑΚ, κάναμε την παραδοχή ότι εφόσον όλα διεκομίστησαν στο νοσοκομείο μέσω του ΕΚΑΒ, ανήκουν στην κατάσταση Β. Το σύνολο Β+Α μας δίνει το συνολικό αριθμό των ζωντανών ατόμων που διασώθηκαν.

Πίνακας 3: Καταρρεύσεις κτιρίων στο σεισμό του 1999 στην Αθήνα ³

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ	ΟΔΟΣ	ΟΡΟΦΟΙ	ΕΙΔΟΣ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ	ΤΥΠΟΣ	Γ	Β	Α
Πολυκατοικία	Στρατηγού Σύρμα Άνω Λιόσια	Ισόγειο +1	Ολική	1	2	1	
Εργοστάσιο Παπουτσάνης	Μενεξεδών Κάτω Κηφησιά	Ισόγειο +1	Ολική	1	1	1	
Πολυκατοικία	Ναρκίσσου 40 Μενίδι	Ισόγειο +2	Ολική	1	1	2	
Πολυκατοικία	Παπαφλέσσα Μενίδι	Ισόγειο +3	Ολική	1	4	8	
Εργοστάσιο Φιαλοπλάστ	Τατοίου 368 Μενίδι	Ισόγειο +1	Μερική	1	3	2	

Πολυκατοικία	Γκιώνας 4 Μεταμόρφωση	Ισόγειο +3	Ολική	1	1	1	
Εργοστάσιο Ιβίσκος	Τατοίου & Αρτέμιδος Μεταμόρφωση	Ισόγειο +2	Ολική	1	1	5	
Βρεφον/κός Σταθμός	Αριστοτέλους 140 Μενίδι	Ισόγειο +2	Ολική	1	1	9	
Πολυκατοικία	Γεωργ. Κατσανδρή 62 Μενίδι	Ισόγειο +2	Ολική	1	2	1	
Πολυκατοικία	Τατοίου 131-133& Κω Μεταμόρφωση	Ισόγειο +3	Ολική	1	3	4	
Πολυκατοικία	Αγ. Σαράντα & Ρόδου Ν. Ερυθραία	Ισόγειο +3	Ολική	1	1	4	
Πολυκατοικία	Μεγαλονπόλεως 26 Κάτω Κηφισιά	Ισόγειο +2	Ολική	1	3	-	
Πολυκατοικία	Αγ.Τριάδος 70&Μ.Αλ. Μενίδι	Ισόγειο +3	Ολική	1	4	3	
Πολυκατοικία	Δέδε & Δαμασκού Μενίδι	Ισόγειο +3	Ολική	1	2	1	
Εργοστάσιο Πρόκος	Πύλου 16& Αχαΐας Κάτω Κηφισιά	Ισόγειο +2	Ολική	1	1	4	
Πολυκατοικία	Σουλίου 113 Μενίδι	Ισόγειο +3	Ολική	1	4	2	
Εργοστάσιο Φαράν	17 ^ο χιλ. Αθηνών- Λαμίας	Ισόγειο +3	Μερική	1	8	19	
Εργοστάσιο Ρικομέξ	Τατοίου 1 Αχαρναί	Ισόγειο +3	Ολική	1	39	10	
Πολυκατοικία	Χρυσολορά&Ψυχάρη 21 Μεταμόρφωση	Ισόγειο +3	Ολική	1	16	23	
Πολυκατοικία	Πίνδου Ν.Φιλαδέλφεια	Ισόγειο +3	Ολική	1	7	1	
Εργοστάσιο Βιοκύντ	Δεκελείας 100 Μενίδι	Ισόγειο +1	Ολική	1	6	-	3
Εργοστάσιο Φουρλής	17 ^ο χιλ.Αθηνών- Λαμίας	Ισόγειο +2	Ολική	1	6	12	
Πολυκατοικία	Τατοίου 372 Μενίδι	Ισόγειο +2	Ολική	1	1	-	3

Πολυκατοικία	Σουλίου & Μητρομάρα Μενίδι	Ισόγειο +3	Ολική	1	1	4	
ΣΥΝΟΛΟ:	24				118	117	6

¹ Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών

² Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΙΕΠΒΑ). Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

³ Τα στοιχεία έχουν διασταυρωθεί από πηγές πληροφοριών, όπως είναι η 1^η ΕΜΑΚ στην Ελευσίνα, ο 6^{ος} Πυροσβεστικός Σταθμός στη Μεταμόρφωση, η Στατιστική Υπηρεσία της Πυροσβεστικής, το ΥΠΕΧΩΔΕ και ο ΟΑΣΠ.

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΟΥ ΜΕ ΧΗΜΙΚΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Ο μικρόχωρος εγκλωβισμού, όπως έχει αναφερθεί, είναι ο χώρος μέσα στον οποίο βρίσκεται ένας εγκλωβισμένος με διαστάσεις που διαφοροποιούνται ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου και το είδος της κατάρρευσης που αυτό υπέστη.

Είναι εύλογο λοιπόν ότι όταν ένας άνθρωπος βρίσκεται σε περιορισμένο χώρο και αναπνέει, η συγκέντρωση των ενώσεων του εκπνεόμενου αέρα μέσα σε αυτό το μικρόχωρο εγκλωβισμού να μεταβάλλεται με το χρόνο. Αυτή η παρατήρηση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί χημικός αισθητήρας για τον εντοπισμό των εγκλωβισμένων.

Όπως είναι γνωστό, οι περισσότεροι εγκλωβισμένοι στα ερείπια δεν απεγκλωβίζονται αμέσως μετά το σεισμό από τα συνεργεία διάσωσης, γιατί τόσο η διαδικασία εντοπισμού τους όσο και η προσέγγισή τους με ασφάλεια είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες. Επομένως έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον να προσπαθήσουμε να υπολογίσουμε την συγκέντρωση των ενώσεων μέσα στο μικρόχωρο εγκλωβισμού συναρτήσει του χρόνου, κάνοντας βέβαια κάποιες παραδοχές.

Συγκεκριμένα μελετώνται δύο μαθηματικά μοντέλα σύμφωνα με τα οποία μπορεί να υπολογισθεί η συγκέντρωση ουσιών του εκπνεόμενου αέρα που παράγει ο άνθρωπος συναρτήσει του χρόνου. Η κατάστρωση των μοντέλων βασίζεται στη θεωρία αντιδραστήρων διαλείποντος έργου πλήρους ανάδευσης και αντιδραστήρων

συνεχούς έργου πλήρους ανάδευσης. Το γεγονός ότι γίνονται παραδοχές για την κατάστρωση των μοντέλων σίγουρα δημιουργεί αποκλίσεις από τις θεωρητικά αναμενόμενες τιμές, όμως πριν μελετηθούν σύνθετα μοντέλα είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν σε πρώτη φάση κάποια πιο απλά.

Σκοπός είναι να βρεθεί έστω και με κάποιες αποκλίσεις η σχέση που δίνει τη συγκέντρωση μιας ουσίας του εκπνεόμενου αέρα στο μικρόχωρο εγκλωβισμού συναρτήσει του χρόνου καθώς και να τεθούν οι βάσεις για την επίλυση πιο σύνθετων μοντέλων που προσομοιάζουν καλύτερα στις πραγματικές συνθήκες εγκλωβισμού.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΔΙΑΛΕΙΠΟΝΤΟΣ ΕΡΓΟΥ

Αν θεωρηθεί ότι ο χώρος μέσα στον οποίο βρίσκεται ο εγκλωβισμένος είναι κλειστός, δηλαδή ότι δεν υπάρχει είσοδος ή έξοδος τότε ο μικρόχωρος εγκλωβισμού μπορεί να προσομοιωθεί με το μοντέλο του αντιδραστήρα διαλείποντος έργου πλήρους ανάδευσης. Ο όγκος εγκλωβισμού θεωρείται ίσος με τον όγκο του αντιδραστήρα. Στη γενικότερη περίπτωση που έχουμε N εγκλωβισμένους στον όγκο του αντιδραστήρα θα παράγονται αέρια εκπνοής αλλά και VOCs, τα οποία θα συσσωρεύονται μέσα σε αυτόν τον κλειστό χώρο.

Το ισοζύγιο μάζας για μια ουσία A στον αντιδραστήρα θα είναι :

$$Είσοδος - Έξοδος + Παραγωγή - Κατανάλωση = Συσσώρευση \quad (1)$$

Η σχέση (1) στην περίπτωση αντιδραστήρα διαλείποντος έργου πλήρους ανάδευσης γίνεται:

$$0 - 0 + N r_A V_{avt} - 0 = \frac{dN_A}{dt} \quad (2) \quad \text{ή}$$

$$N r_A V_{avt} = \frac{dN_A}{dt} \quad (3)$$

Όπου :

N = Ο αριθμός των εγκλωβισμένων

r_A = Ο ρυθμός παραγωγής της ουσίας Α του εκπνεόμενου αέρα για 1 άνθρωπο

V_{avt} = Ο όγκος του αντιδραστήρα που θεωρείται ίσος με τον όγκο εγκλωβισμού

N_A = Τα mol μιας ουσίας Α στον αντιδραστήρα

$\frac{dN_A}{dt}$ = Η συσσώρευση της ουσίας Α στον αντιδραστήρα [14],[30]

Η σχέση (3) μετά από ολοκλήρωση δίνει:

$$N_A = N_o + N r_A V_{avt} t \quad (4)$$

Όπου N_o είναι τα αρχικά mol της ουσίας Α στον όγκο του αντιδραστήρα V_{avt} . Εξειδικεύοντας τη σχέση (4) στην περίπτωση του εκπνεόμενου αέρα κάποιου εγκλωβισμένου, παρατηρείται ότι κάποιες από τις ενδογενείς ουσίες όπως το CO_2 και η ακετόνη μπορούν να βρίσκονται σε ορισμένο ποσοστό εξαρχής στον αντιδραστήρα, ενώ κάποιες ενώσεις όπως είναι το ισοπρένιο είναι καθαρά ενδογενείς, οπότε σε αυτή την περίπτωση στη σχέση (4) το N_o λαμβάνεται ίσο με μηδέν.

Ο όγκος εγκλωβισμού, όπως ειπώθηκε θεωρείται ίσος με τον όγκο του αντιδραστήρα, ο οποίος λαμβάνεται σαν ένας κύλινδρος με όγκο V_{avt} . Στην περίπτωση που στα ερείπια βρίσκεται μόνο ένας εγκλωβισμένος και ο χώρος που καταλαμβάνει είναι ίσος με τον όγκο του, τότε γίνεται η παραδοχή ότι το ανθρώπινο σώμα είναι κύλινδρος όγκου περίπου 100 L. Ως γνωστό, το ανθρώπινο σώμα αποτελείται περίπου 80% από νερό [22]. Η πυκνότητα του νερού είναι 1 kg/L [30], επομένως για έναν άνθρωπο βάρους 85 kg δε θα ήταν μεγάλη απόκλιση αν λέγαμε ότι ο όγκος του είναι περίπου ίσος με το βάρος του, δηλαδή περίπου 85 L. Λαμβάνοντας υπόψη όμως ότι το ανθρώπινο σώμα εκτός από νερό αποτελείται και από πρωτεΐνες, λίπος και οστά πιθανολογούμε ότι κατά μέσο όρο ο όγκος που καταλαμβάνει ένας άνθρωπος θα είναι περίπου 100 L.

Θεωρούμε ότι ο ρυθμός παραγωγής r_A μιας ουσίας A του εκπνεόμενου αέρα ενός ανθρώπου είναι σταθερός και ίσος με K , μετρούμενος σε $\text{mol min}^{-1} \text{L}^{-1}$. Η σταθερά αυτή υπολογίζεται με βάση δεδομένα από τη βιβλιογραφία για τον εκπνεόμενο αέρα. Στη συνέχεια θα γίνει εφαρμογή για το CO_2 .

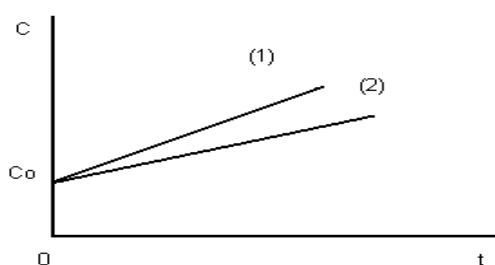
Η σχέση (4), σύμφωνα με τα παραπάνω γίνεται:

$$N_A = N_o + N K V_{avt} t \text{ σε mol (5)}$$

Αν διαιρέσουμε και τα δύο μέλη της εξίσωσης (5) με V_{avt} τότε προκύπτει η σχέση $C_A = f(t)$, η οποία δίνει τη συγκέντρωση της ουσίας A του εκπνεόμενου αέρα στον αντιδραστήρα σε mol / L . Έτσι τελικά προκύπτει:

$$C_A = C_o + N K t$$

Η συνάρτηση επομένως $C_A = f(t)$ είναι γραμμική, πράγμα που σημαίνει ότι στο μικρόχωρο εγκλωβισμού η συγκέντρωση των παραγόμενων ουσιών διαρκώς θα αυξάνεται με το χρόνο. Στο σχήμα 5 φαίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης μιας ουσίας που θα παράγει ένας εγκλωβισμένος για δύο διαφορετικούς μικρόχωρους εγκλωβισμού, οι οποίοι έχουν σχέση 2 προς 1.



Σχήμα 5: Η μεταβολή της συγκέντρωσης μιας ουσίας του εκπνεόμενου αέρα συναρτήσει του χρόνου, για μοντέλο μικρόχωρου εγκλωβισμού που αντιστοιχεί σε αντιδραστήρα διαλείποντος έργου πλήρους ανάδευσης και για μικρόχωρους εγκλωβισμού (1) $V_{εγκ}$ και (2) $2 V_{εγκ}$.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1

Εύρεση της σχέσης $C_A = f(t)$ για το CO_2 του εκπνεόμενου αέρα ενός εγκλωβισμένου που βρίσκεται σε μικρόχωρο εγκλωβισμού όγκου 2000 L, με βάση το μοντέλο αντιδραστήρα διαλείποντος έργου πλήρους ανάδευσης.

Δίνονται :

$$MB\ CO_2 = 44$$

$$P = 1\text{ atm}$$

$$T = 12,3\text{ }^\circ\text{C}$$

$C_o = 320\text{ ppm } CO_2$ στον όγκο του αντιδραστήρα αρχικά (συγκέντρωση περιβάλλοντος)

Ο όγκος του αντιδραστήρα, δηλαδή ο όγκος μέσα στον οποίο θα συσσωρεύεται το CO_2 θα είναι ο όγκος του μικρόχωρου εγκλωβισμού μείον τον όγκο που καταλαμβάνει ο άνθρωπος. Άρα ο όγκος του αντιδραστήρα θα είναι :

$$V_{\text{αντ}} = 2000 - 100\text{ L} = 1900\text{ L}$$

Η σχέση που θα χρησιμοποιήσουμε είναι αυτή που ισχύει για το μοντέλο διαλείποντος έργου, για $N = 1$ άρα :

$$C_A = C_o + K t \quad (I)$$

Ο όγκος του αέρα σε κάθε εκπνοή είναι $V_{\text{εκπν}} = 0,5\text{ L}$, ενώ σε 1 min γίνονται κατά μέσο όρο 15 αναπνοές.[15]

Επομένως ο όγκος του εκπνεόμενου αέρα ανά min υπολογίζεται με βάση τη βιβλιογραφία [32] ως εξής :

$$\frac{0,5\text{ L}}{\text{εκπνοή}} * \frac{15\text{ εκπνοές}}{\text{min}} = 7,5 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

Το ποσοστό του CO_2 στον εκπνεόμενο αέρα είναι 4%.[32]

Έτσι ο ρυθμός με τον οποίο παράγεται το CO_2 θα είναι :

$$0,04 * 7,5 \frac{L}{\min} = 0,3 \frac{L}{\min}$$

Σημειώνεται ότι σε κατάσταση stress ο ρυθμός με τον οποίο παράγεται το CO₂ μπορεί να είναι και δεκαπλάσιος.[15]

Επειδή ο ρυθμός παραγωγής CO₂ στο ισοζύγιο έχει μονάδες $\frac{mol}{\min * L_{αντιδραστήρα}}$ χρησιμοποιούμε την καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων, θεωρώντας ότι το CO₂ είναι ιδανικό αέριο.

Η καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων δίνεται από την παρακάτω εξίσωση [29] :

$$P * V = n * R * T \quad (II)$$

Όπου :

P = η πίεση σε atm

V = ο όγκος σε L

n = τα mol του αερίου

$R = 0,082 \frac{L * atm}{mol * K}$, η σταθερά των ιδανικών αερίων

T = η θερμοκρασία σε K

Από τα δεδομένα του προβλήματος και με βάση τη σχέση (II) προκύπτουν τα mol του CO₂ στον όγκο του εκνεόμενου αέρα ανά λεπτό :

$$n = \frac{P * V}{R * T} \Rightarrow n = \frac{1 * 0,3}{0,082 * (273 + 12,3)} mol = 0,01 mol CO_2 \text{ ανά min}$$

Ο ρυθμός παραγωγής του CO₂ στον όγκο του αντιδραστήρα είναι :

$$K = \frac{n}{V_{αντιδραστήρα}} \Rightarrow K = 0,01 \frac{mol}{min} * \frac{1}{1900L} = 5,2 \times 10^{-6} \frac{mol}{L * min} = 0,228 \frac{ppm}{min}$$

Με βάση λοιπόν τη σχέση (I) προκύπτει η $C_A = f(t)$:

$$C_A = 320 + 0,228 t \text{ σε ppm } \left(\frac{mg}{L} \right)$$

Όπου ο χρόνος t δίνεται σε min.

ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΡΓΟΥ

Στην περίπτωση που η προσομοίωση του μικρόχωρου εγκλωβισμού γίνεται με έναν αντιδραστήρα συνεχούς έργου πλήρους ανάδευσης, ο αντιδραστήρας είναι ένα κουτί, το οποίο όμως δεν είναι κλειστό. Υπάρχει ανανέωση του αέρα, δηλαδή είσοδος και έξοδος του αέρα ανάμεσα στα ερείπια, θεωρώντας ότι οι ροές εισόδου και εξόδου είναι ίσες.

Το ισοζύγιο μάζας στη γενική του μορφή είναι :

$$Είσοδος - Έξοδος + Παραγωγή - Κατανάλωση = Συσσώρευση$$

Οπότε για μη μόνιμες συνθήκες του αντιδραστήρα συνεχούς έργου πλήρους ανάδευσης θα ισχύει [14],[27]:

$$F C_o - F C_A + N r_A V_{avt} - 0 = V_{avt} \frac{dC_A}{dt} \quad (6)$$

Όπου:

F = Η ροή εισόδου του αέρα στον αντιδραστήρα

Co = Η αρχική συγκέντρωση της ουσίας Α στον αντιδραστήρα

C_A = Η συγκέντρωση της ουσίας Α στην έξοδο του αντιδραστήρα

N = Ο αριθμός των ατόμων στο χώρο εγκλωβισμού

r_A = Ο ρυθμός παραγωγής μιας ουσίας Α του εκπνεόμενου αέρα για 1 άνθρωπο

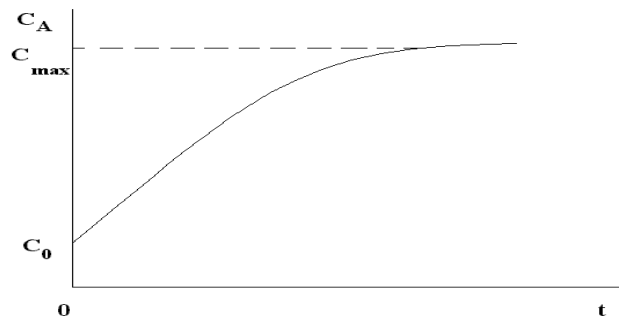
V_{avr} = Ο όγκος του αντιδραστήρα

$\frac{dC_A}{dt}$ = Η συσσώρευση της ουσίας Α στον αντιδραστήρα

Όπως είναι γνωστό, στον αντιδραστήρα συνεχούς έργου πλήρους ανάδευσης, η συγκέντρωση μιας ουσίας στην έξοδο σε κάποια χρονική στιγμή ισούται με τη συγκέντρωση της ουσίας αυτής μέσα στον αντιδραστήρα, την προκειμένη χρονική στιγμή. Έτσι προκύπτει η διαφορική εξίσωση (6), που είναι πρώτου βαθμού ως προς χρόνο, και η λύση της οποίας μας δίνει τη συνάρτηση $C_A = f(t)$ που δίνεται παρακάτω [27] :

$$C_A = \frac{FCo + NV_{avr}r_A}{F} - \frac{NV_{avr}r_A}{F} * e^{-F/V_{avr}t}$$

Η παραπάνω συνάρτηση σε μόνιμες συνθήκες του αντιδραστήρα, όταν δηλαδή η συσσώρευση είναι μηδέν, λαμβάνει την τιμή $C_{\max} = \frac{FCo + NV_{avr}r_A}{F}$. Η τιμή αυτή προκύπτει για $t \rightarrow \infty$, στην οποία η γραφική παράσταση της συνάρτησης $C_A = f(t)$ φτάνει σε πλάτύ, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.



Σχήμα 6 : Μεταβολή της συγκέντρωσης μιας ουσίας A του εκπνεόμενου αέρα συναρτήσει του χρόνου σε αντιδραστήρα συνεχούς έργου πλήρους ανάδευσης

Η συγκέντρωση δηλαδή μιας ουσίας A του εκπνεόμενου αέρα στο χώρο εγκλωβισμού εξαρτάται από πολλές μεταβλητές όπως είναι ο αριθμός των ατόμων N , η ανανέωση του αέρα F , η αρχική συγκέντρωση της ουσίας A C_0 , ο ρυθμός παραγωγής της ουσίας r_A , ο όγκος εγκλωβισμού $V_{αντ}$ και ο χρόνος εγκλωβισμού t .

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 2

Εύρεση της σχέσης $C_A = f(t)$ για το CO_2 του εκπνεόμενου αέρα ενός εγκλωβισμένου που βρίσκεται σε μικρόχωρο εγκλωβισμού όγκου 2000 L, με βάση το μοντέλο αντιδραστήρα συνεχούς έργου πλήρους ανάδευσης.

Δίνονται :

$$MB\ CO_2 = 44$$

$$P = 1\text{ atm}$$

$$T = 12,3\ ^\circ\text{C}$$

$$F = 5 \frac{L}{\text{min}} \text{ ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα}$$

$C_0 = 320\text{ ppm } CO_2$ στον όγκο του αντιδραστήρα αρχικά (συγκέντρωση περιβάλλοντος)

Ο όγκος του αντιδραστήρα, δηλαδή ο όγκος μέσα στον οποίο θα συσσωρεύεται το CO₂ θα είναι ο όγκος του μικρόχωρου εγκλωβισμού μείον τον όγκο που καταλαμβάνει ο άνθρωπος. Άρα ο όγκος του αντιδραστήρα θα είναι :

$$V_{avt} = 2000 - 100 \text{ L} = 1900 \text{ L}$$

Η σχέση που θα χρησιμοποιήσουμε είναι αυτή που ισχύει για το μοντέλο συνεχούς έργου :

$$C_A = \frac{FC_0 + V_{avt}r_A}{F} - \frac{V_{avt}r_A}{F} * e^{-F/V_{avt} t} \quad (III)$$

Ο ρυθμός παραγωγής του CO₂ θεωρούμε ότι είναι σταθερός. Η διαδικασία που ακολουθείται για τον υπολογισμό του, είναι η ίδια ακριβώς με αυτή που ακολουθείται στην εφαρμογή 1.

Έτσι ο ρυθμός παραγωγής του CO₂ στον όγκο του αντιδραστήρα είναι :

$$r_A = \frac{n}{V_{αντιδραστήρα}} \Rightarrow r_A = 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{min}} * \frac{1}{2331 \text{ L}} = 5,2 \times 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L} * \text{min}} = 0,228 \frac{\text{ppm}}{\text{min}}$$

Όπως αναφέρθηκε η ροή εισόδου του αέρα στον αντιδραστήρα ισούται με τη ροή εξόδου. Έτσι με αριθμητική αντικατάσταση στη σχέση (III) προκύπτει η $C_A = f(t)$:

$$C_A = 411 - 91,2e^{-0,0025t} \text{ σε ppm } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \quad (IV)$$

Όπου ο χρόνος t δίνεται σε min.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΧΩΡΟΥ ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΟΥ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΠΛΗΡΟΥΣ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ

Στο μοντέλο του αντιδραστήρα συνεχούς έργου όπως και στο μοντέλο του διαλείποντος έργου θεωρούμε πλήρη ανάδευση. Ως γνωστό όταν υπάρχει ανάδευση υπάρχει τύρβη και επομένως παρατηρούνται έντονα φαινόμενα μεταφοράς μάζας. Στην πλήρη ανάδευση η συγκέντρωση μιας ουσίας του εκπνεόμενου αέρα είναι ίδια σε οποιοδήποτε σημείο του χώρου του αντιδραστήρα για ορισμένη τιμή του χρόνου, ανεξάρτητα από τις συντεταγμένες του σημείου.

Θεωρώντας επομένως ότι υπάρχει πλήρης ανάδευση γίνεται η παραδοχή ότι η συγκέντρωση μιας ουσίας που παράγεται στον αντιδραστήρα είναι ανεξάρτητη του χώρου και εξαρτάται μόνο από το χρόνο. Η παραδοχή αυτή απλοποιεί αρκετά το πρόβλημα, όμως το ζήτημα είναι κατά πόσο το φαινόμενο της πλήρους ανάδευσης μπορεί πράγματι να υπάρξει στο μικρόχωρο εγκλωβισμού.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το πραγματικό φαινόμενο στο χώρο του εγκλωβισμού πιθανότατα να είναι πιο σύνθετο και να περιλαμβάνει συνδυασμό μεταφοράς μάζας και διάχυσης. Η μοριακή διάχυση περιγράφεται από το νόμο του Fick και θεωρεί ότι η συγκέντρωση μιας ουσίας του εκπνεόμενου αέρα είναι συνάρτηση τόσο του χρόνου όσο και του χώρου κάνοντας έτσι το πρόβλημα πιο πολύπλοκο. Τα παραπάνω διαπιστώνονται πειραματικά και σχολιάζονται εκτενώς στην επόμενη ενότητα.

Π Ε Ι Ρ Α Μ Α Τ Ι Κ Ο Μ Ε Ρ Ο Σ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Όπως είναι αναμενόμενο, η διεξαγωγή πειραμάτων στο χώρο των ερειπίων και ο εικονικός εγκλωβισμός ατόμων για την επαλήθευση ή διάψευση των θεωρητικών μοντέλων που αναπτύχθηκαν στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάζει δυσκολίες για να πραγματοποιηθεί. Σε μια προσπάθεια λοιπόν να προσομοιωθούν οι συνθήκες του εγκλωβισμού, επιλέχθηκε ως χώρος διεξαγωγής πειραμάτων η καμπίνα ενός αυτοκινήτου που θεωρήθηκε ως χώρος εγκλωβισμού.

Όπως έχει αναφερθεί, τόσο στον εκπνεόμενο αέρα όσο και στις εκκρίσεις του ανθρώπου ανιχνεύονται αέρια και πτητικές οργανικές ουσίες (VOCs), κάποιες από τις οποίες μπορεί να είναι και εξωγενείς ενώ άλλες είναι μόνο ενδογενείς. Τα πειράματα που έγιναν στο αυτοκίνητο αποσκοπούν στον προσδιορισμό του CO₂ που παράγεται κατά την παραμονή ενός ατόμου μέσα στην καμπίνα για κάποιο χρόνο. Πραγματοποιήθηκαν 4 σειρές μετρήσεων και επειδή το CO₂ ως γνωστό βρίσκεται και στο περιβάλλον, σε όλα τα πειράματα προσδιορίστηκε η αρχική συγκέντρωσή του στο χώρο της καμπίνας, πριν εισέλθει σε αυτή ο άνθρωπος.

Πιο συγκεκριμένα :

► Η πρώτη σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε στην καμπίνα του αυτοκινήτου, με ανοικτά μόνο τα παράθυρα του οδηγού και του συνοδηγού κατά 1cm και με κλειστούς τους αεραγωγούς. Συγκεκριμένα μετρήθηκε η συγκέντρωση του CO₂ ανά 5 min σε τέσσερα σημεία του χώρου της καμπίνας, που δεν βρίσκονταν στο ίδιο επίπεδο.

Η δειγματοληψία στα τέσσερα σημεία διήρκεσε συνολικά 1min. Αρχικά αφέθηκε ο σωλήνας δειγματοληψίας για 15 sec στη θέση 1 και λήφθηκε μέτρηση. Το ίδιο επαναλήφθηκε αμέσως μετά και για τις υπόλοιπες θέσεις. Συνεπώς σε 1 min

ελήφθησαν 4 μετρήσεις, κάνοντας την παραδοχή της λήψης δείγματος σε τέσσερις διαφορετικές θέσεις στον ίδιο όμως χρόνο.

Το σημείο 1, ήταν η σημειακή πηγή παραγωγής CO₂, δηλαδή το στόμα του ανθρώπου-εθελοντή που καθόταν στη θέση του συνοδηγού. Το σημείο 2 βρισκόταν στο παρμπρίζ μπροστά από τη θέση του συνοδηγού σε απόσταση 65 cm από την πηγή. Το σημείο 3 βρισκόταν στην πόρτα του οδηγού σε απόσταση 1m από την πηγή και το σημείο 4 βρισκόταν στο πίσω κάθισμα σε απόσταση 1m από την πηγή.

► Η δεύτερη σειρά μετρήσεων ήταν όμοια με την πρώτη, μόνο που το μοναδικό ανοικτό παράθυρο ήταν αυτό του συνοδηγού με άνοιγμα για να χωράει ο σωλήνας δειγματοληψίας διαμέτρου 3mm.

► Η τρίτη σειρά μετρήσεων διέφερε από τις προηγούμενες δύο στον τρόπο δειγματοληψίας. Αυτή τη φορά ο σωλήνας δειγματοληψίας παρέμεινε σταθερός στη θέση 1 για μια ώρα και λαμβάνονταν μετρήσεις της συγκέντρωσης του CO₂ ανά 1 min για τα πρώτα 15 min και στη συνέχεια ανά 5 min.

Μετά το πέρας της μιας ώρας ανοίχθηκαν τα παράθυρα του αυτοκινήτου ώστε η συγκέντρωση του CO₂ μέσα στην καμπίνα να εξισωθεί με αυτή του περιβάλλοντος και λήφθηκε νέα μέτρηση για την αρχική συγκέντρωση του CO₂ στο χώρο της καμπίνας. Ο εθελοντής κάθισε εκ νέου στη θέση του συνοδηγού και η δειγματοληψία στη θέση 2 πραγματοποιήθηκε με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, όπως προηγούμενα. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τη δειγματοληψία στις θέσεις 3 και 4.

Το μόνο ανοικτό παράθυρο ήταν του συνοδηγού με άνοιγμα για να χωράει ο σωλήνας δειγματοληψίας διαμέτρου 3mm, ενώ οι αεραγωγοί ήταν κλειστοί.

► Η τέταρτη σειρά μετρήσεων διέφερε από τις υπόλοιπες τόσο ως προς τον τρόπο δειγματοληψίας όσο και ως προς τις θέσεις δειγματοληψίας. Συγκεκριμένα η θέση 1 ήταν το σημείο που βρίσκεται στο μέσο του παράθυρου του συνοδηγού, όταν αυτό είναι ανοιχτό 5mm.

Όταν λαμβανόταν δείγμα στη θέση 1 τα υπόλοιπα παράθυρα ήταν κλειστά, όπως και οι αεραγωγοί, και μόνο το παράθυρο του συνοδηγού ήταν ανοιχτό με άνοιγμα για να χωράει ο υποδοχέας του οργάνου, ο οποίος έχει διάμετρο 5mm. Όπως αναφέρθηκε, ο υποδοχέας βρισκόταν στο μέσο της σχισμής του παραθύρου και οι μετρήσεις της συγκέντρωσης του CO₂ που ελήφθησαν για τη θέση 1 ελήφθησαν ανά 1 min για 15 min.

Αφού ανοίχθηκαν τα παράθυρα του αυτοκινήτου ώστε η συγκέντρωση του CO₂ να εξισωθεί με αυτή του περιβάλλοντος, λήφθηκε νέα μέτρηση για την αρχική συγκέντρωση του CO₂ στο χώρο της καμπίνας. Ο εθελοντής κάθισε εκ νέου στη θέση του συνοδηγού και η δειγματοληψία στη θέση 2 πραγματοποιήθηκε με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, όπως προηγούμενα. Η θέση 2 ήταν το μέσο της σχισμής του παραθύρου που βρίσκεται πίσω από τη θέση του συνοδηγού. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε και για τη θέση 3, δηλαδή το μέσο της σχισμής του παραθύρου που βρίσκεται πίσω από τη θέση του οδηγού και για τη θέση 4, δηλαδή το μέσο της σχισμής του παραθύρου του οδηγού.

Και στα τέσσερα πειράματα οι αεραγωγοί ήταν κλειστοί.

ΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με το φορητό ανιχνευτή CO₂ Anagas CD 98, που είναι ανιχνευτής υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η περιοχή μετρήσεως του οργάνου είναι από 0-10.000 ppm και το βήμα του είναι 10 ppm. Επομένως το εύρος μέτρησης, δηλαδή ο συνολικός αριθμός μονάδων από τη μικρότερη ως τη μεγαλύτερη τιμή που μπορεί να μετρήσει το όργανο, είναι 1000 μονάδες.

Η ακρίβεια του οργάνου είναι συνδεδεμένη με το εύρος της μέτρησης και δείχνει πόσο κοντά στην πραγματική τιμή της μεταβλητής αναμένεται να βρίσκεται η ένδειξη του οργάνου. Στην προκειμένη περίπτωση η ακρίβεια είναι 1%. Το σφάλμα της μέτρησης, δηλαδή η διαφορά της πραγματικής τιμής από την ένδειξη του οργάνου, είναι ± 10 ppm.[28]

Ο παραπάνω ανιχνευτής είναι συνδεδεμένος με πλαστικό σωλήνα δειγματοληψίας μήκους 4 m, εξωτερικής διαμέτρου 3 mm και εσωτερικής διαμέτρου περίπου 1mm. Στον ανιχνευτή είναι προσαρμοσμένο ένα φίλτρο από PTFE, το οποίο συγκρατεί την υγρασία και τα αιωρούμενα σωματίδια. Η ροή της αντλίας του ανιχνευτή με προσαρμοσμένο φίλτρο και 4m σωλήνα μετρήθηκε ίση με $0.13 \frac{L}{min}$. Προκειμένου να υπολογιστεί ο χρόνος που χρειάζεται για να κινηθεί το δείγμα μέσα

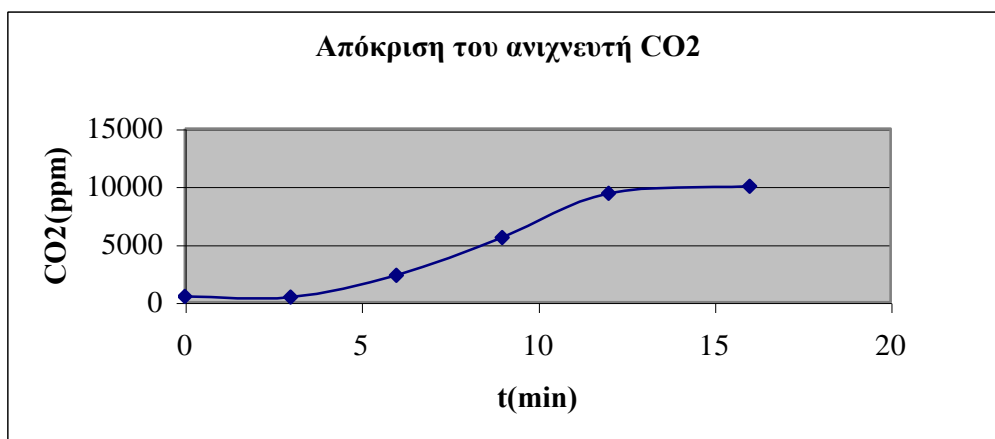
στο σωλήνα δειγματοληψίας και στη συνέχεια να ανιχνευθεί από το όργανο, έγινε το πείραμα που περιγράφεται στη συνέχεια.

Ο σωλήνας δειγματοληψίας συνδέθηκε με φύσιγγα των 10 mL υψηλής περιεκτικότητας σε CO₂ 10% και ανά 3 sec λαμβανόταν ένδειξη μέχρι αυτή να γίνει ίση με 10.000 ppm, όση είναι δηλαδή η μέγιστη ένδειξη του οργάνου. Τα αποτελέσματα του πειράματος αυτού μας δίνουν το συνολικό χρόνο υστέρησης του ανιχνευτή, δηλαδή το χρόνο που χρειάζεται για την απόκριση του οργάνου.

Πίνακας 4: Μετρήσεις CO₂ για να υπολογιστεί ο χρόνος υστέρησης του ανιχνευτή

t (min)	CO2 (ppm)
0	510
3	460
6	2340
9	5600
12	9390
15	10000

Μετά την επεξεργασία των μετρήσεων του πίνακα 4 προκύπτει το διάγραμμα του σχήματος 7, όπου όπως φαίνεται η μεταβολή της συγκέντρωσης του CO₂ με το χρόνο είναι μια σιγμοειδής καμπύλη.[27]

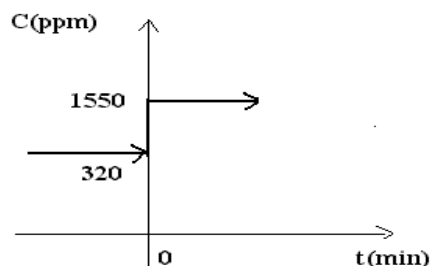


Σχήμα 7 : Διάγραμμα μεταβολής της συγκέντρωσης του CO₂ με το χρόνο για τον υπολογισμό του συνολικού χρόνου υστέρησης του ανιχνευτή

Από τη βιβλιογραφία [28] προκύπτει ότι η καμπύλη του σχήματος 7 είναι ίδια με αυτή της απόκρισης ενός οργάνου που έχει δυναμική συμπεριφορά Β΄ τάξης, όταν στην είσοδό του επιβληθεί βαθμωτή διαταραχή. Βαθμωτή διαταραχή έχουμε όταν η είσοδος μεταβληθεί αιφνίδια από μια τιμή ισορροπίας σε μια νέα τιμή.

Στην περίπτωση που εξετάζουμε, η συγκέντρωση του CO₂ στην είσοδο αρχικά είναι αυτή της ατμόσφαιρας, δηλαδή περίπου 320 ppm που θεωρείται η τιμή ισορροπίας. Μετά από μια εκπνοή κοντά στο σωλήνα δειγματοληψίας η τιμή της ισορροπίας αυξάνεται απότομα σε μια νέα τιμή, για παράδειγμα 1550 ppm.

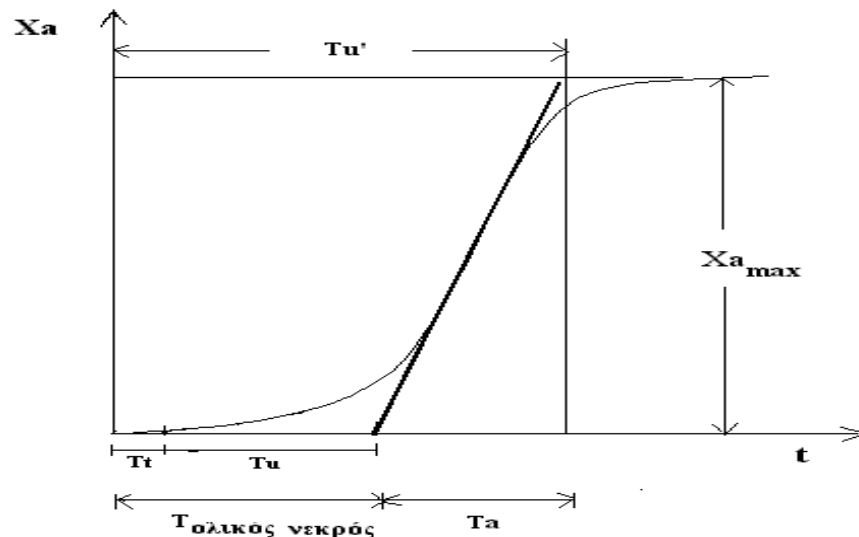
Επομένως μπορούμε να πούμε ότι η είσοδος που επιβάλλεται στον ανιχνευτή CO₂ είναι όντως μια βαθμωτή διαταραχή, όπως φαίνεται και στο σχήμα 8. Στο σχήμα 19 δίνεται με βάση τη βιβλιογραφία η απόκριση ενός οργάνου μέτρησης με δυναμική συμπεριφορά Β΄τάξης σε βαθμωτή διαταραχή και υπολογίζεται ο συνολικός χρόνος υστέρησης.[28]



Σχήμα 8 : Βαθμωτή διαταραχή ως είσοδος στον ανιχνευτή CO₂

Όπως φαίνεται στο σχήμα 9, στη σιγμοειδή καμπύλη φέρεται εφαπτόμενη ευθεία, η οποία τέμνει τον άξονα του χρόνου. Ο χρόνος T_t λέγεται νεκρός χρόνος και ο T_t χρόνος επιβραδύνσεως. Το άθροισμα των χρόνων T_t και T_u μας δίνει τον ολικό νεκρό χρόνο, ο οποίος στην περίπτωση του ανιχνευτή CO₂ ισούται με το χρόνο που κάνει το δείγμα για να κινηθεί μέσα στο σωλήνα των 4 m μέχρι να φτάσει στον ανιχνευτή και που σύμφωνα με το σχήμα 7 ο χρόνος αυτός είναι 3 sec. Ο T_a είναι ο χρόνος εκκίνησης, δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται για την ανίχνευση του CO₂ από το όργανο και σύμφωνα με το σχήμα 7 ο χρόνος αυτός είναι 9 sec.

Επομένως, ο συνολικός χρόνος υστέρησης T_u για τον ανιχνευτή CO₂ είναι 12sec. Αν λοιπόν ζητείται η τιμή της συγκέντρωσης του CO₂ σε κάποιο σημείο του χώρου για συγκεκριμένο χρόνο παραμονής ενός ανθρώπου στο χώρο αυτό, όπως για παράδειγμα για 15min, τότε η ένδειξη του οργάνου που λαμβάνεται είναι αυτή για χρόνο 15min και 12 sec.



Σχήμα 9 : Απόκριση X_a ενός οργάνου μέτρησης με δυναμική συμπεριφορά Β΄τάξης σε επιβαλλόμενη βαθμωτή διαταραχή.[28]

Σημειώνεται ότι σε όλες τις σειρές μετρήσεων με τον ανιχνευτή CO_2 , ο χρόνος υστέρησης του οργάνου έχει ληφθεί υπόψη και μάλιστα για αποφυγή πειραματικού σφάλματος έχει θεωρηθεί ότι είναι 15 sec και όχι 12 sec.

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΤΟΝ ΑΝΙΧΝΕΥΤΗ CO_2

Στις 4 σειρές μετρήσεων με τον ανιχνευτή CO_2 ακολουθήθηκε ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο, το οποίο καθορίζει με ακρίβεια τις πειραματικές συνθήκες καθώς και τις θέσεις δειγματοληψίας. Το πρωτόκολλο χρησιμοποιείται προκειμένου να εξασφαλισθεί η επαναληψιμότητα των μετρήσεων και παρατίθεται στη συνέχεια :

- **Πειραματικές συνθήκες**

Ημερομηνία :

Ωρα :

Θερμοκρασία περιβάλλοντος :

Υγρασία περιβάλλοντος:

Ταχύτητα ανέμου :

Κατεύθυνση ανέμου :

Βαρομετρική πίεση :

Όγκος της καμπίνας του αυτοκινήτου :

Στεγανότητα του χώρου :

	Πλήρης	Μερική	Ελάχιστη
Προσανατολισμός αυτοκινήτου :			
Μήκος σωλήνα δειγματοληψίας :			
Αεραγωγοί :			
	Κλειστοί	Ανοιχτοί	Μερικώς ανοιχτοί
Παράθυρα :			
	Κλειστά	Ανοιχτά	Μερικώς ανοιχτά

Άλλες παρατηρήσεις :

- **Θέσεις δειγματοληψίας**

Θέση 1 : στόμα

Θέση 2 : παρμπρίζ στη θέση του συνοδηγού

Θέση 3 : πόρτα του οδηγού

Θέση 4 : πίσω κάθισμα

Φορτίο : 1 άτομο στη θέση του συνοδηγού

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

1. Πρώτη σειρά μετρήσεων

Ημερομηνία : 25/4/2002

Ωρα : 12: 15

Θερμοκρασία : 12,3° C

Υγρασία : 83 %

Ταχύτητα ανέμου : 1,7 m/s

Κατεύθυνση ανέμου : Βόρεια

Βαρομετρική πίεση (Σταθμός μέτρησης) : 992,4 hPa

Όγκος της καμπίνας του αυτοκινήτου : 2000 L

Στεγανότητα του χώρου :

Πλήρης

Μερική

Ελάχιστη

Προσανατολισμός αυτοκινήτου : Νότος

Μήκος σωλήνα δειγματοληψίας: 4 m

Αεραγωγοί :

Κλειστοί

Ανοιχτοί

Μερικώς ανοιχτοί

Παράθυρα :

Κλειστά

Ανοιχτά

Μερικώς ανοιχτά

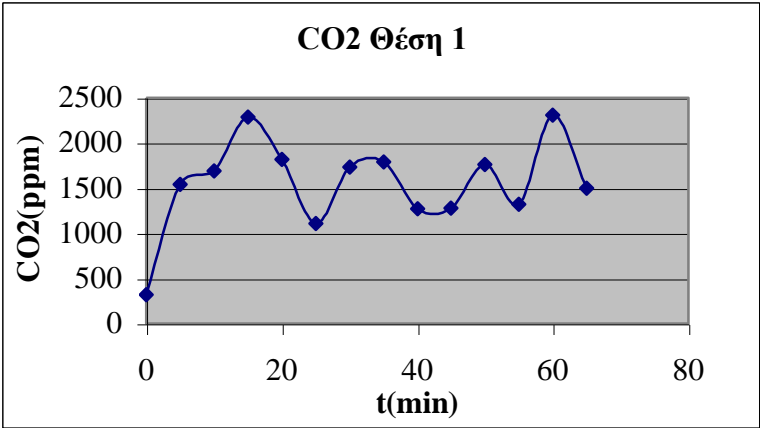
Άλλες παρατηρήσεις :

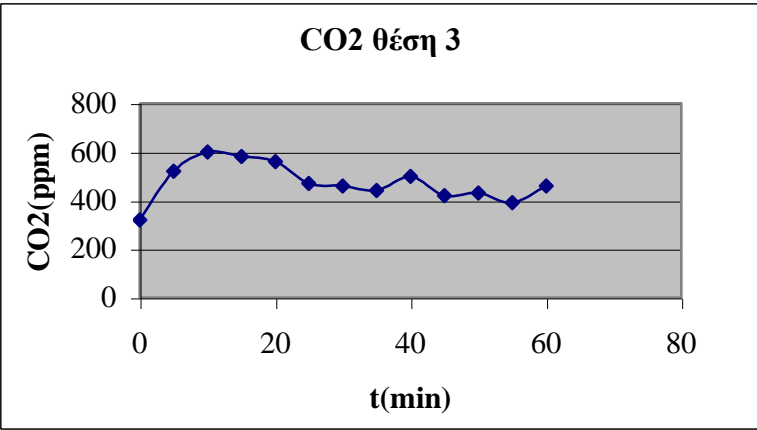
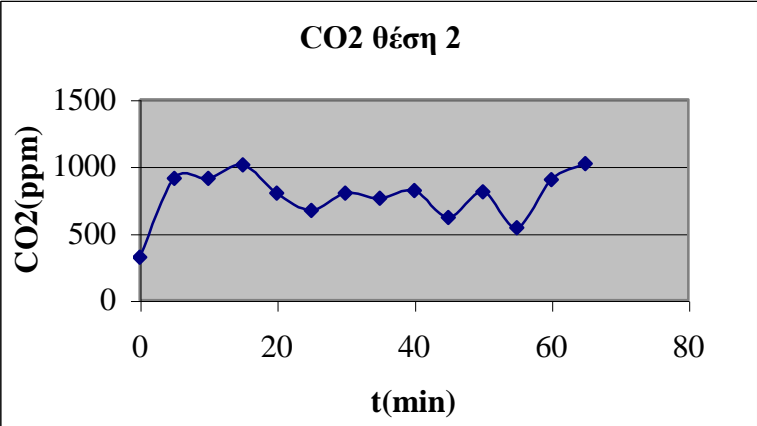
- Ανοικτά μόνο τα παράθυρα του οδηγού και του συνοδηγού 1cm
- Μέτρηση συγκέντρωσης CO₂ ανά 5 min για κάθε θέση 1, 2, 3, 4.

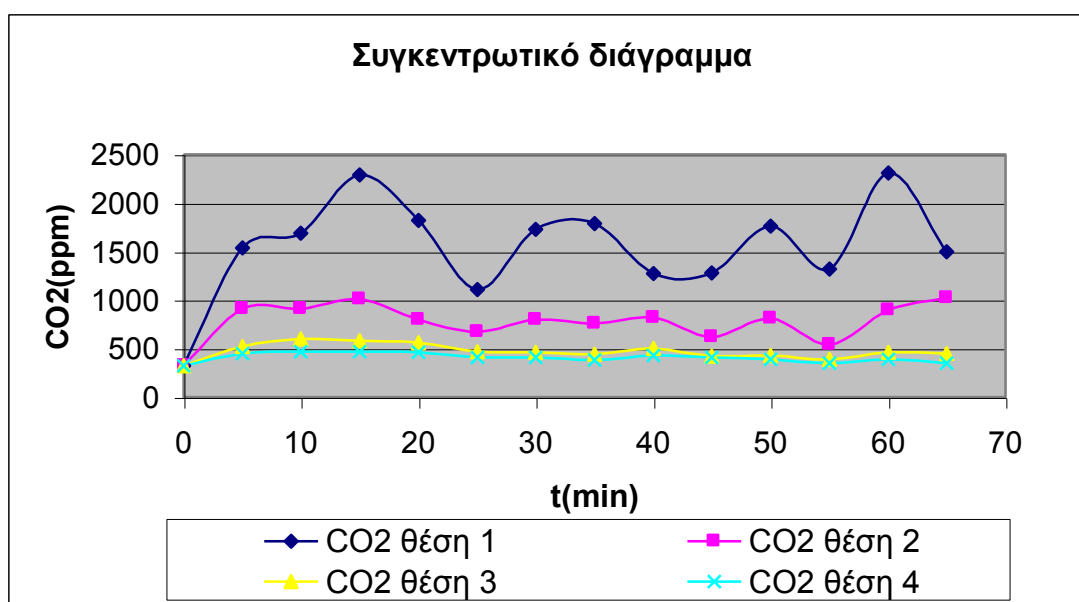
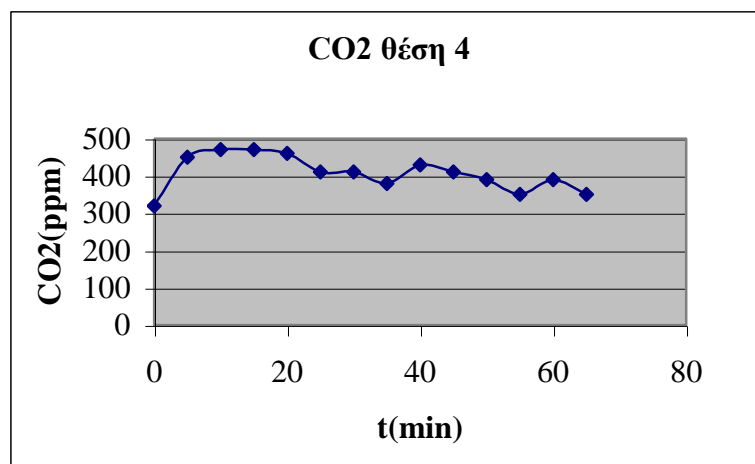
Πίνακας 5 : Μετρήσεις CO₂

<i>t</i> (min)	CO ₂ θέση 1 (ppm)	CO ₂ θέση 2 (ppm)	CO ₂ θέση 3 (ppm)	CO ₂ Θέση 4 (ppm)
0	320	320	320	320
5	1540	910	520	450
10	1690	910	600	470
15	2290	1010	580	470
20	1820	800	560	460
25	1110	670	470	410
30	1730	800	460	410
35	1790	760	440	380
40	1270	820	500	430
45	1280	620	420	410
50	1760	810	430	390
55	1320	540	390	350
60	2310	900	460	390
65	1500	1020	450	350

Επεξεργασία των μετρήσεων







2. Δεύτερη σειρά μετρήσεων

Ημερομηνία : 13/5/2002

Ωρα : 13:00

⁴Θερμοκρασία : 20,7 °C

Υγρασία : 44,0 %

Ταχύτητα ανέμου : 4,2 m/s

Κατεύθυνση ανέμου : Νοτιοδυτικά

Βαρομετρική πίεση (Σταθμός μέτρησης) : 987,0 hPa

Όγκος της καμπίνας του αυτοκινήτου: 2000 L

Στεγανότητα του χώρου :

Πλήρης Μερική Ελάχιστη

Προσανατολισμός αυτοκινήτου : Νότος

Μήκος σωλήνα δειγματοληψίας : 4 m

Αεραγωγοί :

Κλειστοί Ανοιχτοί Μερικώς ανοιχτοί

Παράθυρα :

Κλειστά Ανοιχτά Μερικώς ανοιχτά

⁴ Η πηγή πληροφοριών για τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου και τη βαρομετρική πίεση σε όλα τα πειράματα είναι ο αριθμός [46] της βιβλιογραφίας.

Άλλες παρατηρήσεις :

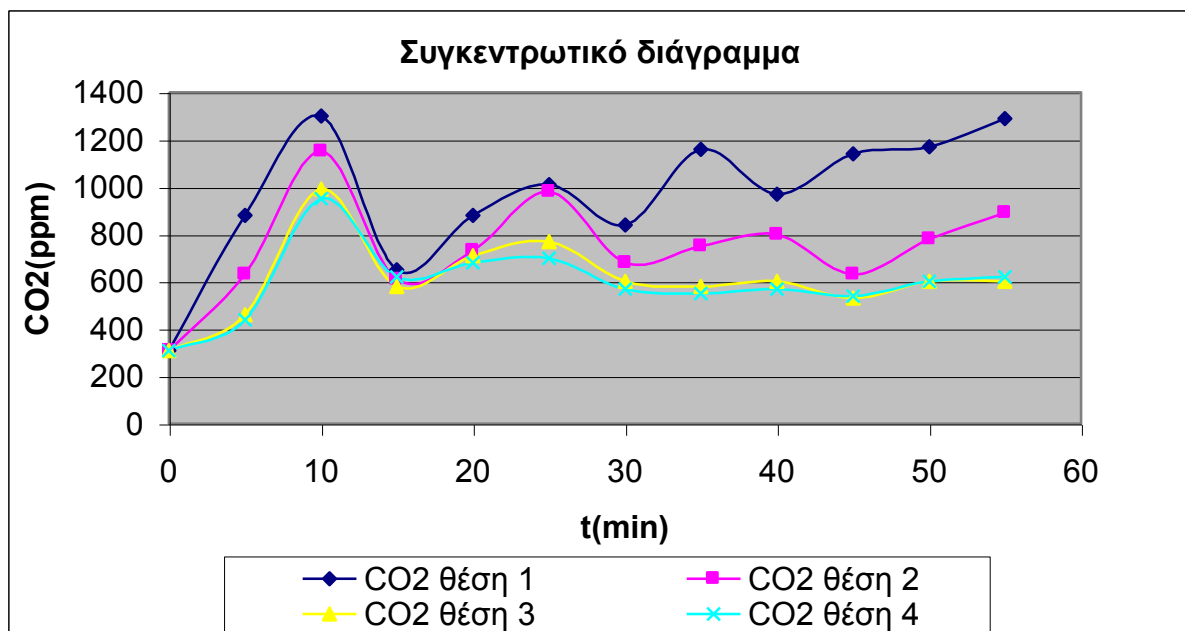
- Ανοικτό μόνο τα παράθυρο του συνοδηγού με άνοιγμα 3mm, για να χωράει ο σωλήνας δειγματοληψίας.

Πίνακας 6 : Μετρήσεις CO₂

<i>t</i> (min)	<i>CO₂ θέση 1</i> (ppm)	<i>CO₂ θέση 2</i> (ppm)	<i>CO₂ θέση 3</i> (ppm)	<i>CO₂ θέση 4</i> (ppm)
0	310	310	310	310
5	880	630	460	440
10	1300	1150	990	950
15	650	610	580	620
20	880	730	710	680
25	1010	980	770	700
30	840	680	600	570

35	1160	750	580	550
40	970	800	600	570
45	1140	630	530	540
50	1170	780	600	600
55	1290	890	600	620

Επεξεργασία των μετρήσεων



3. Τρίτη σειρά μετρήσεων

Ημερομηνία : 24/5/2002

Ωρα : 13:00

Θερμοκρασία : 25,8 °C

Υγρασία : 31,3 %

Ταχύτητα ανέμου : 2,7 m/s

Κατεύθυνση ανέμου : Βορειοανατολικά

Βαρομετρική πίεση (Σταθμός μέτρησης) : 987,4 hPa

Όγκος του χώρου διεξαγωγής του πειράματος : 2000 L

Στεγανότητα του χώρου :

Πλήρης

Μερική

Ελάχιστη

Προσανατολισμός αυτοκινήτου : Ανατολή

Μήκος σωλήνα δειγματοληψίας : 4 m

Αεραγωγοί :

Κλειστοί

Ανοιχτοί

Μερικώς ανοιχτοί

Παράθυρα :

Κλειστά

Ανοιχτά

Μερικώς ανοιχτά

Άλλες παρατηρήσεις :

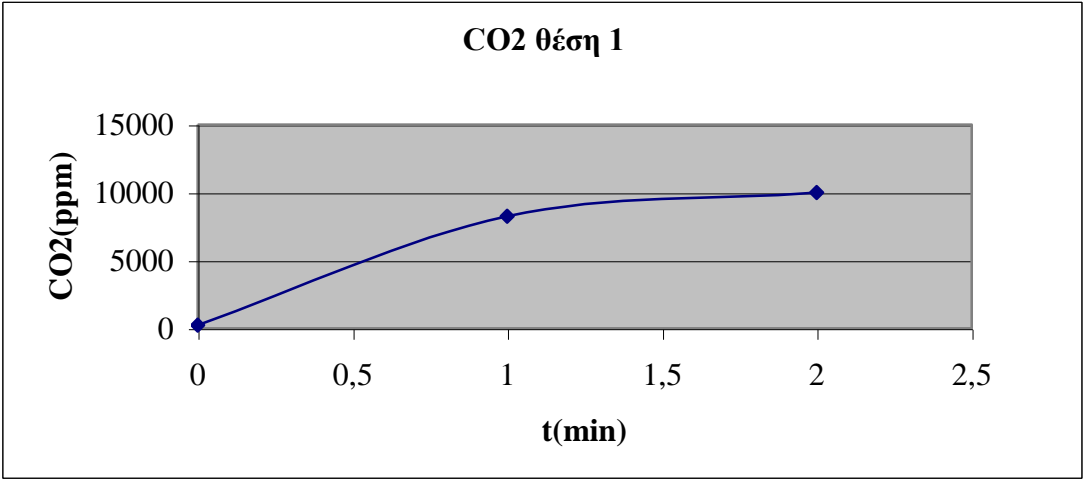
- Ανοικτό μόνο τα παράθυρο του συνοδηγού με άνοιγμα 3mm, για να χωράει ο σωλήνας δειγματοληψίας.
- Μέτρηση της συγκέντρωσης του CO₂ ανά 1 min για τα πρώτα 15 min και στη συνέχεια ανά 5 min, έχοντας το σωλήνα σταθερό στη θέση 1. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε και για τη θέση 2.

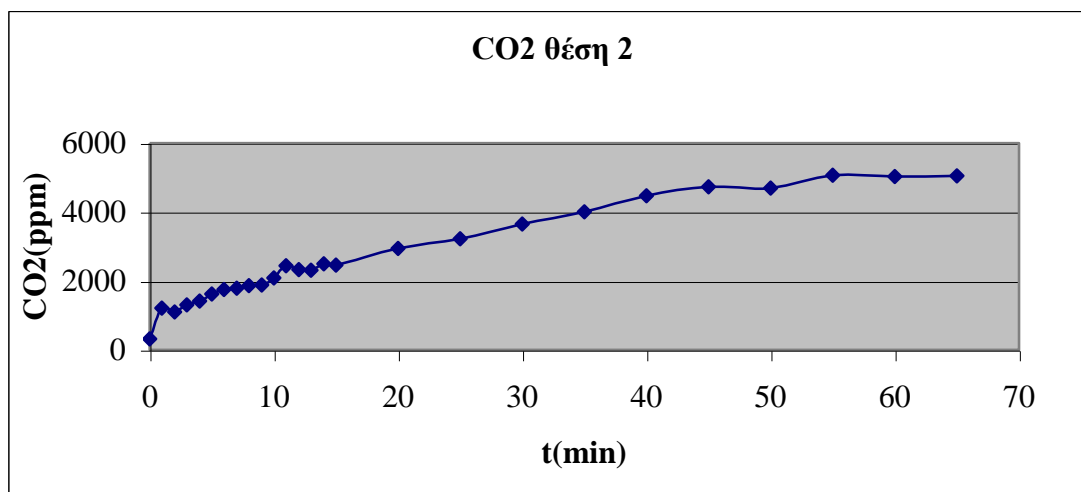
Πίνακας 7 : Μετρήσεις CO₂

t (min)	CO₂ θέση 1 (ppm)	CO₂ θέση 2 (ppm)
0	250	310
1	8250	1220
2	10000	1100
3	10000	1300
4	10000	1410
5	10000	1620
6	10000	1750
7	10000	1790
8	10000	1870
9	10000	1890
10	10000	2080

11	10000	2450
12	10000	2330
13	10000	2310
14	10000	2500
15	10000	2460
20	10000	2950
25	10000	3220
30	10000	3650
35	10000	4000
40	10000	4470
45	10000	4740
50	10000	4700
55	10000	5070
60	10000	5030

Επεξεργασία των μετρήσεων





Ημερομηνία : 27/5/2002

Ωρα : 13:00

Θερμοκρασία : 20,8 °C

Υγρασία : 66,3 %

Ταχύτητα ανέμου : 4,6 m/s

Κατεύθυνση ανέμου : Νοτιοανατολικά

Ατμοσφαιρική πίεση : 1 atm

Όγκος του χώρου διεξαγωγής του πειράματος : 2000 L

Στεγανότητα του χώρου :

Πλήρης

Μερική

Ελάχιστη

Προσανατολισμός αυτοκινήτου : Ανατολή

Μήκος σωλήνα δειγματοληψίας : 4 m

Αεραγωγοί :

Κλειστοί

Ανοιχτοί

Μερικώς ανοιχτοί

Παράθυρα :

Κλειστά

Ανοιχτά

Μερικώς ανοιχτά

Άλλες παρατηρήσεις :

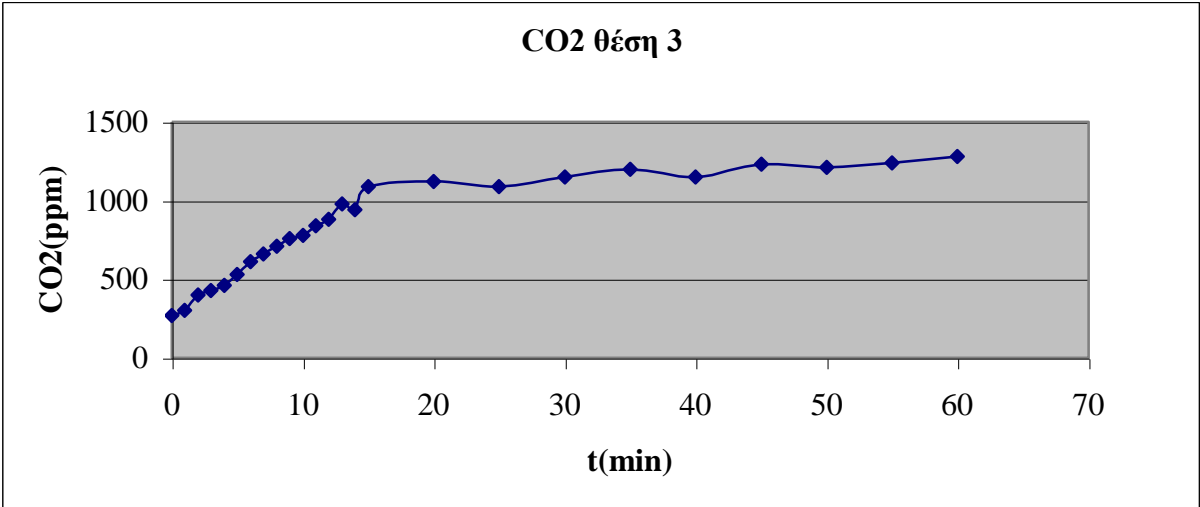
- Ανοικτό μόνο τα παράθυρο του συνοδηγού με άνοιγμα 3mm, για να χωράει ο σωλήνας δειγματοληψίας.
- Μέτρηση της συγκέντρωσης του CO₂ ανά 1 min για τα πρώτα 15 min και στη συνέχεια ανά 5 min, έχοντας το σωλήνα σταθερό στη θέση 3. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε και για τη θέση 4.

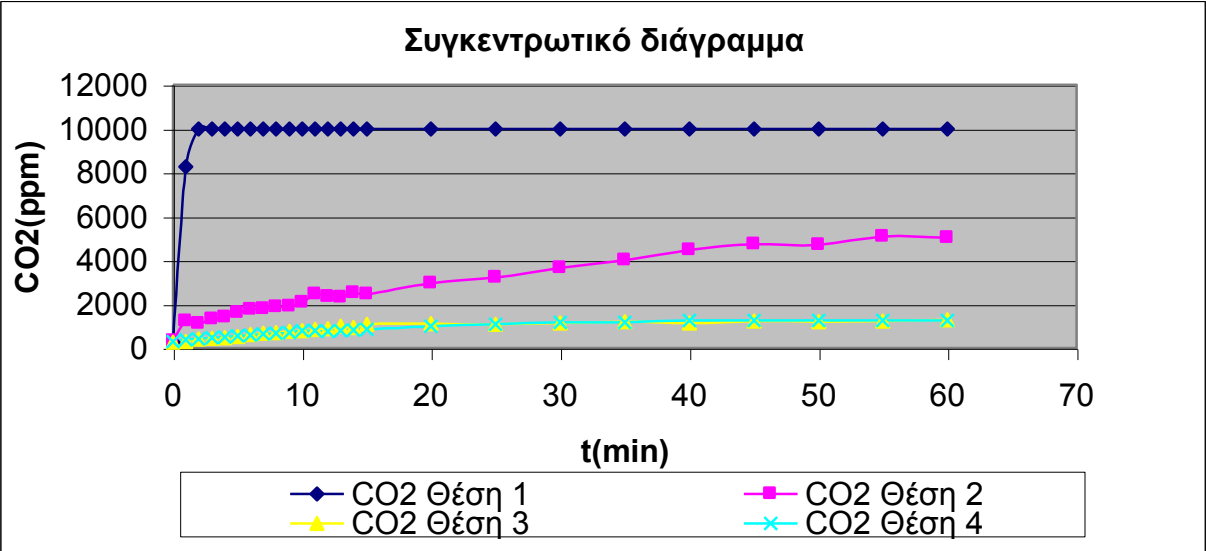
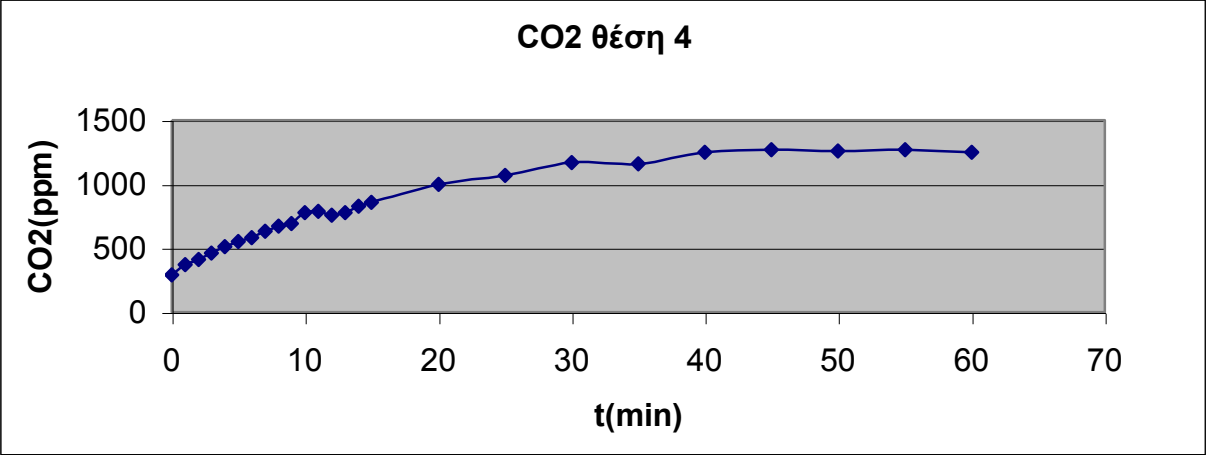
Πίνακας 11 : Μετρήσεις CO₂

t (min)	CO₂ θέση 3 (ppm)	CO₂ θέση 4 (ppm)
0	270	290
1	300	370
2	400	410
3	430	460
4	460	510
5	530	550
6	610	580
7	660	630
8	710	670
9	760	690
10	780	780
11	840	790
12	880	760
13	980	780
14	940	830
15	1090	860
20	1120	1000
25	1050	1070
30	1150	1170

35	1200	1160
40	1150	1250
45	1230	1270
50	1210	1260
55	1240	1270
60	1280	1250

Επεξεργασία των μετρήσεων





4. Τέταρτη σειρά μετρήσεων

Ημερομηνία : 14/5/2002

Ωρα : 10:30

Θερμοκρασία : 21,9 °C

Υγρασία : 24,7%

Ταχύτητα ανέμου : 4,6 m/s

Κατεύθυνση ανέμου : Βορειοδυτικά

Βαρομετρική πίεση : 992,6 hPa

Όγκος της καμπίνας του αυτοκινήτου : 2000 L

Στεγανότητα του χώρου :

	Πλήρης	<u>Μερική</u>	Ελάχιστη
Προσανατολισμός αυτοκινήτου :	Βορράς		
Μήκος σωλήνα δειγματοληψίας: όχι σωλήνας			
Αεραγωγοί :			
	<u>Κλειστοί</u>	Ανοιχτοί	Μερικώς ανοιχτοί
Παράθυρα :			
	Κλειστά	Ανοιχτά	<u>Μερικώς ανοιχτά</u>

Άλλες παρατηρήσεις :

- Ανοικτό μόνο τα παράθυρο του συνοδηγού με άνοιγμα για να χωράει η υποδοχή του ανιχνευτή.
- Μέτρηση της συγκέντρωσης του CO₂ ανά 1 min στις θέση 1. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε και για τις υπόλοιπες θέσεις.

Φορτίο : 1 άτομο στη θέση του συνοδηγού

Θέση 1 : παράθυρο συνοδηγού

Θέση 2 : παράθυρο πίσω από τη θέση του συνοδηγού

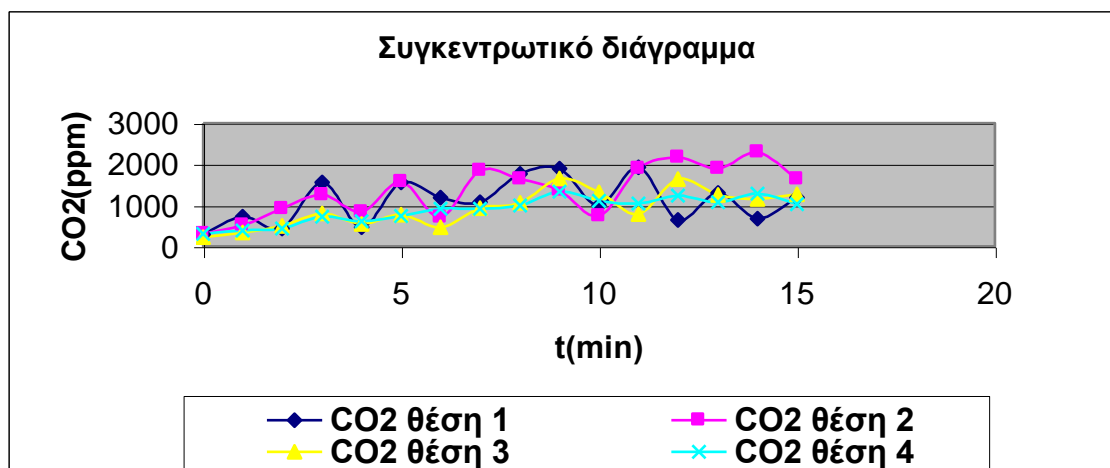
Θέση 3 : παράθυρο πίσω από τη θέση του οδηγού

Θέση 4 : παράθυρο οδηγού

Πίνακας 9 : Μετρήσεις CO₂

t (min)	CO₂ θέση 1 (ppm)	CO₂ θέση 2 (ppm)	CO₂ θέση 3 (ppm)	CO₂ θέση 4 (ppm)
0	290	310	230	300
1	720	520	330	390
2	430	920	500	430
3	1550	1250	800	720
4	470	840	540	610
5	1550	1570	770	740
6	1190	700	470	920
7	1080	1840	930	910
8	1760	1640	1060	1000
9	1900	1360	1660	1330
10	990	740	1310	1110
11	1920	1900	780	1050
12	640	2160	1630	1240
13	1300	1900	1250	1070
14	680	2300	1150	1290
15	1190	1640	1270	1030

Επεξεργασία των μετρήσεων



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Η καμπίνα του αυτοκινήτου, όπως αναφέρθηκε είναι ένας κλειστός χώρος και το γεγονός ότι δεν είναι απόλυτα στεγανός, τον καθιστά ακόμα πιο κατάλληλο για προσομοίωση του χώρου εγκλωβισμού, εφόσον ως γνωστό στα ερείπια υπάρχουν συνήθως δίοδοι απ' όπου κυκλοφορεί αέρας. Ο όγκος της καμπίνας ήταν περίπου ίσος με 2000 L δηλαδή 20 φορές ο όγκος του ανθρώπου.

Από την επεξεργασία όλων των σειρών μετρήσεων, προκύπτει ότι το CO₂ αυξάνεται κατά την παραμονή ενός ατόμου στην καμπίνα για κάποια ώρα. Επομένως το CO₂ μπορεί να μην είναι μια ουσία απόλυτα χαρακτηριστική για τον άνθρωπο, όπως το ισοπρένιο για παράδειγμα, όμως η αύξησή του σε ένα κλειστό χώρο μπορεί να είναι ενδεικτική της παρουσίας ανθρώπου. Άλλωστε από τη στιγμή που λυθεί το πρόβλημα υπολογισμού του CO₂ στο χώρο εγκλωβισμού συναρτήσει του χρόνου, ουσιαστικά θα μπορούν να υπολογιστούν με τον ίδιο τρόπο και όλα τα VOCs του εκπνεόμενου αέρα, όπως το ισοπρένιο, η ακετόνη, το εξάνιο κ.λ.π. Συνεπώς οι ουσίες που αναμένονται στο χώρο εγκλωβισμού μετά την πάροδο ορισμένου χρονικού διαστήματος και είναι προς ανίχνευση, είναι γνωστές.

Μετά την επεξεργασία της πρώτης και δεύτερης σειράς μετρήσεων προκύπτει ότι και στις τέσσερις θέσεις δειγματοληψίας η συγκέντρωση του CO₂ συναρτήσει του χρόνου αυξάνεται αρχικά αλλά στη συνέχεια παρατηρούνται μικρές αυξομειώσεις. Αυτό μπορεί να οφείλεται στον τρόπο δειγματοληψίας, δηλαδή στο γεγονός ότι ο σωλήνας δειγματοληψίας δεν παρέμεινε σταθερός σε κάθε σημείο καθ' όλη τη διάρκεια λήψης δείγματος αλλά μεταφερόταν από σημείο σε σημείο περιοδικά. Αυτή η μετακίνηση ίσως προκάλεσε διαταραχή του πεδίου της μέτρησης με αποτέλεσμα τις αυξομειώσεις που παρατηρήθηκαν.

Επίσης παρατηρούμε ότι στις πρώτες δύο σειρές μετρήσεων οι μεταβολές της συγκέντρωσης του CO₂ συναρτήσει του χρόνου δε διαφέρουν πολύ μεταξύ τους παρόλο που στη δεύτερη σειρά είναι ανοικτό μόνο το ένα παράθυρο του συνοδηγού ενώ στην πρώτη είναι ανοιχτά και τα δύο παράθυρα οδηγού και συνοδηγού. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι το άνοιγμα των παραθύρων είναι πολύ μικρό, δηλαδή της τάξης των χιλιοστών. Επομένως ο αέρας που μπαίνει από το άνοιγμα ίσως να είναι ελάχιστος και να μην επηρεάζει σημαντικά το πεδίο της μέτρησης, γι' αυτό και να μην διαφοροποιούνται πολύ οι δύο σειρές μετρήσεων.

Σημειώνεται ότι στην τρίτη σειρά μετρήσεων και συγκεκριμένα στον πίνακα 10 η συγκέντρωση του CO₂ στη θέση 1 από αρχική τιμή 250 ppm φτάνει μέσα σε 2 min τα 10.000 ppm που είναι και η μέγιστη τιμή που μπορεί να μετρήσει το όργανο. Αυτό σημαίνει ότι στην πραγματικότητα μετά τα 3 min η συγκέντρωση του CO₂ στη θέση 1 θα είναι μεγαλύτερη από 10.000 ppm. Επομένως το πλατό στη θέση 1 θα παρουσιάζεται στην πραγματικότητα για τιμή συγκέντρωσης μεγαλύτερη από 10.000 ppm αλλά αυτή η τιμή δε μπορεί να είναι γνωστή γιατί βρίσκεται εκτός της περιοχής μετρήσεως του οργάνου. Έτσι στο συγκεντρωτικό διάγραμμα της τρίτης σειράς μετρήσεων το πλατό που παρουσιάζεται για τη θέση 1 δεν είναι και το πραγματικό.

Στην εφαρμογή 2, επιλύεται το πρόβλημα του εγκλωβισμού ενός ατόμου μέσα στην καμπίνα του αυτοκινήτου για τις συνθήκες της πρώτης σειράς μετρήσεων του πειραματικού μέρους αυτής της εργασίας. Από τη σχέση (IV) της εφαρμογής 2 και για t ίσο με 65 min προκύπτει ότι η συγκέντρωση του CO₂ με βάση το θεωρητικό μοντέλο του αντιδραστήρα συνεχούς έργου είναι 393 ppm, ενώ η μέγιστη συγκέντρωση του CO₂ στο χώρο εγκλωβισμού φτάνει τα 411 ppm μετά από 2,6 ώρες. Παρατηρούμε δηλαδή ότι η αύξηση της συγκέντρωσης μετά από 2,6 ώρες παραμονής στο χώρο εγκλωβισμού είναι μικρή σε σχέση με αυτή που αναμένεται. Ως

γνωστό ο άνθρωπος εισπνέει οξυγόνο και εκπνέει CO_2 , πράγμα που σημαίνει ότι σε ένα κλειστό χώρο ή έστω σε ένα χώρο που αερίζεται μερικώς και δεν ξεπερνά τα 2000 L, αναμένεται σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 μέσα σε χρόνο μικρότερο από 1 ώρα.

Από τον πίνακα 5 προκύπτει ότι για χρόνο 65 min ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων των τεσσάρων θέσεων είναι 806 ppm, με την παραδοχή ότι αυτή η τιμή συγκέντρωσης είναι η ίδια σε κάθε σημείο του χώρου του αντιδραστήρα εκείνη τη στιγμή. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι πειραματικά, η συγκέντρωση του CO_2 είναι διπλάσια περίπου από αυτή που προβλέπεται από το μοντέλο του αντιδραστήρα συνεχούς έργου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι πραγματικές συνθήκες του πειράματος δεν μπορούν να είναι απόλυτα ίδιες με τις θεωρητικές από τη στιγμή μάλιστα που το φαινόμενο που μελετάται είναι σύνθετο.

Στην τρίτη σειρά μετρήσεων παρατηρούμε ότι σε όλες τις θέσεις δειγματοληψίας η συγκέντρωση του CO_2 αυξάνεται με το χρόνο ώσπου τελικά φτάνει σε πλατό. Αυτό πρέπει να οφείλεται στο γεγονός ότι ο χώρος της καμπίνας δεν είναι απόλυτα στεγανός, οπότε παράλληλα με την παραγωγή CO_2 κάποια ποσότητα αυτού εξέρχεται από την καμπίνα κι έτσι από ένα σημείο και μετά οδηγούμαστε σε πλατό. Σε σχέση μάλιστα με τις προηγούμενες δύο σειρές μετρήσεων, δεν παρατηρούνται αυξομειώσεις στη συγκέντρωση του CO_2 συναρτήσει του χρόνου. Αυτό οφείλεται στο ότι ο σωλήνας δειγματοληψίας παρέμεινε σταθερός σε κάθε σημείο οπότε δεν επηρεάστηκε η ομοιομορφία του πεδίου.

Στην τέταρτη σειρά μετρήσεων τέλος, όπου δε χρησιμοποιήθηκε ο σωλήνας δειγματοληψίας των τεσσάρων μέτρων αλλά ο υποδοχέας του οργάνου τέθηκε στη σχισμή του παραθύρου για λήψη μέτρησης, είναι λογικό να παρατηρούνται αυξομειώσεις της συγκέντρωσης του CO_2 συναρτήσει του χρόνου. Αυτό γιατί ο αέρας του περιβάλλοντος που έχει συγκέντρωση περίπου 310 ppm επιδρά άμεσα στη δειγματοληψία αραιώνοντας το δείγμα. Το σημαντικό όμως είναι ότι και σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται αύξηση του CO_2 , ενδεικτική της παρουσίας ανθρώπου στην καμπίνα του αυτοκινήτου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι και στις τρεις πρώτες σειρές μετρήσεων παρατηρείται ότι για την ίδια τιμή χρόνου δεν είναι ίδια η τιμή της συγκέντρωσης και στις τέσσερις θέσεις δειγματοληψίας μέσα στον αντιδραστήρα, δηλαδή την καμπίνα, πράγμα το οποίο έρχεται σε σύγκρουση με τη θεωρία του αντιδραστήρα συνεχούς έργου

πλήρους ανάδευσης. Επιπλέον στα συγκεντρωτικά διαγράμματα, η μεταβολή της συγκέντρωσης του CO₂ με το χρόνο για τις θέσεις 3 και 4 που απέχουν ίδια απόσταση από την πηγή είναι περίπου η ίδια Αυτό σημαίνει πως ίσως το μαθηματικό μοντέλο που μπορεί να περιγράψει καλύτερα τον τρόπο με τον οποίο κατανέμονται τα μόρια μιας ουσίας που παράγει ο άνθρωπος στο χώρο εγκλωβισμού, να εμπεριέχει όχι μόνο την παράμετρο του χρόνου αλλά και του χώρου. Πιθανολογείται δηλαδή ότι το φαινόμενο που παρατηρείται μέσα στην καμπίνα είναι συνδυασμός ανάδευσης αρχικά, λόγω της τοπικής τύρβης που δημιουργείται κοντά στην πηγή από την εκπνοή, και στη συνέχεια διάχυσης των μορίων του CO₂ στο χώρο μέσω των μορίων του αέρα της καμπίνας.

Παρόλα αυτά, τα θεωρητικά μοντέλα τόσο του αντιδραστήρα διαλείποντος όσο και του αντιδραστήρα συνεχούς έργου πλήρους ανάδευσης που αναπτύχθηκαν στην εργασία αυτή προσεγγίζουν το πρόβλημα του θεωρητικού υπολογισμού της συγκέντρωσης των ουσιών που παράγει ο άνθρωπος μέσα στο χώρο εγκλωβισμού συναρτήσει του χρόνου, για το οποίο μέχρι τώρα δεν είχε γίνει παρόμοια προσέγγιση. Το μοντέλο του αντιδραστήρα συνεχούς έργου συμπεριλαμβάνει και την παράμετρο της ανανέωσης του αέρα ανάμεσα στα συντρίμια, η οποία στον αντιδραστήρα συνεχούς έργου είναι μηδέν, και για το λόγο αυτό θεωρείται πιο πιθανό μοντέλο προσομοίωσης του μικρόχωρου εγκλωβισμού, εφόσον τις περισσότερες φορές ο μικρόχωρος εγκλωβισμού δεν είναι απόλυτα στεγανός.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Πυροσβεστική υπηρεσία Κύπρου, “Διασώσεις μετά από σεισμούς και καταρρεύσεις κτιρίων ”, Υπουργείο Δικαιοσύνης και Δημόσιας Τάξης, 12 Μαρτίου 2001
- [2] Περιοδικό Πυροσβεστικής Υπηρεσίας, “ Πυροσβεστική Επιθεώρηση” τεύχος 77, περίοδος Β, Σεπτέμβριος-Οκτώβριος 1999, σελ 19-31.
- [3] Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού Και Προστασίας, “ Τεχνικό Εγχειρίδιο, Επιχειρήσεις Διάσωσης Εγκλωβισμένων Σε Ερείπια Μετά Από Καταστροφικό Σεισμό, Εγχειρίδιο Νο 1 ”, Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας & Δημοσίων Έργων , Ευρωπαϊκό Κέντρο Πρόληψης & Πρόγνωσης Των Σεισμών, σελ 9-31.
- [4] D. Alexander, “ *Natural Disasters*”, UCL Press, 1993, p.461-492
- [5] Μιχαήλ Ν. Σέχα Καθηγητή Χειρουργικής Πανεπιστημίου Αθηνών “ Καταπληξία (Shock) ” Ιατρικές Εκδόσεις Λίτσας, σελ 23-44, 51, 73-78, 133-146, 161
- [6] Frank B. Cerra, “ *The syndrome of hypermetabolism and multiple system organ failure* ”, Chapter 56, p. 656-666.
- [7] J. Ali, “ *Priorities in multisystem trauma* ”, Chapter 59, p. 693.
- [8] Simon Bursztein, “ *Evaluation of metabolic requirements* ”, Chapter 91, p. 1065
- [9] K. N. Frayn, “ *Hormonal control of metabolism in trauma and sepsis* ”, Clinical Endocrinology (1986) 24, p.577-599.
- [10] Frank B. Cerra, “ *Hypermetabolism, organ failure, and metabolic support* ”, Surgery (1987) 101(1).

- [11] Bart Chernow Atali, “ *Hormonal responses to graded surgical stress* ”
Arch intern Med, Vol 147, 1987.
- [12] F. John Mills , B.Chir, “ *The Endocrinology of Stress* ”, Aviation, Space and
Environmental Medicine, 1985.
- [13] Αντώνη Κουτσελίνη, “ *Θέματα Ιατροδικαστικής* ”, Αθήνα 1991, σελ 4-17, 90
- [14] Ε. Γρηγοροπούλου, Κ. Φιλιππόπουλος, “ *Τεχνική Χημικών Διεργασιών
(σημειώσεις παραδόσεων)* ” Ε.Μ.Π., Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Αθήνα 1998,
σελ 23-32.
- [15] John B.West, “ *Φυσιολογία της αναπνοής* ”, 5^η έκδοση, Επιστημονικές Εκδόσεις
Γρ. Παρισιάνος, Αθήνα 1996, σελ 17, 144.
- [16] Β. Παπαζάχου Κ.Παπαζάχου, “ *Οι Σεισμοί Της Ελλάδας* ”, Εκδόσεις Ζήτη,
Θεσσαλονίκη 1989, σελ17, 25-28, 156-158
- [17] Άγγελου Γ. Γαλανόπουλου, “ *Στοιχεία Σεισμολογίας Και Φυσικής Του
Εσωτερικού Της Γης* ”, Αθήναι 1976, σελ 73-75
- [18] Παναγιώτης Σ. Ψαριανός, “ *Επίτομος Φυσική Γεωγραφία* ”, Αθήναι 1992, σελ100
- [19] Αντ. Κουτσελίνη “ *Τοξικολογία Τόμος Α* ”, Επιστημονικές Εκδόσεις « Γρ.
Παρισιάνος» Μαρία Γρ.Παρισιάνου Αθήνα 1997, σελ.161-163
- [20] Robin R. Murphy, Jenn Casper, Mark Micire “ *Potential Tasks and Research
Issues for Mobile Robots in RoboCup Rescue* ”, P. Stone, T.Balch, and G.
Kraetzschmar (Eds.):RoboCup 2000, LNAI 2019 p.339-344
- [21] Ευθ. Λ. Λέκκας “ *Φυσικές & Τεχνολογικές Καταστροφές* ”, Β’ Έκδοση Αθήνα,
σελ.261-264

- [22] Lubert Stryer “ *Βιοχημεία* ” Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Τόμος Δεύτερος, σελ.697-699
- [23] Chimako Inoue-Sakurai, D.M.Sc., Soichiro Maruyama, M.D., D.M.Sc., and Kanehisa Morimoto, D.M.Sc. “ *Posttraumatic Stress and Lifestyles Are Associated with Natural Killer Cell Activity in Victims of the Hanshin-Awaji Earthquake in Japan* ”, Preventive Medicine 31, p. 467-473 (2000)
- [24] Serdar H. Iskit, Harika Alpay “ *Analysis of 33 Pediatric Trauma Victims in the 1999 Marmara, Turkey Earthquake* ”, Journal of Pediatric Surgery, Vol 36, No 2 (February), 2001: p.368-372
- [25] Peter Karlson “ *Κλινική Παθολογική Βιοχημεία* ”, Ιατρικές Εκδόσεις Λίτσας, κεφ.2, 3, 11, 12, 13
- [26] Guyton & Hall “ *Ιατρική Φυσιολογία* ”, Ένατη Έκδοση, Δεύτερος Τόμος, Επιστημονικές Εκδόσεις Γρηγ. Παρισιάνος, κεφ.68, 69, 71,72, 73
- [27] Ν. Γ. Παπαγιαννάκος “ *Σχεδιασμός Χημικών Αντιδραστήρων Σημειώσεις Παραδόσεων* ”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Αθήνα 1997
- [28] Ν. Κουμούτσος, Β. Λυγερού, Γ. Μπάφας “ *Δυναμική Συστημάτων και Ρύθμιση Διεργασιών* ” Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 1990, σελ.74, 84-85, 182-186
- [29] D.Tassios “ *Applied Chemical Engineering Thermodynamics* ”, Τόμος Ι: Νόμοι & Καθαρές Ουσίες, Μετάφραση- Επιμέλεια Κωστής Μαγουλάς, Αθήνα 1997,σελ.149
- [30] D. M. Himmelblau “ *Βασικές Αρχές και Υπολογισμοί στη Χημική Μηχανική* ” Τρίτη Έκδοση, Επιμέλεια Μετάφρασης : Γ. Π. Σακελλαρόπουλος, σελ.589-590

[31] James N Carleton, Ann M Donoghue, Warren K Porter “ *Mechanical model testing of rebreathing potential in infant bedding materials* ”, Arch Dis Child 1998; 78:323-328

[32] “ *Solutions to Take a Breath Worksheet* ” www.sciencedirect.com

[33] “ *NTUA: Online Report* ” www.ntua.gr/weather/