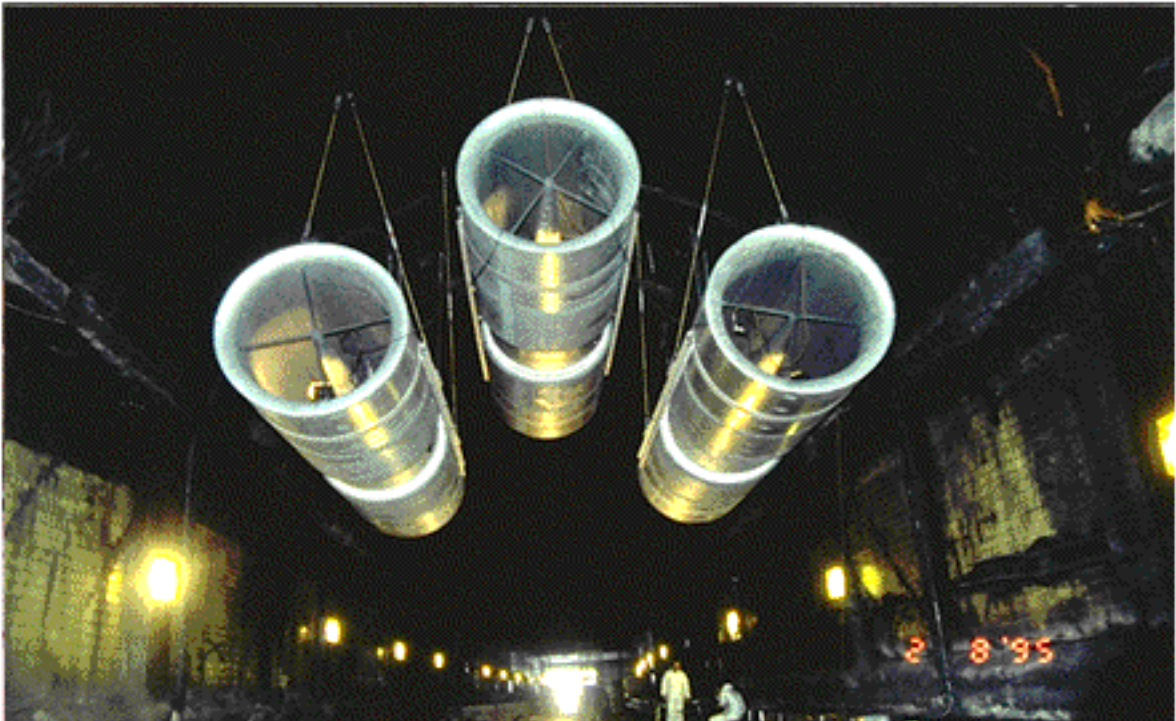


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ



ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΜΗΚΟΥΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΟΔΙΚΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ
ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΕΥΡΩΠΑΙΚΑ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΗΣ
ΜΑΡΓΑΡΙΤΟΥ ΜΑΡΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΜΑΘΙΟΥΛΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ :

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ - ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

1.1. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ-ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΟΡΟΙ	-12-
1.1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	-12-
1.1.2 ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΟΡΟΙ	-12-
1.1.3 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ	-13-
1.1.4 ΕΙΔΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ	-15-
1.2 ΡΥΘΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΡΥΠΩΝ	-16-
1.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	-16-
1.2.2 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΓΙΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΕΝ ΚΙΝΗΣΕΙ	-17-
1.2.3 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΓΙΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΕΝ ΣΤΑΣΕΙ	-17-
1.2.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ ΣΤΗΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΡΥΠΩΝ	-20-
1.2.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΛΙΣΗΣ ΔΡΟΜΟΥ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	-21-
1.3. ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΟΡΟΙ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΟΔΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ	-24-
1.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	-24-
1.3.2 ΟΓΚΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	-24-
1.3.3 ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ	-28-
1.3.4 ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΑ ΟΡΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΡΥΠΩΝ	-29-

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ :

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ ΟΔΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	<u>-32-</u>
2.2. ΦΥΣΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ	<u>-32-</u>

2.3. ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ	-35-
2.4. ΗΜΙΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ	-39-
2.5. ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΜΙΕΓΚΑΡΣΙΟΥ – ΕΓΚΑΡΣΙΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	-44-
2.6. ΠΛΗΡΗΣ-ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ-ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ	-45-

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ :

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΝΩΠΟΥ ΑΕΡΑ- ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΡΥΠΩΝ- ΕΠΙΛΕΓΟΝΤΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΗΜΙ-ΕΓΚΑΡΣΙΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΜΗΚΗ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

3.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΝΩΠΟΥ ΑΕΡΑ	-50-
3.1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	-50-
3.1.2. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΝΩΠΟΥ ΑΕΡΑ	-50-
3.1.3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΥΚΛ/ΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	-50-
3.2. ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ	-52-
3.2.1. ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO)	-53-
3.2.2. ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ	-54-
3.2.3. ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΕΡΑ	-55-
3.3 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ	-55-
3.3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	-55-
3.3.2 ΕΠΙΒΑΤΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ	-55-
3.3.3. ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ	-58-
3.4. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	-73-
3.4.1 ΑΕΡΑΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΕΞΩ ΑΠΟ ΤΑ ΣΤΟΜΙΑ	-73-
3.4.2. ΑΕΡΑΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΕΞΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΠΝΟΔΟΧΟ	-73-
3.4.3 ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΑΕΡΑ ΜΕΣΑ ΣΤΗΝ ΣΗΡΑΓΓΑ	-74-
3.4.4. ΚΑΘΑΡΙΣΜΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΑΠΟ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΑΕΡΙΑ	-74-

4° ΚΕΦΑΛΑΙΟ :

ΕΠΙΛΕΓΟΝΤΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ -ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

4.1	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	<u>-76-</u>
4.2	ΕΠΙΛΕΓΟΝΤΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΜΗΚΗ ΚΑΙ ΗΜΙΕΓΚΑΡΣΙΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	<u>-76-</u>
4.3	ΔΙΑΜΗΚΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	<u>-77-</u>
4.3.1	ΠΙΕΣΗ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ	<u>-80-</u>
4.4	ΗΜΙ-ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΕΡΙΣΜΟΥ	<u>-83-</u>

5° ΚΕΦΑΛΑΙΟ :

ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΜΗΚΟΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΟΔΙΚΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	<u>-85-</u>
5.1.1	ΓΕΝΙΚΑ	<u>-85-</u>
5.1.2	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ	<u>-85-</u>
5.2	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	<u>-86-</u>
5.2.1	ΔΕΞΙΟΣ ΚΛΑΔΟΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	<u>-86-</u>
5.2.2	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΚΛΑΔΟΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	<u>-87-</u>
5.3	ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ - ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	<u>-88-</u>
5.3.1	ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	<u>-88-</u>
5.3.2	ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	<u>-89-</u>
5.3.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	<u>-91-</u>
5.4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ	<u>-147-</u>
5.4.1	ΚΛΑΔΟΣ ΑΝΟΔΟΥ	<u>-148-</u>
5.4.2	ΚΛΑΔΟΣ ΚΑΘΟΔΟΥ	<u>-149-</u>
5.4.3	ΕΓΚΑΡΣΙΕΣ ΣΤΟΕΣ ΔΙΑΦΥΓΗΣ	<u>-150-</u>
5.5	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	<u>-151-</u>

5.5.1	ΑΞΟΝΙΚΟΙ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΣΗΡΑΓΓΩΝ	-151-
5.5.2	ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	-151-
5.5.3	ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ ΣΤΗΡΙΞΗ	-152-

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ :

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΑΡΑΙΩΣΗ ΡΥΠΩΝ-ΚΑΠΝΟΥ

6.1	ΓΕΝΙΚΑ	-153-
6.1.1	ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΝΤΑΣ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑ (N)	-154-
6.1.1.1	ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΝΤΑΣ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑ (N), ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ	-154-
6.1.1.2	ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΝΤΑΣ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑ (N), ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	-157-
6.1.1.3	ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΝΤΑΣ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑ (N), ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΑΣ	-159-
6.1.1.4	ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ (%)	-160-

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	-163-
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	-182-

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	-202-
---------------------	--------------

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο «ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΜΗΚΟΥΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ ΟΔΙΚΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΕΥΡΩΠΑΙΚΑ ΚΑΙ ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ» είναι η εφαρμογή βασικών αρχών διαμήκους αερισμού οδικών σηράγγων για διάφορα σενάρια κυκλοφοριακού φόρτου καθώς και για την περίπτωση πυρκαγιάς συγκεκριμένης ισχύος.

Το υπολογιστικό μέρος βασιζόμενο στις εξισώσεις διατήρησης της μάζας, ορμής και ενέργειας, τα ευρωπαϊκά και διεθνή πρότυπα που αφορούν στις εκπομπές των αερίων ρύπων οχημάτων ΟΤΤΟ και DIESEL καταλήγει στον προσδιορισμό του απαιτούμενου αριθμού φυσητήρων συγκεκριμένης παροχής και ταχύτητας δέσμης αέρα. Στη μελέτη η οποία εφαρμόστηκε σε σήραγγα δύο κλάδων μονής κατεύθυνσης κυκλοφορίας, περιλαμβάνονται τα παρακάτω δυο στάδια:

1) Προσδιορισμός της ελάχιστης απαιτούμενης παροχής αέρα και αριθμού ανεμιστήρων για την αραίωση CO, NOx και αιθάλης για κάθε έναν από τους δυο κλάδους της σήραγγας σε συνθήκες κανονικής κυκλοφορίας και κυκλοφοριακής συμφόρησης σύμφωνα με τα πρότυπα.

2) Υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής αέρα και του αριθμού ανεμιστήρων για την περίπτωση πυρκαγιάς ισχύος 50MW σύμφωνα με το πρότυπο PIARC 2007 «Systems and Equipment for Fire and Smoke Control in Road Tunnels».

Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα παραμετρικής ανάλυσης που δείχνουν την επίδραση επί της παροχής του αέρα διαφόρων παραμέτρων όπως της ταχύτητα κίνησης των οχημάτων, της κλίσης του οδοστρώματος, του υψομέτρου της σήραγγας κ.τ.λ.

ABSTRACT

The objective of this Diploma thesis entitled “Longitudinal ventilation of a road tunnel: A study based on European and International standards” is the calculation of the necessary fresh air supply for dilution of CO, NO_x and smoke in a unidirectional road tunnel of two branches for various traffic cases and for a 50 MW fire. Employing the equations of mass, momentum and energy conservation, the number of the required axial fans of a particular type is defined, following the following PIARC standards.

Furthermore, the influence of various parameters on the required fresh air flow rate is examined like traffic load, road slope, tunnel altitude etc.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κάθε κεφάλαιο αυτής της διπλωματικής εργασίας αναφέρονται τα ακόλουθα:

Στο 1^ο Κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στους τεχνικούς όρους που χρησιμοποιούνται στις μεθοδολογίες εξαερισμού σήραγγων. Αναφέρονται επίσης τα είδη των εκπεμπόμενων ρύπων, τα επιτρεπόμενα όρια τους ώστε να εξασφαλίζονται συνθήκες άνεσης μέσα στη σήραγγα καθώς και οι παράγοντες επίδρασης στον ρυθμό εκπομπής ρύπων.

Στο 2^ο Κεφάλαιο αναφέρονται τα συστήματα εξαερισμού των οδικών σήραγγων καθώς και τα κριτήρια επιλογής τους.

Στο 3^ο Κεφάλαιο αναφέρεται η μεθοδολογία προσδιορισμού των απαιτήσεων νωπού αέρα μέσα στην σήραγγα, σύμφωνα με τα συστήματα διαμήκους και ημι-εγκάρσιου αερισμού. Παρουσιάζονται επίσης δεδομένα όσον αφορά στις εκπομπές ρύπων (πίνακες τιμών), σύμφωνα με συγκεκριμένα πρότυπα (πχ US83, ECE 15/04, κ.τ.λ.).

Στο 4^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα θετικά και τα αρνητικά χαρακτηριστικά του διαμήκους και του ημι-εγκάρσιου συστήματος αερισμού-εξαερισμού, με μια παράλληλη συνοπτική σύγκριση μεταξύ τους. Αναφέρεται επίσης η μεθοδολογία υπολογισμού της πτώσης πίεσης και για τα δύο συστήματα αερισμού – εξαερισμού (διαμήκους – ημι-εγκάρσιο), καθώς επίσης και ο τρόπος υπολογισμού του απαιτούμενου αριθμού ανεμιστήρων ώσης.

Στο 5ο Κεφάλαιο γίνεται αναλυτική επεξήγηση των υπολογιστικών αποτελεσμάτων, τα οποία παρουσιάζονται υπό μορφή πινάκων στο Παράρτημα. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφεται ο κάθε πίνακας τι υπολογιστικά αποτελέσματα παρουσιάζει, και επεξηγείται πώς αυτά προκύπτουν, μέσω εφαρμογής της μεθοδολογίας μεμονωμένων περιπτώσεων.

Στο 6ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γενικά δεδομένα της υπό μελέτης σήραγγας, οι παραδοχές που λαμβάνονται υπόψη για την εκπόνηση των υπολογισμών καθώς επίσης και συνοπτικοί πίνακες παρουσίασης του απαιτούμενου αριθμού ανεμιστήρων, για κάθε κλάδο και κάθε κυκλοφοριακό σενάριο. Αναφέρονται επίσης τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ανεμιστήρων που τελικά επιλέχθηκαν καθώς επίσης και χαρακτηριστικά των καλωδίων τροφοδοσίας τους.

Στο 7ο Κεφάλαιο αναφέρονται παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την απαιτούμενη ποσότητα αέρα για την αραίωση ρύπων-καπνού μέσα στη σήραγγα. Παρουσιάζονται επίσης σχετικά γραφήματα και διατυπώνονται γενικά συμπεράσματα.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1.1 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ – ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

1.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρόλο που η κατασκευή σήραγγων γινόταν από πολύ παλιά, ο εξαερισμός τους άρχισε να αποτελεί σημαντικό μέρος της μελέτης κατασκευής, μόλις τα τελευταία 100 χρόνια. Αυτό συνέβη γιατί τα προϊόντα καύσης αλλά και η εκλυόμενη θερμότητα στην διάρκεια της καύσης (μέσω νέας τεχνολογίας οχημάτων-Μ.Ε.Κ), έφτασαν σε τόσο υψηλά επίπεδα, ώστε να δημιουργείται τελικά, ατμόσφαιρά δυσφορίας για τον άνθρωπο στον υπό μελέτη χώρο (σήραγγα).

Ο εξαερισμός της σήραγγας απαιτείται πλέον, είτε αναφερόμαστε σε *οδικές σήραγγες*, είτε σε *υπόγειους σιδηροδρόμους*.

Τα καυσαέρια που παράγονται μέσα σε μία *οδική σήραγγα*, μπορούν να προκαλέσουν δυσφορία στους οδηγούς των οχημάτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αποτελεί πλέον ανάγκη η πρόληψη εξαερισμού, ώστε να εξασφαλίζεται η δημιουργία συνθηκών άνεσης και καλής ορατότητας μέσα στην σήραγγα.

Οι υπόγειοι σιδηρόδρομοι, παρουσιάζουν διαφορετικά προβλήματα από ότι οι οδικές σήραγγες. Εκτός από την έκλυση καυσαερίων, παρουσιάζονται και υψηλές ποσότητες εκλυόμενης θερμότητας κατά την κίνηση της αμαξοστοιχίας. Αυτή η θερμότητα πρέπει απαραίτητα να απομακρυνθεί, έτσι ώστε να δημιουργηθεί περιβάλλον ψύξης για τις μηχανές. Αν η πρόβλεψη *φυσικού αερισμού* μπορεί να δημιουργήσει περιβάλλον ασφάλειας μέσα στην σήραγγα, η επιλογή του, θα πρέπει να αποτελεί την πρώτη προς εφαρμογή λύση. Διαφορετικά θα πρέπει να προβλέπεται *τεχνικός εξαερισμός*.

Σε όλες τις σήραγγες θα πρέπει να προβλέπεται *εξαερισμός ανάγκης*, σε περίπτωση πυρκαγιάς.

1.1.2 ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

Μικτή κυκλοφορία : η σύσταση της κυκλοφορίας (αναφερόμενοι σε μια οδική σήραγγα), αποτελείται από επιβατικά οχήματα, φορτηγά και λεωφορεία.

TLV-TWA (Threshold Limit Value-Time Weight Average) : οι τιμές των τοξικών αερίων, πρέπει βρίσκονται κάτω από συγκεκριμένα όρια έτσι ώστε να διασφαλίζεται η υγεία των επιβατών. Το *TLV* είναι η τιμή του ορίου η οποία

διαπιστώθηκε μετά από πειράματα. Το *TWA* είναι ο *σταθμικός μέσος χρόνος έκθεσης* των επιβατών στα τοξικά αέρια χωρίς να επηρεάζεται δυσμενώς η υγεία του.

Πυκνότητα κυκλοφορίας : ο αριθμός των οχημάτων ανά μονάδα μήκους (οχήματα/μίλι).

Όγκος κυκλοφορίας : ο αριθμός οχημάτων που διέρχεται από μια συγκεκριμένη τομή της λωρίδας κυκλοφορίας, κατά την διάρκεια μιας χρονικής περιόδου – συνήθως θεωρούμε ως χρονική περίοδο την ώρα.

1.1.3 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ

Οι εκπομπές ρύπων από Μ.Ε.Κ (αναφερόμενοι και στους δύο τύπους μηχανών εσωτερικής καύσης – *με ανάφλεξη* ή *με συμπίεση*), είναι βασικό μέλημα ενός μηχανικού για την μελέτη εξαερισμού μιας σήραγγας. Κάθε Μ.Ε.Κ. ανάλογα με τον τύπο της, εκπέμπει καυσαέρια διαφορετικής σύστασης.

Η πλειοψηφία των επιβατικών αυτοκινήτων σήμερα, έχουν Μ.Ε.Κ τύπου-ανάφλεξης (σπινθήρα), και τροφοδοτούνται με βενζίνη. Από την άλλη, τα φορτηγά μπορεί να έχουν και τους δύο τύπους Μ.Ε.Κ, σπινθήρα ή συμπίεσης. Τα λεωφορεία συνήθως έχουν Μ.Ε.Κ.-συμπίεσης.

Οι Μ.Ε.Κ – ανάφλεξης ή διαφορετικά **Μηχανές Otto**, χρησιμοποιούν πτητικά ρευστά ή αέρια καύσιμα. Η **βενζίνη** είναι το βασικό καύσιμο που χρησιμοποιούν τα μηχανοκίνητα οχήματα. Έχουν εμφανιστεί βεβαίως και, μερικά **LPD καύσιμα** και **καύσιμα προπανίου**. Τα βασικά συστατικά των καυσαερίων που εκπέμπονται από μια Μ.Ε.Κ – με ανάφλεξη, είναι τα ακόλουθα:

- CO
- CO₂
- SO₂
- NO_x
- Άκαυστοι H/C

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι
Τυπική σύσταση καυσαερίων Μ.Ε.Κ-ανάφλεξης

Συστατικά καυσαερίων	Ποσοστιαία σύσταση/μονάδα όγκου
CO	3%
CO ₂	13.2%
NO _x	0.06%
SO ₂	0.006%
Αλδευδες	0.004%
Φορμαλδευδες	0.0007%

Οι Μ.Ε.Κ-συμπίεσης ή Μηχανές Diesel, χρησιμοποιούν ως καύσιμο ρευστά με μικρή πτητικότητα. Τα καύσιμα αυτών των μηχανών κυμαίνονται από *κηροζίνη* μέχρι *αργό πετρέλαιο*, συνήθως όμως χρησιμοποιείται πετρέλαιο. Τα βασικά συστατικά των καυσαερίων μιας τέτοιας μηχανής, είναι τα ακόλουθα:

- CO
- CO₂
- SO₂
- NO₂

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ
Τυπική σύσταση καυσαερίων Μ.Ε.Κ-συμπίεσης

Συστατικά καυσαερίων	Ποσοστιαία σύσταση/μονάδα όγκου
CO	0.1-0.2%
CO ₂	9%
SO ₂	0.002%
NO ₂	0.04%
Αλδευδες	0.002%
Φορμαλδευδες	0.001%

1.1.4 ΕΙΔΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO) : Το CO είναι ένα τοξικό αέριο το οποίο εμφανίζεται ως προϊόν καύσης και στους δύο τύπους Μ.Ε.Κ, όπως προαναφέρθηκε. Στο ανθρώπινο σώμα το CO αντιδράει με την αιμοσφαιρίνη, όπως το οξυγόνο, και παράγεται το μονοξείδιο της αιμοσφαιρίνης (COHb). Το CO έχει δραστηριότητα στο αίμα 300 φορές περισσότερη από ότι το O₂. Για τον λόγο αυτό, το εισπνεόμενο CO αναμιγνύεται με το αίμα όπου μεταφέρει και απελευθερώνει οξυγόνο στους ιστούς του σώματος. Αυτό σημαίνει ότι το CO απορροφάτε κατά προτίμηση από το οξυγόνο.

Διοξείδιο του Άνθρακα (CO₂) : Το CO₂, είναι ένα από τα πιο σπουδαία παράγωγα της καύσης, αλλά είναι τοξικό μόνο σε όταν βρίσκεται σε επίπεδα συγκέντρωσης, τα οποία βρίσκονται κατά πολύ κάτω από εκείνα που διαπιστώθηκαν μέσα στον χώρο των σηράγγων.

Οξείδια του Αζώτου (NO_x) : Από όλα τα οξείδια του αζώτου, μόνο δύο παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον όσον αφορά την τοξικότητα τους, το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂). Οι τοξικές επιρροές αυτών των δύο είναι παρόμοιες αν εξαιρέσουμε το γεγονός ότι το NO₂ είναι πέντε φορές πιο τοξικό από ότι το NO.

Μονοξείδιο του Αζώτου (NO) : Το NO είναι άχρωμο, άοσμο και παράγεται από καύση σε υψηλή θερμοκρασία. Η ποσότητα του NO που παράγεται αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας καύσης. Το NO διαλύεται ελάχιστα στο νερό, και έχει μεγάλη αντιδραστικότητα με την αιμοσφαιρίνη. Η αντίδραση αυτή τελικά εκπέμπει οξυγόνο στο αίμα.

Διοξείδιο του Αζώτου (NO₂) : Το NO₂ έχει ένα κόκκινο-πορτοκαλί-καφέ χρώμα, είναι αέριο και σχεδόν διαλύεται. Έχει χαρακτηριστική οσμή και είναι τοξικό. Περίπου το 95% του NO₂ που εισπνέεται από τον άνθρωπο, παραμένει στο σώμα. Έκθεση του ανθρώπινου σώματος σε συγκεντρώσεις NO₂ από 100-150 ppm, για χρονικό διάστημα από 30-60 min είναι εξαιρετικά επικίνδυνο. Το NO₂ ενώνεται με το νερό στους πνεύμονες και παράγει νιτρώδες οξύ και νιτρικό οξύ. Το νιτρώδες οξύ που απελευθερώνεται μέσα στους πνεύμονες δημιουργεί τέτοια δυσλειτουργία των πνευμόνων, ώστε να μην μπορούν πλέον να μεταφέρουν το οξυγόνο.

Το NO₂ αντιδράει επίσης με τους H/C στον ήλιο, παράγοντας καπνό και μειώνοντας έτσι την ορατότητα στον χώρο της σήραγγας.

Μόλυβδος (Pb) : Ο Pb, είναι ένα πολύ επικίνδυνο στοιχείο το οποίο επηρεάζει το νευρικό σύστημα, το αίμα και το σύστημα αναπαραγωγής. Μπορεί να προκαλέσει δηλητηρίαση ή ακόμη να οδηγήσει και στον θάνατο. Παρόλο που ο Pb βρίσκεται στον αέρα, στο νερό ή ακόμη και στο φαγητό, το

μεγαλύτερο ποσό Pb εκλύεται από μηχανές που καίνε καύσιμα με περιεκτικότητα Pb.

Παράγωγα του Pb, όπως τετρααιθυλικός μόλυβδος, χρησιμοποιούνται ως προσθήκη στην βενζίνη – αυτό ξεκίνησε το 1924- για αύξηση του αριθμού οκτανίων του καυσίμου (περίπου 2.7 gram/gallon προστέθηκε στο καύσιμο). Από το συνολικό ποσό προσθήκης Pb στο καύσιμο, περίπου το 70% εκλύεται στην ατμόσφαιρα μέσω των καυσαερίων, με το 30% να παραμένει άκαυστο ποσοστό και το 40% να βρίσκεται στον αέρα.

Υδρογονάνθρακες (H/C) : Οι H/C είναι τα πιο περίπλοκα συστατικά των εκπεμπόμενων ρύπων, παρόλο που αποτελούν ένα μικρό ποσοστό του συνολικού όγκου των καυσαερίων. Η βασική σύσταση των H/C ως εκπεμπόμενοι ρύποι είναι : το μεθάνιο, το αιθάνιο, το προπάνιο, το αιθυλένιο, η ασετιλίνη, το πεντάνιο και το εξάνιο. Οι H/C είναι πολύ γνωστοί για την συμμετοχή τους στην δημιουργία φωτοχημικού καπνού, αλλά από μόνοι τους δεν παρουσιάζονται σε τόσο μεγάλες ποσότητες – στον χώρο των σηράγγων – ώστε να υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια και να αποτελούν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία.

Διοξείδιο του Θείου (SO₂) : Το SO₂ το πιο σημαντικό από τα οξειδία του θείου του οποία εμφανίζονται στα συστατικά τω καυσαερίων. Το SO₂ είναι άφλεκτο υλικό, δεν εκρήγνυται, άχρωμο, οξειδώνεται στην ατμόσφαιρα για να παραχθεί θειικό οξύ και στη συνέχεια αντιδράει με άλλες ρυπαντικές ουσίες για να δημιουργηθούν τοξικά θειικά παράγωγα. Αυτά τα παράγωγα επηρεάζουν δυσμενώς το αναπνευστικό σύστημα. Σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 3ppm, το SO₂ έχει μία έντονη διαπεραστική οσμή.

Το SO₂ δεν αποτελεί βασικό συστατικό των καυσαερίων, και γι' αυτόν τον λόγο εμφανίζεται στο περιβάλλον της σήραγγας σε ποσότητες πολύ χαμηλότερες από τα επιτρεπόμενα όρια.

1.2 ΡΥΘΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΡΥΠΩΝ

1.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο θέμα είχε γίνει και στο παρελθόν από το U.S Bureau of Mines περίπου το 1920. Η έρευνα διεξήχθη με σειρά πειραμάτων, έτσι ώστε να δημιουργηθούν κριτήρια που να έχουν εφαρμογή σε σήραγγες της Ολλανδίας. Τα πειράματα έγιναν με χρήση δείγματος 1920 αυτοκίνητα. Οι αλλαγές βέβαια που έχουν σημειωθεί τα τελευταία χρόνια στην τεχνολογία των αυτοκινήτων, καθιστούν τα στοιχεία αυτά πεπαλαιωμένα.

Πιο πρόσφατες έγιναν στο Colorado Department of Highways στα μέσα του 1960, οι οποίες έχουν άμεση σχέση με τα δεδομένα των Ελληνικών Σηράγγων. Βασικό στοιχείο της έρευνας αυτής είναι ότι διεξήχθησαν εκπομπές ρύπων σε υψόμετρο 5500-10500 ft περίπου. Η πλειονότητα των σηράγγων στο U.S είναι κάτω των 5500 ft.

Νέα έρευνα ξεκίνησε για εκπομπές ρύπων σε σήραγγες οι οποίες βρίσκονται σε υψόμετρο άνω των 7000 ft, από το Institute of Highways Construction of the Swiss Institute of Technology. Τα στοιχεία αυτής της έρευνας και ακόμη πιο πρόσφατα στοιχεία που διεξήχθησαν σε έρευνα στην Σουηδία, μπορούν να εφαρμοστούν σε όλους τους τύπους οχημάτων, καθώς είναι βασισμένα στην ποσοστιαία έκλυση CO ανάλογα με το βάρος του υπό μελέτη οχήματος.

Ο *ρυθμός εκπομπής* για κάθε έναν από τους προαναφερόμενους εκπεμπόμενους ρύπους, μπορούν να προσδιορισθούν σε διάφορα επίπεδα ακρίβειας, και για τους δύο τύπους M.E.K. Έχει διαπιστωθεί όμως ότι αν τα επίπεδα συγκέντρωσης του CO βρίσκεται σε επίπεδα κάτω από τα 200 ppm, όλα τα υπόλοιπα συστατικά των καυσαερίων θα έχουν συγκεντρώσεις οι οποίες θα κυμαίνονται μέσα σε επιτρεπτά πλαίσια.

1.2.2 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΓΙΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΕΝ ΚΙΝΗΣΕΙ

Η μέθοδος υπολογισμού του ρυθμού εκπομπής CO, θα διερευνηθεί για τις ανάγκες σχεδιασμού των σηράγγων. Η ίδια προσέγγιση μπορεί να διατηρηθεί για όλα τα συστατικά των καυσαερίων.

Όσον αφορά στις Μηχανές-Otto, χρησιμοποιείται ένας προσεγγιστικός ρυθμός εκπομπής περίπου 0.88 f3/ton/mile. Η ελάττωση της εκπομπής των καυσαερίων στο μέλλον με την μέθοδο του ελέγχου των εκπομπών, αλλά και η καλύτερης αποδοτικότητας μηχανές, θα προκαλέσουν τελικά αναπροσαρμογή αυτού του συντελεστή.

Στις Μηχανές-Diesel, ο συντελεστής ρυθμού εκπομπής CO που χρησιμοποιείται, είναι περίπου 0.026 f3/ton/mile.

1.2.3 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΓΙΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΕΝ ΣΤΑΣΗ

Όταν οι μηχανές των οχημάτων βρίσκονται σε κατάσταση ρελαντί, τότε η ποσότητα του εκλυόμενου CO ανέρχεται στο 10%. Σε αυτήν την φάση λειτουργίας οι μηχανές καταναλώνουν μικρές ποσότητες καυσίμων, με αποτέλεσμα η εκλυόμενη ποσότητα CO, να μην είναι μεγαλύτερη από εκείνη που εκπέμπεται σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας των μηχανών.

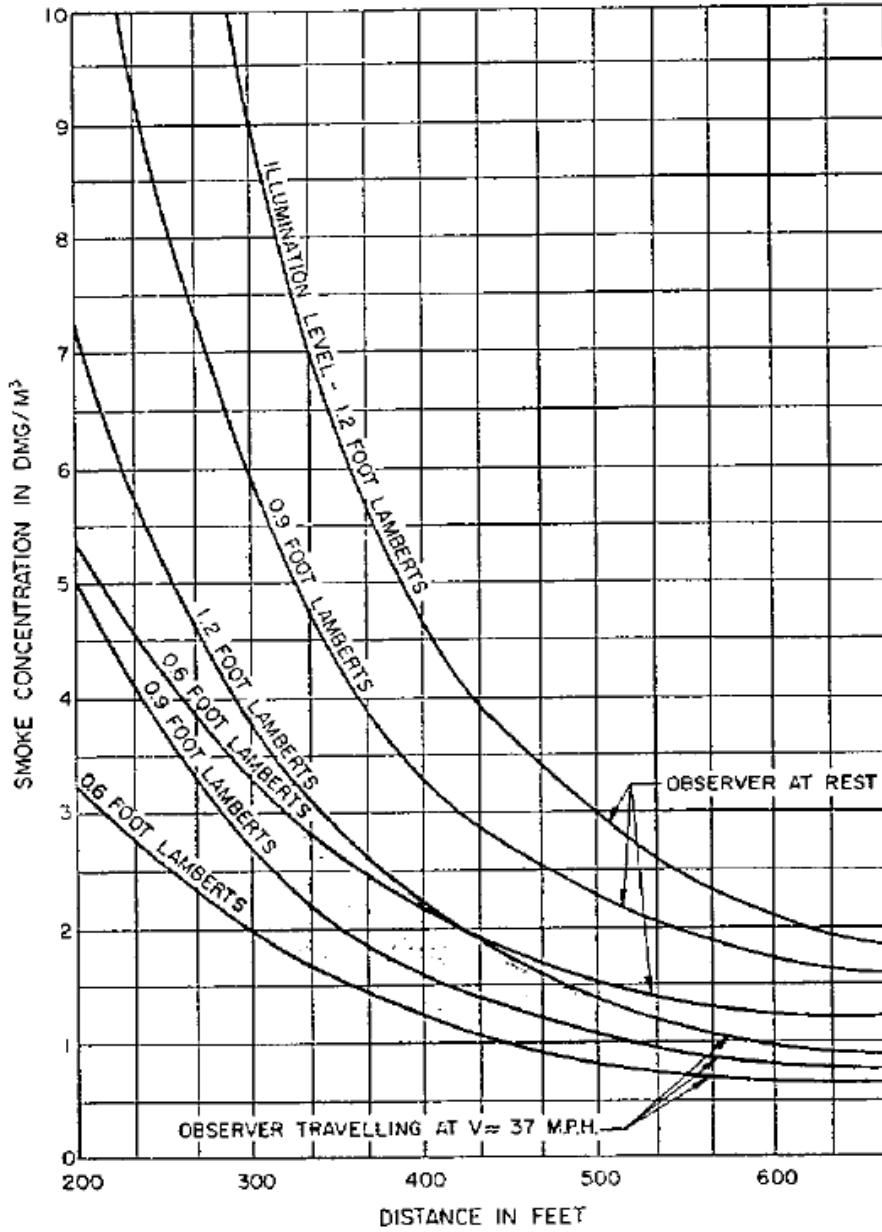
Βασιζόμενοι σε βενζινοκίνητα επιβατικά οχήματα, τα οποία καταναλώνουν περίπου 0.24 gallons/hours, και έχοντας περιεκτικότητα 5% CO στους εκλυόμενους ρύπους, ο ρυθμός εκπομπής CO, για επιβατικά αυτοκίνητα σε κατάσταση ρελαντί είναι 10.6 f3/car/hour.

Οι ρυθμοί εκπομπής CO, που αναφέρθηκαν παραπάνω αφορούν μόνο Μηχανές-Otto, επιβατικών οχημάτων εν κινήσει και επιβατικών οχημάτων σε κατάσταση ρελαντί. Οι εκπομπές ρύπων από M.E.K-συμπιέσης δεν είναι τόσο εύκολο να προσδιορισθούν. Αυτού του τύπου οι μηχανές πρέπει να δουλεύουν με περίσσεια αέρα περίπου 20-40%, έτσι ώστε η παραγωγή του καπνού να μειωθεί και να φθάσει σε επιτρεπτά επίπεδα. Αυτό βέβαια, μειώνει της αποδοτικότητα της μηχανής, οπότε κάποια ποσότητα καπνού πρέπει να θεωρηθεί αποδεκτή έτσι ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη ισχύς της μηχανής και μεγαλύτερη επιτάχυνση. Το πρόβλημα αυτό γίνεται εντονότερο, όταν οι μηχανές δεν συντηρούνται σωστά.

Λόγω των πολλαπλών παραγόντων που επηρεάζουν την λειτουργία των Μηχανών-συμπιέσης, στο παρελθόν ήταν κοινή τακτική να θεωρούνται όλες οι μηχανές αυτού του τύπου, βενζινοκίνητες και τύπου ανάφλεξης, έτσι ώστε να μπορεί να προσδιορισθεί ο απαιτούμενος αερισμός του χώρου.

Πρόσφατες έρευνες στην Ελβετία, κατέληξαν σε μία μέθοδο προσδιορισμού των επιρροών των εκλυόμενων ρύπων από M.E.K-Diesel στην ατμόσφαιρα των σήραγγων (ορατότητα), καθώς η πιο επικίνδυνη συνιστώσα των εκλυόμενων ρύπων από αυτού του τύπου μηχανές, δεν είναι τα τοξικά αέρια αλλά ο εκλυόμενος καπνός. Ο καπνός είναι εκείνος που δημιουργεί το νέφος που διακρίνουμε συνήθως μέσα στις σήραγγες. Η σύστασή του αποτελείται κυρίως από στοιχεία άνθρακα.

Οι Ελβετοί κατέληξαν σε μία συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης του παραγόμενου καπνού και της ορατότητας μέσα στην σήραγγα. Έτσι, κάποιο επιτρεπτό όριο συγκέντρωσης καπνού θα πρέπει να καθιερωθεί, έτσι ώστε να διασφαλίζονται ασφάλεια και συνθήκες άνεσης. Ένας σημαντικός παράγοντας που θα έπρεπε να καθοδηγήσει τον προσδιορισμό του **επιτρεπτού ορίου συγκέντρωσης καπνού** μέσα στην σήραγγα, είναι η απόσταση φρεναρίσματος ενός οχήματος. Για παράδειγμα, ένα όχημα το οποίο κινείται με ταχύτητα 37 mph, για να φρενάρει σε απόσταση 300 feet, θα πρέπει, όπως φαίνεται και αποτο ακόλουθο σχήμα, η συγκέντρωση καπνού μέσα στην σήραγγα να είναι από 2 μέχρι 4Dmg/m³, εξαρτάται από τον φωτισμό που έχει η σήραγγα. Προς το παρόν το όριο που καθιερώθηκε είναι 150 Dmg/ton/mile.



Διάγραμμα 1
Μείωση της ορατότητας η οποία προκαλείται από εκπομπή καπνού βενζινοκίνητων μηχανών.

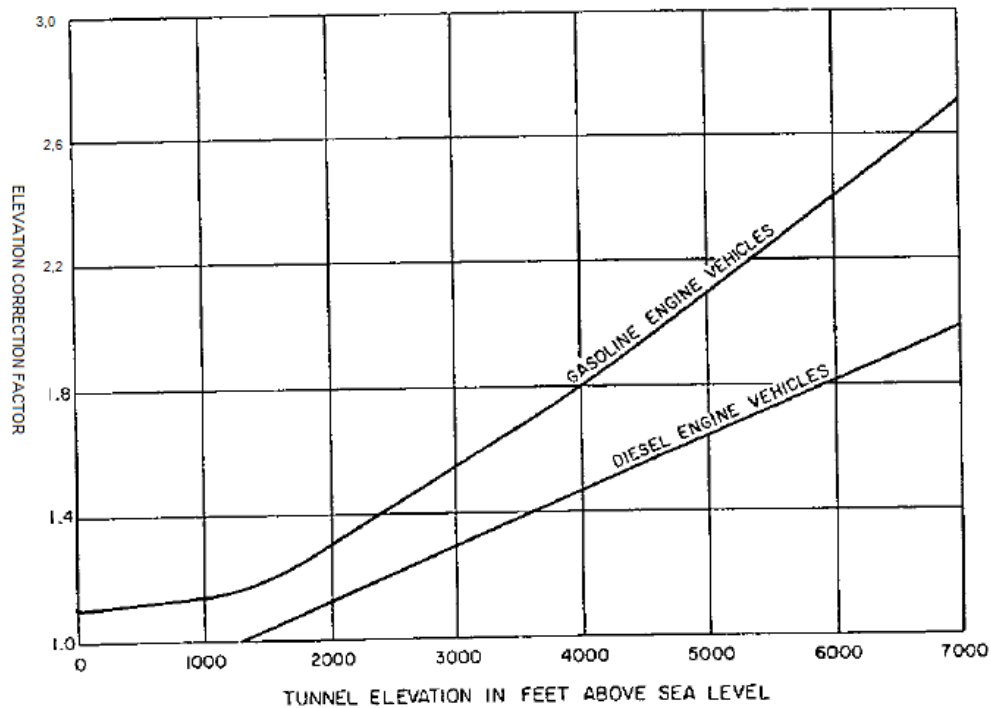
1.2.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ ΣΤΗΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΡΥΠΩΝ

Σε μεγάλα υψόμετρα, το μίγμα αέρα-καπνού γίνεται πιο πλούσιο λόγω της μειωμένης ατμοσφαιρικής πίεσης. Έτσι είναι επόμενο η κατανάλωση του καυσίμου να είναι μεγαλύτερη και φυσικό επακόλουθο η παραγωγή μονοξειδίου του άνθρακα σε υψηλά υψόμετρα να είναι αυξημένη. Επίσης, αν το καρμπυρατέρ είναι κατασκευασμένο θεωρώντας ως επίπεδο αναφοράς το επίπεδο της θάλασσας, τότε οι εκπομπές ρύπων σε αυτά τα υψόμετρα είναι ακόμη μεγαλύτερη.

Όσον αφορά τις M.E.K-Diesel, η μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης στο αναφερόμενο επίπεδο, έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη παραγωγή καπνού, λόγω του μικρότερης ποσότητας αέρα καύσης. Η μεγάλες ποσότητες καπνού που εκλύονται κατά την κίνηση των οχημάτων σε δρόμους με μεγάλη κλίση και σε υψηλά υψόμετρα, μπορεί να δημιουργήσουν δυσφορία στους οδηγούς. Τα φαινόμενα αυτά γίνονται ακόμα πιο έντονα όταν οι M.E.K. δεν βρίσκονται σε καλή κατάσταση.

Βασιζόμενοι σε αυτά τα φαινόμενα, η καθιέρωση ενός ρυθμού εκπομπής σε κάθε περίπτωση θεωρείται πλέον απαραίτητη. Για κάθε υψόμετρο το αποδεκτό όριο εκπομπής καπνού είναι και διαφορετικό. Το υψόμετρο των 1300ft θεωρείται επίπεδο αναφοράς για τον υπολογισμό του ρυθμού εκπομπής καπνού. Σε υψόμετρα από 1300ft έως 7000ft, παρεμβάλλεται ένας συντελεστής διόρθωσης, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.

Όσον αφορά υψόμετρα άνω των 7000ft, υπάρχουν πολλά στοιχεία για τον υπολογισμό του ρυθμού εκπομπής. Για παράδειγμα το Colorado Department of Highways έχει συλλέξει πολλά στοιχεία για ρυθμούς εκπομπής σε υψόμετρα από 5500ft έως 11350ft. Αυτά τα στοιχεία μπορούν να προσαρμοσθούν και σε υψόμετρα άνω των 7000ft.

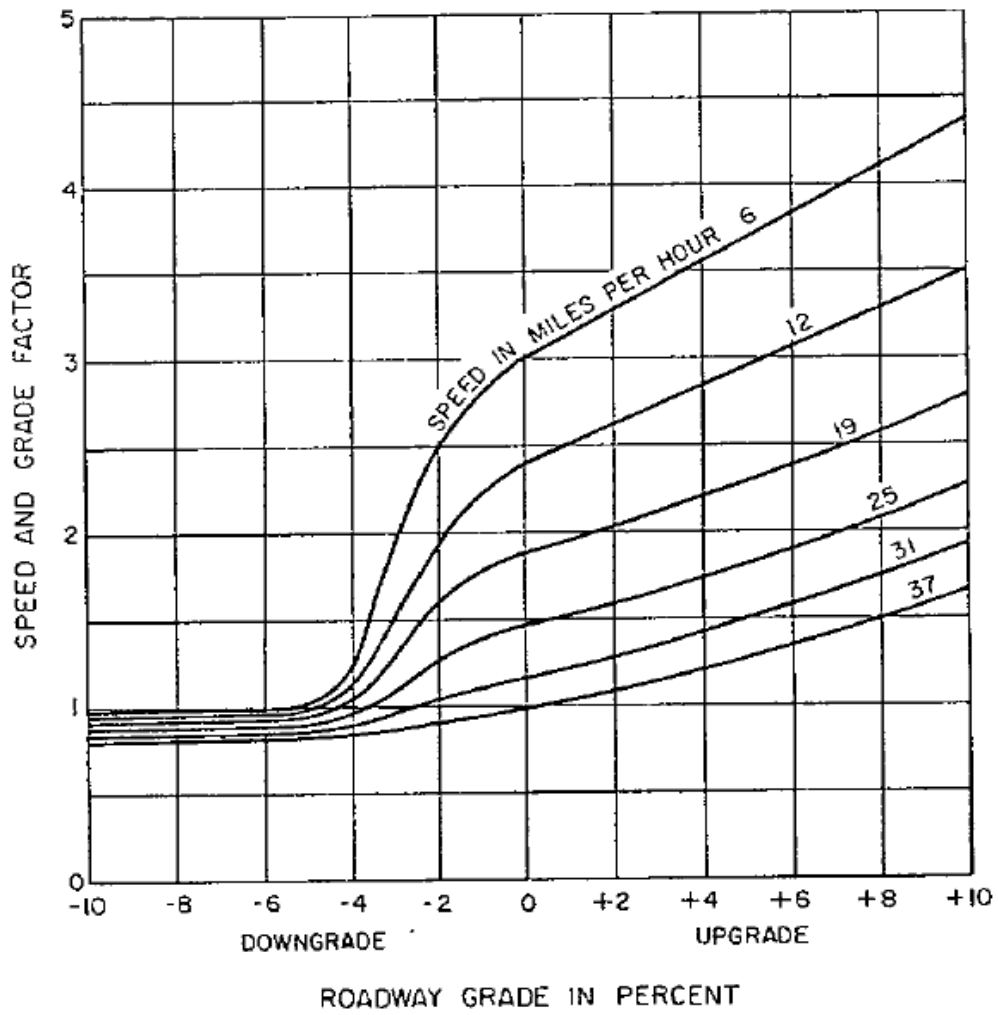


Διάγραμμα 2
Συντελεστής διόρθωσης υψομέτρου για εκπομπές ρύπων

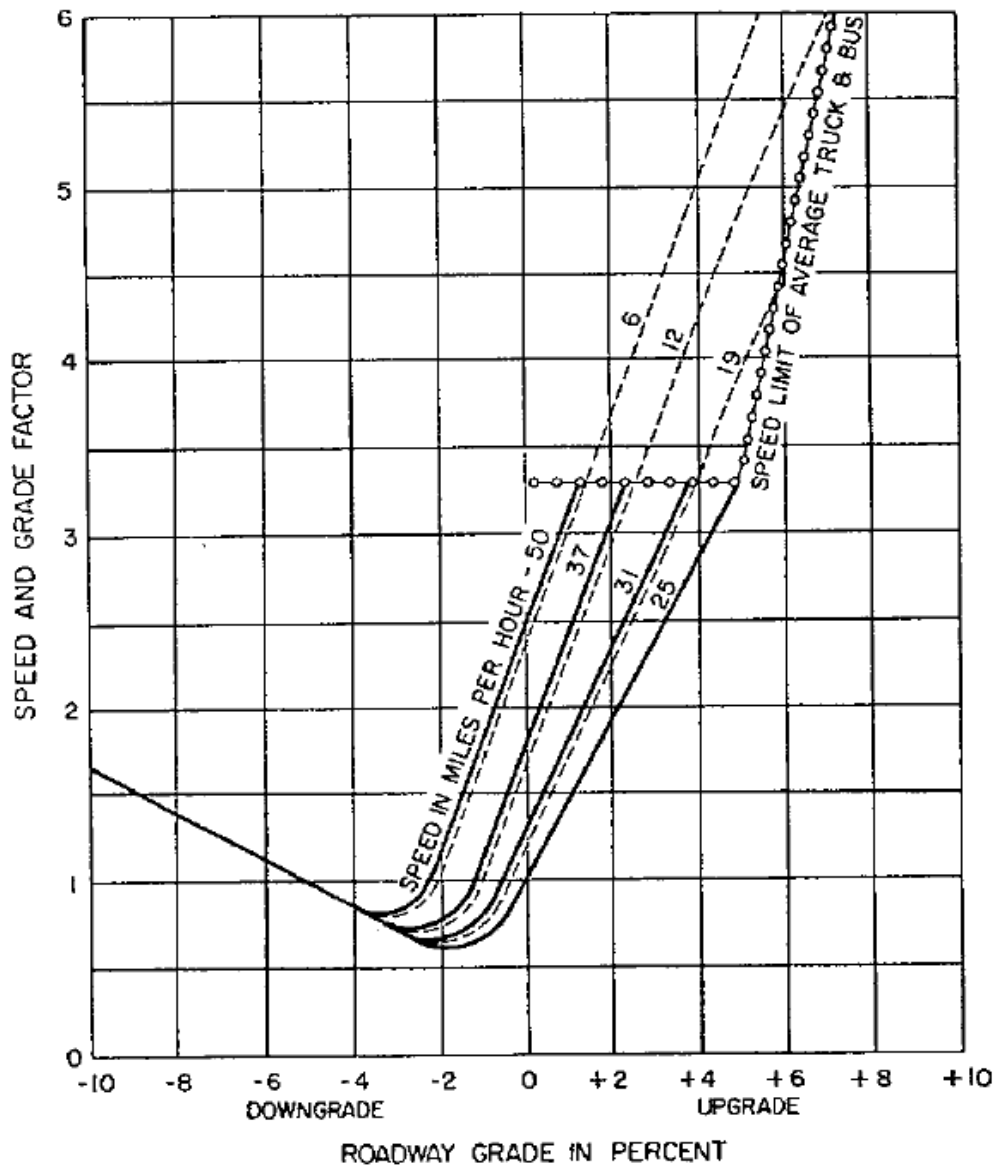
1.2.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΚΛΙΣΗΣ ΔΡΟΜΟΥ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Η κλίση του δρόμου και η ταχύτητα των οχημάτων έχουν πολύ μεγάλη επιρροή στον ρυθμό εκπομπής ρύπων. Κατά την κίνηση των οχημάτων σε δρόμο με θετική κλίση (ανηφόρα), ο ρυθμός εκπομπής ρύπων αυξάνεται ενώ σε αρνητική κλίση δρόμου (κατηφόρα) η εκπομπή ρύπων αντίστοιχα μειώνεται. Βέβαια, σε έναν δρόμο με έντονη κατηφορική κλίση, παρατηρείται ότι ο ρυθμός εκπομπής είναι αυξημένος, κι αυτό γιατί ο οδηγός χρησιμοποιεί πάλι χαμηλή ταχύτητα (1η, 2α) για φρενάρισμα του οχήματος.

Στα ακόλουθα διαγράμματα (3 και 4), παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από πειράματα που διεξήχθησαν, ώστε να προσδιοριστεί η επίδραση της κλίσης του δρόμου και της ταχύτητας των οχημάτων, στον ρυθμό εκπομπής ρύπων (για βενζινοκίνητα οχήματα). Το Διάγραμμα 3 παρουσιάζει τον συντελεστή διόρθωσης για κλίσεις δρόμου από -6% έως 6% και ταχύτητα οχημάτων από 3mph έως 37mph. Το διάγραμμα 4 παρουσιάζει τα αποτελέσματα σειράς πειραμάτων για των προσδιορισμό του ρυθμού εκπομπής ρύπων για πετρελαιοκίνητα οχήματα. Η μέγιστη ταχύτητα που φαίνεται στο διάγραμμα αφορά στο μέσο όχημα 11hp/tn.



Διάγραμμα 3
 Συντελεστές κλίσης δρόμου και ταχύτητας για οχήματα με έναυση σπινθήρα.



Διάγραμμα 4

Συντελεστές κλίσης δρόμου και ταχύτητας για οχήματα με έναυση από συμπίεση.

Για ταχύτητες οχημάτων που δεν εμφανίζονται σε κανένα από τα δύο διαγράμματα, θα πρέπει να γίνουν ξεχωριστές μελέτες.

1.3 ΤΕΧΝΙΚΟΙ ΟΡΟΙ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΟΔΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ

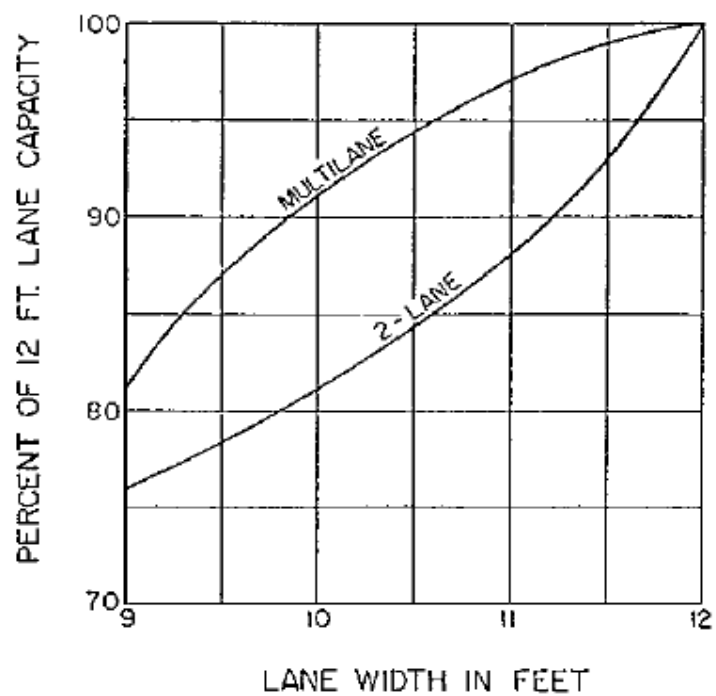
1.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο μηχανικός ο οποίος θα ασχοληθεί με την μελέτη εξαερισμού της σήραγγας θα πρέπει να είναι ενήμερος για την σύσταση της κυκλοφορίας. Η πυκνότητα της κυκλοφορίας, ο όγκος της κυκλοφορίας, και η σύσταση της κυκλοφορίας έχουν άμεση σχέση με το ποσό του μονοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται μέσα σε μία σήραγγα. Η μέγιστη χωρητικότητα ενός δρόμου δεν είναι τόσο σημαντικός παράγοντας όπως είναι το πλάτος της οδικής λωρίδας της σήραγγας και η τοποθεσία της σήραγγας.

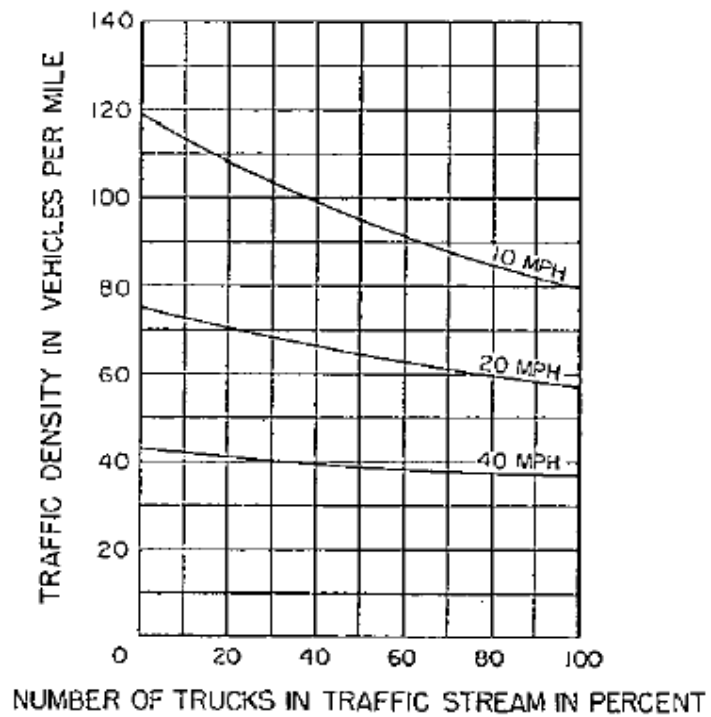
1.3.2 ΟΓΚΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Μια σήραγγα η οποία βρίσκεται μέσα ή πολύ κοντά σε μία αστική περιοχή, θα πρέπει να μελετηθεί για πολύ μεγάλη κυκλοφορία οχημάτων, ενώ μία σήραγγα η οποία βρίσκεται σε επαρχιακή περιοχή θα πρέπει να μελετηθεί για μικρή κυκλοφορία. Η σήραγγα της αστικής περιοχής θα πρέπει να μελετηθεί για κυκλοφορία υπό κανονικές συνθήκες και για κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Η μέγιστη χωρητικότητα οχημάτων για μία σήραγγα με πλάτος οδικής λωρίδας κυκλοφορίας 12f, καλά φωτισμένη και με καλό εξαερισμό, είναι 2000v/h. Αυτό αφορά βέβαια σήραγγα με δύο λωρίδες κυκλοφορίας προς την ίδια κατεύθυνση. Η μέγιστη αυτή χωρητικότητα οχημάτων μειώνεται όταν η σήραγγα αποτελείται από λωρίδες οδικής κυκλοφορίας μικρότερου πλάτους και αντίθετης κατεύθυνσης, δρόμους υπό κλίση και η κυκλοφορία των οχημάτων είναι μικτή. Η επιρροή του πλάτους της οδικής σήραγγας στον επιτρεπόμενο αριθμό οχημάτων σε μία σήραγγα, φαίνεται στα Διαγράμματα 5 και 6. Ο αριθμός των λεωφορείων και των φορτηγών στην λωρίδα κυκλοφορίας, λόγω του διαφορετικού τους μήκους, προκαλεί μείωση στην *κυκλοφοριακή πυκνότητα* (παράδειγμα αντίστοιχο φαίνεται στο Διάγραμμα 6).



Διάγραμμα 5
 Επίδραση του πλάτους της κυκλοφοριακής λωρίδας στην κυκλοφοριακή
 πυκνότητα



Διάγραμμα 6

Επίδραση ύπαρξης φορτηγών οχημάτων στην σύσταση της κυκλοφορίας, στην κυκλοφοριακή πυκνότητα. (βασισμένο σε 18-foot μήκος επιβατικού οχήματος και 40-foot μήκος φορτηγού οχήματος).

Τις περισσότερες φορές, ο αρμόδιος μηχανικός διεκπεραιώνει κυκλοφοριακή ανάλυση, βάσει της οποίας γίνεται ο προσδιορισμός της ροής κυκλοφορίας της υπό μελέτη σήραγγας. Υπάρχουν βέβαια περιπτώσεις που οι αντίστοιχες αναλύσεις δεν είναι διαθέσιμες-όπως σε περιπτώσεις που η μελέτη βρίσκεται στο αρχικό της στάδιο ή ακόμη και όταν οι κυκλοφοριακές συνθήκες που πρόκειται να μελετηθούν αναφέρονται σε ταχύτητες οχημάτων διαφορετικές από τις ταχύτητες για τις οποίες σχεδιάστηκε ο δρόμος. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο μηχανικός που θα πραγματοποιήσει την μελέτη εξαερισμού της σήραγγας θα πρέπει να κάνει μια επιτυχημένη παραδοχή του όγκου κυκλοφορίας οχημάτων στην σήραγγα.

Ο όγκος κυκλοφορίας οχημάτων μπορεί να προσδιορισθεί χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες σχέσεις:

$$TRV = 3600/AHY \quad (1.3.2-1)$$

Όπου TRV είναι ο κυκλοφοριακός όγκος των οχημάτων (οχήματα/ώρα).

$$TRV = (TRS \times 5280)VES \quad (1.3.2-2)$$

Όπου TRS είναι η ταχύτητα των οχημάτων (μίλια/ώρα) και VES είναι η μέση απόσταση των οχημάτων (feet, measured frond to frond).

Το AHV θεωρείται ότι κυμαίνεται από 1/2sec έως 2sec εξαρτάται από τον οδηγό και από τις συνθήκες κυκλοφορίας. Ο μέσος όρος προσδιορίζεται στο 1½ sec. Καθώς αυτός ο μέσος όρος αναφέρεται σε ανοιχτό δρόμο, ο αντίστοιχη εκτίμηση για σήραγγα είναι 1,8sec. Σύμφωνα με αυτές τις παραδοχές η μέση απόσταση οχημάτων προσδιορίζεται όπως ακολούθως:

$$VES = AHY (1,467 TRS) + VEL \quad (1.3.2-3)$$

Όπου VEL το μέσο μήκος των οχημάτων(feet).

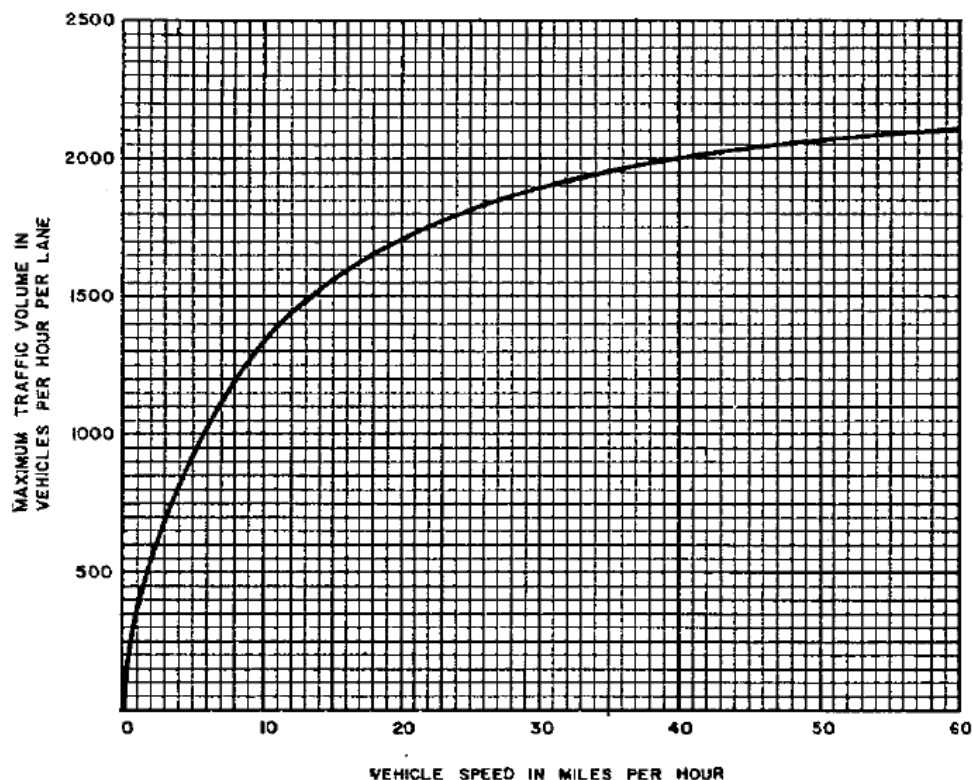
Η *κυκλοφοριακή πυκνότητα* προσδιορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$TRD = 1 / VES \quad (1.3.2-4)$$

Όπου TRD η κυκλοφοριακή πυκνότητα (αριθμός οχημάτων ανά μονάδα μήκους της σήραγγας).

Οι παραπάνω σχέσεις μας δίνουν τα απαραίτητα στοιχεία για τον προσδιορισμό των ρύπων μέσα στη σήραγγα.

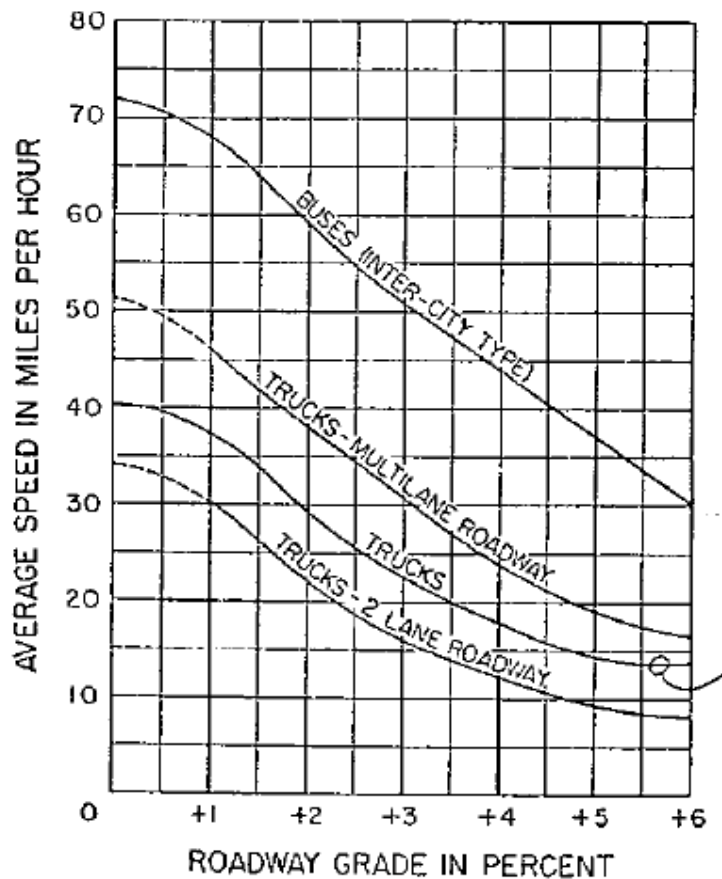
Στο Διάγραμμα 7 φαίνεται η σχέση μεταξύ του μέγιστου επιτρεπτού όγκου κυκλοφορίας και της ταχύτητας των οχημάτων.



Διάγραμμα 7
Μέγιστος κυκλοφοριακός όγκος

1.3.3 ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Το ποσοστό των φορτηγών και των λεωφορείων σε κάθε ρεύμα κυκλοφορίας είναι άλλος ένας παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον προσδιορισμό της κυκλοφοριακής χωρητικότητας στο οδικό δίκτυο μιας σήραγγας. Η παρουσία φορτηγών ή λεωφορείων αυτομάτως μειώνει την κυκλοφοριακή πυκνότητα. Η παρουσία ενός δρόμου υπό θετική κλίση (ανηφόρα), αυτομάτως περιορίζει το όριο ταχύτητας του οδικού δικτύου. Το Διάγραμμα 8 παρουσιάζει το μέγιστο όριο ταχύτητας φορτηγών ή λεωφορείων σε ανηφορικά δίκτυα. Ο αριθμός των οχημάτων και των φορτηγών έχει επίσης μεγάλη επιρροή στον ρυθμό έκλυσης ρύπων, και ειδικά όσον αφορά το οξείδιο του αζώτου και τον καπνό ο οποίο εκλύεται από τις μηχανές Diesel.



Διάγραμμα 8

Μέγιστο όριο ταχύτητας φορτηγών ή λεωφορείων σε ανηφορικά δίκτυα

Μια σήραγγα η οποία βρίσκεται σε αστικό κέντρο, όπως αυτή για παράδειγμα στην Νέα Υόρκη, παρουσιάζει μία σύσταση φορτηγών και λεωφορείων περίπου στο 15%, εν αντιθέσει με μία σήραγγα η οποία βρίσκεται σε επαρχιακή περιοχή, η οποία παρουσιάζει σύσταση λεωφορείων και φορτηγών περίπου στο 4%-5%. Διαπιστώνεται λοιπόν ότι η τοποθεσία είναι σημαντικός παράγοντας για τον προσδιορισμό της σύστασης της κυκλοφορίας μιας σήραγγας.

1.3.4 ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΑ ΟΡΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΡΥΠΩΝ

Ο καθορισμός ορίων στις συγκεντρώσεις ρύπων στον χώρο μιας σήραγγας, είναι πλέον απαραίτητη, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η υγεία και των

οδηγών αλλά και όλων όσων περιφέρονται στην σήραγγα. Το μονοξειδίο του άνθρακα παρουσιάζεται να είναι το πιο επικίνδυνο στοιχείο των ρύπων όσον αφορά την υγεία και την ασφάλεια του ανθρώπου. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί και σε εκείνα τα στοιχεία των ρύπων που επηρεάζουν την καλή ορατότητα μέσα στην σήραγγα.

Τα πρώτα όρια συγκέντρωσης ρύπων, εφαρμόστηκαν στις Η.Π.Α. , θέτοντας ως αποδεκτή σύσταση μονοξειδίου του άνθρακα μέσα στις σήραγγες τα 400ppm. Παρόλα αυτά και παρά το γεγονός ότι για πολλά χρόνια αυτή η σύσταση ήταν η κοινώς αποδεκτή, στις περισσότερες μελέτες αερισμού σηράγγων εφαρμοζόταν το όριο συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα 250ppm, έτσι ώστε να διασφαλίζεται και καλή ορατότητα μέσα στην σήραγγα. Πιο πρόσφατες μελέτες χρησιμοποιούν ως αποδεκτό όριο συγκέντρωσης τα 150-250ppm, όπου στη δυσμενέστερη περίπτωση να φτάσει τα 400ppm.

Τα όρια που προαναφέρθηκαν αφορούν σήραγγες οι οποίες κατασκευάστηκαν κοντά σε θάλασσα. Δηλαδή δεν υπάρχει υψομετρική διαφορά μεταξύ επιφάνειας θαλάσσης και κατώτερης επιφάνειας της σήραγγας. Σε περίπτωση υψομετρικής διαφοράς οι εκτιμήσεις της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα θα πρέπει να είναι ανάλογες. Επίσης για να μπορέσουν να γίνουν πλήρως αντιληπτοί οι αντίστοιχοι κανονισμοί θα πρέπει να ορισθούν οι επανδρωμένες και οι μη επανδρωμένες σήραγγες.

Επανδρωμένες Σήραγγες είναι όταν γίνεται περιπολία στη σήραγγα από άνθρωπο ο οποίος κινείται στην άκρη της σήραγγας.

Μη επανδρωμένες Σήραγγες από την άλλη, είναι εκείνες στις οποίες δεν κυκλοφορεί κανένα πεζό άτομο μέσα σε αυτήν, με εξαίρεση την περίπτωση του προσωπικού συντήρησης.

Όπως είναι φανερό, σε μία Επανδρωμένη Σήραγγα, τα επιτρεπόμενα όρια συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα είναι χαμηλότερα από ότι σε μία Μη Επανδρωμένη, καθώς στην πρώτη το περιβάλλον της σήραγγας θεωρείται το εργασιακό περιβάλλον του προσωπικού ασφαλείας. Ακολούθως αναφέρονται ενδεικτικά κάποια επιτρεπόμενα όρια εκπομπής ρύπων αναφερόμενοι σε Επανδρωμένες Σήραγγες (**Πίνακας 19.7**).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙΙ
Επιτρεπόμενα όρια εκπομπής ρύπων αναφερόμενα σε Επανδρωμένες
Σήραγγες.

ρύποι	Έναρξη τιμής ορίου (ppm)	Επιτρεπόμενο όριο εκπομπής (ppm)	Όρια βραχυπρόθεσμων εκπομπών
<i>Μονοξείδιο του άνθρακα</i>	50	75	400
Νιτρικό οξύ	25	37,5	35
Διοξείδιο του Αζώτου	5	5	5

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ ΟΔΙΚΩΝ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όλες οι οδικές σήραγγες για τον απαιτούν αερισμό. Αυτός μπορεί να γίνει είτε με φυσικά μέσα ή με μηχανολογικό εξοπλισμό. Ο αερισμός των σηράγγων κρίνεται απαραίτητος γιατί φέρνει τις συγκεντρώσεις ρύπων στα επιτρεπόμενα επίπεδα.

Το σύστημα αερισμού που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε μια σήραγγα θα πρέπει να είναι το οικονομικότερο σε κάθε περίπτωση και στην κατασκευή αλλά και στην λειτουργία του. Αυτοί οι δύο παράγοντες θα συνθέσουν τα κατάλληλα κριτήρια για την επιλογή του καταλληλότερου συστήματος.

Ο Φυσικός Αερισμός σηράγγων κρίνεται το πιο κατάλληλο σύστημα αερισμού για σήραγγες με μικρό σχετικά μήκος και μικρή κυκλοφοριακή πυκνότητα. Για σήραγγες μεγαλύτερου μήκους και μεγαλύτερης κυκλοφοριακής πυκνότητας κρίνεται απαραίτητος ο Μηχανικός Αερισμός.

2.2 ΦΥΣΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Ο Φυσικός Αερισμός των Σηράγγων στηρίζεται κυρίως στις μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στο εξωτερικό περιβάλλον έτσι ώστε να επιτευχθούν ικανοποιητικές συνθήκες περιβάλλοντος στο εσωτερικό της σήραγγας. Κατά την κίνηση των οχημάτων μέσα στην σήραγγα, προκαλείται επιπλέον κίνηση αέρα σύμφωνα με το φαινόμενο του εμβόλου.

Η πιο σημαντική μετεωρολογική συνθήκη που επηρεάζει το περιβάλλον της σήραγγας, είναι η διαφορά πίεσης στα δύο στόμια της σήραγγας (Εισόδου – Εξόδου), η οποία μπορεί να προκληθεί είτε από υψομετρική διαφορά, είτε από διαφορές θερμοκρασίας είτε από των άνεμο. Δυστυχώς κανένας από τους παραπάνω παράγοντες δεν είναι σταθερός στο χρόνο. Για παράδειγμα μια απότομη αλλαγή της κατεύθυνσης του αέρα ή της ταχύτητας του, μπορεί να ανατρέψει όλα τα προαναφερθέντα φαινόμενα. Το ολικό άθροισμα των πιέσεων θα πρέπει να είναι τέτοιας τάξης ώστε να υπερνικάει την αντίσταση της σήραγγας η οποία εξαρτάται από το μήκος της σήραγγας, τον συντελεστή τριβής, την υδραυλική ακτίνα και την πυκνότητα του αέρα.

Η ροή του αέρα σε ένα σύστημα φυσικού αερισμού μπορεί να είναι από το στόμιο εισόδου στο στόμιο εξόδου (Διάγραμμα 9).

Αυτή η περίπτωση αερισμού αποδίδει καλύτερα στην περίπτωση σήραγγας μονής κυκλοφορίας, γιατί έτσι δημιουργείται μία σταθερή διαφορά πίεσης. Όπως παρατηρείται και από τα διαγράμματα, στην ανωτέρω περίπτωση η ταχύτητα παραμένει σταθερή σε όλο το μήκος της σήραγγας. Αντίθετα η συγκέντρωση των ρύπων αυξάνει λαμβάνοντας την μέγιστη τιμή της στην έξοδο της σήραγγας. Αν ξαφνικά παρουσιασθούν και αλλαγές στα μετεωρολογικά φαινόμενα (π.χ αλλαγή στην κατεύθυνση του ανέμου) τότε η ταχύτητα ροής του αέρα μέσα στη σήραγγα θα μειωθεί και η συγκέντρωση των ρύπων θα αυξηθεί. Αν στη περίπτωση αυτή η σήραγγα είναι διπλής κατεύθυνσης, η ταχύτητα ροής του αέρα θα μειωθεί περισσότερο.

Παρατηρώντας το Διάγραμμα 10, διαπιστώνουμε την παρεμβολή shaft. Η λύση αυτή είναι πιο κατάλληλη για σήραγγες διπλής κυκλοφορίας. Και σε αυτή τη μέθοδο όμως η ροή του αέρα μέσα στη σήραγγα εξαρτάται κυρίως από τα μετεωρολογικά φαινόμενα.

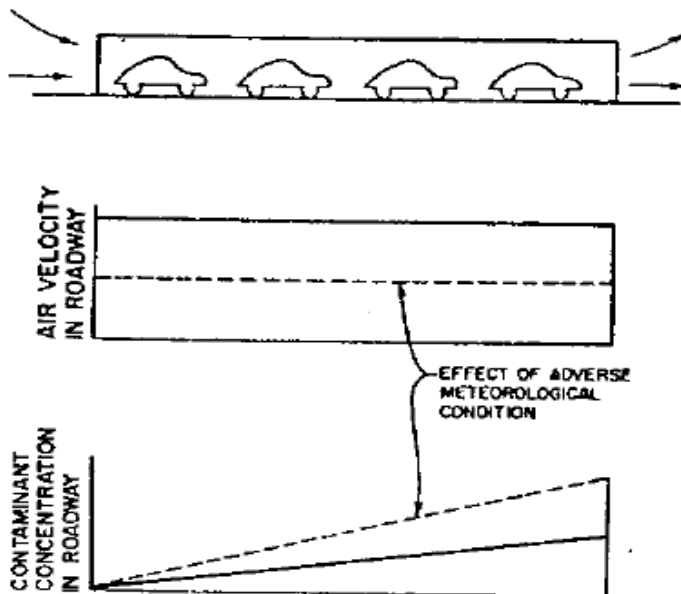
Η κατασκευή πάνω από δύο shafts σε μία σήραγγα περισσότερο μειονεκτήματα έχει από πλεονεκτήματα, καθώς ποσότητα αέρα παγιδεύεται μεταξύ των δύο shafts, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η συγκέντρωση των ρύπων.

Λόγω λοιπόν των ανωτέρω αστάθμητων παραγόντων, σε μία σήραγγα άνω των 300m (1000feet) είναι σπάνιο να χρησιμοποιηθεί φυσικός αερισμός. Υπάρχουν βέβαια και εξαιρέσεις όπου μεγάλες σήραγγες (π.χ 1000m), χρησιμοποιούν φυσικό αερισμό καθώς η διαφορά πίεσης που μπορεί να δημιουργηθεί μεταξύ των στομιών μπορεί να είναι τόση ώστε να δημιουργείται μέσα στη σήραγγα ικανοποιητική ροή αέρα.

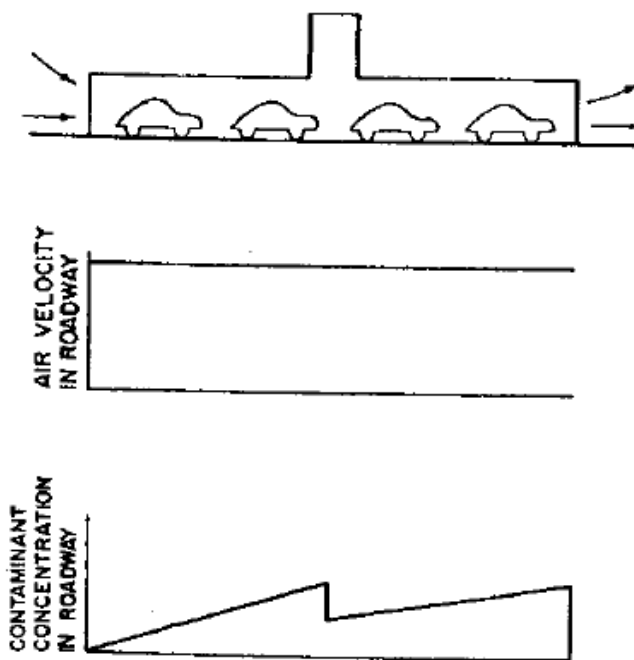
Θεωρήθηκε λοιπόν σκόπιμο σε όλες τις σήραγγες άνω των 150m (500feet), να χρησιμοποιείται τεχνητός αερισμός. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορεί να αντλείται καπνός και θερμά αέρια που μπορεί να εκλυθούν σε περιπτώσεις εκτάκτου ανάγκης.

Για να καταλήξουμε λοιπόν στην λύση του φυσικού αερισμού σε μία σήραγγα με μήκος μεγαλύτερο από 150m, θα πρέπει με πολύ προσοχή να έχουμε κάνει τις εκτιμήσεις μας, καθώς όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, καθοριστικός παράγοντας σε αυτό το σύστημα αερισμού είναι οι μετεωρολογικές συνθήκες και οι συνθήκες λειτουργίας της σήραγγας. Ειδικά σε περιπτώσεις σηράγγων με υψηλό προβλεπόμενο κυκλοφοριακό φόρτο, τα παραπάνω θα πρέπει να λαμβάνονται ιδιαίτερα υπόψη. Αν ο φυσικός αερισμός δεν επαρκεί, τότε θα πρέπει να προβλεφθεί ένα μηχανικό σύστημα ανεμιστήρων.

Γενικά, υπάρχουν διάφορα συστήματα αερισμού σηράγγων με ανεμιστήρες. Μερικοί από αυτά περιγράφονται στα ακόλουθα.



Διάγραμμα 9
Φυσικό σύστημα αερισμού

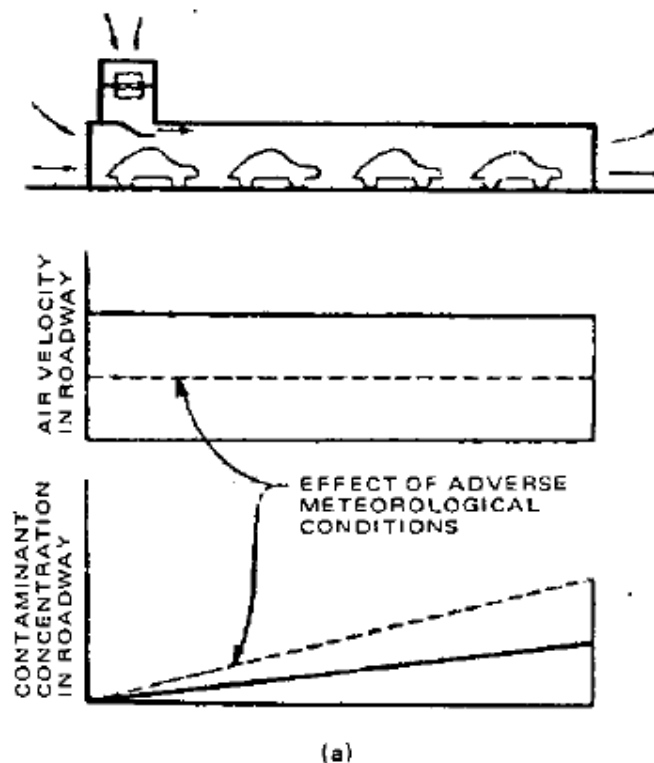


Διάγραμμα 10
Φυσικό σύστημα αερισμού με κεντρικό shaft

2.3 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Διαμήκη Σύστημα Αερισμού ονομάζεται εκείνο το σύστημα αερισμού όπου αέρας εισάγεται ή μεταφέρεται από την οδική σήραγγα μέσω συγκεκριμένων σημείων επιλεγμένων έτσι ώστε να κατά μήκος της σήραγγας να δημιουργείται διαμήκης αερισμός (βλ. Διάγραμμα 11).

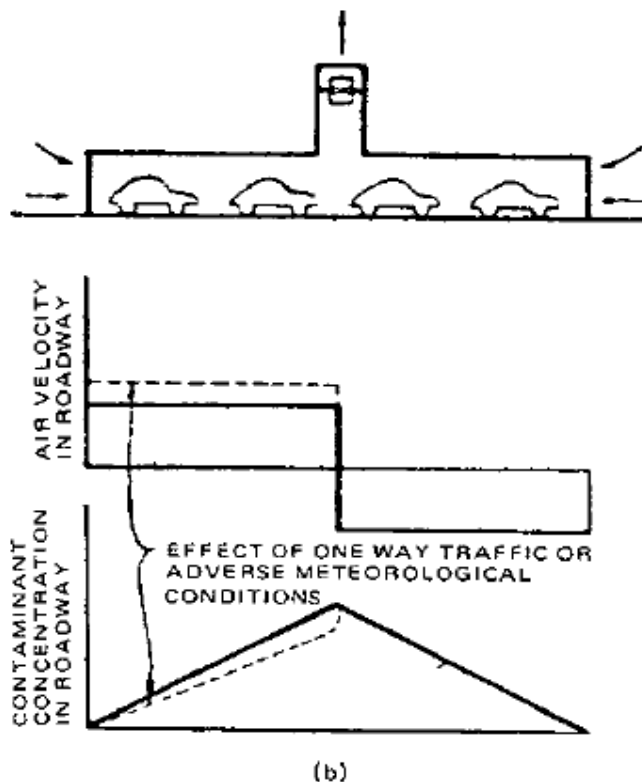
Το Σύστημα Διαμήκης Αερισμού που παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 11a, (παρεμβολή shaft κοντά στο στόμιο εισόδου της σήραγγας), εφαρμόζεται συνήθως σε αερισμό σιδηροδρομικών σιδηρόδρομων. Κάποιες φορές όμως εφαρμόζεται και σε οδικές σήραγγες. Στην παραπάνω περίπτωση αέρας εισάγεται από το ένα άκρο της σήραγγας, ο οποίος αναμιγνύεται με τον αέρα εκείνο που εισάγεται στην σήραγγα μέσω του φαινόμενου του εμβόλου. Αυτό το σύστημα είναι περισσότερο αποτελεσματικό σε σήραγγες μονής κυκλοφορίας. Σε αυτές τις περιπτώσεις η ταχύτητα του αέρα είναι σταθερή σε όλο το μήκος της σήραγγας και οι συγκεντρώσεις των ρύπων αυξάνονται από μηδέν που είναι στο στόμιο εισόδου της σήραγγας στη μέγιστη τιμή τους στο στόμιο εξόδου. Ασταθείς ατμοσφαιρικοί παράγοντες επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα αυτού του συστήματος. Το επίπεδο της συγκέντρωσης των ρύπων αυξάνεται στο στόμιο εξόδου της σήραγγας όσο η ταχύτητα του αέρα μειώνεται ή όσο το μήκος της σήραγγας αυξάνεται.



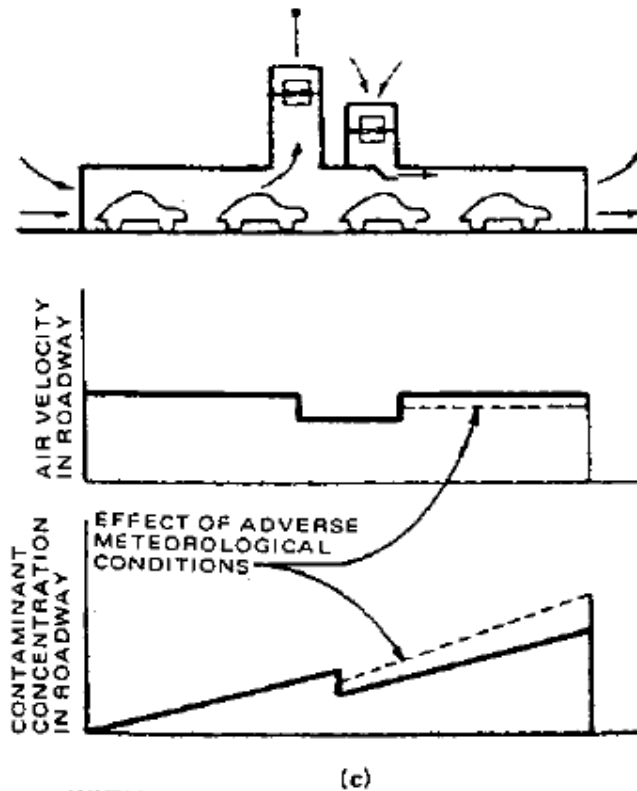
Διάγραμμα 11a

Ο διαμήκης αερισμός σηράγγων με παρεμβολή shaft στο μέσω του μήκους της σήραγγας, ενδείκνυται για σήραγγες διπλής κατεύθυνσης καθώς σε σήραγγες μονής κατεύθυνσης τα επίπεδα των ρύπων γίνονται ασταθή. Στην περίπτωση λοιπόν αυτή, καθώς ο ανεμιστήρας στο shaft εκλύει αέρα προς το περιβάλλον, αέρας εισέρχεται μέσα στη σήραγγα και από τα δύο στόμια (εισόδου-εξόδου), ενώ η υψηλότερη τιμή της συγκέντρωσης των ρύπων μέσα στη σήραγγα παρουσιάζεται στην θέση που χωροθετείται το shaft (βλ. Διάγραμμα 11b).

Ο διαμήκης αερισμός σηράγγων με παρεμβολή δύο shaft στο μέσω του μήκους της σήραγγας, όπου από το ένα shaft εισάγεται αέρας στη σήραγγα ενώ από το άλλο shaft εκλύεται αέρας προς το περιβάλλον, θα δημιουργήσει μία μείωση του επιπέδου των ρύπων στο δεύτερο μισό της σήραγγας. Ασταθή μετεωρολογικά φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν μείωση της ροής του εισερχόμενου αέρα στη σήραγγα και επομένως αύξηση των ρύπων στο δεύτερο μισό της (βλ. Διάγραμμα 11c).



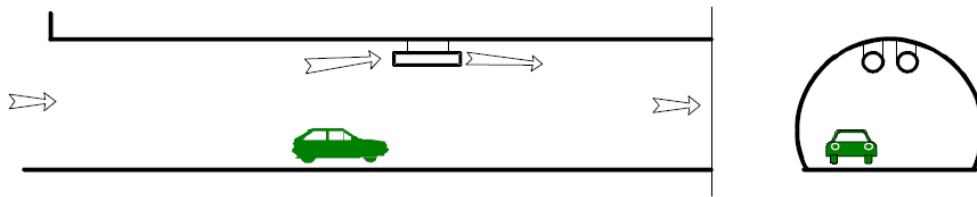
Διάγραμμα 11b



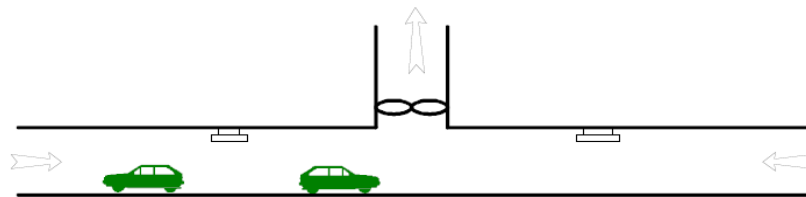
Διάγραμμα 11c

Το σύστημα πρέπει να ικανοποιεί τις ακόλουθες απαιτήσεις :

- Η μέγιστη διαμήκης ταχύτητα του αέρα δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 10m/sec, λαμβανομένης υπ' όψη της συμβολής σε αυτή της κίνησης των οχημάτων και της επίδρασης μετεωρολογικών συνθηκών.
- Η μέγιστη απόσταση διαφυγής προσώπων από μια επικίνδυνη περιοχή θα πρέπει να είναι : 350÷450m.
- Οι ανεμιστήρες θα πρέπει να είναι αναστρέψιμης ροής, και στην περίπτωση φωτιάς θα πρέπει να μπορούν να εξασφαλίσουν ταχύτητα αέρα τουλάχιστον 3 m/s.
- Οι χρησιμοποιούμενοι αξονικοί ανεμιστήρες ωστικού τύπου (jet fans) θα πρέπει να βρίσκονται διανεμημένοι κατά μήκος της σήραγγας, έτσι ώστε να αυξάνεται η αξιοπιστία τους, να ελαχιστοποιούνται οι στροβιλισμοί του αέρα σε περίπτωση πυρκαγιάς και να μειώνεται η πιθανότητα απώλειας σημαντικού ποσοστού της ικανότητας αερισμού λόγω καταστροφής ανεμιστήρων από τη φωτιά.
- Για να μειωθούν οι εκροές από τα στόμια της σήραγγας, αν απαιτείται, μπορούν να
- προβλεφθούν κατάλληλοι βοηθητικοί αγωγοί με ανεμιστήρες.

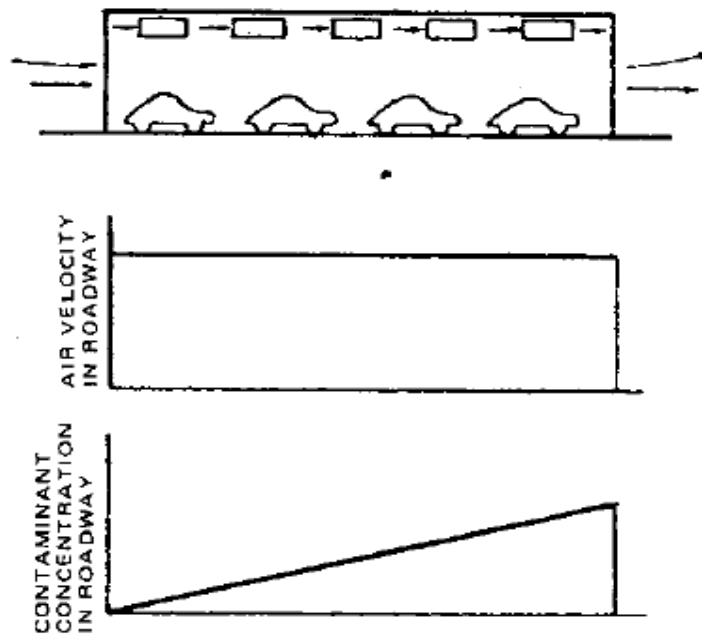


Εικ.1 Σύστημα Διαμήκους Αερισμού με Ωστικού Τύπου Ανεμιστήρες



Εικ.2 Σύστημα Διαμήκους Αερισμού με κεντρικό βοηθητικό αγωγό **BOOSTER FANS**

Σε ένα μεγάλο πλήθος σηράγγων ο διαμήκης αερισμός επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ενισχυτικών ανεμιστήρων στην οροφή των σηράγγων (βλ. Διάγραμμα 11d).



(d)
Διάγραμμα 11d

Σε ένα τέτοιο σύστημα βέβαια απαιτείται χώρος για την τοποθέτηση των ανεμιστήρων, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της διατομής της σήραγγας, έτσι ώστε να πετύχουμε μεγαλύτερο ύψος ή πλάτος.

Σε ένα τυπικό σύστημα αερισμού, (εκτός του συστήματος των booster fans), έχοντας είτε εισαγωγή αέρα στη σήραγγα, είτε έκλυση αέρα προς το περιβάλλον σε συγκεκριμένες θέσεις μέσα στη σήραγγα, αποτελούν το οικονομικότερο σύστημα αερισμού, καθώς απαιτεί τον μικρότερο αριθμό ανεμιστήρων και για την λειτουργία τους δεν απαιτείται η παρεμβολή αεραγωγών.

Παρόλα αυτά, όσο το μήκος της σήραγγας αυξάνεται, τα μειονεκτήματα αυτού του συστήματος γίνονται φανερά, καθώς σε περίπτωση εκτάκτου ανάγκης ο καπνός σύρεται σε όλο το μήκος της σήραγγας. Για να αποφευχθούν αυτά τα προβλήματα, θα πρέπει να προβλεφθεί μια ομοιόμορφη διανομή του αέρα.

2.4 ΗΜΙΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Η ομοιόμορφη διανομή αέρα σε όλο το μήκος της σήραγγας είναι το κύριο χαρακτηριστικό του ημι-εγκάρσιου αερισμού μιας σήραγγας. Η εισαγωγή αέρα στη σήραγγα (βλ. σχ. 12α) μέσω αυτού του συστήματος αερισμού, δημιουργεί ένα ομοιόμορφο επίπεδο μονοξειδίου του άνθρακα σε όλο το μήκος της σήραγγας, και αυτό γιατί ο αέρας και οι ρύποι των οχημάτων εισάγονται μέσα στη σήραγγα με τον ίδιο ρυθμό. Σε μία σήραγγα με μονή κατεύθυνση οχημάτων, δημιουργείται επιπρόσθετη ροή αέρα. Αυτό το σύστημα αερισμού, λόγω της παραγόμενης από τον ανεμιστήρα ροής αέρα, δεν θα επηρεασθεί δυσμενώς από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η καλύτερη θέση για την εισαγωγή νωπού αέρα είναι στη στάθμη της εξάτμισης του οχήματος για να επιτρέψει την άμεση διάλυση των αερίων εξάτμισης. Προκειμένου να ολοκληρωθεί η διανομή αέρα που περιγράφεται ανωτέρω, ένα επαρκές διαφορικό πίεσης πρέπει να παραχθεί μεταξύ του αγωγού και του οδοστρώματος για να εξουδετερώσει την επίδραση του φαινομένου του εμβόλου και τους ατμοσφαιρικούς ανέμους.

Κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς μέσα στη σήραγγα, η παροχή νωπού αέρα θα προκαλέσει τη διάλυση του καπνού. Για να μπορεί να συμβάλει η εισαγωγή νωπού αέρα στις προσπάθειες κατάσβεσης ή και γενικά στα μέτρα έκτακτης ανάγκης, ο νωπός αέρας θα πρέπει να εισαχθεί στη σήραγγα μέσω των στομιών της για να δημιουργηθούν έτσι συνθήκες άνεσης, ώστε να εξυπηρετηθούν και να λειτουργήσουν έτσι αποτελεσματικά όλοι όσοι θα συμμετέχουν σε αυτές τις διαδικασίες.

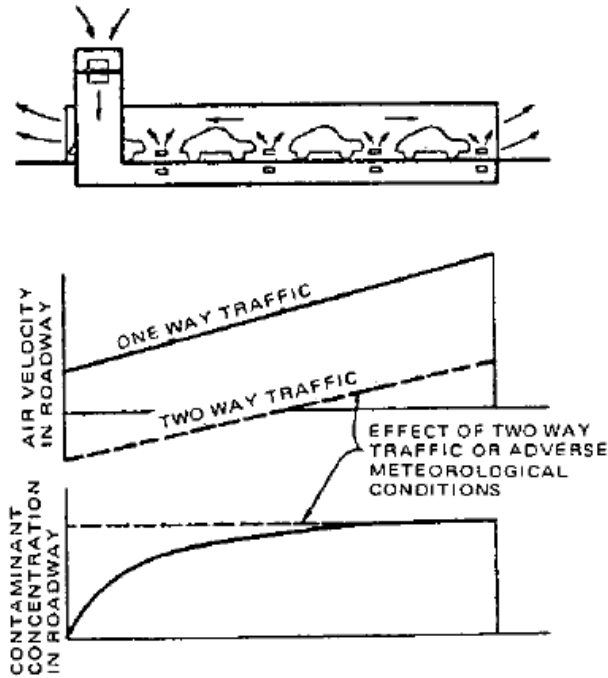
Για τους λόγους αυτούς, οι ανεμιστήρες στο δίκτυο παροχής αέρα σε ημι-εγκάρσιο σύστημα εξαερισμού, θα πρέπει να είναι αναστρέψιμοι και η παροχή νωπού αέρα να γίνεται από την οροφή της σήραγγας, παρόλο που με αυτόν τον τρόπο δεν διαλύονται ικανοποιητικά οι ρύποι, και ο καπνός ανεβαίνει στα υψηλά επίπεδα της σήραγγας.

Έχει αποδειχτεί ότι οι συνθήκες περιβάλλοντος μέσα στη σήραγγα επηρεάζονται από την θέση των στομιών εισαγωγής νωπού αέρα (βλ. Διάγραμμα 13).

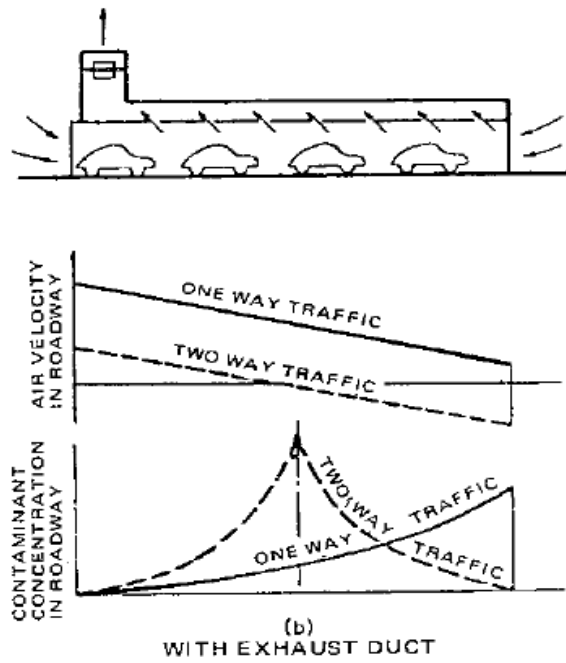
Το δίκτυο απόρριψης σε ένα σύστημα ημι-εγκάρσιου εξαερισμού σε σήραγγα μονής κυκλοφορίας (βλ. Διάγραμμα 12b), θα προκαλέσει μια μέγιστη συγκέντρωση ρύπων στο στόμιο εξόδου της σήραγγας. Σε μια σήραγγα διπλής κατεύθυνσης, στο μέσω της σήραγγας δημιουργείται μια περιοχή μηδενικού νωπού αέρα, το οποίο φυσικά συμβάλει στη δημιουργία μέγιστης ποσότητας ρύπων.

Ο συνδυασμός συστήματος αερισμού και εξαερισμού (βλ. σχ. 19-18c), μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να εφαρμοσθεί έχοντας ικανοποιητικό αποτέλεσμα σε σήραγγες με μονή κατεύθυνση οχημάτων, όπου ο αέρας που εισάγεται “ με φυσικό τρόπο” από το στόμιο εισόδου της σήραγγας, απορρίπτεται στο περιβάλλον μέσω του shaft απόρριψης που υπάρχει στην αρχή της σήραγγας, όσον αφορά στο πρώτο μισό της σήραγγας, ενώ ο αναρροφώμενος αέρας μέσω του shaft προσαγωγής αέρα στο τέλος της σήραγγας, απορρίπτεται στο περιβάλλον “με φυσικό τρόπο” από το στόμιο εξόδου της σήραγγας, όσον αφορά στο δεύτερο μισό της σήραγγας.

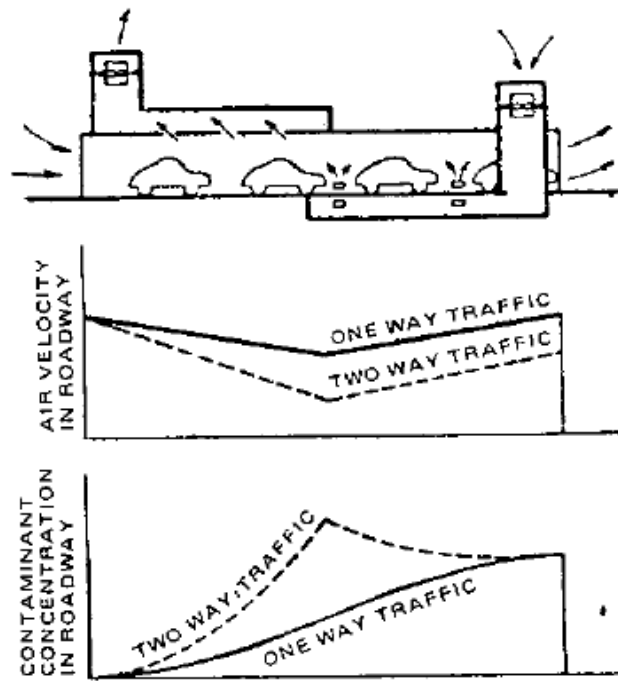
Το σύστημα ημι-εγκάρσιου αερισμού-εξαερισμού σήραγγων, είναι το μόνο το οποίο δεν επηρεάζεται από δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Το σύστημα ημι-εγκάρσιου αερισμού-εξαερισμού, μπορεί αποτελεσματικά να εφαρμοσθεί σε σήραγγές με μήκος μέχρι 3000feet (914,4 meters). Για σήραγγες με μεγαλύτερο μήκος, οι συγκεντρώσεις των ρύπων στις πύλες εισόδου και εξόδου, γίνονται πολύ μεγάλες.



Διάγραμμα 12α
 Ημι-εγκάρσιο σύστημα αερισμού
 με δίκτυο αεραγωγών προσαγωγής αέρα

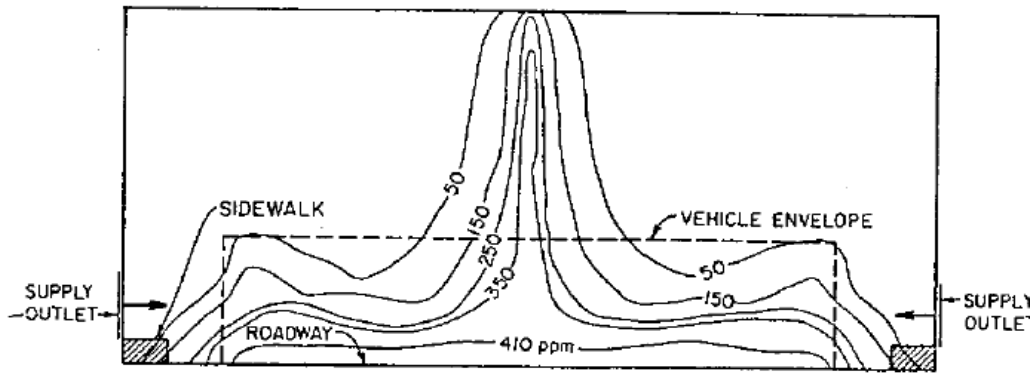


Διάγραμμα 12β
 Ημι-εγκάρσιο σύστημα αερισμού
 με δίκτυο αεραγωγών απαγωγής αέρα

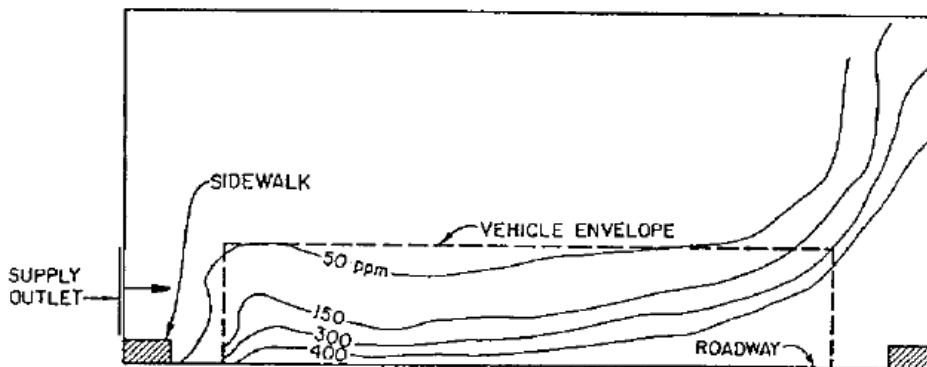


Διάγραμμα 12γ

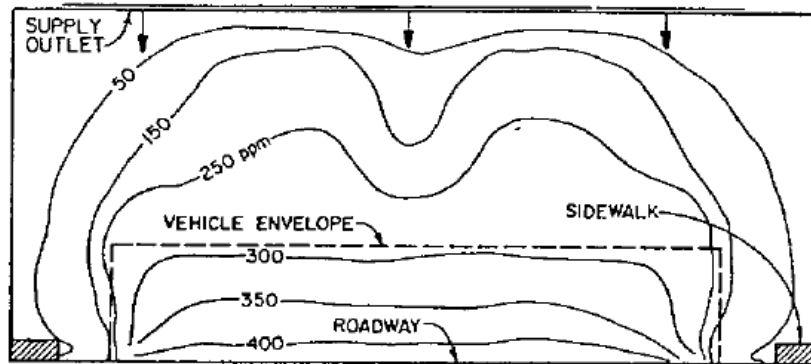
Ημι-εγκάρσιο σύστημα αερισμού με δίκτυο αεραγωγών προσαγωγής - απαγωγής αέρα



TWO SIDE SUPPLY



ONE SIDE SUPPLY



OVERHEAD SUPPLY

Διάγραμμα 13

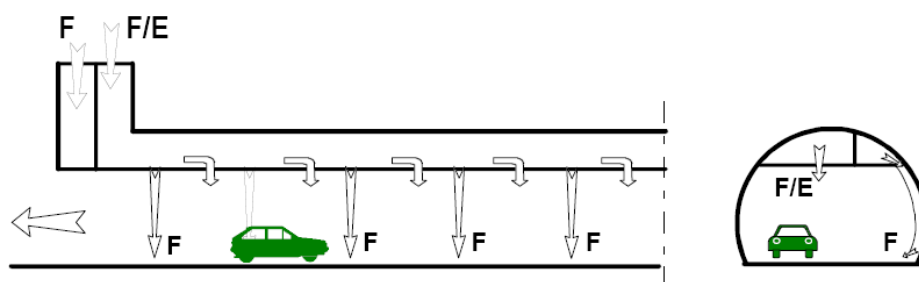
Σχηματική παράσταση επιπέδων μονοξειδίου του άνθρακα μέσα σε σήραγγα με ημι-εγκάρσιο σύστημα αερισμού.

Για το σύστημα αυτό πρέπει να ικανοποιούνται οι ακόλουθες απαιτήσεις :

- Μέγιστη ταχύτητα του αέρα 10m/s μέσα στη σήραγγα.
- Το σύστημα αερισμού θα πρέπει να είναι αναστρέψιμης ροής για περίπτωση φωτιάς, και ικανό να εξάγει τουλάχιστον 150 m³/sec αέρα, από το δυσμενέστερο σημείο της σήραγγας.
- Προσαγωγή νεπού αέρα στη σήραγγα θα πρέπει να γίνεται αποκλειστικά μέσω στομίων πλήρους ρύθμισης.
- Σε περίπτωση πυρκαγιάς θα πρέπει να γίνεται άμεση μεταγωγή του συστήματος αερισμού στη λειτουργία απαγωγής. Τα στόμια νεπού αέρα στη περιοχή της φωτιάς θα πρέπει να ανοίγουν τελείως, για να εξάγουν αέρα από τη σήραγγα.
- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ στομίων νεπού αέρα (στομίων απαγωγής) να είναι 50m.
- Η στεγανότητα των κλειστών στομίων νεπού αέρα και των αγωγών αερισμού θα πρέπει να επαρκής για να εξασφαλίζει την αποτελεσματική απαγωγή καπνού.

2.5 ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΜΙΕΓΚΑΡΣΙΟΥ – ΕΓΚΑΡΣΙΟΥ ΑΕΡΙΣΜΟΥ (ΑΝΑΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΥ)

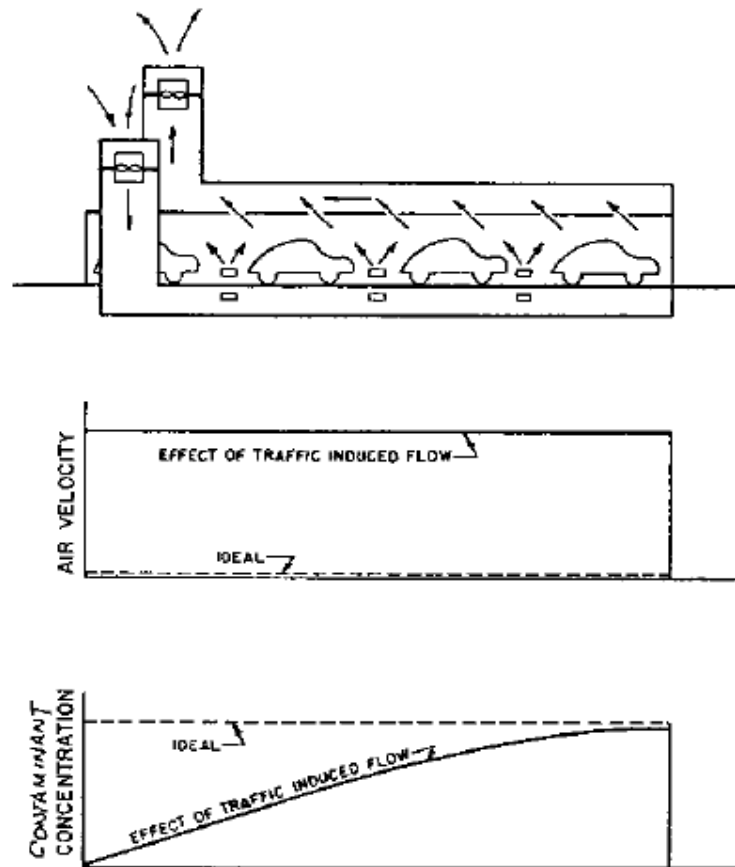
Σ' αυτό το σύστημα που αποτελεί εξέλιξη του ημιεγκαρσίου αερισμού προβλέπονται δυο αεραγωγοί χωριστά στην οροφή της σήραγγας μέσω των οποίων εισάγεται ο αέρας στο εσωτερικό της. Ο αέρας σε κανονική λειτουργία εξέρχεται από τα στόμια της σήραγγας. Σε περίπτωση όμως πυρκαγιάς αντιστρέφεται η ροή του αέρα στο ένα αγωγό ο οποίος μετατρέπεται σε αγωγό απαγωγής, ενώ από τον άλλο αγωγό συνεχίζεται η προσαγωγή αέρα.



Εικ.3 Σύστημα Ημι-εγκάρσιου - Εγκάρσιου Αερισμού με αγωγούς στην οροφή

2.6 ΠΛΗΡΗΣ ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ-ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΣ ΣΗΡΑΓΓΩΝ

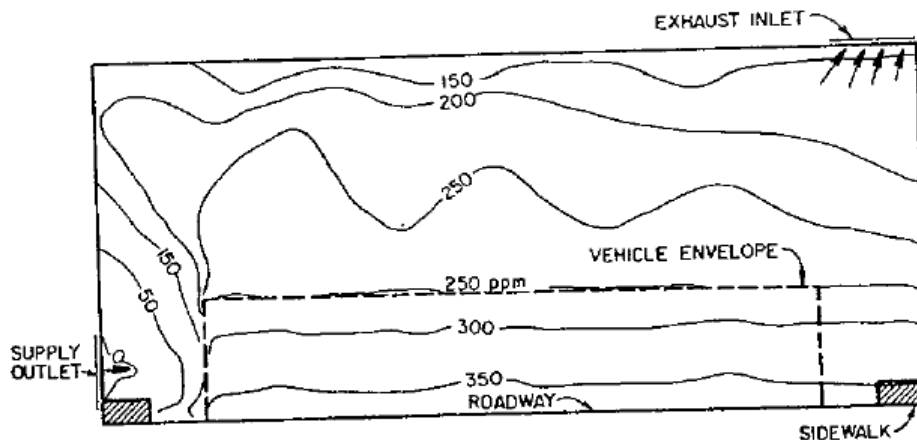
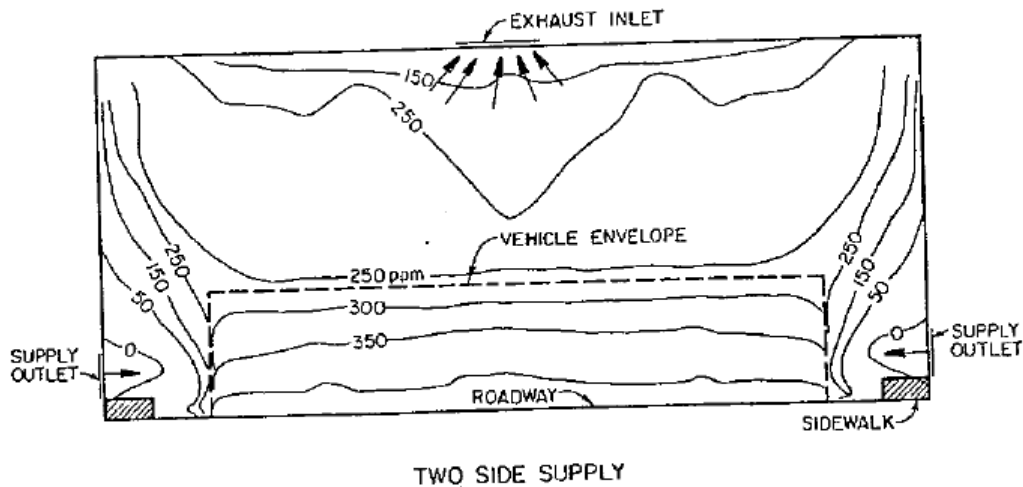
Το σύστημα «πλήρους εγκάρσιου αερισμού-εξαερισμού σηράγγων», εφαρμόζεται σε σήραγγες μεγαλύτερου μήκους (> 3000feet). Σε αυτό το σύστημα αερισμού εφαρμόζονται αγωγοί απαγωγής και προσαγωγής αέρα καθ' όλο το μήκος της σήραγγας και η απόρριψη ή προσαγωγή από ή προς το περιβάλλον γίνεται μέσω των shafts και όχι από τις πύλες εισόδου/εξόδου όπως γίνεται στην περίπτωση του ημι-εγκάρσιου αερισμού (βλ. σχ.14)



Διάγραμμα 14

Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ομοιόμορφη διανομή αέρα και ομοιόμορφη αναρρόφηση αέρα στον χώρο της σήραγγας, καθώς επίσης και ομοιόμορφη πίεση καθ' όλο το μήκος του δρόμου, με αποτέλεσμα να μην προκαλείται διαμήκης ροή αέρα, εκτός από εκείνη η οποία προκαλείται από το φαινόμενο του εμβόλου. Μία επαρκή διαφορά πίεσης μεταξύ των αγωγών και του αυτοκινητόδρομου θα πρέπει να υπάρχει, ώστε να διασφαλίζεται η κατάλληλη διανομή αέρα κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες αερισμού.

Η επιθυμητή θέση των στομίων προσαγωγής αέρα, από άποψη άμεσης διάλυσης των καυσαερίων, είναι το ύψος της εξάτμισης των οχημάτων, ενώ τα στόμια απαγωγής αέρα έχουν επιθυμητή θέση στην οροφή της σήραγγας. Η διανομή του αέρα μπορεί να είναι «μιας-πλευράς» ή και «δύο-πλευρών», (βλ. σχ.15). Στο ανωτέρω σχήμα φαίνεται και η συγκέντρωση των ρύπων ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιούμε.



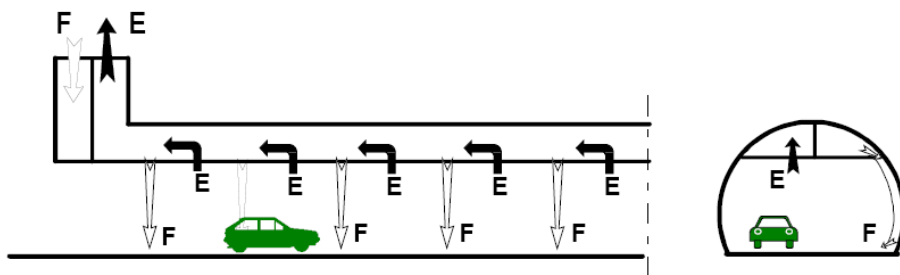
Διάγραμμα 15

Σχηματική παράσταση επιπέδων μονοξειδίου του άνθρακα μέσα σε σήραγγα με εγκάρσιο σύστημα αερισμού.

Οι ακόλουθες απαιτήσεις πρέπει να ικανοποιούνται :

- Μέγιστη ταχύτητα του αέρα 10 m/s μέσα στη σήραγγα.

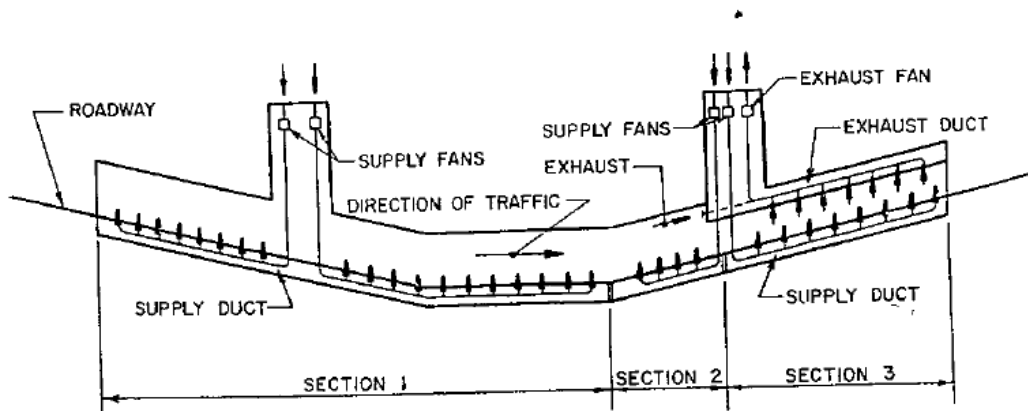
- Το σύστημα αερισμού θα πρέπει να είναι αναστρέψιμης ροής για την περίπτωση πυρκαγιάς και ικανό να εξάγει τουλάχιστον 150 m³/sec αέρα, από το δυσμενέστερο σημείο της σήραγγας.
- Ρυθμιζόμενα στόμια εισόδου νωπού αέρα και ελεγχόμενα στόμια εξόδου ακάθαρτου αέρα πρέπει να προβλέπονται συνδεδεμένα με τους αντίστοιχους αγωγούς εισαγωγής και απαγωγής αέρα. Αυτά θα πρέπει να ρυθμιστούν έτσι ώστε για τις συνθήκες σχεδιασμού, να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη διανομή του αέρα κατά μήκος της σήραγγας.
- Σε περίπτωση πυρκαγιάς η παροχή νωπού αέρα θα πρέπει να μειώνεται στο ένα τρίτο της μέγιστης δυνατής. Τα στόμια απαγωγής στην περιοχή της θα πρέπει να είναι τελείως ανοικτά, και κλειστά σε όλο το υπόλοιπο μήκος της σήραγγας.
- Η μέγιστη απόσταση μεταξύ στομίων απαγωγής αέρα θα είναι 100m, ενώ η μέγιστη απόσταση μεταξύ στομίων εισαγωγής θα είναι 50m.
- Η στεγανότητα των κλειστών στομίων νωπού αέρα και των στομίων απαγωγής είναι αναγκαία για να εξασφαλίζεται αποτελεσματική απαγωγή καπνού.



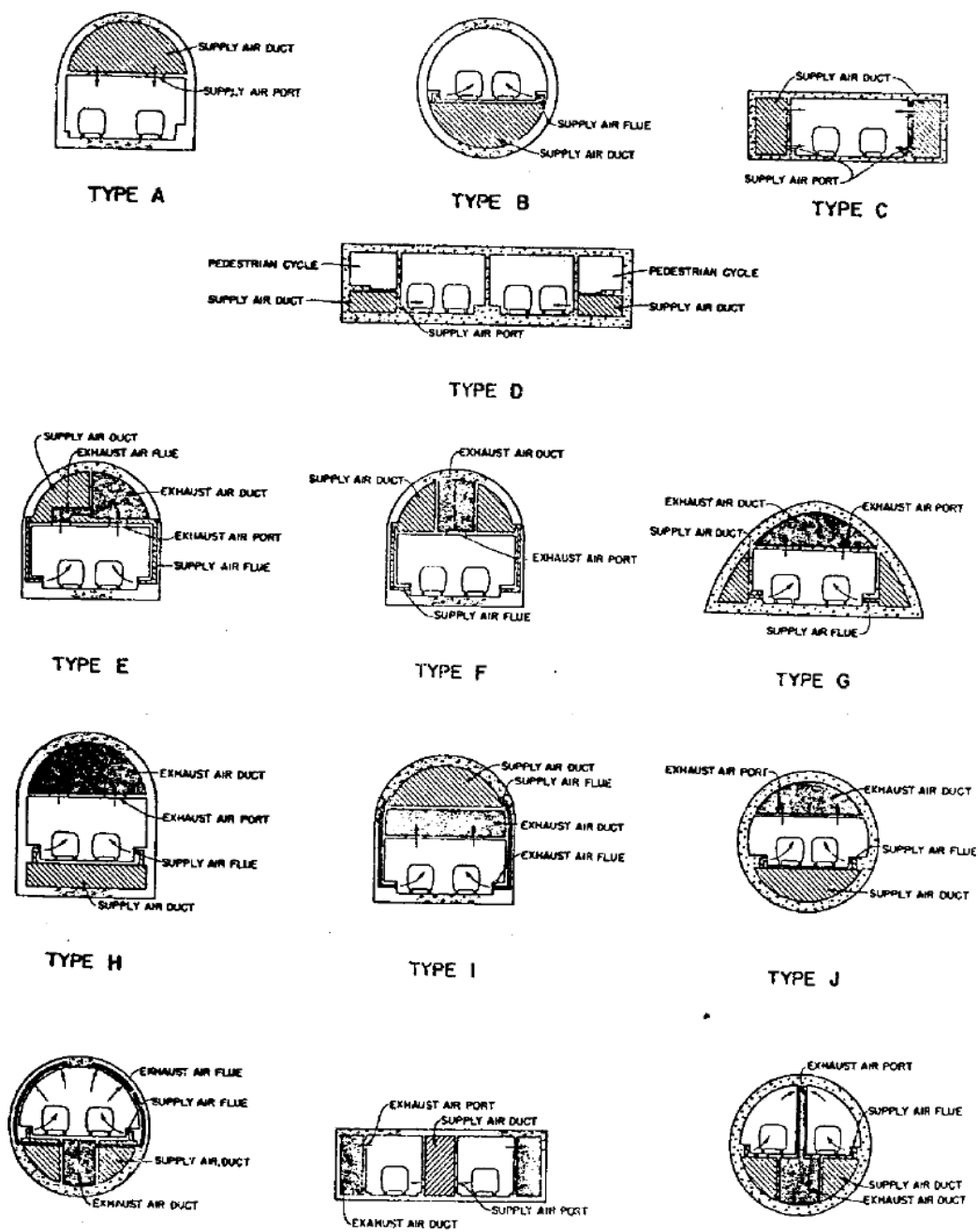
Εικ.4 Σύστημα Εγκάρσιου Αερισμού με αγωγούς στην οροφή

Υπάρχουν πολλοί τρόποι συνδυασμού αυτών των συστημάτων αερισμού-εξαερισμού. Ένας τέτοιος συνδυασμός φαίνεται στο σχ. 16 με εφαρμογή σε μία σήραγγα μήκους 1300m. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι αρχικά επιμερίζουμε το μήκος της σήραγγας σε τομείς (sections). Στον τομέα 3, χρησιμοποιείται σύστημα πλήρη εγκάρσιου αερισμού-εξαερισμού, λόγω της ανοδικής κλίσης του δρόμου. Στον τομέα 2, χρησιμοποιείται το ημι-εγκάρσιο σύστημα προσαγωγής αέρα με διαμήκη απαγωγή αέρα. Ο τομέας 1 χρησιμοποιεί το ημι-εγκάρσιο σύστημα προσαγωγής αέρα. Ένα τέτοιο σύστημα δεν ενδείκνυται για σήραγγες μεγάλου μήκους.

Στο σχ. 17, μπορούμε να δούμε τυπικές διατομές σηράγγων με εφαρμογές συστημάτων αερισμού-εξαερισμού.



Διάγραμμα 16
Εγκάρσιο σύστημα αερισμού



Διάγραμμα 17

Τυπικές διατομές σηράγγων με χαρακτηριστικά συστημάτων αερισμού

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3 Προσδιορισμός απαιτήσεων νωπού αέρα-επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ρύπων – επιλογή συστήματος αερισμού (διαμήκους ή ημικάρσιου)

3.1 Μεθοδολογία προσδιορισμού απαιτήσεων νωπού αέρα

3.1.1 Εισαγωγή

Η επιλογή και ο σχεδιασμός ενός συστήματος εξαερισμού, εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

1. Μήκος της σήραγγας, μονής ή διπλής κατεύθυνσης σήραγγα, τοποθεσία της σήραγγας (επαρχιακή ή αστική περιοχή)
2. Απαιτήσεις νωπού αέρα κάτω από κανονικές ή ειδικές περιπτώσεις
3. Αποδεκτές τιμές μόλυνσης του αέρα στα στόμια της σήραγγας
4. Σενάρια πυρκαγιάς και μέτρα προστασίας

3.1.2 Απαιτήσεις νωπού αέρα

Ο διαδικασία προσδιορισμού του απαιτούμενου νωπού αέρα είναι σύμφωνη με τον ακόλουθο τύπο:

$$Q = \frac{M \cdot L}{V} \cdot q(v, i, h, t) \cdot \frac{1}{C_{adm} - C_{amb}} \quad (3.1.2-1)$$

Οι απαιτήσεις νωπού αέρα για μια δεδομένη κυκλοφοριακή κατάσταση εξαρτάται από τον αριθμό αυτοκινήτων μέσα στη σήραγγα, τον μέσο όρο εκπομπής ρύπων καθώς και τις αποδεκτές τιμές ρύπων στη δεδομένη κυκλοφοριακή κατάσταση.

3.1.3 Δεδομένα για τη σήραγγα και την κυκλοφοριακή κατάσταση

Σε περιπτώσεις σήραγγας μεγάλης σπουδαιότητας, τα δεδομένα της κυκλοφοριακής σύστασης θα πρέπει να καθορίζονται από τον αρμόδιο μηχανικό (Traffic engineer). Τα βασικά σημεία που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι τα ακόλουθα:

Σήραγγες μονής ή διπλής κατεύθυνσης: Κατά κύριο λόγο οι σήραγγες μονής κατεύθυνσης χρησιμοποιούνται και ως διπλής. Σε κάθε περίπτωση ο αριθμός των κυκλοφοριακών λωρίδων θα πρέπει να καθορίζεται.

Ταχύτητες: Συνήθως τα όρια ταχύτητας σε μια σήραγγα καθορίζονται από το νόμο. Σε έναν δρόμο υπό κλίση, φορτηγά οχήματα θα πρέπει να έχουν μειωμένη ταχύτητα. Τυπικές τιμές επιτρεπόμενων ταχυτήτων σε οδούς υπό κλίση δίδονται στον ακόλουθο πίνακα

Πίνακας 2.1

i [%]	0	1/-1	2/-2	3/-3	4/-4	5/-5	6/-6
V [km/h]	80	80	70	55	45	40	35

Μέγιστη κυκλοφοριακή ροή: Η μέγιστη κυκλοφοριακή ροή μπορεί να επιτευχθεί σε ταχύτητες 60Km/h, ανάλογα με το αν η σήραγγα είναι σε επαρχιακή ή σε αστική περιοχή. Στον πίνακα 2.2 εμφανίζονται μέσοι όροι των τιμών. Σε σήραγγα αστικής περιοχής πυκνής κυκλοφορίας, οι μέγιστες τιμές κυκλοφοριακής ροής μπορεί να διακυμαίνονται από 10% έως 20% υψηλότερες.

Πίνακας 2.2

		Average peak traffic density (pcu/km) or traffic flow (pcu/h) per lane			
		RURAL TUNNEL			
		uni-directional traffic		bi-directional traffic	
		pcu/km	pcu/h	pcu/km	pcu/h
fluid traffic congested traffic stoppage	V [km/h]				
	60	30	1 800	23	1 400
	10	70	700	60	600
	0	150	0	150	0
		URBAN TRAFFIC			
		uni-directional traffic		bi-directional traffic	
		pcu/km	pcu/h	pcu/km	pcu/h
fluid traffic congested traffic stoppage	V [km/h]				
	60	33	2 000	25	1 500
	10	100	1 000	85	850
	0	165	-	165	-

Κυκλοφοριακή συμφόρηση: Σε μια μελέτη εξαερισμού, σε περιπτώσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης, ταχύτητες της τάξεως των 10 Km/h είναι κοινώς αποδεκτές. Στον πίνακα 2.2, δίδονται μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές κυκλοφοριακής πυκνότητας ανά λωρίδα κυκλοφορίας, ανά τοποθεσία σήραγγας (επαρχιακή ή αστική περιοχή) και ανάλογα με το αν η σήραγγα είναι μονής ή διπλής κατεύθυνσης. Σε περιπτώσεις σήραγγας μεγάλης κυκλοφοριακής πυκνότητας αστικής περιοχής, οι τιμές του πίνακα 2.2, μπορεί να κυμαίνονται από 10% έως 20% υψηλότερα. Για να αποφευχθεί η υπέρ διαστασιολόγηση του αριθμού των ανεμιστήρων σε μια σήραγγα μεγάλου μήκους, προτείνεται ο έλεγχος της κυκλοφορίας των οχημάτων με αυτόματο σύστημα ελέγχου οχημάτων.

Μονάδα επιβατικών οχημάτων (pcu): Για τη μετατροπή του pcu σε αριθμό οχημάτων, δηλ. σε επιβατικά οχήματα, φορτηγά ή λεωφορεία, μια καλή προσέγγιση είναι ότι το φορτηγό ή λεωφορείο καταλαμβάνει περίπου 1,5 φορές τον χώρο που καταλαμβάνει ένα επιβατικό όχημα σε κατάσταση κυκλοφοριακής ροής και 2 φορές τον χώρο που καταλαμβάνει ένα επιβατικό όχημα σε κατάσταση κυκλοφοριακής συμφόρησης (η τιμή αυτή μπορεί να ανέβει στο 4 σε περίπτωση κεκλιμένης επιφάνειας). Για δεδομένη κυκλοφοριακή σύσταση, έστω ποσοστό φορτηγών ή λεωφορειών “α”, ο αριθμός των οχημάτων είναι:

$$D_{invp}(u_{vp} / km) = D_{veh}(veh / km) \cdot \left[\left(1 - \frac{a}{100} \right) + \frac{a}{100}(1,5 \text{ or } 2) \right] \quad (3.1.2-1)$$

Φορτηγά ή λεωφορεία: Για τον υπολογισμό των εκπομπών ρύπων ο αριθμός των φορτηγών ή λεωφορειών θα πρέπει να είναι γνωστός, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που αυτά καίνε πετρέλαιο. Συχνά αυτά τα στοιχεία δίδονται ως μέσο ποσοστό στη συνολική κυκλοφοριακή ροή, αλλά αυτή η τιμή συνήθως είναι πολύ υψηλή όταν αναφέρεται στην μέγιστη κυκλοφοριακή ροή. Επίσης θα πρέπει να είναι γνωστό και το βάρος αυτών των οχημάτων.

Κανονισμοί εκπομπών ρύπων: Οι κανονισμοί των εκπομπών ρύπων της κάθε χώρας θα πρέπει να είναι σύμφωνοι με τις τιμές εκπομπών που δίδονται στην παράγραφο 2.3, για μηχανές πετρελαίου με ή χωρίς καταλύτες και για βενζινοκίνητες μηχανές.

Έτος σχεδιασμού: Το έτος σχεδιασμού της υπό μελέτης σήραγγας είναι συνήθως το έτος έναρξης λειτουργίας της σήραγγας, αλλά θα μπορούσε να ήταν και πέντε ή δέκα χρόνια αργότερα όπου η αύξηση της κυκλοφορίας είναι αναμενόμενη. Η σύσταση της κυκλοφορίας καθώς και ο μέσος όρος εκπομπών θα πρέπει να εκτιμηθεί για το έτος σχεδιασμού.

3.2 Επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις

Για την εκτίμηση της τοξικότητας των καυσαερίων, το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) είναι το πιο σημαντικό.

Αν προσδιορίσουμε την ασφαλή ατμόσφαιρα μέσα στην σήραγγα σύμφωνα με την ορατότητα και τις δυσάρεστες οσμές, ο καπνός από την καύση βενζίνης είναι η πιο σημαντική ουσία.

Σε κάποιες χώρες λαμβάνεται πλέον υπόψη και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂).

3.2.1 Μονοξειδίο του άνθρακα (CO)

Στον πίνακα 2.3 δίδονται τιμές μονοξειδίου του άνθρακα, οι οποίες έχουν ληφθεί σε συνδυασμό με τη μέγιστη κυκλοφορία και τον είδος του κυκλοφοριακού καθεστώτος. Για να αποφύγουμε τις υπέρμετρες απαιτήσεις ναυπού αέρα σε μία συνηθισμένη σήραγγα, η παραδοχή μεγαλύτερης ποσότητας CO είναι αποδεκτή.

Πίνακας 2.3

Traffic situation	CO-concentration		Visibility	
	Design year dimensionnement		Extinction coefficient K	Transmission s (beam length: 100 m)
	1995	2010		
	ppm	ppm	10 ⁻³ . m ⁻¹	%
Fluid peak traffic 50 - 100 km/h	100	70	5	60
Daily congested traffic, standstill on all lanes	100	70	7	50
Exceptional congested traffic, standstill on all lanes	150	100	9	40
Planned maintenance work in a tunnel under traffic	30	20	3	75
Closing of the tunnel	250	200	12	30

Η συνεχόμενη μείωση εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα από μηχανές εσωτερικής καύσης θα πρέπει να ακολουθείται και από μείωση των επιπέδων μονοξειδίου του άνθρακα στον αέρα μέσα στην σήραγγα, όπως προβλέπεται και από τον πίνακα 2.3. Παρόλα αυτά, σε χώρες με λιγότερο αυστηρούς νόμους οι εκτιμήσεις εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα για παράδειγμα του έτους 1995, μπορούν να διατηρηθούν και για το έτος σχεδιασμού σήραγγας.

Συνήθως, οι απαιτήσεις αέρα για την αραίωση καπνού προερχόμενος από πετρελαιοκίνητες μηχανές, είναι μεγαλύτερες από ότι για την αραίωση μονοξειδίου του άνθρακα. Σε χώρες όμως όπου και οι εκπομπές NO₂ θα πρέπει να ελέγχονται, τότε εκεί οι απαιτήσεις αέρα είναι ακόμη υψηλότερες, από ότι για την αραίωση καπνού.

3.2.2 Ορατότητα

Ορατότητα είναι η δέσμη φωτός η μέσα από καπνό, η οποία συνεχόμενα χάνει την ένταση της. Ο όρος αυτός μπορεί διαφορετικά να εκφραστεί μέσω της σχέσης:

$$E = E_0 \cdot e^{-KL} \quad (3.2.2-1)$$

E = Η ένταση του φωτός αφού η δέσμη φωτός διανύσει μέσα σε καπνό διάστημα L

E_0 = Η ένταση του φωτός στην αρχή του διαστήματος L .

K (m^{-1}) = συντελεστής

L (m) = το ορισμένο διάστημα που διανύει η δέσμη φωτός

Στον εξαερισμό των κτιρίων έχει πλέον καθιερωθεί, η ορατότητα να προσδιορίζεται μέσω του συντελεστή K . Ο συντελεστής K από μόνος του ορίζεται ως εξής :

$$K = - \frac{1}{L} \cdot \ln \frac{E}{E_0} \quad (3.2.2-2)$$

Άλλος ένας τρόπος έκφρασης της ορατότητας είναι ο συντελεστής μετάδοσης s , όπου ορίζεται ως εξής:

$$s (\%) = 100 \cdot e^{-KL} \quad (3.2.2-3)$$

Στον πίνακα 2.3 παρουσιάζονται επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή K για διαφορετικές κυκλοφοριακές περιπτώσεις:

$K = 0,005 \text{ m}^{-1}$ σημαίνει καθαρός αέρας μέσα στη σήραγγα (ορατότητα στα 100 μέτρα)

$K = 0,007 \text{ m}^{-1}$ σημαίνει ελαφρά θολότητα στον αέρα της σήραγγας

$K = 0,009 \text{ m}^{-1}$ εκφράζει μια νεφώδης κατάσταση μέσα στη σήραγγα

$K = 0,012 \text{ m}^{-1}$ εκφράζει μια ιδιαίτερα αυξημένη νεφώδη κατάσταση μέσα στη σήραγγα, παρόλα αυτά εκτιμάται ότι η ορατότητα υπό αυτές τις συνθήκες είναι αρκετή για ασφαλή φρενάρισμα του αυτοκινήτου σε περίπτωση εμποδίου.

Οι μεγάλες διακυμάνσεις στον συντελεστή K δεν μπορούν να αποφευχθούν. Ιδιαίτερα αυξημένες τιμές του συντελεστή K μπορεί να παρατηρηθούν όταν φορτηγά οχήματα κινούνται ανά ομάδες μέσα στη σήραγγα ή ακόμη και όταν ο

μηχανισμός του εξαερισμού αργεί να ενεργοποιηθεί σε περιπτώσεις υψηλών τιμών.

3.2.3 Επιτρεπόμενη σύσταση του αέρα

Ο εξωτερικός αέρας ο οποίος εισάγεται στη σήραγγα ως νωπός αέρας, περιλαμβάνει ήδη μια ποσότητα CO, NO₂, και αιθάλης. Οι ποσότητες αυτές είναι εξαιρετικά χαμηλές, αλλά θα πρέπει να ελέγχονται σε περιπτώσεις σηράγγων που βρίσκονται σε αστικές περιοχές.

Η κατάσταση φυσικά είναι διαφορετική σε περίπτωση που ο αέρας απόρριψης γειτονικής σήραγγας, επανακυκλοφορεί και γίνεται μέρος του νωπού αέρα που εισάγεται στην υπό μελέτη σήραγγα (βλέπε παράγραφο 4.2.3)

3.3 Εκπομπές ρύπων

3.3.1 Εισαγωγή

Στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζονται τιμές εκπομπών ρύπων, οι οποίες προέκυψαν από έρευνες που έγιναν στην Αυστρία, στην Γερμανία και στην Σουηδία. Οι τιμές αυτές έχουν επιβεβαιωθεί και από άλλες χώρες (Βέλγιο, Γαλλία, Γερμανία κτλ), όπου έλαβαν μετρήσεις με τη μέθοδο της προσομοίωσης συνθηκών.

Σε γενικές γραμμές, θα ήταν συνετό να θεωρώ ως αποδεκτές χαμηλές τιμές εκπομπών, καθώς μερικοί συντελεστές είναι δύσκολο να εκτιμηθούν, όπως κατά πόσο η κατάσταση προσομοίωσης συνθηκών (σύμφωνα με τις οποίες λαμβάνονται και οι μετρήσεις) προσεγγίζει τις πραγματικές συνθήκες οδήγησης, ο βαθμός συντήρησης, η παλαιότητα της μηχανής κτλ

Σε χώρες στις οποίες οι νόμοι δεν είναι και τόσο αυστηροί και δεν γίνεται περιοδικός έλεγχος αυτοκινήτων, προτείνεται να εφαρμόζονται οι συντελεστές εκπομπών που δίδονται στο Marrakeck report 1991.

Όλα τα δεδομένα εκπομπών που παρατίθενται στους ακόλουθους πίνακες, αναφέρονται σε αυτοκίνητα όπου ισχύουν οι περιορισμοί ECE και EURO-emissions. Αυτοί οι συντελεστές εκπομπών αναφέρονται σε συνήθης συνθήκες οδήγησης σε μια σήραγγα. Τιμές οι οποίες δεν υπάρχουν στα δεδομένα των πινάκων μπορούν να εκτιμηθούν με τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής.

3.3.2 Επιβατικά αυτοκίνητα

Υπολογιστικός προσδιορισμός :

$$Q = q(v,i) \cdot f_h \cdot f_{cs} \cdot f_a$$

(3.3.2-1)

όπου :

Q = εκπομπές CO, NO_x [gr/h, veh],

$q(v, i)$ = κύριος συντελεστής εκπομπών, ο οποίος εξαρτάται από την ταχύτητα των αυτοκινήτων και την κλίση του οδοστρώματος.

f_h = συντελεστής υψομέτρου

f_{cs} = συντελεστής εκκίνησης ψυχρού κινητήρα

f_a = συντελεστής γήρανσης

Ο πίνακας Α, δίδει μια επισκόπηση, σε ποιόν πίνακα στο τέλος της παραγράφου 2.3, μπορούμε να βρούμε τις τιμές των εκπομπών καθώς και των συντελεστών επιρροής.

Πίνακας Α

Passenger cars		q _{iv}			f _h	f _{cs}	f _a
		CO g/h, veh	NO _x g/h, veh	Diesel particulates m ² /h, veh	altitude	Cold start -	ageing -
Gasoline Engine	closed loop US 83 catalyst convent. ECE 15/04	1	7	-	17	16	18
	convent. ECE 15/00	2	8	-	17	16	-
		3	9	-	17	16	-
Diesel Engine	EURO 2	4	10	13	17	16	-
	EURO 1	5	11	14	17	16	-
	ECE 15/04	6	12	15	17	16	-
Table number							

Κύριος συντελεστής εκπομπών $q(v, i)$:

Ο κύριος συντελεστής εκπομπών στους ανωτέρω πίνακες εκφράζεται συνάρτηση της μέσης ταχύτητας οδήγησης μέσα στη σήραγγα καθώς επίσης και της κλίσης του οδοστρώματος.

Οι τιμές εκπομπών δίδονται ανά ώρα, διαιρώντας με τη ταχύτητα του οχήματος καθώς επίσης δίδονται και οι τιμές εκπομπών ανά Km.

Για να μετατρέψουμε τις εκπομπές οι οποίες δίδονται σε gram, σε ογκομετρικές εκπομπές, οι τιμές των εκπομπών θα πρέπει να διαιρεθούν με το ειδικό βάρος των εκπεμπόμενων αερίων. Μέσες τιμές είναι:

$$\rho_{\text{CO}} = 1200 \text{ g CO/m}^3, \quad \rho_{\text{NO}_2} = 2000 \text{ g NO}_2/\text{m}^3$$

Οι εκπομπές NO_x στα καυσαέρια αυτοκινήτων, περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο NO, το οποίο έχει μικρότερο ειδικό βάρος από το NO₂. Όταν η ποσότητα εκπομπών NO_x δίδεται με το βάρος του, είναι σαν να πρέπει να εκφραστεί ο όγκος NO όποιος κι αν είναι αυτός σε περίπτωση που οξειδωθεί σε NO₂, με σκοπό να μπορούμε να έχουμε τιμές συγκρίσιμες με εκείνες των εκπομπών NO_x.

Οι εκπομπές δίδονται για 6 κατηγορίες οχημάτων:

- Επιβατικά βενζινοκίνητα αυτοκίνητα με καταλύτη συμβατό με το πρότυπο US83, ή επιβατικά βενζινοκίνητα αυτοκίνητα συμβατά με τα πρότυπα ECE 15/04 ή ECE 15/00.
- Επιβατικά πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα συμβατά με τα πρότυπα ECE 15/04, EURO1 ή EURO2
-

Μέσος όρος εκπομπών για συγκεκριμένο αριθμό αυτοκινήτων :

Υπάρχουν 3 απόψεις:

- Ο ρυθμός ανανέωσης των οχημάτων θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Έχει αποδειχθεί ότι σε βιομηχανικές χώρες, οχήματα καινούργια έως και πέντε χρόνων αντιπροσωπεύουν το 10% περίπου των συνολικών οχημάτων καθώς επίσης οχήματα παλαιότητας πέντε με δεκαπέντε χρόνων καταλαμβάνουν ένα ποσοστό από 0% έως 10%. Σε χώρες όπου η ανάπτυξη των αυτοκινήτων είναι μεγάλη, το ποσοστό των καινούργιων αυτοκινήτων είναι πολύ μεγαλύτερο.
- Οι αποστάσεις που διανύει ένα καινούργιο αυτοκίνητο ανά έτος είναι μεγαλύτερες από εκείνες που διανύουν τα παλαιότερα μοντέλα, ιδιαίτερα όσον αφορά στα επιβατικά αυτοκίνητα.
- Το έτος έκδοσης νόμου-περιορισμού σχετικά με τις εκπομπές ρύπων συνάρτηση του έτους σχεδιασμού της σήραγγας, θα πρέπει να είναι επίσης γνωστά.

Συνδυάζοντας αυτούς τους 3 παράγοντες, το ποσοστό των οχημάτων σε κάθε χρονική περίοδο μπορεί να προσδιοριστεί, και με αυτόν τον τρόπο εκτιμάται ένας μέσος όρος εκπομπών για το έτος σχεδιασμού της σήραγγας.

Ο πίνακας 3 δίδει τις επιτρεπόμενες τιμές εκπομπών σύμφωνα με τον κανονισμό ECE 15/00. Ο μετέπειτα κανονισμός ECE 15/01, 02 έχει επιτρεπόμενη τιμή εκπομπής CO τα 2/3 της επιτρεπόμενης τιμής του κανονισμού 15/00. Ο

κανονισμός ECE 15/03 έχει τις ίδιες επιτρεπόμενες τιμές εκπομπής CO με εκείνες του κανονισμού ECE 15/04, όπως δίδεται στον πίνακα 2. Οι επιτρεπόμενες τιμές εκπομπής NOx των κανονισμών ECE 15/01,02,03 είναι οι ίδιες με εκείνες του κανονισμού ECE 15/00, όπως δίδεται στον πίνακα 9. Η επιτρεπόμενη τιμή NOx σύμφωνα με τον κανονισμό ECE 15/04, δίδεται στον πίνακα 8.

Στις ευρωπαϊκές χώρες ο κανονισμός US83, ο οποίος απαιτεί καταλύτη στα οχήματα έχει έναρξη ισχύος από το έτος 1993.

Συντελεστής εκκίνησης ψυχρού κινητήρα (f cs)

Ο συντελεστής εκκίνησης ψυχρού κινητήρα, όσον αφορά σε ποικιλία εκπομπών, εξαρτάται από τον τύπο της μηχανής του οχήματος, από την αρχική θερμοκρασία του κινητήρα του οχήματος καθώς επίσης και από την απόσταση που διανύει ένα όχημα.

Συντελεστής υψομέτρου (f h)

Στο υψόμετρο της θάλασσας ο συντελεστής υψομέτρου είναι πάντα 1, όσον αφορά κάθε συστατικό των εκπομπών. Η επίδραση του συντελεστή υψομέτρου σε κάθε συστατικό εκπομπών εξαρτάται και από τον τύπο της μηχανής.

Συντελεστής γήρανσης (f a)

Για βενζινοκίνητα οχήματα με καταλύτες, η θερμική γήρανση του καταλύτη έχει επιρροές στην εκπομπή ρύπων. Παρόλα αυτά η τιμή των q (v, i) που παρουσιάζονται στους πίνακες έχουν ήδη συμπεριλάβει την επίδραση της γήρανσης.

3.3.3 Πετρελαιοκίνητα οχήματα (φορτηγά και λεωφορεία)

Υπολογιστικός προσδιορισμός :

$$Q = q(v,i) \cdot f_m \cdot f_e \cdot f_h \quad (3.3.3-1)$$

όπου :

Q = εκπομπές CO, NOX [gr/h, veh],

q (v, i) = κύριος συντελεστής εκπομπών, ο οποίος εξαρτάται από την ταχύτητα των αυτοκινήτων και την κλίση του οδοστρώματος, αφορά βαρέα οχήματα με συνολική μάζα 10τόνων, σύμφωνα με το πρότυπο εκπομπών “pre EURO”

f_m = συντελεστής μάζας

f_e = συντελεστής εκπομπών σχετιζόμενος με το πρότυπο “pre EURO”

f_h = συντελεστής υψομέτρου

Πίνακας Β

Trucks, buses with Diesel-motor					
CO	q_{iv} NOx	Diesel particulates	f_m weight standard	f_e emission	f_h altitude
g/h, veh	g/h, veh	m ³ /h, veh	-	-	-
19	20	21	22	23	24

Table number

Κύριος συντελεστής εκπομπών $q(v, i)$:

Ο χειρισμός ενός φορτηγού μέσα σε μία σήραγγα θα πρέπει να ακολουθεί τους ίδιους κανόνες όπως ισχύουν για ένα επιβατικό όχημα, εκτός του ότι υπάρχει περιορισμός στην ταχύτητα, ιδιαίτερα σε οδοστρώματα με ανηφορική κλίση (βλ. Πίνακα 2.1)

Η τιμές των εκπομπών αναφέρονται στην συνολική μάζα οχημάτων 10τόνων, ανεξάρτητα από το φορτίο τους και τον τύπο του οχήματος.

Οι τιμές εκπομπών είναι σύμφωνα με τα πρότυπα “pre EURO”. Σε χώρες όπου η συντήρηση των οχημάτων δεν γίνεται τακτικά και γενικά δεν υπάρχει αυστηρός κρατικός έλεγχος στα οχήματα, ο μέσος όρος εκπομπών μπορεί να είναι πολύ υψηλότερος από εκείνον που δίδεται μέσω του προτύπου “pre EURO”.

Επίδραση της μάζας (f_m) :

Λέγοντας μάζα εννοούμε την καθαρή μάζα του οχήματος, ανεξάρτητα από τον τύπο του οχήματος και το φορτίο του, και οι τιμές δίδονται για μάζες 20τόνων και 30 τόνων. Σε περιπτώσεις ενδιάμεσων τιμών εφαρμόζεται η γραμμική παρεμβολή.

Ο συντελεστής μάζας είναι ανεξάρτητος από τα συστατικά των εκπομπών αλλά εξαρτάται από την ταχύτητα των οχημάτων.

Με την αύξηση της οδικής διακίνησης αγαθών, θα υπάρξει μεγαλύτερη διαφοροποίηση στα τυπικά βάρη των οχημάτων και αυτό είναι αρκετά σημαντικό. Τυπικές τιμές βαρών οχημάτων, είναι:

- Αστικές σήραγγες με ένα αρκετό μεγάλο ποσοστό φορτηγών μικρού βάρους, φορτηγά για μεταφορές, και λεωφορεία : 10-15 τόνων
- Σήραγγες ταχείας κυκλοφορίας που ανήκουν στο εθνικό οδικό δίκτυο : 15-25 τόνων
- Σήραγγες που ανήκουν σε μεγάλα οδικά δίκτυα μεταφορών με ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό από φορτηγά πλήρους φορτίου : 25-35 τόνων

Μέσος όρος εκπομπών για συγκεκριμένο αριθμό φορτηγών / λεωφορείων :

Όπως και στην περίπτωση επιβατικών οχημάτων, ο ρυθμός ανανέωσης των φορτηγών ή των λεωφορείων θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, καθώς επίσης και το έτος έκδοσης νόμου-περιορισμού σχετικά με τις εκπομπές ρύπων συνάρτηση του έτους σχεδιασμού της σήραγγας.

Για παράδειγμα σε χώρες της Ευρωπαϊκής ένωσης, ο κανονισμός EURO 0 άρχισε να ισχύει στις 10.1990, ο κανονισμός EURO 1 άρχισε να ισχύει στις 7.1993, ο κανονισμός EURO 2 άρχισε να ισχύει στις 10.1995, ο κανονισμός EURO 3 άρχισε να ισχύει στις 1.1999.

Συντελεστής υψομέτρου (f h)

Οι τιμές που δίδονται για τον συντελεστή υψομέτρου είναι υψηλότερες για το CO και άλλα συστατικά στην περίπτωση των πετρελαιοκίνητων οχημάτων σε σχέση με τα βενζινοκίνητα.

Επιβατικά Οχήματα

Βενζινοκίνητες μηχανές
Πίνακας 1
 Συντελεστής εκπομπής CO, βενζίνη, κανονισμός US 83

Gasoline cat.	[g/h]							
	vm [km/h]	-6 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
5	33.7	49.3	64.9	64.9	71.4	72.0	79.8	79.8
10	28.7	42.0	55.2	55.2	66.3	67.4	80.6	80.6
15	26.0	38.0	50.0	50.0	60.0	66.5	84.8	84.8
20	26.5	38.8	51.0	51.0	61.2	73.4	98.4	98.4
30	27.6	40.3	53.0	53.0	63.6	85.9	125.1	125.1
40	28.6	41.8	55.0	55.0	66.0	106.2	159.5	159.5
50	29.6	43.3	57.0	57.0	68.4	125.1	202.4	202.4
60	30.7	44.8	59.0	59.0	88.5	173.8	277.9	277.9
70	31.7	46.4	61.0	61.0	122.0	244.0	366.0	366.0
80	32.8	47.9	63.0	63.0	173.3	308.7	491.4	491.4
90	35.5	51.9	68.3	68.3	228.8	404.7	686.4	686.4
100	42.7	62.5	82.2	82.2	295.9	581.6	959.3	959.3
110	98.0	143.2	188.4	188.4	678.2	1413.0	2110.1	2110.1
115	131.1	191.6	252.1	252.1	907.6	1789.9	2571.4	2571.4

Επιβατικά Οχήματα

Βενζινοκίνητες μηχανές
Πίνακας 2
 Συντελεστής εκπομπής CO, βενζίνη, κανονισμός ECE 15/04

ECE 15/04	[g/h]							
	vm [km/h]	-6 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
0	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3	101.3
5	97.3	115.5	133.8	152.0	152.0	159.6	167.2	167.2
10	129.7	154.0	178.4	202.7	202.7	217.9	223.0	223.0
15	162.2	192.6	223.0	253.4	272.4	278.7	304.1	304.1
20	194.6	231.1	267.6	304.1	331.4	349.7	395.3	395.3
30	223.6	265.6	307.5	349.4	384.4	436.8	604.5	604.5
40	216.8	257.5	298.2	338.8	413.4	538.7	762.4	762.4
50	210.1	249.4	288.8	328.2	426.7	623.6	900.9	900.9
60	217.9	258.8	299.6	340.5	520.9	863.1	1186.5	1186.5
70	225.8	268.1	310.4	352.7	701.9	1199.3	1559.1	1559.1
80	236.8	281.2	325.6	370.0	928.7	1539.2	1946.2	1946.2
90	322.9	383.4	443.9	504.5	1498.3	2497.2	3044.6	3044.6
100	391.8	474.6	663.0	753.4	2320.5	3816.0	4821.8	4821.8
110	359.7	462.5	904.5	1027.8	2826.4	4419.5	6012.6	6012.6
115	364.5	486.0	1069.1	1214.9	3037.2	4616.5	6438.9	6438.9

Επιβατικά Οχήματα

Βενζινοκίνητες μηχανές
Πίνακας 3
 Συντελεστής εκπομπής CO, βενζίνη, κανονισμός ECE 15/00

ECE 15/00 vm [km/h]	[g/h]						
	-6%	-4%	-2%	0%	2%	4%	6%
0	290.3	290.3	290.3	290.3	290.3	290.3	290.3
5	268.7	319.1	369.5	419.9	419.9	440.9	461.9
10	351.6	417.6	483.5	549.4	549.4	590.6	604.4
15	434.5	516.0	597.5	678.9	712.9	746.8	814.7
20	517.4	614.4	711.5	808.5	881.2	929.7	1,051.0
30	614.5	729.7	845.0	960.2	1,056.2	1,200.2	1,661.1
40	642.9	763.5	884.0	1,004.6	1,225.6	1,597.3	2,260.3
50	671.3	797.2	923.1	1,049.0	1,363.6	1,993.0	2,879.4
60	725.7	861.8	997.9	1,134.0	1,735.0	2,874.6	3,951.9
70	780.2	926.4	1,072.7	1,219.0	2,425.8	4,144.6	5,388.0
80	834.6	991.1	1,147.5	1,304.0	3,273.1	5,424.7	6,859.2
90	1,235.2	1,466.8	1,698.4	1,930.0	5,732.1	9,553.5	11,647.6
100	1,476.8	1,789.2	2,499.2	2,840.0	8,747.2	14,384.6	18,176.0
110	1,344.0	1,728.0	3,379.2	3,840.0	10,560.0	16,512.0	22,464.0
115	1,347.0	1,796.0	3,951.2	4,490.0	11,225.0	17,062.0	23,797.0

Πετρελαιοκίνητες μηχανές
Πίνακας 4
 Συντελεστής εκπομπής CO, πετρέλαιο, κανονισμός EURO 2

Diesel EURO 2 vm [km/h]	[g/h]						
	-6%	-4%	-2%	0%	2%	4%	6%
0	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
5	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.6	7.5
10	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.9	10.2
15	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	9.6	13.1
20	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	12.6	17.9
30	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	16.6	22.4
40	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	17.0	22.4
50	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	17.9	22.4
60	14.0	14.0	14.0	14.0	15.6	18.6	22.4
70	14.0	14.0	14.0	14.0	16.8	19.3	22.4
80	14.0	14.0	14.0	14.0	17.9	19.9	22.4
90	15.4	15.4	15.4	15.4	19.7	22.9	24.6
100	16.8	16.8	16.8	16.8	20.3	24.9	27.0
110	20.8	20.8	20.8	20.8	22.2	26.6	29.2
115	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	25.9	28.2

Επιβατικά Οχήματα

Πετρελαιοκίνητες μηχανές
Πίνακας 5
 Συντελεστής εκπομπής CO, πετρέλαιο, κανονισμός EURO 1

Diesel EURO 1 v _m [km/h]	[g/h]						
	-6 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
5	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	8.0	10.8
10	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	11.3	14.6
15	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	13.8	18.7
20	16.0	16.0	16.0	16.0	16.0	18.0	25.6
30	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	23.8	32.0
40	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	24.2	32.0
50	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	25.5	32.0
60	20.0	20.0	20.0	20.0	22.3	26.6	32.0
70	20.0	20.0	20.0	20.0	24.0	27.6	32.0
80	20.0	20.0	20.0	20.0	25.6	28.4	32.0
90	22.0	22.0	22.0	22.0	28.2	32.8	35.2
100	23.4	23.4	23.4	23.4	28.2	34.6	37.4
110	29.0	29.0	29.0	29.0	30.8	36.9	40.5
115	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	36.0	39.2

Βενζινοκίνητες μηχανές
Πίνακας 6
 Συντελεστής εκπομπής CO, βενζίνη, κανονισμός ECE 15/04

Diesel ECE 15/04 and before v _m [km/h]	[g/h]						
	-6 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
5	16.2	16.2	16.2	16.2	16.2	16.9	22.7
10	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	25.1	32.5
15	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	33.3	45.3
20	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	42.7	60.8
30	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	59.4	80.0
40	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	63.0	83.2
50	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0	66.3	83.2
60	52.0	52.0	52.0	52.0	57.9	69.2	83.2
70	52.0	52.0	52.0	52.0	62.4	71.8	83.2
80	52.0	52.0	52.0	52.0	66.6	73.8	83.2
90	54.7	54.7	54.7	54.7	70.0	81.5	87.5
100	68.3	68.3	68.3	68.3	82.2	101.0	109.3
110	85.5	85.5	85.5	85.5	91.0	109.0	119.7
115	93.1	93.1	93.1	93.1	93.1	102.5	111.8

Επιβατικά Οχήματα

Βενζινοκίνητες μηχανές

Πίνακας 7

Συντελεστής εκπομπής NO_x, βενζίνη, κανονισμός US 83 (εναλλάκτης με καταλύτη)

v _{km} [km/h]	Gasoline US 83 (catalytic converter)		I _g /h				
	-6 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
5	0.2	0.6	0.9	1.2	1.2	1.5	4.0
10	0.5	1.2	1.9	2.6	2.6	3.5	9.7
15	0.8	1.8	2.9	3.9	3.9	5.8	12.6
20	1.0	2.5	3.9	5.2	5.2	8.4	14.1
30	1.6	3.8	6.0	8.1	8.1	13.6	21.8
40	2.1	4.9	7.7	10.4	10.4	18.1	27.9
50	2.3	5.5	8.6	11.6	11.6	21.5	31.2
60	2.7	6.4	10.1	13.6	15.2	27.2	36.6
70	3.1	7.4	11.6	15.7	22.0	31.5	42.3
80	3.8	9.0	14.2	19.2	28.8	38.4	51.6
90	5.0	11.5	18.4	24.9	37.4	49.8	67.0
100	7.3	15.4	26.9	36.3	52.1	72.6	90.6
110	10.3	20.6	38.1	51.5	66.2	92.7	108.2
115	11.7	23.5	43.4	58.7	70.4	93.9	111.5

Βενζινοκίνητες μηχανές

Πίνακας 8

Συντελεστής εκπομπής NO_x, βενζίνη, κανονισμός ECE 15/04

v _{km} [km/h]	ECE 15/04						
	-6 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
5	1.0	2.0	3.4	5.0	6.0	6.0	7.6
10	2.4	4.7	8.1	12.0	16.1	16.1	22.3
15	3.8	7.4	12.7	19.0	27.0	29.9	41.4
20	5.2	10.1	17.4	26.0	39.0	46.8	65.0
30	7.6	14.8	25.5	38.0	57.1	68.5	95.1
40	11.2	21.8	37.5	56.0	84.0	100.8	140.0
50	13.2	25.6	44.1	65.8	98.6	118.4	164.4
60	18.2	35.5	61.0	91.0	132.3	157.2	215.7
70	23.2	45.3	77.9	116.2	153.6	184.9	244.8
80	30.0	58.6	100.6	150.2	184.5	216.8	285.1
90	41.0	79.9	137.2	204.8	234.0	268.5	347.7
100	52.6	102.5	176.2	262.9	289.2	320.9	398.8
110	65.0	126.7	217.7	325.0	341.2	378.8	432.7
115	72.2	140.8	241.9	361.0	361.0	411.5	444.0

Επιβατικά Οχήματα

Βενζινοκίνητες μηχανές
Πίνακας 9
 Συντελεστής εκπομπής NO_x, βενζίνη, κανονισμός ECE 15/00

ECE 15/00 vm [km/h]	[g/h]						
	-6 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
5	1.0	1.9	3.3	4.9	5.8	5.8	7.4
10	3.2	6.1	10.6	15.8	21.1	21.1	29.1
15	5.3	10.4	17.8	26.6	37.7	41.7	57.8
20	7.5	14.6	25.1	37.5	56.2	67.4	93.7
30	11.6	22.7	39.0	58.2	87.3	104.8	145.5
40	17.6	34.3	58.9	87.9	131.8	158.2	219.7
50	20.4	39.8	68.3	102.0	153.0	183.6	255.0
60	25.8	50.2	86.3	128.8	187.1	222.4	305.1
70	31.0	60.5	103.9	155.0	204.9	246.6	326.6
80	35.0	68.3	117.3	175.0	215.0	252.6	332.2
90	39.8	77.6	133.3	199.0	227.4	260.9	337.9
100	45.0	87.8	150.8	225.0	247.5	274.6	341.2
110	50.0	97.5	167.5	250.0	262.5	291.4	332.9
115	52.6	102.6	176.2	263.0	263.0	299.8	323.5

Πετρελαιοκίνητες μηχανές
Πίνακας 10
 Συντελεστής εκπομπής NO_x, πετρέλαιο, κανονισμός EURO 2

Diesel EURO 2 vm [km/h]	[g/h]						
	-6 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
0	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
5	2.9	3.4	3.9	4.9	5.3	5.8	7.7
10	4.5	5.4	6.2	7.8	8.7	9.4	13.4
15	5.2	7.5	8.5	10.7	12.1	14.5	20.5
20	5.4	9.5	10.8	13.5	15.5	20.5	28.8
30	6.6	13.2	15.0	18.8	22.2	33.9	44.2
40	6.2	13.7	15.7	19.6	23.8	35.4	46.2
50	5.9	14.0	17.3	21.6	26.6	38.9	50.8
60	5.8	11.6	18.6	23.3	29.4	41.9	54.7
70	6.4	10.3	18.1	25.8	33.3	46.4	60.6
80	7.7	12.3	21.6	30.8	40.6	55.5	72.4
90	10.0	16.1	28.1	40.2	54.0	72.3	94.5
100	12.2	19.5	34.1	48.7	66.7	87.6	114.4
110	14.4	23.1	40.4	57.7	80.7	112.5	145.6
115	15.7	25.1	43.9	62.7	89.0	131.6	169.2

Επιβατικά Οχήματα

Πετρελαιοκίνητες μηχανές

Πίνακας 11

Συντελεστής εκπομπής NO_x, πετρέλαιο, κανονισμός EURO 1

Diesel EURO 1 v _m [km/h]	[g/h]						
	-6%	-4%	-2%	0%	2%	4%	6%
0	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
5	3.3	3.8	4.4	5.5	5.9	6.4	8.6
10	5.0	6.1	6.9	8.6	9.7	10.5	14.9
15	5.8	8.3	9.5	11.8	13.4	16.2	22.8
20	6.0	10.5	12.0	15.0	17.3	22.8	32.0
30	7.3	14.6	16.7	20.9	24.7	37.6	49.1
40	6.9	15.3	17.5	21.8	26.4	39.3	51.3
50	6.6	15.6	19.2	24.0	29.5	43.2	56.4
60	6.5	12.9	20.7	25.8	32.7	46.5	60.7
70	7.2	11.5	20.1	28.7	37.0	51.6	67.4
80	8.6	13.7	24.0	34.2	45.1	61.6	80.4
90	11.2	17.9	31.3	44.7	60.0	80.4	104.9
100	13.5	21.6	37.9	54.1	74.1	97.3	127.1
110	16.0	25.6	44.9	64.1	89.7	124.9	161.8
115	17.4	27.9	43.7	69.6	98.9	146.2	188.0

Πίνακας 12

Συντελεστής εκπομπής NO_x, πετρέλαιο, κανονισμός ECE 15/04 και πριν

Diesel ECE 15/04 and before v _m [km/h]	[g/h]						
	-6%	-4%	-2%	0%	2%	4%	6%
0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
5	3.5	4.1	4.7	5.9	6.4	7.0	9.3
10	6.2	7.5	8.5	10.7	12.0	12.9	18.4
15	7.6	10.8	12.4	15.5	17.6	21.1	29.8
20	8.1	14.2	16.2	20.3	23.3	30.8	43.1
30	10.9	21.7	24.8	31.0	36.6	55.8	72.9
40	10.2	22.6	25.8	32.2	39.0	53.0	75.8
50	10.4	24.6	30.3	37.9	46.6	68.2	89.0
60	11.1	22.1	35.4	44.3	55.9	79.7	104.0
70	12.5	19.9	34.9	49.8	64.4	89.7	117.1
80	14.4	23.0	40.2	57.4	75.6	103.3	134.9
90	18.1	29.0	50.7	72.5	97.3	130.4	170.3
100	21.9	35.1	61.5	87.8	120.3	158.0	206.3
110	26.0	41.7	72.9	104.2	145.9	203.2	263.1
115	28.4	45.4	79.5	113.6	161.3	238.5	306.6

Επιβατικά Οχήματα

Πετρελαιοκίνητες μηχανές - Θολότητα

Πίνακας 13

Θολότητα, πετρελαιοκίνητες μηχανές, κανονισμός EURO 2

Diesel EURO 2 v _m [km/h]	[m ³ /h]						
	-6 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
0	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
5	3.65	3.65	3.65	3.65	3.87	4.14	4.64
10	3.92	4.00	4.08	4.17	4.62	5.25	6.29
15	4.26	4.43	4.60	4.89	5.68	6.82	8.78
20	4.61	4.89	5.18	5.76	6.97	8.81	11.98
30	6.67	7.09	7.51	8.34	10.59	14.26	20.43
40	7.91	8.40	8.90	9.88	12.90	17.79	26.19
50	11.52	12.24	12.96	14.40	19.15	26.99	40.31
60	11.99	14.56	15.42	17.13	23.30	33.23	50.19
70	10.67	12.95	13.72	15.24	21.03	30.48	46.48
80	8.38	10.17	10.77	11.97	16.69	24.35	37.58
90	9.91	12.03	12.74	14.15	19.88	29.37	45.50
100	16.67	20.24	21.43	23.81	33.69	50.01	77.63
110	25.70	31.21	33.04	36.71	52.13	78.01	121.70
115	30.24	36.72	38.88	43.20	61.34	92.45	144.72

Πετρελαιοκίνητες μηχανές - Θολότητα

Πίνακας 14

Θολότητα, πετρελαιοκίνητες μηχανές, κανονισμός EURO 1

Diesel EURO 1 v _m [km/h]	[m ³ /h]						
	-6 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
5	5.1	5.1	5.1	5.1	5.5	5.8	6.5
10	5.5	5.6	5.8	5.9	6.5	7.4	8.9
15	6.0	6.2	6.5	6.9	8.0	9.6	12.4
20	6.5	6.9	7.3	8.1	9.8	12.4	16.9
30	9.4	10.0	10.6	11.7	14.9	20.1	28.8
40	11.1	11.8	12.5	13.9	18.2	25.1	36.9
50	15.6	16.5	17.5	19.5	25.9	36.5	54.5
60	16.2	19.7	20.8	23.1	31.5	44.9	67.8
70	14.4	17.5	18.5	20.6	28.4	41.2	62.8
80	11.3	13.7	14.6	16.2	22.6	32.9	50.8
90	13.4	16.3	17.2	19.1	26.9	39.7	61.5
100	20.8	25.3	26.8	29.8	42.1	62.5	97.0
110	32.1	39.0	41.3	45.9	65.2	97.5	152.1
115	37.8	45.9	48.6	54.0	76.7	115.6	180.9

Επιβατικά Οχήματα

Πετρελαιοκίνητες μηχανές - Θολότητα

Πίνακας 15

Θολότητα, πετρελαιοκίνητες μηχανές, κανονισμός ECE 15/04 και πριν

Diesel ECE 15/04 and before	[m ³ /h]						
	vm [km/h]	-6 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	4 %
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
5	18.3	18.3	18.3	18.3	19.4	20.7	23.2
10	19.3	19.7	20.1	20.5	22.8	25.9	31.0
15	19.8	20.6	21.4	22.8	26.5	31.8	40.9
20	20.1	21.3	22.6	25.1	30.4	38.4	52.2
30	23.2	24.6	26.1	29.0	36.8	49.6	71.0
40	30.9	32.8	34.8	38.6	50.4	69.5	102.4
50	34.1	36.2	38.3	42.6	56.6	79.9	119.3
60	29.9	36.3	38.4	42.7	58.1	82.8	125.1
70	29.5	35.8	37.9	42.1	58.1	84.2	128.5
80	28.7	34.8	36.9	41.0	57.1	83.4	128.6
90	31.6	38.4	40.7	45.2	63.5	93.8	145.3
100	46.7	56.7	60.0	66.7	94.3	140.0	217.3
110	72.2	87.7	92.8	103.1	146.4	219.1	341.9
115	84.9	103.1	109.2	121.3	172.3	259.6	406.4

Πίνακας 16

Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)

Travel-distance	1km αποστολα-ισα	2km αποστολα-ισα	3km αποστολα-ισα
gasoline cat.			
CO	2.0/5.0/7.4	1.0/2.5/4.3	1.0/1.0/2.4
NOx	2.1/1.8/1.6	1.0/1.4/1.4	1.0/1.0/1.2
gasoline convent.			
CO	1.3/2.1/3.0	1.0/1.4/2.0	1.0/1.0/1.4
NOx	1.7/0.9/0.8	1.0/0.95/0.9	1.0/1.0/0.95
Diesel			
CO	1.1/1.2/1.4	1.0/1.1/1.2	1.0/1.0/1.0
NOx	1.1/1.1/1.1	1.0/1.0/1.1	1.0/1.0/1.0
Particulates	1.2/1.2/1.4	1.0/1.1/1.3	1.0/1.0/1.1

Travel distance = η απόσταση που διανύει το όχημα μετά την έναρξη ψυχρού κινητήρα έως πριν μπει στη σήραγγα.

Πίνακας 17
Παράγοντας υψομέτρου

		CO	NO _x	particulates
gasoline cat.	700 m/0 m	1,0	1,0	-
	1000 m/0 m	2,6	1,0	-
	2000 m/0 m	11,42	1,0	-
	3000 m/0 m	13,0	1,0	-
gasoline conv.	1000 m/0 m	1,78	0,74	-
	2000 m/0 m	2,48	0,54	-
	3000 m/0 m	3,18	0,54	-
diesel	1000 m/0 m	1,21	1,0	1,0
	2000 m/0 m	1,50	1,0	1,25
	3000 m/0 m	1,81	1,0	1,5

Πίνακας 18
Συντελεστής γηραιότητας επιβατικών αυτοκινήτων με καταλύτη

CO [1/100.000 km]	NO _x [1/100.000 km]
1,67	1,73

Φορτηγά Οχήματα – Λεωφορεία

CO, NO_x, θολότητα - εκπομπές

Πίνακας 19

Συντελεστής εκπομπής CO για HDV, 10 τόνοι, κανονισμός pre-EURO

pre EURO	[g/h]				
	6 %	4 %	2 %	0 %	-2 %/-4 %/-6 %
5	143.2	135.4	129.3	126.0	63.0
10	173.6	157.7	145.1	137.7	68.8
15	204.5	180.5	161.4	149.5	74.7
20	235.7	203.4	177.0	159.4	79.7
25	267.8	227.2	193.7	170.6	85.3
30	300.7	251.9	210.9	181.9	90.9
35	334.4	277.0	228.1	191.9	95.9
40	370.5	304.4	247.2	203.2	101.6
45	404.7	330.0	264.1	211.6	105.8
50	439.9	356.3	281.4	219.8	109.9
55	477.7	385.3	301.8	231.6	115.8
60	516.9	415.7	323.3	244.0	122.0
65	557.1	446.9	345.4	256.7	128.3
70		479.4	368.4	269.8	134.9
75		513.7	392.4	281.8	140.9
80		549.9	417.9	294.6	147.3

Πίνακας 20

Συντελεστής εκπομπής NO_x για HDV, 10 τόνοι, κανονισμός pre-EURO

pre EURO	[g/h]				
	6 %	4 %	2 %	0 %	-2 %/-4 %/-6 %
5	216.6	192.2	173.4	163.2	81.6
10	310.5	261.3	222.4	199.3	99.6
15	406.1	331.9	272.6	235.8	117.9
20	502.6	402.7	321.0	266.5	133.2
25	602.0	476.5	372.6	301.1	150.6
30	703.9	552.7	426.0	336.1	168.1
35	808.1	630.5	479.1	367.1	183.5
40	919.8	715.5	538.4	402.2	201.1
45	1025.8	794.4	590.6	428.2	214.1
50	1134.6	875.8	644.2	453.5	226.8
55	1251.6	965.7	707.2	489.9	245.0
60	1373.1	1059.8	773.7	528.5	264.3
65	1497.3	1156.4	842.1	567.6	283.8
70		1256.8	913.5	608.3	304.2
75		1363.2	987.7	645.4	322.7
80		1475.1	1066.4	685.0	342.5

Φορτηγά Οχήματα – Λεωφορεία

CO, NO_x, θολότητα - εκπομπές

Πίνακας 21

Εκπομπές σωματιδίων για HDV, 10 τόνοι, κανονισμός pre-EURO

pre EURO	[m ³ /h]				
v _m [km/h]	6%	4%	2%	0%	-2 %/-1 %/-6 %
5	98.6	94.0	90.5	88.6	44.3
10	116.0	106.9	99.7	95.3	47.7
15	133.8	120.0	109.0	102.1	51.1
20	151.8	133.2	118.0	107.8	53.9
25	170.2	146.9	127.6	114.3	57.1
30	189.2	161.1	137.5	120.8	60.4
35	208.6	175.6	147.4	126.6	63.3
40	229.4	191.4	158.4	133.1	66.5
45	249.1	206.0	168.1	137.9	69.0
50	269.3	221.2	178.1	142.6	71.3
55	291.1	237.9	189.8	149.4	74.7
60	313.7	255.4	202.2	156.6	78.3
65	336.8	273.4	214.9	163.9	81.9
70		292.0	228.2	171.4	85.7
75		311.8	242.0	178.3	89.2
80		332.7	256.6	185.7	92.9

Πίνακας 22

Συντελεστής μάζας fm ο οποίος εξαρτάται από την ταχύτητα

v _m [km/h]	5	10	20	30	40	50	60	70	80
20t/10t	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5
30t/10t	2.5	2.6	2.6	2.6	2.5	2.4	2.3	2.1	2.0

Φορτηγά Οχήματα – Λεωφορεία

CO, NO_x, θολότητα - εκπομπές

Πίνακας 23

Συντελεστές για διαφορετικά πρότυπα εκπομπών

Regulation	CO	NO _x	particulates
pre EURO	1.0	1.0	1.0
EURO 0	0.62	1.11	0.65
EURO 1	0.4	0.84	0.55
EURO 2	0.34	0.64	0.30

Πίνακας 24

Συντελεστής υψομέτρου για HDV

		CO	NO _x	particulates
diesel	1000 m/0 m	1,35	1,0	1,12
direct inj.	2000 m/0 m	2,75	1,0	1,69
	3000 m/0 m	4,0	1,0	2,26

3.4 Περιβάλλον

3.4.1 Αέρας της σήραγγας έξω από τα στόμια

Για να μπορέσει να προσδιοριστεί η διασπορά του αέρα γύρω από τα στόμια της σήραγγας, προτείνεται ένα ογκομετρικό μοντέλο.

3.4.2 Αέρας της σήραγγας έξω από την καπνοδόχο (chimney)

Στέλνοντας νωπό αέρα μέσω της καπνοδόχου, κάθετα στο εσωτερικό της σήραγγας, τα καυσαέρια που βρίσκονται μέσα στη σήραγγα διαλύονται ακανόνιστα με φορά προς το έδαφος. Αυτό έχει αποδειχθεί μέσω ανιχνευτών αερίων και κατάλληλα υπολογιστικά προγράμματα, όπως ISCST και COMPLEX1.

Αυτή η ισχυρή διασπορά των καυσαερίων τα ωθούν προς τα πάνω, σε μεγαλύτερο ύψος.

Το φαινόμενο της καπνοδόχου καθώς και η επίδραση των καιρικών μεταβλητών παρουσιάζονται στις ακόλουθες υπολογιστικές σχέσεις.

Το ύψος της καπνοδόχου υπολογίζεται από το πραγματικό ύψος της καπνοδόχου μετρούμενο από το έδαφος προστιθέμενο στο ύψος που φτάνει το εκκρινόμενο καυσαέριο βγαίνοντας από την καπνοδόχο. Ο άνεμος δημιουργεί στην απάνεμη πλευρά της καπνοδόχου συνθήκες υποπίεσης, οι οποίες συνδράμουν στην ώθηση μέρους του απορριπτόμενου αέρα προς τα κάτω. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί αν η ταχύτητα του απορριπτόμενου αέρα είναι 1,5 φορές μεγαλύτερη από την ταχύτητα του ανέμου.

Ο αέρας μέσα στη σήραγγα, κατά κύριο λόγο είναι θερμότερος από τον αέρα στο εξωτερικό περιβάλλον της σήραγγας, κάτι το οποίο δεν ισχύει μόνο την εποχή της άνοιξης. Παρόλα αυτά αυτή η μικρή διαφορά θερμοκρασίας ελάχιστα επηρεάζει τη φορά εκροής.

Ο θόρυβος που προκαλείται από την ροή του αέρα μέσα στη σήραγγα, είναι σε αποδεκτά επίπεδα όταν η ταχύτητα ροής του αέρα είναι μικρότερη από 25m/s υπό κανονικές συνθήκες και μικρότερη από 15m/s σε ιδιαίτερες περιπτώσεις.

Αυτό που επίσης θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, είναι και οι ενεργειακές απαιτήσεις για υψηλές ταχύτητες αέρα μέσα στη σήραγγα.

3.4.3 Φιλτράρισμα σωματιδίων αέρα μέσα στη σήραγγα

Στην Ιαπωνία το 30% των μεταφορών αποτελείται από διακίνηση βαρέως φορτίου μέσω πετρελαιοκίνητων φορητών.

Σε σήραγγες οι οποίες έχουν αυτήν την κυκλοφοριακή σύσταση απαιτείται περισσότερος αέρας για την διάλυση του καπνού παρά για στην διάλυση του CO. Σε σήραγγες οι οποίες βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο ή κάτω από το νερό στην Ιαπωνία, για την αντιμετώπιση του φαινομένου ακολουθήθηκε το σενάριο καθαρισμού του αέρα σε διάφορα σημεία κατά μήκος της σήραγγας, και με αυτόν τον τρόπο αποφεύχθηκε η κατασκευή κατακόρυφων ανοιγμάτων (shaft) καθώς και η τοποθέτηση αεραγωγών για την ανανέωση του αέρα της σήραγγας.

Ο καθαρισμός του αέρα της σήραγγας με τη μέθοδο του φιλτραρίσματος, βασίζεται στη χρήση ηλεκτροστατικού επιταχυντή (EP), εξοπλισμός ο οποίος έχει ελεγχθεί σε μεγάλα έργα. Ο πρώτος ηλεκτροστατικός επιταχυντής χρησιμοποιήθηκε σε σήραγγα της Ιαπωνίας το 1977, για να ακολουθήσει στη συνέχεια η εφαρμογή τους σε άλλες 25 σήραγγες.

Κατασκευάστηκαν για να λειτουργούν σε ταχύτητα ροής ανέμου μέσα στη σήραγγα 7m/s και να αντέχουν σε υψηλό διαβρωτικό περιβάλλον (όπως αυτό στο εσωτερικό της σήραγγας) για πολλά χρόνια. Η αποδοτικότητα τους κυμαίνεται στο 80%.

Απαιτούνται πολλά διαδικαστικά βήματα μεταξύ της αποκόμισης της εναπομένουσας σκόνης (μετά το φιλτράρισμα του αέρα) και της τοποθέτησης κατάλληλης συσκευασίας μεταφοράς αυτής. Γι αυτόν τον λόγο θεωρήθηκε η διαδικασία καθαρισμού με νερό η πιο κατάλληλη λύση.

Οι απώλεια πίεσης σε έναν σταθμό φιλτραρίσματος είναι περίπου 1000Pa με 1500Pa. Η απώλεια πίεσης που οφείλεται εξολοκλήρου στο φιλτράρισμα είναι σχετικά μικρή. Η μεγαλύτερη πτώση πίεσης οφείλεται στην σχηματική διαμόρφωση του επιταχυντή.

3.4.4 Καθαρισμός της σήραγγας από επικίνδυνα αέρια

Συστατικά των καυσαερίων όπως CO, NO_x, NO, SO, SO_x, C_xH_y, δεν μπορούν να εξαλειφθούν μέσω του συστήματος του επιταχυντή. Στην προσπάθεια εύρεσης μιας καθολικής λύσης, πολλά ινστιτούτα και εταιρείες ασχολήθηκαν με το πρόβλημα καθαρισμού του αέρα της σήραγγας από επικίνδυνα αέρια. Μέχρι τώρα οι πιο ενδιαφέρουσες μέθοδοι είναι αυτή του καθαρισμού μέσω καταλύτη και του βιολογικού καθαρισμού.

Με τη μέθοδο του καταλύτη, τα απορριπτόμενα αέρια μετατρέπονται μέσω κρύας κατάλυσης σε λιγότερο επικίνδυνα αέρια συστατικά. Λεπτομέρειες για αυτήν την διαδικασία δεν είναι πλήρως διευκρινισμένες. Διάφορες δοκιμές στον αέρα της σήραγγας απέδειξαν ότι τουλάχιστον για ένα μικρό χρονικό διάστημα μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματικός διαχωρισμός των αέριων συστατικών CO, NO_x, NO, SO, SO_x, C_xH_y. Το μειονέκτημα σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι ο επιταχυντής θα πρέπει να συντηρείται σε τακτά χρονικά διαστήματα καθώς επίσης και η μείωση της αποτελεσματικότητας είναι σταθερή με το πέρασμα του χρόνου, όποτε τελικά καταλήγουμε στην αναπόφευκτη αντικατάσταση του. Θα πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι τύποι καταλυτών που υπάρχουν σήμερα έχουν αρκετά υψηλό κόστος.

Με την βιολογική μέθοδο, τα επικίνδυνα απορριπτόμενα αέρια θα πρέπει να εξαλειφθούν με τη βοήθεια μικροοργανισμών. Δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στον αέρα της σήραγγας έδωσαν καλά αποτελέσματα όσον αφορά το CO και μέτρια αποτελέσματα όσον αφορά στο NO, ειδικά σε χαμηλές θερμοκρασίες. Ένα μειονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι ότι απαιτείται μεγάλος χρόνος επεξεργασίας για ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ένα άλλο μειονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι το στρώμα ατμού που επικρατεί σε χαμηλή σχετικά θερμοκρασία, καθώς ο αέρας γίνεται κορεσμένος ατμός.

Συνοψίζοντας λοιπόν, διάφορα πειράματα απέδειξαν ότι υπάρχουν διάφοροι τρόποι καθαρισμού του αέρα, οι οποίοι όμως δεν έχουν αποδείξει πλήρων την πρακτικότητα τους.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

4 Επιλέγοντας συστήματα αερισμού-μεθοδολογία

4.1 Συστήματα αερισμού

Ακολουθώς παρατίθενται κάποιες ειδικές και γενικές πληροφορίες σχετικά με τον διαμήκη εξαερισμό σήραγγων καθώς και την ημι-εγκάρσια μέθοδο εξαερισμού.

4.2 Επιλέγοντας μεταξύ διαμήκη και ημί-εγκάρσιου συστήματος αερισμού

Για να μπορέσει κάποιος να επιλέξει μεταξύ των δύο συστημάτων εξαερισμού, θα πρέπει να λάβει υπόψη του τα ακόλουθα επιχειρήματα:

Αρχικό κόστος εγκατάστασης

Το σύστημα ημι-εγκάρσιου (STV) αν λάβουμε υπόψη τους αεραγωγούς οι οποίοι διανύουν τη σήραγγα καθώς επίσης και τους σταθμούς των ανεμιστήρων, έχει μεγαλύτερο κόστος κατασκευής από ότι το διαμήκη σύστημα αερισμού. Το κόστος των ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων είναι περίπου το ίδιο και στις δύο περιπτώσεις.

Ενέργεια που καταναλώνεται για τον αερισμό μιας σήραγγας

Σε μια σήραγγα διπλής κυκλοφορίας, η ενέργεια που καταναλώνεται για τον αερισμό μιας σήραγγας μεγάλου μήκους, είναι μικρότερη αν εφαρμοστεί το σύστημα ημι-εγκάρσιου αερισμού, απ' ότι εάν εφαρμοστεί το σύστημα διαμήκους αερισμού. Σε σήραγγες μονής κυκλοφορίας το φαινόμενο του εμβόλου, επαρκής συνθήκες φυσικού αερισμού ακόμη και σε σήραγγες μεγάλου μήκους. Σε σήραγγες όμως με κυκλοφοριακή συμφόρηση ή σε σήραγγες διπλής κυκλοφορίας, η κατανάλωση ενέργειας είναι πάλι μεγαλύτερη για το διαμήκη σύστημα αερισμού σε σχέση με το ημι-εγκάρσιο σύστημα.

Όταν ο όγκος των καυσαερίων οδηγήσει σε αναγκαστική χρήση «καπνοδόχου» για την απόρριψη του αέρα της σήραγγας στο εξωτερικό περιβάλλον, η κατανάλωση ενέργειας μόνο για τη χρήση του μηχανισμού των «καμινάδων» είναι καθοριστική, εκτός και εάν εφαρμοστεί ξεχωριστή λειτουργία του συστήματος αραίωσης των καυσαερίων στο εσωτερικό της σήραγγας και του συστήματος απόρριψης του αέρα της σήραγγας στο εξωτερικό περιβάλλον.

Έλεγχος του καπνού και της φωτιάς

Με το σύστημα ημι-εγκάρσιου αερισμού, έχοντας τη δυνατότητα αντίστροφης λειτουργίας (οι ανεμιστήρες να μπορούν να λειτουργούν και αντιστρόφως), δύναται η απόρριψη καπνού στο εξωτερικό περιβάλλον χωρίς όμως να μπορεί να ελεγχθεί η εξάπλωση του καπνού στο εσωτερικό της σήραγγας. Στο

διαμήκης σύστημα αερισμού, μπορεί να οδηγηθεί ο καπνός προς το ένα στόμιο της σήραγγας, με το φαινόμενο «backlayering» σε μικρό βαθμό, χωρίς όμως να μπορεί να αποφευχθεί το γεγονός ότι η σήραγγα θα γεμίσει καπνό από το σημείο της πυρκαγιάς έως το στόμιο απόρριψης του καπνού ή έστω το πλησιέστερο κατακόρυφο στόμιο απόρριψης καυσαερίων.

Προστασία του περιβάλλοντος

Σε μια σήραγγα διπλής κυκλοφορίας, εφαρμόζοντας το ημι-εγκάρσιο σύστημα αερισμού της σήραγγας, μολύνεται ο περιβάλλον αέρας και στα δύο στόμια της σήραγγας. Σε περίπτωση εφαρμογής του διαμήκη συστήματος αερισμού, μολύνεται μόνο ο αέρας στο ένα στόμιο της σήραγγας. Θα μπορούσε και θα ήταν προτιμότερο ο αέρας και στα δύο στόμια της σήραγγας να καθαρός αν στο μέσο της σήραγγας προβλεπόταν κεντρικό κατακόρυφο shaft. Ο αερισμός σήραγγας με το σύστημα ημιεγκάρσιου αερισμού και την πρόβλεψη κεντρικού shaft είναι προτιμότερος και λόγω του ότι η εξάπλωση του αέρα και του καπνού μπορούν πιο εύκολα να προβλεφτούν και λόγω του ότι η κατανάλωση ενέργειας είναι μικρότερη από ότι σε ένα σύστημα διαμήκους αερισμού με κεντρικό shaft.

4.3 Διαμήκεις σύστημα αερισμού

Με την εγκατάσταση ανεμιστήρων στην οροφή της σήραγγας, η αντίσταση (πτώση πίεσης) στο εσωτερικό της σήραγγας μπορεί να υπερνικηθεί απο μετατροπή της ορμής του αέρα σε στατική πίεση. Αυτοί οι ανεμιστήρες μπορούν να τοποθετηθούν είτε κοντά στα στόμια της σήραγγας, έτσι ώστε να ωθούν νωπό αέρα στο εσωτερικό της σήραγγας, είτε στην οροφή της σήραγγας ανά διαστήματα συμμετέχοντας έτσι τμηματικά στην αναπτυσσομένη ροή του αέρας το εσωτερικό της σήραγγας. Αυτοί οι ανεμιστήρες θα πρέπει να είναι αναστρέψιμης λειτουργίας.

Πίεση που δημιουργείται από τους ανεμιστήρες

Η μετατροπή της ορμής του αέρα σε στατική πίεση γίνεται μέσω της σχέσης :

$$\Delta p_{jo} = \rho \cdot Q_j \cdot (u_j - u^*) \cdot 1/A_T \quad (4.3.1-1)$$

Η ιδανική ανύψωση της πίεσης Δp_{jo} σύμφωνα με τη σχέση (1), δεν μπορεί να επιτευχθεί πλήρως λόγω διαφόρων μηχανισμών απώλειας. Οι συντελεστές απόδοσης η_1 , η_2 , εκφράζουν αυτές τις απώλειες, μειώνοντας την ιδανική πίεση σε Δp_j , σύμφωνα με τη σχέση:

$$\Delta p_j = \Delta p_{jo} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3.$$

Έρευνες σχετικά με τις πηγές απωλειών συνεχώς εξελίσσονται και θα αναφερθούν παρακάτω. Μέχρι στιγμής οι βασικοί συντελεστές απωλειών είναι:

Απόδοση του ανεμιστήρα (η_1)

Η δυναμική πίεση μετά από μετρήσεις που λήφθηκαν, είναι περίπου 10% μικρότερη από το υπολογισμένο μέγεθος $\rho \cdot Q_j \cdot u_j$, όπου Q_j η μετρούμενη εισερχόμενη παροχή αέρα. Ο λόγος αυτής της απώλειας είναι οι στροβιλισμοί αέρα στην έξοδο του ανεμιστήρα και τα φαινόμενα δίνης, έτσι $\eta_1 = 0,9$

Τριβή στα τοιχώματα της σήραγγας (η_2)

Τυπικές τιμές συντελεστή απωλειών, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα :

	η_2
1 jet in a corner, jet edge practically touching wall and ceiling	~ 0,7
1 jet, jet edge at fan exit 1/2 d away from wall and ceiling	~ 0,8
1 jet, jet edge at fan exit 1 d away from wall and ceiling	~ 0,9
1 jet totally in a niche	~ 0,8
Many jets totally in a niche	~ 0,7

Διαμήκης απόσταση (η_3)

Η μεταφορά της ροής του αέρα σε ανύψωση της πίεσης μέσα στη σήραγγα, χρειάζεται απόσταση μεταξύ των ανεμιστήρων περίπου 10 υδραυλικές διαμέτρους, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι ανεμιστήρες δεν θα έχουν εκτροπείς. Σε αυτήν την ελάχιστη απόσταση που θα πρέπει να έχουν οι ανεμιστήρες μεταξύ τους δεν θα πρέπει να παρεμβάλλεται κανένα εμπόδιο.

Εάν οι ανεμιστήρες έχουν εκτροπείς, τότε η μεταφορά της ροής του αέρα επιτυγχάνεται σε μικρότερο χρόνο και με μια ελάχιστη απόσταση μεταξύ των ανεμιστήρων 6-7 υδραυλικές διαμέτρους.

Υπό της ανωτέρω συνθήκης ο συντελεστής η_3 ισούται με τη μονάδα, όμως η τιμή μειώνεται πολύ γρήγορα για μικρότερες αποστάσεις.

Η ταχύτητα του αέρα μέσα στην σήραγγα

Για να υπολογίσουμε τον αριθμό των ανεμιστήρων σε μια σήραγγα όπου υπάρχει ροή κυκλοφορίας, η ταχύτητα u , της σχέσης (1) μπορεί να ληφθεί υπόψη κατ' αντιστοιχία με τη διατομή της σήραγγας. Για τον υπολογισμό του αριθμού των ανεμιστήρων σε μια σήραγγα όπου συμβαίνει κυκλοφοριακή συμφόρηση, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η παρακώλυση της κυκλοφορίας κι έτσι να χρησιμοποιηθεί υψηλότερη τιμή για την ταχύτητα.

Το μέγεθος του ανεμιστήρα

Ο βαθμός απόδοσης της μετατροπής της ροής του αέρα του ανεμιστήρα σε ρQ_j u σε παροχή αέρα μέσα στη σήραγγα Q μέσω της ταχύτητας u , εξαρτάται από τον λόγο u_j / u , σύμφωνα με τη σχέση

$$\eta = [2/(1+u_j/u)] \cdot \eta_{1-3} \quad [20].$$

Για συνηθισμένες ταχύτητες των ανεμιστήρων πχ 30m/sec, η αποτελεσματικότητα είναι περίπου στο 20%. Έτσι ο μόνος τρόπος για να αυξήσουμε τον βαθμό απόδοσης είναι να μειώσουμε τον λόγο u_j / u , ήτοι να μειώσουμε την u_j .

Μια σημαντική αύξηση του βαθμού απόδοσης μπορεί να επιτευχθεί με μείωση της ταχύτητας σε 20m/s και κάτω. Αυτό εν συνεχεία σημαίνει μεγάλη διάμετρο ανεμιστήρων και πολλά άλλα, όπως αύξηση της τιμής του ανεμιστήρα, αύξηση των ηλεκτρικών καλωδίων, καθώς και αύξηση της διατομής της σήραγγας, έτσι ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν οι ανεμιστήρες. Αυτό με τη σειρά του σημαίνει αύξηση του κόστους κατασκευής.

Έτσι, σε κάθε σημαντικό έργο κατασκευής σιράγγων, θα πρέπει να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ του αρχικού προϋπολογισμού, του κόστους συντήρησης καθώς και της κατανάλωσης ενέργειας σε συνάρτηση με την πρόβλεψη της κυκλοφοριακής μέσα στην σήραγγα.

Η έλικα του ανεμιστήρα παράγει θόρυβο σε μεγάλη εκροή ταχύτητας. Αυτό απαιτεί σιγαστήρες και από τις δύο πλευρές της έλικας. Χρησιμοποιώντας ανεμιστήρες χαμηλής ταχύτητας, η παραγωγή θορύβου είναι μέσα στα επιτρεπόμενα όρια.

4.3.1 Απαιτούμενος αριθμός των ανεμιστήρων

Ο αριθμός των ανεμιστήρων που θα τοποθετηθεί μέσα σε μια σήραγγα εξαρτάται από ποιές απαιτήσεις σε ανύψωση πίεσης έχει η σήραγγα, οι οποίες εξαρτώνται από διάφορες καταστάσεις όπως τον όγκο κυκλοφορίας, την ταχύτητα κυκλοφορίας, τις απαιτήσεις νωπού αέρα, τις μετεωρολογικές συνθήκες καθώς και την θερμοστατική επίδραση της πίεσης.

Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις ανωτέρω ανεπιθύμητες καταστάσεις, εκτιμούμε με προσάυξηση τον απαιτούμενο αριθμό των ανεμιστήρων.

Η πίεση την οποία πρέπει να καλύψουν οι n_j ανεμιστήρες είναι

$$n_j \cdot \Delta p_j = \Delta p_{veh} + \Delta p_{tu} + \Delta p_{MT} \quad (4.3.2-1)$$

Η κάθε πτώση πίεσης ξεχωριστά παρουσιάζεται ακολούθως:

a) Το φαινόμενο του εμβόλου ανά λωρίδα κυκλοφορίας

$$\Delta p_{veh} = \left[\frac{M \cdot L}{V} \right] \cdot \frac{(C_w A)_{veh}}{A_T} \cdot \frac{\rho}{2} (v \pm u)^2 \quad (4.3.2-2)$$

Για κάθε λωρίδα κυκλοφορίας η κατ' αντιστοιχία πυκνότητα κυκλοφορίας επιβατικών αυτοκινήτων, φορτηγών και λεωφορείων καθώς και η ταχύτητα κυκλοφορίας θα πρέπει να υπολογίζεται ξεχωριστά.

Passenger cars:	Cross-section $A = 2 \text{ m}^2$	
	Coefficient of resistance $c_w = 0,35$	(with blockage effect $c_w = 0,4$)
Trucks:	Cross-section $A = 3 - 5 - 7 \text{ m}^2$	
	Coefficient of resistance $c_w = 0,8$	(with blockage effect $c_w = 1$)

Ο συντελεστής αντίστασης C_w μειώνεται περίπου (15-25)%, σε περιπτώσεις μεγαλύτερης κυκλοφοριακής συμφόρησης. Όσον αφορά σήραγγες στη Δυτική Ευρώπη, η τυπική διατομή τους θεωρείται 2m^2 , ενώ σε άλλες χώρες μπορεί να θεωρηθεί ακόμη μικρότερη. Σε βιομηχανικές περιοχές όπου στη κυκλοφοριακή σύσταση υπάρχουν και οχήματα φόρτωσης-εκφόρτωσης, η τυπική διατομή θεωρείται περίπου $3-5\text{m}^2$, ενώ σε περιοχές που υπάρχουν φορτηγά οχήματα η τυπική διατομή θεωρείται 7m^2 .

Όσον αφορά τον παράγοντα $C_w \cdot A$, μέσω πειραμάτων έχει αποδειχθεί ότι ο παράγοντας αυτός μπορεί να μειωθεί έως και 70% από τις προηγούμενες τιμές του, σε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης με ταχύτητα οχημάτων έως 10km/h .

Η ταχύτητα ($v+u$), αφορά στην σχετική ταχύτητα μεταξύ της ταχύτητας των οχημάτων και της ταχύτητας του αέρα μέσα στην σήραγγα (+ ή – ανάλογα αν η φορά κίνησης των οχημάτων με την φορά κίνησης του αέρα μέσα στην σήραγγα είναι προς την ίδια ή προς αντίθετη κατεύθυνση αντίστοιχα.

Απώλειες πίεσης από την τριβή του αέρα στα τοιχώματα της σήραγγας (γραμμικές απώλειες) και από απώλειες πίεσης στην είσοδο και στην έξοδο της σήραγγας.

Πιο συγκεκριμένα, οι υδραυλικές απώλειες στο στόμιο εισόδου της σήραγγας εκφράζονται μέσω της σχέσης :

$$\Delta p_{\text{εισ.}} = \zeta_{\text{εισ}} \rho/2 u^2 \quad (4.3.2-3)$$

όπου, $\zeta_{\text{εισ}} = 0,5$ για μη στρογγυλεμένα άκρα εισόδου σήραγγας

και στο στόμιο εξόδου της σήραγγας εκφράζονται μέσω της σχέσης :

$$\Delta p_{\text{εξ.}} = \zeta_{\text{εξ}} \rho/2 u^2 \quad (4.3.2-4)$$

όπου, $\zeta_{\text{εξ}} = 1$ για μη στρογγυλεμένα άκρα εξόδου

Οι γραμμικές απώλειες στην σήραγγα, εκφράζονται μέσω της σχέσης :

$$\Delta p_{\text{frict.}} = \rho/2 \lambda l/d_h u^2 \quad (4.3.2-5)$$

όπου, $\lambda = \text{o συντελεστής τριβής προσδιορίζεται από το διάγραμμα Moody και εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds και την τραχύτητα της επιφάνειας της σήραγγας.}$

$\rho = \eta$ πυκνότητα του αέρα (Kg/m^3)

$l = \text{το μήκος της σήραγγας (m)}$

$d_h = \text{υδραυλική διάμετρος της σήραγγας (m)}$

$u = \eta$ ταχύτητα του αέρα (m)

$$\Delta p_{tu} = \left[1 + \zeta + \lambda \frac{L}{D} \right] \rho / 2U^2 \quad (4.3.2-6)$$

Η τιμή της μονάδος αντιπροσωπεύει την ελάχιστη πτώση πίεση που προκαλείται από την δυναμική πίεση μέσω της ταχύτητας u , ο συντελεστής ζ προστέθηκε για την επιπλέον πτώση πίεσης που προκαλείται από το σχήμα της διατομής της σήραγγας.

Ο συντελεστής τριβής λ σχετίζεται με την τραχύτητα των τοιχωμάτων της σήραγγας, καθώς επίσης και με τον προεξέχοντα εξοπλισμό που βρίσκεται τοποθετημένος στα τοιχώματα της σήραγγας. Σε σήραγγα όπου τα τοιχώματα της είναι σχετικά λεία, έχει μετρηθεί ένας συντελεστής τριβής περίπου 0,015, ενώ σε σήραγγες με σχετικά τραχεία τοιχώματα ο συντελεστής τριβής έχει εκτιμηθεί περίπου στο 0,06. Σε σήραγγες όπου στο εσωτερικό τους υπάρχουν τοποθετημένες μεγάλες πινακίδες σήμανσης, οι τοπικές απώλειες πίεσης θα πρέπει να προστεθούν στον ολικό συντελεστή απωλειών

b) Έλεγχος του καπνού

Σε μια σήραγγα όπου εφαρμόζεται το σύστημα διαμήκους εξαερισμού, θα πρέπει να δύναται ο καπνός να κινηθεί προς τη μια πλευρά της σήραγγας χωρίς να συμβεί ανεπιθύμητη επιστροφή του καπνού (back-layering). Το φαινόμενο αυτό εξαρτάται από το μέγεθος της φωτιάς, τη διατομή της σήραγγας και τον αριθμό των μπλοκαρισμένων οχημάτων μέσα στη σήραγγα.

c) Επανακυκλοφορία αέρα

d) Μεταξύ του στομίου εξόδου και του στομίου εισόδου δύο γειτονικών σηράγγων μονής κατεύθυνσης κυκλοφορίας, μπορεί να συμβεί επανακυκλοφορία αέρα. Το φαινόμενο αυτό εξαρτάται από την τοπική γεωμετρία και κατεύθυνση του αέρα. Το ίδιο μπορεί να συμβεί και σε περίπτωση σήραγγας με ημι-εγκάρσιο σύστημα αερισμού, μεταξύ του στομίου εξόδου και του εγκάρσιου shaft εισαγωγής αέρα.

Σε περιπτώσεις άπνοιας

1. Σε περίπτωση που έχουμε δύο στόμια γειτονικών σηράγγων στο ίδιο ύψος και απόσταση τοιχωμάτων περίπου στο 1m, περίπου το 15% του εκκρινόμενου αέρα από τη μια σήραγγα παγιδεύεται στη γειτονική σήραγγα ως νωπός αέρας καθώς απορροφάται από το στόμιο εισόδου.

- Όταν η απόσταση τοιχωμάτων των γειτονικών σήραγγων είναι μεγαλύτερη από 4m, η κυκλοφορία μειώνεται στο 5%.
- Ένας διαχωριστικός τοίχος μεταξύ των δύο γειτονικών στομιών (απόστασης 1m), μειώνει το ποσοστό της επανακυκλοφορίας στο 4% - 2%. Το ύψος του τοίχου θα πρέπει να είναι τόσο όσο το ύψος της σήραγγας και το μήκος του περίπου στα 5m - 10m.

Η επίδραση του ανέμου

Η επανακυκλοφορία αυξάνεται σημαντικά όταν ο άνεμος σπρώχνει τον εκκρινόμενο αέρα στο γειτονικό στόμιο εισόδου.

Στην περίπτωση 1, όπου η ταχύτητα του αέρα είναι στο μισό ή έστω ίση με τη ταχύτητα εκροής του αέρα, το ποσοστό επανακυκλοφορίας αυξάνεται στο 30% με μέγιστη τιμή το 60%. Όταν τα στόμια της σήραγγας βρίσκονται μέσα σε εσοχή ή ανάμεσα σε διαχωριστικά τοιχώματα, τότε ο άνεμος δημιουργεί στροβιλισμό του αέρα με αποτέλεσμα την αύξηση της επανακυκλοφορίας.

Στην περίπτωση 2, όπου υπάρχει διαχωριστικός τοίχος (μήκους 20m – 40m), μεταξύ των γειτονικών στομιών, η επανακυκλοφορία του αέρα αυξάνεται στο 20%-40% σε περίπτωση πλευρικού ανέμου. Σε κάθε άλλη περίπτωση δεν έχουμε αύξηση της επανακυκλοφορίας.

4.4 Ημί-Εγκάρσιο σύστημα αερισμού.

Το σύστημα ημι-εγκάρσιου αερισμού εφαρμόζεται συνήθως σε σήραγγες διπλής κυκλοφορίας, όπου ο νωπός αέρας διαχέεται μέσα στη σήραγγα ομοιόμορφα μέσω ενός ξεχωριστού δικτύου αεραγωγών, οι ρύποι των οχημάτων διασπóνται τοπικά σε όλο το μήκος της σήραγγας και η κίνηση του αέρα μέσα στη σήραγγα δεν επηρεάζει τη συγκέντρωση του αέρα. Σε περίπτωση πυρκαγιάς, ο καπνός μπορεί να αποβληθεί από το εσωτερικό της σήραγγας μέσω του δικτύου αεραγωγών νωπού αέρα, αναστρέφοντας τη φορά των ανεμιστήρων.

Παράγοντες που λαμβάνουμε υπόψη μας για τη διαστασιολόγηση του συστήματος:

- Σε συνθήκες διπλής κυκλοφορίας, δημιουργούνται διακυμάνσεις στις τιμές της πίεσης στην περιοχή κυκλοφορίας, καθώς επίσης δημιουργείται και μια περιοχή υπερπίεσης μεταξύ των φορτηγών οχημάτων που κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Τα ανωτέρω δύο φαινόμενα

συμβάλλουν στην μείωση της διαφοράς πίεσης μεταξύ πίεσης στον αγωγό νωπού αέρα και πίεσης στην υπό μελέτη περιοχή. Για να αποφύγουμε τον ελλιπή αερισμό σε ορισμένες περιοχές της σήραγγας, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις υπολειτουργίας του συστήματος (λειτουργία στο μισό φορτίο), θα πρέπει να προβλεφθεί ένας εφεδρικός αγωγός υπερπίεσης.

- Η συνολική πτώση πίεσης κατά μήκος του αγωγού διανομής αέρα, προσδιορίζεται μέσω της σχέσης :

$$\Delta p_z = \left[\frac{1}{3} \lambda \frac{L}{D} \right] \cdot \rho / 2 u_{zo}^2 \quad (4.4-1)$$

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

5 Τεχνικοί υπολογισμοί Αερισμού-Εξαερισμού Σήραγγας

5.1 Εισαγωγή

5.1.1 Γενικά

Η υπό μελέτη σήραγγα πρόκειται για δίδυμη σήραγγα (δύο κλάδων) με δύο λωρίδες χωρίς Λ.Ε.Α. σε κάθε κλάδο, με μονόδρομη κυκλοφορία, και συγκεκριμένα:

- Μήκος Δεξιού κλάδου : 1.226,89 m
- Μήκος Αριστερού κλάδου : 1.234,27 m

Η σήραγγα διαθέτει δύο οδεύσεις διαφυγής (εγκάρσιες διασυνδετήριες στοές).

Προβλέπεται η τοποθέτηση συστήματος μηχανικού διαμήκους αερισμού που θα αντιμετωπίζει τόσο την κανονική λειτουργία της σήραγγας όσο και την απομάκρυνση του καπνού σε περίπτωση πυρκαγιάς ισχύος 50MW, σύμφωνα με τη Μελέτη Ανάλυσης Κινδύνου.

5.1.2 Στοιχεία μελέτης

Για το σχεδιασμό του συστήματος αερισμού ελήφθησαν υπόψη τα ακόλουθα:

- - ο έλεγχος των ρύπων που εκπέμπουν τα οδικά οχήματα, τόσο υπό κανονικές συνθήκες κυκλοφορίας όσο και σε συνθήκες αιχμής,
- - ο έλεγχος των ρύπων που εκπέμπουν τα οδικά οχήματα όταν η κυκλοφορία έχει σταματήσει λόγω συμβάντος ή ατυχήματος,
- - ο έλεγχος της θερμότητας και του καπνού σε περίπτωση πυρκαγιάς.
- - οι παραδοχές οι οποίες παρατίθενται στο κεφάλαιο των υπολογισμών

Για τη σύνταξη των απαιτήσεων και παραδοχών, ελήφθησαν υπόψη:

- οι απαιτήσεις που αναγράφονται στα συμβατικά τεύχη,
- οι υποδείξεις των Συνεδρίων της P.I.A.R.C. (Permanent International Association of Road Congress),
- οι γερμανικοί κανονισμοί RABT 2003,
- οι απαιτήσεις της Οδηγίας 2004/54/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με τις ελάχιστες απαιτήσεις ασφαλείας για τις σήραγγες του Διευρωπαϊκού Οδικού Δικτύου
- κυκλοφοριακά δεδομένα και εκτιμήσεις σύνθεσης βάση εκπομπών από τις αντίστοιχες μελέτες του Έργου καθώς και από αντίστοιχες εφαρμογές (Εγνατία Οδός)

5.2 Γεωμετρικά στοιχεία της σήραγγας

5.2.1 Δεξιός κλάδος της σήραγγας

Σύμφωνα με τη προμελέτη οδοποιίας, ο δεξιός κλάδος της σήραγγας έχει τα κάτωθι γεωμετρικά χαρακτηριστικά που αφορούν στο σύστημα αερισμού :

Μήκος Δεξιού κλάδου	: 1226,89 m
Χιλιομετρική θέση εισόδου Δεξιού Κλάδου	: 24+037
Χιλιομετρική θέση εξόδου Δεξιού Κλάδου	: 25+263,89
Υψομετρική θέση εισόδου Δεξιού Κλάδου	: 59,97 m
Υψομετρική θέση εξόδου Δεξιού Κλάδου	: 49,68 m
Μέση κλίση Δεξιού Κλάδου	: -0,84 %

Η διατομή της σήραγγας είναι πεταλοειδούς μορφής με τα κάτωθι χαρακτηριστικά :

- Ακτίνα $r=5.5\text{m}$
- Επιφάνεια διατομής σήραγγας : $A = 63.2 \text{ m}^2$
- Περίμετρος διατομής σήραγγας : $\Pi = 30.86 \text{ m}$
- Υδραυλική διάμετρος : $D_h = 8.19 \text{ m}$

Ο δεξιός κλάδος της σήραγγας ευρίσκεται σε μέσο υψόμετρο $h=54,83\text{m}$.

5.2.2 Αριστερός κλάδος της σήραγγας

Σύμφωνα με τη μελέτη οδοποιίας, ο αριστερός κλάδος της σήραγγας έχει τα κάτωθι γεωμετρικά χαρακτηριστικά που αφορούν στο σύστημα αερισμού :

Μήκος Αριστερού κλάδου : 1234,32 m

Χιλιομετρική θέση εισόδου Αριστερού : 25+277,77

Κλάδου

Χιλιομετρική θέση εξόδου Αριστερού : 24+043,5

Κλάδου

Υψομετρική θέση εισόδου Αριστερού : 49,23 m

Κλάδου

Υψομετρική θέση εξόδου Αριστερού : 60,26 m

Κλάδου

Μέση κλίση Αριστερού Κλάδου : 0,89 %

Η διατομή της σήραγγας είναι ίδια με αυτή του δεξιού κλάδου.

Ο αριστερός κλάδος της σήραγγας ευρίσκεται σε μέσο υψόμετρο $h=54,75\text{m}$.

5.3 Δεδομένα υπολογισμών - παραδοχές

5.3.1 Κυκλοφοριακά Δεδομένα

Για τη σύνταξη των ακολούθων απαιτήσεων και παραδοχών, ελήφθησαν υπόψη:

- οι απαιτήσεις που αναγράφονται στα συμβατικά τεύχη,
- οι υποδείξεις των Συνεδρίων της P.I.A.R.C. (Permanent International Association of Road Congress),
- οι γερμανικοί κανονισμοί RABT 2003,
- οι απαιτήσεις της Οδηγίας 2004/54/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με τις ελάχιστες απαιτήσεις ασφαλείας για τις σήραγγες του Διευρωπαϊκού Οδικού Δικτύου
- κυκλοφοριακά δεδομένα και εκτιμήσεις σύνθεσης βάσει εκπομπών από τις αντίστοιχες μελέτες του Έργου καθώς και από αντίστοιχες εφαρμογές (Εγνατία Οδός)

(1) Μέσος ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα
> 2000 οχήματα/λωρίδα/ημέρα

(2) Σύνθεση κυκλοφορίας

Επιβατικά βενζινοκίνητα	48,8%
Επιβατικά πετρελαιοκίνητα	12,2%
Φορτηγά	39%

(3) Σύνθεση κυκλοφορίας βάσει εκπομπών

Επιβατικά

US83	30,5%
ECE 15/04	11%
ECE 15/00	7,3%
Diesel (EURO 1)	12,2%

Φορτηγά

Diesel (pre EURO) 39%

- (4) Ταχύτητα μελέτης
100 km/h
- (5) Βάρος φορτηγών
20 tn
- (6) Επιτρεπόμενα όρια CO
70 ppm για σταθερή ροή
100 ppm για μποτιλιάρισμα
- (7) Επιτρεπόμενα όρια NOx
10 ppm για σταθερή ροή
- (8) Επιτρεπόμενα όρια ορατότητας
0,007 m⁻¹ για ελεύθερη ροή
0,009 m⁻¹ για κυκλοφοριακή συμφόρηση

5.3.2 Γενικά Δεδομένα - Παραδοχές

- (9) Θερμική ισχύς πυρκαγιάς
Q = 50 MW
- (10) Θερμοκρασία περιβάλλοντος
T = 20 °C
- (11) Συντελεστής τριβών D'Arcy-Weisbach

$$\lambda = 0,016$$

(12) Ταχύτητα ανέμου (κάθετη συνιστώσα) στο στόμιο της σήραγγας εισόδου και εξόδου

$$7,5 \text{ m/sec}$$

(13) Σε περίπτωση πυρκαγιάς το σύνολο των ανεμιστήρων 120μ κατάντη και 30μ έναντι της πυρκαγιάς θα καταστραφούν

5.3.3 Υπολογισμοί

Οι υπολογισμοί εκπονήθηκαν με ειδικό πρόγραμμα εφαρμογής στο «Excel» της Microsoft και βασίζονται στις οδηγίες και προτεινόμενη μεθοδολογία των PIARC .

Οι υπολογισμοί για τους δύο κλάδους της σήραγγας εμφανίζονται στα συνημμένα Παραρτήματα.

Στη συνέχεια του παρόντος παρουσιάζονται τα επιμέρους στοιχεία που παρουσιάζονται στους πίνακες 1 έως 8 των ανωτέρω υπολογισμών (προγράμματος εφαρμογής στο «Excel»)

Πίνακας 1 – Γενικά Στοιχεία

Στον πίνακα 1, παρουσιάζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου κλάδου, και συγκεκριμένα:

- Μήκος : (L)
- Διατομή : (A)
- Ύψος : (H)
- Περίμετρος : (P)
- Υδραυλική διάμετρος : (D) ($D=4xA/P$)
- Υψόμετρο στομίου εισόδου : h_1
- Υψόμετρο στομίου εξόδου : h_2
- Κλίση σήραγγας : s
- Μέσο υψόμετρο : h
- Αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας : n

Πίνακας 2 – Αριθμός οχημάτων εντός της σήραγγας

Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται πρόσθετα στοιχεία που αφορούν στην αναμενόμενη σύνθεση της κυκλοφορίας (αριθμός και είδος οχημάτων) για επιμέρους ταχύτητες και σενάρια εντός της σήραγγας:

- Ακινητοποίηση της κυκλοφορίας : ταχύτητα κίνησης = 0m/sec

- Κυκλοφοριακή συμφόρηση : ταχύτητα κίνησης = 10m/sec
- Κανονική ροή (σενάριο 1) : ταχύτητα κίνησης = 20m/sec
- Κανονική ροή (σενάριο 2) : ταχύτητα κίνησης = 40m/sec
- Κανονική ροή (σενάριο 3) : ταχύτητα κίνησης = 60m/sec
- Υψηλή ταχύτητα : ταχύτητα κίνησης = 100m/sec

Τα ανωτέρω μεγέθη προκύπτουν από το “PIARC 2004:Road Tunnels-Vehicle emissions and air demand for ventilation” – Table II.1.2. 1 και το “PIARC 1995: Road Tunnels-Emissions, ventilation, environment” – πίνακας 2.2.

Πιο αναλυτικά :

Στα επιβατικά βενζινοκίνητα οχήματα αναφέρονται τα πρότυπα US83 (εκπομπές CO, NOx μέσω καταλύτη), ECE 15/04 (εκπομπές CO, NOx χωρίς καταλύτη), ECE 15/00 (εκπομπές CO, NOx χωρίς καταλύτη). Στα επιβατικά πετρελαιοκίνητα οχήματα αναφέρεται το πρότυπο EURO 1 (εκπομπές CO, NOx χωρίς καταλύτη και καπνού) ενώ στα φορτηγά οχήματα αναφέρεται το πρότυπο pre EURO (εκπομπές CO, NOx χωρίς καταλύτη και καπνού). Η κυκλοφοριακή σύσταση των οχημάτων καθώς και το ποσοστό συμμετοχής του κάθε προτύπου στην κυκλοφοριακή σύσταση των οχημάτων είναι δεδομένα που λαμβάνονται από την κυκλοφοριακή ανάλυση. Στη συνέχεια υπολογίζουμε τον συνολικό αριθμό οχημάτων σε κατάσταση κυκλοφοριακής συμφόρησης ($v=0$ km/h). Ο συνολικός αριθμός οχημάτων σε κατάσταση κυκλοφοριακής συμφόρησης υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$p.c.u (v = 0km/h) =$$

$$p.c.u /km/lane (v=0km/h) * (1+ \phi.o / \epsilon.o) / (1+\alpha*\phi.o / \epsilon.o)*L*n \quad (5.3.3-1)$$

όπου $\phi.o$: το ποσοστό συμμετοχής των φορτηγών οχημάτων στην κυκλοφοριακή σύσταση

όπου ε.ο : το ποσοστό συμμετοχής των επιβατικών οχημάτων στην κυκλοφοριακή σύσταση

Η σχέση αυτή προκύπτει από τον εξής συλλογισμό :

Στα 100 οχήματα αντιστοιχούν 61 επιβατικά και 39 φορτηγά. Μετατρέποντας τα όλα σε επιβατικά (p.c.u) μέσω της κυκλοφοριακής σύστασης, προκύπτει ότι στα 100 οχήματα αντιστοιχούν (61+3*39) επιβατικά οχήματα. Οπότε τα 150 επιβατικά οχήματα αντιστοιχούν σε σύνολο οχημάτων 84 ανά χλμ και ανά λωρίδα κυκλοφορίας, οπότε στη συγκεκριμένη περίπτωση δηλαδή για σήραγγα μήκους 1,234km και για 2 λωρίδες κυκλοφορίας, τα 150 επιβατικά οχήματα αντιστοιχούν σε σύνολο οχημάτων 208.

Συνολικός αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας

		Κυκλοφοριακή Κατάσταση : Ταχύτης Οχημάτων (km/hr) :		Bottling		Congestion		Fluid			High
				0	10	20	40	60	100		
Επιβατικά	US83	61.0%	30.5%	63.4	29.6	26.2	19.5	12.7	1.6		
	ECE 15/04		11.0%	22.8	10.7	9.4	7.0	4.6	0.6		
	ECE 15/00		7.3%	15.2	7.1	6.3	4.7	3.0	0.4		
	Diesel (EURO 1)		12.2%	25.4	11.8	10.5	7.8	5.1	0.6		
Φορτηγά	Diesel (pre EURO)	39.0%	39.0%	81.1	37.9	33.5	24.9	16.2	2.0		
			0.0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
			0.0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Σύνολα :			100.0%	208.0	97.1	86.0	63.8	41.6	5.2	vehicles	

Συνολικός αριθμός οχημάτων σε κατάσταση κυκλοφοριακής συμφόρησης (v = 0km/h)

Στη συνέχεια το σύνολο των οχημάτων για συνθήκες κυκλοφοριακής ταχύτητας v=10km/h, προκύπτει κατά αντιστοιχία. Δηλαδή, αφού στα 150 επιβατικά οχήματα (p.c.u) αντιστοιχεί σύνολο οχημάτων 208, στα 70 p.c.u αντιστοιχούν 97,1 σύνολο οχημάτων.

Συνολικός αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας

			Κυκλοφοριακή Κατάσταση :						
			Bottling	Congestion	Fluid			High	
Ταχύτης Οχημάτων (km/hr) :			0	10	20	40	60	100	
Επιβατικά	US83	61.0%	30.5%	63.4	29.6	26.2	19.5	12.7	1.6
	ECE 15/04		11.0%	22.8	10.7	9.4	7.0	4.6	0.6
	ECE 15/00		7.3%	15.2	7.1	6.3	4.7	3.0	0.4
	Diesel (EURO 1)		12.2%	25.4	11.8	10.5	7.8	5.1	0.6
Φορτηγά	Diesel (pre EURO)	39.0%	39.0%	81.1	37.9	33.5	24.9	16.2	2.0
			0.0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			0.0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Σύνολα :			100.0%	208.0	97.1	86.0	63.8	41.6	5.2

vehicles

Συνολικός αριθμός οχημάτων σε κατάσταση κυκλοφοριακής ταχύτητας v=10km/h

Ομοίως με τον προηγούμενο συλλογισμό προσδιορίζουμε το σύνολο των οχημάτων για κυκλοφοριακή ταχύτητα v=60km/h. Δηλαδή, αφού στα 150 επιβατικά οχήματα (p.c.u) αντιστοιχεί σύνολο οχημάτων 208, στα 30 p.c.u αντιστοιχούν 41,6 σύνολο οχημάτων.

Συνολικός αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας

			Κυκλοφοριακή Κατάσταση :						
			Bottling	Congestion	Fluid			High	
Ταχύτης Οχημάτων (km/hr) :			0	10	20	40	60	100	
Επιβατικά	US83	61.0%	30.5%	63.4	29.6	26.2	19.5	12.7	1.6
	ECE 15/04		11.0%	22.8	10.7	9.4	7.0	4.6	0.6
	ECE 15/00		7.3%	15.2	7.1	6.3	4.7	3.0	0.4
	Diesel (EURO 1)		12.2%	25.4	11.8	10.5	7.8	5.1	0.6
Φορτηγά	Diesel (pre EURO)	39.0%	39.0%	81.1	37.9	33.5	24.9	16.2	2.0
			0.0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
			0.0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Σύνολα :			100.0%	208.0	97.1	86.0	63.8	41.6	5.2

vehicles

Σύνολικός αριθμός οχημάτων σε συνθήκες κυκλοφοριακής ταχύτητας v=60km/h

Το σύνολο των οχημάτων για κυκλοφοριακή ταχύτητα v=20km/h και v=40km/h προκύπτουν με γραμμική παρεμβολή, ήτοι :

$$(y_{x1} - y_{x2}) / (x_1 - x_2) = (y_{x3} - y_{x1}) / (x_3 - x_1)$$

Για τον προσδιορισμό του συνόλου των οχημάτων για κυκλοφοριακή ταχύτητα $v=40\text{km/h}$, όπου $x_2 = v=40\text{km/h}$, όπου $x_1 = v=10\text{km/h}$, όπου $x_3 = v=60\text{km/h}$ και όπου y_{x1}, y_{x2}, y_{x3} οι τιμές του συνόλου των οχημάτων αντίστοιχα.

Συνολικός αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας

		Κυκλοφοριακή Κατάσταση : Ταχύτης Οχημάτων (km/hr) :		Bottling		Congestion		Fluid		High
				0	10	20	40	60	100	
Επιβατικά	US83	61.0%	30.5%	63.4	29.6	26.2	19.5	12.7	1.6	
	ECE 15/04		11.0%	22.8	10.7	9.4	7.0	4.6	0.6	
	ECE 15/00		7.3%	15.2	7.1	6.3	4.7	3.0	0.4	
	Diesel (EURO 1)		12.2%	25.4	11.8	10.5	7.8	5.1	0.6	
Φορτηγά	Diesel (pre EURO)	39.0%	39.0%	81.1	37.9	33.5	24.9	16.2	2.0	
			0.0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
			0.0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Σύνολα :				100.0%	208.0	97.1	86.0	63.8	41.6	5.2

vehicles

Συνολικός αριθμός οχημάτων για κυκλοφοριακή ταχύτητα $v=40\text{km/h}$

Κατά αντιστοιχία προσδιορίζεται και το σύνολο των οχημάτων για κυκλοφοριακή ταχύτητα $v=20\text{km/h}$.

Στη συνέχεια θα πρέπει να προσδιοριστεί ο αριθμός των οχημάτων κάθε προτύπου (US83, ECE 15/04, 15/00, EURO 1, pre EURO).

Ο προσδιορισμός του αριθμού αυτού γίνεται μέσω της σχέσης:

Αριθμός οχημάτων σύμφωνα με το πρότυπο, για δεδομένη κυκλοφοριακή ταχύτητα =

*Αριθμός συνόλου οχημάτων για δεδομένη κυκλοφοριακή ταχύτητα *
ποσοστό συμμετοχής του κάθε προτύπου επί του συνόλου*

Για παράδειγμα ο αριθμός οχημάτων σύμφωνα με το πρότυπο US83, για κυκλοφοριακή ταχύτητα $v=0\text{km/h}$ ισούται με τον αριθμό του συνόλου των οχημάτων για κυκλοφοριακή ταχύτητα $v=0\text{km/h}$

επί το ποσοστό συμμετοχής του προτύπου US83.

Αριθμός οχημάτων προτύπου US83, για κυκλοφοριακή ταχύτητα v=0km/h

Συνολικός αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας

		Κυκλοφοριακή Κατάσταση :		Fluid								
		Ταχύτης Οχημάτων (km/hr) :		Bottling	Congestion	0	10	20	40	60	100	
Επιβατικά	US83	61.0%	30.5%	63.4	29.6	26.2	19.5	12.7	1.6			
	ECE 15/04		11.0%	22.8	10.7	9.4	7.0	4.6	0.6			
	ECE 15/00		7.3%	15.2	7.1	6.3	4.7	3.0	0.4			
	Diesel (EURO 1)		12.2%	25.4	11.8	10.5	7.8	5.1	0.6			
Φορτηγά	Diesel (pre EURO)	39.0%	39.0%	81.1	37.9	33.5	24.9	16.2	2.0			
			0.0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
			0.0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
			0.0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Σύνολα :			100.0%	208.0	97.1	86.0	63.8	41.6	5.2		vehicles	

Με αυτόν τον τρόπο συμπληρώνεται ο Πίνακας 2

Πίνακας 3 – Εκπομπές ρύπων

Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται οι αναμενόμενες εκπομπές ρύπων CO, NO_x & αιθάλης για κάθε ένα από τα προαναφερόμενα σενάρια κίνησης εντός της σήραγγας.

Τα ανωτέρω μεγέθη προκύπτουν από το “PIARC 1995:Road Tunnels-Emissions, ventilation, environment” – Πίνακας 1 έως Πίνακα 24”.

Πιο συγκεκριμένα η αναμενόμενη εκπομπή CO, σύμφωνα με το πρότυπο US83, για κυκλοφοριακή ταχύτητα v=0km/h, και κλίση οδοστρώματος 0,89% (κλάδος ανόδου), προκύπτει μέσω γραμμικής παρεμβολής από τον Πίνακα 1 (PIARC 1995:Road Tunnels-Emissions, ventilation, environment).

Tableau 1 / Table 1
Emissions CO, voitures essence (US83 avec pot catalytique)
CO-Emission factors, gasoline, (US83, catalytic converter)

v _m [km/h]	Gasoline cat. [g/h]						
	-6 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
5	33.7	49.3	64.9	64.9	71.4	72.0	79.8
10	28.7	42.0	55.2	55.2	66.3	67.4	80.6
15	26.0	38.0	50.0	50.0	60.0	66.5	84.8
20	26.5	38.8	51.0	51.0	61.2	73.4	98.4
30	27.6	40.3	53.0	53.0	63.6	85.9	125.1
40	28.6	41.8	55.0	55.0	66.0	106.2	159.5
50	29.6	43.3	57.0	57.0	68.4	125.1	202.4
60	30.7	44.8	59.0	59.0	88.5	173.8	277.9
70	31.7	46.4	61.0	61.0	122.0	244.0	366.0
80	32.8	47.9	63.0	63.0	173.3	308.7	491.4
90	35.5	51.9	68.3	68.3	228.8	404.7	686.4
100	42.7	62.5	82.2	82.2	295.9	581.6	959.3
110	98.0	143.2	188.4	188.4	678.2	1413.0	2110.1
115	131.1	191.6	252.1	252.1	907.6	1789.9	2571.4

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 : ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΡΥΠΩΝ (ΡΙΑΡC 95)

ΚΛΑΔΟΣ ΑΝΟΔΟΥ 0.89%

Εκπομπές ρύπου CO							
	V _v (km/hr)	0	10	20	40	60	100
Επιβατικά	US83	20.0	68.2	56.1	60.5	73.8	189.1
	ECE 15/04	101.3	202.7	317.8	376.1	430.7	1537.0
	ECE 15/00	290.3	549.4	833.9	1115.1	1434.5	8793.6
Φορτηγά	Diesel (EURO 1)	3.0	10.4	16.0	20.0	21.0	26.5
	Diesel (pre EURO)		135.6	168.0	225.2	283.7	

Κατά αντιστοιχία υπολογίζονται στον Πίνακα 1 οι εκπομπές CO, για τις κυκλοφοριακές ταχύτητες 10, 20, 40, 60, 100km/hr, για τα πρότυπα ECE 15/04,

ECE 15/00, EURO 1, και pre EURO. Κατά αντιστοιχία προσδιορίζονται και οι εκπομπές CO για τον κλάδο καθόδου.

Για της εκπομπές NO_x και αιθάλης ακολουθείται η ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας τους αντίστοιχους πίνακες.

Πίνακας 4 – Απαιτούμενος αερισμός για αραίωση ρύπων

Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται οι μέγιστες αποδεκτές συγκεντρώσεις καυσαερίων (ρύπων) (CO, NO_x & καπνού) σύμφωνα με το “PIARC 1995:Road Tunnels-Emissions, ventilation, environment” – πίνακας 2.3, οι οποίες έχουν ληφθεί ως εξής:

Ρύπος	Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση (μέσος όρος 5 λεπτών)
CO	100 ppm για συνθήκες ελεύθερης ροής 150 ppm για κυκλοφοριακή συμφόρηση ή ακινητοποιημένη κυκλοφορία
NO _x	25 ppm για συνθήκες ελεύθερης ροής, κυκλοφοριακής συμφόρησης ή ακινητοποιημένης κυκλοφορίας
Αιθάλη	0.007 m ⁻¹ για συνθήκες ελεύθερης ροής με μέση ταχύτητα κάτω των 60 km/h 0.009 m ⁻¹ για κυκλοφοριακή συμφόρηση ή ακινητοποιημένη κυκλοφορία

Για κάθε επιμέρους σενάριο κίνησης και κατ’ ακολουθία, συγκέντρωση ρύπων εντός της σήραγγας, υπολογίζονται οι απαιτούμενες παροχές φρέσκου αέρα (m³/sec) για την αραίωση κάθε επιμέρους ρύπου (Q_{co}, Q_{NO_x}, Q_k) και εν συνεχεία οι απαιτούμενες ταχύτητες κίνησης του αέρα εντός της σήραγγας (m/sec).

Οι απαιτούμενες παροχές φρέσκου αέρα αραίωσης ρύπου (m³/sec) υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα των προηγούμενων πινάκων.

Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι η απαιτούμενη παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης CO (Q_{CO}), υπολογίζεται μέσω της σχέσης :

$$Q_{CO} = q_{CO} * f_{CS} * f_h * f_a / d_{CO} / 3600 * N * 10^6 / CO_{lim} \text{ (m}^3 \text{ /sec)} \quad (5.3.3-2)$$

η οποία προκύπτει από τη σχέση :

$$Q = M * L * q(v,i,h,t) / V * (C_{adm} - C_{amb}) \text{ (gr/hr)} \quad (5.3.3-3)$$

Όπου

$N = M * L / V$ (αριθμός οχημάτων μέσα στη σήραγγα)

$q(v,i,h,t)$: εκπομπές ρύπων ανά όχημα (gr/hr)

M : κυκλοφοριακή ροή ανά ώρα (veh/h)

L : μήκος της σήραγγας

V : ταχύτητα οχημάτων (km/h)

C_{adm} : αποδεκτό όριο συγκέντρωσης (ppm)

C_{amb} : συγκέντρωση στον υπό μελέτη χώρο (ppm)

ppm : parts per million ($1 \text{ cm}^3 / 1 \text{ m}^3$)

d_{CO} : πυκνότητα CO (gr/m^3)

Κατ' αντιστοιχία υπολογίζεται και η απαιτούμενη παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης NO_x (Q_{NO_x}), μέσω της σχέσης:

$$Q_{NO_x} = q_{NO_x} * f_{CS} * f_h * f_a / d_{NO} / 3600 * N * 10^6 / NO_{xlim} \text{ (m}^3 \text{ /sec)} \quad (5.3.3-4)$$

Η απαιτούμενη παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης αιθάλης (Q_K) υπολογίζεται από την εξής τύπο:

$$Q_k = q_k * f_m * f_c * f_h * N * /3600 / k_{lim} \text{ (m}^3\text{/sec)} \quad (5.3.3-5)$$

Όπου,

N Αριθμός οχημάτων

q_k εκπομπή καπνού κάθε οχήματος

f Συντελεστές (γήρανσης καταλύτη, υψομέτρου, μάζας)

k_{lim} Αποδεκτό όριο τιμών συντελεστή κατάσβεσης

Η απαιτούμενη ταχύτητα κίνησης του αέρα εντός της σήραγγας, για αραίωση CO, στον κλάδο ανόδου, προκύπτει από τη σχέση :

$$U = Q/A \text{ (παροχή / διατομή)} \quad (5.3.3-6)$$

Με τον ανωτέρω τρόπο υπολογίζονται οι απαιτούμενες ταχύτητες κίνησης του αέρα εντός της σήραγγας, για όλους τους ρύπους (CO, NO_x, καπνό), για τον κλάδο ανόδου, για τον κλάδο καθόδου καθώς και για όλες τις κυκλοφοριακές συνθήκες.

Για παράδειγμα η απαιτούμενη παροχή φρέσκου αέρα (m³/sec) για την αραίωση CO, για κυκλοφοριακή ταχύτητα v=0km/h, για τον κλάδο ανόδου πρόκειται ως εξής :

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 : ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ, ΛΟΓΩ ΡΥΠΩΝ

ΚΛΑΔΟΣ ΑΝΟΔΟΥ

Ρύπος : **CO**

ρ CO = **1,200** g/m³

CO lim = **150** ppm

Ταχύτης Οχημάτων

V επιβ = **0** km/hr

V φορτ = **0** km/hr

1
1

Ρύπος : **CO** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qco : Εκπομή ρύπου CO ανα όχημα
 Qco : Παροχή φρέσκου αέρα αραίωσης ρύπου CO

	N	qco	fcs	fh	fa	qco'	Qco
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	63.4	20.0	1.00	2.60	1.67	86.8	8.5
ECE 15/04	22.8	101.3	1.00	1.78	1.00	180.3	6.4
ECE 15/00	15.2	290.3	1.00	1.78	1.00	516.7	12.1
Diesel (EURO 1)	25.4	3.0	1.00	1.21	1.00	3.6	0.1

	N	qco	fm	fe	fh	qco'	Qco
Φορτηγά							
Diesel (pre EURO)	81.1	0.0	0.00	1.00	1.35	0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **208.0** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα:** **27.1** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.43** m/sec

Ο αριθμός των οχημάτων καθώς επίσης και οι εκπομπές CO (q_{co}) σύμφωνα με το κάθε πρότυπο, την κλίση του οδοστρώματος και τις κυκλοφοριακές συνθήκες έχουν ήδη προσδιοριστεί. Συγκεκριμένα και αναλύοντας τον ανωτέρω πίνακα, ο οποίος αναφέρεται στην απαιτούμενη ποσότητα αέρα για αραίωση CO, για μηδενική κυκλοφοριακή ταχύτητα, στον κλάδο ανόδου, παρατίθενται τα ακόλουθα :

Στην 1^η στήλη:

Συνολικός αριθμός οχημάτων :

Στα 100 οχήματα αντιστοιχούν 61 επιβατικά και 39 φορτηγά. Μετατρέποντας τα όλα σε επιβατικά (p.c.u) μέσω της κυκλοφοριακής σύστασης, προκύπτει ότι στα 100 οχήματα αντιστοιχούν (61+3*39) επιβατικά οχήματα. Οπότε τα 150 επιβατικά οχήματα αντιστοιχούν σε σύνολο οχημάτων 84 ανά χλμ και ανά λωρίδα κυκλοφορίας, οπότε στη συγκεκριμένη περίπτωση δηλαδή για σήραγγα μήκους 1,234km και για 2 λωρίδες κυκλοφορίας, τα 150 επιβατικά οχήματα αντιστοιχούν σε σύνολο οχημάτων **208**.

Ο αριθμός των επιβατικών οχημάτων, για το πρότυπο US83, είναι:

Ο συνολικός αριθμός οχημάτων πολλαπλασιαζόμενος με το ποσοστό συμμετοχής των επιβατικών οχημάτων σύμφωνα με το πρότυπο US83, ήτοι $208 * 30,5\% = 63,44$

Ο αριθμός των επιβατικών οχημάτων, για το πρότυπο ECE15/04, είναι:

Ο συνολικός αριθμός οχημάτων πολλαπλασιαζόμενος με το ποσοστό συμμετοχής των επιβατικών οχημάτων σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/04, ήτοι $208 * 11\% = 22,8$

Ο αριθμός των επιβατικών οχημάτων, για το πρότυπο ECE15/00, είναι:

Ο συνολικός αριθμός οχημάτων πολλαπλασιαζόμενος με το ποσοστό συμμετοχής των επιβατικών οχημάτων σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/00, ήτοι $208 * 7,3\% = 15,2$

Ο αριθμός των επιβατικών οχημάτων, για το πρότυπο DIESEL (EURO 1), είναι:

Ο συνολικός αριθμός οχημάτων πολλαπλασιαζόμενος με το ποσοστό συμμετοχής των επιβατικών οχημάτων σύμφωνα με το πρότυπο DIESEL EURO 1, ήτοι

$$208 * 12,2\% = 25,4$$

Ο αριθμός των φορτηγών οχημάτων, για το πρότυπο DIESEL (pre EURO), είναι:

Ο συνολικός αριθμός οχημάτων πολλαπλασιαζόμενος με το ποσοστό συμμετοχής των επιβατικών οχημάτων σύμφωνα με το πρότυπο DIESEL pre EURO ήτοι

$$208 * 39,0\% = 81,1$$

Στην 2^η στήλη:

Εκπεμπόμενο CO (gr/h), στον κλάδο ανόδου (κλίση οδοστρώματος : 0.89%), για κυκλοφοριακή ταχύτητα 0km/h, σύμφωνα με το πρότυπο US83:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 1 «Ρυθμός εκπομπής CO, βενζίνη, κανονισμός US 83» του Κεφαλαίου 3, $q_{co} = 20\text{gr/hr}$

Εκπεμπόμενο CO (gr/h), στον κλάδο ανόδου (κλίση οδοστρώματος : 0.89%), για κυκλοφοριακή ταχύτητα 0km/h, σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/04:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 2 «Ρυθμός εκπομπής CO, βενζίνη, κανονισμός ECE15/04» του Κεφαλαίου 3, $q_{co} = 101.3\text{gr/hr}$

Εκπεμπόμενο CO (gr/h), στον κλάδο ανόδου (κλίση οδοστρώματος : 0.89%), για κυκλοφοριακή ταχύτητα 0km/h, σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/00:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3 «Ρυθμός εκπομπής CO, βενζίνη, κανονισμός ECE15/00» του Κεφαλαίου 3, $q_{co} = 290.3\text{gr/hr}$

Εκπεμπόμενο CO (gr/h), στον κλάδο ανόδου (κλίση οδοστρώματος : 0.89%), για κυκλοφοριακή ταχύτητα 0km/h, σύμφωνα με το πρότυπο EURO 1:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 5 «Ρυθμός εκπομπής CO, βενζίνη, κανονισμός EURO 1» του Κεφαλαίου 5, $q_{co} = 3.0 \text{ gr/hr}$

Εκπεμπόμενο CO (gr/h), στον κλάδο ανόδου (κλίση οδοστρώματος : 0.89%), για κυκλοφοριακή ταχύτητα 0km/h, σύμφωνα με το πρότυπο pre-EURO:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 19 «Ρυθμός εκπομπής CO, βενζίνη, κανονισμός pre-EURO» του Κεφαλαίου 5, $q_{co} = 0.0 \text{ gr/hr}$

Στην 3^η στήλη:

Ο συντελεστής f_{cs} «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)», για εκπεμπόμενο CO, σύμφωνα με το πρότυπο US83:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 16 «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)» του Κεφαλαίου 5, $f_{cs} = 1.0$

Ο συντελεστής f_{cs} «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)», για εκπεμπόμενο CO, σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/04:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 16 «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)» του Κεφαλαίου 5, $f_{cs} = 1.0$

Ο συντελεστής f_{cs} «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)», για εκπεμπόμενο CO, σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/00:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 16 «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)» του Κεφαλαίου 5, $f_{cs} = 1.0$

Ο συντελεστής f_{cs} «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)», για εκπεμπόμενο CO, σύμφωνα με το πρότυπο EURO 1:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 16 «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)» του Κεφαλαίου 5, $f_{cs} = 1.0$

Tableau 16 / Table 16
 Facteur démarrage à froid (émiss. à froid/à chaud)
 Cold start factor (cold/warm emissions)

Travel-distance	1km αεροσφο-ισα	2km αεροσφο-ισα	3km αεροσφο-ισα
gasoline cat.			
CO	2.0/5.0/7.4	1.0/2.5/4.3	1.0/1.0/2.4
NOx	2.1/1.8/1.6	1.0/1.4/1.4	1.0/1.0/1.2
gasoline convent.			
CO	1.3/2.1/3.0	1.0/1.4/2.0	1.0/1.0/1.4
NOx	1.7/0.9/0.8	1.0/0.95/0.9	1.0/1.0/0.95
Diesel			
CO	1.1/1.2/1.4	1.0/1.1/1.2	1.0/1.0/1.0
NOx	1.1/1.1/1.1	1.0/1.0/1.1	1.0/1.0/1.0
Particulates	1.2/1.2/1.4	1.0/1.1/1.3	1.0/1.0/1.1

Ο συντελεστής f_m «Συντελεστής μάζας συναρτήσει της ταχύτητας» :
 Σύμφωνα με τον Πίνακα 22 «Συντελεστής μάζας συναρτήσει της ταχύτητας»
 του Κεφαλαίου 5, $f_m = 0.0$

Tableau 22/ Table 22
 Facteur de masse fm en fonction de la vitesse
 Mass factor fm dependent on velocity

v _m [km/h]	5	10	20	30	40	50	60	70	80
20t/10t	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5
30t/10t	2.5	2.6	2.6	2.6	2.5	2.4	2.3	2.1	2.0

Στην 4^η στήλη:

Ο συντελεστής f_h «Συντελεστής υψομέτρου)», για εκπεμπόμενο CO,
 σύμφωνα με το πρότυπο US83:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 17 «Συντελεστής υψομέτρου» του Κεφαλαίου 5, $f_h = 2.6$

Ο συντελεστής f_h «Συντελεστής υψομέτρου)», για εκπεμπόμενο CO,
 σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/04:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 17 «Συντελεστής υψομέτρου» του Κεφαλαίου 5, $f_h = 1.78$

Ο συντελεστής f_h «Συντελεστής υψομέτρου)», για εκπεμπόμενο CO,
 σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/00:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 17 «Συντελεστής υψομέτρου» του Κεφαλαίου 5, $f_h = 1.78$

Ο συντελεστής f_h «Συντελεστής υψομέτρου»), για εκπεμπόμενο CO, σύμφωνα με το πρότυπο EURO 1:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 17 «Συντελεστής υψομέτρου» του Κεφαλαίου 5, $f_h = 1.21$

Tableau 17/ Table 17
Facteur d'altitude / Altitude factor

		CO	NO _x	particules
gasoline cat.	700 m/0 m	1,0	1,0	-
	1000 m/0 m	2,6	1,0	-
	2000 m/0 m	11,42	1,0	-
	3000 m/0 m	13,0	1,0	-
gasoline conv.	1000 m/0 m	1,78	0,74	-
	2000 m/0 m	2,48	0,54	-
	3000 m/0 m	3,18	0,54	-
diesel	1000 m/0 m	1,21	1,0	1,0
	2000 m/0 m	1,50	1,0	1,25
	3000 m/0 m	1,81	1,0	1,5

Στην 5^η στήλη:

Ο συντελεστής f_a «Συντελεστής γήρανσης κινητήρα», για εκπεμπόμενο CO, σύμφωνα με το πρότυπο US83:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 18 «Συντελεστής γήρανσης κινητήρα» του Κεφαλαίου 5, $f_a = 1.67$

Tableau 18 / Table 18
Facteur vieillissement pour voitures avec pot catalytique
Ageing factor for passenger cars with catalytic converter

CO [1/100.000 km]	NO _x [1/100.000 km]
1,67	1,73

Ο συντελεστής f_h «Συντελεστής υψομέτρου»), για εκπεμπόμενο CO, σύμφωνα με το πρότυπο pre-EURO:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 24 «Συντελεστής υψομέτρου για φορτηγά οχήματα» του Κεφαλαίου 5, $f_h = 1.35$

Tableau 24/ Table 24
 Facteur d'altitude pour PL
 Altitude factor for HDV

		CO	NO _x	particules
diesel	1000 m/0 m	1,35	1,0	1,12
direct inj.	2000 m/0 m	2,75	1,0	1,69
	3000 m/0 m	4,0	1,0	2,26

Στην 6^η στήλη:

Η εκπομπή CO (q'_{co} gr/h), συναρτήσει του υψομέτρου (f_h), της παλαιότητας του κινητήρα (f_a), και της ψυχρής εκκίνησης του κινητήρα, σύμφωνα με το πρότυπο US83, είναι:

$$q'_{co} = q_{co} * f_{cs} * f_h * f_a \text{ (gr/h)}$$

Οπότε αφού για $v=0$ km/h, και κλίση οδοστρώματος 0,89% (κλάδος ανόδου), η εκπομπή CO ισούται με $q_{co} = 20$ gr/h, προκύπτει:

$$q'_{co} = 20 \text{gr/h} * 1,00 * 2,60 * 1,67 = 86,84 \text{ gr/h}$$

Η εκπομπή CO (q'_{co} gr/h), συναρτήσει του υψομέτρου (f_h), της παλαιότητας του κινητήρα (f_a), και της ψυχρής εκκίνησης του κινητήρα, σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/04, είναι:

$$q'_{co} = q_{co} * f_{cs} * f_h * f_a \text{ (gr/h)}$$

Οπότε αφού για $v=0$ km/h, και κλίση οδοστρώματος 0,89% (κλάδος ανόδου), η εκπομπή CO ισούται με $q_{co} = 101,3$ gr/h, προκύπτει:

$$q'_{co} = 101,3 \text{gr/h} * 1,00 * 1,78 * 1,67 = 180,3 \text{ gr/h}$$

Η εκπομπή CO (q'_{co} gr/h), συναρτήσει του υψομέτρου (f_h), της παλαιότητας του κινητήρα (f_a), και της ψυχρής εκκίνησης του κινητήρα, σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/00, είναι:

$$q'_{co} = q_{co} * f_{cs} * f_h * f_a \quad (\text{gr/h})$$

Οπότε αφού για $v=0\text{km/h}$, και κλίση οδοστρώματος 0,89% (κλάδος ανόδου), η εκπομπή CO ισούται με $q_{co} = 290,3\text{gr/h}$, προκύπτει:

$$q'_{co} = 290,3\text{gr/h} * 1,00 * 1,78 * 1,67 = \mathbf{516,7 \text{ gr/h}}$$

Η εκπομπή CO (q'_{co} gr/h), συναρτήσει του υψομέτρου (f_h), της παλαιότητας του κινητήρα (f_a), και της ψυχρής εκκίνησης του κινητήρα, σύμφωνα με το πρότυπο EURO 1, είναι:

$$q'_{co} = q_{co} * f_{cs} * f_h * f_a \quad (\text{gr/h})$$

Οπότε αφού για $v=0\text{km/h}$, και κλίση οδοστρώματος 0,89% (κλάδος ανόδου), η εκπομπή CO ισούται με $q_{co} = 3\text{gr/h}$, προκύπτει:

$$q'_{co} = 3\text{gr/h} * 1,00 * 1,21 * 1,67 = \mathbf{3,6 \text{ gr/h}}$$

Η εκπομπή CO (q'_{co} gr/h), συναρτήσει του υψομέτρου (f_h), του συντελεστή μάζας του κινητήρα (f_m), και του συντελεστή f_e , σύμφωνα με το πρότυπο pre-EURO, είναι:

$$q'_{co} = q_{co} * f_m * f_e * f_h \quad (\text{gr/h})$$

Οπότε αφού για $v=0\text{km/h}$, και κλίση οδοστρώματος 0,89% (κλάδος ανόδου), η εκπομπή CO ισούται με $q_{co} = 0\text{gr/h}$, προκύπτει:

$$q'_{co} = \mathbf{0 \text{ gr/h}}$$

Στην 7^η στήλη:

Η απαιτούμενη παροχή αέρα για την αραίωση εκπομπών CO (Q_{co} m³/sec), σύμφωνα με το πρότυπο US83, είναι:

$$Q_{co} = q'_{co} / d_{co} / 3600 * N * 10^6 / CO_{lim} \text{ (m}^3 \text{ /sec)}$$

Όπου

$$q'_{co} = 86.8 \text{ (gr/h)}$$

$$d_{co} = 1.2 \text{ (gr/m}^3\text{)}$$

$$N = 63,4$$

$$CO_{lim} = 150\text{ppm (1 cm}^3 \text{ / 1 m}^3\text{)}$$

Οπότε προκύπτει:

$$Q_{co} = 86.8 / 1200 / 3600 * 63.4 * 10^6 / 150 = 8.5 \text{ (m}^3 \text{ /sec)}$$

Η απαιτούμενη παροχή αέρα για την αραίωση εκπομπών CO (Q_{co} m³/sec), σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/04, είναι:

$$Q_{co} = q'_{co} / d_{co} / 3600 * N * 10^6 / CO_{lim} \text{ (m}^3 \text{ /sec)}$$

Όπου

$$q'_{co} = 180.3 \text{ (gr/h)}$$

$$d_{co} = 1200 \text{ (gr/m}^3\text{)}$$

$$N = 22.8$$

$$CO_{lim} = 150\text{ppm (1 cm}^3 \text{ / 1 m}^3\text{)}$$

Οπότε προκύπτει:

$$Q_{co} = 180.3 / 1200 / 3600 * 22.8 * 10^6 / 150 = 6.4 \text{ (m}^3 \text{ /sec)}$$

Η απαιτούμενη παροχή αέρα για την αραίωση εκπομπών CO (Q_{co} m³/sec), σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/00, είναι:

$$Q_{co} = q'_{co} / d_{co} / 3600 * N * 10^6 / CO_{lim} \text{ (m}^3 \text{/sec)}$$

Όπου

$$q'_{co} = 516.7 \text{ (gr/h)}$$

$$d_{co} = 1200 \text{ (gr/m}^3\text{)}$$

$$N = 15.2$$

$$CO_{lim} = 150\text{ppm (1 cm}^3 \text{/ 1 m}^3\text{)}$$

Οπότε προκύπτει:

$$Q_{co} = 516.7 / 1200 / 3600 * 15.2 * 10^6 / 150 = \mathbf{12.1 \text{ (m}^3 \text{/sec)}}$$

Η απαιτούμενη παροχή αέρα για την αραίωση εκπομπών CO (Q_{co} m³/sec), σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/00, είναι:

$$Q_{co} = q'_{co} / d_{co} / 3600 * N * 10^6 / CO_{lim} \text{ (m}^3 \text{/sec)}$$

Όπου

$$q'_{co} = 3.6 \text{ (gr/h)}$$

$$d_{co} = 1200 \text{ (gr/m}^3\text{)}$$

$$N = 25.4$$

$$CO_{lim} = 150\text{ppm (1 cm}^3 \text{/ 1 m}^3\text{)}$$

Οπότε προκύπτει:

$$Q_{co} = 3.6 / 1200 / 3600 * 25.4 * 10^6 / 150 = \mathbf{0.1 \text{ (m}^3 \text{/sec)}}$$

Η απαιτούμενη παροχή αέρα για την αραίωση εκπομπών CO (Q_{co} m³/sec), σύμφωνα με το πρότυπο pre-EURO, είναι:

$$Q_{co} = 0 \text{ (m}^3 \text{/sec)}$$

Προκύπτει λοιπόν ότι η συνολική απαιτούμενη παροχή αέρα είναι **27.1 m³/sec**

Η απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα, προκύπτει :

$$U=Q/A \text{ (παροχή / διατομή) (m/sec)}$$

$$U=27.1 \text{ (m}^3\text{/sec) /63.2 m}^2 = 0.43 \text{ m/sec}$$

Αντίστοιχα η απαιτούμενη παροχή φρέσκου αέρα (m³/sec) για την αραίωση NO_x για κυκλοφοριακή ταχύτητα v=0km/h, για τον κλάδο ανόδου προκύπτει ως εξής :

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 : ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ, ΛΟΓΩ ΡΥΠΩΝ		Ρύπος :	NO_x					
ΚΛΑΔΟΣ ΑΝΟΔΟΥ		ρ NO _x =	2,000 g/m ³					
		NO _x lim =	25 ppm					
Ταχύτης Οχημάτων		V επιβ =	0 km/hr					
		V φορτ =	0 km/hr					
			1					
			1					
<p>Ρύπος : NO_x N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας q_{nox} : Εκπομή ρύπου NO_x ανα όχημα Q_{nox} : Παροχή φρέσκου αέρα αραίωσης ρύπου No_x</p>								
	N	q_{nox}	f_{cs}	f_h	f_a	q_{nox}'	Q_{nox}	
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)	
US83	63.4	1.0	1.00	1.00	1.73	1.7	0.6	
ECE 15/04	22.8	1.0	1.00	0.74	1.00	0.7	0.1	
ECE 15/00	15.2	1.0	1.00	0.74	1.00	0.7	0.1	
Diesel (EURO 1)	25.4	4.7	1.00	1.00	1.00	4.7	0.7	
Φορτηγά	N	q_{nox}	f_m	f_e	f_h	q_{nox}'	Q_{nox}	
Diesel (pre EURO)	81.1	0.0	0.00	1.00	1.00	0.0	0.0	
	0.0	0.0				0.0	0.0	
	0.0	0.0				0.0	0.0	
Σύνολα :	208.0	οχήματα	Απαιτούμενη παροχή αέρα:				1.4	m ³ /sec
Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : 0.02 m/sec								

Ο αριθμός των οχημάτων καθώς επίσης και οι εκπομπές NO_x (q_{NO_x}) σύμφωνα με το κάθε πρότυπο, την κλίση του οδοστρώματος και τις κυκλοφοριακές συνθήκες έχουν ήδη προσδιοριστεί. Συγκεκριμένα και αναλύοντας τον ανωτέρω πίνακα, ο οποίος αναφέρεται στην απαιτούμενη ποσότητα αέρα για αραίωση NO_x, για μηδενική κυκλοφοριακή ταχύτητα, στον κλάδο ανόδου, παρατίθενται τα ακόλουθα :

Στην 1^η στήλη:

Συνολικός αριθμός οχημάτων :

Στα 100 οχήματα αντιστοιχούν 61 επιβατικά και 39 φορτηγά. Μετατρέποντας τα όλα σε επιβατικά (p.c.u) μέσω της κυκλοφοριακής σύστασης, προκύπτει ότι στα 100 οχήματα αντιστοιχούν (61+3*39) επιβατικά οχήματα. Οπότε τα 150 επιβατικά οχήματα αντιστοιχούν σε σύνολο οχημάτων 84 ανά χλμ και ανά λωρίδα κυκλοφορίας, οπότε στη συγκεκριμένη περίπτωση δηλαδή για σήραγγα μήκους 1,234km και για 2 λωρίδες κυκλοφορίας, τα 150 επιβατικά οχήματα αντιστοιχούν σε σύνολο οχημάτων **208**.

Ο αριθμός των επιβατικών οχημάτων, για το πρότυπο US83, είναι:

Ο συνολικός αριθμός οχημάτων πολλαπλασιαζόμενος με το ποσοστό συμμετοχής των επιβατικών οχημάτων σύμφωνα με το πρότυπο US83, ήτοι
 $208 * 30,5\% = 63,44$

Ο αριθμός των επιβατικών οχημάτων, για το πρότυπο ECE15/04, είναι:

Ο συνολικός αριθμός οχημάτων πολλαπλασιαζόμενος με το ποσοστό συμμετοχής των επιβατικών οχημάτων σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/04, ήτοι
 $208 * 11\% = 22,8$

Ο αριθμός των επιβατικών οχημάτων, για το πρότυπο ECE15/00, είναι:

Ο συνολικός αριθμός οχημάτων πολλαπλασιαζόμενος με το ποσοστό συμμετοχής των επιβατικών οχημάτων σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/00, ήτοι
 $208 * 7,3\% = 15,2$

Ο αριθμός των επιβατικών οχημάτων, για το πρότυπο DIESEL (EURO 1), είναι:

Ο συνολικός αριθμός οχημάτων πολλαπλασιαζόμενος με το ποσοστό συμμετοχής των επιβατικών οχημάτων σύμφωνα με το πρότυπο DIESEL EURO 1, ήτοι

$$208 * 12,2\% = 25,4$$

Ο αριθμός των φορτηγών οχημάτων, για το πρότυπο DIESEL (pre EURO), είναι:

Ο συνολικός αριθμός οχημάτων πολλαπλασιαζόμενος με το ποσοστό συμμετοχής των επιβατικών οχημάτων σύμφωνα με το πρότυπο DIESEL pre EURO ήτοι

$$208 * 39,0\% = 81,1$$

Ουσιαστικά ο αριθμός των οχημάτων (N), δεν επηρεάζεται από το είδος του εκπεμπόμενου ρύπου.

Στην 2^η στήλη:

Εκπεμπόμενο NO_x (gr/h), στον κλάδο ανόδου (κλίση οδοστρώματος : 0.89%), για κυκλοφοριακή ταχύτητα 0km/h, σύμφωνα με το πρότυπο US83:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 7 «Ρυθμός εκπομπής NO_x, βενζίνη, κανονισμός US 83» του Κεφαλαίου 3, **q_{NOx} = 1.0gr/hr**

Εκπεμπόμενο NO_x (gr/h), στον κλάδο ανόδου (κλίση οδοστρώματος : 0.89%), για κυκλοφοριακή ταχύτητα 0km/h, σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/04:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 8 «Ρυθμός εκπομπής NO_x, βενζίνη, κανονισμός ECE15/04» του Κεφαλαίου 3, **q_{NOx} = 1.0gr/hr**

Εκπεμπόμενο NO_x (gr/h), στον κλάδο ανόδου (κλίση οδοστρώματος : 0.89%), για κυκλοφοριακή ταχύτητα 0km/h, σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/00:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 9 «Ρυθμός εκπομπής NO_x, βενζίνη, κανονισμός ECE15/00» του Κεφαλαίου 3, **q_{NOx} = 1.0 gr/hr**

Εκπεμπόμενο NO_x (gr/h), στον κλάδο ανόδου (κλίση οδοστρώματος : 0.89%), για κυκλοφοριακή ταχύτητα 0km/h, σύμφωνα με το πρότυπο EURO 1:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 11 «Ρυθμός εκπομπής NO_x, βενζίνη, κανονισμός EURO 1» του Κεφαλαίου 5, **q_{NOx} = 4.7 gr/hr**

Εκπεμπόμενο NO_x (gr/h), στον κλάδο ανόδου (κλίση οδοστρώματος : 0.89%), για κυκλοφοριακή ταχύτητα 0km/h, σύμφωνα με το πρότυπο pre-EURO:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 20 «Ρυθμός εκπομπής NO_x, βενζίνη, κανονισμός pre-EURO» του Κεφαλαίου 5, **q_{NOx} = 0.0 gr/hr**

Στην 3^η στήλη:

Ο συντελεστής f_{cs} «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)», για εκπεμπόμενο NO_x , σύμφωνα με το πρότυπο US83:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 16 «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)» του Κεφαλαίου 5, $f_{cs} = 1.0$

Ο συντελεστής f_{cs} «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)», για εκπεμπόμενο NO_x , σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/04:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 16 «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)» του Κεφαλαίου 5, $f_{cs} = 1.0$

Ο συντελεστής f_{cs} «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)», για εκπεμπόμενο NO_x , σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/00:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 16 «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)» του Κεφαλαίου 5, $f_{cs} = 1.0$

Ο συντελεστής f_{cs} «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)», για εκπεμπόμενο NO_x , σύμφωνα με το πρότυπο EURO 1:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 16 «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)» του Κεφαλαίου 5, $f_{cs} = 1.0$

Tableau 16 / Table 16
Facteur démarrage à froid (émiss. à froid/à chaud)
Cold start factor (cold/warm emissions)

Travel-distance	1km αααααααααα	2km αααααααααα	3km αααααααααα
gasoline cat.			
CO	2.0/5.0/7.4	1.0/2.5/4.3	1.0/1.0/2.4
NOx	2.1/1.8/1.6	1.0/1.4/1.4	1.0/1.0/1.2
gasoline convent.			
CO	1.3/2.1/3.0	1.0/1.4/2.0	1.0/1.0/1.4
NOx	1.7/0.9/0.8	1.0/0.95/0.9	1.0/1.0/0.95
Diesel			
CO	1.1/1.2/1.4	1.0/1.1/1.2	1.0/1.0/1.0
NOx	1.1/1.1/1.1	1.0/1.0/1.1	1.0/1.0/1.0
Particulates	1.2/1.2/1.4	1.0/1.1/1.3	1.0/1.0/1.1

Ο συντελεστής f_m «Συντελεστής μάζας συναρτήσει της ταχύτητας» :
 Σύμφωνα με τον Πίνακα 22 «Συντελεστής μάζας συναρτήσει της ταχύτητας» του Κεφαλαίου 5, $f_m = 0.0$

Στην 4^η στήλη:

Ο συντελεστής f_h «Συντελεστής υψομέτρου)», για εκπεμπόμενο NO_x , σύμφωνα με το πρότυπο US83:
 Σύμφωνα με τον Πίνακα 17 «Συντελεστής υψομέτρου» του Κεφαλαίου 5, $f_h = 1.0$

Ο συντελεστής f_h «Συντελεστής υψομέτρου)», για εκπεμπόμενο NO_x , σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/04:
 Σύμφωνα με τον Πίνακα 17 «Συντελεστής υψομέτρου» του Κεφαλαίου 5, $f_h = 0.74$

Ο συντελεστής f_h «Συντελεστής υψομέτρου)», για εκπεμπόμενο NO_x , σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/00:
 Σύμφωνα με τον Πίνακα 17 «Συντελεστής υψομέτρου» του Κεφαλαίου 5, $f_h = 0.74$

Ο συντελεστής f_h «Συντελεστής υψομέτρου)», για εκπεμπόμενο NO_x , σύμφωνα με το πρότυπο EURO 1:
 Σύμφωνα με τον Πίνακα 17 «Συντελεστής υψομέτρου» του Κεφαλαίου 5, $f_h = 1.0$

Tableau 17/ Table 17
 Facteur d'altitude / Altitude factor

		CO	NO _x	particules
gasoline cat.	700 m/0 m	1,0	1,0	-
	1000 m/0 m	2,6	1,0	-
	2000 m/0 m	11,42	1,0	-
	3000 m/0 m	13,0	1,0	-
gasoline conv.	1000 m/0 m	1,78	0,74	-
	2000 m/0 m	2,48	0,54	-
	3000 m/0 m	3,18	0,54	-
diesel	1000 m/0 m	1,21	1,0	1,0
	2000 m/0 m	1,50	1,0	1,25
	3000 m/0 m	1,81	1,0	1,5

Στην 5^η στήλη:

Ο συντελεστής f_a «Συντελεστής γήρανσης κινητήρα», για εκπεμπόμενο NO_x , σύμφωνα με το πρότυπο US83:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 18 «Συντελεστής γήρανσης κινητήρα» του Κεφαλαίου 5, $f_a = 1.73$

CO [1/100.000 km]	NO _x [1/100.000 km]
1,67	1,73

Ο συντελεστής f_h «Συντελεστής υψομέτρου)», για εκπεμπόμενο NO_x , σύμφωνα με το πρότυπο pre-EURO:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 24 «Συντελεστής υψομέτρου για φορτηγά οχήματα» του Κεφαλαίου 5, $f_h = 1.0$

		CO	NO _x	particules
diésel	1000 m/0 m	1,35	1,0	1,12
direct inj.	2000 m/0 m	2,75	1,0	1,69
	3000 m/0 m	4,0	1,0	2,26

Στην 6^η στήλη:

Η εκπομπή NO_x (q'_{NO_x} gr/h), συναρτήσει του υψομέτρου (f_h), της παλαιότητας του κινητήρα (f_a), και της ψυχρής εκκίνησης του κινητήρα, σύμφωνα με το πρότυπο US83, είναι:

$$q'_{NO_x} = q_{NO_x} * f_{cs} * f_h * f_a \text{ (gr/h)}$$

Οπότε αφού για v=0km/h, και κλίση οδοστρώματος 0,89% (κλάδος ανόδου), η εκπομπή NO_x ισούται με q_{NO_x} = 1,0gr/h, προκύπτει:

$$q'_{NO_x} = 1,00\text{gr/h} * 1,00 * 1,00 * 1,73 = \mathbf{1,73 \text{ gr/h}}$$

Η εκπομπή NO_x (q'_{NO_x} gr/h), συναρτήσει του υψομέτρου (f_h), της παλαιότητας του κινητήρα (f_a), και της ψυχρής εκκίνησης του κινητήρα, σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/04, είναι:

$$q'_{NO_x} = q_{NO_x} * f_{cs} * f_h * f_a \text{ (gr/h)}$$

Οπότε αφού για v=0km/h, και κλίση οδοστρώματος 0,89% (κλάδος ανόδου), η εκπομπή NO_x ισούται με q_{NO_x} = 1,0gr/h, προκύπτει:

$$q'_{NO_x} = 1,00\text{gr/h} * 1,00 * 0,74 * 1,00 = \mathbf{0,74 \text{ gr/h}}$$

Η εκπομπή NO_x (q'_{NO_x} gr/h), συναρτήσει του υψομέτρου (f_h), της παλαιότητας του κινητήρα (f_a), και της ψυχρής εκκίνησης του κινητήρα, σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/00, είναι:

$$q'_{NO_x} = q_{NO_x} * f_{cs} * f_h * f_a \text{ (gr/h)}$$

Οπότε αφού για v=0km/h, και κλίση οδοστρώματος 0,89% (κλάδος ανόδου), η εκπομπή NO_x ισούται με q_{NO_x} = 290,3gr/h, προκύπτει:

$$q'_{NO_x} = 1,00\text{gr/h} * 1,00 * 0,74 * 1,00 = \mathbf{0,74 \text{ gr/h}}$$

Η εκπομπή NO_x (q'_{NO_x} gr/h), συναρτήσει του υψομέτρου (f_h), της παλαιότητας του κινητήρα (f_a), και της ψυχρής εκκίνησης του κινητήρα, σύμφωνα με το πρότυπο EURO 1, είναι:

$$q'_{NO_x} = q_{NO_x} * f_{cs} * f_h * f_a \text{ (gr/h)}$$

Οπότε αφού για v=0km/h, και κλίση οδοστρώματος 0,89% (κλάδος ανόδου), η εκπομπή NO_x ισούται με q_{NO_x} = 4,7gr/h, προκύπτει:

$$q'_{NO_x} = 4,7\text{gr/h} * 1,00 * 1,00 * 1,00 = \mathbf{4,7 \text{ gr/h}}$$

Η εκπομπή NO_x (q'_{NO_x} ο gr/h), συναρτήσει του υψομέτρου (f_h), του συντελεστή μάζας του κινητήρα (f_m), και του συντελεστή f_e, σύμφωνα με το πρότυπο pre-EURO, είναι:

$$q'_{NO_x} = q_{NO_x} * f_m * f_e * f_h \text{ (gr/h)}$$

Οπότε αφού για v=0km/h, και κλίση οδοστρώματος 0,89% (κλάδος ανόδου), η εκπομπή NO_x ισούται με q_{NO_x} = 0gr/h, προκύπτει:

$$q'_{NO_x} = \mathbf{0 \text{ gr/h}}$$

Στην 7^η στήλη:

Η απαιτούμενη παροχή αέρα για την αραίωση εκπομπών NO_x (Q_{NOx} m³/sec), σύμφωνα με το πρότυπο US83, είναι:

$$Q_{NOx} = q'_{NOx} / d_{NOx} / 3600 * N * 10^6 / NO_{xlim} \text{ (m}^3 \text{/sec)}$$

Όπου

$$q'_{NOx} = 1.7 \text{ (gr/h)}$$

$$d_{NOx} = 2000 \text{ (gr/m}^3\text{)}$$

$$N = 63,4$$

$$NO_{xlim} = 25\text{ppm (1 cm}^3 \text{ / 1 m}^3\text{)}$$

Οπότε προκύπτει:

$$Q_{NOx} = 1.7 / 2000 / 3600 * 63.4 * 10^6 / 25 = \mathbf{0.6 \text{ (m}^3 \text{/sec)}}$$

Η απαιτούμενη παροχή αέρα για την αραίωση εκπομπών NO_x (Q_{NOx} m³/sec), σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/04, είναι:

$$Q_{NOx} = q'_{NOx} / d_{NOx} / 3600 * N * 10^6 / NO_{xlim} \text{ (m}^3 \text{/sec)}$$

Όπου

$$q'_{NOx} = 0.7 \text{ (gr/h)}$$

$$d_{NOx} = 2000 \text{ (gr/m}^3\text{)}$$

$$N = 22.8$$

$$NO_{xlim} = 25\text{ppm (1 cm}^3 \text{ / 1 m}^3\text{)}$$

Οπότε προκύπτει:

$$Q_{NOx} = 0,7 / 2000 / 3600 * 22.8 * 10^6 / 25 = \mathbf{0.1 \text{ (m}^3 \text{/sec)}}$$

Η απαιτούμενη παροχή αέρα για την αραίωση εκπομπών NO_x (Q_{NO_x} m³/sec), σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/00, είναι:

$$Q_{NO_x} = q'_{NO_x} / d_{NO_x} / 3600 * N * 10^6 / NO_{x_{lim}} \text{ (m}^3 \text{ /sec)}$$

Όπου

$$q'_{NO_x} = 0.7 \text{ (gr/h)}$$

$$d_{NO_x} = 2000 \text{ (gr/m}^3\text{)}$$

$$N = 15.2$$

$$NO_{x_{lim}} = 25\text{ppm (1 cm}^3 \text{ / 1 m}^3\text{)}$$

Οπότε προκύπτει:

$$Q_{NO_x} = 0.7 / 2000 / 3600 * 15.2 * 10^6 / 25 = 0.1 \text{ (m}^3 \text{ /sec)}$$

Η απαιτούμενη παροχή αέρα για την αραίωση εκπομπών NO_x (Q_{NO_x} m³/sec), σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/00, είναι:

$$Q_{NO_x} = q'_{NO_x} / d_{NO_x} / 3600 * N * 10^6 / NO_{x_{lim}} \text{ (m}^3 \text{ /sec)}$$

Όπου

$$q'_{NO_x} = 4.7 \text{ (gr/h)}$$

$$d_{NO_x} = 2000 \text{ (gr/m}^3\text{)}$$

$$N = 25.4$$

$$NO_{x_{lim}} = 25\text{ppm (1 cm}^3 \text{ / 1 m}^3\text{)}$$

Οπότε προκύπτει:

$$Q_{NO_x} = 4.7 / 2000 / 3600 * 25.4 * 10^6 / 25 = 0.7 \text{ (m}^3 \text{ /sec)}$$

Η απαιτούμενη παροχή αέρα για την αραίωση εκπομπών NO_x (Q_{NO_x} m³/sec), σύμφωνα με το πρότυπο pre-EURO, είναι:

$$Q_{\text{NO}_x} = 0 \text{ (m}^3\text{/sec)}$$

Προκύπτει λοιπόν ότι η συνολική απαιτούμενη παροχή αέρα είναι **1.4 m³/sec**

Η απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα, προκύπτει :

$$U = Q/A \text{ (παροχή / διατομή) (m/sec)}$$

$$U = 1.4 \text{ (m}^3\text{/sec)} / 63.2 \text{ m}^2 = 0.02 \text{ m/sec}$$

Αντίστοιχα η απαιτούμενη παροχή φρέσκου αέρα (m³/sec) για την αραίωση NO_x για κυκλοφοριακή ταχύτητα v=0km/h, για τον κλάδο ανόδου προκύπτει ως εξής :

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 : ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ, ΛΟΓΩ ΡΥΠΩΝ

ΚΛΑΔΟΣ ΑΝΟΔΟΥ

Ρύπος :

K lim = 1/m

Ταχύτης Οχημάτων

V επιβ = km/hr

V φορτ = km/hr

1
1

Ρύπος : **Καπνός** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 q_k : Εκπομή ρύπου καπνού ανά όχημα
 Q_k : Παροχή φρέσκου αέρα αραίωσης ρύπου καπνού

	N	q _k	f _{cs}	f _h	f _a	q _k '	Q _k
Επιβατικά	(οχημ.)	(m ² /hr)	()	()	()	(m ² /hr)	(m ³ /sec)
US83	63.4	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/04	22.8	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/00	15.2	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
Diesel (EURO 1)	25.4	0.3	1.00	1.00	1.00	0.3	0.2

Φορτηγά	N	q _k	f _m	f _e	f _h	q _k '	Q _k
Diesel (pre EURO)	81.1	0.0	0.00	1.00	1.00	0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **208.0** οχήματα Απαιτούμενη παροχή αέρα: **0.2** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : m/sec

Ο αριθμός των οχημάτων καθώς επίσης και οι εκπομπές καπνού (q_k) σύμφωνα με το κάθε πρότυπο, την κλίση του οδοστρώματος και τις κυκλοφοριακές συνθήκες έχουν ήδη προσδιοριστεί. Συγκεκριμένα και αναλύοντας τον ανωτέρω πίνακα, ο οποίος αναφέρεται στην απαιτούμενη ποσότητα αέρα για αραίωση καπνού, για μηδενική κυκλοφοριακή ταχύτητα, στον κλάδο ανόδου, παρατίθενται τα ακόλουθα :

Στην 1^η στήλη:

Συνολικός αριθμός οχημάτων :

Ο συνολικός αριθμός οχημάτων καθώς και ο αριθμός των οχημάτων σύμφωνα με το κάθε πρότυπο, παραμένει σταθερός, καθώς δεν επηρεάζεται από το είδος του εκπεμπόμενου ρύπου.

Στην 2^η στήλη:

Εκπεμπόμενος καπνός (gr/h), στον κλάδο ανόδου (κλίση οδοστρώματος : 0.89%), για κυκλοφοριακή ταχύτητα 0km/h, σύμφωνα με το πρότυπο EURO 1:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 14 «Ρυθμός εκπομπής καπνού, πετρέλαιο, κανονισμός EURO 1» του Κεφαλαίου 3, $q_k = 0.3 \text{ m}^3/\text{hr}$

Στην 3^η στήλη:

Ο συντελεστής f_{cs} «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)», για εκπεμπόμενο καπνό, για όλα τα πρότυπα:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 16 «Συντελεστής έναρξης ψυχρού κινητήρα (ψυχρές / θερμές εκπομπές)» του Κεφαλαίου 5, $f_{cs} = 1.0$

Ο συντελεστής f_m «Συντελεστής μάζας συναρτήσει της ταχύτητας» :

Σύμφωνα με τον Πίνακα 22 «Συντελεστής μάζας συναρτήσει της ταχύτητας» του Κεφαλαίου 5, $f_m = 0.0$

Στην 4^η στήλη:

Ο συντελεστής f_h «Συντελεστής υψομέτρου», για εκπεμπόμενο καπνό, για όλα τα πρότυπα:

Σύμφωνα με τον Πίνακα 17 «Συντελεστής υψομέτρου» του Κεφαλαίου 5, $f_h = 1.0$

Στην 5^η στήλη:

Ο συντελεστής f_a «Συντελεστής γήρανσης κινητήρα», για εκπεμπόμενο καπνό, για όλα τα πρότυπα είναι $f_a = 1.73$:

Στην 6^η στήλη:

Η εκπομπή καπνού ($q'_κ \text{ m}^3/\text{hr}$), συναρτήσει του υψομέτρου (f_h), της παλαιότητας του κινητήρα (f_a), και της ψυχρής εκκίνησης του κινητήρα, σύμφωνα με το πρότυπο US83, είναι:

$$q'_κ = q_κ * f_{cs} * f_h * f_a \quad (\text{gr/h})$$

Οπότε αφού για $v=0\text{km/h}$, και κλίση οδοστρώματος 0,89% (κλάδος ανόδου), η εκπομπή καπνού ισούται με $q_κ = 0,0 \text{ m}^3/\text{hr}$ προκύπτει:

$$q'_κ = 0,0 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Η εκπομπή καπνού ($q'_κ \text{ m}^3/\text{hr}$), συναρτήσει του υψομέτρου (f_h), της παλαιότητας του κινητήρα (f_a), και της ψυχρής εκκίνησης του κινητήρα, σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/04, είναι:

$$q'_κ = q_κ * f_{cs} * f_h * f_a \quad (\text{gr/h})$$

Οπότε αφού για $v=0\text{km/h}$, και κλίση οδοστρώματος 0,89% (κλάδος ανόδου), η εκπομπή καπνού ισούται με $q_κ = 0,0 \text{ m}^3/\text{hr}$, προκύπτει:

$$q'_κ = 0,0 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Η εκπομπή καπνού ($q'_κ \text{ m}^3/\text{hr}$), συναρτήσει του υψομέτρου (f_h), της παλαιότητας του κινητήρα (f_a), και της ψυχρής εκκίνησης του κινητήρα, σύμφωνα με το πρότυπο ECE15/00, είναι:

$$q'_κ = q_κ * f_{cs} * f_h * f_a \quad (\text{gr/h})$$

Οπότε αφού για $v=0\text{km/h}$, και κλίση οδοστρώματος 0,89% (κλάδος ανόδου), η εκπομπή καπνού ισούται με $q_κ = 0,0 \text{ m}^3/\text{hr}$, προκύπτει:

$$q'_κ = 0,0 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Η εκπομπή καπνού (q'_{κ} m³/hr), συναρτήσει του υψομέτρου (f_h), της παλαιότητας του κινητήρα (f_a), και της ψυχρής εκκίνησης του κινητήρα, σύμφωνα με το πρότυπο EURO 1, είναι:

$$q'_{\kappa} = q_{\kappa} * f_{cs} * f_h * f_a \quad (\text{gr/h})$$

Οπότε αφού για $v=0\text{km/h}$, και κλίση οδοστρώματος 0,89% (κλάδος ανόδου), η εκπομπή καπνού ισούται με $q_{\kappa} = 0,3 \text{ m}^3/\text{hr}$, προκύπτει:

$$q'_{\kappa} = 0,3 \text{ m}^3/\text{hr} * 1,00 * 1,00 * 1,00 = \mathbf{0,3 \text{ m}^3/\text{hr}}$$

Η εκπομπή καπνού (q'_{κ} m³/hr), συναρτήσει του υψομέτρου (f_h), του συντελεστή μάζας του κινητήρα (f_m), και του συντελεστή f_e , σύμφωνα με το πρότυπο pre-EURO, είναι:

$$q'_{\kappa} = q_{\kappa} * f_m * f_e * f_h \quad (\text{gr/h})$$

Οπότε αφού για $v=0\text{km/h}$, και κλίση οδοστρώματος 0,89% (κλάδος ανόδου), η εκπομπή καπνού ισούται με $q_{\kappa} = \text{m}^3/\text{hr}$, προκύπτει:

$$q'_{\kappa} = \mathbf{0 \text{ m}^3/\text{hr}}$$

Στην 7^η στήλη:

Η απαιτούμενη παροχή αέρα για την αραίωση εκπομπών καπνού (Q_{κ} m³/sec), σύμφωνα με το πρότυπο pre-EURO, είναι:

$$Q_{\kappa} = q_{\kappa} * f_m * f_e * f_h * N * /3600 / k_{lim} \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

Όπου

$$q'_{\kappa} = 0.3 \text{ (m}^3/\text{hr)}$$

$$N = 25,4$$

$$k_{lim} = 0,009\text{ppm} \text{ (1 cm}^3 \text{ / 1 m}^3\text{)}$$

Οπότε προκύπτει:

$$Q_k = 0,3 * 25,4 / 3600 / 0,009 = 0.2 \text{ (m}^3 \text{ /sec)}$$

Προκύπτει λοιπόν ότι η συνολική απαιτούμενη παροχή αέρα είναι **0.2 m³/sec**

Η απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα, προκύπτει :

$$U = Q/A \text{ (παροχή / διατομή) (m/sec)}$$

$$U = 0.2 \text{ (m}^3 \text{/sec)} / 63.2 \text{ m}^2 = 0.00 \text{ m/sec}$$

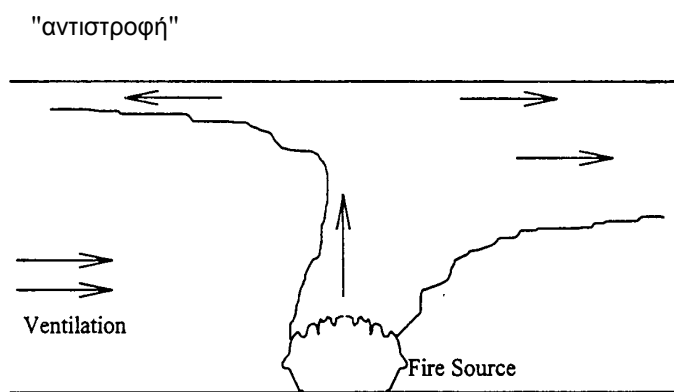
Ακολουθώντας αυτή τη διαδικασία προσδιορίζονται οι απαιτούμενες ταχύτητες αέρα μέσα στη σήραγγα, για όλες τις υπό μελέτη ταχύτητες των οχημάτων και για τις δύο κλίσεις του οδοστρώματος (άνοδος – κάθοδος).

Πίνακας 5 – Απαιτούμενος αερισμός σε περίπτωση πυρκαγιάς / υπολογισμός κρίσιμης ταχύτητας

Κύριο φαινόμενο σε περίπτωση πυρκαγιάς σε σήραγγα αποτελεί το γεγονός ότι καπνός και άλλα προϊόντα καύσης εξαπλώνονται στη σήραγγα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Η ταχύτητα του αέρα, η οποία πρέπει να επιτευχθεί μέσω των ανεμιστήρων, πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση με την κρίσιμη ταχύτητα (critical velocity), ώστε να μπορεί να ελεγχθεί η κατεύθυνση εξάπλωσης του καπνού και των θερμών αερίων προς μία κατεύθυνση, ώστε τα άτομα να βρουν ασφαλή όδευση εκκένωσης στην αντίθετη κατεύθυνση.

Εάν η ταχύτητα του αέρα είναι μικρότερη της κρίσιμης, θα συμβεί το φαινόμενο της αντιστροφής (backlayering), κατά το οποίο ο καπνός και θερμά αέρια θα εξαπλωθούν προς όλες τις κατευθύνσεις, θέτοντας σε κίνδυνο την ασφαλή διαφυγή των ατόμων από τη σήραγγα.



Στον πίνακα 5, παρατίθενται υπολογισμοί της κρίσιμης ταχύτητας αέρα για την περίπτωση πυρκαγιάς.

Τα πρότυπα PIARC προτείνουν γενικά για την κρίσιμη ταχύτητα αέρα την τιμή 3 m/s. Παρακάτω τα PIARC αναφέρουν: γενικά εξαιτίας του φαινομένου του καπναγωγού, η ταχύτητα διασποράς των καυσαερίων αυξάνεται με την αύξηση στην κλίση της σήραγγας.

Η κρίσιμη ταχύτητα, για την αποφυγή του φαινομένου "backlayering" υπολογίζεται από τις εξισώσεις του Kennedy :

$$V_c = k_1 k_g \left(\frac{gHQ}{\rho c_p A T_f} \right)^{1/3} \quad (5.3.3-6)$$

$$T_f = \left(\frac{Q_c}{\rho c_p A V_{crit}} \right) + T \quad (5.3.3-7)$$

Όπου

V_c Κρίσιμη ταχύτητα του αέρα

A Η διατομή της σήραγγας

H Ύψος σήραγγας

s Κλίση κλάδου

$g = 9.81 \text{ m/sec}^2$ Επιτάχυνση βαρύτητας

$C_p = 1006 \text{ J/kgK}$ Ειδική θερμοχωρητικότητα αέρα

$F_{rc} = 4.5$ (αριθμός Froude)

$k_1 = (F_{rc})^{(-1/3)}$ Σταθερά εξισώσεων Kennedy

$k_g = 1 + 0.0374(-s)^{0.8}$ Σταθερά εξισώσεων Kennedy

Για καθοδική κλίση → Ισχύει ο τύπος

Για ανοδική κλίση → 1

$Q = 50 \text{ MW}$ Θερμική ισχύς πυρκαγιάς

$T = 20^{\circ}\text{C}$ (293 Μέση θερμοκρασία αέρα εντός της σήραγγας
K)

$\rho = 1.20 \text{ Kg/m}^3$ Πυκνότητα αέρα (20°C)

T_f Θερμοκρασία στο σημείο της πυρκαγιάς

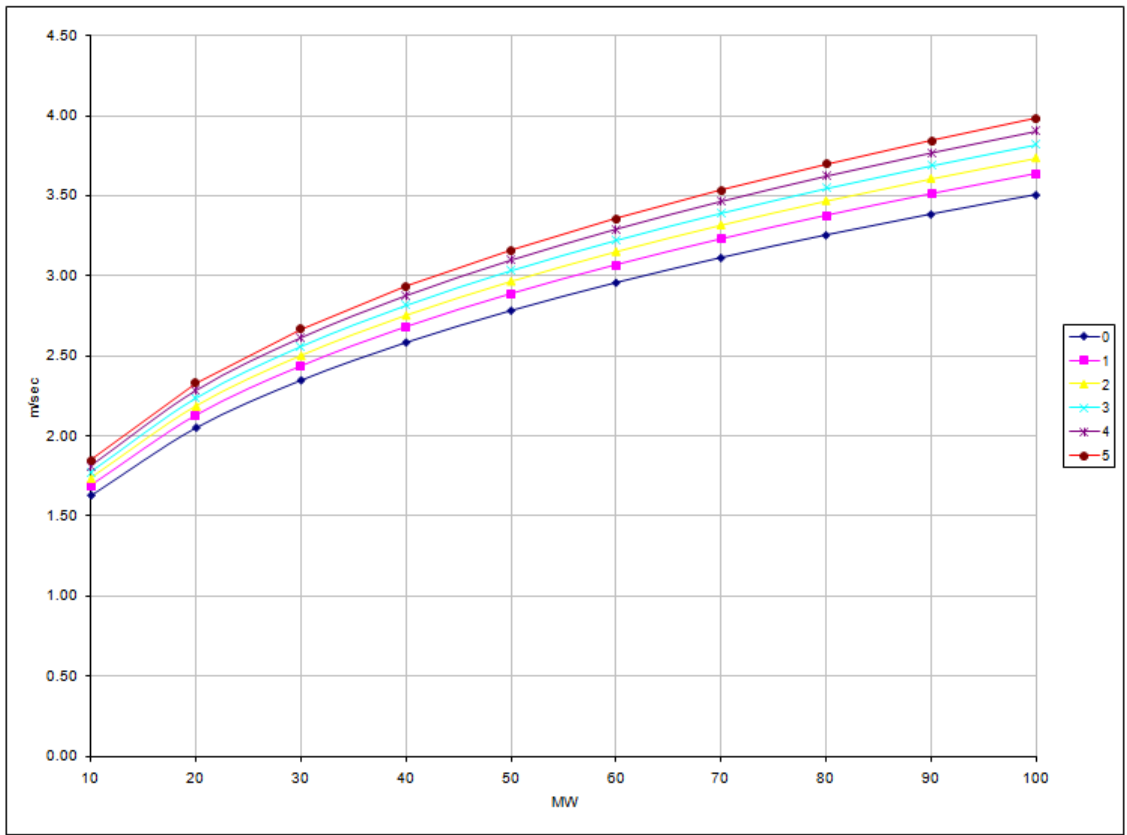
Για παράδειγμα η κρίσιμη ταχύτητα στη συγκεκριμένη σήραγγα, υπολογίζεται ως ακολούθως :

$C_p =$	1005	J/kg $^{\circ}\text{K}$
$Q =$	50	MW
$g =$	9.81	m/sec 2
$F_{rc} =$	4.50	
$K_1 =$	0.606	
$K_g =$	1.034	
$T =$	293	$^{\circ}\text{C}$
$T_f =$	555	$^{\circ}\text{K}$
$\rho =$	1.00	kgr/m 3

$$V_c = 2.88 \text{ m/sec}$$

Η κρίσιμη ταχύτητα v_c υπολογίζεται από την επίλυση των σχέσεων (1) και (2) μέσω της επαναληπτικής διαδικασίας. Θέτοντας κάθε φορά διαφορετικές τιμές στη ταχύτητα του αέρα υπολογίζουμε την θερμοκρασία στο σημείο της πυρκαγιάς (σχέση (2)). Στη συνέχεια με δεδομένη τη θερμοκρασία που προέκυψε επιλύουμε την σχέση (1). Όταν η αρχική τιμή της ταχύτητας του αέρα (ταχύτητα δοκιμής) προσεγγίσει όσο το δυνατό περισσότερο την τιμή της επιλυόμενης σχέσης (1), τότε θεωρούμε ότι αυτή είναι η «κρίσιμη ταχύτητα» του αέρα.

Για να έχουμε μια πιο εποπτική αντίληψη της μεταβολής της κρίσιμης ταχύτητας σε σχέση με την κλίση του οδοστρώματος και της εκλυόμενης θερμότητας πυρκαγιάς, παραθέτουμε το ακόλουθο διάγραμμα.



Πίνακας 6 – Ειδικά στοιχεία-δεδομένα

Στον πίνακα 6, παρατίθενται ειδικά στοιχεία που αφορούν σε συντελεστές που λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό των πρόσθετων απωλειών πίεσης λόγω της ύπαρξης και κίνησης οχημάτων εντός της σήραγγας, της τραχύτητας των τοιχωμάτων της σήραγγας κλπ ως ακολούθως:

Συντελεστής Μείωσης Οπισθέλκουσας σε Συμφόρηση (Cbr) :	1	u>10m/sec
	0,70	u<10m/sec
Συντελεστής Οπισθέλκουσας Επιβατηγών σε Συμφόρηση (Cwpb) :	0,40	
Συντελεστής Οπισθέλκουσας Επιβατηγών σε Κανονική Ροή (Cwpr) :	0,35	
Συντελεστής Οπισθέλκουσας Φορτηγών σε Συμφόρηση (Cwtb) :	1,00	
Συντελεστής Οπισθέλκουσας Φορτηγών σε Κανονική Ροή (Cwtn) :	0,80	

Πίνακας 7 – Στοιχεία ανεμιστήρων ώσης

Στον πίνακα 7, παρατίθενται τεχνικά στοιχεία για τους ανεμιστήρες ώσης που ελήφθησαν υπόψη στους σχετικούς υπολογισμούς.

Οι ανωτέρω ανεμιστήρες είναι πλήρως αναστρέψιμης λειτουργίας. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ανεμιστήρων τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια, δίδονται από τον κατασκευαστή αυτών.

Επισημαίνεται ότι η επίτευξη των επιθυμητών συνθηκών αερισμού εντός της σήραγγας, είναι δυνατή είτε με τη χρήση των ανωτέρω ανεμιστήρων ή άλλων με αντίστοιχα χαρακτηριστικά.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ:

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ :

WOODS JZR 12-45/4.

Αξονικός ανεμιστήρας ώσης

Πλήρους αναστρέψιμης λειτουργίας

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΩΣΗΣ (T) :	1500	N
ΠΑΡΟΧΗ (Qj) :	35,4	m ³ /sec
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΞΟΔΟΥ ΑΕΡΑ (uj) :	35,9	m/sec
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ :	1470	RPM
ΑΠΟΡΡΟΦΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ :	51,0	KW
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΤΡΟΒΙΛΙΣΜΟΥ (n1) :	0,98	
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΣΗΣ (n2) :	0,94	
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ (n3) :	1,00	

Πίνακας 8 – Τελικά αποτελέσματα

Στον πίνακα 8, παρατίθενται τα τελικά αποτελέσματα για τον απαιτούμενο αριθμό ανεμιστήρων για κάθε επιμέρους σενάριο, λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των πιθανών απωλειών πίεσης, τα χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων ανεμιστήρων κλπ.

Ο πίνακας χωρίζεται σε δύο μέρη: το πρώτο μέρος (VENTILATION SCENARIOS – NORMAL) αφορά τον υπολογισμό των ανεμιστήρων σε κανονική λειτουργία της σήραγγας, σε διάφορες κυκλοφοριακές συνθήκες, ενώ το δεύτερο (VENTILATION SCENARIOS – FIRE) εξετάζει την περίπτωση της φωτιάς.

Ο υπολογισμός της απαιτούμενης ώσης γίνεται ως εξής:

$$\text{Thrust} = \Sigma \Delta p * A = (\Delta p_{ox} + \Delta p_T + \Delta p_H + \Delta p_w + \Delta p_{fire}) * A \quad (5.3.3-7)$$

Όπου,

ΣΔρ: Συνολική πτώση πίεσης στον κλάδο

Δp_{ox} : Πτώση πίεσης λόγω αντίστασης οχημάτων

Δp_T : Πτώση πίεσης λόγω αντίστασης σήραγγας

Δp_H : Πτώση πίεσης λόγω φαινομένου ελκυσμού

Δp_w : Πτώση πίεσης λόγω ανεμό
πτωσης

Δp_{fire} : Πτώση πίεσης λόγω φαινομένων στροβιλισμού στην περιοχή της φωτιάς

A Εμβαδόν επιφάνειας κατακόρυφης τομής σήραγγας

$$\Delta p_{ox} = C_{br} * (N_{pc} * C_{W_{pb}} * A_{pc}/A + N_{hgv} * C_{W_{tb}} * A_{hgv}/A) * \rho * v_{ox}^2 / 2 \quad (5.3.3-8)$$

Όπου,

N Αριθμός οχημάτων

C_{br} Συντελεστής Μείωσης Οπισθέλκουσας σε συμφόρηση (αφορά σε πυρκαγιά ή ταχύτητα = 0m/sec)

C_W Συντελεστής Οπισθέλκουσας

A_{pc} Επιφάνεια Πρόσπτωσης Οχημάτων (2m² για επιβατικά & 7m² για φορτηγά)

A Εμβαδόν επιφάνειας κατακόρυφης τομής σήραγγας

ρ Πυκνότητα αέρα στη σήραγγα

v_{ox} Σχετική ταχύτητα οχημάτων ως προς την ταχύτητα κίνησης του αέρα στη σήραγγα

$$\Delta p_T = (\zeta_1 + \zeta_2 + \lambda * L/D) * \rho * v_u^2 / 2 \quad (5.3.3-9)$$

Όπου,

ζ_1 Συντελεστής απώλειας εισόδου (0,6)

ζ_2 Συντελεστής απώλειας εξόδου (1)

λ Συντελεστής απωλειών τριβών

L Μήκος σήραγγας (m)

D Υδραυλική διάμετρος σήραγγας

v_u Ελάχιστη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα

ρ Πυκνότητα αέρα στη σήραγγα

$$\Delta p_H = \Delta H * \rho * g * (T_i - T_o) / (T_i + 273) \quad (5.3.3-10)$$

Όπου,

ΔH Υψομετρική διαφορά στομίων εισόδου – εξόδου σήραγγας

ρ Πυκνότητα αέρα στη σήραγγα

g Επιτάχυνση βαρύτητας

T_i Μέση θερμοκρασία στο εσωτερικό της σήραγγας ($^{\circ}\text{C}$)

T_o Εξωτερική θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)

$$\Delta p_w = v_{\text{ανέμου}}^2 * \rho / 2 \quad (5.3.3-11)$$

Όπου $v_{\text{ανέμου}}$ η ταχύτητα του ανέμου.

$$\Delta p_{\text{fire}} = 0,00009 * Q * 1000000 / (u * D^2) \quad (5.3.3-12)$$

Όπου,

Q Θερμική ισχύς πυρκαγιάς (W)

u Ταχύτητα αέρα αμέσως πριν τη φωτιά

D Υδραυλική διάμετρος σήραγγας

Έτσι ο πίνακας αποτελεσμάτων που παρουσιάζεται για τον απαιτούμενο αριθμό ανεμιστήρων, στον κλάδο ανόδου (κατ' αντιστοιχία παρουσιάζεται και πίνακας αποτελεσμάτων για τον κλάδο καθόδου) είναι ο εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ 8 : ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΚΥΛΛΟΣ ΑΝΟΔΟΥ

Vεπιβ (km/hr)	Vφορτ (km/hr)	ν (1) (m/s)	Re	λ	Nεπιβ (unit)	Nφορτ (unit)	ΔΡεπιβ (Pa)	ΔΡφορτ (Pa)	ΔΡΤ (Pa)	ΔΡΗ (Pa)	ΔΡW (Pa)	ΔΡt (Pa)	ΧΩΡΙΞ ΑΝΕΜΟ ΔΡολ (Pa)	ΜΕ ΑΝΕΜΟ ΔΡολ (Pa)	ΧΩΡΙΞ ΑΝΕΜΟ ΑΠΑΙΤΟΥΜ ΩΣΗ (T) (N)	ΜΕ ΑΝΕΜΟ ΑΠΑΙΤΟΥΜ ΩΣΗ (T) (N)	ΩΣΗ ΕΝΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗ- ΡΑ (N)	ΧΩΡΙΞ ΑΝΕΜΟ		ΜΕ ΑΝΕΜΟ	
																		ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗ- ΡΟΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗ- ΡΟΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗ- ΡΟΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗ- ΡΟΝ
FIRE	FIRE	3.29	1,796,509	0.0160	63.4	40.6	3.19	17.86	22.78	-16.21	29.53	18.00	78.05	107.58	4,932.6	6,799.0	1,116.6	5	7		
0	0	0.43	234,499	0.0250	126.9	81.1	0.12	0.70	0.59	0.00	33.75		1.41	35.16	89.3	2,222.3	1,388.1	1	2		
10	10	0.20	108,812	0.0150	59.2	37.9	2.62	13.38	0.09	0.00	33.75		16.09	17.85	1,016.8	1,127.9	1,397.1	1	1		
20	20	0.26	144,564	0.0170	52.4	33.5	9.76	49.89	0.17	0.00	33.75		-59.47	-25.72	-3,758.8	-1,625.8	1,394.5	0	0		
40	40	0.13	75,080	0.0190	38.9	24.9	31.17	159.44	0.05	0.00	33.75		-190.56	-156.81	-12,043.6	-9,910.6	1,399.7	0	0		
60	60	0.09	4,754	0.0400	25.4	16.2	46.36	237.12	0.03	0.00	33.75		-283.45	-249.70	-17,913.9	-15,780.9	1,401.5	0	0		
100	60	0.01	5,811	0.0380	3.2	16.2	16.20	239.26	0.00	0.00	33.75		-255.46	-16,145.2	-14,012.2	1,404.4	0	0			

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ:

1): ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ, ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΚΡΕΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ (Vc) ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΟ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΥΚΝΟΤΗΤΩΝ pair / pairf (ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗ ΦΩΤΙΑ)

2): Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ ΔΕΝ ΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ ΥΠΟΨΗ ΛΟΓΩ ΤΟΥ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΙΑΣ

Για παράδειγμα, για τον υπολογισμό των απαιτούμενων πιέσεων χωρίς τη παρεμβολή ανέμου, σε περίπτωση πυρκαγιάς, στον κλάδο ανόδου συμμετέχουν οι πιέσεις:

$$\Delta p_{ολ} = \Delta p_{επιβ.} + \Delta p_{φορτ.} + \Delta p_T - \Delta p_H + \Delta p_{fire} \quad (5.3.3-13)$$

*το αρνητικό πρόσημο οφείλεται στο αρνητικό ΔH στον κλάδο ανόδου, οπότε για να προστεθεί η διαφορά πίεσης στην ολική απαιτούμενη πίεση μετατρέπουμε με αυτόν τον τρόπο το πρόσημο σε θετικό.

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων πιέσεων χωρίς τη παρεμβολή ανέμου, σε περίπτωση πυρκαγιάς, στον κλάδο καθόδου συμμετέχουν οι πιέσεις:

$$\Delta p_{ολ} = \Delta p_{επιβ.} + \Delta p_{φορτ.} + \Delta p_T + \Delta p_H + \Delta p_{fire} \quad (5.3.3-14)$$

*στον κλάδο καθόδου η υψομετρική διαφορά ΔH είναι θετική, οπότε δεν απαιτείται αρνητικό πρόσημο για να προστεθεί η διαφορά πίεσης στην ολική απαιτούμενη πίεση.

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων πιέσεων με τη παρεμβολή ανέμου, σε περίπτωση πυρκαγιάς, στον κλάδο ανόδου συμμετέχουν οι πιέσεις:

$$\Delta p_{ολ} = \Delta p_{επιβ.} + \Delta p_{φορτ.} + \Delta p_T - \Delta p_H + \Delta p_{fire} + \Delta p_w \quad (5.3.3-15)$$

Και αντίστοιχα στο κλάδο καθόδου, συμμετέχουν οι πιέσεις :

$$\Delta p_{ολ} = \Delta p_{επιβ.} + \Delta p_{φορτ.} + \Delta p_T + \Delta p_H + \Delta p_{fire} + \Delta p_w \quad (5.3.3-16)$$

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων πιέσεων χωρίς τη παρεμβολή ανέμου, σε περίπτωση εκπομπής καυσαερίων, στον κλάδο ανόδου συμμετέχουν οι πιέσεις:

$$\Delta p_{ολ} = \Delta p_{επιβ.} + \Delta p_{φορτ.} + \Delta p_T - \Delta p_H \quad (5.3.3-17)$$

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων πιέσεων χωρίς τη παρεμβολή ανέμου, σε περίπτωση εκπομπής καυσαερίων, στον κλάδο καθόδου συμμετέχουν οι πιέσεις:

$$\Delta p_{ολ} = \Delta p_{επιβ.} + \Delta p_{φορτ.} + \Delta p_T + \Delta p_H \quad (5.3.3-18)$$

Οι διαφορά πιέσεων που προκαλείται από τη κίνηση των επιβατικών οχημάτων και των φορτηγών οχημάτων, λαμβάνεται *θετική* όταν η ταχύτητα του αέρα είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα των κινούμενων οχημάτων (ταχύτητες με την ίδια διανυσματική φορά), και *αρνητική* όταν η ταχύτητα του αέρα είναι μικρότερη από την ταχύτητα των κινούμενων οχημάτων.

Η απαιτούμενη ώση μέσα στην σήραγγα υπολογίζεται μέσω της σχέσης :

$$T(N) = \Delta P(Pa) * A(m^2) \quad (5.3.3-19)$$

Μέσω αυτής της σχέσης υπολογίζεται η απαιτούμενη ώση μέσα στη σήραγγα σε περίπτωση άπνοιας και σε περίπτωση ανέμων στο εξωτερικό περιβάλλον.

Η ώση των ανεμιστήρων υπολογίζεται ως εξής:

$$S = \rho * Q_j * (u_j - v_u) * n \quad (5.3.3-20)$$

Όπου,

S Ενεργός δύναμη ώσης των ανεμιστήρων (N)

ρ Πυκνότητα αέρα στη σήραγγα

Q_j Παροχή ανεμιστήρα

u_j Ταχύτητα αέρα στην έξοδο του ανεμιστήρα

v_u Ελάχιστη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα

n Συντελεστής εγκατάστασης ανεμιστήρων

Στην περίπτωση της κανονικής λειτουργίας επιλέγεται η μέγιστη ταχύτητα από αυτές που προκύπτουν από τον υπολογισμό των εκπομπών καυσαερίων των οχημάτων και με βάση αυτή υπολογίζονται τα μεγέθη σε όλο το μήκος της σήραγγας.

Ο αριθμός των απαιτούμενων ανεμιστήρων (z) προκύπτει ως εξής:

$$z = \Sigma \Delta p \cdot A / S. \quad (5.3.3-21)$$

Για παράδειγμα η πίεση που αναλαμβάνουν να καλύψουν οι ανεμιστήρες, και τελικά ο απαιτούμενος αριθμός των ανεμιστήρων, για ταχύτητα οχημάτων $v=0\text{km/h}$, για τον κλάδο ανόδου, προκύπτει ως εξής :

V(1) : επιλέγουμε την μέγιστη απαιτούμενη παροχή αέρα αραίωσης ρύπων (CO, NOx, καπνού) στη σήραγγα, ήτοι:

$$\text{Max} (0.43, 0.02, 0) = 0.43\text{m}^3/\text{sec}$$

Re : υπολογίζεται μέσω της σχέσης $Re = u \cdot Dh / \nu = 0.43 \cdot 8.19 / 15 \cdot 10^{-6}$

λ : προσδιορίζεται μέσω του διαγράμματος Moody (θεωρώντας ως $\epsilon = 0,15$),

$$\lambda = 0,0250$$

$N_{\text{επιβ.}}$: προκύπτει από τον Πίνακα 2

$$N_{\text{επιβ}} = 126,9$$

$N_{\text{φορτ.}}$: προκύπτει από τον Πίνακα 2

$$N_{\text{επιβ}} = 81,1$$

$$\Delta p_{\text{επιβ.}} = C_{b_r} \cdot N_{\text{επιβ.}} \cdot C_{w_{pb}} \cdot A_{pc} / A \cdot \rho_{\text{air}} / 2 \cdot (v_{\text{επιβ.}} - v_{(1)})^2 = 0.7 \cdot 126.9 \cdot 0.4 \cdot 2 / 63.2 \cdot 1.2 / 2 \cdot (0/3.6 - 0.43)^2 = 0.12\text{Pa}$$

$$\Delta p_{\text{επιβ}} = 0.12\text{Pa}$$

$$\Delta p_{\text{φορτ.}} = C b_r \cdot N_{\text{φορτ.}} \cdot C_{W_{pb}} \cdot A_{hgV} / A \cdot \rho_{\text{air}} / 2 \cdot (v_{\text{φορτ.}} - v_{(1)})^2 =$$

$$0.7 \cdot 81.1 \cdot 1 \cdot 7 / 63.2 \cdot 1.2 / 2 \cdot (0/3.6 - 0.43)^2 = 0.7 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{\text{φορτ}} = 0.7 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_T = (\zeta_1 + \zeta_2 + \lambda \cdot L / D) \cdot \rho \cdot v_u^2 / 2 =$$

$$(1 + 0.6 + 0.0250 \cdot 1000 \cdot 1234 / 8.19) \cdot 1.2 \cdot 0.43^2 / 2 = 0.59 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_T = 0.59 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_H = \Delta H * \rho * g * (T_i - T_o) / (T_i + 273) =$$

$$(-11) * 1.2 * 9.81 * (20 - 20) / (20 + 273) = 0 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_H = 0 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_w = v_{\text{ανέμου}}^2 * \rho / 2 =$$

$$7.5^2 * 1.2 / 2 = 33.75 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_w = 33.75 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{\text{ρολ}(\chi, \alpha)}^* = \Delta p_{\text{επιβ.}} + \Delta p_{\text{φορτ.}} + \Delta p_T - \Delta p_H$$

Όπου $\Delta p_{\text{ρολ}(\chi, \alpha)}^*$: οι συνολικές απώλειες πίεσης χωρίς την παρεμβολή ανέμου

$$\Delta p_{\text{ρολ}(\chi, \alpha)} = 0,12 + 0,7 + 0,59 = \mathbf{1,41 \text{ Pa}}$$

$$\Delta p_{\text{ρολ}(\alpha)}^* = \Delta p_{\text{επιβ.}} + \Delta p_{\text{φορτ.}} + \Delta p_T - \Delta p_H + \Delta p_w$$

Όπου $\Delta p_{\text{ρολ}(\alpha)}^*$: οι συνολικές απώλειες πίεσης με την παρεμβολή ανέμου

$$\Delta p_{\text{ρολ}(\alpha)} = 0,12 + 0,7 + 0,59 + 33,75 = \mathbf{35,16 \text{ Pa}}$$

$$T_{(\chi, \alpha)} = \Delta p_{\text{ρολ}(\chi, \alpha)} * A = 1,41 * 63,2 = \mathbf{89,3 \text{ N}}$$

$$T_{(\alpha)} = \Delta p_{\text{ρολ}(\alpha)} * A = 35,16 * 63,2 = \mathbf{2222,3 \text{ N}}$$

$$S = \rho * Q_j * (u_j - v_u) * n$$

$$1.2 * 35.4 * (35.9 - 0.43) * 0.98 * 0.94 * 1 = 1388.1 \text{ N}$$

$$S = \mathbf{1388.1 \text{ N}}$$

$$z_{(\chi, \alpha)} = \Sigma \Delta p * A / S = T_{(\chi, \alpha)} / S = 89.3 / 1388.1 = \mathbf{1 \text{ ανεμιστήρας}}$$

$$z_{(\alpha)} = \Sigma \Delta p * A / S = T_{(\alpha)} / S = 2222,3 / 1388,1 = \mathbf{2 \text{ ανεμιστήρες}}$$

Έτσι λοιπόν προέκυψε ότι για ταχύτητα οχημάτων $v=0\text{km/h}$, στον κλάδο ανόδου, χωρίς την παρεμβολή ανέμου απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών της πτώσης πίεσης **1 ανεμιστήρας**, ενώ για την κάλυψη των αναγκών της πτώσης πίεσης με την παρεμβολή ανέμου απαιτούνται **2 ανεμιστήρες**.

Για παράδειγμα η πίεση που αναλαμβάνουν να καλύψουν οι ανεμιστήρες, και τελικά ο απαιτούμενος αριθμός των ανεμιστήρων, στον κλάδο ανόδου σε περίπτωση πυρκαγιάς, προκύπτει ως εξής :

$V(1)$: η κρίσιμη ταχύτητα αερισμού πολλαπλασιαζόμενη με τον λόγο των δύο πυκνοτήτων ρ_{air}/ρ_{airf} (πρίν και μετά τη φωτιά), ήτοι:

$$V(1) = v_{cr} * \rho_{air}/\rho_{airf} = 2.88 * 1,2/1,05 = 3,29 \text{ m/sec}$$

Re : υπολογίζεται μέσω της σχέσης $Re = u * Dh / \nu = 3,29 * 8,19 / 15 * 10^{-6} = 1796509$

λ : προσδιορίζεται μέσω του διαγράμματος Moody (θεωρώντας ως $\epsilon = 0,15$),

$$\lambda = 0,0160$$

$N_{\epsilon\pi\beta}$: προκύπτει από τον Πίνακα 2

$$N_{\epsilon\pi\beta} = 126,9/2 = 63,4$$

$N_{\phi\omicron\rho\rho\tau}$: προκύπτει από τον Πίνακα 2

$$N_{\epsilon\pi\beta} = 81,1/2 = 40,6$$

$$\Delta p_{\epsilon\pi\beta} = C_{b_r} * N_{\epsilon\pi\beta} * C_{W_{pb}} * A_{pc}/A * \rho_{airf}/2 * (v_{\epsilon\pi\beta} - v(1))^2 = 0,7 * 63,4 * 0,4 * 2/63,2 * 1,05/2 * (0 - 3,29)^2 = 3,1 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{\epsilon\pi\beta} = 3,1 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{\phi\omicron\rho\rho\tau} = C_{b_r} * N_{\phi\omicron\rho\rho\tau} * C_{W_{pb}} * A_{hgv}/A * \rho_{airf}/2 * (v_{\phi\omicron\rho\rho\tau} - v(1))^2 = 0,7 * 40,6 * 1 * 7/63,2 * 1,05/2 * (0 - 3,29)^2 = 17,7 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{\phi\omicron\rho\rho\tau} = 17,7 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_T = (\zeta_1 + \zeta_2 + \lambda * L/D) * \rho_{airf} * v_u^2 / 2 = (1 + 0,6 + 0,0250 * 1000 * 1234/8,19) * 1,05 * 3,29^2 / 2 = 22,78 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_T = 22,78 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_H = \Delta H * \rho_{airf} * g * (T_{if} - T_o) / (T_{if} + 273) =$$

$$(-11) * 1,05 * 9,81 * (69 - 20) / (69 + 273) = 0 Pa$$

$$\Delta p_H = -16,21 Pa$$

$$\Delta p_w = v_{ανέμου}^2 * \rho_{airf} / 2 =$$

$$7,5^2 * 1,05 / 2 = 29,53 Pa$$

$$\Delta p_w = 29,53 Pa$$

$$\Delta p_t = 18 Pa$$

$$\Delta p_{ρολ(χ.α)}^* = \Delta p_{επιβ.} + \Delta p_{φορτ.} + \Delta p_T - \Delta p_H + \Delta p_t$$

Όπου $\Delta p_{ρολ(χ.α)}^*$: οι συνολικές απώλειες πίεσης χωρίς την παρεμβολή ανέμου

$$\Delta p_{ρολ(χ.α)} = 3,1 + 17,7 + 22,78 + 16,21 + 18 = 78,01 Pa$$

$$\Delta p_{ρολ(α)}^* = \Delta p_{επιβ.} + \Delta p_{φορτ.} + \Delta p_T - \Delta p_H + \Delta p_w + \Delta p_t$$

Όπου $\Delta p_{ρολ(α)}^*$: οι συνολικές απώλειες πίεσης με την παρεμβολή ανέμου

$$\Delta p_{ρολ(α)} = 3,1 + 17,7 + 22,78 + 29,53 + 16,21 + 18 = 107,58 Pa$$

$$T_{(χ.α)} = \Delta p_{ρολ(χ.α)} * A = 78,01 * 63,2 = 4930,2 N$$

$$T_{(α)} = \Delta p_{ρολ(α)} * A = 107,58 * 63,2 = 6799,0 N$$

$$S = \rho_{airf} * Q_j * (u_j - v_u) * n$$

$$1,05 * 35,4 * (35,9 - 3,29) * 0,98 * 0,94 * 1 = 1116,6 N$$

$$S = 1116,6 N$$

$$z_{(χ.α)} = \Sigma \Delta p * A / S = T_{(χ.α)} / S = 4930,2 / 1116,6 = 5 \text{ ανεμιστήρες}$$

$$z_{(\alpha)} = \Sigma \Delta p * A / S = T_{(\alpha)} / S = 6799,0 / 1116,6 = 7 \text{ ανεμιστήρες}$$

Έτσι λοιπόν προέκυψε ότι σε περίπτωση πυρκαγιάς, στον κλάδο ανόδου, χωρίς την παρεμβολή ανέμου απαιτούνται για την κάλυψη των αναγκών της πτώσης πίεσης **5 ανεμιστήρες**, ενώ για την κάλυψη των αναγκών της πτώσης πίεσης με την παρεμβολή ανέμου απαιτούνται **7 ανεμιστήρες**.

5.4 Αποτελέσματα υπολογισμών

Στους υπολογισμούς αερισμού-εξαερισμού για τη Σήραγγα, παρουσιάζεται ο απαιτούμενος αριθμός ανεμιστήρων για :

- Αραίωση των ρύπων σε συγκεντρώσεις κάτω από τις μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές
- Αντιμετώπιση πυρκαγιάς ισχύος 50M και για τους δύο κλάδους της σήραγγας

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στις ακόλουθες παραγράφους

5.4.1 Κλάδος ανόδου

Ο αναγκαίος αριθμός ανεμιστήρων για αραίωση ρύπων και εξαερισμό σε περίπτωση πυρκαγιάς είναι σύμφωνα με τα ακόλουθα (για τη δυσμενέστερη περίπτωση – με ανεμόπτωση):

Σενάριο		Απαιτούμενος αριθμός ανεμιστήρων
Ταχύτητα κίνησης οχημάτων - 0km/h	:	2
Ταχύτητα κίνησης οχημάτων - 10km/h	:	4
Ταχύτητα κίνησης οχημάτων - 20km/h	:	4
Ταχύτητα κίνησης οχημάτων - 40km/h	:	0
Ταχύτητα κίνησης οχημάτων - 60km/h	:	0
Ταχύτητα κίνησης οχημάτων - 90km/h	:	0
Πυρκαγιά	:	7
Επιλεγόμενος αριθμός ανεμιστήρων	:	7

Στον πίνακα αυτό ο κάθε ανεμιστήρας έχει θεωρηθεί ότι λειτουργεί στη μέγιστη ταχύτητα περιστροφής. Λαμβάνοντας υπόψη τη δυνατότητα ρύθμισης της ταχύτητας περιστροφής –σε 4 τουλάχιστον βαθμίδες, είναι δυνατή και προτείνεται στα σενάρια αραίωσης ρύπων που παρουσιάζονται στη συνέχεια του παρόντος, η λειτουργία μεγαλύτερου αριθμού ανεμιστήρων σε μειωμένη ταχύτητα περιστροφής. Λόγω της απαίτησης δύο εφεδρικών φυσητήρων, ο απαιτούμενος αριθμός φυσητήρων είναι **9**.

5.4.2 Κλάδος καθόδου

Ο αναγκαίος αριθμός ανεμιστήρων για αραίωση ρύπων και εξαερισμό σε περίπτωση πυρκαγιάς είναι σύμφωνα με τα ακόλουθα:

Σενάριο		Απαιτούμενος αριθμός ανεμιστήρων
Ταχύτητα κίνησης οχημάτων - 0km/h	:	2
Ταχύτητα κίνησης οχημάτων - 10km/h	:	3
Ταχύτητα κίνησης οχημάτων - 20km/h	:	3
Ταχύτητα κίνησης οχημάτων - 40km/h	:	0
Ταχύτητα κίνησης οχημάτων - 60km/h	:	0
Ταχύτητα κίνησης οχημάτων - 90km/h	:	0
Πυρκαγιά	:	7
Επιλεγόμενος αριθμός ανεμιστήρων	:	7

Στον πίνακα αυτό ο κάθε ανεμιστήρας έχει θεωρηθεί ότι λειτουργεί στη μέγιστη ταχύτητα περιστροφής. Λαμβάνοντας υπόψη τη δυνατότητα ρύθμισης της ταχύτητας περιστροφής –σε 4 τουλάχιστον βαθμίδες, είναι δυνατή και προτείνεται στα σενάρια αραίωσης ρύπων που παρουσιάζονται στη συνέχεια του παρόντος, η λειτουργία μεγαλύτερου αριθμού ανεμιστήρων σε μειωμένη ταχύτητα περιστροφής. Λόγω της απαίτησης δύο εφεδρικών φυσητήρων, ο απαιτούμενος αριθμός φυσητήρων είναι **9**.

5.4.3 Εγκάρσιες στοές διαφυγής

Συμπληρωματικά των ανεμιστήρων ώσης που τοποθετούνται κατά μήκος κάθε κλάδου της σήραγγας, θα τοποθετηθούν φυγοκεντρικοί ανεμιστήρες προσαγωγής αέρα, στις εγκάρσιες διελεύσεις για την διασφάλιση:

- α) υπερπίεσης στο χώρο των ανωτέρω διελεύσεων σε περίπτωση πυρκαγιάς για τη διασφάλιση μη εισχώρησης καπνού
- β) του αερισμού-εξαερισμού του χώρου

Οι ανωτέρω ανεμιστήρες θα είναι τύπου fan section παροχής 1000m³/h – εξωτερικής στατικής 100Pa.

Θα συνδέονται σε αεραγωγό από γαλβανισμένη λαμαρίνα διαστάσεων 25x25cm ο οποίος θα αναρροφά αέρα από τους κλάδους της σήραγγας. Στο κάθε άκρο του αεραγωγού, εντός του χώρου της εγκάρσιας όδευσης διαφυγής, θα εγκατασταθεί πυράντοχο πολύφυλλο διάφραγμα 90min με ηλεκτροκινητήρα, εύτηκτο σύνδεσμο και τερματικές επαφές (MFD).

Η απόρριψη του αέρα, θα γίνεται ελεύθερα (υπερπίεση) μέσω αντίστοιχων ανοιγμάτων διαστάσεων 25x25cm, με πυράντοχα πολύφυλλα διαφράγματα 90min σε απόσταση ~2μ κάτω από τα ανοίγματα λήψης αέρα.

Η λειτουργία των MFD –σε περίπτωση πυρκαγιάς στον ένα κλάδο, θα καθορίζεται μέσω εντολών από το σύστημα SCADA, ώστε να αποφεύγεται η λήψη αέρα από τον κλάδο στον οποίο εκδηλώθηκε η πυρκαγιά.

5.5 Κατασκευαστικά στοιχεία

5.5.1 Αξονικοί ανεμιστήρες αερισμού σηράγγων

Οι αξονικοί ανεμιστήρες ώσεως θα είναι κατάλληλοι για διαμήκη αερισμό σηράγγας και θα έχουν τα εξής τεχνικά χαρακτηριστικά κατ' ελάχιστον.

- (1) Τύπος ανεμιστήρα : Αξονικός (Jet Fan)
- (2) Τύπος ηλεκτροκινητήρα: 3-φασικός βραχυκυκλωμένου δρομέα προστασίας IP.54 κατά DIN 40050/IEC
- (3) Τάση δικτύου 380/220 V - 50 Hz
- (4) Συντελεστής ισχύος $\cos.f > 0,8$
- (5) Στάθμη θορύβου < 85 dB (A) στα 10 m και ελεύθερο πεδίο
- (6) Με 2 κυλινδρικούς ηχοαποσβεστήρες στην είσοδο και έξοδο του ανεμιστήρα, έκαστος μήκους τουλάχιστον μιας διαμέτρου
- (7) Με δυνατότητα αντιστροφής της φοράς περιστροφής, χωρίς μείωση των αποδόσεων (συμμετρική κατασκευή) πέραν των 10%.
- (8) Με ειδική αντιδιαβρωτική προστασία
- (9) Αντοχή σε θερμοκρασία αέρος 250° C για λειτουργία μιας ώρας σε περίπτωση πυρκαγιάς.

5.5.2 Ηλεκτρολογική εγκατάσταση

Η τροφοδότηση των ανεμιστήρων θα γίνει από ανεξάρτητους πίνακες κίνησης που προβλέπονται σε εσοχές στις στοές διαφυγής.

Οι πίνακες κίνησης και τα όργανα των πινάκων της εγκατάστασης αερισμού θα είναι απόλυτα σύμφωνοι με τις αντίστοιχες προδιαγραφές ισχυρών ρευμάτων.

Οι προβλέψεις της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης (καλωδιώσεις, πίνακες κλπ) είναι πλήρεις για τον αριθμό των ανεμιστήρων που απαιτούνται για πρόβλεψη αντιμετώπισης πυρκαγιάς ισχύος 50 MW και θα περιλαμβάνει :

- (1) Ρυθμιστή στροφών για την εκκίνηση και τη ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής κάθε ανεμιστήρα.

(2) Διάταξη αναστροφής της φοράς περιστροφής. Η διάταξη αυτή θα καθιστά αδύνατη (με κατάλληλη μανδάλωση), ακόμη και σε περίπτωση λάθους, την αναστροφή της φοράς περιστροφής του ανεμιστήρα, όταν αυτός βρίσκεται σε λειτουργία .

5.5.3 Καλωδίωση - Στήριξη

Τα καλώδια τροφοδοσίας των πινάκων κίνησης και των ανεμιστήρων θα είναι κατά τη διαδρομή τους στη σήραγγα πυράντοχα NHXH FE180/E90 κατάλληλης διατομής. Σε αντίθετη περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τροφοδότηση των πινάκων καλώδια J11V κατάλληλης διατομής.

Ο τρόπος στήριξης των ανεμιστήρων θα υποβληθεί στη φάση της μελέτης εφαρμογής για έγκριση από την Υπηρεσία. Θα προβλεφθεί η τοποθέτηση αγκυρώσεων ή άλλων υλικών στήριξης κατά την κατασκευή της τελικής επένδυσης της σήραγγας. Η αγκύρωση θα γίνει με ανοξείδωτα υλικά.

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

6 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΕΡΑ ΓΙΑ ΑΡΑΙΩΣΗ ΡΥΠΩΝ-ΚΑΠΝΟΥ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, οι σχέσεις προσδιορισμού των απαιτούμενων ποσοτήτων αέρα για την αραιώση ρύπων-καπνού, είναι οι ακόλουθες :

$$Q_{co} = q_{co} * f_{cs} * f_h * f_a / d_{co} / 3600 * N * 10^6 / CO_{lim} \text{ (m}^3 \text{/sec)} \quad (7.1-1)$$

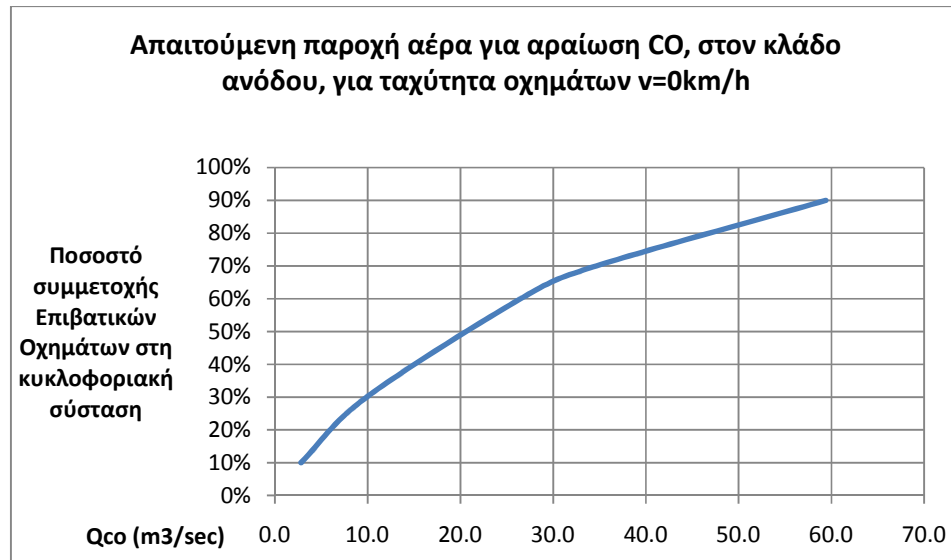
$$Q_{NOx} = q_{NOx} * f_{cs} * f_h * f_a / d_{NO} / 3600 * N * 10^6 / NO_{xlim} \text{ (m}^3 \text{/sec)} \quad (7.1-2)$$

$$Q_k = q_k * f_m * f_e * f_h * N * / 3600 / k_{lim} \text{ (m}^3 \text{/sec)} \quad (7.1-3)$$

Μέσω αυτών των σχέσεων, παρατηρώντας ποιες παράμετροι επηρεάζουν την απαιτούμενη ποσότητα αέρα για την αραιώση ρύπων-καπνού, παρουσιάζονται ακολούθως εποπτικά διαγράμματα και διατυπώνονται γενικά συμπεράσματα.

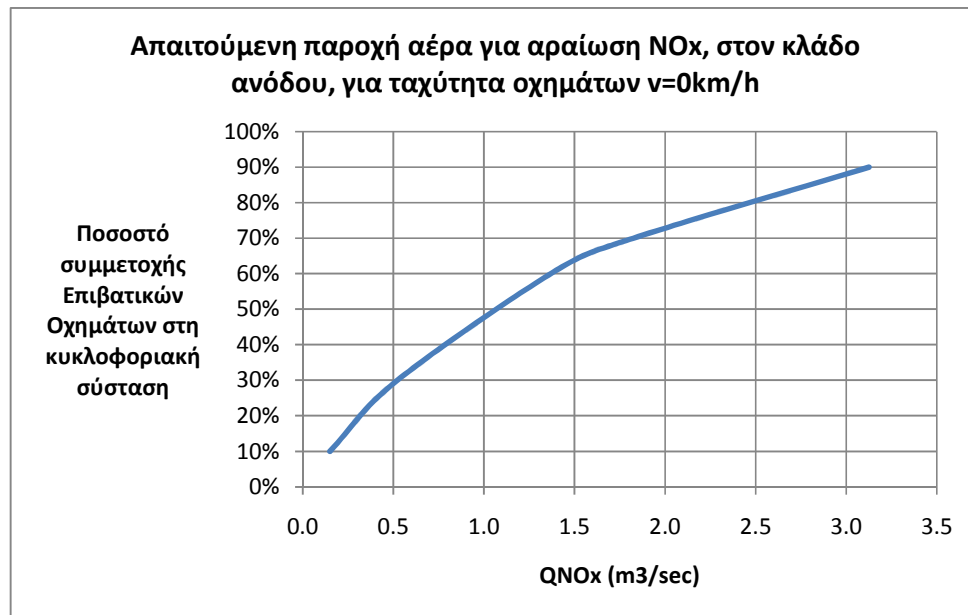
6.1.1 Μεταβάλλοντας τον αριθμό οχημάτων μέσα στη σήραγγα (N)

6.1.1.1 Μεταβάλλοντας τον αριθμό οχημάτων μέσα στη σήραγγα (N), συναρτήσει του ποσοστού συμμετοχής των Επιβατικών Οχημάτων στη κυκλοφοριακή σύσταση



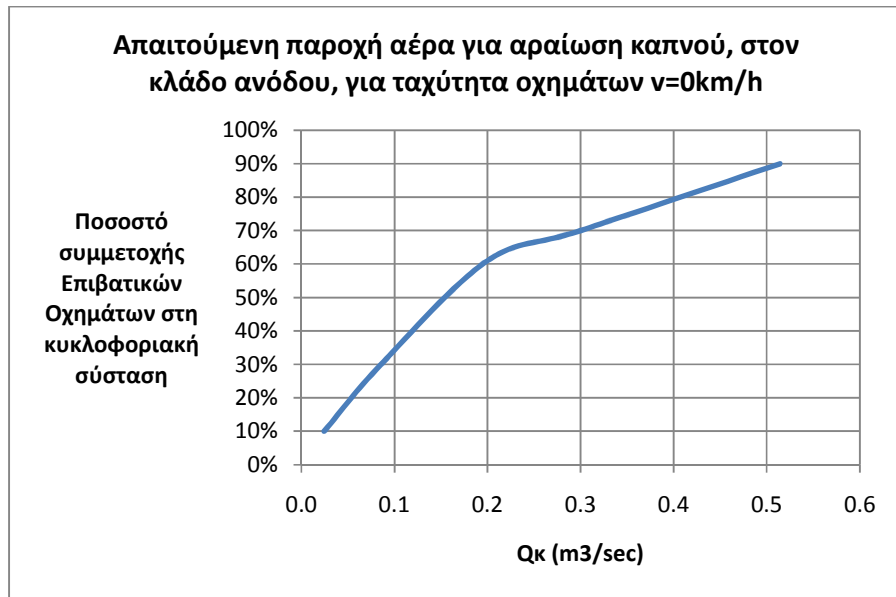
Διάγραμμα 7.1.1.1-1α

Μεταβολή της απαιτούμενης ποσότητας αέρα για την αραίωση CO συναρτήσει του ποσοστού συμμετοχής Επιβατικών Οχημάτων στη κυκλοφοριακή σύσταση



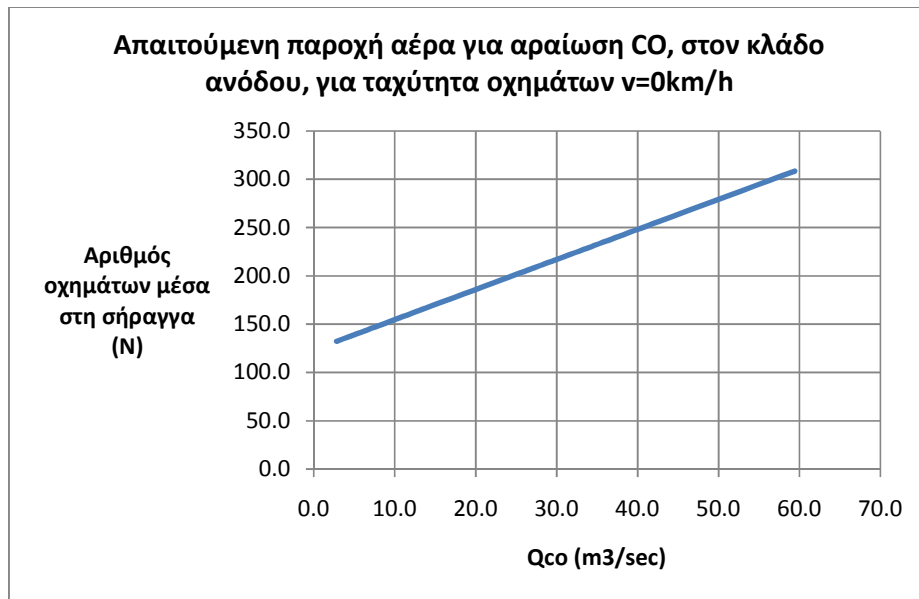
Διάγραμμα 7.1.1.1-1β

Μεταβολή της απαιτούμενης ποσότητας αέρα για την αραίωση NOx συναρτήσει του ποσοστού συμμετοχής Επιβατικών Οχημάτων στη κυκλοφοριακή σύσταση



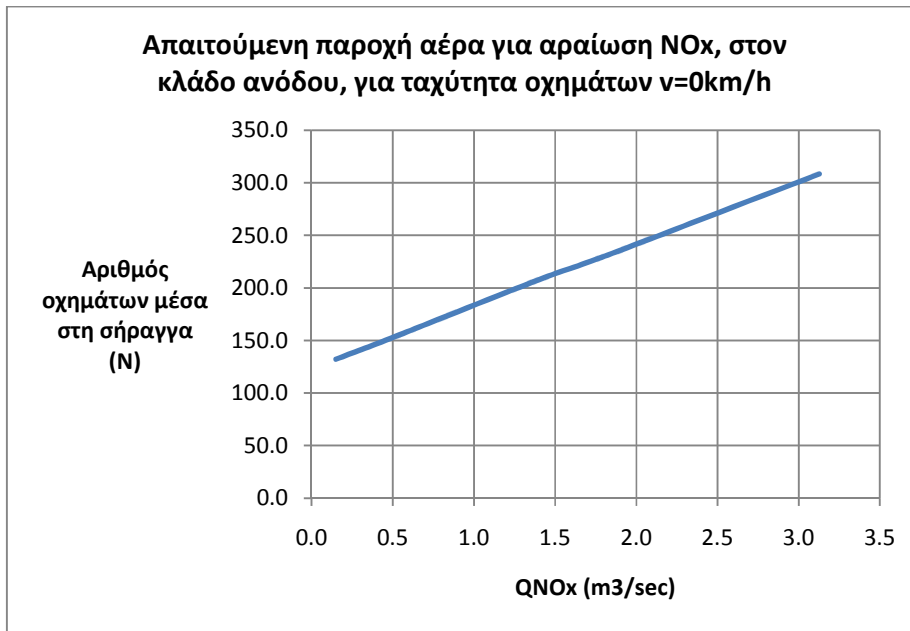
Διάγραμμα 7.1.1.1-1γ

Μεταβολή της απαιτούμενης ποσότητας αέρα για την αραιώση καπνού συναρτήσει του ποσοστού συμμετοχής Επιβατικών Οχημάτων στη κυκλοφοριακή σύσταση

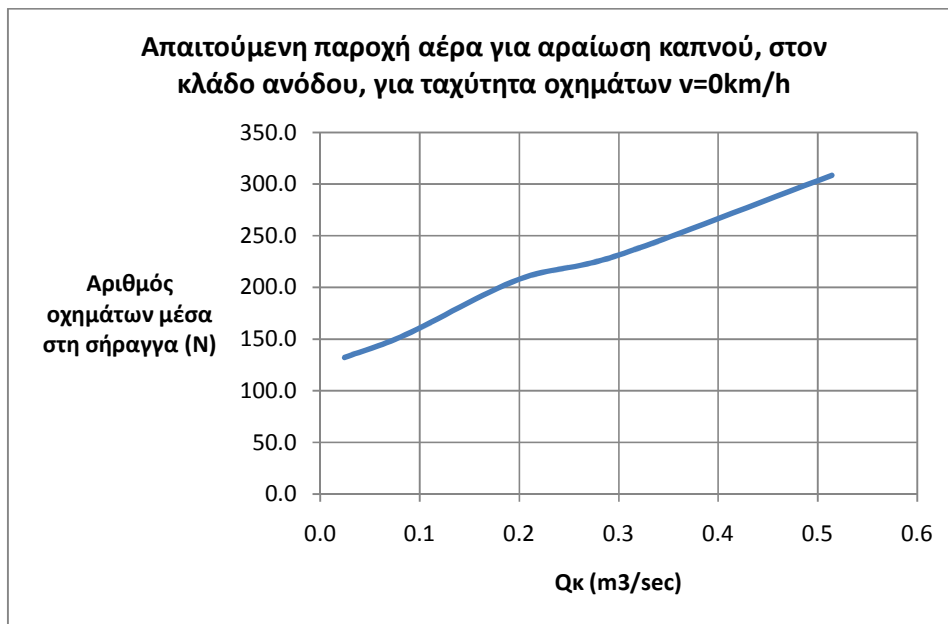


Διάγραμμα 7.1.1.1-2α

Μεταβολή της απαιτούμενης ποσότητας αέρα για την αραιώση CO συναρτήσει του αριθμού οχημάτων μέσα στη σήραγγα

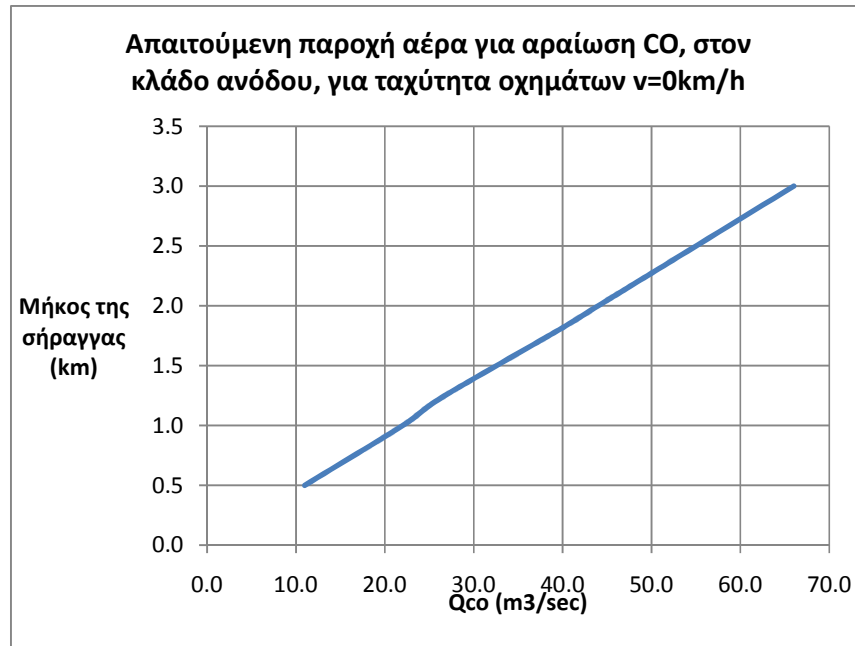


Διάγραμμα 7.1.1.1-2β
Μεταβολή της απαιτούμενης ποσότητας αέρα για την αραιώση NOx συναρτήσει του αριθμού οχημάτων μέσα στη σήραγγα.



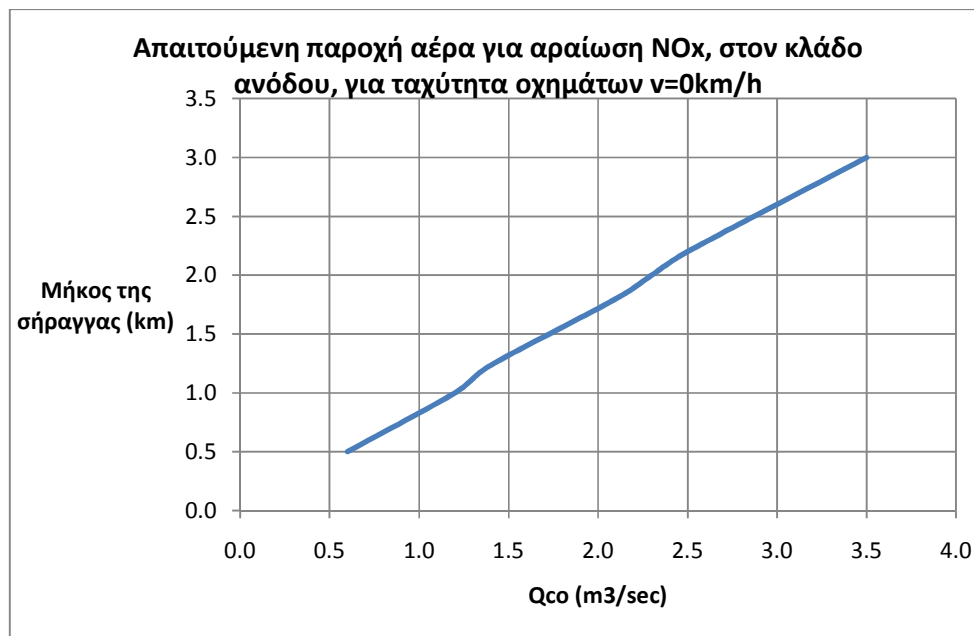
Διάγραμμα 7.1.1.1-2γ
Μεταβολή της απαιτούμενης ποσότητας αέρα για την αραιώση καπνού συναρτήσει του αριθμού οχημάτων μέσα στη σήραγγα.

6.1.1.2 Μεταβάλλοντας τον αριθμό οχημάτων μέσα στη σήραγγα (N), συναρτήσει του μήκους της σήραγγας



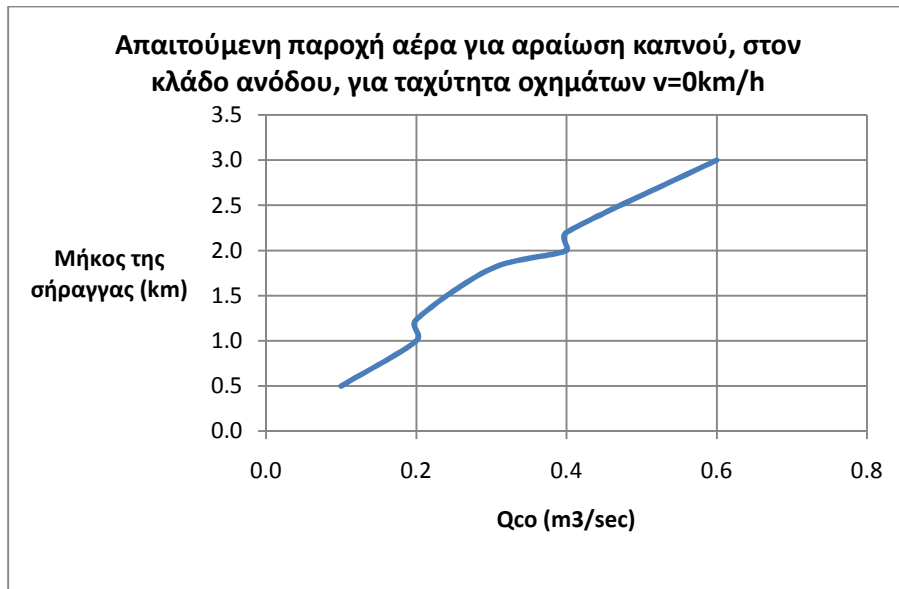
Διάγραμμα 7.1.1.2-1α

Μεταβολή της απαιτούμενης ποσότητας αέρα για την αραίωση CO συναρτήσει του μήκους της σήραγγας



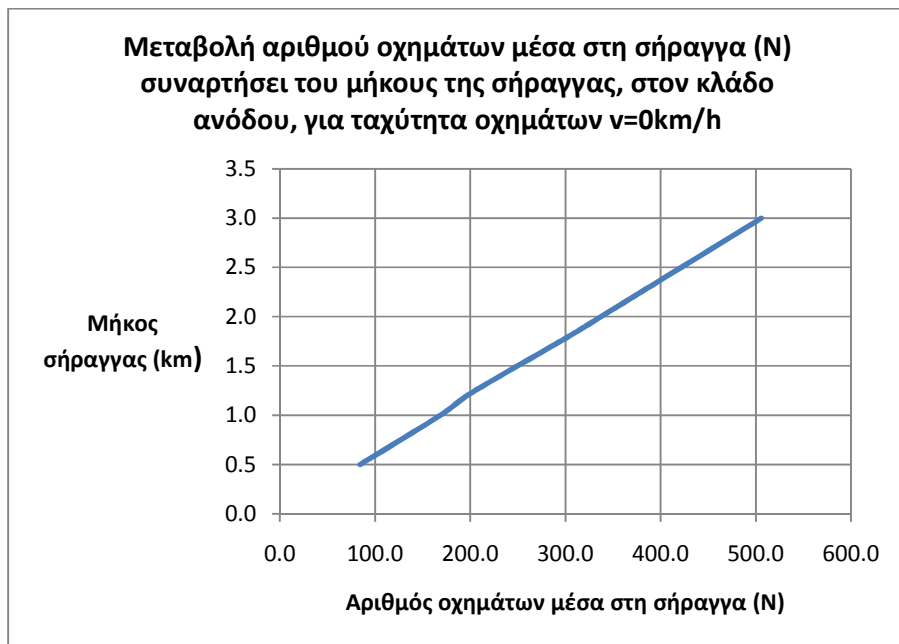
Διάγραμμα 7.1.1.2-1β

Μεταβολή της απαιτούμενης ποσότητας αέρα για την αραίωση NOx συναρτήσει του μήκους της σήραγγας



Διάγραμμα 7.1.1.2-1γ

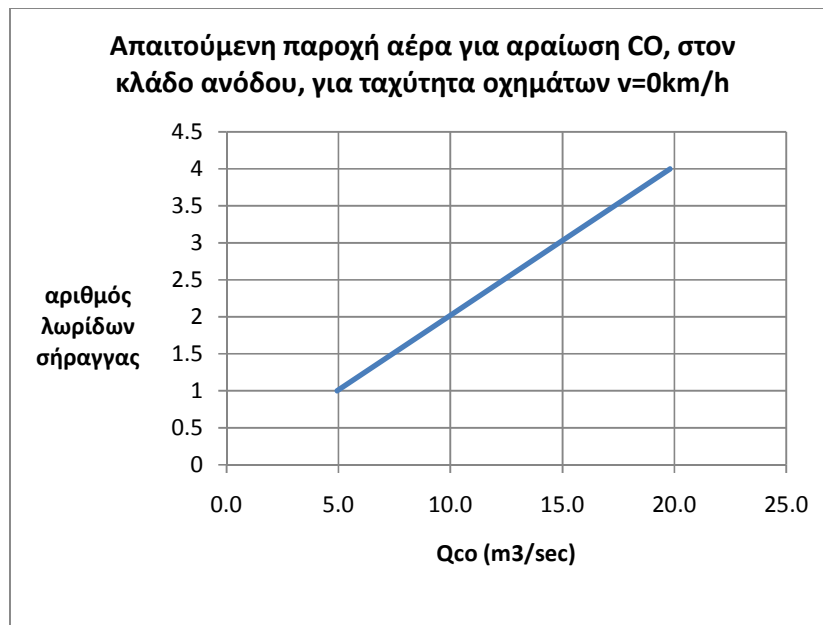
Μεταβολή της απαιτούμενης ποσότητας αέρα για την αραιώση καπνού συναρτήσει του μήκους της σήραγγας



Διάγραμμα 7.1.1.2-1δ

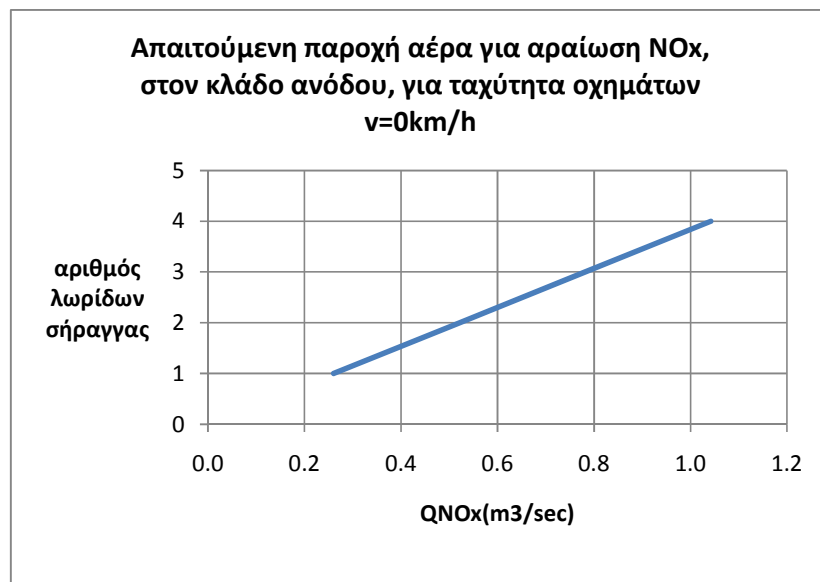
Μεταβολή της αριθμού οχημάτων μέσα στη σήραγγα (N) συναρτήσει του μήκους της σήραγγας

6.1.1.3 Μεταβάλλοντας τον αριθμό οχημάτων μέσα στη σήραγγα (N), συναρτήσει του αριθμού των λωρίδων κυκλοφορίας



Διάγραμμα 7.1.1.3-1α

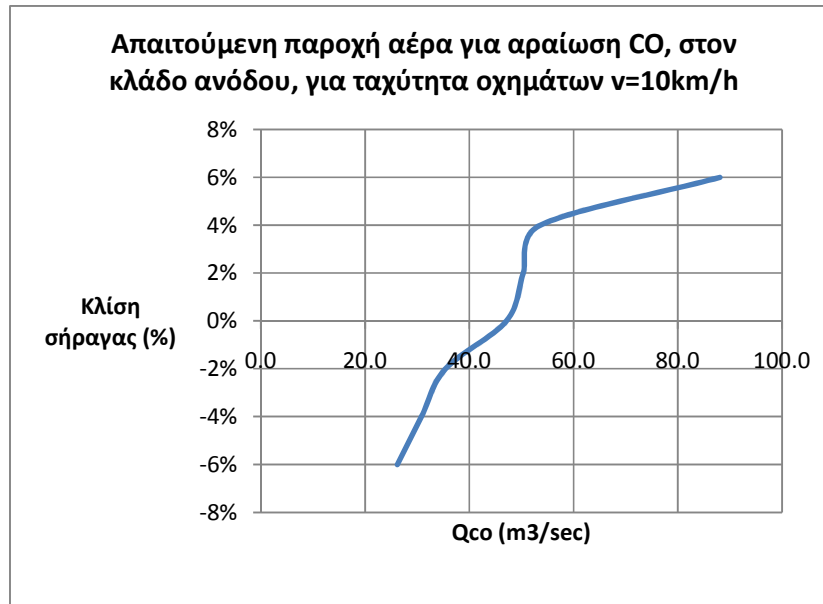
Μεταβολή της απαιτούμενης ποσότητας αέρα για την αραίωση CO συναρτήσει του αριθμού λωρίδων κυκλοφορίας της σήραγγας



Διάγραμμα 7.1.1.3-1β

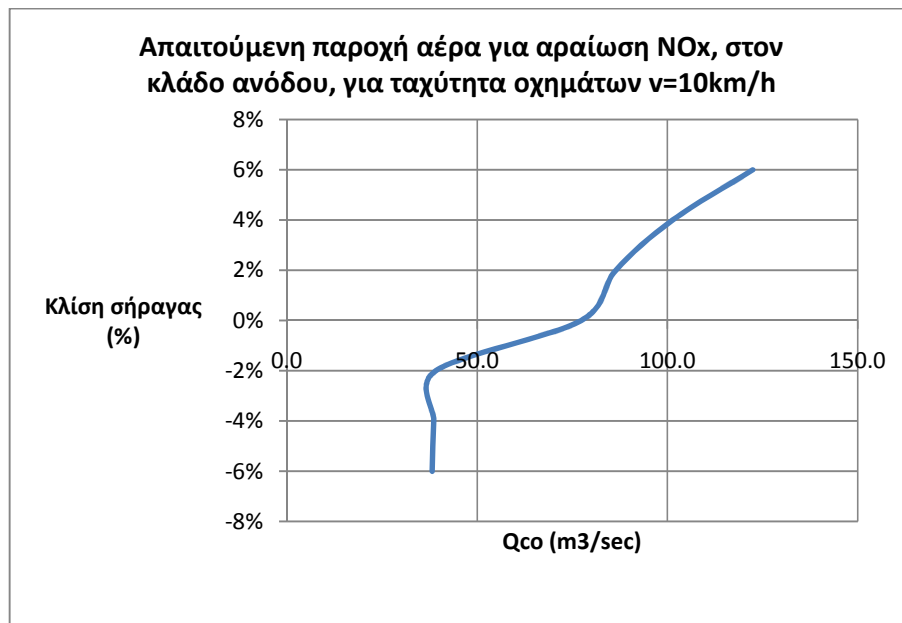
Μεταβολή της απαιτούμενης ποσότητας αέρα για την αραίωση NOx συναρτήσει του αριθμού λωρίδων κυκλοφορίας της σήραγγας

6.1.1.4 Μεταβάλλοντας την κλίση της σήραγγας (%)



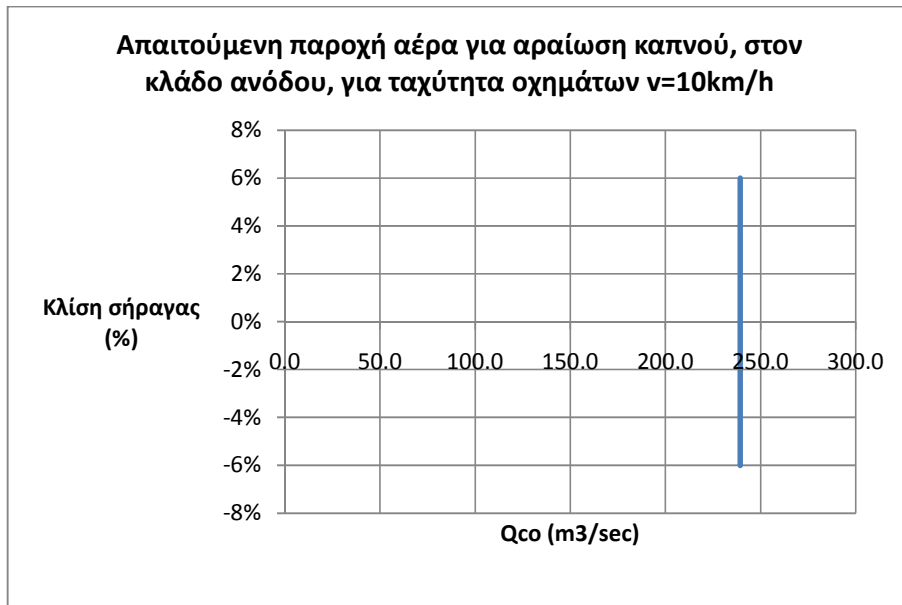
Διάγραμμα 7.1.1.4-1α

Μεταβολή της απαιτούμενης ποσότητας αέρα για την αραίωση CO συναρτήσει της κλίσης (%) της σήραγγας



Διάγραμμα 7.1.1.4-1β

Μεταβολή της απαιτούμενης ποσότητας αέρα για την αραίωση NOx συναρτήσει της κλίσης (%) της σήραγγας



Διάγραμμα 7.1.1.4-1γ

Μεταβολή της απαιτούμενης ποσότητας αέρα για την αραίωση καπνού συναρτήσει της κλίσης (%) της σήραγγας

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρατηρώντας τους παράγοντες επιρροής της απαιτούμενης ποσότητας αέρα για την αραίωση ρύπων-καπνού, διαπιστώνουμε τα εξής :

1. Η απαραίτητη ποσότητα αέρα για την αραίωση ρύπων-καπνού επηρεάζεται από τον αριθμό οχημάτων μέσα σε μια σήραγγα (N). Ο αριθμός οχημάτων μέσα σε μία σήραγγα επηρεάζεται με τη σειρά του, από τους εξής παράγοντες:
 - το ποσοστό συμμετοχής των επιβατικών οχημάτων στη κυκλοφοριακή σύσταση
 - το μήκος της σήραγγας
 - τον αριθμό των λωρίδων κυκλοφορίαςΑπό τα ανωτέρω διαγράμματα διαπιστώνουμε ότι ο παράγοντας εκείνος ο οποίος επηρεάζει περισσότερο τον αριθμό οχημάτων μέσα σε μια σήραγγα (N), οπότε και την απαιτούμενη ποσότητα αέρα για την αραίωση ρύπων – καπνού, είναι το ποσοστό συμμετοχής των επιβατικών οχημάτων στη κυκλοφοριακή σύσταση
2. Η απαραίτητη ποσότητα αέρα για την αραίωση ρύπων-καπνού επηρεάζεται από την κλίση της σήραγγας, αλλά όχι με ομοίμορφο ρυθμό όπως οι προηγούμενοι παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα διαπιστώνεται ότι η απαιτούμενη ποσότητα αέρα για την αραίωση ρύπων σε σήραγγες με αρνητική κλίση έως και κλίση της τάξεως του 4% δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα. Αντιθέτως για κλίσεις άνω του 4%, ο ρυθμός μεταβολής γίνεται ιδιαίτερα σημαντικός. Παρατηρείται ότι για κλίση σήραγγας άνω του 4%, διπλασιάζοντας την κλίση της σήραγγας, σχεδόν διπλασιάζεται και η απαιτούμενη ποσότητα αέρα για αραίωση ρύπων.
3. Οι παράγοντες όμως, οι οποίοι επηρεάζουν καθοριστικά την απαιτούμενη ποσότητα αέρα, είναι εκείνοι οι οποίοι σε συνθήκες πυρκαγιάς συμμετέχουν στον προσδιορισμό την *κρίσιμης ταχύτητας αέρα* για την αραίωση καπνού μέσα στη σήραγγα. Οι παράγοντες αυτοί είναι η κλίση της σήραγγας(s%), η εκπεμπόμενη θερμότητα σε περίπτωση πυρκαγιάς (Q), η θερμοκρασία στο σημείο πυρκαγιάς (T_f), η διατομή της σήραγγας (A) και το ύψος της σήραγγας (H).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΑΕΡΙΣΜΟΥ – ΚΛΑΔΟΣ ΑΝΟΔΟΥ

ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΤΟΣ 2025

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ (A) =	63,2	m ²
ΥΨΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ (H) =	6,98	m
ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ (P) =	30,86	m
ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (D) =	8,19	m
ΚΛΙΣΗ ΔΡΟΜΟΥ (Grad) =	0,89	%
ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (h) =	54,75	m

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 : ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑ

ΚΛΑΔΟΣ ΑΝΟΔΟΥ

Μήκος κλάδου =	1,234	km
Κλίση κλάδου =	0,89	%
Λωρίδες =	2	
AADT =	3.000	οχήματα/ημέρα
T50th.h =	420	οχήματα/ώρα
Bottling Traffic (v=0km/hr) =	150	pcu/km/lane
Congestion Traffic (v=10km/hr) =	70	pcu/km/lane
Fluid Traffic (v=60km/hr) =	30	pcu/km/lane
α =	3	επιβ/φορτ

Συνολικός αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας

		Κυκλοφοριακή Κατάσταση :	Ταχύτης Οχημάτων (km/hr) :						
			Bottling	Congestion	Fluid			High	
			0	10	20	40	60	100	
Επιβατικά	US83	61,0%	30,5%	63,4	29,6	26,2	19,5	12,7	1,6
	ECE 15/04		11,0%	22,8	10,7	9,4	7,0	4,6	0,6
	ECE 15/00		7,3%	15,2	7,1	6,3	4,7	3,0	0,4
	Diesel (EURO 1)		12,2%	25,4	11,8	10,5	7,8	5,1	0,6
Φορτηγά	Diesel (pre EURO)	39,0%	39,0%	81,1	37,9	33,5	24,9	16,2	2,0
			0,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			0,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Σύνολα :		100,0%	208,0	97,1	86,0	63,8	41,6	5,2	vehicles

ΣΥΝΟΛΑ:

Ν επιβ :	126,9	59,2	52,4	38,9	25,4	3,2
Ν φορτ :	81,1	37,9	33,5	24,9	16,2	2,0

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 : ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΡΥΠΩΝ (ΡΙΑΡC 95)

ΚΛΑΔΟΣ ΑΝΟΔΟΥ 0,89%

Εκπομπές ρύπου CO							
	Vn (km/hr)	0	10	20	40	60	100
Επιβατικά	US83	20,0	68,2	56,1	60,5	73,8	189,1
	ECE 15/04	101,3	202,7	317,8	376,1	430,7	1537,0
	ECE 15/00	290,3	549,4	833,9	1115,1	1434,5	8793,6
	Diesel (EURO 1)	3,0	10,4	16,0	20,0	21,0	26,5
Φορτηγά	Diesel (pre EURO)		135,6	168,0	225,2	283,7	

Εκπομπές ρύπου NOx							
	Vn (km/hr)	0	10	20	40	60	100
Επιβατικά	US83	1,0	2,6	5,2	10,4	14,1	62,3
	ECE 15/04	1,0	14,1	32,0	73,2	111,7	276,1
	ECE 15/00	1,0	18,2	46,9	109,9	158,0	472,5
	Diesel (EURO 1)	4,7	9,2	16,2	24,1	29,3	64,1
Φορτηγά	Diesel (pre EURO)		186,4	293,8	470,3	651,1	

Εκπομπές καπνού							
	Vn (km/hr)	0	10	20	40	60	100
Επιβατικά	US83	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	ECE 15/04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	ECE 15/00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Diesel (EURO 1)	0,3	6,2	9,0	16,1	27,3	36,0
Φορτηγά	Diesel (pre EURO)		97,5	112,9	145,8	117,5	

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 : ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ, ΛΟΓΩ ΡΥΠΩΝ

ΚΛΑΔΟΣ ΑΝΟΔΟΥ

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ

$V_{\text{επιβ}} = 0$ km/hr $\rho_{\text{CO}} = 1,200$ g/m³ $\rho_{\text{NOx}} = 2,000$ g/m³ $K_{\text{lim}} = 0.009$ 1/m
 $V_{\text{φορτ}} = 0$ km/hr $\text{CO}_{\text{lim}} = 150$ ppm $\text{NOx}_{\text{lim}} = 25$ ppm

Ρύπος : **CO** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qco : Εκπομή ρύπου CO ανα όχημα
 Qco : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου CO

	N	qco	fcs	fh	fa	qco'	Qco
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	46.3	20.0	1.00	2.60	1.67	86.8	6.2
ECE 15/04	16.7	101.3	1.00	1.78	1.00	180.3	4.6
ECE 15/00	11.1	290.3	1.00	1.78	1.00	516.7	8.9
Diesel (EURO 1)	18.5	3.0	1.00	1.21	1.00	3.6	0.1

	N	qco	fm	fe	fh	qco'	Qco
Φορτηγά							
Diesel (pre EURO)	216.0	0.0	0.00	1.00	1.35	0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : 308.5 οχήματα Απαιτούμενη παροχή αέρα: 19.8 m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : 0.31 m/sec

Ρύπος : **NOx** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας

qno_x : Εκπομή ρύπου NO_x ανα όχημα

Qno_x : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου No_x

	N	qno _x	fcs	fh	fa	qno _x '	Qno _x
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	46.3	1.0	1.00	1.00	1.73	1.7	0.4
ECE 15/04	16.7	1.0	1.00	0.74	1.00	0.7	0.1
ECE 15/00	11.1	1.0	1.00	0.74	1.00	0.7	0.0
Diesel (EURO 1)	18.5	4.7	1.00	1.00	1.00	4.7	0.5

Φορτηγά	N	qno _x	fm	fe	fh	qno _x '	Qno _x
Diesel (pre EURO)	216.0	0.0	0.00	1.00	1.00	0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **308.5** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα:** **1.0** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.02** m/sec

Ρύπος : **Καπνός** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας

qk : Εκπομή ρύπου καπνού ανά όχημα

Qk : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου καπνού

	N	qk	fcs	fh	fa	qk'	Qk
Επιβατικά	(οχημ.)	(m ² /hr)	()	()	()	(m ² /hr)	(m ³ /sec)
US83	46.3	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/04	16.7	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/00	11.1	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
Diesel (EURO 1)	18.5	0.3	1.00	1.00	1.00	0.3	0.2

Φορτηγά	N	qk	fm	fe	fh	qk'	Qk
Diesel (pre EURO)	216.0	0.0	0.00	1.00	1.00	0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **308.5** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα:** **0.2** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.00** m/sec

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ

V επιβ = **10** km/hr ρ CO = **1,200** g/m³ ρ NOx = **2,000** g/m³ K lim = **0.007** 1/m
 V φορτ = **10** km/hr CO lim = **100** ppm NOx lim = **25** ppm

Ρύπος : **CO** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qco : Εκπομή ρύπου CO ανα όχημα
 Qco : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου CO

	N	qco	fcs	fh	fa	qco'	Qco
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	29.4	68.2	1.00	2.60	1.67	295.9	13.4
ECE 15/04	10.6	202.7	1.00	1.78	1.00	360.8	5.9
ECE 15/00	7.1	549.4	1.00	1.78	1.00	977.9	10.7
Diesel (EURO 1)	11.8	10.4	1.00	1.21	1.00	12.6	0.2

Φορτηγά	N	qco	fm	fe	fh	qco'	Qco
Diesel (pre EURO)	37.6	135.6	1.80	1.00	1.35	329.4	19.1
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
Σύνολα :	96.5	οχήματα				Απαιτούμενη παροχή αέρα:	49.4 m ³ /sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.78** m/sec

Ρύπος : **NOx** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qnox : Εκπομή ρύπου NOx ανα όχημα
 Qnox : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου Nox

	N	qnox	fcs	fh	fa	qnox'	Qnox
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	29.4	2.6	1.00	1.00	1.73	4.5	0.7
ECE 15/04	10.6	14.1	1.00	0.74	1.00	10.4	0.6
ECE 15/00	7.1	18.2	1.00	0.74	1.00	13.5	0.5
Diesel (EURO 1)	11.8	9.2	1.00	1.00	1.00	9.2	0.6

Φορτηγά	N	qnox	fm	fe	fh	qnox'	Qnox
Diesel (pre EURO)	37.6	186.4	1.80	1.00	1.00	335.4	70.1
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
Σύνολα :	96.5	οχήματα				Απαιτούμενη παροχή αέρα:	72.6 m ³ /sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **1.15** m/sec

Ρύπος : **Καπνός** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qk : Εκπομή ρύπου καπνού ανά όχημα
 Qk : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου καπνού

	N	qk	fcs	fh	fa	qk'	Qk
Επιβατικά	(οχημ.)	(m ² /hr)	()	()	()	(m ² /hr)	(m ³ /sec)
US83	29.4	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/04	10.6	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/00	7.1	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
Diesel (EURO 1)	11.8	9.0	1.00	1.00	1.00	9.0	3.3

Φορτηγά	N	qk	fm	fe	fh	qk'	Qk
Diesel (pre EURO)	37.6	112.9	1.80	1.00	1.00	203.2	236.1
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **96.5** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα:** **239.3** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **3.79** m/sec

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ

V επιβ = **20** km/hr ρ CO = **1,200** g/m³ ρ NOx = **2,000** g/m³ K lim = **0.007** 1/m
 V φορτ = **20** km/hr CO lim = **100** ppm NOx lim = **25** ppm

Ρύπος : **CO** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qco : Εκπομή ρύπου CO ανα όχημα
 Qco : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου CO

	N	qco	fcs	fh	fa	qco'	Qco
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	26.1	56.1	1.00	2.60	1.67	243.6	14.7
ECE 15/04	9.4	317.8	1.00	1.78	1.00	565.6	12.3
ECE 15/00	6.3	833.9	1.00	1.78	1.00	1484.3	21.5
Diesel (EURO 1)	10.4	16.0	1.00	1.21	1.00	19.4	0.5

Φορτηγά	N	qco	fm	fe	fh	qco'	Qco
Diesel (pre EURO)	33.3	168.0	1.80	1.00	1.35	408.2	31.5
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
Σύνολα :	85.5	οχήματα				Απαιτούμενη παροχή αέρα:	80.5 m ³ /sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **1.27** m/sec

Ρύπος : **NOx** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qnox : Εκπομή ρύπου NOx ανα όχημα
 Qnox : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου Nox

	N	qnox	fcs	fh	fa	qnox'	Qnox
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	26.1	5.2	1.00	1.00	1.73	9.0	1.3
ECE 15/04	9.4	32.0	1.00	0.74	1.00	23.7	1.2
ECE 15/00	6.3	46.9	1.00	0.74	1.00	34.7	1.2
Diesel (EURO 1)	10.4	16.2	1.00	1.00	1.00	16.2	0.9

Φορτηγά	N	qnox	fm	fe	fh	qnox'	Qnox
Diesel (pre EURO)	33.3	293.8	1.80	1.00	1.00	528.8	97.9
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
Σύνολα :	85.5	οχήματα				Απαιτούμενη παροχή αέρα:	102.6 m ³ /sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **1.62** m/sec

Ρύπος : **Καπνός**

N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας

qκ : Εκπομή ρύπου καπνού ανά όχημα

Qκ : Παροχή φρέσκου αέρα αραίωσης ρύπου καπνού

	N	qκ	fcs	fh	fa	qκ'	Qκ
Επιβατικά	(οχημ.)	(m ² /hr)	()	()	()	(m ² /hr)	(m ³ /sec)
US83	26.1	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/04	9.4	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/00	6.3	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
Diesel (EURO 1)	10.4	9.0	1.00	1.00	1.00	9.0	3.7

Φορτηγά	N	qκ	fm	fe	fh	qκ'	Qκ
Diesel (pre EURO)	33.3	112.9	1.80	1.00	1.00	203.2	268.8
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **85.5** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα: 272.5** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **4.31** m/sec

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ

V επιβ = **40** km/hr ρ CO = **1,200** g/m³ ρ NOx = **2,000** g/m³ K lim = **0.007** 1/m
 V φορτ = **40** km/hr CO lim = **100** ppm NOx lim = **25** ppm

Ρύπος : **CO** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qco : Εκπομή ρύπου CO ανα όχημα
 Qco : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου CO

	N	qco	fcs	fh	fa	qco'	Qco
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	19.3	60.5	1.00	2.60	1.67	262.7	7.8
ECE 15/04	7.0	376.1	1.00	1.78	1.00	669.5	7.2
ECE 15/00	4.6	1115.1	1.00	1.78	1.00	1984.9	14.2
Diesel (EURO 1)	7.7	20.0	1.00	1.21	1.00	24.2	0.3

Φορτηγά	N	qco	fm	fe	fh	qco'	Qco
Diesel (pre EURO	24.7	225.2	1.80	1.00	1.35	547.2	20.9
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **63.4** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα: 50.4** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.80** m/sec

Ρύπος : **NOx** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qnox : Εκπομή ρύπου NOx ανα όχημα
 Qnox : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου NOx

	N	qnox	fcs	fh	fa	qnox'	Qnox
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	19.3	10.4	1.00	1.00	1.73	18.0	1.9
ECE 15/04	7.0	73.2	1.00	0.74	1.00	54.2	2.1
ECE 15/00	4.6	109.9	1.00	0.74	1.00	81.3	2.1
Diesel (EURO 1)	7.7	24.1	1.00	1.00	1.00	24.1	1.0

Φορτηγά	N	qnox	fm	fe	fh	qnox'	Qnox
Diesel (pre EURO	24.7	470.3	1.80	1.00	1.00	846.5	116.3
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **63.4** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα: 123.5** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **1.95** m/sec

Ρύπος : **Καπνός**

N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας

qk : Εκπομή ρύπου καπνού ανά όχημα

Qk : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου καπνού

	N	qk	fcs	fh	fa	qk'	Qk
Επιβατικά	(οχημ.)	(m ² /hr)	()	()	()	(m ² /hr)	(m ³ /sec)
US83	19.3	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/04	7.0	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/00	4.6	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
Diesel (EURO 1)	7.7	16.1	1.00	1.00	1.00	16.1	4.9

	N	qk	fm	fe	fh	qk'	Qk
Φορτηγά							
Diesel (pre EURO	24.7	145.8	1.80	1.00	1.00	262.4	257.5
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **63.4** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα: 262.4** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **4.15** m/sec

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ

V επιβ = **60** km/hr ρ CO = **1,200** g/m³ ρ NOx = **2,000** g/m³ K lim = **0.007** 1/m
 V φορτ = **60** km/hr CO lim = **100** ppm NOx lim = **25** ppm

Ρύπος : **CO** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qco : Εκπομή ρύπου CO ανα όχημα
 Qco : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου CO

	N	qco	fcs	fh	fa	qco'	Qco
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	12.6	73.8	1.00	2.60	1.67	320.2	6.2
ECE 15/04	4.5	430.7	1.00	1.78	1.00	766.6	5.4
ECE 15/00	3.0	1434.5	1.00	1.78	1.00	2553.4	11.9
Diesel (EURO 1)	5.0	21.0	1.00	1.21	1.00	25.4	0.2

Φορτηγά	N	qco	fm	fe	fh	qco'	Qco
Diesel (pre EURO)	16.1	283.7	1.80	1.00	1.35	689.3	17.2
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **41.4** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα:** **40.9** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.65** m/sec

Ρύπος : **CO** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qco : Εκπομή ρύπου CO ανα όχημα
 Qco : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου CO

	N	qco	fcs	fh	fa	qco'	Qco
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	12.6	73.8	1.00	2.60	1.67	320.2	6.2
ECE 15/04	4.5	430.7	1.00	1.78	1.00	766.6	5.4
ECE 15/00	3.0	1434.5	1.00	1.78	1.00	2553.4	11.9
Diesel (EURO 1)	5.0	21.0	1.00	1.21	1.00	25.4	0.2

Φορτηγά	N	qco	fm	fe	fh	qco'	Qco
Diesel (pre EURO)	16.1	283.7	1.80	1.00	1.35	689.3	17.2
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **41.4** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα:** **40.9** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.65** m/sec

Ρύπος : **Καπνός**

N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας

qk : Εκπομή ρύπου καπνού ανά όχημα

Qk : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου καπνού

	N	qk	fcs	fh	fa	qk'	Qk
Επιβατικά	(οχημ.)	(m ² /hr)	()	()	()	(m ² /hr)	(m ³ /sec)
US83	12.6	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/04	4.5	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/00	3.0	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
Diesel (EURO 1)	5.0	0.3	1.00	1.00	1.00	0.3	0.1

Φορτηγά	N	qk	fm	fe	fh	qk'	Qk
Diesel (pre EURO)	16.1	0.0	1.80	1.00	1.00	0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
Σύνολα :	41.4	οχήματα				Απαιτούμενη παροχή αέρα:	0.1 m ³ /sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.00** m/sec

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ

V επιβ = **100** km/hr CO = **1,200** g/m³ ρ NOx = **2,000** g/m³ K lim = **0.007** 1/m
 V φορτ = **100** km/hr) lim = **100** ppm NOx lim = **25** ppm

Ρύπος : **CO** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qco : Εκπομή ρύπου CO ανα όχημα
 Qco : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου CO

	N	qco	fcs	fh	fa	qco'	Qco
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	1.6	189.1	1.00	2.60	1.67	820.9	2.0
ECE 15/04	0.6	1537.0	1.00	1.78	1.00	2735.8	2.4
ECE 15/00	0.4	8793.6	1.00	1.78	1.00	15652.6	9.1
Diesel (EURO 1)	0.6	26.5	1.00	1.21	1.00	32.1	0.0

Φορτηγά	N	qco	fm	fe	fh	qco'	Qco	
Diesel (pre EURO	2.0	0.0	1.80	1.00	1.35	0.0	0.0	
	0.0	0.0				0.0	0.0	
	0.0	0.0				0.0	0.0	
Σύνολα :	5.2	οχήματα	Απαιτούμενη παροχή αέρα:				13.5	m ³ /sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.21** m/sec

Ρύπος : **NOx** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qnox : Εκπομή ρύπου NOx ανα όχημα
 Qnox : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου Nox

	N	qnox	fcs	fh	fa	qnox'	Qnox
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	1.6	62.3	1.00	1.00	1.73	107.8	0.9
ECE 15/04	0.6	276.1	1.00	0.74	1.00	204.3	0.6
ECE 15/00	0.4	472.5	1.00	0.74	1.00	349.7	0.7
Diesel (EURO 1)	0.6	64.1	1.00	1.00	1.00	64.1	0.2

Φορτηγά	N	qnox	fm	fe	fh	qnox'	Qnox	
Diesel (pre EURO	2.0	0.0	1.80	1.00	1.00	0.0	0.0	
	0.0	0.0				0.0	0.0	
	0.0	0.0				0.0	0.0	
Σύνολα :	5.2	οχήματα	Απαιτούμενη παροχή αέρα:				2.5	m ³ /sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.04** m/sec

Ρύπος : **Καπνός**

N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας

qk : Εκπομή ρύπου καπνού ανά όχημα

Qk : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου καπνού

	N	qk	fcs	fh	fa	qk'	Qk
Επιβατικά	(οχημ.)	(m ² /hr)	()	()	()	(m ² /hr)	(m ³ /sec)
US83	1.6	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/04	0.6	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/00	0.4	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
Diesel (EURO 1)	0.6	36.0	1.00	1.00	1.00	36.0	0.9

	N	qk	fm	fe	fh	qk'	Qk
Φορτηγά							
Diesel (pre EURO)	2.0	0.0	1.80	1.00	1.00	0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **5.2** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα:** **0.9** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.01** m/sec

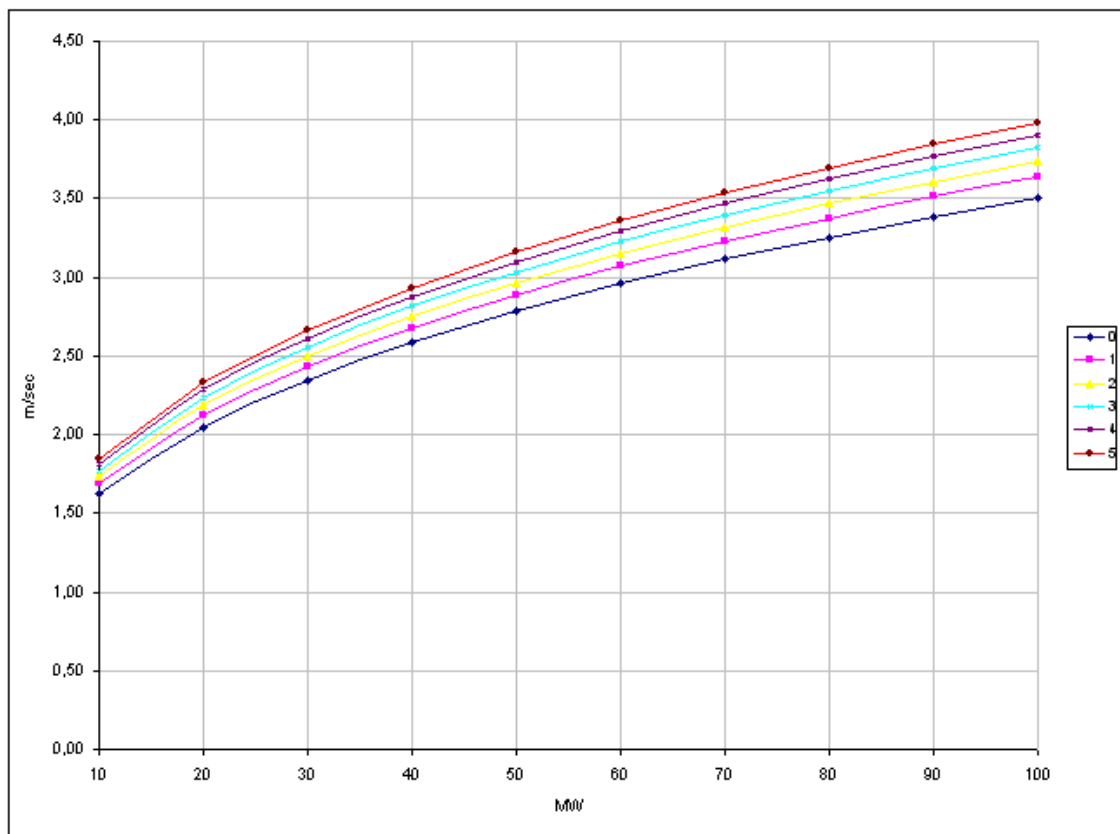
ΠΙΝΑΚΑΣ 5 : ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ, ΛΟΓΩ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ V_c (m/sec)

$C_p =$	1005	J/kg ^o K
$Q =$	50	MW
$g =$	9,81	m/sec ²
$Frc =$	4,50	
$K_1 =$	0,606	
$K_g =$	1,034	
$T =$	293	^o C
$T_f =$	555	^o K
$\rho =$	1,00	kg/m ³

$V_c =$ 2,88 m/sec

Q (MW)	ΚΛΙΣΗ ΔΡΟΜΟΥ(Grad) (%)					
	0	1	2	3	4	5
10	1,63	1,69	1,73	1,77	1,81	1,85
20	2,05	2,13	2,18	2,24	2,28	2,33
30	2,35	2,44	2,50	2,56	2,61	2,67
40	2,58	2,68	2,75	2,82	2,88	2,93
50	2,78	2,89	2,96	3,03	3,10	3,16
60	2,96	3,07	3,15	3,22	3,29	3,36
70	3,11	3,23	3,32	3,39	3,47	3,54
80	3,26	3,38	3,47	3,55	3,62	3,70
90	3,39	3,51	3,61	3,69	3,77	3,84
100	3,51	3,64	3,74	3,82	3,90	3,98



ΠΙΝΑΚΑΣ 6 : ΕΙΔΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Συντελεστής Οπισθέλκουσας Επιβατηγών σε Συμφόρηση (C_{wpb}) :	0,40	
Συντελεστής Οπισθέλκουσας Επιβατηγών σε Κανονική Ροή (C_{wpr}) :	0,35	
Συντελεστής Οπισθέλκουσας Φορτηγών σε Συμφόρηση (C_{wfb}) :	1,00	
Συντελεστής Οπισθέλκουσας Φορτηγών σε Κανονική Ροή (C_{wfr}) :	0,80	
Πυκνότητα Αέρα στην σήραγγα 20°C (ρ) :	1,20	kg/m ³
Πυκνότητα Αέρα σε πυρκαγιά (ρ) :	1,05	kg/m ³
Μέση θερμοκρασία εντός της σήραγγας (T_i) :	20	°C
Μέση θερμοκρασία εντός της σήραγγας σε πυρκαγιά (T_{if}) :	69	°C
Θερμοκρασία αέρα στα στόμια της σήραγγας (T_o) :	20	°C
Συντελεστής τραχύτητας ϵ :	0,165	mm
Λόγος ϵ / D :	0,000020	
Υψομετρική διαφορά στομίων σήραγγας ανόδου (ΔH) :	-11,0	m
Υψομετρική διαφορά στομίων σήραγγας καθόδου ($\Delta H_{_}$) :	10,9	m
Ταχύτητα ανέμου (κάθετη συνιστώσα) στο στόμιο της σήραγγας ανόδου (V_{Wf}) :	7,5	m/sec
Ταχύτητα ανέμου (κάθετη συνιστώσα) στο στόμιο της σήραγγας καθόδου ($V_{W_{_}}$) :	7,5	m/sec

ΠΙΝΑΚΑΣ 7 : ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ :	WOODS - JETFOIL 112 JTS
ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΩΣΗ (T) :	1500 N
ΓΩΝΙΑ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ (α) :	44 °
ΠΑΡΟΧΗ (Qj) :	35,4 m ³ /sec
ΤΑΧΥΤΗΤΑ (uj) :	35,9 m/sec
ΣΤΡΟΦΕΣ :	1470 RPM
ΑΠΟΡΟΦΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ :	51 kW
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΤΡΟΒΙΛΙΣΜΟΥ (n1) :	0,98
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΣΗΣ (n2) :	0,94
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ (n3) :	1,00

ΠΙΝΑΚΑΣ 8 : ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΚΛΑΔΟΣ ΑΝΟΔΟΥ

Vεπιβ (km/hr)	Vφορτ (km/hr)	v (1) (m/s)	Re	λ	Nεπιβ (unit)	Nφορτ (unit)	ΔΡεπιβ ΔΡφορτ (Pa)	ΔΡΤ (Pa)	ΔΡΗ (Pa)	ΔΡW (Pa)	ΔΡf (Pa)	ΔΡολ (Pa)	ΔΡολ (Pa)	ΧΡPIS MFE ANEMO	ΧΡPIS ANEMO	MFE ANEMO	MFE ANEMO	ΧΡPIS ANEMO	ΧΡPIS ANEMO	ΩΣΗ ΕΝΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤ H-PA (N)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗ ΡΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤ H-ΡΩΝ		
																							ΑΠΛΑΤΟΥΜ ΩΣΗ (Τ)	ΑΠΛΑΤΟΥΜ ΩΣΗ (Τ)
FIRE	FIRE	3.29	1,796,509	0.0160	23.1	54.0	1.16	23.78	-16.21	29.53	18.00	111.47	7,044.7	1,116.6	5	7								
0	0	0.16	85,534	0.0250	46.3	108.0	0.01	0.12	0.00	33.75		33.96	2,146.2	1,398.7	1	2								
10	10	3.79	2,068,016	0.0150	21.6	50.4	0.15	2.73	0.00	33.75		64.08	4,050.0	1,256.7	1	4								
20	20	4.31	2,355,006	0.0170	19.1	44.6	0.20	3.67	0.00	33.75		76.31	4,822.7	1,236.1	1	4								
40	40	4.15	2,380,962	0.0190	14.2	33.1	4.57	85.25	0.00	33.75		-43.66	-626.4	1,242.4	0	0								
60	60	1.77	98,307	0.0400	9.3	21.6	13.66	254.91	0.00	33.75		-220.55	-13,938.9	1,335.8	0	0								
100	60	0.21	116,856	0.0380	1.6	21.6	7.85	310.78	0.20	33.75		-284.68	-17,991.6	1,396.5	0	0								

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ:

- 1): ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ, ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΚΡΙΣΙΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ (Vc) ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΟ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΥΚΝΟΤΗΤΩΝ pair / pair (ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗ ΦΩΤΙΑ)
- 2): Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣ ΔΕΝ ΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ ΥΠΩΧΗ ΛΟΓΩ ΤΟΥ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΑΕΡΙΣΜΟΥ – ΚΛΑΔΟΣ ΚΑΘΟΔΟΥ

ΣΗΡΑΓΓΑ

ΕΤΟΣ 2025

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΓΕΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΗΡΑΓΓΑΣ (A) =	63,2	m ²
ΥΨΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ (H) =	6,98	m
ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ (P) =	30,86	m
ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (D) =	8,19	m
ΚΛΙΣΗ ΔΡΟΜΟΥ (Grad) =	0,89	%
ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (h) =	54,75	m

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 : ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΗ ΣΗΡΑΓΓΑ

ΚΛΑΔΟΣ ΚΑΘΟΔΟΥ

Μήκος κλάδου =	1,227	km
Κλίση κλάδου =	-0,84	%
Λωρίδες =	2	
AADT =	3.000	οχήματα/ημέρα
T50th.h =	420	οχήματα/ώρα
Bottling Traffic (v=0km/hr) =	150	pcu/km/lane
Congestion Traffic (v=10km/hr) =	70	pcu/km/lane
Fluid Traffic (v=60km/hr) =	30	pcu/km/lane
α =	3	επιβάρυνση

Συνολικός αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας

		Κυκλοφοριακή Κατάσταση :		Ταχύτης Οχημάτων (km/hr) :						
				Bottling	Congestion	Fluid				High
				0	10	20	40	60	100	
Επιβατικά	US83	61,0%	30,5%	63,1	29,4	26,1	19,3	12,6	1,6	
	ECE 15/04		11,0%	22,7	10,6	9,4	7,0	4,5	0,6	
	ECE 15/00		7,3%	15,1	7,1	6,3	4,6	3,0	0,4	
	Diesel (EURO 1)		12,2%	25,2	11,8	10,4	7,7	5,0	0,6	
Φορτηγά	Diesel (pre EURO)	39,0%	39,0%	80,7	37,6	33,3	24,7	16,1	2,0	
			0,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
			0,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Σύνολα :		100,0%		206,8	96,5	85,5	63,4	41,4	5,2	vehicles

ΣΥΝΟΛΑ:

N επιβ :	126,1	58,9	52,1	38,7	25,2	3,1
N φορτ :	80,7	37,6	33,3	24,7	16,1	2,0

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 : ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΡΥΠΩΝ (ΡΙΑΡC 95)

ΚΛΑΔΟΣ ΚΑΘΟΔΟΥ -0,89%

Εκπομπές ρύπου CO								
		Vv (km/hr)	0	10	20	40	60	100
Επιβατικά	US83		20,0	55,2	51,0	55,0	59,0	82,2
	ECE 15/04		101,3	190,6	285,9	318,5	320,1	708,2
	ECE 15/00		290,3	516,5	759,0	944,3	1066,0	2669,6
	Diesel (EURO 1)		3,0	10,4	16,0	20,0	20,0	23,4
Φορτηγά	Diesel (pre EURO)			94,5	119,6	152,4	183,0	

Εκπομπές ρύπου NOx								
		Vv (km/hr)	0	10	20	40	60	100
Επιβατικά	US83		1,0	2,1	4,5	8,9	12,2	30,3
	ECE 15/04		1,0	10,1	20,1	42,5	78,0	219,6
	ECE 15/00		1,0	13,3	31,3	73,4	107,6	187,9
	Diesel (EURO 1)		4,7	7,8	13,5	19,7	23,3	46,0
Φορτηγά	Diesel (pre EURO)			122,4	199,9	301,7	394,9	

Εκπομπές καπνού								
		Vv (km/hr)	0	10	20	40	60	100
Επιβατικά	US83		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	ECE 15/04		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	ECE 15/00		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Diesel (EURO 1)		0,3	5,9	7,7	13,2	22,0	28,3
Φορτηγά	Diesel (pre EURO)			71,5	80,9	99,8	179,4	

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 : ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ, ΛΟΓΩ ΡΥΠΩΝ

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ, ΛΟΓΩ ΡΥΠΩΝ

ΚΛΑΔΟΣ ΚΑΘΟΔΟΥ

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗΣ

$V_{\text{επιβ}} = 0$ km/hr $\rho_{\text{CO}} = 1,200$ g/m³ $\rho_{\text{NOx}} = 2,000$ g/m³ $K_{\text{lim}} = 0.009$ 1/m
 $V_{\text{φορτ}} = 0$ km/hr $\text{CO}_{\text{lim}} = 150$ ppm $\text{NOx}_{\text{lim}} = 25$ ppm

Ρύπος : **CO** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qco : Εκπομή ρύπου CO ανα όχημα
 Qco : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου CO

	N	qco	fcs	fh	fa	qco'	Qco
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	63.1	20.0	1.00	2.60	1.67	86.8	8.5
ECE 15/04	22.7	101.3	1.00	1.78	1.00	180.3	6.3
ECE 15/00	15.1	290.3	1.00	1.78	1.00	516.7	12.1
Diesel (EURO 1)	25.2	3.0	1.00	1.21	1.00	3.6	0.1

Φορτηγά	N	qco	fm	fe	fh	qco'	Qco
Diesel (pre EURO)	80.7	0.0	1.80	1.00	1.35	0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **206.8** οχήματα Απαιτούμενη παροχή αέρα: **27.0** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.43** m/sec

Ρύπος : **NOx** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qnox : Εκπομή ρύπου NOx ανα όχημα
 Qnox : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου NOx

	N	qnox	fcs	fh	fa	qnox'	Qnox
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	63.1	1.0	1.00	1.00	1.73	1.7	0.6
ECE 15/04	22.7	1.0	1.00	0.74	1.00	0.7	0.1
ECE 15/00	15.1	1.0	1.00	0.74	1.00	0.7	0.1
Diesel (EURO 1)	25.2	4.7	1.00	1.00	1.00	4.7	0.7

Φορτηγά	N	qnox	fm	fe	fh	qnox'	Qnox
Diesel (pre EURO)	80.7	0.0	1.80	1.00	1.00	0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **206.8** οχήματα Απαιτούμενη παροχή αέρα: **1.4** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.02** m/sec

Ρύπος : **Καπνός** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qκ : Εκπομή ρύπου καπνού ανά όχημα
 Qκ : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου καπνού

	N	qκ	fcs	fh	fa	qκ'	Qκ
Επιβατικά	(οχημ.)	(m ² /hr)	()	()	()	(m ² /hr)	(m ³ /sec)
US83	63.1	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/04	22.7	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/00	15.1	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
Diesel (EURO 1)	25.2	0.3	1.00	1.00	1.00	0.3	0.2

Φορτηγά	N	qκ	fm	fe	fh	qκ'	Qκ
Diesel (pre EURO)	80.7	0.0	1.80	1.00	1.12	0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **206.8** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα:** **0.2** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.00** m/sec

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ

V επιβ = **10** km/hr ρ CO = **1,200** g/m³ ρ NOx = **2,000** g/m³ K lim = **0.007** 1/m
 V φορτ = **10** km/hr CO lim = **100** ppm NOx lim = **25** ppm

Ρύπος : **CO** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qco : Εκπομή ρύπου CO ανα όχημα
 Qco : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου CO

	N	qco	fcs	fh	fa	qco'	Qco
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	29.4	55.2	1.00	2.60	1.67	239.7	10.9
ECE 15/04	10.6	190.6	1.00	1.78	1.00	339.2	5.5
ECE 15/00	7.1	516.5	1.00	1.78	1.00	919.3	10.0
Diesel (EURO 1)	11.8	10.4	1.00	1.21	1.00	12.6	0.2

Φορτηγά	N	qco	fm	fe	fh	qco'	Qco
Diesel (pre EURO)	37.6	94.5	1.80	1.00	1.35	229.6	13.3
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **96.5** οχήματα Απαιτούμενη παροχή αέρα: **40.0** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.63** m/sec

Ρύπος : **NOx** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qnox : Εκπομή ρύπου NOx ανα όχημα
 Qnox : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου Nox

	N	qnox	fcs	fh	fa	qnox'	Qnox
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	29.4	2.1	1.00	1.00	1.73	3.6	0.6
ECE 15/04	10.6	10.1	1.00	0.74	1.00	7.5	0.4
ECE 15/00	7.1	13.3	1.00	0.74	1.00	9.8	0.4
Diesel (EURO 1)	11.8	7.8	1.00	1.00	1.00	7.8	0.5

Φορτηγά	N	qnox	fm	fe	fh	qnox'	Qnox
Diesel (pre EURO)	37.6	122.4	1.80	1.00	1.00	220.3	46.1
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **96.5** οχήματα Απαιτούμενη παροχή αέρα: **48.0** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.76** m/sec

Ρύπος : **Καπνός** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qκ : Εκπομή ρύπου καπνού ανά όχημα
 Qκ : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου καπνού

	N	qκ	fcs	fh	fa	qκ´	Qκ
Επιβατικά	(οχημ.)	(m ² /hr)	()	()	()	(m ² /hr)	(m ³ /sec)
US83	29.4	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/04	10.6	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/00	7.1	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
Diesel (EURO 1)	11.8	5.9	1.00	1.00	1.00	5.9	2.1

Φορτηγά	N	qκ	fm	fe	fh	qκ´	Qκ
Diesel (pre EURO)	37.6	71.5	1.80	1.00	1.12	144.1	167.4
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **96.5** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα:** **169.6** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **2.68** m/sec

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ

V επιβ = **20** km/hr ρ CO = **1,200** g/m³ ρ NOx = **2,000** g/m³ K lim = **0.007** 1/m
 V φορτ = **20** km/hr CO lim = **100** ppm NOx lim = **25** ppm

Ρύπος : **CO** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qco : Εκπομή ρύπου CO ανα όχημα
 Qco : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου CO

	N	qco	fcs	fh	fa	qco'	Qco
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	26.1	51.0	1.00	2.60	1.67	221.4	8.9
ECE 15/04	9.4	285.9	1.00	1.78	1.00	508.8	7.4
ECE 15/00	6.3	759.0	1.00	1.78	1.00	1351.0	13.0
Diesel (EURO 1)	10.4	16.0	1.00	1.21	1.00	19.4	0.3

Φορτηγά	N	qco	fm	fe	fh	qco'	Qco
Diesel (pre EURO)	33.3	119.6	1.80	1.00	1.35	290.5	14.9
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **85.5** οχήματα Απαιτούμενη παροχή αέρα: **44.6** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.71** m/sec

Ρύπος : **NOx** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qnox : Εκπομή ρύπου NOx ανα όχημα
 Qnox : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου Nox

	N	qnox	fcs	fh	fa	qnox'	Qnox
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	26.1	4.5	1.00	1.00	1.73	7.8	1.1
ECE 15/04	9.4	20.1	1.00	0.74	1.00	14.9	0.8
ECE 15/00	6.3	31.3	1.00	0.74	1.00	23.2	0.8
Diesel (EURO 1)	10.4	13.5	1.00	1.00	1.00	13.5	0.8

Φορτηγά	N	qnox	fm	fe	fh	qnox'	Qnox
Diesel (pre EURO)	33.3	199.9	1.80	1.00	1.00	359.7	66.6
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **85.5** οχήματα Απαιτούμενη παροχή αέρα: **70.1** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **1.11** m/sec

Ρύπος: **Καπνός**

N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας

qκ : Εκπομή ρύπου καπνού ανά όχημα

Qκ : Παροχή φρέσκου αέρα αραίωσης ρύπου καπνού

	N	qκ	fcs	fh	fa	qκ'	Qκ
Επιβατικά	(οχημ.)	(m ² /hr)	()	()	()	(m ² /hr)	(m ³ /sec)
US83	26.1	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/04	9.4	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/00	6.3	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
Diesel (EURO 1)	10.4	7.7	1.00	1.00	1.00	7.7	3.2

Φορτηγά	N	qκ	fm	fe	fh	qκ'	Qκ
Diesel (pre EURO)	33.3	80.9	1.80	1.00	1.12	163.0	215.6
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **85.5** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα:** **218.8** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **3.46** m/sec

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ

V επιβ = **40** km/hr ρ CO = **1,200** g/m³ ρ NOx = **2,000** g/m³ K lim = **0.007** 1/m
 V φορτ = **40** km/hr CO lim = **100** ppm NOx lim = **25** ppm

Ρύπος: **CO** N: Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qco: Εκπομή ρύπου CO ανα όχημα
 Qco: Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου CO

	N	qco	fcs	fh	fa	qco'	Qco
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	19.3	55.0	1.00	2.60	1.67	238.8	7.1
ECE 15/04	7.0	318.5	1.00	1.78	1.00	566.9	6.1
ECE 15/00	4.6	944.3	1.00	1.78	1.00	1680.9	12.0
Diesel (EURO 1)	7.7	20.0	1.00	1.21	1.00	24.2	0.3

	N	qco	fm	fe	fh	qco'	Qco
Φορτηγά							
Diesel (pre EURO)	24.7	152.4	1.80	1.00	1.35	370.3	14.1
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα: **63.4** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα:** **39.7** m³/sec
Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα: **0.63** m/sec

Ρύπος: **NOx** N: Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qnox: Εκπομή ρύπου NOx ανα όχημα
 Qnox: Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου Nox

	N	qnox	fcs	fh	fa	qnox'	Qnox
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	19.3	8.9	1.00	1.00	1.73	15.4	1.7
ECE 15/04	7.0	42.5	1.00	0.74	1.00	31.5	1.2
ECE 15/00	4.6	73.4	1.00	0.74	1.00	54.3	1.4
Diesel (EURO 1)	7.7	19.7	1.00	1.00	1.00	19.7	0.8

	N	qnox	fm	fe	fh	qnox'	Qnox
Φορτηγά							
Diesel (pre EURO)	24.7	301.7	1.80	1.00	1.00	543.0	74.6
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα: **63.4** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα:** **79.7** m³/sec
Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα: **1.26** m/sec

Ρύπος : **Καπνός**

N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας

qk : Εκπομή ρύπου καπνού ανά όχημα

Qk : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου καπνού

	N	qk	fcs	fh	fa	qk'	Qk
Επιβατικά	(οχημ.)	(m ² /hr)	()	()	()	(m ² /hr)	(m ³ /sec)
US83	19.3	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/04	7.0	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/00	4.6	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
Diesel (EURO 1)	7.7	13.2	1.00	1.00	1.00	13.2	4.1

Φορτηγά	N	qk	fm	fe	fh	qk'	Qk
Diesel (pre EURO)	24.7	99.8	1.80	1.00	1.12	201.2	197.5
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **63.4** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα: 201.5** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **3.19** m/sec

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ

V επιβ = **60** km/hr ρ CO = **1,200** g/m³ ρ NOx = **2,000** g/m³ K lim = **0.007** 1/m
 V φορτ = **60** km/hr CO lim = **100** ppm NOx lim = **25** ppm

Ρύπος : **CO** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qco : Εκπομή ρύπου CO ανα όχημα
 Qco : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου CO

	N	qco	fcs	fh	fa	qco'	Qco
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	12.6	59.0	1.00	2.60	1.67	256.2	5.0
ECE 15/04	4.5	320.1	1.00	1.78	1.00	569.7	4.0
ECE 15/00	3.0	1066.0	1.00	1.78	1.00	1897.4	8.9
Diesel (EURO 1)	5.0	20.0	1.00	1.21	1.00	24.2	0.2

Φορτηγά	N	qco	fm	fe	fh	qco'	Qco
Diesel (pre EURO)	16.1	183.0	1.80	1.00	1.35	444.7	11.1
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **41.4** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα:** **29.1** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.46** m/sec

Ρύπος : **NOx** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qnox : Εκπομή ρύπου NOx ανα όχημα
 Qnox : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου Nox

	N	qnox	fcs	fh	fa	qnox'	Qnox
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	12.6	12.2	1.00	1.00	1.73	21.1	1.5
ECE 15/04	4.5	78.0	1.00	0.74	1.00	57.7	1.5
ECE 15/00	3.0	107.6	1.00	0.74	1.00	79.6	1.3
Diesel (EURO 1)	5.0	23.3	1.00	1.00	1.00	23.3	0.7

Φορτηγά	N	qnox	fm	fe	fh	qnox'	Qnox
Diesel (pre EURO)	16.1	394.9	1.80	1.00	1.00	710.8	63.7
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **41.4** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα:** **68.6** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **1.09** m/sec

Ρύπος : **Καπνός**

N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας

qk : Εκπομή ρύπου καπνού ανά όχημα

Qk : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου καπνού

	N	qk	fcs	fh	fa	qk'	Qk
Επιβατικά	(οχημ.)	(m ² /hr)	()	()	()	(m ² /hr)	(m ³ /sec)
US83	12.6	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/04	4.5	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/00	3.0	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
Diesel (EURO 1)	5.0	22.0	1.00	1.00	1.00	22.0	0.6

Φορτηγά	N	qk	fm	fe	fh	qk'	Qk
Diesel (pre EURO)	16.1	179.4	1.80	1.00	1.12	361.7	231.5
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **41.4** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα: 232.1** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **3.67** m/sec

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ

V επιβ = km/hr CO = g/m³ ρ NOx = g/m³ K lim = 1/m
 V φορτ = km/hr) lim = ppm NOx lim = ppm

Ρύπος : **CO** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qco : Εκπομή ρύπου CO ανα όχημα
 Qco : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου CO

	N	qco	fcs	fh	fa	qco'	Qco
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	1.6	82.2	1.00	2.60	1.67	356.9	0.9
ECE 15/04	0.6	708.2	1.00	1.78	1.00	1260.6	1.1
ECE 15/00	0.4	2669.6	1.00	1.78	1.00	4751.9	2.8
Diesel (EURO 1)	0.6	23.4	1.00	1.21	1.00	28.3	0.0

Φορτηγά	N	qco	fm	fe	fh	qco'	Qco
Diesel (pre EURO)	2.0	0.0	1.80	1.00	1.35	0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα :** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : m/sec

Ρύπος : **NOx** N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας
 qnox : Εκπομή ρύπου NOx ανα όχημα
 Qnox : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου Nox

	N	qnox	fcs	fh	fa	qnox'	Qnox
Επιβατικά	(οχημ.)	(gr/hr)	()	()	()	(gr/hr)	(m ³ /sec)
US83	1.6	1.0	1.00	1.00	1.73	1.7	0.0
ECE 15/04	0.6	1.0	1.00	0.74	1.00	0.7	0.0
ECE 15/00	0.4	1.0	1.00	0.74	1.00	0.7	0.0
Diesel (EURO 1)	0.6	4.7	1.00	1.00	1.00	4.7	0.0

Φορτηγά	N	qnox	fm	fe	fh	qnox'	Qnox
Diesel (pre EURO)	2.0	0.0	1.80	1.00	1.00	0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα :** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : m/sec

Ρύπος : **Καπνός**

N : Αριθμός οχημάτων μέσα στον κλάδο της σήραγγας

ακ : Εκπομή ρύπου καπνού ανά όχημα

Qκ : Παροχή φρέσκου αέρα αραιώσης ρύπου καπνού

	N	ακ	fcs	fh	fa	ακ'	Qκ
Επιβατικά	(οχημ.)	(m ² /hr)	()	()	()	(m ² /hr)	(m ³ /sec)
US83	1.6	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/04	0.6	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
ECE 15/00	0.4	0.0	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0
Diesel (EURO 1)	0.6	28.3	1.00	1.00	1.00	28.3	0.7

	N	ακ	fm	fe	fh	ακ'	Qκ
Φορτηγά							
Diesel (pre EURO)	2.0	0.0	1.80	1.00	1.12	0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0
	0.0	0.0				0.0	0.0

Σύνολα : **5.2** οχήματα **Απαιτούμενη παροχή αέρα:** **0.7** m³/sec

Απαιτούμενη ταχύτητα αέρα στη σήραγγα : **0.01** m/sec

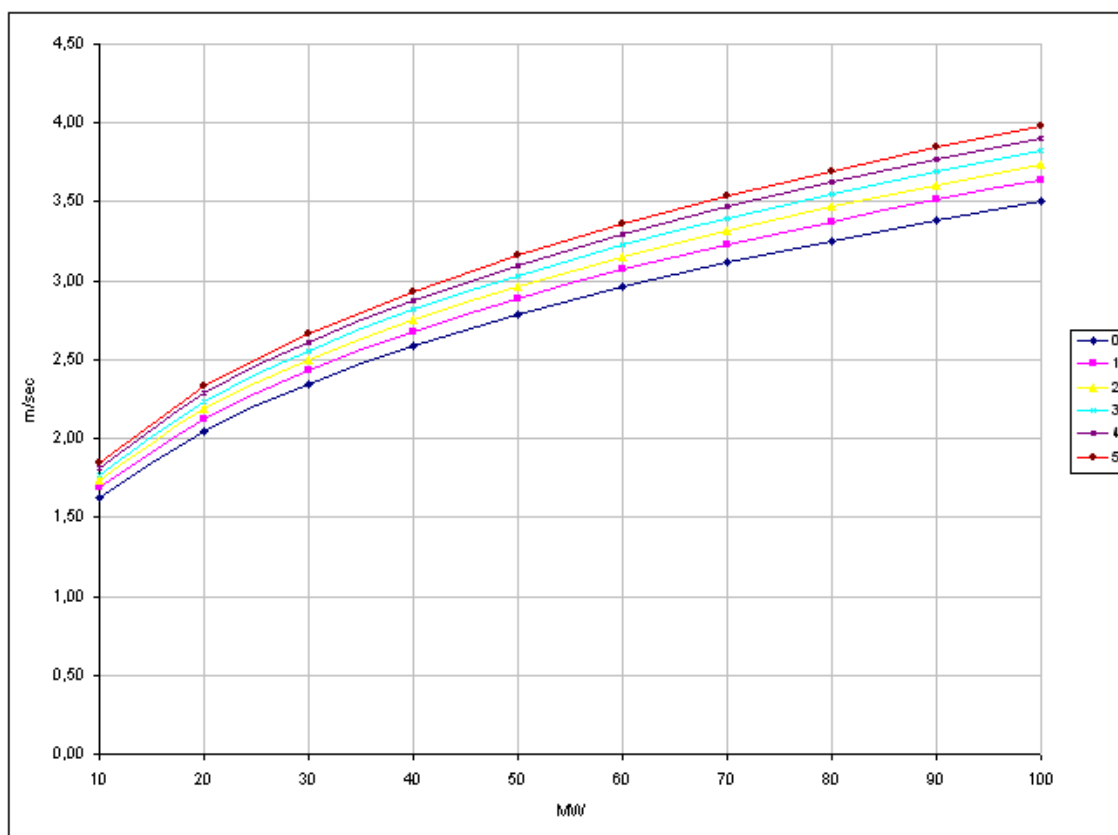
ΠΙΝΑΚΑΣ 5 : ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ, ΛΟΓΩ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΕΡΙΣΜΟΥ V_c (m/sec)

$C_p =$	1005	J/kg ^o K
$Q =$	50	MW
$g =$	9,81	m/sec ²
$Frc =$	4,50	
$K1 =$	0,606	
$Kg =$	1,034	
$T =$	293	^o C
$Tf =$	555	^o K
$\rho =$	1,00	kg/m ³

$V_c =$ 2,88 m/sec

Q (MW)	ΚΛΙΣΗ ΔΡΟΜΟΥ(Grad)(%)					
	0	1	2	3	4	5
10	1,63	1,69	1,73	1,77	1,81	1,85
20	2,05	2,13	2,18	2,24	2,28	2,33
30	2,35	2,44	2,50	2,56	2,61	2,67
40	2,58	2,68	2,75	2,82	2,88	2,93
50	2,78	2,89	2,96	3,03	3,10	3,16
60	2,96	3,07	3,15	3,22	3,29	3,36
70	3,11	3,23	3,32	3,39	3,47	3,54
80	3,26	3,38	3,47	3,55	3,62	3,70
90	3,39	3,51	3,61	3,69	3,77	3,84
100	3,51	3,64	3,74	3,82	3,90	3,98



ΠΙΝΑΚΑΣ 6 : ΕΙΔΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Συντελεστής Οπισθέλκουσας Επιβατηγών σε Συμφόρηση (C_{wpb}) :	0,40	
Συντελεστής Οπισθέλκουσας Επιβατηγών σε Κανονική Ροή (C_{wpr}) :	0,35	
Συντελεστής Οπισθέλκουσας Φορηγών σε Συμφόρηση (C_{wfb}) :	1,00	
Συντελεστής Οπισθέλκουσας Φορηγών σε Κανονική Ροή (C_{wfr}) :	0,80	
Πυκνότητα Αέρα στην σήραγγα 20°C (ρ) :	1,20	kg/m ³
Πυκνότητα Αέρα σε πυρκαγιά (ρ) :	1,05	kg/m ³
Μέση θερμοκρασία εντός της σήραγγας (T_i) :	20	°C
Μέση θερμοκρασία εντός της σήραγγας σε πυρκαγιά (T_{if}) :	69	°C
Θερμοκρασία αέρα στα στόμια της σήραγγας (T_o) :	20	°C
Συντελεστής τραχύτητας ϵ :	0,165	mm
Λόγος ϵ / D :	0,000020	
Υψομετρική διαφορά στομίων σήραγγας ανάδου (ΔH) :	-11,0	m
Υψομετρική διαφορά στομίων σήραγγας καθόδου ($\Delta H_{_}$) :	10,9	m
Ταχύτητα ανέμου (κάθετη συνιστώσα) στο στόμιο της σήραγγας ανάδου (V_{W0}) :	7,5	m/sec
Ταχύτητα ανέμου (κάθετη συνιστώσα) στο στόμιο της σήραγγας καθόδου ($V_{W_{_}}$) :	7,5	m/sec

ΠΙΝΑΚΑΣ 7 : ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΩΝ

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ :	WOODS - JETFOIL 112 JTS
ΜΕΓΙΣΤΗ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΩΣΗ (T) :	1500 N
ΓΩΝΙΑ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ (α) :	44 °
ΠΑΡΟΧΗ (Qj) :	35,4 m ³ /sec
ΤΑΧΥΤΗΤΑ (uj) :	35,9 m/sec
ΣΤΡΟΦΕΣ :	1470 RPM
ΑΠΟΡΟΦΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ :	51 kW
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΤΡΟΒΙΛΙΣΜΟΥ (n1) :	0,98
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΣΗΣ (n2) :	0,94
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ (n3) :	1,00

ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΚΛΑΔΟΣ ΚΑΘΟΔΟΥ

Νεπιβ (km/hr)	Νφορτ (km/hr)	v (1) (m/s)	Re	λ	Νεπιβ (unit)	Νφορτ (unit)	ΔΡεπιβ (Pa)	ΔΡφορτ (Pa)	ΔΡΤ (Pa)	ΔΡΗ (Pa)	ΔΡW (Pa)	ΔΡt (Pa)	ΔΡολ (Pa)	ΔΡολ (Pa)	ΜΕ ΑΝΕΜΟ	ΧΡΠΙ ΑΝΕΜΟ	ΜΕ ΑΝΕΜΟ	ΧΡΠΙ ΑΝΕΜΟ	ΩΣΗ ΕΝΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗ ΡΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗ ΡΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΜΙΣΤΗ Η-ΡΩΝ
FIRE	FIRE	3.29	1,796,509	0.0150	63.1	40.3	3.18	17.76	21.85	16.12	29.53	18.00	94.91	106.44	ΜΕ ΑΝΕΜΟ	ΧΡΠΙ ΑΝΕΜΟ	ΜΕ ΑΝΕΜΟ	ΧΡΠΙ ΑΝΕΜΟ	(N)	6	7
0	0	0.43	233,169	0.0240	126.1	80.7	0.12	0.60	0.57	0.00	33.75		1.29	35.04	ΜΕ ΑΝΕΜΟ	ΧΡΠΙ ΑΝΕΜΟ	ΜΕ ΑΝΕΜΟ	ΧΡΠΙ ΑΝΕΜΟ	(N)	1	2
10	10	2.68	1,465,280	0.0170	58.9	37.6	0.00	0.02	17.91	0.00	33.75		17.89	51.64	ΜΕ ΑΝΕΜΟ	ΧΡΠΙ ΑΝΕΜΟ	ΜΕ ΑΝΕΜΟ	ΧΡΠΙ ΑΝΕΜΟ	(N)	1	3
20	20	3.46	1,890,709	0.0180	52.1	33.3	1.52	7.77	30.90	0.00	33.75		21.61	55.36	ΜΕ ΑΝΕΜΟ	ΧΡΠΙ ΑΝΕΜΟ	ΜΕ ΑΝΕΜΟ	ΧΡΠΙ ΑΝΕΜΟ	(N)	2	3
40	40	3.19	1,741,379	0.0210	38.7	24.7	16.14	82.53	28.95	0.00	33.75		-69.72	-35.97	ΜΕ ΑΝΕΜΟ	ΧΡΠΙ ΑΝΕΜΟ	ΜΕ ΑΝΕΜΟ	ΧΡΠΙ ΑΝΕΜΟ	(N)	0	0
60	60	3.67	2,005,758	0.0230	25.2	16.1	28.31	144.79	40.83	0.00	33.75		-132.27	-98.52	ΜΕ ΑΝΕΜΟ	ΧΡΠΙ ΑΝΕΜΟ	ΜΕ ΑΝΕΜΟ	ΧΡΠΙ ΑΝΕΜΟ	(N)	0	0
100	60	0.08	41,134	0.0380	3.1	16.1	16.03	236.06	0.02	0.00	33.75		-252.07	-218.32	ΜΕ ΑΝΕΜΟ	ΧΡΠΙ ΑΝΕΜΟ	ΜΕ ΑΝΕΜΟ	ΧΡΠΙ ΑΝΕΜΟ	(N)	0	0

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ:

1): ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ, ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΖΕΤΑΙ Η ΚΡΙΣΙΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ (Vc) ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΟ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΥΚΝΟΤΗΤΩΝ pair / pairf (ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗ ΦΩΤΙΑ)

ΠΙΝΑΚΑΣ 9

ΚΛΑΔΟΣ ΑΝΟΔΟΥ

		ΧΩΡΙΣ ΑΝΕΜΟ					ΜΕ ΑΝΕΜΟ					ΧΩΡΙΣ ΑΝΕΜΟ		ΜΕ ΑΝΕΜΟ	
Βεπιβ	Βφορτ	qCO	qNOx	qκ	COlim	Noxlim	Κlim	ΔΡολ	ΔΡολ	Αριθμός ανεμιστήρων	Αριθμός ανεμιστήρων	Αριθμός ανεμιστήρων	Αριθμός ανεμιστήρων		
(km/hr)	(km/hr)	(m³/sec)	(m³/sec)	(m³/sec)	ppm	ppm	1/m	Pa	Pa						
FIRE	FIRE	-	-	181.9	-	-	0.009	81.9	111.5	5	7				
0	0	9.9	0.5	0.1	150.0	25.0	0.009	0.2	34.0	1	2				
10	10	49.4	72.6	239.3	100.0	25.0	0.007	36.1	64.1	1	4				
20	20	80.5	102.6	272.5	100.0	25.0	0.007	42.6	76.3	1	4				
40	40	50.4	123.5	262.4	100.0	25.0	0.007	-43.7	-9.9	0	0				
60	60	40.9	111.6	0.1	100.0	25.0	0.007	-254.3	-220.6	0	0				
100	60	13.5	2.5	0.9	100.0	25.0	0.007	-318.4	-284.7	0	0				

ΠΙΝΑΚΑΣ 9

ΚΛΑΔΟΣ ΚΑΘΟΔΟΥ

Υεπιβ (km/hr)	Υφορτ (km/hr)	qCO (m ³ /sec)	qNOx (m ³ /sec)	qκ (m ³ /sec)	COlim ppm	Noxlim ppm	Κlim 1/m	ΧΩΡΙΣ ΑΝΕΜΟ		ΜΕ ΑΝΕΜΟ	
								ΔΡολ Pa	Αριθμός ανεμιστήρ ων	ΔΡολ Pa	Αριθμός ανεμιστήρ ων
FIRE	FIRE	-	-	181.9	-	-	0.009	94.91	106.44	6	7
0	0	27.0	1.4	0.2	150	25	0.009	1.29	35.04	1	2
10	10	40.0	48.0	169.6	100	25	0.007	17.89	51.64	1	3
20	20	44.6	70.1		100	25	0.007	21.61	55.36	2	3
40	40	39.7	79.7	218.8	100	25	0.007	-69.72	-35.97	0	0
60	60	29.1	68.6	201.5	100	25	0.007	-132.27	-98.52	0	0
100	60	4.8	0.0	232.1	100	25	0.007	-252.07	-218.32	0	0

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία

1. Βιομηχανική Ρευστομηχανική, Δ.Σ Μαθιουλάκης
2. Model specification for tunneling, The British Tunneling Society and the Institution of Civil Engineers, *Thomas Telford*
3. Tunneling Management By Design, *Alan Muir Wood*
4. Engineering the Channel Tunnel, *Colin J. Kirkland*
5. Tunnel Engineering Handbook, *Bickel, Kuesel, King*
6. Highway Engineering, 6th Edition, *Wright*
7. Design of Industrial Ventilation Systems, 5th Edition, *John L. Alden and John M. Kane*
8. ASHRAE HANDBOOK 1999
9. The Handbook of tunnel fire Safety, *Alan Beard and Richard Carvel*

Papers

10. On longitudinal ventilation and congested traffic, *Riess I.R, Schneider G. Brand R., HBI Haerter Ltd, Zurich Switzerland*
11. Road Tunnels, Vehicle emissions and air demand for ventilation November 2004, *PIARC Technical Committee on Road Tunnel Operation*
12. Ventilation during road tunnel emergencies, *R.C. Hall (Mott MacDonald)*
13. Fire and Smoke Control in Road Tunnels, *PIARC Committee on Road Tunnels*
14. Two-layer theory applied to the phenomenon of backlayering, *Ministry of Public Works and Water Management, Centre for Tunnel Safety (BEN P. RIGTER)*
15. Critical Velocities for Smoke Control in Tunnel Cross-Passages, *First International Conference on Major Tunnel and Infrastructure Projects, 22-24 May 2000, Taipei, Taiwan, (Fathi Tarada, HBI Haerter Ltd., Consulting Engineers, Switzerland)*

Internet

<http://www.piarc.org/en/>
<http://www.ashrae.org/>
<http://www.statistics.gr/>