



*Τάμος Ευάγγελος << Επιδράσεις του μονοξειδίου του άνθρακα στην ανθρώπινη υγεία και μέτρα προστασίας >>*



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**« ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ »**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗΝ  
ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ**

**ΤΑΜΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΠΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ , ΜΑΙΟΣ 2025**

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Τάμου Ευάγγελου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο/η συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του/της συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του/της συγγραφέα/δημιουργού. Ο/Η συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**« ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ »**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗΝ  
ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ**

**ΤΑΜΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**Β' ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ**

**ΠΑΠΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΚΕΛΕΣΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ , ΜΑΙΟΣ 2025**

## ΑΦΙΕΡΩΣΕΙΣ

Στους γονείς οφείλομεν το ζην,  
στους δε διδασκάλους το ευ ζην.  
Μέγας Αλέξανδρος, 356-323 π.Χ.

Στην μνήμη των γονιών μου.  
Δημητρίου & Μαγδαληνής

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου σε όλους τους καθηγητές του προγράμματος, με ιδιαίτερη αναφορά στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Παπαναστασίου Δημήτριο για την βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση και στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια, και ιδιαίτερα τη σύζυγό μου για την απεριόριστη υπομονή και την υποστήριξή της σε κάθε μου βήμα.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΑΦΙΕΡΩΣΕΙΣ</b> .....	iv
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	v
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	1
<b>2. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ</b> .....	3
2.1 Ορισμός, ρύποι και παράγοντες ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	3
2.2 Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	7
2.3 Μέτρα αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης .....	13
<b>3. ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ</b> .....	16
3.1 Φυσικοχημικές ιδιότητες.....	16
3.2 Πηγές.....	16
3.2.1 Φυσικές πηγές.....	16
3.2.2 Ανθρωπογενείς πηγές.....	18
3.3 Επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα σε χώρες της Ε.Ε. ....	21
3.4 Επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα στην Ελλάδα.....	24
<b>4. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ</b> .....	26
<b>5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ</b> .....	29
5.1 Εισαγωγή.....	29
5.2 Καρδιαγγειακό σύστημα .....	29
5.3 Αναπνευστικό σύστημα.....	33
5.4 Νευρικό σύστημα.....	35
5.5 Γαστρεντερικό σύστημα.....	38
5.6 Γεννητικό σύστημα .....	41
5.7 Αναλυτική παρουσίαση επιλεγμένων μελετών.....	43
5.7.1 Καρδιαγγειακό σύστημα.....	43
5.7.2 Γαστρεντερικό σύστημα.....	44
5.7.3 Νευρικό σύστημα.....	45
<b>6. ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ</b> ....	46

6.1	Τεχνολογίες και μέτρα προστασίας για τη ρύπανση σε ανοιχτούς χώρους .....	46
6.1.1	Καταλυτικά συστήματα .....	46
6.1.2	Συστήματα καύσης .....	47
6.1.3	Χρήση βιοκαυσίμων .....	48
6.1.4	Μέτρα προστασίας.....	50
6.2	Τεχνολογίες και μέτρα προστασίας για τη ρύπανση σε κλειστούς χώρους.....	51
6.2.1	Αισθητήρες – ανιχνευτές μονοξειδίου του άνθρακα .....	51
6.2.2	Μέτρα προστασίας.....	52
7.	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	55
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	60

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Ρύποι που ευθύνονται για την ατμοσφαιρική ρύπανση (Braun et al., 2021; Γεωργόπουλος κ.συν., 2013; Lee et al., 2016) .....	3
Πίνακας 2. Παράγοντες που ευθύνονται για την ατμοσφαιρική ρύπανση (Thomas, 2017, σελ. 70, επεξεργασία συγγραφέως) .....	5



## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Η δέσμευση του οξυγόνου και του μονοξειδίου του άνθρακα, ανάλογα με τη  
συγκέντρωση του δεύτερου .....28

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου το 2022, στις χώρες της Ε.Ε. σε σύγκριση με τα ανώτερα όρια της Ε.Ε. και του Παγκόσμιου Οργανισμού υγείας (European Environment Agency, 2024). .....	9
Σχήμα 2. Συγκέντρωση όζοντος το 2022, στις χώρες της Ε.Ε. σε σύγκριση με τα ανώτερα όρια της Ε.Ε. και του Παγκόσμιου Οργανισμού υγείας (European Environment Agency, 2024). .	10
Σχήμα 3. Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM10 για το 2022 (European Environment Agency, 2024). .....	11
Σχήμα 4. Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM2.5 για το 2022 (European Environment Agency, 2024). .....	12
Σχήμα 5. Ποσότητα CO κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών στην Ινδία, το 2016 (Thakur et al., 2019, σελ.6).....	18
Σχήμα 6. Πηγές και ατμοσφαιρικοί ρύποι στις χώρες της Ε.Ε. για το 2022 (European Environment Agency, 2024).....	20
Σχήμα 7. Εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα στην Ευρωπαϊκή Ένωση από το 1990 έως το 2022 (σε μετρικούς τόνους) (Statista, 2025). .....	21
Σχήμα 8. Μέγιστη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα για 8 ώρες, στην Ε.Ε., το 2018 (European Environment Agency, 2024).....	22
Σχήμα 9. Μείωση της τάσης μονοξειδίου του άνθρακα στις χώρες της Ε.Ε. από τον χώρο των μεταφορών (European Environment Agency, 2024).....	23
Σχήμα 10. Τάση του μονοξειδίου του άνθρακα ανά πηγή, από το 1990 έως το 2022 (European Environment Agency, 2024). .....	24
Σχήμα 11. Διαχρονική μεταβολή μέσω ετήσιων τιμών CO, σε mg/m <sup>3</sup> στην Αθήνα (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2024, σελ. 20) .....	25
Σχήμα 12. Διαχρονική μεταβολή μέσω ετήσιων τιμών CO, σε mg/m <sup>3</sup> στη Θεσσαλονίκη (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2024, σελ. 21).....	26

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας ήταν να προσδιοριστούν οι βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της έκθεσης του ανθρώπου στο μονοξείδιο του άνθρακα, καθώς επίσης και να διερευνηθεί η πιθανότητα ύπαρξης σχέσης μεταξύ της έκθεσης στο συγκεκριμένο τοξικό αέριο και στην εκδήλωση χρόνιων νοσημάτων. Για την επίτευξη του σκοπού της, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, καθώς χρησιμοποιήθηκαν πρόσφατες μελέτες που έχουν δημοσιευθεί σε επιστημονικά περιοδικά, αναφορικά με τις μακροπρόθεσμες και βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα. Τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης έδειξαν πως η έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα, τόσο σε επίπεδο ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όσο και σε επίπεδο δηλητηρίασης σε εσωτερικούς χώρους, επηρεάζει με ιδιαίτερα αρνητικό τρόπο την υγεία των ανθρώπων και τη ζωή τους. Ειδικότερα, διαπιστώθηκε πως μπορεί να προκαλέσει βλάβες και δυσλειτουργίες στο καρδιαγγειακό σύστημα, όπως είναι η ισχαιμική μυοκαρδιοπάθεια, το έμφραγμα του μυοκαρδίου, η στηθάγχη, η κοιλιακή και κολπική μαρμαρυγή και η μυοκαρδιακή ίνωση. Χαρακτηριστικά διαπιστώθηκε, πως τα άτομα που έχουν δηλητηριαστεί με μονοξείδιο του άνθρακα έχουν έως και 2,16 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να εκδηλώσουν ισχαιμική καρδιοπάθεια. Επίσης, παρατηρήθηκε πως δύναται να επηρεάσει αρνητικά τη λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος καθώς τα άτομα που έχουν δηλητηριαστεί με μονοξείδιο του άνθρακα έχουν 1,84 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να εμφανίσουν καρκίνο του πνεύμονα, 1,5 φορά μεγαλύτερο κίνδυνο να εκδηλώσουν ΧΑΠ και 1,42 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να εμφανίσουν πνευμονική φυματίωση. Σοβαρές βλάβες μπορούν να προκληθούν και σε νευρικό σύστημα όπως είναι ο πονοκέφαλος, η ναυτία, η σύγχυση, η συγκοπή, η ημικρανία, η ζάλη, το κώμα, ο Παρκινσονισμός, η νόσος Πάρκινσον, η επιληψία, η ακράτεια ούρων και κοπράνων. Χαρακτηριστικά, τα άτομα που έχουν δηλητηριαστεί από μονοξείδιο του άνθρακα διατρέχουν 15,8 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να εμφανίσουν τη νόσο του Πάρκινσον, 8,4 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να εκδηλώσουν επιληψία και 1,37 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να παρουσιάσουν ημικρανία. Επιπλέον, η έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου

του άνθρακα, σχετίζονται με προβλήματα στο γαστρεντερικό σύστημα όπως είναι η γαστρεντερική αιμορραγία, το γαστρικό έλκος, η ηπατομεγαλία, η ηπατική βλάβη, η υποξική ηπατίτιδα και η αύξηση των τιμών των τρανσαμινασών. Επιπρόσθετα, η χρόνια έκθεση σε χαμηλής ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα, με υψηλότερη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα, επηρεάζει αρνητικά και το γεννητικό σύστημα, καθώς οδηγεί στην αντρική και τη γυναικεία υπογονιμότητα, στη μείωση των σπερματοζωαρίων και σε διαταραχές στον εμμηνορροϊκό κύκλο των γυναικών. Οι επιπτώσεις της έκθεσης σε μονοξείδιο του άνθρακα είναι πολύ σοβαρές και θέτουν σε κίνδυνο την υγεία και τη ζωή των ανθρώπων. Υπό το πρίσμα αυτό είναι αναγκαία η αξιοποίηση των διαθέσιμων τεχνολογιών και η λήψη μέτρων, που αφορούν στη μείωση της απελευθέρωσης μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και στους κλειστούς χώρους. Κλείνοντας, η ευαισθητοποίηση των πολιτών γύρω από το μονοξείδιο του άνθρακα κρίνεται αναγκαία και πρέπει να πραγματοποιηθεί μέσω της ενημέρωσης από το κράτος και της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης.

**Λέξεις κλειδιά:** Μονοξείδιο του άνθρακα, ατμοσφαιρική ρύπανση, πηγές, δηλητηρίαση, επιπτώσεις στην υγεία, νευρικό σύστημα, καρδιαγγειακό σύστημα, αναπνευστικό σύστημα .

## ABSTRACT

The aim of this thesis was to determine the short-term and long-term effects of human exposure to carbon monoxide, as well as investigate the possibility of a correlation that may exist between exposure to the toxic gas in question and the development of chronic diseases. In order to accomplish the research aim, the method of literature review was used, since data were utilized from recent studies on the long-term and short-term effects of carbon monoxide that were published in scientific journals. The results of the literature review showed that exposure to high concentrations of carbon monoxide, as an effect of air pollution, as well as indoor poisoning, has a highly negative impact on the state of health and lives of people. In more specific, it was demonstrated that it can cause damage and dysfunction to the cardiovascular system, such as ischemic cardiomyopathy, myocardial infarction, angina pectoris, ventricular and atrial fibrillation, and myocardial fibrosis. Specifically, it was found that people who have been poisoned with carbon monoxide have up to 2,16 times greater risk of developing ischemic heart disease. Furthermore, it was observed that it can negatively affect the function of the respiratory system, since people who have been poisoned with carbon monoxide have 1,84 times greater risk of developing lung cancer, 1,5 times greater risk of developing COPD and 1,42 times greater risk of developing pulmonary tuberculosis. Severe damage can also be caused to the nervous system, such as headache, nausea, confusion, syncope, migraine, dizziness, coma, Parkinsonism, Parkinson's disease, epilepsy, and urinary and fecal incontinence. Specifically, people who have been poisoned by carbon monoxide have 15,8 times greater risk to develop Parkinson's disease, 8.4 times greater risk to develop epilepsy, and 1,37 times greater risk to develop migraine. In addition, exposure to high concentrations of carbon monoxide is correlated to problems of the gastrointestinal tract, such as gastrointestinal bleeding, gastric ulcer, hepatomegaly, liver damage, hypoxic hepatitis, and elevation of transaminase values. On top of that, chronic exposure to low air quality, with a higher concentration of carbon monoxide, negatively affects the reproductive system, since it results in male and female infertility, low sperm count, and disorders of the female menstrual cycle. The effects of exposure to carbon monoxide are very severe, since they put people's health and lives

at risk. In this light, it is necessary to make use of available technologies and take measures, in order to reduce the release of carbon monoxide into the atmosphere, as well as in indoor areas. In conclusion, it is believed that it is necessary to raise the awareness of citizens on carbon monoxide, and this should take place through information provided by the government in the context of environmental education.

**Keywords:** Carbon monoxide, air pollution, sources, poisoning, health effects, nervous system, cardiovascular system, respiratory system

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα τοξικό αέριο που παράγεται από την καύση της οργανικής ύλης και σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει καλή παροχή οξυγόνου, δηλαδή σε μικρούς και σε κλειστούς χώρους. Η έλλειψη επαρκούς ποσότητας οξυγόνου έχει ως συνέπεια να μην οξειδώνεται η οργανική ύλη σε διοξείδιο του άνθρακα κι εν τέλει να παράγεται μεγάλη ποσότητα μονοξειδίου, που είναι ιδιαίτερα επιβλαβής για τον άνθρωπο. Ειδικότερα, μπορεί να παραχθεί από την ατελή καύση κάθε οργανικού υλικού, δηλαδή κάθε υλικού που περιλαμβάνει άνθρακα, όπως για παράδειγμα του φυσικού αερίου, του πετρελαίου, του μεθανίου ή ακόμη και του τσιγάρου (Γεωργόπουλος κ.συν., 2013).

Το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται από πολλά και διαφορετικά εργαλεία ή μηχανήματα που χρησιμοποιεί ο σύγχρονος άνθρωπος στην καθημερινότητά του. Ακριβέστερα, μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να παραχθεί από τα αυτοκίνητα, από τις θερμάστρες και τα τζάκια, από θερμοσίφωνες, φούρνους και κάθε τύπου ηλεκτρικής συσκευής που χρησιμοποιεί αέριο. Ακόμη, σημαντικές ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα παράγονται από τις βιομηχανίες, οι οποίες χρησιμοποιούν ενέργεια που παράγεται από οργανικές ύλες, για τη διασφάλιση της εύρυθμης λειτουργίας τους (Dey & Dhal, 2019).

Η οξεία δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα, αποτελεί ένα φαινόμενο υψηλής επικινδυνότητας, καθώς μπορεί να προκαλέσει πολύ σοβαρές βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό και κατά συνέπεια στην υγεία του ανθρώπου, ή ακόμη και να οδηγήσει στον θάνατο (Huanf et al., 2021). Ωστόσο, οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία δεν είναι ορατές μόνο στην περίπτωση τη οξείας δηλητηρίασης αλλά και της χρόνιας έκθεσης σε χαμηλά επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα (Savioli et al., 2024).

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια να προσδιοριστούν οι βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της έκθεσης του ανθρώπου στο μονοξείδιο του άνθρακα, καθώς επίσης και να διερευνηθεί η πιθανότητα ύπαρξης σχέσης μεταξύ της έκθεσης στο συγκεκριμένο τοξικό αέριο και στην εκδήλωση χρόνιων νοσημάτων. Επιπρόσθετα, μέσω της εργασίας αυτής, εντοπίζονται και οι

διαθέσιμες τεχνολογίες περιορισμού των αυξημένων συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα όπως επίσης και τα μέτρα προστασίας που πρέπει να λαμβάνονται από τους ανθρώπους, σε επίπεδο προστασίας και πρόληψης.

Η εργασία έχει τη μορφή βιβλιογραφικής ανασκόπησης, που σημαίνει πως για την εκπόνησή της, χρησιμοποιούνται πρόσφατες μελέτες που έχουν δημοσιευθεί σε επιστημονικά περιοδικά, αναφορικά με τις μακροπρόθεσμες και βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα. Με τον τρόπο αυτόν, προκύπτουν επιστημονικά δεδομένα που θα παρατεθούν με συγκεντρωτικό τρόπο, ώστε να δημιουργηθεί ένα σχετικό πλαίσιο.

Παρόλο που η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση, η εργασία χαρακτηρίζεται για την καινοτομία της. Γενικότερα, δεν εντοπίζονται πολλές μελέτες που να εστιάζουν στις επιπτώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα σε διάφορες διαστάσεις της υγείας του ανθρώπου και ειδικότερα στην Ελλάδα, υπάρχει σημαντικό βιβλιογραφικό κενό. Το κενό αυτό καλύπτεται ως έναν βαθμό μέσα από την παρούσα εργασία, καθώς θα παρουσιάζει με συγκεντρωτικό τρόπο όλα τα πρόσφατα ερευνητικά δεδομένα για τις επιπτώσεις του συγκεκριμένου αερίου, στην υγεία του ανθρώπου.

Μέσα από την αναζήτηση που έχει πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα, διαπιστώθηκε πως οι περισσότερες μελέτες, εστιάζουν στη συσχέτιση του μονοξειδίου του άνθρακα με μια συγκεκριμένη πάθηση ή ασθένεια (όπως για παράδειγμα είναι οι πνευμονοπάθειες, η γαστρορραγία κτλ.) και δεν εκτιμούν συνολικά τις επιπτώσεις του, στην υγεία του ανθρώπου. Συνεπώς, η συγκεκριμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση έχει έναν ιδιαίτερα ολοκληρωμένο χαρακτήρα, της οποίας τα αποτελέσματα μπορούν να συνεισφέρουν στην κατανόηση της σοβαρότητας του προβλήματος της συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα στην υγεία του ανθρώπου και παράλληλα μπορεί να δώσει ερεθίσματα για την ανάπτυξη τεχνολογιών και για την υιοθέτηση μέτρων προστασίας σε ανοικτούς και κλειστούς χώρους.



## 2. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

### 2.1 Ορισμός, ρύποι και παράγοντες ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η ατμοσφαιρική ρύπανση αναφέρεται στην αλλοίωση της ποιοτικής και ποσοτικής σύνθεσης και σύστασης του ατμοσφαιρικού αέρα, ο οποίος αποτελείται από άζωτο, σε ποσοστό 78% v/v, από οξυγόνο σε ποσοστό 21% v/v, από διοξείδιο του άνθρακα σε ποσοστό 0,03% v/v και από ευγενή αέρια σε ποσοστό 0,9% v.v. Η εν λόγω αλλοίωση σχετίζεται με την παρουσία διαφόρων ρυπογόνων ουσιών, αέρια, υγρά ή στερεά σωματίδια, που ξεπερνούν τα αποδεκτά ή διαφορετικά τα φυσιολογικά επίπεδα (Thomas, 2017). Ως ρύποι ορίζονται οι ουσίες εκείνες, που μπορεί να απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα είτε μέσω φυσικών, είτε μέσω ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και να επηρεάσουν τη σύσταση του αέρα (Sarla, 2020). Η ύπαρξη ρύπων στον ατμοσφαιρικό αέρα επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα του κι έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων αλλά και στην επιβίωση των ζώων και των φυτών (Thomas, 2017).

Οι βασικοί ρύποι που ευθύνονται για την ατμοσφαιρική ρύπανση, παρουσιάζονται στον πίνακα 1, από τον πίνακα απουσιάζει το μονοξείδιο του άνθρακα που παρουσιάζεται αναλυτικά στο κεφ.3.

Πίνακας 1. Ρύποι που ευθύνονται για την ατμοσφαιρική ρύπανση (Braun et al., 2021; Γεωργόπουλος κ.συν., 2013; Lee et al., 2016)

Ρύπος	Περιγραφή
Υδρογονάνθρακες	Οι υδρογονάνθρακες αποτελούν έναν πολύ σημαντικό ρύπο, που έχει αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Σημειώνεται πως έχουν τη δυνατότητα να αλληλοεπιδράσουν με άλλα στοιχεία του ατμοσφαιρικού αέρα και να οδηγήσουν σε ακόμη πιο τοξικούς ρύπους. Κύριες πηγές υδρογονανθράκων είναι τα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν ως καύσιμο τη βενζίνη, οι βιομηχανίες, η

	αποτέφρωση απορριμμάτων, το ψήσιμο κρεάτων που στηρίζεται στη χρήση κάρβουνου και το τσιγάρο.
Οξείδια του αζώτου NO <sub>x</sub>	Τα οξείδια του αζώτου προκύπτουν από την απελευθέρωση του αζώτου στην ατμόσφαιρα και την αντίδρασή του με το οξυγόνο. Παράγονται τόσο από ανθρωπογενείς, όσο και από φυσικές διεργασίες. Ειδικότερα, είναι αποτέλεσμα της καύσης ορυκτών καυσίμων, της χρήσης αυτοκινήτων κι άλλων μέσων μεταφοράς και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σημειώνεται πως το διοξείδιο του αζώτου παράγεται και από διάφορα θερμαντικά μέσα που κάνουν καύση αερίου και ξύλου. Επίσης, οξείδια του αζώτου παράγονται κατά τη διάρκεια διαφόρων καιρικών φαινομένων, όπως είναι οι καταιγίδες αλλά και από την αποσύνθεση βακτηρίων. Το διοξείδιο του αζώτου είναι τοξικό αέριο, με χρώμα και με οσμή, το οποίο μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες στην υγεία των ανθρώπων.
Διοξείδιο του θείου SO <sub>2</sub>	Το διοξείδιο του θείου είναι άοσμο και άχρωμο όταν βρίσκεται σε μικρές συγκεντρώσεις και έχει έντονη οσμή, όταν βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Το διοξείδιο του θείου αντιδρά με το οξυγόνο, με τους υδρατμούς κι άλλα στοιχεία, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται διάφορες ενώσεις και θειικά άλατα, που είναι ιδιαίτερα τοξικά και επιβαρυντικά για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Κύριες πηγές διοξειδίου του άνθρακα είναι το πετρέλαιο και οι γαιάνθρακες, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, όπως επίσης και η αναερόβια αποσύνθεση της οργανικής ύλης. Το διοξείδιο του άνθρακα έχει αρνητικές συνέπειες στην υγεία του ανθρώπου, κυρίως στο αναπνευστικό σύστημα και είναι παράλληλα επιβλαβές για τα φυτά.

Όζον O <sub>3</sub>	Το όζον είναι ένα αέριο που έχει πολύ απαλό κυανό χρώμα και μπορεί να γίνει αντιληπτό, μόνο στις περιπτώσεις εκείνες, που η συγκέντρωσή του είναι πολύ μεγάλη. Επίσης, έχει ήπια οσμή, η οποία επίσης γίνεται εντονότερη σε περιπτώσεις υψηλών συγκεντρώσεων. Το όζον μπορεί να χαρακτηριστεί ως καλό αέριο ή ως ρύπος. Το καλό όζον βρίσκεται στα ανώτερα στρώματα τροπόσφαιρας και στη στρατόσφαιρα και το κακό όζον, εντοπίζεται στα χαμηλά ύψη της τροπόσφαιρας. Το κακό όζον προκαλεί διαβρώσεις υλικών, έχει τοξική δράση στα φυτά και επηρεάζει με αρνητικό τρόπο την ανάπτυξη των δασών. Επίσης, επηρεάζει αρνητικά την υγεία του ανθρώπου και ειδικά το αναπνευστικό του σύστημα.
Αιωρούμενα σωματίδια	Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι ουσίες που βρίσκονται σε στερεή ή σε υγρή κατάσταση, κι έχουν διάμετρο από 0,0002μm έως 200 μm. Ιδιαίτερα γνωστά αιωρούμενα σωματίδια είναι ο καπνός, η ιπτάμενη τέφρα, τα σταγονίδια που προέρχονται από τη θάλασσα και η ομίχλη. Τα εισπνεύσιμα σωματίδια, διακρίνονται στα PM <sub>10</sub> και τα PM <sub>2,5</sub> . Τα PM <sub>10</sub> είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία, λόγω ότι απορροφούν κι άλλους ρύπους, όπως είναι οι πολυαρωματικές ενώσεις, που θεωρούνται ως καρκινογόνες. Επίσης, τα σωματίδια αυτά επηρεάζουν με αρνητικό τρόπο το αναπνευστικό και το καρδιαγγειακό σύστημα.

Οι κύριοι παράγοντες που ευθύνονται για την υποβάθμιση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα και για την ατμοσφαιρική ρύπανση παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 2. Παράγοντες που ευθύνονται για την ατμοσφαιρική ρύπανση (Thomas, 2017, σελ. 70, επεξεργασία συγγραφέως)

Ορυκτά καύσιμα: Πετρέλαιο, βενζίνη, άνθρακας κτλ.	Κατά την καύση των συγκεκριμένων ορυκτών καυσίμων, απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα διάφοροι ρύποι, οι οποίοι αλλοιώνουν τη σύνθεση του ατμοσφαιρικού αέρα. Η χρήση των ορυκτών εξυπηρετεί την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των ανθρώπων, όσον αφορά στη θέρμανση, στις μεταφορές-μετακινήσεις και στη βιομηχανική δραστηριότητα.
Χρήση αυτοκινήτων, φορτηγών κι άλλων μέσων μεταφοράς.	Η χρήση των οχημάτων, στηρίζεται στην καύση ορυκτών καυσίμων, όπως είναι το πετρέλαιο. Η χρήση τους, οδηγεί στην απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων μονοξειδίου του άνθρακα και οξειδίων του αζώτου.
Γεωργία	Τα υποπροϊόντα της γεωργικής δραστηριότητας και συγκεκριμένα το μεθάνιο και η αμμωνία, είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα για την ατμόσφαιρα. Ο κίνδυνος ρύπανσης αυξάνεται ακόμη περισσότερο από τη χρήση εντομοκτόνων, λιπασμάτων και άλλων χημικών, καθώς μέρη αυτών απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα.
Βιομηχανία- μεταποίηση	Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται σε βιομηχανικό επίπεδο για την παραγωγή προϊόντων, έχουν ως απόρροια την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων μονοξειδίου του άνθρακα κι άλλων χημικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα, επηρεάζοντας αρνητικά την ποιότητα του αέρα. Επισημαίνεται πως οι μονάδες διύλισης πετρελαίου εκλύουν στην ατμόσφαιρα, μεγάλες ποσότητες υδρογονανθράκων, που ευθύνονται για την ατμοσφαιρική ρύπανση.
Αποψίλωση των δασών	Προκειμένου να καλυφθούν οι βασικές ανάγκες των ανθρώπων, όπως είναι η διατροφή και η στέγαση, αλλά και να πραγματοποιηθούν οι αναγκαίες υποδομές, πραγματοποιείται αποψίλωση των δασών. Ως εκ τούτου, επηρεάζεται αρνητικά η σύνθεση του ατμοσφαιρικού αέρα,

	καθώς δεν είναι εφικτή η απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα.
Οικιακές δραστηριότητες	Πολλά από τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται από τα νοικοκυριά σε καθημερινό επίπεδο, ευθύνονται για την απελευθέρωση χημικών ουσιών, που επηρεάζουν με τον χειρίστο τρόπο την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Μεταξύ αυτών των προϊόντων είναι τα καθαριστικά και τα χρώματα.
Κάπνισμα	Το κάπνισμα είναι μια συνήθεια, που σχετίζεται με την απελευθέρωση μονοξειδίου του άνθρακα, το οποίο είναι ιδιαίτερα επιβλαβές για την υγεία του ανθρώπου και για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα.
Μεταλλεία και εξόρυξη	Η λειτουργία των μεταλλείων και η εξόρυξη, επηρεάζουν με πολύ αρνητικό τρόπο την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα κι έχει συνδεθεί με την πρόκληση σοβαρών προβλημάτων υγείας, στους εργαζόμενους σε αυτά και σε κατοίκους γειτονικών περιοχών.

## 2.2 Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ευρωπαϊκή Ένωση

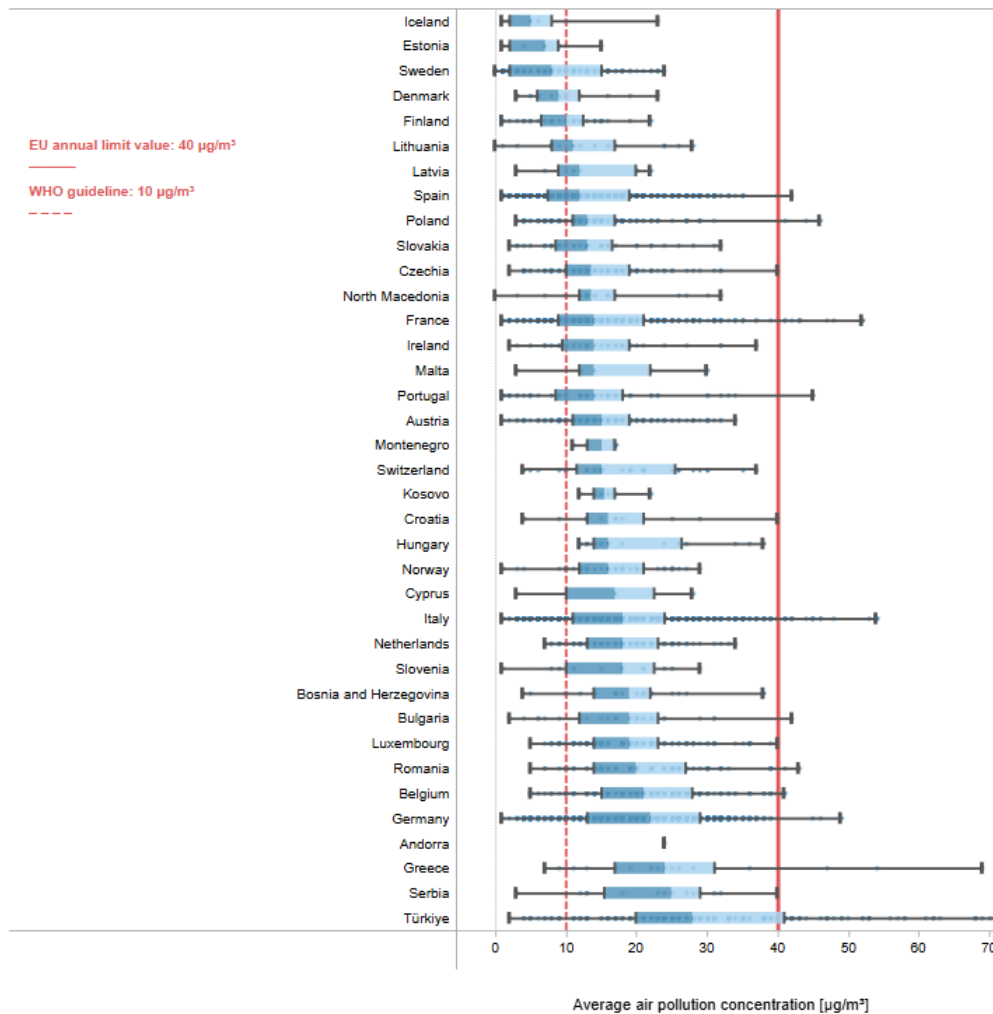
Από την ενότητα απουσιάζει το μονοξείδιο του άνθρακα που παρουσιάζεται αναλυτικά στο κεφ.3.

Βασικός στόχος της Ε.Ε. είναι να βελτιωθεί σημαντικά η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, δεδομένης της θετικής επίδρασης που έχει στην υγεία των ανθρώπων. Υπό το πρίσμα αυτό, έχει ασκήσει σημαντικές πιέσεις στις κυβερνήσεις των χωρών μελών, να υιοθετήσουν μέτρα που θα συμβάλλουν στην επιτυχή αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Pisoni et al., 2023). Ακολουθώς παρουσιάζονται κάποια στοιχεία, που καταδεικνύουν τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην Ε.Ε. και στις χώρες μέλη της.

Ακολουθώς, το σχήμα 1 δείχνει τη συγκέντρωση του διοξειδίου του αζώτου, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το 2022. Από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν παρατηρείται

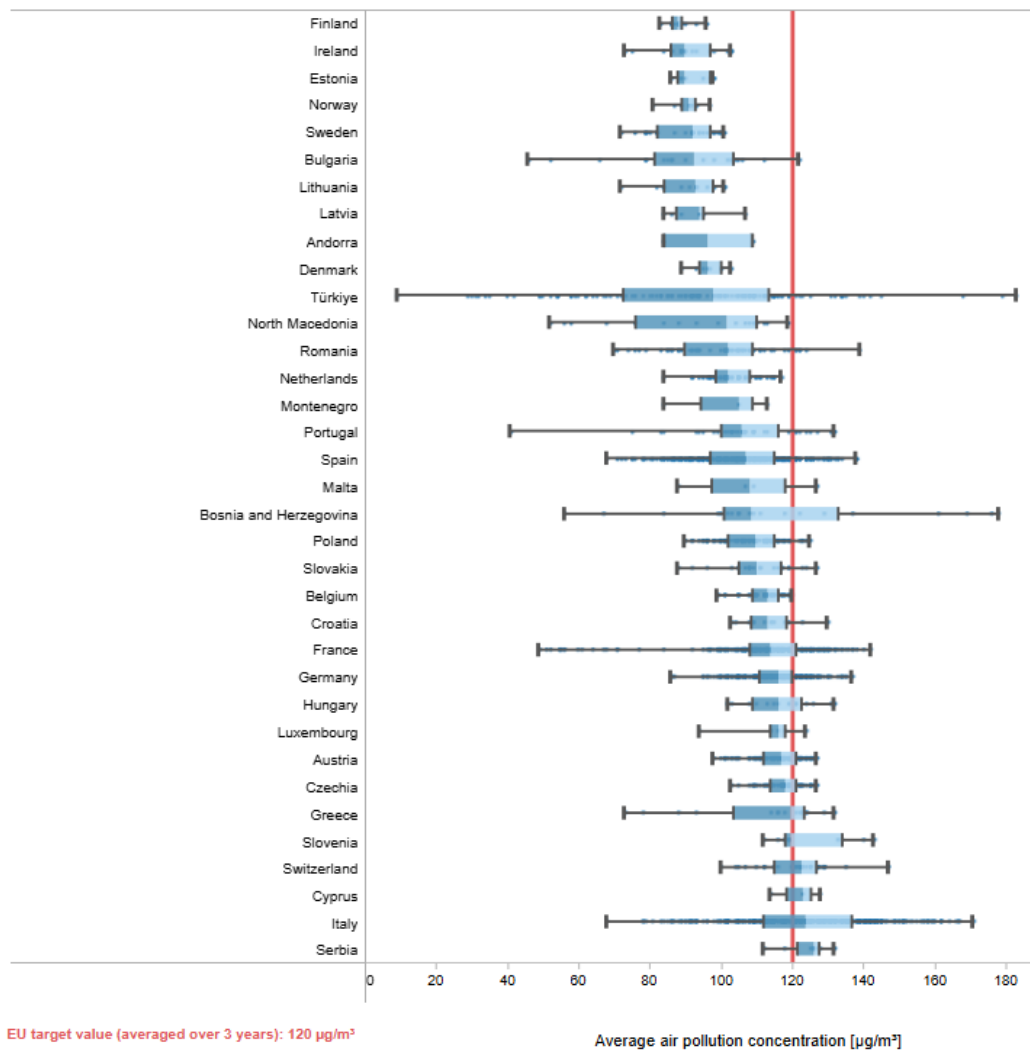
πως σχεδόν σε όλες τις χώρες, η συγκέντρωση του συγκεκριμένου αερίου είναι μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση που προτείνει ως ασφαλή για την υγεία του ανθρώπου, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Επίσης, παρατηρείται πως σε ορισμένες χρονικές περιόδους του 2022, η συγκέντρωση υπερέβη σε ορισμένες χώρες, μεταξύ των οποίων η Τουρκία, η Ελλάδα, η Γαλλία και η Γερμανία, το ανώτατο όριο, σύμφωνα με τις συστάσεις της Ε.Ε. ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Ειδικότερα, στην περίπτωση της Ελλάδας, παρατηρείται πως ο μέσος όρος κυμαίνεται κάτω από το όριο που συστήνει η Ε.Ε. αλλά σε κάποιες περιόδους του έτους, έλαβε πολύ υψηλότερες τιμές ( $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Συνεπώς, διαπιστώνεται πως στις χώρες αυτές, κρίνεται αναγκαία η λήψη πρόσθετων μέτρων, ώστε να μπορέσει να διασφαλιστεί μια καλή ποιότητα ατμοσφαιρικού αέρα, που θα προστατεύσει τον άνθρωπο, από σοβαρά προβλήματα υγείας.

Σχήμα 1. Συγκέντρωση διοξειδίου του αζώτου το 2022, στις χώρες της Ε.Ε. σε σύγκριση με τα ανώτερα όρια της Ε.Ε. και του Παγκόσμιου Οργανισμού υγείας (European Environment Agency, 2024).



Ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα στοιχεία του σχήματος 2, τα οποία παρουσιάζουν στοιχεία σχετικά με τη συγκέντρωση του όζοντος στην ατμόσφαιρα των χωρών της Ε.Ε. Το όριο ασφαλείας που θέτει η Ε.Ε. είναι τα 120 µg/m<sup>3</sup>, το οποίο υπερβαίνεται κατά πολύ μεγάλο ποσοστό, στην Τουρκία, στη Βοσνία Ερζεγοβίνη, στη Σλοβενία και στην Ιταλία. Στην περίπτωση της Ελλάδας, ο μέσος όρος της συγκέντρωσης του συγκεκριμένου αερίου για το έτος 2022, εκτιμήθηκε ακριβώς στο επιτρεπόμενο όριο της Ε.Ε.

Σχήμα 2. Συγκέντρωση όζοντος το 2022, στις χώρες της Ε.Ε. σε σύγκριση με τα ανώτερα όρια της Ε.Ε. και του Παγκόσμιου Οργανισμού υγείας (European Environment Agency, 2024).

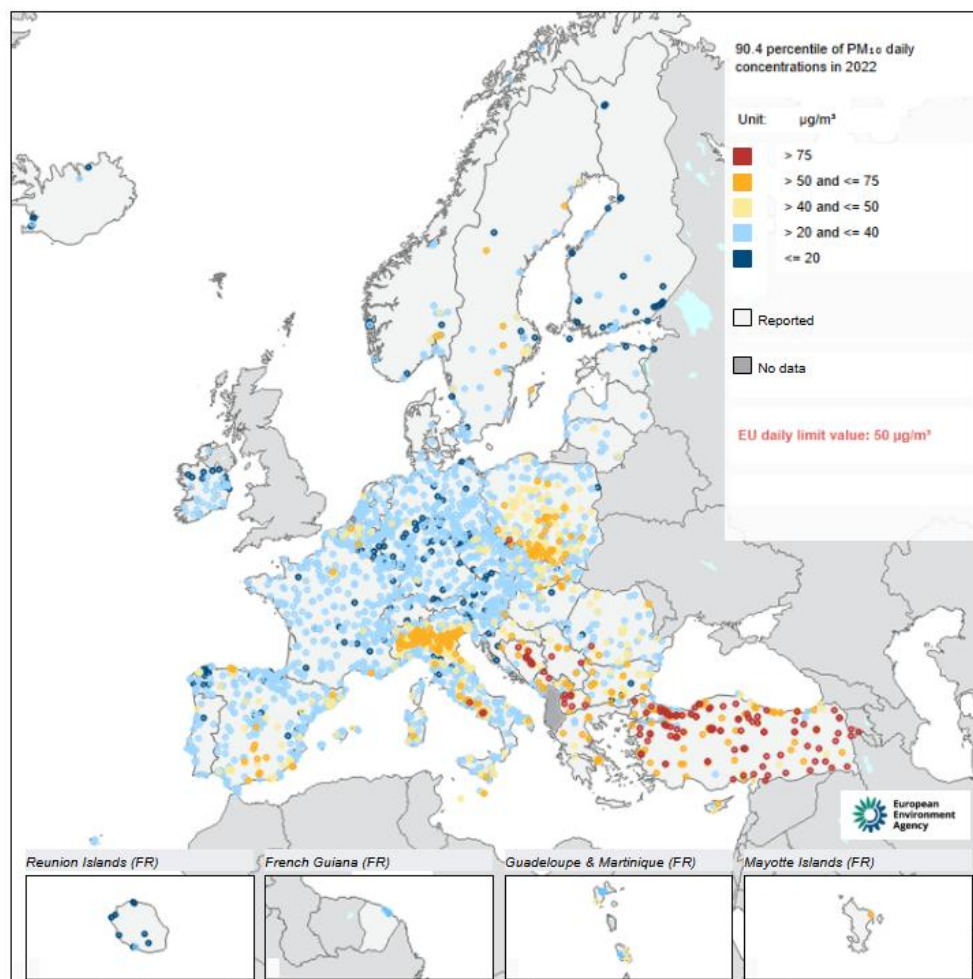


Αναφορά πρέπει να γίνει και στο σχήμα 3, που αποτυπώνει τη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> στην Ευρώπη για το έτος 2022. Παρατηρείται πως στις χώρες της Δυτικής Ευρώπης, τα επίπεδα συγκέντρωσης των συγκεκριμένων σωματιδίων κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Μεγαλύτερη συγκέντρωση εντοπίζεται στην Πολωνία, στη Βόρεια Ιταλία και στις Βαλκανικές χώρες μεταξύ των οποίων και στην Ελλάδα. Ειδικότερα, στην Ελλάδα η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> ήταν μεγαλύτερη των 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  και μικρότερη από 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Επίσης, πρέπει να σημειωθεί πως στην κεντρική Ιταλία, σε κάποιες Βαλκανικές χώρες και την Τουρκία η συγκέντρωση κυμαίνεται στα πολύ υψηλά επίπεδα, μεγαλύτερα από  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

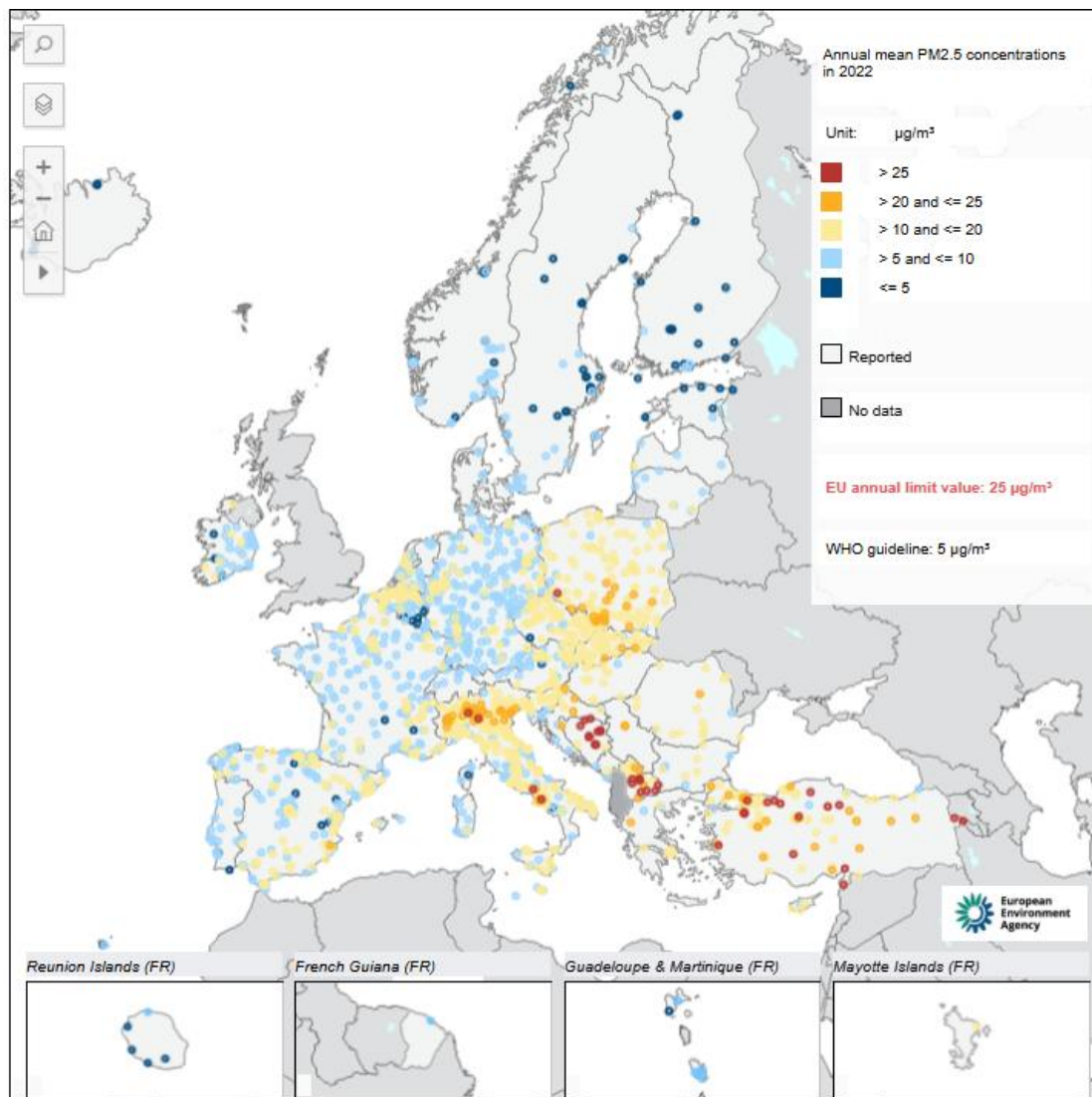
Σχήμα 3. Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>10</sub> για το 2022 (European Environment Agency, 2024).



Από το σχήμα 4, προκύπτουν στοιχεία αναφορικά με τη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>2.5</sub> στην Ευρώπη για το έτος 2022. Παρατηρείται πως στις χώρες της Δυτικής Ευρώπης, τα επίπεδα συγκέντρωσης των συγκεκριμένων σωματιδίων κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Μεγαλύτερη συγκέντρωση εντοπίζεται στην Πολωνία, στη Βόρεια Ιταλία και στις Βαλκανικές χώρες. Ειδικότερα, στην Ελλάδα η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>2.5</sub> ήταν μεγαλύτερη των  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  στην Αθήνα και μεγαλύτερη από  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  στη Δυτική Μακεδονία.

Επίσης, πρέπει να σημειωθεί πως στην κεντρική και τη βόρεια Ιταλία, σε κάποιες Βαλκανικές χώρες και την Τουρκία η συγκέντρωση κυμαίνεται στα πολύ υψηλά επίπεδα, μεγαλύτερα από  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Σχήμα 4. Συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων PM<sub>2.5</sub> για το 2022 (European Environment Agency, 2024).



Όσον αφορά στη συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου, παρατηρείται πως η Βοσνία και Ερζεγοβίνη, η Τουρκία, η Βόρεια Μακεδονία και η Σερβία είναι χώρες στις οποίες τα επίπεδα κυμαίνονται σε επίπεδα υψηλότερα των  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  που αποτελούν τα αποδεκτά όρια σύμφωνα με την Ε.Ε. Ακόμη, 17 χώρες, εκ των οποίων οι 9 είναι μέλη της Ε.Ε. καταγράφουν συγκέντρωση μεγαλύτερη των  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , που αποτελεί το όριο

σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (European Environment Agency, 2024).

### 2.3 Μέτρα αντιμετώπισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Η αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αποτελεί τόσο ευθύνη των κυβερνήσεων των χωρών, όσο και ευθύνη των επιχειρήσεων/παραγωγών και ατομική ευθύνη των πολιτών. Σε πολιτικό επίπεδο, οι κυβερνήσεις των χωρών πρέπει να δώσουν κίνητρα σε επιχειρήσεις και σε νοικοκυριά, να στραφούν σε πηγές ανανεώσιμης ενέργειας και στον περιορισμό της χρήσης συμβατικών μορφών ενέργειας (Acka, 2024). Τα κίνητρα πρέπει να είναι οικονομικής φύσης και να αφορούν είτε σε επιδοτήσεις, είτε σε φοροαπαλλαγές.

Επιπλέον, οι κυβερνήσεις των χωρών πρέπει να προωθήσουν τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων και υβριδικών, προκειμένου να περιοριστεί η έκλυση αερίων που επιφέρει την ατμοσφαιρική ρύπανση (Chen, 2023). Σημειώνεται πως η προτίμηση των συγκεκριμένων οχημάτων έχει θετικό αντίκτυπο στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (Xie et al., 2024). Πολύ σημαντικό είναι να τονιστεί, πως η προώθηση αυτού του τύπου οχημάτων, πρέπει να συνοδεύεται από κίνητρα, ώστε από τη μία πλευρά οι επιχειρήσεις να μπορέσουν να αντικαταστήσουν τον στόλο τους ευκολότερα και τα νοικοκυριά, να παρακινηθούν να προβούν στην αγορά ενός ηλεκτρικού ή υβριδικού οχήματος, όταν προκύψει ανάγκη (Alanazi, 2023).

Οι επιχειρήσεις και οι παραγωγοί, μικρότερης ή μεγαλύτερης δυναμικής, πρέπει να υιοθετήσουν κι αυτοί με τη σειρά τους διάφορα μέτρα, προκειμένου η δραστηριότητά τους, να ελαχιστοποιήσει στον μέγιστο δυνατό βαθμό την έκλυση αερίων, που επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Ειδικότερα, οι επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στον χώρο της βιομηχανίας, θα πρέπει να στραφούν προς τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και να αντικαταστήσουν τις συμβατικές πηγές, που χρησιμοποιούν (Acka, 2023). Με τον τρόπο αυτόν θα ελαχιστοποιηθεί η έκλυση ρύπων, όπως είναι το μονοξείδιο του άνθρακα και θα βελτιωθεί η ποιότητα του αέρα (Ribeiro et al., 2015). Επιπλέον, η χρήση ειδικών τεχνολογιών, που ελέγχουν την κατανάλωση της ενέργειας, μπορεί να έχει πολύ θετικό

αντίκτυπο στη μείωση των αερίων που απελευθερώνονται κατά την παραγωγική διαδικασία (Sofia et al., 2020).

Λόγος πρέπει να γίνει και στην πραγματοποίηση επενδύσεων, προκειμένου να περιοριστεί η κατανάλωση ενέργειας. Οι επιχειρήσεις καλούνται να προβούν σε ανακαινίσεις κτηρίων και σε αντικατάσταση μηχανολογικών εξοπλισμών, που καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Η στροφή προς τα πράσινα κτήρια, όπως επίσης και σε εξοπλισμό, ο οποίος ελαχιστοποιεί τις εκλύσεις αερίων, αποτελεί επιτακτική ανάγκη για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Manzueta et al., 2024). Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει και στην αξιοποίηση του μοντέλου της τηλεργασίας, το οποίο αποτρέπει τις μετακινήσεις των εργαζόμενων, όταν είναι εφικτό να εργαστούν από τον προσωπικό τους χώρο. Σημειώνεται πως η τηλεργασία είναι ένα μοντέλο εργασίας, που ενδείκνυται για εργασίες, που δεν έχουν χειρωνακτικό χαρακτήρα (Giovanis, 2018).

Οι αγρότες και οι κτηνοτρόφοι καλούνται να υιοθετήσουν επίσης κάποια μέτρα, που θα συμβάλλουν στη μείωση της έκλυσης ρύπων στην ατμόσφαιρα. Ειδικότερα, πρέπει να περιορίσουν τη χρήση φαρμάκων, λιπασμάτων κι άλλων βελτιωτικών χημικών, που περιέχουν στοιχεία τα οποία απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα και προκαλούν τη ρύπανσή της. Ακόμη, οι κτηνοτρόφοι πρέπει να προσέχουν τις τροφές που χρησιμοποιούν για τη σίτιση των ζώων τους και να επεξεργάζονται με σύγχρονο εξοπλισμό και σύγχρονες μεθόδους τα απόβλητά τους. Πολύ σημαντικό είναι να αποφεύγονται διαδικασίες, όπως είναι η καύση των υπολειμμάτων των αγροτικών καλλιεργειών, μέσω των οποίων επιβαρύνεται σημαντικά η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα (Sechna & Patel, 2023).

Πληθώρα διαφορετικών μέτρων δύνανται να υιοθετηθούν σε ατομικό επίπεδο από τους πολίτες, προκειμένου να περιοριστεί η ατμοσφαιρική ρύπανση. Ένα από τα μέτρα αυτά, αφορούν στη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς και ποδηλάτων, έναντι των ιδιωτικών οχημάτων, καθώς όπως έχει διαπιστωθεί σχεδόν το 70% της ποσότητας των ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι αποτέλεσμα της χρήσης αυτοκινήτων, μοτοσυκλετών κτλ. Μέσω της στροφής προς τα μέσα μαζικής μεταφοράς, τη χρήση ποδηλάτων αλλά και το περπάτημα, εκτιμάται πως θα περιοριστεί σε πολύ μεγάλο

βαθμό η συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα, διοξειδίου του αζώτου, διοξειδίου του θείου και υδρογονανθράκων (Sofia et al., 2020). Επιπλέον, πολύ σημαντική είναι η προτίμηση ηλεκτρικών αυτοκινήτων, καθώς διαπιστώνεται πως η στροφή σε αυτή, δύνανται να μειώσει αισθητά τους αέριους ρύπους που εκλύονται στην ατμόσφαιρα κι επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του αέρα (Maniotis et al., 2024).

Επίσης, διάφορες ενέργειες που σχετίζονται με τις καθημερινές δραστηριότητες στο σπίτι, ευθύνονται για την επιβάρυνση του ατμοσφαιρικού αέρα. Υπό το πρίσμα αυτό, η χρήση συστημάτων θέρμανσης, που έχουν τον ελάχιστο δυνατό αντίκτυπο στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα είναι ένα μέτρο, που μπορεί να ληφθεί σε ατομικό επίπεδο. Πολύ σημαντική είναι και η αποφυγή μεθόδων θέρμανσης, που χρησιμοποιούν πρώτη ύλη, που εκλύει μεγάλες ποσότητες ρύπων στην ατμόσφαιρα. Ακόμη, η εξοικονόμηση ενέργειας είναι μια ακόμη πρακτική, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ατομικό επίπεδο και αφορά στην αναβάθμιση των κτηριακών υποδομών και εγκαταστάσεων, στην αποφυγή άσκοπης κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος, στην αντικατάσταση παλαιών ηλεκτρικών συσκευών, με ηλεκτρικές συσκευές που εξοικονομούν ενέργειες. Λόγος πρέπει να γίνει και στη χρήση απορρυπαντικών, φιλικών προς το περιβάλλον, που δεν απελευθερώνουν βλαβερά αέρια στην ατμόσφαιρα (Sofia et al., 2020).

### 3. ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

#### 3.1 Φυσικοχημικές ιδιότητες

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα άοσμο, άχρωμο και ιδιαίτερα εύφλεκτο αέριο, το οποίο είναι παράλληλα και ιδιαίτερα επικίνδυνο για την υγεία και τη ζωή του ανθρώπου. Ο μοριακός τύπος του είναι CO και έχει σχετική μοριακή μάζα 28.010. Το σημείο τήξης του ορίζεται στους  $-205.01\text{ }^{\circ}\text{C}$  και το σημείο ζέσεως του, στους  $-191,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Wilbur et al., 2012). Η πυκνότητα του μονοξειδίου του άνθρακα στο σημείο ζέσεως είναι  $0,814\text{ g/cm}^3$  και στους  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , η πυκνότητά του είναι  $1,25\text{ g/cm}^3$ . Η διπολική του ροπή είναι 0.122 D, καθώς το O είναι ελαφρώς θετικό και ο C, ελαφρώς αρνητικός (Βαλαβανίδης & Ευσταθίου, 2012).

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι διαλυτό στο οξικό οξύ, στην αιθανόλη, στη μεθανόλη, στο βενζόλιο, στο χλωροφόρμιο και στον οξικό αιθυλαστέρα. Αξίζει να υπογραμμιστεί πως το μονοξείδιο του άνθρακα, διαλύεται και στο νερό αλλά η διαλυτότητά το, στη μεθανόλη και την αιθανόλη είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι στο νερό (φτάνει έως και τις 7 φορές) (Βαλαβανίδης & Ευσταθίου, 2012). Σημειώνεται πως η διαλυτότητα στο νερό, στους  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  και σε πίεση μιας ατμόσφαιρας ανέρχεται στα 3,54ml/100ml, στους  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  και σε πίεση μιας ατμόσφαιρας ανέρχεται στα 2,14ml/100ml και στους  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  και σε πίεση μιας ατμόσφαιρας ανέρχεται στα 1,83ml/100ml (WHO, 1979).

#### 3.2 Πηγές

Το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται τόσο από φυσικές, όσο και από ανθρωπογενείς πηγές. Μάλιστα, ο Ohwojero (2016) αναφέρει πως το 60% της ποσότητας του μονοξειδίου του άνθρακα που εντοπίζεται στην ατμόσφαιρα είναι αποτέλεσμα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και το 40% αποτέλεσμα των διεργασιών, που πραγματοποιούνται στο φυσικό περιβάλλον.

##### 3.2.1 Φυσικές πηγές

Ξεκινώντας από τις φυσικές πηγές, ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στην φωτοχημική οξείδωση του μεθανίου,  $\text{CH}_4$ . Το μεθάνιο ελευθερώνεται μέσω της



αποσύνθεσης της οργανικής ύλης, η οποία πραγματοποιείται από τους αναερόβιους οργανισμούς (Yang et al., 2024).

Επίσης, ως πηγή μονοξειδίου του άνθρακα μπορούν να λογιστούν και οι εκρήξεις των ηφαιστείων, καθώς στα ηφαιστειακά εδάφη εντοπίζονται μεγάλη περιεκτικότητα μονοξειδίου του άνθρακα. Ακόμη είναι σημαντικό να τονιστεί πως κατά την πραγματοποίηση των εκρήξεων απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα σημαντικές ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα, ωστόσο πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (Dawson et al., 2025).

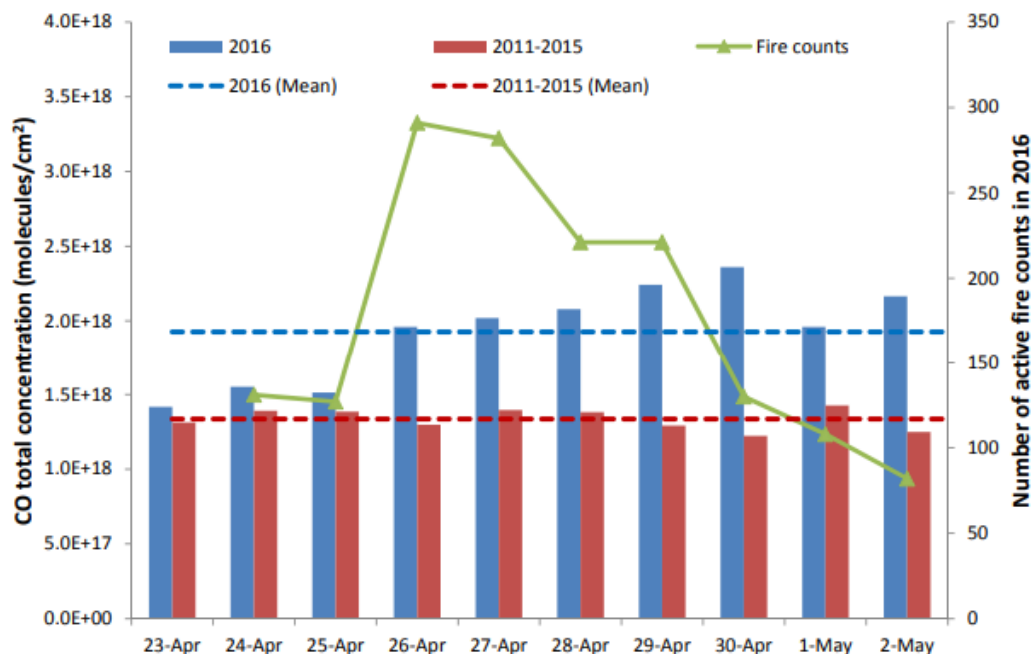
Αναφορά πρέπει να γίνει και στις μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα που εντοπίζονται στους ωκεανούς. Μπορεί να θεωρείται ως δευτερεύουσα πηγή μονοξειδίου του άνθρακα, αλλά σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να υποτιμηθεί (Conte et al., 2019). Το μονοξείδιο του άνθρακα που παράγεται από τους ωκεανούς είναι αποτέλεσμα της αντίδρασης της υπεριώδους ακτινοβολίας με τη διαλυμένη οργανική ύλη, που υπάρχει σε αυτούς. Το μονοξείδιο του άνθρακα φαίνεται πως εκλύεται από την επιφάνεια των ωκεανών στην ατμόσφαιρα και ακολούθως, αντιδρά με ρίζες υδροξυλίου στην τροπόσφαιρα, γεγονός που οδηγεί την οξείδωσή του σε CO<sub>2</sub> (Yang et al., 2024).

Επίσης, το μονοξείδιο του άνθρακα απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα και από δασικές πυρκαγιές. Όταν εκδηλώνονται πυρκαγιές στα δάση καίγονται τεράστιες ποσότητες βιομάζας και απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα διάφορα αέρια, μεταξύ των οποίων και το μονοξείδιο του άνθρακα. Υπογραμμίζεται πως τα αέρια που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, «ταξιδεύουν» σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, προκαλώντας ατμοσφαιρική μόλυνση σε πολλές περιοχές, που βρίσκονται πλησίον των εκτάσεων που καίγονται (Thakur et al., 2019).

Η μεγάλη ποσότητα μονοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται κατά τη διάρκεια δασικών πυρκαγιών γίνεται εμφανής και από το σχήμα 5, το οποίο δείχνει την ποσότητα του μονοξειδίου του άνθρακα, κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών που εκδηλώθηκαν από τις 24 Απριλίου έως τις 2 Μαΐου του 2016, σε δασικές εκτάσεις της Ινδίας. Με τις μπλε στήλες αποτυπώνεται η ποσότητα του μονοξειδίου του άνθρακα

που εκλύθηκε κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών και με την κόκκινη στήλη, η αντίστοιχη ποσότητα ως μέσος όρος των ετών 2011-2015. Επίσης, με τις διακεκομμένες γραμμές, παρουσιάζονται οι μέσοι όροι συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών (μπλε γραμμή) και κατά τη διάρκεια των προηγούμενων ετών (κόκκινη γραμμή).

Σχήμα 5. Ποσότητα CO κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών στην Ινδία, το 2016 (Thakur et al., 2019, σελ.6)



Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να τονιστεί πως η πολύ μεγάλη έκλυση μονοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια των δασικών πυρκαγιών, μπορεί να έχει σοβαρό αντίκτυπο στη ζωή των πυροσβεστών αλλά και των ζώων, που ζουν στα δάση (Kalogiannidis et al., 2023).

### 3.2.2 Ανθρωπογενείς πηγές

Στη βιβλιογραφία εντοπίζονται πολλές και διαφορετικές πηγές εκπομπής μονοξειδίου του άνθρακα που σχετίζονται με τα ανθρώπινες δραστηριότητες. Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει και στις εκλύσεις μονοξειδίου του άνθρακα, των μηχανών των οχημάτων και των μηχανών των σκαφών. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν οι Smith et al. (2019), το 56% των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα



προέρχονται από την καύση των μηχανών των οχημάτων και το 22% από την καύση των μηχανών των σκαφών. Σύμφωνα με τον Ohwojero (2016), οι μηχανές των αυτοκινήτων ευθύνονται σε πολύ μεγάλο βαθμό για την μόλυνση της ατμόσφαιρας με μονοξείδιο του άνθρακα αλλά και για την επιβάρυνση της υγείας των ανθρώπων, λόγω της εισπνοής του.

Η χρήση διαφόρων εστιών και φούρνων, όπως και άλλων συσκευών που χρησιμοποιούνται για την μαγειρική, ευθύνονται για την έκλυση μονοξειδίου του άνθρακα. Παράλληλα, διάφορες συσκευές θέρμανσης όπως είναι οι συσκευές κηροζίνης, ευθύνονται για την έκλυση μονοξειδίου του άνθρακα (Smith et al., 2019). Αναφορά πρέπει να γίνει και στους καυστήρες ξύλου και πέλλετ, οι οποίοι παράγουν μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα (Ciurpek et al., 2019).

Επιπρόσθετα, έκλυση μονοξειδίου του άνθρακα σημειώνεται σε ορυχεία μετά τις ανατινάξεις ή ακόμη σε διυλιστήρια πετρελαίου που βρίσκονται κοντά σε μονάδες καταλυτικής πυρόλυσης. Ακόμη, μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα παράγονται σε βιομηχανίες, όπου χρησιμοποιούνται μηχανές εσωτερικές καύσης. Ακόμη, είναι σημαντικό να τονιστεί πως το μονοξείδιο του άνθρακα χρησιμοποιείται σε διάφορες βιομηχανικές διεργασίες, με στόχο τη μείωση της περιεκτικότητας οξυγόνου του σιδήρου και άλλων μετάλλων. Ως εκ τούτου, τα αέρια λύματα και τα λύματα των υψικαμίνων, περιέχουν πολύ μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα (Smith et al., 2019).

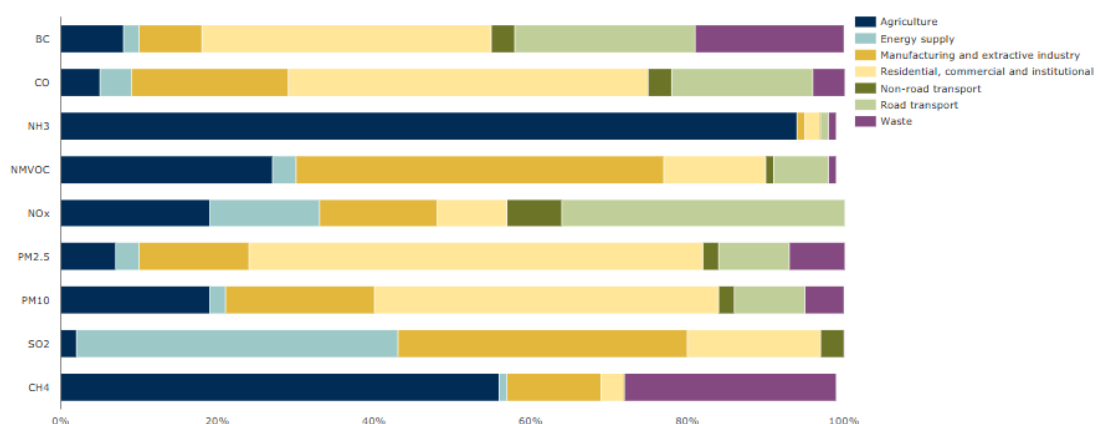
Αναφορά πρέπει να γίνει στη στροφή των ανθρώπων τα τελευταία χρόνια, προς τις πηγές ανανεώσιμης ενέργειας και συγκεκριμένα προς τη χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Σύμφωνα με τους Dong et al. (2023) τα φωτοβολταϊκά συστήματα περιέχουν υλικά, τα οποία οδηγούν στη φωτοχημική οξείδωση του μεθανίου και στη διάσπασή του σε  $H_2$  και C, ο οποίος στη συνέχεια οξειδώνεται και παράγεται CO. Ειδικότερα, διαπίστωσαν πως ανά g GIGS, παράγονται 2,4 mmol CO.

Το κάπνισμα λογίζεται ως μια ακόμη ανθρωπογενής δραστηριότητα, που θεωρείται ως πηγή μονοξειδίου του άνθρακα. Αξίζει να αναφερθεί πως στους χώρους των καπνιστών, η συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα υπερβαίνει τα 11 ppm, ενώ στους χώρους μη καπνιζόντων, η αντίστοιχη συγκέντρωση δεν ξεπερνά στα 2 ppm

(Smith et al., 2019). Υπογραμμίζεται πως οι χρόνιοι καπνιστές, έχουν αρκετά υψηλή συγκέντρωση καρβοξυανοσοφαιρίνης, η οποία ευθύνεται για πολλές και διαφορετικές παθήσεις για τον άνθρωπο (Dorey et al., 2020). Σχετικές λεπτομέρειες παρουσιάζονται παρακάτω στο κεφάλαιο 5.

Στο σημείο αυτό αναφορά πρέπει να γίνει στο σχήμα 6, το οποίο δείχνει τις πηγές έκλυσης διαφόρων ρύπων στην ατμόσφαιρα. Διαπιστώνεται πως οι κύριες ανθρωπογενείς δραστηριότητες που σχετίζονται με την έκλυση μονοξειδίου του άνθρακα είναι οι δραστηριότητες και οι ενέργειες που πραγματοποιούνται από επιχειρήσεις και οργανισμούς, καθώς επίσης και από νοικοκυριά. Περίπου το 45% του μονοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, οφείλεται σε επιχειρηματικές δραστηριότητες, το 20% σε δραστηριότητες μεταποίησης και εξόρυξης, το 20% στις μεταφορές, το 5% στις αγροτικές και κτηνοτροφικές εργασίες, και το υπόλοιπο 10% σε διαδικασίες που αφορούν στη μεταφορά ενέργειας, στη διαχείριση των αποβλήτων και σε μεταφορές εκτός οδικού δικτύου. Επιπλέον, σημαντικές πηγές απελευθέρωσης μονοξειδίου του άνθρακα είναι η βιομηχανία και τα μεταλλεία, όπως επίσης και οι μεταφορές.

Σχήμα 6. Πηγές και ατμοσφαιρικοί ρύποι στις χώρες της Ε.Ε. για το 2022 (European Environment Agency, 2024)



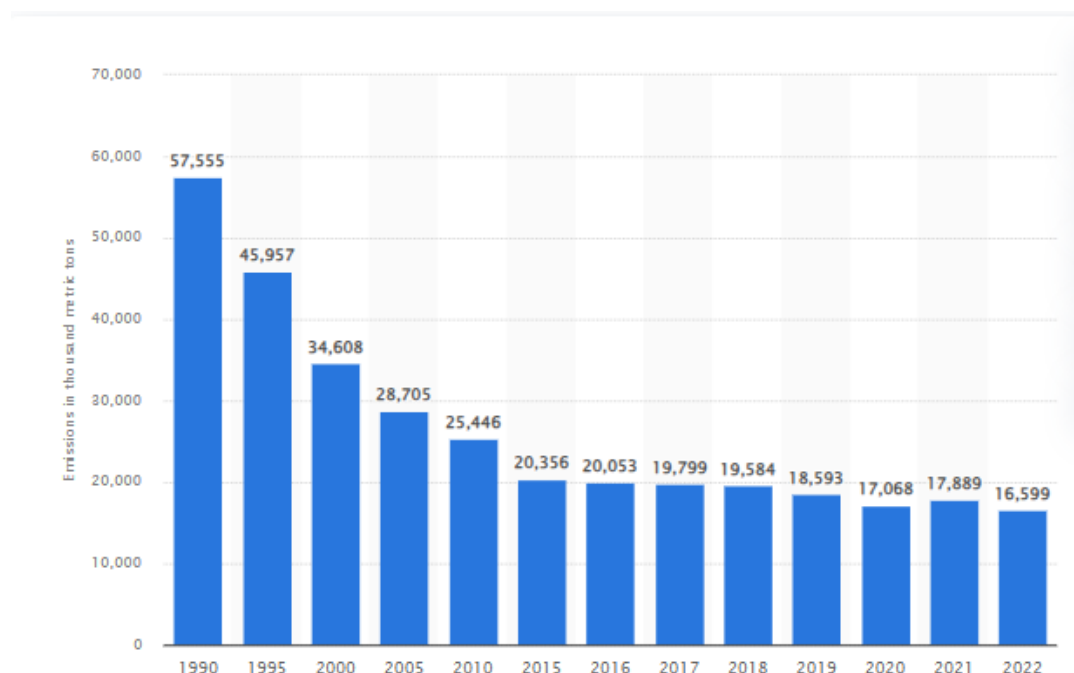
Ολοκληρώνοντας τις πηγές μονοξειδίου του άνθρακα πρέπει να αναφερθεί πως πρόκειται για έναν ατμοσφαιρικό ρύπο, που παράγεται σε διάφορες πηγές φυσικές και

ανθρωπογενείς, τον οποίο και εισπνέει ο άνθρωπος, σε καθημερινή βάση. Βέβαια, σε μικρές ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα παράγονται ενδογενώς, δηλαδή στον ανθρώπινο οργανισμό, μέσω της κατάλυσης της αίμης ή άλλων πρωτεϊνών που περιέχουν αίμη και λοιπών βασικών διεργασιών όπως είναι η υπεροξείδωση λιπιδίων και η φωτοοξείδωση (Isler, 2022).

### 3.3 Επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα σε χώρες της Ε.Ε.

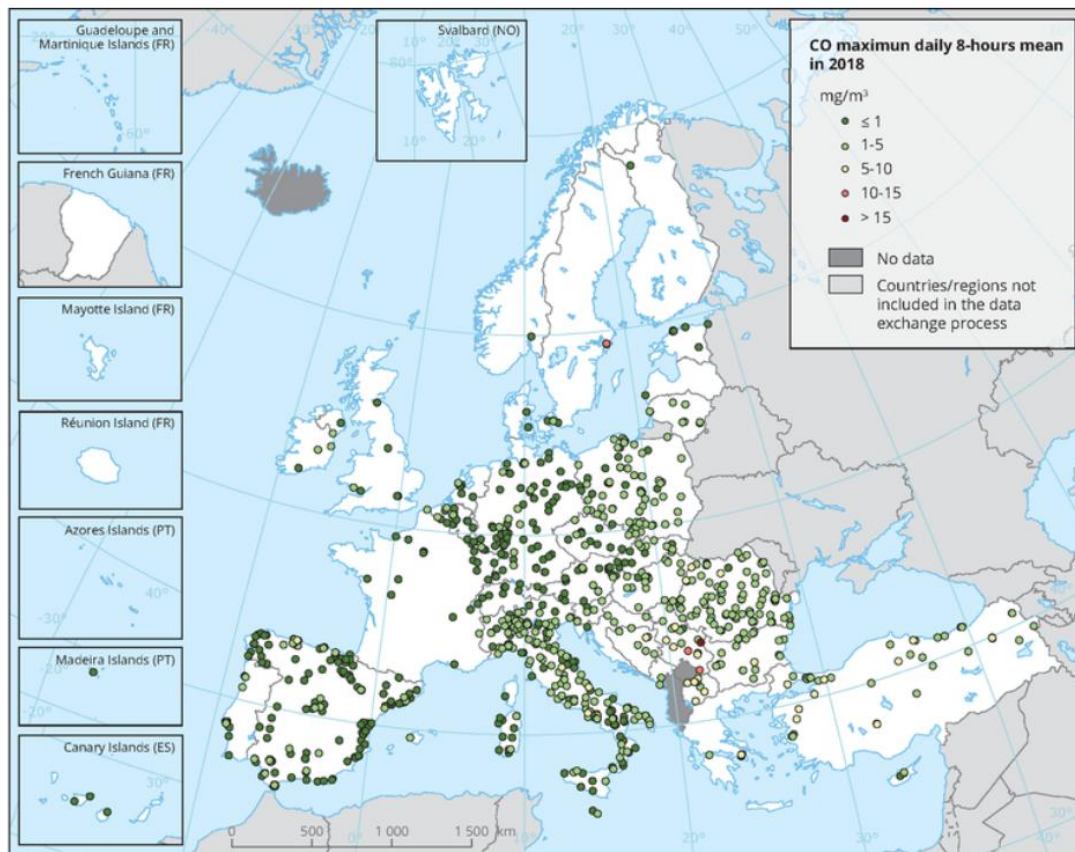
Από το σχήμα 7, εύκολα γίνεται αντιληπτό πως οι εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα των χωρών της Ε.Ε., έχουν μειωθεί σημαντικά από το 1990 έως το 2022. Ειδικότερα, το 1990 οι εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα, εκτιμήθηκαν στους 57.555 μετρικούς τόνους ενώ το 2022, στους 16.599 μετρικούς τόνους (Statista, 2025). Πρόκειται για ένα στοιχείο, που δείχνει πως έχουν πραγματοποιηθεί κάποια βήματα, που έχουν ιδιαίτερα θετικό αντίκτυπο στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα σε πρώτο χρόνο και στη συνέχεια, στην υγεία των ανθρώπων.

Σχήμα 7. Εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα στην Ευρωπαϊκή Ένωση από το 1990 έως το 2022 (σε μετρικούς τόνους) (Statista, 2025).



Το σχήμα 8 παρουσιάζει τη μέγιστη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα για 8 ώρες, σε χώρες της Ε.Ε. Διαπιστώνεται πως σχεδόν σε όλες τις χώρες, επιτυγχάνονται οι στόχοι του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, κατά τους οποίους η συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα  $10 \text{ mg/m}^3$ . Ειδικότερα, στην Ελλάδα, στην Πάτρα φαίνεται πως η συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα κυμαίνεται μεταξύ  $1\text{-}5 \text{ mg/m}^3$  και στην Αθήνα μεταξύ  $5\text{-}10 \text{ mg/m}^3$ .

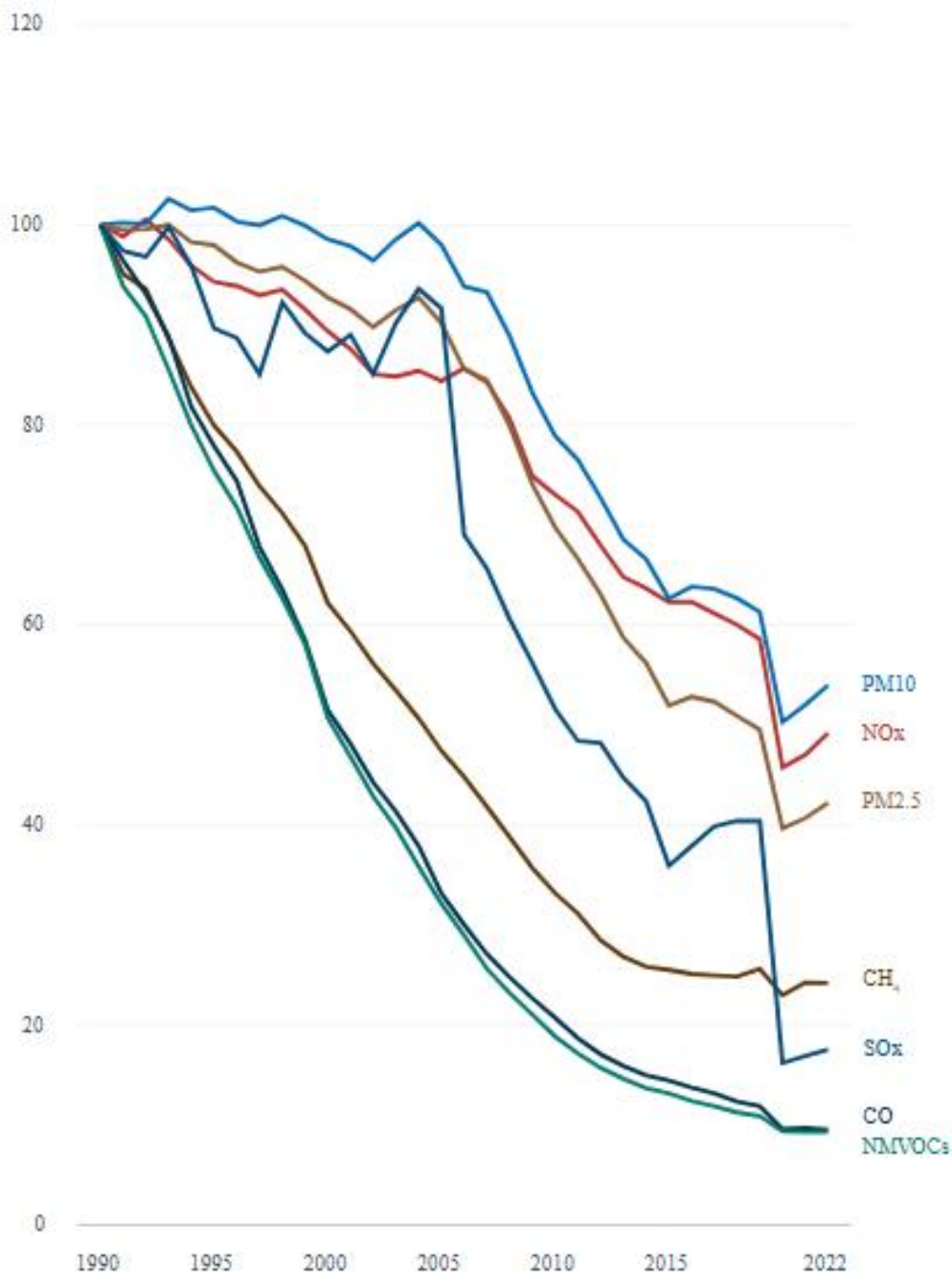
Σχήμα 8. Μέγιστη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα για 8 ώρες, στην Ε.Ε., το 2018 (European Environment Agency, 2024).



Από το σχήμα 9 διαπιστώνεται εύκολα η πτωτική τάση του μονοξειδίου του άνθρακα στις χώρες της Ε.Ε. Σε όλους τους ρύπους καταγράφεται σημαντική μείωση, αλλά στην περίπτωση του μονοξειδίου του άνθρακα, η πτώση είναι πραγματικά πολύ μεγάλη.

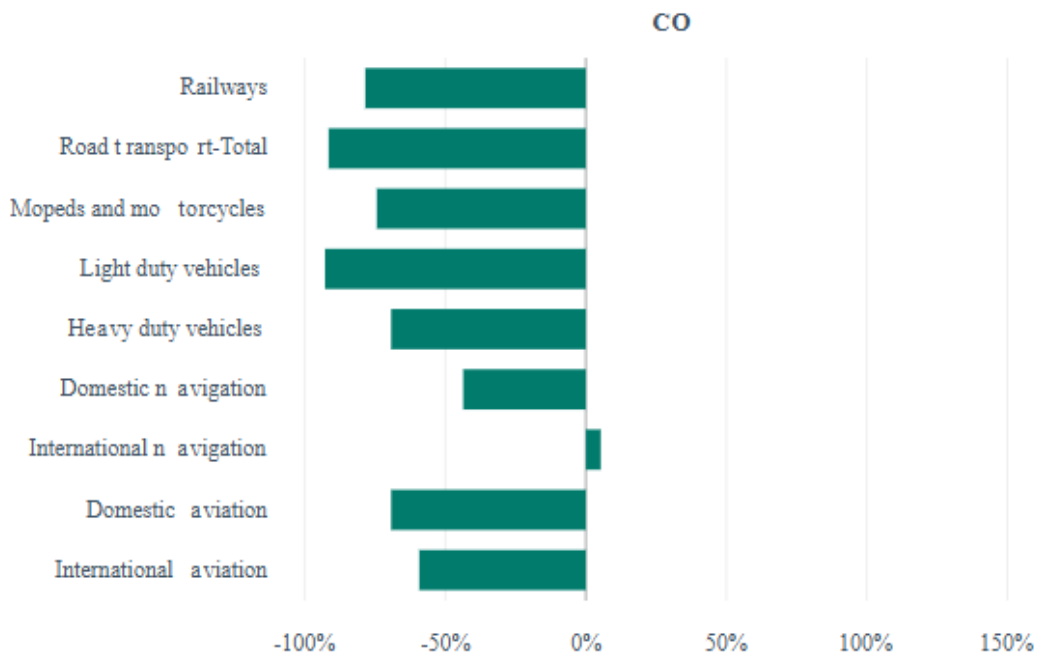
Σχήμα 9. Μείωση της τάσης μονοξειδίου του άνθρακα στις χώρες της Ε.Ε. από τον χώρο των μεταφορών (European Environment Agency, 2024).

Ο κάθετος άξονας (άξονας ψ) δείχνει την ποσοστιαία αλλαγή των εκπομπών με βάση το έτος 1990.



Επίσης, από το σχήμα 10, διαπιστώνεται πως το μονοξείδιο του άνθρακα έχει μειωθεί αισθητά από τον χώρο των μεταφορών/συγκοινωνιών. Τα επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα που εκλύουν στην ατμόσφαιρα τα διάφορα μέσα μεταφοράς, έχουν αισθητή πτώση από το 1990 έως το 2022. Αύξηση καταγράφεται μόνο στην περίπτωση των διεθνών αερομεταφορών.

Σχήμα 10. Τάση του μονοξειδίου του άνθρακα ανά πηγή, από το 1990 έως το 2022 (European Environment Agency, 2024).

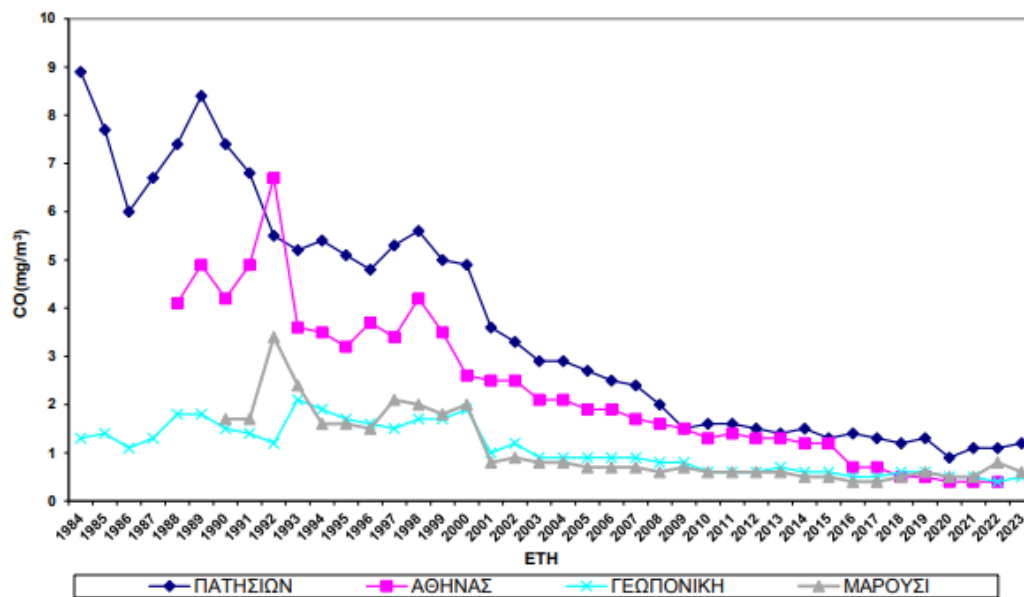


### 3.4 Επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα στην Ελλάδα

Τα σχήματα 11 και 12 δείχνουν τη διαχρονική μεταβολή των ετήσιων τιμών του μονοξειδίου του άνθρακα, σε  $\text{mg}/\text{m}^3$  στην Αθήνα και στη Θεσσαλονίκη, αντίστοιχα. Στην περίπτωση της Αθήνας, διαπιστώνεται εύκολα πως σε όλες τις περιοχές παρατηρείται αξιόλογη μείωση των επιπέδων. Χαρακτηριστικά, για το έτος 2023 οι ετήσιες τιμές κυμάνθηκαν σε όλες τις περιοχές της Αθήνας που εξετάστηκαν, κάτω του  $2 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης, τα στοιχεία που προκύπτουν δεν είναι τόσο σαφή, καθώς σε ορισμένες περιοχές παρουσιάζονται αυξομειώσεις, όπως

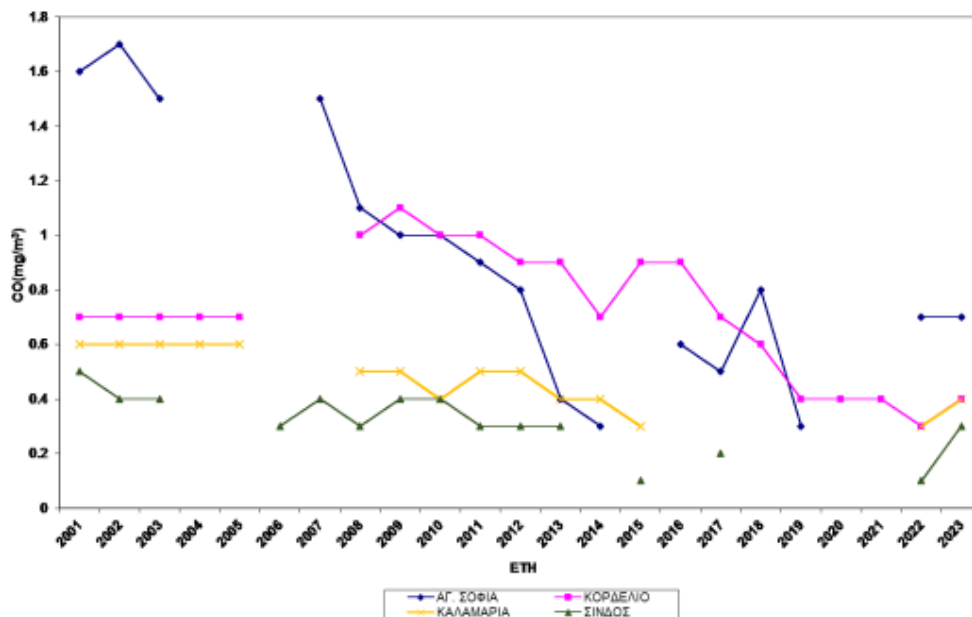
συμβαίνει στην περίπτωση της Αγίας Σοφίας και της Σίνδου. Ωστόσο, συνολικά και διαχρονικά εντοπίζεται μείωση των επιπέδων του μονοξειδίου του άνθρακα.

Σχήμα 11. Διαχρονική μεταβολή μέσω ετήσιων τιμών CO, σε  $\text{mg}/\text{m}^3$  στην Αθήνα (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2024, σελ. 20)





Σχήμα 12. Διαχρονική μεταβολή μέσω ετήσιων τιμών CO, σε mg/m<sup>3</sup> στη Θεσσαλονίκη (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2024, σελ. 21)



#### 4. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

Σε φυσιολογικές συνθήκες και σε περιπτώσεις που οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα, το ενδογενές μονοξείδιο του άνθρακα, δηλαδή το μονοξείδιο του άνθρακα που παράγεται από την κατάλυση της αίμης κι άλλων πρωτεϊνών που την περιλαμβάνουν και από την υπεροξείδωση λιπιδίων, συμμετέχει σε πολλές και διαφορετικές λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος. Ειδικότερα, λειτουργεί ως νευροδιαβιβαστής, ως ρυθμιστής της φλεγμονής, ως ρυθμιστής του κυτταρικού πολλαπλασιασμού και της απόπτωσης και ως ρυθμιστής της λειτουργίας των μιτοχονδρίων (Savioli et al., 2024).

Το μονοξείδιο του άνθρακα έχει πολύ υψηλή χημική συγγένεια με την αιμοσφαιρίνη. Υπογραμμίζεται πως η αιμοσφαιρίνη έχει 200 έως και 250 φορές



μεγαλύτερη συγγένεια με το μονοξείδιο του άνθρακα, σε σύγκριση με το οξυγόνο. Συνεπώς, όταν το μονοξείδιο του άνθρακα βρεθεί σε μεγάλη συγκέντρωση στο αίμα, ανταγωνίζεται το οξυγόνο και δεσμεύεται από την αιμοσφαιρίνη (Rose et al., 2016). Το μονοξείδιο του άνθρακα δεσμεύεται στην αιμοσφαιρίνη (Hb) στο αίμα με υψηλή χημική συγγένεια, όπως ήδη αναφέρθηκε, δημιουργώντας τη καρβοξυαιμοσφαιρίνη (COHb). Αξίζει να υπογραμμιστεί πως ακόμα και η έκθεση σε χαμηλά επίπεδα μονοξειδίου του άνθρακα (10 ppm), μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία καρβοξυαιμοσφαιρίνης και της ανίχνευσής της, σε ποσοστό της τάξης του 2%. Σημειώνεται πως στους μη καπνιστές συγκέντρωση καρβοξυαιμοσφαιρίνης μεγαλύτερης του 2% και στους καπνιστές συγκέντρωση μεγαλύτερης του 10%, θεωρείται ως μη φυσιολογική και μπορεί να προκαλέσει διάφορα συμπτώματα (Rose et al., 2016).

Σύμφωνα με τον Veiraiah (2024) η συγκέντρωση καρβοξυαιμοσφαιρίνης σε ποσότητα μεγαλύτερη του 5% στους μη καπνιστές, μεγαλύτερη του 10% στους καπνιστές υποδηλώνει δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα και η συγκέντρωση μεγαλύτερη του 30% σοβαρή δηλητηρίαση. Ωστόσο, είναι σημαντικό να τονιστεί πως τιμές κάτω του 30% δεν μπορούν να αποκλείσουν πως η δηλητηρίαση δεν είναι σοβαρή και δεν μπορεί να επιφέρει σοβαρά προβλήματα υγείας.

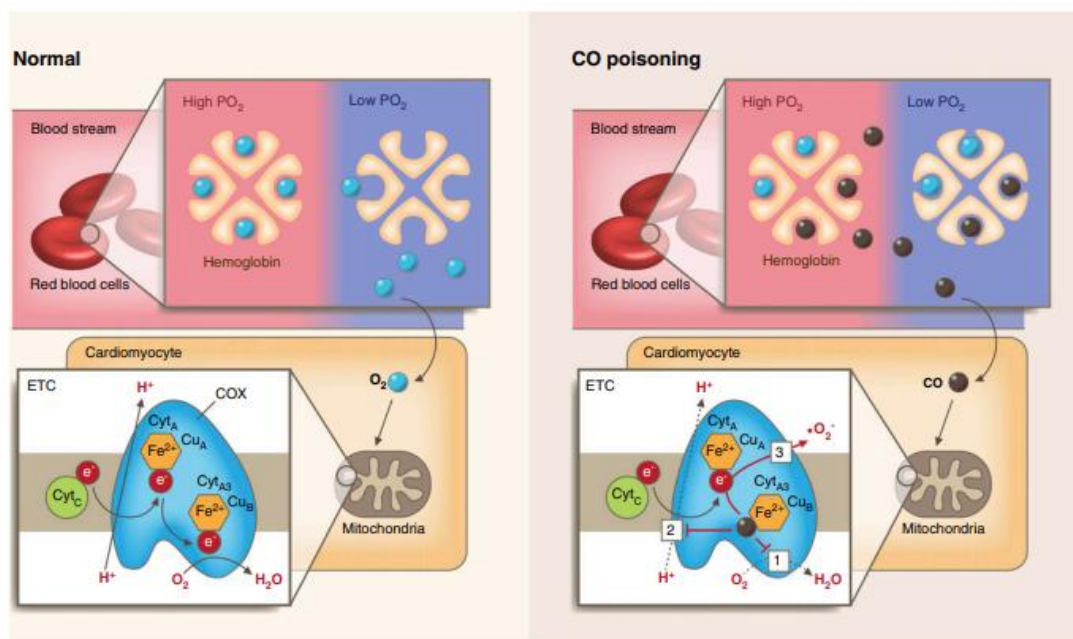
Το μονοξείδιο του άνθρακα έχει υψηλή χημική συγγένεια με πολλές πρωτεΐνες που περιέχουν σιδηρούχο αίμη, με συνέπεια το μονοξείδιο του άνθρακα να δεσμεύεται και σε άλλες πρωτεΐνες που περιέχουν αίμη, δηλαδή και με τη μυοσφαιρίνη που βρίσκεται στον καρδιακό και τον σκελετικό μυ, της οξειδάσης του μιτοχονδριακού κυτοχρώματος κτλ. (Rose et al., 2016). Το αποτέλεσμα της δέσμευσης του μονοξειδίου του άνθρακα από τη μυοσφαιρίνη, δεν είναι άλλο από την ανεπαρκή μεταφορά οξυγόνου στους μύες (Savioli et al., 2024).

Σύμφωνα με τους Savioli et al. (2024) αναφορά πρέπει να γίνει και στη δέσμευση του μονοξειδίου του άνθρακα από ένζυμα και συγκεκριμένα από την καταλάση και διάφορα κυτοχρώματα, μεταξύ των οποίων και το κυτόχρωμα α3 και το κυτόχρωμα P450. Όταν το μονοξείδιο του άνθρακα συνδέεται με το κυτόχρωμα α3,

προκαλείται τοξική επίδραση στην κυτταρική αναπνοή και την ίδια στιγμή σχηματίζονται ελεύθερες ρίζες οξυγόνου (Hill, 1994).

Στην εικόνα 1, παρουσιάζεται ο τρόπος δέσμευσης του μονοξειδίου του άνθρακα από την αιμοσφαιρίνη, όταν υπάρχει στο αίμα και αντίστοιχα η δέσμευση του οξυγόνου, όταν το μονοξείδιο του άνθρακα δεν υπάρχει στο αίμα σε μεγάλες ποσότητες. Επίσης, γίνεται σαφές πως στα μιτοχόνδρια δεν φτάνει το οξυγόνο που είναι αναγκαίο για την παραγωγή ενέργειας για τα κύτταρα, αλλά μονοξείδιο του άνθρακα, που εμποδίζει τη λειτουργία τους (Rose et al., 2016).

Εικόνα 1. Η δέσμευση του οξυγόνου και του μονοξειδίου του άνθρακα από την αιμοσφαιρίνη, ανάλογα με τη συγκέντρωση του δεύτερου (Rose et al., 2016, σελ. 597)



Ωστόσο είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί πως οι μεγάλες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα, δεν επιφέρουν μόνο τον σχηματισμό καρβοξυαιμοσφαιρίνης και την εκτόπιση του οξυγόνου, αλλά και άλλες πιο ανησυχητικές καταστάσεις. Ακριβέστερα, το μονοξείδιο του άνθρακα ευθύνεται για την πρόκληση του οξειδωτικού στρες και παράλληλα εμποδίζει και διακόπτει την κυτταρική αναπνοή, με συνέπεια να προκαλείται απόπτωση και νευρωνική νέκρωση. Η μεταβολή της κυτταρικής αναπνοής πυροδοτεί τους μηχανισμούς απόκρισης στο στρες, με την ενεργοποίηση παραγόντων

επαγόμενων από την υποξία και αλλοιώσεων της γενετικής έκφρασης. Επιπλέον, είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί πως η έκθεση σε μονοξείδιο του άνθρακα δύναται να προκαλέσει φλεγμονή μέσω ανεξάρτητων από την υποξία οδών, οι οποίες αποτελούν επίσης τη βάση νευρολογικών και καρδιακών βλαβών (Savioli et al., 2024).

Όσον αφορά στη διαδικασία της επίδρασης του μονοξειδίου του άνθρακα στην εκπνοή, δεν έχει πραγματοποιηθεί σχετική έρευνα. Μόλις στην έρευνα των Ryter και Choi (2014) παρατηρήθηκε πως οι καπνιστές, έχουν μεγαλύτερη ποσότητα μονοξειδίου, από τους μην καπνιστές στον αέρα που εκπνέουν. Η αυξημένη ποσότητα μονοξειδίου του άνθρακα στην εκπνοή, χρησιμοποιείται ως δείκτης για την εκτίμηση κινδύνου εκδήλωσης κάποιων νοσημάτων, όπως είναι ο καρκίνος του πνεύμονα, η κυστική ίνωση και το άσθμα.

## **5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ**

### **5.1 Εισαγωγή**

Στο παρόν κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα διαφόρων ερευνών σχετικά με τις επιπτώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα στην ανθρώπινη υγεία και ειδικότερα στο καρδιαγγειακό σύστημα, στο αναπνευστικό, στο νευρικό, στο γαστρεντερικό και στο γεννητικό σύστημα. Υπογραμμίζεται πως παρουσιάζονται ευρήματα που αφορούν αφενός στη δηλητηρίαση και αφετέρου στη χρόνια έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα.

### **5.2 Καρδιαγγειακό σύστημα**

Η έκθεση σε μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη και συνδέεται με πολλά και διαφορετικά προβλήματα υγείας, μεταξύ των οποίων και προβλήματα του καρδιαγγειακού συστήματος (Kalay et al., 2007). Σύμφωνα με τους Henry et al. (2008), μεγάλος αριθμός ατόμων που έχει δηλητηριαστεί από μονοξείδιο του άνθρακα κι έχει εκδηλώσει κάποια βλάβη του καρδιαγγειακού συστήματος, παρουσιάζει μεγάλο κίνδυνο, να καταλήξει.

Η δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία του μυοκαρδίου. Επίσης, η συστολική λειτουργία της αριστερής βαλβίδας, μετά από δηλητηρίαση με μονοξείδιο του άνθρακα δύναται να είναι φυσιολογική ή να παρουσιάζει ήπια έως και σοβαρή εξασθένηση. Ειδικότερα, το κλάσμα εξώθησης της αριστερής κοιλίας, το οποίο χρησιμοποιείται στο πλαίσιο της ταξινόμησης της καρδιακής ανεπάρκειας, ήταν μικρότερο του 45% για 8 ασθενείς και μεγαλύτερο από 55% για 7 ασθενείς. Σημειώνεται πως τιμές του κλάσματος κάτω του 40% δείχνουν μειωμένο κλάσμα εξώθησης, τιμές μεταξύ του 40 και του 50% δείχνουν ενδιάμεσο κλάσμα εξώθησης και τιμές μεγαλύτερες του 50% δείχνουν φυσιολογικό κλάσμα εξώθησης. Οι ασθενείς με κλάσμα εξώθησης μικρότερο του 45% είχαν χαμηλότερα επίπεδα καρβοξυαιμοσφαιρίνης στο αίμα τους, σε σχέση με τους ασθενείς με μεγαλύτερο κλάσμα εξώθησης, καθώς επίσης και οι μύες της καρδιάς τους βρισκόταν κάτω από μικρότερη πίεση. Αναλόγως του τύπου κλάσματος, εντοπίζεται και διαφορετικός φαινότυπος ανεπάρκειας, που χρήζει διαφορετικής αντιμετώπισης και διαχείρισης. Αξίζει να σημειωθεί πως στις περισσότερες περιπτώσεις δηλητηριάσεων η δυσλειτουργία του μυοκαρδίου, περιορίζεται ή ακόμη και εξαφανίζεται μετά το πέρας 24 ωρών (Kalay et al., 2007). Οι Bahng et al. (2021) προχώρησαν στην πραγματοποίηση μιας μεγάλης κλίμακας επιδημιολογικής μελέτης, προκειμένου να διερευνήσουν αν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της δηλητηρίασης από μονοξείδιο του άνθρακα και της ισχαιμικής μυοκαρδιοπάθειας. Χρησιμοποιώντας ένα δείγμα 28.113 ατόμων που έχουν δηλητηριαστεί από μονοξείδιο του άνθρακα κι ένα δείγμα 28.113 ατόμων, που δεν έχει έρθει σε επαφή με μεγάλη συγκέντρωση του συγκεκριμένου αερίου, πραγματοποίησαν συγκρίσεις. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως ο κίνδυνος εμφάνισης ισχαιμικής μυοκαρδιοπάθειας ήταν μεγαλύτερος κατά 2,16 φορές, μεταξύ του δείγματος που είχε δηλητηριαστεί από μονοξείδιο του άνθρακα, ακόμη και μετά από 6 χρόνια. Υπογραμμίζεται πως ο κίνδυνος μεταξύ των ατόμων που έχουν εισπνεύσει μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα, ήταν μεγαλύτερος κατά 4,8 φορές για τους νεότερους σε ηλικία (μικρότεροι των 40 ετών) και κατά 10,6 φορές για εκείνους που είχαν υποκείμενα νοσήματα. Επιπρόσθετα, η πιθανότητα εμφάνισης ισχαιμικής μυοκαρδιοπάθειας είναι μεγαλύτερη κατά 11,2 φορές μεταξύ των πρώτων δύο ετών, από τη δηλητηρίαση.

Οι Du et al. (2024) μέσω της συστηματικής ανασκόπησης και της μετά-ανάλυσης που πραγματοποίησαν σε 8 μελέτες, που περιλαμβάνουν συνολικά 251.971 ασθενείς, κατέληξαν πως η δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα, μπορεί να οδηγήσει σε έμφραγμα του μυοκαρδίου. Μάλιστα δεν εντοπίστηκε κάποια ουσιαστική διαφοροποίηση, ως προς το φύλο των ατόμων που έχουν δηλητηριαστεί ή ως προς την ύπαρξη διαφόρων άλλων υποκείμενων νοσημάτων. Συνεπώς, διαπιστώνεται πως τόσο οι γυναίκες, όσο και οι άντρες όπως επίσης και τόσο οι υγιείς, όσο και οι άνθρωποι με υποκείμενα νοσήματα, παρουσιάζουν τον ίδιο κίνδυνο να υποστούν έμφραγμα του μυοκαρδίου, έπειτα από δηλητηρίαση με μονοξείδιο του άνθρακα ( $p>0,05$ ).

Οι Henry et al. (2008) αναφέρουν πως μετά από δηλητηρίαση με μονοξείδιο του άνθρακα, υπάρχει κίνδυνος εκδήλωσης μυοκαρδιακής ίνωσης, που σχετίζεται με την μη ομαλή πάχυνση των καρδιακών βαλβίδων, όπως επίσης και με τη δημιουργία μιας πρόσθετης κυτταρικής επιφάνειας στον καρδιακό μυ. Ο μυς της καρδιάς γίνεται λιγότερο εύκαμπτος και πιο σκληρός.

Η έκθεση σε μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα σχετίζεται με την εμφάνιση κολπικής μαρμαρυγής. Πρόκειται για μια κατάσταση κατά την οποία η καρδιά χτυπά με πολύ έντονους ρυθμούς και ακατάστατα, λόγω της αδυναμίας των κόλπων και των κοιλιών να συστέλλονται με κανονικό τρόπο και ρυθμό. Σημειώνεται πως η κολπική μαρμαρυγή ως επίπτωση τη δηλητηρίασης με μονοξείδιο του άνθρακα αφορά τόσο σε ενήλικες, όσο και σε έφηβους και σε παιδιά (Avcı et al., 2015; Bağcı, 2019). Ειδικότερα, στη μελέτη των Avcı et al. (2015) που αφορούσε σε 1 έφηβο ηλικίας 17 ετών, που εισέπνευσε μονοξείδιο του άνθρακα για περίπου 3 ώρες, καταγράφηκε εκδήλωση κολπικής μαρμαρυγής. Έπειτα από τη χορήγηση θεραπείας με οξυγόνο, ο ρυθμός της καρδιακής λειτουργίας επανήλθε σε φυσιολογικά επίπεδα. Ομοίως στη μελέτη του Bağcı (2019), η οποία αφορούσε σε μια γυναίκα ηλικίας 53 ετών, που δηλητηριάστηκε από μονοξείδιο του άνθρακα, παρατηρήθηκε εμφάνιση κολπικής μαρμαρυγής, η οποία υποχώρησε μετά από 12 ώρες, έπειτα από θεραπεία με οξυγόνο.

Η δηλητηρίαση με μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να προκαλέσει και κοιλιακή μαρμαρυγή, η οποία αφορά σε μια ιδιαίτερα σοβαρή κοιλιακή αρρυθμία (Isler, 2022). Ο καρδιακός ρυθμός γίνεται πολύ έντονος και γρήγορος με αποτέλεσμα η καρδιά να

μην λειτουργεί σωστά και να μη συστέλλεται. Πρόκειται ουσιαστικά για μια ανωμαλία, που μπορεί να επιφέρει ξαφνικό θάνατο, μέσα σε λίγα λεπτά και αφορά κυρίως σε νεότερες ηλικίες (Szabo et al., 2020).

Η εισπνοή μεγάλων ποσοτήτων μονοξειδίου του άνθρακα μπορεί να οδηγήσει στην πρόκληση στηθάγχης, μιας κατάστασης έντονου θωρακικού πόνου ή δυσφορίας, που προκύπτει λόγω της περιορισμένης ροής αίματος και του περιορισμένου οξυγόνου (Isler, 2022). Σύμφωνα με τον Aronow (1981) η συγκέντρωση μεγάλης ποσότητας καρβοξυαιμοσφαιρίνης σχετίζεται θετικά με την εκδήλωση στηθάγχης, ειδικά στις περιπτώσεις εκείνες που οι ασθενείς έχουν κι άλλα νοσήματα του καρδιαγγειακού συστήματος.

Σύμφωνα με τους Liu et al. (2018) δεν προκαλεί προβλήματα στη λειτουργία του καρδιαγγειακού συστήματος μόνο η οξεία δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα αλλά και η χρόνια έκθεσή των ανθρώπων σε αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις. Ειδικότερα, μέσα από έρευνα που πραγματοποίησαν σε 272 πόλεις της Κίνας, από το 2013 έως και το 2015, παρατήρησαν σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα από  $0,43 \text{ mg/m}^3$  σε  $2,45 \text{ mg/m}^3$ . Παράλληλα, διαπίστωσαν πως για αύξηση της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα κατά  $1 \text{ mg/m}^3$ , αυξάνεται η θνησιμότητα κατά  $1,12\%$  από καρδιαγγειακή νόσο, κατά  $1,75\%$  από στεφανιαία νόσο και κατά  $0,88\%$  από την εκδήλωση εγκεφαλικού επεισοδίου. Υπογραμμίζεται πως τα ποσοστά θνησιμότητας δεν διαφοροποιούνται από τα δημογραφικά χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων, όπως είναι το φύλο και η ηλικία.

Ο Isler (2022) αναφέρει κι άλλα προβλήματα του καρδιαγγειακού συστήματος που σχετίζεται με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα, σε σχέση με τις αποδεκτές. Ειδικότερα, τονίζει τον κίνδυνο εμφάνισης γρήγορου ή αργού καρδιακού ρυθμού, δηλαδή τον κίνδυνο εμφάνισης ταχυκαρδίας ή βραδυκαρδίας. Η ταχυκαρδία μπορεί να οδηγήσει στην έντονη εφίδρωση, στην πρόκληση ανησυχίας, στη δυσκολία αναπνοής, στη ζάλη και στη λιποθυμία. Η βραδυκαρδία οδηγεί σε ατονία και μειωμένη δύναμη, σε έλλειψη αντοχής, σε πόνους στο στήθος καθώς επίσης και στη ζάλη και την αδυναμία.



Τα παραπάνω στοιχεία που παρατέθηκαν στην ενότητα αυτή, δείχνουν πως η οξεία δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα, όπως και η συστηματική έκθεση σε υψηλότερες συγκεντρώσεις από τις αποδεκτές, δύνανται να επηρεάσουν με πολύ αρνητικό τρόπο την υγεία των ανθρώπων και να επιφέρουν ακόμη και τον θάνατο, λόγω των δυσμενών συνεπειών που έχουν στη λειτουργία του καρδιαγγειακού συστήματος.

### 5.3 Αναπνευστικό σύστημα

Ιδιαίτερα σοβαρές είναι οι επιπτώσεις της δηλητηρίασης από μονοξείδιο του άνθρακα και στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου. Οι Lee et al. (2024) χρησιμοποιώντας δεδομένα 20 ετών, τα οποία αφορούν σε έναν πολύ μεγάλο αριθμό ατόμων που έχουν δηλητηριαστεί από μονοξείδιο του άνθρακα, κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η δηλητηρίαση από το συγκεκριμένο τοξικό αέριο σχετίζεται θετικά με την εμφάνιση καρκίνου του πνεύμονα. Ειδικότερα, τα συγκεκριμένα άτομα εκδηλώνουν 1,84 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να εμφανίσουν καρκίνο του πνεύμονα, σε σχέση με τον υπόλοιπο πληθυσμό, που δεν έχει δηλητηριαστεί από το συγκεκριμένο αέριο.

Επίσης, οι Lee et al. (2023) μέσα από την έρευνα που πραγματοποίησαν κατέληξαν στο συμπέρασμα, πως η δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα σχετίζεται με την εκδήλωση χρόνιας αποφρακτικής πνευμονοπάθειας (ΧΑΠ). Χαρακτηριστικά, μέσα από την παρακολούθηση 24.889 ατόμων που έχουν δηλητηριαστεί από μονοξείδιο του άνθρακα, κατέληξαν στο συμπέρασμα πως ο κίνδυνος εκδήλωσης ΧΑΠ είναι μεγαλύτερος κατά 1,5 φορά, σε σχέση με τον υπόλοιπο πληθυσμό. Τα άτομα που εμφανίζουν ΧΑΠ εκδηλώνουν βήχα, παράγουν βλέννες και σε πολλές περιπτώσεις έχουν δύσπνοια. Υπογραμμίζεται, πως με την πάροδο του χρόνου και την επιδείνωση της κατάστασης της υγείας των ασθενών προκαλεί σοβαρά προβλήματα στην ποιότητα της ζωής των ασθενών, όπως είναι η δυσκολία στη βάδιση και στην εκτέλεση καθημερινών λειτουργιών (Wu et al., 2024; Zamzam et al., 2012).

Το μονοξείδιο του άνθρακα και συγκεκριμένα η έκθεση των ανθρώπων σε ποσότητες μεγαλύτερες των ενδεδειγμένων, σχετίζεται με την εκδήλωση πνευμονικής φυματίωσης, καθώς διαπιστώθηκε πως ο κίνδυνος για τον συγκεκριμένο πληθυσμό

είναι 1,42 φορές μεγαλύτερος, από ότι στον υπόλοιπο πληθυσμό (Lee et al., 2024). Οι Yang et al. (2020) μέσα από τη μελέτη που πραγματοποίησαν, κατέληξαν στο συμπέρασμα πως οι άνθρωποι που ζουν σε περιοχές, των οποίων η ατμόσφαιρα είναι μολυσμένη από τοξικά αέρια, μεταξύ των οποίων και του μονοξειδίου του άνθρακα, εκδηλώνουν μεγαλύτερη πιθανότητα να εμφανίσουν πνευμονική φυματίωση. Επιπρόσθετα, σύμφωνα με τους He et al. (2025) η αύξηση του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα επηρεάζει πολύ αρνητικά την κατάσταση της υγείας των ασθενών, που έχουν ήδη διαγνωστεί με πνευμονική φυματίωση. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν πως μια αύξηση στην περιεκτικότητα του αέρα κατά  $0.1 \text{ mg/m}^3$  αυξάνει σημαντικά τον αριθμό των επισκέψεων των ασθενών με πνευμονική φυματίωση στις μονάδες υγείας, προκειμένου να μπορέσουν να λάβουν την υγειονομική φροντίδα που χρειάζονται.

Αναφορά πρέπει να γίνει και στη σχέση που εντοπίζεται μεταξύ της έκθεσης σε μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και της βρογχίτιδας. Διαπιστώνεται πως μεταξύ αυτών των δύο μεταβλητών υπάρχει θετική συσχέτιση, τόσο σε επίπεδο εμφάνισης της νόσου, όσο και σε επίπεδο υποτροπής. Ακριβέστερα, παρατηρείται πως οι άνθρωποι που ζουν σε περιοχές, των οποίων η ατμόσφαιρα είναι μολυσμένη και περιέχει μεγαλύτερες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα από τις ενδεδειγμένες, έχουν μεγαλύτερο κίνδυνο να εκδηλώσουν βρογχίτιδα αλλά και να νοσηλευτούν, ως απόρροια της επιδείνωσής της. Χαρακτηριστικά, η αύξηση της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα κατά  $1 \text{ mg/m}^3$ , έχει ως συνέπεια την αύξηση των νοσηλειών, των οποίων το κόστος ανέρχεται σε 845,97 δολάρια, ανά ασθενή (Xu-Jiang et al., 2022).

Λόγος πρέπει να γίνει και στην επίδραση του μονοξειδίου του άνθρακα, σε άτομα με άσθμα. Διαπιστώνεται πως όταν η ατμόσφαιρα περιέχει μεγαλύτερη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα, από την ενδεδειγμένη, τότε οι ασθενείς με άσθμα αντιμετωπίζουν μεγαλύτερες δυσκολίες, καθώς περιορίζεται η μέγιστη εκπνευστική ροή και επιδεινώνεται η λειτουργία των πνευμόνων τους. Ειδικότερα, μια αύξηση της συγκέντρωσης του μονοξειδίου της ατμόσφαιρας κατά  $1 \text{ mg/m}^3$  οδηγεί στη μείωση της μέγιστης εκπνευστικής ροής κατά 2,6 έως 2,8% (Canova et al., 2010).



Σύμφωνα με τους Musthafa et al. (2023) η έκθεση σε μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα, μπορούν να προκαλέσουν οξεία κρίση άσθματος, η οποία προκαλεί δυσκολίες στις καθημερινές δραστηριότητες του ανθρώπου και πολλές φορές, μπορεί αν επιφέρει σοβαρές επιπλοκές με άσχημη κατάληξη.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω μελετών δείχνουν πως η έκθεση σε μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα, όπως και η δηλητηρίαση από αυτό, μπορεί να επηρεάσει με αρνητικό τρόπο τη λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος του ανθρώπου και ειδικά των ανθρώπων εκείνων, που έχουν διαγνωστεί ήδη με κάποια πάθηση του αναπνευστικού συστήματος.

#### 5.4 Νευρικό σύστημα

Η δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα προκαλεί σοβαρά προβλήματα στη λειτουργία του νευρικού συστήματος του ανθρώπου (Savioli et al., 2024). Σύμφωνα με τους Rose et al. (2016), λόγω της μειωμένης παροχής οξυγόνου ως αποτέλεσμα της υψηλής χημικής συγγένειας του μονοξειδίου του άνθρακα με την αιμοσφαιρίνη και της μιτοχονδριακής οξειδωτικής φωσφορυλίωσης, προκαλούνται ισχαιμικές και ανοξικές εγκεφαλικές βλάβες στους ανθρώπους.

Τα συμπτώματα που εμφανίζονται σε πρώτο χρόνο, μετά τη δηλητηρίαση αφορούν κυρίως στον πονοκέφαλο, στη ναυτία και στη ζάλη. Τα συμπτώματα αυτά μπορούν να γίνουν ακόμη εντονότερα, στις περιπτώσεις εκείνες που η έκθεση είναι συνεχής και διαρκεί περισσότερο από 4 ώρες (Savioli et al., 2024). Πέραν όμως των παραπάνω συμπτωμάτων, που θεωρούνται ως ιδιαίτερα ήπια και ότι μπορούν να διαχειριστούν σχετικά εύκολα, λόγος πρέπει να γίνει και σε σοβαρότερα συμπτώματα νευρολογικής φύσης. Ειδικότερα, η δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να οδηγήσει σε σύγχυση, σε συγκοπή, σε οξέα σύνδρομα τα οποία παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ομοιότητα με το εγκεφαλικό ή ακόμη και σε κώμα (Savioli et al., 2024).

Οι Gao et al. (2021) πραγματοποίησαν έρευνα σε ένα δείγμα 13 ατόμων που είχαν δηλητηριαστεί από μονοξείδιο του άνθρακα, προκειμένου να διαπιστώσουν την ύπαρξη συσχέτισης με την κατάσταση του κώματος. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως έναν χρόνο μετά τη δηλητηρίαση, 2 άτομα είχαν χάσει τη ζωή τους (15,4%), 9 άτομα

βρίσκονταν σε κώμα (69,2%), 1 άτομο είχε μέτρια αναπηρία (7,7%) και 1 άτομο κατάφερε να αναρρώσει (7,7%), καθώς οι επιπτώσεις ήταν ελάχιστες. Συνεπώς, διαπιστώθηκε πως αρκετοί ασθενείς, μετά από δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα, δύνανται να πέσουν σε κώμα, του οποίου η διάρκεια μπορεί να είναι πολύ μεγάλη. Μάλιστα κάποιοι από αυτούς, ενδέχεται να καταλήξουν, ειδικά στις περιπτώσεις εκείνες που τα άτομα είναι μεγαλύτερης ηλικίας ή έχουν υποστεί κι άλλες βλάβες ή έχουν υποκείμενα νοσήματα.

Ο Παρκινσονισμός αποτελεί μια επίσης κατάσταση νευρολογικής φύσης που μπορεί να εκδηλωθεί έπειτα από την εισπνοή μεγάλων ποσοτήτων μονοξειδίου του άνθρακα (Dalton et al., 2023). Πρόκειται για μια κινητική διαταραχή, που χαρακτηρίζεται από τη δυσκολία πραγματοποίησης κινήσεων, από τη βραδύτητα των κινήσεων, από τη δυσκαμψία των μυών, από το τρέμουλο των άνω άκρων και από την σκυφτή στάση του σώματος. Αφορά σε ένα σύνολο νευροεκφυλιστικών νοσημάτων, που έχουν ανάλογη κλινική εικόνα με την εικόνα της νόσου του Πάρκινσον (Shin et al., 2022).

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί πως οι Ching-Yuan et al. (2015) μέσα από την έρευνα που πραγματοποίησαν κατέληξαν πως η δηλητηρίαση με μονοξείδιο του άνθρακα δεν σχετίζεται μόνο με την εκδήλωση του Παρκινσονισμού, αλλά και με τον κίνδυνο εμφάνισης της νόσου Πάρκινσον. Διαπίστωσαν πως οι ασθενείς που έχουν εισπνεύσει μεγαλύτερες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα, έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες και εκδηλώσουν την υπό μελέτη νόσο, ειδικά στην περίπτωση των νεότερων ατόμων. Ακριβέστερα, μεταξύ των ατόμων που έχουν δηλητηριαστεί με μονοξείδιο του άνθρακα, ο επιπολασμός της νόσου Πάρκινσον ανέρχεται στο 27,4% και μεταξύ των ατόμων που δεν έχουν εκτεθεί στο συγκεκριμένο αέριο, το αντίστοιχο ποσοστό ανέρχεται στο 2,53%. Ακόμη, τα άτομα που έχουν δηλητηριαστεί από μονοξείδιο του άνθρακα κι έχουν διάφορα νοσήματα, έχουν 15,8 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να εμφανίσουν τη νόσο του Πάρκινσον, σε σχέση με τα υπόλοιπα άτομα της ίδιας ομάδας.

Η ακράτεια ούρων και κοπράνων είναι ένα ακόμη σύμπτωμα του νευρικού συστήματος, που δύναται να προκύψει έπειτα από την εισπνοή μεγάλων ποσοτήτων

μονοξειδίου του άνθρακα, όπως επισημαίνεται μέσα από τη βιβλιογραφική μελέτη των Quinn et al. (2009). Όπως διαπιστώθηκε κάποιοι ασθενείς, αντιμετωπίζουν το συγκεκριμένο πρόβλημα, έπειτα από την μόλυνσή τους με μεγάλες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα, το οποίο και επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα της ζωής τους και τη λειτουργικότητά τους.

Οι Meng et al. (2023) μέσα από την έρευνα που πραγματοποίησαν σε 8.264 ασθενείς που δηλητηριάστηκαν από μονοξείδιο του άνθρακα κατέληξαν πως υπάρχει θετική σχέση μεταξύ της δηλητηρίασης και της εμφάνισης επιληψίας. Ακριβέστερα, διαπίστωσαν πως οι άνθρωποι που έχουν δηλητηριαστεί σε παρελθόντα χρόνο, έχουν έως 8,4 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να εκδηλώσουν επιληψία, σε σχέση με τους ανθρώπους που δεν έχουν δηλητηριαστεί από το συγκεκριμένο τοξικό αέριο στο παρελθόν. Επιπλέον, ο κίνδυνος εμφάνισης επιληψίας είναι 11 φορές μεγαλύτερος για τα άτομα ηλικίας από 20 έως 39 ετών και κατά 9,5 φορές μεγαλύτερος για τις γυναίκες.

Σύμφωνα με τους Hwang et al. (2025) η δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα σχετίζεται θετικά και με την εκδήλωση ημικρανίας. Πιο συγκεκριμένα, μέσα από τη μελέτη κοορτής, δηλαδή ερευνητικής μελέτης ενός συγκεκριμένου πληθυσμού, με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά σε βάθος χρόνου, που πραγματοποίησαν κατέληξαν, πως οι άνθρωποι που έχουν δηλητηριαστεί από μονοξείδιο του άνθρακα διατρέχουν 1,37 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο, από τους υπόλοιπους, να παρουσιάσουν ημικρανία, ανεξάρτητα από την ηλικία και το φύλο τους, όπως επίσης κι ανεξάρτητα από τη θεραπεία που λαμβάνουν.

Η δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα σχετίζεται και με το σύνδρομο των καθυστερημένων ψυχιατρικών διαταραχών (DNS), το οποίο εμφανίζεται σχεδόν στο 50% των ενηλίκων. Πρόκειται για ένα σύνδρομο που εκδηλώνεται σε δεύτερο χρόνο, δηλαδή κάποιες μέρες έως και κάποιες εβδομάδες μετά τη δηλητηρίαση, το οποίο είναι εντονότερο μεταξύ των πιο ηλικιωμένων ατόμων, κι όχι μεταξύ των νεότερων. Αξίζει να σημειωθεί πως είναι αποτέλεσμα μιας ανοσολογικά μεσολαβούμενης φλεγμονής που προκαλείται στο κεντρικό νευρικό σύστημα (Gustavsen et al., 2024). Το συγκεκριμένο σύνδρομο έχουν μελετήσει κάποιοι ερευνητές, μεταξύ των επιζώντων από δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα.

Οι Caballero-Bermejo et al. (2024) πραγματοποίησαν έρευνα σε 240 άτομα, που επέζησαν από δηλητηρίαση με μονοξείδιο του άνθρακα, προκειμένου να διαπιστώσουν τα αρχικά συμπτώματα καθώς επίσης κι αν εκδήλωσαν το σύνδρομο των καθυστερημένων ψυχιατρικών διαταραχών (DNS). Το 25% του δείγματος εμφάνισε το συγκεκριμένο σύνδρομο. Τα πρωταρχικά συμπτώματα αφορούσαν στην πλειοψηφία των περιπτώσεων σε πονοκεφάλους, σε εκδήλωση έντονης ζάλης και αδυναμίας. Σε δεύτερο χρόνο, στη μεταγενέστερη έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε μικρότερο αριθμό συμμετεχόντων και συγκεκριμένα σε 44 άτομα, καθώς κάποιοι δεν ήθελαν να πάρουν μέρος εκ νέου στην έρευνα, παρατηρήθηκε πως κάποιοι εκδήλωναν προβλήματα αποπροσανατολισμού, σύγχυσης, μνήμης αλλά και συμπτώματα κατάθλιψης και αδυναμίας. Αξίζει να αναφερθεί πως μεταξύ των 44 ατόμων, που συμμετείχαν στην μεταγενέστερη έρευνα, υπήρχαν άτομα που εκδήλωσαν το σύνδρομο (8/44) και άτομα με αλλοιώσεις στον εγκέφαλο, σύμφωνα με τα πορίσματα της μαγνητικής τομογραφίας (2/44).

Οι Gustavsen et al. (2024) μελέτησαν την περίπτωση μιας γυναίκας που επιβίωσε έπειτα από δηλητηρίαση με μονοξείδιο του άνθρακα. Παρατηρήθηκε πως τα επίπεδα της καρβοξυαιμοσφαιρίνης κατά την εισαγωγή της γυναίκας, θεωρήθηκαν ως φυσιολογικά, ωστόσο μπορεί να επηρεάστηκαν από την άμεση αντιμετώπιση με τη χρήση οξυγόνου, ενέργεια που μειώνει σημαντικά τον χρόνο ζωής της καρβοξυαιμοσφαιρίνης. Η συγκεκριμένη γυναίκα μετά από κάποιες ημέρες, άρχισε να εκδηλώνει κάποια συμπτώματα που εντάσσονται στο σύνδρομο των καθυστερημένων ψυχιατρικών διαταραχών (DNS). Η θεραπεία που χρησιμοποιήθηκε στηρίχθηκε στην χορήγηση στεροειδών φαρμάκων και συνέβαλε σημαντικά, στην υποχώρηση των συμπτωμάτων του συνδρόμου, με αποτέλεσμα μετά από 4.5 μήνες, η γυναίκα να είναι πλήρως λειτουργική.

Ακόμη μια σχετική έρευνα πραγματοποιήθηκε από τους Gaballah et al. (2020) σε ένα δείγμα 37 ατόμων που δηλητηριάστηκαν από έκθεση σε μεγάλη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα. Οι συμμετέχοντες εξετάστηκαν κατά τη διάρκεια της εισαγωγής τους, όπως και 3 και 6 μήνες, μετά. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως 2 άτομα απώλεσαν τη ζωή τους, 1 άτομο ήταν σε κώμα και 1 άτομο εκδήλωσε

αιμοδυναμική αστάθεια. Από τους υπόλοιπους ασθενείς, οι 30 συμφώνησαν να συμμετέχουν στην έρευνα, το 67% δεν εκδήλωσε κανένα πρόβλημα νευρολογικής φύσης σε μεταγενέστερο χρόνο. Ωστόσο, το 33% των συμμετεχόντων στην έρευνα εκδήλωσε το σύνδρομο των καθυστερημένων ψυχιατρικών διαταραχών (DNS). Τα άτομα αυτά διαπιστώθηκε πως είχαν υψηλότερη συγκέντρωση καρβοξυαιμοσφαιρίνης, χαμηλότερα pH αίματος, αυξημένα επίπεδα κρεατινικής κινάσης και γαλακτικού ορού και ανωμαλίες στη δομή του εγκεφάλου.

Από τα ευρήματα των παραπάνω μελετών και ερευνών, διαπιστώνεται πως η δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα, ανάλογα της έντασής της, μπορεί να επιφέρει από ήπια συμπτώματα όπως είναι ο πονοκέφαλος και η ζάλη, έως και τα προβλήματα αποπροσανατολισμού, απώλειας μνήμης, γνωστικής σύγχυσης, κατάθλιψης, Παρκινσονισμού και Πάρκινσον. Τέλος, υπογραμμίζεται πως υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες συμπτώματα νευρολογικής φύσης, εκδηλώνονται σε μεταγενέστερο χρόνο, δηλαδή από λίγες μέρες μετά τη δηλητηρίαση έως και κάποιες εβδομάδες.

## 5.5 Γαστρεντερικό σύστημα

Η δηλητηρίαση σε μονοξείδιο του άνθρακα σχετίζεται και με διάφορα προβλήματα στο γαστρεντερολογικό σύστημα του ανθρώπου. Μία από τις πιο γνωστές επιπτώσεις, η οποία ωστόσο δεν είναι πολύ συχνή, είναι η γαστρεντερική αιμορραγία, η οποία μπορεί να γίνει αντιληπτή μέσω έμετου ή κοπράνων, ανώτερη ή κατώτερη. Υπογραμμίζεται πως η γαστρεντερική αιμορραγία, ενδέχεται να οφείλεται στην καταστροφή του γαστρικού βλεννογόνου, ως απόρροια της υποψίας και του στρες (Tekin et al., 2020).

Μια ακόμη επίπτωση της δηλητηρίασης με μονοξείδιο του άνθρακα στο γαστρεντερικό σύστημα του ανθρώπου, είναι η εκδήλωση του γαστρικού έλκους (Hatami et al., 2014). Το γαστρικό έλκος αφορά σε τραυματισμούς του βλεννογόνου του στομάχου, οι οποίοι επηρεάζουν αρνητικά τη διαδικασία της πέψης. Σημειώνεται πως το γαστρικό έλκος προκαλεί έντονο χρόνιο πόνο στον άνθρωπο, ο οποίος μπορεί να υποχωρεί μετά το φαγητό αλλά να επιδεινώνεται μετά την πέψη ή κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ωστόσο, υπάρχουν και ασθενείς, που αισθάνονται εντονότερο πόνο, μετά

το φαγητό. Σε διάφορες περιπτώσεις ασθενών, το γαστρικό έλκος προκαλεί έντονο κάψιμο στον οισοφάγο, γεγονός που επηρεάζει σημαντικά τη διαδικασία του φαγητού και την ποιότητα της ζωής τους (Ndidi, 2020).

Λόγος πρέπει να γίνει και στην ηπατομεγαλία, ως απόρροια της δηλητηρίασης με μονοξείδιο του άνθρακα, η οποία επηρεάζει αρνητικά διάφορες διαστάσεις της υγείας και της ποιότητας της ζωής των ανθρώπων (Isler, 2022). Ειδικότερα, τα άτομα με ηπατομεγαλία παρουσιάζουν κοιλιακή δυσφορία, έχουν τάση για έμετο, ναυτία, αισθάνονται κόπωση και αδυναμία εκτέλεσης βασικών λειτουργιών και υπό προϋποθέσεις αναπτύσσουν ίκτερο (Swain, 2006).

Η μη φυσιολογική έκθεση σε μονοξείδιο του άνθρακα φαίνεται πως προκαλεί βλάβη στη λειτουργία του ήπατος, γεγονός ιδιαίτερα αρνητικό καθώς έχει αρνητική έκβαση για τη ζωή των ατόμων, που έχουν δηλητηριαστεί από το συγκεκριμένο αέριο. Σύμφωνα με την έρευνα των Kim et al. (2020) που πραγματοποιήθηκε σε 128 ασθενείς, που δηλητηριάστηκαν με μονοξείδιο του άνθρακα, διαπιστώθηκε πως το 14,3% παρουσίασε υπό-κλινική ηπατική βλάβη, δηλαδή βλάβη που είναι υπαρκτή χωρίς όμως να έχει συμπτώματα και το 1,6% σοβαρή ηπατική βλάβη.

Μπορεί η ηπατική βλάβη, να μην αποτελεί την πλέον γνωστή και συνηθισμένη επίπτωση της εισπνοής μεγάλης ποσότητας μονοξειδίου του άνθρακα και της δηλητηρίασης από αυτό, αλλά σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να μην αναφερθεί (Verran et al., 1996). Πιο συγκεκριμένα, η αιμοδυναμική αστάθεια, όπως επίσης και η αρτηριακή υποξαιμία, δυσμενείς επιπτώσεις της δηλητηρίασης με μονοξείδιο του άνθρακα, δύνανται να οδηγήσουν στην εκδήλωση υποξικής ηπατίτιδας και συνακόλουθα στο σύνδρομο της πολυοργανικής ανεπάρκειας και τον θάνατο (Kim et al., 2020).

Η μεγάλη ποσότητα μονοξειδίου του άνθρακα, μπορεί να προκαλέσει βλάβη στα μιτοχόνδρια, που επίσης σχετίζεται με ηπατική βλάβη, σε περιπτώσεις οξείας δηλητηρίασης (Katsumata et al., 1980).

Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει και στη μελέτη των Agoro και Wankasi (2018), η οποία δεν εστίασε στη δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα, αλλά στη

χρόνια έκθεση. Υπό το πρίσμα αυτό, το δείγμα της έρευνάς τους, που ήταν κουνέλια, εκτέθηκαν σε ποσότητες μεγαλύτερες των φυσιολογικών επιπέδων αλλά όχι σε ποσότητες που μπορούν να προκαλέσουν δηλητηρίαση. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως τα κουνέλια που εκτέθηκαν με συστηματικό τρόπο σε συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα που δεν ήταν φυσιολογικές, εκδήλωσαν ηπατικές βλάβες και ηπατικές δυσλειτουργίες. Έπειτα από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα συγκεκριμένα κουνέλια (πειραματική ομάδα) και σε άλλα κουνέλια που δεν εκτέθηκαν σε μονοξείδιο του άνθρακα (ομάδα ελέγχου) διαπιστώθηκε πως οι τρανσαμινάσες κυμάνθηκαν σε πολύ υψηλότερες τιμές για τα κουνέλια της πειραματικής ομάδας, σε σχέση με τα κουνέλια της ομάδας ελέγχου ( $p < 0,05$ ). Μάλιστα παρατηρήθηκε, πως η μακροχρόνια έκθεση σε μονοξείδιο του άνθρακα σχετίζεται θετικά με την αύξηση των τιμών των τρανσαμινασών. Χαρακτηριστικά, οι μέσες τιμές των τρανσαμινασών AST (U/L) για την πειραματική ομάδα, τη 10<sup>η</sup> μέρα της έκθεσης ήταν στο 19, την 20<sup>η</sup> μέρα της έκθεσης στο 38,5 και την 30<sup>η</sup> μέρα της έκθεσης στο 44. Σημειώνεται πως η μέση τιμή για την ομάδα ελέγχου ήταν 14,75. Ομοίως, οι μέσες τιμές των τρανσαμινασών ALT (U/L) για την πειραματική ομάδα, τη 10<sup>η</sup> μέρα της έκθεσης ήταν στο 42,75, την 20<sup>η</sup> μέρα της έκθεσης στο 85,5 και την 30<sup>η</sup> μέρα της έκθεσης στο 115,75. Υπογραμμίζεται πως η μέση τιμή για την ομάδα ελέγχου ήταν 13,75.

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω ερευνών διαπιστώνεται πως τόσο η δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα, όσο και η συστηματική έκθεση σε μικρότερες ποσότητες, είναι ιδιαίτερα επιβλαβείς για τη λειτουργία του γαστρεντερικού συστήματος.

## 5.6 Γεννητικό σύστημα

Η έκθεση σε υψηλή ποσότητα μονοξειδίου του άνθρακα, έχει αρνητικές συνέπειες και στο γεννητικό σύστημα του ανθρώπου, δηλαδή στη λειτουργία των οργάνων, που σχετίζονται με την αναπαραγωγή του ανθρώπου (Isler, 2022).

Σύμφωνα με τους Krzastek et al. (2020) η ατμοσφαιρική ρύπανση, που συνεπάγεται συστηματική έκθεση σε αέριους ρύπους, μεταξύ των οποίων και του μονοξειδίου του άνθρακα, ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για την ιδιοπαθή αντρική



υπογονιμότητα. Επίσης, οι Kumar και Singh (2022) συμπληρώνουν πως η κακή ποιότητα ατμοσφαιρικού αέρα, που περιλαμβάνει διάφορα τοξικά αέρια σε μεγάλες συγκεντρώσεις μεταξύ των οποίων και του μονοξειδίου του άνθρακα, μπορεί να προκαλέσει τη μείωση του αριθμού των σπερματοζωαρίων των αντρών και να τους καταστήσει αντιμέτωπους με ζητήματα γονιμότητας.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση και η υψηλή συγκέντρωση σε διάφορα τοξικά αέρια, μεταξύ των οποίων και του μονοξειδίου του άνθρακα, επηρεάζουν αρνητικά και τη γονιμότητα των γυναικών (Conforti et al., 2018). Επίσης, η συστηματική έκθεση σε μονοξείδιο του άνθρακα έχει ιδιαίτερα αρνητικό αντίκτυπο στα έμβρυα, όπως διαπίστωσαν οι Venditti et al. (2011). Ειδικότερα, μέσα από πειράματα που πραγματοποίησαν σε ποντίκια, κατέληξαν πως η αύξηση της συγκέντρωσης καρβοξυαιμοσφαιρίνης στις μητέρες κατά 1,12 έως 15,6% και στα έμβρυα κατά 1 έως 28,6%, μπορεί να μην προκάλεσε κάποια διαφοροποίηση στην ιστολογική μορφολογία του πλακούντα, αλλά είχε ως συνέπεια το μειωμένο βάρος στα νεογνά, τους ξαφνικούς και πρόωγους θανάτους κι την αυξημένη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στον πλακούντα, στο ήπαρ, στους νεφρούς και στους πνεύμονες ( $p < 0.05$ ).

Πρέπει είναι να αναφερθεί πως η δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα, δύναται να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα και στις γυναίκες που κυοφορούν και στα έμβρυα τους. Ειδικότερα, υποστηρίζεται πως η δηλητηρίαση των εγκύων γυναικών, μπορεί να επηρεάσει αφενός την προσωπική τους υγεία κι αφετέρου τη ζωή και την υγεία των εμβρύων. Τα έμβρυα δύναται να εκδηλώσουν προβλήματα που σχετίζονται με την φυσιολογική ανάπτυξη τους και να παρουσιάζουν δυσπλασία, μικροκεφαλία, νοητικές και κινητικές αναπηρίες (Kosaki et al., 2021).

Τέλος, η ατμοσφαιρική ρύπανση και συγκεκριμένα η έκθεση σε μεγάλες συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα, όπως και η δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα, έχει καταγραφεί ως παράγοντας που δύναται να επηρεάσει τον εμμηνορροϊκό κύκλο των γυναικών (Isler, 2022).



## 5.7 Αναλυτική παρουσίαση Επιλεγμένων Μελετών

### 5.7.1 Καρδιαγγειακό σύστημα

Η μελέτη των Bahng et al. (2021) αποτελεί μία από τις πιο εκτενείς επιδημιολογικές προσπάθειες διερεύνησης της σχέσης μεταξύ έκθεσης σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και εμφάνισης ισχαιμικής μυοκαρδιοπάθειας. Η ερευνητική ομάδα ανέλυσε δεδομένα από δύο μεγάλες ομάδες πληθυσμού, αποτελούμενες από 28.113 άτομα η κάθε μία – η μία εκ των οποίων είχε ιστορικό δηλητηρίασης από CO, ενώ η άλλη δεν είχε εκτεθεί σε υψηλές συγκεντρώσεις του αερίου. Η επιλογή ισάριθμων ομάδων επέτρεψε την ακριβή σύγκριση και την ελαχιστοποίηση μεροληψίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η πιθανότητα εμφάνισης ισχαιμικής μυοκαρδιοπάθειας ήταν σημαντικά υψηλότερη στους ανθρώπους που είχαν εκτεθεί στο αέριο, με τον σχετικό κίνδυνο να εκτιμάται 2,16 φορές μεγαλύτερος, ακόμη και έξι έτη μετά την αρχική έκθεση.

Ιδιαίτερη σημασία έχουν τα ευρήματα που αφορούν συγκεκριμένες υποομάδες του πληθυσμού. Σύμφωνα με τη μελέτη, οι νεότεροι ενήλικες (κάτω των 40 ετών) παρουσίασαν αυξημένο κίνδυνο κατά 4,8 φορές, γεγονός που προκαλεί ανησυχία, καθώς ανατρέπει τη συνηθισμένη αντίληψη ότι οι καρδιολογικές επιπλοκές σχετίζονται κυρίως με μεγαλύτερες ηλικίες. Ακόμη πιο ανησυχητικά ήταν τα αποτελέσματα για τα άτομα με προϋπάρχουσες παθολογικές καταστάσεις, όπου ο κίνδυνος εμφάνισης ισχαιμικής μυοκαρδιοπάθειας δεκαπλασιαζόταν (10,6 φορές). Τα ευρήματα αυτά αναδεικνύουν τη σημασία της λήψης ιστορικού έκθεσης σε CO σε κλινικές αξιολογήσεις, ιδιαίτερα σε ασθενείς με γνωστούς καρδιολογικούς ή μεταβολικούς παράγοντες κινδύνου.

Η μελέτη τεκμηριώνει με σαφήνεια ότι η έκθεση σε μονοξείδιο του άνθρακα δεν αποτελεί απλώς ένα παροδικό περιστατικό με βραχυπρόθεσμες συνέπειες, αλλά δύναται να έχει μακροχρόνιο αντίκτυπο στην καρδιαγγειακή υγεία. Η συνολική πιθανότητα εμφάνισης ισχαιμικής μυοκαρδιοπάθειας διαπιστώθηκε ότι μπορεί να είναι έως και 11,2 φορές υψηλότερη, όταν συνυπάρχουν επιβαρυντικοί παράγοντες. Τα ευρήματα αυτά ενισχύουν την ανάγκη για πολιτικές πρόληψης και έγκαιρης ανίχνευσης

της δηλητηρίασης από CO, αλλά και για μακροχρόνια παρακολούθηση των ατόμων που έχουν εκτεθεί, ακόμα και όταν δεν εμφανίζουν άμεσα καρδιολογικά συμπτώματα.

### 5.7.2 Γαστρεντερικό σύστημα

Η μελέτη των Agoro και Wankasi (2018) αποτελεί μια από τις λίγες ερευνητικές προσπάθειες που επικεντρώνονται στις επιπτώσεις της χρόνιας, μη τοξικής έκθεσης σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και όχι στην οξεία δηλητηρίαση. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν ως πειραματικό μοντέλο ομάδα κουνελιών, τα οποία εκτέθηκαν για μεγάλο χρονικό διάστημα σε συγκεντρώσεις CO υψηλότερες από τα φυσιολογικά όρια, χωρίς όμως να φτάνουν σε επίπεδα που θα μπορούσαν να προκαλέσουν άμεσα θανατηφόρα τοξικότητα. Η προσέγγισή τους στοχεύει στην κατανόηση των μακροπρόθεσμων επιδράσεων της υποξείας έκθεσης, η οποία είναι πιο ρεαλιστική για ανθρώπους που ζουν ή εργάζονται σε περιβάλλοντα με σταθερά αυξημένα επίπεδα του αερίου.

Τα αποτελέσματα της μελέτης αποκάλυψαν σημαντικές ηπατικές βλάβες και δυσλειτουργίες στα πειραματόζωα που είχαν εκτεθεί στο CO. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση στις τιμές των ηπατικών ενζύμων AST και ALT στην πειραματική ομάδα, σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου ( $p < 0,05$ ). Η αύξηση αυτή φάνηκε να έχει θετική συσχέτιση με τη διάρκεια της έκθεσης, γεγονός που υποδεικνύει ότι η συσσωρευτική επίδραση του CO μπορεί να προκαλέσει προοδευτική επιδείνωση της ηπατικής λειτουργίας ακόμη και χωρίς άμεσα συμπτώματα δηλητηρίασης.

Πιο αναλυτικά, οι μέσες τιμές AST (U/L) στην πειραματική ομάδα παρουσίασαν σταδιακή αύξηση, από 19 τη 10η ημέρα, σε 38,5 τη 20ή και σε 44 την 30ή ημέρα έκθεσης, έναντι μέσης τιμής 14,75 στην ομάδα ελέγχου. Ομοίως, οι τιμές ALT διαμορφώθηκαν σε 42,75, 85,5 και 115,75 αντίστοιχα, ενώ η μέση τιμή στην ομάδα ελέγχου ήταν μόλις 13,75. Τα ευρήματα αυτά καθιστούν σαφές ότι ακόμη και σε επίπεδα έκθεσης που δεν θεωρούνται άμεσα επικίνδυνα για τη ζωή, το μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να προκαλέσει σημαντική βιοχημική επιβάρυνση στο ήπαρ, επιβεβαιώνοντας την ανάγκη επανεκτίμησης των ορίων ασφαλούς έκθεσης στο συγκεκριμένο αέριο.

### 5.7.3 Νευρικό σύστημα

Η μελέτη των Gao et al. (2021) επικεντρώθηκε στη διερεύνηση της σύνδεσης ανάμεσα στη δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και στη μακροχρόνια παρουσία ή επιμονή κωματώδους κατάστασης. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε περιορισμένο δείγμα 13 ασθενών, οι οποίοι είχαν εκτεθεί σε υψηλές, τοξικές συγκεντρώσεις CO. Παρά το μικρό μέγεθος του δείγματος, η μελέτη ανέδειξε ιδιαίτερα σημαντικά ευρήματα που καταδεικνύουν τη βαρύτητα των νευρολογικών επιπτώσεων που μπορεί να ακολουθήσουν την έκθεση σε αυτό το άοσμο και άχρωμο αέριο, ειδικά όταν η τοξικότητα είναι οξεία.

Ένα έτος μετά το συμβάν της δηλητηρίασης, οι ερευνητές κατέγραψαν ανησυχητικά αποτελέσματα: δύο ασθενείς είχαν καταλήξει (15,4%), ενώ εννέα (69,2%) παρέμεναν σε κωματώδη κατάσταση. Μόνο ένας ασθενής εμφάνιζε μέτρια αναπηρία (7,7%), ενώ άλλος ένας είχε σχεδόν πλήρη ανάρρωση (7,7%), γεγονός που υποδεικνύει πως η πλήρης νευρολογική αποκατάσταση αποτελεί μάλλον την εξαίρεση παρά τον κανόνα σε τέτοιες περιπτώσεις. Η μελέτη αυτή προσθέτει κρίσιμα δεδομένα στη διεθνή βιβλιογραφία, επισημαίνοντας τη συχνότητα με την οποία η δηλητηρίαση από CO μπορεί να οδηγήσει σε μακροχρόνιο ή ακόμη και μη αναστρέψιμο κώμα.

Τα παραπάνω ευρήματα ενισχύουν την άποψη ότι η έκθεση σε μονοξείδιο του άνθρακα ενδέχεται να προκαλέσει σοβαρές και παρατεταμένες βλάβες στο κεντρικό νευρικό σύστημα, ιδιαίτερα όταν συνυπάρχουν επιβαρυντικοί παράγοντες όπως μεγάλη ηλικία, προϋπάρχουσες νευρολογικές ή καρδιαγγειακές παθήσεις, ή πολλαπλά τραύματα. Η πρόγνωση, όπως φάνηκε, διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με το προφίλ του κάθε ασθενούς, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη για εξατομικευμένη προσέγγιση στη φροντίδα και την αποκατάσταση των θυμάτων δηλητηρίασης από CO, καθώς και για την ενίσχυση των μέτρων πρόληψης.

## 6 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΑΠΟ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

### 6.1 Τεχνολογίες και μέτρα προστασίας για τη ρύπανση σε ανοικτούς χώρους

#### 6.1.1 Καταλυτικά συστήματα

Η χρήση καταλυτικών συστημάτων μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των ρύπων που προκύπτουν από διεργασίες καύσης, που δεν είναι τέλειες. Όταν δεν επιτυγχάνεται τέλεια καύση, εκλύονται στην ατμόσφαιρα διάφοροι ρύποι, μεταξύ των οποίων και το μονοξείδιο του άνθρακα. Για την αποφυγή της απελευθέρωσης ρύπων στην ατμόσφαιρα, χρησιμοποιούνται τα καταλυτικά συστήματα, των οποίων ο ρόλος τους δεν είναι άλλος από την εξουδετέρωσή τους και τη μετατροπή τους σε αβλαβή αέρια. Οι καταλύτες στην προκειμένη περίπτωση, καταλύουν την αντίδραση μεταξύ του μονοξειδίου του άνθρακα και του οξυγόνου, με στόχο τη μετατροπή του πρώτου σε διοξείδιο του άνθρακα.

Η πρώτη γενιά καταλυτών αναπτύχθηκε κατά το διάστημα 1975-1980 και αφορούσε σε καταλύτες που χρησιμοποιούσαν πλατίνα ή παλλάδιο. Τα συγκεκριμένα υλικά, συμβάλλουν στην προστασία του περιβάλλοντος, μέσω της εξουδετέρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα και συγκεκριμένα της οξείδωσής του. Ωστόσο, πρέπει να τονιστεί πως το κόστος των συγκεκριμένων καταλυτών είναι πολύ υψηλό και σε πολλές περιπτώσεις, αποτελεί ανατρεπτικό παράγοντα επιλογής τους (Farrauto et al., 2019).

Η δεύτερη γενιά καταλυτών αναπτύχθηκε μετά το 1980 και βρίσκουν εφαρμογή ακόμη και σήμερα. Πρόκειται για καταλύτες που μετασχηματίζουν τρία επιβλαβή αέρια που παράγονται από τις μηχανές, το μονοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του αζώτου και του υδρογονάνθρακες. Ο συγκεκριμένος καταλύτης χρησιμοποιεί τόσο την πλατίνα ή το παλλάδιο για την εξουδετέρωση του μονοξειδίου του άνθρακα, όσο και το ρόδιο για την εξουδετέρωση των οξειδίων του αζώτου. Ο συγκεκριμένος καταλύτης μπορεί και μετατρέπει το μονοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του αζώτου και τους υδρογονάνθρακες σε διοξείδιο του άνθρακα, σε νερό και σε άζωτο, συμβάλλοντας σε

πολύ μεγάλο βαθμό στην προστασία της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα (Farrauto et al., 2019).

Όλα τα παραπάνω καθιστούν σαφές πως η χρήση καταλυτικών συστημάτων δύνανται να συμβάλλει σημαντικά, στην πλήρη καύση και να μειώσει τις ποσότητες του μονοξειδίου του άνθρακα που εκλύονται και ρυπαίνουν τον ατμοσφαιρικό αέρα.

### 6.1.2 Συστήματα καύσης

Η ορθή λειτουργία των συστημάτων καύσης και η επιλογή του κατάλληλου μεγέθους, αποτελούν παράγοντες που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την κατανάλωση ενέργειας, όπως επίσης και την έκλυση μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Τα συστήματα καύσης και συγκεκριμένα τα συστήματα καύσης πέλλετ, προκειμένου να λειτουργούν αποδοτικά και να εκλύουν την μικρότερη δυνατή ποσότητα μονοξειδίου του άνθρακα, θα πρέπει να έχουν περιορισμένο αριθμό εκκινήσεων και παύσεων. Επίσης, η απελευθέρωση μονοξειδίου του άνθρακα από τα συστήματα καύσης πέλλετ μειώνεται, όσο αυξάνεται η ισχύς της καύσης. Ακόμη, πολύ σημαντικός παράγοντας που σχετίζεται με την έκλυση μονοξειδίου του άνθρακα, είναι το μέγεθος του λέβητα ή της σόμπας, που επιλέγεται για κάποιον χώρο (Fiedler et al., 2007).

Σύμφωνα με τους Harsono et al. (2022) η κατασκευή των σομπών και οι προδιαγραφές τους, δύνανται να συμβάλλουν στη μείωση της απελευθέρωσης μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Ειδικότερα, μέσα από τη μελέτη τους κατέληξαν, πως η ύπαρξη πολλών οπών, βοηθά στην είσοδο αέρα και στην πλήρη καύση του καυσίμου, ελαχιστοποιώντας την έκλυση του ρύπου του μονοξειδίου του άνθρακα. Συνεπώς, οι κατασκευάστριες εταιρείες πρέπει να προβαίνουν στην κατασκευή συστημάτων καύσης, με προδιαγραφές που ελαχιστοποιούν την έκλυση μονοξειδίου του άνθρακα και οι καταναλωτές να επιδιώκουν την αγορά συστημάτων καύσης, των οποίων οι προδιαγραφές θεωρούνται ως ιδανικές για τη βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, μέσω της περιορισμένης έκλυσης ρύπων.

Η στροφή προς συστήματα καύσης που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το υδρογόνο, το οποίο λαμβάνεται από ανανεώσιμες πηγές, θεωρείται ως μια ενδεδειγμένη πρακτική για τη μείωση του μονοξειδίου του άνθρακα, στην ατμόσφαιρα.

Ωστόσο, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στη χρήση του, καθώς υπάρχει κίνδυνος να αυξηθεί η έκλυση οξειδίων του αζώτου, που είναι επίσης επιβαρυντικό για την ποιότητα της ατμόσφαιρας κι επιβλαβές για τον άνθρωπο (Baukal et al., 2021). Σημειώνεται πως οι Badakhsh και Bhagavathy (2024) καταλήγουν κι αυτοί, πως τα συστήματα καύσης που χρησιμοποιούν το υδρογόνο ως καύσιμο, εκλύουν χαμηλότερες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα, αλλά όχι τα συστήματα καύσης που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, εμπλουτισμένο με υδρογόνο.

Τα παραπάνω ευρήματα δείχνουν πως υπάρχουν συστήματα καύσης με κατάλληλες προδιαγραφές, που μπορούν να οδηγήσουν στη μείωση της έκλυσης μονοξειδίου του άνθρακα όπως επίσης και εναλλακτικές λύσεις πως προς το καύσιμο που χρησιμοποιούν.

### 6.1.3 Χρήση βιοκαυσίμων

Η χρήση βιοκαυσίμων έναντι των συμβατικών καυσίμων είναι μια μέθοδος που μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Πρόκειται για ένα εναλλακτικό καύσιμο που μπορεί να συμβάλλει στην αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, χωρίς να απαιτούνται αλλαγές στους κινητήρες των αυτοκινήτων, γεγονός που δείχνει και την ευκολία εφαρμογής της. Τα βιοκαύσιμα έχουν διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες σε σχέση με το πετρέλαιο, ως απόρροια των πρώτων υλών που επιλέγονται για την παρασκευή του (Khalaf et al., 2022).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας που πραγματοποίησαν οι Jalaludin et al. (2020), η χρήση μείγματος καυσίμων, 10%, 20% και 30% βιοντίζελ και 90%, 80% και 70% πετρέλαιο σε έναν τετράχρονο μονοκύλινδρο κινητήρα πετρελαίου, συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του μονοξειδίου του άνθρακα, που εκλύεται στην ατμόσφαιρα, καθώς επιτυγχάνεται πλήρης καύση. Μάλιστα διαπιστώθηκε πως όσο μεγαλύτερη είναι η αναλογία των βιοκαυσίμων προς το συνολικό πετρέλαιο, τόσο μικρότερες οι εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα. Υπογραμμίζεται, πως η χρήση βιοκαυσίμων συνέβαλε επίσης και στη μείωση κι άλλων ρύπων, όπως είναι τα οξείδια του αζώτου και οι υδρογονάνθρακες.

Επίσης, οι Khujamberdiev και Cho (2021) καταλήγουν πως τα βιοκαύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις μηχανές εσωτερικής καύσης και να μειώσουν αισθητά την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία επιβαρύνουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Ειδικότερα, υποστηρίζουν πως η χρήση βιοντίζελ συμβάλλει στη μείωση της ποσότητας του μονοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται στην ατμόσφαιρα, χωρίς ωστόσο να επηρεάζεται η μείωση από την αναλογία βιοκαυσίμου προς πετρελαίου. Ωστόσο, διαπιστώθηκε πως η χρήση βιοντίζελ μειώνει σε μικρό ποσοστό την ισχύ και τη ροπή του κινητήρα, σε σχέση με τη χρήση πετρελαίου.

Επίσης, οι Kalaf et al. (2022) διερεύνησαν την επίδραση της χρήσης βιοντίζελ που παράγεται από σπόρους *Jatropha*, στην εκπομπή ρύπων ενός τετράχρονου μονοκύλινδρου κινητήρα πετρελαίου. Χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά μείγματα, σε διαφορετικές αναλογίες βιοντίζελ προς πετρέλαιο, 20%, 40%, 60%, 80% και 100%. Η αντικατάσταση μέρους του συμβατικού πετρελαίου από βιοντίζελ, οδήγησε στη μείωση των εκπομπών του μονοξειδίου του άνθρακα. Μάλιστα, η πλήρης αντικατάσταση του πετρελαίου από βιοντίζελ, είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του μονοξειδίου του άνθρακα κατά 55%. Σημειώνεται πως η έκλυση του μονοξειδίου του άνθρακα σχετίστηκε και με το φορτίο του κινητήρα. Ακριβέστερα, καταγράφηκε μείωση της ποσότητας έκλυσης σε όλα τα μείγματα, μέχρι το σημείο που το φορτίο του κινητήρα ήταν στο 75%.

Μια ακόμη έρευνα που μελέτησε αν η χρήση βιοντίζελ μπορεί να συμβάλλει στην αντικατάσταση του πετρελαίου, στη μείωση των εκπομπών ρύπων μεταξύ των οποίων και του μονοξειδίου του άνθρακα και κατά συνέπεια στη βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, πραγματοποιήθηκε από τον Shirmeshan (2013). Ο ερευνητής χρησιμοποίησε τέσσερα διαφορετικά μείγματα βιοντίζελ και πετρελαίου, με αναλογία 20%, 40%, 60% και 80%, προκειμένου να διαπιστώσει αν υπάρχει διαφοροποίηση στην ποσότητα των ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν, πως όλα τα μείγματα, οδηγούν στην έκλυση χαμηλότερων επιπέδων μονοξειδίου του άνθρακα, ειδικά όσο το φορτίο του κινητήρα αυξάνεται και φτάνει στο 80%.



Τα ευρήματα των παραπάνω μελετών δείχνουν πως τα βιοκαύσιμα, μπορούν να αποτελέσουν μια εναλλακτική λύση για τους κινητήρες των αυτοκινήτων και να συμβάλλουν σημαντικά στη βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα. Ωστόσο, διαπιστώνεται πως βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε διάφορους εσωτερικούς χώρους ως καύσιμο για τα μέσα θέρμανσης, καθώς η χρήση της συνεπάγεται μικρότερη έκλυση μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Ακριβέστερα, σύμφωνα με τη μελέτη των Harsono et al. (2022) η χρήση βιομάζας που προέρχεται από τον φλοιό του καφέ, μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του μονοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται στην ατμόσφαιρα, σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα.

#### 6.1.4 Μέτρα προστασίας

Ένα από τα σημαντικότερα μέτρα προστασίας που μπορεί να υιοθετηθεί από τους πολίτες όλων των χωρών με στόχο τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε ανοικτούς χώρους και συγκεκριμένα τη μείωση της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα, είναι η στροφή προς τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Μειώνοντας τη χρήση των αυτοκινήτων και των μοτοσυκλετών είναι βέβαιο, πως θα περιοριστεί σημαντικά η συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα και πως θα βελτιωθεί αισθητά η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Μάλιστα, η στροφή πως τα μέσα μαζικής μεταφοράς μπορεί να περιορίσει τους ρύπους και συγκεκριμένα την έκλυση του μονοξειδίου του άνθρακα κατά 13% (Tang et al., 2018).

Επίσης, ενδεδειγμένο μέτρο είναι και η αντικατάσταση των αυτοκινήτων και των μοτοσυκλετών, από το ποδήλατο ή ακόμη και από το περπάτημα. Μέσω των εναλλακτικών αυτών, αφενός μειώνεται η έκλυση του μονοξειδίου του άνθρακα κι αφετέρου, βελτιώνεται η φυσική κατάσταση και η υγεία των πολιτών (Ding et al., 2024). Όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν οι Komanoff et al. (1993), πως το ποδήλατο και το περπάτημα, θα μπορούσε να βοηθήσει στη μείωση του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα έως και 15%.

Αναφορά πρέπει να γίνει και στην αντικατάσταση των συμβατικών αυτοκινήτων από ηλεκτρικά αυτοκίνητα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας των Lyu et al. (2024), η χρήση ηλεκτρικών αυτοκινήτων φαίνεται ως μια λύση για την



αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Ειδικότερα, μέσα από τη μελέτη που πραγματοποίησαν κατέληξαν πως η αύξηση της χρήσης ηλεκτρικών οχημάτων κατά 10%, έναντι των συμβατικών οχημάτων, βελτιώνει την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα κατά 1.1%, καθώς μειώνει τους ρύπους, μεταξύ των οποίων και του μονοξειδίου του άνθρακα κατά 0.7%.

Τα παραπάνω μέτρα, που αφορούν κυρίως σε ατομική πρωτοβουλία, μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση της έκλυσης μονοξειδίου του άνθρακα και κατά συνέπεια στη βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα.

## 6.2 Τεχνολογίες και μέτρα προστασίας για τη ρύπανση σε κλειστούς χώρους

### 6.2.1 Αισθητήρες – ανιχνευτές μονοξειδίου του άνθρακα

Για την εκτίμηση των επιπέδων του μονοξειδίου του άνθρακα στους κλειστούς χώρους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ανιχνευτές μονοξειδίου του άνθρακα, δεδομένου μάλιστα πως πρόκειται για ένα αέριο το οποίο είναι άοσμο κι άχρωμο και δεν μπορεί να γίνει αντιληπτό, από τον άνθρωπο. Οι ανιχνευτές μονοξειδίου του άνθρακα, πρέπει να τοποθετούνται σε όλους τους χώρους, που δύνανται να καταγραφεί αυξημένη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα, προκειμένου να αποφευχθεί ο κίνδυνος έκθεσης και δηλητηρίασης των ανθρώπων, που βρίσκονται σε αυτούς. Ειδικότερα, πρέπει να τοποθετούνται σε όλους τους χώρους νοσοκομείων, κλειστών δομών, σχολείων και ξενοδοχείων, όπως επίσης και σε σπίτια και ειδικά, όταν υπάρχουν σε αυτά ηλικιωμένα άτομα ή άτομα με πνευματική ή σωματική αναπηρία (Jevtic & Blagojevic, 2019).

Αξίζει να υπογραμμιστεί πως οι αισθητήρες ανιχνευτές μονοξειδίου του άνθρακα, πρέπει να παράγουν ήχο, σε περίπτωση υψηλής συγκέντρωσης, διαφορετικό του ήχου που παράγουν άλλοι ανιχνευτές, προκειμένου να κατανοούν τα άτομα που παραβρίσκονται στον χώρο, τί είδους κίνδυνο πρέπει να αποφύγουν. Επίσης, είναι πολύ σημαντικό να έχουν τους απαιτούμενους αυτοματισμούς, ώστε να καθίστανται σαφείς οι δυσλειτουργίες, μέσω συγκεκριμένων ενδείξεων. Οι χρήστες τους, πρέπει να είναι

ενημερωμένοι σχετικά με την ικανότητά τους να λειτουργούν εύρυθμα και με την εκδήλωση κάποιας βλάβης ή δυσλειτουργίας (Jevtic & Blagojevic, 2019).

Σημειώνεται πως χάρη στην εξέλιξη της τεχνολογίας, οι ανιχνευτές μονοξειδίου του άνθρακα, μπορούν να συνδεθούν σε έξυπνα συστήματα παρακολούθησης, μέσω των οποίων, οι χρήστες μπορούν να λάβουν ενημέρωση σε κάποια συσκευή τους και να αντιδράσουν άμεσα, αποφεύγοντας τις πολύ σοβαρές κι αρνητικές επιπτώσεις (Salthammer, 2024).

Παρόλο που η χρήση ανιχνευτών μονοξειδίου του άνθρακα, μπορεί πραγματικά να σώζει ζωές και να αποτρέψει την εκδήλωση βλαβών στην υγεία πολλών ανθρώπων, παρατηρείται πως δεν υπάρχει κατάλληλο επίπεδο ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης. Η ευαισθητοποίηση και οι γνώσεις των πολιτών σχετικά με τους κινδύνους του μονοξειδίου του άνθρακα, των πηγών έκλυσής του, όπως και με την αναγκαιότητα τοποθέτησης ανιχνευτών σε κλειστούς χώρους, κυμαίνονται σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδο. Ως εκ τούτου, κρίνεται αναγκαία η πραγματοποίηση εκστρατειών ενημέρωσης από την πλευρά των κυβερνήσεων των χωρών και από αρμόδιους φορείς (Barn et al., 2016).

Όλα τα παραπάνω δείχνουν πως οι ανιχνευτές μονοξειδίου του άνθρακα, πρέπει να χρησιμοποιούνται στα σπίτια, στις επιχειρήσεις και στους οργανισμούς, καθώς μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση των θανάτων και των δηλητηριάσεων από τον συγκεκριμένο ρύπο. Ωστόσο, απαιτείται ενημέρωση προς τους πολίτες και τις επιχειρήσεις, από τους αρμόδιους φορείς, ώστε να ευαισθητοποιηθούν.

### 6.2.2 Μέτρα προστασίας

Η προστασία από δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα, μπορεί να επιτευχθεί μέσα από τη λήψη διαφόρων προληπτικών μέτρων, σε ατομικό επίπεδο. Η πρώτη και η πλέον βασική υποχρέωση των ανθρώπων είναι να προβαίνουν σε ετήσια συντήρηση των μέσων θέρμανσης που χρησιμοποιούν. Ειδικότερα, είναι αναγκαίο οι λέβητες φυσικού αερίου, τα τζάκια, οι σόμπες ξύλου και πέλλετ, οι θερμάστρες κηροζίνης κτλ. να ελέγχονται από επαγγελματίες, που έχουν την απαιτούμενη εξειδίκευση (EPA, 1996).

Ακόμη ένα μέτρο σε επίπεδο πρόληψης σχετίζεται με τη σωστή εγκατάσταση των θερμαντικών μέσων. Η εγκατάσταση θα πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένο επαγγελματία, όπως επίσης και να τηρούνται όλες οι προδιαγραφές. Παράλληλα, είναι σημαντικό να τονιστεί πως κατά την αγορά των θερμαντικών μέσων, οι καταναλωτές θα πρέπει να προσέχουν ιδιαίτερα την επιλογή μέσων, των οποίων τα καυσαέρια εκλύονται άμεσα, στο εξωτερικό περιβάλλον (EPA, 1996).

Λόγος πρέπει να γίνει και στη χρήση καλών εξαερισμών, που συμβάλλουν στην ανανέωση του αέρα στις κουζίνες των εστιατορίων, που χρησιμοποιούν κάρβουνο για την παρασκευή διαφόρων γευμάτων. Σύμφωνα με τον Ojima (2011) η υψηλή συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα, σε κουζίνες εστιατορίων, που χρησιμοποιούν κάρβουνο για την προετοιμασία διαφόρων πιάτων, έχει δηλητηριάσει σημαντικό αριθμό μαγείρων και σερβιτόρων, καθιστώντας σαφές πως είναι αναγκαίο σε αυτούς τους χώρους να υπάρχουν αξιόπιστοι εξαερισμοί. Οι εξαερισμοί, πρέπει να διασφαλίζουν πως ο αέρας της κουζίνας ανανεώνεται συνεχώς και πως υπάρχει διαθέσιμο οξυγόνο, για την πλήρη καύση των κάρβουνων και της αποφυγής έκλυσης μεγάλων ποσοτήτων μονοξειδίου του άνθρακα.

Σημαντικό είναι να τονιστεί πως οι πολίτες πρέπει να είναι ενημερωμένοι σχετικά με τα συμπτώματα που εκδηλώνονται, στην περίπτωση δηλητηρίασης από μονοξείδιο του άνθρακα, όπως και με τις ενέργειες που πρέπει να πραγματοποιήσουν. Πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίσουν τα συμπτώματα και να ενεργήσουν με τον ενδεδειγμένο τρόπο, που είναι ο άμεσος αερισμός του χώρου και η αποχώρηση από αυτόν, όπως και η μετάβαση σε κάποια μονάδα υγείας για την παροχή πρώτων βοηθειών (EPA, 1996). Υπό το πρίσμα αυτό, κρίνεται αναγκαία ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενημερωτικών κι εκπαιδευτικών εκστρατειών, που θα εστιάζουν στην παροχή πληροφοριών αναφορικά με τους κινδύνους, με τα μέτρα προστασίας, με τα συμπτώματα και με την ενδεδειγμένη αντίδραση (Barn et al., 2016).

Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει και στους κλειστούς χώρους, που δεν αφορούν σε σπίτια, αλλά σε οργανισμούς στους οποίους παραβρίσκεται ένας μεγάλος αριθμός ανθρώπων. Τέτοιοι χώροι είναι τα νοσοκομεία, τα σχολεία, οι κλειστές δομές για άτομα με αναπηρία ή για ηλικιωμένα άτομα κτλ. Οι εργαζόμενοι σε αυτές τις δομές

πρέπει να έχουν λάβει την απαιτούμενη εκπαίδευση, ώστε να αναγνωρίζουν τα συμπτώματα που προκαλεί η δηλητηρίαση με μονοξείδιο του άνθρακα, να προβαίνουν στην υιοθέτηση προληπτικών δράσεων, καθώς επίσης και να γνωρίζουν τις ενδείξεις των ανιχνευτών. Στους παραπάνω κλειστούς χώρους, πρέπει να υπάρχουν και ειδικά πρωτόκολλα ασφαλείας, που καθορίζουν τα αποδεκτά επίπεδα και τις ενέργειες που πρέπει να πραγματοποιηθούν σε κάθε περίπτωση, που τα όρια υπερβαίνονται (Fong, 2016).

Πολλές και διαφορετικές ενέργειες μπορούν να πραγματοποιήσουν οι πολίτες και οι επιχειρηματίες, προκειμένου να μετατρέψουν τα σπίτια αλλά και τις επιχειρήσεις τους σε ασφαλείς χώρους, μέσω της ελαχιστοποίησης του κινδύνου δηλητηρίασης από μονοξείδιο του άνθρακα.

## 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα άοσμο και άχρωμο αέριο, το οποίο επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και οδηγεί στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Αφορά ουσιαστικά, σε έναν από τους ρύπους που ευθύνονται για την ατμοσφαιρική ρύπανση και που οι κυβερνήσεις των χωρών, μέσα από διάφορα μέτρα, προσπαθούν να περιορίσουν. Επίσης, σε πολύ μεγάλες ποσότητες κι όταν δεν υπάρχει η αναγκαία ποσότητα οξυγόνου, ειδικά σε κλειστούς χώρους, προκαλεί δηλητηρίαση κι οδηγεί ακόμη και στον θάνατο, τους ανθρώπους και τα ζώα, που εκτίθενται σε αυτό. Οι επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων που εκτίθενται σε αυτό είναι πολλές και ιδιαίτερα σοβαρές, καθώς υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες προκαλούνται μόνιμες βλάβες.

Το υπό μελέτη αέριο δημιουργείται από την ατελή καύση των οργανικών υλικών και παράγεται τόσο από φυσικές πηγές, όσο και από ανθρωπογενείς. Ως φυσικές πηγές λογίζονται η φωτοχημική οξείδωση του μεθανίου, που παράγεται από την αποσύνθεση της οργανικής ύλης, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι δασικές πυρκαγιές καθώς επίσης και η αντίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας με την έγχρωμη διαλυμένη οργανική ύλη, που υπάρχει στους ωκεανούς.

Ως πηγές που σχετίζονται με την ανθρωπογενή δραστηριότητα, λογίζονται το κάπνισμα, οι μηχανές εσωτερικής καύσης, τα συστήματα καύσεις, η εξόρυξη μετάλλων, η καταλυτική πυρόλυση και η χρήση υλικών για διάφορες δραστηριότητες, που οδηγούν στη φωτοχημική οξείδωση του μεθανίου. Περίπου το 45% του μονοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, οφείλεται σε επιχειρηματικές δραστηριότητες, το 20% σε δραστηριότητες μεταποίησης και εξόρυξης, το 20% στις μεταφορές, το 5% στις αγροτικές και κτηνοτροφικές εργασίες, και το υπόλοιπο 10% σε διαδικασίες που αφορούν στη μεταφορά ενέργειας, στη διαχείριση των αποβλήτων και σε μεταφορές εκτός οδικού δικτύου.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να προσδιοριστούν οι βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της έκθεσης του ανθρώπου στο μονοξείδιο του άνθρακα, καθώς επίσης και να διερευνηθεί η πιθανότητα ύπαρξης σχέσης μεταξύ της

έκθεσης στο συγκεκριμένο τοξικό αέριο και στην εκδήλωση χρόνιων νοσημάτων. Επιπρόσθετα, μέσω της εργασίας αυτής, εντοπίστηκαν και οι διαθέσιμες τεχνολογίες περιορισμού των αυξημένων συγκεντρώσεων του μονοξειδίου του άνθρακα όπως επίσης και τα μέτρα προστασίας που πρέπει να λαμβάνονται από τους ανθρώπους, σε επίπεδο προστασίας και πρόληψης.

Το μονοξείδιο του άνθρακα επηρεάζει την υγεία των ανθρώπων, μέσω ενός ιδιαίτερου μηχανισμού δράσης. Ακριβέστερα, το μονοξείδιο του άνθρακα λόγω ότι έχει υψηλή χημική συγγένεια με πολλές πρωτεΐνες που περιέχουν σιδηρούχο αίμη και σημαντικά μεγαλύτερη από τη συγγένεια που έχει το οξυγόνο, ανταγωνίζεται το δεύτερο και δεσμεύει την αιμοσφαιρίνη. Το αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός της καρβοξυαιμοσφαιρίνης και η εκτόπιση του οξυγόνου. Ως εκ τούτου, η δέσμευση του μονοξειδίου του άνθρακα από τη μυοσφαιρίνη, οδηγεί στην ανεπάρκεια οξυγόνου στους μύες και στους ιστούς.

Οι επιπτώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα στην υγεία του ανθρώπου είναι ένα ιδιαίτερα σύνθετο πρόβλημα, καθώς επηρεάζει πολλαπλά συστήματα. Σε πρώτο χρόνο επιδρά με αρνητικό τρόπο στη λειτουργία του καρδιαγγειακού συστήματος. Ακριβέστερα, η δηλητηρίαση με μονοξείδιο του άνθρακα μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργία του μυοκαρδίου, ισχαιμική μυοκαρδιοπάθεια, έμφραγμα του μυοκαρδίου, στηθάγχη, κοιλιακή και κοιλιακή μαρμαρυγή και μυοκαρδιακή ίνωση. Επίσης, η συστηματική έκθεση σε χαμηλής ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα, που περιέχει υψηλότερες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα από τις αποδεκτές, μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση στεφανιαίας νόσου, σε αγγειακά εγκεφαλικά επεισόδια, σε προβλήματα καρδιακού ρυθμού. Χαρακτηριστικά διαπιστώθηκε, πως τα άτομα που έχουν δηλητηριαστεί με μονοξείδιο του άνθρακα έχουν έως και 2,16 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να εκδηλώσουν ισχαιμική καρδιοπάθεια.

Επίσης, το μονοξείδιο του άνθρακα έχει αρνητική επίδραση και στη λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος. Έχει καταγραφή θετική συσχέτιση μεταξύ της υψηλής ποσότητας μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και της εμφάνισης καρκίνου του πνεύμονα, της εκδήλωση ΧΑΠ, της εκδήλωσης πνευμονικής φυματίωσης, της βρογχίτιδας και της επιδείνωσης του άσθματος. Σημειώνεται πως τα άτομα που έχουν

δηλητηριαστεί με μονοξείδιο του άνθρακα έχουν 1,84 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να εμφανίσουν καρκίνο του πνεύμονα, 1,5 φορά μεγαλύτερο κίνδυνο να εκδηλώσουν ΧΑΠ και 1,42 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να εμφανίσουν πνευμονική φυματίωση. Η χαμηλής ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα, όπως επίσης και η δηλητηρίαση με μονοξείδιο του άνθρακα, μπορούν να επιβαρύνουν το αναπνευστικό σύστημα, τόσο του υγιούς πληθυσμού, όσο και του πληθυσμού με διαγνωσμένα προβλήματα του αναπνευστικού συστήματος.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα και η έκθεση απέναντι σε αυτές, επηρεάζουν αρνητικά το νευρικό σύστημα των ανθρώπων. Πληθώρα βλαβών κι επιπτώσεων στο νευρικό σύστημα, εντοπίζονται στη βιβλιογραφία, εκ των οποίων κάποιες έχουν βραχυπρόθεσμο χαρακτήρα και κάποιες μακροπρόθεσμο. Μεταξύ των βραχυπρόθεσμων βλαβών κι επιπτώσεων, εντοπίζονται ο πονοκέφαλος, η ναυτία, η σύγχυση, η συγκοπή, η ημικρανία και η ζάλη. Στις μακροχρόνιες βλάβες κι επιπτώσεις του νευρικού συστήματος συγκαταλέγονται το κώμα, η νόσος του Πάρκινσον, η επιληψία, η ακράτεια ούρων και κοπράνων. Χαρακτηριστικά, τα άτομα που έχουν δηλητηριαστεί από μονοξείδιο του άνθρακα 15,8 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να εμφανίσουν τη νόσο του Πάρκινσον, 8,4 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να εκδηλώσουν επιληψία και 1,37 φορές μεγαλύτερο κίνδυνο να παρουσιάσουν ημικρανία. Αναφορά πρέπει να γίνει και στην εμφάνιση του συνδρόμου των καθυστερημένων ψυχιατρικών διαταραχών (DNS), το οποίο εμφανίζεται σχεδόν στο 50% των ενηλίκων, που έχουν εκτεθεί σε μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα.

Σοβαρές είναι και οι βλάβες που προκαλεί η έκθεση σε αυξημένη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στο γαστρεντερικό σύστημα. Ακριβέστερα, έχουν καταγραφεί περιστατικά γαστρεντερικής αιμορραγίας, γαστρικού έλκους, ηπατομεγαλίας, ηπατικής βλάβης, υποξικής ηπατίτιδας και αύξησης των τιμών των τρανσαμινασών. Όλες οι βλάβες πέραν της αύξησης των τιμών των τρανσαμινασών σχετίζονται με τη δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα κι όχι με τη χρόνια έκθεση σε ατμοσφαιρικό αέρα χαμηλής ποιότητας, που περιέχει υψηλή συγκέντρωση του εν λόγω αερίου.



Λόγος πρέπει να γίνει και στις επιπτώσεις που έχει η έκθεση σε υψηλή ποσότητα μονοξειδίου του άνθρακα, στο γεννητικό σύστημα του ανθρώπου. Ειδικότερα, παρατηρήθηκε πως η χρόνια έκθεση σε χαμηλής ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα, με υψηλότερη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα, από την ενδεδειγμένη, οδηγεί στην αντρική και τη γυναικεία υπογονιμότητα, στη μείωση των σπερματοζωαρίων και σε διαταραχές στον εμμηνορροϊκό κύκλο των γυναικών. Σημαντικό είναι να καταγραφεί πως η δηλητηρίαση με μονοξείδιο του άνθρακα, θέτει σε κίνδυνο τη ζωή των γυναικών που κυοφορούν, όπως και των εμβρύων που μπορούν να πεθάνουν ή να υποστούν κάποια βλάβη που επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξή τους.

Από όλα τα παραπάνω καθίσταται σαφές πως το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα ιδιαίτερα επικίνδυνο αέριο, τόσο σε ανοικτούς, όσο και σε κλειστούς χώρους. Η μέριμνα για την ελαχιστοποίηση της συγκέντρωσής του, στον ατμοσφαιρικό αέρα, όπως και στους κλειστούς χώρους, σπίτια, επιχειρήσεις και οργανισμούς, πρέπει να αφορά στο κράτος αλλά και σε όλους τους πολίτες ατομικά. Μέσω της μέριμνας, δηλαδή της υιοθέτησης μιας σειράς μέτρων και της αξιοποίησης των διαθέσιμων τεχνολογιών είναι εφικτή η βελτίωση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα και η αποφυγή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όπως επίσης και η μείωση των περιστατικών δηλητηρίασης που επηρεάζουν την υγεία πολλών ανθρώπων ετησίως και που οδηγούν και στον θάνατο.

Μεταξύ των τεχνολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον περιορισμό της ρύπανσης της ατμόσφαιρας από το μονοξείδιο του άνθρακα στους ανοικτούς χώρους, είναι η χρήση καταλυτικών συστημάτων στις εσωτερικές μηχανές καύσης, προκειμένου να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος της ατελούς καύσης, η χρήση συστημάτων καύσης που εκλύουν μικρότερες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα, δηλαδή που έχουν τις ανάλογες προδιαγραφές και που καταναλώνουν καύσιμα, φιλικά προς το περιβάλλον και που δεν απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα, καθώς επίσης και η χρήση βιοκαυσίμων, για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών, έναντι των ορυκτών καυσίμων. Στα μέτρα που μπορούν να υιοθετηθούν για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, είναι η χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς σε σχέση με τα ιδιωτικά οχήματα, η χρήση ποδηλάτου και το περπάτημα, όπως και η



αντικατάσταση των συμβατικών μέσων μεταφοράς, δημόσιας και ιδιωτικής χρήσης, από ηλεκτρικά οχήματα.

Για την προστασία από την έκθεση σε μεγάλες ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα σε κλειστούς χώρους, προτείνεται η χρήση ανιχνευτών μονοξειδίου του άνθρακα. Οι ανιχνευτές μονοξειδίου του άνθρακα, πρέπει να τοποθετούνται σε όλους τους χώρους, που δύνανται να καταγραφεί αυξημένη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα, προκειμένου να αποφευχθεί ο κίνδυνος έκθεσης και δηλητηρίασης των ανθρώπων, που βρίσκονται σε αυτούς. Στα μέτρα που μπορούν να ληφθούν για την προστασία απέναντι στη δηλητηρίαση από μονοξείδιο του άνθρακα είναι η ετήσια συντήρηση των μέσων θέρμανσης, η σωστή εγκατάστασή τους, η χρήση καλών εξαερισμών, η ορθή ενημέρωση σχετικά με τα συμπτώματα της δηλητηρίασης και των ενδεδειγμένων ενεργειών που πρέπει να ακολουθηθούν, η απαιτούμενη εκπαίδευση στην περίπτωση των επαγγελματιών και των εργαζόμενων σε επιχειρήσεις και σε οργανισμούς.

Πολύ σημαντικό είναι οι αρμόδιοι φορείς του κράτους, να σχεδιάσουν και να υλοποιήσουν ενημερωτικές εκστρατείες, μέσω των οποίων οι πολίτες θα ευαισθητοποιηθούν γύρω από τους κινδύνους που συνεπάγεται η απελευθέρωση μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα αλλά και στους κλειστούς χώρους. Οι ενημερωτικές εκστρατείες θα πρέπει να έχουν ως περιεχόμενο τους κινδύνους της υψηλής έκθεσης στο αέριο αυτό, τις επιπτώσεις στην υγεία, την παρουσίαση των συμπτωμάτων της δηλητηρίασης, τις ενδεδειγμένες κινήσεις που πρέπει να πραγματοποιήσουν για την αντιμετώπιση της, τις τεχνολογίες που μπορούν να αξιοποιήσουν, όπως επίσης και τα μέτρα πρόληψης που πρέπει να λάβουν. Οι ενημερωτικές εκστρατείες μπορούν να λάβουν χώρα στα μέσα μαζικής ενημέρωσης, στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, όπως επίσης και στις εκπαιδευτικές μονάδες, στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ξενόγλωσση

Acka, E.E. (2024). Do renewable energy sources improve air quality? Demand- and supply-side comparative evidence from industrialized and emerging industrial economies. *Environmental and Pollution Research*, 31, 293-311. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30946-2>

Agency for Toxic Substances and Disease Registry, (2012). Toxicological Profile for Carbon Monoxide. Ανακτήθηκε από: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp201-c4.pdf>

Agoro, E.S., & Wankasi, M.M. (2018). The Effects of Chronic Carbon Monoxide Intoxication on some liver Biochemical Parameters in Rabbits. *Journal of Indian Society of Toxicology*, 14(2), 12-16. <https://doi.org/10.31736/jist/v14.i2.2018.12-16>

Alanazi, F. (2023). Electric Vehicles: Benefits, Challenges, and Potential Solutions for Widespread Adaptation. *Appl. Sci.*, 13(10), <https://doi.org/10.3390/app13106016>

Aronow, W. (1981). Aggravation of angina pectoris by two percent carboxyhemoglobin. *American Heart Journal*, 101(2), 154-157.

Avci, A., Yilmaz, A., Demir, K., Celik, M., & Karatas, R. (2015). Carbon Monoxide Poisoning Presenting with Atrial Fibrillation. *Eur J Den Med.*, 12(3), 255-257.

Badakhsh, A., & Bhagavathy, S.M. (2024). Caveats of green hydrogen for decarbonisation of heating in buildings. *Applied Energy*, 353, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122152>

Bagci, A. (2019). Development of Atrial Fibrillation Associated with Carbon Monoxide Poisoning. *Sḋu Saęlık Bilimleri Dergisi*, 10(1), 70-71.

Bahng, Y., Baek, K., Park, J.T., Choi, W.J., & Kwak, K. (2021). Carbon Monoxide Poisoning and Developing Ischemic Heart Disease: A Nationwide Population-Based Nested Case-Control Study. *Toxics*, 9(10), <https://doi.org/10.3390/toxics9100239>

- Barn, P., Fong, D., & Kosatsky, T. (2016). Carbon monoxide detectors: A powerful, underused way to protect lives. *BCMJ*, 58(1), 49.
- Baukal, C., Johnson, B., Haag, M., Theis, G., Henneke, M., Varner, V., & Wendel, K. (2021). High Hydrogen Fuels in Fired Heaters. *AFRC 2021*, 1-17.
- Braun, M., Klingelhofer, D., Muller, R., & Groneberg, D. (2021). The impact of second-hand smoke on nitrogen oxides concentrations in a small interior. *ci Rep*, 11, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90994-x>
- Caballero-Bermejo, A., Ruiz-Antoran, B., Ramio-Lluch, C., Duenas-Ruiz, A., Torcuato, A.P., Homar-Amengual, C., Guerrero-Gonzalez, M., Lopez, A.S., Garcia-Hernandez, R., Miranda, B.R., Gispert-Ametller, A., Duenas-Laita, A., & Ferrando, J.P. (2024). Clinical features and predictors of delayed neurological syndrome in carbon monoxide poisoning: the AMICO study. *Emergencias*, 36, 116-122.
- Canova, C., Torresan, S., Simonato, L., Scapellato, M.L., Tessari, R., Visentin, A., Lotti, M., & Maestrelli, P. (2010). Carbon monoxide pollution is associated with decreased lung function in asthmatic adults. *Eur Respir J.*, 35, 266-272.
- Chen, Y. (2023). The Impacts of Popularization of Electric Vehicles on Urban Air Pollution: Evidence from China. *E3S Web of Conferences*, 424, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342401003>
- Ching-Yuan, L., Mei-Chun, C., Cheng-Li, L., & Chia-Hung, K. (2015). Increased Risk of Parkinson Disease in Patients with Carbon Monoxide Intoxication. A Population-Based Cohort Study. *Medicine*, 94(19), <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000000869>
- Ciupek, B., Judt, W., Urbaniak, R., & Klosowiak, R. (2019). The Emission of Carbon Monoxide and Nitrogen Oxides from Boilers Supplied by a Pellet under the Influence of Changes in the Air-Fuel Equivalence Ratio. *Journal of Ecological Engineering*, 20(10), 34-38. <https://doi.org/10.12911/22998993/112748>

Conforti, A., Mascia, M., Cioffi, G., De Angelis, C., Coppola, G., De Rosa, P., Pinovello, R., Alviggi, C., & De Placido, G. (2018). Air pollution and female fertility: a systematic review of literature. *Reproductive Biology and Endocrinology*, <https://doi.org/10.1186/s12958-018-0433-z>

Conte, L., Szopa, S., Seferian, R., & Bopp, L. (2019). The oceanic cycle of carbon monoxide and its emissions to the atmosphere. *Biogeosciences*, *16*, 881-902.

Dalton, K., Kidd, C., & Hack, N. (2023). Toxin Induced Parkinsonism and Hospitalization Related Adverse Outcome Mitigation for Parkinson's Disease: A Comprehensive Review. *J. Clin. Med.*, *12*(3), <https://doi.org/10.3390/jcm12031074>

Dawson, R., Fantom, N., Martin-Pozas, T., Aguila, P., King, G., & Hernandez, M. (2025). Carbon monoxide-oxidising Pseudomonadota on volcanic deposits. *Environmental Microbiome*, *20*(12), <https://doi.org/10.1186/s40793-025-00672-y>

Dey, S., & Dhal, G.C. (2019). Materials progress in the control of CO and CO<sub>2</sub> emission at ambient conditions: An overview. *Materials Science for Energy Technologies*, *2*(3), 607-623.

Ding, D., Luo, M., Infante, M.F.P., Gunn, L., Salvo, D., Zapara-Diomed, B., Smith, B., Bellew, W., Bauman, A., Nau, T., & Nguyen, B. (2024). The co-benefits of active travel interventions beyond physical activity: a systematic review. *The Lancet Planetary Health*, *8*(10), 790-803. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(24\)00201-8](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(24)00201-8)

Dong, C., Hu, D., Tayeb, K.B., Simon, P., Addad, A., Trentesaux, M., de Souza, D.O., Chernyak, S., Peron, D., Rebia, A., Guillemoles, J.F., Wallart, X., Grandidier, B., Khodakov, A., Naghavi, N., & Ordonsky, V. (2023). Photocatalytic partial oxidation of methane to carbon monoxide and hydrogen over CIGS solar cell. *Applied Catalysis B: Environmental*, *325*, <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2022.122340>

Dorey, A., Scheerlinck, P., Nguyen, H., & Albertson, T. (2020). Acute and Chronic Carbon Monoxide Toxicity from Tobacco Smoking. *Military Medicine*, *185*(1-2), 61-67. <https://doi.org/10.1093/milmed/usz280>

Du, W., Tian, Z., Lv, B., Wang, P., Wang, H., Ding, S., Tian, Z., Zhou, J., Jiao, W., Zhang, X., & Gao, H. (2024). Association of carbon monoxide poisoning with cardiovascular disease risk: A systematic review and meta-analysis. *Heliyon*, 10, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34062>

EPA, (1996). Protect Your Family and Yourself from carbon monoxide poisoning. Ανακτήθηκε από: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/co\\_factsheet\\_en.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/co_factsheet_en.pdf)

European Environment Agency, (2024). Ανακτήθηκε από: <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-air-quality-status-2024>

Farrauto, R., Deeba, M., & Alerasool, S. (2019). Gasoline automobile catalysis and its historical journey to cleaner air. *Nature Catalysis*, 2, 603-613.

Fiedler, F., Bales, C., Persson, T., & Nordlander, S. (2007). Comparison of carbon monoxide emissions and electricity consumption of modulating and non-modulating pellet and solar heating systems. *International Journal of Energy Research*, 31(10), <http://dx.doi.org/10.1002/er.1277>

Fong, D. (2016). Guide for Implementing the Carbon Monoxide Monitoring and Response Framework in Long-term Care Facilities. Ανακτήθηκε από: [https://ncceh.ca/sites/default/files/Carbon\\_Monoxide\\_Framework\\_Implementation\\_Guide\\_Aug\\_2016.pdf](https://ncceh.ca/sites/default/files/Carbon_Monoxide_Framework_Implementation_Guide_Aug_2016.pdf)

Gaballah, S.Z., Elkhishin, I.A-R., Hashim, N.A., & Abdel Hamid, I. (2020). Predictors of Delayed Neurological Sequelae after Acute Carbon Monoxide Poisoning at Zagazig University Hospitals. *Forensic Med. & Toxicology*, 18(2), 105-121.

Gao, Y., Gu, H., Yang, J., Yang, L., Li, Z., & Zhang, J. (2021). Prognosis of patients in prolonged coma after severe carbon monoxide poisoning. *Human & Experimental Toxicology*, <https://doi.org/10.1177/0960327121997992>

Giovanis, E. (2018). The relationship between teleworking, traffic and air pollution. *Atmospheric Pollution Research*, 9(1), 1-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2017.06.004>

Gustavsen, I., Gustavsen, I., Gajdzik, T., & Solyga, V.M. (2024). Delayed neuropsychiatric syndrome after carbonmonoxide poisoning. *Tidsskr Nor Legeforen*, 144, <http://dx.doi.org/10.4045/tidsskr.23.0481>

Harsono, S.S., Tsaliman, A., Fauzi, M., Wibowo, R.K.K., & Supriyanto, E. (2022). Biomass Stove with Low Carbon Monoxide Emission Fueled by Solid Fuel Coffee-Husk Biopellet. *Sustainability*, 14(18), <https://doi.org/10.3390/su141811192>

Hatami, M., Naftolin, F., & Khatamee, M. (2014). Abnormal fingernail beds following carbon monoxide poisoning: a case report and review of the literature. *Journal of Medical Case Reports*, 8, <https://doi.org/10.1186/1752-1947-8-263>

He, T., Qian, X., Huang, J., Li, G., & Guo, X. (2025). A mediation analysis of meteorological factors on the association between ambient carbon monoxide and tuberculosis outpatients visits. *Front. Public Health*, 13, <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1526325>

Henry, T., Lesser, J., & Satran, D. (2008). Myocardial Fibrosis From Severe Carbon Monoxide Poisoning Detected by Cardiac Magnetic Resonance Imaging. *Images in Cardiovascular Medicine*, 118, 792.

Hill, B. (1994). The pathway of CO binding to cytochrome c oxidase Can the gateway be closed? *FEBS Letters*, 354(3), 284-288.

Huanf, C.C., Chen, T.H., Ho, C.H., Chen, Y.C., Hsu, C.C., Lin, H.J., Wang, J.J., Chang, C.P., & Guo, H.R. (2021). Increased Risk of Congestive Heart Failure Following Carbon Monoxide Poisoning. *Circulation: Heart Failure*, 14(4), <https://doi.org/10.1161/CIRCHEARTFAILURE.120.007267>

Huang, C.C., Ho, C.H., Hsu, C.C., Lin, H.J., Tian, Y.F., Wang, J.J., & Guo, H.R. (2020). Impact of carbon monoxide poisoning on the risk of breast cancer. *Scientific Reports*, 10, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77371-w>

Isler, Y. (2022). Carbon Monoxide Poisoning. *Eurasian Journal of Toxicology*, 4(2), 44-50.

- Jalaludin, H.A., Abdullah, N.R., Sharudin, H., Asiah, A.R., & Jumali, F. (2020). Emission characteristics of biodiesel ratios of 10%, 20%, and, 30% in a single-cylinder diesel engine. IOP Conf. Series: *Materials Science and Engineering*, 834, <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/834/1/012066>
- Jevtic, R., & Blagojevic, M. (2019). Installation of Carbon Monoxide Detectors. *TEHNIKA – KVALITET IMS, STANDARDIZACIJA I METROLOGIJA*, 19(1), 152-158.
- Jiang, Y.X., Zhou, L.X., Huang, Q-S., Xiao, H., Li, D.W., Zhou, Y.M., Hu, Y.G., Tang, E.J., Li, H, F., Ji, A.L., Luo, P., & Cai, T.J. (2022). The association between short-term exposure to ambient carbon monoxide and hospitalization costs for bronchitis patients: A hospital-based study. *Environmental Research*, 210, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112945>
- Kalay, N., Ozdogru, I., Cetinkaya, Y., Eryol, N.K., Dogan, A., Gul, I., Inanc, T., Ikizceli, I., Oguzhan, A., & Abaci, A. (2007). Cardiovascular Effects of Carbon Monoxide Poisoning. *Coronary Artery Disease*, 99(3), 322-324.
- Kalogiannidis, S., Chatzitheodoridis, F., Kalfas, D., Patitsa, C., Papagrigoriou, A. (2023). Socio-Psychological, Economic and Environmental Effects of Forest Fires. *Fire*, 6(7), <https://doi.org/10.3390/fire6070280>
- Katsumata, Y., Aoki, M., Oya, M., Yada, S., & Suzuki, O. (1980). Liver damage in rats during acute carbon monoxide poisoning. *Forensic Science International*, 16(2), 119-123.
- Khalaf, M., Abdel-Fadeel, W., Elhady, S.A., & Esmail, M. (2022). Performance and Emissions of a Diesel Engine Fueled with a Biofuel Extracted from Jatropha Seeds. *International Journal of Applied Energy Systems*, 4(2), 40-51.
- Khujamberdiev, R., & Cho, H. (2021). Biodiesel Effects on the Emissions and the Performance of the Engine - A Review. *Nat. Volatiles & Essent. Oils*, 8(5), 12614-12624.



Kim, S.J., Oh, H.S., Cha, Y.S., Kim, M.Y., & Kim, H. (2020). Evaluation of hepatic injury in acute carbon monoxide-poisoned patients in emergency department. *Human & Experimental Toxicology*, <https://doi.org/10.1177/0960327120909521>

Komanoff, C., Roelofs, C., Orcutt, J., & Ketcham, B. (1993). Environmental Benefits of Bicycling and walking in the United States. *Transportation Research Record*, 1405, 7-12.

Kosaki, Y., Maeyama, H., Nojima, H., Obama, T., Nakao, A., & Naito, H. (2021). Carbon monoxide poisoning during pregnancy treated with hyperbaric oxygen. *Clinical Case Reports*, 9(5), <https://doi.org/10.1002/ccr3.4138>

Krzastek, S., Farhi, J., Gray, M., & Smith, R. (2020). Impact of environmental toxin exposure on male fertility potential. *Transl Androl Urol.*, 9(6), 2797-2813. <https://doi.org/10.21037/tau-20-685>

Kumar, N., & Singh, A.K. (2022). Impact of environmental factors on human semen quality and male fertility: a narrative review. *Environmental Sciences Europe*, 6, <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00585-w>

Lee, J.G., Kim, S.Y., Moon, J.S., Kim, S.H., Kang, D.H., & Yoon, H.J. (2016). Effects of grilling procedures on levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in grilled meats. *Food Chem*, 15, 632-638. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.017>

Lee, S.J., Lee, S., & Cha, Y.S. (2023). Risk of lung diseases due to carbon monoxide poisoning: a nationwide population-based cohort study. *Obstructive Lung Diseases*, 164(4), <https://doi.org/10.1016/j.chest.2023.07.3191>

Lee, S.J., Lee, S., Kim, Y.H., & Cha, Y.S. (2024). Risk of lung diseases in patients with previous carbon monoxide poisoning: a nationwide population-based cohort study in the Republic of Korea. *Clin Toxic*, 62(7), 425-431. <https://doi.org/10.1080/15563650.2024.2371020>

Li, M., Shan, B., Peng, X., Chang, H. & Cui, L. (2023). An urgent health problem of indoor air pollution: results from a 15-years carbon monoxide poisoning observed study in Jinan City. *Scientific Reports*, 13(1), <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28683-0>



Liu, C., Chen, R., Meng, X., Wang, L., Niu, Y., Lin, Z., Liu, Y., Liu, Y., Qi, J., You, J., Kan, H., & Zhou, M. (2018). Ambient carbon monoxide and cardiovascular mortality: a nationwide time-series analysis in 272 cities in China. *Lancet Planet Health*, 2, 12-18.

Lyu, W., Hu, Y., Liu, J., Chen, K., Deng, J., & Zhang, S. (2024). Impact of battery electric vehicle usage on air quality in three Chinese first-tier cities. *Scientific Reports*, 14, <https://doi.org/10.1038/s41598-023-50745-6>

Maniotis, G., Spyropoulos, G., & Christopoulos, K. (2023). The footprint of Road transport emissions: Electric Vehicles and their impact on Air Pollution reduction in Greece. *Environmental Sciences Proceedings*, 26, <http://dx.doi.org/10.3390/environsciproc2023026146>

Manzueta, R., Kumar, P., Arino, A., & Martin-Gomez, C. (2024). Strategies to reduce air pollution emissions from urban residential buildings. *Science of the Total Environment*, 15, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175809>

Meng, Y.H., Hsieh, M.S., Chi, Y.C., How, C.K., Chen, P.C., & Chang, C.M. (2023). Effect of Carbon Monoxide Poisoning on Epilepsy Development: A Nationwide Population-Based Cohort Study. *Annals of Emergency Medicine*, 82, 145-151. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2022.11.021>

Musthafa, M.B.N.M., Anantharao, U., Dkhar, D., Jamal, A.F.F.M., Murugan, S.P., & Pittu, P.S.K. (2023). Novel Approach for Asthma Detection Using Carbon Monoxide Sensor. *Eng.Proc.*, 58(1), <https://doi.org/10.3390/ecsa-10-16002>

Ndidi, K. (2020). Gastric Ulcers; Causes, Symptoms, Treatment, and Prevention. *Journal Wetenskap Health*, 1(1), 1-4.

Ohwojero, C. (2016). Carbon-Monoxide (CO): A Poisonous Gas Emitted from Automobiles, Its Effect on Human Health. *Advances in Automobile Engineering*, 5(2), <http://dx.doi.org/10.4172/2167-7670.1000151>

Ojima, J. (2011). Generation Rate of Carbon Monoxide from Burning Charcoal. *Industrial Health*, 49, 393-395.

Pisoni, E., Thunis, P., De Meij, A., Wilson, J., Bessagnet, B., Crippa, M., Guizzardi, D., Belis, C.A., & Van Dingenen, R. (2023). Modelling the air quality benefits of EU climate mitigation policies using two different PM<sub>2.5</sub>-related health impact methodologies. *Environmental International*, 172, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107760>

Qadir, S.A., Al-Motairi, H., Tahir, F., Al-Fagij, L. (2021). Incentives and strategies for financing the renewable energy transition: A review. *Energy Reports*, 7, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.06.041>

Quinn, D., McGahee, S., Politte, L., Duncan, G., Cusin, C., Hopwood, C., & Stern, T. (2009). Complications of Carbon Monoxide Poisoning: A Case Discussion and Review of the Literature. *Prim Care Companion J Clin Psychiatry*, 11(2), 74-79.

Ribeiro, I., Monteiro, A., Martins, H., Freitas, S., Borrego, C., & Lopes, M. (2015). How does the use of biodiesel affect urban air quality? *Int J Environ Pollut.*, 58,79–88.

Rose, J., Wang, L., Xu, Q., McTiernan, C., Shiva, S., Tejero, J., Gladwin, M. (2017). Carbon Monoxide Poisoning: Pathogenesis, Management, and Future Directions of Therapy. *Am J Respir Crit Care Med*, 195(5), 596-606. <https://doi.org/10.1164/rccm.201606-1275CI>

Ryter, S.W., & Choi, A. (2014). Carbon Monoxide in Exhaled Breath Testing and Therapeutics. *J Breath Res.*, 7(1), <https://doi.org/10.1088/1752-7155/7/1/017111>

Sachan, D.S., & Patel, N. (2023). Clearing the Air: Mitigating Agricultural Contributions to Air Pollution for Sustainable Farming. *Argi Articles*, 3(6), 264-265.

Salthammer, T. (2024). Carbon monoxide as an indicator of indoor air quality. *Environmental Science: Atmospheres*, 4(3), <http://dx.doi.org/10.1039/D4EA00006D>

Sarla, G.S. (2020). Air pollution: Health effects. *Revista Medicina Legal de Costa Rica*, 37(1), 33-38.

Savioli, G., Gri, N., Ceresa, I.F., Piccioni, A., Zanza, C., Longhtitano, Y., Ricevuti, G., Dacco, M., Esposito, C., & Candura, S. (2024). Carbon Monoxide Poisoning: From

Occupational Health to Emergency Medicine. *J Clin Med.*, 13(9), <https://doi.org/10.3390/jcm13092466>

Shin, H.W., Hong, S.W., & Youn, Y.C. (2022). Clinical Aspects of the Differential Diagnosis of Parkinson's Disease and Parkinsonism. *J Clin Neurol*, 18(3), 254-270.

Shirneshan, A. (2013). HC, CO, CO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> Emission evaluation of a diesel engine fueled with waste frying oil methyl ester. *SciVerse ScienceDirect*, 75, 292-297.

Smith, S., Downs, J., Louwers, T., Martin, G., Weyandt, T., & Ridgeley, C.D. (2019). In T. Mallon (Eds.), *Occupational Health and the Service Member*, (pp. 477-503). US Army Medical Department Center and School.

Sofia, S., Gioiella, F., Lotrecchiano, N., & Giuliano, A. (2020). Mitigation strategies for reducing air pollution. *Environmental Science and Pollution Research*, <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08647-x>

Statista, (2025). Carbon monoxide emissions in the European Union (EU-27) from 1990 to 2022. Ανακτήθηκε από: <https://www.statista.com/statistics/1171133/carbon-monoxide-emission-european-union-eu-28/>

Swain, M. (2006). Fatigue in liver disease: Pathophysiology and clinical management. *Can J Gastroenterol.*, 20(3), 181-188.

Szabo, Z., Ujvarosy, D., Otvos, T., Sebestyen, V., & Nanasi, P. (2020). Handling of Ventricular Fibrillation in the Emergency Setting. *Front. Pharmacol.*, 10, <https://doi.org/10.3389/fphar.2019.01640>

Tang, C., Ceder, A., & Ge, Y.E. (2018). Optimal public-transport operational strategies to reduce cost and vehicle's emission. *PLoS ONE*, 13(8), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201138>

Tekin, Y.K., Korkmaz, I., Demitras, E., Gunday, B., & Tekin, G. (2020). Carbon monoxide poisoning induced upper gastrointestinal bleeding. *Notfall Rettungsmed*, 23, 132-133. <https://doi.org/10.1007/s10049-019-00640-3>

Thomas, J. (2017). What You Need to Know about Air Pollution: Its Importance and Effective Solutions. *Environment and Pollution*, 6(1), <http://dx.doi.org/10.5539/ep.v6n1p70>

Veiraiah, A. (2024). Poisoning by carbon monoxide. *Medicine*, 52(6), 372-373.

Venditti, C., Casselman, R., & Smith, G. (2011). Effects of chronic carbon monoxide exposure on fetal growth and development in mice. *BMC Pregnancy and Childbirth*, <https://doi.org/10.1186/1471-2393-11-101>

Verran, D., Chui, A., Painter, D., Shun, A., Dorney, G., McCaughan, G., & Sheil, R. (1996). Use of liver allografts from carbon monoxide poisoned cadaveric donors. *Transplantation*, 62(10), 1514-1515.

WHO, (1979). Carbon Monoxide. Ανακτήθηκε από: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/336055/9241540737-eng.pdf>

Wilbur, S., Williams, M., Williams, R., Scinicariello, F., Klotzbach, J., Diamond, G., & Citra, M. (2012). Toxicological Profile for Carbon Monoxide. Ανακτήθηκε από: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK153698/>

Wu, X., Liu, Z., Xu, C., Plones, T., & Wang, H. (2024). The quality of life of patients with chronic obstructive pulmonary disease: a bibliometric analysis. *Journal of Thoracic Disease*, 16(4), <https://jtd.amegroups.org/article/view/93054/html>

Xie, D., Gou, Z., & Gui, X. (2024). How electric vehicles benefit urban air quality improvement: A study in Wuhan. *Science of the Total Environment*, 906, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167584>

Yang, J., Zhang, M., Chen, Y., Ma, L., Yadikaer, R., Lu, Y., Lou, P., Pu, Y., & Rui, B. (2020). A study on the relationship between air pollution and pulmonary tuberculosis based on the general additive model in Wulumuqi, China. *International Journal of Infectious Diseases*, 96, 42-47.

Zamzam, M., Azab, N., Wahsh, R., & Ragab, A. (2012). Quality of life in COPD patients. *Egyptian of Chest Diseases and Tuberculosis*, 61(4), 281-289. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejcdt.2012.08.012>

Zhang, J.J., Bi, W.K., Cheng, Y.M., Yue, A.C., Song, H.P., Zhou, X.D., Bi, M.J., & Li, Q. (2022). Early predictors of brain injury in patients with acute carbon monoxide poisoning and the neuroprotection of mild hypothermia. *American Journal of Emergency Medicine*, 61, 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2022.08.016>

Ελληνόγλωσση

Βαλαβανίδης, Θ., & Ευσταθίου, Κ. (2012). Η χημική ένωση του μήνα. Ανακτήθηκε από: [http://webapps.chem.uoa.gr/efs/chemicals/chem\\_carbonmonoxide.htm#01](http://webapps.chem.uoa.gr/efs/chemicals/chem_carbonmonoxide.htm#01)

Γεωργόπουλος, Α., Νικολάου, Κ., Δημητρίου, Α., Γαβριλάκης, Κ., & Μπλιώνης, Γ. (2013). *Γη: ένας μικρός και εύθραυστος πλανήτης*. Gutenberg.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, (2024). Ετήσια έκθεση ποιότητας της ατμόσφαιρας 2023. Ανακτήθηκε από: <https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2024/08/%CE%95%CE%9A%CE%98%CE%95%CE%A3%CE%97-2023.pdf>