



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΓΕΙΑ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**Οι επιπτώσεις του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) στο Περιβάλλον και
στη Δημόσια Υγεία**

Συγγραφέας:

Κυριακή Λυμπεροπούλου

ΑΜ: 20017

Επιβλέπουσα:

Λευκοθέα Εβρένογλου

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF PUBLIC HEALTH
DEPARTMENT OF PUBLIC HEALTH POLICIES
MSc IN OCCUPATIONAL AND ENVIRONMENTAL
HEALTH

Diploma Thesis

The Effects of Nitrous Oxide (N₂O) on the Environment and Public Health

Student name and surname:

Kyriaki Lymperopoulou

Registration Number: 20017

Supervisor name and surname:

Lefkothea Evrenoglou

ATHENS, MARCH 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΓΕΙΑ

**Οι επιπτώσεις του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) στο Περιβάλλον και
στη Δημόσια Υγεία**

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/a	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΛΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΛΕΥΚΟΘΕΑ ΕΒΡΕΝΟΓΛΟΥ	ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
2	ΙΩΑΝΝΑ ΔΑΜΙΚΟΥΚΑ	ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	
3	ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΖΕΡΒΑΣ	ΕΔΙΠ	


ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Κυριακή Λυμπεροπούλου του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 20017 φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Επαγγελματική και Περιβαλλοντική Υγεία του Τμήματος Πολιτικών Δημόσιας Υγείας της Σχολής Δημόσιας Υγείας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα
Κυριακή Λυμπεροπούλου



Λευκοθέα Εβρένογλου / Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η σημασία εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι πολυδιάστατη, και αφορά κυρίως τη διερεύνηση του επιβαρυντικού ρόλου που διαδραματίζει το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) στην περιβαλλοντική ρύπανση (ατμόσφαιρα, ύδατα, εδάφη, πανίδα), αλλά και στη δημόσια υγεία, καθότι πληθώρα ελληνικών και διεθνών ερευνών υποστηρίζουν ότι η μεγάλη και παρατεταμένη έκθεση του ανθρώπινου οργανισμού στο συγκεκριμένο αέριο, διότι υπό κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) βρίσκεται στην αέρια μορφή, συνδέεται με μια ευρεία γκάμα ανεπιθύμητων επιδράσεων. Οι επιδράσεις αυτές μπορεί να είναι οξείες ή χρόνιες δηλαδή, αθροιστικές-συσσωρευτικές, με αποτέλεσμα τη βραχυχρόνια ή τη μακροχρόνια αντίστοιχα αύξηση των ποσοστών της νοσηρότητας σε ορισμένες περιπτώσεις, και της θνησιμότητας των ανθρώπων που εκτίθενται στο συγκεκριμένο αέριο (Eftimova et al, 2017; Savage & Ma, 2014; Oussalah et al, 2019). Από την άλλη πλευρά, η περιβαλλοντική επιβάρυνση που προκύπτει ως αποτέλεσμα της μαζικής χρήσης του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) στους κινητήρες των διαφόρων μηχανών, της καύσης της βιομάζας σε διάφορα σημεία του πλανήτη και γενικά, όλων των ενεργειών, ανθρωπογενών και μη, που συμμετέχουν στον κύκλο ζωής του Αζώτου στη φύση, έχουν ως αποτέλεσμα την υπερσυσσώρευση του συγκεκριμένου αερίου κυρίως στην ατμόσφαιρα, με συνέπεια την υποστήριξη του φαινομένου του θερμοκηπίου και του φαινομένου της τρύπας του όζοντος, που με τη σειρά τους, επιδρούν δυσμενώς και αλυσιδωτά σε όλα τα οικοσυστήματα του πλανήτη (Lew et al, 2018; Griffis et al, 2017; Müller, 2021). Μέχρι σήμερα, καμία άλλη ερευνητική εργασία δεν έχει καταφέρει να συνδυάσει όλη τη μέχρι τώρα αποκτηθείσα γνώση για το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O), με τις δυσμενείς επιδράσεις του στο περιβάλλον και τη δημόσια υγεία. Οι περισσότερες μελέτες που έχουν διεκπεραιωθεί μέχρι τώρα, είτε αφορούσαν αποκλειστικά το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την τρύπα του όζοντος σε σχέση με το συγκεκριμένο αέριο, είτε εστιάζονταν ως επί το πλείστον στις ιατρικές του παρενέργειες στο ανθρώπινο οργανισμό. Ως εκ τούτου, η παρούσα διπλωματική εργασία αναμένεται να προσφέρει μια πλατιά αλλά ταυτόχρονα σε βάθος θεώρηση της ισορροπίας «κόστος-όφελος» που τελικά προκύπτει από την ανθρώπινη χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O), σε εθνική και σε παγκόσμια κλίμακα.

Λέξεις – κλειδιά: υποξείδιο του αζώτου (N_2O), περιβάλλον και υποξείδιο του αζώτου (N_2O), υγεία και υποξείδιο του αζώτου (N_2O)

ABSTRACT

The importance of this dissertation is multidimensional, and mainly concerns the investigation of the aggravating role of Nitrogen Oxide in environmental pollution (atmosphere, water, soil, fauna), but also in public health, as they support a wide range of national that the large and prolonged exposure of the human body to this gas, because under normal conditions of pressure and temperature, Nitric Oxide is in gaseous form, is associated with a wide range of side effects. These effects can be acute or chronic, ie, cumulative-cumulative, resulting in short-term or long-term respectively increase in morbidity rates in some cases, and mortality of people exposed to this gas (Eftimova et al, 2017; Savage & Ma, 2014; Oussalah et al, 2019). On the other hand, the environmental burden that results from the mass use of Nitrogen Oxide in the engines of various engines, the combustion of biomass in various parts of the world and in general, all energies, man-made and non-man-made, that participate in the life cycle of nitrogen in nature, result in the over-accumulation of this gas mainly in the atmosphere, thus supporting the greenhouse effect and the ozone hole effect, which in turn, adversely affect and chain to all ecosystems on the planet (Lew et al, 2018; Griffis et al, 2017; Müller, 2021). To date, no other research work has been able to combine all the knowledge gained so far about Nitric Oxide with its adverse effects on the environment and public health. Most studies that have been done so far, either focused exclusively on the greenhouse effect and the ozone hole in relation to this gas, or focused mostly on its medical side effects in the human body. Therefore, this dissertation is expected to offer a broad but at the same time in-depth view of the "cost-benefit" balance that ultimately results from the human use of Nitrogen Oxide, nationally and globally.

Key-words: nitrogen oxide, enviroment and nitrogen oxide, health and nitrogen oxide

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Σατιρική εικονογράφηση από το 1830, με τίτλο Living made easy, που απεικονίζει τον Humphry Davy να χορηγεί μια δόση αερίου γέλιου σε μια γυναίκα (Πηγή: chemicals/chem).....	13
Εικόνα 2 Δομή του μορίου του Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) (Πηγή: chemicals/chem.org).....	17
Εικόνα 3 Σύνθεση του Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) (Πηγή: material-properties.org)...	19
Εικόνα 4 Χημικές ιδιότητες του Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) (Πηγή: material-properties.org)	19
Εικόνα 5 Φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές του Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) (Πηγή: Papista, PhD)	22
Εικόνα 6 Το Υποξείδιο του Αζώτου (N ₂ O) χρησιμοποιείται ως οξειδωτικό για την αύξηση της ισχύος της μηχανής αγωνιστικών αυτοκινήτων και μοτοσικλετών. (Πηγή: performancetrends.com/).....	25
Εικόνα 7 Το Υποξείδιο του Αζώτου (N ₂ O) υπό κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες θερμοκρασίας (cycleworld.com/)	26
Εικόνα 8 Το Υποξείδιο του Αζώτου (N ₂ O) υπό 320°C (πηγή cycleworld.com/).....	26
Εικόνα 9 Το πλεόνασμα οξυγόνου δημιουργεί πρόσθετη ισχύ (πηγή cycleworld.com/)...	27
Εικόνα 10 Το αέριο εισέρχεται στους αγωγούς, προκαλεί συστολή των μορίων και έπειτα απελευθερώνεται το Άζωτο (N) που λειτουργεί ως συμπιεστής. (Πηγή: cycleworld.com/)	28
Εικόνα 11 Χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) ως πρόσθετο και προωθητικό τροφίμων (Πηγή: fruugo.gr/).....	28
Εικόνα 12 Γέμισμα μπαλονιού από μεγαλύτερη συσκευασία οικιακής χρήσης του Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) (Πηγή: gasworld.com)	30
Εικόνα 13 Ψυχαγωγική χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) (Πηγή: independent.co.uk).....	30
Εικόνα 14 Μη επαναγεμιζόμενες ατσάλινες αμπούλες του Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) για οικιακή χρήση (πηγή Amsterdam Nabben & Brink, 2015).....	31
Εικόνα 15 Σχηματική απεικόνιση δημιουργίας Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) από γεωργική χρήση (Πηγή: Barker et al., 2015).....	32
Εικόνα 16 Σχηματική απεικόνιση νιτροποίησης (Πηγή: ucanr.edu).....	34

Εικόνα 17 Ο μηχανισμός της αναλγησίας (Πηγή: Emmanouil & Quock, 2007)	37
Εικόνα 18 Ο μηχανισμός της αγγολύσεως (Πηγή: Emmanouil & Quock, 2007)	38
Εικόνα 19 Η χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) ως αναισθητικό (Πηγή: British Medical Journal, 1985)	40
Εικόνα 20 Η χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) ως αναισθητικό στην οδοντιατρική (πηγή CenterforDiseaseControl.gov).....	41
Εικόνα 21 Οι προκλήσεις της αγρονομικής διαχείρισης του Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) (πηγή Tian et al., 2020)	43
Εικόνα 22 Η συμβολή σε επικίνδυνα αέρια από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Πηγή: chemicals/chem.org).....	43
Εικόνα 23 Σχηματική απεικόνιση της συνεισφοράς των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Πηγή: sustainable-environmanagement.com)	44
Εικόνα 24 Συνεισφορά των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων σε εκπομπές του Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) από το 1980 ως το 2016 παγκοσμίως (Πηγή: Tian et al., 2020)	45
Εικόνα 25 Σημαντική ποσότητα του Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) προέρχεται από την κοπριά των ζώων (Πηγή: IPCC 2014).....	47
Εικόνα 26 Ο τρόπος αύξησης των τριών επικίνδυνων αερίων του θερμοκηπίου (Πηγή:ghgonline.org)	49
Εικόνα 27 Συνεισφορές στις ανθρωπογενείς εκπομπές Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) το 2005 (Πηγή: EEA, 2019).....	50
Εικόνα 28 Συνεισφορές στις ανθρωπογενείς εκπομπές του Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) το 2005 (Πηγή: IPCC)	52
Εικόνα 29 Μέθοδοι εξουδετέρωσης του Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) (Πηγή: Denissova et al., 2019)	58

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	9
ΤΟ ΥΠΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (N_2O)	9
1.1 Ιστορική ανασκόπηση της ανακάλυψης του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O).....	9
1.2 Αλληλεπίδραση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) με τον ανθρώπινο οργανισμό	11
1.3 Το ευφορικό αποτέλεσμα και οι επικίνδυνες χρήσεις.....	13
1.4 Φυσικοχημικές ιδιότητες του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O).....	16
1.5 Παραγωγή του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O)	18
1.6 Χημικές ιδιότητες του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O).....	19
1.6.1 Αντιδραστικότητα	20
1.6.2 Σημείο τήξης.....	20
1.6.3 Μερικά χαρακτηριστικά του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O)	21
1.6.3.1 Φάση αερίου	21
1.6.3.2 Υγρή φάση.....	21
1.6.3.3 Στερεά φάση (πάγος).....	21
1.7 Φυσικές πηγές.....	22
1.8 Ανθρώπινες πηγές.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	24
ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (N_2O).....	24
2.1 Εισαγωγή.....	24
2.2 Μη ιατρική χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O)	24
2.2.1 Προωθητικό υλικό σε μηχανοκίνητα οχήματα	24
2.2.2 Ως πρόσθετο στα τρόφιμα.....	28
2.2.3 Ψυχαγωγική χρήση.....	29
2.2.4 Γεωργική χρήση	31
2.2.4.1 Αμμωνίαση.....	32
2.2.4.2 Αζωτοποίηση.....	32
2.2.4.3 Απονιτροποίηση	33
2.3 Ιατρική χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O)	35

2.3.1 Αναλγητική δράση.....	36
2.3.2 Αγχολυτική δράση.....	37
2.3.3 Αναισθητική δράση.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	42
ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΥΠΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (N ₂ O) ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	42
3.1 Επιπτώσεις του Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) στο φυσικό περιβάλλον.....	42
3.2 Συμβολή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	48
3.3 Συμβολή στην καταστροφή της στιβάδας του όζοντος.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	54
ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΠΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (N ₂ O) ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ.....	54
4.1 Επιπτώσεις της χρήσης του Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O) στην ανθρώπινη υγεία.....	54
4.2 Επιπτώσεις και συνέπειες, τοξικότητα.....	55
4.3 Μακροχρόνιες επιδράσεις μεγάλων ή επαναλαμβανόμενων δόσεων.....	56
4.4 Μέθοδοι εξουδετέρωσης Υποξειδίου του Αζώτου (N ₂ O).....	57
4.4.1 Μέθοδος προσρόφησης.....	58
4.4.2 Μέθοδος απορρόφησης.....	59
4.4.3 Καταλυτική μέθοδος.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	61
ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	69
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	71

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανασκόπηση της πιο πρόσφατης ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με την επίπτωση που έχει η χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) (*Nitrous Oxide*) στο περιβάλλον και στη δημόσια υγεία. Πιο συγκεκριμένα, αφού γίνει μια επιγραμματική ιστορική αναδρομή της ανακάλυψης και της χρήσης της συγκεκριμένης χημικής ένωσης από τον άνθρωπο, θα ακολουθήσει περιγραφή της χημικής του δομής και των σπουδαιότερων φυσικοχημικών ιδιοτήτων του, καθώς και των σπουδαιότερων τομέων στους οποίους η χημική αυτή ένωση έχει χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο από την περίοδο που ανακαλύφθηκε μέχρι σήμερα (ιατρική, οδοντιατρική, ψυχιατρική, βιομηχανία τροφίμων, μηχανολογία αυτοκινήτων και πυραύλων Palacz, 2017). Στη συνέχεια, θα γίνει λεπτομερής βιβλιογραφική διερεύνηση των συνεπειών που έχει η συστηματική χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) στο φυσικό περιβάλλον (ατμόσφαιρα, ύδατα, εδάφη, ζωικό βασίλειο), καθώς και των αντίστοιχων συνεπειών που έχει η χρήση του στην ανθρώπινη υγεία, σε επίπεδο μαζικό (δημόσια υγεία) (Aronson & Allison, 2012; Hakeem et al, 2017; Emmanouil & Quock, 2007). Στο τέλος, η παρούσα διπλωματική εργασία θα κλείσει με τον αναλογισμό και την πρόταση ορισμένων ενδεικτικών μέτρων που θα μπορούσαν να ληφθούν, σε εθνική και σε διεθνή κλίμακα, και παράλληλα σε κρατικό και σε ατομικό επίπεδο, για τον περιορισμό των δυσμενών αυτών συνεπειών στο περιβάλλον και τη δημόσια υγεία, μέσα στα επόμενα χρόνια.

Στο πλαίσιο όλων των παραπάνω, η παρούσα διπλωματική εργασία έχει οργανωθεί σε έξι κύρια κεφάλαια. Ειδικότερα, στο **πρώτο** κεφάλαιο, που αποτελεί και την εισαγωγή, γίνεται μία αδρή ιστορική ανασκόπηση της ανακάλυψης και της πρώτης χρήσης του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) από τον άνθρωπο, καθώς επίσης και στη Χημεία που κρύβει πίσω της η συγκεκριμένη χημική ένωση. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύσσεται εκτενώς η χημική της δομή, καθώς και οι σημαντικότερες φυσικοχημικές της ιδιότητες και συμπεριφορές. Στο **δεύτερο** κεφάλαιο, αναφέρονται οι σημαντικότερες χρήσεις του αερίου αυτού από τότε που πρωτοανακαλύφθηκε μέχρι και σήμερα, και τεκμηριώνεται το πώς οι χρήσεις αυτές συνδέονται άμεσα με τις φυσικοχημικές του ιδιότητες. Το **τρίτο** κεφάλαιο, είναι αφιερωμένο στις επιβαρυντικές επιπτώσεις της χρήσης του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) στη φύση (ατμόσφαιρα, ύδατα, εδάφη, πανίδα), με έμφαση στον κύκλο ζωής του

Αζώτου και στο σημαντικότερο ρόλο της ανθρωπογενούς δραστηριότητας σε αυτές. Στο **τέταρτο** κεφάλαιο αναπτύσσονται αναλυτικά οι συνηθέστερες επιπτώσεις της χρήσης του αερίου αυτού στην ανθρώπινη υγεία (βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα) τόσο σε ατομικό επίπεδο, όσο και σε συλλογικό (δημόσια υγεία), και θα συνοδευτεί με την ιδιαίτερη αναφορά στις επαγγελματικές κατηγορίες που κινδυνεύουν περισσότερο (αναισθησιολόγοι, οδοντίατροι, μηχανικοί αυτοκινήτων, εργαζόμενοι σε βιομηχανίες παραγωγής αυτοκινήτων κ.α.). Τέλος, στο **πέμπτο** και **έκτο** κεφάλαιο, παρατείνεται το κομμάτι των συμπερασμάτων και της συζήτησης, όπου γίνεται μια σύντομη και περιεκτική επανάληψη των όσων έχουν αναπτυχθεί στην παρούσα εργασία, ακολουθούμενα από μία γόνιμη αντιπαραβολή των δεδομένων αυτών, με επιστημονικώς τεκμηριωμένα στοιχεία άλλων ερευνών που ασχολήθηκαν με παρόμοιες θεματικές κατά το παρελθόν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΤΟ ΥΠΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (N₂O)

1.1 Ιστορική ανασκόπηση της ανακάλυψης του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O)

Το Υποξείδιο ή Πρωτοξείδιο του Αζώτου (Nitrous Oxide, N₂O) είναι ένα αέριο με υπόγλυκη γεύση που πρωτοπροσδιορίστηκε το 1772 μ.Χ. από τον Άγγλο χημικό Joseph Priestley.

Το 1772, ο Joseph Priestley ανακάλυψε το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) (Denis Richard, 2004) και το περιέγραψε στο Experiments and Observations on Different Kinds of Air.

Το 1798, ο Humphry Davy ανακάλυψε μεταξύ άλλων τις ευφορικές του ιδιότητες. Το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) χρησιμοποιείται από τα τέλη του 18ου αιώνα ως «αέριο γέλιου» σε εκθέσεις.

Το 1844 ο οδοντίατρος Horace Wells ανακάλυψε τα αναισθητικά του αποτελέσματα, τα οποία βίωσε στον εαυτό του. Δυστυχώς, πρόθυμος να δημοσιοποιήσει την ανακάλυψή του, ο Γουέλς ξεκίνησε, χωρίς προηγούμενο εκτεταμένο πειραματισμό, σε επιδείξεις σε ιατρικό κοινό στο Χάρτφορντ (Κονέκτικατ) και στο Χάρβαρντ, οι οποίες δεν στέφθηκαν με επιτυχία. Δυσανεστημένος, ο Γουέλς εγκατέλειψε οριστικά την οδοντιατρική. Μόνο μετά την επιτυχημένη έρευνα και τις επιδείξεις του William Thomas Green Morton με αιθέρα (Οκτώβριος και Νοέμβριος 1846 στη Βοστώνη) χρησιμοποιήθηκε ως αναισθησία από χειρουργούς, γεγονός που επέτρεψε στη χειρουργική επέμβαση να κάνει ένα σημαντικό άλμα, καθώς ο πόνος ήταν ένας από τους δύο κύριους περιορισμούς της χειρουργικής επέμβασης μαζί με τη μόλυνση.

Το 1961, Άγγλοι γιατροί το χρησιμοποίησαν για πρώτη φορά στη μαιευτική, όπου μείωσε τον πόνο και έπαιξε ρόλο αγχολυτικό. Στη δεκαετία του 1980, η χρήση του βελτιώθηκε πολύ, λόγω της συσχέτισης με το οξυγόνο, γιατί ο πρώτος κίνδυνος στη χρήση του ήταν και παραμένει η ασφυξία από έλλειψη οξυγόνου. Η ιατρική λοιπόν το χρησιμοποιεί σε ισομοριακό μείγμα με οξυγόνο. Στη συνέχεια, το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) αντικαθιστά σταδιακά τον αιθέρα και το χλωροφόρμιο στη μαιευτική (Annequin D., 2001).

Το 1998, είχε καθεστώς αναλγητικού φαρμάκου, ενώ τον Νοέμβριο του 2001, έλαβε τελικά την άδεια κυκλοφορίας (AMM) στη Γαλλία και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες, ενώ χρησιμοποιήθηκε με αυτή τη μορφή κατά τον εικοστό αιώνα. Προηγουμένως, διανεμόταν στην πλειονότητα των χειρουργείων και ήταν ένας από τους παράγοντες γενικής αναισθησίας κατά τον εικοστό αιώνα. Η χαμηλή αναισθητική του ισχύς, περιόρισε τη χρήση του σε αρκετά ανώδυνες χειρουργικές πράξεις και στον επικουρικό του ρόλο σε χρήση με πιο ισχυρά φάρμακα, οι δόσεις των οποίων μπορούσαν να μειωθούν, ενώ μειώνονταν ορισμένες ανεπιθύμητες ενέργειες με τη βοήθεια του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O).

Στα τέλη του 2009, στη Γαλλία, η Εθνική Υπηρεσία Φαρμάκων και Ασφάλειας Προϊόντων Υγείας, τροποποίησε τους κανονισμούς έτσι ώστε το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) να μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκτός νοσοκομείων, ρυθμίζοντας την κατάσταση όσων το χρησιμοποιούσαν. Στη Γαλλία τουλάχιστον από το 1996 γινόταν χρήση «στο σπίτι» σε ενήλικες ασθενείς με AIDS για ανακούφιση από τον πόνο των δερματικών ελκών που σχετίζονταν με το σύνδρομο AIDS και σε ορισμένους ηλικιωμένους ασθενείς με δερματικά έλκη ή έλκη που υπέστησαν υπερβολική κατάκλιση προηγούμενων θεραπειών ή σποραδικά στην παιδιατρική στο σπίτι, για να ανακουφιστεί ο σοβαρός πόνος όταν τα οπιοειδή δεν επαρκούσαν πλέον σε παιδιά για παρηγορητική φροντίδα. Χρησιμοποιήθηκε επίσης περιστασιακά από γιατρούς, στην ωτορινολαρυγγολογία σε σπίτια ενήλικων ασθενών και στη συνέχεια πολύ τακτικά σε παιδιά χωρίς αποζημίωση από την κοινωνική ασφάλιση, επειδή αυτή η αναλγητική ουσία ήταν εκτός υγειονομικής κάλυψης (Fidalgo et al., 2019). Παρόλα αυτά, οι γιατροί αναφέρουν ότι υπάρχει έλλειψη αποτελεσματικότητας σε ορισμένα περιστατικά και οι κύριες ανεπιθύμητες ενέργειες είναι η ναυτία και ο έμετος, γενικά αναστρέψιμες μέσα σε λίγα λεπτά μετά τη διακοπή της θεραπείας.

Η ομάδα των εμπειρογνομόνων που συγκέντρωσε η Εθνική Υπηρεσία Φαρμάκων και Προϊόντων Υγείας θεωρεί στην έκθεσή της ότι το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) δεν καλύπτει όλες τις επώδυνες πράξεις νοσηλείας και φροντίδας. Σύμφωνα με τις ενδείξεις, η ηλικία του παιδιού και η εμπειρία της ομάδας, αποτελεί το 10 έως 30% των αποτυχιών. Τα παιδιά κάτω των δύο ετών έχουν πολύ λιγότερο έντονα αποτελέσματα (www.afssaps.fr).

Τα τελευταία χρόνια, βρίσκει παγκοσμίως ευρεία χρήση σε ανθρωπογενείς και μη δραστηριότητες, (Gillman, 2019; Johnston, 2008). Η εμπορική του χρήση έχει μεγάλο εύρος ανθρώπινων δραστηριοτήτων οι οποίες περιλαμβάνουν την ιατρική επιστήμη και τους διάφορους επιμέρους κλάδους της και την οδοντιατρική (ως αναλγητικός/αναισθητικός/αγχολυτικός παράγοντας), τη μηχανολογία (ως βελτιωτικό της

μηχανολογικής επίδοσης), τη φαρμακοβιομηχανία (ως αγχολυτικό), τη βιομηχανία τροφίμων (ως μικροβιοστατικός, διογκωτικός και συντηρητικός παράγοντας) καθώς και την πετροχημική βιομηχανία, ως χημικό προϊόν (Huang & Johnson, 2016).

1.2 Αλληλεπίδραση του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) με τον ανθρώπινο οργανισμό

Στον ανθρώπινο οργανισμό, το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) όταν εισπνευστεί προκαλεί φυσιολογικά μια αναλγητική, αγχολυτική και ήπια αναισθητική δράση, ενώ λίγα λεπτά μετά από την εισπνοή του, ο ασθενής παρουσιάζει έντονη ευφορική διάθεση (Εικόνα 1) με αυξημένη πιθανότητα εθισμού ύστερα από παρατεταμένες εκθέσεις σε βάθος χρόνου (Rosenberg et al., 2015).

Οι ιδιότητες αυτές οφείλονται στην ικανότητα που έχει το συγκεκριμένο αέριο να προσδένεται σε διαφορετικούς υποδοχείς της επιφάνειας των νευρικών κυττάρων του εγκεφάλου και του κεντρικού νευρικού συστήματος (υποδοχείς GABA-A¹ και υποδοχείς NMDA² για την αγχολυτική δράση, υποδοχείς των οπιοειδών για την αναλγητική δράση, και υποδοχείς της ντοπαμίνης για την ευφορική διάθεση και την προδιάθεση εθισμού), όπου και ενεργοποιεί τα αντίστοιχα βιοχημικά μονοπάτια που μπλοκάρουν τον πόνο και το stress, μειώνουν ελαφρά το επίπεδο συνείδησης και δημιουργούν ευφορία.

Αν και δεν πρόκειται για τοξικό αέριο, ωστόσο λόγω της πιθανής του νευροτοξικότητας, αλλά και άλλων αρκετά συχνών ανεπιθύμητων παρενεργειών που προκαλεί, όπως ναυτία και έμετο, ίλιγγο και αναπνευστική δυσχέρεια μετά από οξεία εισπνοή, μεγαλοβλαστική αναιμία και αυξημένη πιθανότητα αυτόματων αποβολών στην έγκυες γυναίκες μετά από χρόνια έκθεση, θεωρείται σε αναλογία N₂O:O₂ από 40:60 έως 70:30, ενώ βάσει των διεθνών κατευθυντήριων οδηγιών, τα μέγιστα ασφαλή όρια για το καθαρό Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) σε κλειστούς χώρους ανέρχονται στα 50 ppm (Ramsey, Brown and Woods 1992).

¹ Ο ιονότροπος υποδοχέας GABAA είναι μέρος ενός μεγαλύτερου υποδοχέα GABA/φαρμάκων και ένας διάυλος ιόντων που καλύπτεται από συνδέτη. Το γ-αμινοβουτυρικό οξύ είναι ο ενδογενής συνδέτης του (GABA), ο οποίος αποτελεί τον κύριο ανασταλτικό νευροδιαβιβαστή του κεντρικού νευρικού συστήματος (Olsen & DeLorey, 1999).

² Τα N-methyl-D-aspartate (NMDA) είναι γλουταμινικού τύπου υποδοχείς ιόντων, που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη ρύθμιση της συναπτικής λειτουργίας στον εγκέφαλο.

Υπό αυτή την έννοια, οι εργασιακοί χώροι όπως οδοντιατρεία, χειρουργεία ελάσσωνων χειρουργικών επεμβάσεων κ.α., όπου χρησιμοποιείται συχνά το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) για επαγγελματικούς σκοπούς, θεωρούνται χώροι αυξημένης έκθεσης, και για το λόγο αυτό, συνίσταται η χρήση ειδικών, για τους σκοπούς αυτούς, δοσίμετρων (π.χ. τα δοσίμετρα *Landauer-Landauer nitrous oxide monitor, NITROX(R)*).

Ωστόσο, η παραγωγή του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) δεν περιορίζεται μόνο στις χρήσεις που αναφέρθηκαν μόλις, και οι οποίες αποτελούν τη ραχοκοκαλιά της ανθρωπογενούς παραγωγής του στη φύση. Στα ανοιχτά και κλειστά οικοσυστήματα του πλανήτη, το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) παράγεται με πολλούς άλλους ακόμη τρόπους, αφού αποτελεί προϊόν του φυσιολογικού αερόβιου και αναερόβιου μεταβολισμού των βακτηρίων και μυκήτων του εδάφους και των υδάτων, φυσιολογικό συστατικό των ανόργανων αποβλήτων του ανθρώπου αλλά και των ζώων, τα οποία αποτελούν την πανίδα κάθε περιοχής, αλλά και αναγκαίο αποτέλεσμα της υπερανάπτυξης της βιομηχανίας (εργοστασιακό παραπροϊόν) σε πολλές χώρες του ανεπτυγμένου κόσμου (Mampaeyetal, 2013; Schreiberetal, 2012).

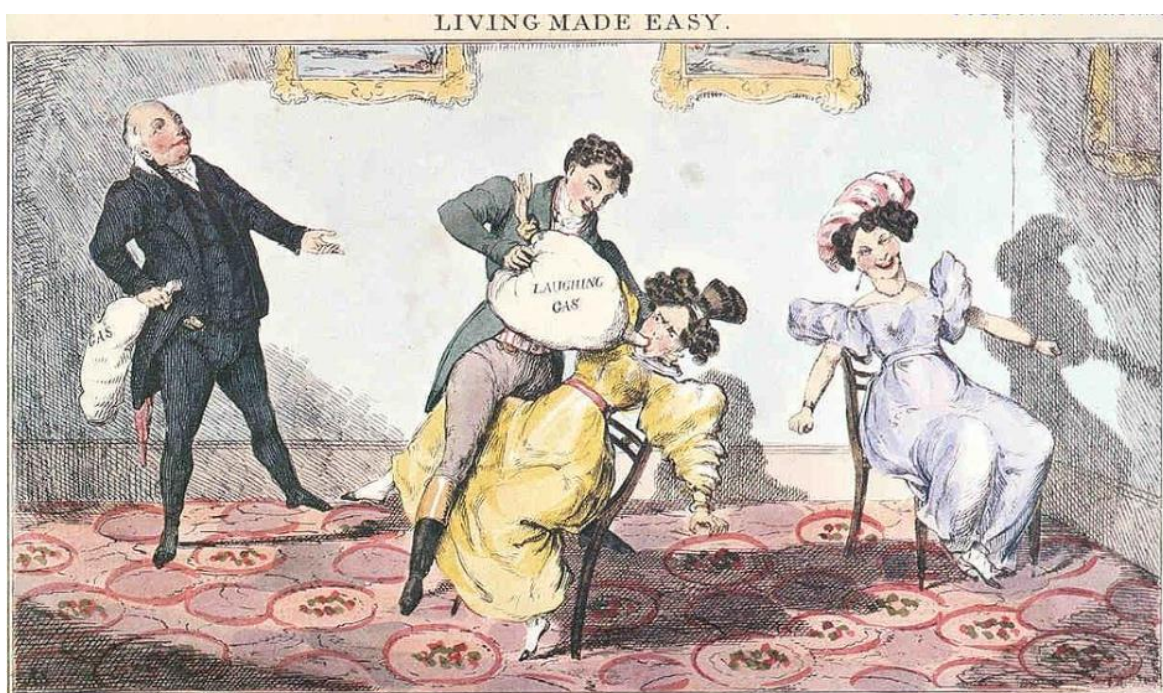
Παράλληλα, άλλες σημαντικές παράμετροι που συμβάλουν στην ανισορροπία μεταξύ παραγωγής και αποικοδόμησης του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) στη φύση είναι, η ραγδαία εξάπλωση των πυρκαγιών σε παγκόσμια κλίμακα τα τελευταία χρόνια (καύση μεγάλων ποσοτήτων βιομάζας), η αποψίλωση των δασών, η υπερβολική και αλόγιστη κατανάλωση νερού από τις σύγχρονες μεγαλουπόλεις, η καταβύθιση πολλών τμημάτων της στο νερό από γεωφυσικά φαινόμενα (ισχυρούς σεισμούς, προσχώσεις, αποσαθρώσεις κ.α.), καθώς και οι αναπόφευκτες μεταβολές στην σύσταση της βιοποικιλότητας των διαφόρων ζωικών ειδών που αποτελούν την πανίδα κάθε ευρύτερης ή στενότερης γεωγραφικής περιοχής.

Οι παράμετροι αυτές διαδραματίζουν πολύ σπουδαίο ρόλο στην υπερπαραγωγή του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) από τη μια πλευρά, και στη μειωμένη αποικοδόμησή του από την άλλη, με τελικό αποτέλεσμα την υπερσυσσώρευσή του κυρίως στην ατμόσφαιρα, όπου μεγάλες σύγχρονες έρευνες υποστηρίζουν ότι συμμετέχει ενεργά στην επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου αλλά και της τρύπας του όζοντος, σε εθνική και σε παγκόσμια κλίμακα (Frutosetal, 2018;Webbetal, 2019; Gadani&Yvas, 2019; Portmannetal, 2012).

Για το σκοπό αυτό, οι κυβερνήσεις πολλών κρατών έχουν θεσπίσει τα τελευταία χρόνια ειδική νομοθεσία που οριοθετεί και περιορίζει συνήθως, διά της νομικής οδού, τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που παράγουν Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) σε αλόγιστη

ποσότητα, όπως για παράδειγμα, την πολύ «πυκνή» δόμηση εργαστηριακών μονάδων στην ίδια γεωγραφική περιοχή ή την αποψίλωση μεγάλων δασικών εκτάσεων χωρίς την προοπτική της αναδάσωσης.

Τα επόμενα χρόνια, αναμένεται να φέρουν στο φως περισσότερα ερευνητικά δεδομένα γύρω από τη βέλτιστη χρήση των φυσικών πόρων, την αξιοποίηση πιθανών εναλλακτικών δηλαδή, πιο οικολογικών πηγών ενέργειας (π.χ. αειφόρος γεωργία, ανακύκλωση υλικών κ.α.) και την αξιοποίηση καινούργιων αγροτικών τεχνολογιών, που όλα μαζί θα έχουν ως απώτερο σκοπό τη μείωση των δυσμενών επιπτώσεων του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) στο περιβάλλον και στη δημόσια υγεία, αλλά και την καλύτερη εξισορρόπηση των υλικών που συμμετέχουν τον κύκλο του Αζώτου στη φύση (Mingetal, 2016; Hénaultetal, 2019; Zhuetal, 2014).



Εικόνα 1 Σατιρική εικονογράφηση από το 1830, με τίτλο Living made easy, που απεικονίζει τον Humphry Davy να χορηγεί μια δόση αερίου γέλιου σε μια γυναίκα (Πηγή: chemicals/chem)

1.3 Το ευφορικό αποτέλεσμα και οι επικίνδυνες χρήσεις

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O), που πωλείται νόμιμα σε τοπικά καταστήματα – σιφόν αλουμινίου ζαχαροπλαστικής χρήσης, συσκευασμένο σε κυλίνδρους ή φουσίγγια από χάλυβα οβάλ σχήματος – έχει εκτραπεί (εδώ και τουλάχιστον δύο δεκαετίες) για ψυχαγωγικούς σκοπούς και για τις ψυχοδυσληπτικές του ιδιότητες.

Σύμφωνα με τους Garbuz et al., (2007), ο εθισμός στις ναρκωτικές ιδιότητες του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) ήταν στην αρχή της χρήσης του σπάνιος, επηρεάζοντας μόνο το υγειονομικό προσωπικό, το οποίο λόγω της ιδιότητάς του, υφίστατο χρόνια έκθεση στο αέριο. Στη συνέχεια όμως, ένας μεγάλος αριθμός νεαρών ενηλίκων και εφήβων, άρχισε να κάνει χρήση του αερίου διαδίδοντας το στο ευρύ κοινό (μέσω της ευρείας διαθεσιμότητας φυσιγγίων χαμηλού κόστους), με αποτέλεσμα την εμφάνιση ατυχημάτων και αρκετών παρενεργειών. Αυτή η αλόγιστη χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) επιβεβαιώθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες και στο Ηνωμένο Βασίλειο από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 και στη Γαλλία από το 1996-1998 (περιπτώσεις που αναφέρθηκαν από το κέντρο δηλητηριάσεων της Μασσαλίας), ιδίως σε φοιτητικούς κύκλους. Συχνά μοιράζεται ή πωλείται με αφορμή techno party, ή σε free party, technival, trance party.

Εάν λαμβάνεται μόνο του και περιστασιακά, το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) δεν αποτελεί κίνδυνο εθισμού. Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) κάνει τους ανθρώπους να γελούν, η επίδρασή του είναι σχετικά βραχύβια και γενικά δεν προκαλεί εξάρτηση. Ωστόσο, αυτό δεν είναι και τόσο αθώο. Είναι η πηγή μιας συγκεκριμένης μορφής αναιμίας, νευρολογικών κρίσεων (πολυνευροπάθειες, αταξίες, δηλαδή διαταραχές ισορροπίας και προβλήματα κινητικού συντονισμού) σημειώνει ο William Lowenstein, ειδικός ιατρικής και πρόεδρος της SOS Addictions. Σύμφωνα με αγγλικά στατιστικά στοιχεία που συλλέγονται από έκθεση του Πανεπιστημίου του Λονδίνου, μέσα σε έξι χρόνια, από το 2006 έως το 2012, δεκαεπτά νεαροί Βρετανοί πέθαναν μετά από κατανάλωση αερίου γέλιου και έξι από αυτούς από ασφυξία (υποξία) (sciencesetavenir.fr).

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) φαίνεται να είναι αντικείμενο μόδας, στη Γαλλία. Μια πρώτη κορύφωση στην κατανάλωση εμφανίστηκε γύρω στο 2000 και μια ανάκαμψη σημειώθηκε το 2017-2018, ιδιαίτερα σε περιοχές κοντά στο Ηνωμένο Βασίλειο. Τις περισσότερες φορές εισπνέεται από το στόμα μέσω φουσκωτών ελαστικών μπαλονιών ή προφυλακτικών με αέριο (πωλούνται μεμονωμένα), σύμφωνα με μια γαλλική έκθεση του 2007 που ανατέθηκε από τη Γενική Διεύθυνση Υγείας (Haro et al., 2007). Η συσκευασία σε μπαλόνια καθιστά δυνατή την αποφυγή κρυοπαγημάτων και πνευμονικής ή εγκεφαλικής εμβολής που προκαλείται από το κρύο λόγω της διαστολής του αερίου εάν "αναρροφάται απευθείας από το φυσίγγιο", όπως το σιφόν κρέμας σαντιγί, σημειώνει η Drogues Info Service, η οποία προσθέτει ότι «οι επιδράσεις του υποξειδίου του αζώτου μερικές φορές οδηγούν τον χρήστη σε επαναλαμβανόμενες εισπνοές που μπορεί να οδηγήσουν σε θάνατο από ασφυξία».

Η κακή χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) είναι ένα φαινόμενο που έχει εντοπιστεί εδώ και αρκετές δεκαετίες, ιδιαίτερα σε πάρτι. Αλλά η αναζωπύρωση αυτής της κακής χρήσης, μεταξύ μαθητών γυμνασίου και λυκείου με επαναλαμβανόμενη, ακόμη και σε καθημερινή μακροχρόνια κατανάλωση σε μεγάλες ποσότητες, βοηθά να εξηγηθεί η σοβαρότητα της ζημίας που αναφέρθηκε παραπάνω.

Πιο συγκεκριμένα, η κακή χρήση του είναι, το άτομο να εισπνέει το αέριο μέσα από ένα μπαλόνι, αφού έχει «σπάσει» το φυσίγγιο για να το ανοίξει. Οι έφηβοι και νεαροί ενήλικες, οι οποίοι καταναλώνουν αυτό το φθινό προϊόν, αναζητούν το γρήγορο, φευγαλέο, ευφορικό αποτέλεσμα και τις αισθητηριακές παραμορφώσεις που παρουσιάζονται με αυτό το προϊόν. Αυτός ο τρόπος χρήσης έχει αυξηθεί, όπως και ο αριθμός και η σοβαρότητα των επιπλοκών που έχουν παρατηρηθεί.

Στη Γαλλία αλλά και στο Ηνωμένο Βασίλειο για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος έχουν θεσπιστεί νόμοι. Ο νόμος του Γαλλικού Κράτους 2021-695 της 1/6/2021, με στόχο την πρόληψη των επικίνδυνων χρήσεων του υποξειδίου του αζώτου, θεσπίζει ένα προστατευτικό πλαίσιο προβλέποντας την απαγόρευση πώλησης ή προσφοράς υποξειδίου του αζώτου σε ανηλίκους, ανεξαρτήτως συσκευασίας, σε όλα τα καταστήματα, δημόσιους χώρους και στο διαδίκτυο. Η παράβαση αυτής της απαγόρευσης τιμωρείται με πρόστιμο 3.750 €. Επιπλέον, η παρότρυνση κατάχρησης ενός καταναλωτικού προϊόντος σε ανήλικο άτομο για την απόκτηση ψυχοδραστικών επιδράσεων θεωρείται αδίκημα που τιμωρείται με πρόστιμο 15.000 €.

Από την άλλη, οι ιστότοποι ηλεκτρονικού εμπορίου πρέπει να προσδιορίζουν την απαγόρευση πώλησης σε ανηλίκους αυτού του προϊόντος, στις σελίδες που επιτρέπουν την ηλεκτρονική αγορά αυτού του προϊόντος, ανεξάρτητα από τη συσκευασία του.

Επίσης, απαγορεύεται η πώληση και η διανομή οποιουδήποτε προϊόντος προορίζεται ειδικά για τη διευκόλυνση της εξαγωγής υποξειδίου του αζώτου, όπως «κράκερ» και μπαλόνια.

Τα τελευταία χρόνια το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της διασκέδασης των νεαρών τουριστών, προερχόμενων από τη Βρετανία, και στη χώρα μας, που επισκέπτονται συγκεκριμένα νησιά στην Ελλάδα. Η χρήση αλκοόλ, είναι εμπλουτισμένη πλέον με τη χρήση αυτού του «αθώου» και «νόμιμου», για τους χρήστες στοιχείου.

Η κυκλοφορία και η χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) τα τελευταία χρόνια εκτινάχθηκε στη Βρετανία σε τέτοιο επίπεδο, που η κυβέρνηση το συμπεριέλαβε στη λίστα με τις νέες ελεγχόμενες ναρκωτικές ουσίες, όταν έθεσε σε ισχύ τον Νόμο περί Ψυχοδραστικών Ουσιών τον

Μάιο του 2016. Είχαν προηγηθεί δεκάδες κλοπές του αερίου από νοσοκομεία της χώρας και τουλάχιστον 27 θάνατοι το διάστημα 2006-2016.

Έχουν συμβεί συλλήψεις ιδιοκτητών ή υπευθύνων καταστημάτων υγειονομικού ενδιαφέροντος για την παράνομη διάθεση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) και στη χώρα μας οι οποίες αναδεικνύουν την αύξηση της χρήσης στην Ελλάδα. Ήδη έχουν αναφερθεί συλλήψεις και κατασχέσεις συσκευασιών με «αέριο γέλιου» σε Ρόδο και Κρήτη, όμως στη χώρα μας υπάρχει κενό νόμου και οι συλληφθέντες διώκονται για νοθεία τροφίμων (efsyn.gr).

Οι νεαροί χρήστες απολαμβάνουν τη σύντομη χαλάρωση και ευφορία που προκαλεί το εισπνεόμενο αέριο γέλιου, αλλά κινδυνεύουν από τις απρόβλεπτες παρενέργειές του στον οργανισμό τους. Η επίδραση του αερίου διαρκεί περίπου ένα λεπτό και η ευφορία που νιώθει ο χρήστης οφείλεται στην υποξία, την έλλειψη δηλαδή οξυγόνου. Η υποξία είναι όμως αυτή που μπορεί να οδηγήσει σε ασφυξία ή και στον θάνατο λόγω ασφυξίας.

Αρκετές διεθνείς μελέτες ανέφεραν πρόσφατα έναν άλλο κίνδυνο, νευρολογικό, που σχετίζεται με την κακή χρήση του υποξειδίου του αζώτου. Αναφέρουν ότι το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) μπορεί να προκαλέσει βλάβη στο ωτιαίο μυελό (Thompson, 2015).

Μια μελέτη στη Νότια Κορέα, που δημοσιεύθηκε διαδικτυακά τον Οκτώβριο του 2018 στο Journal of Clinical Neurology, αναφέρει την εμφάνιση αυτής της νευρολογικής επιπλοκής σε ασθενείς που έχουν συνηθίσει να εισπνέουν υψηλές δόσεις Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) (Hwang, 1996).

Εκτός από το κενό νόμου στην Ελλάδα, διαπιστώνεται ότι υπάρχει και κενό πληροφόρησης στο γενικό πληθυσμό αλλά κυρίως στις ομάδες που καταναλώνουν συγκεκριμένα ψυχοδραστικά προϊόντα. Τονίζεται ότι η έλλειψη πληροφοριών για τους χρήστες, ειδικά από τα άτομα μικρής ηλικίας, σχετικά με την επικινδυνότητα του προϊόντος. Η διάδοση πληροφοριών για το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) είναι ακόμη πιο επιβλητική, καθώς η επαναλαμβανόμενη κατανάλωση και σε πολύ μικρά διαστήματα μπορεί να οδηγήσει σε πονοκεφάλους, ζάλη, αλλά και σοβαρές διαταραχές του καρδιακού ρυθμού, ειδικά εάν το αέριο σχετίζεται με διεγερτικά, ανέφερε η Έκθεση Διεθνών Μελετών.

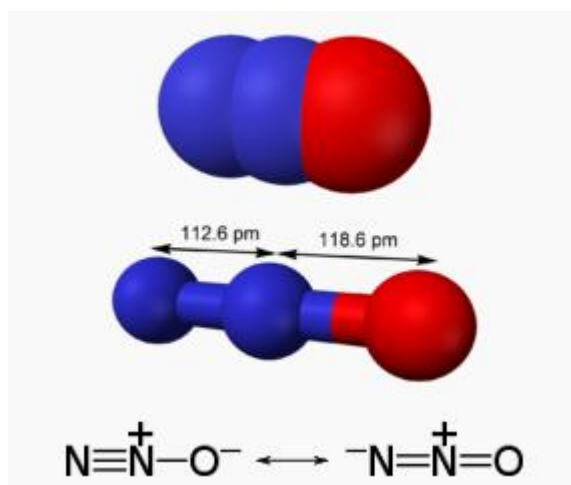
1.4 Φυσικοχημικές ιδιότητες του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O)

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O), ανήκει στα Οξειδία του Αζώτου (NO_x) και είναι επίσης γνωστό με την ονομασία Πρωτοξείδιο του Αζώτου, ή αέριο του γέλιου. Έχει ελαφρώς

γλυκιά μυρωδιά και γεύση και είναι άχρωμο. Χρησιμοποιείται στην αναισθησία, τη χειρουργική, την οδοντιατρική, ως επικουρικό σε ισομοριακό μείγμα με οξυγόνο, καθώς έχει αναισθητικές και αναλγητικές ιδιότητες. Λέγεται ότι είναι «αέριο γέλιου» επειδή προκαλεί ευφορικά αποτελέσματα κατά την εισπνοή, εξ ου και η χρήση του ως παραισθησιογόνο ψυχαγωγικό ναρκωτικό. Ως οξειδωτικό, αυξάνει την ισχύ των κινητήρων και χρησιμοποιείται σε αγώνες αυτοκινήτων. Με το Ακετυλένιο ($\text{H-C}\equiv\text{C-H}$), χρησιμοποιείται σε ορισμένες συσκευές ανάλυσης όπως η φασματομετρία ατομικής απορρόφησης.

Υπάρχει σε ίχνη στον ξηρό αέρα (330 μέρη ανά δισεκατομμύριο), είναι ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου (298 φορές πιο ισχυρό από το Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2)) και έχει γίνει ο κύριος συντελεστής στην καταστροφή της στιβάδας του όζοντος. Οι εκπομπές του είναι φυσικής και ανθρώπινης προέλευσης. Αυτό είναι εμφανές καθώς υπάρχει αύξηση πάνω από 20% στον αέρα από την προβιομηχανική εποχή.

Ο χημικός του τύπος είναι N_2O , επομένως αποτελείται από δύο μόρια αζώτου και ένα οξυγόνο (Εικόνα 2).



Εικόνα 2 Δομή του μορίου του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) (Πηγή: chemicals/chem.org)

Είναι ασταθές, συμπιεσμένο, υγροποιημένο, άχρωμο, σχεδόν άοσμο, μη ερεθιστικό, εύφλεκτο, με ελαφρώς γλυκιά γεύση (Annequin D et al., 2000). Η μοριακή του μάζα είναι 44,0128 g/mol και η κρίσιμη θερμοκρασία του (ελάχιστη θερμοκρασία υγροποίησης) είναι 36,4°C.

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) δρα σε διάφορους τύπους υποδοχέων:

- ✓ Τους υποδοχείς της μορφίνης και των α-2-αδρενεργικών υποδοχέων που είναι υπεύθυνοι για την αναλγητική δράση,
- ✓ Τους υποδοχείς GABA A και τους υποδοχείς βενζοδιαζεπίνης που έχουν ηρεμιστικά αποτελέσματα και
- ✓ Τους υποδοχείς NMDA που είναι η πηγή των ευφορικών και αναλγητικών επιδράσεων (Woolley et al., 2009).

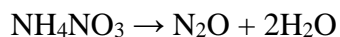
Λίγα είναι γνωστά για τους υποκείμενους μηχανισμούς. Το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) είναι ένα κατασταλτικό του κεντρικού νευρικού συστήματος. Έχει άμεση δράση στους υποδοχείς οπιοειδών. Η εισπνοή του μείγματος Υποξειδίου του Αζώτου και Οξυγόνου (N₂O-O₂) με χαμηλή περιεκτικότητα σε Υποξείδιου του Αζώτου (N₂O) (20 σε ποσοστό 30%) προκαλεί αναλγησία, συγκρίσιμη με εκείνη που επιτυγχάνεται με την ένεση 15 mg μορφίνης υποδορίως.

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) έχει αναλγητική, αγχολυτική και ηρεμιστική δράση. Επίσης, σε κατάλληλη συγκέντρωση έχει καθαρές αναλγητικές ιδιότητες, χωρίς πραγματικές αναισθητικές ιδιότητες, ενώ σε συνδυασμό με το Οξυγόνο (O₂) βοηθά στην πρόληψη του κινδύνου υποξίας, μέσω της καταστολής για τη διαχείριση του πόνου και του άγχους (Ryding & Murphy 2007).

1.5 Παραγωγή του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O)

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) παρασκευάζεται κυρίως σε βιομηχανική κλίμακα, θερμαίνοντας Νιτρικό Αμμώνιο (NH₄NO₃), περίπου στους 250°C, που αποσυντίθεται σε Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) και σε υδρατμούς.

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) παρασκευάζεται με αποσύνθεση τετηγμένου Νιτρικού Αμμωνίου (NH₄NO₃) μεταξύ 250°C και 260°C σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση αντίδρασης:



Σχηματίζει πάντα το 1 έως 2% του Αζώτου (N₂) και του Μονοξειδίου του Αζώτου (NO) (Εικόνα 3). Το τελευταίο απομακρύνεται με διέλευση πάνω από θεικό σίδηρο (II) (FeSO₄). Το νιτρικό αμμώνιο που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι απαλλαγμένο από ιόντα χλωρίου (Cl⁻) επειδή καταλύουν το σχηματισμό Αζώτου (N₂). Ωστόσο, η θέρμανση των διαλυμάτων Νιτρικού Αμμωνίου (NH₄NO₃) σε Νιτρικό Οξύ (HNO₃) ή σε Θεικό Οξύ

(H₂SO₄) οδηγεί σε καθαρό Μονοξείδιο του Αζώτου (NO) ακόμη και παρουσία μικρών ποσοτήτων ιόντων χλωρίου.

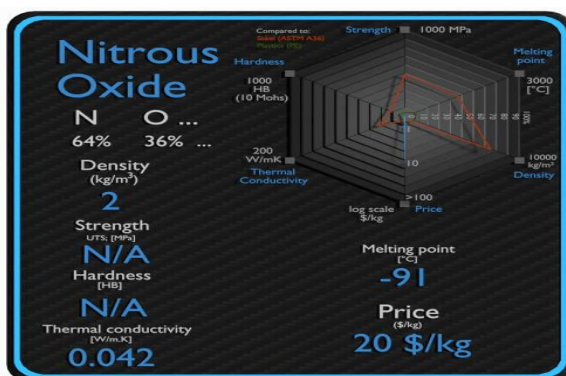


Εικόνα 3 Σύνθεση του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) (Πηγή: material-properties.org)

1.6 Χημικές ιδιότητες του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O)

Όσον αφορά στις χημικές ιδιότητές του (Εικόνα 4), είναι πολύ σταθερό στην ατμόσφαιρα, ελαφρώς διαλυτό στο νερό και πολύ διαλυτό σε έλαια και λιπαρές ουσίες.

Από την άποψη των χημικών ιδιοτήτων, το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) είναι ισοστερές (ισοηλεκτρονιακό και ισοατομικό) με το Διοξείδιο του Αζώτου (NO₂), με το οποίο έχει την ίδια σχετική μοριακή μάζα (M_r = 44.013) και παραπλήσιο σημείο βρασμού στους -88.48°C. Παράλληλα, έχει σημείο τήξεως στους -90.86°C, πυκνότητα ως υγρό στους -89°C 1.226gr/ml, και παρουσιάζει ικανοποιητική διαλυτότητα στο νερό (1500 mg/lit), καθώς και μια μικρή λιποφιλικότητα (Caranto 2016; Becker & Rosenberg, 2008).



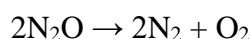
Εικόνα 4 Χημικές ιδιότητες του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) (Πηγή: material-properties.org)

1.6.1 Αντιδραστικότητα

Αυτό το αέριο δεν αντιδρά σε θερμοκρασία δωματίου με διαλογόνα όπως Χλώριο (Cl_2), Βρώμιο (Br_2) ή Ιώδιο (I_2)), ούτε με αλκαλικά μέταλλα όπως Λίθιο (Li), Νάτριο (Na) και Κάλιο (K).

Μπορεί ωστόσο να συνδεθεί με ορισμένα κατιόντα μετάλλων ως και να σχηματίσει σύμπλοκα όπως το σύμπλοκο αμίνης ρουθηνίου $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_5(\text{N}_2\text{O})^{2+}]$. Μπορεί επίσης να οξειδώσει μέταλλα μετάπτωσης χαμηλού σθένους σε σύμπλοκα. Δεν τροποποιείται από το Όζον (O_3), αλλά συμβάλλει στην υποβάθμιση του στρατοσφαιρικού όζοντος, δηλαδή του προστατευτικού στρώματος όζοντος της βιόσφαιρας από τις ηλιακές ακτίνες UV.

Σε υψηλή θερμοκρασία, αποσυντίθεται σε άζωτο και οξυγόνο:



Αντιδρά με πολλές οργανικές ενώσεις και ενισχύει την καύση, χάρη στην ισχυρή οξειδωτική του ισχύ (Lide, 2009).

1.6.2 Σημείο τήξης

Το σημείο τήξης του στερεού Υποξειδίου του Αζώτου (πάγος N_2O) είναι -91°C ($182,15^\circ\text{K}$, στο τριπλό σημείο), και επομένως είναι επίσης το σημείο στερεοποίησης του υγρού Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O). Το σημείο τήξης συνδέεται με την τυπική ατμοσφαιρική πίεση και τη θερμοκρασία εφόσον η τήξη προκαλεί μια ουσία να αλλάζει φάση, δηλαδή από τη στερεή να πηγαίνει στην υγρή.

Τριπλό Σημείο: Θερμοκρασία = $-90,8^\circ\text{C}$ ($182,3^\circ\text{K}$) και Πίεση: 878 hPa (878 mbar).

Κρίσιμο σημείο: $P = 72.450 \text{ hPa}$ (72,45 bar) και $T_c = 36,4^\circ\text{C}$ ($309,55^\circ\text{K}$).

Διαλυτότητα στο νερό (1,013 bar και 5°C): 1,14 vol / vol (1,14 λίτρο / λίτρο νερού).

Υγροποιείται στους $T = -88,5^\circ\text{C}$ ($184,65^\circ\text{K}$, κάτω από 1,013 bar). Είναι επίσης το σημείο βρασμού του υγρού Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O).

1.6.3 Μερικά χαρακτηριστικά του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O)

Στη συνέχεια, θα αναπτυχθούν μερικά χαρακτηριστικά του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) σχετικά με την αέρια φάση, την υγρή φάση και τέλος τη στερεά φάση (πάγος).

1.6.3.1 Αέρια φάση

Πυκνότητα της αέριας φάσης (1,013 bar και 15°C): 1,872 kg/m³

Πυκνότητα αερίου στο σημείο βρασμού (1,013 bar): 3,16 kg/m³

Ισοδύναμο αερίου / υγρού (1013,25 hPa, 15°C): 1 m³ αερίου (1,282 kg) > 0,00151 m³ υγρού (1,51 λίτρο, μάζα: 1,872 kg)

Ειδικός Όγκος (1,013 bar, 21 ° C): 0,543 m³/kg

Ειδική θερμότητα αερίου σε σταθερή πίεση (C_v) (1000 hPa και 25°C): 38 J / (mol.K)

Ειδική θερμότητα αερίου σε σταθερό όγκο (C_v) (1000 hPa και 25°C): 29 J / (mol.K)

Ιξώδες (1013 bar, 0°C): 0,000136 Poise

Θερμική αγωγιμότητα (1,013 bar και 0°C): 14,57 mW / (m.K)

1.6.3.2 Υγρή φάση

Πυκνότητα (1013 bar, σε σημείο βρασμού): 1222,8 kg/m³

Ισοδύναμο υγρού / αερίου (1013 bar, 15°C): 1 λίτρο υγρού > 0,662 m³ αερίου (1,239 kg)

Σημείο βρασμού (1013 bar): -88,5°C (184,65 K)

Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (1,013 bar στο σημείο βρασμού): 376,14 kJ/kg

Πίεση ατμών (στους 20°C): 58500 hPa (58,5 bar).

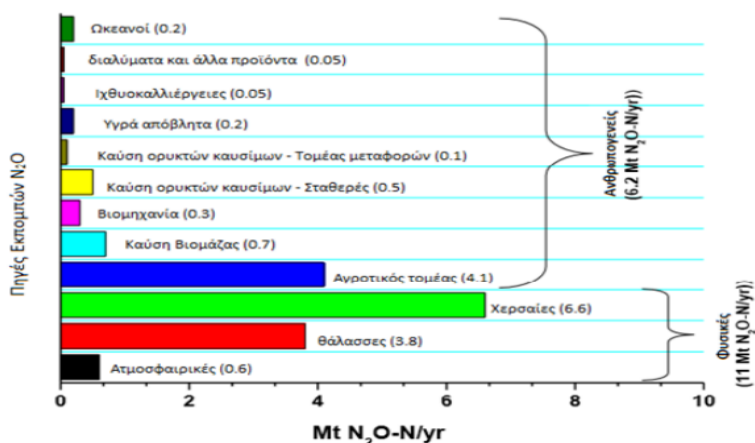
1.6.3.3 Στερεά φάση (πάγος)

Σημείο τήξεως: -91°C (182,15°K).

Λανθάνουσα θερμότητα σύντηξης (1,013 bar, στο τριπλό σημείο): 148,53 kJ/kg

1.7 Φυσικές πηγές

Ορισμένοι μικροοργανισμοί στο έδαφος και στους ωκεανούς είναι οι κύριες φυσικές πηγές, αλλά παράγονται επίσης από την καύση οργανικών υλικών και ορυκτών καυσίμων, τη βιομηχανία ή τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Η παραγωγή του στο έδαφος και στον αέρα από τα εδάφη, αυξάνεται σημαντικά με την αζωτούχα λίπανση και τη χρήση λιπασμάτων, συμπεριλαμβανομένου του φυσικού Αζώτου (N_2) «οργανικής» προέλευσης. Μέρος των εκπομπών από καλλιεργούμενα εδάφη ή λιβάδια που έχουν αποτελέσει αντικείμενο διασποράς κοπριάς και πολτού, ιλύος καθαρισμού λυμάτων ή ορισμένα λιπάσματα είναι ανθρώπινης προέλευσης. Στην Εικόνα 5, απεικονίζονται οι φυσικές και οι ανθρωπογενείς πηγές και το ποσοστό συνεισφοράς της καθεμιάς από τις πηγές.



Εικόνα 5 Φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) (Πηγή: Papista, PhD)

Τα βακτήρια που ζουν σε ορισμένες μυρμηγκοφωλιές είναι μια σημαντική πηγή. Τα αέρια που εκπνέονται από είκοσι δύο φωλιές μυρμηγκιών κοπής φύλλων στη νοτιοδυτική Κόστα Ρίκα, έχουν δείξει ότι σε ένα υγρό και φτωχό σε οξυγόνο περιβάλλον, αυτά τα βακτήρια παράγουν πολύ μεγάλες ποσότητες μεθανίου και οξειδίων του αζώτου. Αυτές οι ποσότητες είναι συγκρίσιμες με αυτές που παρατηρούνται σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων και λάκκους υδαρούς πολτού. Ωστόσο, αυτά τα μυρμήγκια συμβάλλουν επίσης στις λειτουργίες απορρόφησης άνθρακα του εδάφους. Η αξιολόγηση των παγκόσμιων επιπτώσεών τους στο κλίμα δεν έχει ακόμη αξιολογηθεί, λόγω έλλειψης επαρκών δεδομένων, αλλά αυτή η παραγωγή εξηγεί γιατί προηγούμενες μελέτες είχαν μετρήσει

πολύ μεταβλητά επίπεδα μεθανίου και οξειδίων του αζώτου στα δάση και τις περιοχές όπου αυτά τα μυρμήγκια χτίζουν τις υπόγειες φωλιές τους.

1.8 Ανθρώπινες πηγές

Το ένα τρίτο του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) στην ατμόσφαιρα προέρχεται από τη διασπορά αγροτικών αποβλήτων και αζωτούχων λιπασμάτων. Μια άλλη μεγάλη συμβολή είναι η σύνθεση του Αδιπικού Οξέος $(CH_2)_4COOH)_2$, ενός προδρόμου πολλών πολυμερών νάιλον, το οποίο απελευθερώνει ένα Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) για κάθε μόριο Αδιπικού Οξέος $(CH_2)_4COOH)_2$. Στη Γαλλία, η γεωργία συμβάλλει στο 86% των εκπομπών Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O), κυρίως από την επεξεργασία αζωτούχων προϊόντων (λιπάσματα, κοπριά, υπολείμματα καλλιεργειών) που διασπείρονται στη γεωργική γη. Ένα μικρό μέρος των εκπομπών προέρχεται από την οδική ρύπανση, ιδίως από οχήματα εξοπλισμένα με καταλυτικούς μετατροπείς και από ορισμένες βιομηχανικές διεργασίες (Tian et al, 2020). Συνέπεια όλων το παραπάνω είναι το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) να συσσωρευτεί σε χαμηλά σημεία (λάκκοι, υδρορροές, υπόγεια κ.λπ.) και εκεί να κάνει την ατμόσφαιρα επικίνδυνη, καθώς είναι αέριο βαρύτερο από τον αέρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (N₂O)

2.1 Εισαγωγή

Λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητάς του σε οξυγόνο από τον αέρα, το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) χρησιμοποιείται σε κινητήρες εσωτερικής καύσης για να αυξηθεί κατά πολύ η ισχύς τους. Χρησιμοποιείται επίσης ως προωθητικό, ειδικά σε φυσίγγια σιφονιού που κατασκευάζονται από τροφή. Ο ευρωπαϊκός του κωδικός είναι E942 (www.airliquide.com). Κάποτε χρησιμοποιήθηκε για τη συντήρηση του κρέατος, ενώ χρησιμοποιείται τακτικά για ψυχαγωγική χρήση, λόγω των ψυχοδυσληπτικών ιδιοτήτων του όπως ήδη έχει αναφερθεί (Richard et al., 2004).

2.2 Μη ιατρική χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O)

2.2.1 Προωθητικό υλικό σε μηχανοκίνητα οχήματα

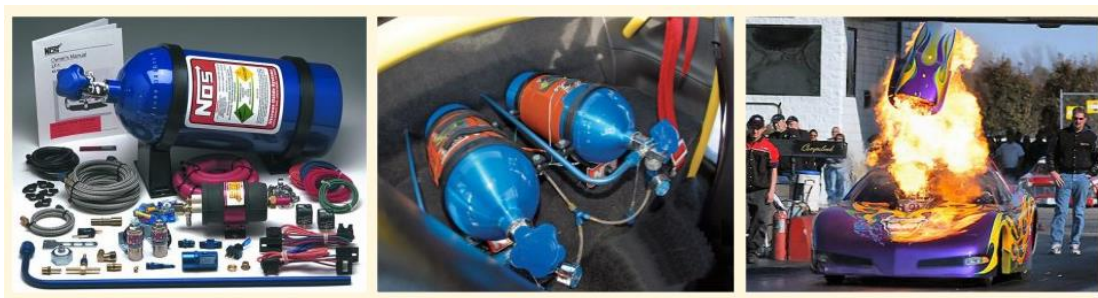
Το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οξειδωτικό σε υγρούς πυραυλοκινητήρες. Ο γενικός χαρακτηρισμός του είναι προωθητικό. Λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητάς του σε οξυγόνο από τον αέρα, χρησιμοποιείται μερικές φορές ως εφεδρικό ή ως υποκατάστατο του τελευταίου σε κινητήρες εσωτερικής καύσης (Palacz, 2017).

Καθαρό ή σε μίγμα ατμοσφαιρικού αέρα αναμιγνύεται με το εισαγόμενο στη μηχανή καύσιμο, στις στιγμές κατά τις οποίες ο οδηγός χρειάζεται ιδιαίτερα έντονη ισχύ από τον κινητήρα (επιτάχυνση, στροφές) (Εικόνα 6). Στο εμπόριο κυκλοφορούν διάφορες συσκευασίες με οδηγίες εγκατάστασης σε αγωνιστικά αυτοκίνητα και μοτοσυκλέτες, ωστόσο μια τέτοια τροποποίηση μπορεί να αποδειχθεί ως μια επικίνδυνη επιλογή.

Στον κινητήρα το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) επιτρέπει την αύξηση της φόρτισης του οξειδωτικού/καυσίμου στον κύλινδρο, την προώθηση της καύσης και συνεπώς την κατά πολύ αύξηση της ισχύος του κινητήρα, από περίπου 30% σε 100%.

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) χρησιμεύει σε συγκεκριμένες εφαρμογές ως προωθητικό υλικό και ιδιαιτέρως για την πρόωση διαστημικών πυραύλων. Υπάρχουν ωστόσο κάποια ζητήματα που πρέπει να διερευνηθούν για να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά στην υγρή πρόωση. Η έγχυση οξειδίου του αζώτου χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου σε ορισμένα γερμανικά μαχητικά αεροσκάφη που χρησιμοποιούσαν τη συσκευή, με το όνομα GM-1 και στόχευε να αντισταθμίσει τη μείωση του οξυγόνου στον αέρα σε υψόμετρο (αέριο που λαμβάνεται από τον αέρα, που χρησιμοποιείται ως οξειδωτικό από εμβολοφόρους κινητήρες), το οποίο είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του επιπέδου του οξειδωτικού, κινητήρα σε σχέση με το καύσιμο, και ως εκ τούτου είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της ισχύος που παρείχε ο κινητήρας καθώς και την αύξηση της κατανάλωσης.

Αν κάποιος πιλότος επιθυμούσε να χρησιμοποιήσει το GM-1 έπρεπε να το κάνει σε ένα υψόμετρο όπου ο αέρας ήταν ήδη αραιότερος (από περίπου 6000 μέτρα υψόμετρο) και έπρεπε να μειώσει το γκάζι πριν το εκκινήσει ξανά όταν η συσκευή είχε ρυθμιστεί καθ' οδόν, διότι υπήρχε κίνδυνος να σπάσει ο κινητήρας ή χειρότερα, να εκραγεί το αεροπλάνο (Palacz, 2017).



Εικόνα 6 Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) χρησιμοποιείται ως οξειδωτικό για την αύξηση της ισχύος της μηχανής αγωνιστικών αυτοκινήτων και μοτοσικλετών. (Πηγή: performancetrends.com/)

Ως εκ τούτου, η έγχυση οξειδίου του αζώτου στόχευε να αντισταθμίσει την έλλειψη οξειδωτικού στον κινητήρα, έτσι ώστε να επιτρέψει στον τελευταίο να λειτουργεί σε μεγάλο υψόμετρο με απόδοση ίδια με τη λειτουργία σε χαμηλό ή μεσαίο υψόμετρο. Ο

πιλότος είχε έτσι ένα απόθεμα ισχύος που μπορούσε να χρησιμοποιήσει μέχρι να εξαντληθεί ο κύλινδρος αερίου που περιείχε το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) σε υγρή μορφή, δηλαδή περίπου δέκα λεπτά.

Η αρχή της έγχυσης μονοξειδίου του αζώτου υιοθετήθηκε και σε αγώνες μοτοσικλέτας, για να επιτύχουν υψηλές επιταχύνσεις. Στην αγορά υπάρχουν κιτ NOS (Nitrous Oxide Systems) που μπορούν να τοποθετηθούν σχεδόν σε οποιοδήποτε αυτοκίνητο. Αν και αυτά τα κιτ είναι πολύ δημοφιλή στους λάτρεις των αγώνων ταχύτητας, η εγκατάστασή τους σε οχήματα παραγωγής παραμένει παράνομη σε πολλές χώρες. Η χρήση στη Γαλλία επιτρέπεται εφόσον η βαλβίδα ασφαλείας (υποχρεωτική) του κυλίνδρου είναι κλειδωμένη και δεν χρησιμοποιείται όταν το εξοπλισμένο όχημα κινείται σε δημόσιο δρόμο.

Είναι γνωστό ότι το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) έχει 2 άτομα αζώτου και ένα άτομο οξυγόνου (το βάρος του οξυγόνου αντιπροσωπεύει περίπου το 36% της συνολικής μάζας) όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7 Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) υπό κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες θερμοκρασίας (cycleworld.com/)

Όταν το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) συμπιέζεται, θερμαίνεται και όταν φτάσει περίπου στους $320^{\circ}C$ σπάει το μόριό του και απελευθερώνει το άτομο οξυγόνου του (Εικόνα 8).



Εικόνα 8 Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) υπό $320^{\circ}C$ (πηγή cycleworld.com/)

Αυτό παρέχει πλεόνασμα φρέσκου οξυγόνου στον κινητήρα, όπως απεικονίζεται σχηματικά στην Εικόνα 9.



Εικόνα 9 Το πλεόνασμα οξυγόνου δημιουργεί πρόσθετη ισχύ (πηγή cycleworld.com/)

Αλλά δεν είναι μόνο αυτό το άτομο οξυγόνου που δημιουργεί πρόσθετη ισχύ, αλλά και η ικανότητα αυτού του ατόμου οξυγόνου να καίει περισσότερη βενζίνη. Με την καύση περισσότερης βενζίνης, δημιουργείται περισσότερη πίεση και εδώ επιτυγχάνεται η πραγματική επιπλέον ισχύς.

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) υπό πίεση εγχέεται στους αγωγούς εισαγωγής. Στη διέλευσή του από τον θάλαμο καύσης αλλάζει από υγρή σε αέρια κατάσταση (με βρασμό). Αυτός ο βρασμός μειώνει τη θερμοκρασία του αζώτου κατά $72^{\circ}C$. Αυτή η ψύξη μειώνει τη θερμοκρασία των αγωγών εισόδου κατά περίπου $30 - 45^{\circ}C$. Όταν το αέριο διέρχεται από αυτούς τους αγωγούς, τα μόρια συστέλλονται, μειώνοντας τον όγκο του αερίου, γεγονός που καθιστά δυνατή την υπερφόρτιση του θαλάμου καύσης με αέριο (Εικόνα 10). Αυτό βοηθά στη δημιουργία πρόσθετης ισχύος λόγω της καύσης περισσότερης βενζίνης. Κατά κανόνα, για κάθε $6^{\circ}C$ λιγότερο στους αγωγούς, η ισχύς θα αυξηθεί κατά 1%. Σημαντικό ρόλο παίζει και το άζωτο που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια του χρόνου «συμπύεσης» του κινητήρα (Εικόνα 10). Το άζωτο λειτουργεί ως «συμπιεστής» που έχει τη λειτουργία να αυξάνει την πίεση στον κύλινδρο, οδηγώντας σε μια ελεγχόμενη διαδικασία καύσης.



Εικόνα 10 Το αέριο εισέρχεται στους αγωγούς, προκαλεί συστολή των μορίων και έπειτα απελευθερώνεται το Αζωτο (N) που λειτουργεί ως συμπιεστής. (Πηγή: cycleworld.com/)

2.2.2 Ως πρόσθετο στα τρόφιμα

Το N_2O χρησιμοποιείται επίσης ως συντηρητικό τροφίμων (E942, Κατηγορία E900-1550). Έχει αντιοξειδωτική, βακτηριοστατική και διογκωτική ικανότητα ως προωθητικό αέριο και αέριο συσκευασίας. Χρησιμοποιείται επίσης σε πίεση μέσα στις μεταλλικές συσκευασίες οι οποίες περιέχουν κρέμα σαντιγί (whipped cream), για πλήρωση συσκευασιών τσιπς και πρόχειρων γευμάτων (Εικόνα 11).



Εικόνα 11 Χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) ως πρόσθετο και προωθητικό τροφίμων (Πηγή: fruugo.gr/)

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) βοηθά την κρέμα που περιέχεται μέσα στο κάνιστρο, όταν βρεθεί στην ατμοσφαιρική πίεση, να "φουσκώσει" και να τετραπλασιαστεί ο όγκος

της σε σχέση με τον αρχικό όγκο που είχε μέσα στο κάνιστρο. Στην περίπτωση που γινόταν χρήση πεπιεσμένου αέρα αντί για Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O), ο όγκος της κρέμας θα αυξανόταν απλώς στο διπλάσιο του αρχικού όγκου και το λίπος της κρέμας θα αποκτούσε βαριά γεύση άρα ο χρόνος ζωής του προϊόντος θα μειωνόταν μέσα στο κάνιστρο.

Το μειονέκτημα του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) είναι, ότι η διογκωμένη υφή της κρέμας σαντιγί ρευστοποιείται αρκετά γρήγορα μετά την έξοδο του προϊόντος από το κάνιστρο, μέσα σε μισή ως μία ώρα και έχει μια υδαρή όψη. Γίνεται δηλαδή σχετικά γρήγορα ακατάλληλη για "γαρνίρισμα" προϊόντων ζαχαροπλαστικής. Για το λόγο αυτό, τα ζαχαροπλαστεία χρησιμοποιούν το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) σε μεταλλικές φύσιγγες οι οποίες περιέχουν περίπου 8g αερίου σε υγρή μορφή και προσαρτώνται σε ειδικά κάνιστρα, τα σιφόν, με τα οποία γίνεται πιο εύκολα η διανομή της κρέμας.

Με το πρόσχημα της ζαχαροπλαστικής χρήσης για νόμιμη πώληση, οι ανταλλακτικές φύσιγγες είναι πιθανό να διακινηθούν παράνομα στο εμπόριο για χρήστες υποξειδίου του αζώτου με σκοπό να το χρησιμοποιήσουν για διασκέδαση. Στην Ελλάδα είχε καταγγελθεί περίπτωση τέτοιας παράνομης χρήσης Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) σε κέντρο διασκέδασης το 2011.

2.2.3 Ψυχαγωγική χρήση

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) είναι όλο και πιο δημοφιλές μεταξύ των ψυχαγωγικών ναρκωτικών για τα ευφορικά του αποτελέσματα όπως ήδη αναφέρθηκε στην αρχή της εργασίας. Η καταχρηστική χρήση του αερίου κοινής χρήσης αναφέρεται ως «nagging» διότι εισπνέεται από αμπούλες (Εικόνα 12). Όταν χρησιμοποιείται καταχρηστικά για ψυχαγωγική χρήση (Εικόνα 13), μπορεί να έχει πολύ σοβαρές νευρολογικές συνέπειες στους καταναλωτές. Οι ατσάλινες αμπούλες δεν είναι επαναγεμιζόμενες και περιέχουν σχεδόν 10 ml Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) (Εικόνα 14).



Εικόνα 12 Γέμισμα μπαλονιού από μεγαλύτερη συσκευασία οικιακής χρήσης του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) (Πηγή: gasworld.com)

Το περιεχόμενο των μεγάλων συσκευασιών απελευθερώνεται κυρίως σε μπαλόνια χρησιμοποιώντας μεταλλικούς θραύστες. Τουλάχιστον αναφέρεται από τους ειδικούς ότι το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) που προορίζεται για ιατρική χρήση σε αμπούλες ή για οικιακή χρήση είναι κατά 99% καθαρό, ενώ εκείνο το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) που προορίζεται για τη χρήση του σε αγώνες αυτοκινήτων έχει συνήθως αναμιχθεί με τοξικό υδρόθειο γεγονός που κάνει επιβεβλημένη τη μη χρήση του και συνεπώς δεν πρέπει να καταναλωθεί. Πρόκειται για ένα οικονομικά προσιτό προϊόν, αφού οι 24 αμπούλες κοστίζουν 5-8 ευρώ.



Εικόνα 13 Ψυχαγωγική χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) (Πηγή: independent.co.uk)

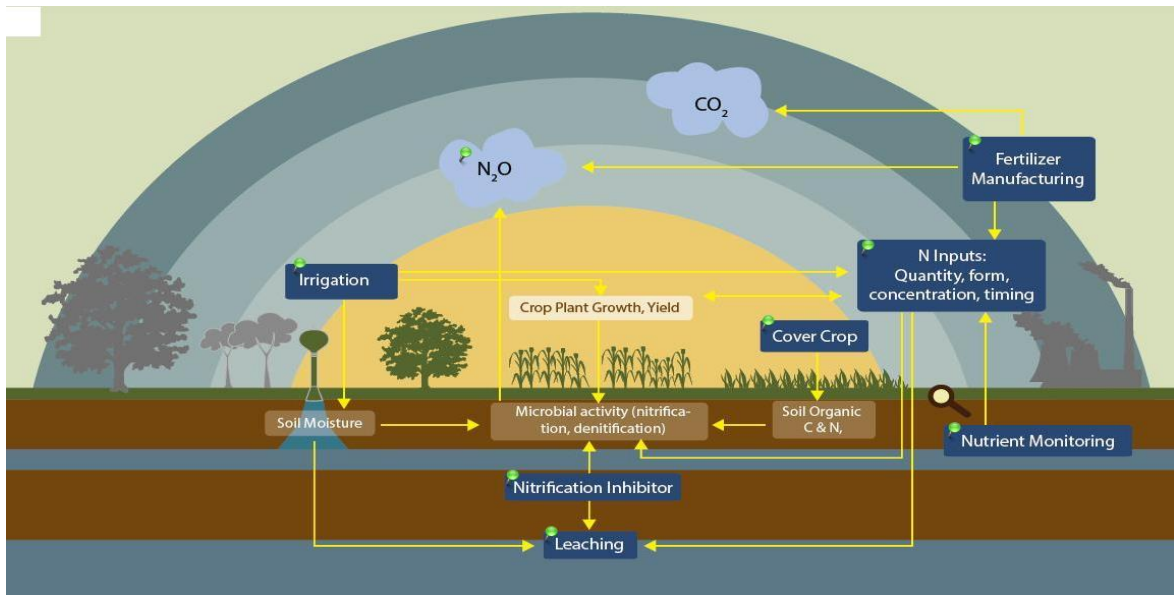
Η καταχρηστική και μαζική κατανάλωση οξειδίου του αζώτου μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές συνέπειες στην υγεία των χρηστών και έχει αυξημένο κίνδυνο για εξάρτηση. Μάλιστα έχει βρεθεί ότι το προϊόν αποτελεί κίνδυνο για τους επαγγελματίες που έχουν άμεση πρόσβαση σε αυτό, όπως για παράδειγμα οδοντίατροι, φοιτητές ιατρικής ή προσωπικό νοσοκομείων (Rosenberg et al., 2015; Blanton, 2006). Παρόλα αυτά, ορισμένοι υποστήριξαν ότι το αέριο είναι γνωστό από το 18ο αιώνα και αυτή η ένδειξη έχει σπάνια αναφερθεί (Gillman, 1992). Στην επιστημονική βιβλιογραφία, αρκετός αριθμός περιπτώσεων έχει παρουσιαστεί υποδηλώνοντας χαρακτηριστικά εθισμού που σχετίζονται με το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O), όπως η ψυχολογική εξάρτηση και ανάπτυξη ανοχής (σταδιακή αύξηση της κατανάλωσης του υποξειδίου του αζώτου για να επιτευχθεί το ίδιο αποτέλεσμα). Ωστόσο, οι ενδείξεις για την ψυχολογική εξάρτηση που προκαλεί η χρήση του είναι ανεπιβεβαίωτες, καθώς οι αιτίες του εθισμού από το αέριο δεν αναφέρονται από κέντρα θεραπείας απεξάρτησης.



Εικόνα 14 Μη επαναγεμιζόμενες ατσάλινες αμπούλες του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) για οικιακή χρήση (πηγή Amsterdam Nabben & Brink, 2015)

2.2.4 Γεωργική χρήση

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η γεωργική δραστηριότητα ευθύνεται για το 60% των εκπομπών Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) στην ατμόσφαιρα. Η χρήση του Αζώτου (N) σε λιπάσματα, υποβοηθά στο να παραχθεί Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O), διότι το λίπασμα αυξάνει το ποσοστό NH_3/NH_4^+ των νιτροποιητικών μικροβίων και Νιτρικών Ανιόντων (NO_3^-) των απονιτροποιητών όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 15.



Εικόνα 15 Σχηματική απεικόνιση δημιουργίας Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) από γεωργική χρήση (Πηγή: Barker et al., 2015)

Οι μηχανισμοί νιτροποίησης και απονιτροποίησης αποτελούν τη βάση του κύκλου του αζώτου. Πρόκειται για βιολογικά φαινόμενα που οδηγούν στο σχηματισμό νιτρικών αλάτων από την αμμωνία (νιτροποίηση) ή ατμοσφαιρικού αζώτου από νιτρικά (απονιτροποίηση) (Zhu, 2013).

2.2.4.1 Αμμωνίαση

Η αμμωνίαση είναι η παραγωγή αμμωνίας με αποσύνθεση αζωτούχων οργανικών υλικών (πρωτεΐνες, αμινοξέα, ουρία) με αμμωνοποίηση βακτηρίων ή με ενζυματική υδρόλυση. Ένα πρώτο στάδιο ενζυματικής αποσύνθεσης (πρωτεάσες, κ.λπ.) καθιστά δυνατή τη διάσπαση των πεπτιδικών δεσμών των πρωτεϊνών και τη διαίρεση τους σε αμινοξέα (Barker et al., 2015).

2.2.4.2 Αζωτοποίηση

Η νιτροποίηση οδηγεί στο σχηματισμό νιτρικών από την αμμωνία. Το πρώτο βήμα είναι η νίτρωση, δηλαδή η μετατροπή της αμμωνίας σε νιτρώδη από βακτήρια (nitrosomas κ.λπ.)

παρουσία οξυγόνου. Το δεύτερο βήμα είναι η νίτρωση, η μετατροπή του νιτρικού ιόντος σε νιτρικό ιόν από βακτήρια (nitrobacter κ.λπ.) παρουσία νερού. Αυτοί είναι αυτοτροφικοί μηχανισμοί, δηλαδή αυτές οι αντιδράσεις παρέχουν την απαραίτητη ενέργεια για την αφομοίωση του άνθρακα από τα βακτήρια (Akiyama et al., 2010).

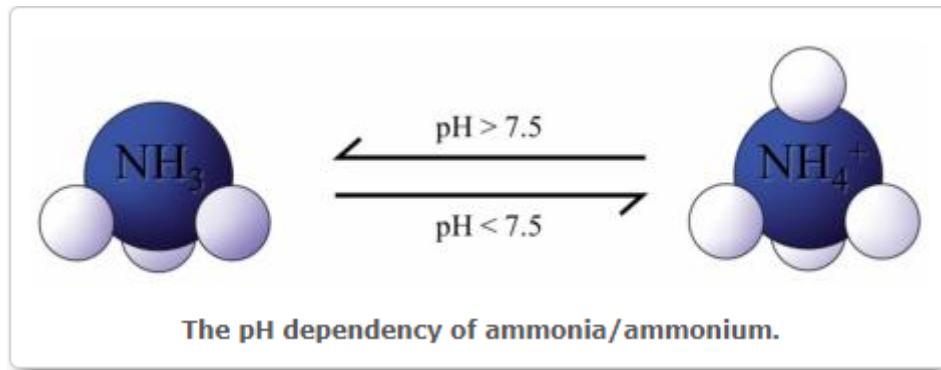
2.2.4.3 Απονιτροποίηση

Η απονιτροποίηση οδηγεί στο σχηματισμό αζώτου από νιτρικά. Πρόκειται για μια βιολογική διαδικασία αναερόβιας αναπνοής, δηλαδή για έναν μηχανισμό στον οποίο ο τελικός δέκτης ηλεκτρονίων δεν είναι διοξυγόνο, σε αντίθεση με την αερόβια αναπνοή, αλλά μια άλλη ανόργανη ουσία (Robertson & Groffman, 2015).

Τα απονιτροποιητικά βακτήρια ανάγουν το Νιτρικό ιόν (NO_3^-) διαδοχικά σε ιόν Νιτρώδους Άλατος (NO_2^-), στη συνέχεια σε Μονοξειδίο του Αζώτου (NO), σε Υποξειδίο του Αζώτου (N_2O) και τέλος σε Άζωτο (N_2).

Το φαινόμενο μπορεί να είναι ατελές, δηλαδή να σταματήσει η απονιτροποίηση σε διάφορα στάδια, από την οποία προκύπτει και η πιθανή παραγωγή του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O).

Η νιτροποίηση αναφέρεται στη μετατροπή του κλάσματος αμμωνίας/αμμωνίου ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$) σε νιτρικό (NO_3^-). Αυτή η μετατροπή πραγματοποιείται με νιτροποίηση μικροβίων. Αυτά τα μικρόβια καταναλώνουν το κλάσμα αμμωνίας/αμμωνίου και «αναπνέουν» οξυγόνο. Τα νιτροποιητικά μικρόβια δεν είναι σε θέση να μετατρέψουν το κλάσμα αμμωνίας/αμμωνίου σε νιτρικό άλας με απόδοση 100%, και μέρος του Αζώτου (N) χάνεται ως αέριο Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O). Αν και η αμμωνία και το αμμώνιο χρησιμοποιούνται συχνά εναλλακτικά, η κυρίαρχη μορφή θα υπαγορεύεται από το pH του εδάφους, με το αμμώνιο να προτιμάται σε όξινες συνθήκες ($\text{pH} < 7,5$) και η αμμωνία να προτιμάται σε αλκαλικές συνθήκες ($\text{pH} > 7,5$), όπως φαίνεται στο σχήμα της Εικόνα 16 προς τα δεξιά.



Εικόνα 16 Σχηματική απεικόνιση νιτροποίησης (Πηγή: ucanr.edu)

Η απονιτροποίηση μπορεί να θεωρηθεί ως η συμπληρωματική διαδικασία της νιτροποίησης. Η απονιτροποίηση αναφέρεται στη μετατροπή του νιτρικού ανιόντος (NO_3^-) σε αέριο άζωτο (N_2), το οποίο είναι αβλαβές. Η απονιτροποίηση είναι μια διαδικασία πολλαπλών σταδίων, αν και ανάλογα με τις συνθήκες τα μικρόβια δεν είναι πάντα σε θέση να ολοκληρώσουν όλα τα στάδια.

Ο όρος απονιτροποίηση αναφέρεται στην πλήρη διαδικασία μετατροπής από νιτρικό ανιόν (NO_3^-) σε αβλαβές αέριο Άζωτο (N_2). Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) σχηματίζεται κατά τη διάρκεια ενός ενδιάμεσου σταδίου απονιτροποίησης, όταν τα μικρόβια δεν είναι σε θέση να μετατρέψουν πλήρως το νιτρικό ανιόν (NO_3^-) σε άζωτο (N_2). Δεδομένου ότι το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) είναι αέριο, μπορεί να απελευθερωθεί από το έδαφος πριν έχει την ευκαιρία να μετατραπεί σε Άζωτο (N_2), ειδικά όταν παράγεται κοντά στην επιφάνεια.

Σε αντίθεση με τα νιτροποιητικά μικρόβια, τα απονιτροποιητικά μικρόβια «καταναλώνουν» ενώσεις που περιέχουν άνθρακα, που παράγονται από άλλα μικρόβια και «αναπνέουν» νιτρικά αντί για οξυγόνο. Το οξυγόνο (O_2) έχει την ιδιότητα να καταστρέφει τα ένζυμα που έχουν χρησιμοποιηθεί στην απονιτροποίηση, συνεπώς η διαδικασία περιορίζεται σημαντικά όταν υπάρχει διαθέσιμο οξυγόνο.

Οι εκπομπές Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) από τα γεωργικά εδάφη είναι ανησυχητικές, γιατί σημαίνουν μείωση του διαθέσιμου Αζώτου (N) στις καλλιέργειες, συμβάλλοντας στην υπερθέρμανση του πλανήτη και την καταστροφή της στιβάδας του όζοντος (Crutzen 1981). Οι εκπομπές μπορούν να προκύψουν με νιτροποίηση ή/και απονιτροποίηση εάν το Άζωτο (N) εφαρμόζεται ως κατιόν αμμωνίου (NH_4^+) σχηματισμός λιπάσματος, αλλά μόνο από απονιτροποίηση εάν εφαρμόζεται αποκλειστικά ως νιτρικό ανιόν (NO_3^-).

Τόσο η διαδικασία της νιτροποίησης όσο και η διαδικασία της απονιτροποίησης επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό, από την υπάρχουσα υγρασία, τη θερμοκρασία του εδάφους,

το pH και από το πόσες διαθέσιμες διαλυτές οργανικές ουσίες υπάρχουν (Bouwman 1990). Επίσης η νιτροποίηση μπορεί να ευνοηθεί από τις αερόβιες εδαφικές συνθήκες και το N (Άζωτο) μπορεί να χαθεί ως Μονοξείδιο του Αζώτου (NO) καθώς και ως Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O).

Η απονιτροποίηση ευνοείται από αναερόβιες συνθήκες, αλλά μπορεί να οδηγήσει σε ενισχυμένη μείωση του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) σε Άζωτο (N₂) και συνεπώς σε μειωμένες εκπομπές Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O).

Αν και το Μονοξείδιο του Αζώτου (NO) είναι ενδιάμεσο προϊόν στην ακολουθία αναγωγής που οδηγεί σε Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O), λίγα φαίνεται να εκπέμπονται, τουλάχιστον από εύκρατα εδάφη, σε συνθήκες που ευνοούν την απονιτροποίηση (Skiba et al. 1992).

Τόσο ο Eichner (1990) όσο και ο Bouwman (1994), βρήκαν δυσκολία στη σύγκριση διαφορετικών μελετών, καθώς οι απόψεις τους υποδηλώνουν ότι οι εκπομπές είναι υψηλότερες από τις άνυδρες αμμωνίας (AA) και οργανικών-ορυκτών Αζώτου (N) από άλλα λιπάσματα. Λίγες μελέτες έχουν κάνει ταυτόχρονες άμεσες συγκρίσεις ενός ευρέος φάσματος τύπου λιπασμάτων.

Έχει παρατηρηθεί ότι σημειώνονται υψηλές εκπομπές από λιβάδια και από τη γεωργία των υγρών εύκρατων κλιμάτων (Ryden 1983; Velthof & Oenema 1995). Ο σκοπός της επιτόπια δοκιμής της μελέτης των Clayton et al. 1996 ήταν να διερευνηθούν οι επιδράσεις διαφορετικών λιπασμάτων Αζώτου (N) στη ροή Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) από γεωργικά λιβάδια που κόβονται για διατήρηση, με σκοπό να υποδεικνύονται πρακτικές λιπασμάτων που είναι λιγότερο πιθανό να προκαλέσουν ουσιαστικές απώλειες του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) και για την αξιολόγηση της επίδρασης του εδάφους και των περιβαλλοντικών παραγόντων στη ροή.

2.3 Ιατρική χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O)

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) έχει αναισθητικές και αγχολυτικές δράσεις και βοηθά στην οδοντιατρική φροντίδα (Poorsattar, 2010) των παιδιών και των ενηλίκων. (Collins, 2015; Bar-Meir et al., 2006). Αν και λιγότερο αποτελεσματικό από την επισκληρίδιο αναλγησία, χρησιμοποιείται ως αναλγητικό κατά τον τοκετό, γιατί είναι ασφαλές τόσο για τη μητέρα όσο και για το έμβρυο και δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στην πρόοδο του

τοκετού (Rooks, 2011; Likis et al., 2014). Πρόσφατα χρησιμοποιήθηκε και στη θεραπεία καταθλιπτικών ασθενών (Nagele et al., 2015).

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) χρησιμοποιείται και ως αναισθητικό αέριο. Όπως κάθε αναισθητικό αέριο έτσι και το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) απαιτεί καλό αερισμό του χώρου χρήσης. Διατηρεί και ενεργοποιεί την καύση και μπορεί να προκαλέσει φλεγμονή σε λιπαρές ουσίες και οργανικά στοιχεία.

Η χορήγηση οξειδίου του αζώτου μπορεί να αυξήσει την πίεση στην περιχειρίδα των σωλήνων διασωλήνωσης της τραχείας. Όταν εισάγεται Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) στο κύκλωμα εισπνεόμενου αερίου, το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) αυξάνει τη συγκέντρωση αλογονωμένων αναισθητικών (δεύτερο φαινόμενο αερίου) και διευκολύνει την πρόκληση αναισθησίας.

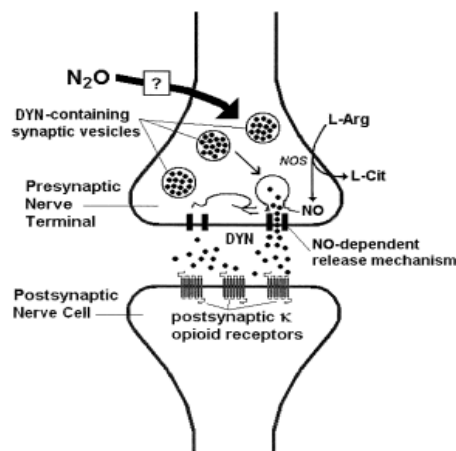
Η προσθήκη Οξειδίου του Αζώτου στο κύκλωμα μειώνει τη ροή του ατμού αλογόνου που παρέχεται από τον ατμοποιητή. Αντίθετα, η διακοπή του υποξειδίου του αζώτου θα αυξήσει τη συγκέντρωση του παραδιδόμενου αλογόνου αναισθητικού και επομένως συνιστάται η διακοπή του αναισθητικού πριν από το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O). Μέσα σε λίγα λεπτά από τη διακοπή του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O), υπάρχει διάχυτη υποξαιμία. Το κλάσμα του εισπνεόμενου οξυγόνου (Fraction of Inspired Oxygen FIO_2) που εισπνέει ο ασθενής θα πρέπει επομένως να αυξηθεί κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Εάν εμφανιστεί απροσδόκητη κυάνωση κατά την αναισθησία με συσκευή που παρέχεται με οξείδιο του αζώτου και οξυγόνο, είναι επιτακτική ανάγκη να σταματήσει πρώτα η χορήγηση του μονοξειδίου του αζώτου.

2.3.1 Αναλγητική δράση

Οι μικρές συγκεντρώσεις του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) παράγουν μόνο αγγολυτικά και αναλγητικά αποτελέσματα χωρίς να χάνονται οι αισθήσεις (Dundee & Moore, 1960). Επίσης η αναλγητική του ιδιότητα έχει μακρύ ιστορικό στη μαιευτική για να ανακουφίσει τον πόνο του τοκετού (Rosen, 2002). Επίσης χρησιμοποιείται για αυτοχορηγούμενη αναλγησία σε ασθενείς με καρκίνο (Parlow, 2005), προληπτικές αναλγησίες (Katz, 1995) και για την ανακούφιση του πόνου και της δυσφορίας ιατρικών διαδικασιών, συμπεριλαμβανομένης της ενδοαρθρικής έγχυσης φαρμάκου (Cleary et al., 2002), για τις περιφερειακές ενδοφλέβιες σωληνώσεις (Gerhardt, 2001), για τη σιγμοειδοσκόπηση (Harding & Gibson, 2000), την κολονοσκόπηση (Forbes & Collins, 2000), τις

οφθαλμολογικές επεμβάσεις (Cook et al., 2002) και διαδικασίες βιοψίας (Masood, 2002). Στην Ευρώπη, το Entonox (BOC Group), ένα μίγμα 50% Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) και 50% Οξυγόνου (O_2), χρησιμοποιείται ευρέως στην επείγουσα ιατρική περίθαλψη ασθενών σε σκληρές ατυχήματος και κατά τη μεταφορά με ασθενοφόρο (Baskett, 1970; Annequin D, 1995).

Στην Εικόνα 17, απεικονίζεται ο μηχανισμός της επαγόμενης από το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) αναλγησίας. Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) φαίνεται να βοηθά στην νευρωνική απελευθέρωση στο ενδογενές οπιοειδές πεπτίδιο ή τις δυνορφίνες (DYNs). Οι μοριακές πτυχές που μπορούν να εξηγήσουν την ενεργοποίηση της διαδικασίας από το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) είναι ακόμη άγνωστες. Το τερματικό του προσυναπτικού νεύρου καταλαμβάνει την L-αργινίνη (L-Arg), η οποία μετατρέπεται από το ένζυμο συνθάση του μονοξειδίου του αζώτου (NOS) σε L κιτρουλίνη (L-Cit) και μονοξείδιο του αζώτου (NO).



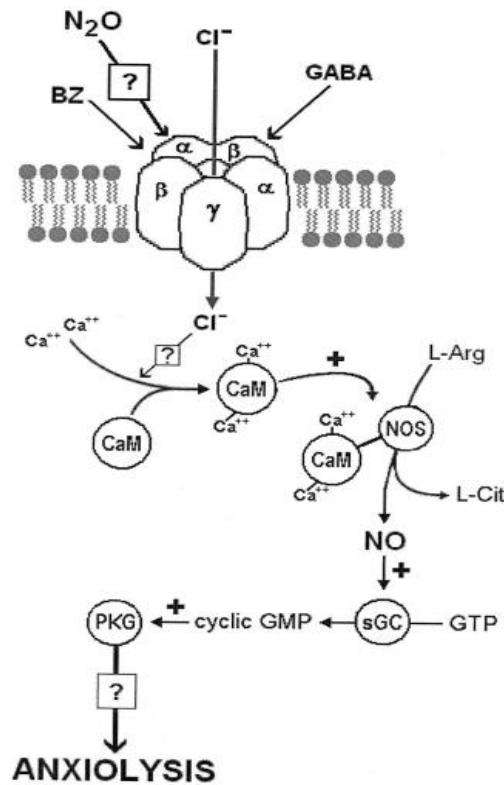
Εικόνα 17 Ο μηχανισμός της αναλγησίας (Πηγή: Emmanouil & Quock, 2007)

2.3.2 Αγγολυτική δράση

Οι μικρές συγκεντρώσεις του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) χρησιμοποιούνται στην οδοντιατρική για να παράξουν μέτρια καταστολή στην οδοντιατρική χειρουργική επέμβαση σε αγχώδεις ασθενείς (Jackson & Johnson, 2002). Η ελάχιστη και μέτρια καταστολή (ή η συνειδητή καταστολή) επιτυγχάνεται από τη χορήγηση παραγόντων που προκαλούν αλλοιώσεις στο επίπεδο συνείδησης, στο γνωστικό και στον κινητικό

συντονισμό καθώς και στον περιορισμό του άγχους. Δεν ορίζεται από συγκεκριμένη δόση αλλά αντ' αυτού η δόση ορίζεται από τον ασθενή ανάλογα με την απόκρισή του, διότι ο ασθενής πρέπει να διατηρήσει την ικανότητα ανταπόκρισης σε λεκτικές εντολές, είτε μόνες τους είτε συνοδευόμενες από ελαφριά απτική διέγερση (American Academy of Pediatric Dentistry, 2004).

Ο μηχανισμός της αγχολύσεως (Εικόνα 18) που προκαλείται από το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) πιστεύεται ότι προκαλεί ενεργοποίηση της δέσμευσης της Βενζοδιαζεπίνης (BZ) καθώς τα αποτελέσματά της μπλοκάρονται από τη Φλουμαζενίλη.



Εικόνα 18 Ο μηχανισμός της αγχολύσεως (Πηγή: Emmanouil & Quock, 2007)

Αυτή η δράση διευκολύνει την ενεργοποίηση του Αμινοβουτυρικού Οξέος (GABA) και τη θέση πρόσδεσής του με αποτέλεσμα την εισροή ιόντων χλωρίου. Η αυξημένη συγκέντρωση ιόντων χλωρίου στον νευρώνα μπορεί να προκαλέσει ενεργοποίηση της Καλμοδουλίνης (CaM), η οποία στη συνέχεια ενεργοποιεί το ένζυμο συνθάση του Μονοξειδίου του Αζώτου (NOS). Το NOS μετατρέπει το αμινοξύ L-αργινίνη (L-Arg) σε L

κιτρουλίνη (L-Cit) και Μονοξειδίου του Αζώτου (NO), το οποίο διεγείρει το διαλυτό ένζυμο γουανυλυλοκυκλάση που παράγει τον δεύτερο αγγελιοφόρο κυκλική μονοφωσφορική γκουανοσίνη (κυκλική GMP). Η κυκλική GMP, με τη σειρά της, διεγείρει μια κυκλική εξαρτώμενη από GMP πρωτεϊνική κινάση (PKG), που οδηγεί στην αγγολυτική δράση του φαρμάκου.

Από την Αμερικανική Ακαδημία Παιδοodontιατρικής αναγνωρίζεται ότι η εισπνοή του μονοξειδίου του αζώτου/οξυγόνου είναι ασφαλής και αποτελεσματική τεχνική ώστε να μειωθεί το άγχος και να επιτευχθεί η αναλγησία ή να ενισχυθεί η αποτελεσματική επικοινωνία ανάμεσα στον ασθενή και στο γιατρό (American Academy of Pediatric Dentistry, 2004).

2.3.3 Αναισθητική δράση

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) αποτελεί διάσημο φάρμακο στο ιατρικό ιστορικό της χειρουργικής αναισθησίας, καθώς ήταν το πρώτο που χρησιμοποιήθηκε για αυτόν το σκοπό. Παρότι η αναισθητική του ισχύς είναι περιορισμένη, το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) έχει ευρέως διαδοθεί για τη χρήση του γενικού αναισθητικού (Εικόνες 19-20). Με ελάχιστη κυψελιδική συγκέντρωση 104% στον άνθρωπο, το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) από μόνο του, απαιτεί υψηλό ποσοστό όγκου και υπερβαρικές καταστάσεις για την επίτευξη αναισθησίας στο 50% των ατόμων (Hornbein et al. 1982).

Κατά την επαγωγή γενικής αναισθησίας, όταν ένας μεγάλος όγκος αερίου (π.χ. οξείδιο του αζώτου) λαμβάνεται από τις κυψελίδες στο πνευμονικό τριχοειδές αίμα, η συγκέντρωση των αερίων που παραμένουν στις κυψελίδες αυξάνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα φαινόμενα γνωστά ως «φαινόμενο συγκέντρωσης» και φαινόμενο αερίου.



Εικόνα 19 Η χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) ως αναισθητικό (Πηγή: British Medical Journal, 1985)

Τα γενικά αναισθητικά όπως το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) έχουν υποτεθεί εδώ και καιρό ότι δρουν με μη ειδικό τρόπο στις νευρικές μεμβράνες, μεταβάλλουν τη ρευστότητα της μεμβράνης ή/και επηρεάζουν ιοντικά κανάλια.

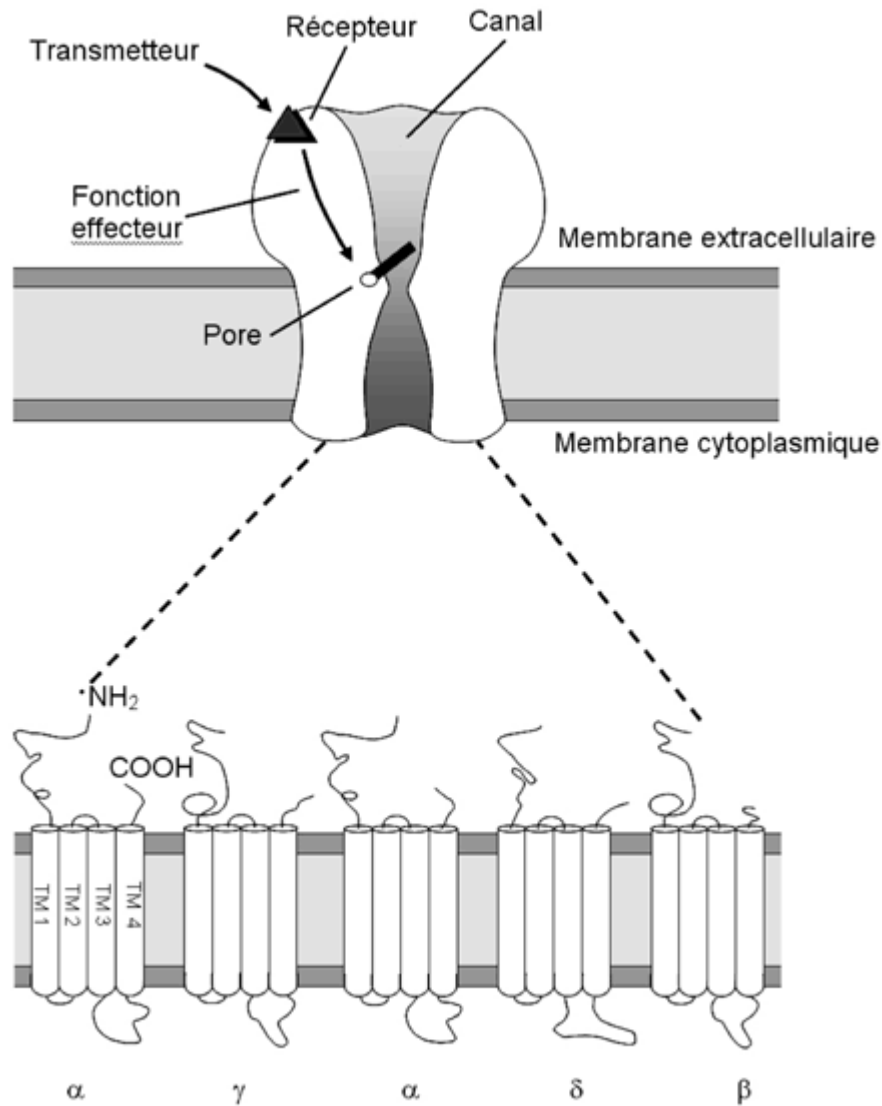
Οι διάλυοι ιόντων που είναι συζευγμένοι με υποδοχείς, είναι οι προτιμώμενοι στόχοι των αναισθητικών παραγόντων σε κλινικές συγκεντρώσεις (μικρομοριακή έως χιλιοστογραμμομοριακή). Οι υποδοχείς αμινοβουτυρικού οξέος τύπου A (GABAA), είναι οι καλύτεροι υποψήφιοι λόγω της πανταχού κατανομής τους στο ΚΝΣ (Κεντρικό Νευρικό Σύστημα) των βασικών φυσιολογικών ρόλων τους και της ευαισθησίας τους σε πολλούς παράγοντες σε κλινικές συγκεντρώσεις. Άλλα κανάλια υποδοχέων, όπως οι υποδοχείς γλουταμικού, γλυκίνης, σεροτονίνης-3 (5-HT₃) ή οι υποδοχείς νικοτινικής ακετυλοχολίνης (nACh), αποτελούν στόχους για τους αναισθητικούς παράγοντες.

Η καταστολή ουσιαστικά περιλαμβάνει την ενεργοποίηση υποδοχέων GABAA, που αποτελούνται από β2 υπομονάδες, ενώ η ύπνωση περιλαμβάνει πιο συγκεκριμένα τις β3 υπομονάδες αυτών των υποδοχέων (Jevtovic-Todorovic et al., 1998).

Για τους πτητικούς παράγοντες όπως και για τα ενδοφλέβια αναισθητικά, η καταστολή και η ύπνωση συνδέονται κυρίως με την κατάθλιψη των νευρώνων του φλοιού.

Η ακινητοποιητική δράση των πτητικών παραγόντων εξαρτάται κυρίως από την κατάθλιψη των νευρώνων της σπονδυλικής στήλης, ενώ τα ενδοφλέβια αναισθητικά προκαλούν ακινησία μέσω της σπονδυλικής και υπερνωτιαίας δράσης.

Η αμνησία φαίνεται να προκαλείται από μια δράση στους υποδοχείς GABAA στον ιππόκαμπο, οι οποίοι αποτελούνται από μια υπομονάδα $\alpha 5$ (Emmanouil & Quock, 2006).



Εικόνα 20 Η χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) ως αναισθητικό στην οδοντιατρική (πηγή CenterforDiseaseControl.gov)

Για την προποφόλη, έχει περιγραφεί μεταβλητότητα μεταξύ των ατόμων που συνδέεται με το φύλο, με μεγαλύτερη ευαισθησία στους άνδρες σε σύγκριση με τις γυναίκες.

Η φαρμακογενετική των αναισθητικών παραγόντων εξακολουθεί να είναι εμβρυϊκή, αλλά αποτελεί μια ενδιαφέρουσα οδό για τη βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας και την πρόληψη της τοξικότητας των αναισθητικών παραγόντων.

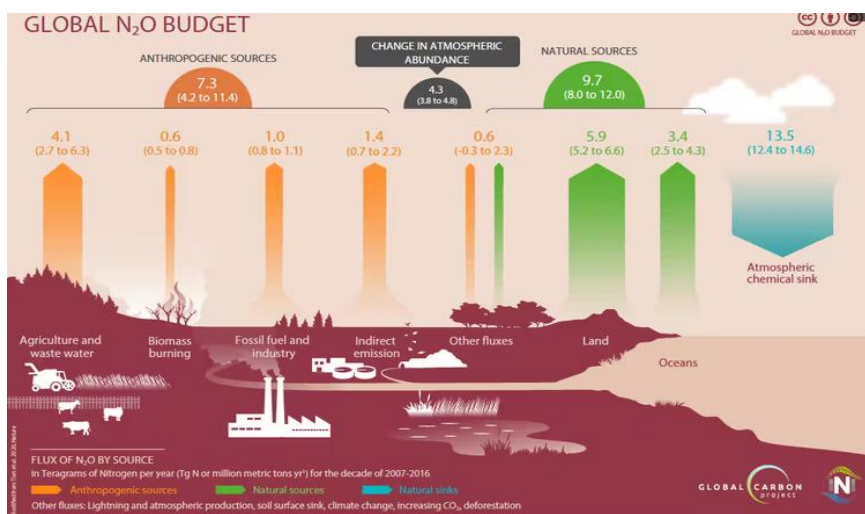
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΥΠΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (N₂O) ΣΤΟ ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

3.1 Επιπτώσεις του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) στο φυσικό περιβάλλον

Οι έρευνες έχουν δείξει ότι το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) που προέρχεται από τη γεωργία και άλλες πηγές της βιομηχανίας, συσσωρεύεται με πολύ γρήγορο ρυθμό στη ατμόσφαιρα και μάλιστα τόσο γρήγορο, που τον τρέχοντα αιώνα η θερμοκρασία της Γης έχει αυξηθεί κατά 3°C.

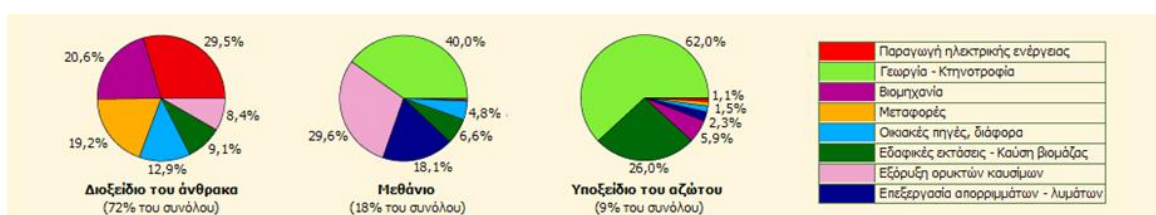
Το Αζωτο (N), είναι ένα απαραίτητο θρεπτικό συστατικό για την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Βρίσκεται σε πρωτεΐνες, συμπεριλαμβανομένων των ενζύμων, και στα νουκλεϊκά οξέα, συμπεριλαμβανομένου του DNA. Επιπλέον, είναι συστατικό στοιχείο στη χλωροφύλλη και επέχει στη φωτοσύνθεση ζωτικό ρόλο. Τα φυτά τρέφονται κυρίως με άζωτο το οποίο υπάρχει στο έδαφος. Μόνο μερικά από αυτά, κυρίως τα όσπρια, έχουν την ικανότητα να σταθεροποιούν το άζωτο στον αέρα μέσω της σύνδεσης με βακτήρια. Το άζωτο μπορεί να υπάρχει στο έδαφος σε οργανική μορφή, με την κυρίαρχη μορφή του (υπολείμματα φυτών ή ζώων σε αποσύνθεση, ζώα του εδάφους, μικροοργανισμοί κ.λπ.) ή σε ανόργανη μορφή (νιτρικό NO₃, NH₄⁺ αμμώνιο, NH₃ αμμωνία, ουρία CO(NH₂)), όπως παρατηρείται στην Εικόνα 21.



Εικόνα 21 Οι προκλήσεις της αγρονομικής διαχείρισης του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) (πηγή Tian et al., 2020)

Η βιολογική δραστηριότητα στο έδαφος μετατρέπει το άζωτο από τη μια μορφή στην άλλη. Αυτές οι μορφές αζώτου συνδέονται μεταξύ τους σε αυτό που ονομάζεται «κύκλος αζώτου». Το άζωτο ως λίπασμα αφομοιώνεται κυρίως από τα φυτά και τις καλλιέργειες που αναπτύσσονται πιο γρήγορα, αλλά απελευθερώνονται τα νιτρικά αέρια του θερμοκηπίου.

Κύρια αιτία των αυξανόμενων συγκεντρώσεων των επικίνδυνων αερίων είναι η γεωργία (Εικόνα 22) και είναι πολύ πιθανό να παραμείνουν έτσι, εάν δε ληφθούν άμεσα μέτρα. Οι εκπομπές Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) από τη βιομηχανία και τη γεωργία, μπορούν με στοχευμένες δράσεις να μειωθούν, ώστε να μπορέσει να υπάρξει μια σταθεροποίηση του κλίματος της Γης.



Εικόνα 22 Η συμβολή σε επικίνδυνα αέρια από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Πηγή: chemicals/chem.org)

Σε επίπεδο αγροτεμαχίου, το άζωτο που περιέχεται στις καλλιέργειες, εξάγεται γενικά εκτός αγρού ως συγκομισμένα φυτικά προϊόντα ή μέσω ζώων (μέσω βοσκής) για πώληση, ανακύκλωση ή επεξεργασία. Απώλειες μπορεί επίσης να προκύψουν στον αέρα και το νερό. Αυτές οι εξαγωγές και οι απώλειες αζώτου αντισταθμίζονται κυρίως από τις προσθήκες λιπασμάτων στο χωράφι. Αυτά τα λιπάσματα μπορούν να παραχθούν στο αγρόκτημα (οργανικά λιπάσματα) ή να αγοραστούν (ορυκτά και οργανικά λιπάσματα). Στην κλίμακα ενός αγροκτήματος, εκτός από την αγορά λιπασμάτων, η συμβιωτική δέσμευση αζώτου από τα όσπρια, οι ζωοτροφές που δεν παράγονται στο αγρόκτημα και η ατμοσφαιρική εναπόθεση, συμβάλλουν επίσης στο άζωτο στο σύστημα (Badr & Probert, 1992).

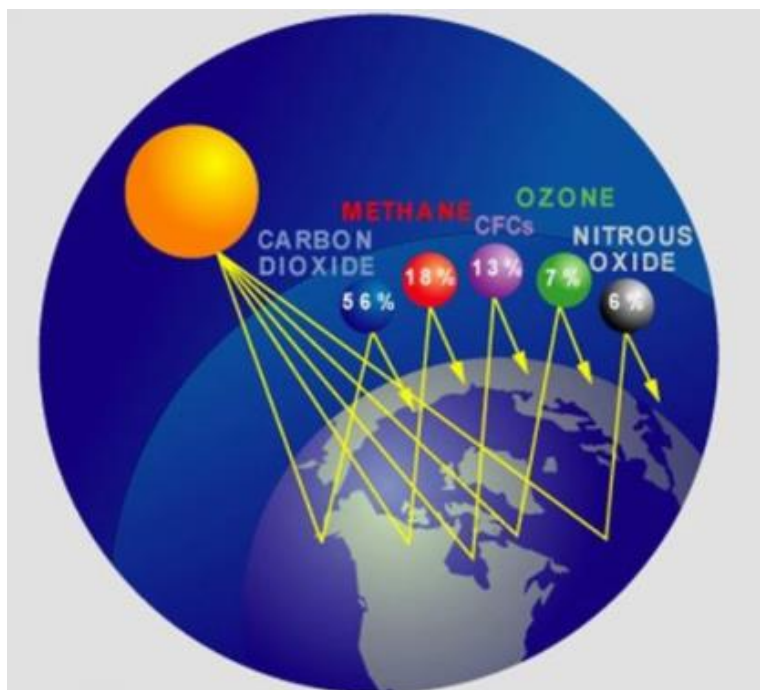
Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η γεωργία να προκαλεί σχεδόν το 70% των παγκόσμιων εκπομπών Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O). Μέσα από τις μικροβιακές διεργασίες των εδαφών, δημιουργούνται οι εκπομπές των επικίνδυνων νιτρικών αερίων.

Παρόλα αυτά το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) παίζει σημαντικό ρόλο και αποτελεί σημαντικό συστατικό στην ατμόσφαιρα:

1. στις χημικές διεργασίες στη στρατόσφαιρα,
2. στο ποσοστό της ακτινοβολίας που εισέρχεται στη Γη και
3. στον παγκόσμιας κλίμακας κύκλο του αζώτου.

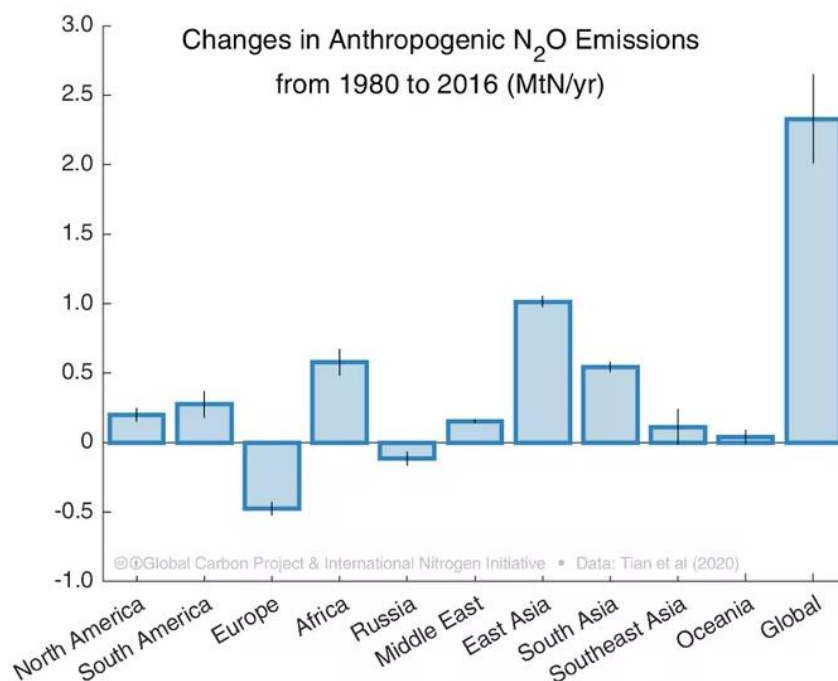
Από την άλλη, το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) προκαλεί σημαντική καταλυτική καταστροφή στο στρατοσφαιρικό όζον. Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) της ατμόσφαιρας απορροφά την υπέρυθη ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, άρα αποτελεί αέριο του θερμοκηπίου και μπορεί να προκαλέσει επιπτώσεις στο κλίμα (Εικόνα 23).

Η συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού Υποξειδίου του Αζώτου αυξήθηκε με την ολοένα αυξανόμενη εκβιομηχάνιση, το οποίο παράγεται στην ατμόσφαιρα κυρίως από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και την καύση ορυκτών καυσίμων (Εικόνα 24) (Badr & Probert, 1992).



Εικόνα 10 Σχηματική απεικόνιση της συνεισφοράς των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Πηγή: sustainable-environmanagement.com)

Παρότι οι διεργασίες παραγωγής του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) είναι γνωστές, το ισοζύγιο ανταλλαγής Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) ανάμεσα στα χερσαία οικοσυστήματα και στην ατμόσφαιρα είναι δύσκολο να εκτιμηθεί.



Εικόνα 24 Συνεισφορά των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων σε εκπομπές του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) από το 1980 ως το 2016 παγκοσμίως (Πηγή: Tian et al., 2020)

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) της ατμόσφαιρας απορροφάται από τις υδάτινες και εδαφικές επιφάνειες, αλλά κυρίως καταστρέφεται στη στρατόσφαιρα, διαμέσου της φωτόλυσης και της αντίδρασης με το οξυγόνο. Από τα 22 εκατομμύρια τόνους του υποξειδίου του αζώτου τα οποία παράγονται κάθε χρόνο, τα 5,5 εκατομμύρια τόνοι συσσωρεύονται ετησίως στην ατμόσφαιρα. Η συγκέντρωση του 1990 είναι περίπου 310 ppbv, δηλαδή περίπου 8% πάνω από το προβιομηχανικό επίπεδο και αυξάνεται κατά περίπου 0,2-0,3% ετησίως. Οι ετήσιοι ρυθμοί αύξησης τείνουν να είναι μεγαλύτεροι στο βόρειο ημισφαίριο (δηλαδή 0,25-0,7%) από ότι στο νότιο ημισφαίριο (δηλαδή 0,1-0,2%) (Nakazawa, T. 2020).

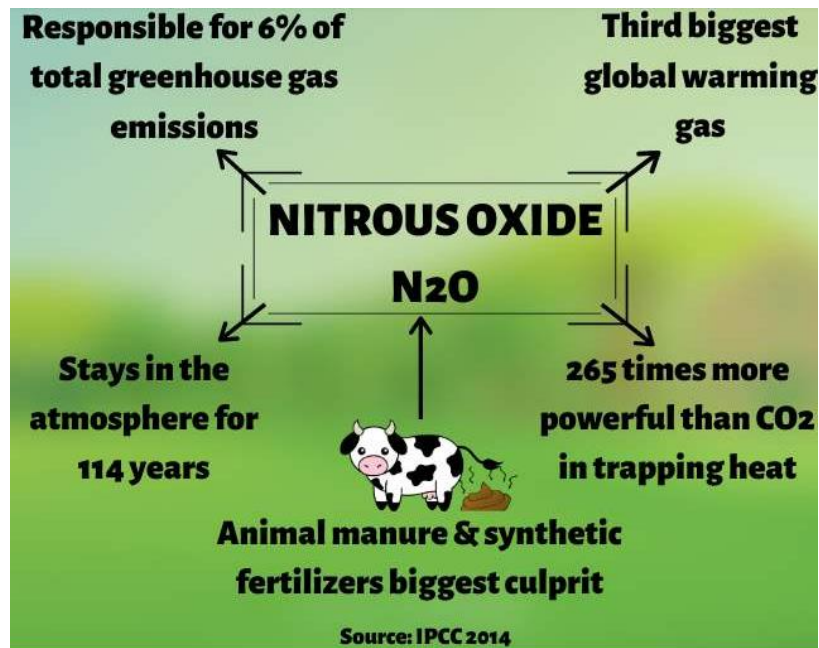
Η αυξανόμενη συγκέντρωση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) στην ατμόσφαιρα, που λαμβάνεται, σε συνδυασμό με την εκτιμώμενη διάρκεια ζωής του (περίπου 150 ετών), υποδηλώνει ότι η ισχύς της παγκόσμιας πηγής είναι ~ 30% μεγαλύτερη από την ισχύ της καταβόθρας. Επομένως, ακόμα κι αν ο ρυθμός εκπομπής του Υποξειδίου του Αζώτου

(N₂O) εξακολουθούσε να είναι σταθερός, η ατμοσφαιρική αφθονία του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) θα αυξηθεί τελικά σε περίπου 400 ppbv.

Υποθέτοντας μια ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής 170 ετών για το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O), οι Prinn et al. ερμήνευσαν τον τρέχοντα ρυθμό αύξησης της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσής του ο οποίος οφείλεται στο γεγονός ότι ο παγκόσμιος ετήσιος ρυθμός εκπομπών Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) είναι περίπου 40% μεγαλύτερος από την ετήσια χωρητικότητα της στρατοσφαιρικής απορρόφησης και υπάρχει κατά προσέγγιση 50% αύξηση στις εκπομπές Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) σε σχέση με την προβιομηχανική εποχή. Για τη σταθεροποίηση της συγκέντρωσης του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) στα σημερινά επίπεδα που συναντάται στην ατμόσφαιρα, είναι αναγκαίο να μειωθεί κατά 70-80% η πρόσθετη ανθρωπογενής ροή, η οποία έχει παγιωθεί από τη Βιομηχανική Επανάσταση (Rubino, 2019).

Το ένα τρίτο του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) στην ατμόσφαιρα προέρχεται από τη διασπορά αγροτικών αποβλήτων και αζωτούχων λιπασμάτων. Μια άλλη μεγάλη συμβολή είναι η σύνθεση του αδιπικού οξέος (CH₂)₄(COOH)₂, ενός πρόδρομου πολλών πολυμερών νάιλον και το οποίο απελευθερώνει ένα Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) για κάθε μόριο αδιπικού οξέος (CH₂)₄(COOH)₂.

Στην Ευρώπη, η γεωργία συμβάλλει στο 86% των εκπομπών Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) κυρίως από την επεξεργασία προϊόντων αζώτου (λιπάσματα, κοπριά, πολτός, υπολείμματα καλλιεργειών) που διασπείρονται σε γεωργική γη (Εικόνα 25). Ένα μικρό μέρος των εκπομπών προέρχεται από την οδική ρύπανση, ιδίως από οχήματα εξοπλισμένα με καταλυτικούς μετατροπείς και ορισμένες βιομηχανικές διεργασίες (Holland et al., 1999; Parmon et al., 2005).

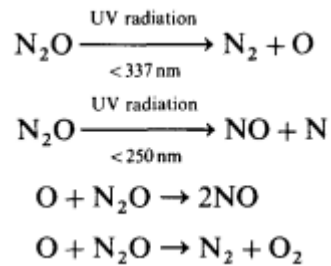


Εικόνα 25 Σημαντική ποσότητα του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) προέρχεται από την κοπριά των ζώων (Πηγή: IPCC 2014)

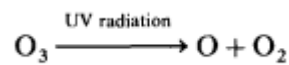
Το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) είναι ένα μόνιμο στοιχείο ρυπαντή στον αέρα. Με μέση ετήσια συγκέντρωση 3×10^{-5} vol%, οι πρόσφατες μελέτες έχουν αποκαλύψει μια ανοδική τάση στην ατμοσφαιρική συγκέντρωση του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) (Golubyatnikov et al., 2013). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μέση ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) είναι ~180 χρόνια, που οδηγεί σε αύξηση της ρύπανσης του ατμοσφαιρικού αέρα, ενώ δεν υπάρχουν μονοπάτια για το φυσικό του μετασχηματισμό εκτός από φωτοχημικές αντιδράσεις που εμφανίζονται στη στρατόσφαιρα.

Η κύρια ατμοσφαιρική καταβόθρα για το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) είναι η φωτοχημική αποσύνθεση της στρατόσφαιρας. Από τα καταμετρημένα κατακόρυφα προφίλ του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) στη στρατόσφαιρα, αποδεικνύεται η ισχύς της ως καταβόθρας.

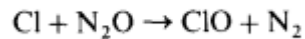
Λόγω της μεγάλης ατμοσφαιρικής ζωής του, το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) επιβιώνει στο ανοδικό του ταξίδι στη στρατόσφαιρα μέσω των κινήσεων μεγάλης κλίμακας (κυρίως στις τροπικές περιοχές). Η φωτόλυση και η αντίδραση από τα ενεργοποιημένα άτομα οξυγόνου, καταστρέφουν το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) και η διαδικασία περιγράφεται ως εξής από τις αντιδράσεις:



Τα άτομα οξυγόνου που εμπλέκονται στις δύο τελευταίες αντιδράσεις παράγονται από την υπεριώδη φωτόλυση του στρατοσφαιρικού όζοντος, δηλαδή:

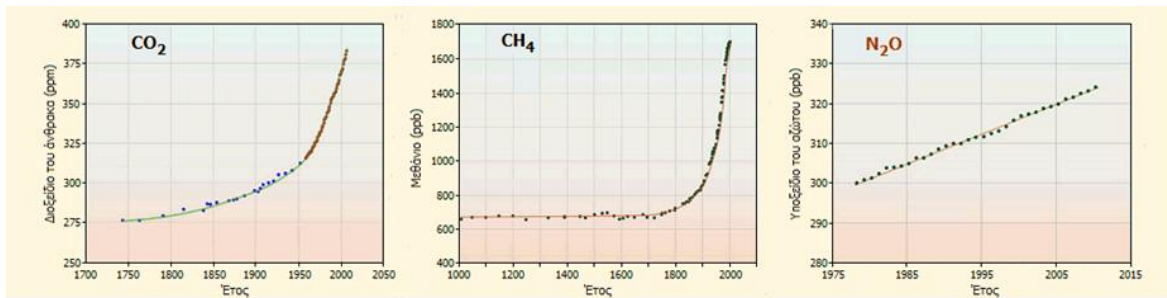


Το μεγαλύτερο μέρος του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) αποσυντίθεται μέσω των αντιδράσεων των δύο πρώτων αντιδράσεων (Cox et al, 1986). Μάλιστα υπολογίστηκε ότι οι παραπάνω αντιδράσεις συνεισφέρουν ένα ποσοστό 20% στο συνολικό ποσοστό απώλειας Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) (Johnston et al., 1989) και ότι περίπου το 30% της φωτοδιάσπασης Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) συμβαίνει σε μήκη κύματος < 200 nm. Πολύ πιθανή θεωρείται η παρακάτω μη διαπιστωμένη αντίδραση με την οποία υπάρχει περίπτωση να αφαιρεθεί το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) από τη στρατόσφαιρα.



3.2 Συμβολή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O), είναι ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου (Ravishankara A.R, 2009). Το περιεχόμενό του έχει αυξηθεί στον αέρα τουλάχιστον από τα μέσα του 18ου αιώνα, με επιτάχυνση στις αρχές του 20ού αιώνα και ισχυρή επιτάχυνση από τη δεκαετία του 1970 (Εικόνα 26) (EEA, 2019).



Εικόνα 26 Ο τρόπος αύξησης των τριών επικίνδυνων αερίων του θερμοκηπίου
(Πηγή: ghgonline.org)

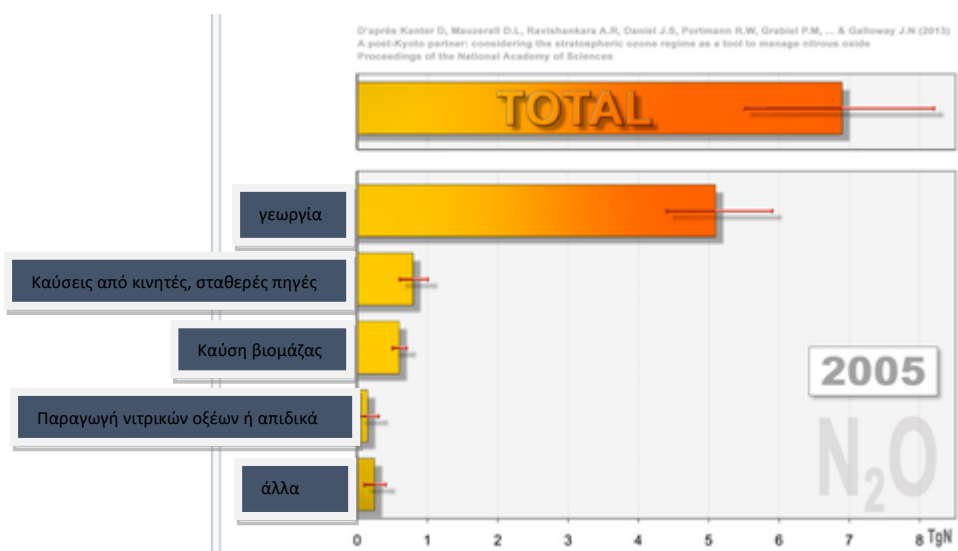
Το 70 με 90% από την επίγεια ακτινοβολία που εκπέμπουν η Γη και τα σύννεφα, διαφεύγουν στο διάστημα μέσω του ατμοσφαιρικού παραθύρου (δηλαδή στη φασματική περιοχή 7-13 μm). Εάν υπάρχει σημαντική αύξηση στην ατμοσφαιρική συγκέντρωση ενός αερίου με ισχυρά χαρακτηριστικά απορρόφησης σε αυτή τη φασματική περιοχή, αυτό θα τείνει να προκαλέσει θέρμανση της επιφάνειας της Γης από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) έχει τρεις ζώνες απορρόφησης υπέρυθρης ακτινοβολίας. Οι Ramanathan et al. ανέφεραν ότι επίκεινται βελτιώσεις στην ακρίβεια των διαθέσιμων δεδομένων.

Η παγίδευση της θερμικής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος λόγω της παρουσίας του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) στην τροπόσφαιρα είναι ανάλογη με την τετραγωνική ρίζα της ατμοσφαιρικής της συγκέντρωσης. Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O), του οποίου οι ισχυρότερες ζώνες απορρόφησης βρίσκονται στην άκρη μικρού μήκους κύματος του ατμοσφαιρικού παραθύρου, χάνει περίπου το ήμισυ της παγιδευμένης ακτινοβολίας του λόγω της επικάλυψης μεταξύ των ζωνών του και εκείνων των υδρατμών και του διοξειδίου του άνθρακα. Ο Donnor και ο Ramanathan χρησιμοποίησαν μια τροποποιημένη εκδοχή του μοντέλου διδιάστατης ακτινοβολίας των Ramanathan και Dickinson και προέβλεψαν τα αποτελέσματα της διατάραξης της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) στη σχετική ενέργεια εισόδου στο σύστημα της τροπόσφαιρας της Γης. Η αφαίρεση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) από την ατμόσφαιρα δροσίζει το σύστημα γης-τροπόσφαιρας με ρυθμό μεταξύ 0.9 και 1.6 W m^{-2} , με το ισχυρότερο αποτέλεσμα να εμφανίζεται σε χαμηλά γεωγραφικά πλάτη. Οι πιο έντονες γεωγραφικές διακυμάνσεις ακολουθούν κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Ο ετήσιος μέσος ρυθμός ακτινοβολίας θέρμανσης (δηλαδή μεταξύ 0,4 και 0,8 W m^{-2} , και μέση ημισφαιρική τιμή 0,65 Wm^{-2}), που προκαλείται από τον διπλασιασμό της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης Υποξειδίου του

Αζώτου (N_2O), είναι μικρότερος από αυτόν για την πλήρη απομάκρυνση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O).

Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος - IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη στα εκατό χρόνια είναι ίσο με 298, δηλαδή συμβάλλει 298 φορές περισσότερο στην υπερθέρμανση του πλανήτη από ότι η ίδια η μάζα Διοξειδίου του Άνθρακα (CO_2) που εκπέμπεται την ίδια στιγμή κατά τη διάρκεια των εκατό ετών που ακολουθούν την έκθεσή τους.

Στην Εικόνα 27 παρατηρούνται οι συνεισφορές στις ανθρωπογενείς εκπομπές Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O). Σύμφωνα με την εικόνα οι μικρότερες πηγές (λύματα και υδατοκαλλιέργειες) παρατίθενται στην κάτω γραμμή με τίτλο «άλλα». Οι κόκκινες γραμμές αντιστοιχούν στα περιθώρια σφάλματος (κόκκινο). Το 2005, το σύνολο, που κυριαρχούν οι γεωργικές εκπομπές, αντιστοιχεί περίπου στο 30-40% του συνόλου του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) που εισάγεται ετησίως από τον άνθρωπο στην ατμόσφαιρα. Παρότι λοιπόν το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) καταστρέφεται στην ανώτερη ατμόσφαιρα, κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία, οι άνθρωποι με τις δραστηριότητές τους, έχουν τη δυνατότητα να εκπέμπουν πολύ πιο γρήγορα Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) από το ρυθμό με τον οποίο καταστρέφεται, με αποτέλεσμα να συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 27 Συνεισφορές στις ανθρωπογενείς εκπομπές Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) το 2005 (Πηγή: EEA, 2019)

Μέχρι στιγμής, η καταστροφή του στρώματος του όζοντος οφείλεται κυρίως σε χλωροφθοράνθρακες και άλλες αλογονωμένες χημικές ουσίες (που περιέχουν χλώριο και βρώμιο), ενώ στη διεργασία της καταστροφής συμμετέχει και το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O). Ωστόσο, από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (μια διεθνής συνθήκη που συντάχθηκε για την προστασία της στιβάδας του όζοντος) αυτές οι χημικές ουσίες έχουν ρυθμιστεί σε μεγάλο βαθμό, καθιστώντας έτσι δυνατό τον τερματισμό του φαινομένου και ακόμη και τη μείωση της «τρύπας» στη στιβάδα του όζοντος. Αλλά το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) δεν περιλαμβάνεται σε αυτό το πρωτόκολλο και σύμφωνα με εκτιμήσεις οι εκπομπές του θα μπορούσαν να διπλασιαστούν μέχρι το 2050. Ανησυχητικές προβλέψεις θα μπορούσαν ενδεχομένως να «θέσουν σε κίνδυνο την πρόοδο που έχει επιτευχθεί για την αποκατάσταση της στιβάδας του όζοντος και να επιδεινώσουν την κλιματική αλλαγή».

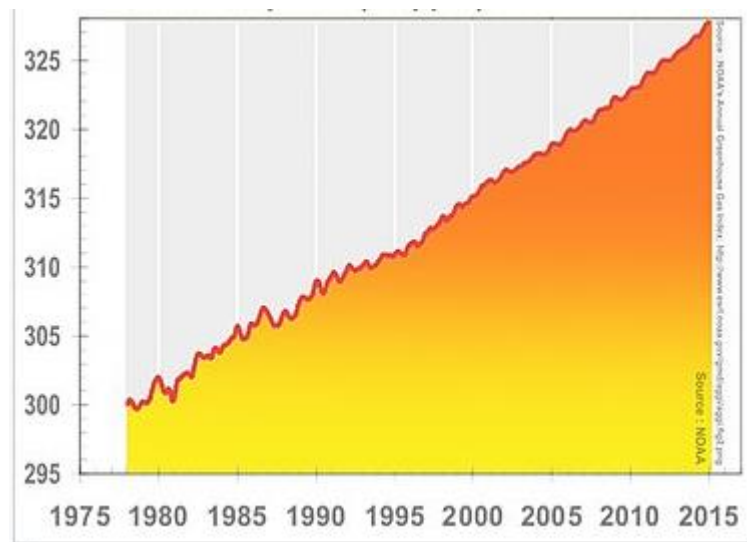
Σε μια έκθεση που δημοσιεύθηκε το 2013, με τίτλο «Μείωση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) για την προστασία του κλίματος και της στιβάδας του όζοντος», το UNEP προειδοποιεί για έναν «κακώς θεωρούμενο ρύπο» που ενέχει κινδύνους όχι μόνο για το κλίμα αλλά και για το στρώμα του όζοντος. Πράγματι, σύμφωνα με αυτήν την έκθεση, το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) έχει γίνει πλέον «η εκπομπή που καταστρέφει περισσότερο το όζον».

3.3 Συμβολή στην καταστροφή της στιβάδας του όζοντος

Η περίσσεια του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) συμβάλλει στην καταστροφή της στιβάδας του όζοντος αλληλεπιδρώντας με άλλα αέρια (Portmann et al, 2012). Θεωρείται ότι έχει μεγάλη διάρκεια ζωής στην ανώτερη ατμόσφαιρα όπως το Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2) και η περίσσεια Μεθανίου (CH_4) που ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αλλά η θέρμανση μπορεί να επιδεινώσει την τρύπα του όζοντος και αντίστροφα (Menon et al., 2007).

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1970, οι μετεωρολόγοι και οι επιστήμονες ανησυχούσαν για την αύξηση του επιπέδου του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) στην ανώτερη ατμόσφαιρα, αλλά δεν συμπεριλήφθηκε στο Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (Crutzen P.J, 1970). Στις αρχές του 21ου αιώνα, μετά τη μείωση των εκπομπών αερίων που υπόκεινται στο πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) έγινε ο πρώτος εχθρός της στιβάδας του όζοντος (Randeniya et al. 2002). Η IPCC προέβλεψε από τις αρχές του 21^{ου} αιώνα, ότι πιθανότατα θα συνέχιζε να συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα, μια τάση που

επιβεβαιώθηκε από ένα άρθρο που δημοσιεύτηκε σχεδόν δέκα χρόνια αργότερα, το 2018 στο Science, και θα παραμείνει έτσι καθ' όλη τη διάρκεια του εικοστού πρώτου αιώνα (Ravishankara et al., 2009). Αυτή η αύξηση οφείλεται στην αύξηση των πρωτεϊνών από τα ζώα, στην ανθρώπινη διατροφή, η οποία συνδέεται και με την παραγωγή κοπριάς και σόγιας, που αποτελούν πηγές παραγωγής οξειδίου του αζώτου. Σύμφωνα με ένα άρθρο στο περιοδικό Nature Geoscience, τα γεωργικά απόβλητα και η κοπριά απελευθερώνουν στον αέρα περίπου το 2% του αζώτου που περιείχαν και τα αζωτούχα λιπάσματα το 2,5%. Αυτές οι δύο πηγές εισάγουν στην ατμόσφαιρα 2,8 εκατομμύρια τόνους Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) από τα γεωργικά απόβλητα και 2,2 εκατομμύρια τόνους από τα συνθετικά λιπάσματα. Τα παραχθέντα κατάλοιπα με τη μεταφορά και τη διασπορά τους, παράγουν επίσης Διοξείδιο του Άνθρακα (CO₂), το οποίο επιδεινώνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η βιομηχανία και η καύση της βιομάζας απελευθερώνουν πολύ λιγότερες συγκεντρώσεις Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) (περίπου 0,8 εκατομμύρια και 0,5 εκατομμύρια τόνοι/έτος αντίστοιχα). Από το 1860 έως το 2005, το ποσοστό του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) στον αέρα αυξήθηκε από 270 σε 319 ppb (μέρη ανά δισεκατομμύριο, ρυθμός ανάπτυξης αρκετά συγκρίσιμος με αυτόν του Διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂)), όπως παρατηρείται στην Εικόνα 28.



Εικόνα 28 Συνεισφορές στις ανθρωπογενείς εκπομπές του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) το 2005 (Πηγή: IPCC)

Την ίδια τραγική παρατήρηση για τη συγκέντρωσή του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) στην ατμόσφαιρα της Γης, έκανε και ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός, το

οποίο έφτασε τα 329 ppb το 2016, δηλαδή + 22% σε σύγκριση με το προβιομηχανικό επίπεδο, συμβάλλοντας μάλιστα κατά 6% στην ακτινοβολία που προκαλείται από τα επίμονα αέρια του θερμοκηπίου (WMO, 2018).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΠΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ (N₂O) ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ

4.1 Επιπτώσεις της χρήσης του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) στην ανθρώπινη υγεία

Ο κίνδυνος ανεπιθύμητων ενεργειών από την έκθεση στο Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O), δεν αναγνωρίζεται επαρκώς, παρά την ευρεία χρήση του. Αυτές οι επιπτώσεις αναφέρονται κυρίως μέσω αναφορών περιστατικών. Πραγματοποιήθηκε μια μετα-ανάλυση δεδομένων μεμονωμένων ασθενών για να αξιολογηθεί ο επιπολασμός των κλινικοεργαστηριακών ευρημάτων και ευρημάτων μαγνητικού συντονισμού σε σχέση με την έκθεση σε Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O), σε ιατρικούς και ψυχαγωγικούς χώρους. Υπολογίστηκαν οι συγκεντρωτικές εκτιμήσεις για τα αποτελέσματα που μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν σε σχέση με τη διαστρωμάτωση του πληθυσμού. 85 δημοσιεύσεις πληρούσαν τα κριτήρια επιλεξιμότητας και αναφέρονταν σε 100 ασθενείς με μέση ηλικία τα 27 έτη και το 57% των χρηστών ψυχαγωγίας. Τα πιο συχνά αποτελέσματα ήταν υποξεία, συνδυασμένη εκφύλιση (28%), μυελοπάθεια (26%) και γενικευμένη απομυελινωτική πολυνευροπάθεια (23%). Υπερένταση σήματος T2 στο νωτιαίο μυελό αναφέρθηκε στο 68% (57,2–78,8%) των ασθενών. Οι συνηθέστερες κλινικές εκδηλώσεις περιελάμβαναν παραισθησία (80% 72,0–88,0%), ασταθές βάδισμα (58% 48,2–67,8%) και αδυναμία (43% 33,1–52,9%). Τουλάχιστον μία αιματολογική ανωμαλία εντοπίστηκε στο 71,7% (59,9–83,4%) των ασθενών. Οι περισσότεροι ασθενείς είχαν ανεπάρκεια βιταμίνης B12: βιταμίνη B12 <150 pmol/L (70,7% 60,7–80,8%), ομοκυστεΐνη >15 μmol/L (90,3% 79,3–100%) και μεθυλομαλονικό οξύ >0,4 μmol/L (93,8% 80,4–100%). Κατά συνέπεια, το 85% των ασθενών εμφάνισαν πιθανώς ανεπάρκεια βιταμίνης B12 σύμφωνα με το σύστημα βαθμολόγησης cB12. Το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) έχει βρεθεί από όλες τις δημοσιευμένες περιπτώσεις, ότι προκαλεί πολύ σοβαρές επιπτώσεις με νευρολογικές και αιματολογικές διαταραχές. Πάνω από το 50% των περιπτώσεων έχουν σχέση με την ψυχαγωγική του χρήση. Κοινώς γνωστό ως "αέριο γέλιου", το Υποξείδιο του Αζώτου

(N₂O) δεν μοιάζει να διαθέτει τίποτα το διασκεδαστικό. Μάλιστα η χρήση του σχετίζεται και με την ανεπάρκεια της βιταμίνης B12, γεγονός που επιβάλλει την ανάγκη να αξιολογηθεί εάν η διόρθωση της ανεπάρκειας βιταμίνης B12 θα αποτρέψει την τοξικότητα που σχετίζεται με το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O), ιδιαίτερα σε χώρες με υψηλό επιπολασμό ανεπάρκειας B12 (Oussalah et al., 2019).

4.2 Επιπτώσεις και συνέπειες, τοξικότητα

Λίγα είναι γνωστά για τις επιπτώσεις της χρόνιας έκθεσης σε χαμηλές δόσεις, αλλά έχουν μελετηθεί για ορισμένα επαγγέλματα για παράδειγμα αναισθησιολόγοι σε χειρουργεία (Keddie et al., 2018).

Σε υψηλές δόσεις προκαλεί νευρολογικά φαινόμενα (πολυνευρίτιδα με σπαστικότητα) και μακροκυτταρική αναιμία, με μείωση του επιπέδου της κυκλοφορούσας βιταμίνης B12. Ο Smith, σε μια ανασκόπηση των κινδύνων για την υγεία μεταξύ του προσωπικού του νοσοκομείου, υπενθυμίζει ότι πρόκειται για ένα μιτωτικό δηλητήριο, το οποίο έχει καταστήσει υπεύθυνο για όγκους του λεμφικού συστήματος και του δικτυο-ενδοθηλιακού συστήματος στο προσωπικό που εργάζεται στο θάλαμο λειτουργίας (με ανταλλαγές μεταξύ αδελφών χρωματίδων σύμφωνα με τους Saras et al. 1992, Eroglu et al.) στις οποίες έχουν περιγραφεί διάφορες κυτταρογενετικές διαταραχές, προβλήματα που δημιουργούνται επίσης από την έκθεση σε άλλα αναισθητικά.

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να σκοτώσει με ασφυξία, λόγω έλλειψης οξυγόνου. Το αναισθητικό μείγμα περιέχει πάντα 21% οξυγόνο, δηλαδή την αναλογία οξυγόνου στον αέρα του περιβάλλοντος και έως 50% στην περίπτωση του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) (Cockery, J., Schifano, F., 2015).

Η κακή χρήση και η παρατεταμένη χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) παρουσιάζει, εκτός από τον κίνδυνο ασφυξίας, και κινδύνους ιατρικών επιπλοκών για το νεογνό σε περίπτωση χρήσης κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης (Vaisman, A.I., 1967).

Οι βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις είναι γρήγορες και φευγαλέες. Ξεκινούν δεκαπέντε με τριάντα δευτερόλεπτα μετά την απορρόφηση και τελειώνουν μετά από δύο έως τρία λεπτά. Σε υψηλές δόσεις, το Υποξείδιο του Αζώτου (N₂O) γίνεται ναρκωτικό με πιθανές επιδράσεις:

- ευφορίας, αίσθημα ευεξίας και γέλια (Amsterdam, Nabben & Brink, 2015)

- την αίσθηση ότι κάποιος αιωρείται
- οπτικές και ακουστικές παραμορφώσεις
- αίσθημα βάρους στα άκρα
- τροποποίηση της φωνής, η οποία γίνεται πολύ βαθιά.
- απώλεια μνήμης
- σπασμοί
- υπερσιελόρροια

Ενώ οι βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις μεγάλων δόσεων είναι οι ακόλουθες:

- Ναυτία, έμετος
- Υποξία (Fink, 1955)
- Ζάλη
- Κίνδυνος μη αναστρέψιμων εγκαυμάτων που προκαλούνται από το κρύο εάν το αέριο εισπνευστεί ή μπει στο στόμα όταν είναι αποσυμπιεσμένο
- Ψευδαισθήσεις (Gerhahrdt, 2001)

4.3 Μακροχρόνιες επιδράσεις μεγάλων ή επαναλαμβανόμενων δόσεων

Οι γνωστές μακροχρόνιες τοξικές ή ανεπιθύμητες ενέργειες της επαναλαμβανόμενης έκθεσης στο Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) είναι διαφόρων τύπων. Όπως, αιματολογικές, νευρολογικές (απομυελίνωση), ψυχιατρικές και τερατογόνες (Garbaz L., 2007).

Δεν επηρεάζονται μόνο οι επαγγελματίες. Η βαριά ή/και τακτική ψυχαγωγική χρήση του μονοξειδίου του αζώτου μπορεί να προκαλέσει συμπτώματα και ασθένειες που οι γιατροί δεν έχουν συνηθίσει να υποψιάζονται ή να διαγιγνώσκουν. Πιο συγκεκριμένα τα συμπτώματα που μπορεί να παρουσιαστούν είναι:

- ανεπάρκεια σε βιταμίνη B12 (κοβαλαμίνη), επειδή το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) οξειδώνει τα ιόντα κοβαλτίου (απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο).
- μείωση του επιπέδου της κυκλοφορούσας βιταμίνης B12 με αναστολή της ηπατικής συνθετάσης μεθειονίνης, που προκαλεί σε βαρείς χρήστες Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) νευροπάθειες (νευρολογικές διαταραχές), όπως τρόμο ή δυσκολία συντονισμού των κινήσεών τους.

- νευρολογικές επιπλοκές είναι πιθανές και μη αναγνωρίσιμες (ακόμη και από τους γιατρούς), συμπεριλαμβανομένης της βλάβης στο μυελό των οστών και στο νωτιαίο μυελό με αποτέλεσμα συμμετρική και προοδευτική αδυναμία των κάτω άκρων, διαταραχές ισορροπίας και αυξανόμενη δυσκολία στο βάδισμα (αταξικό βάδισμα), όπως επισημαίνεται από πολλές πρόσφατες μελέτες σε άτομα από εισπνοή υψηλών δόσεων Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O).

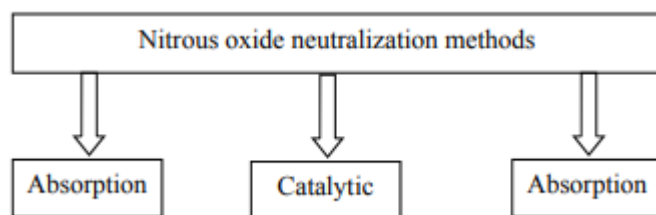
Η ανεπάρκεια βιταμίνης B12 προκαλεί τη νευροτοξικότητα του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) σε υψηλές δόσεις ή σε περίπτωση χρόνιας ψυχαγωγικής χρήσης. Πιο συγκεκριμένα, προκαλείται απομυελίνωση των νευρικών ινών, η οποία καταλήγει σε διαταραχή στην μετάδοση των νευρικών ερεθισμάτων. Η σκλήρυνση του νωτιαίου μυελού συνδυάζεται με εκφυλιστική βλάβη του νωτιαίου μυελού (ορατή στην μαγνητική τομογραφία (MRI)). Αυτή η απομυελίνωση μειώνει την εν τω βάθει αισθητικότητα. Τον Μάιο του 2018, γιατροί επειγόντων περιστατικών και νευρολόγοι από διάφορα νοσοκομεία του Λονδίνου, ανέφεραν δέκα περιπτώσεις «συνδυασμένης σκλήρυνσης του νωτιαίου μυελού» (SCM) σε νέους ηλικίας 17 έως 26 ετών, οι περισσότεροι από τους οποίους δεν χρησιμοποιούσαν άλλα φάρμακα και καθόλου αλκοόλ. Το επίπεδο της βιταμίνης B12 στο αίμα μπορεί να είναι φυσιολογικό, αλλά η βιταμίνη μπορεί να μην λειτουργεί. Μια μη φυσιολογική αύξηση στο επίπεδο του μεθυλομαλονικού οξέος (MA) και της ομοκυστεΐνης μπορεί στη συνέχεια να οδηγήσει στη διάγνωση.

Η ταχεία λήψη συμπληρωμάτων βιταμίνης B12 αναστρέφει τον εκφυλισμό, αλλά η νευρολογική αποκατάσταση μπορεί να είναι ατελής, ειδικά εάν το άτομο συνεχίζει να εισπνέει Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O).

Η εισπνοή Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) μπορεί να αποκαλύψει έναν ασυμπτωματικό πνευμοθώρακα και να τον επιδεινώσει. Οι συνέπειες μπορεί να είναι δραματικές όταν χρησιμοποιείται με δόλια πρόθεση σε εξωνοσοκομειακό περιβάλλον, λόγω άγνοιας των παρενεργειών του.

4.4 Μέθοδοι εξουδετέρωσης Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O)

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O), όπως και όλα τα οξείδια του αζώτου, μπορούν να αφαιρεθούν από τα αέρια διεργασίας με διάφορες μεθόδους, μεταξύ των οποίων και εκείνες που χρησιμοποιούν καταλύτες (Εικόνα 29).



Εικόνα 29 Μέθοδοι εξουδετέρωσης του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) (Πηγή: Denissova et al., 2019)

4.4.1 Μέθοδος προσρόφησης

Με την τεχνολογία της προσρόφησης ελέγχεται συχνά η ρύπανση του αέρα. Τα σύγχρονα προσροφητικά υλικά για τον καθαρισμό αερίων εφαρμόζονται σε ευρύ πεδίο (Kulish, & Kuzhevaton, 2002). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν εμπορικά προσροφητικά, όπως για παράδειγμα άνθρακας, αλλά και σύμπλοκα οξειδίων και εμποτισμένοι προσροφητές. Χρησιμοποιείται ατμός για να αναγεννηθούν από τον οποίο τα συγκεντρωμένα οξείδια του αζώτου και το νιτρικό οξύ παράγονται από την προσρόφηση (Noskov & Pai, 1999).

Η χρήση του ενεργού άνθρακα παρουσιάζει χαμηλή εκλεκτικότητα σε σχέση με άλλα προσροφητικά υλικά, αλλά είναι κατάλληλο για να εφαρμοστούν σε υγρές και αέριες συνθήκες. Εμφανίζει αδράνεια όταν εφαρμόζεται σε πολικά αλλά και σε μη πολικά προσροφητικά μόρια. Αρκετές φορές όταν έρχεται σε επαφή με τα οξείδια του αζώτου, μπορεί να οδηγήσει σε πυρκαγιά ή ακόμη και σε έκρηξη. Μάλιστα στη χρήση του ενεργού άνθρακα παρατηρείται το φαινόμενο της χαμηλής μηχανικής αντοχής (Orlova et al., 2012).

Η χρήση των προσροφητικών οξειδίων (πήκτωμα πυριτίου, συνθετικών ζεόλιθων και αλουμίνας) παρουσιάζει υψηλή επιλεκτικότητα στα πολικά μόρια διότι διαθέτουν ανομοιογενή κατανομή ηλεκτρικού φορτίου. Αντίθετα αποτυγχάνει και δεν ανταποκρίνεται αποτελεσματικά όταν υπάρχει υγρασία (Rogozhnikov et al., 2011).

4.4.2 Μέθοδος απορρόφησης

Οι μέθοδοι απορρόφησης για την εξουδετέρωση των αερίων που περιέχουν Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) είναι οι ακόλουθες:

- η μέθοδος οξειδωσης-απορρόφησης κατά την οποία το αέριο του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) οξειδώνεται από Οξυγόνο (O_2), Όζον (O_3), Χλώριο (Cl_2), Διοξείδιο του Χλωρίου (ClO_2), Μονοξείδιο του Διχλωρίου (Cl_2O), αέρα, ή ατμό Νιτρικού Οξέος (HNO_3), και έπειτα ακολουθεί το στάδιο απορρόφησης.
- η μέθοδος απορρόφησης-οξειδωσης η οποία περιλαμβάνει οξειδωτική δοσολόγηση στο προσροφητικό διάλυμα, που χρησιμοποιεί οξειδωτικά επιλεγμένα από μία ευρεία επιλογή ενώσεων όπως Βρωμικό Κάλιο ($KBrO_3$), Υπερμαγγανικό Κάλιο ($KMnO_4$), Υπεροξείδιο του Υδρογόνου (H_2O_2), Υπεροξείδιο του Υδρογόνου (H_2O_2) σε μορφή ουρίας, Χρωμιούχο Νάτριο (Na_2Cr), Οξείδιο του Χρωμίου (CrO_4), Διχρωμικό Αμμώνιο $[(NH_4)_2Cr_2O_7]$, Υποχλωριώδες Νάτριο ($NaClO$) (για τα οποία μειώνεται η οξειδωτική ισχύς)
- η μέθοδος απορρόφησης-μείωσης η οποία βασίζεται στην βοήθεια αναγωγικών παραγόντων όπως Υδροξείδιο του Αμμωνίου (NH_4OH), Σουλφαμυλικό Οξύ ($(NH_4)_2CO_3$, Σίδηρος (Fe), Άλατα Σιδήρου (II), Σίδηρο (II), σύμπλεγμα αιθυλενοδιαμινοτετραοξικού οξέος (EDTA). Η μέθοδος επεξεργασίας αερίων με απορρόφηση και χρήση απορροφητών δίνει ως προϊόντα νιτρώδη και νιτρικά.

Οι μέθοδοι που αναφέρθηκαν θεωρούνται πιο χρήσιμες και διαιρούνται σε μεθόδους υγρής φάσης απορρόφησης-εξουδετέρωσης των αερίων τα οποία περιέχουν Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O).

4.4.3 Καταλυτική μέθοδος

Η καταλυτική μέθοδος, είναι μία δημοφιλής μέθοδος για την επεξεργασία του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O). Έχουν δημοσιευτεί στοιχεία, ότι το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) αποσυντίθεται πάνω σε μεταλλικές επιφάνειες και σε θερμοκρασία άνω των $400^\circ C$, παρουσία καταλύτη πλατίνας, παλλαδίου, ασημίου, χρυσού, γερμανίου και ρουθηνίου, υποστηριζόμενα από φορείς οξειδίων των μετάλλων, όπως Τριοξείδιο του Αργιλίου (Al_2O_3), Διοξείδιο του Πυριτίου (SiO_2), Διοξείδιο του Τιτανίου (TiO_2), Οξείδιο του Ψευδάργυρου (ZnO) ή Διοξείδιο του Ζιρκονίου (ZrO_2) (Gaidei et al., 2007). Οι ζεόλιθοι

είναι ιδιαίτερος ενεργοί στη διαδικασία της αποσύνθεσης του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O).

Τα οξείδια της ομάδας VIII (Rh, Ir, Co, Fe, Ni) και Ib της ομάδας του χαλκού όπως και τα μέταλλα μετάπτωσης θεωρούνται ενεργά για την αποσύνθεση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O). Τα οξείδια της ομάδας I–VII και τα μέταλλα μετάπτωσης (Mn, Ce, Th, Cr) καθώς και τα μέταλλα της ομάδας II (Mg, Zn, Cd) εμφανίζονται μέτρια ενεργά.

Τα οξείδια των μετάλλων που ανήκουν στην κύρια υποομάδα, Al, Ga, Be, Sb, Si, Ge και υψηλότερα οξείδια των Ti, U, εμφανίζουν πιο χαμηλή δραστηριότητα (Romanova & Farbun).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όπως παρουσιάστηκε, το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) έχει αναλγητική δράση, καταπραΰνει δηλαδή τον πόνο και ενισχύει (αυξάνει) τη δράση των αναισθητικών φαρμάκων που χορηγούνται ταυτόχρονα. Χρησιμοποιείται λοιπόν :

- στην αναισθησία, ως κοινό συστατικό της συνδυασμένης γενικής αναισθησίας, σε συνδυασμό με ενέσιμα (υπνωτικά, μορφίνες) ή εισπνεόμενα αναισθητικά.
- στην επείγουσα ιατρική (μείωση καταγμάτων ή εξάρθρωσεις), στην παιδιατρική ή στην αίθουσα τοκετών, με τη μορφή ενός ισομοριακού μείγματος με διοξυγόνο.
- για την άσκηση ορισμένων επώδυνων πρακτικών ιδιαίτερα σε παιδιά, όπως δύσκολη αιμοληψία, μυελόγραμμα και οσφυονωτιαία παρακέντηση. Εδώ, έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να προκαλέσει συχνά αμνησία της πρακτικής, κάτι το οποίο είναι πολύ χρήσιμο σε περίπτωση που πρέπει να επαναληφθεί. Για αυξημένη αποτελεσματικότητα, το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) συνδέεται με την προληπτική λήψη αναλγητικών, πιο συχνά του τύπου μορφίνης.

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) ταξινομείται στον πρότυπο κατάλογο των βασικών φαρμάκων του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας, αλλά «υπόκειται σε παρακολούθηση στα νοσοκομεία και υπό εθιστική επαγρύπνηση».

Είναι προφανές όσον αφορά στη φαρμακευτική του δράση, ότι το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) διαθέτει πολλαπλούς μηχανισμούς και φαρμακολογικές ιδιότητες. Το αναλγητικό αποτέλεσμα του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O), καθώς και η αγχολυτική δράση του ενεργοποιεί τους υποδοχείς GABAA με διεγερμένη νευρωνική απελευθέρωση των ενδογενών οπιοειδών πεπτιδίων, με επακόλουθη ενεργοποίηση των υποδοχέων οπιοειδών, των κατιόντων GABA και των νοραδρενεργικών οδών που ρυθμίζουν την παθητική επεξεργασία στο επίπεδο της σπονδυλικής στήλης.

Το αγχολυτικό μονοπάτι που διεγείρεται περιλαμβάνει ένα τμήμα που περιστρέφεται σε μια ακολουθία 3 βασικών ενζύμων, NOS, διαλυτή, γουανυλυλοκυκλάση και PKG. Η αναισθητική δράση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) φαίνεται να προκαλείται από την

αναστολή των γλουταμινικών NMDA υποδοχέων, αφαιρώντας την διεγερτική του επίδραση στο νευρικό σύστημα.

Είναι προφανές ότι η φαρμακευτική χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) έχει αρκετά δυνατά σημεία. Διαθέτει παρόλα αυτά και πιθανές παρενέργειες που σχετίζονται με τη χρήση του, σε μια ιδιαίτερα δυσμενή αναλογία κινδύνου-οφέλους για τους χρήστες ψυχαγωγίας που αντιπροσωπεύουν περισσότερα από τα μισά από τα αναφερόμενα άτομα. Στην ομάδα των ασθενών που εμφάνισαν τοξικότητα σχετιζόμενη με το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O), παρατηρήθηκαν σε όλους σχεδόν τους ασθενείς (96%), νευρολογικές ή αιματολογικές διαταραχές. Συγκεκριμένα οι ασθενείς που εμφανίζουν τοξικότητα από το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) κυριαρχούνται από ανεπάρκεια βιταμίνης B12 και από σχετική αλλοίωση στο δείκτη μεταβολισμού του άνθρακα.

Τα 3/4 των εξεταζόμενων που παρουσίασαν τοξικότητα σε σχέση με το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) κατέδειξαν χαμηλή B12 βιταμίνη (<150 pmol/L). Δηλαδή το 85% των ασθενών εμφάνισαν πιθανή ανεπάρκεια βιταμίνης B12 σύμφωνα με το σύστημα βαθμολόγησης cB12. Στο ανθρώπινο σώμα, η βιταμίνη B12 είναι φυσιολογικά ενεργή σε δύο μορφές:

- 1) ως μεθυλοκοβαλαμίνη που αντιπροσωπεύει έναν συμπαράγοντα για το ένζυμο μεθυλοτρανσφεράση επίσης γνωστή ως συνθάση μεθειονίνης (MTR) και
- 2) ως αδενосуλοκοβαλαμίνη που είναι συμπαράγοντας για το ένζυμο μεθυλομαλονυλο συνένζυμο A μούτωση (MMCoAM) (Bosco P. et al., 2003).

Ένα ελάττωμα στη δραστηριότητα της MMCoAM οδηγεί σε συσσώρευση μεθυλομηλονικού οξέος ενώ ένα ελάττωμα στη δραστηριότητα της MTR οδηγεί σε μείωση της μεθειονίνης και αύξηση τόσο της ομοκυστεΐνης όσο και της S-αδενουσυλομοκυστεΐνης καθώς και των συγκεντρώσεων μεθυλοτετραϋδροφολικού (Hathout L et al., 2011). Η ανεπάρκεια βιταμίνης B12 αποδόθηκε στην υπερομοκυστεΐναιμία >15 $\mu\text{mol/L}$ και στο μεθυλομηλονικό οξύ >0,4 $\mu\text{mol/L}$ πάνω από το 90% των ασθενών, οι οποίοι εμφάνισαν τοξικότητα σχετιζόμενη με το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O). Η έκθεση σε Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) περιγράφεται καλά ως ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για την παραγωγή ανεπάρκειας βιταμίνης B12 σε ζωικά μοντέλα (Hathout L et al., 2011).

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) προκαλεί οξείδωση του ενεργού κέντρου κοβαλτίου που περιέχεται στη χημική δομή της βιταμίνης B12. Οι ερευνητές καταγράφουν ότι τα συμπεράσματα της έρευνας τους, αποτελούν σοβαρές ενδείξεις, όμως τονίζουν ότι τα

δεδομένα, τους υποδεικνύουν την ανάγκη διεξαγωγής μεγάλων πληθυσμιακών μελετών για την καλύτερη αναφορά της τοξικότητας που προκαλείται από το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O).

Ωστόσο, η συσχέτιση της έκθεσης σε Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) με σοβαρές νευρολογικές και αιματολογικές εκδηλώσεις και αλλαγμένους δείκτες μεταβολισμού ενός άνθρακα, αποτελούν τα ευρήματα της μελέτης τους, τα οποία οδηγούν στην επείγουσα ευαισθητοποίηση της ιατρικής κοινότητας σχετικά με τον κίνδυνο έκθεσης σε Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) και ιδιαίτερα όσον αφορά την ψυχαγωγική χρήση στο περιβάλλον των νέων. Μάλιστα χρησιμοποιούνται μελέτες πληθυσμού από τις οποίες μπορεί να αξιολογηθεί εάν η διόρθωση της ανεπάρκειας της βιταμίνης B12 αποτρέπει την τοξικές δυνατότητες του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) τόσο για την αναισθητική όσο και για την ψυχαγωγική χρήση, περισσότερο στις χώρες που εμφανίζουν πληθυσμό με υψηλό ποσοστό ανεπαρκούς βιταμίνης B12.

Από την άλλη, όσον αφορά το περιβάλλον, το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) που παράγεται από την απονιτροποίηση σε υπέδαφος μπορεί να μειωθεί σε Άζωτο (N_2) από τους μικροοργανισμούς του εδάφους, καθώς διαχέεται στην επιφάνεια του. Ωστόσο, η διαδικασία αναστέλλεται από την παρουσία των νιτρικών αλάτων. Οι Blackmer και Bremner επεσήμαναν ότι αυτή η διαδικασία αξίζει πολύ μεγαλύτερη προσοχή στην αξιολόγηση του ρόλου των εδαφών στην ατμοσφαιρική συγκέντρωση Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) και ότι η ικανότητα των εδαφών να λειτουργούν ως πηγή ή καταβόθρα για Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την περιεκτικότητά τους σε νιτρικά άλατα. Οι εργαστηριακές μελέτες των Freney et al., πρότειναν ότι μόνο τα πολύ υγρά εδάφη, δηλαδή εκείνα με περιεκτικότητα σε υγρασία ίση ή μεγαλύτερη από την υγρασία του πεδίου, έχουν κάποια αξιολογη ικανότητα να λειτουργούν ως καταβόθρες για το ατμοσφαιρικό Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O). Είναι πολύ πιθανό σε μια τέτοια περίπτωση οι καταβόθρες να λειτουργούν ως πηγές εφόσον στο επιφανειακό έδαφος υπάρχει οξειδωμένο στρώμα και ανοργανοποιησιμο οργανικό άζωτο. Υπό πραγματικές συνθήκες πεδίου, το πιο πιθανό αποτέλεσμα, η έλλειψη διαβροχής από βροχή ή άρδευση, φαίνεται να είναι μια καθαρή εκπομπή Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) στην ατμόσφαιρα. Με βάση τα διαθέσιμα περιορισμένα θαλάσσια δεδομένα, οι McElroy et al., κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η καθαρή ροή του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) κατά μήκος των ορίων ωκεανού-ατμόσφαιρας θα μπορούσε να είναι είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω. Από την εξέταση των κατακόρυφων προφίλ του διαλυμένου Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O), ανακάλυψαν στοιχεία τόσο για τις πηγές όσο και για τις καταβόθρες στη θάλασσα.

Από μετρήσεις στον τροπικό νοτιοανατολικό Ειρηνικό και τον κόλπο Chesapeake, καθώς και από προκαταρκτικές παρατηρήσεις από μια λίμνη γλυκού νερού και ένα παλιρροϊκό έλος, οι Elkins et al. πρότειναν ότι υπό συνθήκες χαμηλών συγκεντρώσεων οξυγόνου, τα υδάτινα οικοσυστήματα λειτουργούσαν ως καταβόθρες για το διαλυμένο Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O). Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, υπό τέτοιες συνθήκες, η μικροβιακή αναπνοή μπορεί να αντιπροσωπεύει μια καταβόθρα για το ατμοσφαιρικό Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O). Ωστόσο, συνέστησαν ότι απαιτούνται περαιτέρω μελέτες για τον ποσοτικό προσδιορισμό του ρόλου που μπορεί να παίζει η μικροβιακή πρόσληψη στον παγκόσμιο προϋπολογισμό του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O). Οι Cohen και Gordon πρότειναν επίσης ότι τα νερά με έλλειψη οξυγόνου και πραγματικά ανοξικά δρουν ως καταβόθρες για το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O). Αν και αποτελούν μόνο ένα μικρό τμήμα του ωκεανού, οι αντοχές των βυθισμάτων αυτών των τοποθεσιών πρέπει να αξιολογηθούν.

Μέχρι στιγμής, δεν έχουν αποδειχτεί σημαντικοί μηχανισμοί απομάκρυνσης από την τροπόσφαιρα (Bolle et al., 1989). Οι γνωστές τροποσφαιρικές καταβόθρες για το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O), όπως για παράδειγμα στις υδάτινες και εδαφικές επιφάνειες, θεωρούνται μικρές, αν και τα ακριβή μεγέθη αυτών των καταβόθρων δεν είναι ακόμη γνωστά (Ehrlich, A. 1990). Οι Khalil & Rasmussen και Schutz et al., πρότειναν ότι αμμώδεις, ξηρές και με υψηλή θερμοκρασία επιφάνειες, όπως η περιοχή της Σαχάρας της Βόρειας Αφρικής, μπορεί να παρέχουν μονοπάτια για την τροποσφαιρική απομάκρυνση του ατμοσφαιρικού Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O). Από τις μελέτες τους σε επιφανειακά δείγματα καλλιεργούμενων εδαφών στην Αϊόβα των ΗΠΑ, οι Blackmer και Bremner ανέφεραν ότι οι ικανότητες αυτών των εδαφών για πρόσληψη ατμοσφαιρικού Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O), υπό αναερόβιες συνθήκες, οι οποίες είναι ευνοϊκές για την απονιτροποίηση, ήταν πολύ μεγαλύτερες από τις ικανότητές τους για την απελευθέρωση του αερίου.

Είναι φυσικό να παρακολουθείται από το Πρωτόκολλο του Κιότο ως εξίσου επικίνδυνο αέριο του θερμοκηπίου σε σχέση με το Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2) και το Μεθάνιο (CH_4). Αν και λιγότερο παρόν στην ατμόσφαιρα ως προς τη μάζα, καθώς παράγει το 5% των εκπομπών έναντι 55% και 15% για το CO_2 και το CH_4 , το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) έχει σημαντικό αντίκτυπο στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Ως εκ τούτου, πρέπει να είναι στην ημερήσια διάταξη των συζητήσεων COP21.

Ελάχιστα γνωστό στο ευρύ κοινό, το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) είναι ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου, 25 φορές πιο «θερμαντικό» από το Μεθάνιο (CH_4) και 300 φορές περισσότερο από το Διοξείδιο του Άνθρακα (CO_2). Η διάρκεια ζωής του στην ατμόσφαιρα

είναι επίσης η μεγαλύτερη από τις τρεις. Είναι 120 χρόνια κατά μέσο όρο έναντι 100 ετών για το Διοξείδιο του Άνθρακα (CO₂) και 12 χρόνια για το Μεθάνιο (CH₄). Κατά τη διάρκεια μιας διάσκεψης το 2013, ο εκτελεστικός διευθυντής του Προγράμματος των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (UNEP), Achim Steiner, τόνισε ότι «η δράση σε αυτές τις εκπομπές πρόσφερε μια νέα ευκαιρία να διατηρηθεί ο κόσμος κάτω από μια αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2°C».

Όταν εμφανίστηκε του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) στην ατμόσφαιρα, βρισκόταν σε ίχνη. Αλλά από τον 19ο αιώνα, οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν αυξήσει σημαντικά τις εκπομπές και τη συγκέντρωσή του.

Παγκοσμίως η γεωργία, είναι μακράν η μεγαλύτερη πηγή εκπομπών Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) που προκαλείται από τον άνθρωπο και ευθύνεται για τα 2/3 αυτών των εκπομπών. Στη Γαλλία, μόνο οι δραστηριότητες γεωργίας και δασοκομίας ευθύνονται για το 89% των εκπομπών, σύμφωνα με την Citepa (Center Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique). Οι εκπομπές αυτές που παράγονται κυρίως από το έδαφος, οφείλονται ιδιαίτερα στη διασπορά αζωτούχων λιπασμάτων (χημικά ή ζωικά λιπάσματα: κοπριά, πολτός) που καθιστούν δυνατή τη λίπανση των εδαφών, ιδίως εκείνων των εντατικών καλλιεργειών.

Οι υπόλοιπες εκπομπές προέρχονται κυρίως από τη χημική βιομηχανία, ιδίως από την παραγωγή νιτρικού οξέος, που χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευή συνθετικών λιπασμάτων αλλά και στη μεταλλουργία και τη μικροηλεκτρονική, και αδιπικού οξέος, που χρησιμοποιείται στην κατασκευή νάιλον, καλλυντικών ή ως ένα πρόσθετο τροφίμων που χρησιμοποιείται για την οξίνιση αρτοσκευασμάτων ή ποτών. Μαζί, αυτές οι χημικές ουσίες αντιπροσωπεύουν περίπου το 5% των παγκόσμιων εκπομπών Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O), ακολουθούμενες από την επεξεργασία αποβλήτων και λυμάτων, την καύση καυσίμων και τις οδικές μεταφορές, ειδικά από τον εξοπλισμό των οχημάτων με καταλυτικούς μετατροπείς. Ο περιορισμός της χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων θα αποβεί πολύ θετικός όχι μόνο για το κλίμα, αλλά και για τη ρύπανση των υδάτων.

Η μεγαλύτερη συμβολή σε σχέση με την αύξηση των εκπομπών, καταγράφεται από τις αναδυόμενες οικονομίες της Βραζιλίας, της Ινδίας και της Κίνας, στις οποίες αυξάνεται ραγδαία ο αριθμός των ζώων και η παραγωγή των καλλιεργειών.

Προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O), η έκθεση, που συντάχθηκε με τη βοήθεια ειδικών και επιστημόνων από 35 οργανισμούς, κάνει συστάσεις. Στο επίπεδο της γεωργικής παραγωγής, προτείνει ειδικότερα να περιοριστεί η «υπερβολική χρήση ή η κακή χρήση αζωτούχων λιπασμάτων» και υποστηρίζει την

υιοθέτηση τεχνικών που επιτρέπουν την αποτελεσματικότερη χρήση του αζώτου ελαχιστοποιώντας τις απώλειές του στο περιβάλλον. Η έκθεση ενθαρρύνει επίσης τη μείωση της «υπερβολικής κατανάλωσης κρέατος, καθώς η παραγωγή ζωικής πρωτεΐνης οδηγεί σε υψηλότερες εκπομπές Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) από τις φυτικές πρωτεΐνες και της σπατάλης τροφίμων».

Όσον αφορά το βιομηχανικό τομέα, ο οργανισμός πιστεύει ότι θα μπορούσαν να επιτευχθούν σημαντικά κέρδη μόνο με τον περιορισμό των εκπομπών αδιπικού και νιτρικού οξέος. Συνιστά επίσης τη μείωση της περιεκτικότητας των λυμάτων σε άζωτο και τη μείωση της χρήσης πυρκαγιάς για την απομάκρυνση των δασών, μια πρακτική ιδιαίτερα διαδεδομένη στη Νοτιοανατολική Ασία.

Μια μελέτη που αναφέρεται στην έκθεση αναφέρει ότι «μια γενική βελτίωση της απόδοσης χρήσης αζώτου κατά 20% θα κόστιζε 12 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως, αλλά θα εξοικονομήσει 23 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως στο κόστος των λιπασμάτων». Και, τελικά, αυτά τα μέτρα μείωσης θα αποφέρουν «πρόσθετα οφέλη για το περιβάλλον, το κλίμα και τον άνθρωπο που υπολογίζονται σε 160 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως».

Το 2009, σε ένα άρθρο στο περιοδικό Science με τίτλο «Nitrous oxide: no laughing matter», ο Donald J. Wuebbles (Department Atmospheric Sciences, School of Earth, Society, and Environment στο Πανεπιστήμιο του Ιλινόις) εκπλήσεται που παρά τη σημασία του, το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O), που από καιρό αναγνωρίζεται ως αέριο του θερμοκηπίου και καταστροφέας της στιβάδας του όζοντος, εξακολουθεί μερικές φορές να παραμένει το ξεχασμένο αέριο σε ζητήματα προστασίας της ατμόσφαιρας, του κλίματος ή του στρώματος του όζοντος. Γενικώς υπάρχει η τάση να πέφτει η βαρύτητα κυρίως στις εκπομπές Διοξειδίου του Άνθρακα (CO_2) και Μεθανίου (CH_4) από ορυκτά καύσιμα, ξεχνώντας ότι «οι μελλοντικές αλλαγές στο κλίμα και στην κατανομή του όζοντος της στρατόσφαιρας εξαρτώνται από τις εκπομπές και τη μεταβαλλόμενη συγκέντρωση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) στην ατμόσφαιρα. Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) απαιτεί μεγαλύτερη μελέτη, προσοχή και πολιτικές αντιμετώπισης όσον αφορά στις μελλοντικές ανθρωπογενείς εκπομπές, καθώς είναι ένα πολύ επικίνδυνο αέριο αλλά έχει υποτιμηθεί η συμβολή του (Wuebbles D.J. 2009).

Είναι δυνατές διάφορες στρατηγικές μετριασμού για τις εκπομπές Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O), συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας, όπου οι τεχνικές και συμπεριφορικές αλλαγές θα μπορούσαν να μειώσουν σημαντικά τις εκπομπές Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) καθώς και άλλες μορφές ενεργού αζώτου, αλλά υποστηρίζονται ελάχιστα από τη βιομηχανία και

τα κράτη (Kanter D. et al., 2012). Τα κράτη που συνυπογράφουν το καθεστώς του όζοντος και πρέπει να εφαρμόσουν τη Σύμβαση της Βιέννης (1985) μέσω του Πρωτοκόλλου του Μόντρεαλ του 1987, θα μπορούσαν επίσης να λάβουν μέτρα για τη διαχείριση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) στο μέλλον. Το 2017, μέσω τροποποίησης του πρωτοκόλλου, ενσωμάτωσαν Υδροχλωροφθοράνρακες (HFC), αλλά ακόμα δεν αναφέρουν το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O). Ωστόσο, οι σαφείς ρυθμιστικές οδοί θα καθιστούσαν δυνατή τη συμπερίληψή του στο καθεστώς προστασίας της στιβάδας του όζοντος, μοιράζοντας την εξουσία επί του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) με τις διεθνείς συνθήκες για το κλίμα (σημερινές και μελλοντικές). Σύμφωνα με τους Kanter et al. (2012), θα αποτελούσε ένα πρόσθετο και πολύτιμο μέσο στη διακυβέρνηση και τη διπλωματία της βιώσιμης ανάπτυξης (Kanter D. et al., 2012).

Στην Ευρώπη τα τελευταία χρόνια, οι εκπομπές του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) από τη γεωργική παραγωγικότητα μειώθηκαν καθώς αναπτύχθηκαν κυβερνητικές πολιτικές ενθαρρύνοντας την αποτελεσματικότερη χρήση των λιπασμάτων. Έτσι επιτεύχθηκε η μείωση της ρύπανσης των πλωτών οδών και των πόσιμων υδάτων.

Ομοίως άλλοι τρόποι για τη μείωση των εκπομπών Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O) από τη γεωργία περιλαμβάνουν:

- καλύτερη διαχείριση της ζωικής κοπριάς
- εφαρμογή λιπασμάτων σύμφωνα με τις ανάγκες του φυτού
- καλλιέργειες εναλλασσόμενες για να συμπεριλάβουν αυτές που παράγουν το δικό τους άζωτο και να μειώνονται οι ανάγκες για λιπάσματα, για παράδειγμα τα λαχανικά.
- Λίπασμα με ενισχυμένη απόδοση το οποίο μειώνει το παραγόμενο Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O).

Θα πρέπει να τονιστεί, ότι οποιαδήποτε κατάχρηση είναι επικίνδυνη και πρέπει να αποτραπεί. Σε επίπεδο χωρών θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) βρίσκεται στην κατηγορία των φαρμάκων που προορίζονται για επαγγελματική χρήση. Αυτό το μείγμα αερίων θα πρέπει επομένως να διανέμεται μόνο στους ενδιαφερόμενους επαγγελματίες υγείας και όχι απευθείας στους ασθενείς. Επιπλέον, δεδομένων όλων των κινδύνων που συνδέονται με τη χρήση του ως προϊόν διασκέδασης για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου επιβάλλεται η διεξαγωγή ενισχυμένης φαρμακοεπαγρύπνησης και παρακολούθησης της τοξικομανίας με ενθάρρυνση των

επαγγελματιών υγείας να αναφέρουν ανεπιθύμητες ενέργειες, περιπτώσεις κατάχρησης, εξάρτησης από ναρκωτικά, κακής χρήσης και κατάχρησης που σχετίζονται με τη χρήση του Υποξειδίου του Αζώτου (N_2O).

Επίσης, σε κάποιες Ευρωπαϊκές χώρες όπως η Γαλλία, έχει θεσπιστεί η ασφάλιση και η ιγνηλασιμότητα χρήσης καθώς και περιορισμένοι όγκοι φιαλών σε πέντε λίτρα, πιθανότατα επειδή το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O) φαίνεται να είναι αντικείμενο μόδας στη συγκεκριμένη χώρα στην οποία υπήρχε κορύφωση χρήσης τα τελευταία χρόνια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O), που συνήθως ονομάζεται "αέριο γέλιου", είναι ένα οξειδωτικό αέριο (συνδυάζεται με καύσιμο), άχρωμο, με ελαφρώς γλυκιά οσμή και γεύση. Χρησιμοποιείται στον ιατρικό τομέα, αναμεμιγμένο με οξυγόνο για την αναισθητική και αναλγητική του δράση ή στον τομέα της μαγειρικής.

Οι φαρμακολογικές ιδιότητές του το καθιστούν ιδιαίτερα αποτελεσματικό αφού έχει τόσο αναλγητικές, όσο και αγχολυτικές ιδιότητες, και επίσης λειτουργεί ως αδύναμο αναισθητικό. Κατά συνέπεια προτείνεται ως επικουρικός πτητικός αναισθητικός παράγοντας. Ωστόσο, έχει αναφερθεί ορισμένος αριθμός ανεπιθύμητων ενεργειών, όπως μετεγχειρητική ναυτία και έμετος, νευροτοξικές επιδράσεις που επιβάλλουν τη συνετή χρήση του.

Σημαντική αύξηση της κατάχρησης αυτού του αερίου, έχει παρατηρηθεί σε χώρες της Ευρώπης, ιδίως από νέους, λόγω της ευφορίας του. Τα σημάδια της χρήσης του είναι μερικές φορές ορατά σε δημόσιους χώρους με την παρουσία μεταλλικών φυσιγγίων στα οποία περιέχεται αυτό το αέριο.

Η κατανάλωση οξειδίου του αζώτου μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές συνέπειες για την υγεία, τόσο άμεσες όσο και σε περίπτωση τακτικής χρήσης ή σε υψηλές δόσεις, ιδίως επειδή προκαλεί ανεπάρκεια βιταμίνης B12.

Οι άμεσοι κίνδυνοι είναι ασφυξία λόγω έλλειψης οξυγόνου, απώλεια συνείδησης, κάψιμο από το κρύο του αερίου που αποβάλλεται από το φυσίγγιο, απώλεια του αντανακλαστικού βήχα, αποπροσανατολισμός, ζάλη και κίνδυνος πτώσης.

Οι κίνδυνοι σε περίπτωση τακτικής χρήσης ή και υψηλών δόσεων, είναι η ανεπάρκεια ή και η αδρανοποίηση της βιταμίνης B12 που μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη του νωτιαίου μυελού και αναιμία και οι ψυχικές διαταραχές.

Από την άλλη πλευρά, λόγω του ότι αποτελεί ένα επικίνδυνο αέριο του θερμοκηπίου, καταβάλλονται προσπάθειες από τη χημική βιομηχανία που παράγει νιτρικό και αδιπικό οξύ, να μειωθούν οι εκπομπές τους. Σήμερα υπάρχουν τεχνικές διαθέσιμες για την παραγωγή αυτών των οξέων ελαχιστοποιώντας την παραγωγή Υποξειδίου του Αζώτου

(N₂O), τόσο στην επεξεργασία των αερίων που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, όσο και κατά την παραγωγή αυτών των οξέων.

Επιπλέον, καταβάλλεται προσπάθεια για τη μείωση της ροής του Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O) ανθρωπογενούς προέλευσης, ιδίως από το γεωργικό περιβάλλον που παραμένει επί του παρόντος η κύρια πηγή Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O). Η διαχείριση των χημικών και οργανικών λιπασμάτων, που είναι η κύρια πηγή Υποξειδίου του Αζώτου (N₂O), πρέπει να είναι αιτιολογημένη και βελτιστοποιημένη έτσι ώστε οι αζωτούχες εισροές που προστίθενται στο έδαφος να χρησιμοποιούνται από φυτικές καλλιέργειες και όχι από μικροοργανισμούς του εδάφους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Akiyama, H., Yan, X.Y., Yagi, K., 2010. Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N₂O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Global Change Biol.* 16, 1837-1846.

American Academy of Pediatric Dentistry. Clinical guideline on the elective use of minimal, moderate, and deep sedation and general anesthesia for pediatric dental patients. *Pediatr Dent.* 2004;25:95–103.

Antonucci MU, Subacute Combined Degeneration from Recreational Nitrous Oxide Inhalation, *J. Emerg. Med.*, mai 2018, 54(5):e105-e107, DOI:10.1016/j.jemermed.2018.01.045

Badr, O., & Probert, S. D. (1993). Environmental impacts of atmospheric nitrous oxide. *Applied energy*, 44(3), 197-231.

Bar-Meir, E., Zaslansky, R., Regev, E., Keidan, I., Orenstein, A., & Winkler, E. (2006). Nitrous oxide administered by the plastic surgeon for repair of facial lacerations in children in the emergency room. *Plastic and reconstructive surgery*, 117(5), 1571-1575.

Baskett PJ. Use of Entonox in the ambulance service. *Br Med J.* 1970;2:41–43

Becker, D. E., & Rosenberg, M. (2008). Nitrous oxide and the inhalation anesthetics. *Anesthesia progress*, 55(4), 124-131.

Benturquia N, Le Guen S, Canestrelli C, « Specific blockade of morphine- and cocaine-induced reinforcing effects in conditioned place preference by nitrous oxide in mice », *Neuroscience*, vol. 149, no 3, 2007, p. 477–86 (PMID 17905521, DOI 10.1016/j.neuroscience.2007.08.003

Blanton, A., 2006. Nitrous oxide abuse: dentistry's unique addiction. *J. Tenn. Dent. Assoc.* 86, 30e31.

Bouwman, A. F. (1990). Soils and the greenhouse effect.

Branda EM, Ramza JT, Cahill FJ, Tseng LF, Quock RM, « Role of brain dynorphin in nitrous oxide antinociception in mice », *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, vol. 65, no 2, 2000, p. 217–21 (PMID 10672972, DOI 10.1016/S0091-3057(99)00202-6)

Buizert A, Sharma R et Koppen H, When the Laughing Stops: Subacute Combined Spinal Cord Degeneration Caused by Laughing Gas Use, *J. Addict. Med.*, mai-juin 2017, 11(3):235-236, DOI:10.1097/ADM.0000000000000295

Caranto, J. D., Vilbert, A. C., & Lancaster, K. M. (2016). Nitrosomonas europaea cytochrome P460 is a direct link between nitrification and nitrous oxide emission. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(51), 14704-14709.

Cleary AG, Ramanan AV, Baildam E, Birch A, Sills JA, Davidson JE. Nitrous oxide analgesia during intra-articular injection for juvenile idiopathic arthritis. *Arch Dis Child*. 2002;86:416–418.

Cleary, A. G., Ramanan, A. V., Baildam, E., Birch, A., Sills, J. A., & Davidson, J. E. (2002). Nitrous oxide analgesia during intra-articular injection for juvenile idiopathic arthritis. *Archives of disease in childhood*, 86(6), 416-418.

Collins, M. (2015). A case report on the anxiolytic properties of nitrous oxide during labor. *Journal of Obstetric, Gynecologic & Neonatal Nursing*, 44(1), 87-92.

Cook HL, Newsom RS, Mensah E, Saeed M, James D, Ffytche TJ. Entonox as an analgesic agent during panretinal photocoagulation. *Br J Ophthalmol*. 2002;86:1107–1108.

Cotton F. A. et Wilkinson G. (1972), *Advanced Inorganic Chemistry*, a comprehensive text, 3e éd., Interscience Publishers, John Wiley & Sons, p. 355

Crutzen P.J. & D.H. Ehhalt, « Effects of nitrogen fertilizers and combustion on the stratospheric ozone layer », *Ambio*, 1977, p. 112-117.

David HN, Anseau M, Lemaire M, Abraini JH, « Nitrous oxide and xenon prevent amphetamine-induced carrier-mediated dopamine release in a memantine-like fashion and protect against behavioral sensitization », *Biological Psychiatry*, vol. 60, no 1, 2006, p. 49–57 (PMID 16427030, DOI 10.1016/j.biopsych.2005.10.007)

David R. Lide, *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press, 2009, 90e éd., 2804 p., Relié (ISBN 978-1-4200-9084-0).

Denis Richard, Jean-Louis Senon et Marc Valleur, *Dictionnaire des drogues et des dépendances*, Paris, Larousse, 2004, 626 p. (ISBN 2-03-505431-1)

Denisova, K. O., Ilyin, A. A., Rumyantsev, R. N., Ilyin, A. P., & Volkova, A. V. (2019). Nitrous oxide: Production, application, and protection of the environment. *Russian Journal of General Chemistry*, 89(6), 1338-1346.

Diana J. Walker et James P. Zacny, « Within- and between-subject variability in the reinforcing and subjective effects of nitrous oxide in healthy volunteers », *Drug and Alcohol Dependence*, vol. 64, no 1, 2001, p. 85–96 (PMID 11470344, DOI 10.1016/s0376-8716(00)00234-9)

Dohrn CS, Lichtor JL, Coalson DW, Uitvlugt A, de Wit H, Zacny JP, « Reinforcing effects of extended inhalation of nitrous oxide in humans », *Drug and Alcohol Dependence*, vol. 31, no 3, 1993, p. 265–80 (PMID 8462415, DOI 10.1016/0376-8716(93)90009-F).

Dundee, J. W., & Moore, J. (1960). Alterations In Response To Somatic Pain Associated With Anaesthesia: IV: The Effect Of Sub-Anaesthetic Concentrations Of Inhalation Agents. *British Journal of Anaesthesia*, 32(10), 453-459.

Ehirim E. M., Declan P. Naughton, and Andrea Petróczi (2017) No Laughing Matter: Presence, Consumption Trends, Drug Awareness, and Perceptions of “Hippy Crack” (Nitrous Oxide) among Young Adults in England, *Front Psychiatry*. 2017; 8: 312.

Emmanouil DE, Quock RM, « Advances in Understanding the Actions of Nitrous Oxide », *Anesthesia Progress*, vol. 54, no 1, 2007, p. 9–18 (PMID 17352529, PMCID 1821130, DOI 10.2344/0003-3006(2007)54[9:AIUTAO]2.0.CO;2)

European Agency of the Environment, Trends in atmospheric concentrations of CO₂, CH₄ and N₂O , 2019.

Fidalgo, M., Prud'homme, T., Allio, A., Bronnec, M., Bulteau, S., Jolliet, P., & Victorri-Vigneau, C. (2019). Nitrous oxide: What do we know about its use disorder potential? Results of the French Monitoring Centre for Addiction network survey and literature review. *Substance abuse*, 40(1), 33-42.

Forbes, G. M., & Collins, B. J. (2000). Nitrous oxide for colonoscopy: a randomized controlled study. *Gastrointestinal endoscopy*, 51(3), 271-277.

Gall, O., Annequin, D., Benoit, G., Van Glabeke, E., Vrancea, F., & Murat, I. (2001). Adverse events of premixed nitrous oxide and oxygen for procedural sedation in children. *The Lancet*, 358(9292), 1514-1515.

Gaidei, T.P., Kokorin, A.I., Pillet, N., Strukova, M.E., and Khaustova, M.E., *Zh. Fiz. Khim.*, 2007, vol. 81, no. 6, p. 1028.

Gerhardt RT, King KM, Wiegert RS. Inhaled nitrous oxide versus placebo as an analgesic and anxiolytic adjunct to peripheral intravenous cannulation. *Am J Emerg Med*. 2001; 19:492–494.

Gerhardt, R. T., King, K. M., & Wiegert, R. S. (2001). Inhaled nitrous oxide versus placebo as an analgesic and anxiolytic adjunct to peripheral intravenous cannulation. *The American journal of emergency medicine*, 19(6), 492-494.

Gillman M. (2019) Mini-Review: A Brief History of Nitrous Oxide (N₂O) Use in Neuropsychiatry, *Curr Drug Abuse Rev*. 2019 Jun; 11(1): 12–20

Gillman, M.A., 1992. Nitrous oxide abuse in perspective. *Clin. Neuropharmacol*. 15, 297e306.

Golubyatnikov, L. L., Mokhov, I. I., & Eliseev, A. V. (2013). Nitrogen cycle in the earth climatic system and its modeling. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 49(3), 229-243.

Harding TA, Gibson JA. The use of inhaled nitrous oxide for flexible sigmoidoscopy: a placebo-controlled trial. *Endoscopy*. 2000;32:457–460.

Harding, T. A., & Gibson, J. A. (2000). The use of inhaled nitrous oxide for flexible sigmoidoscopy: a placebo-controlled trial. *Endoscopy*, 32(06), 457-460.

Haynes W., CRC Handbook of Chemistry and Physics, CRC, 2010-2011, 91e ed., 2610 p. (ISBN 978-1-4398-2077-3), p. 14-40.

Holland, E. A., Robertson, G. P., Greenberg, J., Groffman, P. M., Boone, R. D., & Gosz, J. R. (1999). Soil CO₂, N₂O, and CH₄ exchange. Standard soil methods for long-term ecological research, 185-201.

Hornbein TF, Eger EI 2nd, Winter PM, Smith G, Wetstone D, Smith KH. The minimum alveolar concentration of nitrous oxide in man. *Anesth Analg.* 1982;61:553–556.

Huang C. and Nathaniel Johnson (2016) Nitrous Oxide, From the Operating Room to the Emergency Department, *CurrEmerg Hosp Med Rep.* 2016; 4: 11–18.C

Huang, C., & Johnson, N. (2016). Nitrous oxide, from the operating room to the emergency department. *Current emergency and hospital medicine reports*, 4(1), 11-18.

Hwang, J. C. F., Himel, H. N., & Edlich, R. F. (1996). Frostbite of the face after recreational misuse of nitrous oxide. *Burns*, 22(2), 152-153.

Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report, p. 731.

Jackson DL, Johnson BS. Inhalational and enteral conscious sedation for the adult dental patient. *Dent Clin North Am.* 2002;46:781–802.

Jan van Amsterdam, Ton Nabben, Wim van den Brink (2015) Recreational nitrous oxide use: Prevalence and risks, *RegulToxicol Pharmacol*;73(3):790-6.

Jevtovic-Todorovic V, Todorovic SM, Mennerick S, Powell S, Dikranian K, Benschhoff N, Zorumski CF, Olney JW. Nitrous oxide (laughing gas) is an NMDA antagonist, neuro[1]protectant and neurotoxin. *Nature Med.* 1998;4:460–463.

Johnson K, Mikhail P, Kim MG, Bosco A et Huynh W, Recreational nitrous oxide-associated neurotoxicity, *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, 2018, 89(8):897-898, DOI:10.1136/jnnp-2017-317768

Johnston D. (2008) Anaesthesia and the Practice of Medicine: Historical Perspectives, *Ulster Med J.* 2008 May; 77(2): 142.

Johnston, H. S., Serang, O. & Podolske, J., Instantaneous global nitrous oxide photochemical rates. *J. Geophys. Res.*, 84 (1979) 5077-82.

Kanter D., Claudia Wagner-Riddle, Peter M. Groffman et Eric A. Davidson, « Improving the social cost of nitrous oxide », *Nature Climate Change*, vol. 11, no 12, December 2021

Kanter D., Mauzerall D.L., Ravishankara A.R., Daniel J.S., Portmann R.W., Grabel P.M., Galloway J.N. (2012), A post-Kyoto partner: considering the stratospheric ozone regime as a tool to manage nitrous oxide, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 201222231

Katz J. Pre-emptive analgesia: evidence, current status and future directions. *Eur J Anaesthesiol.* 1995; Suppl 10: 8–13.

Katz, J. (1995). Pre-emptive analgesia: evidence, current status and future directions.

Keddie S, Adams A, Kelso ARC, Turner B, Schmierer K, Gnanapavan S, Malaspina A, Giovannoni G, Basnett I et Noyce AJ, No laughing matter: subacute degeneration of the spinal cord due to nitrous oxide inhalation , *J. Neurol.*, 2018, 265(5):1089-1095, DOI:10.1007/s00415-018-8801-3

Koyanagi S, Himukashi S, Mukaida K, Shichino T, Fukuda K, « Dopamine D2-like receptor in the nucleus accumbens is involved in the antinociceptive effect of nitrous oxide », *Anesthesia and Analgesia*, vol. 106, no 6, 2008, p. 1904–9 (PMID 18499630, DOI 10.1213/ane.0b013e318172b15b, CiteSeerx 10.1.1.327.9838)

Kulish, O.N. and Kuzhevatorov, S.A., *Zashch. Okr. Sredy Neftegaz. Kompl.*, 2002, no. 9, p. 12.

Kwon, Y. J., Rho, J. H., Hwang, J., & Baek, S. H. (2019). Unhappy end of ‘happy balloons’: subacute combined degeneration caused by nitrous oxide gas. *Journal of Clinical Neurology*, 15(1), 118-119.

Lancaster Jack R, Jr (2015) Nitric oxide: a brief overview of chemical and physical properties relevant to therapeutic applications, *Future Sci OA.* 2015 Aug; 1(1): FSO59.

Lew V, E McKay, M Maze (2018) Past, present, and future of nitrous oxide, *Br Med Bull.* 2018 Mar 1;125(1):103-119.

Likis, F.E., Andrews, J.C., Collins, M.R., Lewis, R.M., Seroogy, J.J., Starr, S.A., Walden, R.R., McPheeters, M.L., 2014. Nitrous oxide for the management of labor pain: a systematic review. *Anesth. Analg.* 118, 153e167

Mampaey K E, B Beuckels, M J Kampschreur, R Kleerebezem, M C M van Loosdrecht, E I P Volcke (2013) Modelling nitrous and nitric oxide emissions by autotrophic ammonia-oxidizing bacteria, *Environ Technol.* May-Jun 2013;34(9-12):1555-66.

Masood J, Shah N, Lanes T, Andrews H, Simpson P, Barua JM. Nitrous oxide (entonox) inhalation and tolerance of transrectal ultrasound guided prostate biopsy: a double-blind

Maze M, Fujinaga M, « Recent advances in understanding the actions and toxicity of nitrous oxide », *Anaesthesia*, vol. 55, no 4, 2000, p. 311–4 (PMID 10781114, DOI 10.1046/j.1365-2044.2000.01463.x)

Menon S., Denman K.L., Brasseur G., Chidthaisong A., Ciais P., Cox P. M., ... et Jacob D. (2007), Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry (no LBNL-464E), Lawrence Berkeley National Lab. (LBNL), Berkeley, CA

Morris N, Lynch K et Greenberg SA (2015), Severe motor neuropathy or neuronopathy due to nitrous oxide toxicity after correction of vitamin B12 deficiency, *Muscle Nerve*, 51(4):614-6, DOI:10.1002/mus.24482

Nagele, P., Duma, A., Kopec, M., Gebara, M.A., Parsoei, A., Walker, M., Janski, A., Panagopoulos, V.N., Cristancho, P., Miller, J.P., Zorumski, C.F., Conway, C.R., 2015. Nitrous oxide for treatment-resistant major depression: a proof-of-concept trial. *Biol. Psychiatry* 78, 10e18.

Nakazawa, T. (2020). Current understanding of the global cycling of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 96(9), 394-419.

Noskov, A.S. and Pai, Z.P., *Tekhnologicheskie metody zashchity atmosfery ot vrednykh vybrosov na pred- priyatiyakh energetiki (Technological Methods of Protecting the Atmosphere against Harmful Emissions at Energy Industries)*, Novosibirsk: Sib. Otd. Ross. Akad. Nauk, 1996.

Orlova, M.N., Rebrov, A.I., Kulish, O.N., and Kuzhevato, S.A., *Izv. Samar. Nauchn. Tsentra Ross. Akad. Nauk*, 2012, no. 14, p. 846.

Oussalah, A., Julien, M., Levy, J., Hajjar, O., Franczak, C., Stephan, C., ... & Guéant, J. L. (2019). Global burden related to nitrous oxide exposure in medical and recreational settings: a systematic review and individual patient data meta-analysis. *Journal of clinical medicine*, 8(4), 551.

Palacz, T. (2017). Nitrous oxide application for low-thrust and low-cost liquid rocket engine. *Proceedings of the 7th EUCASS, Milano, Italy*, 3-6.

Parlow, J. L., Milne, B., Tod, D. A., Stewart, G. I., Griffiths, J. M., & Dudgeon, D. J. (2005). Self-administered nitrous oxide for the management of incident pain in terminally ill patients: a blinded case series. *Palliative medicine*, 19(1), 3-8.

Parmon V. N., G. I. Panov, A. Uriarte et A. S. Noskov, « Nitrous oxide in oxidation chemistry and catalysis application and production », Elsevier, vol. 100, 2005, p. 115-131 (DOI 10.1016/j.cattod.2004.12.012) Overview of Greenhouse Gases – Nitrous Oxide » [archive], US EPA

Perkins S., « Leafcutter ant ‘compost piles’ produce potent greenhouse gases »

Poorsattar, S. P. (2010). Recognizing and managing dental fears: anxiety from the perspective of a dental student. *Journal of Dental Education*, 74(4), 397-401.

Portmann, R. W., Daniel, J. S., & Ravishankara, A. R. (2012). Stratospheric ozone depletion due to nitrous oxide: influences of other gases. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1593), 1256-1264.

Ramsay, D. S., Brown, A. C., & Woods, S. C. (1992). Acute tolerance to nitrous oxide in humans. *Pain*, 51(3), 367-373.

- Randeniya, L. K., Vohralik, P. F. et Plumb, I. C. (2002), Stratospheric ozone depletion at northern mid latitudes in the 21st century: The importance of future concentrations of greenhouse gases nitrous oxide and methane, *Geophysical research letters*, 29(4). randomized controlled study. *J Urol*. 2002;168:116–120.
- Ravishankara, A. R., Daniel, J. S., & Portmann, R. W. (2009). Nitrous oxide (N₂O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *science*, 326(5949), 123-125.
- Robertson GP, Groffman PM (2015) Nitrogen transformations. In: *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (4th edn, ed. Paul EA), pp. 421–446. Academic Press, Burlington, MA.
- Rogozhnikov, D.A., Karelov, S.V., and Mamyachenkov, S.V., *Sovrem. Probl. Nauki Obraz.*, 2011, no. 6, p. 55.
- Romanova, I.V. and Farbun, I.A., *Rep. Natl. Acad. Sci. Ukr.*, 2008, no. 10, p. 154.
- Rooks, J.P., 2011. Safety and risks of nitrous oxide labor analgesia: a review. *J. Midwifery Womens Health* 56, 557e565.
- Rosen, M. A. (2002). Nitrous oxide for relief of labor pain: a systematic review. *American journal of obstetrics and gynecology*, 186(5), S110-S126.
- Rosenberg, H., Orkin, F.K., Springstead, J., 2015. Abuse of nitrous oxide. *Anesth. Analg.* 58, 104e106
- Rubino, M., Etheridge, D. M., Thornton, D. P., Howden, R., Allison, C. E., Francey, R. J., ... & Smith, A. M. (2019). Revised records of atmospheric trace gases CO₂, CH₄, N₂O, and δ¹³C-CO₂ over the last 2000 years from Law Dome, Antarctica. *Earth System Science Data*, 11(2), 473-492.
- Ryden, J. C. (1983). Denitrification loss from a grassland soil in the field receiving different rates of nitrogen as ammonium nitrate. *Journal of Soil Science*, 34(2), 355-365.
- Ryding HA, Murphy HJ. Use of nitrous oxide and oxygen for conscious sedation to manage pain and anxiety. *J Can Dent Assoc.* oct 2007;73(8):711.
- Schreiber Frank, Pascal Wunderlin, Kai M. Udert, and George F. Wells (2012) Nitric oxide and nitrous oxide turnover in natural and engineered microbial communities: biological pathways, chemical reactions, and novel technologies, *Front Microbiol.* 2012; 3: 372.
- Sessler D. (2017) Nitrous Oxide is an Effective and Safe Anesthetic, *Turk J AnaesthesiolReanim.* 2017 Feb; 45(1): 1–2.
- Simpler C.A. (1962) Nitrous oxide in the food and aerosol industries, *AnesthAnalg.* Jan-Feb 1962; 41:112-4.

Sinead Savage and Daqing Ma (2014) The Neurotoxicity of Nitrous Oxide: The Facts and “Putative” Mechanisms, *Brain Sci.* 2014 Mar; 4(1): 73–90.

Skiba, U., & Ball, B. (2002). The effect of soil texture and soil drainage on emissions of nitric oxide and nitrous oxide. *Soil Use and Management*, 18(1), 56-60.

Strauss, W., *Industrial Gas Cleaning. The Principles and Practice of the Control of Gaseous and Particulate Emissions*, 2nd ed., Oxford: Pergamon, 1975.

Thompson R. L., L. Lassaletta, P. K. Patra et C. Wilson, « Acceleration of global N₂O emissions seen from two decades of atmospheric inversion », *Nature Climate Change*, vol. 9, no 12, 18 novembre 2019, p. 993–998 (ISSN 1758-6798, DOI 10.1038/s41558-019-0613-7).

Thompson, A. G., Leite, M. I., Lunn, M. P., & Bennett, D. L. (2015). Whippits, nitrous oxide and the dangers of legal highs. *Practical neurology*, 15(3), 207-209.

Tian, H., Xu, R., Canadell, J. G., Thompson, R. L., Winiwarter, W., Suntharalingam, P., ... & Yao, Y. (2020). A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. *Nature*, 586(7828), 248-256.

Tingzhen Ming, Renaud de Richter, Sheng Shen, Sylvain Caillol (2016) Fighting global warming by greenhouse gas removal: destroying atmospheric nitrous oxide thanks to synergies between two breakthrough technologies, *Environ Sci Pollut Res Int.* 2016 Apr;23(7):6119-38.

Velthof, G. L., & Oenema, O. (1995). Nitrous oxide fluxes from grassland in the Netherlands: II. Effects of soil type, nitrogen fertilizer application and grazing. *European Journal of Soil Science*, 46(4), 541-549.

Walker DJ, Zacny JP, « Within- and between-subject variability in the reinforcing and subjective effects of nitrous oxide in healthy volunteers », *Drug and Alcohol Dependence*, vol. 64, no 1, 2001, p. 85–96 (PMID 11470344, DOI 10.1016/S0376-8716(00)00234-9).

Webb Jackie R., Nicole M. Hayes, Gavin L. Simpson, Peter R. Leavitt, a Helen M. Baulch, and Kerri Finlay (2019) Widespread nitrous oxide undersaturation in farm waterbodies creates an unexpected greenhouse gas sink, *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2019 May 14; 116(20): 9814–9819.

WHO Model List of Essential Medicines, 18th list, 2013.

Wuebbles D.J. (2009), Nitrous oxide: no laughing matter, *Science*, 326, 5949, p. 56-57. Yamakura T, Harris RA, « Effects of gaseous anaesthetics nitrous oxide and xenon on ligand-gated ion channels. Comparison with isoflurane and ethanol », *Anesthesiology*, vol. 93, no 4, 2000, p. 1095–101 (PMID 11020766, DOI 10.1097/00000542-200010000-00034)

Zacny JP, Galinkin JL, « Psychotropic drugs used in anesthesia practice: abuse liability and epidemiology of abuse », *Anesthesiology*, vol. 90, no 1, 1999, p. 269–88 (PMID 9915336, DOI 10.1097/00000542-199901000-00033).

Zacny JP, Yajnik S, Coalson D, Lichtor JL, Apfelbaum JL, Rupani G, Young C, Thapar P, Klafta J, « Flumazenil may attenuate some subjective effects of nitrous oxide in humans: a preliminary report », *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, vol. 51, no 4, 1995, p. 815–9 (PMID 7675863, DOI 10.1016/0091-3057(95)00039-Y).

Zhu, X., et al., Ammonia oxidation pathways and nitrifier denitrification are significant sources of N₂O and NO under low oxygen availability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013. 110(16): p. 6328-6333.