



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Θαλάσσιων Κατασκευών

**Υποβρύχιες Συγκολλήσεις και Κοπές  
και Ασφάλεια του Δύτη**

Διπλωματική Εργασία

Του

Ευθυμίου Γ. Κωνσταντίνου - Χρήστου

**Επιβλέπων :** Βασίλειος Ι. Παπάζογλου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π..

Αθήνα, Ιούνιος 2010



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

## Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Θαλάσσιων Κατασκευών

### Υποβρύχιες Συγκολλήσεις και Κοπές και Ασφάλεια του Δύτη

Διπλωματική Εργασία

Του

Ευθυμίου Γ. Κωνσταντίνου - Χρήστου

**Επιβλέπων :** Βασίλειος Ι. Παπάζογλου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από τη τριμελή εξεταστική επιτροπή στις .....

.....  
Δημήτριος Ι. Παντελής  
Αναπληρωτής Καθηγητής

.....  
Ιωάννης Κ. Χατζηγεωργίου  
Λέκτορας

.....  
Βασίλειος Ι. Παπάζογλου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2010

.....  
Ευθυμίου Γ. Κωνσταντίνος - Χρήστος  
Διπλωματούχος Ναυπηγός Μηχανολόγος Μηχανικός  
©2010 – All rights reserved



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

## Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών

### Τομέας Θαλάσσιων Κατασκευών

Copyright ©–All rights reserved Ευθυμίου Γ. Κωνσταντίνος – Χρήστος, 2010.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα κατ' αρχήν να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Βασίλειο Ι. Παπάζογλου, καθηγητή της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, για την εμπιστοσύνη που έδειξε με την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος και για την πολύτιμη συνεργασία του.

Στη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας δέχτηκα τις συμβουλές δυτών που πραγματοποιούν υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές και τους ευχαριστώ θερμά για αυτό.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τα τόσα χρόνια αμέριστης συμπαράστασης και υπομονής που έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## Περίληψη

Αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι οι υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές. Τα τελευταία χρόνια οι υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο στον τομέα των θαλάσσιων κατασκευών. Άλλωστε, με τη βελτίωση της ποιότητάς τους άρχισαν να βρίσκουν εφαρμογή σε ένα μεγάλο φάσμα δραστηριοτήτων. Σε αυτή την εργασία θα αναφερθούν οι μέθοδοι και οι διαδικασίες παραγωγής των υποβρύχιων συγκολλήσεων και κοπών, καθώς επίσης και πως επηρεάζονται από το υγρό περιβάλλον και την αυξημένη πίεση. Επιπλέον, αξίζει να αναφερθεί ότι ο συγκεκριμένος τομέας εργασίας αποτελεί ένα από τα πιο επικίνδυνα επαγγέλματα παγκοσμίως με αρκετά θανατηφόρα ατυχήματα. Γι' αυτό το λόγο θα αναλυθούν οι κίνδυνοι και τα προβλήματα υγείας που πιθανόν να αντιμετωπίσουν οι δύτες. Τέλος, θα προταθούν κανόνες ασφαλείας και τρόποι αντιμετώπισης αυτών των κινδύνων.

# Abstract

The objective of this thesis is the underwater welding and cutting. Through the past few years the underwater welding and cutting have constituted an important tool in the sector of marine structures. With the improvement of their quality they have started to find application in a big spectrum of activities. In this paper the methods and the processes for the production of underwater welding and cutting will be reported, as well as how they are influenced by the humid environment and the increased pressure. Furthermore, it should be mentioned that this area of work constitutes one of the most dangerous professions worldwide with enough fatal accidents. For this reason the dangers and the health problems that the divers are likely to face will be analyzed. Finally, safety rules and ways to confront these dangers will be proposed.

# Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη.....	6
Abstract .....	7
Φωτογραφίες.....	11
Πίνακες.....	14
1. Εισαγωγή .....	15
1.1. Πρόλογος .....	15
1.2. Ιστορική αναδρομή.....	16
1.3. Εφαρμογές.....	20
1.4. Κατηγορίες και μια πρώτη σύγκριση.....	22
1.4.1. Υποβρύχιες κοπές .....	22
1.4.2. Υποβρύχιες συγκολλήσεις.....	24
1.5. Επιρροή του περιβάλλοντος.....	26
2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις .....	28
2.1. Μέθοδοι υποβρύχιων συγκολλήσεων .....	28
2.2. Υγρές συγκολλήσεις .....	31
2.2.1. Εισαγωγή.....	31
2.2.2. Αρνητικοί παράγοντες.....	33
2.2.3. Ηλεκτρικά τόξα κάτω από το νερό .....	35
2.2.4. Επίδραση της πίεσης στις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις .....	39
2.2.5. Επίδραση του νερού στις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις.....	40
2.2.6. Μαγνητική επιρροή.....	42
2.2.7. Μεταφορά μετάλλου .....	45
2.2.8. Βασικές τεχνικές υγρών υποβρύχιων συγκολλήσεων.....	45
2.2.9. Μέθοδοι υγρών υποβρύχιων συγκολλήσεων.....	48
2.3. Στεγνές υπερβαρικές συγκολλήσεις .....	53
2.3.1. Εισαγωγή.....	53
2.3.2. Αρνητικοί παράγοντες.....	55
2.3.3. Οξειδωση του άνθρακα.....	56
2.3.4. Αυξημένα επίπεδα ακαθαρσιών.....	58
2.3.5. Μέθοδοι στεγνών υποβρύχιων συγκολλήσεων .....	59
2.4. Όρια βάθους.....	63
2.5. Μικροδομή και μεταλλουργία υποβρύχιων συγκολλήσεων .....	64



2.6. Ανακούφιση υδρογόνου .....	67
2.7. Εμφάνιση πόρων.....	70
2.8. Προδιαγραφές αξιολόγησης .....	72
2.9. Μη-καταστρεπτικοί έλεγχοι υποβρύχιων συγκολλήσεων.....	77
3. Υποβρύχιες Κοπές.....	81
3.1. Εισαγωγή.....	81
3.2. Κοπή οξυγόνου-τόξου (oxygen-arc cutting) .....	82
3.2.1. Αρχές λειτουργίας.....	82
3.2.2. Σωληνοειδή χαλύβδινα ηλεκτρόδια (steel tubular electrodes) .....	83
3.2.3. Εξωθερμικά ηλεκτρόδια (exothermic electrodes).....	90
3.2.4. Θερμικό καλώδιο (thermal cable).....	95
3.3. Κοπή με επενδυμένα ηλεκτρόδια (shielded metal arc cutting) .....	97
3.4. Κοπή οξυγόνου (oxyfuel gas cutting).....	100
3.5. Κοπή με τόξο πλάσματος (plasma arc cutting) .....	107
3.6. Κοπή τόξου με δέσμη νερού (electrical arc with water jet cutting).....	110
3.7. Κοπή με χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων (flux-cored wire cutting).....	112
4. Προβλήματα Υγείας και Κίνδυνοι .....	116
4.1. Εισαγωγή.....	116
4.2. Προβλήματα υγείας από τις καταδύσεις .....	117
4.2.1. Εισαγωγή.....	117
4.2.2. Υποξία.....	119
4.2.3. Υπερκαπνία .....	122
4.2.4. Ασφυξία και πνιγμός.....	125
4.2.5. Ακούσιος υπεραερισμός και υποκαπνία.....	126
4.2.6. Βαροτραύματα αεροφόρων χώρων .....	127
4.2.7. Πνευμονικά βαροτραύματα.....	135
4.2.8. Νάρκωση αζώτου.....	140
4.2.9. Τοξικότητα οξυγόνου.....	142
4.2.10. Δηλητηρίαση μονοξειδίου του άνθρακα .....	145
4.2.11. Νόσος εξ' αποσυμπίεσης ή νόσος των δυτών .....	146
4.2.11. Θερμικά προβλήματα στις καταδύσεις.....	154
4.2.12. Ειδικά προβλήματα στις στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις μεγάλου βάθους..	158
4.2.13. Μακροχρόνια προβλήματα .....	159
4.3. Έρευνα του πανεπιστήμιου Aberdeen για πιθανά μυοσκελετικά και γνωστικά προβλήματα στους δύτες-συγκολλητές .....	161

4.4. Προβλήματα στη στοματική κοιλότητα δυντών που πραγματοποιούν υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές ηλεκτρικού τόξου .....	166
4.5 Ηλεκτρισμός μέσα στο νερό .....	168
4.6. Κίνδυνος από εκρηκτικά αέρια .....	172
4.7.Κίνδυνοι από το υποβρύχιο περιβάλλον .....	174
4.8. Κοινοί κίνδυνοι με τις συγκολλήσεις και κοπές στην επιφάνεια .....	180
5. Κανόνες Ασφάλειας .....	187
5.1. Εισαγωγή.....	187
5.2. Γενικοί κανόνες ασφαλείας για τις στεγνές υπερβαρικές συγκολλήσεις .....	189
5.3. Γενικοί κανόνες ασφαλείας για τις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις και για κοπές με ηλεκτρικό τόξο.....	191
5.4. Γενικοί κανόνες ασφαλείας για κοπές με θερμικό καλώδιο και θερμική λόγχη .....	194
5.5. Γενικοί κανόνες ασφαλείας για κοπές με τόξο πλάσματος .....	195
5.6. Γενικοί κανόνες ασφαλείας για οξυγόνου κοπές .....	196
5.7. Γενικές προφυλάξεις για τις υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές.....	196
5.8. Κανόνες ασφαλείας για τα εκρηκτικά αέρια .....	197
5.9. Κανόνες ασφαλείας για το ηλεκτρικό ρεύμα κάτω από το νερό .....	200
5.10. Κανόνες ασφαλείας για τις πηγές ενέργειας .....	202
5.11. Κανόνες ασφαλείας για τις τσιμπίδες ηλεκτροδίων και τα πιστόλια κοπής.....	203
5.12. Κανόνες ασφαλείας για τις ηλεκτρικές συνδέσεις και τα ηλεκτρικά καλώδια.....	204
5.13. Κανόνες ασφαλείας για τους διακόπτες ασφαλείας.....	205
5.14. Κανόνες ασφαλείας για την αποφυγή φωτιάς .....	206
5.15. Κανόνες ασφαλείας για τον χειρισμό πεπιεσμένων αερίων .....	207
5.16. Ενδεικτικός οδηγός ασφαλείας για τις καταδύσεις.....	211
5.17. Περιληπτικός οδηγός ασφαλείας για τις υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές .....	213
6. Συμπεράσματα .....	223
7. Βιβλιογραφία .....	225

## Φωτογραφίες

Φωτογραφία 1.1: Παράκτια κατασκευή

Φωτογραφία 1.2: Επαγγελματίες δύτες το 1926, έτοιμοι να βουτήξουν στο νερό

Φωτογραφία 1.3: Άρθρο σε περιοδικό το 1941 για το ηλεκτρικό τόξο μέσα στο νερό

Φωτογραφία 1.4: Θάλαμος για στεγνή υποβρύχια συγκόλληση

Φωτογραφία 1.5: Υποβρύχιες εργασίες σε υποθαλάσσιες σωληνώσεις

Φωτογραφία 1.6: Υποβρύχιες εργασίες σε πυρηνικές εγκαταστάσεις

Φωτογραφία 1.7: Υποβρύχιες εργασίες καθαρισμού γάστρας και προπέλας πλοίου

Φωτογραφία 2.1: Υγρή συγκόλληση

Φωτογραφία 2.2: Στεγνή συγκόλληση θαλάμου

Φωτογραφία 2.3: Στεγνή συγκόλληση ανοικτού στη βάση θαλάμου

Φωτογραφία 2.4: Στεγνή συγκόλληση μιας ατμόσφαιρας

Φωτογραφία 2.4: Στεγνή συγκόλληση μιας ατμόσφαιρας σε κιβώτιο

Φωτογραφία 2.6: Τυπική διάταξη κυκλώματος για υγρές συγκολλήσεις

Φωτογραφία 2.7: Το ηλεκτρικό τόξο κάτω από το νερό

Φωτογραφία 2.8: Κατανομή θερμότητας

Φωτογραφία 2.9: Θεωρητικές ζώνες τόξου

Φωτογραφία 2.10: Εκτροπή τόξου λόγω μαγνητικών δυνάμεων

Φωτογραφία 2.11: Περιοχές στις οποίες προκαλείται το μαγνητικό φύσημα.

Φωτογραφία 2.12: Χρήση λαμαρινών για μείωση του μαγνητικού φύσηματος

Φωτογραφία 2.13: Αντιμετώπιση του φύσηματος με αλλαγή του σημείου γείωσης

Φωτογραφία 2.14: Τεχνική της έλξης ή της αυτοκατανάλωσης σε οριζόντιες

αυχενικές συγκολλήσεις

Φωτογραφία 2.15: Τεχνική της ταλάντωσης

Φωτογραφία 2.16: Τεχνική του πίσω βήματος

Φωτογραφία 2.17: Συγκόλληση με επενδυμένα ηλεκτρόδια

Φωτογραφία 2.18: Συγκόλληση με τηκόμενο ηλεκτρόδιο και προστασία αερίου

Φωτογραφία 2.19: Συγκόλληση με τόξο πλάσματος

Φωτογραφία 2.20: Συγκόλληση τόξου με χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων

Φωτογραφία 2.21: Υποβρύχια στεγνή συγκόλληση

Φωτογραφία 2.22: Θάλαμος στεγνής συγκόλλησης

Φωτογραφία 2.23: Συγκόλληση με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστασία αερίου

Φωτογραφία 2.24: Ενδεικτικές μικρογραφίες συγκολλήσεων στην επιφάνεια και υποβρυχίως

Φωτογραφία 2.25: Διαγράμματα χημικής σύνθεσης συναρτήσει του βάθους

Φωτογραφία 2.26: Τεχνική ανακούφισης παραμένουσων τάσεων (temper bead practice)

Φωτογραφία 2.27: Η επιρροή της πίεσης στην εμφάνιση πόρων

Φωτογραφία 2.28: Σύγκριση ανάμεσα σε συγκολλήσεις στην επιφάνεια, σε υγρές και στεγνές υποβρυχίες συγκολλήσεις για τη σχέση μεταξύ πόρων και κόπωσης

Φωτογραφία 3.1: Υποβρύχια κοπή

Φωτογραφία 3.2: Σωληνοειδή χαλύβδινα ηλεκτρόδια

Φωτογραφία 3.3: Τυπικό παράδειγμα πιστολιού υποβρυχίας κοπής

Φωτογραφία 3.4: Υποβρύχια κοπή με εξωθερμικά ηλεκτρόδια

Φωτογραφία 3.5: Εξωθερμικά ηλεκτρόδια

Φωτογραφία 3.6: Υποβρύχια κοπή με θερμικό καλώδιο

Φωτογραφία 3.7: Τυπική διάταξη θερμικού καλωδίου

Φωτογραφία 3.8: Υποβρύχια κοπή με επενδυμένα ηλεκτρόδια

Φωτογραφία 3.9: Υποβρύχια κοπή με οξυγόνο

Φωτογραφία 3.10: Τυπικός καυστήρας υποβρυχίας κοπής με οξυγόνο

Φωτογραφία 3.11: Υποβρύχια κοπή τσιμέντου με θερμική λόγχη

Φωτογραφία 3.12: Τυπική διάταξη θερμικής λόγχης

Φωτογραφία 3.13: Υποβρύχια κοπή με τόξο πλάσματος λίγα μόνο mm κάτω από την επιφάνεια

Φωτογραφία 3.14: Υποβρυχίες κοπές με τόξο πλάσματος σε διαφορετικά βάθη

Φωτογραφία 3.15: Υποβρύχια νερού-τόξου κοπή

Φωτογραφία 3.16: Τυπικό πιστόλι νερού-τόξου κοπής

Φωτογραφία 3.17: Υποβρύχια κοπή με χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων

Φωτογραφία 4.1: Δύτης/συγκολλητής

Φωτογραφία 4.2: Ανατομία αυτιού

Φωτογραφία 4.3: Κόλποι στο κρανίο

Φωτογραφία 4.4: Αρτηριακή εμβολή αέρα

Φωτογραφία 4.5: α) Μεσοθωράκιο εμφύσημα, β) Υποδόριο εμφύσημα

Φωτογραφία 4.6: Πνευμοθώρακας Πίνακας 4.1: Συμπτώματα υποθερμίας

Φωτογραφία 4.7: Θερμοκρασία νερού και ο δύτης

Φωτογραφία 4.8: Barracuda

Φωτογραφία 4.9: Διεθνής κώδικας με σήματα σημαίας

Φωτογραφία 5.1: Δύτης επιχειρεί υποβρύχια εργασία

Φωτογραφία 5.2: Τυπική μάσκα για υποβρύχιες συγκολλήσεις

Φωτογραφία 5.3: Ένας τυπικός διπολικός μαχαιρωτός διακόπτης

Φωτογραφία 5.4: Εφεδρική αναπνευστική συσκευή

## Πίνακες

Πίνακας 2.1:Θερμοκρασίες βρασμού του νερού σε διάφορα βάθη

Πίνακας 4.1: Συμπτώματα υποθερμίας

Πίνακας 4.2: Ποσοστά εμφάνισης συμπτωμάτων σύμφωνα με την έρευνα

Πίνακας 4.3: Ποσοστό εμφάνισης ιατρικών παθήσεων σύμφωνα με την έρευνα

Πίνακας 4.4: Αναθυμιάσεις και πιθανές επιδράσεις, πηγή ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.

# 1. Εισαγωγή

## 1.1. Πρόλογος

Μέχρι την εμφάνιση και την εκμετάλλευση των παράκτιων ενεργειακών πόρων, οι υποβρύχιες συγκολλήσεις είχαν ελάχιστη χρήση και με απρόβλεπτα αποτελέσματα. Αυτές οι πρώιμες υγρές συγκολλήσεις πραγματοποιούντουσαν σε πίεση περιβάλλοντος με τον δύτε/συγκολλητή μέσα στο νερό και χωρίς κανένα μηχανικό εμπόδιο γύρω από το ηλεκτρικό τόξο. Οι στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις παρέμεναν ακόμα ένα άγνωστο πεδίο. Από την άλλη πλευρά, οι υποβρύχιες κοπές περιοριζόνταν σε επιχειρήσεις διάσωσης και στην αφαίρεση εμποδίων σε πλωτές οδούς.

Καθώς ο αριθμός των παράκτιων κατασκευών αυξανόταν και τα πρώτα σημάδια φθορών από κόπωση και διάβρωση έκαναν την εμφάνισή τους μαζί με τις πρώτες ζημιές από ατυχήματα, έγινε επιτακτική η ανάγκη για υποβρύχιες επισκευές με αναμενόμενα ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η χρήση στις πλωτές εξέδρες και στις υποθαλάσσιες σωληνώσεις χαλύβων υψηλής αντοχής, που είναι επιρρεπείς στη ρωγμάτωση λόγω παρουσίας υδρογόνου, οδήγησε στην αναγκαστική εξέλιξη των υποβρύχιων συγκολλήσεων. Τα τελευταία χρόνια, οι υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές έχουν χωρίς αμφιβολία βελτιώσει τόσο την ποιότητά τους, ώστε τους επιτρέπει να έχουν ένα μεγάλο φάσμα δραστηριοτήτων που πριν φαινόταν αδιανόητο. Η άφιξη καινούριων ηλεκτρόδιων και η ανάπτυξη σύγχρονων τεχνικών σε συνδυασμό με εξοπλισμό και πηγές ενέργειας τελευταίας τεχνολογίας, προσφέρουν ποιότητα συγκρίσιμη με συγκολλήσεις και κοπές στον αέρα. Το χαμηλό κόστος και η ταχύτητα δράσης τους τις καθιστά πολλές φορές ιδανική επιλογή.



Φωτογραφία 1.1: Παράκτια κατασκευή

## 1. Εισαγωγή

Σε χώρες, όπως οι ΗΠΑ και ο Καναδάς, πραγματοποιούνται σειρές εντατικών μαθημάτων για την εκπαίδευση δυτών από προσωπικό έμπειρο, καταρτισμένο και με χρόνια ενασχόληση στους συγκεκριμένους τομείς. Η διάρκεια των μαθημάτων είναι 30 εβδομάδες με τα πρώτα βήματα να γίνονται στον τομέα των υποβρύχιων κοπών και να ακολουθούν οι υποβρύχιες συγκολλήσεις. Τα αποτελέσματα αυτών των μαθημάτων είναι 300 πιστοποιημένοι δύτες για υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές κάθε χρόνο, το 90% των οποίων θα απασχοληθεί στις επισκευές και στη συντήρηση των παράκτιων πετρελαϊκών πλατφόρμων.

Στην εργασία αυτή θα αναφερθούν οι μέθοδοι και οι διαδικασίες παραγωγής υποβρύχιων συγκολλήσεων και κοπών που χρησιμοποιούνται περισσότερο μαζί με όλες τις σχετικές πληροφορίες που κρίνονται σκόπιμες. Θα συζητηθούν μέθοδοι μη καταστρεπτικού ελέγχου αυτών και προδιαγραφές αξιολόγησης των συγκολλήσεων και των εργαζομένων σε αυτές. Θα αναλυθούν κίνδυνοι και προβλήματα υγείας που περικλείουν αυτές οι εργασίες και θα προταθούν οδηγίες ασφαλείας και τρόποι αντιμετώπισης αυτών των κινδύνων.

## 1.2. Ιστορική αναδρομή

Ο Sir Humphrey Davey πρώτος έδειξε ότι ένα ηλεκτρικό τόξο μπορεί να διατηρηθεί μέσα στο νερό το 1802. Παρόλα αυτά, τα πρώτα σημαντικά πειράματα έγιναν στις αρχές του 1930. Ένα από αυτά πραγματοποιήθηκε από τους καθηγητές N.S. Hibshman και C.D. Jensen στο Lehigh University of America [6]. Όλα αυτά τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε μικρές γυάλινες δεξαμενές με τον συγκολλητή στον αέρα και μόνο τα χέρια του βυθισμένα μερικά εκατοστά μέσα στο νερό. Τα πειράματα αυτά γρήγορα έδειξαν ότι η χρήση ρεύματος σταθερής τάσης ενδείκνυται αντί ρεύματος εναλλασσόμενης τάσης, αφού προσφέρει συγκολλήσεις καλύτερης ποιότητας λόγω προβλημάτων συμπεριφοράς του τόξου με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Οι πρώτες υποβρύχιες κοπές με οξυγόνο πραγματοποιήθηκαν το 1908, αλλά με μικρή επιτυχία. Το 1926 έχουμε τη πρώτη αποτελεσματική χρήση της υποβρύχιας κοπής για τη διάσωση του υποβρυχίου S-51 που είχε βυθιστεί στα 43 m με χρήση καυστήρα οξυγόνου-υδρογόνου που το χειριζόταν ο Edward Ellsberg [3]. Έτσι για πρώτη φορά έχουμε υποβρύχια κοπή σε βάθος μεγαλύτερο των 10 m. Η κοπή



## 1. Εισαγωγή

οξυγόνου-τόξου χρονολογείται το 1980, αλλά δε χρησιμοποιήθηκε ιδιαίτερα μέχρι το 1985.



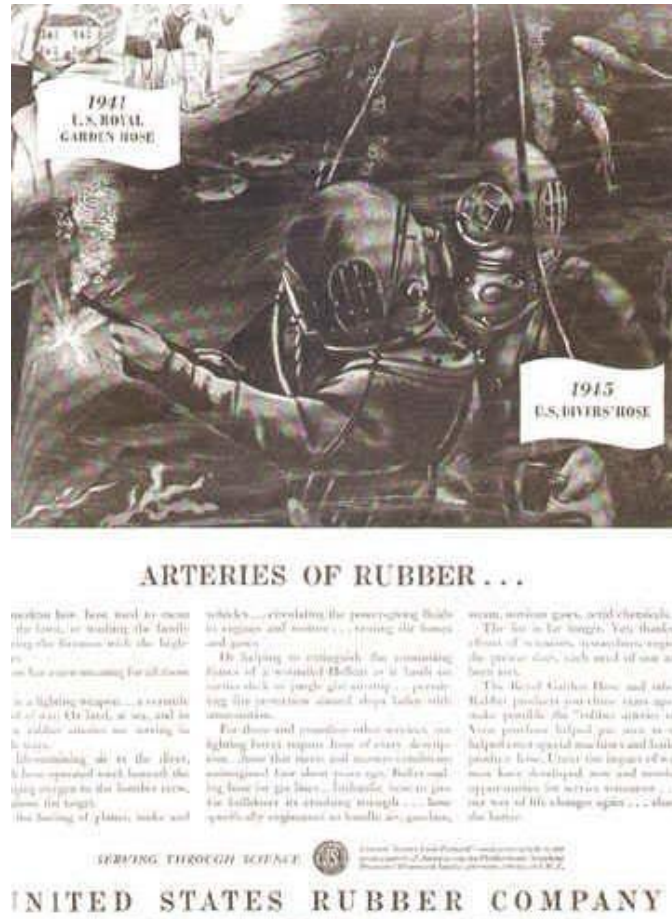
*Φωτογραφία 1.2: Επαγγελματίες δύτες το 1926, έτοιμοι να βουτήξουν στο νερό*

Παρόλο που η εξέλιξή τους προχωρούσε με αργούς ρυθμούς μέχρι το 1970, η χρήση των υποβρύχιων συγκολλήσεων δεν ήταν κάτι καινούριο. Το 1917, υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις βρήκαν χρήση για να σταματήσουν τις διαρροές από τις γάστρες των πλοίων. Καθώς ο Δεύτερος Παγκόσμιος Πόλεμος πλησίαζε στο τέλος του, οι υποβρύχιες συγκολλήσεις ήταν ένα σημαντικό εργαλείο για αρκετές επιδιορθώσεις στα πλοία και για την ναυαγιοαίρεση βυθισμένων πλοίων. Εκείνη την εποχή βέβαια, οι εργασίες που γίνονταν ήταν λύσεις ανάγκης, αφού οι δύτες δεν ήταν κατάλληλα εκπαιδευμένοι για υποβρύχιες συγκολλήσεις και δεν δινόταν ιδιαίτερη προσοχή στη διασφάλιση ποιότητας, στην απόκτηση σωστών μηχανικών ιδιοτήτων και στην αξιοπιστία της κατασκευής.

Στη δεκαετία μεταξύ του 1950-1960, όπου άρχισαν να κατασκευάζονται οι πρώτες εξέδρες στον κόλπο του Μεξικού, οι υποβρύχιες συγκολλήσεις ήρθαν στο προσκήνιο. Τα υλικά που συγκολλούνταν ήταν κοινοί ναυπηγικοί χάλυβες και οι απαιτήσεις σε αξιοπιστία και οικονομική αποδοτικότητα ήταν γενικά χαμηλές. Ο σχεδιασμός αυτών των κατασκευών δεν ήταν ο βέλτιστος και η δραστηριότητά τους στις υπηρεσιακές συνθήκες δεν εξασκούσε τέτοιες καταπονήσεις που να επιβάλλουν αυστηρά μέτρα ποιότητας στις διαδικασίες που εφαρμόστηκαν. Το μικρό βάθος στο

## 1. Εισαγωγή

οποίο ανεγέρθηκαν οι πρώτες κατασκευές (20-30 m) και οι υδροδυναμικές συνθήκες στην περιοχή του κόλπου του Μεξικού δεν απαιτούσαν ιδιαίτερη εξέλιξη στην τεχνολογία συγκολλήσεων για να αντιμετωπιστούν οι συνθήκες υπηρεσίας. Με το πέρασμα του καιρού, όμως, και με την ανάγκη εκμετάλλευσης κοιτασμάτων πετρελαίου και αερίου σε μεγαλύτερα βάθη παρουσιάστηκε η ανάγκη ανάπτυξης της τεχνολογίας των υποβρύχιων συγκολλήσεων.



Φωτογραφία 1.3: Άρθρο σε περιοδικό το 1941 για το ηλεκτρικό τόξο μέσα στο νερό

Η πρώτη, βασισμένη σε έγγραφα, υγρή υποβρύχια συγκόλληση έγινε το 1970 στο Memphis, Tennessee για επισκευές στο λιμάνι από την Chicago Bridge and Iron Company [2]. Το 1971 έχουμε τη πρώτη μεγάλη επισκευή πλωτής εξέδρας με υγρή υποβρύχια συγκόλληση. Η επισκευή αυτή εποπτεύθηκε από τον C.E.Grubbs και πραγματοποιήθηκε σε πλωτή εξέδρα εξόρυξης πετρελαίου της Humble Oil Co. στον κόλπο του Μεξικού. Από τότε χιλιάδες υγρές υποβρύχια συγκολλήσεις έχουν γίνει για επισκευές στις παράκτιες κατασκευές, στις υποθαλάσσιες σωληνώσεις, σε γάστρες πλοίων και σε λιμενικές εγκαταστάσεις.

## 1. Εισαγωγή

Το 1985, πέντε δύτες/συγκολλητές πιστοποιήθηκαν για συγκολλήσεις βάθους 100 m και πραγματοποίησαν επισκευές σε βάθος 50 m και 100 m σε εξέδρα στον κόλπο του Μεξικού [2]. Μέχρι το 1995, η ποιότητα καμίας μεθόδου υγρής υποβρύχιας συγκόλλησης δεν είχε πιστοποιηθεί για βάθος μεγαλύτερο των 100m.

Η πρώτη στεγνή υπερβαρική υποβρύχια συγκόλληση πραγματοποιήθηκε σε υποθαλάσσιες σωληνώσεις στον κόλπο του Μεξικού το 1965. Οι πρώτοι θάλαμοι, που χρησιμοποιήθηκαν στις στεγνές υποβρύχιας συγκολλήσεις, ήταν μεγάλοι σε μέγεθος, ζύγισαν μέχρι 60 ton και ήταν εξοπλισμένοι με υδραυλικά συστήματα για τον έλεγχό τους. Στη σημερινή εποχή οι περισσότεροι θάλαμοι δεν είναι σε μέγεθος μεγαλύτεροι από αυτό που απαιτείται για να περικλείουν την προς συγκόλληση περιοχή και να φιλοξενούν ένα ή δύο συγκολλητές. Το 1978, στις ΗΠΑ πραγματοποιήθηκε στεγνή υποβρύχια συγκόλληση με χρήση επενδυμένων ηλεκτρόδιων σε βάθος 305m [2]. Ακολούθησε μια περίοδος με συνεχείς στεγνές υποβρύχιας συγκολλήσεις σε ολοένα και μεγαλύτερα βάθη και η πειραματική δουλειά από δύο διαφορετικά ερευνητικά ευρωπαϊκά κέντρα οδήγησε το 1991 σε πιστοποιημένη ποιότητα στεγνής υποβρύχιας συγκόλλησης σε βάθος 600 m.



Φωτογραφία 1.4: Θάλαμος για στεγνή υποβρύχια συγκόλληση

Από τη δεκαετία του '80 και ύστερα, οι υποβρύχιας συγκολλήσεις και κοπές επέκτειναν τις δραστηριότητές τους σε εργασίες στη βιομηχανία πυρηνικής ενέργειας, που τώρα πια έχει εξελιχθεί σε μια ιδιαίτερη πετυχημένη συνεργασία. Το Φεβρουάριο του 1990, μια μικρή διήθηση σε ένα σωλήνα καυσίμων επισκευάστηκε με υγρή υποβρύχια συγκόλληση στις πυρηνικές εγκαταστάσεις του Wolf Creek, στο Κάνσας [2]. Χρειάστηκαν 2 μέρες δουλειάς και ο δύτες παρέμεινε στο νερό 3 και ½ ώρες. Εάν αυτό ήταν πραγματοποιημένο στην επιφάνεια, μια ομάδα 6 ανθρώπων θα είχε

## 1. Εισαγωγή

χρησιμοποιήσει 6 ημέρες για να αδειάσει και για να απολυμάνει τα κομμάτια, 1 ημέρα για να επιθεωρήσει και για να επισκευάσει το σωλήνα και 2 ημέρες για να γεμίσει πάλι το σωλήνα. Έτσι κατορθώθηκε να εκτελεσθεί η εργασία, κερδίζοντας 80% των δαπανών της επισκευής στην επιφάνεια και οι κίνδυνοι έκθεσης του προσωπικού μειώθηκαν σε μεγάλο βαθμό.

Τα τελευταία χρόνια το Αμερικάνικο Ναυτικό παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη νέων τεχνικών υποβρύχιων συγκολλήσεων και κοπών. Αυτό έχει συμβεί κυρίως σε απάντηση στη σταθερή αύξηση των δαπανών των εργασιών στα ναυπηγεία και στο δεξαμενισμό των πλοίων. Η χρήση τους σε επισκευές πλοίων έχει γίνει κοινή πρακτική. Ένα τυπικό παράδειγμα είναι το καταδρομικό USS Newport News, το οποίο ακινητοποιήθηκε στα τέλη του 1975 για εργασίες επιδιόρθωσης της γάστρας [3]. Τα 62 ανοίγματα στη γάστρα του απαίτησαν 53 εργατοημέρες, συνεργείο 18 δυτών, 504 εργατοώρες συγκόλλησης και ποσότητα 500 lb ηλεκτρόδιων. Η μείωση του κόστους ανήλθε στο 50%.

### 1.3. Εφαρμογές

Το χαμηλό κόστος και η ταχύτητα άμεσης επισκευής σε συνδυασμό με την εξέλιξη στην ποιότητά τους, στην αποτελεσματικότητά τους και στην αποδοτικότητά τους, πολλές φορές καθιστά τις υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές την πιο ιδανική λύση για ένα μεγάλο φάσμα δραστηριοτήτων. Οι υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές χρησιμοποιούνται για την κατασκευή, συντήρηση και κυρίως επισκευή παράκτιων κατασκευών και υποθαλάσσιων σωληνώσεων, σε εργασίες σε λιμενικές εγκαταστάσεις, σε μόνιμες ή προσωρινές επισκευές σε πλοία και τα τελευταία χρόνια σε επισκευές σε πυρηνικές εγκαταστάσεις. Αναλυτικότερα οι εφαρμογές αυτές περιλαμβάνουν:

- Παράκτιες κατασκευές - Επισκευές από διάβρωση και κόπωση από φυσικά φαινόμενα και κυματισμούς. Επισκευές για συνέχιση της λειτουργίας τους και αναβαθμίσεις για επέκταση των δραστηριοτήτων τους. Επισκευές από ατυχήματα κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους, όπως συγκρούσεις πλοίων ανεφοδιασμού λόγω κακών χειρισμών ή κακών καιρικών συνθηκών, από πτώσεις αντικειμένων ή ζημιές από άλλα ατυχήματα. Επισκευές από φυσικές καταστροφές, όπως τυφώνα ή

## 1. Εισαγωγή

τσουνάμι. Επισκευές λόγω κακού σχεδιασμού της κατασκευής με αποτέλεσμα την αστοχία της.

- Υποθαλάσσιες σωληνώσεις - Επισκευές ή αντικατάσταση χαλασμένων σωληνώσεων και αντλιών από διάβρωση, κόπωση, υπερβολικές φορτίσεις, συγκρούσεις ή άλλα ατυχήματα.



Φωτογραφία 1.5: Υποβρύχιες εργασίες σε υποθαλάσσιες σωληνώσεις

- Λιμενικές εγκαταστάσεις – Επισκευές ή αντικαταστάσεις σε ζημιές από διάβρωση, σύγκρουση ή κακή συναρμολόγηση των στηρίξεων του λιμανιού, καθαρισμός του λιμανιού από πτώση μεγάλων αντικειμένων κ.λπ.

- Πυρηνικές εγκαταστάσεις – Επισκευές σε διαρροές σε σωληνώσεις, στους εσωτερικούς αντιδραστήρες, επισκευές στο δίκτυο παραγωγής ξηρού ατμού λόγω κόπωσης και κακών χειρισμών κ.λπ.



Φωτογραφία 1.6: Υποβρύχιες εργασίες σε πυρηνικές εγκαταστάσεις



## 1. Εισαγωγή

- Πλοία – Προσωρινές ή μόνιμες επισκευές σε ρωγματώσεις στη γάστρα του πλοίου, προσάρτηση ανοδικής προστασίας, επιδιόρθωση πηδαλίου και πλευστικών βοηθημάτων (πτερυγίων), καθαρισμός γάστρας πλοίου, αφαίρεση αντικειμένων που έχουν μπλεχτεί στη προπέλα, επιχειρήσεις διάσωσης φορηγίδων ή μικρών πλοιαρίων.



*Φωτογραφία 1.7: Υποβρύχιες εργασίες καθαρισμού γάστρας και προπέλας πλοίου*

## 1.4. Κατηγορίες και μια πρώτη σύγκριση

### 1.4.1. Υποβρύχιες κοπές

Οι υποβρύχιες κοπές χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Κοπή οξυγόνου-τόξου (oxygen-arc cutting) με διάφορες παραλλαγές, όπου, διατηρώντας ένα ηλεκτρικό τόξο μεταξύ του μετάλλου που πρόκειται να κοπεί και ενός ηλεκτροδίου, παράγεται τόση θερμότητα που οδηγεί το μέταλλο στο σημείο τήξης του. Κατόπιν, μια υψηλής

## 1. Εισαγωγή

ταχύτητας δέσμη οξυγόνου κατευθύνεται στο θερμό σημείο από το κέντρο του ηλεκτρόδιου. Το μέταλλο οξειδώνεται, χωρίζεται λόγω της χημικής αντίδρασης με το οξυγόνο και απομακρύνεται μακριά από την υψηλής ταχύτητας δέσμη.

- ii. Κοπή με επενδυμένα ηλεκτρόδια (shielded metal arc cutting), όπου η κοπή πραγματοποιείται λόγω της έντονης θερμότητας που παράγεται από το ηλεκτρικό τόξο. Η θερμότητα λιώνει μια τοπική περιοχή του μετάλλου, δημιουργώντας μια μικρή λιωμένη λίμνη μετάλλου. Εξαιτίας της γρήγορης ψύξης από το περιβάλλον νερό, η λίμνη δε ρέει ικανοποιητικά για να πραγματοποιηθεί η κοπή και, επομένως, η άκρη του ηλεκτρόδιου πρέπει να χειρίζεται έτσι ώστε να σπρώχνει το λιωμένο μέταλλο μακριά.
- iii. Κοπή οξυγόνου (oxyfuel gas cutting), όπου ένας καυστήρας (torch) αναμειγνύει το αέριο καύσιμο και το οξυγόνο. Κατόπιν αναφλέγονται και παράγουν τόση θερμότητα που μπορεί να οδηγήσει το μέταλλο στο σημείο τήξης του. Μια μικρή περιοχή από το μέταλλο θερμαίνεται τόσο, ώστε να λιώσει και μετά το οξυγόνο κατευθύνεται σε αυτό το σημείο. Το οξυγόνο αντιδρά χημικά με το λιωμένο μέταλλο και αμέσως το μετατρέπει σε διάφορα αέρια και χημικά συστατικά, κυριολεκτικά καίγοντάς το. Η πίεση από μια ξεχωριστή υψηλής ταχύτητας δέσμη οξυγόνου το απομακρύνει μακριά. Η φλόγα αλλάζει λιγάκι γωνία για να προθερμάνει το μέταλλο μπροστά από το σημείο κοπής, ώστε να συνεχιστεί η κοπή. Η διαδικασία είναι ίδια με αυτή στην επιφάνεια, μονό που για βάθη μεγαλύτερα των 3,5 m χρησιμοποιείται προπάνιο ή υδρογόνο, αφού το ακετυλένιο είναι πολύ επικίνδυνο σε υψηλές πιέσεις.

Η κοπή οξυγόνου-τόξου έχει κυριαρχήσει στις υποβρύχιες κοπές, αφού είναι πιο ασφαλής, δεν απαιτεί τόσο δεξιοτεχνία, μπορεί να γίνει με μηδαμινή ορατότητα, είναι πιο γρήγορη και πιο αποδοτική διαδικασία και δεν υπάρχουν τόσες δυσκολίες μεταφοράς του απαιτούμενου εξοπλισμού της, όσο να μεταφέρεις πολυάριθμες φιάλες με επικίνδυνα αέρια που απαιτεί η κοπή οξυγόνου, ειδικά σε παράκτιες κατασκευές. Εμφανίζεται σε πολλές παραλλαγές με αποτέλεσμα να μπορεί να κόψει

## 1. Εισαγωγή

μια πληθώρα μεταλλικών και μη-μεταλλικών υλικών. Η κοπή οξυγόνου είναι πολύ χρήσιμη σε επιχειρήσεις διάσωσης πλοίων, ειδικότερα σε περιοχές που δεν υπάρχει εξοπλισμός για άλλη μέθοδο και δεν είναι εφικτή η απαιτούμενη παροχή ρεύματος. Τα πλεονεκτήματα της κοπής με επενδυμένα ηλεκτρόδια είναι ότι μπορεί να κόψει μέταλλα ανθεκτικά στην οξείδωση, μέταλλα με διάβρωση και μη-σιδηρούχα μέταλλα όλων των παχών και, κυρίως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν η παροχή οξυγόνου δεν είναι εφικτή.

### 1.4.2. Υποβρύχιες συγκολλήσεις

Οι υποβρύχιες συγκολλήσεις χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- i. Υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις (wet underwater welding), όπου η συγκόλληση πραγματοποιείται σε πίεση περιβάλλοντος χωρίς κανένα φυσικό εμπόδιο μεταξύ του δύτες/συγκολλητή, του νερού και του ηλεκτρικού τόξου συγκόλλησης, και
- ii. Στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις (dry underwater welding), όπου η συγκόλληση πραγματοποιείται σε πίεση ίδια ή λίγο μεγαλύτερη από το περιβάλλον ή σε πίεση μιας ατμόσφαιρας μέσα σε ένα θάλαμο, από τον οποίο έχει αφαιρεθεί το νερό. Ανάλογα με το μέγεθος και τη διαμόρφωση του θαλάμου, ο δύτες/συγκολλητής μπορεί να είναι ολόκληρος μέσα στο θάλαμο ή μόνο ένα μέρος του, να φοράει μόνο τα συμβατικά ρούχα συγκόλλησης, μόνο στολή κατάδυσης ή και συνδυασμό των δύο προηγούμενων.

Τα πλεονεκτήματα των υγρών συγκολλήσεων είναι [4]:

- Το χαμηλό κόστος και η προσαρμοστικότητα κάνει τη μέθοδο αυτή ασυναγώνιστη.
- Η ταχύτητα με την οποία εκτελείται η εργασία.
- Ο δύτες/συγκολλητής μπορεί να φτάσει σε σημεία που οι άλλες μέθοδοι δε μπορούν.
- Δε χάνεται χρόνος για την κατασκευή θαλάμων και ο εξοπλισμός που απαιτείται είναι ο ελάχιστος δυνατός.



## 1. Εισαγωγή

Τα μειονεκτήματα των υγρών συγκολλήσεων είναι:

- Η γρήγορη ψύξη του μέταλλου συγκόλλησης λόγω της παρουσίας νερού έχει ως αποτέλεσμα χαμηλής ποιότητας συγκόλληση. Παρόλο που η γρήγορη ψύξη αυξάνει την αντοχή της συγκόλλησης, μειώνεται η ολκιμότητά της και αυξάνεται η σκληρότητά της και η ύπαρξη πόρων.
- Η παρουσία μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου στην περιοχή της συγκόλλησης λόγω του διαχωρισμού του νερού από το ηλεκτρικό τόξο έχει ως αποτέλεσμα το υδρογόνο να διαλύεται στη θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη και να προκαλεί ρωγμές και μικροσκοπικές ατέλειες.
- Η χαμηλή ορατότητα είναι άλλο ένα μειονέκτημα και πολλές φορές ο δύτες/συγκολλητής δεν μπορεί να συγκολλήσει ικανοποιητικά. Επίσης, επηρεάζεται πιο εύκολα από τις θαλάσσιες συνθήκες που επικρατούν την ώρα της συγκόλλησης.

Τα πλεονεκτήματα των στεγνών συγκολλήσεων είναι:

- Μεγαλύτερη ασφάλεια του δύτες/συγκολλητή, αφού η συγκόλληση πραγματοποιείται μέσα σε ένα θάλαμο, απομονώνοντας τα θαλάσσια ρεύματα και τα θαλάσσια ζώα. Ο θάλαμος είναι καλά φωτισμένος, με σωστή θερμοκρασία και έχει το δικό του σύστημα ελέγχου του περιβάλλοντός του.
- Προσφέρει πολύ καλής ποιότητας συγκολλήσεις, συγκρίσιμες με την ποιότητα των συγκολλήσεων του αέρα, γιατί το νερό δεν είναι πια παρών και τα επίπεδα του υδρογόνου είναι αρκετά μικρότερα από τις υγρές συγκολλήσεις.
- Υπάρχει η δυνατότητα για προθέρμανση (preheating), διατήρηση της σωστής θερμοκρασίας μεταξύ κορδονιών (interpass temperatures) και αναθέρμανσης (postheat) για την ανακούφιση της συγκόλλησης.
- Υπάρχει η δυνατότητα μη καταστρεπτικού ελέγχου της συγκόλλησης και δυνατότητα παρακολούθησης όλης της διαδικασίας μέσω καμερών που μπορούν να τοποθετηθούν στους θαλάμους.

## 1. Εισαγωγή

Τα μειονεκτήματα των στεγνών συγκολλήσεων είναι:

- Ο θάλαμος απαιτεί μεγάλες ποσότητες από πολύπλοκα μηχανήματα και μεγάλο αριθμό εξοπλισμού υποστήριξης στην επιφάνεια. Είναι μια πολύπλοκη κατασκευή.
- Το κόστος του θαλάμου είναι πολύ υψηλό και αυξάνεται, όσο αυξάνεται το βάθος. Διαφορετική εργασία απαιτεί διαφορετικό θάλαμο και πολλές φορές ο θάλαμος χρησιμοποιείται μόνο μια φορά. Το κόστος της διαδικασίας για μια απλή συγκόλληση ξεπερνάει τα \$80000.

### 1.5. Επιρροή του περιβάλλοντος

Το υγρό περιβάλλον επιδρά στις υποβρύχιες κοπές και συγκολλήσεις, ειδικότερα στο ηλεκτρικό τόξο και είναι ένας βασικός παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα της εργασίας. Θεωρητικά μιλώντας, το τόξο στο νερό δεν έχει καμία διαφορά από αυτό στον αέρα. Παρόλα αυτά, οι συνθήκες που επικρατούν μέσα στο νερό, όπως η πίεση που αυξάνεται με το βάθος, ο διαχωρισμός του νερού στα συστατικά του λόγω των θερμοκρασιών στη περιοχή του τόξου, τα υψηλά επίπεδα του υδρογόνου, η γρήγορη ψύξη λόγω του νερού, η περιεκτικότητα σε αλάτι, η χαμηλή ορατότητα κ.λπ., όλα οδηγούν σε ένα ηλεκτρικό τόξο με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Είναι αλήθεια ότι στο θαλασσινό νερό το ηλεκτρικό τόξο είναι πιο σταθερό εξαιτίας των ιόντων άλατος που λειτουργούν ως μεταφορείς του ηλεκτρικού φορτίου. Αν και η τάση του τόξου μπορεί να είναι υψηλότερη λόγω διασκεδασμού, ακόμα και τότε η κατάσταση του τόξου είναι πιο ήρεμη. Το θαλασσινό νερό έχει μεγαλύτερη αγωγιμότητα από το γλυκό νερό, με αποτέλεσμα η συγκόλληση ή η κοπή να είναι πιο εύκολη σε θαλασσινό νερό.

Η ένταση του ηλεκτρικού τόξου μειώνεται με αύξηση του βάθους, αφού αυξάνεται η αντίσταση στη διέλευση του ρεύματος. Η αύξηση του μήκους των καλωδίων για να φτάσουν σε μεγαλύτερο βάθος οδηγεί σε αύξηση της πτώσης της τάσης του τόξου. Αυτή η αύξηση της πτώσης της τάσης έχει καταστροφικές συνέπειες στη σταθερότητα του τόξου και ταυτόχρονα η αύξηση της πίεσης δημιουργεί μια πιο βίαιη κατάσταση του τόξου. Ακόμα, εξαιτίας των γρηγορότερων ρυθμών ψύξης, απαιτείται μεγαλύτερη θερμότητα και, επομένως, υψηλότερης

## 1. Εισαγωγή

έντασης ρεύμα είναι αναγκαίο, οδηγώντας σε ακόμα πιο βίαιη κατάσταση το ηλεκτρικό τόξο.

Γενικά, οι υποβρύχιες συγκολλήσεις επιτυγχάνουν περίπου το 90% της αντοχής και μόνο το 50% της ολκιμότητας σε σχέση με τις συγκολλήσεις που συμβαίνουν στον αέρα. Αυτό οφείλεται κυρίως στους γρήγορους ρυθμούς ψύξης, που προκαλούν αλλαγές στην κρυσταλλική δομή των υλικών με αρνητικά αποτελέσματα (δημιουργία μαρτενσίτη). Μπορεί, επίσης, να παγιδευτεί σκουριά κατά τη στερεοποίηση του μετάλλου, αφού η κινητικότητα και η ρευστότητα του λιωμένου μετάλλου περιορίζεται από τη γρήγορη ψύξη. Ατέλειες, όπως πόροι, σκουριά και ατελής τήξη είναι αναπόφευκτες. Αυτές οι ατέλειες σε συνδυασμό με τις παραμένουσες τάσεις μπορούν να οδηγήσουν σε ρωγμάτωση.

Η αύξηση του βάθους στο οποίο πραγματοποιείται η υποβρύχια συγκόλληση και κοπή έχει, επίσης, καθοριστική επιρροή στη θερμοδυναμική, κινητική και κάθε άλλου είδους ισορροπία που καθορίζει τις σύνθετες αντιδράσεις που συμβαίνουν στο τόξο και στη ζώνη τήξης. Αυξάνει, τέλος, τη διαλυτότητα των αέριων υδρογόνου και οξυγόνου στα μέταλλα, που υπάρχουν σε μεγάλες ποσότητες λόγω του διαχωρισμού του νερού στα συστατικά του από τις θερμοκρασίες του τόξου και γι' αυτό σε μεγαλύτερο βάθος, οι υποβρύχιες συγκολλήσεις απορροφούν περισσότερο υδρογόνο και είναι πιο επιρρεπείς στη ρωγμάτωση λόγω υδρογόνου.

Εκτός από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την υποβρύχια συγκόλληση και κοπή, παράγοντες όπως η ορατότητα, τα θαλάσσια ρεύματα, η σταθερότητα του εδάφους κ.λπ. πρέπει να ελεγχθούν για να επιτύχει η εργασία. Για να επιτύχουμε καλής ποιότητας συγκόλληση θα πρέπει να περιορίζουμε τους γρήγορους ρυθμούς ψύξης, να ελέγχουμε τη στερεοποίηση των μετάλλων, να διατηρούμε σταθερό ηλεκτρικό τόξο και να είμαστε σίγουροι για τη σωστή τοποθέτηση του υλικού συγκόλλησης. Μπορεί οι υποβρύχιες συγκολλήσεις να είναι κατώτερης ποιότητας από αυτές του αέρα, αλλά όπως θα δούμε αυτό δεν τις καθιστά ακατάλληλες.

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

### 2.1. Μέθοδοι υποβρύχιων συγκολλήσεων

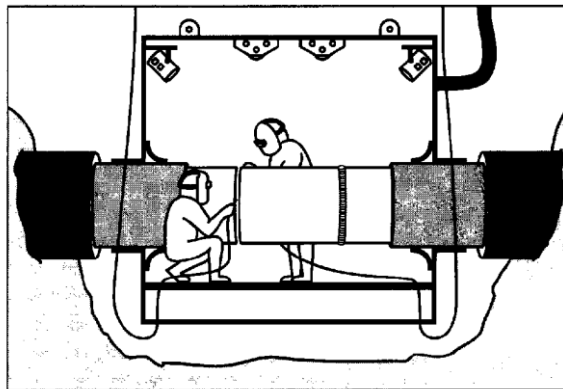
Έξι μέθοδοι χρησιμοποιούνται για υποβρύχια συγκόλληση [2]:

- i. Υγρή συγκόλληση (wet welding), δηλαδή συγκόλληση σε πίεση περιβάλλοντος με το δύτε/συγκολλητή στο νερό και χωρίς κανένα φυσικό εμπόδιο ανάμεσα στο νερό και στο ηλεκτρικό τόξο.



Φωτογραφία 2.1: Υγρή συγκόλληση

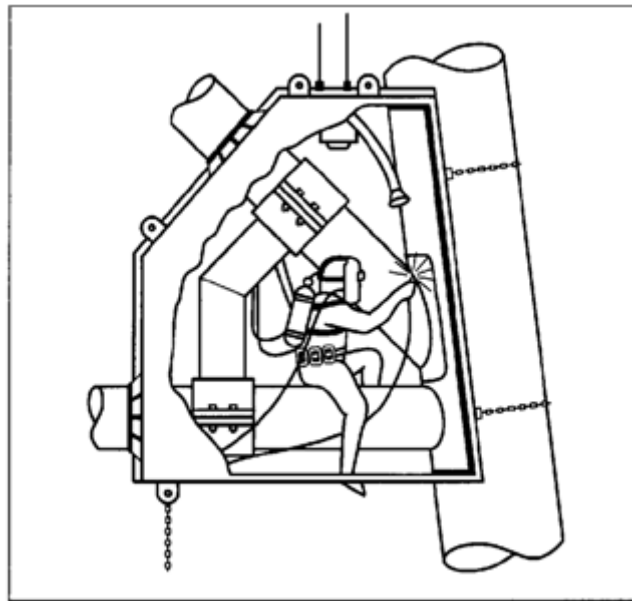
- ii. Στεγνή συγκόλληση θαλάμου (dry welding in a habitat), δηλαδή συγκόλληση σε πίεση περιβάλλοντος μέσα σε ένα μεγάλο θάλαμο από το οποίο το νερό έχει εκτοπισθεί και ο δύτες συγκολλητής δεν εργάζεται ντυμένος με καταδυτική εξάρτηση.



Φωτογραφία 2.2: Στεγνή συγκόλληση θαλάμου

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

iii. Στεγνή συγκόλληση ανοικτού στη βάση θαλάμου (dry chamber welding), δηλαδή συγκόλληση σε πίεση περιβάλλοντος μέσα σε ένα θάλαμο ανοικτό στη βάση, με τη δυνατότητα να φιλοξενήσει τουλάχιστον το κεφάλι και τους ώμους του δύτη/συγκολλητή, ο οποίος είναι ντυμένος με καταδυτική εξάρτηση.

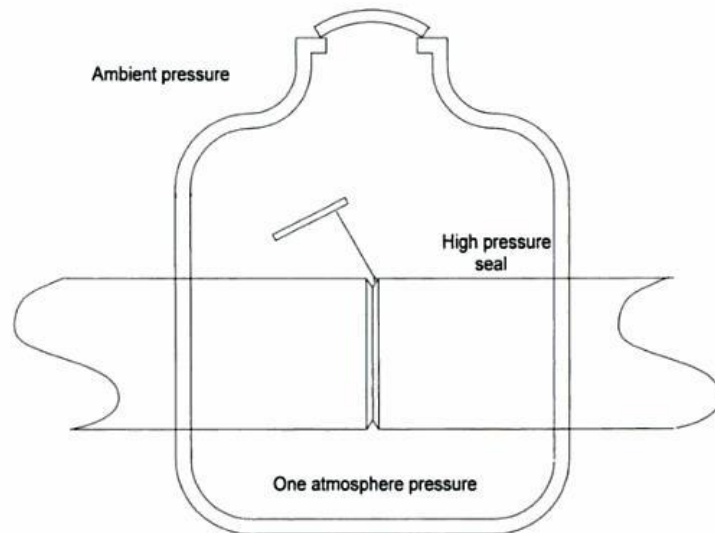


Φωτογραφία 2.3: Στεγνή συγκόλληση ανοικτού στη βάση θαλάμου

iv. Στεγνή συγκόλληση σημείου (dry spot welding), δηλαδή συγκόλληση σε πίεση περιβάλλοντος μέσα σε μία μικρή, διαφανή, γεμισμένη με αέριο γυάλα με τον δύτη/συγκολλητή στο νερό και μόνο τα χέρια του μέσα στη γυάλα [52].

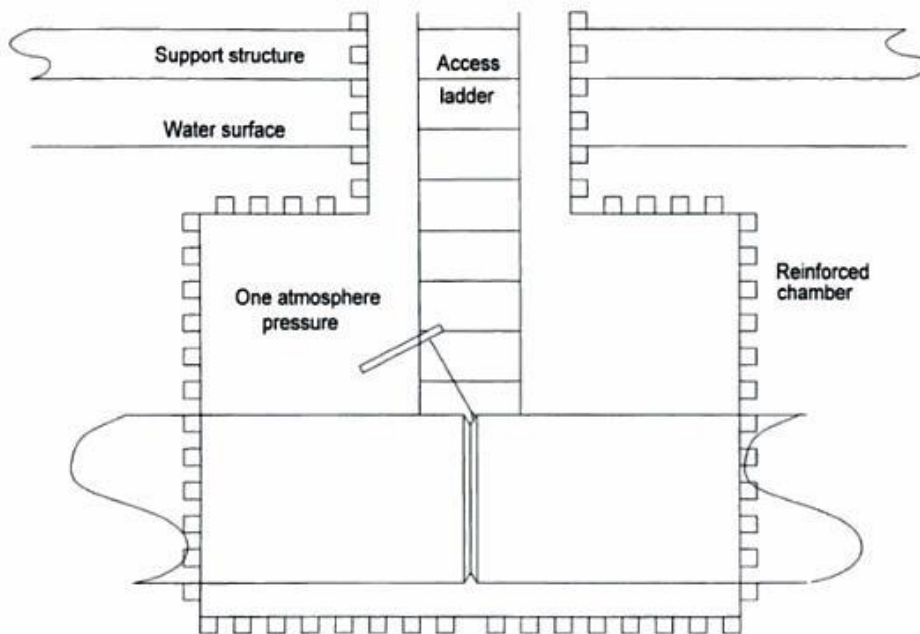
v. Στεγνή συγκόλληση μιας ατμόσφαιρας (dry welding at one atmosphere), δηλαδή συγκόλληση μέσα σε ένα θάλαμο που έχει τη δυνατότητα να διατηρεί την πίεση στη μια ατμόσφαιρα, ανεξάρτητα από την εξωτερική πίεση περιβάλλοντος.

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις



Φωτογραφία 2.4: Στεγνή συγκόλληση μιας ατμόσφαιρας

vi. Στεγνή συγκόλληση μιας ατμόσφαιρας σε κιβώτιο (cofferdam welding), δηλαδή συγκόλληση μέσα σε ένα θάλαμο ανοικτό στην κορυφή, όπου η πίεση διατηρείται περίπου στη μια ατμόσφαιρα.



Φωτογραφία 2.5: Στεγνή συγκόλληση μιας ατμόσφαιρας σε κιβώτιο

Οι μέθοδοι 2 και 3 καλούνται στεγνές υπερβαρικές συγκολλήσεις (dry hyperbaric welding). Οι μέθοδοι 4, 5 και 6 δε θα αναλυθούν περαιτέρω σε αυτή την εργασία.

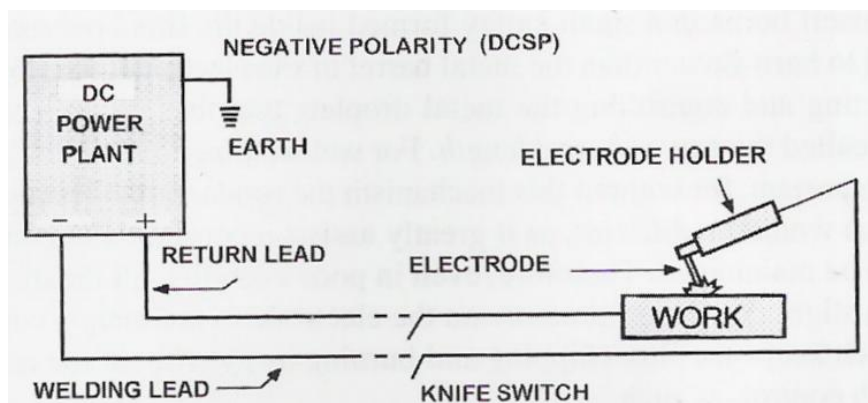
## 2.2. Υγρές συγκολλήσεις

### 2.2.1. Εισαγωγή

Οι υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις πραγματοποιούνται με τον δύτε/συγκολλητή σε υδροστατική πίεση περιβάλλοντος χωρίς κανένα φυσικό εμπόδιο ανάμεσα στο νερό και στην προς συγκόλληση περιοχή και αποτελούν την πιο απλή μορφή υποβρύχιας συγκόλλησης.

Ο δύτε/συγκολλητής είναι ντυμένος με κατάλληλη καταδυτική εξάρτηση σύμφωνα με τον τρόπο κατάδυσης που πραγματοποιεί. Ανάλογα με τη θερμοκρασία του νερού και το περιβάλλον, φοράει τη στολή που τον προστατεύει κατάλληλα (π.χ. σε εργασίες σε πυρηνικές εγκαταστάσεις λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και της ραδιενέργειας φοράει στολή που ψύχεται και με ειδική επένδυση για την ραδιενέργεια). Επίσης, στα χέρια φοράει λαστιχένια γάντια για την προστασία από ηλεκτρικό σοκ και ειδικά φίλτρα στη μάσκα, που προστατεύουν τα μάτια του από την ακτινοβολία του ηλεκτρικού τόξου.

Η ευρύτερα χρησιμοποιημένη μέθοδος για υγρές συγκολλήσεις είναι αυτή των επενδυμένων ηλεκτροδίων (SMAW), με τις άλλες μεθόδους (GMAW, FCAW, PAW) να είναι δύσχρηστες και να αφαιρούν το βασικό πλεονέκτημα των υγρών συγκολλήσεων, που είναι το χαμηλό κόστος και η αμεσότητα της επισκευής. Ο εξοπλισμός που απαιτείται είναι ίδιος με αυτόν που χρησιμοποιείται στις συγκολλήσεις στην επιφάνεια, με μόνη διαφορά ότι τα ηλεκτρόδια πρέπει να είναι αδιάβροχα. Ο αριθμός των βοηθητικών συσκευών και των εργαλείων που απαιτούνται είναι ο ελάχιστος δυνατός.



Φωτογραφία 2.6: Τυπική διάταξη κυκλώματος για υγρές συγκολλήσεις

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

Στις υγρές συγκολλήσεις χρησιμοποιείται μόνο πηγή ενέργειας συνεχούς ρεύματος (300-400 amperes) και, συνήθως, με το ηλεκτρόδιο συνδεδεμένο στον αρνητικό πόλο της ηλεκτρικής μηχανής (ορθή πολικότητα). Εναλλασσόμενο ρεύμα δε χρησιμοποιείται γιατί είναι επικίνδυνο στο νερό και είναι δύσκολο να διατηρηθεί το τόξο υποβρυχίως. Η ηλεκτρική μηχανή είναι γειωμένη είτε στη γη είτε στο πλοίο. Το κύκλωμα περιλαμβάνει ένα μαχαιρωτό διακόπτη ασφαλείας, του οποίου ο χειρισμός γίνεται από την επιφάνεια, ένα αδιάβροχο ηλεκτρόδιο και μια τσιμπίδα ή ένα πιστόλι συγκόλλησης. Όλα τα καλώδια είναι κατάλληλα μονωμένα για το νερό.

Η διαδικασία που λαμβάνει χώρα είναι η ακόλουθη [2]. Η προς συγκόλληση περιοχή συνδέεται με το ηλεκτρικό κύκλωμα μέσω ενός καλωδίου. Το αδιάβροχο επενδυμένο ηλεκτρόδιο τοποθετείται στο πιστόλι συγκόλλησης, το οποίο πάλι μέσω ενός καλωδίου συνδέεται με την ηλεκτρική πηγή ενέργειας. Όταν το ηλεκτρόδιο έρθει σε επαφή με την προς συγκόλληση περιοχή, το ηλεκτρικό κύκλωμα κλείνει. Το ηλεκτρικό ρεύμα υπερπηδά το κενό και δημιουργεί το ηλεκτρικό τόξο, το οποίο λιώνει το μέταλλο.

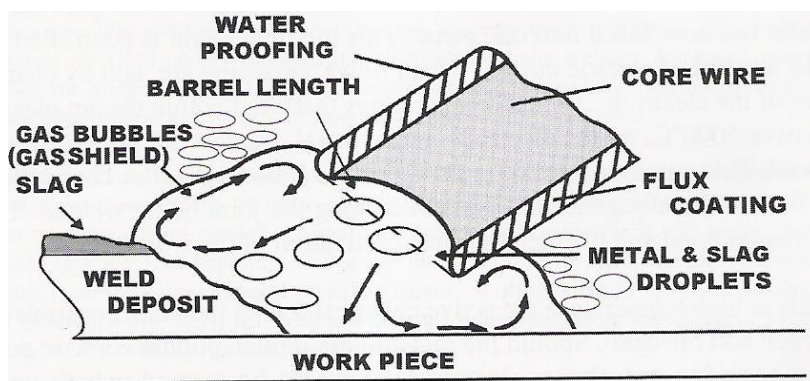
Μόλις το ηλεκτρικό τόξο μετακινηθεί, το μέταλλο στερεοποιείται πίσω από το ηλεκτρόδιο και η μεταλλουργική ένωση των κομματιών έχει επιτευχθεί. Καθώς το ηλεκτρόδιο λιώνει, σταγόνες μετάλλου πέφτουν στο λιωμένο μέταλλο. Η τήξη του μετάλλου επηρεάζεται από την ένταση του ρεύματος και από το μέγεθος του ηλεκτροδίου.

Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται από το ηλεκτρικό τόξο μπορούν να ξεπεράσουν τους 5000<sup>0</sup>C. Σε αυτές τις θερμοκρασίες τα μέταλλα αντιδρούν χημικά με τα συστατικά του νερού, υδρογόνο και οξυγόνο, και σε συνδυασμό με τους γρήγορους ρυθμούς ψύξης έχουμε ως αποτέλεσμα να καταστρέφονται οι μηχανικές τους ιδιότητες και να διαφοροποιείται η μεταλλουργική τους μικροδομή. Η δημιουργία πόρων και η ρωγμάτωση λόγω υδρογόνου είναι τα βασικά μειονεκτήματα των υγρών συγκολλήσεων.

Το ηλεκτρικό τόξο και το λιωμένο μέταλλο προστατεύονται από το νερό από τις φυσαλίδες που σχηματίζονται γύρω από την άκρη του ηλεκτροδίου λόγω των αερίων που παράγονται από την αποσύνθεση της επένδυσης των ηλεκτροδίων και από τον διαχωρισμό του νερού στα συστατικά του. Η δραστηριότητα των φυσαλίδων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την επίτευξη καλής ποιότητας υγρών συγκολλήσεων.



## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις



Φωτογραφία 2.7: Το ηλεκτρικό τόξο κάτω από το νερό

Το ίδιο το ηλεκτρικό τόξο καίει μέσα σε μια κοιλότητα που διαμορφώνεται από την επένδυση του ηλεκτρόδιου και που είναι σχεδιασμένη ώστε να καίγεται σε πιο χαμηλούς ρυθμούς από το μεταλλικό μέρος του ηλεκτρόδιου, βοηθώντας έτσι στην προστασία και στον έλεγχο των μεταλλικών σταγόνων που αποσπώνται από το ηλεκτρόδιο. Η συγκεκριμένη λειτουργία είναι πολύ σημαντική στις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις για τη σωστή εναπόθεση μετάλλου [6]. Έτσι, ακόμα και σε μηδαμινή ορατότητα, το μόνο που πρέπει να κάνει ο δύτες/συγκολλητής είναι να ασκεί μια μικρή πίεση στο ηλεκτρόδιο προς τα κάτω ώστε να διατηρεί μια σταθερή παροχή μετάλλου.

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες γίνεται έντονη έρευνα για τη βελτίωση της ποιότητας των υγρών συγκολλήσεων, ώστε να είναι συγκρίσιμη με την ποιότητα των συγκολλήσεων στον αέρα. Η έρευνα επικεντρώνεται στην εξέλιξη των υπάρχοντων μεθόδων συγκολλήσεων και στη σύνθεση των ηλεκτροδίων. Τα αποτελέσματα πολλές φορές έχουν ξεπεράσει κάθε προσδοκία και οι υγρές συγκολλήσεις χρησιμοποιούνται τώρα πια και για μόνιμες επισκευές.

### 2.2.2. Αρνητικοί παράγοντες

Οι παράγοντες που επιδρούν στις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε όλα τα στάδια της εργασίας. Οι αρνητικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις είναι:

- i. Η υπερβαρική πίεση: Επηρεάζει τη σταθερότητα του ηλεκτρικού τόξου, τη φυσική των φυσαλίδων, τη μεταφορά του μετάλλου, τη διαλυτότητα των αερίων, τη θερμοδυναμική της συγκόλλησης και τη σύσταση και τη μικροδομή του μετάλλου.

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

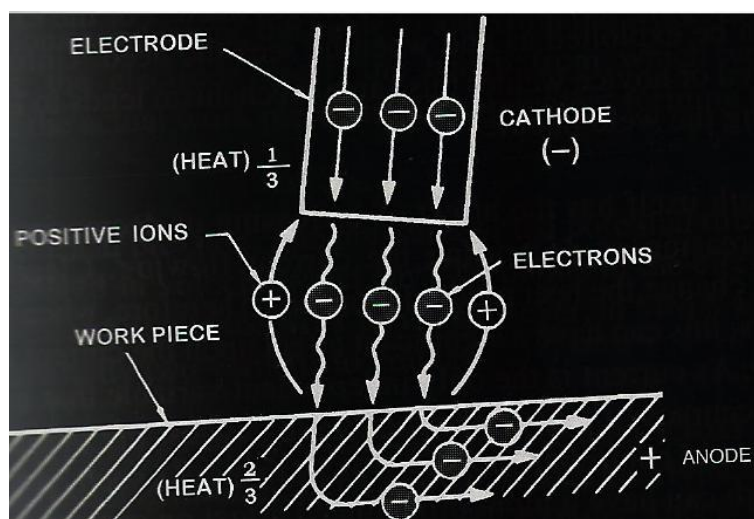
- ii. Οι γρήγοροι ρυθμοί ψύξης λόγω της παρουσίας νερού: Επηρεάζει τις μηχανικές ιδιότητες της συγκόλλησης και προκαλεί ρωγμές και πόρους.
- iii. Αφθονία υδρογόνου: Ο διαχωρισμός του νερού στα συστατικά του τροφοδοτεί τη συγκόλληση με μεγάλες ποσότητες υδρογόνου, με αποτέλεσμα να μειώνει τη δυσθραυστότητα της συγκόλλησης και να προκαλεί ρωγμάτωση λόγω παρουσίας υδρογόνου.
- iv. Καταδυστική εξάρτιση: Δυσκολεύει τις κινήσεις του δύτε/συγκολλητή και μπορεί να βάλει σε κίνδυνο τη ζωή του αν υποστεί κάποια ζημιά κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας εργασίας.
- v. Ασταθές έδαφος: Η δυνατότητα για μια σταθερή πλατφόρμα που θα πατάει ο δύτες/συγκολλητής είναι σπάνια και, συνήθως, αναγκάζεται να συγκολλήσει σε δύσκολες θέσεις και με δυσκολία να ελέγχει το ηλεκτρόδιο. Είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο γιατί μπορεί να γίνει μέρος του ηλεκτρικού κυκλώματος αν κατά λάθος μπει ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο και στη προς συγκόλληση περιοχή.
- vi. Υποθαλάσσια ρεύματα: Επηρεάζει την ισορροπία του δύτε και τη σταθερότητα του ηλεκτρικού τόξου.
- vii. Χαμηλές θερμοκρασίες του νερού: Μειώνουν τις αντοχές του δύτε/συγκολλητή.
- viii. Μηδαμινή ορατότητα: Είτε από το υγρό περιβάλλον, είτε από τις φυσαλίδες που παράγονται, επηρεάζει επικίνδυνα τον δύτε/συγκολλητή.
- ix. Μαγνητικό φύσημα: Τα μαγνητικά πεδία είναι ισχυρότερα στις υποβρύχιες συγκολλήσεις και επηρεάζουν το ηλεκτρικό τόξο (arc blow).
- x. Είδος νερού: Συγκολλήσεις με διαφορετικά χαρακτηριστικά προκύπτουν σε διαφορετικά είδη νερού.
- xi. Πάχος μετάλλου: Όταν το πάχος του προς συγκόλληση μέταλλου είναι μικρότερο των 0,5 cm, δυσκολεύει ιδιαίτερα η επίτευξη ικανοποιητικής ποιότητας συγκόλληση [8].

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

- xii. Ένταση και τάση ρεύματος: Το περιθώριο στην επιλογή των τιμών της έντασης και της τάσης του ρεύματος για επίτευξη ικανοποιητικής ποιότητας συγκόλληση είναι μικρότερο στις υγρές συγκολλήσεις.
- xiii. Θαλάσσια ζωή: Η παρουσία επικίνδυνων ζώων δημιουργεί κινδύνους για τη ζωή του δύτη/συγκολλητή.

### 2.2.3. Ηλεκτρικά τόξα κάτω από το νερό

Το τόξο μπορεί να περιγραφεί ως ένα ηλεκτρικό ρεύμα που ρέει μεταξύ δύο πόλων, στην προκειμένη περίπτωση μεταξύ του ηλεκτρόδιου και της προς συγκόλληση περιοχής, μέσω μιας ιονισμένης στήλης αερίου που καλείται πλάσμα. Η απόσταση μεταξύ των δύο πόλων μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις περιοχές, την κάθοδο, την άνοδο και το πλάσμα. Το ηλεκτρικό τόξο συγκόλλησης μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα υψηλής έντασης-χαμηλής τάσης τόξο, που απαιτεί υψηλή συγκέντρωση ηλεκτρονίων για να μεταφέρουν το ρεύμα. Ηλεκτρόνια εκπέμπονται από την κάθοδο και ρέουν μαζί με τα αρνητικά ιόντα του πλάσματος προς την άνοδο. Θετικά ιόντα κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Τα ηλεκτρόνια χτυπάνε στην άνοδο και παράγουν θερμότητα. Θερμότητα παράγεται και στην κάθοδο από τα θετικά ιόντα, ίση μόνο με το 1/3 από αυτή που παράγεται στην άνοδο. Όπως έχει ειπωθεί, οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι γύρω στους 5000<sup>0</sup>C και η κατανομή της θερμότητας είναι 2/3 στο θετικό πόλο και 1/3 στον αρνητικό πόλο.



Φωτογραφία 2.8: Κατανομή θερμότητας

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

Η κατανομή της θερμότητας, όμως, μπορεί να αλλάξει μέσω της πολικότητας. Πολικότητα είναι η κατεύθυνση της ροής του ρεύματος. Στις υποβρύχιες συγκολλήσεις χρησιμοποιείται κυρίως ορθή πολικότητα, δηλαδή το ηλεκτρόδιο είναι συνδεδεμένο στον αρνητικό πόλο της ηλεκτρικής πηγής ενέργειας και η προς συγκόλληση περιοχή στο θετικό πόλο, έτσι ώστε η θερμότητα που παράγεται να είναι μέγιστη στην προς συγκόλληση περιοχή και ελάχιστη στο ηλεκτρόδιο. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η πιθανότητα υπερθέρμανσης του ηλεκτροδίου, που μπορεί να οδηγήσει σε κατάρρευση της επένδυσής του, και ελέγχεται πιο εύκολα η μεταφορά του μετάλλου. Ανάστροφη πολικότητα χρησιμοποιείται σε μεγάλα, με ισχυρή επένδυση ηλεκτρόδια όταν πρόκειται να συγκολληθούν μεγάλα σε πάχος κομμάτια [6]. Στις υποβρύχιες συγκολλήσεις, όταν δεν γνωρίζουμε ποια πολικότητα να επιλέξουμε, προτείνεται να χρησιμοποιείται πάντα η ορθή.

Η καύση του ηλεκτροδίου και η εξάτμιση του νερού από την ενέργεια του τόξου δημιουργεί φυσαλίδες, ο ρόλος των οποίων είναι πολύ σημαντικός για τη συμπεριφορά και την κανονική λειτουργία του τόξου υποβρυχίως [2,5,6]. Οι φυσαλίδες αυτές παρέχουν ένα σταθερό κενό γύρω από το τόξο, παίζοντας το ρόλο της ασπίδας και προστατεύουν το μέταλλο, που μεταφέρεται από το ηλεκτρόδιο προς τη συγκόλληση, από το νερό. Καθώς η πίεση μέσα στη φυσαλίδα αυξάνεται, τείνει να αφήσει το τόξο και να συναντήσει το νερό που την περιβάλλει, ενώ μια άλλη παίρνει τη θέση της. Οι σταγόνες του μετάλλου περιέχονται μέσα σε αυτές τις φυσαλίδες. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές με πανομοιότυπο τρόπο. Αν το ηλεκτρόδιο βρίσκεται πολύ μακριά από τη προς συγκόλληση περιοχή, η μεταφορά του μετάλλου θα είναι προβληματική, αφού η φυσαλίδα θα το μεταφέρει μαζί της μακριά. Αν το ηλεκτρόδιο βρίσκεται πολύ κοντά στην προς συγκόλληση περιοχή, η φυσαλίδα θα καταρρεύσει ή θα σκάσει, επιτρέποντας στο νερό να εισέλθει και να σταθεροποιήσει τη σταγόνα του μετάλλου σε μια μικρή μπάλα, καταστρέφοντας τη μεταφορά του μετάλλου.

Η χημική σύνθεση των φυσαλίδων έχει την εξής σύσταση, 62-82%  $H_2$ , 11-24%  $CO$ , 4-6%  $CO_2$  και περίπου 3%  $N_2$  και μεταλλικά άλατα [5]. Αυτά τα αέρια προήλθαν από την καύση του μετάλλου συγκόλλησης, του βασικού μετάλλου, των στοιχείων της επένδυσής του ηλεκτροδίου, του διαχωρισμού του νερού στα στοιχεία του και από υδρατμούς.

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

Ο όγκος της φυσαλίδας και η πυκνότητα των αερίων που περιέχει διαφέρει σε διαφορετικά βάθη και πιέσεις. Καθώς το βάθος και η πίεση αυξάνονται, οι φυσαλίδες γίνονται πολύ μικρές για να προστατεύσουν το ηλεκτρικό τόξο και τη μεταφορά του μετάλλου. Σε βάθη μικρότερα των 3 m, η διακύμανση του όγκου των φυσαλίδων είναι πιο έντονη και η συμπεριφορά τους πιο ασταθής εξαιτίας των χαμηλότερων θερμοκρασιών βρασμού του νερού κοντά στην επιφάνεια και του διπλασιασμού του όγκου των αερίων από την επένδυση των ηλεκτροδίων (νόμος του Boyle), με αποτέλεσμα κακής ποιότητας συγκολλήσεις, ειδικότερα σε οροφιαίες συγκολλήσεις [2]. Η λύση και στις δυο περιπτώσεις βρίσκεται στα στοιχεία της επένδυσης των ηλεκτροδίων και στη σωστή επιλογή τους για κάθε είδους συγκόλληση.

Εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας του τόξου, ποσοστό του υδρογόνου στις φυσαλίδες βρίσκεται σε ατομική μορφή και μπορεί να εισχωρήσει στο τηγμένο μέταλλο της συγκόλλησης και στη θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη προκαλώντας ρωγμάτωση. Επίσης, τα αέρια που βρίσκονται μέσα στις φυσαλίδες μπορούν να γίνουν η αιτία εμφάνισης πόρων. Τέλος, μέθοδοι με προστασία αερίου χάνουν την αποτελεσματικότητά τους όταν χρησιμοποιούνται υποβρυχίως. Η λειτουργία των φυσαλίδων είναι, όπως φαίνεται, ιδιαίτερα περίπλοκη και είναι τρομερά σημαντικές για το ηλεκτρικό τόξο.

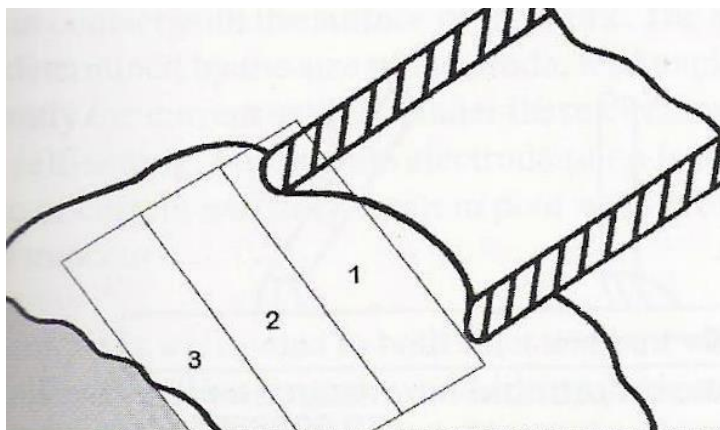
Η ένταση του ρεύματος είναι η μόνη ανεξάρτητη μεταβλητή, που μπορεί να επιλέξει ο δύτης/συγκολλητής και είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για την επιτυχία της συγκόλλησης. Αν η ένταση είναι πολύ υψηλή, το τόξο γίνεται πολύ δύσκολο στον έλεγχό του, η θερμότητα θα είναι τόσο μεγάλη ώστε να υπερθερμανθεί το ηλεκτρόδιο, να καταρρεύσει η επένδυσή του και να έχουμε υπερβολική εκτόξευση υλικού ανάμεσα και στις άλλες ατέλειες. Αν η ένταση είναι πολύ χαμηλή, το ηλεκτρόδιο δε θα λειτουργεί σωστά, η μεταφορά του μετάλλου θα είναι προβληματική και η συγκόλληση χαμηλής ποιότητας. Για τη διατήρηση των ίδιων συνθηκών του τόξου, η ένταση του ρεύματος πρέπει να αυξάνεται περίπου 10% για κάθε ατμόσφαιρα (10 m βάθος) επιπλέον πίεσης. Η ένταση του ρεύματος είναι η μόνη κατάσταση που μπορεί να ρυθμίσει με ακρίβεια ο δύτης/συγκολλητής και καταλήγει να είναι το μόνο σημείο που μπορεί να ελέγχει πλήρως στις υποβρύχιες συγκολλήσεις.

Άλλο ένα πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει ο δύτης/συγκολλητής είναι να διατηρήσει μια σταθερή τάση του τόξου, που συνεπάγεται ένα σταθερό

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

μήκος της στήλης του τόξου. Αυτές οι αλλαγές συμβαίνουν γιατί αλλάζει το μήκος της στήλης του τόξου είτε εξαιτίας κινήσεων του σώματος του δύτε/συγκολλητή, είτε λόγω κακής ορατότητας, είτε από κινήσεις του νερού. Το μήκος της στήλης του τόξου μπορεί να περιγραφεί ως η απόσταση από την άκρη του ηλεκτροδίου που καίγεται και της προς συγκόλλησης περιοχής. Οι ιδανικές τάσεις του τόξου ποικίλουν ανάλογα με διάφορους παράγοντες, αλλά για ένα ηλεκτρόδιο της τάξης των 3.2 mm, οι τυπικές τιμές είναι ανάμεσα στα 28-34 volt. Αλλαγές μεγαλύτερες των 4-5 volt επηρεάζουν τη σωστή εναπόθεση του μετάλλου [26]. Η τάση εκφράζει καλύτερα την πραγματική κατάσταση του τόξου, αφού στην ουσία εκφράζει την ηλεκτρική πίεση. Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος της στήλης του τόξου, τόσο περισσότερη τάση χρειάζεται για να “σπρώξει” το ρεύμα στο κενό μεταξύ του ηλεκτροδίου και της προς συγκόλλησης περιοχής. Το να διατηρήσεις σταθερή την τάση του τόξου είναι δύσκολο και απαιτεί απαλές τεχνικές συγκόλλησης και καθόλου απότομες κινήσεις. Για αλλαγές της τάξεως των 4-5 volt, οι φυσιολογικές κινήσεις κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης δεν δημιουργούν προβλήματα. Η πτώση του δυναμικού είναι άλλο πρόβλημα στις υποβρύχιες συγκολλήσεις και εντονότερα στις περιοχές της ανόδου και της καθόδου. Μεγάλα σε μήκος καλώδια για μεγαλύτερα βάθη εντείνουν το πρόβλημα, με την αύξηση, όμως, της διαμέτρου των καλωδίων να είναι η λύση [7].

Μπορούμε να χωρίσουμε το ηλεκτρικό τόξο σε τρεις θεωρητικές ζώνες, ώστε να αποκωδικοποιήσουμε τις οπτικές πληροφορίες που παίρνουμε [6]. Αυτό που πραγματικά βλέπουμε είναι ένα μίνι ηφαίστειο από λιωμένο μέταλλο και σπίθες και με το διαχωρισμό αυτό αποκωδικοποιούμε αυτή τη συγκεχυμένη εικόνα. Οι ζώνες αυτές μας δίνουν τις εξής πληροφορίες:

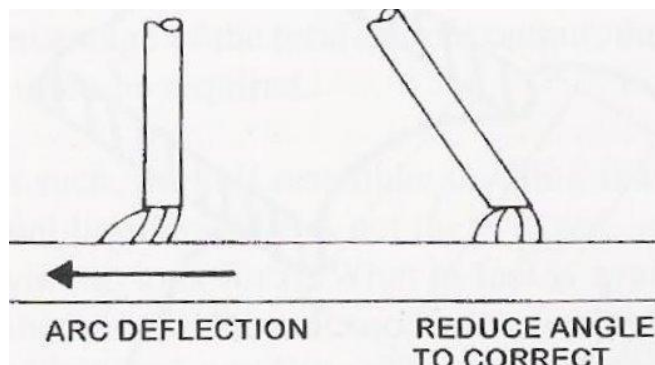


Φωτογραφία 2.9: Θεωρητικές ζώνες τόξου

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

Ζώνη 1: Αν καίγεται το ηλεκτρόδιο συγκεντρωτικά ή μη-συγκεντρωτικά. Όταν λέμε μη-συγκεντρωτικά, εννοούμε το ηλεκτρόδιο να έρχεται σε επαφή με μόνο μια μικρή περιοχή της προς συγκόλλησης περιοχής με αποτέλεσμα να θερμαίνεται γρηγορότερα. Όταν αρχίζει να συμβαίνει αυτό, η λάμψη του τόξου κρύβεται πίσω από το ηλεκτρόδιο ή δε φαίνεται καθόλου λάμψη. Για τη σωστή εναπόθεση μετάλλου, θα πρέπει όλη η προς συγκόλληση περιοχή να θερμαίνεται με τον ίδιο ρυθμό.

Ζώνη 2: Αν υπάρχει εκτροπή του τόξου λόγω μαγνητικών πεδίων. Είναι μια κατάσταση που οφείλεται σε μαγνητικές δυνάμεις αρκετά ισχυρές ώστε να ωθήσουν το τόξο να αλλάξει πορεία. Είναι πολύ εύκολο να το διαπιστώσει κανείς αυτό, αφού ξαφνικά το τόξο έχει πορεία διαφορετική από τη γωνία του ηλεκτρόδιου.



Φωτογραφία 2.10: Εκτροπή τόξου λόγω μαγνητικών δυνάμεων

Ζώνη 3: Παρέχει τις λιγότερες πληροφορίες σε σχέση με τις άλλες ζώνες, αφού βρίσκεται πολύ κοντά στις φυσαλίδες και από αυτή μπορεί κανείς να διαπιστώσει ποια είναι η θέση του σε σχέση με την συγκόλληση, απλά κοιτώντας τη λάμψη του τόξου.

### 2.2.4. Επίδραση της πίεσης στις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις

Η αυξημένη πίεση, ανάλογα με το βάθος, είναι μαζί με την παρουσία του νερού, το βασικό χαρακτηριστικό που επηρεάζει τη φυσιολογία των υγρών υποβρύχιων συγκολλήσεων και που τις διαφοροποιεί από τις αντίστοιχες συγκολλήσεις στον αέρα. Επηρεάζει τόσο το ηλεκτρικό τόξο, όσο και τη μεταλλουργική μικροδομή της συγκόλλησης, ενώ είναι αιτία για διάφορες ατέλειες και ελαττώματα.



## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

Η υπερβαρική πίεση επηρεάζει τη σταθερότητα του ηλεκτρικού τόξου, συμπιέζοντας τη στήλη του τόξου και αυξάνοντας την πυκνότητα της ενέργειας [2,6]. Η ένταση του ρεύματος πρέπει να αυξάνεται, καθώς αυξάνεται το βάθος, εξαιτίας της αύξησης της αντίστασης στη διέλευση του ρεύματος, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται και η πτώση της τάσης. Αυτές οι αυξήσεις επηρεάζουν τη σταθερότητα του τόξου και δημιουργούν μια πιο βίαιη κατάσταση μέσα στη στήλη του τόξου.

Όσον αφορά τη μικροδομή της συγκόλλησης με αυξανόμενη πίεση, αυξάνονται οι ποσότητες του οξυγόνου και του άνθρακα μέσα στο μέταλλο συγκόλλησης και μειώνονται οι αντίστοιχες ποσότητες του μαγνησίου και του πυριτίου, με αποτέλεσμα τη μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων της συγκόλλησης [2]. Το βάθος, επίσης, βρέθηκε ότι προκαλεί τη δημιουργία πόρων στη συγκόλληση, ενώ επηρεάζει και τη μεταφορά των σταγόνων μετάλλου, ειδικότερα σε μεθόδους συγκολλήσεων με προστασία αερίου και το σχήμα της στρώσης της συγκόλλησης [5]. Αναλυτικότερη περιγραφή της μικροδομής των υποβρύχιων συγκολλήσεων και της δημιουργίας των πόρων γίνεται σε σχετικά κεφάλαια που ακολουθούν.

Παρόλο που η αυξανόμενη υδροστατική πίεση έχει δυσμενείς επιπτώσεις στις υγρές συγκολλήσεις, υπάρχει μια άγνωστη και ευεργετική επιρροή [2]. Η θερμοκρασία βρασμού του νερού, αυξάνεται με την αύξηση της πίεσης, όπως δείχνει και ο πίνακας 2.1. Αν το νερό είναι φυσικά περιορισμένο στην περιοχή της συγκόλλησης, μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση των σωστών θερμοκρασιών μεταξύ κορδονιών (interpass temperature), όπως απαιτείται για ικανοποιητική συγκόλληση.

Depth		Boiling Temperature	
ft	m	°F	°C
0	0	212	100
33	10	250	121
165	50	320	160
330	100	370	188
1000	305	460	238

Πίνακας 2.1: Θερμοκρασίες βρασμού του θαλασσινού νερού σε διάφορα βάθη [2]

### 2.2.5. Επίδραση του νερού στις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις

Το νερό είναι το βασικό μέγεθος που διαφοροποιεί τις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις από τις αντίστοιχες στον αέρα και αυτό που επηρεάζει την ποιότητά



## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

τους. Οι γρήγοροι ρυθμοί ψύξης, που αλλάζουν την κρυσταλλική δομή των υλικών, και η παρουσία μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου και οξυγόνου από τον διαχωρισμό του νερού στις υψηλές θερμοκρασίες, που έχουν άμεση επίδραση στη χημεία της συγκόλλησης, είναι τα δύο στοιχεία που καθιστούν το νερό βασικό παράγοντα για την επιτυχία της συγκόλλησης [13,18].

Υγρές συγκολλήσεις με ηλεκτρόδια κοινού φερριτικού χάλυβα σε υλικά με ισοδύναμη περιεκτικότητα σε άνθρακα (carbon equivalent CE) μεγαλύτερη του 0.40 υπόκεινται σε ρωγμάτωση λόγω υδρογόνου στη θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη (HAZ) λόγω των γρήγορων ρυθμών ψύξης της συγκόλλησης. Φυσικοί περιορισμοί (restraint) της συγκόλλησης επιδεινώνουν το φαινόμενο [2]. Η ισοδύναμη περιεκτικότητα σε άνθρακα δίνεται από τη σχέση:

$$CE = \%C + \%Mn/6 + \% (Cr + Mo + V)/5 + \% (Ni + Cu)/15$$

Το υγρό περιβάλλον συμπεριφέρεται σαν ένα γρήγορο ψυκτικό μέσο, που σκληραίνει τη θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη και την κάνει ευαίσθητη στη δημιουργία ρωγμών. Η κρυσταλλική δομή που παράγεται είναι ο μαρτενσίτης. Μπορεί, επίσης, να παγιδευτεί σκουριά μέσα στο στερεοποιημένο μέταλλο συγκόλλησης, αφού η κινητικότητα και η ρευστότητα του λιωμένου μετάλλου περιορίζονται από τους γρήγορους ρυθμούς ψύξης [6]. Σφάλματα, όπως οι πόροι, τα εγκλείσματα σκουριάς και η ατελής τήξη μπορεί να εμφανιστούν. Αυτά τα σφάλματα προκαλούν ανομοιόμορφη στερεοποίηση και παραμένουσες τάσεις με αποτέλεσμα να οδηγούν στη ρωγμάτωση.

Η χρήση ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων για το μέταλλο εναπόθεσης σε συγκολλήσεις σε μέταλλα με ισοδύναμη περιεκτικότητα σε άνθρακα μεγαλύτερη του 0.40 παρακάμπτει το πρόβλημα της ρωγμάτωσης λόγω υδρογόνου, αλλά υπό συγκεκριμένους φυσικούς περιορισμούς μπορεί να προκαλέσει ρωγμάτωση στο μέταλλο βάσης και τη δημιουργία μαρτενσιτικής δομής [2]. Η χρήση ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων για ηλεκτρόδια σε υγρές συγκολλήσεις με ωστενιτικούς ανοξειδωτους χάλυβες ως μέταλλα βάσης δημιουργεί συγκολλήσεις ανάλογης ποιότητας με αυτή του αέρα. Ο ωστενίτης εξαιτίας της φυσικής του αποστροφής στη δημιουργία μαρτενσίτη [55] φαίνεται να λειτουργεί ιδανικά για τις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις και στην πραγματικότητα, οι ωστενιτικές υγρές συγκολλήσεις σε ρηχά νερά (μικρότερα των 13 m) είναι υπό κάποια έννοια ανώτερες μεταλλουργικά από τις αντίστοιχες στεγνές συγκολλήσεις λόγω της γρήγορης απόπτησης που συμβαίνει από

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

την ψύξη κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, περιορίζοντας έτσι την ευαισθησία της θερμικά επηρεαζόμενης ζώνης [2]. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν και τα ηλεκτρόδια με νικέλιο σε ωστενιτικούς ανοξειδωτους χάλυβες ως μέταλλα βάσης σε μικρά βάθη [2]. Υγρές συγκολλήσεις με μεγάλη ποσότητα νικελίου στο μέταλλο εναπόθεσης σε υλικά με ισοδύναμη περιεκτικότητα σε άνθρακα μέχρι 0.696 δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα ρωγμάτωσης και έχουν καλύτερη ολκιμότητα, αλλά είναι ευαίσθητα στην αύξηση της πίεσης και περιορίζονται σε εφαρμογές σε μικρά βάθη [2].

Το υδρογόνο και το οξυγόνο έχουν έντονη παρουσία στις υγρές συγκολλήσεις. Η παρουσία τους μπορεί να δημιουργήσει πόρους και να μειώσει την ολκιμότητα της συγκόλλησης και των γύρω περιοχών. Η απορρόφησή τους έχει επιδράσεις στη ρωγμάτωση της θερμικά επηρεαζόμενης ζώνης της συγκόλλησης σε συνδυασμό με τους γρήγορους ρυθμούς ψύξης [5]. Ο παράγοντας που επηρεάζει την πρόσληψή τους είναι οι ατμοί νερού που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα του τόξου.

### 2.2.6. Μαγνητική επιρροή

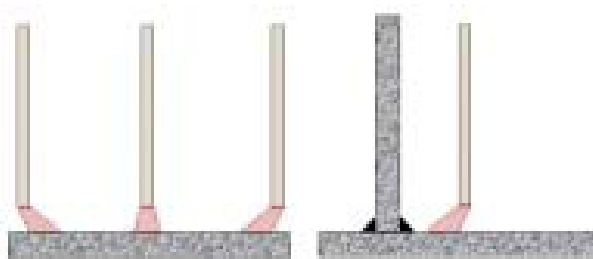
[2, 6]

Το τόξο, από τη στιγμή που είναι ένα ηλεκτρικό πεδίο, μπορεί να αποκλίνει από την πορεία του εξαιτίας ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων. Η απόκλιση αυτή αποκαλείται φύσημα του τόξου (arc blow). Όταν παρουσιάζεται το φύσημα του τόξου, το μέταλλο δεν εναποτίθεται σωστά και, γενικότερα, έχουμε κακής ποιότητας συγκόλληση. Κατά τη διάρκεια των υποβρύχιων εργασιών μπορεί να μη παρατηρηθεί η απόκλιση της πορείας του τόξου εξαιτίας των φυσαλίδων ή της χαμηλής ορατότητας.

Αυτή η μαγνητική παρέμβαση προκαλείται από μια ασταθή κατάσταση του μαγνητικού πεδίου που περιβάλλει το τόξο. Αυτή η ασταθής κατάσταση δημιουργείται τις περισσότερες φορές επειδή το τόξο απέχει περισσότερο από τη μια άκρη της ένωσης σε σχέση με την άλλη και έχει διαφορετικές αποστάσεις από το σημείο γείωσης. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί, επίσης, κατά τη διάρκεια υγρών συγκολλήσεων σε παράκτιες εξέδρες, αφού οι εξέδρες προστατεύονται από τη διάβρωση με ανόδια, τα οποία είναι φορτισμένα ηλεκτρικά με αποτέλεσμα να έχουν το δικό τους μαγνητικό πεδίο. Είναι ζωτικής σημασίας, πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε συγκόλληση, να κλείσουν τη παροχή ρεύματος σε αυτά. Παρόλα αυτά, υπάρχει η

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

πιθανότητα για παραμένοντα μαγνητισμό που δημιουργεί τεχνικά προβλήματα στη συγκόλληση. Τέλος, υπερβολική λείανση για τον καθαρισμό της επιφάνειας της συγκόλλησης και τυχόν ύπαρξη ρωγμών μπορούν να δημιουργήσουν μαγνητικά πεδία.



Φωτογραφία 2.11: Περιοχές στις οποίες προκαλείται το μαγνητικό φύσημα.

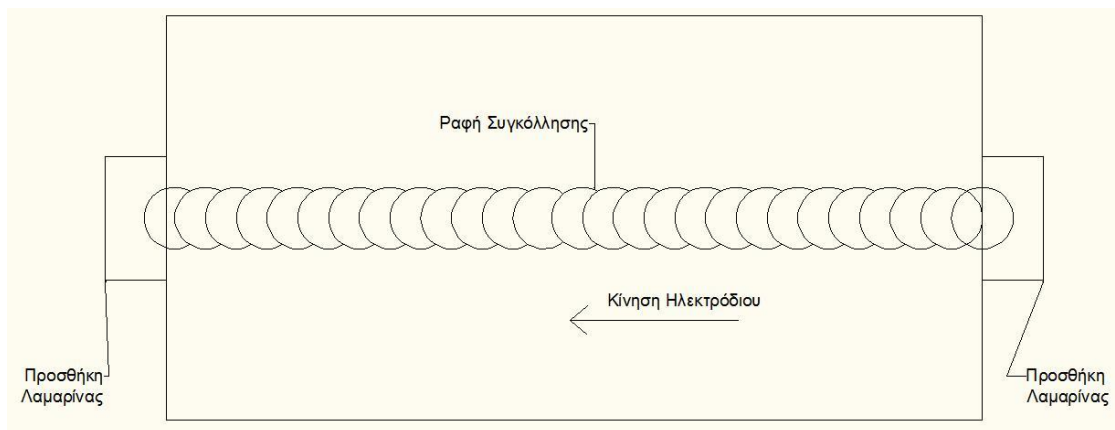
Το φύσημα του τόξου είναι ένα φαινόμενο που παρουσιάζεται κυρίως σε μεγάλης έντασης ηλεκτρικό ρεύμα DC, όπως στις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις. Το τόξο δεν ακολουθεί τη συντομότερη πορεία μεταξύ του ηλεκτροδίου και της προς συγκόλληση περιοχής, αλλά παρεκκλίνει από την πορεία του. Γύρω από το ηλεκτρόδιο αναπτύσσονται μαγνητικές γραμμές σε σχήμα ομόκεντρων κύκλων. Στις άκρες της ένωσης, οι μαγνητικές γραμμές αυτές συμπιέζονται, με αποτέλεσμα να μετακινούν το τόξο σε κατεύθυνση που να ανακουφίζει αυτή τη συμπίεση. Στην αρχή της ένωσης, οι μαγνητικές γραμμές συγκεντρώνονται πίσω από το ηλεκτρόδιο και έτσι το τόξο για να αντισταθμίσει αυτή την ανισορροπία μετακινείται μπροστά και δημιουργεί μπροστινό φύσημα. Στο τέλος της ένωσης, η συμπίεση συμβαίνει μπροστά από το ηλεκτρόδιο, με αποτέλεσμα το τόξο να μετακινείται προς τα πίσω και να έχουμε φύσημα του τόξου προς τα πίσω. Στη μέση της ένωσης, οι μαγνητικές γραμμές βρίσκονται σε ισορροπία και δεν έχουμε φύσημα του τόξου.

Μικρή ποσότητα φυσήματος του τόξου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευεργετικά για τον καλύτερο έλεγχο της μεταφοράς μετάλλου. Οι αρνητικές επιρροές του τις περισσότερες φορές είναι αρκετά δύσκολο να περιοριστούν. Ο δύτες/συγκολλητής μπορεί να αντιμετωπίσει το πρόβλημα με τους εξής προτεινόμενους τρόπους:

- ✓ Με τη μετακίνηση του ηλεκτροδίου υπό γωνία αντίθετη του φυσήματος.
- ✓ Με τη μείωση της έντασης του ρεύματος ή με τη μείωση του ύψους του τόξου ή με ταυτόχρονη εφαρμογή και των δύο. Στην περίπτωση αυτή, ενδεχομένως να χρειαστεί και αλλαγή της ταχύτητας κίνησης του ηλεκτροδίου.

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

- ✓ Ενώνοντας τα προς συγκόλληση τεμάχια, όταν αυτά δεν είναι σε καλή επαφή ή δεν είναι καν σε επαφή. Η ένωση γίνεται εκτελώντας πονταριστές κατά διαστήματα.
- ✓ Τυλίγοντας το καλώδιο γείωσης γύρω από το τεμάχιο. Αυτό εξουδετερώνει εν μέρει τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα που προκαλούν το μαγνητικό φύσημα.
- ✓ Με τη χρησιμοποίηση βοηθητικών λαμαρινών στα άκρα της υπό κατασκευή ραφής, όπως φαίνεται στο σχήμα. Αυτές θα πρέπει να έχουν το ίδιο πάχος με τα τεμάχια.



Φωτογραφία 2.12: Χρήση λαμαρινών για μείωση του μαγνητικού φύσηματος

- ✓ Ξεκινώντας τη συγκόλληση με το σημείο γείωσης κοντά στο σημείο εκκίνησης και, όταν εμφανιστεί το φύσημα του τόξου, να μεταφερθεί στην αντίθετη θέση.



Φωτογραφία 2.13: Αντιμετώπιση του φύσηματος με αλλαγή του σημείου γείωσης

- ✓ Χρησιμοποιώντας αποτελεσματικές τεχνικές απομαγνητισμού ή ειδικά μηχανήματα απομαγνητισμού.

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

### 2.2.7. Μεταφορά μετάλλου

[5]

Τρεις είναι οι τρόποι μεταφοράς του τηγμένου μετάλλου στις συγκολλήσεις με χρήση ηλεκτρικού τόξου:

- i. Σε μορφή σφαιροειδή ή σταγόνας, με το μέταλλο να μεταφέρεται σε μεγάλες σταγόνες οι οποίες κατευθύνονται αργά προς τη συγκόλληση.
- ii. Με ψεκασμό, με το μέταλλο να μεταφέρεται σε πολλά μικρά σταγονίδια που κινούνται πολύ γρήγορα.
- iii. Με βραχυκύκλωμα, όταν υπάρχει επαφή μεταξύ των μετάλλων.

Αυτοί οι τρόποι μπορούν να συμβαίνουν σε συνδυασμό ή κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης να έχουμε μετάβαση από τον ένα τρόπο μεταφοράς στον άλλο, καθώς αλλάζουν οι παράμετροι της συγκόλλησης. Αλλαγές στην πίεση επηρεάζουν τη μεταφορά του τηγμένου μετάλλου και, όσο αυξάνει το βάθος, αναμένεται να αλλάξει και ο τρόπος μεταφοράς. Στις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις, ο συνηθισμένος τρόπος μεταφοράς γίνεται με μικρές σταγόνες, εκτός των περιπτώσεων, που κατά καιρούς σχηματίζεται μεγάλη σταγόνα και βραχυκυκλώνει το τόξο. Ακόμα και σε ρηχά νερά, η μεταφορά του μετάλλου γίνεται με σταγόνες αντί για ψεκασμό. Η συχνότητα είναι 80-100 σταγόνες το δευτερόλεπτο.

### 2.2.8. Βασικές τεχνικές υγρών υποβρύχιων συγκολλήσεων

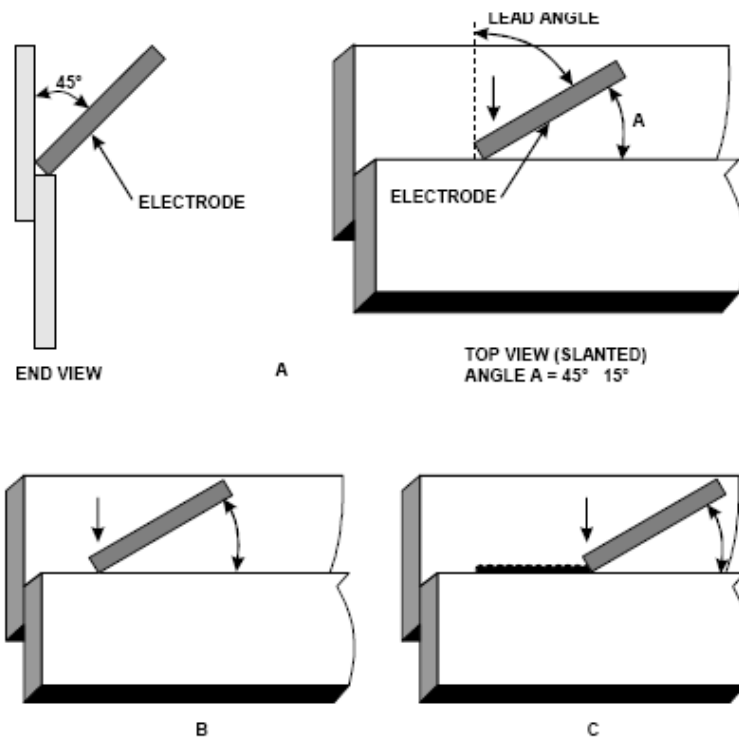
[6]

Για επιτυχημένη υγρή υποβρύχια συγκόλληση, είτε κάποιος είναι έμπειρος δύτες/συγκολλητής είτε είναι αρχάριος, οι προσωπικές ικανότητες που απαιτούνται είναι πολύ λιγότερες από τις αντίστοιχες συγκολλήσεις στον αέρα. Το ταλέντο δεν κάνει καμιά διαφορά στις υγρές συγκολλήσεις γιατί οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι πολύ απλές. Τρεις είναι οι βασικές τεχνικές που ακολουθούνται στις υγρές συγκολλήσεις και όλες είναι τεχνικές αφής (touch technique):

- i. Τεχνική της έλξης ή της αυτοκατανάλωσης (drag or self-consuming technique)
- ii. Τεχνική της ταλάντωσης (manipulative or weave or oscillation technique)
- iii. Τεχνική του πίσω βήματος (step-back technique)

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

Στη τεχνική της έλξης ή της αυτοκατανάλωσης, το ηλεκτρόδιο απλά σέρνεται στην προς συγκόλληση περιοχή και το μόνο που έχει να κάνει ο δύτες/συγκολλητής είναι να ασκήσει πίεση προς τα κάτω, ενώ το ηλεκτρόδιο καταναλώνεται. Διατηρώντας τη σωστή γωνία του ηλεκτροδίου και με τη σωστή ταχύτητα, το ηλεκτρόδιο από μόνο του θα παράγει μια ικανοποιητική συγκόλληση. Όπως έχει ειπωθεί, ο πιο σημαντικός παράγοντας που πρέπει να οριστεί με ακρίβεια είναι η ένταση του ρεύματος γιατί τυχόν λανθασμένη επιλογή δε μπορεί να διορθωθεί από καμιά τεχνική.



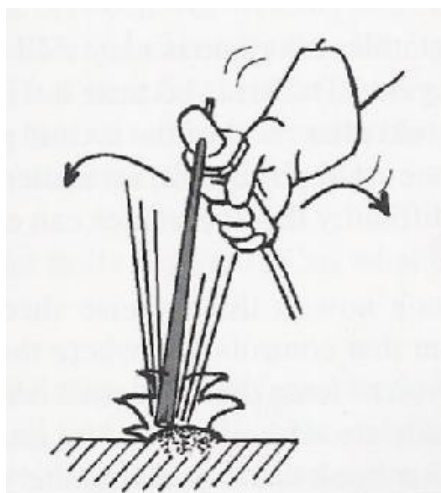
- A. POSITION THE ELECTRODE AT AN ANGLE OF APPROXIMATELY 30 DEGREES TO THE LINE OF WELD WITH THE ELECTRODE TIP IN CONTACT WITH THE WORK.
- B. CALL FOR SWITCH "ON." TAP THE ELECTRODE MOMENTARILY, IF NECESSARY, TO START THE ARC.
- C. APPLY SUFFICIENT PRESSURE IN THE DIRECTION OF THE ARROW TO ALLOW THE ELECTRODE TO CONSUME ITSELF.

Φωτογραφία 2.14: Τεχνική της έλξης ή της αυτοκατανάλωσης σε οριζόντιες αυχενικές συγκολλήσεις

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

Η τεχνική της έλξης ή της αυτοκατανάλωσης χρησιμοποιείται κυρίως από τους αρχάριους γιατί είναι πιο εύκολη και παράγει ικανοποιητικές συγκολλήσεις κάθε φορά με τον ίδιο τρόπο. Η θέση της συγκόλλησης δεν επηρεάζει αυτή την τεχνική και χρησιμοποιείται τόσο για αυχενικές όσο και για ενώσεις με συμβολή.

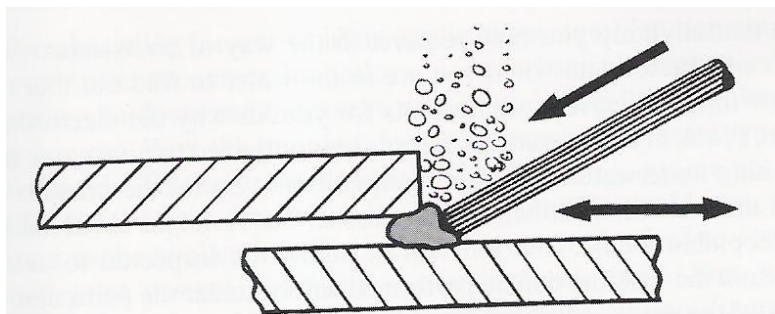
Στην τεχνική της ταλάντωσης, το ηλεκτρόδιο ταλαντώνεται έτσι ώστε το κοντινότερο σημείο στο πιστόλι συγκόλλησης, και όχι το κοντινότερο σημείο στην προς συγκόλληση περιοχή, να υψώνεται και να χαμηλώνεται στην κατακόρυφη κατεύθυνση, δηλαδή η γωνία του ηλεκτροδίου αλλάζει συνεχώς. Αυτό βοηθάει τη μεταφορά του μετάλλου και αποφεύγεται η μη-συγκεντρωτική καύση του ηλεκτροδίου και η τυχόν απόκλιση της πορείας του τόξου. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται κυρίως σε αυχενικές συγκολλήσεις και απαιτεί περισσότερη δεξιοτεχνία από τον δύτη/συγκολλητή.



Φωτογραφία 2.15: Τεχνική της ταλάντωσης

Στην τεχνική του πίσω βήματος, το ηλεκτρόδιο κινείται προς τα μπροστά για λίγο και μετά κινείται προς τα πίσω για λίγα χιλιοστά. Αυτή η τεχνική βελτιώνει το πάχος και το πλάτος της συγκόλλησης και βοηθάει στον καλύτερο έλεγχο της στερεοποίησης του μετάλλου, αφού μειώνει τους ρυθμούς ψύξης της συγκόλλησης. Αυτή η τεχνική απαιτεί, όμως, περισσότερη εμπειρία και ικανότητες από τον δύτη/συγκολλητή και καλύτερη κατανόηση από μέρους του της διαδικασίας στερεοποίησης της συγκόλλησης. Στις αυχενικές συγκολλήσεις διορθώνει τυχόν μικρά λάθη στην εναπόθεση του μετάλλου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την ίδια επιτυχία σε ενώσεις απλής συμβολής.

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις



Φωτογραφία 2.16: Τεχνική του πίσω βήματος

Πριν από την εφαρμογή οποιαδήποτε τεχνικής, ο δύτες/συγκολλητής θα πρέπει να ξέρει τους τύπους του χάλυβα που πρόκειται να συγκολλήσει ώστε να διαλέξει το κατάλληλο ηλεκτρόδιο. Πολύ σημαντική είναι επίσης η σωστή προετοιμασία της επιφάνειας που πρόκειται να συγκολληθεί γιατί μια ικανοποιητική συγκόλληση δε μπορεί να πραγματοποιηθεί πάνω από σκουριά, χρώματα ή θαλάσσιους μικροοργανισμούς [8]. Ο καθαρισμός της επιφάνειας του βασικού μετάλλου μπορεί να γίνει είτε με απλά εργαλεία, όπως σφυριά, μεταλλουργικές ξύστρες ή συρματόβουρτσες, είτε με μηχανικές μεθόδους, όπως δέσμη νερού υψηλής πίεσης. Τέλος, η διαρρύθμιση της ένωσης θα πρέπει να γίνει με ακρίβεια, ώστε να επιτύχουμε ικανοποιητική συγκόλληση.

### 2.2.9. Μέθοδοι υγρών υποβρύχιων συγκολλήσεων

[2, 8, 12, 57]

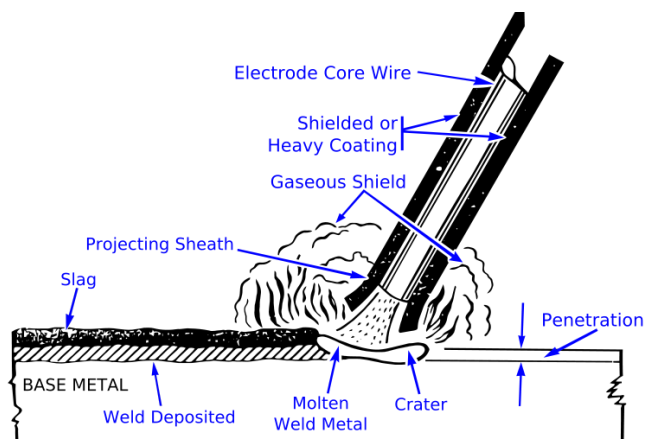
Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις είναι:

- i. Συγκόλληση με επενδυμένα ηλεκτρόδια (Shielded Metal Arc Welding, SMAW)
- ii. Συγκόλληση με τηκόμενο ηλεκτρόδιο και προστασία αερίου (Gas Metal Arc Welding, GMAW)
- iii. Συγκόλληση με τόξο πλάσματος (Plasma Arc Welding, PAW)
- iv. Συγκόλληση τόξου με χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων (Flux Cored Wire, FCAW)



## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

### Συγκόλληση με επενδυμένα ηλεκτρόδια



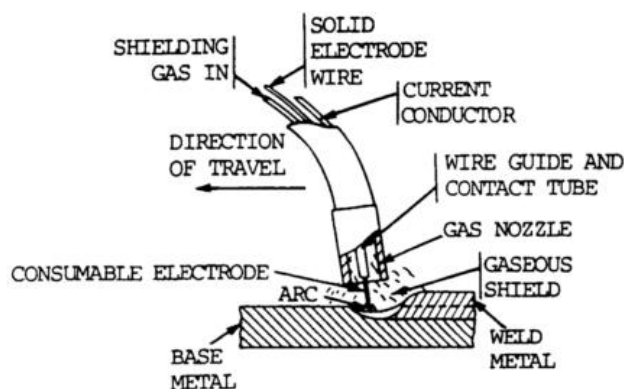
Φωτογραφία 2.17: Συγκόλληση με επενδυμένα ηλεκτρόδια

Η προσαρμοστικότητα και η αποτελεσματικότητα της συγκόλλησης με επενδυμένα ηλεκτρόδια την καθιστούν την ευρύτερα χρησιμοποιημένη διαδικασία συγκόλλησης για υποβρύχιες συγκολλήσεις. Η απλότητα της μεθόδου έχει ως αποτέλεσμα ελάχιστες απαιτήσεις σε εξοπλισμό. Η προστασία του τόξου συγκόλλησης από το νερό παρέχεται από αέρια που σχηματίζονται από την καύση της επένδυσης του ηλεκτροδίου. Αυτή η μέθοδος παρέχει συγκολλήσεις κατώτερης ποιότητας από αυτές στην επιφάνεια.

Χρησιμοποιείται συνεχές ρεύμα και ορθή πολικότητα. Ανάστροφη πολικότητα χρησιμοποιείται σε παχιά ελάσματα, όταν θέλουμε να επιτύχουμε ευκολότερο ξεκίνημα του τόξου και σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές, όπως στον Βόρειο Ατλαντικό (λιγότεροι πόροι). Ανάλογα με την ισοδύναμη περιεκτικότητα σε άνθρακα, επιλέγεται το ηλεκτρόδιο με την κατάλληλη σύνθεση στο υλικό του μετάλλου και στην επένδυση. Γενικά, για χάλυβες με  $CE < 0,40$  χρησιμοποιούνται φερριτικά ηλεκτρόδια, ενώ για χάλυβες με  $CE \geq 0,40$  ωστενιτικά ή κραματωμένα με νικέλιο. Για τη χρήση των ηλεκτροδίων στις υποβρύχιες συγκολλήσεις, αυτά πρέπει να αδιαβροχοποιούνται για την αποφυγή εισροής υδρογόνου στην επένδυση τους. Ο τρόπος που θα μεταφερθούν κάτω από το νερό και πόσο καιρό θα παραμείνουν εκεί είναι πολύ σημαντικά για την συγκόλληση. Στο εμπόριο, τα ηλεκτρόδια E6013 και E7014 είναι πιστοποιημένα για υποβρύχιες συγκολλήσεις και για βάθη μέχρι 100 m μπορούν να παραμείνουν εκτεθειμένα στο νερό χωρίς προβλήματα υγρασίας για 24h.

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

### Συγκόλληση με τηκόμενο ηλεκτρόδιο και προστασία αερίου



Φωτογραφία 2.18: Συγκόλληση με τηκόμενο ηλεκτρόδιο και προστασία αερίου

Είναι η διαδικασία συγκόλλησης που χρησιμοποιεί προστασία αερίου και η απαιτούμενη θερμότητα παρέχεται από το ηλεκτρικό τόξο που σχηματίζεται μεταξύ ενός τηκόμενου ηλεκτρόδιου και των προς συγκόλληση τεμαχίων. Ο εξοπλισμός για υποθαλάσσιες ημι-αυτοματοποιημένες συγκολλήσεις GMAW σχεδιάστηκε για πρώτη φορά στη Ρωσία στα τέλη της δεκαετίας του '50 και χρησιμοποιείται ολοένα και ευρύτερα.

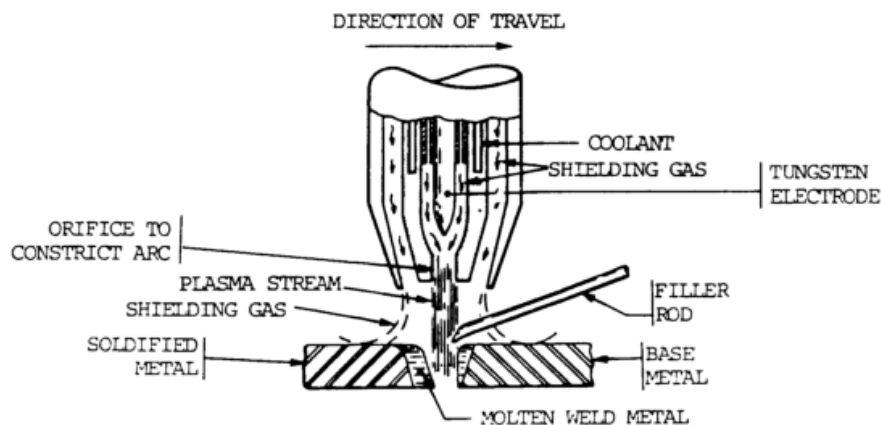
Η εξασφάλιση στεγανότητας στο πιστόλι συγκόλλησης, η κακή ορατότητα από τις φυσαλίδες του αερίου προστασίας, το μέγεθός της και το βάρος της την καθιστούν αρκετά πολύπλοκη διαδικασία για υποβρύχιες εργασίες. Το ουσιαστικό πλεονέκτημα είναι η εξασφάλιση μιας πολύ μικρής περιοχής γύρω από το τόξο, η οποία δεν έρχεται σε απευθείας επαφή με το νερό, με αποτέλεσμα τη μείωση του υδρογόνου στη συγκόλληση.

Η μεγαλύτερη διαφορά στις υγρές συγκολλήσεις είναι στη σχεδίαση του πιστολιού συγκόλλησης για την αποφυγή εισροής του νερού στο αέριο προστασίας και στο τόξο. Το ρεύμα συγκόλλησης είναι συνεχές και χρησιμοποιείται η ανάστροφη πολικότητα, αφού δίνει πιο σταθερό τόξο και μεγαλύτερη διείσδυση, αλλά προκαλεί γαλβανική διάβρωση στο πιστόλι. Το αέριο προστασίας μπορεί να είναι διοξείδιο του άνθρακα, αδρανές αέριο ή μείγμα αυτών. Οι παροχές για υγρές συγκολλήσεις είναι μεγαλύτερες από ότι στην επιφάνεια, ανάλογα με το βάθος, με τυπικές τιμές ανάμεσα σε 20-60 L/min.

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

### Συγκόλληση με τόξο πλάσματος

Η συγκόλληση με τόξο πλάσματος είναι παρόμοια διαδικασία συγκόλλησης τόξου με τη συγκόλληση με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστασία αερίου. Το ηλεκτρικό τόξο σχηματίζεται ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο και στην προς συγκόλληση περιοχή. Το ηλεκτρικό τόξο προκαλεί τήξη του υλικού συγκόλλησης και του μετάλλου του ελάσματος. Για την αποφυγή της επίδρασης της ατμόσφαιρας, η συγκόλληση προστατεύεται από αδρανές αέριο. Η ουσιαστική διαφορά μεταξύ των δύο διαδικασιών έγκειται στη δημιουργία του τόξου πλάσματος, δηλαδή το αέριο προστασίας δεν παρέχεται ψυχρό. Μέσω ξεχωριστού ακροφύσιου σχηματίζεται στήλη αερίου μεταξύ του ηλεκτροδίου και του εξωτερικού στρώματος αδρανούς αερίου. Αυτή η στήλη θερμαίνεται σε θερμοκρασίες κοντά στους  $20000^{\circ}\text{C}$ , με αποτέλεσμα το αέριο να ιονίζεται ακαριαία. Το ηλεκτρόδιο που παρέχει το ρεύμα για το σχηματισμό του τόξου είναι ένας μη αναλώσιμος, ανοδικά φορτισμένος σωλήνας από άνθρακα. Λόγω μαγνητικών αλληλεπιδράσεων, το τόξο πλάσματος είναι πάντα ομόκεντρο με το ηλεκτρικό τόξο. Τα δύο τόξα τροφοδοτούνται από δύο ανεξάρτητες πηγές ενέργειας.



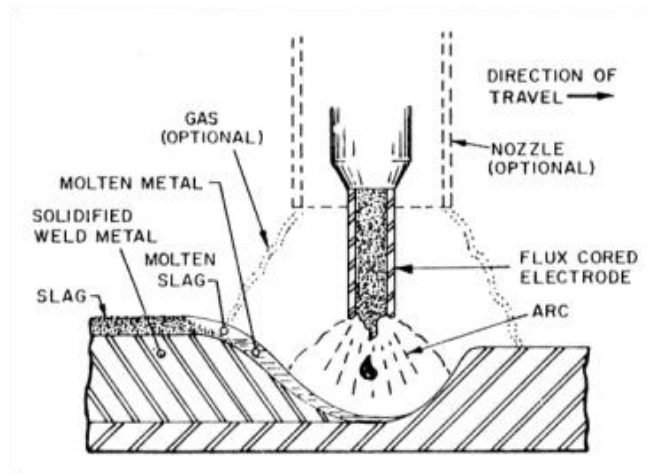
Φωτογραφία 2.19: Συγκόλληση με τόξο πλάσματος

Η χρήση δύο ηλεκτρικών τόξων με ανεξάρτητο έλεγχο παρέχει μεγαλύτερη ευκολία στην πρόσδοση της θερμότητας και καλύτερη σταθερότητα της διαδικασίας κάτω από συνθήκες αυξημένης πίεσης. Ο υψηλός ρυθμός τήξης και η ταχύτητα προώθησης την καθιστούν ικανή να παρέχει συγκολλήσεις σε μεγαλύτερα βάθη και για πιο παχιά ελάσματα. Όλα τα παραπάνω, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι μπορεί

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

να δώσει ποιοτικές συγκολλήσεις σε όλες τις θέσεις, την καθιστούν πολύ καλή επιλογή για υγρές συγκολλήσεις σε μεγάλα βάθη. Είναι όμως μια ακριβή και πολύπλοκη διαδικασία συγκόλλησης και απαιτεί περισσότερη δεξιοτεχνία από τον δύτη/συγκολλητή.

### Συγκόλληση τόξου με χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων



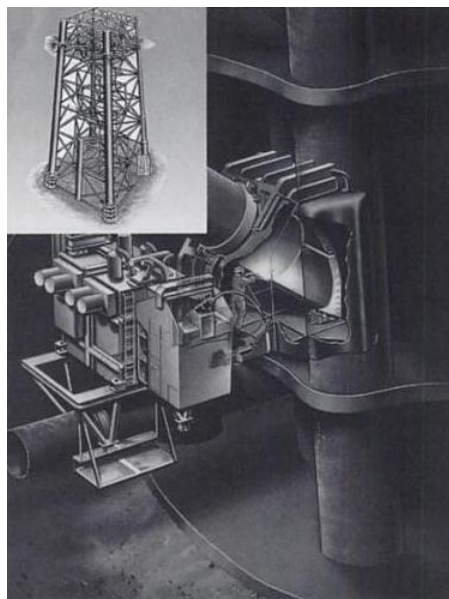
Φωτογραφία 2.20: Συγκόλληση τόξου με χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων

Η συγκόλληση τόξου με χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων είναι μια ημιαυτόματη ή πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία συγκόλλησης τόξου. Απαιτεί μια συνεχή παροχή ηλεκτροδίου, το οποίο περικλείει μια σκόνη, και μια συνεχή παροχή ρεύματος. Η σκόνη προστατεύει τη συγκόλληση από την ατμόσφαιρα και τις περισσότερες φορές δε χρειάζεται επιπλέον προστασία αερίου. Τα πλεονεκτήματά της είναι η ταχύτητα προώθησης, η αυτοματοποίησή της, η καταλληλότητα για όλες τις θέσεις και η καλύτερη εναπόθεση του μετάλλου. Είναι, όμως, ακριβή και περίπλοκη διαδικασία και με έντονο το πρόβλημα της εμφάνισης πόρων στη συγκόλληση. Τα τελευταία χρόνια γίνεται έρευνα στις ΗΠΑ για επέκταση της διαδικασίας στις υποβρύχιες συγκολλήσεις και η έρευνα αυτή έχει οδηγήσει σε υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις με πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες σε μικρά βάθη (1-6 m).

## 2.3. Στεγνές υπερβαρικές συγκολλήσεις

### 2.3.1. Εισαγωγή

Η ανάπτυξη υποβρύχιων συγκολλήσεων σε στεγνό περιβάλλον καθιστά δυνατή την παραγωγή υψηλής ποιότητας συγκολλητών ενώσεων σε ολόενα και μεγαλύτερα βάθη. Στις στεγνές συγκολλήσεις, η συγκόλληση και ο χώρος γύρω από αυτήν δεν έρχονται σε επαφή με το νερό και ο συγκολλητής εργάζεται σε στεγνό περιβάλλον. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται κυρίως στις στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις είναι η συγκόλληση με επενδυμένα ηλεκτρόδια (SMAW), η συγκόλληση με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστασία αερίου (GTAW), η συγκόλληση με χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων (FCAW) και η συγκόλληση με τόξο πλάσματος (PAW). Η συγκόλληση με επενδυμένα ηλεκτρόδια χρησιμοποιείται λιγότερο από όλες τις άλλες μεθόδους στις στεγνές συγκολλήσεις εξαιτίας των μεγάλων ποσοτήτων καπνού και αερίων που παράγει. Η συγκόλληση με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστασία αερίου είναι σχετικά αργή, αλλά παράγει καλής ποιότητας συγκολλήσεις. Έρευνες πραγματοποιούνται τα τελευταία χρόνια για τη χρήση σε μεγάλα βάθη (ακόμα και μέχρι 1000 m) της συγκόλλησης με τόξο πλάσματος και για πλήρη αυτοματοποίηση της συγκόλλησης με χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων.



Φωτογραφία 2.21: Υποβρύχια στεγνή συγκόλληση

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

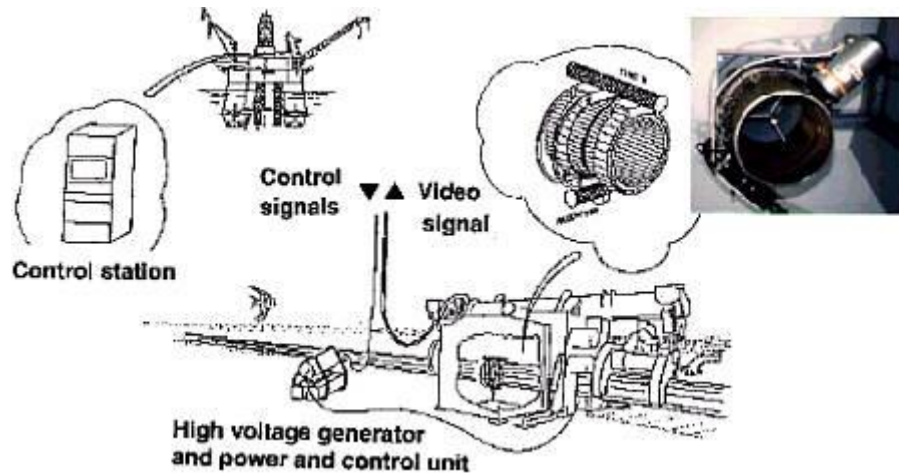
Στις υπερβαρικές συγκολλήσεις, ο θάλαμος που περικλείει τη συγκόλληση είναι μια απλή κατασκευή από μέταλλο ή ξύλο με επίστρωση επιβραδυντικών φωτιάς και παρέχει στο δύτε/συγκολλητή όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό και τις κατάλληλες συνθήκες για συγκόλληση σε στεγνό περιβάλλον. Ο θάλαμος είναι έτσι κατασκευασμένος, ώστε να σφραγίζει την προς συγκόλληση περιοχή, να αντέχει όλες τις φορτίσεις που δέχεται και να είναι ανοιχτός στον πυθμένα για την είσοδο του δύτε/συγκολλητή. Η γεωμετρία και οι διαστάσεις του καθορίζονται από την περιοχή που πρόκειται να σφραγίσει και από τον αριθμό των συγκολλητών που θα εργαστούν στο εσωτερικό του ταυτόχρονα [2].

Η πίεση της ατμόσφαιρας μέσα στο θάλαμο είναι ίση με τη πίεση του νερού στο αντίστοιχο βάθος. Μόλις η συναρμολόγηση της κατασκευής ολοκληρωθεί, το νερό εκτοπίζεται με αέριο κατάλληλης πίεσης. Σε μικρά βάθη, το αέριο αυτό είναι ατμοσφαιρικός αέρας που παρέχεται από την επιφάνεια και ρυθμίζεται σε κατάλληλη πίεση. Όσο, όμως, αυξάνει το βάθος και η πίεση (1 ατμόσφαιρα για κάθε 10 m), το άζωτο στον αέρα προκαλεί νάρκωση, οπότε για βάθη μεγαλύτερα των 50 m χρησιμοποιείται μίγμα ήλιου και οξυγόνου. Το ποσοστό του οξυγόνου ρυθμίζεται έτσι ώστε να είναι αρκετό για να αναπνέουν οι συγκολλητές, αλλά και να μην υπάρχει κίνδυνος πυρκαγιάς, αφού με αύξηση της πίεσης το περιβάλλον γίνεται πιο εύφλεκτο [3].

Οι θάλαμοι πρέπει να περιέχουν σύστημα εξαερισμού-κλιματισμού, τόσο για να ψύχουν, όσο και για να φιλτράρουν την ατμόσφαιρα μέσα στο θάλαμο. Κλιματισμός χρειάζεται εξαιτίας της θερμότητας που παράγεται κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Εξαερισμός χρειάζεται εξαιτίας των αερίων που προήλθαν από την καύση του μετάλλου συγκόλλησης, του βασικού μετάλλου και των στοιχείων της επένδυσης του ηλεκτρόδιου. Απαραίτητος είναι και ο σωστός φωτισμός του θαλάμου, ο οποίος μπορεί να ενισχυθεί με βάνιμο του εσωτερικού του με λευκό χρώμα [7].

Στον εξοπλισμό ασφαλείας περιλαμβάνεται ένα τηλέφωνο για την επικοινωνία με την επιφάνεια και ένα κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης για τη συνεχή παρακολούθηση των εργασιών [12]. Η παροχή ενέργειας γίνεται συνήθως από την επιφάνεια με καλώδια που μεταφέρονται στο θάλαμο, τα οποία πρέπει να προστατεύονται από την υγρασία που επικρατεί στο θάλαμο. Ο θάλαμος πρέπει να έχει αρκετό αποθηκευτικό χώρο για τα εργαλεία, τα εκάστοτε αναλώσιμα και την ενδυμασία του συγκολλητή.

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις



Φωτογραφία 2.22: Θάλαμος στεγνής συγκόλλησης

Οι στεγνές συγκολλήσεις παρουσιάζουν συγκεκριμένα προβλήματα. Σε ρηχά νερά, οι στεγνές συγκολλήσεις στην ουσία είναι ίδιες με αυτές στην επιφάνεια. Καθώς το βάθος αυξάνει, η πίεση προκαλεί στένωση του ηλεκτρικού τόξου, με αποτέλεσμα δυσκολίες στο χειρισμό του και στη διείδυση του μετάλλου. Για βάθη μεγαλύτερα των 35 m, η μεταφορά του μετάλλου γίνεται όλο και πιο δυσχερής και παράγονται μεγάλες ποσότητες αερίων. Η κάθε μεθοδολογία συγκόλλησης επηρεάζεται διαφορετικά, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της και τις τελευταίες δεκαετίες γίνονται έρευνες για τη βελτίωση της ποιότητας των συγκολλήσεων που παράγουν.

### 2.3.2. Αρνητικοί παράγοντες

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις είναι αποτέλεσμα του περιβάλλοντος, της πίεσης και του βάθους. Το εργασιακό περιβάλλον μέσα στο θάλαμο συγκόλλησης περιορίζει τις κινήσεις του συγκολλητή και πολλές φορές τον εμποδίζει από το να βρεθεί στην καλύτερη θέση για να δει την ένωση και να πραγματοποιήσει τη συγκόλληση. Επιπλέον, ο συγκολλητής βρίσκεται σε άμεση επαφή με τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τη συγκόλληση και με τα τοξικά αέρια που παράγονται. Ο συνδυασμός του περιβάλλοντος και το αυξανόμενο βάθος δυσχεραίνει τη μεταφορά των υλικών, του προσωπικού και τις επικοινωνίες, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι πιθανοί κίνδυνοι. Οι κίνδυνοι μπορούν να περιοριστούν με τον σωστό εξοπλισμό, τη σωστή σχεδίαση και την κατάλληλη υποστήριξη από την επιφάνεια.

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

Η υπερβαρική πίεση παραμένει ο ουσιαστικότερος παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα της συγκόλλησης με δύο τρόπους, πρώτον, επηρεάζοντας τη σταθερότητα του ηλεκτρικού τόξου και τη μεταφορά του μετάλλου, και, δεύτερον, επηρεάζοντας τη χημική σύνθεση της συγκόλλησης [2,3]. Υπό τις υπερβαρικές συνθήκες, η θερμική αγωγιμότητα των αερίων αυξάνεται και προκαλεί στένωση του ηλεκτρικού τόξου και αύξηση της πτώσης της τάσης. Στένωση της στήλης του τόξου, και η επακόλουθη αύξηση της ενεργειακής πυκνότητας, προκαλούν σημαντικές αλλαγές στη συμπεριφορά της ανόδου και της καθόδου, με αποτέλεσμα την αστάθεια του τόξου. Καθώς η πίεση αυξάνεται, το μαγνήσιο και το πυρίτιο στη χημική σύνθεση της συγκόλλησης μειώνονται, ακόμα και μέχρι 30% και 10% αντίστοιχα σε σύγκριση με συγκολλήσεις που συμβαίνουν στην επιφάνεια. Αντίθετα, ο άνθρακας και το οξυγόνο αυξάνονται σημαντικά μέσα στο μέταλλο συγκόλλησης. Αποτέλεσμα αυτών είναι να μειώνεται η δυσθραυστότητα της συγκόλλησης και να αυξάνεται η σκληρότητά της. Τέλος, με την αύξηση της πίεσης, η κατανάλωση των ηλεκτροδίων γίνεται με ταχύτερους ρυθμούς, με πιο δραστική αύξηση στα πρώτα 35 m βάθους.

Εξαιτίας των υψηλών επιπέδων υγρασίας στους θαλάμους των στεγνών συγκολλήσεων, όλες οι μέθοδοι συγκολλήσεων που χρησιμοποιούνται πρέπει να προβλέπουν προθέρμανση (preheating) και διατήρηση της σωστής θερμοκρασίας μεταξύ κορδονιών (interpass temperatures) [2]. Η διακύμανση της τιμής για τη σωστή θερμοκρασία καθορίζεται από τη σύσταση και το πάχος του μετάλλου βάσης, από την ενέργεια του τόξου και από την παρουσία του υδρογόνου. Πηγές ενέργειας για τη ρύθμιση της θερμότητας, χαλιά ή κουβέρτες με ηλεκτρικές αντιστάσεις για την παραγωγή θερμότητας χρησιμοποιούνται όπως ακριβώς και στην επιφάνεια για τη μείωση της υγρασίας. Οι θερμοκρασίες της συγκόλλησης καταγράφονται σε ειδικά μηχανήματα στην επιφάνεια και επιθεωρούνται για τη σωστή διακύμανσή τους. Εκτός από τη προθέρμανση για την αφαίρεση της υγρασίας και μείωση του υδρογόνου, είναι δυνατόν η θέρμανση των συγκολλητών ενώσεων εκ των υστέρων για την ανακούφιση παραμενουσών τάσεων.

### 2.3.3. Οξείδωση του άνθρακα

[2]

Οι χημικές αντιδράσεις κατά τη διάρκεια συγκολλήσεων με χρήση ηλεκτρικού τόξου επηρεάζονται από την πίεση. Φαίνεται ότι στις υπερβαρικές συγκολλήσεις



## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

υπάρχει μια γραμμική σχέση μεταξύ του ποσοστού άνθρακα και οξυγόνου που περιέχεται στο μέταλλο με το βάθος και την πίεση. Αυτό οφείλεται μερικώς σε μια γενικότερη εξάρτηση από την πίεση των διάφορων αντιδράσεων των αερίων με το μέταλλο και μερικώς σε μια αλλαγή των φυσικών συνθηκών κατά τη διάρκεια της αντίδρασης εξαιτίας της αστάθειας του τόξου.

Κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης με τόξο, η διάσπαση των συστατικών των επικαλύψεων των ηλεκτροδίων παράγει διάφορα αέρια, τα οποία και προσφέρουν στην προστασία του τόξου. Στην περίπτωση απλών επικαλύψεων, η ατμόσφαιρα που επικρατεί γύρω από το τόξο αποτελείται κυρίως από μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, με μικρές ποσότητες υδρογόνου και νερού. Οι υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα οδηγούν σε μεγάλη απορρόφηση άνθρακα και οξυγόνου στο μέταλλο συγκόλλησης σε υψηλές θερμοκρασίες. Επειδή ο άνθρακας είναι αρκετά ισχυρότερο αναγωγικό από το πυρίτιο και το μαγνήσιο σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 1700 °C, είναι λογική η υπόθεση ότι αυτό το στοιχείο θα καθορίζει τα επίπεδα του οξυγόνου κατά τα αρχικά στάδια της ψύξης. Πρέπει να τονισθεί ότι αυτή η συμπεριφορά είναι εντελώς αντίθετη στη μέθοδο με προστασία αερίου, όπου η οξειδωση του άνθρακα είναι μηδαμινή. Πιθανολογείται ότι αυτό οφείλεται στην έλλειψη μακροσκοπικού στρώματος σκουριάς στη μέθοδο με προστασία αερίου. Αντίθετα με τον άνθρακα, η αναγωγική ικανότητα του πυριτίου και του μαγνησίου αυξάνεται ταχύτατα με την ελάττωση της θερμοκρασίας, κάτι που σημαίνει ότι η οξειδωση του άνθρακα σταδιακά μειώνεται κατά την ψύξη και πλέον το πυρίτιο και το μαγνήσιο καθορίζουν το επίπεδο του οξυγόνου. Αποτέλεσμα αυτών είναι η υψηλή και απρόβλεπτη περιεκτικότητα σε οξυγόνο του μετάλλου συγκόλλησης με τη μορφή ομοιόμορφα διασκορπισμένων σωματιδίων οξειδίων.

Ο ρόλος της πίεσης στη χημεία του μετάλλου συγκόλλησης είναι να καταστέλλει την οξειδωση του άνθρακα, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι απώλειες πυριτίου και μαγγανίου. Ακόμα, μείωση του οξυγόνου στη συγκόλληση μέσω προσθήκης οξειδωτικών στοιχείων στην επικάλυψη του ηλεκτροδίου συνήθως απαιτεί ανάλογη συγκέντρωση άνθρακα, οπότε τίθενται αυτομάτως περιορισμοί ως προς την πίεση προκειμένου να αποκτήσει καλές μηχανικές ιδιότητες η συγκόλληση, αφού σε υψηλές πιέσεις δε μπορούν να είναι μικρές ταυτόχρονα οι περιεκτικότητες του οξυγόνου και του άνθρακα.

### 2.3.4. Αυξημένα επίπεδα ακαθαρσιών

[2]

Η σύνθεση του μετάλλου συγκόλλησης αλλάζει όταν αυτή γίνεται υπό πίεση. Οι αντιδράσεις που καταναλώνουν αέρια ενισχύονται, ενώ αυτές που τα παράγουν καταστέλλονται. Τέτοιου είδους αντιδράσεις, σημαντικές για τη συγκόλληση, είναι η αυξημένη απορρόφηση υδρογόνου από την ατμόσφαιρα του τόξου και η μειωμένη ανάδευση μονοξειδίου του άνθρακα. Και στις δύο περιπτώσεις το επίπεδο των ακαθαρσιών αυξάνει με την αύξηση της πίεσης, αφού και ο άνθρακας και το υδρογόνο θεωρούνται ανεπιθύμητα στοιχεία στις υπερβαρικές συγκολλήσεις. Τέλος, οι αυξημένοι ρυθμοί ψύξης στην περιοχή κάτω από 500 °C που συναντούνται στο ήλιο υψηλής πίεσης, μειώνουν το ποσοστό του υδρογόνου που διαφεύγει από τη συγκόλληση κατά το στάδιο αυτό της ψύξης, με αποτέλεσμα να παραμένει μεγαλύτερο ποσοστό στη συγκόλληση.

Η απορρόφηση του υδρογόνου σε υπερβαρικές συγκολλήσεις έχει αποδειχθεί σε έρευνες από το 1976. Υψηλότερα ποσοστά υδρογόνου είναι αναμενόμενα κάτω από συνθήκες υγρασίας μέσα σε υποβρύχιο θάλαμο λόγω της απορρόφησης υγρασίας από την επένδυση του ηλεκτροδίου και την απευθείας προσβολή της λίμνης συγκόλλησης. Ο κίνδυνος αυξημένης απορρόφησης υδρογόνου κάτω από ρεαλιστικές συνθήκες υγρού θαλάμου είναι ανάλογος του χρόνου παραμονής του ηλεκτροδίου. Ο ρυθμός πρόσληψης υγρασίας εξαρτάται από τη σχετική υγρασία και την αρχική ποσότητα νερού της επένδυσης. Η ρωγμάτωση λόγω υδρογόνου έχει αναφερθεί τόσο για το μέταλλο συγκόλλησης, όσο και για τη θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη για υπερβαρικές συγκολλήσεις. Για αυτό το λόγο αναπτύσσονται μέθοδοι για την πρόβλεψη της παρουσίας του υδρογόνου και της επίδρασής του στη ρωγμάτωση. Σε βάθη μεγαλύτερα των 300 m χρειάζονται πολύ αυστηρές προφυλάξεις για τη διατήρησή του σε χαμηλά επίπεδα. Σε τέτοια βάθη οι μέθοδοι συγκόλλησης με προστασία αδρανούς αερίου έχουν σαφή πλεονεκτήματα, αφού η μόνη περίπτωση πρόσληψης υδρογόνου είναι η εισροή της υγρής ατμόσφαιρας του θαλάμου στο τόξο.

Τα ποσοστά του οξυγόνου και άνθρακα ανεβαίνουν με την αύξηση του βάθους στις υπερβαρικές συγκολλήσεις με επενδυμένα ηλεκτρόδια. Η συνδυασμένη επίδραση αυτών των δύο στοιχείων είναι χαρακτηριστικό των υπερβαρικών συγκολλήσεων με επενδυμένα ηλεκτρόδια, αφού οι υψηλές συγκεντρώσεις αυτών των στοιχείων δεν υφίστανται σε συγκολλήσεις στην επιφάνεια. Αφού τόσο ο

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

άνθρακας όσο και το οξυγόνο συμβάλλουν στη μείωση της δυσθραυστότητας της συγκόλλησης, τα στοιχεία αυτά περιορίζουν το εύρος του βάθους για συγκολλήσεις με ηλεκτρόδια περισσότερο από το υδρογόνο. Είναι δυνατόν να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις των κανονισμών με τη μέθοδο των επενδυμένων ηλεκτροδίων για βάθη έως 150-200 m. Στα 300 m είναι αναμενόμενο να παρουσιάζονται δυσκολίες που έχουν να κάνουν με τη ρωγμάτωση λόγω υδρογόνου, τη δυσθραυστότητα και τη μείωση της τάσης θραύσεως, ενώ για ακόμα μεγαλύτερα βάθη οι μέθοδοι με προστασία αδρανούς αερίου είναι οι μόνες που μπορούν να δώσουν ποιοτικές συγκολλήσεις.

### **2.3.5. Μέθοδοι στεγνών υποβρύχιων συγκολλήσεων**

[2, 3, 12]

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις είναι:

- i. Συγκόλληση με επενδυμένα ηλεκτρόδια (Shielded Metal Arc Welding, SMAW)
- ii. Συγκόλληση με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστασία αερίου (Gas Metal Tungsten Welding, GTAW)
- iii. Συγκόλληση τόξου με χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων (Flux Cored Wire, FCAW)
- iv. Συγκόλληση με τόξο πλάσματος (Plasma Arc Welding, PAW)

#### Συγκόλληση με επενδυμένα ηλεκτρόδια

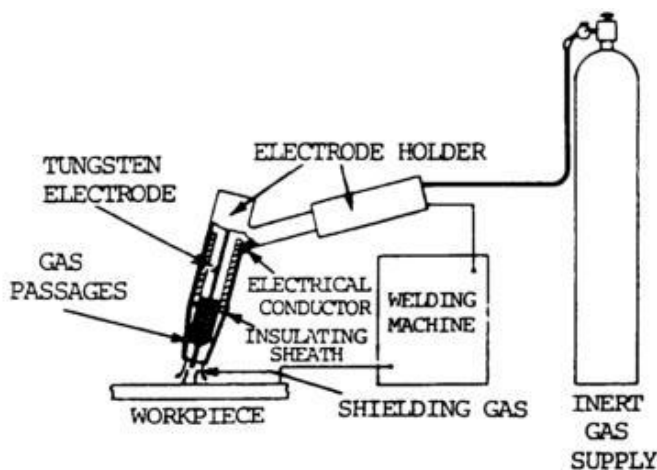
Η συγκόλληση με επενδυμένα ηλεκτρόδια είναι η πιο ευρύτατα χρησιμοποιούμενη σε δομικές επισκευές και σε συνθήκες μιας ατμόσφαιρας. Αυτή η διαδικασία πλεονεκτεί στο κόστος, στη χρήση απλού εξοπλισμού και στο ότι οι περισσότεροι συγκολλητές είναι αρκετά έμπειροι στη χρήση της. Στα μειονεκτήματα της περιλαμβάνονται η πρόβλεψη για διατήρηση του ηλεκτροδίου μακριά από την υγρασία και η απαίτηση για φούρνο ηλεκτροδίων μέσα στο θάλαμο.

Η ευστάθεια του ηλεκτρικού τόξου και η μεταφορά του μετάλλου επηρεάζονται δυσμενώς από την αύξηση της πίεσης και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη σύνθεση της επένδυσης του ηλεκτροδίου. Δοκιμές διαφόρων τύπων ηλεκτροδίων κάτω από συνθήκες υπερβαρικών πιέσεων έδειξαν ότι οι επενδύσεις ρουτιλίου έδωσαν πορώδες μέταλλο συγκόλλησης και έντονο πιτσίλισμα, ενώ οι

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

κυτταροειδείς επενδύσεις έδωσαν ανισομεγέθεις στρώσεις. Τα οξειδωτικά ηλεκτρόδια βρέθηκαν επίσης ακατάλληλα. Πιο αποτελεσματικά ήταν τα βασικά ηλεκτρόδια, αφού επηρεάζονται λιγότερο από αλλαγές της πίεσης. Η μεταφορά του μετάλλου είναι συνήθως της μορφής σταγόνων σε αυξημένες πιέσεις με ελαφρώς αύξουσα συχνότητα βραχυκύκλωσης. Αύξηση της πίεσης προκαλεί αύξηση του ρυθμού τήξης του ηλεκτροδίου, με αποτέλεσμα προβλήματα στον έλεγχο της λίμνης συγκόλλησης. Προτείνεται η χρήση ηλεκτροδίων μικρότερης διαμέτρου για τη μείωση του ρυθμού τήξης. Αποδεκτές μεταλλουργικές ιδιότητες είναι δύσκολα να επιτευχθούν με αυτή τη μέθοδο πάνω από τα 300 m βάθους.

### Συγκόλληση με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστασία αερίου



Φωτογραφία 2.23: Συγκόλληση με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστασία αερίου

Είναι η μέθοδος συγκόλλησης που χρησιμοποιεί αδρανές αέριο για την προστασία της συγκόλλησης και ηλεκτρόδιο από μη τηκόμενο βολφράμιο. Σε σύγκριση με τη SMAW και FCAW είναι λιγότερη ευαίσθητη στο βάθος και στην αύξηση της πίεσης. Απαιτεί λίγο μεγαλύτερο εξοπλισμό από τη SMAW και περισσότερες ικανότητες από το συγκολλητή, με μειονέκτημα τους χαμηλούς ρυθμούς απόθεσης. Θεωρείται γενικά ως μέθοδο υψηλής ακρίβειας στις υπερβαρικές συγκολλήσεις και η διατήρηση του ελέγχου στη πρόσδοση θερμότητας μπορεί να διατηρηθεί για ένα ευρύ πεδίο πιέσεων, καθιστώντας τη μέθοδο αυτή ιδιαίτερα κατάλληλη για αποθέσεις αρχικών στρώσεων.

Η αύξηση της πίεσης αλλάζει τα χαρακτηριστικά του τόξου, με την τάση του τόξου να αυξάνει περίπου ανάλογα της τετραγωνικής ρίζας της πίεσης. Για δεδομένη

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

απόσταση μεταξύ ηλεκτρόδιου και συγκολλητής περιοχής, σταθερό ρεύμα και ταχύτητα συγκόλλησης, η πρόσδοση θερμότητας αυξάνει με το βάθος. Αυτό επιδρά θετικά στην απομάκρυνση των εντονότερων ρυθμών ψύξης που συναντούνται στις υψηλές θερμοκρασίες εξαιτίας αυξημένης θερμικής αγωγιμότητας της ατμόσφαιρας. Οι αστάθειες του τόξου για πιέσεις πάνω από μερικές ατμόσφαιρες σχετίζονται με ανωστικές δυνάμεις στην περιοχή γύρω από τόξο που δε μεταφέρει ρεύμα και ενισχύονται με την αύξηση της πίεσης. Παρόλ' αυτά, κριτήρια σταθερότητας μπορούν να επιτευχθούν για ευρεία περιοχή πιέσεων. Η συγκόλληση με ηλεκτρόδιο βολφραμίου και προστασία αερίου χρησιμοποιείται σε βάθη μέχρι 360m και βάσει κανονισμών μπορεί να φτάσει τα 500 m. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται επίσης σε ημιαυτοματοποιημένα συστήματα συγκολλήσεων, όπως τροχιακά συστήματα συγκολλήσεων για σωληνώσεις.

### Συγκόλληση τόξου με χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων

Η συγκόλληση τόξου με χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων θεωρείται μέθοδος υψηλού ρυθμού απόθεσης και υψηλής πρόσδοσης θερμότητας. Η συγκόλληση είναι συνεχής για μεγάλα διαστήματα χωρίς διακοπές, μειώνοντας το χρόνο αποπεράτωσης της εργασίας. Ο εξοπλισμός που απαιτείται είναι μεγαλύτερος από τις προηγούμενες μεθόδους και δεν αυτοματοποιείται εύκολα, αφού χρειάζεται κάποιος για να απομακρύνει τη σκουριά μετά από κάθε πέρασμα.

Τα αναλώσιμα της μεθόδου έχουν αναπτυχθεί για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε ατμοσφαιρική πίεση. Τα σωληνοειδή ηλεκτρόδια μπορούν να λειτουργήσουν με προστασία αερίου, διοξείδιο του άνθρακα ή μίγμα αδρανούς αερίου-διοξειδίου του άνθρακα. Τα σωληνοειδή ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται χωρίς προστασία αερίου μπορούν να παρέχουν αρκετό αέριο στη στήλη του τόξου ώστε να προστατευτεί η συγκόλληση από ακαθαρσίες. Λίθιο (στοιχείο που έχει καλές ιδιότητες προστασίας της συγκόλλησης) ελευθερώνεται όταν τα συνθετικά της σκόνης αντιδρούν για την ελευθέρωση του μετάλλου. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η είσοδος του αζώτου στο μέταλλο συγκόλλησης εμποδίζεται και η συγκέντρωση αποξειδωτικών στοιχείων όπως αλουμίνιο, πυρίτιο και τιτάνιο, που είναι καθοριστικά για τις ιδιότητες της συγκόλλησης, μπορούν να μειωθούν. Εναλλακτική προσέγγιση είναι η προσθήκη ανθρακικού ασβεστίου στη σκόνη, που δίνει κατά τη διάσπασή του οξείδιο του ασβεστίου και διοξείδιο του άνθρακα που προστατεύει τη συγκόλληση.

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

Αυτοπροστατευόμενα σωληνοειδή ηλεκτρόδια διαμέτρου 1-2 mm έχουν δοκιμαστεί κάτω από συνθήκες υπερβαρικής συγκόλλησης, με μείωση της αποδοτικότητας της προστασίας καθώς η πίεση αυξανόταν. Επιπρόσθετα αέρια προστασίας χρησιμοποιούνται σε υψηλές πιέσεις.

Τα χαρακτηριστικά της μηχανής συγκόλλησης μπορούν να επηρεάζουν τη σταθερότητα του τόξου. Στην επιφάνεια η λειτουργία με σταθερή ένταση είναι δυνατή, αλλά γενικότερα προτιμάται η λειτουργία υπό σταθερή τάση. Το τελευταίο είναι όμως ακατάλληλο για υπερβαρικές συγκολλήσεις, αφού προκαλεί μεγάλες διακυμάνσεις στο ρεύμα και συνεπακόλουθη αστάθεια. Για υψηλές πιέσεις, χαρακτηριστικά σταθερού ρεύματος ή ενδιάμεσα είναι απαραίτητα, με προαιρετική ανατροφοδότηση τάσεως για τον έλεγχο του μήκους του τόξου. Η πολικότητα εξαρτάται από τον τύπο του ηλεκτροδίου και την πίεση. Η μεταφορά του μετάλλου είναι σε μορφή σταγόνας, ανάλογα με το είδος του ηλεκτροδίου. Τέλος, η σταθερότητα της τόξου αρχίζει να μειώνεται για πιέσεις πάνω από 6-7 bar, παρά τις προσπάθειες για εξασφάλιση ευνοϊκών συνθηκών συγκόλλησης.

### Συγκόλληση με τόξο πλάσματος

Η συγκόλληση με τόξο πλάσματος δίνει τη δυνατότητα για συγκολλήσεις σε μεγάλα βάθη. Η λειτουργία της μεθόδου σε μικρότερες πιέσεις είναι παρόμοια με τη GTAW, δηλαδή το τόξο είναι μεταφερόμενο και η στένωσή του από την πίεση το σταθεροποιεί χωρίς να αυξάνει σημαντικά τη δύναμη με την οποία εξέρχεται από το τόξο προς τη λίμνη συγκόλλησης. Σε μεγαλύτερα βάθη προτιμάται η λειτουργία με μη μεταφερόμενο τόξο, γιατί καταστέλλει τις ανωστικές δυνάμεις στις περιοχές του τόξου που δε μεταφέρουν ρεύμα και βελτιώνει τη σταθερότητα. Τα πλάτη των στρώσεων αυξάνουν με την αύξηση της πίεσης. Η συμπεριφορά αυτή μπορεί να αποδοθεί στην αύξηση της ενέργειας του τόξου ως αποτέλεσμα των υψηλών τάσεων τόξου σε μεγάλες πιέσεις.

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα κατά τη διάρκεια των εργασιών είναι η περιορισμένη ορατότητα λόγω της διάθλασης κοντά στο τόξο που προκαλείται από το στροβιλισμό του αερίου που περικλείει τη στήλη πλάσματος. Ο χειριστής έχει δυσκολία στην επιλογή του σωστού τόξου, καθώς βλέπει πολλά “είδωλα” αυτού. Για την εφαρμογή σε μεγαλύτερα βάθη χρειάζονται νέες εξελίξεις στις εφαρμογές συσκευών παρακολούθησης για το φιλτράρισμα της εικόνας.

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

Η ποιότητα των συγκολλήσεων στα 100 bar συγκρίνεται επιτυχώς με αυτή για τις συγκολλήσεις σε μια ατμόσφαιρα. Τα επίπεδα σκληρότητας είναι αρκετά χαμηλά στα 100 bar, ενώ και η δυσθραυστότητα κυμαίνεται σε ικανοποιητικά επίπεδα. Αυτά οφείλονται κυρίως στους υψηλότερους ρυθμούς απόθεσης σε σχέση με τις προηγούμενες μεθόδους.

### 2.4. Όρια βάθους

Η εκμετάλλευση των αποθεμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου κατά τις επόμενες δεκαετίες σε ολοένα και μεγαλύτερα βάθη καθιστά επιτακτική την ανάγκη για διεύρυνση των ορίων βάθους στις υγρές και στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις. Η έρευνα κατευθύνεται σε δύο τομείς [23]. Ο πρώτος τομέας είναι η εξέλιξη συστημάτων αυτοματισμού για βάθη όπου η παρέμβαση του ανθρώπου είναι αδύνατη (>500 m). Αναπτύσσονται υποβρύχια μηχανήματα με τηλεχειρισμό ώστε να μπορούν να διεκπεραιώσουν μια συγκόλληση με χρήση εξελιγμένων συστημάτων παρακολούθησης της εργασίας. Ο δεύτερος τομέας είναι η διερεύνηση της καταλληλότητας των μεθόδων υπερβαρικών συγκολλήσεων για μεγάλες πιέσεις. Η επίδραση της πίεσης στα χαρακτηριστικά του τόξου είναι ο βασικός αρνητικός παράγοντας για τις στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις. Η απώλεια ενέργειας και η συνεπακόλουθη στένωση του τόξου, ο στροβιλισμός του αερίου που παράγει το τόξο και η μείωση της ταχύτητας του πλάσματος που καθιστά το τόξο ευάλωτο σε ρεύματα και μαγνητικά πεδία είναι τα γενικά χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς του τόξου σε συνθήκες πίεσης.

Η επιτυχία στις προσπάθειες για επίτευξη ικανοποιητικής ποιότητας υγρών συγκολλήσεων σε μεγάλα βάθη (>180m) εξαρτάται από την εξέλιξη των ηλεκτροδίων, με στόχο να μειωθεί η επίδραση της πίεσης, του νερού και η παρουσία πόρων και ρωγμών. Όσον αφορά τις στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις, η μέθοδος με σωληνοειδές ηλεκτρόδιο έχει περιορισμένες δυνατότητες και η χρήση της περιορίζεται σε μικρά βάθη. Η μέθοδος με ηλεκτρόδιου βολφραμίου είναι ιδιαίτερα ασταθής σε πιέσεις κοντά στα 50 bar (500 m). Με κατάλληλο σχεδιασμό της μηχανής συγκόλλησης και του πιστολιού, η μέθοδος με τόξο πλάσματος μπορεί να παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα στα 100 bar, ενώ ακόμα και στα 2000 m έχει καταφέρει να διατηρήσει ένα σταθερό τόξο. Τα τελευταία χρόνια η μέθοδος με τηκόμενο

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

ηλεκτρόδιο παρουσιάζει μια άνθηση στη χρήση της στις υπερβαρικές συγκολλήσεις με όριο λειτουργίας τα 80 bar [2,3].

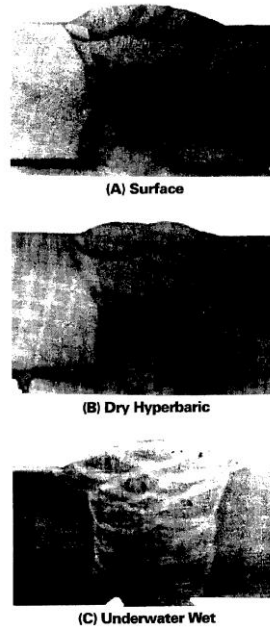
### **2.5. Μικροδομή και μεταλλουργία υποβρύχιων συγκολλήσεων**

Η κατανόηση της μεταλλουργίας των υποβρύχιων συγκολλήσεων είναι απαραίτητη για τη βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων, ιδιαίτερα όσο αυξάνει το βάθος. Οι μηχανικές ιδιότητες εξαρτώνται κυρίως από τη μικροδομή της θερμικά επηρεαζόμενης ζώνης, που επηρεάζεται με τη σειρά της από την πίεση, τους υψηλούς ρυθμούς ψύξης και την κατακράτηση αέριων. Εξαιτίας αυτών συμβαίνουν έντονες διαταραχές στο κρυσταλλικό της πλέγμα και υπό την επίδραση των παραμενουσών τάσεων η περιοχή αυτή είναι επιρρεπής σε κρίσιμα ελαττώματα όπως μικρορωγμές, αφθονία υδρογόνου και μείωση της ολκιμότητας και της δυσθραυστότητας της ένωσης [16,19,25].

Υπάρχει μια σημαντική διαφορά ανάμεσα στις υγρές και στις στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις, η οποία διαφοροποιεί σε μεγάλο βαθμό τις μηχανικές τους ιδιότητες. Παρόλο που και οι δύο επηρεάζονται από την πίεση, οι ταχύτεροι ρυθμοί ψύξης των υγρών συγκολλήσεων λόγω του νερού αλλάζουν σημαντικά τη μικροδομή της συγκόλλησης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ενώ στην επιφάνεια ο κρίσιμος χρόνος ψύξης ( $800^{\circ}\text{C} \rightarrow 500^{\circ}\text{C}$ ) είναι από 8 έως 16 sec, σε μια τυπική υγρή υποβρύχια συγκόλληση κυμαίνεται μεταξύ 1 και 6 sec [2]. Με αυτούς τους ρυθμούς απόψυξης, οι υγρές συγκολλήσεις δίνουν μαρτενσίτη, ενώ έξω από το νερό η δομή αυτή αποφεύγεται τελείως [6]. Το υγρό περιβάλλον, ως αγωγός υψηλής ψύξης, σκληραίνει τη ΘΕΖ (θυμίζοντας τη θερμική κατεργασία της βαφής) και προκαλεί ρωγμάτωση υδρογόνου. Όπως έχει αναφερθεί, οι υγρές συγκολλήσεις περιορίζονται σε χάλυβες με ισοδύναμη περιεκτικότητα σε άνθρακα μικρότερη του 0,4. Για  $CE > 0,4$  αυστηρότερες προδιαγραφές απαιτούνται για την αποδοχή της συγκόλλησης λόγω της μεγαλύτερης ευαισθησίας σε ρωγμάτωση υδρογόνου εξαιτίας του μαρτενσίτη. Η μέθοδος με χρήση σωληνοειδούς ηλεκτρόδιου είναι η πιο αποτελεσματική στη μείωση του ρυθμού ψύξης γιατί το τόξο και το μέταλλο συγκόλλησης είναι καλυμμένα με σκουριά.

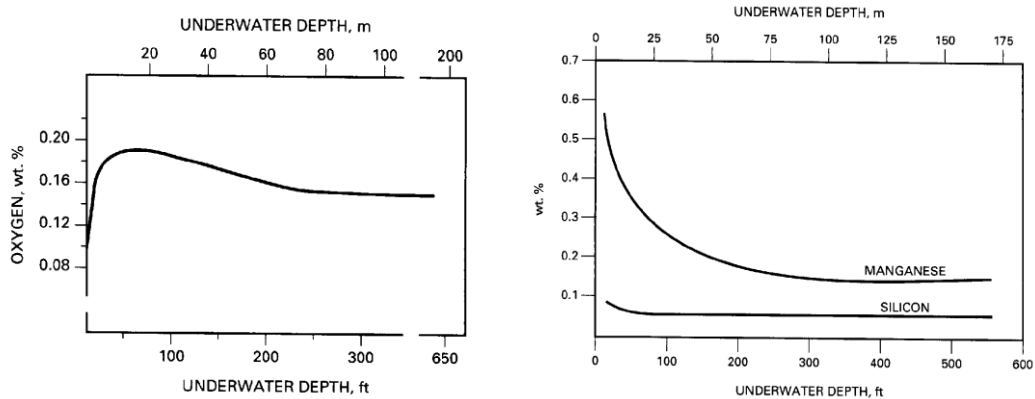


## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

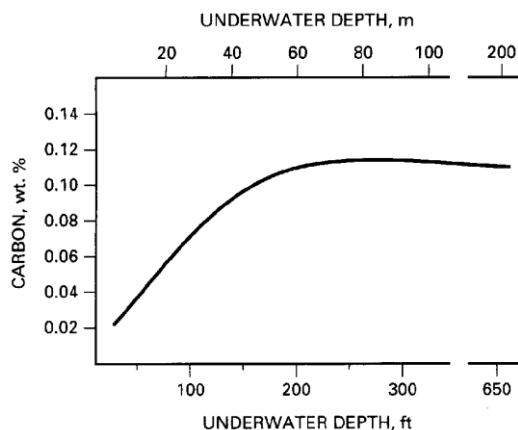


Φωτογραφία 2.24: Ενδεικτικές μικρογραφίες συγκολλήσεων στην επιφάνεια και υποβρυχίως

Η χημική σύσταση της συγκόλλησης είναι συνάρτηση του βάθους. Παρατηρείται μείωση της ποσότητας του μαγνησίου με αύξηση της πίεσης, ιδιαίτερα δραστικά μάλιστα στα πρώτα 27 m βάθος (0,6%→0,25%). Αυτή η μείωση είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ταυτόχρονη απότομη αύξηση του ποσοστού του οξυγόνου για το ίδιο βάθος. Είναι φανερό ότι το ποσοστό του μαγνησίου ελέγχεται από τη διαδικασία της οξειδωσης. Παρόμοια μείωση παρατηρείται και στο πυρίτιο. Αντιθέτως, το ποσοστό του άνθρακα αυξάνεται σημαντικά [2].



## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις



Φωτογραφία 2.25: Διαγράμματα χημικής σύνθεσης συναρτήσει του βάθους

Στις υπερβαρικές συγκολλήσεις, φαίνεται να υπάρχει μια γραμμική σχέση μεταξύ του ποσοστού άνθρακα και οξυγόνου με την πίεση για βάθη μέχρι 100 m, αρκεί η αντίδραση του μονοξειδίου του άνθρακα CO να είναι ελεγχόμενη. Η παραγωγή CO από την αποσύνθεση της επένδυσης του ηλεκτρόδιου οδηγεί στην αύξηση της περιεκτικότητας σε οξυγόνο και άνθρακα. Η χρήση φερροπυριτιχιούχων προσθέτων στην επένδυση μειώνει λιγάκι το οξυγόνο, αλλά δε λύνει το πρόβλημα.

Η αντίδραση του μονοξειδίου του άνθρακα CO αποδείχτηκε ότι είναι ελεγχόμενη και στις υγρές συγκολλήσεις, με αποτέλεσμα τη γραμμική σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας άνθρακα και οξυγόνου με την πίεση για βάθη μέχρι 50 m. Αυτή η παρατήρηση προτείνει ότι η αντίδραση του CO ελέγχει το ποσοστό του οξυγόνου και το οξυγόνο με τη σειρά του ελέγχει την οξείδωση του μαγνησίου και του πυριτίου. Για βάθη μεταξύ 50 m και 100 m, το οξυγόνο και ο άνθρακας παραμένουν σταθερά και παρόμοια και το μαγνήσιο και το πυρίτιο λόγω του σταθερού ρυθμού οξείδωσης. Καθώς το βάθος αυξάνει, η αντίδραση του CO γίνεται λιγότερη κυριαρχική στα ποσοστά του οξυγόνου και του άνθρακα και τη θέση της παίρνει ο διαχωρισμός του νερού στα συστατικά του. Έτσι το υδρογόνο είναι πιο άφθονο και ελέγχει τώρα αυτό τη χημική σύσταση της συγκόλλησης [2,5].

Κοντά στην επιφάνεια, η συγκόλληση αποτελείται κυρίως από φερρίτη με 10-20% περλίτη. Καθώς το βάθος αυξάνεται, το ποσοστό του φερρίτη μειώνεται και αυξάνεται το αντίστοιχο του περλίτη. Για βάθη μεγαλύτερα των 100 m η μικροδομή παραμένει σταθερή. Για χάλυβες χαμηλής αντοχής οι υποβρύχιες συγκολλήσεις είναι σημαντικά σκληρότερες. Αυτό συμβαίνει γιατί στις υγρές συγκολλήσεις σχηματίζεται μαρτενσίτης. Για χάλυβες υψηλότερης αντοχής η διαφορά μεταξύ υγρών και στον

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

αέρα συγκολλήσεων είναι μικρότερη γιατί ο μαρτενσίτης σχηματίζεται και στις δύο περιπτώσεις. Επιθυμητή είναι η παρουσία βελονοειδούς φερρίτη στη συγκόλληση, αφού βελτιώνει τη δυσθραυστότητα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση τιτανίου ή βορίου στην επένδυση του ηλεκτρόδιου, με την προϋπόθεση κατάλληλης περιεκτικότητας σε οξυγόνο και μαγνήσιο (αυξημένα ποσοστά και για τα δύο) [2].

### 2.6. Ανακούφιση υδρογόνου

[2, 5]

Η ρωγμάτωση είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στις υποβρύχιες συγκολλήσεις με αποτέλεσμα τον υποβιβασμό των μηχανικών τους ιδιοτήτων. Εκτός από τους γρήγορους ρυθμούς ψύξης, η υγρασία αυξάνει δραστικά τη διαθεσιμότητα υδρογόνου και τις καθιστά πολύ ευαίσθητες σε ρωγμάτωση υδρογόνου και σε δημιουργία πόρων. Το πρόβλημα μεγαλώνει με την αύξηση της ισοδύναμης περιεκτικότητας άνθρακα των χαλύβων που συγκολλούνται. Αυτή η ρωγμάτωση μπορεί να εξηγηθεί ως αποτέλεσμα της παρουσίας υδρογόνου στο τηγμένο μέταλλο συγκόλλησης, της μικροδομής της θερμικά επηρεαζόμενης ζώνης και των παραμενουσών τάσεων στη συγκόλληση. Για την αποφυγή της ρωγμάτωσης, η επίδραση αυτών των παραγόντων, ειδικότερα του πρώτου, πρέπει να μειωθεί. Τρεις πιθανοί τρόποι για να μειωθεί ή να ελεγχθεί η παρουσία του υδρογόνου είναι, πρώτον, η χρήση αναλώσιμων που μπορούν να συγκρατήσουν μια υψηλή συγκέντρωση υδρογόνου τόσο στο τηγμένο, όσο και στο στερεοποιημένο μέταλλο, δεύτερον, η χρήση διαφορών αερίων για τη προστασία του τόξου συγκόλλησης, και, τρίτον, η σωστή επιλογή των παραμέτρων της συγκόλλησης.

#### Επιρροή των αναλώσιμων της συγκόλλησης

Η χρήση φερριτικών μετάλλων εναπόθεσης προκαλεί την απόρριψη του υδρογόνου από το μέταλλο εναπόθεσης στη μαρτενσιτική θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη, με αποτέλεσμα τη ρωγμάτωση. Μια μέθοδος για τη μείωση της διαθεσιμότητας του υδρογόνου είναι η χρήση ωστενιτικών μετάλλων εναπόθεσης, που έχουν μεγαλύτερη διαλυτότητα από το υδρογόνο και, ως εκ τούτου μικρότερη τάση στη μεταφορά του υδρογόνου στη θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη. Η χρήση όμως ωστενιτικών μετάλλων εναπόθεσης οδηγεί σε περισσότερες παραμένουσες τάσεις, εξαιτίας των υψηλότερων θερμικών διαστολών, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα για

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

ρωγμάτωση πάλι. Η συμβιβαστική λύση μεταξύ υψηλότερης διαλυτότητας από το υδρογόνο και του μειονεκτήματος των υψηλότερων θερμικών διαστολών είναι η χρήση νικελιούχων μετάλλων εναπόθεσης, αφού έχουν σχεδόν την ίδια θερμική διαστολή με τα σιδηρούχα μέταλλα και την ικανότητα να ελέγχουν τη μεταφορά μεγάλης ποσότητας υδρογόνου στη ΘΕΖ. Ωστόσο, τα νικελιούχα μέταλλα είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στην πίεση και στο βάθος και μπορούν να εμφανίσουν πόρους. Για την καλύτερη συμπεριφορά τους σε μεγάλα βάθη απαιτείται επίτευξη υψηλότερης θερμότητας. Τέλος, η χρήση χρωμίου, μολυβδαίνιου και βολφραμίου ως στοιχεία κραμματοποίησης των μετάλλων εναπόθεσης έχει αποδειχθεί ότι μειώνει την περιεκτικότητα του υδρογόνου στη συγκόλληση, ενώ το νιόβιο ως ισχυρό αντιοξειδωτικό, την αυξάνει.

Για να μειώσουμε την παρουσία υδρογόνου στο ηλεκτρικό τόξο, χρησιμοποιούμε αέρια προστασίας της στήλης του πλάσματος. Αυξάνοντας τη περιεκτικότητα του άνθρακα στην επένδυση των ηλεκτροδίων, αυξάνεται η παρουσία του CO στον αέρα και έτσι μειώνεται η παρουσία του υδρογόνου, με αποτέλεσμα σταθερότερο τόξο σε μεγαλύτερα βάθη και λιγότερους πόρους. Ωστόσο, η αύξηση της πίεσης μπορεί να προκαλέσει υπερκορεσμό υδρογόνου σε ωστενιτικά μέταλλα εναπόθεσης, μειώνοντας έτσι την ευνοϊκή μείωση του υδρογόνου στο τόξο. Γι' αυτό το λόγο η αύξηση του άνθρακα προτείνεται για ρηγά νερά.

### Επιρροή των παραμέτρων της συγκόλλησης

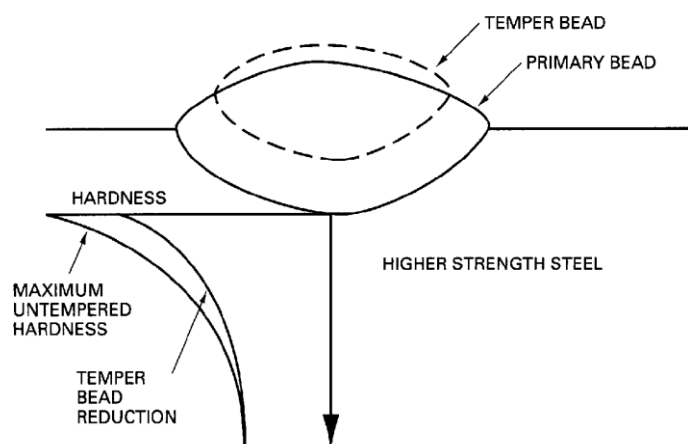
Έχει βρεθεί ότι η παρουσία υδρογόνου και οι παράμετροι συγκόλλησης (τάση και ένταση του ρεύματος) συνδέονται στενά στις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις. Αύξηση της τάσης και μείωση της έντασης του ρεύματος συγκόλλησης, οδηγεί σε μείωση της περιεκτικότητας του υδρογόνου στη συγκόλληση. Επίσης, αύξηση της θερμότητας, μειώνει τη διάχυση του υδρογόνου.

Ο τρίτος παράγοντας που επηρεάζει τη ρωγμάτωση υδρογόνου είναι οι παραμένουσες τάσεις. Οι τάσεις μπορούν να μειωθούν με κατάλληλη διαμόρφωση της ένωσης πριν τη συγκόλληση και με τη χρήση ικανοποιητικής ποσότητας μετάλλου εναπόθεσης για να υποστηρίξει την ένωση. Οι παραμένουσες τάσεις είναι δύσκολες στον έλεγχό τους σε περιβάλλοντα που δεν είναι δυνατή η εκ των υστέρων θέρμανση της συγκόλλησης. Κοινές πρακτικές για την ανακούφιση των παραμένουσων τάσεων στις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις είναι η χρήση

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

αναλώσιμων με ίδιους συντελεστές θερμικής διαστολής με το βασικό μέταλλο, η κατάλληλη διαμόρφωση των ακμών της συγκόλλησης ώστε να μειωθεί το συνολικό μέγεθος της εναπόθεσης, και η προσεκτική εναπόθεση του μετάλλου συγκόλλησης.

Άλλες μέθοδοι με σκοπό τη μείωση των παραμενουσών τάσεων και συνεπακόλουθα της ρωγμάτωσης υδρογόνου έχουν να κάνουν με τη θέρμανση της συγκόλλησης. Είναι πολύ δύσκολη η επίτευξη προθέρμανσης στο βασικό μέταλλο στις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις. Μια αρκετά υποσχόμενη τεχνική είναι η εναπόθεση μιας επιπλέον θερμαντικής στρώσης συγκόλλησης πάνω από την προηγούμενη, η οποία είναι λιγότερη ευαίσθητη στη ρωγμάτωση από το βασικό μέταλλο (temper bead practice). Αυτή η δεύτερη στρώση πρέπει να τοποθετηθεί γρήγορα και προσεκτικά πάνω από την προηγούμενη, έτσι ώστε να ανακουφίσει θερμικά τη ΘΕΖ που είναι επιρρεπής στη δημιουργία ρωγμών. Άλλο ένα πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής λαμβάνει χώρα τη στιγμή που η δεύτερη στρώση βρίσκεται στις θερμοκρασίες κατάστασης ωστενίτη, καθώς τότε μπορεί να γίνει ευνοϊκή δεξαμενή υδρογόνου και επομένως, να απορροφήσει ένα μέρος του υδρογόνου της ΘΕΖ. Αυτή η τεχνική όχι μόνο ανακουφίζει τις παραμένουσες τάσεις, αλλά μειώνει τη σκληρότητα της ένωσης και αυξάνει τη δυσθραυστότητά της, καθιστώντας την ιδεατή για υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις χαλύβων με υψηλή περιεκτικότητα άνθρακα. Εξέλιξη αυτής της μεθόδου είναι η τεχνική των πολλαπλών θερμαντικών στρώσεων (multi-temper bead practice), με χρήση της οποίας οι υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις εμφανίζουν μικρότερη σκληρότητα και μικρότερη πιθανότητα ρωγμάτωσης υδρογόνου, ακόμα και σε μέταλλα βάσης με  $CE > 0,4$ .



Φωτογραφία 2.26: Τεχνική ανακούφισης παραμένουσων τάσεων (temper bead practice)

## 2.7. Εμφάνιση πόρων

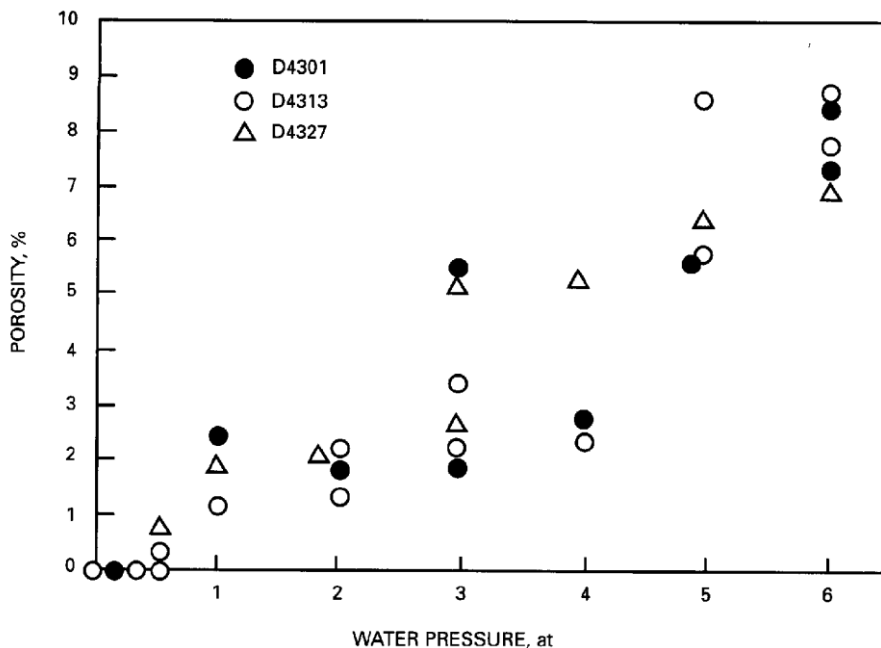
Η εμφάνιση πόρων είναι το πιο συχνό σφάλμα σε όλες τις συγκολλήσεις, αλλά αποτελούν ζήτημα ιδιαίτερης σημασίας για τις υποβρύχιες συγκολλήσεις. Η ποσότητα των πόρων είναι η βασική διαφορά μεταξύ μιας υγρής και μια στεγνής συγκόλλησης. Οι πόροι είναι σπηλαιώσεις, που δημιουργούνται από την παγίδευση διαλελυμένων αερίων κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης, καθώς η διαλυτότητα τους μειώνεται δραστικά, με συνέπεια τη δημιουργία φυσαλίδων στο στερεοποιημένο μέταλλο [56]. Η δημιουργία πόρων περιλαμβάνει τέσσερα στάδια, την εμφάνιση, την ανάπτυξη, τη μεταφορά και την ένωση των πόρων. Η φυσική απαίτηση για την εμφάνιση πόρων είναι η συνολική μερική πίεση των διαλυτών αερίων να είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα της ατμοσφαιρικής πίεσης, της υδροστατικής πίεσης και της εσωτερικής πίεσης λόγω της καμπυλότητας των φυσαλίδων. Στις υποβρύχιες συγκολλήσεις η υδροστατική πίεση είναι ελεγχόμενος όρος, αφού είναι άμεσα εξαρτημένος από την πίεση. Πέρα από την πίεση, η δημιουργία πόρων πρέπει να υπερβεί τους κινητικούς περιορισμούς μέσα στη συγκόλληση και μια κρίσιμη ακτίνα φυσαλίδας για να μπορέσει να αναπτυχθεί σε μεγαλύτερες διαστάσεις.

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα, αύξηση του βάθους οδηγεί σε περισσότερους πόρους μέσα στη συγκόλληση [2]. Το σχήμα τους αλλάζει από σφαιρικό σε ένα στενόμακρο κυλινδρικό, πράγμα που κάνει εμφανές ότι με αύξηση της πίεσης ο μηχανισμός της δημιουργίας πόρων διαφοροποιείται. Η σύνθεση των φυσαλίδων έχει αναφερθεί ότι είναι 62-82% H<sub>2</sub>, 11-24% CO και 4-6% CO<sub>2</sub>. Άλλοι ισχυρίζονται ότι είναι 96% H<sub>2</sub>, 0,04% CO και 0,06% CO<sub>2</sub>. Πιο λεπτομερή αρχεία για ηλεκτρόδια ρουτιλίου αναφέρουν ότι είναι 45% H<sub>2</sub>, 43% CO και 8% CO<sub>2</sub> και 4% άλλα αέρια. Αυτή η ποικιλία στις συνθέσεις των φυσαλίδων δείχνει πόσο ευρεία είναι η φύση των χημικών διαδικασιών στις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις, καθώς διαφοροποιείται η επένδυση των ηλεκτροδίων, η τάση και η ένταση του ρεύματος και το βάθος [22].

Με υψηλούς ρυθμούς ταχύτητας προώθησης της συγκόλλησης, αυξάνεται η συγκέντρωση πόρων και μπορεί να φτάσει στο μέγιστο. Επίσης, έχει αναφερθεί ότι με αύξηση του ρεύματος συγκόλλησης, αυξάνεται η εμφάνιση πόρων, επειδή μεγαλύτερο ρεύμα συγκόλλησης σημαίνει μεγαλύτερη θερμοκρασία τηγμένου μετάλλου και μεγαλύτερη περιοχή για να απορροφηθεί το υδρογόνο [5,6]. Στις υποβρύχιες συγκολλήσεις η σχέση μεταξύ πόρων και ρεύματος συγκόλλησης

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

επηρεάζεται ιδιαίτερα από τον τύπο της αδιάβροχης επένδυσης του ηλεκτρόδιου και ειδικότερα από την αντίσταση στην υγρασία. Τέλος, η παγίδευση των αερίων αυξάνει με επιμήκυνση του ηλεκτρικού τόξου.



NOTE: A technical atmosphere, at, is equal to 14.22 lb/in.<sup>2</sup> or 1 kgf/cm<sup>2</sup>

Φωτογραφία 2.27: Η επιρροή της πίεσης στην εμφάνιση πόρων

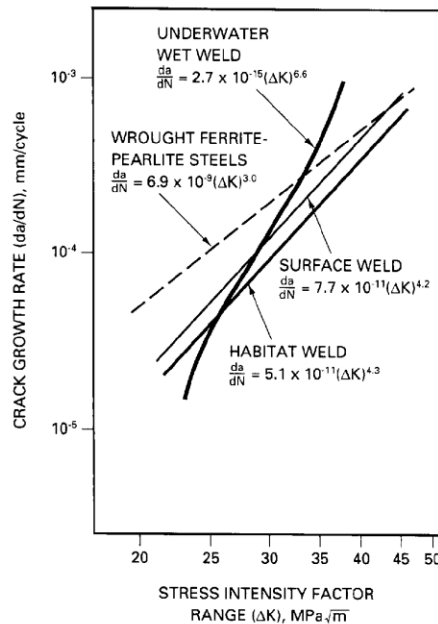
### Κόπωση και πόροι [2]

Οι σχεδιαστές των παράκτιων κατασκευών ανησυχούν συχνά για τη δημιουργία και την ανάπτυξη ρωγμών λόγω κόπωσης. Οι κυκλικές τάσεις κόπωσης δημιουργούνται από τη φυσική κίνηση της θάλασσας και ενισχύονται κατά τη θαλασσοταραχή. Είναι, επομένως, ζωτικής σημασίας η εξάλειψη αυτών των ρωγμών για την αντοχή της κατασκευής. Υπάρχει εύλογη ανησυχία ότι η ανάπτυξη ρωγμών λόγω κόπωσης στις υποβρύχιες συγκολλήσεις είναι πιθανότερη λόγω της μείωσης της δυσθραυστότητας και της παρουσίας μεγάλης ποσότητας πόρων. Αυτό όμως δεν είναι τελείως σωστό.

Η δημιουργία μιας μικρής τρύπας στην άκρη της ρωγμής είναι μια συχνή τεχνική για να μην αναπτυχθεί κι άλλο η ρωγμή. Η παρουσία πόρων στις συγκολλήσεις μπορεί να είναι ευεργετική στην κόπωση, καθώς μπορούν να συμπεριφερθούν ως μικρές τρύπες. Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι για μικρό εύρος συντελεστών έντασης τάσης ( $\Delta K$ ), οι υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις έχουν υψηλότερη αντίσταση στην ανάπτυξη ρωγμών λόγω κόπωσης σε σχέση με τις

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

συγκολλήσεις στην επιφάνεια και τις στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις. Για μεγάλο  $\Delta K$ , υψηλότερη συγκέντρωση πόρων αυξάνει την ανάπτυξη των ρωγμών, γιατί οι πόροι μειώνουν τις διατομικές αποστάσεις και διαδίδουν τη ρωγμή γρηγορότερα. Συμπερασματικά, οι πόροι μπορούν να είναι ωφέλιμοι στην κόπωση σε χαμηλής έντασης τάσεις και όταν άλλοι παράγοντες, όπως η δυσθραυστότητα της κατασκευής, δεν επιδεινώνονται.



Φωτογραφία 2.28: Σύγκριση ανάμεσα σε συγκολλήσεις στην επιφάνεια, σε υγρές και στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις για τη σχέση μεταξύ πόρων και κόπωσης

## 2.8. Προδιαγραφές αξιολόγησης

[1, 2]

Μέχρι την πρώτη δημοσίευση προδιαγραφών αξιολόγησης για υποβρύχιες συγκολλήσεις το 1983, εκατοντάδες από αυτές, πολλές δε κρίσιμης σημασίας για την απόδοση της κατασκευής, πραγματοποιούντουσαν χωρίς κανόνες. Επίσης, δεν υπήρχαν σαφείς οδηγίες για την επιθεώρηση αυτών. Υπό αυτές τις συνθήκες, έγινε επιτακτική η ανάγκη να προσδιοριστεί αν μια διαδικασία συγκόλλησης είναι κατάλληλη για την επιδιωκόμενη χρήση και αν ο δύτης/συγκολλητής είναι ικανός να την πραγματοποιήσει.



## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

Η βιομηχανία χρειαζόταν μια προδιαγραφή αξιολόγησης με περιεκτικές οδηγίες προκειμένου:

- Ο μηχανικός να διαλέξει τη μέθοδο συγκόλλησης που θα καλύπτει την επιθυμητή καταλληλότητα για την επιδιωκόμενη χρήση και θα του επιτρέψει να πάρει τις σωστές σχεδιαστικές αποφάσεις.
- Ο πελάτης θα μπορεί να προσδιορίσει ακριβώς τις ανάγκες του και να απαιτήσει να καλυφθούν με ένα συγκεκριμένο τρόπο.
- Ο εργολάβος να προετοιμάσει τις εκτιμήσεις του για το έργο.
- Το έργο να πραγματοποιηθεί με βάση σαφείς κανόνες, που θα βρίσκουν σύμφωνες και οι δύο πλευρές, του πελάτη και του εργολάβου.

Οργανισμοί που έχουν δημοσιεύσει προδιαγραφές αξιολόγησης είναι το International Institute of Welding, η American Welding Society, η American Society of Mechanical Engineers, το British Standard Institute και ο γαλλικός και νορβηγικός νηογνώμονας, Bureau Veritas και Det Norske Veritas, αντίστοιχα. Η προδιαγραφή αξιολόγησης της American Welding Society είναι η πιο περιεκτική και έχει κυριαρχήσει στις υποβρύχιες συγκολλήσεις.

Το ANSI/AWS D3.6, Specification for Underwater Welding άρχισε να αναπτύσσεται από το 1974, η πρώτη έκδοση βγήκε το 1983 και η τελευταία αναθεωρημένη επανέκδοση το 1999. Αφού η συμπεριφορά, οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά της συγκόλλησης διαφοροποιούνται λόγω της πίεσης και των ρυθμών ψύξης και κάθε μέθοδος δίνει συγκολλήσεις διαφορετικές από αυτές της επιφάνειας, έχει καθορίσει τέσσερις κλάσεις υποβρύχιων συγκολλήσεων.

Η κλάση A υποβρύχιων συγκολλήσεων προορίζονται να είναι κατάλληλη για εφαρμογές και σχεδιαστικές τάσεις με ιδιότητες και απαιτήσεις ελέγχου συγκρίσιμες με τις αντίστοιχες συμβατικές συγκολλήσεις επιφάνειας. Η αξιολόγηση αυτής της κλάσης περιλαμβάνει οπτικούς και ραδιογραφικούς ελέγχους, μακρογραφική ανάλυση (macroetch examination), καθώς και όλες τις γνωστές δοκιμές προσδιορισμού των ιδιοτήτων τους, όπως δοκιμή κρούσης, κάμψης, εφελκυσμού, σκληρότητας κ.λπ. Αρχικά εδώ ανήκαν μόνο οι στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις. Με την εξέλιξη και τη βελτίωση των μεθόδων των υγρών συγκολλήσεων, τα κριτήρια αυτής της κατηγορίας μπορούν να καλύψουν και οι υγρές συγκολλήσεις σε ωστενιτικά και νικελιούχα μέταλλα βάσης.

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

Η κλάση B προσδιορίζεται από ένα ενδιάμεσο σύνολο μηχανικών ιδιοτήτων και απαιτήσεων ελέγχου. Προορίζονται για λιγότερο κρίσιμες εφαρμογές, όπου η μειωμένη ολκιμότητα και οι περισσότεροι πόροι μπορούν να γίνουν ανεκτοί. Η καταλληλότητα των υποβρύχιων συγκολλήσεων κλάσης B πρέπει να προσδιορίζεται με βάση την καταλληλότητα για την επιδιωκόμενη χρήση (fitness for purpose). Η κλάση αυτή αντανακλά τις δυνατότητες των υγρών υποβρύχιων συγκολλήσεων. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει ότι και της κλάσης A, εκτός από τη δοκιμή σκληρότητας και της αντοχής σε κρούση.

Η κλάση C ικανοποιεί τις λιγότερες απαιτήσεις και προορίζεται για εφαρμογές όπου τα φορτία που ασκούνται δεν είναι ζωτικής σημασίας. Πρέπει να είναι σαφές ότι δεν επηρεάζεται η ακεραιότητα της κατασκευής με τη χρήση τους. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει μόνο οπτικούς ελέγχους και δοκιμές κάμψης.

Η κλάση O προσδιορίζει την ποιότητα των υποβρύχιων συγκολλήσεων με βάση κάποια άλλη προδιαγραφή αξιολόγησης, από κάποιο άλλο στάνταρντ ή από συνδυασμό διαφορετικών προδιαγραφών αξιολόγησης, επιλεγμένα όλα από το πελάτη. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει οπωσδήποτε οπτικούς και ραδιογραφικούς ελέγχους, μακρογραφική ανάλυση, δοκιμή εφελκυσμού και σκληρότητας και ότι άλλο απαιτήσει ο πελάτης.

Επιπλέον, το ANSI/AWS D3.6, Specification for Underwater Welding απαιτεί να προηγηθεί μια δοκιμαστική συγκόλληση στο ακριβές μέρος που θα πραγματοποιηθεί η δουλειά υποβρυχίως, και να εγκριθεί η ποιότητά της πριν ξεκινήσει η εργασία. Επίσης, περιλαμβάνει πληροφορίες για το πώς πρέπει να εξεταστεί ο δύτες/συγκολλητής ώστε να αποδείξει ότι είναι κατάλληλος να επιτύχει συγκόλληση κάποιας συγκεκριμένης κλάσης. Το πιστοποιητικό καταλληλότητας του δύτε/συγκολλητη είναι ετήσιο. Τέλος, αναφέρονται ποιοι παράγοντες είναι ουσιαστικοί, που αν αλλάξουν δηλαδή πρέπει να αναπροσδιοριστεί αν η υποβρύχια συγκόλληση μπορεί να επιτύχει την ποιότητα που απαιτείται. Ακολουθούν ενδεικτικοί πίνακες αυτών των παραγόντων, όπως είναι μέσα στην προδιαγραφή αξιολόγησης της American Welding Society.

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

### Στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις

<b>1. Joints</b>	
(a) Fillet weld to groove weld	Essential
(b) Multiple pass fillet weld to single pass fillet weld and vice versa	Essential
(c) Omission of backing	Essential
(d) A change greater than 25% in the number of passes per unit area of groove weld cross-section	Essential
(e) A backing thickness change of 1/16 in. (1.5 mm) or 25%, whichever is greater	Essential
(f) Groove shape: a decrease in included angle, a decrease in root opening, or an increase in root face	Essential
(g) Groove weld to multiple pass fillet weld	Nonessential
(h) Fillet weld size: For fillet welding procedure qualification, the maximum production weld size (leg length) shall be 1.5t. The minimum production fillet weld size shall be 0.5t (subject to A.1.(b) above). Qualification on two different fillet weld sizes also qualifies for all intermediate sizes	Essential
<b>2. Base Metal</b>	
(a) Thickness: For groove welding procedure qualification with a test plate or pipe thickness, t, the maximum production thickness shall be 1.5t. The minimum production plate or pipe thickness shall be 0.50 t. Qualification on two different thicknesses of plate or pipe also qualifies all intermediate thicknesses	Essential
(b) A change in chemical composition beyond that qualified	Essential
(c) An increase in specified minimum tensile strength beyond the greater of (a) the all-weld-metal tensile strength, or (b) the tensile strength measured in the transverse tension test	Essential
<b>3. Filler Metal</b>	
(a) AWS filler metal classification or type	Essential
(b) Procedure for underwater transport and storage	Essential
(c) Addition or deletion of supplementary coating	Essential
(d) An increase in exposure time of filler metal in the qualification depth atmosphere	Essential
<b>4. Position</b>	
(a) Any change beyond that qualified	Essential
<b>5. Weldment Temperature</b>	
(a) A decrease in preheat or interpass temperature	Essential
(b) A decrease in postweld heat treatment temperature or time at postweld heat treatment temperature	Essential
<b>6. Electrical Characteristics</b>	
(a) Welding current type (direct current electrode positive, direct current electrode negative, pulsed current, and others)	Essential
(b) Type of power source (constant current, constant voltage)	Essential
(c) Welding current	Essential
(d) Arc voltage	Essential
<b>7. Technique</b>	
(a) Stringer bead to weave and vice versa	Essential
(b) Progression up or down	Essential
(c) Deletion of temper bead	Essential
(d) Decrease in accessibility or visibility from change in dimensions of shroud or components	Essential
(e) Change in travel speed or electrode run length	Essential
(f) Welding method (manual, semiautomatic, automatic)	Essential
(g) Joint cleaning	Essential
(h) Addition or elimination of peening	Essential
(i) Addition of temper bead	Nonessential
(j) Progression direction for the initial pass on joints welded from both sides where the root pass is backgouged to sound weld metal prior to welding the second side	Nonessential
<b>8. Environment</b>	
(a) Change in depth beyond that allowed	Essential
(b) Back side dry to wet	Essential
(c) Increase in oxygen partial pressure of the background gas	Essential
(d) Change in background gas composition beyond that associated with the depth change allowance in 5.6.2	Essential
(e) The introduction of new background gas into a previously qualified composition	Essential
(f) Back side wet to dry	Nonessential
(g) Diving mode	Nonessential

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

### Υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις

<b>1. Joints</b>	
(a) Fillet weld to groove weld	Essential
(b) Multiple pass fillet weld to single pass fillet weld and vice versa	Essential
(c) Omission of backing	Essential
(d) A change greater than 25% in the number of passes per unit area of the groove	Essential
(e) Groove shape: a decrease in included angle, a decrease in root opening, or an increase in root face beyond the range qualified	Essential
(f) Groove weld to multiple pass fillet weld	Nonessential
(g) Fillet weld size: For fillet welding procedure qualification, the maximum production weld size (leg length) shall be 1.5t. The minimum production fillet weld size shall be 0.5t (subject to A.1.(b) above). Qualification on two different fillet weld sizes also qualifies for all intermediate sizes	Essential
<b>2. Base Metal</b>	
(a) Thickness: For groove welding procedure, qualification with a test plate or pipe thickness, t, the maximum production plate or pipe thickness shall be 1.5 t. The minimum production plate or pipe wall thickness shall be 0.5 t. However, if the production weld thickness is 1/4 in. (6 mm) or less, the test weld shall be the same thickness	Essential
(b) An increase in carbon equivalent of the steel above that qualified	Essential
(c) An increase in the specified minimum tensile strength beyond that qualified	Essential
(d) A change in chemical composition beyond that qualified	Essential
<b>3. Filler Metal</b>	
(a) Manufacturer	Essential
(b) Manufacturer's types (even if both meet the same AWS Classification)	Essential
(c) Diameter	Essential
(d) Methods of underwater transport or storage	Essential
(e) Addition, deletion, or change of supplementary coatings or waterproofing	Essential
(f) An increase in exposure time of filler metal in the qualification depth atmosphere	Essential
<b>4. Position</b>	
(a) Any change beyond that qualified	Essential
<b>5. Weldment Temperature</b>	
(a) A change in any heat treatment	Essential
<b>6. Electrical Characteristics</b>	
(a) Welding current type (direct current electrode positive, direct current electrode negative, pulsed current, and others)	Essential
(b) Type of power source (constant current, constant voltage)	Essential
(c) Welding current exceeding +10% of the maximum, or -10% of the minimum of that qualified	Essential
(d) Arc voltage exceeding +10% of the maximum, or -10% of the minimum of that qualified	Essential
<b>7. Technique</b>	
(a) Stringer bead to weave or vice versa	Essential
(b) Progression up or down	Essential
(c) Deletion of temper bead	Essential
(d) Change in weld bead sequence	Essential
(e) Travel speed or electrode run length beyond the range qualified	Essential
(f) Joint cleaning	Essential
(g) Addition, deletion, or change in any type of barrier to restrict water access during welding or cooling	Essential
(h) Addition of temper bead	Nonessential
(i) Progression direction for the root pass on double welded joints where second side is back gouged to sound metal	Nonessential
<b>8. Environment</b>	
(a) Change in depth beyond that allowed	Essential
(b) Back side dry to wet if material thickness is 1/4 in. (6 mm) or greater	Essential
(c) Back side dry to wet and vice versa if material thickness is less than 1/4 inch (6 mm)	Essential
(d) Pressure differential between back and front side of weld greater than that qualified	Essential
(e) Diving mode	Nonessential
(f) Water current	Nonessential
(g) Salinity (salt water to fresh water and vice versa)	Nonessential

## **2.9. Μη-καταστρεπτικοί έλεγχοι υποβρύχιων συγκολλήσεων**

[1, 2, 30, 56, 59]

Οι μέθοδοι μη-καταστρεπτικού ελέγχου είναι όλες οι μέθοδοι που χρησιμοποιώντας μέσα δίνουν τη δυνατότητα να διερευνηθεί η ακεραιότητα, η φύση και η σύνθεση των συγκολλήσεων χωρίς να μεταβάλλουν ή να καταστρέψουν τη φυσική τους κατάσταση. Η υποβρύχια επιθεώρηση είναι άμεσα συνδεδεμένη με τις υποβρύχιες συγκολλήσεις. Οι υποβρύχιες κατασκευές υπόκεινται σε φορτίσεις παρόμοιες με αυτές της επιφάνειας, όπως εφελκυσμό, θλίψη, κάμψη και κρούση, καθώς επίσης σε φορτίσεις από τα κύματα, από τον αέρα και από τις καταιγίδες και σε διάβρωση. Όλα αυτά κάνουν επιτακτική την ανάγκη για περιοδικό έλεγχο των κατασκευών για να διασφαλιστεί η ασφάλειά τους. Κανόνες και οδηγίες για μη-καταστρεπτικό έλεγχο υποβρύχιων συγκολλήσεων έχουν δημοσιεύσει η American Society of Mechanical Engineers, η American Welding Society και το American Petroleum Institute. Εξαιτίας του κόστους, του βάθους και της ασφάλειας τα τελευταία χρόνια υπάρχει εκτεταμένη έρευνα για επιθεώρηση από απόσταση μέσω αυτοματοποιημένων οχημάτων (Remotely Operated Vehicles, ROV), η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων γίνεται ακόμα όμως από εκπαιδευμένους επιθεωρητές.

Οι υποβρύχιες μέθοδοι και τεχνικές έχουν υιοθετήσει τις αντίστοιχες συμβατικές της επιφάνειας, με μικρές παραλλαγές στον εξοπλισμό για να λειτουργεί κάτω από το νερό. Οι τεχνικές αυτές μπορούν να ανιχνεύσουν ελαττώματα τόσο στο εσωτερικό της συγκόλλησης, όπως ρωγμές, πόρους, εγκλείσματα, ατελής τήξη ή διείσδυση, όσο και σφάλματα στο εξωτερικό της συγκόλλησης, όπως υποκοπή, υπερβολική ενίσχυση όψης, ανεπαρκές γέμισμα και υπερκάλυψη. Τα πιο κοινά μέσα ανίχνευσης που χρησιμοποιούνται είναι:

- Ο οπτικός έλεγχος
- Τα διεισδυτικά υγρά
- Τα μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία
- Οι υπέρηχοι
- Ο ραδιογραφικός έλεγχος
- Τα παρασιτικά ρεύματα

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

### Οπτικός έλεγχος

Ο οπτικός έλεγχος πραγματοποιείται είτε με γυμνό μάτι είτε με χρήση μεγεθυντικού φακού. Παρόλο που είναι η πρώτη και η πιο γρήγορη τεχνική επιθεώρησης της συγκόλλησης, περιορίζεται σε ανίχνευση σφαλμάτων, αρκετά μεγάλων, στην εξωτερική επιφάνεια της συγκόλλησης και συχνά χρησιμοποιεί κάποια από τις υπόλοιπες τεχνικές για βοήθεια. Με προσεκτική παρατήρηση, όμως, και αρκετή εμπειρία μπορεί να αποτρέψει τη δημιουργία άλλων σφαλμάτων.

### Τα διεισδυτικά υγρά

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την εξερεύνηση και εντοπισμό των επιφανειακών βλαβών στα μη πορώδη υλικά. Μετά από προσεκτικό καθαρισμό της εξεταζόμενης επιφάνειας διανέμεται σε αυτή το υγρό και του δίνεται ο χρόνος να διεισδύσει. Μετά από τη διείσδυση καθαρίζεται και πάλι η επιφάνεια από τα πλεονάσματα του διεισδυτικού υγρού και διανέμεται ένα απορροφητικό μέσο σε μορφή spray ή υγρή διάλυση. Η παρατήρηση των σχηματιζόμενων σημείων πάνω από τη βλάβη αρχίζει αμέσως μετά την εφαρμογή της απορροφητικής ουσίας, με χρωματιστές ενδείξεις στο σχήμα των ασυνεχειών. Προφανώς, τα διεισδυτικά υγρά δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υγρές συγκολλήσεις και η χρήση τους περιορίζεται σε στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις και σε δείγματα υγρών συγκολλήσεων που φέρνονται στην επιφάνεια για εξέταση. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη μέθοδο είναι εύφλεκτα και πρέπει να χρησιμοποιούνται με μεγάλη προσοχή μέσα στο θάλαμο της στεγνής υποβρύχιας συγκόλλησης.

### Τα μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία

Ο μαγνητοσκοπικός έλεγχος συνίσταται στη δημιουργία ενός μαγνητικού πεδίου στο υπό έλεγχο μέταλλο. Ως εκ τούτου είναι δυνατός μόνο στα μαγνητιζόμενα μέταλλα και για ελαττώματα επιφάνειας αμέσως κάτω από την επιφάνεια (2-3 mm), τουλάχιστον στους παραδοσιακούς τρόπους εφαρμογής του. Σύγχρονοι αυτόματοι τρόποι εφαρμογής επιτρέπουν τον έλεγχο σε 10-15 mm από την επιφάνεια. Ο μαγνητοσκοπικός έλεγχος είναι δυνατός διότι στο σημείο ασυνέχειας οι γραμμές της μαγνητικής ροής υφίστανται μια παρέκκλιση, δημιουργώντας ένα μαγνητικό δίπολο, βάσει της αρχής κατανομής του μαγνητισμού. Το μαγνητικό αυτό δίπολο είναι σε θέση να έλξει μαγνητικές σκόρες που χρησιμοποιούνται ως μέσο εντοπισμού των

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

βλαβών. Αυτές αποτελούνται βασικά από οξειδία σιδήρου, κατάλληλα κατεργασμένα και χρωματισμένα. Το μέγεθος των κόκκων για τις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις είναι πολύ μικρότερο, από 1 έως 30  $\mu\text{m}$ . Ο μαγνητισμός επιτυγχάνεται είτε δια απευθείας εισδοχής του μαγνητικού πεδίου είτε δια απευθείας εισδοχής του ηλεκτρικού ρεύματος. Τα ρεύματα που χρησιμοποιούνται είναι το ημιανορθωμένο μονοφασικό συνεχές και το εναλλασσόμενο. Με το πρώτο η μέθοδος είναι πιο ευαίσθητη, ενώ με το δεύτερο έχουμε εξαιρετικό εντοπισμό επιφανειακών βλαβών.

### Οι υπέρηχοι

Οι υπέρηχοι είναι ελαστικοί κυματισμοί μεγάλης συχνότητας. Μεταδίδονται στα διάφορα υλικά με καθορισμένη ταχύτητα και αντανακλώνται όταν συναντήσουν στο υλικό που μεταδίδονται εμπόδια διαφορετικών ακουστικών ιδιοτήτων. Οι υπέρηχοι παράγονται από ειδικά πιεζοηλεκτρικά πλακίδια με ηλεκτρική διέγερση. Καθώς ταξιδεύουν ευθύγραμμα μέσα στο υλικό, όταν συναντήσουν τη βλάβη αντανακλώνται και επιστρέφουν στον πομποδέκτη, ο οποίος θα δώσει αμέσως ένα ηλεκτρικό σήμα. Η συσκευή των υπερήχων, εκτός από τα άλλα, είναι και ένα χρονόμετρο. Επομένως, η απόσταση της βλάβης είναι ευθέως ανάλογη από το χρόνο της διαδρομής, λόγω της σταθερής ταχύτητας που διαδίδονται οι υπέρηχοι. Χρησιμοποιείται κυρίως για εντοπισμό γραμμικών ασυνεχειών, όπως ρωγμές και ατελής τήξη, και δε μπορεί να εντοπίσει με ακρίβεια πόρους. Το πλεονέκτημά της είναι ότι προσδιορίζει τόσο το μήκος όσο και το βάθος της ασυνέχειας. Εξαρτάται ιδιαίτερα από τις ικανότητες του επιθεωρητή.

### Ο ραδιογραφικός έλεγχος

Ο ραδιογραφικός έλεγχος είναι ο πιο διαδεδομένος μη-καταστρεπτικός έλεγχος για την εξέταση των υποβρύχιων συγκολλήσεων. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με ακτίνες X ή  $\gamma$  που παράγονται από ειδικές ραδιογενείς συσκευές ή από ραδιενεργά ισότοπα. Τα ελαττώματα έχουν ως αποτέλεσμα να καθιστούν μη ομοιόμορφη την κατανομή της έντασης της εξερχόμενης ακτινοβολίας και η ραδιογραφική ταινία καθιστά σαφείς αυτές τις ανομοιομορφίες μέσω διαφορετικών βαθμών μαυρίσματος. Έχει τη δυνατότητα να ανιχνεύσει όλων των ειδών τις ασυνέχειες είτε επιφανειακές είτε στο εσωτερικό της συγκόλλησης.

## 2. Υποβρύχιες Συγκολλήσεις

### Τα παρασιτικά ρεύματα

Αυτή η μέθοδος επιθεώρησης χρησιμοποιείται για να ανιχνεύσει ρωγμές στην επιφάνεια και κάτω από την επιφάνεια. Είναι βασισμένη στην αρχή ότι τα παρασιτικά ρεύματα προκαλούνται στα μέταλλα όποτε βρίσκονται σε ένα μαγνητικό πεδίο εναλλασσόμενων ρευμάτων. Αυτά τα παρασιτικά ρεύματα δημιουργούν ένα δευτερογενές μαγνητικό πεδίο που αντιτάσσει το προηγούμενο μαγνητικό πεδίο. Οι ασυνέχειες αλλάζουν τα παρασιτικά ρεύματα, που αλλάζουν με τη σειρά τους την αντίσταση της σπείρας. Οι αλλαγές στη σύνθετη αντίσταση ανιχνεύονται από τον αισθητήρα, ενισχύονται, και τροποποιούνται προκειμένου να ενεργοποιηθούν οι ακουστικές ή οπτικές ενδείξεις στις συσκευές. Η μέθοδος είναι ευαίσθητη σε διαφοροποιήσεις στη σύσταση του μετάλλου και σε απότομες αλλαγές της γεωμετρίας.



## 3. Υποβρύχιες Κοπές

### 3.1. Εισαγωγή



Φωτογραφία 3.1: Υποβρύχια κοπή

Οι υποβρύχιες κοπές είναι ίσως πιο σημαντικές από τις υποβρύχιες συγκολλήσεις. Εκτός ότι πολλές φορές χρησιμοποιούνται στην προετοιμασία της επιφάνειας πριν τη συγκόλληση, η χρήση τους σε επιχειρήσεις διάσωσης και στον καθαρισμό των λιμανιών τις καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμες σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Τα πρώτα πειράματα στον τομέα της κοπής υλικών κάτω από το νερό ξεκίνησαν το 1887 από τον N.N. Benardos και D.A. Lachinov και από τότε αρκετοί ερευνητικοί οργανισμοί ασχολούνται πάνω στην ανάπτυξη και στη βελτίωση αυτού του τομέα. Μοιάζουν αρκετά με τις κοπές στην επιφάνεια, μόνο που χρησιμοποιούν ειδικό εξοπλισμό και πραγματοποιούνται από έμπειρους δύτες. Οι κίνδυνοι είναι μεγαλύτεροι από τις υποβρύχιες συγκολλήσεις και πρέπει να τηρούνται όλοι οι προβλεπόμενοι κανόνες ασφαλείας.

Οι βασικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για κοπή και αφαίρεση σιδηρούχων και μη-σιδηρούχων υλικών υποβρυχίως είναι οι ακόλουθες:

- i. Κοπή οξυγόνου-τόξου (oxygen-arc cutting)
- ii. Κοπή με επενδυμένα ηλεκτρόδια (shielded metal arc cutting)
- iii. Κοπή οξυγόνου (oxyfuel gas cutting)
- iv. Κοπή με τόξο πλάσματος (plasma arc cutting)

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

- v. Κοπή τόξου με δέσμη νερού (electrical arc with water jet cutting)
- vi. Κοπή με χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων (flux-cored wire cutting)

Η κοπή οξυγόνου-τόξου είναι η πιο ευρύτατα χρησιμοποιούμενη διαδικασία υποβρυχίως και έχει διάφορες παραλλαγές, όπως με αδιάβροχα σωληνοειδή χαλύβδινα ηλεκτρόδια, με εξωθερμικά ηλεκτρόδια και με θερμικό καλώδιο. Η κοπή με επενδυμένα ηλεκτρόδια περιορίζεται σε μέταλλα που είναι ανθεκτικά στην οξείδωση και σε μη-σιδηρούχα υλικά. Η κοπή οξυγόνου είναι η πιο επικίνδυνη λόγω των μεγάλων ποσοτήτων από εύφλεκτα αέρια που χρησιμοποιεί, όπως ακετυλένιο, υδρογόνο και MAPP (υγροποιημένο αέριο πετρελαίου που αναμιγνύεται με μίγμα μεθυλακετυλενίου- προπαδιενίου). Οι πιο πρόσφατες εξελίξεις στις υποβρύχιες κοπές περιλαμβάνουν την κοπή με τόξο πλάσματος και την κοπή τόξου με δέσμη νερού. Προσπάθειες για πλήρη αυτοματοποίηση της κοπής με χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων ερευνώνται [24]. Όλες οι παραπάνω διαδικασίες θα αναλυθούν στη συνέχεια του κεφαλαίου.

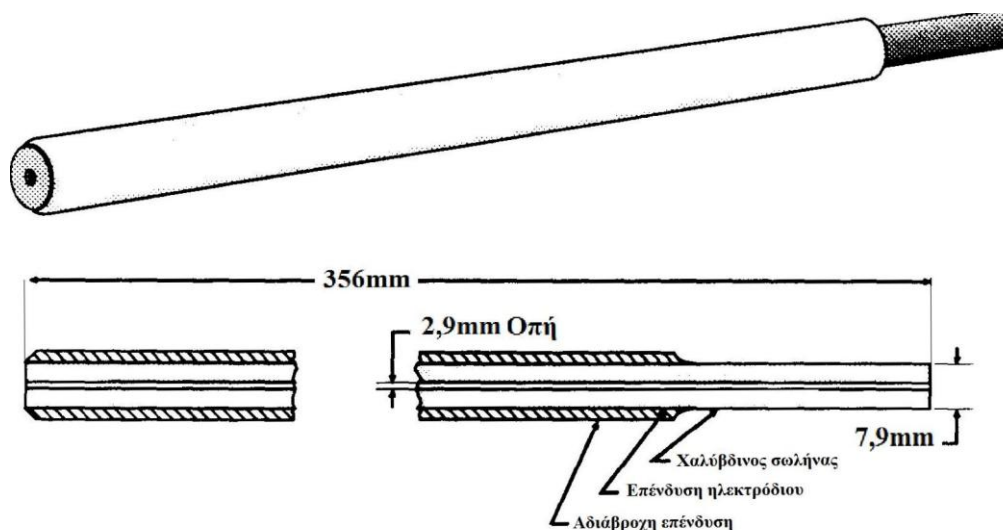
## 3.2. Κοπή οξυγόνου-τόξου (oxygen-arc cutting)

### 3.2.1. Αρχές λειτουργίας

Η κοπή οξυγόνου-τόξου αναπτύχθηκε αρχικά για να μειώσει κάποιους από τους κινδύνους της κοπής οξυγόνου κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου και από τότε κυριάρχησε στις υποβρύχιες εργασίες. Βασίζεται στη διατήρηση ενός ηλεκτρικού τόξου υποβρυχίως μεταξύ του μέταλλου που πρόκειται να κοπεί και του ηλεκτροδίου. Όταν η θερμότητα του τόξου φτάσει το μέταλλο στη θερμοκρασία τήξης του, μια υψηλής ταχύτητας δέσμη οξυγόνου κατευθύνεται στο θερμό σημείο από το κέντρο του ηλεκτροδίου. Κατόπιν, το μέταλλο οξειδώνεται και απομακρύνεται από την υψηλής ταχύτητας δέσμη. Η άκρη του ηλεκτροδίου, επειδή είναι εκτεθειμένη σε υψηλές θερμοκρασίες και σε οξείδωση, καταναλώνεται με γρήγορους ρυθμούς και πρέπει να αντικαθίσταται συχνά [2]. Αυτή η διαδικασία δεν είναι αποτελεσματική σε μέταλλα που οξειδώνονται δύσκολα, σε αντιδιαβρωτικά μέταλλα και σε μερικά μη-σιδηρούχα μέταλλα.

### 3.2.2. Σωληνοειδή χαλύβδινα ηλεκτρόδια (steel tubular electrodes)

Τα σωληνοειδή χαλύβδινα ηλεκτρόδια αποτελούνται από ένα χαλύβδινο σωλήνα με αδιάβροχη επένδυση. Είναι 356 mm σε μήκος, 7,9 mm σε διάμετρο και έχουν μια οπή 2,9 mm που εκτείνεται σε όλο το ηλεκτρόδιο [8].



Φωτογραφία 3.2: Σωληνοειδή χαλύβδινα ηλεκτρόδια

Η επένδυση του ηλεκτροδίου βοηθάει στο εύκολο ξεκίνημα και στη διατήρηση του ηλεκτρικού τόξου, απελευθερώνει αέρια δημιουργώντας έτσι μια προστατευτική φυσαλίδα γύρω από το τόξο, λειτουργεί ως ηλεκτρικός μονωτής προστατεύοντας τον δύτε από πιθανό ηλεκτρικό σοκ και αποτρέπει το ηλεκτρικό τόξο να αναπτυχθεί στα πλάγια του ηλεκτροδίου όταν εργαζόμαστε σε περιορισμένους σε έκταση χώρους. Η σύνθεση της επένδυσης έχει σημαντική επίδραση και στην αποτελεσματικότητα της κοπής και η έρευνα που πραγματοποιείται έχει κατεύθυνση στην παραγωγή ηλεκτροδίων με μεγαλύτερη αποδοτικότητα. Η επένδυση πρέπει να καταναλώνεται με μικρότερο ρυθμό από το εσωτερικό του ηλεκτροδίου, ώστε η κοιλότητα που δημιουργείται να προστατεύει το ηλεκτρικό τόξο. Όλα τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται για υποβρύχιες εργασίες πρέπει να έχουν ένα αδιάβροχο στρώμα επένδυσης, που διατηρεί την ακεραιότητα του ηλεκτροδίου και δεν επιτρέπει στο νερό να απορροφηθεί από την επένδυση προκαλώντας αστάθεια του ηλεκτρικού τόξου.

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

Τα πλεονεκτήματα της κοπής οξυγόνου-τόξου με σωληνοειδή χαλύβδινα ηλεκτρόδια είναι:

- Η τεχνική είναι απλή και μαθαίνεται εύκολα.
- Μπορεί να κόψει μέταλλα πάχους μεγαλύτερου των 50 mm.
- Η κοπή πραγματοποιείται γρήγορα.
- Επιτυγχάνει καλής ποιότητας κοπές.
- Η απαιτούμενη ενέργεια είναι εύκολα εφικτή από μια απλή πηγή ενέργειας.
- Υπάρχει ελάχιστη σπατάλη ηλεκτροδίου, αφού το ηλεκτρόδιο πρέπει να βρίσκεται σε συνεχή επαφή με το μέταλλο για να διατηρηθεί το ηλεκτρικό τόξο.

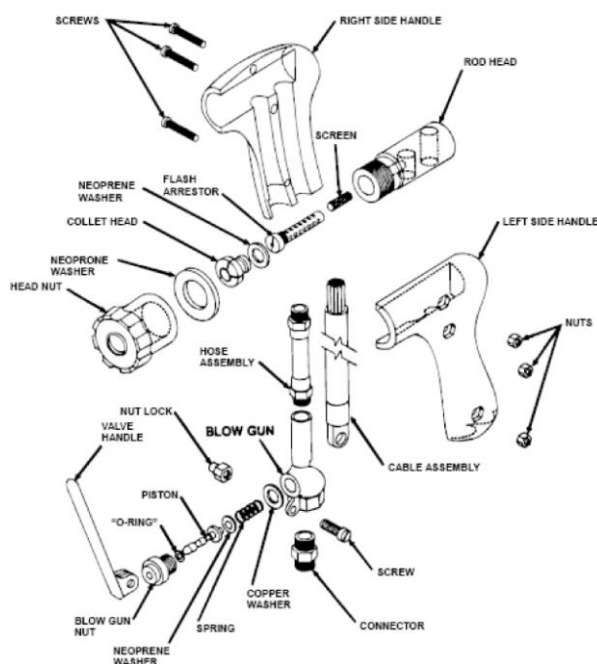
Τα μειονεκτήματα είναι:

- Το ηλεκτρόδιο καταναλώνεται πολύ γρήγορα (περίπου σε ένα λεπτό). Η κατανάλωσή του εξαρτάται από τις ικανότητες του δύτε, το πάχος και τη γεωμετρία του μετάλλου που πρόκειται να κοπεί, τις ανεπιθύμητες στρώσεις από σκουριά, βαφές και μικροοργανισμούς και από τις θαλάσσιες συνθήκες.
- Παράγει μια μικρή τομή που δεν είναι εύκολα ορατή στις δύσκολες συνθήκες ορατότητας που υπάρχουν υποβρυχίως.
- Απαιτεί μια ξεχωριστή πηγή ενέργειας για παροχή ρεύματος.
- Όσο μεγαλώνει η απαίτηση για αύξηση της έντασης του ρεύματος, τόσο πιο γρήγορα φθείρεται το πιστόλι του ηλεκτροδίου.

Αυτά τα ηλεκτρόδια επιτυγχάνουν καθαρές κοπές σε χάλυβες, αλλά είναι αναποτελεσματικά σε αντιδιαβρωτικά μέταλλα, σε κράματα με βάση το χαλκό και σε μη-αγώγιμα υλικά, όπως οι βαφές και οι υποθαλάσσιοι μικροοργανισμοί [2]. Οι κοινοί και οι ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες κόβονται πιο εύκολά. Με αύξηση του ποσοστού κραμάτωσης (κυρίως για χρώμιο και αλουμίνιο σε ποσοστό μεγαλύτερο του 5%) η θερμοκρασία ανάφλεξης ανεβαίνει και η κοπή γίνεται πιο δύσκολη. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου μειώνεται με μείωση του πάχους του μετάλλου. Για πάχη μέχρι 5 mm όλη η θερμότητα που χρειάζεται για την κοπή προσφέρεται από το ηλεκτρικό τόξο. Όσο αυξάνεται το πάχος, όμως, μειώνεται η συμμετοχή του τόξου στην πρόσδοση θερμότητας και χαρακτηριστικά, για πάχος κοινού χάλυβα 20 mm το

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

30% μόνο της θερμότητας που χρειάζεται μεταφέρεται από το τόξο, ενώ το υπόλοιπο είναι από την οξείδωση που προκαλεί το τζετ οξυγόνου [5].



Φωτογραφία 3.3: Τυπικό παράδειγμα πιστολιού υποβρύχιας κοπής

Απαιτείται ενέργεια 300-400 amps στο ανάλογο βάθος κοπής και ικανοποιητική παροχή οξυγόνου, περίπου  $2 \text{ m}^3/\text{min}$ , η οποία αυξάνεται με το βάθος και την πίεση σύμφωνα με το νόμο του Boyle. Μια έλλειψη οξυγόνου οδηγεί σε ατελή οξείδωση και αφαίρεση των οξειδίων, ενώ μια περίσσεια οξυγόνου ψύχει το μέταλλο. Ικανοποιητική κοπή μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα ευρύ φάσμα πιέσεων οξυγόνου, αρκεί να είναι 6.2 bar παραπάνω από την πίεση περιβάλλοντος [2]. Παρέχοντας πίεση λιγότερη από την ιδανική, μειώνεται η ταχύτητα της εργασίας και κουράζεται ο δύτης. Παρέχοντας πίεση περισσότερη από την ιδανική, έχουμε σπατάλη οξυγόνου και ο δύτης πρέπει να ασκήσει περισσότερη δύναμη στο ηλεκτρόδιο αφού αυξάνεται η πίεση στην άκρη του. Στον υπολογισμό της κατάλληλης πίεσης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η απώλεια πίεσης από το μήκος των καλωδίων, το πάχος του μετάλλου και το βάθος του νερού. Η καθαρότητα του οξυγόνου για όλες τις υποβρύχιες κοπές θα πρέπει να είναι 99.5% και πάνω [8]. Αν μειωθεί η καθαρότητα του οξυγόνου, μειώνεται και η αποτελεσματικότητα της κοπής. Για μείωση 1%, έχουμε μείωση 25% στη ταχύτητα της κοπής, η ποιότητα της μειώνεται και αυξάνεται η παρουσία της σκουριάς. Για καθαρότητα οξυγόνου

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

μικρότερη του 95%, η διαδικασία μοιάζει περισσότερο με λιώσιμο του μετάλλου παρά με κοπή του. Στο εμπόριο είναι διαθέσιμο οξυγόνο καθαρότητας της τάξεως του 99.9% για υποβρύχιες κοπές.

Το καθαρό μέταλλο κόβεται καλύτερα από το διαβρωμένο. Παχιές στρώσεις βαφής ή θαλάσσιων μικροοργανισμών αυξάνουν τη δυσκολία της κοπής και πρέπει να αφαιρεθούν. Μια ξύστρα ή μια υψηλής ταχύτητας δέσμη νερού μπορούν να εκτελέσουν τη διαδικασία καθαρισμού ικανοποιητικά. Εάν είναι δυνατόν, είναι σημαντικό να καθαριστούν και οι δύο πλευρές του μετάλλου πριν από την κοπή. Οι παρεμποδίσεις στην αντίθετη πλευρά του μετάλλου θα φράξουν την κοπή και θα εμποδίσουν τη δέσμη του οξυγόνου να το απομακρύνει. Εάν κάτι τέτοιο είναι αδύνατο, το χτύπημα της περιοχής που κόβεται με ένα βαρύ σφυρί μπορεί να χαλαρώσει αρκετά τα επικαθίσματα στην αντίθετη πλευρά.

Το χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτής της θερμικής διαδικασίας είναι ότι πριν την πρόσδοση θερμότητας από το τόξο στο μέταλλο θα πρέπει να έχει ξεκινήσει η παροχή του οξυγόνου [5]. Αυτό είναι απαραίτητο για να αποτρέψει την εκτόξευση μετάλλου από το ξεκίνημα του τόξου μέσα στο ηλεκτρόδιο. Αν το τόξο ξεκινήσει πριν την παρουσία οξυγόνου, οι λιωμένες σταγόνες μετάλλου θα διεισδύσουν μέσα στο ηλεκτρόδιο και θα αναφλεγούν μόλις ξεκινήσει η παροχή του οξυγόνου, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει στην κατάρρευση της επένδυσης του ηλεκτροδίου. Αν το οξυγόνο έχει προσδοθεί πρώτα και μετά ξεκινήσει το τόξο, οι λιωμένες σταγόνες μετάλλου δε θα αναφλεγούν.

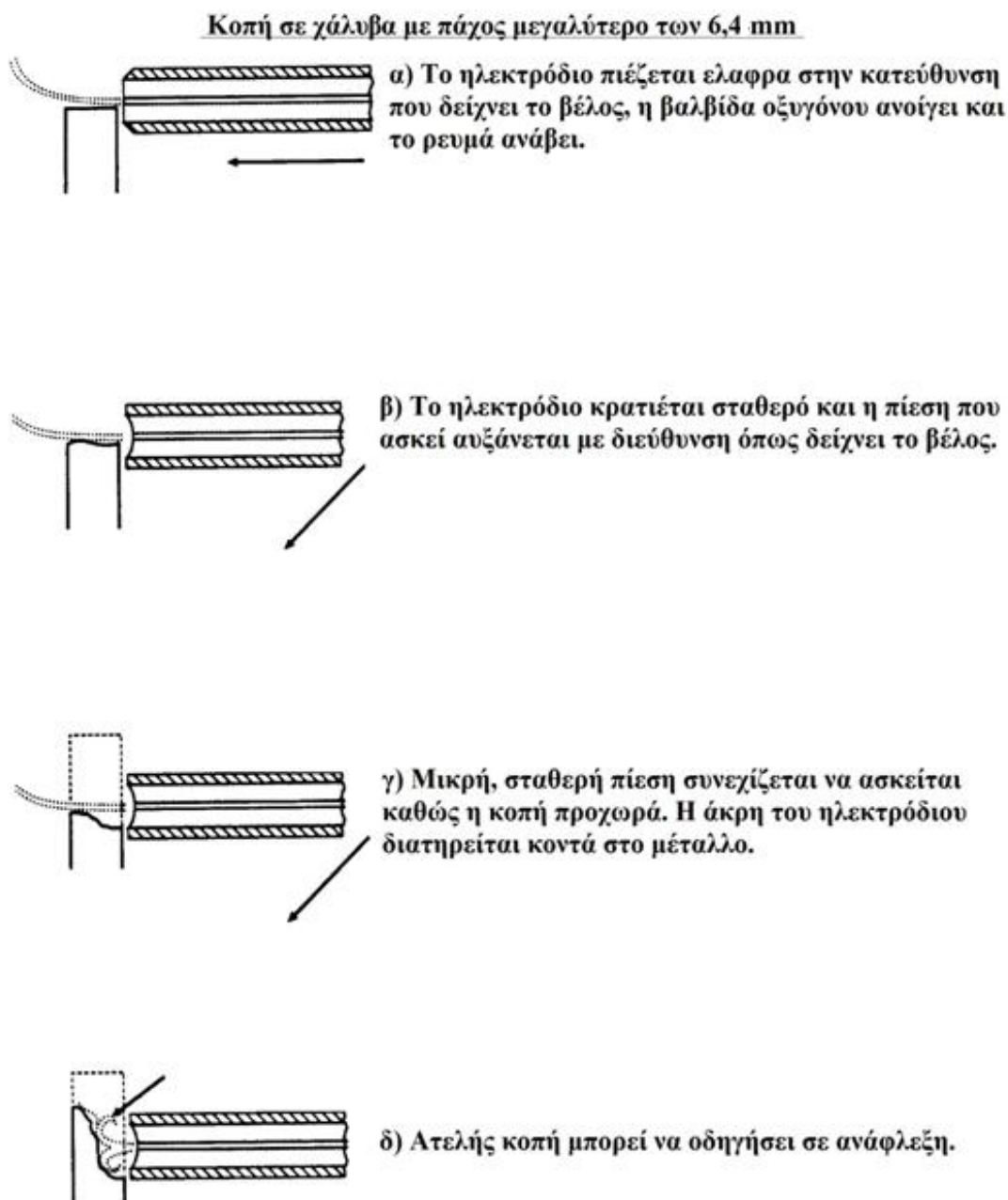
Η ένταση του ρεύματος εξαρτάται από την επένδυση του ηλεκτροδίου, το πάχος του μετάλλου που πρόκειται να κοπεί και το βάθος εργασίας. Η ένταση πρέπει να αυξάνει με αύξηση του πάχους του μετάλλου και της υδροστατικής πίεσης. Χρησιμοποιείται συνεχές ρεύμα με τάση όχι μικρότερη των 75 V. Κοπές με μικρότερες τάσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν μόνο σε ρηγά νερά.

Η θέση της κοπής έχει σημαντική επίδραση στην ταχύτητα της κοπής. Τις μεγαλύτερες επιδόσεις τις έχουμε σε οριζόντιες και κατακόρυφες θέσεις, ενώ στην οροφιαία θέση τα προϊόντα της οξειδωσης δεν απομακρύνονται εύκολα από την τομή λόγω των δυνάμεων βαρύτητας και μειώνεται η ταχύτητα της κοπής. Για κοινό χάλυβα 16 mm σε 10 m βάθος λαμβάνοντας υπόψη την αντικατάσταση των ηλεκτροδίων και τις κινήσεις του δύτε, μια ικανοποιητική ταχύτητα κοπής θα ήταν 4-6 m/h. Ένα ηλεκτρόδιο σε ένα λεπτό θα κόψει χάλυβα μήκους 457 mm και πάχους

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

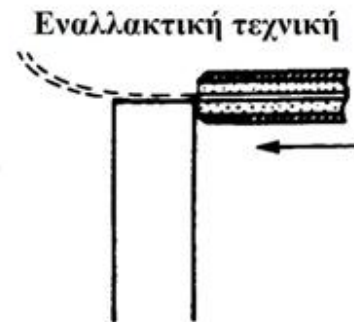
6,35 mm ή χάλυβα μήκους 304 mm και πάχους 25,4 mm ή χάλυβα μήκους 76 mm και πάχους 76 mm [2].

Κάθε φορά που το ηλεκτρόδιο έχει καταναλωθεί σε μήκος μικρότερο των 76,2 mm, θα πρέπει η διαδικασία να σταματά και να αλλάζει το ηλεκτρόδιο για την ασφάλεια του δύτε. Μια ροή οξυγόνου για 20 sec πριν ξεκινήσει η κοπή για να καλυφθεί το κενό των σωλήνων είναι απαραίτητη. Υψηλές ταχύτητες προώθησης του ηλεκτρόδιου οδηγούν σε σφάλματα. Ανάλογα με το πάχος του μετάλλου και την εργασία που θέλουμε να κάνουμε, υπάρχουν διάφορες τεχνικές για υποβρύχια κοπή οξυγόνου-τόξου με σωληνοειδή χαλύβδινα ηλεκτρόδια. Ακολουθούν μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα.

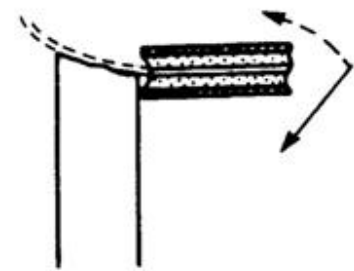
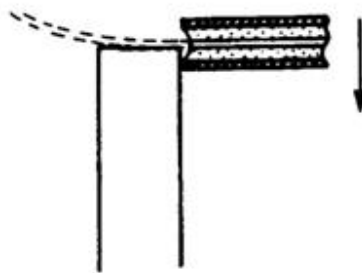


### 3. Υποβρύχιες Κοπές

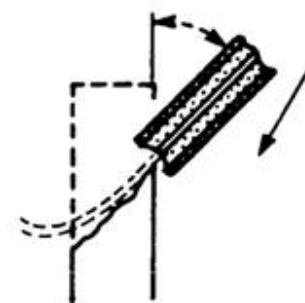
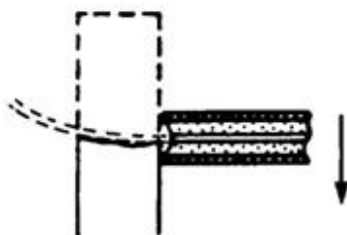
#### Κοπή σε χάλυβα με πάχος μικρότερο των 6,4 mm



α) Το ηλεκτρόδιο πιέζεται ελαφρά στην κατεύθυνση που δείχνει το βέλος, η βαλβίδα οξυγόνου ανοίγει και το ρεύμα ανάβει.



β) Το ηλεκτρόδιο κρατιέται σταθερό και η πίεση που ασκεί αυξάνεται με διεύθυνση όπως δείχνει το βέλος.



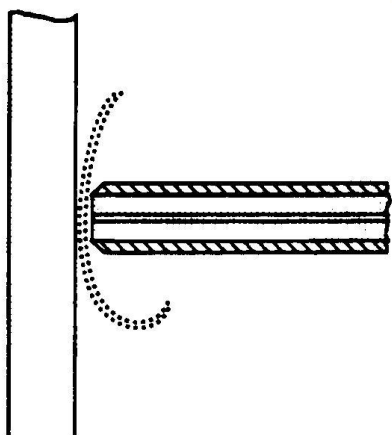
γ) Μικρή, σταθερή πίεση συνεχίζεται να ασκείται καθώς η κοπή προχωρά. Η άκρη του ηλεκτρόδιου διατηρείται κοντά στο μέταλλο.



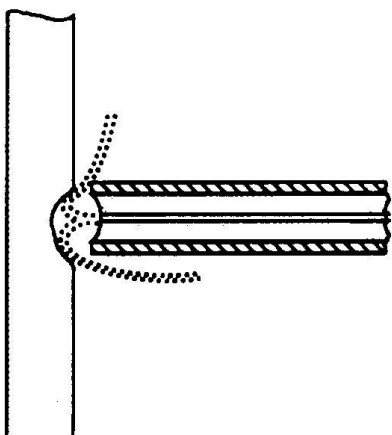
### 3. Υποβρύχιες Κοπές

Η παραπάνω εναλλακτική τεχνική χρησιμοποιείται όταν έχουμε χαμηλή ορατότητα. Σπρώχνοντας το ηλεκτρόδιο πολύ γρήγορα μέσα στη τρύπα θα προκαλέσει υπερβολική εκτόξευση υλικού, που μπορεί να προκαλέσει ζημιά στον καταδυτικό εξοπλισμό.

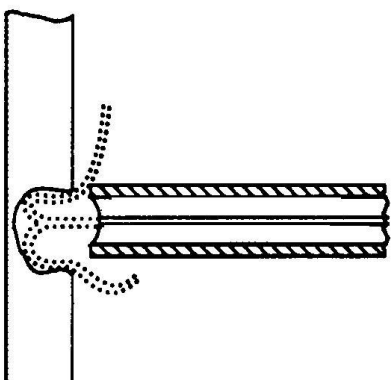
#### Δημιουργία τρύπας σε μέταλλο χάλυβα



α) Το ηλεκτρόδιο έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια, η βαλβίδα οξυγόνου ανοίγει και το ρεύμα ανάβει.



β) Το ηλεκτρόδιο κρατιέται σταθερό και λιώνει το μέταλλο μπροστά του.



γ) Το ηλεκτρόδιο πιέζεται αργά μέσα στη τρύπα μέχρι να φτάσουμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

#### 3.2.3. Εξωθερμικά ηλεκτρόδια (exothermic electrodes)



Φωτογραφία 3.4: Υποβρύχια κοπή με εξωθερμικά ηλεκτρόδια

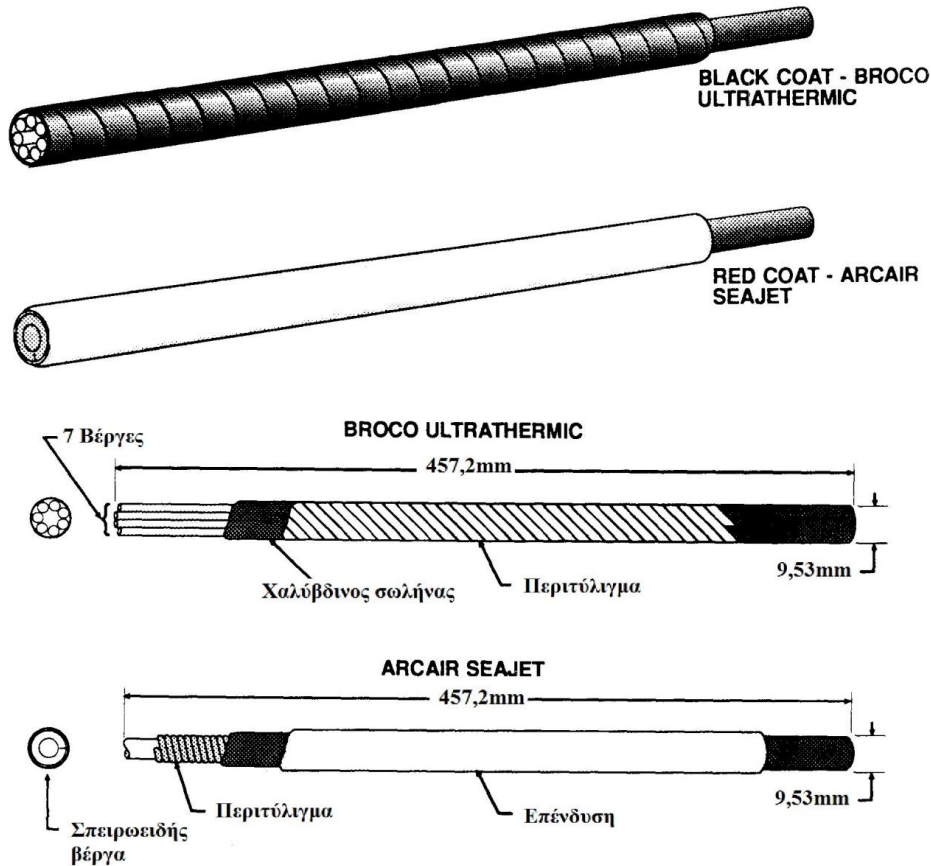
Τα εξωθερμικά ηλεκτρόδια είναι διαφορετικά από τα συμβατικά σωληνοειδή χαλύβδινα ηλεκτρόδια. Ένα μόνο εξωθερμικό ηλεκτρόδιο μπορεί να κόψει δύο ή τρεις φορές περισσότερο από ένα συμβατικό ηλεκτρόδιο και σε λιγότερο χρόνο, συγκεκριμένα για την ίδια απόσταση χρειάζεται τον μισό χρόνο και τον μισό αριθμό ηλεκτροδίων. Χωρίς αμφιβολία, τα άλλα συστήματα κοπής με ηλεκτρόδια δεν μπορούν να συγκριθούν με την αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου. Απαιτεί μια υψηλότερη ροή οξυγόνου και μικρότερης έντασης ρεύμα από τα συμβατικά ηλεκτρόδια, δημιουργώντας έτσι διαφορετικής φύσης προβλήματα για να αντιμετωπιστούν από τους συνήθεις χειριστές. Ουσιαστικά όλα τα μέταλλα και άλλα υλικά μπορούν να κοπούν.

Η διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσει ο δύτης για κοπή με εξωθερμικά ηλεκτρόδια είναι παρόμοια με αυτή της κοπής με σωληνοειδή χαλύβδινα ηλεκτρόδια. Ένα ηλεκτρικό τόξο θερμαίνει το μέταλλο ως τη θερμοκρασία τήξης του και στη συνέχεια μια υψηλής ταχύτητας δέσμη οξυγόνου το απομακρύνει. Για κοπή μη-αγώγιμων υλικών, το εξωθερμικό ηλεκτρόδιο αναφλέγεται με επαφή σε ένα διαμορφωμένο μέρος για να ανάψει το τόξο (striking plate). Κατόπιν, το μη-αγώγιμο υλικό κόβεται λόγω της υψηλής θερμότητας και της ροής του οξυγόνου.

Τα εξωθερμικά ηλεκτρόδια είναι διαθέσιμα σε δύο παραλλαγές [8]. Και τα δύο αποτελούνται από ένα χαλύβδινο σωλήνα διαμέτρου 9,53 mm και μήκους 457,2 mm. Και τα δύο είναι μονωμένα, το ένα με σπειροειδές περιτύλιγμα και το άλλο με πλαστική επένδυση. Μέσα στο χαλύβδινο σωλήνα το πρώτο (broco ultrathermic) περιέχει επτά μικρές βέργες. Μια από αυτές είναι φτιαγμένη από ειδικό κράμα για να

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

καίγεται ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες όταν ξεκινήσει η κοπή. Οι υπόλοιπες έξι είναι φτιαγμένες από κοινό χάλυβα. Το δεύτερο ηλεκτρόδιο (arcair seajet) αντί για βέργες χρησιμοποιεί ένα καλώδιο από κοινό χάλυβα τυλιγμένο γύρω από ένα σωλήνα κοινού χάλυβα.



Φωτογραφία 3.5: Εξωθερμικά ηλεκτρόδια

Τα εξωθερμικά ηλεκτρόδια μπορούν να διατηρήσουν την ανάφλεξη χωρίς ηλεκτρικό ρεύμα όσο ρέει το οξυγόνο, επομένως το ρεύμα μπορεί να σβήσει μόλις το ηλεκτρόδιο αρχίσει να καίγεται. Παρόλα αυτά, προτείνεται η χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος, ώστε να παρέχει περισσότερη θερμότητα και να βελτιώνει την κοπή [8]. Η σωστή επιλογή της έντασης του ρεύματος οδηγεί σε γρήγορη και αποτελεσματική κοπή. Τα broco ultrathermic ηλεκτρόδια μπορούν να λειτουργήσουν με μόνο 150 amp, ενώ τα arcair seajet ηλεκτρόδια απαιτούν λίγο περισσότερη ένταση, της τάξεως των 200-300 amp. Πολύ μεγάλες εντάσεις ρεύματος θα οδηγήσουν σε γρήγορη κατανάλωση του ηλεκτροδίου. Με σωστή ροή οξυγόνου και σωστή ένταση ρεύματος, τα εξωθερμικά ηλεκτρόδια καίγονται σε 45-55 sec. Μια 12-volt μπαταρία αρκεί για το ξεκίνημα μόνο του τόξου, αν θέλουμε να δουλεύουμε χωρίς συνεχή παροχή

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

ρεύματος. Ειδικοί αναπτήρες τοποθετημένοι στην άκρη του ηλεκτρόδιου θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ανάφλεξη του, κάτι που θα απλοποιούσε πολύ τη διαδικασία αφού δε θα χρειαζόταν να δοθεί τάση υποβρυχίως. Το κόστος όμως αυτών των αναπτήρων είναι πολύ υψηλό.

Τα εξωθερμικά ηλεκτρόδια καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα οξυγόνου, 2 με 5 φορές περισσότερη από τα σωληνοειδή ηλεκτρόδια [5]. Η διατήρηση ικανοποιητικής ροής οξυγόνου, περίπου  $2 \text{ m}^3/\text{min}$ , είναι απαραίτητη γιατί μόνο με τη θερμότητα δεν πραγματοποιείται κοπή. Η πίεση του οξυγόνου πρέπει να είναι 6.2 bar πάνω από την πίεση περιβάλλοντος. Σωστή ρύθμιση της πίεσης οδηγεί την υψηλής ταχύτητας δέσμη οξυγόνου να εκτείνεται μέχρι 152 mm μέσα στο νερό. Η καθαρότητα του οξυγόνου για όλες τις εφαρμογές θα πρέπει να είναι 99.5% και πάνω, όπως και στα σωληνοειδή χαλύβδινα ηλεκτρόδια.

Τα εξωθερμικά ηλεκτρόδια θα κόψουν αποτελεσματικά σιδηρούχα μέταλλα και θα λιώσουν και θα απομακρύνουν οποιαδήποτε υλικό σε θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους  $5537^\circ\text{C}$ , όπως αντιδιαβρωτικές στρώσεις βαφής και θαλάσσιους μικροοργανισμούς, χωρίς να είναι έτσι απαραίτητος ο καθαρισμός της επιφάνειας προηγουμένως [2]. Βρίσκουν χρήση σε πολλές εφαρμογές. Χρησιμοποιούνται για να διαπεράσουν υλικά που δε μπορούν οι άλλες μέθοδοι, όπως το αλουμίνιο, το τιτάνιο, τον ανοξείδωτο χάλυβα, τον χαλκό και τον πυρίμαχο σίδηρο. Μπορεί να εφαρμοστεί στην κοπή των ογκωδών δομών των αποβάθρων και των πλατφορμών. Επιτρέπει, επίσης, την κοπή των πετρών, των βράχων γρανίτη ή του σκυροδέματος, την αφαίρεση καλωδίων μπλεγμένων στα προωθητήρια μέσα ενός πλοίου, την κοπή έλικας, την κοπή υποθαλάσσιων σωλήνων και χρήση σε επιχειρήσεις διάσωσης.

Τα πλεονεκτήματα της υποβρύχιας κοπής με εξωθερμικά ηλεκτρόδια είναι:

- Η τεχνική είναι απλή και μαθαίνεται εύκολα.
- Μπορούν να κόψουν μέταλλο λεπτό σε πάχος με το ρεύμα κλειστό.
- Η κοπή πραγματοποιείται γρήγορα.
- Μπορεί να κόψει σιδηρούχα και μη-σιδηρούχα μέταλλα.
- Μπορεί να κόψει μέταλλα σε όλα τα πάχη.
- Μπορεί να κόψει μέσα από τσιμέντο, βράχο, κοράλλι, θαλάσσιους μικροοργανισμούς και μη αγωγίμα υλικά με το ρεύμα κλειστό.
- Η απαιτούμενη παροχή ρεύματος είναι μικρή, μέσα στις δυνατότητες μιας απλής ηλεκτρομηχανής.

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

- Μια 12-volt μπαταρία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ανάφλεξης του ηλεκτρόδιου.

Τα μειονεκτήματα της υποβρύχιας κοπής με εξωθερμικά ηλεκτρόδια είναι:

- Απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα οξυγόνου και ροή, για αυτό και η διάμετρος των ηλεκτροδίων είναι μεγαλύτερη από τα σωληνοειδή χαλύβδινα ηλεκτρόδια.
- Η διάρκεια ζωής του ηλεκτρόδιου είναι μικρή, 45-55 sec.
- Μεγαλύτερη σπατάλη ηλεκτρόδιου, αφού το ηλεκτρόδιο δεν πρέπει να βρίσκεται σε συνεχή επαφή με το μέταλλο για να διατηρηθεί το ηλεκτρικό τόξο.

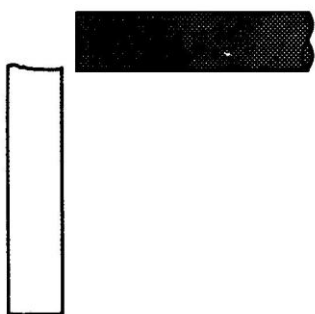
Ο χρόνος που απαιτείται για την κοπή των υλικών, καθώς και για την κατανάλωση του οξυγόνου και του ηλεκτρόδιου ποικίλλει ανάλογα με τις ικανότητες του δύτη, τη χημική σύσταση των υλικών και τις συνθήκες περιβάλλοντος. Αν η πίεση και η ροή του οξυγόνου και η ένταση του ρεύματος είναι σωστές, τότε ένα ηλεκτρόδιο θα κόψει 508 mm σε 12,7 mm πάχος μετάλλου, 356 mm σε 25,4 mm πάχος μετάλλου, 304 mm σε 38 mm πάχος μετάλλου και 254 mm σε 51 mm πάχος μετάλλου. Αν το ρεύμα σβήσει μόλις ανάψει το ηλεκτρόδιο, η αποτελεσματικότητα της μεθόδου μειώνεται 30% για 51 mm πάχος και 40% για 12,7 mm πάχος [2].

Για τη μέγιστη απόδοση της κοπής με εξωθερμικά ηλεκτρόδια θα πρέπει να επιτύχουμε τη μέγιστη θερμική ενέργεια από την ανάφλεξη του ηλεκτρόδιου στη μικρότερη κατανάλωσή του [5]. Τη θερμική ενέργεια μπορούμε να την αυξήσουμε με την εισαγωγή στοιχείων στην επένδυση του ηλεκτρόδιου με υψηλή θερμοκρασία δημιουργίας οξειδίων όπως το αλουμίνιο, το μαγνήσιο και το τιτάνιο, πράγμα που θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη θερμότητα της εξώθερμης αντίδρασης. Αύξηση της διάρκειας ζωής του τόξου μπορεί να επιτευχθεί με αύξηση της θερμικής ισορροπίας του.

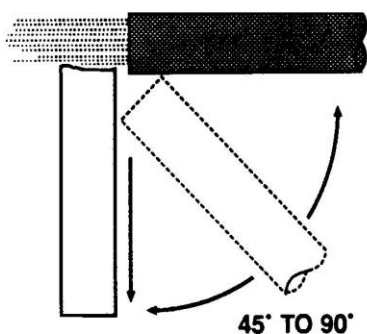
Και εδώ πριν την πρόσδοση θερμότητας από το τόξο στο μέταλλο θα πρέπει να έχει ξεκινήσει η παροχή του οξυγόνου για να αποτρέψει την εκτόξευση μετάλλου από το ξεκίνημα του τόξου μέσα στο ηλεκτρόδιο. Η θέση παίζει ρόλο στην ταχύτητα της κοπής. Τη μεγαλύτερη απόδοση την έχουμε στις οριζόντιες και κατακόρυφες κοπές, ενώ στις οροφιαίες μειώνεται η ταχύτητα, αφού τα προϊόντα από το λιώσιμο του μετάλλου και την οξείδωση δεν απομακρύνονται εύκολα από την τομή.

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

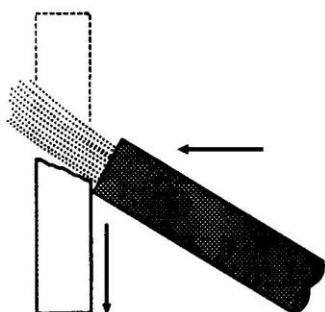
Ανάλογα με το πάχος του μετάλλου και την εργασία που θέλουμε να κάνουμε, υπάρχουν διάφορες τεχνικές για υποβρύχια κοπή οξυγόνου-τόξου με εξωθερμικά ηλεκτρόδια. Κάθε φορά που το ηλεκτρόδιο έχει καταναλωθεί σε μήκος μικρότερο των 76,2 mm, θα πρέπει η διαδικασία να σταματά και να αλλάζει το ηλεκτρόδιο για την ασφάλεια του δότη. Μια ροή οξυγόνου για 20 sec πριν ξεκινήσει η κοπή για να καλυφθεί το κενό των σωλήνων θα ήταν ιδανική. Υψηλές ταχύτητες προώθησης του ηλεκτρόδιου οδηγεί σε σφάλματα. Ακολουθεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τεχνικής για κοπή χάλυβα με εξωθερμικά ηλεκτρόδια.



α) Το ηλεκτρόδιο σε γωνία από 45 έως 90 μοίρες, το οξυγόνο κλειστό και το ρεύμα ανοιχτό.



β) Αναμμα του τόξου. Άνοιγμα της βαλβίδας οξυγόνου μόλις το τόξο έχει σταθεροποιηθεί και σύρσιμο του ηλεκτρόδιου ανάλογα με την επιθυμητή γωνία.



γ) Κίνηση του ηλεκτρόδιου όπως δείχνουν τα βελάκια.

### 3.2.4. Θερμικό καλώδιο (thermal cable)



Φωτογραφία 3.6: Υποβρύχια κοπή με θερμικό καλώδιο

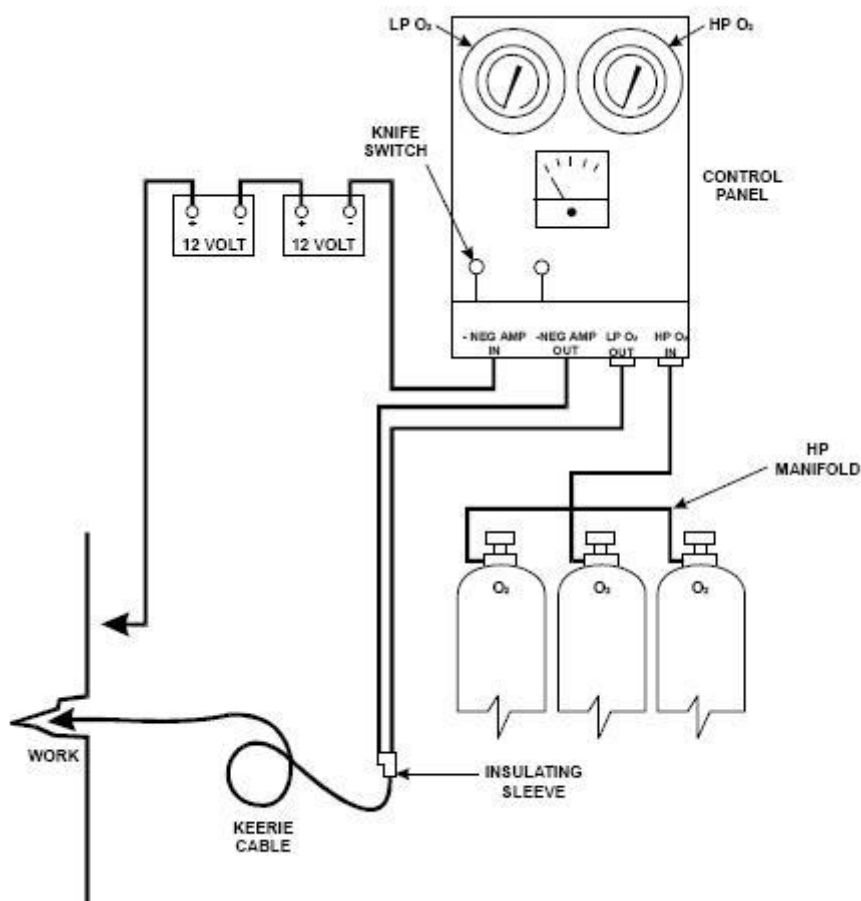
Η κοπή με θερμικό καλώδιο λειτουργεί όπως η αντίστοιχη κοπή με εξωθερμικά ηλεκτρόδια, με το καλώδιο να δρα όπως τα εξωθερμικά ηλεκτρόδια και υψηλής πίεσης οξυγόνο να ρέει μέσα από το καλώδιο. Το εύκαμπτο καλώδιο, από το οποίο το εσωτερικό έχει αφαιρεθεί για να υπάρχει δίοδος για το οξυγόνο, αποτελείται από έξι δέσμες χαλύβδινου σύρματος υψηλής αντοχής με πλαστική επένδυση για μόνωση. Κατασκευάζεται σε τρία μεγέθη, 15,24 m μήκος με 9 mm διάμετρο και 30,38 m μήκος με διάμετρο 6 mm για μεγάλα σε πάχος μέταλλα και 15,24 m μήκος με διάμετρο 6 mm για μικρά σε πάχος μέταλλα [8].

Το θερμικό καλώδιο στην ουσία είναι το ηλεκτρόδιο κοπής και συνδέεται μέσω μιας επέκτασης με τον πίνακα ελέγχου, που το τροφοδοτεί τόσο με ρεύμα, όσο και με οξυγόνο. Μόλις το οξυγόνο αρχίσει να ρέει μέσα στο καλώδιο, κλείνει το κύκλωμα και αυτό αναφλέγεται με επαφή σε ένα διαμορφωμένο μέρος για να ανάψει το τόξο (striking plate). Μόλις ανάψει, το ρεύμα σβήνει και το καλώδιο θα συνεχίσει να καίγεται όσο παρέχεται οξυγόνο. Το καλώδιο θα σταματήσει να καίγεται μόλις σταματήσει η ροή του οξυγόνου ή, σε περίπτωση ανάγκης, το οξυγόνο διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα και το νερό που μπαίνει στο καλώδιο σβήνει τη φλόγα. Η δεύτερη περίπτωση δημιουργεί δυσκολίες στο ξανάναμμα του καλωδίου υποβρυχίως και γι' αυτό γίνεται μόνο σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.



### 3. Υποβρύχιες Κοπές

Το καλώδιο κατεβαίνει υποβρυχίως με επαρκή ροή οξυγόνου που αποτρέπει το νερό να μπει στο εσωτερικό του. Καθώς αυξάνεται η πίεση με το βάθος, θα πρέπει να αυξάνεται και η πίεση του οξυγόνου. Είναι πολύ σημαντικό η ανάφλεξη να μη γίνει αν η πίεση του οξυγόνου είναι πολύ χαμηλή [8]. Αν γίνει αυτό, το καλώδιο θα αρχίσει να καίγεται εσωτερικά και μόλις η σωστή πίεση ρυθμιστεί, η φλόγα θα βγει από τα πλάγια του καλωδίου και μπορεί να προκαλέσει τραυματισμό του δύτη. Μια ροή οξυγόνου για 20 sec πριν ξεκινήσει η κοπή για να καλυφθεί το κενό των σωλήνων θα ήταν ιδανική. Η πίεση του οξυγόνου θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την υδροστατική πίεση κατά 17-24 bar ανάλογα με τη διάμετρο του καλωδίου [2]. Μια 24-volt ή δύο 12-volt μπαταρίες αρκούν για την ανάφλεξη του καλωδίου. Η ορθή πολικότητα δίνει αποτελεσματικότερες κοπές.



Φωτογραφία 3.7: Τυπική διάταξη θερμικού καλωδίου

Τυπικά, το θερμικό καλώδιο καίγεται με ρυθμό 0,61 m/min. Το μήκος του υλικού που κόβεται ανά λεπτό είναι σημαντικά μεγαλύτερο από την κοπή με εξωθερμικά ηλεκτρόδια και εξαρτάται φυσικά από το πάχος του υλικού [15]. Για



### 3. Υποβρύχιες Κοπές

παράδειγμα, θερμικό καλώδιο μήκους από 0,91 m έως 1,82 m, θα κόψει χάλυβα μήκους 305 mm με πάχος 51 mm σε 3,2 min με κατανάλωση οξυγόνου 40,8 m<sup>3</sup> [2]. Για να αρχίσει η κοπή, έρχεται σε επαφή η άκρη του θερμικού καλωδίου με το υλικό που πρόκειται να κοπεί. Το υλικό αμέσως αρχίζει να οξειδώνεται και να καίγεται. Κρατώντας το καλώδιο κάθετα σε 90° γωνία και διατηρώντας την άκρη του σε συνεχή επαφή με το υλικό, θα ολοκληρωθεί η κοπή. Δε πρέπει να πιέζεται μέσα στην τομή γιατί θα προκαλέσει υπερβολική εκτόξευση υλικού που μπορεί να καταστρέψει τον καταδυτικό εξοπλισμό του δύτη. Δε μπορεί να κόψει μη-σιδηρούχα μέταλλα, τσιμέντο ή βράχους και, αν επιχειρηθεί κάτι τέτοιο, μπορεί να γίνει έκρηξη [8].

Τα πλεονεκτήματα της υποβρύχιας κοπής με θερμικό καλώδιο είναι:

- Απαιτείται λιγότερη εκπαίδευση και ικανότητα από τις προηγούμενες διαδικασίες κοπής.
- Μπορεί να κόψει όλα τα πάχη υλικών.
- Καίγεται με μικρότερο ρυθμό και, άρα, έχει μεγαλύτερη διάρκεια.
- Είναι ιδανική για κοπές σε δυσπρόσιτα σημεία με μηδαμινή ορατότητα, αφού δεν απαιτεί συχνή αλλαγή ηλεκτροδίου.
- Προσφέρει την ίδια ποιότητας κοπή με την επιφάνεια.
- Ο εξοπλισμός που χρειάζεται υποβρυχίως είναι πολύ ελαφρύς.

Τα μειονεκτήματα της υποβρύχιας κοπής με θερμικό καλώδιο είναι:

- Καταναλώνει μεγαλύτερες ποσότητες οξυγόνου.
- Δεν μπορεί να κόψει τσιμέντο, βράχο ή μη-σιδηρούχα μέταλλα.
- Έχει όριο βάθους τα 91 m.
- Οι κοπές είναι τραχείς.
- Το κόστος είναι μεγαλύτερο.

### **3.3. Κοπή με επενδυμένα ηλεκτρόδια (shielded metal arc cutting)**

Η υποβρύχια κοπή με επενδυμένα ηλεκτρόδια είναι μια απλή διαδικασία, ικανή να κόψει διάφορα υλικά από κραματοποιημένο και ανοξειδωτο χάλυβα έως χυτοσίδηρο, ορείχαλκο, αλουμίνιο, χαλκό και μη-σιδηρούχα μέταλλα. Μπορεί να πραγματοποιηθεί με οποιοδήποτε αδιάβροχο ηλεκτρόδιο κοινού χάλυβα και το μεγαλύτερο πλεονέκτημά της είναι ότι δε χρειάζεται παροχή οξυγόνου. Ο απαιτούμενος εξοπλισμός είναι μια γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, έντασης όχι

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

μικρότερης των 500 amp και τάσης, όχι μικρότερης των 75 V. Ορθή πολικότητα χρησιμοποιείται.



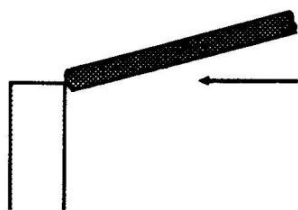
Φωτογραφία 3.8: Υποβρύχια κοπή με επενδυμένα ηλεκτρόδια

Η υποβρύχια κοπή με επενδυμένα ηλεκτρόδια είναι μια διαδικασία στην οποία το μέταλλο στην ουσία λιώνει από την έντονη θερμότητα που παράγεται από το ηλεκτρικό τόξο και δεν οξειδώνεται ή καταναλώνεται όπως στις μεθόδους με παροχή οξυγόνου. Η θερμότητα λιώνει τοπικά μια περιοχή του μετάλλου, δημιουργώντας έτσι μια μικρή “λίμνη” λιωμένου μετάλλου. Εξαιτίας, όμως, της γρήγορης ψύξης από το νερό η “λίμνη” δε ρέει ικανοποιητικά για να πραγματοποιηθεί η κοπή και γι’ αυτό η άκρη του ηλεκτροδίου πρέπει να χειρίζεται έτσι ώστε να σπρώχνει το λιωμένο μέταλλο έξω από τη τομή.

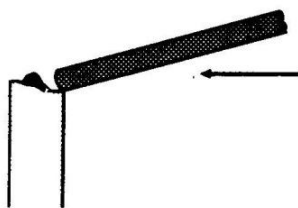
Είναι μια μικρής αποτελεσματικότητας μέθοδος, ειδικά για πάχη μετάλλου μεγαλύτερα των 14 mm, εξαιτίας του μεγάλου απαιτούμενου χρόνου για να διεισδύσει σε όλο το πάχος του και της υπερθέρμανσης, της γρήγορης κατανάλωσης και της συχνής αντικατάστασης του ηλεκτροδίου. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου μειώνεται όσο αυξάνει το βάθος επειδή η πίεση επηρεάζει τη σταθερότητα του τόξου. Οι χαμηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος μειώνουν την ταχύτητα της κοπής. Για εργασίες με θερμοκρασίες νερού από 0-3°C, η ταχύτητα κοπής μειώνεται 10 με 20% [5]. Η ταχύτητα της κοπής μειώνεται επίσης με την παρουσία βαφής, αντιδιαβρωτικών στρώσεων ή θαλάσσιων μικροοργανισμών στην επιφάνεια που πρόκειται να κοπεί. Η εμπειρία και η ικανότητα των δυτών επηρεάζει θετικά την αποτελεσματικότητα των κοπών.

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

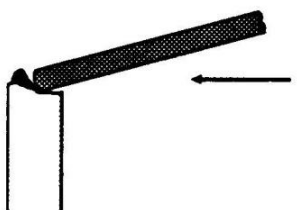
Η τεχνική που ακολουθείται είναι η παρακάτω [8]:



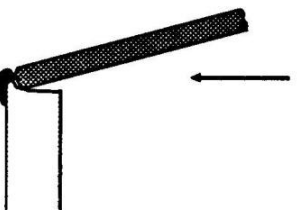
α) Το ηλεκτρόδιο είναι σε επαφή με την άκρη του μετάλλου και το ρεύμα ανάβει.



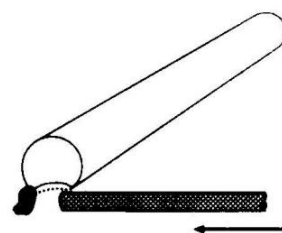
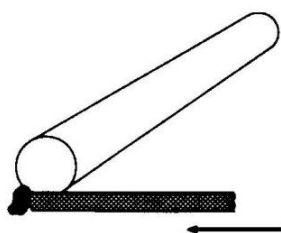
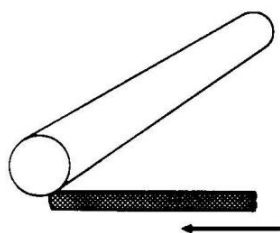
β) Η άκρη του ηλεκτροδίου υποχωρεί στιγμιαία και κατόπιν, αναπτύσσεται αργά σε όλη την επιφάνεια του μετάλλου.



γ) Το λιώμενο μέταλλο σπρώχεται εκτός.



δ) Μόλις το λιώμενο μέταλλο φτάσει στην άκρη της επιφάνειας και χυθεί εκτός, το ηλεκτρόδιο αμέσως επιστρέφει στην αρχή της επιφάνειας για την επομένη τομή.



Ένα ηλεκτρόδιο διαμέτρου 4,76 mm (εμπορικά διαθέσιμο για υποβρύχιες κοπές με επενδυμένα ηλεκτρόδια) μπορεί να κόψει χάλυβα μήκους 80 mm και πάχους 10 mm [2]. Το αποτέλεσμα αυτό είναι πολύ ικανοποιητικό, αν σκεφτεί κανείς το ελάχιστο απαιτούμενο κόστος της μεθόδου. Γι' αυτό το λόγο γίνεται έρευνα, η οποία κατευθύνεται στον προσδιορισμό των σωστών στοιχείων επένδυσης των

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

ηλεκτρόδιων, αφού αυτά μπορούν να αυξήσουν το βάθος εργασίας και την αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Για κοπές μετάλλου μέχρι 6 mm είναι η πιο αποδοτική μέθοδος. Για μεγαλύτερα πάχη, μειώνεται η απόδοσή της.

Τα πλεονεκτήματα της υποβρύχιας κοπής με επενδυμένα ηλεκτρόδια είναι:

- Μαθαίνεται εύκολα η τεχνική της.
- Δεν απαιτεί οξυγόνο.
- Μπορεί να κόψει όλα τα μέταλλα.
- Έχει το πιο χαμηλό κόστος.
- Είναι λιγότερη επικίνδυνη.

Τα μειονεκτήματα της υποβρύχιας κοπής με επενδυμένα ηλεκτρόδια είναι:

- Δεν είναι αποτελεσματική για όλα τα πάχη μετάλλων.
- Επηρεάζεται από την πίεση, το βάθος και τις συνθήκες περιβάλλοντος.

### 3.4. Κοπή οξυγόνου (oxyfuel gas cutting)



Φωτογραφία 3.9: Υποβρύχια κοπή με οξυγόνο

Η διαδικασία των υποβρύχιων κοπών με οξυγόνο είναι στην ουσία ίδια με αυτή στην επιφάνεια. Ένας καυστήρας αναμιγνύει το αέριο καύσιμο με το οξυγόνο, τα οποία φλέγονται και παράγουν ικανή θερμότητα για να λιώσουν το μέταλλο που πρόκειται να κοπεί. Μια μικρή περιοχή του μετάλλου θερμαίνεται μέχρι τη θερμοκρασία τήξης του και μετά το οξυγόνο διεισδύει σε αυτή τη περιοχή. Το οξυγόνο αμέσως μετατρέπει το λιωμένο μέταλλο σε διάφορα αέρια και χημικά συστατικά, κυριολεκτικά καίγοντάς το. Μια επιπλέον δέσμη οξυγόνου υψηλής ταχύτητας χρησιμοποιείται βοηθητικά για να απομακρύνει το λιωμένο μέταλλο. Η

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

φλόγα κατόπιν παίρνει μια μικρή κλίση για να προθερμάνει το μέταλλο μπροστά από την τομή ώστε να συνεχιστεί η κοπή.

Όπως και στην επιφάνεια, έτσι και υποβρυχίως πρέπει να ικανοποιούνται οι εξής συνθήκες για να έχουμε φλογοκοπή [57]:

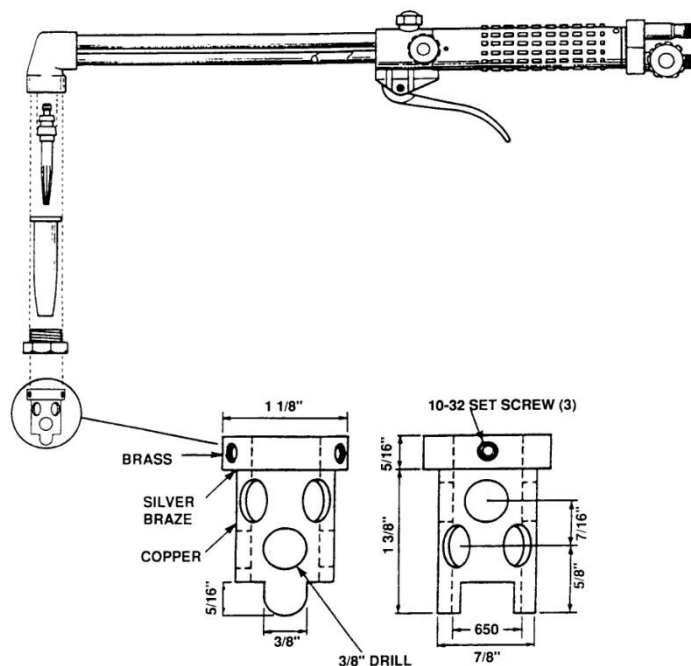
- Τα μεταλλικά οξειδία πρέπει να έχουν σημείο τήξης μικρότερο από εκείνο του βασικού μετάλλου.
- Τα οξειδία πρέπει να έχουν καλή ρευστότητα και να αποχωρίζονται εύκολα από το βασικό μέταλλο.
- Η θερμοκρασία καύσης του μετάλλου πρέπει να είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία τήξης του.
- Το βασικό μέταλλο δεν πρέπει να περιέχει σημαντικές ποσότητες ακαθαρσιών που είναι δύσκολες να καούν.

Ικανοποιώντας αυτές τις συνθήκες η μέθοδος αυτή μπορεί να προσφέρει αποτελεσματικές κοπές υποβρυχίως σε κοινούς και μικροκραματωμένους χάλυβες. Όπως και στην επιφάνεια, κοπή με οξυγόνο δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε αλουμίνιο, χρώμιο και νικέλιο επειδή τα σχηματιζόμενα οξειδία έχουν μεγαλύτερο σημείο τήξης από αυτό των μετάλλων.

Το υγρό περιβάλλον επηρεάζει τη σταθερότητα της φλόγας και οι γρήγοροι ρυθμοί ψύξης επηρεάζουν την κοπή. Η κοπή με φλόγα οξυγόνου-ακετυλένιου είναι αναποτελεσματική σε υλικά πέρα από κοινό χάλυβα και δε πρέπει να χρησιμοποιείται σε βάθη μεγαλύτερα των 8 m γιατί το ακετυλένιο γίνεται ιδιαίτερα ασταθές σε πιέσεις μεγαλύτερες των 1 bar και μπορεί να προκαλέσει έκρηξη [2]. Η κοπή με φλόγα οξυγόνου-υδρογόνου έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε βάθη μεγαλύτερα των 8 m. Παρόλο που παράγει μικρότερη θερμότητα από τη φλόγα οξυγόνου-ακετυλένιου και μπορεί να κόψει και αυτή μόνο κοινούς χάλυβες, προτιμάται από τους δύτες γιατί είναι πιο ευπροσάρμοστη. Η κοπή με φλόγα οξυγόνου-MAPP gas (υγροποιημένο αέριο πετρελαίου που αναμιγνύεται με μίγμα μεθυλακετυλενίου-προπαδιενίου) έχει κυριαρχήσει στις υποβρύχιες κοπές. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσει αυτή η φλόγα είναι οι μεγαλύτερες από όλες τις άλλες και προσφέρει καθαρές, χωρίς σκουριά κοπές σε βάθη μέχρι 50 m. Όταν χρησιμοποιείται με καιρικές συνθήκες πολύ χαμηλών θερμοκρασιών, ίσως είναι απαραίτητο να ζεστάνουμε πρώτα τις μπουκάλες MAPP gas για να διατηρηθεί η σωστή πίεση και η σωστή ροή του αερίου. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με ζεστό νερό είτε να τις τοποθετήσουμε μέσα σε ένα δωμάτιο με θέρμανση

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

είτε κοντά σε μηχανές που εκλύουν θερμότητα κατά τη χρήση τους, όπως μια γεννήτρια [8].



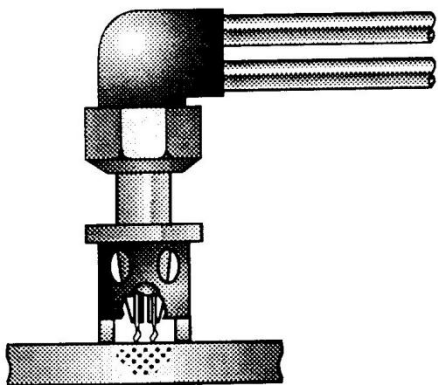
Φωτογραφία 3.10: Τυπικός καυστήρας υποβρύχιας κοπής με οξυγόνο

Ο καυστήρας χρησιμεύει τόσο για τη δημιουργία της φλόγας προθέρμανσης με ανάμειξη του αέριου καύσιμου με το οξυγόνο στις σωστές αναλογίες, όσο και για την παροχή της ομοιόμορφης συγκεντρωμένης δέσμης του οξυγόνου στην περιοχή της κοπής. Οι καυστήρες που χρησιμοποιούνται υποβρυχίως είναι διαφορετικοί από της επιφάνειας, αφού έχουν ένα ξεχωριστό μπέκ που τροφοδοτεί με πεπιεσμένο αέρα την περιοχή της κοπής, δημιουργώντας έτσι μια προστατευτική φυσαλίδα γύρω από τη φλόγα για να τη σταθεροποιήσει. Είναι σημαντικό να επιλέγεται ο σωστός τύπος καυστήρα ανάλογα με το βάθος και με το αέριο καύσιμο που χρησιμοποιείται. Ο καυστήρας αναφλέγεται ασφαλέστερα και αποτελεσματικότερα με μηχανικό τρόπο (hand mechanical igniter) παρά με ηλεκτρικό (electrical igniter). Αφού ο καυστήρας ανάψει, κατεβαίνει στη περιοχή της εργασίας με δύο τρόπους. Είτε ο ίδιος ο δύτης το μεταφέρει κάτω κρατώντας το στο χέρι (σε ρηγά βάθη και σε εύκολα προσβάσιμες τοποθεσίες), είτε μεταφέρεται κάτω με μηχανικό τρόπο, με τον δύτη να βρίσκεται ήδη στο μέρος της εργασίας και να παρακολουθεί συνεχώς τη μεταφορά του καυστήρα ώστε να μη τραυματίσει τον ίδιο ή να προκαλέσει ζημιά στον καταδυτικό του εξοπλισμό. Κάποιοι καυστήρες δίνουν τη δυνατότητα να ανάψει μια μόνο πολύ μικρή

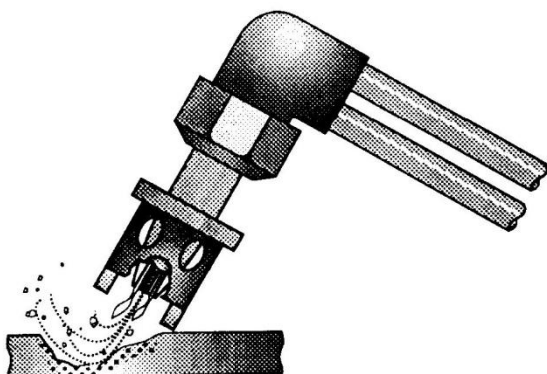
### 3. Υποβρύχιες Κοπές

φλόγα (pilot flame), η οποία καίει συνεχώς όσο μεταφέρεται κάτω και ο καυστήρας να ανάψει πραγματικά μόνο όταν φτάσει στη περιοχή της εργασίας. Η φλόγα πρέπει να καίει με μεγαλύτερη ένταση και ταχύτητα στην επιφάνεια ώστε ο δύτες να έχει το περιθώριο να κάνει τις απαραίτητες ρυθμίσεις αν χρειαστεί.

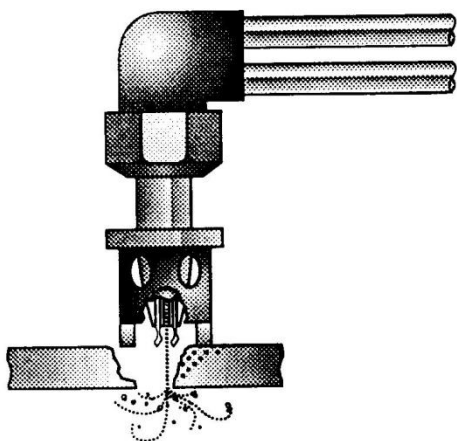
Η τεχνική που ακολουθείται είναι η παρακάτω:



α) Κρατάμε την άκρη του καυστήρα σε ένα σημείο μέχρι να ζεσταθεί το μέταλλο.



β) Ανοίγουμε τη δέσμη του οξυγόνου και ταυτόχρονα κλίνουμε το καυστήρα υπό μικρή γωνία για να μην εισχωρήσει η σκουριά μέσα του.



γ) Μόλις δημιουργηθεί τρύπα, στρέφουμε το καυστήρα λίγο για να προθερμάνει την περιοχή μπροστά από τη τρύπα και συνεχίζουμε με τον ίδιο τρόπο.

Η κοπή πραγματοποιείται μετακινώντας τον καυστήρα με σταθερό ρυθμό πάνω στη γραμμή της τομής, αρκετά γρήγορα ώστε να έχουμε συνεχή κοπή, αλλά και τόσο αργά ώστε να κόψει όλο το πάχος του μετάλλου. Αν ο καυστήρας μετακινείται



### 3. Υποβρύχιες Κοπές

πολύ αργά, ο χάλυβας θα ψυχθεί και η κοπή θα σταματήσει. Αν ο καυστήρας μετακινείται πολύ γρήγορα, δεν θα κοπεί ολοκληρωτικά το μέταλλο.

Τα πλεονεκτήματα της υποβρύχιας κοπής με οξυγόνο είναι:

- Δεν χρειάζεται παροχή ρεύματος.
- Όλος ο εξοπλισμός μεταφέρεται εύκολα με μια μικρή βάρκα.
- Έχει μικρό κόστος.
- Μπορεί να κόψει χάλυβα πάχους μέχρι 50 mm.

Τα μειονεκτήματα της υποβρύχιας κοπής με οξυγόνο είναι:

- Απαιτεί δεξιότητα και ικανότητα από τον δύτη.
- Με κακή ορατότητα είναι δύσκολα εφαρμόσιμη.
- Έχει μικρότερη ταχύτητα κοπής και μικρότερη αποτελεσματικότητα από τις προηγούμενες μεθόδους.
- Κόβει μόνο κοινούς και ελαφρά κραματωμένους χάλυβες.
- Έχει περιορισμένα όρια εφαρμογής σε βάθος.

#### **Θερμική λόγξη (thermal lance)**



Φωτογραφία 3.11: Υποβρύχια κοπή τσιμέντου με θερμική λόγξη

Συχνά, κατά τη διάρκεια μιας επιχείρησης διάσωσης, οι συνθήκες δεν επιτρέπουν στον δύτη να πάρει την κατάλληλη θέση για να πραγματοποιήσει την κοπή. Σε τέτοιες περιπτώσεις η υποβρύχια κοπή με θερμική λόγξη είναι ιδανική. Το βάρος του απαιτούμενου εξοπλισμού είναι τρομερά μικρό και η διαδικασία είναι ίδια



### 3. Υποβρύχιες Κοπές

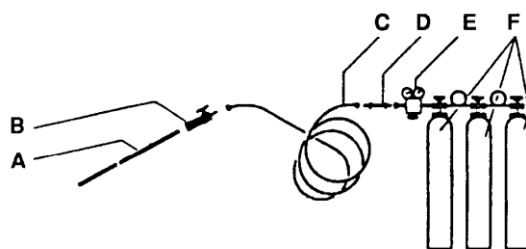
ακριβώς με την επιφάνεια. Χαρακτηρίζεται από το εύκολο ξεκίνημα και εύκολη διατήρηση της φλόγας στη συνέχεια ώστε να πραγματοποιηθεί επιτυχώς η κοπή.

Η θερμική λόγχη είναι ένας χαλύβδινος σωλήνας μήκους 3,05 m και διαμέτρου 9,525 mm, που περιέχει καλώδια από σιδηρούχα ή μη-σιδηρούχα υλικά όπως αλουμίνιο, μαγνήσιο, θερμίτη ή μαλακό χάλυβα (συνήθως 34 καλώδια) [8]. Υψηλής πίεσης οξυγόνο (5.5-8.3 bar) ρέει μέσα από τον σωλήνα και αναφλέγεται από μια ξεχωριστή πηγή, όπως ένα πιστόλι οξυγόνου. Τα μεταλλικά καλώδια έχουν μια διπλή λειτουργία, μειώνουν την κατανάλωση οξυγόνου και παρατείνουν τη διάρκεια του ηλεκτροδίου. Η καύση του χαλύβδινου σωλήνα σε ένα περιβάλλον με αφθονία οξυγόνου είναι σε θέση να αναπτύξει θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 2.500°C και 4.000°C, ανάλογα με τα υπόλοιπα υλικά κατασκευής. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η θερμοκρασία των κοπών μπορεί να φθάσει ακόμα και τους 5.000°C με την εισαγωγή καλωδίων αλουμινίου μέσα στον χαλύβδινω σωλήνα [17]. Με τέτοιες θερμοκρασίες είναι ικανή να κόψει οποιοδήποτε υλικό, όπως σίδηρο, χάλυβα, μη-σιδηρούχα υλικά, βράχους και τσιμέντο.

Κάτω από το νερό φυσικά είναι πιο δύσκολος ο χειρισμός της λόγω του μήκους της και καταναλώνει μεγάλες ποσότητες οξυγόνου. Ο χρόνος καύσης μιας θερμικής λόγχης είναι περίπου 6 min. Μπορούμε να ενώσουμε ένα αριθμό λογχών για να επεκτείνουμε το χρόνο αυτό, αλλά αυτό θα κάνει ακόμα πιο δύσκολο τον χειρισμό τους υποβρυχίως [8]. Ο μόνος τρόπος για να σβήσει η θερμική λόγχη είναι να σταματήσει να ρέει το οξυγόνο. Δεν προτείνεται η χρήση για λεπτές κοπές που απαιτείται ακρίβεια και λόγω της μεγάλης κατανάλωσης οξυγόνου και της γρήγορης κατανάλωσης της λόγχης περιορίζεται σε χρήση από έμπειρους δύτες μόνο. Είναι πολύ πρακτική σε εφαρμογές που δεν υπάρχει η δυνατότητα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, δεδομένου ότι λειτουργεί μόνο με οξυγόνο. Μπορεί να κόψει σε οποιαδήποτε θέση, στην οριζόντια όμως έχει τη μέγιστη απόδοση. Οι πρώτες χρήσεις της ήταν σε κοπές χάλυβα πολύ μεγάλου πάχους ή σε κοπή προπέλας ή σε κοπή υψηλή αντοχής χαλύβδινου άξονα. Μπορεί να τρυπήσει χάλυβα διαμέτρου 305 mm σε ένα λεπτό με κατανάλωση από 152 έως 305 mm της λόγχης ή μια λόγχη μπορεί να κόψει 1 m ναυπηγικού χάλυβα πάχους 7 mm σε πέντε λεπτά ή μια λόγχη μπορεί να διεισδύσει 609,6 mm ενισχυμένου σκυρόδεμα ανοίγοντας τρύπα 50,8 mm σε πέντε λεπτά [2].

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

Το μεγάλο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι παράγει μεγάλες ποσότητες υδρογόνου κατά τη διάρκεια της κοπής, το οποίο όταν συνδυάζεται με οξυγόνο (άφθονη παρουσία σε αυτή τη μέθοδο), δημιουργεί ένα εκρηκτικό μείγμα. Υπάρχει, επομένως, ένα σοβαρός κίνδυνος στη χρήση της θερμικής λόγχης υποβρυχίως αφού γίνονται εκρήξεις των φυσαλίδων αυτών των αερίων. Δυστυχώς, έχουν χάσει τη ζωή τους αρκετοί δύτες από αυτό.



- A. THERMIC LANCE-INSERT TORCH INTO HOLDER (B)
- B. THERMIC LANCE HOLDER
- C. CONNECTING HOSE FOR REGULATOR ASSEMBLY (E)
- D. COUPLING TO ATTACH (C) TO (E) - UNIT (D) CONSISTS OF A COUPLING AND A HOSE CLAMP
- E. TWO STAGE REGULATOR CAPABLE OF PRODUCING A HEAD PRESSURE OF AT LEAST 200 P.S.I.
- F. SUPPLY OF OXYGEN

Φωτογραφία 3.12: Τυπική διάταξη θερμικής λόγχης

Τα πλεονεκτήματα της υποβρύχιας κοπής με θερμική λόγχη είναι:

- Είναι ιδανική για κοπές σε δυσπρόσιτα σημεία με μηδαμινή ορατότητα.
- Μπορεί να κόψει όλα τα πάχη υλικών.
- Μπορεί να κόψει όλα τα υλικά.
- Δε χρειάζεται παροχή ρεύματος.
- Δεν έχει όρια βάθους.
- Έχει τον μικρότερο εξοπλισμό από όλες τις προηγούμενες.

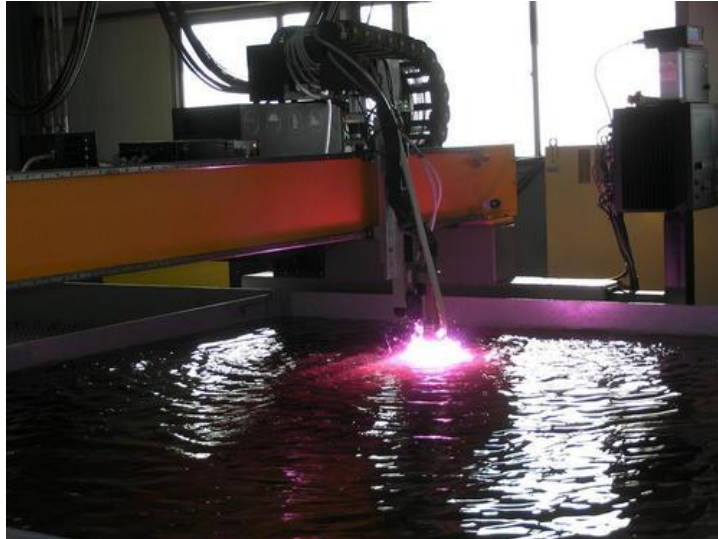
Τα μειονεκτήματα της υποβρύχιας κοπής με θερμική λόγχη είναι:

- Είναι τρομερά επικίνδυνη λόγω των μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου που παράγει.
- Καταναλώνει μεγάλες ποσότητες οξυγόνου και η θερμική λόγχη καταναλώνεται πολύ γρήγορα.
- Απαιτεί δεξιότητα και ικανότητα.

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

- Είναι ακριβή μέθοδος υποβρύχιας κοπής (κάθε θερμική λόγχη στοιχίζει περίπου 12 €, ενώ ο υπόλοιπος εξοπλισμός χωρίς το απαιτούμενο οξυγόνο ξεπερνάει τα 600 €)

#### 3.5. Κοπή με τόξο πλάσματος (plasma arc cutting)








Φωτογραφία 3.13: Υποβρύχια κοπή με τόξο πλάσματος λίγα μόνο mm κάτω από την επιφάνεια

Τα πρώτα πειράματα για κοπή κάτω από το νερό με χρήση του τόξου πλάσματος χρονολογούνται το 1959-1960 και τα αποτελέσματα ήταν άκρως ενθαρρυντικά. Η διαδικασία αυτή βασίζεται στην πρόσδοση θερμότητας από ένα στενωμένο τόξο πλάσματος (ιονισμένο αέριο) μέχρι το μέταλλο να λιώσει και κατόπιν, το υψηλής ταχύτητας τζετ πλάσματος απομακρύνει το λιωμένο μέταλλο από την τομή. Η στένωση του τόξου επιτυγχάνεται συνήθως με διοχέτευση του τόξου μέσα από στόμιο και έχει ως σκοπό τον έλεγχο της ευστάθειας κατεύθυνσης και την αύξηση της πυκνότητας ενέργειας του τόξου. Η μέθοδος λειτουργεί με χρήση συνεχούς ρεύματος ορθής πολικότητας. Η διαθέσιμη ένταση ρεύματος (100-1000 amp) και η διαθέσιμη τάση (μπορεί να φτάσει τα 6000 V στο ξεκίνημα του τόξου) που χρησιμοποιείται είναι μεγαλύτερη από τις μέγιστες τιμές κάθε άλλης μεθόδου υποβρύχιας κοπής (600 amp και 80-90 V), αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα ηλεκτρικού σοκ για τον δύτη. Μπορεί να κόψει όλα τα ηλεκτρικά αγωγά υλικά και ουσιαστικά κάθε μέταλλο, σιδηρούχο ή μη-σιδηρούχο. Οι περισσότερες εφαρμογές όμως αφορούν κοινό χάλυβα, αλουμίνιο και ανοξείδωτο χάλυβα.

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι πολύ μεγάλες, της τάξης των 20000-30000°C. Η ταχύτητα του τζετ πλάσματος μπορεί να είναι μεγαλύτερη των 2000-3000 m/s [5]. Προστασία του τηγμένου μετάλλου παρέχεται συνήθως από το υπέρθερμο, ιονισμένο αέριο που εξέρχεται από το στόμιο του ακροφυσίου στένωσης. Για περισσότερη προστασία χρησιμοποιείται συνήθως και βοηθητικό αέριο (αδρανές ή μίγμα αερίων) ή νερό. Τα αέρια που χρησιμοποιούνται ως αέρια πλάσματος στις υποβρύχιες κοπές είναι το άζωτο, μείγμα αργού/υδρογόνου και πεπιεσμένος αέρας. Για βοηθητικά αέρια χρησιμοποιούνται συνήθως πεπιεσμένος αέρας, αργό και διοξείδιο του άνθρακα.

water depth	appearance of cutting kerf	cutting direction
0.5m		←
10m		←
20m		←
40m		→
60m		→

TStE 460, 20mm, square edge cuts

Φωτογραφία 3.14: Υποβρύχιες κοπές με τόξο πλάσματος σε διαφορετικά βάθη [21]

Με την αύξηση του βάθους μειώνεται η αποτελεσματικότητα της μεθόδου και η ταχύτητα της κοπής, ενώ η όψη των κοπών γίνεται πιο τραχιά. Όχι μόνο επηρεάζεται η ευστάθεια του τόξου με την αύξηση της πίεσης, αλλά και η ροή του

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

λιωμένου μετάλλου μειώνεται. Υποβρύχιες κοπές με τόξο πλάσματος προσφέρουν ικανοποιητικά αποτελέσματα σε βάθος μέχρι και 180 m [14].

Υπάρχει και η δυνατότητα αυτοματοποίησης της μεθόδου. Περίπου ένα λεπτό χρειάζεται για να κοπεί τηλεχειριζόμενα ανοξείδωτος χάλυβας μήκους 305 mm και πάχους από 19,05-47,6 mm σε βάθος 11 m. Αφού η τάση αυξάνεται με το πάχος, απαιτείται 90-140 V αντίστοιχα, ενώ η ένταση κυμαίνεται από 450-860 amp ανάλογα με τη γεωμετρία της κοπής. Ένας δύτης με 100 amp πιστόλι πλάσματος θα κόψει σε ένα λεπτό ανοξείδωτο χάλυβα μήκους 1981 mm και πάχους 6,35 mm ή ανοξείδωτο χάλυβα μήκους 813 mm και πάχους 12,7 mm ή ανοξείδωτο χάλυβα μήκους 178 mm και πάχους 25,4 mm [2].

Τα πλεονεκτήματα της υποβρύχιας κοπής με τόξο πλάσματος είναι:

- Μπορεί να κόψει όλα τα μέταλλα και όλα τα ηλεκτρικά αγωγικά υλικά.
- Η ταχύτητα κοπής είναι μεγάλη.
- Προσφέρει καλής ποιότητας κοπές.
- Παρόλο που το κόστος εξοπλισμού είναι ακριβό, το λειτουργικό κόστος είναι μικρότερο από την κοπή οξυγόνου-τόξου κατά 80-90%.
- Μπορεί να κόψει σχεδόν όλα τα πάχη.

Τα μειονεκτήματα της υποβρύχιας κοπής με τόξο πλάσματος είναι:

- Είναι επικίνδυνη για τον δύτη λόγω των μεγάλων τιμών έντασης και τάσης ρεύματος που χρησιμοποιεί και της παρουσίας του ηλεκτρικά αγωγίμου νερού.
- Επηρεάζεται από το βάθος και την πίεση.
- Απαιτεί πηγή ενέργειας με μεγάλες αποδόσεις.
- Είναι δύσκολος ο χειρισμός της κάτω από νερό και χρειάζεται δεξιότητα.

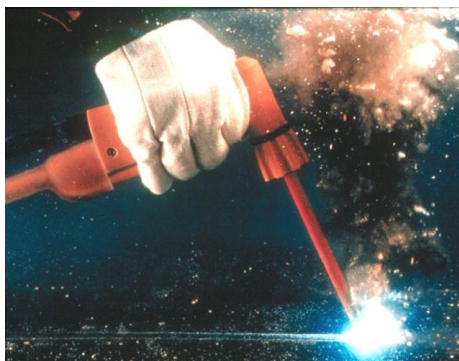
Πρέπει να αναφερθεί εδώ ότι τα τελευταία χρόνια προτιμούνται να γίνονται πολλές κοπές με τόξο πλάσματος όχι στην επιφάνεια, αλλά λίγα μόνο χιλιοστά κάτω από το νερό [20]. Αυτό συμβαίνει για τους κάτωθι λόγους. Καταρχήν, τα τυπικά επίπεδα θορύβου κατά την κοπή με τόξο πλάσματος ενός κοινού χάλυβα πάχους 12,7 mm με 400 amp πιστόλι αζώτου πλάσματος είναι της τάξεως των 110 dBA. Αυτό φυσικά είναι ένα υψηλό επίπεδο θορύβου, αν λάβει κανείς υπόψη ότι στις

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες το θεσμοθετημένο επίπεδο είναι στα 85 dBA. Επιπλέον, η κοπή με τόξο πλάσματος παράγει καρκινογόνα αέρια, UV ακτινοβολία και έντονο φως. Έτσι η τακτική να βυθίζεται το κομμάτι που πρόκειται να κοπεί και το πιστόλι πλάσματος 50-80 mm κάτω από το νερό, μείωσε δραστικά τα επικίνδυνα αέρια και τα επίπεδα του θορύβου, της ακτινοβολίας και του έντονου φως.

Φυσικά έτσι η ταχύτητα κοπής μειώνεται 10-20%, ενώ με το ίδιο ποσοστό αυξάνονται οι απαιτήσεις ενέργειας. Επίσης, η ποιότητα των κοπών μειώνεται και ο διαχωρισμός του νερού στα συστατικά δημιουργεί τον κίνδυνο πιθανών εκρήξεων αν παγιδευτούν σε κάποιο άνοιγμα το οξυγόνο και το υδρογόνο. Αυτή η τεχνική βρήκε εφαρμογή σε ένα πλήθος εργασιών σε πυρηνικές εγκαταστάσεις, που έτσι κι αλλιώς τα επίπεδα της ακτινοβολίας είναι υψηλά. Με την αυτοματοποίηση της μεθόδου επεκτάθηκε και σε μεγαλύτερα βάθη και το 1990 1000 amp τόξο πλάσματος χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς για να κόψει 114 mm ανοξείδωτου χάλυβα στα 4.56 m βάθος στο πυρηνικό εργοστάσιο Connecticut Yankee.

### 3.6. Κοπή τόξου με δέσμη νερού (electrical arc with water jet cutting)

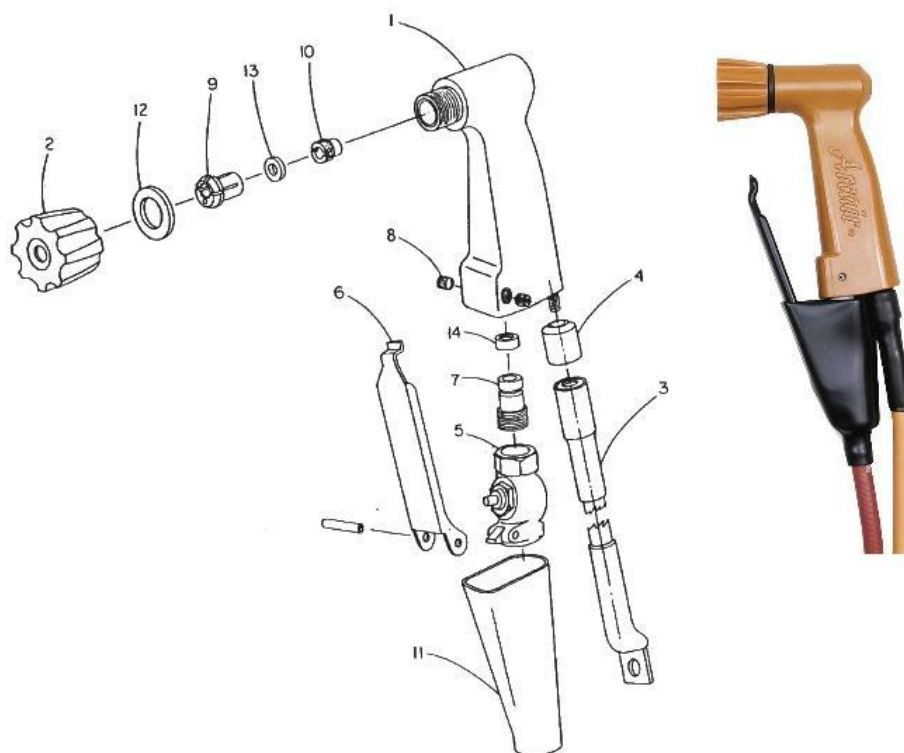


Φωτογραφία 3.15: Υποβρύχια νερού-τόξου κοπή

Η κοπή τόξου με δέσμη νερού είναι στην ουσία μια διαδικασία τήξης του μετάλλου. Βασίζεται στη διατήρηση ενός ηλεκτρικού τόξου υποβρυχίως μεταξύ του μετάλλου που πρόκειται να κοπεί και ενός αδιάβροχου ηλεκτρόδιου από άνθρακα-γραφίτη (carbon-graphite) με επένδυση χαλκού. Η θερμότητα που παράγεται από το ηλεκτρικό τόξο λιώνει το μέταλλο και μια υψηλής ταχύτητας δέσμη νερού το απομακρύνει από την τομή.

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

Η διαδικασία αυτή περιορίζεται σε κοπές σε μέταλλα με πάχη όχι μεγαλύτερα των 19,1 mm. Για μεγαλύτερα πάχη ο δύτες θα πρέπει να κάνει περισσότερα από δύο περάσματα [2]. Παρόλα αυτά είναι ιδανική σε εφαρμογές όπως για τον απαιτούμενο καθαρισμό της επιφάνειας πριν από μια συγκόλληση επειδή δίνει καθαρές και απαλές επιφάνειες, για αφαίρεση ραφών συγκόλλησης με σφάλματα, για απομάκρυνση θαλάσσιων μικροοργανισμών και για κοπές σε κλειστούς χώρους αφού δεν χρησιμοποιεί οξυγόνο και δεν παράγει επικίνδυνα αέρια, όπως οι μέθοδοι κοπής οξυγόνου-τόξου. Μπορεί να κόψει όλα τα υλικά στα οποία μπορεί να διατηρηθεί ένα ηλεκτρικό τόξο.



Φωτογραφία 3.16: Τυπικό πιστόλι νερού-τόξου κοπής

Μια γεννήτρια σταθερού ρεύματος τάσης 60 V και έντασης από 350-500 amp είναι απαραίτητη. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες μεθόδους κοπής με ηλεκτρικό τόξο, εδώ χρησιμοποιείται ανάστροφη πολικότητα. Προτείνεται, ωστόσο, σε μέταλλα με στοιχείο κραμάτωσης το χαλκό σε ποσοστό μεγαλύτερο του 80% να χρησιμοποιείται η ορθή πολικότητα [2]. Η διαδικασία απαιτεί μια συνεχή παροχή θαλασσινού ή γλυκού νερού της τάξεως των 13,3 lt/min σε πίεση από 6.2-7.6 bar μεγαλύτερη από την υδροστατική πίεση περιβάλλοντος. Το πιστόλι κοπής είναι μικρό και ελαφρύ για να μην κουράζει το δύτε, ηλεκτρικά μονωμένο και υδατοστεγές. Τα ηλεκτρόδια είναι από 7,94-229 mm σε μήκος και η ένταση του ρεύματος που

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

χρησιμοποιείται εξαρτάται από το βάθος και το είδος της εργασίας που πρόκειται να γίνει [3].

Η ταχύτητα της κοπής εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος και την πίεση περιβάλλοντος. Μισό ηλεκτρόδιο σε ένα λεπτό θα δημιουργήσει τομή μήκους 457 mm, βάθους 9,53 mm και πλάτους 11 mm σε κοινό χάλυβα. Για μικρά πάχη ένα ηλεκτρόδιο μπορεί να αφαιρέσει 1219 mm κοινού χάλυβα [2]. Παρόμοια αποτελέσματα έχουμε και για ανοξείδωτο χάλυβα. Η τεχνική δεν είναι δύσκολη, μόνο προσοχή θέλει η σωστή γωνία του ηλεκτρόδιου ( $30^{\circ}$ - $75^{\circ}$ , ανάλογα με την εφαρμογή).

Τα πλεονεκτήματα της κοπής τόξου με δέσμη νερού είναι:

- Μπορεί να κόψει όλα τα μέταλλα.
- Είναι η λιγότερη επικίνδυνη για τον δύτη.
- Δεν απαιτεί ιδιαίτερη δεξιοτεχνία.
- Οι κοπές δεν είναι τραχείς.

Τα μειονεκτήματα της κοπής νερού-τόξου είναι:

- Μπορεί να κόψει μόνο πολύ λεπτά σε πάχος μέταλλα.
- Επηρεάζεται από το βάθος, αφού η πίεση επιδρά στο ηλεκτρικό τόξο.

### 3.7. Κοπή με χρήση σωληνοειδών ηλεκτρόδιων (flux-cored wire cutting)

[5]



Φωτογραφία 3.17: Υποβρύχια κοπή με χρήση σωληνοειδών ηλεκτρόδιων

Η τεχνολογία της κοπής με χρήση σωληνοειδών ηλεκτρόδιων κάτω από το νερό άρχισε να αναπτύσσεται το 1972 ως επέκταση της υποβρύχιας συγκόλλησης με



### 3. Υποβρύχιες Κοπές

την ίδια μέθοδο. Χρησιμοποιεί ένα αναλώσιμο σωληνοειδές καλώδιο με παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτό των υποβρύχιων συγκολλήσεων. Το καλώδιο παρέχεται από ένα στροφέιο μιας μονάδας κίνησης μέσω ενός εύκαμπτου αγωγού σε ένα πιστόλι που τροφοδοτεί με ηλεκτρική ενέργεια το καλώδιο. Το σύστημα τροφοδοτείται από μια παροχή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος. Δεν χρειάζεται η παροχή κάποιου αέριου στην κοπή, αφού ο πυρήνας των σωληνοειδών ηλεκτροδίων είναι ένα μείγμα δραστικών συστατικών τα οποία απελευθερώνουν αέρια, οξειδώνουν το μέταλλο που έχει λιώσει από τη θερμότητα του ηλεκτρικού τόξου και το απομακρύνουν. Αυτό το δραστικό τζετ πλάσματος αερίων προωθεί περαιτέρω την ανακατανομή της θερμότητας του τόξου σε όλο το πάχος του μετάλλου. Αυτή η διαδικασία κοπής χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στη Ρωσία κατά τη διάρκεια επιχειρήσεων διάσωσης και αφαίρεσης υποθαλάσσιων σωλήνων.

Μοιάζει αρκετά με την κοπή με επενδυμένα ηλεκτρόδια, αλλά έχει και κάποιες ουσιαστικές διαφορές. Καταρχήν, η διάμετρος του καλωδίου είναι 2-3 mm, ενώ το επενδυμένο ηλεκτρόδιο έχει διάμετρο 4-5 mm. Επίσης η ένταση του ρεύματος κυμαίνεται από 400-1000 amp και η τάση από 35-50 V, ενώ οι τιμές για την κοπή με επενδυμένα ηλεκτρόδια είναι μεγαλύτερες από 500 amp και 75 V αντίστοιχα. Τέλος, τα αέρια εδώ αναπτύσσονται στο κέντρο της τομής, αντιθέτως στην άλλη μέθοδο στην περιφερειακή περιοχή της τομής.

Η κοπή με χρήση σωληνοειδών ηλεκτροδίων προτιμάται από άποψη ενέργειας, αφού το μέταλλο λιώνει από ένα τόξο με υψηλές τιμές ενέργειας που μπορούν να οδηγήσουν σε θερμοκρασίες μέχρι και 12000°C. Μπορεί να κόψει διάφορα μέταλλα από κοινούς, ελαφρά κραματωμένους και υψηλά κραματωμένους χάλυβες μέχρι χυτοσίδηρο, αλουμίνιο, χαλκό, ανοξείδωτο χάλυβα και διάφορα άλλα κράματα. Η ταχύτητα κοπής σε ελαφρά κραματωμένους και κοινούς χάλυβες είναι σχεδόν η ίδια. Οι υψηλά κραματωμένοι χάλυβες μπορούν να κοπούν 10-15% ταχύτερα λόγω της υψηλότερης συγκέντρωσης της θερμικής ενέργειας του τζετ πλάσματος εξαιτίας της μικρότερης θερμικής αγωγιμότητας του μετάλλου. Εξαιτίας του μικρότερου σημείου τήξης του αλουμινίου και των κραμάτων του, η ταχύτητα κοπής τους είναι 1,5-2 φορές μεγαλύτερη από τον κοινό χάλυβα για το ίδιο πάχος, ενώ αντίστοιχα ο χαλκός κόβεται με ταχύτητα 2-3 φορές μικρότερη.

Η συχνότητα τροφοδότησης του σωληνοειδές καλωδίου είναι 0,069-0,125 m/s(250-450 m/h). Μέταλλα με πάχος από 10-20 mm είναι ιδανικά για κοπή με αυτή

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

τη μέθοδο. Σε αυτή την περίπτωση η ροή των αερίων και η ενέργεια του τόξου είναι ικανά να διεισδύσουν σε όλο το πάχος του μετάλλου. Για μεγαλύτερα πάχη χρειάζεται αναπροσαρμογή της ενέργειας και διαφορετική τεχνική στην κίνηση του πιστολιού. Παρόλα αυτά έχουν πραγματοποιηθεί κοπές με επιτυχία ακόμα και σε 80 mm πάχος μετάλλου, με την όψη της κοπής όμως να είναι ιδιαίτερα τραχιά και την ύπαρξη σκωρίας. Για πάχη μικρότερα των 5 mm η μέθοδος γίνεται αναποτελεσματική.

Η ταχύτητα κίνησης του πιστολιού είναι κρίσιμη. Πολύ αργά κινούμενο, το καλώδιο θα περάσει μέσα στην τομή και θα εξουδετερώσει το τόξο. Πολύ γρήγορα κινούμενο, τα αέρια δεν θα προλάβουν να απομακρύνουν το λιωμένο μέταλλο. Σύμφωνα με πειράματα, η ιδανική ταχύτητα είναι 0.22 m/min για 25 mm πάχος και 0.08 m/min για 50 mm πάχος. Η θέση της κοπής επηρεάζει επίσης την ταχύτητα της κοπής. Η ιδανική είναι η κατακόρυφη θέση, ενώ στις οροφιαίες κοπές η ταχύτητα είναι 15-20% μικρότερη λόγω των δυνάμεων βαρύτητας που επηρεάζουν την κινητικότητα του λιωμένου μετάλλου και σπρώχνουν τα υγρά οξείδια προς το τζετ αερίων. Μια παρόμοια μείωση (10-20% σε σύγκριση με το γλυκό νερό) παρατηρείται και στις κοπές σε θαλασσινό νερό.

Το βάθος έχει σημαντική επίδραση στις ηλεκτρικές παραμέτρους της μεθόδου. Είναι διαπιστωμένο ότι αύξηση της υδροστατικής πίεσης της τάξεως από 0.96-6 bar επηρεάζει αρνητικά τη σταθερότητα του τόξου και μειώνει την αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Μείωση της στήλης του τόξου κατά 10-15% έχουμε κάθε 10 m βάθος και η ταχύτητα της κοπής μειώνεται επίσης με την αύξηση της πίεσης. Για τη διατήρηση της αποδοτικότητας της μεθόδου, με αύξηση του βάθους πρέπει να αυξάνουμε τόσο την ένταση, όσο και την τάση του ρεύματος. Για τις βέλτιστες τιμές της έντασης του ρεύματος και της συχνότητας τροφοδότησης του σωληνοειδούς καλωδίου, η αποτελεσματικότητα της μεθόδου αυξάνεται με αύξηση της τάσης 10-20% από τη μικρότερη τιμή της, ενώ με 10-15% αύξηση πάνω από τη μέγιστη τιμή της, μειώνεται η αποτελεσματικότητά της. Για μια ένταση ρεύματος 430-480 amp και διάμετρο καλωδίου 2 mm η ταχύτητα της κοπής επηρεάζεται ελάχιστα με το βάθος, ενώ η κατανάλωση του καλωδίου αυξάνεται κατά 30-40%. Για ακόμα μεγαλύτερα βάθη είναι απαραίτητα αύξηση της τάσης από 0,8-1,2 V κάθε 10 m βάθος. Αύξηση της αποδοτικότητας της μεθόδου, ακόμα και σε πάχη μετάλλων 50 mm, έχουμε με χρήση καλωδίου διαμέτρου 3 mm με ένταση ρεύματος 800-1000 amp

### 3. Υποβρύχιες Κοπές

και τάση 50 V. Αυτός ο συνδυασμός όμως δεν έχει βρει ιδιαίτερη εφαρμογή υποβρυχίως λόγω της επικινδυνότητας από τη χρήση τόσων υψηλών εντάσεων και στην κούραση του δύτη για να χειριστεί αυτό το πιστόλι. Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή και στη μεγάλη πτώση τάσης (ακόμα και 40%) λόγω των ομικών απωλειών από το μήκος των καλωδίων για μεγάλα βάθη που μπορούν να οδηγήσουν και σε απαραίτητη αύξηση μέχρι και 20 V της τάσης του ρεύματος. Πειράματα που έχουν γίνει σε θάλαμο υψηλής πίεσης έχουν δείξει ότι η μέθοδος μπορεί να υποστηρίξει κοπές ακόμα και σε 600 m βάθος.

Η τεχνική της μεθόδου μαθαίνεται εύκολα και το μόνο διαφορετικό είναι ότι θα πρέπει να περιμένουμε στην αρχή να σχηματιστεί η κοιλότητα της τομής σε όλο το πάχος του μετάλλου και μετά να συνεχίσουμε. Ανάλογα με το πάχος, αυτό ίσως χρειάζεται 5-30 sec. Η άκρη του καλωδίου θα πρέπει να απέχει από 10-30 mm από το μέταλλο. Μεγαλύτερη απόσταση θα οδηγήσει σε υπερθέρμανση του καλωδίου και μικρότερη μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική εκτόξευση υλικού. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι μπορεί να αυτοματοποιηθεί και έτσι να πραγματοποιήσει κοπές σε ακόμα μεγαλύτερα βάθη. Έρευνα γίνεται για μείωση του βάρους του απαραίτητου εξοπλισμού για αυτοματοποίηση της μεθόδου και για αύξηση της αποδοτικότητάς της.

Τα πλεονεκτήματα της κοπής με χρήση σωληνοειδών ηλεκτρόδιων είναι:

- Μπορεί να κόψει όλα τα μέταλλα.
- Μπορεί να κόψει μέχρι και 80 mm πάχη.
- Μπορεί να αυτοματοποιηθεί,
- Μαθαίνεται εύκολα η τεχνική της.

Τα μειονεκτήματα της κοπής με χρήση σωληνοειδών ηλεκτρόδιων είναι:

- Δεν είναι αποτελεσματική σε κοπές σε πάχη κάτω των 5 mm.
- Δεν προσφέρει καλής ποιότητας κοπές.
- Δεν είναι ιδιαίτερα γρήγορη μέθοδος.
- Ο απαιτούμενος εξοπλισμός είναι αρκετά μεγάλος.

## 4. Προβλήματα Υγείας και Κίνδυνοι

### 4.1. Εισαγωγή



*Φωτογραφία 4.1: Δύτης/συγκολλητής*

Οι υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές είναι ένα από τα πιο επικίνδυνα επαγγέλματα σε όλο τον κόσμο, αφού οι κίνδυνοι που καλείται να αντιμετωπίσει ο δύτης είναι ένας συνδυασμός των κινδύνων από τις εργασίες συγκόλλησης και κοπής, συν όλα τα ρίσκα που περικλείουν οι επαγγελματικές καταδύσεις. Το περιβάλλον αποτελεί από μόνο του μια ξεχωριστή πηγή κινδύνων και πολλές φορές ο δύτης θα συναντήσει ασυνήθιστες καταστάσεις, όπως χαμηλή ορατότητα, ισχυρά θαλάσσια ρεύματα, χαμηλές θερμοκρασίες ή ύπαρξη θαλάσσιων ζώων. Το ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στο νερό και η παρουσία των εκρηκτικών αερίων οξυγόνου και υδρογόνου αποτελούν μια ξεχωριστή και μοναδική σειρά κινδύνων για τις υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές.

Από την άλλη πλευρά, πλήθος ερευνών έχουν πραγματοποιηθεί για τα προβλήματα υγείας των επαγγελματικών καταδύσεων. Υποξία, υπερκαπνία και νόσος εξ' αποσυμπίεσης, γνωστή και ως νόσος των δυτών, είναι μόνο μερικές από τις άμεσες δυσλειτουργίες που προκαλούν οι καταδύσεις σε μεγάλες πιέσεις και για αρκετή ώρα, όπως ο χρόνος που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί μια υποβρύχια συγκόλληση ή κοπή. Πέρα αυτών, μια σειρά προβλημάτων φαίνεται ότι πλήττει ξεχωριστά τους δύτες/συγκολλητές όπως δείχνει μια σχετική έρευνα.

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

Είναι σχεδόν αδύνατον να υπολογίσει κανείς όλες τις πιθανές επικίνδυνες καταστάσεις που μπορούν να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια μιας υποβρύχιας εργασίας. Ο δύτης θα πρέπει να γνωρίζει ότι βρίσκεται συνεχώς σε κίνδυνο, ακόμα και όταν τηρεί όλους τους προβλεπόμενους κανόνες ασφαλείας. Με σωστή γνώση της φυσιολογίας των καταδύσεων και των κινδύνων των υποβρυχίων συγκολλήσεων και κοπών, σε συνδυασμό με την κοινή αίσθηση και λογική μπορεί να περιορίσει αυτούς τους κινδύνους στο ελάχιστο. Για αυτό το λόγο όλοι οι επαγγελματίες δύτες προετοιμάζονται για την καριέρα τους εκπαιδευόμενοι σε ειδικές σχολές επαγγελματικής κατάδυσης, που προσφέρουν μαθήματα εξοικείωσης των δυτών με τις καταστάσεις που πρόκειται να αντιμετωπίσουν. Λαμβάνοντας όλα αυτά υπόψη, δεν είναι τυχαίο που οι έμπειροι δύτες/συγκολλητές αμείβονται με περίπου 100.000 \$ το χρόνο στις ΗΠΑ.

### **4.2. Προβλήματα υγείας από τις καταδύσεις**

[32, 42, 60, 61, 62]

#### **4.2.1. Εισαγωγή**

Για αποκτήσει κανείς μια βασική κατανόηση της καταδυτικής φυσιολογίας χρειάζεται να γνωρίζει ορισμένα βασικά πράγματα για το κυκλοφορικό και αναπνευστικό σύστημα. Το κυκλοφορικό και το αναπνευστικό είναι δύο αλληλένδετα συστήματα που συνεργάζονται και προσφέρουν στο σώμα μας τον αέρα που χρειάζεται, όπως και τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία. Είναι μάλιστα τα δύο κύρια συστήματα που αντιδρούν στις συνθήκες του υποβρύχιου περιβάλλοντος.

Το κυκλοφορικό σύστημα μεταφέρει οξυγόνο από το αναπνευστικό σύστημα και θρεπτικά στοιχεία από το πεπτικό σύστημα στους ιστούς του σώματος, ενώ παράλληλα βοηθά τον οργανισμό να αποβάλλει το διοξείδιο του άνθρακα και τα άχρηστα στοιχεία. Αν και όλες οι παραπάνω λειτουργίες είναι ουσιαστικές για τη συντήρηση του οργανισμού, εκείνη που παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι η ανταλλαγή αερίων μέσω του αναπνευστικού συστήματος.

Όλα τα ζωντανά κύτταρα του ανθρώπινου σώματος χρησιμοποιούν οξυγόνο για να μεταβολίσουν τα θρεπτικά στοιχεία που συμμετέχουν στη συντήρηση του οργανισμού στη ζωή. Εντούτοις, ορισμένοι ιστοί μπορούν να επιβιώσουν χωρίς οξυγόνο ακόμη και για αρκετές ώρες. Κάποιοι άλλοι, όμως, πεθαίνουν πολύ σύντομα.

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

Ιδιαίτερα ο εγκέφαλος και το νευρικό σύστημα απαιτούν υψηλή και διαρκή παροχή οξυγόνου. Μόνον οι νευρικοί ιστοί καταναλώνουν περίπου το 1/5 του οξυγόνου που μεταφέρει το κυκλοφορικό σύστημα μέσω του αίματος.

Προκειμένου τώρα να μεταφέρει το οξυγόνο το αίμα διαθέτει μια πρωτεΐνη στα ερυθρά αιμοσφαίρια που ονομάζεται αιμοσφαιρίνη. Εκείνο που πρέπει να προσέξει κανείς εδώ είναι το γεγονός ότι η αιμοσφαιρίνη δεσμεύει το μονοξειδίο του άνθρακα περίπου 200 φορές περισσότερο από ότι το οξυγόνο και χρειάζεται περίπου 8-12 ώρες για να το αποβάλλει. Τώρα, το αναπνευστικό σύστημα λειτουργεί σε συνδυασμό με το κυκλοφορικό, προκειμένου να δημιουργήσει στην αιμοσφαιρίνη το κατάλληλο περιβάλλον, έτσι ώστε να γίνει η ανταλλαγή των αερίων.

Η αναπνοή ξεκινά όταν το σώμα μας ανιχνεύει αύξηση του διοξειδίου του άνθρακος και μείωση του οξυγόνου στο αίμα. Τότε συγκεκριμένα κέντρα στον εγκέφαλο παρέχουν ανακλαστικά την εντολή για αναπνοή. Είναι, λοιπόν, η παρουσία και το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακος στο αίμα που ελέγχει την αναπνοή και όχι το οξυγόνο. Μόλις δοθεί η εντολή, ενεργοποιείται το διάφραγμα, ένας μεγάλος μυς, ο οποίος αλλάζει τον όγκο των πνευμόνων και προκαλείται εισροή αέρα. Ο αέρας περνά από την ρινική ή και τη στοματική κοιλότητα μέσω της επιγλωττίδας στον λάρυγγα, στην τραχεία, στους βρόγχους και στους πνεύμονες, οι οποίοι μοιάζουν μάλλον με σπόγγους παρά με μπαλόνια, όπως τους φανταζόμαστε συνήθως. Μέσα στους πνεύμονες οι βρόγχοι διακλαδώνονται σε μικρότερους αεραγωγούς που ονομάζονται βρογχίολοι. Οι βρογχίολοι καταλήγουν στις κυψελίδες, μικρούς αεροθαλάμους που περιβάλλονται από πνευμονικά αρτηρίδια. Εκεί γίνεται η ανταλλαγή των αερίων μέσω του αίματος. Όσον αφορά τώρα στη διαδικασία της ανταλλαγής, το αναπνευστικό και το κυκλοφορικό σύστημα καταναλώνουν μόνο το 10% του οξυγόνου που εισπνέεται κατά την αναπνοή. Τούτο εξηγεί γιατί λειτουργεί η αναπνευστική αναζωογόνηση στόμα με στόμα. Ο αέρας που εκπνέουμε περιέχει ακόμη το 90% του οξυγόνου που εισπνέσαμε, επαρκές δηλαδή για τη διαδικασία της ανάνηψης.

Είναι προφανές, από όσα προαναφέρθηκαν, πως η οποιαδήποτε διαταραχή - πέραν των επιτρεπτών ορίων- της διαδικασίας της αναπνοής είναι επιβλαβής για τον οργανισμό και τη διατήρηση της ζωής. Επίσης, είναι εύκολο να συμβεί αυτή η διαταραχή κατά την καταδυτική δραστηριότητα, αν δεν τηρούνται σχολαστικά οι κανόνες της αργής και βαθιάς αναπνοής, του ελέγχου του αέρα, της καλής

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

συντήρησης της φιάλης και της περιοδικής ιατρικής παρακολούθησης, ιδιαίτερα για όσους ζουν στο μολυσμένο περιβάλλον της πόλης. Αν δεν τηρούνται οι παραπάνω κανόνες, είναι δυνατόν να προκύψουν επί μέρους προβλήματα, σε ότι αφορά τη φυσιολογία της αναπνοής όπως θα αναφερθούν παρακάτω.

##### 4.2.2. Υποξία

Υποξία είναι η αφύσικη ανεπάρκεια οξυγόνου από το αρτηριακό αίμα. Εκτεταμένη υποξία θα εμποδίσει την ομαλή λειτουργία των κυττάρων και τελικά θα τα σκοτώσει. Ο εγκέφαλος είναι το πιο τρωτό όργανο στο σώμα μας σε αυτή την παθολογική κατάσταση.

Η μερική πίεση του οξυγόνου ( $ppO_2$ ) καθορίζει αν η ποσότητα του οξυγόνου στην αναπνοή είναι επαρκής. Ο αέρας περιέχει περίπου 21% οξυγόνο και παρέχει στην επιφάνεια μια  $ppO_2$  της τάξεως των 0,21 ata (atmosphere absolute – η «απόλυτη» πίεση προκαλείται τόσο από το νερό, όσο και από τον αέρα πάνω από το νερό). Μια πτώση της  $ppO_2$  κάτω από 0,16 ata προκαλεί την έναρξη των συμπτωμάτων της υποξίας. Οι περισσότεροι πέφτουν σε κώμα σε  $ppO_2$  0,11 ata. Κάτω από αυτό το όριο, η ζημιά στον εγκέφαλο είναι μόνιμη και τελικά μπορεί να επέλθει θάνατος. Στις καταδύσεις, ένα χαμηλό ποσοστό σε οξυγόνο μπορεί να είναι αρκετό αρκεί να διατηρείται μια επαρκής  $ppO_2$ . Για παράδειγμα, 5% οξυγόνο δίνει  $ppO_2$  ίση με 0,20 ata στα 30,5 msw (meters of sea water). Κατά την ανάδυση, ωστόσο, ο δύτης θα πάθει υποξία αν το ποσοστό του οξυγόνου δεν αυξηθεί.

Η κύρια αιτία για την εμφάνιση υποξικών συμπτωμάτων είναι η μείωση των επιπέδων οξυγόνου σε απειλητικό βαθμό για την ομαλή λειτουργία του νευρικού συστήματος (εγκέφαλος, νωτιαίος μυελός). Το σώμα με ειδικά αισθητήρια όργανα που εντοπίζονται στις καρωτιδικές αρτηρίες και τον προμήκη μυελό ελέγχει άμεσα και έμμεσα κάθε στιγμή τη συγκέντρωση οξυγόνου στο αίμα και αντιδρά αναλόγως. Μία από τις πρώτες προσαρμογές που πραγματοποιούνται όταν τα επίπεδα οξυγόνου αρχίζουν να μειώνονται είναι η διαστολή των αγγείων που αιματώνουν τον εγκέφαλο και η συστολή των αγγείων που αιματώνουν την περιφέρεια (άνω και κάτω άκρα). Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μια ανακατανομή του αίματος με τελικό αποτέλεσμα την αύξηση της αιματικής ροής στον οξυγονοεξαρτώμενο εγκέφαλο και τη μείωση της αιματικής ροής στο μυϊκό ιστό, ο οποίος μπορεί να διατηρηθεί στη ζωή

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

χωρίς οξυγόνο για τουλάχιστον 2 ώρες. Η συνέχιση της άπνοιας θα οδηγήσει σε επιπλέον μείωση του διαθέσιμου οξυγόνου αλλά και την περαιτέρω αύξηση των επιπέδων CO<sub>2</sub> που αποτελεί παραπροϊόν της καύσης του O<sub>2</sub>. Τα περιθώρια αντίδρασης του σώματος σε μια τέτοια κατάσταση είναι μειωμένα. Το συσσωρευμένο CO<sub>2</sub> επιδεινώνει την απώλεια οξυγόνου λόγω της δράσης του στην κυριότερη αποθήκη O<sub>2</sub>, την αιμοσφαιρίνη. Όταν τα επίπεδα O<sub>2</sub> στο αίμα φτάσουν μία ελάχιστη τιμή η οποία φαίνεται να διαφοροποιείται από δύτη σε δύτη, η εμφάνιση υποξικών συμπτωμάτων είναι αναπόφευκτη. Ένα υποξικό περιστατικό αποτελεί την έσχατη προσαρμογή του ανθρώπινου σώματος στα χαμηλά επίπεδα O<sub>2</sub>. Με αυτή την τελευταία προσαρμογή το σώμα προσπαθεί να διαφυλάξει τα τελευταία αποθέματα O<sub>2</sub> για τη διατήρηση του εγκεφάλου στη ζωή. Το νευρικό σύστημα μπορεί να υποστεί μόνιμες βλάβες αν δεν οξυγονωθεί επαρκώς για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 10΄.

Τα είδη της υποξίας είναι:

- **Υποξική υποξία**, είναι μια γενικευμένη υποξία, μια ανεπάρκεια οξυγόνωσης ολόκληρου του οργανισμού. Ο όρος υποξική υποξία αναφέρεται στο γεγονός ότι η υποξία επέρχεται ως συνέπεια της χαμηλής μερικής πίεσης του οξυγόνου στο αρτηριακό αίμα, σε αντίθεση με τις άλλες μορφές που ακολουθούν στις οποίες η μερική πίεση είναι φυσιολογική.
- **Αναιμική υποξία**, σε αυτή την κατάσταση η μερική πίεση του οξυγόνου είναι φυσιολογική, αλλά η περιεκτικότητα του αίματος σε οξυγόνο είναι μειωμένη.
- **Υπαιμική υποξία**, όπου το αίμα δεν μπορεί να παραδώσει το οξυγόνο στους ιστούς. Αίτια για αυτή την κατάσταση είναι είτε η δηλητηρίαση με μονοξείδιο του άνθρακα, η οποία εμποδίζει την αιμοσφαιρίνη να απελευθερώσει το οξυγόνο που έχει δεσμεύσει, είτε η μεθαιμοσφαιριναιμία, μία ανώμαλη μορφή της αιμοσφαιρίνης που δεσμεύει το οξυγόνο.
- **Ιστοτοξική υποξία**, όπου το οξυγόνο φτάνει κανονικά στους ιστούς αλλά τα κύτταρα δεν κατορθώνουν να το χρησιμοποιήσουν αποτελεσματικά λόγω απενεργοποίησης των ενζύμων οξειδωτικής φωσφορλίωσης.



#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

- **Ισχαιμική ή λιμνάζουσα υποξία**, όπου υπάρχει τοπικός περιορισμός της ροής του επαρκώς οξυγονωμένου αίματος. Εν συνεχεία το ποσό του οξυγόνου που φτάνει στην περιοχή είναι ανεπαρκές. Παραδείγματα είναι η εγκεφαλική ισχαιμία, η καρδιακή ισχαιμία και η ενδομήτριος υποξία που αποτελεί σίγουρη αιτία περιγεννητικού θανάτου.

Οι αιτίες που προκαλούν υποξία ποικίλλουν. Στους δύτες μπορεί να προκληθεί από χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου όταν εισπνέουν μείγματα αερίων, από φραγμό στη παροχή της αναπνευστικής συσκευής, από τραυματισμό του πνεύμονα εξαιτίας πνευμοθώρακα, από παράλυση των μυών αναπνοής κατά το τραυματισμό της σπονδυλικής στήλης, από παρακάμψεις στη πνευμονική κυκλοφορία ή οπή στο μεσοκοιλιακό διάφραγμα που επιτρέπει την μετακίνηση αίματος μεταξύ των κοιλιών, από πνευμονικό οίδημα ή από παρατεταμένο κράτημα της αναπνοής.

Τα συμπτώματα της υποξίας είναι:

- Αίσθημα κόπωσης και υπνηλίας
- Διαταραχή της κρίσης
- Απώλεια συγκέντρωσης
- Απώλεια μυϊκού ελέγχου
- Πονοκέφαλοι
- Ναυτία
- Έλλειψη συγχρονισμού των άκρων και ανικανότητα να πραγματοποιήσει εργασίες που απαιτούν δεξιοτεχνία
- Αίσθημα ταραχής
- Αίσθημα ευφορίας
- Λιποθυμία

Όπως έχει αναφερθεί, ο εγκεφαλικός ιστός είναι ο πιο ευαίσθητος στην υποξία. Λιποθυμία και θάνατος μπορούν να συμβούν ακόμα και πριν φτάσει η επιρροή της ανεπαρκούς οξυγόνωσης σε άλλους ιστούς. Δεν υπάρχει κάποια αξιόπιστη ένδειξη για την έναρξη της υποξίας. Ο δύτης ο οποίος χάνει την παροχή του οξυγόνου είναι σε άμεσο κίνδυνο για υποξία, αλλά αυτός το συνειδητοποιεί αμέσως και έχει χρόνο να αντιδράσει. Είναι πολύ πιο τυχερός από ένα δύτη σε κλειστό κύκλωμα αναπνοής που σταδιακά του μειώνεται το οξυγόνο και δεν έχει

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

κανένα σημάδι της επερχόμενης λιποθυμίας. Όταν η υποξία εμφανίζεται, οι σφυγμοί και η αρτηριακή πίεση αυξάνονται, καθώς το σώμα προσπαθεί αν εξισορροπήσει την έλλειψη οξυγόνου κυκλοφορώντας περισσότερο αίμα. Ένα μικρό λαχάνιασμα ίσως συμβεί επίσης. Μια γενική κυάνωση των χειλιών, των νυχιών και του δέρματος παρατηρείται με την υποξία, αλλά αυτό δεν είναι αξιόπιστο σημάδι γιατί τα ίδια συμπτώματα έχει και η παρατεταμένη έκθεση σε κρύο νερό. Πολύ λίγοι άνθρωποι μπορούν να καταλάβουν την υποξία σε χρόνο που να μπορούν να αντιδράσουν κιόλας.

Εξαιτίας της δόλιας φύσης της και της πιθανότητας θανάτου είναι κρίσιμη η πρόληψή της. Σε ανοιχτού κυκλώματος σκάφανδρα είναι σχεδόν απίθανο να συμβεί, εκτός και αν το ποσοστό του οξυγόνου είναι πολύ χαμηλό. Σε καταδύσεις με μείγματα αερίων θα πρέπει να παρακολουθούνται συνεχώς οι ενδείξεις στα όργανα παροχής οξυγόνου. Αν ένας δύτης πάθει υποξία θα πρέπει να σωθεί άμεσα. Αν δεν έχει σταματήσει η αναπνοή του, συνέρχεται γρήγορα με παροχή 100% οξυγόνου. Αν δεν αναπνέει, πρέπει να ξεκινήσουμε αμέσως ΚΑΡΠΑ (Καρδιοαναπνευστική Αναζωογόνηση) και να μεταφερθεί στο πλησιέστερο νοσοκομείο.

#### 4.2.3. Υπερκαπνία

Υπερκαπνία είναι τα αφύσικα υψηλά επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα στο αίμα και στους ιστούς. Στις καταδύσεις είναι αποτέλεσμα της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στην αναπνευστική συσκευή ή ανεπαρκούς όγκου αναπνοής. Ο αέρας που αναπνέεται υπό πίεση ενδέχεται να είναι μολυσμένος είτε εξαιτίας κακής λειτουργίας του αεροσυμπιεστή, είτε εξαιτίας εισροής δηλητηριωδών αερίων -αν γεμίζει κοντά σε εξατμίσεις-, είτε εξαιτίας κακής συντήρησης της φιάλης. Γενικά ο μολυσμένος αέρας μυρίζει άσχημα, μπορεί όμως να είναι και άγευστος και άοσμος, π.χ. μόλυνση μονοξειδίου του άνθρακος (CO).

Εκτεταμένη αντίσταση στην αναπνοή είναι σημαντική αιτία υπερκαπνίας και μπορεί να προκληθεί είτε από αντίσταση στη ροή του αερίου είτε από στατικούς πνεύμονες. Αντίσταση στη ροή του αερίου συμβαίνει στη ροή του αερίου μέσα από τους σωλήνες και τα ακροφύσια στον καταδυτικό εξοπλισμό και μέσα από τις διόδους αέρα του δύτη. Καθώς η πυκνότητα του αερίου αυξάνεται, μια μεγαλύτερη πίεση θα πρέπει να ασκηθεί για να διατηρήσει τη ροή στα ίδια επίπεδα. Ο δύτης πρέπει να

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

ασκήσει μεγαλύτερη αρνητική πίεση για να εισπνεύσει και μεγαλύτερη θετική πίεση για να εκπνεύσει. Με αύξηση της εργασίας, αυξάνεται η αναπνοή και η απαραίτητη πίεση. Οι μύες της αναπνοής μπορούν να ασκήσουν προσπάθεια για εισπνοή και εκπνοή μέχρι ένα όριο. Πέρα από αυτό το σημείο, το μεταβολικά παραγόμενο CO<sub>2</sub> δεν αποβάλλεται επαρκώς και αυξάνεται η παρουσία του στο αίμα και στους ιστούς, προκαλώντας υπερκαπνία. Τα συμπτώματα της υπερκαπνίας γίνονται εμφανή σε υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές σε βάθη 37 msw αν το αέριο είναι ατμοσφαιρικός αέρας ή σε βάθη 259 msw αν το αέριο είναι μείγμα ηλίου-οξυγόνου. Σε βάθη από 480-610 msw τα συμπτώματα της υπερκαπνίας μπορούν να εμφανιστούν ακόμα και με τον δύτε σε ηρεμία. Οι στατικοί πνεύμονες είναι αποτέλεσμα της διαφοράς της πίεσης που παρέχεται το αέριο σε σχέση με την υδροστατική. Για παράδειγμα, όταν ο δύτες κολυμπάει οριζόντια, το διάφραγμα βρίσκεται χαμηλότερα από το στόμα, δηλαδή από το αέριο που παρέχεται. Κατά την κατάδυση, το διάφραγμα βρίσκεται ρηχότερα από το στόμα με αποτέλεσμα η εισπνοή να είναι δυσκολότερη, ενώ η εκπνοή ευκολότερη επειδή το διάφραγμα βρίσκεται σε ελαφρά μικρότερη πίεση. Το φαινόμενο αυτό συμβάλλει στην πρόκληση υπερκαπνίας. Εκτεταμένη αντίσταση στην αναπνοή μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του ρυθμού αναπνοής και δύσπνοια, χωρίς καμία αύξηση στα επίπεδα του CO<sub>2</sub>.

Η υπερκαπνία επιδρά στον εγκέφαλο διαφορετικά από την υποξία, αλλά έχει και παρόμοια συμπτώματα. Στα συμπτώματα της υπερκαπνίας περιλαμβάνονται:

- Αύξηση του ρυθμού αναπνοής (λαχάνιασμα)
- Δύσπνοια
- Σύγχυση ή αίσθημα ευφορίας
- Ανικανότητα συγκέντρωσης
- Αυξημένη εφίδρωση
- Υπνηλία
- Πονοκέφαλοι
- Λιποθυμία
- Σπασμοί

Τα αυξημένα επίπεδα του CO<sub>2</sub> στο αίμα διεγείρουν το αναπνευστικό κέντρο στο να αυξήσει το ρυθμό της αναπνοής και τον όγκο. Συχνά επίσης παρατηρείται ταχυκαρδία. Τα συμπτώματα αυτά κάτω από το νερό δεν παρατηρούνται εύκολα εξαιτίας παραγόντων, όπως η θερμοκρασία του νερού, ο ρυθμός εργασίας, αυξημένη

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

αντίσταση στην αναπνοή και αυξημένη  $p\text{rO}_2$ . Για αυτό το λόγο, ο δύτης θα πρέπει να βρίσκεται σε συνεχή εγρήγορση και αν παρατηρήσει τυχόν αλλαγές στην αναπνοή του, όπως λαχάνιασμα ή δύσπνοια, να τα θεωρήσει ενδείξεις για πιθανή υπερκαπνία. Ακόμη πιο δύσκολη είναι η παρατήρηση των συμπτωμάτων σε έκθεση σε κρύο νερό, αφού και αυτή προκαλεί παρόμοιες αντιδράσεις στο καρδιοπνευμονικό σύστημα.

Τραυματισμός από υπερκαπνία είναι συνήθως δευτερεύον αποτέλεσμα και ακολουθεί τη λιποθυμία. Ο δύτης που χάνει τις αισθήσεις του εξαιτίας του  $\text{CO}_2$ , και αν δεν καταπιεί νερό, συνέρχεται αμέσως όταν του δοθεί φρέσκος αέρας και μέσα σε 15 min αισθάνεται πάλι φυσιολογικά. Σπάνια υπάρχουν παρενέργειες μετά και αυτές περιορίζονται σε πονοκεφάλους, ναυτία και ζαλάδα. Μόνιμη βλάβη στον εγκέφαλο και θάνατος είναι λιγότερο πιθανά σε σχέση με την υποξία.

Τα αυξημένα επίπεδα  $\text{CO}_2$  διαστέλλουν τις αρτηρίες στον εγκέφαλο και αυτό μερικώς εξηγεί τους πονοκεφάλους. Πιθανολογείται, επίσης, ότι αυξάνει τις πιθανότητες για νόσο εξ' αποσυμπίεσης, αλλά οι λόγοι δεν είναι ακόμα σαφείς. Τα αποτελέσματα από τη νάρκωση του αζώτου και την υπερκαπνία είναι προσθετικά. Δύτης υπό την επίρεια της νάρκωσης του αζώτου, δεν θα παρατηρήσει τα σημάδια της υπερκαπνίας. Αντίστοιχα, η υπερκαπνία ενισχύει τα συμπτώματα της νάρκωσης του αζώτου.

Είναι σημαντική η πρόληψη της υπερκαπνίας. Σε παροχή αερίου από την επιφάνεια, θα πρέπει να διασφαλίζεται ότι το αέριο δεν περιέχει  $\text{CO}_2$  για οποιονδήποτε λόγο. Είναι σημαντικός ο σωστός εξαερισμός του κράνους του δύτη. Για εργασίες σε βάθη μεγαλύτερα των 45 msw προτείνεται η χρήση μείγματος ηλίου-οξυγόνου. Επειδή και η υπερκαπνία και η υποξία προκαλούν λιποθυμία, είναι σημαντικό ο δύτης που έχει χάσει τις αισθήσεις του να φροντίζεται πρώτα για τυχόν υποξία. Η υπερκαπνία δε μπορεί να προκαλέσει μόνιμη βλάβη στον εγκέφαλο, ενώ αντίθετα η υποξία μπορεί.

“Overbreathing the rig” είναι ένας ειδικός όρος που χρησιμοποιούν οι δύτες για επεισόδιο άμεσης υπερκαπνίας. Αυτή συμβαίνει όταν ο δύτης αρχίσει να δουλεύει σε ρυθμούς που ο αναπνευστικός του εξοπλισμός δε μπορεί να ανταπεξέρθει. Εργασίες όπως οι υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές είναι σωματικά απαιτητικές και μπορούν να οδηγήσουν σε αύξηση της κατανάλωσης του οξυγόνου και της παραγωγής του  $\text{CO}_2$  για λίγα λεπτά. Η αναπνευστική του συσκευή μπορεί να μη μπορεί να αποδώσει την απαραίτητη ανταλλαγή αερίων, με αποτέλεσμα την άμεση

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

υπερκαπνία και τη δυσφορία στην αναπνοή. Ακόμα και αν ο δύτης σταματήσει την εργασία για να κατεβάσει τα επίπεδα του CO<sub>2</sub>, η δύσπνοια μπορεί να συνεχιστεί ή ακόμα και να αυξηθεί. Όταν αυτό συμβεί, ο άπειρος δύτης μπορεί να πανικοβληθεί και να αρχίσει να υπεραερίζεται (βαθιές ανάσες). Αυτό επιδεινώνει κι άλλο τη δυσφορία στην αναπνοή και αν καταπιεί ακόμα και μια μικρή ποσότητα νερού, αυτό θα οδηγήσει σε σπασμό του λάρυγγα, σε ασφυξία και πιθανό πνιγμό. Για αυτό είναι πολύ σημαντικό να επιλέγεται ο σωστός καταδυτικός εξοπλισμός για την κάθε εργασία.

#### 4.2.4. Ασφυξία και πνιγμός

Ασφυξία είναι μια κατάσταση που η αναπνοή σταματάει και συμβαίνουν ταυτόχρονα υποξία και υπερκαπνία. Η ασφυξία θα συμβεί όταν δεν υπάρχει αέριο για αναπνοή, όταν η διόδος του αέρα έχει φραχτεί, όταν οι μύες της αναπνοής έχουν παραλύσει ή όταν το αναπνευστικό κέντρο δε μπορεί να δώσει σήμα για να γίνει η αναπνοή. Το να μην υπάρχει αέριο για αναπνοή είναι συχνή αιτία ασφυξίας στις καταδύσεις με σκάφανδρο. Απώλεια της παροχής του αερίου μπορεί να γίνει λόγω βλάβης του καταδυτικού εξοπλισμού ή όταν ο δύτης υποστεί υποξία, υπερκαπνία ή δηλητηρίαση οξυγόνου, λιποθυμήσει και χάσει το επιστόμιο της αναπνευστικής του συσκευής. Φραγή της διόδου του αέρα μπορεί να γίνει από τραυματισμό, από το λεγόμενο «γύρισμα της γλώσσας» ή από εισπνοή νερού, σάλιου, εμετού ή ξένου σώματος. Παράλυση των μυών της αναπνοής μπορεί να γίνει με τραυματισμό της σπονδυλικής στήλης ή εξαιτίας της νόσου εξ' αποσυμπίεσης. Το αναπνευστικό κέντρο στον εγκέφαλο μπορεί να σταματήσει να λειτουργεί κατά τη διάρκεια παρατεταμένου επεισοδίου υποξίας.

Ο πνιγμός είναι το άμεσο επακόλουθο της ασφυξίας. Ένας δύτης μπορεί να πέσει θύμα πνιγμού εξαιτίας υπερβολικής άσκησης, πανικού, ανικανότητας να αντέξει τα ισχυρά ρεύματα, εξάντλησης ή λόγω του κρύου νερού και της υποθερμίας. Τα συμπτώματα του πνιγμού είναι λιποθυμία και πνευμονικό οίδημα. Ο δύτης που έχει υποστεί πνιγμό πρέπει να φροντίζεται άμεσα. Πρέπει να διασφαλιστεί ότι όλοι οι δίοδοι του αέρα είναι ανοιχτοί και στη συνέχεια να του δοθεί 100% οξυγόνο με μάσκα, ακόμα και όταν βρίσκεται μέσα στο νερό. Πρέπει να ζητηθεί βοήθεια από εκπαιδευμένο προσωπικό και να μεταφερθεί στο πλησιέστερο νοσοκομείο. Θύματα

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

παρολίγου πνιγμού που δεν έχουν νευρολογικά συμπτώματα πρέπει να παρακολουθούνται από ιατρό τουλάχιστον για 48 ώρες μήπως και εμφανίσουν πνευμονία. Οι σωστά εκπαιδευμένοι δύτες με τον σωστό καταδυτικό εξοπλισμό είναι σπάνιο να πέσουν θύματα πνιγμού. Παρόλα αυτά η υπερβολική τους αυτοπεποίθηση πολλές φορές τους οδηγεί να κάνουν λάθη που οδηγούν σε επικίνδυνες καταστάσεις.

##### 4.2.5. Ακούσιος υπεραερισμός και υποκαπνία

Υπεραερισμός είναι το να αναπνέει κάποιος περισσότερο από ότι χρειάζεται για να διατηρήσει τα επιθυμητά επίπεδα του CO<sub>2</sub> στο αίμα. Ο υπεραερισμός μπορεί να είναι εκούσιος, για παράδειγμα όταν θέλουμε να αυξήσουμε το χρόνο που κρατάμε την αναπνοή μας, ή ακούσιος. Στον ακούσιο υπεραερισμό, ο δύτες είτε δεν έχει καταλάβει ότι αναπνέει υπερβολικά, είτε δε μπορεί να ελέγξει την αναπνοή του.

Ο ακούσιος υπεραερισμός μπορεί να προκληθεί από το φόβο που βιώνεται κατά τη διάρκεια αγχωτικών καταστάσεων. Μπορεί, επίσης, να αρχίσει από τη μικρή «αίσθηση πνιξίματος» που συνοδεύει μια αύξηση στο νεκρό διάστημα εξοπλισμού, μια αύξηση στη στατική φόρτωση πνευμόνων ή μια αύξηση στην αντίσταση αναπνοής. Η έκθεση σε κρύο νερό μπορεί να προσθέσει στην αίσθηση ότι πρέπει να αναπνεύσουμε γρηγορότερα και βαθύτερα. Οι δύτες που χρησιμοποιούν τον εξοπλισμό σκάφανδρων τις πρώτες φορές είναι πιθανόν να υπεραεριστούν ως ένα ορισμένο βαθμό λόγω ανησυχίας.

Ο υπεραερισμός μπορεί να οδηγήσει σε μια βιοχημική δυσαναλογία που δίνει αφορμή για ίλιγγο, τσούξιμο των άκρων και σπασμό των μικρών μυών των χεριών και των ποδιών. Υπεραερισμός για μεγάλη περίοδο παράγει επιπρόσθετα συμπτώματα όπως αδυναμία, πονοκέφαλοι, μούδιασμα, εξάντληση και θόλωμα της όρασης. Ο δύτες μπορεί να αισθανθεί μια «πείνα για οξυγόνο», ακόμα κι αν η αναπνοή του είναι αρκετά περισσότερη από την απαιτούμενη που χρειάζεται για να αποβάλει το διοξείδιο του άνθρακα. Όλα αυτά τα συμπτώματα μπορούν να παρερμηνευτούν εύκολα με τα συμπτώματα της δηλητηρίασης οξυγόνου. Τα θύματα υπεραερισμού πρέπει να ενθαρρυνθούν να χαλαρώσουν και να επιβραδύνουν τα ποσοστά αναπνοής τους. Το σώμα θα διορθώσει μετά τον υπεραερισμό με φυσικό τρόπο.

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

Η υποκαπνία ή ανεπαρκής ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα είναι επακόλουθο του ακούσιου υπεραερισμού. Το αρχικό σύμπτωμα της υποκαπνίας είναι ελαφριά ζάλη που μπορεί να οδηγήσει σε λιποθυμία. Η υποκαπνία που συνοδεύεται από κράτημα της αναπνοής μπορεί να οδηγήσει τον δύτη σε ξαφνική απώλεια των αισθήσεων κατά την ανάδυσή του και μάλιστα σε ρηγά νερά.

Με τον υπεραερισμό ο δύτης μειώνει δραστικά το διοξείδιο του άνθρακα στο αναπνευστικό και το κυκλοφορικό του σύστημα. Έτσι, το διοξείδιο του άνθρακα δεν είναι δυνατόν να συσσωρευτεί σε ικανοποιητικό επίπεδο ώστε να διεγείρει την αναπνοή, πριν καταναλώσουν οι ιστοί το διαθέσιμο οξυγόνο. Προκαλείται, λοιπόν, υποξία, η οποία καταστρέφει γοργά τους ιστούς, ιδιαίτερα εκείνους του νευρικού συστήματος. Όσο ο δύτης είναι σε κατάδυση, το οξυγόνο διαθέτει αρκετά αυξημένη μερική πίεση στις κυψελίδες, έτσι ώστε να περνά στην αιμοσφαιρίνη και να εφοδιάζει τους ιστούς. Όταν αναδύεται, όμως, η μερική πίεση του οξυγόνου πέφτει και ξαφνικά οι ιστοί στερούνται του οξυγόνου. Ακολουθεί η υποξία και η ξαφνική λιποθυμία, η οποία βέβαια σε περίπτωση μη παροχής βοήθειας καταλήγει σε πνιγμό.

#### 4.2.6. Βαροτραύματα αεροφόρων χώρων

Βαροτραύμα ή ζημιά στους ιστούς του σώματος ορίζεται εκείνη η παθογόνος κατάσταση που προκύπτει από την έκθεση μιας περιοχής του ανθρώπινου σώματος σε δυσβαρικό πεδίο, δηλαδή πεδίο με ανομοιόμορφη κατανομή της πίεσης. Οι φυσικοί αεροφόροι χώροι που επηρεάζονται εμφανέστερα από την αυξανόμενη πίεση βρίσκονται στα αυτιά και τους παραρρινίους κόλπους. Ο τεχνητός αεροφόρος χώρος που επηρεάζεται από την αυξανόμενη πίεση είναι εκείνος που δημιουργείται από τη μάσκα. Το βαροτραύμα συμβαίνει συχνότερα στην κατάδυση παρά στην ανάδυση (καλείται αντίστροφο βαροτραύμα). Κατά την κατάδυση, η υδροστατική πίεση αυξάνει και ωθεί τους αεροφόρους χώρους. Αν δε διατηρείται εξισωμένη ως προς την εξωτερική, η πίεση των αεροφόρων χώρων προκαλεί δυσφορία και πόνο. Αυτή η αίσθηση μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μια σύνθλιψη του αεροφόρου χώρου ή βαροτραύμα.

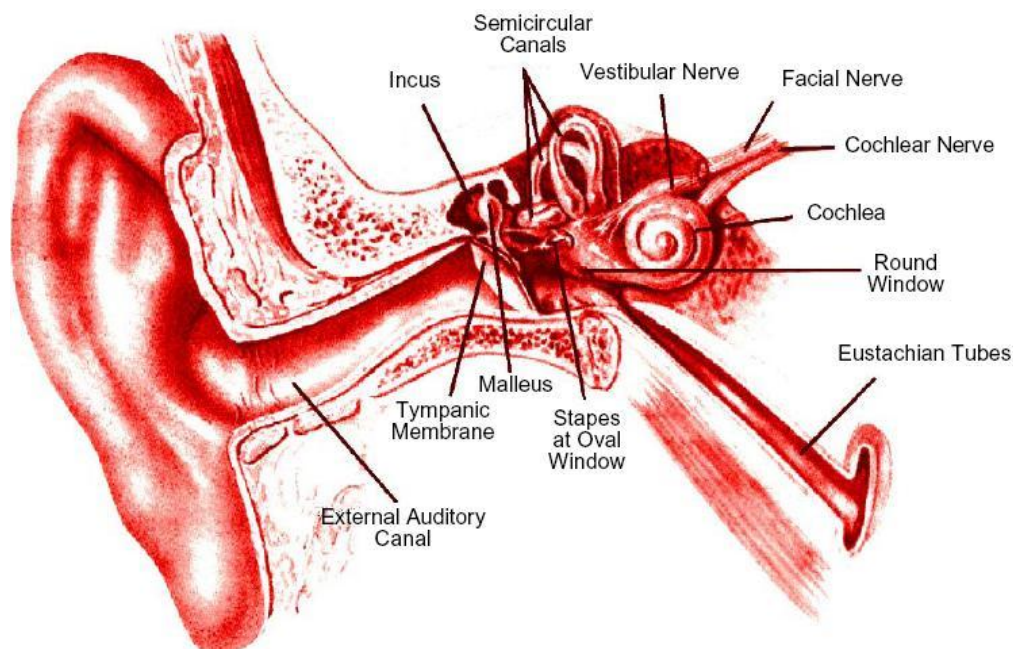
Για να συμβεί βαροτραύμα θα πρέπει να ικανοποιούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

- Θα πρέπει να υπάρχει ένας αεροφόρος χώρος, φυσικός ή τεχνητός.

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

- Αυτός ο αεροφόρος χώρος θα πρέπει να έχει άκαμπτα τοιχώματα. Αν τα τοιχώματα καταρρέουν σε μαλάκι, δε θα προκληθεί καμία ζημιά στους ιστούς.
- Ο αεροφόρος χώρος πρέπει να στεγανός. Αν αέριο ή υγρό μπορεί να εισχωρήσει ελεύθερα μέσα, καμία ζημιά δε θα γίνει.
- Ο χώρος θα πρέπει να έχει αιμοφόρα αγγεία, που να επιτρέπουν στο αίμα να αντισταθμίζει την αλλαγή στην πίεση.
- Πρέπει να υπάρχει αλλαγή στην πίεση περιβάλλοντος.

#### Βαροτραύμα του μέσου αυτιού



Φωτογραφία 4.2: Ανατομία αυτιού

Η συμπίεση του μέσου αυτιού είναι το πιο συχνό βαροτραύμα στις καταδύσεις. Το τύμπανο σφραγίζει εντελώς το εξωτερικό κανάλι του αυτιού από το χώρο του μέσου αυτιού. Καθώς ο δύτης κατεβαίνει, η πίεση του νερού αυξάνεται στην εξωτερική επιφάνεια του τυμπάνου. Για να αντισταθμίσει αυτήν την πίεση, η πίεση του αέρα πρέπει να φθάσει στην εσωτερική επιφάνεια του τυμπάνου. Αυτό ολοκληρώνεται από τη μετάβαση του αέρα μέσω της στενής ευσταχιανής σάλπιγγας που οδηγεί από τις ρινικές μεταβάσεις στο διάστημα μέσων αυτιών. Όταν η ευσταχιανή σάλπιγγα εμποδίζεται από βλεννώδη, το μέσο αυτί καλύπτει τέσσερις από



#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

τις απαιτήσεις που είναι απαραίτητες για να εμφανιστεί βαροτραύμα (αεροφόρος χώρος, άκαμπτα τοιχώματα, στεγανός χώρος, διαπερνάνε αιμοφόρα αγγεία).

Δεδομένου ότι ο δύτες συνεχίζει την κάθοδό του, η πέμπτη απαίτηση (αλλαγή στην περιβαλλοντική πίεση) επιτυγχάνεται. Καθώς η πίεση αυξάνεται, το τύμπανο υποκύπτει προς το εσωτερικό και εξισώνει αρχικά την πίεση με τη συμπίεση του αερίου των μέσων αυτιών. Υπάρχει ένα όριο σε αυτή την ικανότητα και σύντομα η πίεση των μέσων αυτιών γίνεται χαμηλότερη από την εξωτερική πίεση νερού, δημιουργώντας ένα σχετικό κενό στο διάστημα των μέσων αυτιών. Αυτή η αρνητική πίεση προκαλεί διαστολή στα αιμοφόρα αγγεία του τύμπανου και στην επένδυση του μέσου αυτιού, με αποτέλεσμα να γίνει διαρροή και τελικά να εκραγούν. Εάν η κάθοδος συνεχίζεται, είτε το τύμπανο καταρρέει επιτρέποντας στο νερό να μπει μέσα στο μέσο αυτί και να εξισώσει την πίεση, είτε τα αιμοφόρα αγγεία καταρρέουν προκαλώντας αιμορραγία για να εξισώσουν την πίεση. Συνήθως συμβαίνει το δεύτερο.

Η ένδειξη της συμπίεσης των μέσων αυτιών είναι αιχμηρός πόνος που προκαλείται με το τέντωμα του τύμπανου. Ο πόνος που παράγεται πριν από τη ρήξη του τύμπανου γίνεται συχνά αρκετά έντονος ώστε να αποτρέψει την περαιτέρω κάθοδο. Απλά σταματώντας την κάθοδο και με άνοδο μερικών μέτρων επιφέρεται συνήθως άμεση ανακούφιση.

Εάν η κάθοδος συνεχιστεί παρά τον πόνο, το τύμπανο θα σπάσει. Όταν η ρήξη εμφανιστεί, ο πόνος θα εξαφανιστεί. Εκτός και αν ο δύτες φοράει σκουφάκι που προστατεύει τα αυτιά, η κοιλότητα του μέσου αυτιού θα είναι εκτεθειμένη στο νερό και είναι πιθανή η μόλυνσή του. Ταυτόχρονα ο δύτες θα βιώσει ένα έντονο επεισόδιο ιλίγγου, το οποίο μπορεί εντελώς να αποπροσανατολίσει τον δύτε και να προκαλέσει ναυτία και εμετό.

Η κατάδυση με μία μερικώς παρεμποδισμένη ευσταχιανή σάλπιγγα αυξάνει την πιθανότητα της συμπίεσης των μέσων αυτιών. Οι δύτες που δεν μπορούν να καθαρίσουν τα αυτιά τους στην επιφάνεια δεν πρέπει να βουτήξουν. Η πιθανότητα βαροτραύματος μπορεί να αποκλειστεί εάν ληφθούν ορισμένες προφυλάξεις. Για να αποφευχθεί η κατάρρευση της ευσταχιακής σάλπιγγας και για να καθαριστούν τα αυτιά, οι συχνές ρυθμίσεις της πίεσης των μέσων αυτιών πρέπει να γίνονται με την προσθήκη αερίου από το πίσω μέρος της μύτης. Εάν μια πάρα πολύ μεγάλη διαφορά πίεσης αναπτύσσεται μεταξύ των μέσων αυτιών και της εξωτερικής, η ευσταχιακή

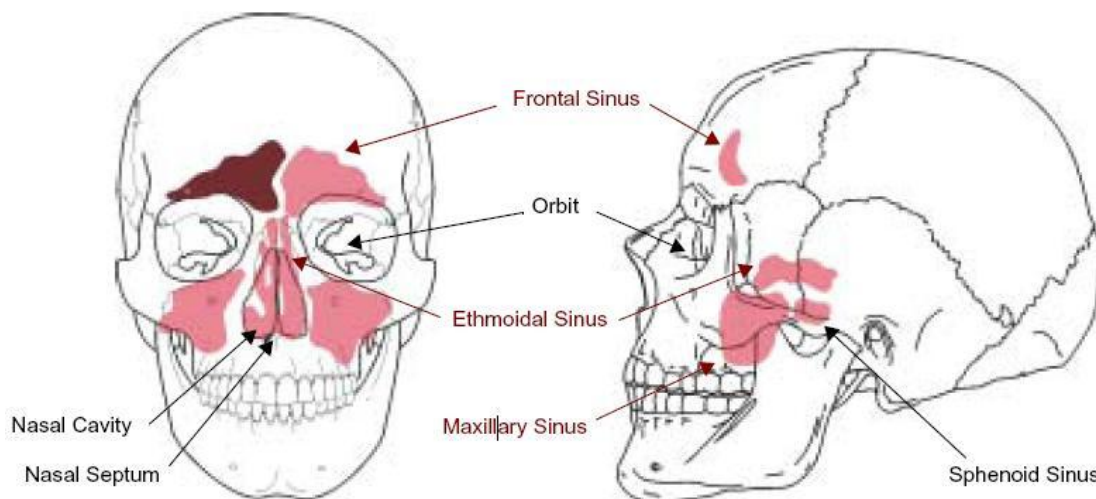
#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

σάλπιγγα καταρρέει, καθώς πρήζεται και εμποδίζεται. Για μερικούς δύτες, η ευσταχιανή σάλπιγγα είναι ανοικτή όλη την ώρα έτσι καμία συνειδητή προσπάθεια δεν είναι απαραίτητη για να καθαρίσουν τα αυτιά τους. Για την πλειοψηφία, εντούτοις, η ευσταχιανή σάλπιγγα είναι κανονικά κλειστή και κάποια μέτρα πρέπει να ληφθούν για να καθαρίσουν τα αυτιά. Πολλοί δύτες το κάνουν αυτό με το χασμουρητό, την κατάποση του σάλιου του ή την κίνηση του σαγονιού κυκλικά.

Μια ακόμα τεχνική είναι ο χειρισμός Valsalva. Κρατώντας ελαφρά κλειστά τα ρουθούνια και κλείνοντας το στόμα εκπνέουμε τον αέρα και τον σπρώχνουμε προς τα αυτιά χρησιμοποιώντας τους μύες του λαιμού και του προσώπου και σε καμία περίπτωση του στήθους ή της κοιλιάς. Για να πραγματοποιηθεί αυτή η τεχνική θα πρέπει ο δύτες να σταματήσει για λίγο την κατάδυση, αλλιώς θα οδηγήσει σε ίλιγγο ή βαροτραύμα του έσω αυτιού.

Στην επιφάνεια, μετά από συμπίεση του μέσου αυτιού, ο δύτες ίσως παραπονεθεί για πόνο, βουητό, μερική απώλεια ακοής ή ήπιο ίλιγγο. Περιστασιακά, μπορεί να τρέχει αίμα από τη μύτη του. Με κατάλληλη φαρμακολογία και αποχή από τις καταδύσεις μέχρι να αναρρώσει, τα συμπτώματα θα εξαφανιστούν.

#### Συμπίεση κόλπων



Φωτογραφία 4.3: Κόλποι στο κρανίο

Οι κόλποι βρίσκονται μέσα σε κοίλα διαστήματα των κοκκάλων των κρανίων και είναι ευθυγραμμισμένοι με μια βλεννώδη μεμβράνη συνεχή με αυτήν της ρινικής κοιλότητας. Οι κόλποι είναι μικρά κενά αέρα που συνδέονται με τη ρινική κοιλότητα μέσω στενών διόδων. Εάν πίεση εφαρμόζεται στο σώμα και οι δίοδοι σε οποιοδήποτε

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

από αυτούς τους κόλπους εμποδίζονται από βλέννα ή κάτι άλλο, πόνος θα εμφανιστεί σύντομα στην περιοχή. Η κατάσταση είναι παρόμοια με αυτήν που περιγράφεται για το μέσο αυτί.

Όταν η πίεση αέρα σε αυτούς τους κόλπους είναι λιγότερη από την πίεση που εφαρμόζεται στους ιστούς που περιβάλλουν αυτά τα ασυμπιεστα διαστήματα, η ίδια σχετική επίδραση παράγεται σαν ένα κενό να δημιουργείται μέσα στους κόλπους: οι μεμβράνες επένδυσης πρήζονται και εμφανίζεται αιμορραγία στην περιοχή αυτή. Αυτή η διαδικασία αντιπροσωπεύει τη φυσική προσπάθεια να ισορροπηθεί η σχετική αρνητική πίεση αέρα με την πλήρωση του διαστήματος από τον πρησμένο ιστό και το αίμα. Ο κόλπος συμπιέζεται πραγματικά. Ο πόνος μπορεί να είναι αρκετά έντονος ώστε να αναγκαστεί να σταματήσει την κάθοδο ο δύτης. Εκτός αν η ζημία έχει εμφανιστεί ήδη, μια επιστροφή στην κανονική πίεση θα επιφέρει άμεση ανακούφιση. Συχνά ο δύτης ανεβαίνει στην επιφάνεια με αιμορραγία στη μύτη.

Οι δύτες δεν πρέπει να βουτήξουν εάν οποιαδήποτε σημάδι ρινικής συμφόρησης ή κρυολογήματος είναι εμφανές. Τα αποτελέσματα της συμπίεσης μπορούν να περιοριστούν κατά τη διάρκεια μιας κατάδυσης με τη στάση της καθόδου και την άνοδο μερικών μέτρων για να αποκαταστήσουν την ισορροπία πίεσης. Εάν ο κόλπος δεν μπορεί να εξισωθεί με το να καταπιεί ή με το να φυσήξει με κλειστή μύτη και στόμα, η κατάδυση πρέπει να ματαιωθεί.

#### Βαροδονταλγία

Αν και τις περισσότερες φορές ο πόνος στα δόντια κατά την κατάδυση οφείλεται στη συμπίεση των κόλπων, εν τούτοις ένας οξύς, απότομος πόνος στα δόντια μπορεί και να οφείλεται σε μία μικρή φυσαλίδα αέρα παγιδευμένη κάτω από κάποιο σφράγισμα ή στεφάνη δοντιού. Αυτή η φυσαλίδα μπορεί να οδηγήσει σε ράγισμα του δοντιού και σε πληγή του ιστού που το περιβάλλει. Πριν από οποιαδήποτε οδοντική εργασία, το προσωπικό πρέπει να προσδιορίζει τον εαυτό του ως δύτη στον οδοντίατρο.

#### Συμπίεση του έξω ακουστικού πόρου

Όταν ο έξω ακουστικός πόρος είναι φραγμένος από κυψελίδα, ωτασπίδα ή ακόμα και από ένα σκουφάκι που εφαρμόζει σφικτά στο κεφάλι, είναι δυνατόν κατά την κατάδυση να προκληθεί πόνος στο αυτί. Η εξήγηση είναι απλή. Η πίεση του αέρα

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

που ευρίσκεται πίσω από την απόφραξη προς την μεριά του τυμπάνου παραμένει ίδια με την πίεση επιφανείας, ενώ η ατμοσφαιρική καθώς και η πίεση μέσα στο αυτί αυξάνονται. Σαν αποτέλεσμα έχουμε τη δημιουργία "κενού" λόγω αρνητικής πίεσης, που οδηγεί στη δημιουργία μικρών αιμορραγιών στο δέρμα του έξω ακουστικού πόρου και στο τύμπανο. Με την παραπάνω αύξηση της πίεσης έχουμε τη δημιουργία αιμορραγικών φυσαλίδων, η ρήξη των οποίων οδηγεί σε αιμορραγία και διάτρηση του τυμπάνου με έντονο πόνο στο αυτί. Για την κατάσταση αυτή δεν χρειάζεται ιδιαίτερη θεραπεία πέρα από κάποια αναλγητικά, εκτός αν δημιουργηθεί φλεγμονή. Σε οποιαδήποτε πάντως περίπτωση, οι καταδύσεις θα πρέπει να σταματήσουν μέχρι την πλήρη ίαση.

Ένα άλλο πολύ συχνό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι δύτες που ευρίσκονται πολύ ώρα στο νερό, είναι η εξωτερική ωτίτις ή αλλιώς "αυτί των κολυμβητών". Αποτελεί φλεγμονή του έξω ακουστικού πόρου από διάφορα μικρόβια, που βρίσκουν ιδανικές συνθήκες (υψηλή θερμοκρασία, υγρασία) για να αναπτυχθούν και είναι μία κατάσταση που επιδεινώνεται από την παρατεταμένη χρήση μπατονέτων για το στέγνωμα και τον καθαρισμό του αυτιού μετά την κατάδυση. Για την αποφυγή και πρόληψη της παραπάνω κατάστασης οι δύτες θα πρέπει μετά από κάθε κατάδυση να ρίχνουν στα αυτιά τους 2-3 σταγόνες διαλύματος άσπρου οινοπνεύματος και, εάν είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι σε τέτοιου είδους φλεγμονές, καλό θα ήταν να στεγανοποιούν τον έξω ακουστικό πόρο πριν την κατάδυση με σπρέι σιλικόνης.

#### Συμπίεση προσώπου ή σώματος

Οι μάσκες προσώπου σκαφάνδρων, τα προστατευτικά γυαλιά και ορισμένοι τύποι καταδυτικών στολών μπορούν να προκαλέσουν συμπίεση υπό ορισμένες συνθήκες. Εκπνοή μέσω της μύτης μπορεί συνήθως να εξισώσει την πίεση σε μια μάσκα προσώπου, αλλά αυτό δεν είναι δυνατό με τα προστατευτικά γυαλιά. Τα προστατευτικά γυαλιά θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο στην κολύμβηση. Το μάτι και οι ιστοί γύρω από αυτό είναι οι σοβαρότερα επηρεαζόμενοι ιστοί σε μια περίπτωση συμπίεσης μάσκας προσώπου ή συμπίεσης προστατευτικών γυαλιών. Κατά τη χρησιμοποίηση καταδυτικών στολών, αέρας μπορεί να παγιδευτεί σε μια πτυχή στο ένδυμα που μπορεί να οδηγήσει σε κάποια ενόχληση και ενδεχομένως μια δευτερεύουσα περίπτωση να είναι μια μικρή αιμορραγία στο δέρμα.

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

##### Βαροτραύμα έσω αυτιού

Το έσω αυτί δε περιέχει κάποιο αέριο και επομένως δε μπορεί να συμπιεστεί με την ίδια έννοια όπως το μέσο αυτί και οι κόλποι. Παρόλα αυτά το έσω αυτί βρίσκεται δίπλα στο μέσο αυτί και επηρεάζεται από τη συμπίεσή του. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι το έσω αυτί περιέχει δύο σημαντικά όργανα, τον κοχλία που ελέγχει την ακοή και το αιθουσαίο αισθητικό σύστημα που ελέγχει την αίσθηση της ισορροπίας, δηλαδή καταστροφή του θα οδηγήσει σε ίλιγγο.

Αν η πίεση του μέσου αυτιού δεν εξισώνεται κατά τη διάρκεια της κατάδυσης, η εσωτερική διόγκωση του τυμπάνου διαβιβάζεται στο έσω αυτί. Επειδή τα ρευστά στο έσω αυτί είναι ασυμπίεστα, αυτή η κατάσταση μπορεί να οδηγήσει σε ρήξη των τοιχωμάτων, οδηγώντας σε βαροτραύμα του έσω αυτιού. Η ίδια κατάσταση μπορεί να δημιουργηθεί με απότομη εξίσωση της πίεσης στο μέσο αυτί.

Τα πρώτα συμπτώματα του βαροτραύματος του έσω αυτιού είναι ίλιγγος και απώλεια ακοής. Ο δύτης θεωρεί ότι κινείται σε σχέση με το περιβάλλον του ή ότι το περιβάλλον κινείται σε σχέση με αυτόν, ενώ στην πραγματικότητα δεν πραγματοποιείται καμία κίνηση. Ο ίλιγγος μπορεί να συνοδεύεται από συμπτώματα όπως ναυτία, τάση για εμετό, απώλεια προσανατολισμού και γρήγορο ανοιγοκλείσιμο των ματιών που καλείται νυσταγμός. Ο ίλιγγος μπορεί να αυξηθεί όταν τοποθετείται το κεφάλι σε ορισμένες θέσεις. Η απώλεια ακοής μπορεί να κυμανθεί σε ένταση και οι ήχοι μπορούν να διαστρεβλωθούν. Η απώλεια ακοής συνοδεύεται από κουδούνισμα του αυτιού. Ο δύτης μπορεί επίσης να παραπονεθεί για μια αίσθηση βρασίματος στο αυτί. Τα συμπτώματα εμφανίζονται συνήθως απότομα κατά τη διάρκεια της καθόδου, εντούτοις η ζημία που γίνεται μπορεί να μην είναι εμφανής έως ότου τελειώσει η κατάδυση. Σε εργασίες όπως οι υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές, όπου πολλές φορές απαιτούν από το δύτη να σηκώνει βάρη, η κατάσταση επιδεινώνεται.

Σε κάθε περίπτωση το βαροτραύμα του έσω αυτιού πρέπει να αναφερθεί σε ωτορινολαρυγγολόγο και αυτός θα κρίνει την κατάλληλη θεραπεία. Πολλές φορές είναι δύσκολο να ξεχωρίσεις αν τα συμπτώματα της απώλειας ακοής και του ίλιγγου είναι αποτέλεσμα βαροτραύματος έσω αυτιού, νόσου εξ' αποσυμπίεσης ή εμβολής αέρα. Αν δεν είμαστε σίγουροι για την αιτία των συμπτωμάτων, η θεραπεία σε θάλαμο αποσυμπίεσης είναι υποχρεωτική. Έχει αποδειχθεί ότι οι πιέσεις του θαλάμου δεν επιδεινώνουν περαιτέρω το βαροτραύμα του έσω αυτιού.

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

##### Αντίστροφο βαροτραύμα του μέσου αυτιού

Κατά την ανάδυση τα αέρια διαστέλλονται σύμφωνα με το νόμο του Boyle. Αν το αέριο δεν εξέλθει από τους κλειστούς αεροφόρους χώρους θα προκαλέσει ζημιά σε αυτούς. Το διαστελλόμενο αέριο εξέρχεται συνήθως από το μέσο αυτί μέσω της ευσταχιανής σάλπιγγας. Αν αυτή η δίοδος είναι μπλοκαρισμένη, η πίεση στο μέσο αυτί αυξάνεται και το τύμπανο υποκύπτει προς το εσωτερικό και εξισώνει αρχικά την πίεση με τη συμπίεση του αερίου των μέσων αυτιών, προκαλώντας πόνο. Αν η αύξηση της πίεσης συνεχιστεί, επέρχεται ρήξη τυμπάνου. Αν συμβεί η ρήξη, το μέσο αυτί εξισώνει την πίεση επιτρέποντας στο νερό να εισέλθει και ο πόνος εξαφανίζεται. Ωστόσο, ακολουθεί επεισόδιο έντονου ίλιγγου.

Η αυξημένη πίεση στο μέσο αυτί επηρεάζει και το έσω αυτί και μπορεί να προκαλέσει απώλεια ακοής και ίλιγγο. Ακόμη, μπορεί να παραλύσει του μύες του προσώπου, αφού η αυξημένη πίεση ίσως δεν επιτρέπει στο αίμα να κυκλοφορήσει. Γενικά, μια ελάχιστη περίοδος 10-30 min αυξημένης πίεσης είναι απαραίτητη για να εμφανιστεί αυτό το σύμπτωμα. Πλήρης λειτουργία των μυών του προσώπου επιστρέφει σε 5-10 min αφότου ανακουφιστεί η πίεση.

Ένας δύτης που έχει ένα κρουλόγημα ή είναι ανίκανος να εξισώσει τα αυτιά του είναι πιθανότερο να αναπτύξει το αντίστροφο βαροτραύμα του μέσου αυτιού. Δεν υπάρχει κάποιος αποτελεσματικός τρόπος να καθαριστούν τα αυτιά στην ανάδυση. Ένας ελιγμός Valsalva στην ανάδυση θα αυξήσει την πίεση στο μέσο αυτί, το οποίο είναι το αμέσως αντίθετο από αυτό που απαιτείται. Ο ελιγμός Valsalva μπορεί επίσης να οδηγήσει σε εμβολή αέρα. Εάν αναπτύσσεται πόνος στο αυτί ή ίλιγγος στην ανάδυση, ο δύτης πρέπει να σταματήσει την ανάδυση, να κατεβεί μερικά μέτρα για να ανακουφίσει τα συμπτώματα και να συνεχίσει έπειτα την ανάδυσή του πιο αργά. Διάφορες τέτοιες προσπάθειες μπορούν να είναι απαραίτητες μέχρι ο δύτης να φτάσει στην επιφάνεια. Εάν τα συμπτώματα της απώλειας ακοής ή του ίλιγγου εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της ανάδυσης ή αμέσως μετά από την ανάδυση, μπορεί να είναι αδύνατο να πει κανείς εάν τα συμπτώματα προκύπτουν από βαροτραύμα των έσω αυτιών ή από νόσο εξ' αποσυμπίεσης ή από εμβολή αέρα. Η θεραπεία σε θάλαμο αποσυμπίεσης είναι πάντα ενδεδειγμένη εκτός αν υπάρχει βεβαιότητα 100% ότι η αιτία είναι βαροτραύμα των έσω αυτιών.

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

##### Αντίστροφη συμπίεση κόλπων

Η αυξημένη πίεση προκαλείται όταν παγιδεύεται αέριο μέσα στην κοιλότητα των κόλπων. Μια πτυχή στη μεμβράνη του κόλπου, μια κύστη ή μια απόφυση της μεμβράνης μπορεί να αποτρέψει το αέριο να αποχωρήσει από τον κόλπο κατά τη διάρκεια της ανάδυσης. Ο αιχμηρός τοπικά πόνος προκύπτει από την αυξανόμενη πίεση. Ο πόνος είναι συνήθως επαρκής για να σταματήσει τον δύτη από την άνοδο. Ο πόνος ανακουφίζεται αμέσως με τη κάθοδο μερικών μέτρων. Από εκείνο το σημείο ο δύτης πρέπει να ανέβει στην επιφάνεια πολύ αργά. Όταν αυξημένη πίεση εμφανίζεται στον άνω γναθιαίο κόλπο, ο ανεφοδιασμός του αίματος στο νεύρο του υποκόγχιου μπορεί να μειωθεί, οδηγώντας σε μούδιασμα του βλέφαρου του ματιού, του ανώτερου χειλιού, της μύτης και του μάγουλου. Αυτό το μούδιασμα θα επιλυθεί φυσικά όταν η αυξημένη πίεση των κόλπων ανακουφιστεί.

##### Γαστρεντερική συμπίεση

Οι δύτες μπορεί περιστασιακά να νοιώσουν κοιλιακό πόνο κατά τη διάρκεια της ανάδυσης λόγω της διαστολής του αερίου στο στομάχι ή τα έντερα. Αυτό προκαλείται από το αέριο που παράγεται στα έντερα κατά τη διάρκεια μιας κατάδυσης ή με την κατάποση αέρα (αεροφαγία). Εάν ο πόνος περνάει το ήπιο στάδιο, η ανάδυση πρέπει να σταματήσει και ο δύτης να καταδυθεί μερικά μέτρα μέχρι να ανακουφιστεί.

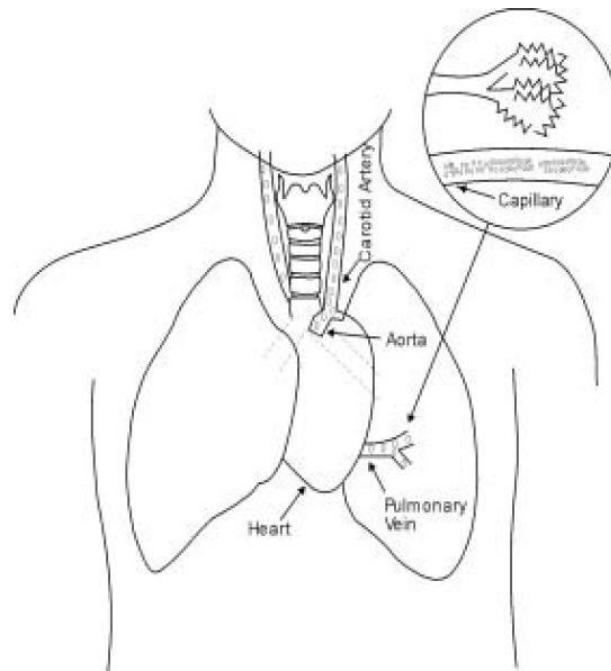
#### **4.2.7. Πνευμονικά βαροτραύματα**

Τα πνευμονικά βαροτραύματα προκαλούνται από τη διαστολή του παγιδευμένου αερίου στον πνεύμονα κατά την ανάδυση ή από υπερβολική πίεση στον πνεύμονα και την επακόλουθη υπερδιάτασή του και ρήξη των φατνιακών σάκων αέρα. Ένα ποσοστό των βρογχιόλων συνθλίβεται, τα πνευμονικά αρτηρίδια και οι κυψελίδες τραυματίζονται και το αίμα αναμιγνύεται με τον αέρα στους πνεύμονες, γεγονός που εξηγεί και την αιμόπτυση ως σύμπτωμα. Πνευμονικό βαροτραύμα από τη διαστολή του αερίου που αποτυγχάνει να δραπετεύσει από τον πνεύμονα κατά τη διάρκεια της ανάδυσης μπορεί να εμφανιστεί όταν ένας δύτης εκούσια ή ακούσια κρατά την αναπνοή του κατά τη διάρκεια της ανάδυσης. Πνευμονικές παρεμποδίσεις που μπορούν επίσης να προκαλέσουν την παγίδευση αέρα είναι το άσθμα, οι παχιές

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

εκκρίσεις από την πνευμονία ή ένα βαριάς μορφής κρυολόγημα. Οι κλινικές εκδηλώσεις του πνευμονικού βαροτραύματος εξαρτώνται από τη θέση όπου βρίσκεται το ελεύθερο αέριο. Σε όλες τις περιπτώσεις, το πρώτο βήμα είναι ρήξη του φατνίου με μια συγκέντρωση του αερίου στους ιστούς των πνευμόνων, όρος γνωστός ως διάμεσο εμφύσημα. Το διάμεσο εμφύσημα δεν προκαλεί κανένα σύμπτωμα εκτός αν εμφανιστεί περαιτέρω διανομή του αερίου. Το αέριο μπορεί να βρει διαφυγή στη θωρακική κοιλότητα ή την αρτηριακή κυκλοφορία.

#### Αρτηριακή εμβολή αέρα



Φωτογραφία 4.4: Αρτηριακή εμβολή αέρα

Η αρτηριακή εμβολή αέρα, συνήθως αποκαλούμενη απλά εμβολή αέρα, είναι η παρεμπόδιση της ροής του αίματος που προκαλείται από τις φυσαλίδες αερίου που εισάγονται μέσα στην αρτηριακή κυκλοφορία. Η φραγή των αρτηριών του εγκεφάλου και της καρδιάς μπορεί να οδηγήσει στο θάνατο εάν δεν αντιμετωπιστεί άμεσα.

Η αρτηριακή εμβολή αέρα προκαλείται από διαστολή του αερίου που λαμβάνεται από τους πνεύμονες αναπνέοντας υπό πίεση και που παραμένει εκεί κατά την ανάδυση. Το αέριο θα μπορούσε να έχει παγιδευτεί σε μια περιοχή του πνεύμονα που έχει βλαφθεί από κάποια προηγούμενη ασθένεια ή ατύχημα ή όταν ο δύτης, που αντιδρά με πανικό σε μια δύσκολη κατάσταση, κρατάει την αναπνοή του χωρίς να το συνειδητοποιεί. Εάν υπάρχει αρκετό αέριο και εάν έχει διασταλεί αρκετά, η πίεση θα



#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

ωθήσει το αέριο από τους φαρνιακούς τοίχους στους περιβάλλοντες ιστούς και στην κυκλοφορία του αίματος. Εάν το αέριο εισαχθεί στην αρτηριακή κυκλοφορία, θα διασκορπιστεί σε όλα τα όργανα του σώματος. Τα όργανα που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στην αρτηριακή εμβολή αέρα και είναι απειλητικά για τη ζωή είναι το κεντρικό νευρικό σύστημα και η καρδιά. Σε όλες τις περιπτώσεις, ο πνευμοθώρακας είναι πιθανός και δεν πρέπει να αγνοηθεί. Η ανάγκη για μια έκτακτη ανάδυση είναι η πιο κοινή αιτία για αρτηριακή εμβολή αέρα.

Τα συμπτώματα της αρτηριακής εμβολής αέρας περιλαμβάνουν:

- Λιποθυμία
- Παράλυση
- Μούδιασμα
- Αδυναμία
- Κόπωση
- Παισιθήσεις
- Δυσκολία στη σκέψη
- Τλιγγος
- Σπασμοί
- Προβλήματα στην όραση
- Αποπροσανατολισμός
- Ναυτία και τάση για εμετό
- Διαταραχές στην ακοή
- Πόνος στο στήθος
- Φλέγμα με αίμα
- Ζαλάδα
- Αλλαγή προσωπικότητας
- Δυσκολία ελέγχου των κινήσεων του σώματος
- Τρέμουλο

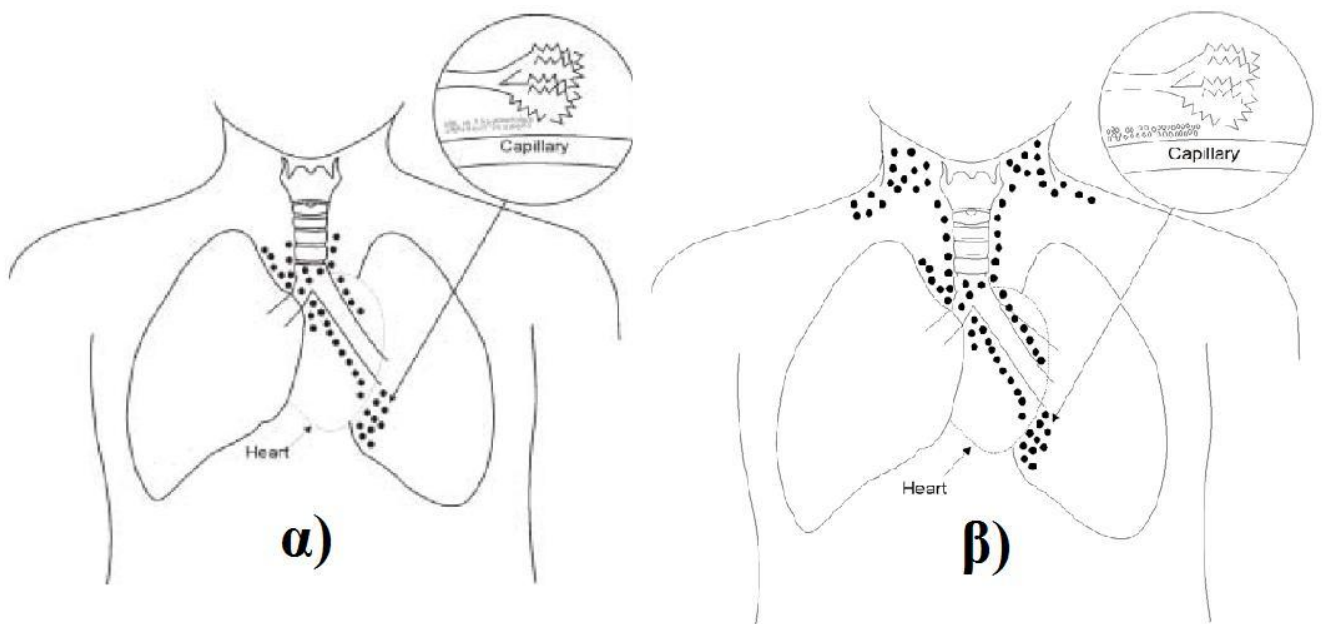
Εξαιτίας της επικινδυνότητας της αρτηριακής εμβολής αέρας θα πρέπει να παρέχονται στον δύτη αμέσως οι πρώτες βοήθειες, 100% οξυγόνο και να μπει άμεσα στο θάλαμο αποσυμπίεσης. Είναι σημαντικό κάθε δύτης να είναι σωστά εκπαιδευμένος για τη φυσιολογία των καταδύσεων. Δε θα πρέπει να κρατά την αναπνοή του κατά την ανάδυση και σε περίπτωση έκτακτης ανάδυσης θα πρέπει να

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

εκπνέει με ρυθμό ανάλογο της ανάδυσης. Σε περίπτωση που έχει κάποιο κρυολόγημα βαριάς μορφής καλό θα ήταν να αναβάλλει την κατάδυση.

##### Μεσοθωράκιο και υποδόριο εμφύσημα

Το μεσοθωράκιο εμφύσημα εμφανίζεται όταν ωθείται το αέριο από τον σχισμένο ιστό των πνευμόνων στους χαλαρούς μεσοθωράκιους ιστούς στη μέση του στήθους που περιβάλλουν την καρδιά, την τραχεία, και τα σημαντικότερα αιμοφόρα αγγεία. Το υποδόριο εμφύσημα εμφανίζεται όταν το αέριο από το μεσοθωράκιο αναζητά διέξοδο στους υποδόριους ιστούς του λαιμού. Το υποδόριο εμφύσημα προϋποθέτει το μεσοθωράκιο εμφύσημα. Προκαλείται είτε από κράτημα της αναπνοής κατά την ανάδυση, είτε από αναπνοή υπό θετική πίεση, είτε από βήχα κατά τη ανάδυση.



Φωτογραφία 4.5: α) Μεσοθωράκιο εμφύσημα, β) Υποδόριο εμφύσημα

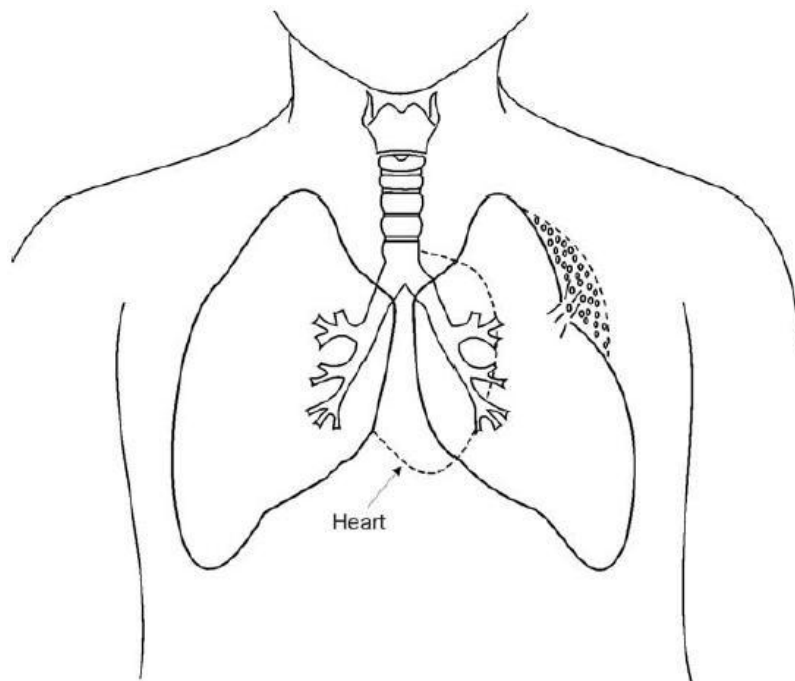
Οι ήπιες περιπτώσεις περνούν συχνά απαρατήρητες από τον δύτη. Σε πιο βαριές περιπτώσεις ο δύτης μπορεί να νιώσει πόνο κάτω από το στήρνο, που περιγράφεται συχνά ως αίσθημα συμπίεσης. Ο πόνος μπορεί να αντανάκλασει στον ώμο ή την πλάτη και μπορεί να επιδεινωθεί με βαθιά αναπνοή, βήχα ή όταν καταπίνει. Σπάνια οδηγεί στη λιποθυμία και στην αναπνευστική ανεπάρκεια. Ο δύτης μπορεί να έχει ένα αίσθημα διόγκωσης γύρω από το λαιμό και μπορεί να έχει δυσκολία στην κατάποση. Η φωνή του μπορεί να αλλάξει λιγάκι. Η μετακίνηση του

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

δέρματος κοντά στο κόκκαλο περιλαίμιων, δηλαδή ψηλαφίζοντας αυτό το σημείο, μπορεί να παραγάγει έναν ήχο κροταλίσματος.

Υποψία για μεσοθωράκιο ή υποδόριο εμφύσημα πρέπει να αναφέρεται γρήγορα στο ιατρικό προσωπικό για να αποκλείσει τη συνύπαρξή του με εμβολή αέρα ή πνευμοθώρακα. Αν τα συμπτώματα είναι ήπια, με αναπνοή 100% οξυγόνου στην επιφάνεια θα υποχωρήσουν άμεσα. Αν είναι πιο βαριά, ο θάλαμος αποσυμπίεσης θα ήταν ευεργετικός. Για την πρόληψή του καλό είναι να ακολουθούνται οι ίδιες συμβουλές για την αποφυγή της εμβολής αέρα, δηλαδή ποτέ κράτημα της αναπνοής κατά την ανάδυση και σωστό ρυθμό εκπνοής.

#### Πνευμοθώρακας



Φωτογραφία 4.6: Πνευμοθώρακας

Ο πνευμοθώρακας εμφανίζεται όταν αέριο παγιδεύεται στο πλευρικό κενό μεταξύ πνεύμονα και θώρακα. Ο πνεύμονας κατά την υπερδιάταση είναι δυνατόν να τραυματιστεί στην επιφάνειά του. Έτσι ο αέρας θα διαφύγει προς την πλευρική κοιλότητα και αυτόματα ο πνεύμονας θα συνθλιβεί. Ο διαστελλόμενος αέρας που παγιδεύεται στην πλευρική κοιλότητα ωθεί διαρκώς τον πνεύμονα και προκαλεί οξύ πόνο. Ο πνευμοθώρακας είναι δυνατόν να συμβεί αυτόματα εξαιτίας κάποιας πάθησης. Αν και είναι ασυνήθιστη περίπτωση, εντούτοις μπορεί να συμβεί απροειδοποίητα. Αν μάλιστα συμβεί κατά τη διάρκεια της κατάδυσης είναι

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

σοβαρότερης μορφής, καθώς ο πόνος που προκαλεί οξύνεται αφόρητα κατά τη διαδικασία της ανάδυσης. Στην ήπια εκδήλωσή του, ο πόνος ανακουφίζεται σταδιακά καθώς το αέριο απορροφάται εκ νέου. Στη βαριά εκδήλωσή του, ο πνεύμονας και η καρδιά σπρώχνονται στην αντίθετη πλευρά και εμποδίζεται τόσο η αναπνοή, όσο και η κυκλοφορία του αίματος.

Ο οξύς πόνος συνοδεύεται από δύσπνοια, ταχυκαρδία, αδύναμο σφυγμό και αίσθημα άγχους. Οι φυσικές θωρακικές κινήσεις που συνδέονται με την αναπνοή μπορούν να μειωθούν και οι ήχοι της αναπνοής μπορούν να είναι δύσκολο να ακουστούν ακόμα και με ένα στηθοσκόπιο. Τα βαριά συμπτώματα του πνευμοθώρακα είναι παρόμοια με τα ήπια, αλλά γίνονται σταδιακά εντονότερα με την πάροδο του χρόνου. Δεδομένου ότι η καρδιά και οι πνεύμονες μετατοπίζονται στην αντίθετη πλευρά του στήθους, η πίεση του αίματος μειώνεται μαζί με την αρτηριακή μερική πίεση οξυγόνου. Εμφανίζεται κυάνωση του δέρματος. Εάν δεν δοθεί φροντίδα, σοκ και ο θάνατος θα ακολουθήσουν. Ο βαρύς πνευμοθώρακας είναι μια αληθινή ιατρική έκτακτη ανάγκη.

Ένας δύτης που θεωρείται ότι υποφέρει από πνευμοθώρακα θα πρέπει να εξετάζεται άμεσα για τυχόν συνύπαρξη με εμβολή αέρα. Ένας μικρός πνευμοθώρακας της τάξεως του 15% θα βελτιωθεί από μόνος του με την πάροδο του χρόνου. Για ήπιο πνευμοθώρακα αρκεί αναπνοή με 100% οξυγόνο. Για βαριά μορφή πνευμοθώρακα απαιτείται άμεση δράση από εκπαιδευμένο προσωπικό. Σε περίπτωση συνύπαρξής του με τη νόσο εξ' αποσυμπίεσης, ο θάλαμος αποσυμπίεσης δεν τον επιδεινώνει, αλλά αντίθετα τον ανακουφίζει. Η πρόληψή του περιλαμβάνει τις ίδιες στρατηγικές με τις προηγούμενες παθολογικές καταστάσεις των πνευμονικών βαροτραυμάτων.

#### 4.2.8. Νάρκωση αζώτου

Μέχρι τώρα έχουν περιγραφεί παθολογικές καταστάσεις που εμφανίζονται λόγω των διαφορών στην πίεση, βλάπτοντας τη δομή του σώματος κατά τρόπο άμεσο, μηχανικό. Τα έμμεσα ή δευτεροβάθμια αποτελέσματα της πίεσης είναι προϊόν των αλλαγών στη μερική πίεση των μεμονωμένων αερίων που χρησιμοποιούνται ως μέσο αναπνοής του δύτη. Οι μηχανισμοί αυτών των αποτελεσμάτων περιλαμβάνουν τον κορεσμό και τον αποκορεσμό των ιστών του σώματος με το διαλυμένο αέριο και

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

την τροποποίηση των λειτουργιών του σώματος λόγω της ανωμαλίας στη μερική πίεση του αερίου.

Η νάρκωση αζώτου είναι η κατάσταση της ευφορίας και της ευθυμίας που εμφανίζεται όταν αναπνέει ένας δύτης μίγμα αερίου με μια μερική πίεση αζώτου μεγαλύτερη από 4 ata. Το άζωτο σε μεγάλη μερική πίεση δρα όπως τα αναισθητικά αέρια κατά τη γενική νάρκωση για ιατρικούς σκοπούς, επηρεάζοντας το κεντρικό νευρικό σύστημα και μειώνοντας την ικανότητα του δύτη να σκέφτεται καθαρά (αίσθημα μέθης). Η ναρκωτική επίδραση αρχίζει σε μια μερική πίεση αζώτου περίπου 4 ata και αυξάνεται σε δριμύτητα καθώς αυξάνεται η μερική πίεση. Μια μερική πίεση αζώτου 8 ata προκαλεί αδυναμία, ενώ μερικές πιέσεις παραπάνω από 10 ata μπορεί να οδηγήσουν σε παραισθήσεις και λιποθυμία. Για κατάδυση με χρήση ατμοσφαιρικού αέρα ως αέριο αναπνοής, η νάρκωση του αζώτου συνήθως πρωτοεμφανίζεται σε βάθος 40 msw, είναι αρκετά ισχυρή σε βάθος 61 msw και γίνεται επικίνδυνη σε μεγαλύτερα βάθη. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα της ευαισθησίας στη νάρκωση του αζώτου για κάθε δύτη. Στοιχεία δείχνουν ότι η προσαρμογή είναι δυνατή με επαναλαμβανόμενες εκθέσεις. Μερικοί δύτες, ιδιαίτερα εκείνοι που έχουν πραγματοποιήσει εργασίες σε μεγάλα βάθη με χρήση ατμοσφαιρικού αέρα, μπορούν συχνά να εργαστούν στα 61 msw χωρίς σοβαρή δυσκολία. Άλλοι πάλι δεν μπορούν.

Τα συμπτώματα της νάρκωσης του αζώτου είναι:

- Απώλεια κρίσης ή δεξιοτεχνίας
- Μια λανθασμένη αίσθηση ότι όλα πάνε καλά
- Μειωμένο ενδιαφέρον για θέματα ασφάλειας, αναπτύσσουν δηλαδή αφύσικη συμπεριφορά όπως επιθυμία να κολυμπήσουν σε μεγαλύτερα βάθη ή να βγάλουν το επιστόμιο της αναπνευστικής τους συσκευής
- Νευρικό γέλιο
- Τσούξιμο των ματιών και μούδιασμα των χειλιών και των ποδιών
- Αίσθημα ευφορίας

Η θεραπεία για τη νάρκωση αζώτου είναι να ανέβει ο δύτης σε μικρότερο βάθος που η επιρροή του αζώτου περνάει απαρατήρητη. Η ναρκωτική επίδραση γρήγορα θα εξασθενήσει στην επιφάνεια και δεν εμφανίζεται hangover. Οι πεπειραμένοι δύτες μπορούν να είναι παραγωγικοί και ασφαλείς σε βάθη όπου άλλοι αποτυγχάνουν. Εξοικειώνονται με τον βαθμό στον οποίο η νάρκωση αζώτου

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

εξασθενίζει την απόδοση. Ξέρουν ότι μια ισχυρή συνειδητή προσπάθεια ώστε να συνεχιστεί η κατάδυση απαιτεί ασυνήθιστα μεγάλη προσοχή, χρόνο και προσπάθεια για να ληφθούν ακόμη και οι απλούστερες αποφάσεις. Οποιαδήποτε χαλάρωση της συνειδητής προσπάθειας μπορεί να οδηγήσει σε αποτυχία ή σε ένα μοιραίο σφάλμα. Η εμπειρία, η συχνή έκθεση σε μεγάλα βάθη κατάδυσης και η κατάρτιση μπορεί να επιτρέψει στους δύτες να εκτελούν καταδύσεις με ατμοσφαιρικό αέρα σε βάθη έως 61 msw, αλλά οι αρχάριοι και τα ευαίσθητα άτομα πρέπει να παραμείνουν σε πιο ρηχά βάθη ή να βουτήξουν με μίγματα ήλιου-οξυγόνου. Το ήλιο χρησιμοποιείται ευρέως στην κατάδυση ως υποκατάστατο του αζώτου για να αποτρέψει τη νάρκωση. Το ήλιο δεν έχει επιδείξει ναρκωτική επίδραση. Η κατάδυση με τα μίγματα ήλιου-οξυγόνου είναι ο μόνος τρόπος να αποτραπεί η νάρκωση αζώτου. Η χρήση οιοπνεύματος πριν από την κατάδυση μειώνει τον βάθος εμφάνισης των συμπτωμάτων και έχει αθροιστικό αποτέλεσμα στις επιδράσεις του αζώτου.

#### 4.2.9. Τοξικότητα οξυγόνου

Η έκθεση σε μια μερική πίεση οξυγόνου μεγαλύτερη από αυτή που συναντάμε στην καθημερινή μας ζωή μπορεί να είναι τοξική για το σώμα. Η έκταση της τοξικότητας εξαρτάται και από τη μερική πίεση του οξυγόνου και από τον χρόνο έκθεσης. Όσο υψηλότερη είναι η μερική πίεση και όσο περισσότερος ο χρόνος έκθεσης, τόσο δριμύτερη η τοξικότητα. Οι δύο τύποι τοξικότητας οξυγόνου που βιώνονται από τους δύτες είναι η πνευμονική τοξικότητα οξυγόνου και η τοξικότητα οξυγόνου του κεντρικού νευρικού συστήματος.

Η πνευμονική τοξικότητα οξυγόνου, αποκαλούμενη μερικές φορές δηλητηρίαση οξυγόνου χαμηλής πίεσης, μπορεί να εμφανιστεί όποτε η μερική πίεση του οξυγόνου υπερβαίνει τις 0.5 ata. Μια έκθεση 12 ωρών σε μια μερική πίεση 1 ata θα προκαλέσει ήπια συμπτώματα και μειωμένη λειτουργία πνευμόνων. Η ίδια επίδραση θα εμφανιστεί με μια έκθεση 4 ωρών σε μια μερική πίεση 2 ata. Τα συμπτώματα της πνευμονικής τοξικότητας οξυγόνου μπορούν να αρχίσουν με μια αίσθηση καψίματος και να προχωρήσουν σε πόνο στην αναπνοή. Κατά τη διάρκεια θεραπείας σε θάλαμο αποσυμπίεσης, η πνευμονική τοξικότητα οξυγόνου μπορεί να πρέπει να γίνει ανεκτή από τους ασθενείς με νευρολογικά συμπτώματα μέχρι αυτά να υποχωρήσουν. Στους ασθενείς που έχουν τις αισθήσεις τους, ο πόνος και ο βήχας σε

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

κάθε αναπνοή τους αποτρέπει από περαιτέρω έκθεσή τους. Οι ασθενείς που έχουν χάσει τις αισθήσεις τους δεν αισθάνονται πόνο και είναι δυνατό κατά τη διάρκεια της θεραπείας να υποβληθούν σε εκθέσεις οξυγόνου που θα προκαλέσουν μόνιμη ζημία πνευμόνων ή πνευμονία. Για αυτόν τον λόγο, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στη χορήγηση 100% οξυγόνου σε ασθενείς που έχουν λιποθυμήσει. Η επιστροφή στην κανονική πνευμονική λειτουργία εμφανίζεται βαθμιαία μόλις ολοκληρωθεί η έκθεση.

Δεν υπάρχει κάποια τεχνική ώστε να αποκλειστεί τελείως η πιθανότητα για πνευμονική τοξικότητα οξυγόνου. Ο μόνος τρόπος να αποφευχθεί η πνευμονική τοξικότητα οξυγόνου είναι να αποφευχθούν οι μακροχρόνιες εκθέσεις σε μεγάλες μερικές πιέσεις οξυγόνου. Εντούτοις, υπάρχει ένας τρόπος στην ανοχή της. Εάν η έκθεση σε αυξημένη μερική πίεση οξυγόνου περιοδικά διακόπτεται για ένα μικρό χρονικό διάστημα για έκθεση σε χαμηλή μερική πίεση οξυγόνου, ο συνολικός χρόνος έκθεσης που απαιτείται για να παραγάγει ένα δεδομένο επίπεδο τοξικότητας μπορεί να αυξηθεί σημαντικά.

Η τοξικότητα οξυγόνου του κεντρικού νευρικού συστήματος, αποκαλούμενη μερικές φορές δηλητηρίαση υψηλής πίεσης οξυγόνου, μπορεί να εμφανιστεί όποτε η μερική πίεση οξυγόνου υπερβαίνει τις 1.3 ata σε δύτη με wetsuit ή 2.4 ata σε δύτη με στεγανή στολή. Ο λόγος για την αύξηση στην ευαισθησία του δύτη με wetsuit δεν έχει γίνει κατανοητός ακόμα. Σε μερικές πιέσεις επάνω από τα αντίστοιχα αυτά όρια, ο κίνδυνος τοξικότητας εξαρτάται και από τον χρόνο έκθεσης. Όσο υψηλότερη η μερική πίεση και όσο περισσότερος ο χρόνος έκθεσης, τόσο πιθανότερο είναι να εμφανιστούν τα συμπτώματα. Για αυτό το λόγο υπάρχουν συγκεκριμένα χρονικά όρια έκθεσης για κάθε μερική πίεση και για τους διάφορους τύπους κατάδυσης.

Μια σειρά παραγόντων επηρεάζει τον κίνδυνο εμφάνισης της τοξικότητας οξυγόνου στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Η ευαισθησία στην τοξικότητα οξυγόνου ποικίλλει εμφανώς από δύτη σε δύτη. Η μεμονωμένη ευαισθησία ποικίλλει επίσης εμφανώς από κατάδυση σε κατάδυση και για αυτόν τον λόγο οι δύτες μπορεί να εμφανίσουν τοξικότητα οξυγόνου σε χρόνους έκθεσης και σε πιέσεις που είχαν ανεχθεί προηγουμένως. Η μεμονωμένη μεταβλητότητα καθιστά δύσκολο να τεθούν τα ασφαλή και πρακτικά όρια έκθεσης σε αυξημένη μερική πίεση οξυγόνου. Η υπερκαπνία αυξάνει πολύ τον κίνδυνο τοξικότητας του κεντρικού νευρικού συστήματος, πιθανώς μέσω της επίδρασής της στην αύξηση της ροής του αίματος του

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

εγκεφάλου και συνεπώς των επιπέδων του οξυγόνου στον εγκέφαλο. Η σωματική άσκηση, όπως στις υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές, αυξάνει δραστικά τον κίνδυνο της τοξικότητας οξυγόνου στο κεντρικό νευρικό σύστημα, πιθανόν λόγω της αύξησης των επιπέδων του CO<sub>2</sub>. Τα όρια έκθεσης είναι μικρότερα σε αυτούς τους δύτες. Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι οι δύτες που κάνουν στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις είναι πολύ λιγότερο επιρρεπείς σε τοξικότητα οξυγόνου και αυτή η αντοχή τους ακόμα δεν έχει αποσαφηνιστεί. Ίσως να οφείλεται στη μεγαλύτερη τάση για υπερκαπνία που εμφανίζουν οι δύτες υγρών συγκολλήσεων και κοπών. Το βάθος επηρεάζει τη συχνότητα της εμφάνισης της πάθησης, ακόμα και όταν η μερική πίεση του οξυγόνου παραμένει σταθερή. Αυτό ίσως να οφείλεται στην αύξηση της πυκνότητας του αερίου και στα αυξημένα επίπεδα CO<sub>2</sub>.

Το πιο επικίνδυνο σύμπτωμα της τοξικότητας οξυγόνου είναι οι σπασμοί, όμοιοι με εκείνους της επιληπτικής κρίσης. Υπάρχουν όμως και κάποια προειδοποιητικά συμπτώματα που η αναγνώρισή τους μπορεί να αποτρέψει την έναρξη των σπασμών. Αυτά είναι:

- Διαταραχές στην όραση και στην ακοή
- Ναυτία και τάση για εμετό
- Μούδιασμα και συσπάσεις στα χείλη και σε άλλους μύες του προσώπου
- Αίσθημα σύγχυσης και άγχους
- Ζαλάδα και ασυνήθιστο αίσθημα κόπωσης
- Διαταραχές στην αναπνοή

Ο δύτες που έχει αρχίσει να νιώθει τα πρώτα συμπτώματα της τοξικότητας του οξυγόνου πρέπει αμέσως να αναδυθεί. Η μείωση της μερικής πίεσης οξυγόνου δεν αντιστρέφει στιγμιαία τις βιοχημικές αλλαγές στο κεντρικό νευρικό σύστημα που προκαλείται από τις υψηλές μερικές πιέσεις του οξυγόνου. Εάν ένα από τα πρόωρα συμπτώματα της τοξικότητας οξυγόνου εμφανιστεί, ο δύτες μπορεί να εμφανίσει σπασμούς ακόμα και μέχρι ένα ή δύο λεπτά αφού του έχει αφαιρεθεί το οξυγόνο υψηλής πίεσης. Αν ο δύτες αρχίσει να έχει σπασμούς ενώ είναι στο νερό, θα πρέπει να του δοθεί αμέσως χαμηλότερης πίεσης οξυγόνο, αν υπάρχει αυτή η δυνατότητα. Αν οι σπασμοί αρχίσουν μέσα στο θάλαμο αποσυμπίεσης, θα πρέπει να αφαιρεθεί άμεσα η μάσκα του οξυγόνου και να προσεχθεί να μη χτυπήσει σε κάποιο



#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

αντικείμενο και τραυματιστεί. Η πλήρη ανάρρωση ενός δύτη με σπασμούς διαρκεί 24 ώρες.

Ο πραγματικός μηχανισμός της τοξικότητας οξυγόνου παραμένει άγνωστος παρά τις πολλές θεωρίες και τη μεγάλη έρευνα. Η παρεμπόδιση της τοξικότητας οξυγόνου είναι σημαντική στους δύτες. Όταν η χρήση των υψηλών πιέσεων του οξυγόνου είναι συμφέρουσα ή απαραίτητη, οι δύτες πρέπει να πάρουν λογικές προφυλάξεις, όπως ότι η συσκευή αναπνοής βρίσκεται σε καλή κατάσταση, να τηρούν τα βάθη-χρονικά όρια, να αποφεύγουν την υπερβολική άσκηση και να προσέξουν τα πρώτα συμπτώματα που μπορεί να εμφανιστούν.

##### **4.2.10. Δηλητηρίαση μονοξειδίου του άνθρακα**

Το σώμα παράγει το μονοξείδιο του άνθρακα ως μέρος της διαδικασίας του μεταβολισμού. Συνεπώς, υπάρχει πάντα ένα μικρό ποσοστό μονοξειδίου του άνθρακα στο αίμα και στους ιστούς. Η δηλητηρίαση μονοξειδίου του άνθρακα εμφανίζεται όταν αυξάνονται τα φυσιολογικά επίπεδα του μονοξειδίου του άνθρακα στο αίμα και στους ιστούς λόγω της παρουσίας του στην παροχή αερίου του δύτη. Το μονοξείδιο του άνθρακα όχι μόνο εμποδίζει τη δυνατότητα της αιμοσφαιρίνης να παραδώσει οξυγόνο στα κύτταρα, προκαλώντας κυτταρική υποξία, αλλά και δηλητηριάζει τον μεταβολισμό άμεσα. Το μονοξείδιο του άνθρακα δεν βρίσκεται σε οποιαδήποτε σημαντική ποσότητα στον καθαρό αέρα. Η δηλητηρίαση μονοξειδίου του άνθρακα προκαλείται συνήθως από εισαγωγή του στην αναπνευστική συσκευή του δύτη είτε λόγω δυσλειτουργίας της είτε επειδή η παροχή του αερίου βρίσκεται κοντά σε κάποια εξάτμιση στην επιφάνεια. Χαμηλές συγκεντρώσεις, ακόμα και 0.2%, μπορούν να αποδειχθούν μοιραίες.

Τα συμπτώματα της δηλητηρίασης μονοξειδίου του άνθρακα είναι:

- Πονοκέφαλοι
- Ζαλάδα
- Σύγχυση
- Ναυτία και τάση για εμετό
- Συμπίεση στο μέτωπο
- Λιποθυμία

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

Όταν οι συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα είναι αρκετά υψηλές για να προκαλέσουν τη γρήγορη αρχή της δηλητηρίασης, το θύμα μπορεί να μην νοιώσει οποιοδήποτε σύμπτωμα προτού λιποθυμήσει. Η δηλητηρίαση μονοξειδίου του άνθρακα είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη επειδή τα συμπτώματα μπορούν να καθυστερήσουν έως ότου αρχίσει να αναδύεται ο δύτης. Σε βάθος η μεγαλύτερη μερική πίεση του οξυγόνου στην αναπνοή παρέχει περισσότερο οξυγόνο στο πλάσμα αίματος. Μερικό από αυτό το πρόσθετο οξυγόνο φθάνει στα κύτταρα και βοηθά να σταματήσει την κυτταρική υποξία. Επιπλέον, η αυξανόμενη μερική πίεση του οξυγόνου μετατοπίζει βίαια το μονοξείδιο του άνθρακα από την αιμοσφαιρίνη. Κατά τη διάρκεια της ανάδυσης, εντούτοις, καθώς η μερική πίεση του οξυγόνου μικραίνει, η πλήρης επίδραση της δηλητηρίασης μονοξειδίου του άνθρακα γίνεται αισθητή.

Η άμεση φροντίδα της δηλητηρίασης μονοξειδίου του άνθρακα αποτελείται από το να φτάσει ο δύτης στον καθαρό αέρα. Οξυγόνο, εάν είναι διαθέσιμο, πρέπει να χορηγηθεί αμέσως και να μεταφέρουμε τον ασθενή σε κλινική. Η υπερβαρική θεραπεία οξυγόνου είναι η οριστική θεραπεία της δηλητηρίασης και η μεταφορά σε θάλαμο αποσυμπίεσης δεν πρέπει να καθυστερήσει. Για την αποφυγή της θα πρέπει να είμαστε σίγουροι ότι η παροχή του αερίου δεν είναι μολυσμένη με μονοξείδιο του άνθρακα.

##### **4.2.11. Νόσος εξ' αποσυμπίεσης ή νόσος των δυτών**

Μία από τις μεγαλύτερες απειλές, η νόσος εξ' αποσυμπίεσης, αποτελεί απόρροια σχηματισμού φυσαλίδων στους ιστούς του ανθρώπινου σώματος λόγω απότομης ελάττωσης της πίεσης του περιβάλλοντος. Τα συμπτώματα κυμαίνονται από αρθραλγίες μέχρι σοβαρότατου βαθμού νευρολογικά ή αναπνευστικά προβλήματα και ταξινομούνται ανάλογα με τη βαρύτητά τους σε τύπου I και τύπου II. Η επανασυμπίεση, σε συνδυασμό με υπερβαρική οξυγονοθεραπεία, αποτελούν την κύρια θεραπεία, ενώ συνιστάται η αποφυγή παραβίασης του μηδενικού χρόνου κατάδυσης και η σχολαστική τήρηση των προφυλακτικών μέτρων.

Η νόσος της αποσυμπίεσης αποτελεί πιθανόν τον μεγαλύτερο κίνδυνο των καταδύσεων και οι συνέπειές της ανταγωνίζονται σε σοβαρότητα την εμβολή αέρα. Και ενώ η εμβολή απειλεί κατά πρώτο λόγο τους αρχάριους, η νόσος των δυτών

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

μπορεί να εκδηλωθεί και στον πιο έμπειρο δύτη, αν αυτός δείξει υπερβολική εμπιστοσύνη στον εαυτό του ή παραβλέψει τους κανόνες ασφαλείας.

Στην Ελλάδα η νόσος των δυτών είναι ιδιαίτερα γνωστή. Ο απολογισμός των θυμάτων της είναι μεγάλος και αυτό γιατί η σπογγαλιεία, η οποία απασχόλησε ένα μεγάλο μέρος του νησιώτικου πληθυσμού μας, αναπτύχθηκε κατά τρόπο εντελώς εμπειρικό κι ανεύθυνο. Στην Κάλυμνο, τη Σύμη, την Ύδρα και σε πολλά άλλα νησιά δεν είναι σπάνιο το θέαμα ανδρών, νέων και γέρον, με παράλυση κάθε μορφής. Και είναι άφθονες οι ιστορίες των σφουγγαράδων που χάθηκαν από τη νόσο των δυτών στα βόρεια παράλια της Αφρικής ή στις Ελληνικές θάλασσες. Πολλές φορές οι ήρωες αυτοί του βυθού, οι οποίοι εργάζονταν με ποσοστά, τύχαινε να βρουν το βυθό στρωμένο με σφουγγάρια κι έτσι έμεναν εκεί μέχρι να γεμίσει το δίχτυ τους.

Η νόσος αρχίζει με τον σχηματισμό φυσαλίδων αζώτου ή αδρανούς αερίου μέσα στους ιστούς. Θεωρητικά μπορούν να σχηματιστούν σε όλο το σώμα όπου απορροφήθηκε άζωτο, κλινική όμως απήχηση υπάρχει μόνο από τους ιστούς στους οποίους αυτό διαλύεται περισσότερο και άρα οι φυσαλίδες είναι άφθονες. Επειδή η διαλυτότητα του αζώτου στα λιποειδή είναι πενταπλάσια από εκείνη στο νερό, ο ιστός στον οποίο αυτό διαλύεται περισσότερο είναι ο νευρικός ιστός, ο οποίος είναι πλούσιος σε λιποειδή. Από τον νόμο του Henry είναι γνωστό ότι η διαλυτότητα των αερίων εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη μερική πίεση του αερίου. Η κίνηση του αέρα, και άρα του αζώτου, από τον ατμοσφαιρικό αέρα προς το εσωτερικό του οργανισμού, ακολουθεί την κατεύθυνση από τις κυψελίδες στο αίμα και κατόπιν στους ιστούς. Κατά την κατάδυση, ο δύτης εισπνέει από τη συσκευή του αέρα, του οποίου η πίεση μεταβάλλεται ανάλογα με το βάθος. Έτσι, λόγω της αύξησης της μερικής πίεσης του προσλαμβανόμενου αζώτου μέσα στις πνευμονικές κυψελίδες σε σχέση με το αίμα, περνά το άζωτο στο αίμα αλλά και στους ιστούς. Η διάχυση του αζώτου στους ιστούς φτάνει μια μέγιστη συγκέντρωση, οπότε θεωρείται κορεσμένη. Η μέγιστη αυτή χωρητικότητα κάθε ιστού σε άζωτο αυξάνεται ανάλογα με το βάθος της κατάδυσης και προσδιορίζεται από τη θερμοκρασία και το χρόνο. Κατά την ανάδυση, όταν η πίεση του εισπνεόμενου αέρα ελαττώνεται, το άζωτο ακολουθεί αντίστροφη πορεία, δηλαδή από τους ιστούς περνά στο αίμα, στη συνέχεια στις κυψελίδες και αποβάλλεται στο περιβάλλον. Σε περίπτωση που η ελάττωση της πίεσης γίνει βαθμιαία και σταδιακά, δηλαδή η ταχύτητα ανάδυσης δεν ξεπερνά ορισμένα όρια, τα διαλυμένα στο αίμα, αέρια ανάμεσά τους και το άζωτο,

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

μετακινούνται στους πνεύμονες για να αποβληθούν. Αν όμως η ανάδυση γίνει απότομα, η αποδέσμευσή τους δεν γίνεται μόνο στην περιοχή των πνευμόνων, αλλά μέσα σε ολόκληρο το κυκλοφορικό σύστημα και τους ιστούς που τα είχαν απορροφήσει. Το αποτέλεσμα είναι το διαλυμένο στους ιστούς άζωτο να διαστέλλεται και να παίρνει τη μορφή φυσαλίδων. Το φαινόμενο είναι ανάλογο με την εκπομάτιση φιάλης αεριούχου ποτού.

Οι φυσαλίδες μαζί με τις άλλες διαταραχές στη ροή και πήξη του αίματος αποτελούν την κύρια αιτία της νόσου της αποσυμπίεσης και οι προκαλούμενες βλάβες εξαρτώνται από την εντόπισή τους. Οι ενδοκυττάρια φυσαλίδες προκαλούν ρήξη των κυττάρων και αποκλεισμό των μεσοκυττάρων χώρων και οι ενδοαγγειακές φυσαλίδες, αντίστοιχα, εμβολές ή και ρήξη των αγγείων. Εάν συμβεί ρήξη των λιποκυττάρων, προκαλούνται τοπικές εμβολές ή απομακρυσμένες, όπως για παράδειγμα στον μυελό των οστών.

Η ύπαρξη οποιουδήποτε συμπτώματος μετά από έκθεση σε περιβάλλον αυξημένων πιέσεων, όσο ασυνήθιστο κι αν είναι, πρέπει να θεωρείται και να αντιμετωπίζεται ως νόσος εξ αποσυμπίεσης μέχρι της αποδείξεως του εναντίου. Τα συμπτώματα εξαρτώνται από το πού θα σχηματιστούν φυσαλίδες, το μέγεθός τους και τον αριθμό τους, και από το προς τα πού τελικά θα καταλήξουν και θα συσσωρευτούν. Συνήθως στο 50% των περιπτώσεων εμφανίζονται μέσα σε 60 λεπτά από την ανάδυση, ενώ στο 90% των περιπτώσεων μέσα σε 6 ώρες.

Διακρίνουμε δύο κατηγορίες ή τύπους της ασθένειας που ονομάζονται ανάλογα με τον τρόπο θεραπείας. Η νόσος της αποσυμπίεσης μπορεί να εκδηλωθεί με δύο κατηγορίες συμπτωμάτων, τα ονομαζόμενα τύπου I και τύπου II. Στα πρώτα ανήκουν το μυοσκελετικό άλγος, τα δερματικά συμπτώματα και οι εκδηλώσεις στο λεμφικό σύστημα. Στα τύπου II ανήκουν σοβαρότερες καταστάσεις και έκτοτε βαριές, δηλαδή η πνευμονολογική και νευρολογική μορφή της νόσου, ωτιαία μορφή σοκ, έντονη κόπωση, άλγος στην κοιλιά, στο στήθος και στη μέση. Οι προδιαθεσικοί παράγοντες της νόσου εξ αποσυμπίεσης συνοψίζονται στους εξής:

- Υπέρβαρα άτομα με 30% περισσότερο λίπος
- Κατανάλωση αλκοολούχων ποτών
- Κατανάλωση φαρμάκων και χρήση ναρκωτικών ουσιών
- Κόπωση και ψυχολογική καταπόνηση
- Υποθερμία

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

- Λοιμώξεις του αναπνευστικού
- Αφυδάτωση
- Σωματική άσκηση

### ΤΥΠΟΣ Ι

#### Σκελετικό άλγος

Η πιο συνηθισμένη μορφή είναι το άλγος (70% των περιπτώσεων) που εισβάλλει βαθμιαία, αυξάνεται και μεταναστεύει. Συχνή είναι η εμφάνιση μυαλγιών στα άκρα, αρθραλγιών και οστικών πόνων που οφείλονται σε οστικές νεκρώσεις. Η προσβολή των άνω άκρων είναι συχνότερη με τριπλάσια αναλογία στους ερασιτέχνες, ενώ συμβαίνει το αντίθετο στους επαγγελματίες. Ο πόνος είναι συνήθως περιαρθρικός και ποικίλει σε ένταση από δυνατός έως ανυπόφορος και σπάνια συνοδεύεται από οίδημα της άρθρωσης. Πριν από την εισβολή του άλγους είναι δυνατή η εμφάνιση παραισθησίας και αιμωδίας. Η θερμοκρασία του δέρματος ελαττώνεται λόγω της τοπικής ισχαιμίας. Προσβάλλονται όλες οι αρθρώσεις εκτός της στερνοκλειδικής, με μεγαλύτερη συχνότητα σε κείνη του ώμου, ενώ η προσβολή δεν είναι συμμετρική. Το άλγος αποδίδεται σε παγίδευση φυσαλίδων στους τένοντες και συνδέσμους γύρω από τις αρθρώσεις και μέσα στο μυελό των οστών, καθώς δεν μπορούν να διαφύγουν από το κώλυμα της σκληρής φλοιώδους ουσίας.

#### Δερματικά συμπτώματα

Εμφανίζονται είτε ως παροδική κνίδωση, είτε με δερματικές κυκλοφορικές εκδηλώσεις. Η παροδική κνίδωση είναι γνωστή στους αυτοδύτες που βρέθηκαν στον θάλαμο αποσυμπίεσης. Πρόκειται για ένα εξάνθημα σαν της ιλαράς που μπορεί να συρρέει και να εντοπίζεται σε όλο το σώμα. Αποδίδεται στο σχηματισμό φυσαλίδων μέσα στους εκκριτικούς πόρους των ιδρωτοποιών αδένων κατά τη γρήγορη ανάδυση και δεν απαιτείται θεραπεία. Προηγείται έντονος κνησμός και ύστερα από λίγα λεπτά μέχρι μία ώρα εμφανίζεται ένα ερυθρό εξάνθημα που παίρνει τη μορφή μωσαϊκού αν δεν υποβληθεί σε θεραπεία. Αποχωρεί αμέσως με επανασυμπίεση και φεύγει μόνο του μετά από 2 – 3 ημέρες. Οι δερματικές παθήσεις φαίνεται ότι είναι συχνότερες σε παχύσαρκα άτομα.

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

##### Συμπτώματα στο λεμφικό σύστημα

Συναντάται διόγκωση των λεμφαδένων και εμφάνιση οιδήματος, κυρίως πάνω σε επίπεδες επιφάνειες των άκρων, τα οποία και χωρίς εμφάνιση πόνου δίνουν ξεκάθαρη ένδειξη λεμφικής απόφραξης. Το δέρμα έχει συχνά ένδειξη σκούρο πορτοκαλί. Τα συμπτώματα αυτά απομακρύνονται μέσα στο θάλαμο αποσυμπίεσης.

## **ΤΥΠΟΣ II**

##### Συμπτώματα στο νευρικό σύστημα

Αποτελούν τα σοβαρότερα συμπτώματα της νόσου και προέρχονται από τη συσσώρευση φυσαλίδων στα αγγεία του νωτιαίου μυελού, του εγκεφάλου και των περιφερικών νεύρων, οδηγώντας σε σοβαρές διαταραχές της αιμάτωσης και λειτουργίας τους. Έτσι εμφανίζονται πόνοι, παραισθησίες ή υπαισθησίες στο σώμα, παράσεις ή παραλύσεις των άκρων, διαταραχές των αισθητηρίων οργάνων, ίλιγγος, ημιπληγία, απώλεια συνείδησης ή και θάνατος. Είναι δυνατό να εντοπιστούν με βυθοσκόπηση φυσαλίδες στα αγγεία του βυθού του οφθαλμού, υπό τη μορφή κενών που κυκλοφορούν στο αίμα. Εάν δεν επέλθει ο θάνατος άμεσα, τα συμπτώματα από τον εγκέφαλο παρέρχονται και δεν αφήνουν υπολείμματα, λόγω της πλούσιας αιμάτωσης του εγκεφάλου, χάρη στην οποία γίνεται εύκολα και γρήγορα η αποκομιδή αζώτου. Αντίθετα, ο νωτιαίος μυελός με τη φτωχή, σε σχέση με την εγκεφαλική, αιμάτωση προσβάλλεται συχνότερα, ιδιαίτερα η κατώτερη θωρακική, ανώτερη οσφυϊκή και κατώτερη αυχενική μοίρα του κατά σειρά φθίνουσας συχνότητας. Για τον λόγο αυτό παραλυτικά φαινόμενα παρουσιάζονται συχνότερα από τα κάτω άκρα, το ορθό, την κύστη, τα γεννητικά όργανα και αραιότερα από τα άνω άκρα.

Η προσβολή και κλινική εικόνα εξελίσσεται σε γενικές γραμμές ως εξής : ο δύτης μετά την ανάδυση και επαφή με τον ελεύθερο αέρα, γίνεται ωχρός και αισθάνεται παροδικό άλγος στον αυχένα, αιμωδία αρχικά στο ένα σκέλος και στη συνέχεια στο άλλο. Στη συνέχεια εκδηλώνεται δυσχέρεια κατά τη μετακίνηση. Η πλήρης παράλυση τελικά εγκαθίσταται. Συνοδεύεται συνήθως από έντονα άλγη και κατακράτηση ούρων. Αν η περίπτωση είναι βαριά, εξελίσσεται σε συστηματική παραπληγία με διαταραχές της λειτουργίας των σφιγκτήρων. Στις περισσότερες περιπτώσεις η εισβολή είναι ταχεία και τα συμπτώματα ολοκληρώνονται κατά την

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

ανάδυση ή και μετά από έξι ώρες. Η εξέλιξη αυτή ωστόσο ανακόπτεται πλήρως ή μερικώς αν ο ασθενής υποβληθεί σε έγκαιρη επανασυμπίεση στον θάλαμο.

##### Συμπτώματα στο καρδιοαναπνευστικό σύστημα

Η εμβολή με φυσαλίδες αέρα των στεφανιαίων αγγείων μπορεί να οδηγήσει σε έμφραγμα του μυοκαρδίου. Επίσης, μπορεί να εμφανιστεί έντονη δύσπνοια ή ακόμη και πνευμονικό οίδημα, εξ' αιτίας αερώδους εμβολής στα πνευμονικά τριχοειδή.

##### Θεραπεία

Για πολλά χρόνια η νόσος των δυτών θεραπευόταν εντελώς εμπειρικά. Μόλις δηλαδή ο δύτης έφτανε στην επιφάνεια και παρουσίαζε συμπτωματολογία ύποπτη, βυθιζόταν αμέσως με το σκάφανδρο του μέχρι το βάθος που βρισκόταν προηγουμένως και από εκεί ανασυρόταν πολύ αργά χωρίς να τηρείται κάποιος ειδικός κανόνας. Βέβαια τα αποτελέσματα ήταν αποκαρδιωτικά όπως αποδεικνύει η δραματική ιστορία της ελληνικής σπογγαλιείας, με το πλήθος των νεκρών και αναπήρων της. Παρ' όλα αυτά, η πρωτόγονη αυτή μέθοδος σε έκτακτες περιπτώσεις εφαρμόζεται ακόμη και τώρα ως λύση απελπισίας.

Σήμερα η νόσος των δυτών θεραπεύεται με εντελώς σύγχρονο και επιστημονικό τρόπο στο θάλαμο αποσυμπίεσης. Το υπερβαρικό οξυγόνο αποτελεί το πρωταρχικό θεραπευτικό μέσο σε περιπτώσεις νόσου εξ' αποσυμπίεσης, εμβολής αέρα και αεριογόνου γάγγραινας και συμβάλλει στο σχηματισμό νέων τριχοειδών αγγείων, εντείνει τη λειτουργία των λευκών αιμοσφαιρίων και αυξάνει τη συγκέντρωση οξυγόνου στους ιστούς και τα υγρά του σώματος. Ο ασθενής τοποθετείται σε αυτόν, μακριά από κάθε άλλο κίνδυνο και υπό την άμεση παρακολούθηση του γιατρού υποβάλλεται σε επανασυμπίεση. Οι φυσαλίδες του αζώτου διαλύονται πάλι στο αίμα, η κυκλοφορία ελευθερώνεται, τροφοδοτούνται οι ισχαιμικές περιοχές και τα συμπτώματα υποχωρούν. Έχει επιπλέον αναφερθεί περιστατικό θεραπείας με επανασυμπίεση, κατά το οποίο ο δύτης παρουσίαζε νευρολογικά συμπτώματα τύπου II νόσου εξ' αποσυμπίεσης, ενώ παράλληλα διεγνώσθη – μέσω οσφυϊκής παρακέντησης – ιογενής μηνιγγίτιδα. Η θεραπεία συνδυάζεται στην αρχική φάση με φαρμακευτική αγωγή και στην αποκατάσταση με

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

φυσικοθεραπεία που παίζει πολύ σοβαρό ρόλο ως προς την τελική έκβαση, ειδικά στα βαριά περιστατικά με συμμετοχή του νωτιαίου μυελού.

Θα πρέπει επιπλέον να αναφερθεί ο σημαντικός ρόλος και η αξιοπιστία της μαγνητικής τομογραφίας στη διάγνωση και πρόγνωση της νόσου, καθώς επίσης και στην ανίχνευση παθολογικών μεταβολών στο νωτιαίο μυελό, δυνατότητα η οποία δεν παρέχεται από άλλες νευρολογικές μεθόδους. Είναι ακόμη αποδεδειγμένη η χρησιμότητά της κατά τη διάρκεια των θεραπευτικών υπερβαρικών επανασυμπιέσεων και η συμβολή της στην παρακολούθηση οποιασδήποτε υποχώρησης και αποκατάστασης των βλαβών. Μια άλλη μελέτη δίνει έμφαση στη χρήση της διοισοφάγειας υπερηχοκαρδιογραφίας, υποστηρίζοντας ότι η ευρεία εφαρμογή της μεθόδου θα μπορούσε να συμβάλλει στη διαμόρφωση πληρέστερης εικόνας της φυσιοπαθολογίας της νόσου εξ' αποσυμπίεσης. Η μεταφορά στον θάλαμο αποσυμπίεσης πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν ταχύτερα, γιατί κάθε καθυστέρηση επιβαρύνει την εξέλιξη του ασθενούς. Υπάρχουν ωστόσο αναφορές για καθυστερημένες αλλά επιτυχημένες επανασυμπιέσεις. Ο σκοπός της θεραπείας στο θάλαμο αποσυμπίεσης είναι:

- Η επαναδιάλυση των φυσαλίδων
- Η αποκατάσταση των αιματολογικών και αιμοδυναμικών παραμέτρων
- Η αργή αποσυμπίεση
- Η ταυτόχρονη οξυγόνωση των ισχαιμικών περιοχών
- Η αποκατάσταση γενικά των λειτουργιών

#### Αντιμετώπιση

Η αντιμετώπιση περιλαμβάνει τη χρήση θεραπευτικών πρωτοκόλλων που καθορίζουν λεπτομερώς το βάθος και τη διάρκεια, ανάλογα με την αξιολόγηση των περιστατικών και της πορείας του. Υπάρχουν βασικά τρεις κατηγορίες θεραπευτικών πρωτοκόλλων. Αυτά που χρησιμοποιούν αέρα, οι πίνακες O<sub>2</sub> και οι πίνακες με μίγματα N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-HeO<sub>2</sub> κ.λπ. Έστερα, με βάση αυτά τα θεραπευτικά πρωτόκολλα, γίνεται επανασυμπίεση σε καθορισμένο βάθος, ανάλογα με τα συμπτώματα της νόσου και ακολουθεί προγραμματισμένη ελάττωση της πίεσης, ώστε να γίνει προοδευτική αποβολή του αζώτου από το αίμα.

Έχει διαπιστωθεί όμως αξιοσημείωτη αύξηση της ενδοοφθαλμικής πίεσης, ασθενών με ενδοοφθαλμικές φυσαλίδες ως αποτέλεσμα έκθεσής τους σε υπερβαρικό



#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

περιβάλλον. Γι' αυτό το λόγο δεν συνιστάται η αντιμετώπισή τους με υπερβαρική θεραπεία. Η σωτηρία είναι σχεδόν βέβαιη όταν η θεραπεία γίνει σωστά μέσα στο θάλαμο. Η ταχύτητα μεταφοράς του ασθενούς αποτελεί αναμφισβήτητα τον αποφασιστικότερο παράγοντα. Κατά τη μεταφορά ο ασθενής θα πρέπει να μείνει κατακλιμένος στην αριστερή πλευρά και θέση ανάτροπο, ώστε ο αέρας που παραμένει στην κυκλοφορία να παγιδευτεί στην κορυφή της αριστερής ή δεξιάς κοιλίας και να απορροφηθεί. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί η μεταφορά ασθενούς με ελικόπτερο, η οποία δεν πρέπει να ξεπερνά τα 300 m ύψος για να μην επιδεινωθεί η κατάσταση με περαιτέρω διαστολή των φυσαλίδων, λόγω υποβαρικού περιβάλλοντος.

#### Προφύλαξη, προληπτική αποσυμπίεση

Η άγνοια και αδιαφορία για σχολαστική τήρηση των προφυλακτικών μέτρων εναντίον της νόσου των δυτών, ισοδυναμεί ούτε λίγο ούτε πολύ με αυτοκτονία. Η βαθιά κατάδυση δεν είναι τόλμημα για ένα σωστά εκπαιδευμένο και έμπειρο δύτη, ο οποίος κατέχει με λεπτομέρεια και εφαρμόζει τις απαραίτητες προϋποθέσεις.

Αν το βάθος και η διάρκεια της κατάδυσης είναι τέτοια, που να έχουν ως αποτέλεσμα τη διάλυση μεγάλης ποσότητας αζώτου μέσα στο αίμα, η ανάδυση πρέπει να γίνει έτσι που να μην απελευθερωθεί απότομα το άζωτο, αλλά να του δοθεί ο χρόνος να φύγει σιγά σιγά και φυσιολογικά από τους πνεύμονες. Πρέπει, δηλαδή, κατά την ανάδυση, τόσο η εσωτερική πίεση όσο και η πίεση του εισπνεόμενου αέρα, να ελαττωθούν βαθμιαία και συστηματικά. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της προληπτικής αποσυμπίεσης, η οποία χωρίζεται σε κοινή και κύρια προληπτική αποσυμπίεση.

Η κοινή αποσυμπίεση εφαρμόζεται σε κάθε κατάδυση, ανεξάρτητα από το βάθος της και έχει σχέση με την ταχύτητα ανάδυσης η οποία δεν πρέπει να ξεπερνά τα 10 m/min. Η κύρια αποσυμπίεση εφαρμόζεται όταν το βάθος και η διάρκεια της κατάδυσης ξεπεράσουν ορισμένα όρια και δεν αρκεί η κοινή για την απαλλαγή του αίματος από το διαλυμένο άζωτο. Έτσι γίνονται στάσεις κατά διαστήματα σε διάφορα βάθη, σύμφωνα με τα διάφορα πρωτόκολλα.

Μια σημαντική έρευνα για τη νόσο εξ αποσυμπίεσης πραγματοποιήθηκε από το 1989 –1995 στην Αμερικανική στρατιωτική κοινότητα της νήσου Okinawa στην Ιαπωνία. Αναφέρθηκαν 94 περιπτώσεις νόσου εξ αποσυμπίεσης εκ των οποίων 10

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

αφορούσαν εμβολή αέρα στον εγκέφαλο και 9 θανατηφόρα καταδυτικά περιστατικά σε μια αναλογία 13.4 και 1.3 ανά 100.000 καταδύσεις ετησίως, αντίστοιχα. Τα περιστατικά νόσου εξ αποσυμπίεσης εκτιμήθηκαν σε 1/7.000 καταδύσεις και σε ετήσια βάση 1/37.300, ενώ τα θανατηφόρα περιστατικά σε 1/76.900. Η στατιστική επεξεργασία των καταδυτικών ατυχημάτων απέδειξε ότι αυτά παρατηρήθηκαν τόσο για βάθος κατάδυσης μεγαλύτερο των 24.6 m, όσο και για μικρότερο. Αυξημένος κίνδυνος για εμφάνιση νόσου εξ αποσυμπίεσης σε μεγαλύτερα των 24.6 m βάθη συσχετίστηκε με παραβίαση και αθέτηση των ορίων συμπίεσης, των καταδυτικών κανονισμών καθώς και των μηδενικών χρόνων, ενώ διαφορετικοί παράγοντες κινδύνου συσχετίστηκαν με καταδυτικά ατυχήματα σε μικρότερα των 24.6 m βάθη, όπως ψυχολογική καταπόνηση και ψυχογενές άγχος του καταδυόμενου. Αθέτηση των καταδυτικών κανονισμών ορίων συμπίεσης και παραμονής στο βυθό εκτιμήθηκε για 24 από τις 94 περιπτώσεις σε ποσοστιαία αναλογία 26% όλων των καταδυτικών ατυχημάτων. Η αντιμετώπιση με υπερβαρική οξυγονοθεραπεία οδήγησε σε ανάρρωση και ανάκαμψη το 91% των περιστατικών, αλλά στο 67% των δυτών που απαιτήθηκε συνέχιση της οξυγονοθεραπείας, παρέμειναν χρόνια συμπτώματα νόσου εξ αποσυμπίεσης.

##### 4.2.11. Θερμικά προβλήματα στις καταδύσεις

Το ανθρώπινο σώμα λειτουργεί αποτελεσματικά μόνο μέσα σε ένα στενό εύρος εσωτερικής θερμοκρασίας. Η μέση ή κανονική εσωτερική θερμοκρασία των 37°C διατηρείται από τους φυσικούς μηχανισμούς του σώματος, που βοηθούνται από τεχνητά μέτρα όπως η χρήση του προστατευτικού ιματισμού. Τα θερμικά προβλήματα, που προκύπτουν από την έκθεση του δύτη στις διάφορες θερμοκρασίες του νερού, θέτουν μια σημαντική παράμετρο στο σχεδιασμό των καταδύσεων και την επιλογή του εξοπλισμού. Ο χρόνος της κατάδυσης μπορεί να περιοριστεί περισσότερο από την ευαισθησία ενός δύτη στη θερμότητα ή στο κρύο παρά από την έκθεσή του στις αυξανόμενες μερικές πιέσεις του οξυγόνου ή από το ποσοστό αποσυμπίεσης που απαιτείται.

Οι διαδικασίες μεταβολισμού του σώματος παράγουν συνεχώς θερμότητα. Εάν η θερμότητα αυξηθεί στο εσωτερικό του σώματος, θα προκαλέσει ζημιά στα κύτταρα. Για να διατηρηθεί η εσωτερική θερμοκρασία στο κατάλληλο επίπεδο, το

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

σώμα πρέπει να χάνει θερμότητα ίση με αυτή που παράγει. Η αποβολή της θερμότητας επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους, είτε μέσω της αναπνοής, είτε μέσω του δέρματος, είτε μέσω του ιδρώτα. Η διατήρηση της κατάλληλης θερμοκρασίας του σώματος είναι ιδιαίτερα δύσκολη σε δύτες που πραγματοποιούν εργασίες υποβρυχίως. Το κύριο πρόβλημα είναι η διατήρηση του σώματος ζεστού. Η υψηλή θερμική αγωγιμότητα του νερού, που συνοδεύεται συνήθως από κρύα νερά στα οποία οι δύτες αναπτύσσουν δραστηριότητες, μπορεί να οδηγήσει στη γρήγορη και υπερβολική απώλεια θερμότητας.

#### Υπερθερμία

Υπερθερμία είναι η αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος. Η υπερθερμία θα πρέπει να θεωρείται ως πιθανός κίνδυνος για θερμοκρασίες νερού μεγαλύτερες των 28°C. Για αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας ίση με 1°C πάνω από τη φυσιολογική πρέπει να θεωρηθεί ότι ο δύτες έχει εμφανίσει υπερθερμία, ενώ για εσωτερική θερμοκρασία πάνω από 39°C ο δύτες έχει πάθει σύγχυση. Οι δύτες που είναι ευαίσθητοι στην υπερθερμία είναι ανίκανοι να αποβάλουν τη θερμότητα των σωμάτων τους. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε υψηλές θερμοκρασίες νερού, στα προστατευτικά ενδύματα, στο ποσοστό εργασίας και στη διάρκεια της κατάδυσης. Η έκθεση σε υψηλή θερμοκρασία πριν την κατάδυση μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αφυδάτωση και να βάλει τον δύτε σε μεγαλύτερο κίνδυνο υπερθερμίας. Τα συμπτώματα της υπερθερμίας είναι:

- Υψηλός ρυθμός αναπνοής και υψηλοί καρδιακοί παλμοί
- Αίσθηση έντονης ζέστης
- Ανικανότητα να σκεφτεί καθαρά
- Κόπωση
- Πονοκέφαλοι
- Ναυτία
- Κράμπες στους μύες
- Σύγχυση
- Λιποθυμία

Η φροντίδα όλων των περιπτώσεων υπερθερμίας περιλαμβάνει προσπάθειες να μειωθεί η εσωτερική θερμοκρασία δροσίζοντας το θύμα. Σε ήπια περίπτωση η

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

ψύξη πρέπει να αρχίσει αμέσως με την αφαίρεση του ιματισμού του θύματος, τον ψεκασμό του με δροσερό νερό και έπειτα αέρισμα. Αυτό προκαλεί μια μεγάλη αύξηση στην εξατμιστική ψύξη. Πρέπει να αποφεύγεται η βύθιση ολόκληρου του σώματος σε κρύο νερό ή το τρίψιμο με πάγο, δεδομένου ότι αυτό θα προκαλέσει αγγειοσυστολή που θα μειώσει τη ροή του αίματος του δέρματος και μπορεί να επιβραδύνει την απώλεια της θερμότητας. Πάγος στον λαιμό, στη μασχάλη ή στον βουβώνα μπορούν να βοηθήσουν. Η κατάποση υγρών πρέπει να αρχίσει μόλις το θύμα μπορεί να πει και να συνεχιστεί έως ότου έχει ουρήσει για να καθαρίσει τα ούρα του. Εάν τα συμπτώματα δεν βελτιώνονται, το θύμα θα πρέπει να μεταφερθεί σε κλινική. Βαριά υπερθερμία είναι μια ιατρική έκτακτη ανάγκη.

Εγκλιματισμός, επαρκής υδάτωση, εμπειρία, και κοινή λογική, όλα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην παρεμπόδιση της υπερθερμίας. Πρέπει να αποφεύγεται η έκθεση στον ήλιο πριν την κατάδυση και τα ρούχα που φοριούνται να είναι τα ελάχιστα δυνατά. Η επαρκής υδάτωση είναι ουσιαστική. Τα αλκοολούχα ποτά ή η καφεΐνη πρέπει να αποφεύγονται δεδομένου ότι προκαλούν αφυδάτωση. Τα φάρμακα που περιέχουν αντισταμινικά ή η ασπιρίνη δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε τυχόν κατάδυση σε θερμό νερό. Τα φυσικά κατάλληλα άτομα είναι εκείνα με τα χαμηλότερα επίπεδα λίπους στο σώμα τους, καθώς είναι λιγότερο πιθανό να αναπτύξουν υπερθερμία.

#### Υποθερμία

Υποθερμία είναι η πτώση της εσωτερικής θερμοκρασίας του σώματος και είναι ένας πιθανός κίνδυνος όταν πραγματοποιούνται υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές σε κρύα νερά. Η αντίδραση ενός δύτη στη βύθισή του σε κρύο νερό εξαρτάται από τον βαθμό της θερμικής προστασίας που φοράει και από τη θερμοκρασία του νερού. Μια θερμοκρασία νερού περίπου 33°C απαιτείται για να κρατήσει ένα μη προστατευμένο, χωρίς σωματική άσκηση δύτη σε μια σταθερή θερμοκρασία. Ο μη προστατευμένος δύτης θα επηρεαστεί από την υπερβολική απώλεια θερμότητας μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα σε θερμοκρασίες νερού κάτω από 23°C.

Η υποθερμία στην κατάδυση εμφανίζεται όταν η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του νερού και της θερμοκρασίας του σώματος είναι αρκετά μεγάλη για να χάσει το σώμα περισσότερη θερμότητα από αυτή που παράγει. Η σωματική

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

εργασία υποβρυχίως επιταχύνει την πτώση της θερμοκρασίας. Τα συμπτώματα της υποθερμίας φαίνονται στο παρακάτω πίνακα:

<b>Εσωτερική θερμοκρασία</b>	<b>Συμπτώματα</b>
°C	
37	Αίσθηση του κρύου, αγγειοδιαστολή του δέρματος, αυξημένη ένταση των μυών, αυξημένη κατανάλωση οξυγόνου
36	Σποραδικό τρέμουλο, αφίδρωση, κυάνωση χειλιών και νυχιών
35	Σύγχυση, ανικανότητα να σκεφτεί λογικά, πιθανός πνιγμός, μειωμένη θέληση να αγωνιστεί
34	Απώλεια μνήμης, λεκτική ανικανότητα, εξασθένιση λειτουργίας οργάνων, δυσκολία κινήσεων
33	Παραισθήσεις, ημι-λιποθυμία, εξασθένιση του τρέμουλου
32	Αρρυθμίες της καρδιάς
31	Το τρέμουλο σταματά και η νοητική του κατάσταση είναι τέτοια που δε μπορεί να αναγνωρίσει ούτε τα κοντινά του πρόσωπα
30	Μούδιασμα μυών και καμία απόκριση στο πόνο
29	Λιποθυμία
27	Κοιλιακός ινιδισμός, ελάχιστοι χτύποι της καρδιάς, οι μύες έχουν χαλαρώσει τελείως
26	Θάνατος

*Πίνακας 4.1: Συμπτώματα υποθερμίας*

Μόλις ο δύτης ανέβει στην επιφάνεια, την ήπια υποθερμία μπορούμε να την αντιμετωπίσουμε αφαιρώντας τη βρεγμένη στολή του, τρίβοντάς τον με μια κουβέρτα, τοποθετώντας τον σε ένα ζεστό και προστατευμένο από τον αέρα μέρος, όπως το μηχανοστάσιο και με ζεστό μπάνιο. Για πιο δριμεία υποθερμία, πρέπει ο δύτης να ξαπλώσει, να προσπαθήσουμε να τον ζεστάνουμε τρίβοντάς τον (ποτέ με ζεστό μπάνιο) και να τον μεταφέρουμε στο πλησιέστερο νοσοκομείο.

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

Η υποθερμία μπορεί να είναι ύπουλη και να προκαλέσει προβλήματα χωρίς να το αντιληφθεί ο δύτης. Ο δύτης πρέπει να φοράει την κατάλληλη θερμική προστασία με βάση τη θερμοκρασία του νερού και του χρόνου έκθεσής του. Η κατάλληλη στολή μπορεί πολύ να μειώσει την απώλεια της θερμότητας και ένας δύτης μπορεί να εργαστεί σε πολύ κρύο νερό για λογικές χρονικές περιόδους. Εγκλιματισμός, επαρκής υδάτωση, εμπειρία και κοινή λογική, όλα διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο στην παρεμπόδιση της υποθερμίας. Η απώλεια θερμότητας μέσω της αναπνευστικής οδού γίνεται ολοένα και περισσότερο σημαντικός παράγοντας στην κατάδυση σε μεγάλα βάθη. Τα εισπνεόμενα αέρια θερμαίνονται στην ανώτερη αναπνευστική οδό και περισσότερη ενέργεια απαιτείται για να θερμάνει τα πυκνότερα αέρια που εμφανίζονται σε μεγάλο βάθος. Στην πραγματικότητα, μια αναπνευστική προσβολή μπορεί να προκληθεί εάν ένας δύτης αναπνέει κρύο αέριο βουτώντας σε κρύο νερό. Η θέρμανση του αναπνευστικού αερίου απαιτείται σε τέτοιες καταστάσεις.

##### Θερμικός ίλιγγος

Δεν είναι απαραίτητο να σπάσει το τύμπανο για να εμφανιστεί. Η συνηθισμένη αιτία είναι μια στενή κουκούλα των wetsuit που επιτρέπει την κρύα πρόσβαση νερού στο ένα αυτί, αλλά όχι στο άλλο. Μπορεί επίσης να εμφανιστεί όταν εμποδίζεται το ένα από φυσικό κερί. Τα συμπτώματα είναι έντονος αποπροσανατολισμός και ναυτία.

##### Ανεξέλεγκτος υπεραερισμός

Εάν ένας δύτης με ελάχιστη ή καμία θερμική προστασία βυθιστεί ξαφνικά σε πολύ κρύο νερό, τα αποτελέσματα είναι άμεσα και βλαβερά. Ο δύτης λαχανιάζει και αυξάνεται ο ρυθμός της αναπνοής του. Η αναπνοή του γίνεται τόσο γρήγορη και ανεξέλεγκτη που δεν μπορεί να τη συντονίσει με την κολύμβηση. Η έλλειψη ελέγχου αναπνοής καθιστά την επιβίωση σε νερό με ισχυρά ρεύματα πολύ απίθανη.

#### **4.2.12. Ειδικά προβλήματα στις στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις μεγάλου βάθους**

##### Υψηλής πίεσης νευρικό σύνδρομο

Το υψηλής πίεσης νευρικό σύνδρομο είναι μια απορύθμιση του κεντρικού νευρικού συστήματος που συμβαίνει σε καταδύσεις ηλίου-οξυγόνου μεγάλου βάθους.

#### 4.Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

Η αιτία είναι άγνωστη. Τα συνηθισμένα συμπτώματα είναι ναυτία, τρέμουλο, αστάθεια, αποπροσανατολισμός και απώλεια δεξιοτεχνίας, περιστασιακά εμφανίζονται κράμπες και διάρροια, ενώ σε πιο βαριά μορφή προκαλείται ίλιγγος και σύγχυση. Προσπάθειες γίνονται για την εμπόδιση της εμφάνισης του συνδρόμου με τη χρήση υδρογόνου στο μείγμα αερίου και τη χρήση φαρμάκων. Καμία προσπάθεια όμως δεν είναι τελείως ικανοποιητική.

#### Αρθραλγία συμπίεσης

Οι περισσότεροι δύτες θα νιώσουν πόνο στις ενώσεις κατά τη διάρκεια της συμπίεσης στις βαθιές καταδύσεις. Οι ώμοι, τα γόνατα και τα ισχία είναι οι ενώσεις που επηρεάζονται περισσότερο. Τα δάχτυλα, η πλάτη, ο λαιμός και τα πλευρά μπορούν επίσης να περιληφθούν. Ο πόνος μπορεί να είναι ένας σταθερός και βαθύς παρόμοιος με τον τύπο Ι της νόσου εξ' αποσυμπίεσης ή ένας ξαφνικός, αιχμηρός και έντονος αλλά σύντομος πόνος κατά τη μετακίνηση της ένωσης. Η συχνότητα εμφάνισης και η ένταση της αρθραλγίας συμπίεσης εξαρτάται από το βάθος, το βαθμό συμπίεσης και την ευαισθησία κάθε δύτε. Ο πόνος μπορεί να γίνει τόσο δυνατός που να μην επιτρέπει στον δύτε να εργαστεί.

#### **4.2.13. Μακροχρόνια προβλήματα**

Εδώ και μερικά χρόνια ξεκίνησε να υπάρχει ενδιαφέρον για τα μακροχρόνια προβλήματα της κατάδυσης (ή αλλιώς απώτερης επέλευσης) ανάμεσα στους δύτες. Μακροχρόνια προβλήματα παρατηρούνται στα αυτιά, τη σπονδυλική στήλη, τα οστά, τον εγκέφαλο και τα νεύρα.

Η συμπίεση του αυτιού είναι το πιο συνηθισμένο φαινόμενο εμμέσου τραυματισμού ανάμεσα στους δύτες όλων των επιπέδων. Η άμεση θεραπεία μπορεί να λύσει το πρόβλημα. Ένας πιο σοβαρός τραυματισμός, όμως, είναι αυτός της ρήξης της στρογγυλής θυρίδας. Σποραδικές συμπίεσεις στο τύμπανο ίσως να μην προκαλέσουν μακροχρόνιο πρόβλημα. Η επανειλημμένη όμως συμπίεση του τυμπάνου από αποτυχημένες εξισώσεις μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα τη χρόνια μόλυνση του έσω αυτιού, τη μόνιμη παραμόρφωση του τυμπάνου και την υποακουσία. Όλες αυτές οι συνέπειες μπορούν να αποφευχθούν με τη σωστή και προσεκτική εξίσωση των αυτιών.

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

Η βλάβη της σπονδυλικής στήλης συνήθως είναι μόνιμη και η πρόληψή της (από οποιαδήποτε αιτία) είναι απαραίτητη. Οι δύτες με νόσο νευρολογικής φύσεως συνήθως έχουν πρόβλημα στη σπονδυλική στήλη. Η επέκταση της βλάβης εξαρτάται από την οξύτητα της νόσου και από την επιτυχία της θεραπείας. Στην καλύτερη των περιπτώσεων, το 15 με 20% των δυτών με πρόβλημα στη σπονδυλική στήλη θα έχουν μόνιμη βλάβη με ανωμαλίες νευρολογικών λειτουργιών, συνδεδεμένες συνήθως με την ουροδόχο κύστη, την κοιλιά, τις σεξουαλικές λειτουργίες και την αδυναμία των μυών στα πόδια. Μελέτες που έγιναν σε μερικούς επαγγελματίες δύτες που είχαν πάθει νόσο και θεραπεύτηκαν, αλλά πέθαναν μετά από καιρό από άσχετες αιτίες, αποκάλυψαν εκ των υστέρων μετά από νεκροψία, ότι είχαν μη ανιχνεύσιμες βλάβες στη σπονδυλική στήλη, ακόμα και όταν όλες οι νευρολογικές λειτουργίες έδειχναν να είναι φυσιολογικές. Αυτά τα ευρήματα είναι εφαρμόσιμα και αφορούν όλους τους δύτες. Αν ο δύτες πάθει νόσο με βλάβη στη σπονδυλική στήλη, τότε θα έχει μερική μόνιμη βλάβη. Η πρόληψη της νόσου είναι κάτι το οποίο είναι στα όρια όλων των δυτών. Κρατώντας το διαλυμένο άζωτο που περιέχεται στους ιστούς σε χαμηλά επίπεδα, μειώνεται ο κίνδυνος.

Δεν υπάρχουν σαφείς πληροφορίες που να δηλώνουν ότι υπάρχουν βλάβες στον εγκέφαλο, ως συνέπεια των καταδύσεων ρουτίνας. Ασφαλώς, αν πάθουμε ποτέ αρτηριακή εμβολή αέρος στον εγκέφαλο, θα έχουμε μόνιμη βλάβη. Μελέτες σε επαγγελματίες δύτες που χρησιμοποιούσαν τους πίνακες λανθασμένα, υποδεικνύουν ότι μπορεί να συμβεί μόνιμη βλάβη μετά από επανειλημμένα ατυχήματα νόσου. Δεν υπάρχουν στοιχεία για εγκεφαλική βλάβη σε ερασιτέχνες δύτες ή επαγγελματίες μέχρι σήμερα, παρά τις μελέτες που έχουν γίνει, από τη στιγμή που ακολουθούν ασφαλείς διαδικασίες αποσυμπίεσης. Μερικές μελέτες που έγιναν σε δύτες κάνουν υπαινιγμούς για ανωμαλίες στον εγκέφαλο που βρέθηκαν μετά από αξονικές τομογραφίες, αλλά μελέτες που έγιναν σε άτομα που δεν ασχολούνται με την κατάδυση, έδειξαν παρόμοια ευρήματα.

Στο παρελθόν βλάβες του γοφού και στις κλειδώσεις των ποδιών είχαν βρεθεί σε ανθρακωρύχους που εργάζονταν σε τούνελ σε μεγάλα βάθη. Οι εκθέσεις τους σε αυτά τα βάθη ήταν μεγάλες, σε βάρδιες των 8 ωρών, κυμαινόμενες από μερικές μέρες ως και βδομάδες σε πιέσεις 4 bar ή και περισσότερο. Αν και δημιουργήθηκαν ειδικοί πίνακες για αυτές τους τις εκθέσεις, εντούτοις πολλοί εργάτες εμφάνισαν βλάβη στα οστά 4 με 8 χρόνια μετά. Αυτό πιθανώς ήταν το αποτέλεσμα φραγής μικρών



#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

αρτηριών στα οστά από φυσαλίδες, με αποτέλεσμα τη βλάβη και τον εκφυλισμό τους. Αυτή η ασθένεια λέγεται δυσβαρική οστεονέκρωση. Το πρόβλημα για τους ανθρακωρύχους λύθηκε με την έκδοση καινούριων αναθεωρημένων πινάκων αποσυμπίεσης. Βλάβες στα οστά επίσης έχουν βρεθεί σε μερικές εξειδικευμένες ομάδες επαγγελματιών δυτών που κάνουν καταδύσεις κορεσμού με He-O<sub>2</sub> και στους οποίους ανιχνεύθηκε αύξηση των περιπτώσεων ανωμαλιών στα οστά. Επίσης, μερικοί επαγγελματίες οι οποίοι καταδύονται μεν στα ρηγά με αέρα, αλλά βρίσκονται εκτός των συνηθισμένων ορίων αποσυμπίεσης, έχει βρεθεί ότι έχουν δυσβαρική βλάβη στα οστά. Θα πρέπει να επισημάνουμε ότι η νέκρωση στα οστά μπορεί να προέλθει και από άλλες αιτίες. Υπερβολική κατανάλωση αλκοόλ, χρήση κορτιζόνης ή άλλων φαρμάκων και κληρονομικές ανωμαλίες μπορούν όλα αυτά να επηρεάσουν την κυκλοφορία του αίματος στα οστά και να προκαλέσουν νεκρώσεις. Αν ακολουθούνται ασφαλείς διαδικασίες κατάδυσης, αποφεύγονται οι μεγάλες σε χρόνο καταδύσεις, αποφεύγεται η κατάδυση όταν ο δύτης έχει κρυολόγημα και παρακολουθούνται τα αυτιά για τη σωστή εξίσωση, δεν υπάρχει κίνδυνος για μακροχρόνια προβλήματα.

Η πρόληψη είναι ακόμη και σήμερα ο καλύτερος τρόπος για να εξαλειφθούν οι μόνιμες βλάβες που μπορούν να προκληθούν μελλοντικά από την κατάδυση.

### **4.3. Έρευνα του πανεπιστημίου Aberdeen για πιθανά μυοσκελετικά και γνωστικά προβλήματα στους δύτες-συγκολλητές**

[36]

#### Μια πρώτη ματιά στην έρευνα

Μία έρευνα με ερωτηματολόγια πραγματοποιήθηκε το 2005 από το πανεπιστήμιο του Aberdeen για να αξιολογήσει την υγεία των δυτών-συγκολλητών. Ο στόχος της έρευνας ήταν να προσδιορίσει αν μια καριέρα ως δύτης-συγκολλητής έχει περισσότερη πιθανότητα για ένα αρνητικό αντίκτυπο στην υγεία από μια καριέρα ως συγκολλητής μόνο. Η απάντηση στα ερωτηματολόγια ήταν της τάξεως του 48% και απάντησαν συνολικά 182 δύτες-συγκολλητές, 108 συγκολλητές και 252 που δεν ήταν ούτε δύτες ούτε συγκολλητές. Τα παράπονα για μυοσκελετικά και γνωστικά συμπτώματα ήταν πιο κοινά ανάμεσα στους δύτες-συγκολλητές παρά στις άλλες δύο ομάδες. Παρά αυτήν την παρατήρηση, δεν υπήρξε κανένας επαρκής συσχετισμός

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

μεταξύ των παραπόνων και της έκθεσης στη συγκόλληση ή της κατάδυσης. Η έκθεση στα αέρια συγκόλλησης ήταν μεγαλύτερη στους συγκολλητές παρά στους δύτες-συγκολλητές. Περαιτέρω ανάλυση της μελέτης έδειξε ότι μεταξύ των δυτών, άλλοι παράγοντες, όπως τα ατυχήματα κατάδυσης και οι χημικές εκθέσεις (π.χ. μολυσμένο αέριο αναπνοής, πετροχημικά και σουλφίδιο του υδρογόνου) συνδέονται με τα αναφερόμενα συμπτώματα. Η διαδικασία της συγκόλλησης παραμένει σημαντικός προάγγελος γνωστικών προβλημάτων, αλλά τα μυοσκελετικά προβλήματα επηρεάζονται επίσης από τη συχνότητα της κατάδυσης, τα ατυχήματα κατάδυσης, τη χημική έκθεση και τον τρόπο ζωής. Με λίγα λόγια αυτή η έρευνα δείχνει ένα μεγαλύτερο πιθανό κίνδυνο για γνωστικά και μυοσκελετικά προβλήματα στους δύτες-συγκολλητές, με την αιτία όμως να παραμένει ασαφής.

#### Εισαγωγή

Η συγκόλληση συνδέεται με διάφορους σχετικούς με την υγεία κινδύνους. Η θνησιμότητα των συγκολλητών έχει αναφερθεί να είναι μεγαλύτερη από τις άλλες ομάδες εργαζομένων στα ναυπηγεία. Οι αναπνευστικές ασθένειες είναι ο συνηθέστερα αναφερόμενος κίνδυνος υγείας στις συγκολλήσεις, αλλά και τα μη-αναπνευστικά προβλήματα υγείας όπως τα νευρολογικά και τα δερματολογικά εμφανίζονται συχνά. Οι δυσμενείς επιπτώσεις της συγκόλλησης στην υγεία μπορούν να αποδοθούν στις διάφορες χημικές εκθέσεις (π.χ. καπνοί, αέρια), κυρίως μέσω της εισπνοής ή της κατάποσης, τις φυσικές εκθέσεις (π.χ. θερμότητα, ηλεκτρική ενέργεια, θόρυβος, δόνηση) και τους κινδύνους της ακτινοβολίας.

Ο συγκολλητής είναι ένα επάγγελμα που διαφοροποιείται κάθε φορά όσον αφορά τους κινδύνους ανάλογα με τη σύνθεση του προς ένωση υλικού, τη μέθοδο συγκόλλησης και το περιβάλλον στο οποίο η συγκόλληση πραγματοποιείται. Η σύνθεση του καπνού της συγκόλλησης είναι σύνθετη και ποικίλλει. Περιέχει συχνά νευροτοξικά μέταλλα, όπως το μαγγάνιο, το αλουμίνιο και ο μόλυβδος, και τοξικά αέρια, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα και το διοξείδιο του αζώτου. Επιπλέον, οι συγκολλητές δουλεύουν συχνά σε περιορισμένους, κακώς αερισμένους χώρους και με περιεργή στάση του σώματος, που και αυτό μπορεί επίσης να συμβάλει στις αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία τους. Τέλος, υπόκεινται σε υψηλότερα επίπεδα θορύβου, που σε ένα βαθμό επηρεάζουν την ακοή τους. Ζημιά επίσης μπορεί να προκληθεί από εκτόξευση υλικού μέσα στο αυτί και τραυματισμό του τυμπάνου. Τα

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

δυσμενή αποτελέσματα της συγκόλλησης μπορεί να αυξηθούν με την κατάδυση. Εκτός από την έκθεση στα αέρια συγκόλλησης μέσα σε ένα κλειστό θάλαμο στεγνής υποβρύχιας συγκόλλησης, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η υπερβαρική πίεση. Για παράδειγμα, το αργό που χρησιμοποιείται ως αέριο προστασίας σε κάποιες μεθόδους, αποκτά ναρκωτική επίδραση με αύξηση της πίεσης. Ακόμα, η τοξικότητα των επικίνδυνων αερίων αυξάνεται με το βάθος. Η στάση του σώματος δυσχεραίνει κι άλλο, ενώ συχνά στην πλάτη τους μεταφέρουν βάρη όπως μπουκάλες οξυγόνου. Τέλος, η κατάδυση και η φυσιολογία του αυτιού είναι δύο συγκρουόμενες καταστάσεις από μόνες τους, όπως έχει ήδη αναφερθεί.

#### Σκοπός

Σκοπός της έρευνας ήταν να προσδιορίσει αν αυξάνονται οι πιθανοί αντίκτυποι στην υγεία των δυτών-συγκολλητών σε σχέση με των απλών συγκολλητών.

#### Αποτελέσματα

Το ερωτηματολόγιο ήταν χωρισμένο σε πέντε ενότητες:

1. Προσωπικά στοιχεία και τρόπος ζωής: ημερομηνία γέννησης, μορφωτικό επίπεδο, αν εργάζονται, δείκτης μάζας σώματος, αν καπνίζουν, αν αθλούνται και κατανάλωση αλκοόλ
2. Επαγγελματική εμπειρία
3. Γενική υγεία
4. Υγεία σχετική με τρόπο ζωής τους
5. 25 ερωτήσεις για την αξιολόγηση της μνήμης τους και της αντίληψης τους

Υπήρχαν πολύ μικρές διαφορές μεταξύ των ομάδων όσον αφορά τον τρόπο ζωής τους. Η μέση ηλικία ήταν 50 χρόνων, κυμαινόμενη από 30 έως 81. Το μορφωτικό επίπεδο ήταν χαμηλότερο στους συγκολλητές, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι έχουν χαμηλό IQ, απλά ότι η επιλογή της καριέρας τους δεν απαιτεί ακαδημαϊκές γνώσεις. Το 85% των ερωτηθέντων εργαζόταν όταν πραγματοποιούνταν η μελέτη. Οι δύτες-συγκολλητές έχουν μικρότερη σε διάρκεια επαγγελματική καριέρα, ενώ οι συγκολλητές ξεκινάνε σε μικρότερη ηλικία και χρησιμοποιούν περισσότερες

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

μεθόδους συγκόλλησης. Το 52% των δυτών-συγκολλητών έχει υποστεί ένα ατύχημα που δε τους επέτρεψε να πάνε να εργαστούν για 3 μέρες, ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για τους συγκολλητές και για τους ούτε δύτες ούτε συγκολλητές είναι 31% και 26%, αντίστοιχα.

Η μέση έκθεση στα αέρια συγκόλλησης για τους συγκολλητές ήταν 43,623 (15,933-82,485)  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{days}$  και για τους δύτες-συγκολλητές 13,471 (3,602-39,470)  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{days}$ . Αυτή η έκθεση ισοδυναμεί για τους συγκολλητές σε 36 χρόνια έκθεσης με μέσο ποσοστό 5  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  για 240 μέρες το χρόνο, ενώ για τους δύτες-συγκολλητές σε 11 χρόνια με την ίδια έκθεση. Για αυτό το λόγο εμφανίζουν συχνότερα «μεταλλικό πυρετό» οι συγκολλητές.

Τα συμπτώματα που αναφέρονται στην έρευνα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

	<b>Ούτε δύτες ούτε συγκολλητές</b>	<b>Συγκολλητές</b>	<b>Δύτες - Συγκολλητές</b>
	%	%	%
Απώλεια μνήμης ή δυσκολία συγκέντρωσης	14	10	33
Πόνος στις αρθρώσεις ή δύσκαμπτους μύες	26	32	47
Πόνο στην πλάτη ή στη μέση	29	33	47
Προβλήματα ακοής	12	32	29
Προβλήματα όρασης	6	12	13
Δύσπνοια	8	9	7
Βήχας	7	6	7
Πόνος στην κοιλιά, διάρροια ή ναυτία	7	8	7
Εξανθήματα στο δέρμα ή φαγούρα	9	7	11
Τρέμουλο ή αδύναμοι μύες	4	3	8
Αστάθεια στο περπάτημα ή ζαλάδα	4	0	4

Πίνακας 4.2: Ποσοστά εμφάνισης συμπτωμάτων σύμφωνα με την έρευνα

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

Παρατηρήθηκε ότι η απώλεια μνήμης ή δυσκολία συγκέντρωσης ήταν συχνότερη στους δύτες-συγκολλητές, ενώ δεν διέφερε ιδιαίτερα ανάμεσα στις άλλες δύο ομάδες. Το ίδιο ισχύει και για τον πόνο στις αρθρώσεις ή δύσκαμπτους μύες και για τον πόνο στην πλάτη ή στη μέση. Τα προβλήματα ακοής ήταν πιο κοινά στους συγκολλητές και στους δύτες-συγκολλητές, παρά στους ούτε δύτες ούτε συγκολλητές.

Στις υπόλοιπες ιατρικές παθήσεις που αναφέρθηκαν οι δύτες-συγκολλητές φαίνονται ότι πάσχουν περισσότερο από αρθρίτιδα, ενώ το φαινόμενο του άσπρου δακτύλου λόγω δονήσεων είναι πιο κοινό τόσο στους δύτες-συγκολλητές, όσο και στους απλούς συγκολλητές. Ακολουθεί πίνακας με τις παθήσεις που αναφέρθηκαν.

	<b>Ούτε δύτες ούτε συγκολλητές</b>	<b>Συγκολλητές</b>	<b>Δύτες - Συγκολλητές</b>
	%	%	%
Αρθρίτιδα	8	12	17
Φαινόμενο του άσπρου δακτύλου λόγω δονήσεων	2	7	12
Βρογχίτιδα	4	5	7
Υψηλή αρτηριακή πίεση	16	13	15
Άσθμα	9	8	8
Δερματίτιδα	11	8	11
Έκζεμα	18	15	15
Άγχος	10	10	15
Έλκος	5	7	11
Προβλήματα στη καρδιά	5	7	4
Ημικρανίες	7	4	9
Καρκίνος	3	0.9	3
Διαβήτης	3	5	0.7
Έμφραγμα	0.4	0	0.7
Επιληψία	0	0	0

*Πίνακας 4.3: Ποσοστό εμφάνισης ιατρικών παθήσεων σύμφωνα με την έρευνα*

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

##### Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Από την παρατήρηση των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι η συγκόλληση υποβρυχίως αυξάνει το ρίσκο για γνωστικά και μυοσκελετικά συμπτώματα, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι μόνο αυτή είναι αρκετή για να εμφανιστούν. Το 73% που είχαν γνωστικά προβλήματα παραπονέθηκαν και για μυοσκελετικές ενοχλήσεις. Το αντίστοιχο ποσοστό συνδυασμού γνωστικών προβλημάτων και προβλημάτων με την ακοή ήταν 33%. Η συγκόλληση σε ένα υπερβαρικό θάλαμο βάζει σε μεγαλύτερο κίνδυνο τον δύτη για εισπνοή τοξικών αερίων. Ο εξαερισμός μπορεί να είναι φτωχός και η τοξικότητα αυξάνεται με την αύξηση της πίεσης. Επίσης, στις καταδύσεις μεγάλους βάθους φαίνεται να προκαλείται μια δυσλειτουργία στο συκώτι του δύτη που επιδεινώνει την παραπάνω κατάσταση. Παρόλα αυτά δεν υπάρχουν αποδείξεις που να δείχνουν ότι η συγκόλληση υπό πίεση είναι η αιτία της αύξησης των παραπόνων για γνωστικά και μυοσκελετικά προβλήματα. Σκοπός άλλωστε της έρευνας δεν ήταν να δείξει από τι προκαλούνται τα προβλήματα, αλλά να δείξει την αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης αυτών των προβλημάτων.

Σχέση μεταξύ των μυοσκελετικών και γνωστικών προβλημάτων με τη νόσο εξ' αποσυμπίεσης θα πρέπει να αναμένεται. Η δηλητηρίαση μονοξειδίου του άνθρακα από μόλυνση της συσκευής αναπνοής προσβάλλει το κεντρικό νευρικό σύστημα, όπως έχει αναφερθεί, ενώ έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει την ακοή και προκαλεί ζημιά στους μύες. Διάφορα άλλα προβλήματα υγείας που προκαλούνται στις καταδύσεις μπορούν να προκαλέσουν επίσης παρόμοια συμπτώματα. Τέλος, η δερματίτιδα φαίνεται να είναι συχνότερη στους δύτες-συγκολλητές λόγω του συνδυασμού της ακτινοβολίας και των αερίων της συγκόλλησης με την παρατεταμένη επαφή του δέρματος με το νερό στις καταδύσεις κάτι που το κάνει πιο ευάλωτο.

#### **4.4. Προβλήματα στη στοματική κοιλότητα δυτών που πραγματοποιούν υποβρυχίες συγκολλήσεις και κοπές ηλεκτρικού τόξου**

[39, 40]

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στη Σουηδία διαπιστώθηκε ότι το 55% των δυτών παραπονέθηκε για μια έντονη μεταλλική γεύση στο στόμα τους και διαπιστώθηκε έντονη φθορά των αμαλγαμάτων τους (σφραγίσματα). Είναι γεγονός ότι οι δύτες που πραγματοποιούν πολύ συχνές υποβρυχίες συγκολλήσεις και κοπές

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

πρέπει να αντικαταστήσουν τα σφραγίσματά τους κάθε έξι μήνες με ένα χρόνο. Η μεταλλική γεύση είναι κατά πάσα πιθανότητα υποπροϊόν μιας ηλεκτρολυτικής διαδικασίας που λαμβάνει χώρα μέσα στη στοματική κοιλότητα από τα ηλεκτρικά πεδία που δημιουργούνται μέσα σε αυτή και φθείρει τα αμαλγάματα λόγω ηλεκτροχημικής αφαίρεσης των μεταλλικών ιόντων τους. Δυο ακόμη πιθανές εξηγήσεις αυτού του φαινομένου είναι λόγω του μαγνητικού πεδίου που αναπτύσσεται γύρω από το στόμα ή λόγω πιεζοηλεκτρικής επιρροής από πεδία ραδιοσυχνότητας που δημιουργεί το ηλεκτρικό τόξο. Επομένως, η καλή στοματική υγιεινή είναι πολύ σημαντική για μείωση αυτών των επιπτώσεων.

Από τους 90 συμμετέχοντες δύτες, οι 24 δεν είχαν εκτελέσει υποβρύχια συγκόλληση ή κοπή. Κανένας από αυτούς δε παραπονέθηκε για μεταλλική γεύση στο στόμα τους. Οι υπόλοιποι 66 είχαν εκτελέσει υποβρύχια συγκόλληση ή κοπή μέσα στα προηγούμενα δύο χρόνια. Οι 36 από αυτούς (55%) παραπονέθηκαν για μια έντονη μεταλλική γεύση στο στόμα τους και μετά από περίπου 12 ώρες εργασίας με ηλεκτρισμό κάτω από το νερό, δύο από αυτούς παραπονέθηκαν για χαλαρά σφραγίσματα και ένας για έντονη φθορά τους. Ανάμεσα στους 90 δύτες, δύο παραπονέθηκαν για πονόδοντο, κατά πάσα πιθανότητα από εμφάνιση βαροδονταλγίας λόγω υπερβαρικής πίεσης, και ένας για έντονη ποσότητα σιέλου, μάλλον λόγω υπερβολικά στενής καταδυτικής στολής και δυσφορίας. Δεν διαπιστώθηκε έντονη τερηδόνα ή απώλεια δοντιών σε κάποιον από αυτούς.

Θα ήταν ενδιαφέρον να εξεταστεί αν η μεταλλική γεύση οφείλεται και σε πιθανή υπερευαισθησία της γεύσης λόγω του ηλεκτρικού πεδίου. Δεν έχει διαπιστωθεί κάποια διαφορά των αποτελεσμάτων σε γλυκό ή θαλασσινό νερό. Όσο πιο μεγάλο το σφράγισμα, τόσο συχνότερο το πρόβλημα, λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας μετάλλου. Καλό είναι να ενημερώνεται ο οδοντίατρος σχετικά με το πρόβλημα και ότι ο ασθενής είναι δύτες. Κατά τις υποβρύχιες κοπές το μαγνητικό πεδίο είναι πιο ισχυρό λόγω μεγαλύτερης έντασης ρεύματος και θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή. Αν είναι δυνατόν πρέπει να κρατιέται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ της στοματικής κοιλότητας και του καλωδίου συγκόλλησης ή κοπής και να προσεχθεί να μη σχηματίσει κύκλο γύρω από το λαιμό γιατί έτσι αυξάνεται το μαγνητικό πεδίο.

## 4.5 Ηλεκτρισμός μέσα στο νερό

Οι περισσότερες μέθοδοι των υποβρύχιων συγκολλήσεων και κοπών προϋποθέτουν τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτός από αυτό, ηλεκτρική ενέργεια μέσα στο νερό χρησιμοποιείται για φωτισμό, για τον εξοπλισμό των μεθόδων μη-καταστρεπτικού ελέγχου, για τις επικοινωνίες και για τις βιντεοκάμερες, ενώ οι δύτες βρίσκονται γύρω από ηλεκτρικές πηγές όπως υποθαλάσσια ηλεκτροφόρα καλώδια, συστήματα καθοδικής προστασίας με επιβαλλόμενο ρεύμα και τηλεκατευθυνόμενα υποβρύχια οχήματα. Ένας μεγάλος όγκος πληροφοριών είναι διαθέσιμος για τις επιπτώσεις του ηλεκτρικού ρεύματος στο ανθρώπινο σώμα στο περιβάλλον της επιφάνειας και είναι λογικό κανείς να υποθέσει ότι παρόμοιες επιπτώσεις θα έχει ρεύμα ίδιας έντασης και στο νερό. Το πιο μεγάλο πρόβλημα στην ύπαρξη ηλεκτρισμού υποβρυχίως είναι στην κατανόηση της επιρροής του περιβάλλοντος νερού (καλύτερος αγωγός από τον αέρα) και της καταδυτικής στολής (με την κατάδυση μειώνεται η αντίσταση του δέρματος) στη ροή του ρεύματος γύρω από τον δύτε [45]. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων οι ηλεκτρικοί κίνδυνοι που θα αντιμετωπίσει ο δύτες είναι ένα μη-θανατηφόρο ηλεκτρικό σοκ. Ο κίνδυνος αυτός, όμως, αυξάνεται όταν ο δύτες φοράει ακατάλληλη προστατευτική στολή, ενώ ταυτόχρονα βρίσκεται κοντά σε μια σχετικά μεγάλη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για να συμβεί ένα ηλεκτρικό σοκ θα πρέπει το σώμα του δύτε να γίνει μέρος του κυκλώματος μεταξύ του ηλεκτροδίου και της περιοχής εργασίας. Τέλος, η πιο επικίνδυνη κατάσταση είναι όταν ο δύτες είναι μισοβυθισμένος στο νερό και αυτό γιατί σε αυτή την περίπτωση το νερό θεωρείται ως γείωση και ο δύτες που κρατά τον εξοπλισμό ως ηλεκτρόδιο και αμέσως γίνεται μέρος του κυκλώματος [8].

Παρόλο που περιστασιακά οι δύτες παραπονιούνται για μικρά ηλεκτρικά σοκ στην έναρξη και στη λήξη της εργασίας, εντάσεως μιας μικρής ενόχλησης, τα θανατηφόρα καταγραμμένα ατυχήματα είναι ελάχιστα. Ο συνδυασμός ανεπαρκούς εκπαίδευσης, απροσεξίας του δύτε και αστοχίας του εξοπλισμού συνθέτουν μια υπαρκτή πιθανότητα για ατύχημα στον δύτε που εκτελεί μια υποβρύχια συγκόλληση ή κοπή. Ηλεκτρικό ρεύμα πάνω από τα επίπεδα του σοκ που διαπερνά ένα ανθρώπινο σώμα αλλάζει προσωρινά τη φυσιολογική λειτουργία των κυττάρων. Ακόμα μεγαλύτερης έντασης ρεύμα προκαλεί εγκαύματα και μπορεί να οδηγήσει σε αναπνευστική ή καρδιακή ανακοπή. Δύο επιπλέον παράπλευροι μη-ηλεκτρικοί κίνδυνοι είναι οι εκρήξεις αερίων και το κάψιμο του δέρματος. Το ηλεκτρικό ρεύμα



#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

διαχωρίζει το νερό στα συστατικά του και αν το υδρογόνο και το οξυγόνο παγιδευτούν σε κάποιο χώρο κοντά στην περιοχή της εργασίας, όταν το ηλεκτρικό τόξο τα πλησιάσει, θα εκραγούν. Σε κάποιες μεθόδους υποβρύχιων συγκολλήσεων και κοπών παράγονται φυσαλίδες πλούσιες σε οξυγόνο, οι οποίες εισχωρούν στα γάντια του δύτε και μόλις σκάσουν, τραυματίζουν το δέρμα του.

Οι επιπτώσεις του ηλεκτρικού ρεύματος μπορούν να διακριθούν σε αρκετές κατηγορίες. Οι άμεσες επιπτώσεις περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος στις μεμβράνες των κυττάρων των μυών και των νεύρων. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να διαφοροποιούνται ανάλογα με το ποσό του ρεύματος που περνά μέσω ενός συγκεκριμένου μυός ή μιας ομάδας μυών, μέσω της καρδιάς ή μέσω του κεντρικού νευρικού συστήματος. Η ευαισθησία σε ηλεκτροπληξία εξαρτάται ανάλογα με τον δείκτη μάζας του σώματος, την αντίσταση του δέρματος, την ψυχολογική αντίδραση κάθε θύματος, τη συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος, αν χρησιμοποιείται τέτοιο, και τον τρόπο και το σημείο εισόδου του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα στο σώμα. Δεδομένου ότι οι μεμβράνες των κυττάρων των μυών και των νεύρων ενεργοποιούνται συνήθως από ηλεκτρικά ρεύματα, είναι λογικό να αναμένει κάποιος ότι περιπλανώμενα ηλεκτρικά ρεύματα που περνούν μέσω των μυών ή του ιστού των νεύρων θα ενεργοποιήσουν τη μεμβράνη των κυττάρων, με την επακόλουθη συστολή των κυττάρων των μυών ή την απαλλαγή των κυττάρων των νεύρων (νευρώνες).

Οι κλινικές επιπτώσεις της ηλεκτροπληξία μπορούν να εξηγηθούν με την εξέταση της δράσης του ηλεκτρικού ρεύματος είτε στην κυτταρική μεμβράνη είτε στο κεντρικό νευρικό σύστημα [44]. Όταν ένα κανονικό άτομο συνδέεται με ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που παρέχει εναλλασσόμενο ρεύμα συχνότητας 60 Hz, εντάσεως 2-3 mA μέσω του χεριού του, παράγεται μια αίσθηση τσουξίματος και μια ζεστασιά στην περιοχή της επαφής. Καμία άλλη επίπτωση δεν σημειώνεται σε αυτό το επίπεδο του ρεύματος και δεν υπάρχει καμία ένδειξη μυϊκών συστολών. Καθώς η ροή του ρεύματος αυξάνεται μέσω του σκελετικού μυός, υπάρχει μυϊκή συστολή. Σε ένταση περίπου 16 mA, υπάρχει ανεξέλεγκτη συστολή από τον μυ. Στην πλειοψηφία των κανονικών ατόμων έχει βρεθεί ότι η μέση ένταση εναλλασσόμενου ρεύματος που προκαλεί ανεξέλεγκτη συστολή του μυός είναι τα 16 mA. Αναφέρεται μάλιστα ότι αυτό είναι ένα ασφαλές επίπεδο για το 99,5% του πληθυσμού [43]. Χρησιμοποιώντας τα ίδια κριτήρια, έχει βρεθεί ότι η μέση ένταση εναλλασσόμενου ρεύματος που

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

προκαλεί μυϊκή συστολή αρκετά σοβαρή ώστε να αποτρέψει την εθελοντική απελευθέρωση από τον ηλεκτρικό αγωγό που παρέχει το ρεύμα είναι 9 mA για τους άντρες και 6 mA για τις γυναίκες. Το ρεύμα αυτό καλείται επίσης και ως “Let Go” ρεύμα. Με περαιτέρω αύξηση των ανωτέρω επιπέδων παρατηρείται παρεμπόδιση της κανονικής αναπνοής. Αυτή η επίδραση οφείλεται στη διέγερση των μυών του στήθους, με αποτέλεσμα την παράλυση της κίνησης των θωρακικών τοιχωμάτων. Εάν αυτό το επίπεδο του ρεύματος (συνήθως μεταξύ 18-22 mA) διατηρηθεί, το άτομο θα πεθάνει από ασφυξία μέσα σε 5-10min. Σε αυτό το επίπεδο, αν δεν έχουν προκληθεί καρδιακές ανωμαλίες και αν η πηγή του ρεύματος κλείσει, το θύμα για να ανακτήσει τις αισθήσεις του αρκεί μόνο η παροχή τεχνητής αναπνοής.

Η σοβαρότερη επιπλοκή της ηλεκτροπληξίας είναι ο κοιλιακός ινιδισμός ή μαρμαρυγή, μια αποδιοργανωμένη και άχρηστη συστολή της καρδιάς [46]. Δεδομένου ότι το ρεύμα αυξάνεται επάνω από το επίπεδο που προκαλεί αναπνευστική ανακοπή, παρατηρείται κοιλιακός ινιδισμός. Η πιθανότητα για ινιδισμό αυξάνεται αν το σημείο εισόδου του ρεύματος είναι στο στήθος και κοντά στην καρδιά. Καθώς το ρεύμα αυξάνεται από τα 22 mA στα 40 mA, η καρδιακή λειτουργία μειώνεται. Για ένταση ρεύματος από 50-75 mA, προκαλείται κοιλιακός ινιδισμός προκαλώντας προβλήματα στην κυκλοφορία του αίματος, ζωτικά όργανα και ιστοί αρχίζουν να υπολειτουργούν και σχεδόν άμεσο θάνατο. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης το βάρος του σώματος, καθώς όσο πιο παχύσαρκος είναι κάποιος, τόσο μεγαλύτερη αντίσταση έχει το σώμα του και τόσο μεγαλύτερη ένταση ρεύματος είναι απαραίτητη για να προκληθεί κοιλιακός ινιδισμός. Τα αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος στο κεντρικό νευρικό σύστημα δεν έχουν μελετηθεί τόσο εκτενώς όσο τα καρδιακά αποτελέσματα. Η ηλεκτρική διέγερση του εγκεφάλου χρησιμοποιείται ως κλινικό εργαλείο σε διάφορες ψυχολογικές ασθένειες. Είναι γνωστό ότι 150 V στο κεφάλι μπορούν να προκαλέσουν επιληψία.

Η επιρροή της αλλαγής της συχνότητας του ηλεκτρικού ρεύματος έχει επίσης μελετηθεί [43]. Δυστυχώς, οι συχνότητες των 50 και 60 Hz, που είναι οι συχνότητες του παραγόμενου εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος στην Ευρώπη και στην ΗΠΑ, αντίστοιχα, είναι βιολογικά οι πιο επικίνδυνες για τον οργανισμό. Για συχνότητες της τάξεως των 100-300 Hz, οι επιπτώσεις μειώνονται και απαιτούνται υψηλότερης έντασης ρεύματα για να προκαλέσουν παρόμοια συμπτώματα με τις μικρότερες συχνότητες. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στη χρήση σταθερού

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

ρεύματος, με το αντίστοιχο ασφαλές όριο έντασης του ρεύματος να είναι τα 40 mA σε σύγκριση με τα 16 mA του εναλλασσόμενου. Αυτός είναι ένας λόγος που στις υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές προτιμάται η χρήση σταθερού ρεύματος. Τέλος, όσον αφορά την πολικότητα, ενώ μερικοί υποστηρίζουν ότι διαφορετική πολικότητα οδηγεί σε διαφορετικές επιπτώσεις, αυτή η απόκλιση είναι πολύ μικρή. Εν τούτοις, η πολικότητα ορίζεται με βάση τις μηχανικές απαιτήσεις και όχι με βάση τη φυσιολογία του ανθρώπινου σώματος.

Κατανόηση της λειτουργίας των κυττάρων των μυών και των νεύρων είναι σημαντική για τη σωστή κατανόηση των αποτελεσμάτων της ηλεκτροπληξίας στην κυτταρική μεμβράνη [44]. Τα νεύρα, ο σκελετικός μυς και ο καρδιακός μυς, κύτταρα όλα, απαιτούν την ηλεκτρική δραστηριότητα της μεμβράνης για την κανονική λειτουργία του κυττάρου. Στην περίπτωση του ιστού των νεύρων, η κανονική δραστηριότητα προκαλεί τη διάδοση ενός ηλεκτρικού παλμού κατά μήκος της ίνας των νεύρων. Και στην περίπτωση του καρδιακού και σκελετικού μυός η απάντηση στην ηλεκτρική δραστηριότητα της κυτταρικής μεμβράνης είναι μια μηχανική συστολή. Η συστολή του σκελετικού μυός παράγει τη χρήσιμη εργασία. Η συστολή του καρδιακού μυός παρέχει την κανονική λειτουργία στην καρδιά. Από ηλεκτρικής άποψης, η κυτταρική μεμβράνη μπορεί να θεωρηθεί ως μια γραμμή μετάδοσης. Ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει το σώμα από κάποια εξωτερική πηγή, όπως στην περίπτωση του ηλεκτρικού σοκ, θα αποπολώσει την κυτταρική μεμβράνη πέρα από κάποιο επιτρεπτό όριο και θα προσβάλλει την ομαλή λειτουργία όλων των παραπάνω. Μικρά ηλεκτρικά σοκ μπορούν να οδηγήσουν σε απώλεια ελέγχου, πανικό ή τραυματισμό από ακούσια συστολή κάποιου μυ.

Το ηλεκτρικό ρεύμα έχει κι άλλες επιπτώσεις στους μύες και στα νεύρα πέρα από αυτές που έχουν αναφερθεί. Εκτεταμένη ηλεκτροπληξία έχει βρεθεί ότι προκαλεί σοβαρά θερμικά εγκαύματα που μπορούν να οδηγήσουν και στο θάνατο. Το ηλεκτρικό ρεύμα, καθώς ρέει μέσα στο σώμα μας, συναντά αντίσταση και παράγει θερμότητα. Τα αποτελέσματα αυτής της θέρμανσης μπορούν να εμφανιστούν με οποιαδήποτε συχνότητα και ένταση και οι αλλαγές στη λειτουργία του ιστού που εμφανίζονται οφείλονται στο πραγματικό κάψιμο ή στην πήξη του ιστού από την υπερβολική θερμότητα. Αυτά τα εγκαύματα είναι συχνά μοιραία και συνδέονται με τη μεγάλη ζημία του ιστού που σημειώνεται στην περιοχή της εισόδου και της εξόδου του ηλεκτρικού ρεύματος από το σώμα. Άτομα που έχουν επιζήσει έχουν πληγές

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

βαθιές και πολύ αργά επουλώσιμες. Αυτά τα εγκαύματα μπορούν να προκαλέσουν μολύνσεις βαθιά μέσα στους ιστούς και σε κάποιες περιπτώσεις προκαλούν καταρράκτη στα μάτια.

Ένας δευτερεύων μηχανισμός που μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρικό έγκαυμα είναι μια ηλεκτροχημική αλλαγή που προκαλείται από τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, σε συνδυασμό με μια ηλεκτρολυτική διαδικασία. Αυτός ο μηχανισμός απαιτεί τη χρήση σταθερού ρεύματος. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι το υδροξείδιο του νατρίου, ένα ισχυρό αλκάλιο, που προκαλεί χημικά εγκαύματα στον ιστό [44]. Παρόλα αυτά, δεν έχει παρατηρηθεί ποτέ στις υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές.

Τρία πράγματα πρέπει να συμβούν για μια πιθανή ηλεκτροπληξία [51]. Πρώτον, το ρεύμα να είναι πάνω από τα αντίστοιχα επιτρεπτά όρια για πάνω από 20 sec. Δεύτερον, θα πρέπει να υπάρξει κάποια αστοχία στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Τρίτον, ο δότης θα πρέπει να εκτεθεί σε αυτή την αστοχία. Περιορίζοντας κάποιους από τους τρεις παράγοντες, μειώνεται η πιθανότητα. Τρόποι αποφυγής του κινδύνου ηλεκτρικού σοκ κάτω από το νερό θα αναφερθούν λεπτομερώς στο επόμενο κεφάλαιο.

#### 4.6. Κίνδυνος από εκρηκτικά αέρια

Τα αέρια που παράγονται από τις υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές είναι πλούσια σε οξυγόνο και υδρογόνο και θα προκαλέσουν έκρηξη αν παγιδευτούν και αναφλεγούν. Το υδρογόνο και το οξυγόνο διαχωρίζονται από το νερό λόγω του ηλεκτρικού τόξου και ταξιδεύουν χωριστά υπό μορφή φυσαλίδων. Οι φυσαλίδες αυτές μπορούν να συγκεντρωθούν σε κάποιο άνοιγμα και όταν συνδυαστούν θα εκραγούν. Επίσης, σε κάποιες μεθόδους υποβρύχιων κοπών παράγονται μεγάλες ποσότητες οξυγόνου και αυτό γιατί το οξυγόνο στην κοπή είναι μόνο 60% αποδοτικό, με το 40% να απελευθερώνεται στο περιβάλλον. Αν αυτό το αέριο παγιδευτεί σε κάποιο χώρο και συνδυαστεί με κάποιο καύσιμο όπως οι υδρογονάνθρακες, μπορεί εύκολα να αναφλεγεί από κάποια φυσαλίδα υδρογόνου ή κάποια σπίθα και να προκαλέσει μεγάλη έκρηξη. Ενδεικτικά από έρευνα αναφέρεται ότι η κοπή με τόξο πλάσματος παράγει μέχρι και 6% H<sub>2</sub>, ενώ στη κοπή με επενδυμένα ηλεκτρόδια παράγεται 95% H<sub>2</sub> [37]. Τα ανώτατα ασφαλή όρια για συγκέντρωση υδρογόνου στο

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

περιβάλλον γύρω από την εργασία είναι 4%, συνεπώς και οι δύο παραπάνω συγκεντρώσεις είναι επικίνδυνες. Τέλος, τα εξωθερμικά ηλεκτρόδια μπορούν να διοχετεύσουν στο περιβάλλον μέχρι και 90% του O<sub>2</sub> που παίρνει μέρος στη κοπή, δημιουργώντας έτσι μια πολύ επικίνδυνη κατάσταση. Άλλα εκρηκτικά αέρια στο περιβάλλον γύρω από μια συγκόλληση ή κοπή μπορούν να είναι πετρελαιοειδή όπως η βενζίνη, το μαζούτ ή λίπη, βαφές, κόλλες και διαλύτες, πυρομαχικά ή εκρηκτικές ύλες, φυτικό ή ζωικό υλικό αποσύνθεσης και άκαυτα αέρια στα πιστόλια κοπής [8].

Ο τραυματισμός από έκρηξη μπορεί να προκαλέσει ανατομικές αλλαγές και να έχει παθολογικές επιπτώσεις [50,62]. Υπάρχουν 4 τύποι τραυματισμών από έκρηξη και ένας δύτες μπορεί να τραυματιστεί από περισσότερους από έναν:

1. Ο αρχικός τραυματισμός προκαλείται από το ωστικό κύμα και επηρεάζει περισσότερο τα όργανα που περιέχουν αέρια.
2. Ο δευτερογενής τραυματισμός προκαλείται από τα εκτοξευμένα συντρίμια.
3. Ο τριτογενής είναι από σύγκρουση του σώματος του δύτε με σταθερά αντικείμενα.
4. Διάφοροι μικροτραυματισμοί και εγκαύματα.

Μια έκρηξη της ίδιας ενέργειας και στην ίδια απόσταση από το θύμα είναι πιο επικίνδυνη μέσα στο νερό παρά στην επιφάνεια. Αυτό γιατί στον αέρα το ωστικό κύμα εκτονώνεται πιο γρήγορα και τείνει να αντανakλάται στις επιφάνειες των εμποδίων που συναντά, ενώ στο νερό το κύμα διαπερνά το σώμα και προκαλεί εσωτερικές βλάβες. Μια έκρηξη είναι μια πολύ γρήγορη χημική αντίδραση, η οποία διαδίδεται με ταχύτητα 2-9 km/s. Τα προϊόντα της αντίδρασης είναι θερμότητα και αέρια. Μια φυσαλίδα αερίου διαμορφώνεται μέσα στο νερό. Η πίεση στη φυσαλίδα αερίου είναι μέχρι και 50000 ata. Η φυσαλίδα διαστέλλεται γρήγορα σε μια σφαίρα, που μετατοπίζει το γύρω νερό, το οποίο είναι ασυμπίεστο. Αυτή η γρήγορη διαστολή παράγει το πρώτο κύμα πίεσης, καθώς η πίεση στη φυσαλίδα αερίου μεταφέρεται στο νερό. Η αρχική αλλαγή της πίεσης του κύματος φυσήματος είναι απότομη, ανερχόμενη σε μια μέγιστη πίεση μέσα σε χιλιοστά του δευτερολέπτου. Η πίεση στη φυσαλίδα πέφτει στη συνέχεια και στο τέλος γίνεται ίση με την υδροστατική. Η περισσότερη ζημία των οργάνων οφείλεται επομένως στο αρχικό κρουστικό κύμα.

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

Τα κλινικά σημάδια και συμπτώματα του τραυματισμού από έκρηξη αφορούν τους πνεύμονες, την καρδιά, τον εγκέφαλο, το έντερο και το αυτί. Η ογκώδης αιμορραγία στους πνεύμονες είναι το πιο χαρακτηριστικό γνώρισμα. Δύσπνοια, θωρακικός πόνος, αιμόπτυση και κυάνωση εμφανίζονται επίσης λόγω των τραυματισμένων πνευμόνων. Βραδυκαρδία και η επακόλουθη κυκλοφοριακή υπόταση είναι το σύμπτωμα στη καρδιά. Η μειωμένη καρδιακή παραγωγή οφείλεται στην απώλεια αίματος στους πνεύμονες και δευτεροβάθμια προσβάλλει τις στεφανιαίες αρτηρίες. Διάσειση εγκέφαλου, πονοκέφαλος, παραλήρημα και κώμα μπορούν να οδηγήσουν τον δύτη σε θάνατο. Κοιλιακός πόνος, ναυτία και τάση για εμετό εμφανίζεται από την αναπήδηση των εσωτερικών οργάνων. Μπορεί επίσης να προκληθεί διάτρηση εντέρων και γαστρεντερική αιμορραγία. Στο αυτί μπορεί να προκληθεί ρήξη τυμπάνου. Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναφερθεί πώς ο δύτης μπορεί να περιορίσει την πιθανότητα της εμφάνισης αυτού του κινδύνου.

#### **4.7. Κίνδυνοι από το υποβρύχιο περιβάλλον**

[42]

Οι υποβρύχιες περιβαλλοντικές συνθήκες έχουν μια σημαντική επίδραση στην επιλογή των δυτών, της τεχνικής κατάδυσης και του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται. Εκτός από περιβαλλοντικούς κινδύνους, ένας δύτης μπορεί να εκτεθεί και στους λειτουργικούς κινδύνους που είναι μοναδικοί στην κατάδυση.

##### Ορατότητα

Η υποβρύχια ορατότητα ποικίλλει με το βάθος και τη θολούρα. Η οριζόντια ορατότητα είναι συνήθως αρκετά καλή στα τροπικά νερά και ένας δύτης είναι σε θέση να δει περισσότερα από 30 m σε ένα βάθος 55 m. Η οριζόντια ορατότητα είναι σχεδόν πάντα λιγότερη από την κάθετη ορατότητα. Η μικρότερη ορατότητα παρουσιάζεται στις λιμενικές περιοχές λόγω του βούρκου των ποταμών, των λυμάτων και των βιομηχανικών αποβλήτων που ρέουν στο λιμάνι. Η αναταραχή του πυθμένα που προκαλείται από τα ισχυρά ρεύματα και η διάβαση μεγάλων σκαφών μπορούν επίσης να έχουν επιπτώσεις στην ορατότητα. Ο βαθμός της υποβρύχιας ορατότητας επηρεάζει την επιλογή της τεχνικής κατάδυσης και μπορεί να αυξήσει πολύ τον χρόνο που απαιτείται για έναν δύτη ώστε να ολοκληρώσει έναν δεδομένο στόχο. Για παράδειγμα, μια καταδυτική ομάδα που προετοιμάζεται για εργασίες σε λιμάνι πρέπει

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

να καταστρώσει σχέδιο για την εξαιρετικά περιορισμένη ορατότητα, ενδεχομένως με συνέπεια μια αύξηση στον χρόνο που θα βρίσκεται ο δύτες στον πυθμένα και μια ανάγκη για πρόσθετους δύτες στην ομάδα.

##### Υψόμετρο

Οι δύτες μπορεί να χρειαστεί να πραγματοποιήσουν μια υποβρύχια συγκόλληση ή κοπή σε νερά που βρίσκονται σε μεγαλύτερα υψόμετρα από το επίπεδο της θάλασσας (π.χ. μια λίμνη σε βουνό). Προσεκτικός σχεδιασμός θα πρέπει να γίνει για τις επιπτώσεις της χαμηλότερης ατμοσφαιρικής πίεσης, αφού τα συμπτώματα της υποξίας και της νόσου εξ' αποσυμπίεσης είναι πιο πιθανά. Τέλος, αν χρειάζεται μεταφορά του δύτε στην περιοχή της εργασίας με κάποιο αεροπλάνο ή ελικόπτερο, θα πρέπει να δοθεί προσοχή για τυχόν επιπλοκές στα προβλήματα των καταδύσεων που έχουν ήδη αναφερθεί.

##### Εμπόδια κάτω από το νερό

Διάφορα υποβρύχια εμπόδια, όπως συντρίμια ή απορριμμένα πυρομαχικά, μπορούν να δημιουργήσουν σοβαρούς κινδύνους στην κατάδυση. Τα συντρίμια και οι χωματερές σημειώνονται συχνά στους καταδυτικούς χάρτες, αλλά η πραγματική παρουσία κάποιου εμπόδιου είναι πιθανό να μην ανακαλυφθεί έως ότου αρχίσει η κατάδυση. Αυτό είναι ένας καλός λόγος για μια προκαταρκτική βουτιά επιθεώρησης προτού αρχίσουν οι υποβρύχιες εργασίες.

##### Ασταθές έδαφος και υποθαλάσσια ρεύματα

Συχνά ο δύτες που πραγματοποιεί μια υποβρύχια συγκόλληση ή κοπή δεν έχει τη δυνατότητα να πατήσει σε κάποιο σταθερό έδαφος και ίσως να πρέπει να είναι και δεμένος με κάποιο σκοινί, όπως οι ορειβάτες, για να μη παρασυρθεί από κάποιο ισχυρό υποθαλάσσιο ρεύμα. Οι καταδυτικοί χάρτες έχουν σημειωμένες τις περιοχές με δυνατά υποθαλάσσια ρεύματα ώστε οι δύτες να μπορέσουν να σχεδιάσουν την κατάδυσή τους με επιτυχία και ασφάλεια. Πολλές φορές, όμως, μόνο αν καταδυθείς μπορείς να καταλάβεις πόσο ισχυρό είναι ένα ρεύμα. Η πιο δυσμενής μορφολογία εδάφους για τον δύτε είναι αυτή που αποτελείται από λάσπη και βούρκο. Για να μη παγιδευτεί ο δύτες μπορεί να χρειαστεί να κινηθεί έρποντας, κάνοντας ιδιαίτερος

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

κουραστική την εργασία του. Εδάφη με βράχια, άμμο, κοράλλια ή χαλίκι προσφέρουν ένα πιο σταθερό έδαφος, εξαρτώμενο φυσικά και από την κλίση του.

##### Σόναρ

Οι δύτες θα πρέπει να αποφεύγουν να βρίσκονται κοντά σε σόναρ. Ενώ τα περισσότερα επίπεδα λειτουργίας τους είναι ανεκτά, για πάνω από 200 dB απαγορεύεται η οποιαδήποτε έκθεση ή επιτρέπεται η έκθεση με κατάλληλη καταδυτική στολή, γιατί μπορεί να προκαλέσει παθολογικές ζημιές (π.χ. μικρές μετατοπίσεις των οπτικών νεύρων). Προσοχή θα πρέπει να δοθεί και στον καταδυτικό εξοπλισμό επειδή επηρεάζεται από την παρουσία του σόναρ.

##### Μολυσμένο νερό

Κατά τον προγραμματισμό για κατάδυση σε μολυσμένο νερό, ο δύτες θα πρέπει να συμβουλευτείται ιατρικό προσωπικό για να εξασφαλίσει ότι λαμβάνονται οι κατάλληλες προφυλάξεις προ-κατάδυσης και πραγματοποιείται ο απαραίτητος έλεγχος μετά την κατάδυση. Στον προγραμματισμό για καταδύσεις σε μολυσμένα νερά, θα πρέπει να ληφθούν προστατευτικός ιματισμός και κατάλληλες προληπτικές ιατρικές διαδικασίες. Θα πρέπει, τέλος, να επιλεγθεί ο κατάλληλος εξοπλισμός κατάδυσης που δίνει στον δύτε τη μέγιστη προστασία ανάλογα με την απειλή.

##### Χημική μόλυνση

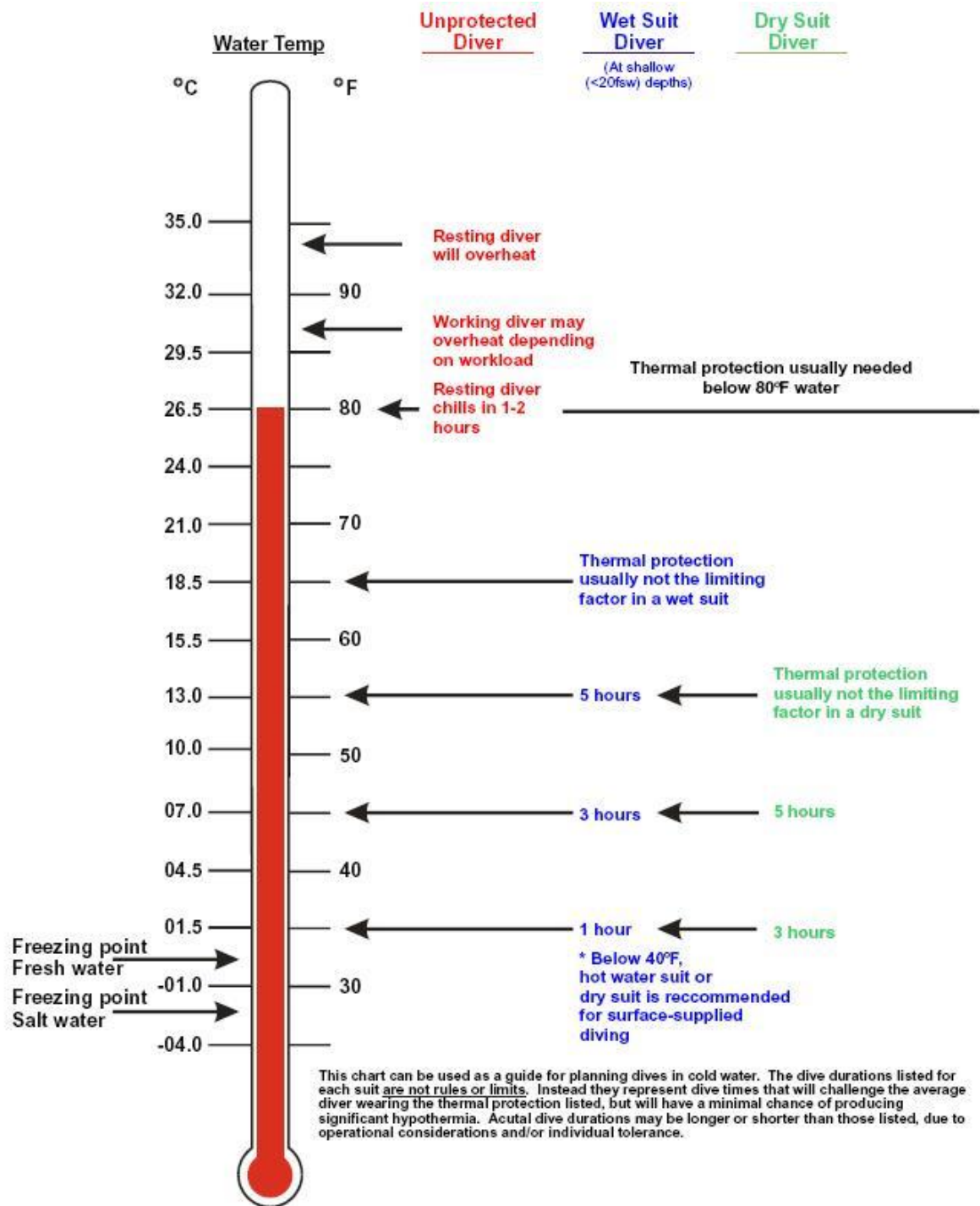
Το πετρέλαιο που διαρρέει από υποβρύχιες πηγές ή από χαλασμένες δεξαμενές μπορεί να λερώσει τον εξοπλισμό και να εμποδίσει σοβαρά τις μετακινήσεις ενός δύτε. Τα τοξικά υλικά ή τα πτητικά καύσιμα που διαρρέουν από τις φορτηγίδες ή τις δεξαμενές μπορούν να ερεθίσουν το δέρμα και να διαβρώσουν τον εξοπλισμό. Η κατάδυση δεν πρέπει να πραγματοποιηθεί έως ότου έχει προσδιοριστεί ο μολυσματικός παράγοντας, οι παράγοντες ασφάλειας έχουν αξιολογηθεί και έχει οργανωθεί μια διαδικασία για την απολύμανση. Οι δύτες που αναπτύσσουν δραστηριότητες σε νερά όπου μια χημική μόλυνση είναι πιθανή θα πρέπει να αξιολογήσουν την απειλή και να προστατευθούν ανάλογα με την περίπτωση. Τέλος, αναφέρεται ότι τα χημικά συστατικά που χρησιμοποιούνται στις βαφές των πλοίων για να εμποδίσουν την ανάπτυξη μικροοργανισμών στη γάστρα τους (όπως το TBT) έχουν τοξική επιρροή και αν διεισδύσουν στον ανθρώπινο



#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

οργανισμό μέσω του στόματος, του δέρματος ή από τους πνεύμονες μπορούν να επηρεάσουν το κεντρικό νευρικό σύστημα, το αίμα, το συκώτι, τα νεφρά και το δέρμα [48].

#### Θερμοκρασία



Φωτογραφία 4.7: Θερμοκρασία νερού και ο δύτης

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

Στο προηγούμενο σχήμα φαίνεται πώς η θερμοκρασία του νερού μπορεί να έχει επιπτώσεις στην απόδοση ενός δύτη. Η φυσική κατάσταση ενός δύτη, η ποσότητα του λίπους του σώματός του και ο θερμικός εξοπλισμός προστασίας καθορίζουν πόση ώρα μπορεί να υπομένει την έκθεση στις ακραίες θερμοκρασίες ακίνδυνα. Στο κρύο νερό, η δυνατότητα να συγκεντρωθεί και να εργαστεί αποτελεσματικά θα μειωθεί γρήγορα. Ακόμη και σε νερό μέτριας θερμοκρασίας (15,5°C-21,5°C), η απώλεια της θερμότητας του σώματος στο νερό μπορεί πολύ γρήγορα να εξαντλήσει τον δύτη.

Εκτός από τη θερμοκρασία του νερού, σημαντικό ρόλο για την εσωτερική θερμοκρασία του δύτη παίζει και η θερμοκρασία του αερίου που αναπνέει [49]. Η ψύξη του αερίου ως αποτέλεσμα της μείωσης της πίεσης είναι γνωστή. Στις καταδύσεις που χρησιμοποιείται ως αέριο μείγμα He-O<sub>2</sub>, είναι κοινή πρακτική να χρησιμοποιείται ζεστό νερό για να ζεστάνει τόσο το σώμα του δύτη, όσο και το αέριο που αναπνέεται. Οι δύτες μπορούν να παγώσουν πολύ γρήγορα αν χάνουν μεγάλη ποσότητα θερμότητας μέσω της αναπνοής. Σε ζεστά νερά (24°C) λόγω της πτώσης της πίεσης η θερμοκρασία του αερίου στις πρώτες ανάσες μπορεί να πέσει στους -4°C. Οι περισσότεροι δύτες δε καταλαβαίνουν αυτόν τον παγωμένο αέρα και καταναλώνουν ακούσια μεγάλη ποσότητα θερμότητας για να ζεστάνουν αυτές τις κρύες εισπνοές. Σύντομα ο δύτης αρχίζει να έχει ρίγος, ενώ ταυτόχρονα εμφανίζεται και εφίδρωση, αφού ο παγωμένος αέρας είναι και ξηρός. Ο κίνδυνος εδώ είναι διπλός. Πρώτον, μπορεί να παγώσει η αναπνευστική συσκευή, βάζοντας σε κίνδυνο την παροχή αέρα του δύτη. Δεύτερον, μπορεί να προκληθεί αναπνευστικό σοκ (σπασμός του λάρυγγα). Σε κάθε περίπτωση πρέπει να θερμαίνεται το αναπνευστικό αέριο με ζεστό νερό.

#### Βιολογική μόλυνση

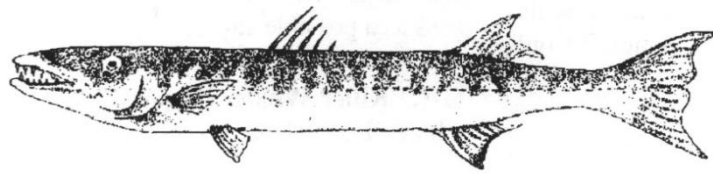
Ένας δύτης που εργάζεται κοντά σε εξόδους υπονόμων μπορεί να εκτεθεί σε βιολογικούς κινδύνους. Οι δύτες με σκάφανδρα είναι ιδιαίτερα τρωτοί στις μολύνσεις των αυτιών και του δέρματος κατά την κατάδυση σε νερά που περιέχουν βιολογική μόλυνση. Οι δύτες μπορούν, επίσης, ακούσια να καταπιούν τα ρυπογόνα υλικά, προκαλώντας και παθολογικά και ψυχολογικά προβλήματα. Εξωτερική προφύλαξη των αυτιών θα πρέπει να παρασχεθεί στον δύτη για να προλάβει τις μολύνσεις των αυτιών.

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

##### Ραδιενεργή μόλυνση

Η ραδιενέργεια μπορεί να εμφανιστεί ως αποτέλεσμα κάποιου ατυχήματος ή κάποιας δοκιμής σε ραδιενεργά όπλα ή λόγω των πολύ συνηθισμένων υποβρύχιων εργασιών σε πυρηνικούς αντιδραστήρες. Η έκθεση σε ραδιενέργεια μπορεί να προκαλέσει σοβαρά τραύματα και ασθένειες. Το προσωπικό που παίρνει μέρος σε τέτοιες εργασίες πρέπει να είναι εξοικειωμένο και να τηρούνται όλοι οι απαιτούμενοι κανόνες ασφαλείας.

##### Θαλάσσια ζώα



Φωτογραφία 4.8: Barracuda

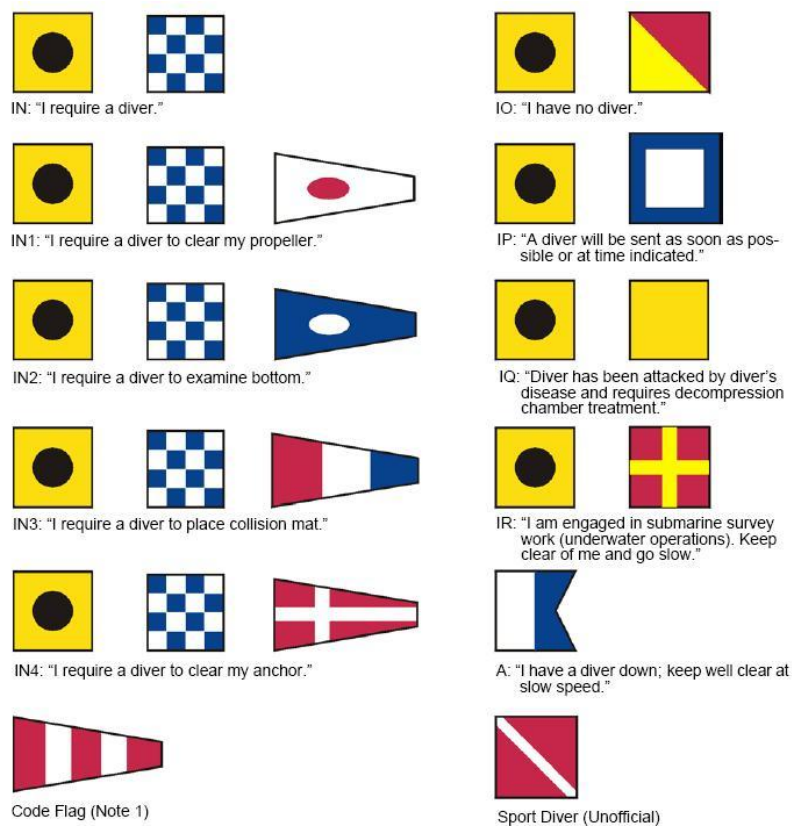
Η θαλάσσια ζωή, λόγω της επιθετικής ή δηλητηριώδους φύσης της, μπορεί να είναι επικίνδυνη για το δύτε. Μερικά είδη θαλάσσιας ζωής είναι εξαιρετικά επικίνδυνα, ενώ άλλα είναι μόνο μια ανησυχητική ενόχληση. Οι περισσότεροι κίνδυνοι από τη θαλάσσια ζωή είναι κατά ένα μεγάλο μέρος υπερτιμημένοι, επειδή τα περισσότερα θαλάσσια ζώα αφήνουν τον δύτε ήσυχο. Όλοι οι δύτες πρέπει να είναι σε θέση να προσδιορίσουν τα επικίνδυνα είδη που είναι πιθανό να βρεθούν στον τομέα της κατάδυσής τους και πρέπει να ξέρουν πώς πρέπει να αντιδράσουν κάθε φορά. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί το εξής παράδοξο. Φαίνεται ότι το ψάρι barracuda για κάποιο λόγο ελκύεται από τις υποβρύχιες συγκολλήσεις. Αυτό μπορεί να συμβαίνει είτε λόγω της οσμής του καμένου μετάλλου είτε λόγω της λάμψης του ηλεκτρικού τόξου. Επομένως, κάποιες φορές ο δύτες πραγματοποιεί την εργασία του έχοντας ένα barracuda να το επιβλέπει! Οι επιθέσεις όμως αυτού του ψαριού στον άνθρωπο είναι κάτι παραπάνω από σπάνιες.

##### Πλοία και μικρά σκάφη

Η παρουσία άλλων σκαφών είναι συχνά ένα σοβαρό πρόβλημα. Μπορεί να είναι απαραίτητο να αποκλειστεί μια περιοχή ή να περιοριστεί η μετακίνηση άλλων σκαφών. Πρέπει, επομένως, να εκδοθεί μια τοπική ειδοποίηση στους ναυτικούς. Οποιαδήποτε στιγμή που καταδύσεις πραγματοποιούνται κοντά σε άλλα σκάφη, θα

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

πρέπει να δηλωθούν κατάλληλα από το διεθνή κώδικα με σήματα σημαίας. Μια κατάδυση μπορεί να πρέπει να γίνει σε μια περιοχή με πολλές μικρές βάρκες που χρησιμοποιούνται από ανθρώπους με ποικίλα επίπεδα ναυτικής τέχνης και γνώσης των ναυτικών κανόνων. Η καταδυτική ομάδα πρέπει να υποθέσει ότι αυτοί οι χειριστές δεν είναι εξοικειωμένοι με τα σήματα κατάδυσης και πρέπει να πάρουν τις απαραίτητες προφυλάξεις έτσι κι αλλιώς για να εξασφαλίσουν ότι αυτά τα σκάφη παραμένουν μακριά από την περιοχή της κατάδυσης. Οι κίνδυνοι που συνδέονται με την κυκλοφορία σκαφών εντείνονται λόγω της μειωμένης ορατότητας.



Φωτογραφία 4.9: Διεθνής κώδικας με σήματα σημαίας

#### 4.8. Κοινοί κίνδυνοι με τις συγκολλήσεις και κοπές στην επιφάνεια

[53, 58]

Όπως είναι λογικό οι υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές έχουν κοινούς κινδύνους με τις αντίστοιχες της επιφάνειας. Μάλιστα οι στεγνές υποβρύχιες συγκολλήσεις διαφέρουν μόνο ως προς την παρουσία υπερβαρικού περιβάλλοντος. Η

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

αντίστοιχη βιβλιογραφία για τους κινδύνους και τα προβλήματα υγείας των συγκολλήσεων και των κοπών στην επιφάνεια είναι εκτεταμένη. Εδώ θα δοθεί μια σύντομη και περιεκτική ματιά αυτών, αφού δεν αποτελούν στόχο της παρούσας διπλωματικής.

##### Αναθυμιάσεις

Οι αναθυμιάσεις που δημιουργούνται κατά τη συγκόλληση και κοπή οφείλονται στην καύση των μετάλλων και της επένδυσης του ηλεκτρόδιου. Αυτό δημιουργεί μια επικίνδυνη κατάσταση για τον συγκολλητή, αλλά και για τους υπόλοιπους εργαζόμενους στον ίδιο χώρο εργασίας. Τα μόρια των παραγόμενων αερίων είναι αρκετά μικρά και μπορούν να παραμείνουν στο χώρο για αρκετή ώρα αν δεν υπάρχει σωστός εξαερισμός, όπως σε ένα θάλαμο υποβρύχιας συγκόλλησης. Η σύνθεση των αναθυμιάσεων καθορίζει το επίπεδο έκθεσης που πρέπει να ελεγχθεί ώστε να αποτραπούν τα προβλήματα υγείας. Διαφορετικές μέθοδοι συγκολλήσεων και κοπών παράγουν διαφορετικά επικίνδυνα αέρια και σε διαφορετική ποσότητα. Τα επιστρώματα στην επιφάνεια συγκόλλησης ή κοπής, όπως οι βαφές, επηρεάζουν επίσης τη σύνθεση των αναθυμιάσεων. Η θέση του συγκολλητή, πόσο κοντά δηλαδή βρίσκεται, ο χώρος της εργασίας, όσο πιο μικρός τόσο χειρότερα, και ο χρόνος έκθεσης αυξάνουν την επικινδυνότητα. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η τοξικότητα των περισσότερων αερίων αυξάνεται σε ένα υπερβαρικό περιβάλλον [38].

Η διείσδυση των αερίων στο ανθρώπινο σώμα πραγματοποιείται είτε μέσω του στόματος, είτε μέσω του δέρματος, είτε από τους πνεύμονες. Ανάλογα με τη σύνθεση των αερίων και το κάθε σύστημα του οργανισμού που προσβάλλεται, προκαλούνται και διαφορετικές βλάβες [33,47]. Στο αναπνευστικό σύστημα μπορεί να προκληθεί οξύς ερεθισμός, άσθμα, πνευμονοκονίαση (μόνιμη βλάβη μετά από μακροχρόνια έκθεση λόγω του εκφυλισμού της δομής των κυψελίδων σε «ινώδη μορφή» με συμπτώματα δύσπνοιας και ανικανότητας προς εργασία) και καρκίνος. Στο νευρικό σύστημα εμφανίζονται κινητικές και αισθητικές διαταραχές, απώλεια συνείδησης και ψυχολογικά προβλήματα. Βλάβες στα νεφρά και καρκίνος της ουροδόχου κύστης είναι πιθανά. Καρδιοπάθειες, δερματίτιδες και καρκίνοι του δέρματος, ερεθισμός των ματιών, βλάβες στο ήπαρ και στο αιμοποιητικό σύστημα μπορούν επίσης να εμφανιστούν. Ασαφή συμπτώματα, όπως ασυνήθιστη κούραση, κατάθλιψη, απώλεια μνήμης, προβλήματα συγκέντρωσης και συντονισμού δείχνουν

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

ότι οι αναθυμιάσεις αυτές έχουν συνέπειες και στον εγκέφαλο και μπορεί να προκαλέσουν και μόνιμες βλάβες. Η χρόνια έκθεση μπορεί να δημιουργήσει μη ιάσιμα προβλήματα υγείας.

Ο πυρετός από ατμούς μετάλλων (metal fume fever) είναι μια οξεία αναπνευστική νόσος, που μοιάζει πολύ με τη γρίπη, και οι περισσότεροι συγκολλητές παθαίνουν τουλάχιστον ένα επεισόδιο κατά τη διάρκεια της καριέρας τους. Η συχνότερη αιτία αυτής της εμπύρετης ασθένειας είναι τα οξειδία του ψευδάργυρου και σπανιότερα τα οξειδία του χαλκού και του μαγνησίου. Συνήθως εμφανίζεται μόλις ολοκληρωθεί εργασία και διαρκεί ένα 24ωρο. Πυρετός, ρίγος, βήχας, μυαλγία, μεταλλική γεύση και σιελόρροια, ενώ πιο σοβαρή περίπτωση μπορεί να οδηγήσει σε αναπνευστική βλάβη.

Ακολουθεί ένας ενδεικτικός πίνακας με κάποια από τα παραγόμενα αέρια των συγκολλήσεων και κοπών και πιθανές βιολογικές επιδράσεις.

<b>ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ</b>	<b>ΑΜΕΣΕΣ ΤΟΞΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ</b>	<b>ΧΡΟΝΙΕΣ ΤΟΞΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ</b>
<b>ΧΗΜΙΚΟΙ</b>		
ακετυλένιο	κεφαλαλγία, ναυτία, ζάλη, κώμα	
μονοξείδιο του άνθρακα	κεφαλαλγία, ναυτία, ζάλη, κώμα, θάνατος	καρδιαγγειακές επιδράσεις (μυοκαρδιοπάθεια, επιδείνωση στεφανιαίας νόσου)
οξειδία του αζώτου	πνευμονίτιδα, πνευμονικό οίδημα	χρόνια βρογχίτιδα, εμφύσημα, πνευμονική ίνωση
όζον	ερεθισμός αναπνευστικής οδού, ξηρότητα βλεννογόνων, κεφαλαλγία, υπνηλία, κόπωση, πνευμονικό οίδημα, συριγμός	αναπνευστική ανεπάρκεια
φωσγένιο	βρογχιολίτιδα, πνευμονικό οίδημα	ΧΑΠ, πνευμονική ίνωση
αρσενικό	δερματίτιδα, συμπτώματα ΓΕΣ (ναυτία, έμετος, διάρροια)	καρκίνος (πνεύμονα, λεμφικός, δέρματος), δέρμα (υπέρχρωση, παλαμιαίοι και πελματιαίοι σπίλοι, υπερκεράτωση), αναιμία, λευκοπενία, μυοκαρδιοπάθεια, ηπατική κίρρωση, περιφερική νευρίτιδα (αιμωδίες, αδυναμία, αταξία)

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

αλουμίνιο	ερεθισμός αναπνευστικού/ δέρματος	χρόνια βρογχίτιδα, πνευμονική ίνωση
βηρύλλιο	δέρμα (έλκη, δερματίτιδα), επιπεφυκίτιδα, ρινίτιδα, φαρυγγίτιδα, τραχειοβρογχίτιδα, χημική πνευμονίτιδα	καρκίνος (πνεύμονα), αναπνευστικό (βήχας, θωρακαλγία, κυάνωση), γενικευμένη αδυναμία, ηπατομεγαλία, σπληνομεγαλία
κάδμιο	πνευμονικό οίδημα, ερεθισμός και εξέλκωση ρινικής κοιλότητας	καρκίνος (προστάτη, πνεύμονα), πνευμονική ίνωση, εμφύσημα, νεφροί (πρωτεϊνουρία), απλασική αναιμία, οστεομαλακία, ανοσομία
χρόμιο (εξασθενές)	δέρμα (έλκη, δερματίτιδα), ερεθισμός αεραγωγών, επίσταξη και οπτική διάτρωση ρινός, επιπεφυκίτιδα	καρκίνος (πνεύμονα), πιθανή νεφρική και ηπατική βλάβη
κοβάλτιο	ευαισθητοποίηση πνεύμονα (ασθματοειδής) και δέρματος	πνευμονική ίνωση, υπερπλασία θυροειδούς (πιθανή), πολυκυτταραιμία (πιθανή)
χαλκός	πυρετός από ατμούς μετάλλων, ερεθισμός ρινικού βλεννογόνου	
σίδηρος		σιδήρωση (πνευμονική εναπόθεση σκόνης σιδήρου)
μόλυβδος		νευρικό (νευροπάθεια- παράλυση εκτεινόντων), ΓΕΣ (ανορεξία, δυσκοιλιότητα κωλικοί εντέρου), νεφροπάθεια, επιδράσεις στο αναπαραγωγικό (στον εμβρυϊκό εγκέφαλο) και στο αιμοποιητικό (διαταραχές μεταβολισμού πορφυρίνης)
μαγνήσιο	ερεθισμός ρινικού βλεννογόνου και επιπεφυκότα	
μαγγάνιο	χημική πνευμονίτιδα	νευρικό (ερεθιστικότητα, υπνηλία, ανικανότητα, δυσκαμψία, σπασμωδικός κλαυσίγελος, διαταραχές ομιλίας και βαδίσματος)
μολυβδένιο	ερεθισμός βλεννογόνων	
νικέλιο	δερματίτιδα, ασθματοειδής αντίδραση	καρκίνος (ρινός, λάρυγγα και πνεύμονα), ερεθισμός αεραγωγών (αιμορραγία και εξέλκωση ρινός, οπτική διάτρωση ριν. διαφράγματος)
άργυρος (ασήμι)		αργυρία ή αργύρωση (χρώση δέρματος και οφθαλμών από εναπόθεση αργύρου)



#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

κασσίτερος	ερεθισμός βλεννογόνων αναπνευστικού	στάνωση (πνευμονοκονίαση από εισπνοή οξειδίου του κασσίτερου)
πιτάσιο		πνευμονοκονίαση
βολφράμιο	επιπεφυκίτιδα, ερεθισμός ανώτερης	εξωγενές άσθμα, αναπνευστικής οδού πνευμονοκονίαση, διάχυτη διάμεση πνευμονική ίνωση
βανάδιο	ερεθισμός αεραγωγών, επιπεφυκίτιδα, δερματίτιδα	ΧΑΠ, πνευμονία, δερματίτιδα, πιθανές αλλεργικές εκδηλώσεις
ψευδάργυρος	πυρετός από ατμούς μετάλλων, δερματικό εξάνθημα	
φωσφίνη	κεφαλαλγία, καταβολή, ναυτία, έμετος, δίψα, βήχας, δύσπνοια, αταξία, παραισθησία, τρόμος, διπλωπία	ΧΑΠ, χρόνια βρογχίτιδα, πρωτεϊνουρία
φώσφορος	ναυτία, έμετος, κοιλιακό άλγος, βρογχόσπασμο, βήχα, χημική πνευμονίτιδα, οξύ πνευμονικό οίδημα, αρρυθμία, ουραιμία, ίκτερος, ηπατομεγαλία	ΧΑΠ, χρόνια βρογχίτιδα, πρωτεϊνουρία
οργανικός υδράργυρος	αιμωδίες άκρων, χειλέων, εξανθήματα	μείωση συντονισμού κινήσεων, αταξία, τρόμος, μείωση οπτικών πεδίων, βαρκοϊα κεντρικού τύπου, μυϊκή ακαμψία, σπαστικότητα, διανοητική και συναισθηματική απορρύθμιση
κολοφώνιο	συριγμός	άσθμα
εποξεία	αλλεργική δερματίτιδα, ερεθισμός, ευαισθητοποίηση αναπνευστικού	ενδοκρινικές διαταραχές χρωμοσωμικές αλλοιώσεις
αλδεΐδες	ερεθισμός βλεννογόνων αναπνευστικού, βήχας, ριναλγία, φαρυγγοδυνία	δερματίτις, άσθμα, δύσπνοια, μείωση FVC με θετική απάντηση στη βρογχοδιαστολή
ισοκυανιούχα	φλεγμονή ανωτ. αναπνευστικού, χημική πνευμονίτιδα, επαγγ. άσθμα μείωση αναπν. λειτουργίας κατά τη βάρδια	άσθμα επίμονο, χρόνια μείωση αναπνευστικής λειτουργίας
αμίαντος		καρκίνος (πνεύμονα, μεσοθελίου), αμιάντωση, πάχυνση υπεζωκότα
φθοριούχα	συμπτώματα αναπνευστικού και ΓΕΣ	οστεοσκλήρυνση, αναπνευστική ανεπάρκεια, νεφρικές δυσλειτουργίες
διοξείδιο πυριτίου		πυριτίαση

Πίνακας 4.4: Αναθυμιάσεις και πιθανές επιδράσεις [54]



#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

##### Ακτινοβολία

Το ηλεκτρικό τόξο είναι από τις ισχυρότερες τεχνητές πηγές ακτινοβολίας. Σε κάθε μέθοδο συγκόλλησης και κοπής εκπέμπεται ακτινοβολία διαφορετικού φάσματος και έντασης. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύσσονται υπέρυθη, ορατή και υπεριώδης ακτινοβολία.

Το φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας περιλαμβάνει μήκη κύματος 0,75 μm έως 3000 μm και κάθε θερμό σώμα την εκπέμπει. Η υπέρυθη ακτινοβολία επιδρά μόνο στα επιφανειακά στρώματα του δέρματος και μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα, αυξημένη εναπόθεση μελανίνης και οφθαλμικές βλάβες. Αυτές περιλαμβάνουν καταρράκτη (heat cataract-λόγω απορρόφησης στον κερατοειδή και επαγωγής θερμότητας στο φακό), βλάβη στον αμφιβληστροειδή λόγω μετουσίωσης πρωτεϊνών και ερεθισμό του κερατοειδή (dry eye) [35].

Η ορατή ακτινοβολία εκτείνεται μεταξύ 400 και 750 nm. Υψηλής εντάσεως λάμπες μπορεί να προκαλέσουν θερμική ή φωτοχημική βλάβη στον αμφιβληστροειδή. Θάμβωση από λάμψη δεν είναι σπάνιο φαινόμενο, ενώ στους θαλάμους στεγνής υποβρύχιας συγκόλλησης ο ανεπαρκής φωτισμός μπορεί να οδηγήσει σε κόπωση και πονοκεφάλους.

Η υπεριώδης ακτινοβολία έχει φάσμα από 200 έως 400 nm. Διαίρεται σε τρεις περιοχές: τη UV-A από 315-400 nm, τη UV-B από 280-315 nm και τη UV-C κάτω από 280 nm. Μήκη κύματος κάτω από 295 nm απορροφώνται από την επιδερμίδα, ενώ μεγαλύτερα από το χόριο (μεμβράνη ελαστική και ανθεκτική που αποτελείται από συνδετικό ιστό και βρίσκεται κάτω από την επιδερμίδα του δέρματος). Επιπλέον, τα μήκη κύματος άνω των 300 nm μεταδίδονται διαμέσου του κερατοειδούς και απορροφώνται από τους φακούς. Η απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας παράγει φωτοχημικές αντιδράσεις, όπως φωτοκερατίτιδα και επιπεφυκίτιδα. Πόνος, δακρύρροια, δυσανεξία στο φως, θάμβωση και αίσθημα άμμου στα μάτια είναι τα κύρια συμπτώματα. Σε άτομα που έχει αφαιρεθεί ο φακός π.χ. λόγω καταρράκτη, έκθεση σε αυτή την ακτινοβολία μπορεί να προκαλέσει απώλεια όρασης λόγω βλάβης στον αμφιβληστροειδή. Η έκθεση στη περιοχή της UV-B προκαλεί ερυθρότητα του δέρματος και μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα. Άλλες μακροχρόνιες επιδράσεις είναι η πρόωρη γήρανση του δέρματος, οι κακοήθειες του δέρματος και σπανιότερα το μελάνωμα. Τέλος, μπορεί να προκαλέσει αντίδραση φωτοευαισθησίας στον συγκολλητή. Τα έμμεσα αποτελέσματα συνίστανται κυρίως

#### 4. Προβλήματα υγείας και κίνδυνοι

στην έκκριση ισταμίνης από τα προσβεβλημένα κύτταρα του δέρματος, η οποία προκαλεί φλεγμονές. Η αναπνευστική οδός καθίσταται περισσότερο ευπαθής σε νόσους όπως η βρογχίτιδα και η πνευμονία. Στο κυκλοφοριακό σύστημα παρατηρείται πτώση της πίεσης του αίματος και αύξηση των ερυθρών και των λευκών αιμοσφαιρίων. Η ισταμίνη διεγείρει το στομάχι να παράγει περισσότερες εκκρίσεις, με αποτέλεσμα η συγκέντρωση υδροχλωρικού οξέος σε αυτό να είναι μεγαλύτερη της κανονικής. Έτσι προκαλούνται φλεγμονές στα τοιχώματα του στομάχου και έλκη.

#### Θόρυβος και θερμικό περιβάλλον

Η έκθεση σε υψηλά επίπεδα θορύβου είναι συνηθισμένη στις συγκολλήσεις και κοπές [34]. Το θρυμματίσμα της σκουριάς, η κοπή με τόξο πλάσματος (υψίσυχνου θόρυβοι), οι κρούσεις σε λαμαρίνες και οι αντανακλάσεις, ειδικά σε κλειστούς και μικρούς χώρους όπως ένας θάλαμος συγκόλλησης, δημιουργούν επίπεδα θορύβου από 90 έως 120 dB. Η βαρηκοΐα, ο κίνδυνος ακουστικού τραύματος και οι ψυχολογικές επιπτώσεις προκαλούν σημαντικά προβλήματα. Σπανιότερα εμφανίζεται ίλιγγος και λοίμωξη στο αυτί. Η πλέον διαδεδομένη ψυχολογική επίπτωση είναι αυτή του στρες, το οποίο έχει επιπτώσεις στη ψυχική και σωματική ευεξία και στην γενική υγεία του εργαζόμενου. Όσοι πάσχουν από υπέρταση ή καρδιακά προβλήματα είναι πιο ευπαθείς σε υψηλές στάθμες θορύβου. Άλλες κλινικές εκδηλώσεις είναι η σύσφιξη των δερματοφόρων αγγείων, διαστολή της κόρης του ματιού, ταχυκαρδία, αύξηση στη ροή της αδρεναλίνης, γαστρεντερική ευκινησία, αύξηση της αρτηριακής πίεσης, μυϊκή ένταση και κόπωση. Άλλες πνευματικές επιδράσεις είναι η αδυναμία συγκέντρωσης, αύξηση των χρόνων αντίδρασης και αλλαγή προσωπικότητας. Τέλος, σε ένα περιβάλλον, όπως οι υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές, όπου η επικοινωνία του δύτε με την επιφάνεια είναι ζωτικής σημασίας, προκαλεί κακή επικοινωνία και εκνευρισμό.

Οι συγκολλήσεις και κοπές παράγουν θερμότητα και συχνά οι συγκολλητές είναι εκτεθειμένοι σε υψηλές θερμοκρασίες. Η έκθεση σε πολύ θερμό περιβάλλον μπορεί να εκδηλωθεί είτε ως θερμική εξάντληση με υπερβολικό ιδρώτα, ατονία, ταχυπαλμία, ίλιγγο, πονοκέφαλο, πιθανή ναυτία και εμετό και πιθανή λιποθυμία, είτε ως θερμοπληξία με έντονη και ακατανίκητη δίψα, ξερό και κόκκινο δέρμα, υψηλή θερμοκρασία σώματος, παραλήρημα, σπασμούς, κώμα και πιθανό θάνατο.

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

### 5.1. Εισαγωγή



*Φωτογραφία 5.1: Δύτης επιχειρεί υποβρύχια εργασία*

Οι υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές περιλαμβάνουν διάφορους κινδύνους, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο. Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να καλύψει τις απαραίτητες προφυλάξεις ασφαλείας που πρέπει να ακολουθούνται πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τις εργασίες αυτές. Είναι σχεδόν αδύνατον να προβλεφθούν όλες οι επικίνδυνες καταστάσεις που μπορεί να προκύψουν στις υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές. Συνεπώς, δεν πρέπει να θεωρηθεί ότι, ακολουθώντας μόνο πιστά τους κανόνες αυτού του κεφαλαίου, εξαλείφονται όλοι οι πιθανοί κίνδυνοι. Παρόλα αυτά, με μια λεπτομερή γνώση των βασικών αρχών των υποβρύχιων συγκολλήσεων και κοπών, συνδυασμένη με τη κοινή λογική, οι εργασίες αυτές μπορούν να γίνουν με μέγιστη ασφάλεια. **Η απόκλιση από τους καθιερωμένους κανόνες είναι φυσικά ενδεχομένως επικίνδυνη, όμως, η πιο σοβαρή περίπτωση είναι η αντιμετώπιση των κανόνων ως ρουτίνα.** Σημασία στην ασφάλεια πρέπει να δίνεται κάθε φορά και όσο πιο πολύ σημασία δίνουν οι εργαζόμενοι, τόσο πιο ασφαλείς είναι. Τέλος, είναι εξίσου σημαντικό να ακολουθούνται οι προφυλάξεις ασφαλείας στην επιφάνεια όπως και

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

στο νερό, καθώς ατυχήματα έξω από το νερό μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο το προσωπικό που βρίσκεται μέσα σε αυτό.

Πριν από την εργασία και την κατάδυση πρέπει να οριστούν σαφώς τα ακόλουθα:

1. Η εργασία που πρέπει να γίνει.
2. Το σχέδιο με βάση το οποίο θα γίνει η εργασία.
3. Αρμοδιότητες κάθε ατόμου που θα πάρει μέρος στην εργασία.
4. Πιθανά σχέδια σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.
5. Όλα τα πιθανά εμπόδια και οι πιθανοί κίνδυνοι της εργασίας.

Όλος ο απαραίτητος εξοπλισμός, τα εργαλεία και το σύστημα επικοινωνίας θα πρέπει να ελέγχονται από πριν για να διαβεβαιωθεί ότι όλα είναι σε καλή κατάσταση για χρήση. Ο καταδυτικός εξοπλισμός, το προσωπικό επίβλεψης και υποστήριξης και οι διαδικασίες κατάδυσης πρέπει το λιγότερο να ακολουθούν τα πρότυπα του Consensus Standard For Commercial Diving Operations. Οι διαδικασίες συγκόλλησης και κοπής πρέπει το λιγότερο να ακολουθούν τα πρότυπα του ANSI Z49.1:2005 “Safety in Welding and Cutting”

Για μέγιστη ασφάλεια και αποδοτικότητα, ο ιδανικός αριθμός προσωπικού εκτός των δυτών είναι τρία άτομα. Το πρώτο άτομο (tender) διατηρεί επικοινωνία με τον δύτη, μεταβιβάζει τις οδηγίες του και χειρίζεται τον διακόπτη ασφαλείας (welding or cutting knife switch). Ο δεύτερος ακολουθεί τις οδηγίες του tender, ρυθμίζει την ένταση του ρεύματος, στέλνει ηλεκτρόδια κάτω στον δύτη και κάνει διάφορες άλλες εργασίες, αν χρειαστεί. Ο τρίτος είναι υπεύθυνος για τον δύτη και τον καταδυτικό εξοπλισμό. Σε ειδικές περιπτώσεις χρειάζεται και επιπλέον προσωπικό (π.χ. σε πυρηνικές εγκαταστάσεις χρειάζεται ένας υπεύθυνος να παρακολουθεί την έκθεση του δύτη στην ραδιενεργή ακτινοβολία).

**ΓΙΑ ΚΑΝΕΝΑ ΛΟΓΟ ΔΕΝ ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΙ ΑΥΤΗ Η ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΩΣ ΟΔΗΓΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΕΣ ΔΥΤΕΣ. Η ΠΑΡΟΥΣΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΙΝΑΙ ΠΡΟΪΟΝ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ Ο ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΚΑΜΙΑ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΣΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΚΟΠΩΝ.**

## 5.2. Γενικοί κανόνες ασφαλείας για τις στεγνές υπερβαρικές συγκολλήσεις

[2, 9]

Η στεγνή υποβρύχια συγκόλληση, όπως έχει αναφερθεί, πραγματοποιείται μέσα σε ένα θάλαμο που όχι μόνο αποκλείει το νερό, αλλά επίσης περιορίζει την ελευθερία κινήσεων του συγκολλητή και τον κρατά σε κοντινή απόσταση από τη συγκόλληση. Οι προφυλάξεις ασφαλείας εδώ περιλαμβάνουν όλους τους κανόνες ασφαλείας για συγκόλληση σε περιορισμένο χώρο, συν επιπλέον προφυλάξεις για να αντιμετωπιστούν οι κίνδυνοι της κατάδυσης, της αυξημένης πίεσης, των περίπλοκων logistics και της δύσκολης εισόδου και εξόδου του δύτε στο θάλαμο.

Πριν και κατά τη διάρκεια της υποβρύχιας εργασίας, ο δύτες/συγκολλητής θα πρέπει να έχει υποστήριξη από την επιφάνεια, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, και θα πρέπει να υπάρχει ένας δύτες σε ετοιμότητα σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. **Φωνητική επικοινωνία μεταξύ του δύτες/συγκολλητή και του tender θα πρέπει να διατηρείται καθ' όλη τη διάρκεια**, καθώς χειροκίνητα σήματα μέσω του καταδυτικού εξοπλισμού δεν είναι δυνατά όταν ο συγκολλητής βρίσκεται μέσα στον θάλαμο. Απώλεια των επικοινωνιών θα πρέπει να διαχειριστεί ως επικίνδυνη κατάσταση και ο δύτες θα πρέπει να εγκαταλείψει την εργασία μέχρι να αποκατασταθεί η επικοινωνία. **Οι θάλαμοι θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να διευκολύνεται η είσοδος και η έξοδος του δύτες**. Όταν οι θάλαμοι χρησιμοποιούνται για εργασίες σε υποθαλάσσιες σωληνώσεις και ο πυθμένας του θαλάμου στηρίζεται στον βυθό της θάλασσας, θα πρέπει να ληφθούν μέτρα προφύλαξης για να μην παγιδευτεί ο δύτες/συγκολλητής από τυχόν βύθιση των πλευρών του θαλάμου μέσα στην άμμο ή σε οποιοδήποτε άλλη μορφολογία του βυθού.

Η μερική πίεση του οξυγόνου στο αέριο που χρησιμοποιείται για να εκτοπίζει το νερό από τον θάλαμο είναι ζωτικής σημασίας για τον συγκολλητή, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Με αύξησή της αυξάνεται επίσης και η πιθανότητα για φωτιά. Ύστερα από αρκετές στεγνές υποβρύχιας συγκολλήσεις έχει διαπιστωθεί ότι **ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να χρησιμοποιείται με ασφάλεια για βάθη μέχρι 18 m**. Για μεγαλύτερα βάθη το αέριο που χρησιμοποιείται θα πρέπει να είναι κατάλληλο όχι μόνο για αναπνοή, αλλά και να είναι ικανό να εμποδίσει τη γρήγορη ανάφλεξη των εύφλεκτων υλικών. Μίγματα ηλίου-οξυγόνου είναι τα πιο συχνά χρησιμοποιημένα, με ταυτόχρονη στενή παρακολούθηση της μερικής πίεσης του οξυγόνου.

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

Ο περιορισμός βάθους των 18 m αναφέρεται σε εφαρμογές σε θαλάμους ανοικτούς στη βάση, όπου ο δύτες/συγκολλητής έχει εύκολη και γρήγορη πρόσβαση στο νερό σε περίπτωση που πιάσει φωτιά η στολή του. Ο περιορισμός αυτός δεν ισχύει σε στεγνή συγκόλληση σε κλειστό θάλαμο. Σε αυτή τη περίπτωση ο υπεύθυνος ασφαλείας θα κρίνει το κατάλληλο αέριο για χρήση και αν ο θάλαμος θα εξοπλιστεί με σύστημα πυρασφάλειας (high-pressure water-spray system) ή όχι. Σε κάθε περίπτωση τα ρούχα του συγκολλητή και τα γάντια του θα πρέπει να είναι ειδικά φτιαγμένα για πυροπροστασία.

Για να ξεσπάσει φωτιά μέσα στον θάλαμο, οι ακόλουθες προϋποθέσεις πρέπει να ισχύουν ταυτόχρονα:

1. Κάποιο καύσιμο – Ο αριθμός των εύφλεκτων υλικών που χρησιμοποιείται θα πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός.
2. Οξυγόνο – Ο θάλαμος θα πρέπει να είναι εξοπλισμένος με όργανο συνεχούς παρακολούθησης των επιπέδων οξυγόνου.
3. Μια πηγή ανάφλεξης, η οποία δε μπορεί να αποφευχθεί λόγω του ηλεκτρικού τόξου.

**Η παρακολούθηση και ο έλεγχος των επιπέδων του οξυγόνου μέσα στον θάλαμο είναι η βασική προφύλαξη για την αποφυγή φωτιάς.**

**Βαφές, διαλύτες, υδρογονάνθρακες ή οποιοδήποτε άλλο υλικό το οποίο μπορεί να απελευθερώσει τοξικά ή επικίνδυνα αέρια δεν θα πρέπει ποτέ να χρησιμοποιείται μέσα στον θάλαμο.** Αν λόγω πίεσης προτιμάται η χρήση υδραυλικών εργαλείων αντί πνευματικών, τα εργαλεία θα πρέπει να ελέγχονται αν αντέχουν το 150% της υδροστατικής πίεσης του περιβάλλοντος εργασίας. Για μεγαλύτερα ασφάλεια προτείνεται η χρήση νερού-γλυκόλης αντί για τα συμβατικά λάδια των υδραυλικών συστημάτων. Παρομοίως, αν χρησιμοποιούνται πνευματικά εργαλεία, θα πρέπει να έχουν ξεπλυθεί από οποιοδήποτε λιπαντικό και δε θα πρέπει ποτέ να χρησιμοποιούνται in-line λιπαντικά.

Όταν ο ατμοσφαιρικός αέρας χρησιμοποιείται ως αέριο για την εκτόπιση του νερού, υπάρχει η δυνατότητα για συνεχή εξαερισμό του θαλάμου προς αποφυγή συσσώρευσης τοξικών αερίων και καπνού. Αν χρησιμοποιούνται μείγματα αερίων, το υψηλό κόστος τους απαγορεύει τη χρήση τους και για εξαερισμό, με αποτέλεσμα την ανάγκη για χρήση κατάλληλων ιονιστών για τοξικά αέρια και καπνούς. Παρομοίως, αν το αέριο που χρησιμοποιείται δεν είναι ατμοσφαιρικός αέρας και η εκπνοή του

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

δύτη/συγκολλητή ανεβάζει τη μερική πίεση του οξυγόνου του αερίου μέσα στον θάλαμο, τότε το αέριο εκπνοής θα πρέπει να απορρίπτεται εκτός θαλάμου μέσω κάποιου τεχνητού συστήματος. Το ίδιο θα πρέπει να γίνει κατά τη χρήση πνευματικών εργαλείων για την αποφυγή αύξησης της μερικής πίεσης του οξυγόνου.

**Ένα κύκλωμα κλειστής τηλεόρασης για παρακολούθηση των δραστηριοτήτων μέσα στο θάλαμο είναι ένας σημαντικός παράγοντας ασφαλείας, ειδικά σε περίπτωση που διακοπούν οι φωνητικές συνομιλίες. Παρόλα αυτά, η χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος θα πρέπει να είναι η ελάχιστη δυνατή. Αν χρησιμοποιείται εναλλασσόμενο ρεύμα στον θάλαμο, όλα τα κυκλώματα θα πρέπει να είναι εφοδιασμένα με διακόπτες προστασίας από σφάλμα γείωσης (ground fault interrupters), τα οποία ανοίγουν το κύκλωμα μόλις εντοπίσουν διαρροή ρεύματος έστω και λίγων milliamperes.**

Ο δύτης/συγκολλητής είναι εξοπλισμένος με καταδυτική στολή για να μπει και να βγει από το θάλαμο. Συνήθως, μέσα στο θάλαμο αλλάζει με μια πιο ελαφριά μάσκα αναπνοής που είναι εφοδιασμένη και με σύστημα επικοινωνίας. **Μέσα στον θάλαμο θα πρέπει να υπάρχει και μια εφεδρική αναπνευστική συσκευή σε περίπτωση ανάγκης. Ο συγκολλητής πρέπει να φοράει προστατευτικό μπουφάν και γάντια για να προστατευτεί από εγκαύματα από τυχόν εκτοξεύσεις υλικού και από τη θερμότητα που παράγεται από τη συγκόλληση. Η αναπνευστική συσκευή πρέπει να είναι κατασκευασμένη για να αντέχει σε έκθεση σε υψηλή θερμότητα.**

### **5.3. Γενικοί κανόνες ασφαλείας για τις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις και για κοπές με ηλεκτρικό τόξο**

[2, 31, 41]

Οι γενικές προφυλάξεις ασφαλείας αναφέρονται εδώ στις υγρές υποβρύχιες συγκολλήσεις, δηλαδή με τον δύτη/συγκολλητή στο νερό και χωρίς κανένα εμπόδιο ανάμεσα στο ηλεκτρικό τόξο και στο νερό, και στις υποβρύχιες κοπές που χρησιμοποιούν ηλεκτρικό τόξο για να πραγματοποιήσουν την κοπή. **Πηγές ενέργειας εναλλασσόμενου ρεύματος δεν θα πρέπει ποτέ να χρησιμοποιούνται για συγκόλληση ή κοπή κάτω από το νερό.** Η χρήση του εναλλασσόμενου ρεύματος υποβρυχίως για οποιοδήποτε σκοπό θα πρέπει να αποφεύγεται. Για μέγιστη ασφάλεια προτείνεται η χρήση ντιζελομηχανής συγκόλλησης σταθερού ρεύματος. Η χρήση

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

βενζινομηχανών παράκτια απαγορεύεται. Αν χρησιμοποιείται μηχανή συγκόλλησης που απαιτεί αρχικό εναλλασσόμενο ρεύμα για να λειτουργήσει, τότε θα πρέπει να τη τοποθετεί έμπειρο προσωπικό με βάση εγκριμένα ηλεκτρικά διαγράμματα, ώστε να αποφευχθεί ντεκλανσέρ βραχυκυκλώματος (short-circuit release) με το κύκλωμα σταθερού ρεύματος.

Όλες οι πηγές ενέργειας θα πρέπει να θεωρούνται πιθανοί κίνδυνοι. Θα πρέπει να βρίσκονται σε καλή μηχανική και ηλεκτρική κατάσταση και θα πρέπει να είναι γειωμένες είτε στο σκάφος που φέρει τον εξοπλισμό είτε στη στεριά σύμφωνα με τις υποδείξεις του κατασκευαστή. **Τα καλώδια και οι διατάξεις της συγκόλλησης (cable splicing) θα πρέπει να είναι κατάλληλα μονωμένα και ο σφιγκτήρας γείωσης (ground clamp) θα πρέπει να είναι ασφαλώς τοποθετημένος στην περιοχή της εργασίας.** Προτείνεται η γείωση να είναι κοντά στη περιοχή της συγκόλλησης ή κοπής. **Ένας μαχαιρωτός διακόπτης ασφαλείας (knife switch) είναι απαραίτητος για να διακόπτει το ρεύμα όποτε χρειάζεται. Οι τσιμπίδες ή τα πιστόλια συγκόλλησης και κοπής πρέπει να είναι ειδικά σχεδιασμένα για χρήση κάτω από το νερό. Δε θα πρέπει ποτέ ο δύτες να καταδύεται κρατώντας ένα πιστόλι κοπής με την παροχή του οξυγόνου ή του ρεύματος ανοιχτή.**

Όταν χρησιμοποιείται σταθερό ρεύμα υποβρυχίως, οι ακόλουθες προφυλάξεις προτείνονται για να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα ηλεκτροπληξίας:

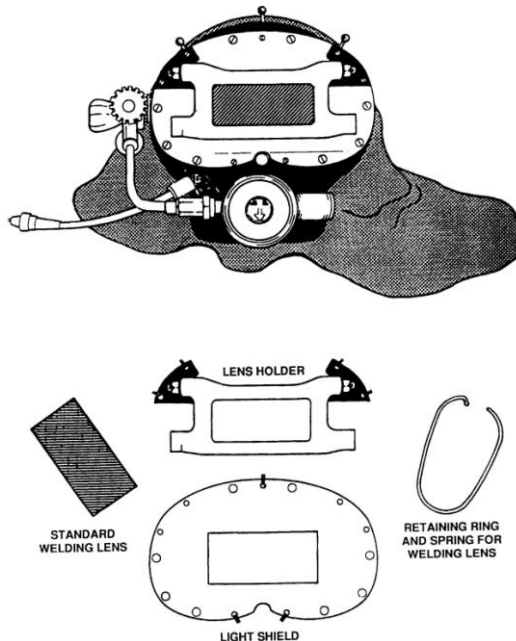
1. Η ενδυμασία του δύτε πρέπει να περιλαμβάνει μια καταδυτική στολή σε καλή κατάσταση, λαστιχένια γάντια, κατάλληλα υποδήματα και κατάλληλη μάσκα. Τα γάντια δεν πρέπει να έχουν τρύπες ή σχισίματα. Σε εργασίες σε πυρηνικές εγκαταστάσεις η παραπάνω ενδυμασία πρέπει να κατάλληλη για να αποτρέψει τη ραδιενεργή μόλυνση.
2. Ο μαχαιρωτός διακόπτης ασφαλείας, τον οποίο χειρίζεται ο tender, θα πρέπει να παραμένει συνεχώς ανοιχτός, εκτός όταν ο δύτες ζητήσει να κλείσει το κύκλωμα. Όταν ο δύτες βρίσκεται μέσα στο νερό, την ευθύνη για πιθανό ηλεκτρικό σοκ μοιράζονται τόσο ο δύτες, όσο και ο tender. Η συνηθισμένη διαδικασία περιλαμβάνει τον δύτε να έχει τοποθετήσει την άκρη του ηλεκτροδίου στην περιοχή της συγκόλλησης και να διατάζει να κλείσει το κύκλωμα, λέγοντας “make it hot” και ο tender γρήγορα κλείνει τον διακόπτη ασφαλείας και το επιβεβαιώνει, λέγοντας “it’s hot”. Όταν το ηλεκτρόδιο έχει



## 5. Κανόνες Ασφάλειας

καταναλωθεί και πρέπει να αντικατασταθεί (σε απόσταση όχι μικρότερη των 76 mm από τη τσιμπίδα) ή για οποιοδήποτε άλλο λόγο ο δύτες θέλει να διακόψει την παροχή ρεύματος, διατάζει να ανοίξει το κύκλωμα λέγοντας “make it cold”. Ο tender ανοίγει το διακόπτη ασφαλείας και το επιβεβαιώνει, λέγοντας “it’s cold”. **Είναι άκρως σημαντικό ο tender να επιβεβαιώνει τη διαταγή του δύτε και να το κάνει αυτό μόνο όταν έχει πραγματοποιήσει την ανάλογη πράξη.**

3. Ο διακόπτης ασφαλείας θα πρέπει να βρίσκεται σε ακτίνα εύκολης προσέγγισης από τον tender και σε θέση τέτοια που να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα να κλείσει κατά λάθος. Θα πρέπει να είναι τοποθετημένος σε σταθερή βάση. Το άνοιγμα και το κλείσιμό του θα πρέπει να είναι γρήγορο και σταθερό ώστε να μη δημιουργείται σπινθήρας (electrical arcing) που μπορεί να του προκαλέσει φθορά.
4. Όταν το κύκλωμα έχει κλείσει, **ο δύτες πρέπει να προσέξει να μη γίνει μέρος του κυκλώματος** είτε αποτρέποντας το ηλεκτρόδιο να τον αγγίξει είτε μπαίνοντας ανάμεσα σε αυτό και στη γειωμένη περιοχή.
5. Η μάσκα θα πρέπει να είναι κατάλληλα εξοπλισμένη με σκούρο γυαλί (lens holder) για να προστατεύει τα μάτια από τη δυνατή λάμψη του ηλεκτρικού τόξου. Το γυαλί αυτό θα πρέπει να μπορεί να ανοίγει για να μην εμποδίζει την ορατότητα όταν ο δύτες δεν συγκολλά ή κόβει.



Φωτογραφία 5.2: Τυπική μάσκα για υποβρύχιες συγκολλήσεις

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

6. Υπενθυμίζεται ότι η κοπή με εξωθερμικά ηλεκτρόδια απαιτεί καθαρότητα οξυγόνου 99,5% και πάνω και ότι **τα εξωθερμικά ηλεκτρόδια θα συνεχίσουν να καίγονται όσο ρέει το οξυγόνο, ακόμα και αν σταματήσει η παροχή του ρεύματος.**

### **5.4. Γενικοί κανόνες ασφαλείας για κοπές με θερμικό καλώδιο και θερμική λόγχη**

[2, 8]

Οι κοπές με θερμικό καλώδιο και θερμική λόγχη δημιουργούν παρόμοιες επικίνδυνες καταστάσεις. Και οι δύο παράγουν μεγάλες ποσότητες υδρογόνου και οξυγόνου, οι οποίες με ανάφλεξη καταναλώνονται γρήγορα σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και θα συνεχίσουν να καίγονται μέχρι να καταναλωθεί όλο το υψηλής πίεσης οξυγόνο ή να σταματήσει η παροχή του. Επίσης, και οι δύο συχνά χρησιμοποιούνται σε επιχειρήσεις διάσωσης, που είναι εγγενώς επικίνδυνες. Οι ακόλουθες προφυλάξεις και κανόνες ασφαλείας είναι κοινοί και στις δύο μεθόδους:

1. **Δεν θα πρέπει ποτέ να πιέζονται μέσα στην τομή για να επιταχυνθεί η κοπή σε υλικά μεγάλου πάχους.** Αυτό μπορεί να οδηγήσει είτε σε υπερβολική εκτόξευση υλικού είτε σε έκρηξη. Κατά την κοπή υλικών με μεγάλο πάχος προτείνεται να αποσύρεται η λόγχη ή το καλώδιο από την τομή κάθε 3-4 sec, επιτρέποντας έτσι το νερό να εισέλθει μέσα στην τομή για να κρυώσει το υπερβολικά θερμό υλικό.
2. Λόγω της υπερβολικά γρήγορης κατανάλωσης των καλωδίων και των λογχών (8-10 mm/sec), **ο δύτες πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικός να μη πλησιάσει η άκρη του καλωδίου ή της λόγχης κοντά στα χέρια του.**
3. **Αν η πίεση του οξυγόνου στην άκρη του καλωδίου ή της λόγχης είναι πολύ χαμηλή, τότε η οξείδωση μπορεί να αλλάξει κατεύθυνση και από την άκρη να κατευθυνθεί στο εσωτερικό του καλωδίου ή της λόγχης και να κινηθεί προς τον δύτε.** Γι' αυτό το λόγο είναι ιδιαίτερα σημαντικό ένα άτομο έξω από το νερό να διατηρεί τη σωστή πίεση του οξυγόνου.

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

4. Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, η παροχή του υψηλής πίεσης οξυγόνου πρέπει να σταματάει αμέσως. Προτείνεται τα συστήματα της θερμικής λόγχης και του θερμικού καλωδίου να έχουν τόσο μια βαλβίδα για διακοπή της παροχής, όσο και μια βαλβίδα που θα διοχετεύει το οξυγόνο στην ατμόσφαιρα. Όταν απλά διακόπτεται η παροχή, το καλώδιο ή η λόγχη θα συνεχίσουν να καίγονται μέχρι να εξισορροπηθεί η πίεση στις άκρες του κάτω από το νερό. Με τη διοχέτευση του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα, όμως, η φλόγα σβήνει ακαριαία.

Ειδικά τώρα για το θερμικό καλώδιο, παρόλο που θα κόψει εύκολα σιδηρούχα υλικά, **προσπάθειες για κοπές μη-σιδηρούχων υλικών με θερμικό καλώδιο έχει αποδειχθεί ότι οδηγούν σε βίαιες εκρήξεις.** Η κοπή των μη-σιδηρούχων υλικών πραγματοποιείται με λιώσιμο παρά με οξείδωση των υλικών. **Το θερμικό καλώδιο δεν θα κόψει τσιμέντο, κοράλλια ή βράχο και αν επιχειρηθεί κάτι τέτοιο θα οδηγήσει σε έκρηξη. Η χρήση αυτής της μεθόδου υποβρύχιας κοπής περιορίζεται σε βάθη μέχρι 91 m.**

Από την άλλη πλευρά, η διαδικασία υποβρύχιας κοπής με θερμική λόγχη παράγει τεράστιες ποσότητες οξυγόνου και υδρογόνου, που μπορούν να προκαλέσουν εκρήξεις, ακόμα και όταν δεν έχουν παγιδευτεί μέσα σε κάποιο κλειστό χώρο και περιβάλλονται μόνο από το νερό. Αυτές οι εκρήξεις είναι πολύ πιθανές να συμβούν σε κοπές τσιμέντου ή μη-σιδηρούχων υλικών μεγάλου πάχους. Προτείνεται οι κοπές σε αυτά τα υλικά να πραγματοποιούνται αργά και σταθερά. Κατά τη χρήση της θερμικής λόγχης ο δύτης πρέπει πάντα να φοράει κατάλληλα προστατευτικά ρούχα και να πραγματοποιεί την κοπή με μεγάλη προσοχή.

### **5.5. Γενικοί κανόνες ασφαλείας για κοπές με τόξο πλάσματος** [2]

Επειδή οι υποβρύχιας κοπές με τόξο πλάσματος χρησιμοποιούν μεγαλύτερες τιμές έντασης και τάσης ρεύματος από όλες τις υπόλοιπες μεθόδους υποβρύχιας κοπών, θα πρέπει να χειρίζονται με ιδιαίτερη προσοχή τόσο μέσα, όσο και έξω από το νερό. **Η εγκατάσταση, η λειτουργία και η συντήρηση του απαιτούμενου**

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

**εξοπλισμού πρέπει να γίνεται από εξουσιοδοτημένο προσωπικό και σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Τα μεγέθη των καλωδίων και οι πιέσεις των αερίων θα πρέπει να ορίζονται με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή.**

Λόγω της μικρής εμπειρίας σε υποβρύχιες κοπές με τόξο πλάσματος και κυρίως λόγω του γεγονότος ότι το αρχικό ρεύμα έναρξης του τόξου πλάσματος έχει τιμές έντασης και τάσης 1000 amp και 6000-9000 V, αντίστοιχα, η προστασία που θα πρέπει να παρέχεται στον χειριστή του πιστολιού του τόξου πλάσματος πρέπει να είναι η μέγιστη δυνατή. **Προτείνεται ο δύτες να είναι εξαρτισμένος με καταδυτική στολή τύπου dry suit με ένθετα γάντια και μπότες.** Η καταδυτική στολή θα πρέπει να ελέγχεται για τυχόν τρύπες ή σχισίματα με χρήση αέρα υπό πίεση πριν από κάθε κατάδυση. **Όλες οι υπόλοιπες προφυλάξεις ασφαλείας πρέπει να συμβαδίζουν με τους γενικούς κανόνες των υγρών υποβρύχιων συγκολλήσεων και των υποβρύχιων κοπών με τόξο.**

### 5.6. Γενικοί κανόνες ασφαλείας για οξυγόνου κοπές

[2, 3]

Οι υποβρύχιες οξυγόνου κοπές πραγματοποιούνται είτε με φλόγα οξυγόνου-ακετυλενίου, είτε με φλόγα οξυγόνου-υδρογόνου, είτε με φλόγα οξυγόνου-MAPP gas, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Οι διαδικασίες ασφαλείας για την εγκατάσταση, το χειρισμό και τη συντήρηση των φιαλών των αερίων, των βαλβίδων και των καυστήρων πρέπει πάντα να ακολουθούνται. Οι προφυλάξεις ασφαλείας εδώ είναι ίδιες με τη μέθοδο έξω από το νερό, με μια όμως σημαντική διαφορά. **Το ακετυλένιο γίνεται ιδιαίτερα ασταθές σε βάθη μεγαλύτερα των 8 m και μπορεί να προκαλέσει θανατηφόρα έκρηξη.**

### 5.7. Γενικές προφυλάξεις για τις υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές

[2, 3, 10]

Υπάρχουν πολλές καταστάσεις που κάνουν τις υποβρύχιες εργασίες δύσκολες. Αυτές περιλαμβάνουν ισχυρά υποθαλάσσια ρεύματα, ασταθές έδαφος, χαμηλή ορατότητα και χαμηλές θερμοκρασίες. **Μια συνεχή πηγή κινδύνων είναι η πτώση**

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

**των κομμένων κομματιών, ειδικότερα στις επιχειρήσεις διάσωσης.** Αυτά, σε συνδυασμό με τη χρήση του ρεύματος υποβρυχίως και των εκρηκτικών αερίων, κάνει τον δύτη να πρέπει να είναι συνεχώς σε επιφυλακή. Οι ακόλουθες γενικές προφυλάξεις πρέπει να τηρούνται:

1. Προσεκτική εξέταση πρέπει να πραγματοποιηθεί πριν την έναρξη της εργασίας για το πού θα πέσουν τα κομμένα κομμάτια και αν υπάρχουν τυχόν προεξοχές, καλώδια ή άλλα αντικείμενα που θα κάνουν τα κομμάτια να περιστραφούν απροσδόκητα.
2. Κατά την κοπή καλωδίων, προσοχή πρέπει να δοθεί μη τυχόν το τεντωμένο καλώδιο εκτιναχτεί επικίνδυνα μόλις κοπεί.
3. **Πριν την εργασία, πρέπει να βεβαιωθεί ότι ο καταδυτικός εξοπλισμός δε θα πάθει ζημιά από τις εργασίες, όπως από υπερβολική εκτόξευση υλικού.**
4. Πρέπει να αποφεύγεται η οροφιαία κοπή γιατί το κομμένο υλικό μπορεί να πέσει πάνω στον δύτη.
5. Ποτέ δε θα πρέπει να μεταφέρεται η τσιμπίδα του ηλεκτρόδιου με το ρεύμα ανοιχτό.
6. Ποτέ δε θα πρέπει να αλλάζει ο δύτης το ηλεκτρόδιο με το ρεύμα ανοιχτό.
7. Ο δύτης πρέπει πάντα να αποτρέπει το σώμα του ή τον καταδυτικό εξοπλισμό να ακουμπήσει στη γειωμένη περιοχή της εργασίας με το κύκλωμα κλειστό.
8. Ο δύτης πρέπει να προσέξει να μην ακουμπήσουν τα μεταλλικά εργαλεία του στο ηλεκτρόδιο με το ρεύμα ανοιχτό.

### **5.8. Κανόνες ασφαλείας για τα εκρηκτικά αέρια**

[2, 8]

Οι υποβρυχίες συγκολλήσεις και κοπές παράγουν εκρηκτικά μείγματα υδρογόνου και οξυγόνου. Τα αέρια αυτά μπορούν να συγκεντρωθούν σε κλειστά διαμερίσματα, σε δομικά μέλη των σωληνώσεων και σε κατασκευές κατάλληλου σχήματος, όπως λαμαρίνες μορφής “H” και να προκαλέσουν έκρηξη. Είναι

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

σημαντικό να παρατηρηθεί η διαφορά μεταξύ των εκρηκτικών αερίων που προκύπτουν από τη συγκόλληση σε σχέση με αυτά που προκύπτουν από την κοπή.

Οι υποβρύχιες συγκολλήσεις παράγουν υδρογόνο και οξυγόνο από τον διαχωρισμό του νερού στα συστατικά του λόγω του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτά τα αέρια ταξιδεύουν χωριστά σε φυσαλίδες και όταν συνδυαστούν γίνονται εύφλεκτα. Όταν αναφλεγούν, αυτές οι φυσαλίδες καίγονται με μια κίτρινη-πορτοκαλί φλόγα και με ένα χαρακτηριστικό ήχο σκασίματος (popping sound). Παρόλο που δεν έχουν καταγραφεί περιστατικά που να υποδηλώνουν ότι τα αέρια που παράγονται από τις υποβρύχιες συγκολλήσεις αποτελούν κίνδυνο για τον δύτη/συγκολλητή, **πρέπει να θεωρείται ότι υπό μεγάλη πίεση αυτά τα εύφλεκτα αέρια, αν συγκεντρωθούν σε μεγάλες ποσότητες, μπορούν να προκαλέσουν έκρηξη.** Το καύσιμο (υδρογόνο) και το οξυγόνο είναι παρόντα, ενώ η ανάφλεξη μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους από σπίθες που ταξιδεύουν μέσα σε φυσαλίδες, όπως από νιφάδες ημι-λιωμένης σκουριάς. Λαμβάνοντας αυτά υπόψη, ο δύτης/συγκολλητής πρέπει να ακολουθεί την εξής προφύλαξη ασφαλείας κάθε φορά. **Αν υγρή υποβρύχια συγκόλληση πρόκειται να πραγματοποιηθεί σε περιορισμένο κλειστό χώρο ή κάτω από κατασκευές που τα δομικά τους μέλη μπορούν να παγιδεύσουν τις φυσαλίδες υδρογόνου και οξυγόνου, πρέπει να κατασκευάζονται οπές εξαερισμού ώστε να αποτρέψουν την παγίδευση των αερίων, ειδικά σε βάθη μεγαλύτερα των 20 m.**

**Δεν υπάρχει καμία αμφιβολία για την εκρηκτικότητα των αερίων που παράγονται από τις μεθόδους των υποβρύχιων κοπών που χρησιμοποιούν οξυγόνο.** Εκτός από τις φυσαλίδες αερίων που δημιουργούνται λόγω του διαχωρισμού του νερού στα συστατικά του, το οξυγόνο στις περισσότερες μεθόδους είναι 60% αποδοτικό στην κοπή, γεγονός που συνεπάγεται 40% οξυγόνο να απελευθερώνεται στο περιβάλλον. Αυτό το αέριο μπορεί να παγιδευτεί πάνω από την περιοχή της εργασίας και, αν συνδυαστεί με κάποιο υδρογονάνθρακα και αναφλεγεί με κάποια σπίθα, θα προκαλέσει βίαιη έκρηξη. Μικρές εκρήξεις συμβαίνουν ακόμα και στην παλάμη του χεριού που κρατάει το ηλεκτρόδιο. Κάθε ήχος σκασίματος (pop) είναι σημάδι ότι συγκεντρώνονται αέρια πάνω από την περιοχή της εργασίας και η εργασία πρέπει να σταματήσει για να ερευνηθεί η αιτία του ήχου. **Οι πολύ σοβαροί κίνδυνοι μπορούν να μειωθούν με τον υπολογισμό των πιθανών περιοχών που μπορούν να συγκεντρωθούν αυτά τα αέρια και με τη δημιουργία οπών εξαερισμού είτε με τρυπάνι είτε με υποβρύχια κοπή τόξου με δέσμη νερού.**

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

**Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί σε εργασίες σε λάσπη λόγω του πιθανά παγιδευμένου μεθανίου, το οποίο μπορεί να προκαλέσει σε κατάλληλες ποσότητες έκρηξη, και σε εργασίες σε τσιμέντο λόγω πιθανών παγιδευμένων αερίων από κάτω.**

Κάθε προφύλαξη πρέπει να λαμβάνεται για την αποφυγή υποβρύχιας έκρηξης. Για την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας αυτής προτείνονται οι ακόλουθες διαδικασίες:

1. Η κοπή πρέπει να ξεκινάει από το υψηλότερο σημείο και να κινείται προς τα κάτω.
2. Σε κοπές υλικών μεγάλου πάχους, όπως π.χ. ο άξονας προπέλας, η κοπή πρέπει να ξεκινάει από την εξωτερική πλευρά και να κινείται γύρω από την περιφέρεια του υλικού. Αποσύροντας το ηλεκτρόδιο κάθε λίγα δευτερόλεπτα, επιτρέπουμε να εισέλθει νερό στην τομή για να κρυσώσει το υπερβολικά θερμό υλικό.
3. Τα αέρια μπορούν να διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα μέσω ενός σωλήνα εξαερισμού τοποθετημένου στην περιοχή που πιθανά θα τα συγκεντρώσει.

**Εκτός από τα εκρηκτικά μείγματα υδρογόνου και οξυγόνου που παράγονται από τις μεθόδους υποβρύχιας συγκολλήσεων και κοπών, ο δύτες πρέπει να είναι ενήμερος για άλλες πιθανές πηγές εκρηκτικών αερίων ή επικίνδυνων υλικών. Κατά την επισκευή ή διάσωση σκαφών ή άλλων κατασκευών με διαμερίσματα που μπορούν να περιέχουν εκρηκτικά αέρια ή άλλα επικίνδυνα υλικά, πρέπει να τηρούνται οι εξής προφυλάξεις ασφάλειας:**

1. Πριν την έναρξη των εργασιών, πρέπει να ερευνώνται, μέσω σχεδίων, πιθανοί χώροι που μπορούν να παγιδεύσουν εκρηκτικά αέρια ή περιέχουν επικίνδυνα υλικά, τα οποία μπορούν να αναφλεγούν από τις εργασίες των υποβρύχιας συγκολλήσεων ή κοπών.
2. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το φορτίο που μεταφέρει το σκάφος και πού αυτό βρίσκεται.
3. Πρέπει να σχεδιάζονται διαδικασίες για τον εξαερισμό των περιοχών που περιέχουν εκρηκτικά αέρια ή μπορούν να τα παγιδεύσουν και διαδικασίες για να προφυλαχθεί ο δύτες από πιθανή έκθεση σε

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

επικίνδυνα υλικά, όπως χημικά. Μια εναλλακτική τεχνική είναι η χρήση αδρανών αερίων στους χώρους αυτούς που δεν υποβοηθάνε την ανάφλεξη.

### **5.9. Κανόνες ασφαλείας για το ηλεκτρικό ρεύμα κάτω από το νερό**

[3, 8, 9, 43]

Οποιοδήποτε ηλεκτρικό σύστημα κάτω από το νερό είναι περίπλοκο, αφού δεν μπορούν να προσδιοριστούν με ακρίβεια τα ηλεκτρικά του στοιχεία, αλλά και οι ηλεκτρικές ιδιότητες του ανθρώπινου σώματος του δύτη. Για να προσδιοριστεί το ρεύμα που ρέει γύρω από τον δύτη και να προβλεφθεί η πιθανότητα για κάποιον ηλεκτρικό κίνδυνο, το ηλεκτρικό σύστημα θα πρέπει να συμπεριλάβει τόσο τη πηγή ενέργειας, όσο και τα εργαλεία, το νερό, το σώμα του δύτη, την προστατευτική ένδυση του και την αλληλοσυσχέτιση όλων αυτών. Το γενικό πρόβλημα είναι πράγματι ένα τριών διαστάσεων πρόβλημα που περιλαμβάνει το μέσο (γλυκό ή θαλασσινό νερό) με συγκεκριμένη ηλεκτρική αγωγιμότητα, το σώμα του δύτη και όλο τον υπόλοιπο εξοπλισμό. Στις περισσότερες περιπτώσεις ένα σφάλμα στο ηλεκτρικό σύστημα, όπως π.χ. κακή μόνωση της καταδυτικής στολής ή κάποια διαρροή από φθαρμένο καλώδιο, αρκεί για να δημιουργήσει επικίνδυνες καταστάσεις. Το πεδίο γύρω από το σφάλμα επηρεάζεται από όλα τα μέρη του ηλεκτρικού συστήματος και, επομένως, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί η τιμή του ρεύματος που ρέει γύρω από τον δύτη. Παρόλα αυτά, ύστερα από έρευνες έχει κυριαρχήσει η άποψη ότι **εναλλασσόμενο ρεύμα έντασης 9 mA και συχνότητας 60Hz ή σταθερό ρεύμα έντασης 40 mA είναι ικανά να εμποδίσουν εθελοντική απελευθέρωση του χεριού από τον ηλεκτρικό αγωγό (“Let Go” ρεύμα). Άρα, πρέπει να αποφεύγονται τέτοιες τιμές ρεύματος.**

**Η χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος στις υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές απαγορεύεται.** Οι κύριοι λόγοι είναι οι εξής:

- Το AC ρεύμα είναι πιο επικίνδυνο για τον δύτη και έχει σημαντικές επιπτώσεις στη φυσιολογία του.
- Η ανικανότητα του δύτη να ελέγξει τους μύες του και η έντονη συστολή των μυών συμβαίνει σε μικρότερες τιμές έντασης ρεύματος.



## 5. Κανόνες Ασφάλειας

- Το AC ρεύμα συγκόλληση είναι ασταθές σε σχέση με το DC ρεύμα, εξαιτίας της εναλλασσόμενης φύσης του, με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερη τάση για να διατηρηθεί σταθερό.

Το “Let Go” ρεύμα φαίνεται ότι αποτελεί ένα ικανοποιητικό κριτήριο για την προστασία του δύτε από σοβαρό τραυματισμό ή θάνατο κατά τη διάρκεια των υποβρύχιων συγκολλήσεων και κοπών. Ατύχημα με αυτό το ρεύμα μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα στην αναπνευστική και καρδιακή λειτουργία, αν διατηρηθεί για σημαντικό χρονικό διάστημα. **Η προστασία που απαιτείται για να προστατευτεί ο δύτες από πιθανή ηλεκτροπληξία είναι καταδυτική στολή με κατάλληλη μόνωση (προτείνεται η χρήση dry suit), λαστιχένια γάντια και μπότες και πλήρη προστασία του κεφαλιού.** Οι wet suit φαίνεται ότι αυξάνουν λιγάκι την πιθανότητα για ηλεκτρικό σοκ, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι είναι ακατάλληλες για προστασία από ηλεκτροπληξία. Τα καλά μονωμένα γάντια και η στολή χωρίς σχισίματα ή τρύπες είναι πάρα πολύ σημαντικά στοιχεία. **Δεν θα πρέπει ποτέ να αμελείται η ασφάλεια πάνω από το νερό και θα πρέπει να ακολουθούνται όλοι οι κανόνες για προστασία από το ηλεκτρικό ρεύμα σε ατμοσφαιρικό αέρα.** Μια πιθανή ηλεκτροπληξία του tender, για παράδειγμα, θέτει σε άμεσο κίνδυνο τον δύτε.

Προσοχή θα πρέπει να δοθεί, επίσης, και στα μικρά ηλεκτρικά σοκ που θεωρούνται ρουτίνα στις υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές. Αυτά τα χαμηλής έντασης ηλεκτρικά σοκ μπορούν να αιφνιδιάσουν τον δύτε, με αποτέλεσμα να χάσει την ισορροπία του ή να του πέσει κάποιο εργαλείο. Το πιο επικίνδυνο εδώ όμως είναι ότι οι δύτες συνηθίζουν αυτές τις μικρές ενοχλήσεις και τους οδηγούν πολλές φορές να εργάζονται απρόσεκτα χωρίς να νοιάζονται για την ασφάλειά τους.

Όταν χρησιμοποιείται εξοπλισμός κάτω από το νερό που απαιτεί εναλλασσόμενο ρεύμα για να λειτουργήσει, π.χ. για φωτισμό ή για τον εξοπλισμό των μη-καταστρεπτικών μεθόδων ελέγχου, θα πρέπει πάντα να χρησιμοποιούνται διακόπτες ασφαλείας για σφάλμα γείωσης. Αυτοί οι διακόπτες έχουν την ιδιότητα να ανοίγουν το κύκλωμα αμέσως μόλις καταλάβουν διαρροή ρεύματος ελάχιστων mA. Σε μεγάλες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, όπως για λειτουργία υποβρύχιων οχημάτων, οι διακόπτες ασφαλείας για σφάλμα γείωσης ίσως δε μπορούν να εφαρμοστούν, και εδώ προτείνεται να γίνει προσεκτική μελέτη του ηλεκτρικού συστήματος για να βρεθεί η κατάλληλη προστασία για τον δύτε. Τέλος, υπενθυμίζεται ότι **ο δύτες κινδυνεύει**

περισσότερο από ηλεκτροπληξία όταν δεν είναι τελείως βυθισμένος στο νερό (splash zone) και αυτό γιατί σε αυτή την περίπτωση η γείωση είναι το νερό και το ηλεκτρόδιο είναι ο δύτες που κρατά τον εξοπλισμό, με αποτέλεσμα αμέσως να γίνεται μέρος του κυκλώματος.

### 5.10. Κανόνες ασφαλείας για τις πηγές ενέργειας

[8, 43]

Οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται στις υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές πρέπει να είναι εγκεκριμένες για υποβρύχιες εργασίες και να έχουν δοκιμαστεί για σωστή λειτουργία πριν ξεκινήσει η εργασία. Πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο σταθερό ρεύμα και όχι εναλλασσόμενο. Ο ηλεκτρικός εξοπλισμός πρέπει να εγκαθίσταται από εξουσιοδοτημένο προσωπικό σύμφωνα με εγκεκριμένα σχέδια. Ο εξοπλισμός πρέπει να χειρίζεται σύμφωνα πάντα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Οι ακόλουθες προφυλάξεις ασφαλείας πρέπει να ακολουθούνται κατά την εγκατάσταση και λειτουργία των πηγών ενέργειας των υποβρύχιων συγκολλήσεων και κοπών:

1. Η πηγή ενέργειας και το πλαίσιο της πρέπει να είναι καλά στηριγμένα πριν ξεκινήσει η εργασία.
2. Η πηγή ενέργειας πρέπει να είναι κατάλληλα γειωμένη.
3. Πρέπει να διαβεβαιωθεί ότι δεν υπάρχει κίνδυνος βραχυκυκλώματος της πηγής ενέργειας με το πλαίσιο της.
4. Όλες οι ηλεκτρικές συνδέσεις πρέπει να είναι ασφαλώς φτιαγμένες.
5. Ο δύτες πρέπει να στέκεται πάνω σε μονωτικό υλικό, όπως το λάστιχο, και όχι πάνω στο γειωμένο μέταλλο.
6. Ο δύτες πρέπει να φοράει γάντια από μονωτικά υλικά σε καλή κατάσταση.
7. Η πηγή ενέργειας, οι ηλεκτρικές συνδέσεις και οι μεταγωγοί πρέπει να είναι καθαροί, να μην έχουν λάδια, γράσα ή μεταλλικά γρέζια που μπορούν να προκαλέσουν βραχυκύκλωμα.

### **5.11. Κανόνες ασφαλείας για τις τσιμπίδες ηλεκτροδίων και τα πιστόλια κοπής**

[8]

Οι ακόλουθες προφυλάξεις ασφαλείας πρέπει να τηρούνται κατά τη χρήση των τσιμπιδών των ηλεκτροδίων και των πιστολιών κοπής:

1. Πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο τσιμπίδες και πιστόλια που είναι ειδικά σχεδιασμένα για χρήση κάτω από το νερό. Πρέπει να έχουν την ικανότητα να φέρουν το μέγιστο ρεύμα που απαιτείται από το ηλεκτρόδιο που χρησιμοποιείται.
2. Πρέπει να επιθεωρούνται για να διαβεβαιωθεί ότι είναι κατάλληλα μονωμένα με το σωστό υλικό. Καινούρια εργαλεία δεν σημαίνει αυτομάτως και κατάλληλα για χρήση. Πολλές φορές χρησιμοποιείται επιπλέον μόνωση για μεγαλύτερη ασφάλεια του δύτη και για να παραταθεί η διάρκεια ζωής του εργαλείου.
3. Τσιμπίδες και πιστόλια που χρησιμοποιούνται στην επιφάνεια δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται υποβρυχίως παρά μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις.
4. Πρέπει να επιθεωρούνται για τυχόν ζημιές ή φθαρμένα εξαρτήματα μετά από κάθε χρήση. Τα εξαρτήματα αυτά πρέπει να αντικαθίστανται άμεσα.
5. Δεν πρέπει να κατεβαίνουν στην περιοχή της εργασίας πριν να έχει τοποθετηθεί ο σφικτήρας γείωσης. Κατόπιν, θα πρέπει να ελέγχεται ότι το ρεύμα είναι κλειστό και ο διακόπτης ασφαλείας είναι ανοιχτός.
6. Ποτέ δε θα πρέπει να αλλάζει το ηλεκτρόδιο με το ρεύμα ανοιχτό.
7. Ποτέ η τσιμπίδα δε θα πρέπει να είναι στραμμένη προς το σώμα του δύτη.
8. Ποτέ η τσιμπίδα δε θα πρέπει να είναι στραμμένη προς τον καταδυτικό εξοπλισμό.

## **5.12. Κανόνες ασφαλείας για τις ηλεκτρικές συνδέσεις και τα ηλεκτρικά καλώδια**

[8]

Οι ακόλουθες προφυλάξεις ασφαλείας πρέπει να ακολουθούνται όσον αφορά τα ηλεκτρικά καλώδια και συνδέσεις:

1. Όλα τα μέρη των καλωδίων που πρόκειται να βρεθούν κάτω από το νερό πρέπει να είναι κατάλληλα μονωμένα.
2. Τα καλώδια και οι συνδέσεις πρέπει να επιθεωρούνται πριν από κάθε χρήση για τυχόν καταστρεμμένη μόνωση. Τα ελαττωματικά καλώδια πρέπει να επιδιορθώνονται ή να αντικαθίστανται.
3. Όλες οι συνδέσεις πρέπει να είναι σφιχτές και να μονώνονται λεπτομερώς, τυλιγμένες με ηλεκτρική και μονωτική ταινία για την αποφυγή ρεύματός στις συνδέσεις. Τα καλώδια που δημιουργούν φυσαλίδες πρέπει να αντικαθίστανται επειδή οι φυσαλίδες υποδηλώνουν ότι ρεύμα διαφεύγει από τη μόνωση.
4. Προτείνεται η χρήση καλωδίων συγκόλλησης με διάμετρο το λιγότερο 2/0 και να είναι εύκαμπτα. Πρέπει να μπορούν να φέρουν το μέγιστο ρεύμα που θα χρησιμοποιηθεί στην εργασία.
5. Δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται υπερβολικά μεγάλη μήκη καλωδίων, τα οποία αναγκαστικά δημιουργούν μεγάλους σωρούς πάνω στο κατάστρωμα. Όταν η εργασία πραγματοποιείται σε μεγάλα βάθη, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το βάρος του καλωδίου και προτείνεται να υπάρχει περιθώριο για την ανακούφιση των τάσεων.
6. Όταν ενώνουμε ηλεκτρικά καλώδια, οι συνδετήρες που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να μπορούν να φέρουν ρεύμα ίδιων χαρακτηριστικών με εκείνο των καλωδίων.
7. Ο σφιγκτήρας γείωσης θα πρέπει να βρίσκεται όσο πιο κοντά στην περιοχή της εργασίας γίνεται και θα πρέπει ο δύτες να έχει οπτική επαφή συνεχώς με αυτό.
8. Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για άλλους σκοπούς, όπως για φωτισμό, πρέπει να διαχωρίζονται από αυτά που μεταφέρουν το ρεύμα για την εργασία.

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

9. Τα καλώδια πρέπει να είναι δεμένα σε οροφιαία θέση, αν εκτείνονται σε μεγάλες αποστάσεις. Αν αυτό δεν είναι δυνατόν, πρέπει να είναι τοποθετημένα έτσι ώστε να επιτρέπουν την ασφαλή δίοδο του προσωπικού.
10. Τα καλώδια πρέπει να φυλάσσονται σε ξηρό μέρος και να είναι καθαρά από λάδια και γράσα.

### 5.13. Κανόνες ασφαλείας για τους διακόπτες ασφαλείας

[8]



Φωτογραφία 5.3: Ένας τυπικός διπολικός μαχαιρωτός διακόπτης

Ένας διακόπτης για τη διακοπή του ρεύματος, κατάλληλος για ένταση 400 amp, πρέπει να υπάρχει στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Αυτός ο διακόπτης προστατεύει τον δύτη ανοίγοντας ακαριαία το κύκλωμα και σταματώντας έτσι την παροχή ρεύματος στην τσιμπίδα του ηλεκτροδίου. **Ο διακόπτης ασφαλείας, πολλές φορές καλούμενος και μαχαιρωτός διακόπτης (knife switch), είναι το πιο σημαντικό αντικείμενο ασφαλείας τόσο στις υποβρύχιες συγκολλήσεις όσο και στις υποβρύχιες κοπές.** Ο δύτης είναι τελείως απομονωμένος από το ρεύμα όταν ο διακόπτης είναι ανοιχτός. **Ο tender θα πρέπει να κλείνει τον διακόπτη μόνο έπειτα από εντολή του δύτη και αφού το ηλεκτρόδιο βρίσκεται στην περιοχή της εργασίας.** Είναι πολύ σημαντική η σωστή τοποθέτηση του διακόπτη. Ο διακόπτης θα πρέπει να είναι τοποθετημένος κοντά στο tender, να έχει οπτική επαφή με αυτό σε όλη τη διάρκεια της εργασίας, να είναι τοποθετημένος σε στιβαρή κατασκευή και να μη μπορεί να κλείσει κατά λάθος. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο μονοπολικοί,

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

όσο και διπολικοί διακόπτες, αλλά έχει κυριαρχήσει η χρήση του διπολικού, καθώς και η περιοχή της εργασίας και η γείωση ανοίγουν και κλείνουν ταυτόχρονα.

Για τη διασφάλιση της αποδοτικότητας, προτείνονται οι ακόλουθες οδηγίες:

1. Κατά τη χρήση μονοπολικού διακόπτη ασφαλείας, θα πρέπει αυτός να τοποθετείται στην παροχή του ρεύματος συγκόλλησης ή κοπής (welding-lead side of the electric circuit) και θα πρέπει να μπορεί να φέρει το μέγιστο ρεύμα συγκόλλησης ή κοπής.
2. Ο διακόπτης ασφαλείας θα πρέπει να είναι τοποθετημένος πάνω σε μη-αγώγιμο υλικό. Ο διακόπτης θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να δώσει τάση ρεύματος έναρξης 80 V μέσω των πόλων του. Για την αποφυγή ατυχημάτων, ο διακόπτης θα πρέπει να έχει επικάλυψη από μη-αγώγιμο υλικό.
3. Όταν απαιτείται η χρήση ανάστροφης πολικότητας, ο διακόπτης ασφαλείας θα πρέπει να τοποθετείται στην παροχή του ρεύματος συγκόλλησης ή κοπής.
4. Δεν θα πρέπει ποτέ να χειρίζεται ο διακόπτης ασφαλείας κοντά σε εύφλεκτα υλικά.
5. Ο διακόπτης θα πρέπει να βρίσκεται σε καλή κατάσταση και να μην παρουσιάζει φθορά. Θα πρέπει να ελέγχεται για πιθανή οξείδωση του χαλκού.
6. Ο διακόπτης θα πρέπει να είναι ανοιχτός πάντοτε, εκτός από όταν πραγματοποιείται η εργασία.

Όταν χρησιμοποιείται μονοπολικός διακόπτης ασφαλείας, πρέπει να διαβεβαιωθεί ότι δε διακλαδώνεται με τον διακόπτη της πηγής ενέργειας. **Πριν από κάθε αλλαγή του διακόπτη θα πρέπει ο tender να ενημερώνει τον δότη.**

### 5.14. Κανόνες ασφαλείας για την αποφυγή φωτιάς

[3, 8, 10]

Οι κύριες αιτίες για πρόκληση πυρκαγιάς και έκρηξης είναι οι ακόλουθες:

1. Εύφλεκτα υλικά κοντά στο ηλεκτρικό τόξο
2. Σπίθες
3. Πολύ θερμή σκουριά

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

4. Πεπιεσμένα αέρια
5. Βραχυκυκλώματα

Είναι απαραίτητο να είναι γνωστή οποιαδήποτε εργασία πραγματοποιείται στην επιφάνεια πάνω από το σημείο κατάδυσης. **Η υποβρύχια συγκόλληση ή κοπή κοντά σε εύφλεκτα υλικά είναι επικίνδυνη.** Οι σπίθες και η σκουριά μπορούν να φτάσουν τα 10 m. Ο εξοπλισμός πρέπει να είναι καθαρός από σκουριά και γράσα και μεταλλικά γρέζια που μπορούν να προκαλέσουν βραχυκύκλωμα. **Οι υδρογονάνθρακες αναφλέγονται σχεδόν αμέσως με παρουσία οξυγόνου. Δεν θα πρέπει ποτέ να επιτρέπεται η επαφή εξοπλισμού που μεταφέρει οξυγόνο με λάδια ή γράσα.**

### **5.15. Κανόνες ασφαλείας για τον χειρισμό πεπιεσμένων αερίων**

[8]

Το οξυγόνο χρησιμοποιείται στις περισσότερες μεθόδους υποβρύχιων κοπών. Το αέριο αυτό φυλάσσεται σε κυλίνδρους υψηλής πίεσης και μέσω ενός ρυθμιστή (regulator) παραδίδεται στο πιστόλι κοπής σε πίεση ανάλογη με αυτή που απαιτείται για την κοπή. **Από όλα τα αέρια υψηλής πίεσης που χρησιμοποιούνται στις υποβρύχιες εργασίες, το οξυγόνο είναι το πιο επικίνδυνο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μειώνει τη θερμοκρασία ανάφλεξης των εύφλεκτων υλικών και επιταχύνει σημαντικά την καύση. Οι υδρογονάνθρακες αναφλέγονται σχεδόν αμέσως με την παρουσία οξυγόνου και η φωτιά με οξυγόνο παράγει μεγάλη θερμότητα.**

Οι ακόλουθες προφυλάξεις προτείνονται για τη χρήση και την αποθήκευση κυλίνδρων με πεπιεσμένα αέρια:

1. Ποτέ μη χρησιμοποιείται ένας κύλινδρος ή το περιεχόμενό του για οποιαδήποτε άλλη από την προβλεπόμενη χρήση.
2. Ποτέ μη χρησιμοποιείται ένας κύλινδρος, ακόμα και άδειος, για να στηρίξει κάτι.
3. Ποτέ μη σηκώνουμε τον κύλινδρο από τη βαλβίδα προστασίας.
4. Πότε μη χρησιμοποιείται μαγνήτης για να σηκώσουμε τον κύλινδρο.

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

5. Ποτέ μη χρησιμοποιούνται χειρολαβές για να σηκώσουμε τον κύλινδρο. Ας χρησιμοποιείται ένα ικρίωμα ή μια παλέτα με κατάλληλες υποδοχές για τον κύλινδρο.
6. Ποτέ μη χρησιμοποιείται σφυρί ή γαλλικό κλειδί για να ανοίξουμε τον κύλινδρο.
7. Ποτέ δε θα πρέπει να πέσει ένας κύλινδρος, ειδικά αυτός που περιέχει οξυγόνο.
8. Ποτέ μη χρησιμοποιούνται ανακουφιστικές βαλβίδες (safety relief valves) για τον έλεγχο της πίεσης του αερίου.
9. Ποτέ μη χρησιμοποιείται ο ρυθμιστής για άλλο αέριο από αυτό που προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί.
10. Σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο κύλινδρος ως σημείο έναρξης του ηλεκτρικού τόξου.
11. Πάντα να ανοίγουν οι βαλβίδες των κυλίνδρων αργά για να επιτραπεί η σταδιακή αύξηση της πίεσης και να αποφευχθεί το diesel effect. Το diesel effect συμβαίνει όταν το αέριο αναμιγνύεται με το υδραυλικό υγρό ενός υδραυλικού συστήματος και με απότομη αύξηση της πίεσης προκαλείται έκρηξη.
12. Πάντα οι κύλινδροι να βρίσκονται μακριά από περιοχές εργασίας με σπίθες ή φλόγες.
13. Τόσο οι γεμάτοι κύλινδροι με αέριο, όσο και οι άδειοι, να αποθηκεύονται πάντα με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δύσκολο να πέσουν.
14. Οι βαλβίδες προστασίας να είναι πάντα σωστά στις θέσεις τους.
15. Πάντα να καθαρίζονται όλες οι βαλβίδες ένωσης από τυχόν βρωμιές πριν τοποθετηθεί ο ρυθμιστής με σύντομο άνοιγμα και κλείσιμό τους.
16. Πάντα να ελέγχεται αν ο ρυθμιστής είναι σωστά τοποθετημένος και αν λειτουργεί σωστά. Οι προβληματικοί ρυθμιστές πρέπει να αλλάζουν αμέσως.

Επιπλέον πρέπει να τηρούνται οι εξής γενικοί κανόνες:

1. Να ελέγχεται πάντα η ετικέτα που δείχνει τι αέριο περιέχει ο κύλινδρος.



## 5. Κανόνες Ασφάλειας

2. Να μη φυλάσσονται οι κύλινδροι σε χώρους που έχουν κίνηση, όπως οι διάδρομοι ή κοντά στις εξόδους.
3. Να μη φυλάσσονται σε χώρους που δεν έχουν εξαερισμό.
4. Πάντα να ελέγχονται για τυχόν διαρροές ή χαλαρές συνδέσεις.
5. Να μη βρίσκονται κοντά στους κυλίνδρους αντικείμενα με αιχμηρές άκρες.
6. Να βεβαιώνεται ότι όλοι οι κύλινδροι με πεπιεσμένο αέριο είναι κατάλληλοι για υδροστατική πίεση.
7. Ο tender να έχει συνεχώς την προσοχή του στην πίεση του αερίου και να αλλάζει πάντα ο κύλινδρος αν η πίεση του αερίου πέσει κάτω από τα 6.9 bar πάνω από την υδροστατική πίεση εργασίας, για να αποφευχθεί φθορά στο πιστόλι κοπής και πιθανός τραυματισμός του δύτη.

Οι ακόλουθες γενικές προφυλάξεις προτείνονται για κυλίνδρους που περιέχουν οξυγόνο:

1. Να αποφεύγεται η επαφή με ηλεκτρικά κυκλώματα γιατί μπορεί να βραχυκυκλώσουν και να προκαλέσουν μεγάλη έκρηξη.
2. Να μη χειρίζεται όλος ο εξοπλισμός με χέρια ή γάντια λερωμένα με λάδια ή γράσα.
3. Δε θα πρέπει ποτέ ένα τζετ οξυγόνου να έρθει σε επαφή με λάδια ή γράσα ή να μπει σε μια δεξαμενή που περιέχει ή περιείχε εύφλεκτο υλικό.
4. Ποτέ να μη χρησιμοποιείται το οξυγόνο ως αντικαταστάτης του πεπιεσμένου αέρα.
5. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για πεπιεσμένο αέρα πρέπει να ελέγχεται αν μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για οξυγόνο.
6. Δε θα πρέπει ποτέ να φυλάσσονται οι κύλινδροι οξυγόνου κοντά σε λάδια, γράσα ή καύσιμα.

Το αέριο MAPP είναι άχρωμο, άοσμο και εύφλεκτο. Όπως γίνεται με όλα τα εύφλεκτα άοσμα αέρια, ένα χημικό συστατικό έχει προστεθεί για να ανιχνεύεται με την οσμή τυχόν διαρροή. Όπως κάθε εύφλεκτο αέριο δημιουργεί εκρηκτικό μείγμα με

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

το οξυγόνο ή τον ατμοσφαιρικό αέρα. Οι ακόλουθες προφυλάξεις ασφαλείας προτείνονται:

1. Πριν την έναρξη των εργασιών, οι βαλβίδες του MAPP αέριου θα πρέπει να καθαρίζονται και αυτή η εργασία θα πρέπει να γίνεται μακριά από τις βαλβίδες οξυγόνου.
2. Κατά τον καθαρισμό δεν θα πρέπει να υπάρχει κοντά κάποια πηγή ανάφλεξης.
3. Δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται φλόγα για να ανιχνευτεί η διαρροή. Υπάρχουν ειδικά σαπούνια ή υγρά για αυτόν τον σκοπό.
4. Μόνο σε ρηγά νερά επιτρέπεται να κατεβαίνει το πιστόλι κοπής που χρησιμοποιεί φλόγα οξυγόνου-MAPP αέριου αναμμένο στον δύτη. Δεν θα πρέπει ποτέ να κατεβαίνει αν ο δύτης δεν είναι έτοιμος και παρακολουθεί ή αν υπάρχει κίνδυνος η φλόγα να προκαλέσει ζημιά στον εξοπλισμό.

Μερικές ακόμα γενικές προφυλάξεις είναι:

1. Μόνο εξουσιοδοτημένο προσωπικό πρέπει να χρησιμοποιεί τον εξοπλισμό ο οποίος πρέπει να είναι σε καλή κατάσταση. Όλος ο εξοπλισμός πρέπει να χειρίζεται και να συντηρείται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.
2. Ο tender είναι υπεύθυνος για τη φροντίδα και το χειρισμό των αερίων και πρέπει να έχει άμεση πρόσβαση στις βαλβίδες σε περίπτωση ανάγκης.
3. Πρέπει να γίνεται τακτική επιθεώρηση για τυχόν διαρροές, ειδικότερα όταν φυλάσσονται οι κύλινδροι σε περιορισμένο χώρο. Αν δεν εντοπιστεί η διαρροή έγκαιρα, μπορεί να συσσωρευτεί αρκετό εκρηκτικό μείγμα για να προκαλέσει μεγάλη έκρηξη.
4. Μεταλλικά εργαλεία πρέπει να χειρίζονται με προσοχή προς αποφυγή δημιουργίας σπιθών, που μπορούν να προκαλέσουν έκρηξη. Εργαλεία που δεν δημιουργούν σπινθήκες περιέχουν βηρύλλιο, το οποίο είναι τρομερά δηλητηριώδες και θα πρέπει να χειρίζεται με προσοχή γιατί τυχόν κατάποση ή εισπνοή των μορίων απαιτεί άμεση ιατρική φροντίδα.

### **5.16. Ενδεικτικός οδηγός ασφαλείας για τις καταδύσεις**

Για τον επαγγελματία δύτη οι καταδύσεις δεν είναι η «δουλειά» του, αλλά το μέσο για να κάνει τη «δουλειά» του. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι μέσα στο νερό ο επαγγελματίας δύτης έχει πολλά περισσότερα πράγματα που πρέπει να προσέξει από τον απλό δύτη. Παρόλα αυτά οι κίνδυνοι και τα προβλήματα υγείας των καταδύσεων αφορούν και αυτόν.

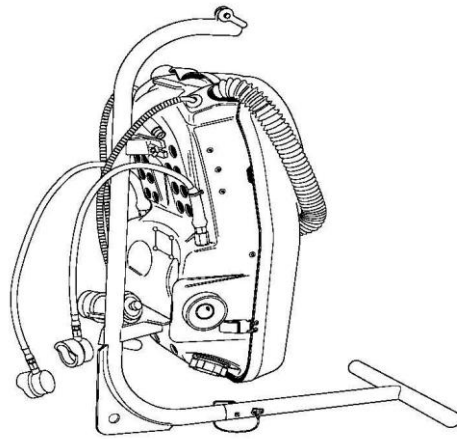
Είναι πολύ δύσκολο να δοθεί ένας ενδεικτικός οδηγός ασφαλείας των καταδύσεων. Οι περισσότεροι πιστοποιημένοι οδηγοί καταδύσεων (diving manuals) αναλύουν τις ασφαλείς διαδικασίες καταδύσεων σε εκατοντάδες σελίδες και προϋποθέτουν ανάλογη εμπειρία από τους συγγραφείς. Η διπλωματική αυτή δεν θα προσπαθήσει να δώσει έναν τέτοιο οδηγό ασφαλείας καταδύσεων, αλλά θα προσπαθήσει να αναφέρει μερικούς ενδεικτικούς κανόνες ασφαλείας όπως έχουν προκύψει από τους διάφορους οδηγούς καταδύσεων, που έχουν μελετηθεί [32,42].

**Πριν από κάθε κατάδυση είναι σημαντικό να έχει οριστεί με σαφήνεια ο σκοπός της κατάδυσης και η διαδικασία με την οποία αυτός θα πραγματοποιηθεί. Απόκλιση από τους κανόνες ασφαλείας που αναφέρονται στους οδηγούς καταδύσεων μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρό τραυματισμό του δύτη ή ακόμα και σε θάνατο.** Ακολουθούν μερικές ενδεικτικές προφυλάξεις ασφαλείας:

1. Να χρησιμοποιείται πάντα καταδυτικός εξοπλισμός πιστοποιημένος για την προβλεπόμενη χρήση.
2. Ο ελάχιστος αριθμός προσωπικού πρέπει να είναι σύμφωνος με τους κανονισμούς για την ανάλογη εργασία. Ο συνήθης αριθμός είναι τέσσερα άτομα, ο δύτης, ο επόπτης της κατάδυσης (diving supervisor), ένας δύτης σε επιφυλακή (standby diver) και ένας υπεύθυνος για τον δύτη (diver tender).
3. Ποτέ δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται ένας συμπιεστής σε κακή κατάσταση για παροχή αέρα στον δύτη γιατί αυτό θα οδηγήσει σε μόλυνση του αέρα που αναπνέει.
4. Αν ο δύτης παίρνει φάρμακα θα πρέπει να ενημερώσει τον επόπτη κατάδυσης για αυτό επειδή μπορούν να έχουν παρενέργειες στο περιβάλλον της κατάδυσης.

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

5. Οι ασφαλείς χρόνοι ανάδυσης και κατάδυσης θα πρέπει πάντα να τηρούνται από τον δύτη. Αν οι χρόνοι αυτοί παραβιαστούν, θα πρέπει να ενημερώνεται πάντα ο επόπτης κατάδυσης.
6. Η καταδυτική στολή πρέπει να φέρει σύστημα επικοινωνίας και ο δύτης θα πρέπει να είναι εξοπλισμένος και με εφεδρική αναπνευστική συσκευή σε περίπτωση ανάγκης.
7. Αν ο καταδυτικός εξοπλισμός πάθει ζημιά θα πρέπει ο δύτης αμέσως να χρησιμοποιήσει την εφεδρική αναπνευστική συσκευή.
8. Αν ο δύτης χρησιμοποιήσει την εφεδρική αναπνευστική συσκευή λόγω έκτακτης ανάγκης, δεν θα πρέπει να επαναλάβει κατάδυση σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.



Φωτογραφία 5.4: Εφεδρική αναπνευστική συσκευή

9. Όταν υπάρχει αμφιβολία για τα συμπτώματα που έχει εμφανίσει ο δύτης, θα πρέπει πάντα να μπαίνει σε θάλαμο αποσυμπίεσης.
10. Θεραπεία με φάρμακα θα πρέπει να δίνεται μόνο από εξουσιοδοτημένο προσωπικό.
11. Η χρήση wet suit σε πολύ κρύα νερά προσφέρει μόνο ελάχιστη προστασία από υποθερμία. Η χρήση dry suit και hot water suit σε παγωμένα νερά πρέπει να γίνεται μόνο από εκπαιδευμένο προσωπικό.
12. Η χρήση αυτόματου εξωτερικού απινιδωτή καρδιάς (Automated External Defibrillator – AED) για παρακολούθηση της καρδιακής λειτουργίας θα πρέπει να γίνεται με προσοχή σε μεγάλη βάθη λόγω προβλημάτων με την ασφάλεια έναντι ηλεκτροπληξίας.

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

13. Η υποξία και η υπερκαπνία θα συμβούν χωρίς καμία ή ελάχιστη προειδοποίηση πριν από τη λιποθυμία.
14. Σε σοβαρές περιπτώσεις υποθερμίας δεν θα πρέπει να ζεσταίνουμε τον δύτη πολύ έντονα.
15. Η μείωση της μερικής πίεσης του οξυγόνου δεν αντισταθμίζει αμέσως τις βιοχημικές αλλαγές που έχουν συμβεί στο κεντρικό νευρικό σύστημα από την τοξικότητα οξυγόνου. Συνήθως ο δύτης χρειάζεται 2-3 min για να συνέλθει.
16. Η καρδιοαναπνευστική αναζωογόνηση δεν θα πρέπει να ξεκινάει σε κάποιον που αναπνέει.
17. Το κράτημα της αναπνοής μπορεί να οδηγήσει σε υπερκαπνία και απαγορεύεται.
18. Ο εθελοντικός υπεραερισμός είναι επικίνδυνος και μπορεί να οδηγήσει σε λιποθυμία.
19. Κατά την ανάδυση ο δύτης πρέπει να εκπνέει φυσιολογικά για να αντισταθμίσει την επιρροή της μειωμένης πίεσης που μπορεί να προκαλέσει πνευμονικά βαροτραύματα.
20. Ποτέ δεν θα πρέπει να γίνεται ελιγμός Valsalva κατά την ανάδυση γιατί μπορεί να οδηγήσει σε τραυματισμό του εσωτερικού αυτιού.

### **5.17. Περιληπτικός οδηγός ασφαλείας για τις υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές**

**Η απόκλιση από τους καθιερωμένους κανόνες είναι φυσικά ενδεχομένως επικίνδυνη, όμως η πιο σοβαρή περίπτωση είναι η αντιμετώπιση των κανόνων ως ρουτίνα (σελ. 187).**

**Φωνητική επικοινωνία μεταξύ του δύτη/συγκολλητή και του tender θα πρέπει να διατηρείται καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας (σελ. 189).**

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

Οι θάλαμοι θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να διευκολύνεται η είσοδος και η έξοδος του δύτε (σελ. 189).

Ο ατμοσφαιρικός αέρας μπορεί να χρησιμοποιείται με ασφάλεια για βάθη μέχρι 18 m (σελ. 189).

Η παρακολούθηση και ο έλεγχος των επιπέδων του οξυγόνου μέσα στο θάλαμο είναι η βασική προφύλαξη για την αποφυγή φωτιάς (σελ. 190).

Βαφές, διαλύτες, υδρογονάνθρακες ή οποιοδήποτε άλλο υλικό το οποίο μπορεί να απελευθερώσει τοξικά ή επικίνδυνα αέρια δεν θα πρέπει ποτέ να χρησιμοποιείται μέσα στον θάλαμο (σελ. 190).

Ένα κύκλωμα κλειστής τηλεόρασης για παρακολούθηση των δραστηριοτήτων μέσα στον θάλαμο είναι ένας σημαντικός παράγοντας ασφαλείας (σελ. 191).

Αν χρησιμοποιείται εναλλασσόμενο ρεύμα στον θάλαμο, όλα τα κυκλώματα θα πρέπει να είναι εφοδιασμένα με διακόπτες προστασίας από σφάλμα γείωσης (ground fault interrupters) (σελ. 191).

Μέσα στον θάλαμο θα πρέπει να υπάρχει και μια εφεδρική αναπνευστική συσκευή σε περίπτωση ανάγκης (σελ. 191).

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

Ο συγκολλητής πρέπει να φοράει προστατευτικό μπουφάν και γάντια για να προστατευτεί από εγκαύματα από τυχόν εκτοξεύσεις υλικού και από τη θερμότητα που παράγεται από τη συγκόλληση (σελ. 191).

Η αναπνευστική συσκευή πρέπει να είναι κατασκευασμένη για να αντέχει σε έκθεση σε υψηλή θερμότητα (σελ. 191).

Πηγές ενέργειας εναλλασσόμενου ρεύματος δε θα πρέπει ποτέ να χρησιμοποιούνται για συγκόλληση ή κοπή κάτω από το νερό (σελ. 191).

Ένας μαχαιρωτός διακόπτης ασφαλείας (knife switch) είναι απαραίτητος για να διακόπτει το ρεύμα όποτε χρειάζεται (σελ. 192).

Τα καλώδια και οι διατάξεις της συγκόλλησης (cable splicing) θα πρέπει να είναι κατάλληλα μονωμένα και ο σφιγκτήρας γείωσης (ground clamp) θα πρέπει να είναι ασφαλώς τοποθετημένος στην περιοχή της εργασίας (σελ. 192).

Οι τσιμπίδες ή τα πιστόλια συγκόλλησης και κοπής πρέπει να είναι ειδικά σχεδιασμένα για χρήση κάτω από το νερό (σελ. 192).

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

**Δεν θα πρέπει ποτέ ο δύτες να καταδύεται κρατώντας ένα πιστόλι κοπής με την παροχή του οξυγόνου ή του ρεύματος ανοιχτή (σελ. 192).**

**Είναι άκρως σημαντικό ο tender να επιβεβαιώνει τη διαταγή του δύτε και να το κάνει αυτό μόνο όταν έχει πραγματοποιήσει την ανάλογη πράξη (σελ. 193).**

**Ο δύτες πρέπει να προσέξει να μη γίνει μέρος του κυκλώματος (σελ. 193).**

**Τα εξωθερμικά ηλεκτρόδια θα συνεχίσουν να καίγονται όσο ρέει το οξυγόνο, ακόμα και αν σταματήσει η παροχή του ρεύματος (σελ. 194).**

**Δεν θα πρέπει ποτέ να πιέζονται μέσα στην τομή για να επιταχυνθεί η κοπή σε υλικά μεγάλου πάχους (σελ. 194).**

**Ο δύτες πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικός να μη πλησιάσει η άκρη του καλωδίου ή της λόγχης κοντά στα χέρια του (σελ. 194).**

**Αν η πίεση του οξυγόνου στην άκρη του καλωδίου ή της λόγχης είναι πολύ χαμηλή, τότε η οξείδωση μπορεί να αλλάξει κατεύθυνση και από την άκρη να κατευθυνθεί στο εσωτερικό του καλωδίου ή της λόγχης και να κινηθεί προς τον δύτε (σελ. 194).**



## 5. Κανόνες Ασφάλειας

Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, η παροχή του υψηλής πίεσης οξυγόνου πρέπει να σταματάει αμέσως (σελ. 195).

Προσπάθειες για κοπές μη-σιδηρούχων υλικών με θερμικό καλώδιο έχει αποδειχθεί ότι οδηγούν σε βίαιες εκρήξεις (σελ. 195).

Το θερμικό καλώδιο δεν θα κόψει τσιμέντο, κοράλλια ή βράχο και αν επιχειρηθεί κάτι τέτοιο θα οδηγήσει σε έκρηξη. Η χρήση αυτής της μεθόδου υποβρύχιας κοπής περιορίζεται σε βάθη μέχρι 91 m (σελ. 195).

Η διαδικασία υποβρύχιας κοπής με θερμική λόγχη παράγει τεράστιες ποσότητες οξυγόνου και υδρογόνου, που μπορούν να προκαλέσουν εκρήξεις ακόμα και όταν δεν έχουν παγιδευτεί μέσα σε κάποιο κλειστό χώρο και περιβάλλονται μόνο από το νερό (σελ. 195).

Η εγκατάσταση, η λειτουργία και η συντήρηση του απαιτούμενου εξοπλισμού πρέπει να γίνεται από εξουσιοδοτημένο προσωπικό και σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Τα μεγέθη των καλωδίων και οι πιέσεις των αερίων θα πρέπει να ορίζονται με βάση τις οδηγίες του κατασκευαστή (σελ. 195 - 196).

Προτείνεται ο δότης να είναι εξαρτισμένος με καταδυτική στολή τύπου dry suit με ένθετα γάντια και μπότες (σελ. 196).

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

Όλες οι υπόλοιπες προφυλάξεις ασφαλείας πρέπει να συμβαδίζουν με τους γενικούς κανόνες των υγρών υποβρύχιων συγκολλήσεων και των υποβρύχιων κοπών με τόξο (σελ. 196).

Το ακετυλένιο γίνεται ιδιαίτερα ασταθές σε βάθη μεγαλύτερα των 8 m και μπορεί να προκαλέσει θανατηφόρα έκρηξη (σελ. 196).

Μια συνεχής πηγή κινδύνων είναι η πτώση των κομμένων κομματιών, ειδικότερα στις επιχειρήσεις διάσωσης (σελ. 196 - 197).

Πριν την εργασία, πρέπει να βεβαιωθεί ότι ο καταδυτικός εξοπλισμός δεν θα πάθει ζημιά από τις εργασίες, όπως από υπερβολική εκτόξευση υλικού (σελ. 197).

Θα πρέπει να θεωρείται ότι υπό μεγάλη πίεση αυτά τα εύφλεκτα αέρια, αν συγκεντρωθούν σε μεγάλες ποσότητες, μπορούν να προκαλέσουν έκρηξη (σελ. 198).

Αν υγρή υποβρύχια συγκόλληση πρόκειται να πραγματοποιηθεί σε περιορισμένο κλειστό χώρο ή κάτω από κατασκευές που τα δομικά τους μέλη μπορούν να παγιδεύσουν τις φυσαλίδες υδρογόνου και οξυγόνου, πρέπει να κατασκευάζονται οπές εξαερισμού ώστε να αποτρέψουν την παγίδευση των αερίων, ειδικά σε βάθη μεγαλύτερα των 20 m (σελ. 198).

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

**Δεν υπάρχει καμία αμφιβολία για την εκρηκτικότητα των αερίων που παράγονται από τις μεθόδους των υποβρύχιων κοπών που χρησιμοποιούν οξυγόνο (σελ. 198).**

**Οι πολύ σοβαροί κίνδυνοι μπορούν να μειωθούν με τον υπολογισμό των πιθανών περιοχών που μπορούν να συγκεντρωθούν αυτά τα αέρια και με τη δημιουργία οπών εξαερισμού είτε με τρυπάνι είτε με υποβρύχια κοπή τόξου με δέσμη νερού. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί σε εργασίες σε λάσπη λόγω του πιθανά παγιδευμένου μεθανίου, το οποίο μπορεί να προκαλέσει σε κατάλληλες ποσότητες έκρηξη και σε εργασίες σε τσιμέντο λόγω πιθανών παγιδευμένων αερίων από κάτω (σελ. 198 - 199).**

**Εκτός από τα εκρηκτικά μείγματα υδρογόνου και οξυγόνου που παράγονται από τις μεθόδους υποβρύχιων συγκολλήσεων και κοπών, ο δύτες πρέπει να είναι ενήμερος για άλλες πιθανές πηγές εκρηκτικών αερίων ή επικίνδυνων υλικών (σελ. 199).**

**Εναλλασσόμενο ρεύμα έντασης 9mA και συχνότητας 60Hz ή σταθερό ρεύμα έντασης 40mA είναι ικανά να εμποδίσουν εθελοντική απελευθέρωση του χεριού από τον ηλεκτρικό αγωγό (“Let Go” ρεύμα). Άρα, πρέπει να αποφεύγονται τέτοιες τιμές ρεύματος (σελ. 200).**

**Η χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος στις υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές απαγορεύεται (σελ. 200).**

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

Η προστασία που απαιτείται για να προστατευτεί ο δύτες από πιθανή ηλεκτροπληξία είναι καταδυτική στολή με κατάλληλη μόνωση (προτείνεται η χρήση dry suit), λαστιχένια γάντια και μπότες και πλήρη προστασία του κεφαλιού (σελ. 201).

Δεν θα πρέπει ποτέ να αμελείται η ασφάλεια πάνω από το νερό και θα πρέπει να ακολουθούνται όλοι οι κανόνες για προστασία από το ηλεκτρικό ρεύμα σε ατμοσφαιρικό αέρα (σελ. 201).

Ο δύτες κινδυνεύει περισσότερο για ηλεκτροπληξία όταν δεν είναι τελείως βυθισμένος στο νερό (splash zone) και αυτό γιατί σε αυτή την περίπτωση η γείωση είναι το νερό και το ηλεκτρόδιο είναι ο δύτες που κρατά τον εξοπλισμό, με αποτέλεσμα αμέσως να γίνεται μέρος του κυκλώματος (σελ. 201 - 202).

Οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται στις υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές πρέπει να είναι εγκεκριμένες για υποβρύχιες εργασίες και να έχουν δοκιμαστεί για σωστή λειτουργία πριν ξεκινήσει η εργασία (σελ. 202).

Ο διακόπτης ασφαλείας, πολλές φορές καλούμενος και μαχαιρωτός διακόπτης (knife switch), είναι το πιο σημαντικό αντικείμενο ασφαλείας τόσο στις υποβρύχιες συγκολλήσεις όσο και στις υποβρύχιες κοπές (σελ. 205).

## 5. Κανόνες Ασφάλειας

**Ο tender θα πρέπει να κλείνει τον διακόπτη μόνο έπειτα από εντολή του δύτη και αφού το ηλεκτρόδιο βρίσκεται στην περιοχή της εργασίας (σελ. 205).**

**Πριν από κάθε αλλαγή του διακόπτη θα πρέπει ο tender να ενημερώνει τον δύτη (σελ. 206).**

**Η υποβρύχια συγκόλληση ή κοπή κοντά σε εύφλεκτα υλικά είναι επικίνδυνη (σελ. 207).**

**Οι υδρογονάνθρακες αναφλέγονται σχεδόν αμέσως με παρουσία οξυγόνου. Δεν θα πρέπει ποτέ να επιτρέπεται η επαφή εξοπλισμού που μεταφέρει οξυγόνο με λάδια ή γράσα (σελ. 207).**

**Από όλα τα υψηλής πίεσης αέρια που χρησιμοποιούνται στις υποβρύχιες εργασίες, το οξυγόνο είναι το πιο επικίνδυνο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μειώνει τη θερμοκρασία ανάφλεξης των εύφλεκτων υλικών και επιταχύνει σημαντικά την καύση. Οι υδρογονάνθρακες αναφλέγονται σχεδόν αμέσως με την παρουσία οξυγόνου και η φωτιά με οξυγόνο παράγει μεγάλη θερμότητα (σελ. 207).**

**Πριν από κάθε κατάδυση είναι σημαντικό να έχει οριστεί με σαφήνεια ο σκοπός της κατάδυσης και η διαδικασία με την οποία αυτός θα πραγματοποιηθεί. Απόκλιση από τους κανόνες ασφαλείας που αναφέρονται στους οδηγούς καταδύσεων μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρό τραυματισμό του δύτη ή ακόμα και σε θάνατο (σελ. 211).**

5. Κανόνες Ασφάλειας

**ΓΙΑ ΚΑΝΕΝΑ ΛΟΓΟ ΔΕΝ ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ  
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΙ ΑΥΤΗ Η ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΩΣ  
ΟΔΗΓΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ  
ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΕΣ ΔΥΤΕΣ. Η ΠΑΡΟΥΣΑ  
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΙΝΑΙ ΠΡΟΪΟΝ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗΣ  
ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ Ο ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΚΑΜΙΑ  
ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΣΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ  
ΥΠΟΒΡΥΧΙΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΚΟΠΩΝ.**

## 6. Συμπεράσματα

Οι υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές έχουν αρχίσει να αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο στον τομέα των θαλάσσιων κατασκευών και ιδιαίτερα των παράκτιων εξέδρων εξόρυξης πετρελαίου. Το χαμηλό κόστος και η ταχύτητα της άμεσης επισκευής είναι τα βασικά πλεονεκτήματα τους. Επιπλέον, με τη βελτίωση της ποιότητάς τους, της αποτελεσματικότητάς τους και της αποδοτικότητάς τους έχουν βρει εφαρμογή σε ένα πλήθος δραστηριοτήτων που παλιότερα ήταν αδιανόητο.

Από την άλλη πλευρά και όπως προκύπτει από τα πρώτα κεφάλαια της διπλωματικής, η παρουσία του υγρού περιβάλλοντος και η αυξημένη πίεση αποτελούν δύο σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα τις υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας είναι πια δυνατή η επίτευξη ποιότητας συγκολλήσεων και κοπών παρόμοια με αυτής έξω από το νερό. Η χρήση σε ολόενα και μεγαλύτερα βάθη και η πλήρης αυτοματοποίηση κάποιων μεθόδων παραγωγής αυτών, καθώς και η περαιτέρω βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων, αποτελούν το στόχο των επομένων χρόνων.

Το τέταρτο κεφάλαιο της διπλωματικής αποτυπώνει καθαρά τους λόγους για τους οποίους το επάγγελμα των υποβρύχιων συγκολλήσεων και κοπών θεωρείται ένα από τα πιο επικίνδυνα. Υποξία, υπερκαπνία, εμβολή αέρα και νόσος εξ' αποσυμπίεσης είναι μόνο μερικές από τις παθογόνες καταστάσεις που εμφανίζονται στις επαγγελματικές καταδύσεις και που μπορούν να οδηγήσουν τον δύτη στο θάνατο. Όπως όμως έχει ήδη αναφερθεί, οι καταδύσεις δεν αποτελούν το αντικείμενο της δουλειάς των δυτών που εκτελούν υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές, αλλά το μέσο. Εκ τούτοις, ένα πλήθος κινδύνων προέρχεται από το πραγματικό αντικείμενο της εργασίας τους με τους σημαντικότερους να είναι της ηλεκτροπληξίας και της παρουσίας εκρηκτικών αέριων. Η περιορισμένη έρευνα στους καθ' αυτούς κινδύνους των υποβρύχιων συγκολλήσεων και κοπών καθιστά απαραίτητη τη διεύρυνση και την ανάπτυξη αυτού του τομέα για την ασφάλεια των δυτών.

Όπως είναι λογικό, αφού οι επαγγελματικοί κίνδυνοι οφείλονται σε ένα πλήθος παραγόντων, η προστασία από αυτούς είναι ιδιαίτερα περίπλοκη, ειδικά μέσα στα πλαίσια μιας διπλωματικής εργασίας. Παρόλο που καταβλήθηκε μεγάλη προσπάθεια για τη συγκέντρωση των κανόνων ασφαλείας από διάφορες πηγές βιβλιογραφίας, το κενό της απουσίας ενός βασικού οδηγού ασφαλείας που να

## 6. Συμπεράσματα

συμβαδίζει με τις τελευταίες εξελίξεις και ανάγκες της τεχνολογίας και να αντιμετωπίζει όλους τους πιθανούς κινδύνους είναι δύσκολο να καλυφθεί. Για την ασφάλεια και την προστασία των δυτών που πραγματοποιούν υποβρύχιες συγκολλήσεις και κοπές αυτή η έρευνα είναι άκρως απαραίτητη.

Πέρα, όμως, από τα παραπάνω, κυρίαρχο ρόλο στην αποτελεσματική προστασία των εργαζομένων παίζει η διαπαιδαγώγησή τους στην υιοθέτηση των προτεινόμενων μέτρων προστασίας κάθε φορά, η απαίτησή τους για ασφαλείς συνθήκες εργασίας απέναντι στην ολοένα και αυξανόμενη εντατικοποίηση της εργασίας. Οι εργοδότες οφείλουν να προστατεύουν την ανθρώπινη ζωή και υγεία στην επιχείρησή τους και το κράτος να μεριμνά για την εκπαίδευση και την επιμόρφωση εργαζομένων και εργοδοτών και να επιβλέπει τους όρους με τους οποίους οι εργαζόμενοι της χώρας στο σύνολό τους συμμετέχουν στην παραγωγική διαδικασία γενικά.



## 7. Βιβλιογραφία

1. American Welding Society, “*Specification for underwater welding*”, ANSI/AWS D3.6-99.
2. American Welding Society, “*Welding Handbook, Volume 3: Materials and Applications - Part 1*”, AWS Eight Edition.
3. Juan M. Medina, “*Corte y Soldadura Subacuática*”
4. Amit Mukund Joshi, “*Underwater Welding*”, Mechanical Engineering Department, Indian Institute of Technology I.I.T – Bombay.
5. V. Ya. Kononenko, “*Technologies of Underwater Wet Welding and Cutting*”, E.O. Paton Electric Welding Institute, Kiev 2006.
6. David J. Keats, “*Underwater Wet Welding – A Welder Mate*”, Speciality Welds 2004.
7. Underwater Ship Husbandry Manuals – USHW, “*Charter 11 – Wet and Dry Chamber Welding*”, S0600-AA-PRO-110, August 1996.
8. U.S. Navy, “*Underwater Cutting and Welding Manual*”, S0300-BB-MAN-010, 0910-LP-111-3300, June 2002.
9. Naval Ships’ Technical Manual, “*Charter 074 - Volume 1, Welding and Allied Processes*”, S9086-CH-STM-010/CH-074V1R5, January 2003.
10. American Welding Society, “*Safety in Welding, Cutting and Allied Processes*”, ANSI/AWS Z49.1, 2005.
11. American Society of Metals, “*ASM Handbook – Welding, Brazing and Soldering*”, ASM International, 1993.
12. Dr. Adrian F. Dier, “*Assessment of Repair Techniques for Ageing or Damaged Structures*”, MSL Services Corporation, November 2004.
13. Kunihiko Satoh, “*Study on cooling characteristic and hardness in locally drying underwater weld of mild steel and 50 kgf/mm<sup>2</sup> HTS*”, Japan Welding Society. 150 (8) (1981) 800–806.
14. B. Waldie, “*Effects of Increasing Equivalent Water Depth on Plasma-Arc Cutting Underwater and in a Gaseous Atmosphere*”, Department of Chemical & Process Engineering Herriot-Watt University, Edinburgh.
15. Department of the U.S. Navy, Navy Experimental Diving Unit, “*Evaluation of the Kerie Cable Thermal Arc Cutting Equipment*”, July 1984.

## 7. Βιβλιογραφία

16. R. K. Pandey, “*Fracture Toughness – Microstructure Investigation of Hyperbarically Welded Joints in Offshore Application*”, Department of Applied Mechanics, Indian Institute of Technology, New Delhi-1 10016, India.
17. Lars A. Molinder, “*Underwater Thermal Lance*”, U.S. Patent Documents, October 1984.
18. Chon-Liang Tsai and Koichi Masubuchi, “*Mechanisms of rapid cooling in underwater welding*”, Applied Ocean Research, 1979, Vol. 1.
19. Brown A., Brown C., Tsai C. L. and Masubuchi K., “*Report on fundamental research on underwater welding*”, MIT Sea Grant Report No. MITSG 74~29, September 1974.
20. Nicholas A. Sanders and Richard W. Couch, “*Underwater and Above Water Plasma Arc Cutting Torch and Method*”, U.S. Patent Documents, March 1989.
21. W. Bach and A. Gruchow, “*Plasma cutting in atmosphere and underwater*”, Institut für Werkstoffkunde (IW), Universität Hannover, Germany.
22. Ezequiel Caires Pereira Pessoa, Alexandre Queiroz Bracarense, Eduardo Maluf Zica, Stephen Liu and Faustino Perez-Guerrero, “*Porosity variation along multipass underwater wet welds and its influence on mechanical properties*”, Elsevier B.V., 2006.
23. M.D. Rowe, S. Liu, “*Recent development in underwater wet welding*”, Science Technology Welding Join., 2001.
24. Dr Ian Frazer, Lindsey Fyffe, Oliver J Gibson and Prof Bill Lucas, “*Remotely operated underwater thermal cutting processes for the decommissioning of large north sea platforms*”, 21st International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, June 2002.
25. Lutz Lindhorst, Süddeutschland Bau and Betrieb GmbH, “*On the Effects of Wet Underwater Welding on the Fracture Behavior of Welds*”, 2001.
26. J. Łabanowski, D. Fydrych and G. Rogalski, “*Underwater Welding – A Review*”, Gdańsk University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Materials Technology and Welding, Gdańsk, Poland, December 2008.
27. American Welding Society, “*Jefferson’s Welding Encyclopedia*”, Global Engineering Documents, Eighteenth Edition, 2002.

## 7. Βιβλιογραφία

28. Broco's Marylou Ferry, “*A Rare Breed: The Underwater Welder*”, Article of Underwater Magazine.
29. Mary Ruth Johnsen, “*Keeping Shipshape through Underwater Welding*”, Article of Underwater Magazine.
30. Michael J. Ganas, “*Underwater Inspections: The Right Way and the Wrong Way*”, Article of Underwater Magazine.
31. “*Underwater Cutting Products Operating Instructions*”, Broco Inc., 2007.
32. Association of Diving Contractors International, “*Consensus Standards for Commercial Diving and Underwater Operations*”, Best Publishing Company, Fifth Edition, 2004.
33. American Welding Society, “*Fumes and Gases*”, Safety and Health, October 2005.
34. American Welding Society, “*Noise*”, Safety and Health, October 2003.
35. American Welding Society, “*Radiation*”, Safety and Health, October 2003.
36. Jennie I. Macdiarmid, John A.S. Ross, Sean Semple, Liesl M. Osman and John R. Crawford, “*Further investigation of possible musculoskeletal and cognitive deficit due to welding in divers identified in the ELTHI diving study*”, University of Aberdeen, 2005.
37. Department of the U.S. Navy, Navy Experimental Diving Unit, “*Analysis of Gases Produced by Three Underwater Cutting Devices*”, July 2003.
38. T. Syversen and J. Jenssen, “*High Hydrostatic Pressure Potentiation of the Toxic Effects of Chromate in Cell Culture*”, Undersea Biochemical Research, Volume 14, No.1, January 1987.
39. T. W. Ortendahl and P. Hogstedt, “*Magnetic Field Effects on Dental Amalgam in Divers Welding and Cutting Electrically Underwater*”, Undersea Biochemical Research, Volume 15, No.6, January 1989.
40. T. W. Ortendahl, G. Dahlen and H. O. E. Rockert, “*Evaluation of Oral Problems in Divers Performing Electrical Welding and Cutting Underwater*”, Undersea Biochemical Research, Volume 12, No.1, January 1985.
41. “*Underwater Cutting Products Safety Information*”, OxyLance Inc., 2003.
42. U.S. Navy, “*Diving Manual*”, SS521-AG-PRO-010, 0910-LP-106-0957, April 2008.

## 7. Βιβλιογραφία

43. “*Underwater Electrical Safety Practices*”, National Academy of Science, Washington DC, 1976.
44. A. A. Bove, “*Underwater Electrical Hazards and the Physiology of Electric Shock*”, Temple University Health Sciences Center, Pennsylvania.
45. Hackman D.J. and J.S. Glasgow, “*Underwater Electric Shock Hazards*”, Journal of Ocean Technology, Vol. 2, No. 3, 1968.
46. Lee W.R., “*Death from Electric Shock*”, Proceedings of the Institute of Electrical and Electronic Engineers, Vol. 133, No. 1, 1966.
47. Graham Carter, “*Health and Safety in Welding and Related Processes - Assessing the risks and controlling particulate fume*”, The Welding Institute.
48. Steven M. Barsky, “*Hidden Danger Lurks in Ship's Hulls*”, Article of Underwater Magazine.
49. Morgan, Pete Ryan, Trent Schultz, and Mike Ward, “*Solving Cold Water Breathing Problems*”, Article of Underwater Magazine.
50. Duke Ogden and Gregory M. Cain, “*The Truth about Underwater Burning Safety*”, Article of Underwater Magazine.
51. Robert Murray, “*Underwater Electrical Safety For Divers*”, Article of Underwater Magazine.
52. Howard B. Cary and Scott C. Helzer, “*Modern Welding Technology*”, Pearson.
53. Χρήστος Χατζηιωάννου, “*Ηλεκτροσυγκολλήσεις*”, ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.
54. Ευάγγελος Αλεξόπουλος, “*Κίνδυνοι για την υγεία από την ηλεκτροσυγκόλληση*”, ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.
55. Δημήτρης Ι. Παντελής και Γιάννης Δ. Χρυσουλάκης, “*Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών*”, Παπασωτηρίου, 1996.
56. Βασίλειος Ι. Παπάζογλου, “*Ναυπηγική Τεχνολογία*”, Εκδόσεις ΕΜΠ, 1995.
57. Βασίλειος Ι. Παπάζογλου και Γ. Παπαδημητρίου, “*Επιστήμη και Τεχνική των Συγκολλήσεων*”, Εκδόσεις ΕΜΠ, 1994.
58. Βασίλειος Ι. Παπάζογλου και Ζ. Τσαρακλής, “*Υγιεινή και Ασφάλεια στις Ναυπηγοεπισκευαστικές Εργασίες*”, Εκδόσεις ΕΜΠ, 2001.
59. Γιάννης Τζ. Νικολής, “*Εργαστήρι Ναυπηγικών Συγκολλήσεων*”, Εκδόσεις ΤΕΙ Αθήνας – Τμήμα Ναυπηγικής.
60. <http://archive.rubicon-foundation.org/dspace/handle/123456789/2424>
61. <http://www.iatronet.gr/>

## 7. Βιβλιογραφία

62. <http://www.scuba-doc.com/>