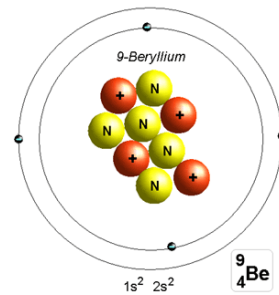


JULY 19, 2015



# Το βηρύλλιο και οι τεχνολογικές εφαρμογές ΤΟΥ Τοξικότητα και μέτρα προστασίας

Ευάγγελος Προτοπαπαδάκης  
Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ  
Χανιά





## Περιεχόμενα

Λίγα λόγια για το Βηρύλλιο .....	1
Στοιχεία και γραφήματα.....	2
Στατιστικά στοιχεία Παραγωγής.....	2
Ιστορική αναδρομή.....	2
Προέλευση .....	3
Εξαγωγή .....	4
Υδροξείδιο του βηρυλλίου, εξαγωγή & κατεργασία .....	4
Ιδιότητες του βηρυλλίου .....	6
Ακατέργαστο βηρύλλιο.....	7
Κράματα βηρυλλίου .....	10
Συνθέσεις κραμάτων επεξεργασμένου χαλκού-βηρυλλίου .....	11
Φυσικές ιδιότητες κραμάτων χαλκού – βηρυλλίου .....	12
Βιομηχανικό προφίλ.....	14
Χρήσεις .....	16
Επικοινωνίες .....	17
Ιατρική.....	18
Μεταφορές .....	20
Ερευνητικές αποστολές .....	22
Ενέργεια .....	24
Άμυνα και ασφάλεια.....	26
Εφαρμογές εξέχοντος ενδιαφέροντος .....	29
Τουίτερ αντεστραμμένου θόλου .....	29
Διαστημικό τηλεσκόπιο .....	30
Διάβρωση εδαφών .....	32
Ένα στοιχείο που υπάρχει σχεδόν παντού .....	33
Έλεγχος κατεργασιών που εμπλέκουν το βηρύλλιο .....	33
Μέθοδοι υγρού περιορισμού .....	36
Τοπικός εξαερισμός .....	36
Καθαρισμός των εργαλείων .....	38
Προστασία Αναπνοής .....	39

Ένδυση και προσωπική υγιεινή .....	40
Νοικοκυριό.....	40
Συντήρηση.....	41
Ανακύκλωση.....	41
Απόρριψη .....	42
Γεγονότα γύρω από την ασφάλεια .....	44
Πρότυπο IEEE 1680 .....	45
Συσχέτιση βηρυλλίου με εμφάνιση καρκίνου.....	45
Προστασία εργαζομένων .....	47
Όρια επαγγελματικής έκθεσης .....	47
Ευαισθητοποίηση στο βηρύλλιο .....	50
Μοντέλα ασφάλειας.....	51
Υγεία και ασφάλεια .....	53
Έκθεση σε βηρύλλιο .....	54
Κατηγορίες υλικών.....	55
Τοξικότητα .....	55
Οξεία βηρυλλίωση .....	58
Χρόνια βηρυλλίωση .....	59
Κλινική εικόνα .....	59
Παθολογοανατομική εικόνα .....	60
Εργαστηριακά ευρήματα .....	61
Ακτινολογική εικόνα.....	62
Λειτουργικός έλεγχος αναπνοής.....	62
Διαγνωστική προσπέλαση .....	63
Επιπλοκές .....	64
Πρόληψη και θεραπεία.....	64
Γενετική προδιάθεση .....	66
Επίπεδα συγκέντρωσης στο περιβάλλον και ανθρώπινη έκθεση .....	66
Αέρας.....	67
Νερό .....	67
Εκτιμώμενη συνολική έκθεση και η σχετική συμβολή του πόσιμου νερού .....	67
Κανονισμοί.....	68

Ευρωπαϊκή ένωση.....	68
Ανακύκλωση .....	70
Βιβλιογραφία.....	72
<i>Παράρτημα: Μέσα ατομικής προστασίας.....</i>	<i>i</i>

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1. Ο Louis-Nicholas Vauquelin ανακάλυψε το βηρύλλιο. ....	1
Εικόνα 2. Στις Η.Π.Α το μετάλλευμα εξορύσσεται από ένα κοίτασμα στη Γιούτα, κοντά στην επιφάνεια και πραγματοποιείται ένα φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο. ....	4
Εικόνα 3. (Αριστερά) Κλειστό κύκλωμα ξερής άλεσης σε σφαιρόμυλο συνεχούς διεργασίας και ταξινομητή αέρα. (Δεξιά) Σφαιρόμυλος συνεχούς διεργασίας ξερής άλεσης. Η παραλαβή των λεπτών κόκκων γίνεται με ρεύμα αέρα. ....	5
Εικόνα 4. Σφαιρόμυλος. ....	5
Εικόνα 5. Ένα διυλιστήριο βηρυλλίου στη Γιούτα, ΗΠΑ. ....	6
Εικόνα 6. Συγκριση της αναλογιας μετρο ελαστικότητας/πυκνότητας μεταξυ του βηρυλλίου αι άλλων μετάλλων. ....	9
Εικόνα 7. Τυπική διάταξη πτερυγίων ψύξης για αποτελεσματική ψύξη επεξεργαστών. ....	10
Εικόνα 8. Καλώδια και καρούλια από κράμα χαλκού βηρυλλίου Νο 25. Αριστερά έχουμε επάργυρη επίστρωση και δεξιά χάλκινη επικάλυψη. ....	13
Εικόνα 9. Οι εγκαταστάσεις της Materion Brush Resources, στο Elmore του Οχάιο. ....	14
Εικόνα 10. Ορυκτό Bertrandite. ....	15
Εικόνα 11. Πιστόνι και μπιέλα κινητήρα κατασκευασμένα με κράματα βηρυλλίου.. ....	16
Εικόνα 12. Μέρη στα οποία συναντάμε κράματα βηρυλλίου σε ένα κινητό τηλέφωνο. ....	18
Εικόνα 13. (Πάνω) Σχηματική αναπαράσταση μαστογραφίας. (Δεξιά) Τυπικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται. ....	19
Εικόνα 14. Παράδειγμα ιατρικού εξοπλισμού για επεμβατική χειρουργική στα μάτια [14]. ....	19
Εικόνα 15. Μηχάνημα για την αφαίρεση της χοληδόχου κύστης [15]. ....	20
Εικόνα 16. Χρήσεις βηρυλλίου σε εξαρτήματα του αυτοκινήτου. ....	20
Εικόνα 17. Τυπικός καταιωνησθηρας νερού για συστήματα πυρόσβεσης. Το ακροφύσιο είναι φτιαγμένο από κράμα νικελίου βηρυλλίου. ....	21
Εικόνα 18. Παράδειγμα βαλβίδων ελέγχου ροής αέρα. ....	21
Εικόνα 19. Το ρομπότ εξερεύνησης του Άρη, Curiosity. ....	23
Εικόνα 20. Τρεις γενιές διαστημικών τηλεσκοπίων. Όλες τους χρησιμοποιούν εκτενώς το βηρύλλιο. ....	23
Εικόνα 21. Τα τοιχώματα στον επιταχυντή Συγκρουόμενων Δεσμών Αδρονίων χρησιμοποιούν εκτενώς βηρύλλιο και κράματα αυτού. ....	24
Εικόνα 22. Χρήσεις βηρυλλίου στην αναζήτηση πετρελαίου και φυσικού αερίου. ....	24
Εικόνα 23. Σφικκτήρες σωλήνων για πετρέλαιο και φυσικό αέριο. ....	25
Εικόνα 24. των thin-film ηλιακών συλλεκτών και συγκεντρωτικά φωτοβολταϊκά συστήματα [18] ....	25
Εικόνα 25. Απεικόνιση αντιδραστήρα πυρηνικής σύντηξης. ....	26

<i>Εικόνα 26. Διάφορα μαχητικά αεροσκάφη με πλήθος εξαρτημάτων κατασκευασμένα από βηρύλλιο.</i>	27
<i>Εικόνα 27. Σχηματική αναπαράσταση της βόμβας υδρογόνου.</i>	27
<i>Εικόνα 28. Σχηματική αναπαράσταση θερμοπυρηνικού οπλισμού.</i>	28
<i>Εικόνα 29. Χρήση του βηρυλλίου ανά τομέα εφαρμογής.</i>	29
<i>Εικόνα 30. Ένα από τα πλέον χαρακτηριστικά σημεία του SM8 είναι το τουίτερ βηρυλλίου της Focal. Κατά πάσα πιθανότητα αυτό καθορίζει σημαντικό μέρος της ηχητικής του ταυτότητας.</i>	30
<i>Εικόνα 31. Το Διαστημικό Τηλεσκόπιο James Webb.</i>	32
<i>Εικόνα 32. Διαφορά δομικά υλικά στα οποία υπάρχουν μικρές ποσοτητες βηρυλλίου.</i>	33
<i>Εικόνα 33. Τυπικές κατεργασίες βηρυλλίου που παράγουν ρύπους.</i>	34
<i>Εικόνα 34. Εγκαταστάσεις υγρής κατεργασίας.</i>	36
<i>Εικόνα 35. Αριστερά: Τυπικό μηχάνημα άντλησης καπνών που προκύπτουν κατά την κατεργασία. Δεξιά: Εξωτερικά τοποθετημένος συλλέκτης σκόνης.</i>	37
<i>Εικόνα 36. Σύστημα άντλησης αερομεταφερόμενων σωματιδίων που παράγονται κατά την κατεργασία μετάλλων. Η εναπόθεση γίνεται σε κλειστό δοχείο, όπου ακολουθεί κατάλληλο φιλτράρισμα.</i>	38
<i>Εικόνα 37. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην επιλογή κατάλληλων φίλτρων για την μάσκα. Ο χρήστης πρέπει να έχει σωστή ενημέρωση για τις εκπομπες λόγω κατεργασίας και να τοποθετεί το αντιστοιχο φίλτρο.</i>	39
<i>Εικόνα 38. Προστασία αναπνοής. Η μάσκα διαθέτει κατάλληλη υποδοχή για να συνδεθεί με φορητή αντλία αέρα. Ο αέρας που παρέχεται είναι φιλτραρισμένος.</i>	39
<i>Εικόνα 39. Ειδικές σκούπες για τον καθαρισμό υπολειμμάτων βηρυλλίου. Αριστερά τυπικό μοντέλο, κεντρο σκούπα με υγρά φίλτρα και δεξιά σκούπα με ειδικά φίλτρα (HEPA).</i>	40
<i>Εικόνα 40. Τυπική διάταξη εργοστασίου ανακύκλωσης ηλεκτρικών συσκευών.</i>	42
<i>Εικόνα 41. Διαφημιστικό σποτ από δικηγορικό γραφείο. Αφορά το δικαίωμα των εργαζομένων να διεκδικήσουν αποζημίωση λόγω προβλημάτων που προέκυψαν από έκθεση στο βηρύλλιο.</i>	46
<i>Εικόνα 42. Αποτελεσματική προστασία εργαζομένων: έχουν ληφθεί όλα τα δυνατά μέτρα (ένδυση, μάσκες, καθαρός χώρος, φίλτρα αέρα και υγρή κατεργασία).</i>	47
<i>Εικόνα 43. Αναπαράσταση της αντίδρασης του οργανισμού σε αντιγόνα βηρυλλίου.</i>	51
<i>Εικόνα 44. Παράδειγμα τυπικού προστατευτικού εξοπλισμού.</i>	52
<i>Εικόνα 45. Πρέπει να υπάρχει πάντα επαρκής εξαερισμός και συνεχή ενημέρωση των εργαζομένων.</i>	53
<i>Εικόνα 46. Χρόνια βηρυλλίωση. Παρατηρούνται διάχυτα οζίδια με διόγκωση αυλαίων και μεσοθωρακικών λεμφαδένων.</i>	62



## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1. Ποσότητα παραγόμενου βυρηλλίου ανά το κοσμο για το έτος 2011. ....	2
Πίνακας 2. Η παρεχόμενη ποσοτητα βηρυλλίου σε τρεις μεγάλες Ευρωπαϊκές χώρες για το έτος 2011.....	2
Πίνακας 3. Συγκριση βασικών ιδιοτητων του βυρηλλιου με ευρεως διαδεδομένα υλικά. ....	8
Πίνακας 4. Χημική σύσταση κραμάτων χαλκού βηρυλλίου .....	11
Πίνακας 5. Ιδιότητες κραμάτων βηρυλλίου χαλκού. ....	13
Πίνακας 6. Ταξινόμηση κατεργασιών καθαρού βηρυλλίου με βάση την επικινδυνότητα ως προς την έκθεση. ....	35
Πίνακας 7. Κατεργασίες σε κράματα βηρυλλίου με χαμηλή πιθανότητα εισπνοής αερομεταφερόμενων σωματιδίων.....	43
Πίνακας 8. Κατεργασίες σε κράματα βηρυλλίου με πιθανότητα εισπνοής αερομεταφερόμενων σωματιδίων.....	44
Πίνακας 9. Συνηθέστερες ομάδες έκθεσης σε βηρύλλιο.....	54
Πίνακας 10. Ποσοστά ανακύκλωσης και ανάκτησης βηρυλλίου .....	70
Πίνακας 11. Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων/ τιμών έκθεσης εργαζομένων σε κατεργασίες κραμάτων χαλκού-βηρυλλίου .....	70
Πίνακας 12. Έκθεση σε βηρύλλιο κατά την ανακύκλωση.....	71

## Λίγα λόγια για το Βηρύλλιο

Το βηρύλλιο ανακαλύφθηκε από τον Γάλλο χημικό Louis-Nicholas Vauquelin, καθηγητή Χημείας στο Ecole Polytechnique του Παρισιού το 1798, από το μέταλλευμα της Βηρύλλης με τη μορφή οξειδίου του βηρυλλίου. Τότε ο Vauquelin θέλησε να το ονομάσει γλυκίνιο, από την ελληνική λέξη γλυκύς, διότι τα άλατά του, αντίθετα από ό,τι μπορεί να φανταστεί κάποιος, έχουν πραγματικά μια ευχάριστα γλυκιά γεύση.

Ως εντελώς καθαρό στοιχείο εμφανίστηκε μόλις το 1828. Όσοι ασχολήθηκαν με το στοιχείο αυτό μεταγενέστερα προτίμησαν την ονομασία βηρύλλιο από τη βηρύλλη, που με τη σειρά του παρέπεμπε σε κάποια αρχαιότερη ινδική λέξη. Μόλις το 1949 η Επιτροπή Ανόργανης Χημείας επέβαλε την ονομασία βηρύλλιο και κατήργησε την προσωνομία γλυκίνιο.

Αν και στη συνηθισμένη του μορφή δεν είναι παρά ένα σκουρόχρωμο μέταλλο και μάλιστα τόσο ελαφρύ που μερικοί κοροϊδευτικά λένε ότι πρόκειται για πλαστικό, τα καπρίτσια των φυσικών συγκυριών ανακατεύοντάς το με μερικά άτομα χρωμίου και βαναδίου στο κρυσταλλικό τους πλέγμα μπορούν να δώσουν καταπράσινα σμαράγδια.

Αν μπει αργίλιο προκύπτουν οι πολύτιμες πέτρες που ονομάζονται «ακουαμαρίν». Δηλαδή νερό της θάλασσας και φυσικά το πιο συνηθισμένο χρώμα τους είναι το διάφανο μπλε, αν και υπάρχουν ακουαμαρίν με ως και ανοιχτοπράσινη απόχρωση.

Σήμερα το δώρο της ανεύρεσής τους το έχουν στο έδαφός τους κυρίως η Κολομβία και η Ζάμπια. Στη βάση για τη δημιουργία αυτού του πολύτιμου λίθου είναι το μέταλλευμα βηρύλλη και όταν βρεθούν ίχνη χρωμίου σε αυτό έχουμε ένα σχετικά διάφανο και όχι ιδιαίτερα σκληρό (σε σύγκριση με το διαμάντι) πολύτιμο λίθο.



Εικόνα 1.Ο Louis-Nicholas Vauquelin ανακάλυψε το βηρύλλιο.

## Στοιχεία και γραφήματα

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζουμε ποικίλες πληροφορίες σχετικά με το βηρύλλιο.

### Στατιστικά στοιχεία Παραγωγής

Η ετήσια παγκόσμια παραγωγή/κατανάλωση του βηρυλλίου το 2011 εκτιμάται σε 400 μετρικούς τόνους (MT).

Πίνακας 1. Ποσότητα παραγόμενου βηρυλλίου ανά το κοσμο για το έτος 2011.

2011	All in Kg	TOTAL Beryllium produced in 2011 by each region in kg			
		USA, Japan & Kazakhstan (a)	China (b)	Others (b)	TOTAL
Beryllium contained in metal > 60% Be Produced		43,000	5,000	1,500	49,500
Be contained in Alloys < 60% Be content		283,000	59,000	5,000	347,000
Be contained in BeO Ceramics		2,500	1,000	0	3,500
<b>Total Be converted and sold as commercial products</b>		<b>328,500</b>	<b>65,000</b>	<b>6,500</b>	<b>400,000</b>

(a) Total aggregated by an independent auditor from data provided by BeST members.

(b) Estimates.

Η συνολική παραγόμενη ποσότητα, η οποία μετατρέπεται και πωλείται ως εμπορικά προϊόντα (καθαρό βηρυλλίου, κράματα και κεραμικά υλικά), εκτιμάται σε 30.2 μετρικούς τόνους για τις μεγάλες ευρωπαϊκές χώρες το 2011.

Πίνακας 2. Η παρεχόμενη ποσότητα βηρυλλίου σε τρεις μεγάλες Ευρωπαϊκές χώρες για το έτος 2011.

2011	All in Kg	Beryllium supplied to major countries in EU (in kg)			
		Germany	France	Italy	TOTAL
<b>Total Be converted and sold as commercial products (pure, alloy and Be contained in BeO ceramics)</b>		<b>22,190</b>	<b>5,431</b>	<b>2,538</b>	<b>30,159</b>

Η ετήσια κατανάλωση σε βηρύλλιο αναμένεται να αυξηθεί σε 425 MT/έτος μέχρι το 2020 και σε περισσότερο από 450 MT/έτος μέχρι το 2030 [1], κυρίως λόγω της ζήτησης για κατασκευή αντιδραστήρων θερμοπυρηνικής σύντηξης (ITER reactors).

Η τιμή πώλησης εξαρτάται από την μορφή του ορυκτού. Ενδεικτικά:

- Πλήρως κατεργασμένο καθαρό βηρύλλιο που χρησιμοποιείται σε αεροναυπηγία: 300-1500 €/kg.
- Χυτευτά κράματα αλουμινίου- (39%) βηρυλλίου: 200-500 €/kg.
- Κράματα χαλκού- (2%) βηρυλλίου: 20-50 €/kg.

### Ιστορική αναδρομή

Σε σχέση με τα γνωστά από αρχαίων χρόνων μέταλλα (χρυσός, χαλκός, μόλυβδος), το βηρύλλιο είναι σχετικά νέο. Αν και ανακαλύφθηκε αρχικά στα τέλη του 18<sup>ου</sup> αιώνα η εμπορική του αξία αναγνωρίστηκε το 1920.

- 1798: Ο Γάλλος χημικός Louis-Nicholas Vauquelin ανακάλυψε το βηρύλλιο, με τη μορφή οξειδίου του βηρυλλίου, σε μέταλλευμα της Βηρύλλης.
- 1828: Το στοιχείο του βηρυλλίου (μέταλλο) απομονώθηκε από δυο χημικούς, οι οποίοι εργάζονταν ανεξάρτητα: Antoine Bussy (Γαλλία) και Friedrich Wöhler (Γερμανία).
- 1920: Έχουμε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας πάνω σε κράματα βηρυλλίου χαλκού που χρησιμοποιήθηκαν σε ρελέ τηλεφωνικού κέντρου στην Γερμανία.
- 1930: Ξεκίνησε η εμπορική χρήση καθαρού βηρυλλίου σε παράθυρα ακτινών Χ. Κεραμικά βηρυλλίου χρησιμοποιούνται σε λυχνίες ραδιοφώνου.
- 1940: Ευρεία χρήση σε πολεμικό εξοπλισμό κατά την διάρκεια του Β παγκοσμίου πολέμου: χρήση σε μηχανές πλοίων για αποφυγή τη διάβρωσης, σε πόρτες αλεξιπτώτων λόγω βάρους και αντοχής, σε γυροσκοπικούς αισθητήρες πλοήγησης αεροσκαφών (μη μαγνητικό υλικό άρα περιορισμένες παρεμβολές, λειτουργία σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών). Επίσης, αποτελεί απαραίτητο υλικό για την λειτουργία πυρηνικών όπλων (ρύθμιση ροής νετρονίων)
- 1950: Αλματώδη αύξηση στην ζήτηση για χρήση σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα, συσκευές, εξαρτήματα αυτοκινήτων και μήτρες χύτευσης πλαστικού. Λόγω του ψυχρού πολέμου, αναπτύχθηκαν τεχνολογίες για αντίμετρα στα σοβιετικά οπτικά συστήματα, γεγονός που ώθησε την ζήτηση στις ΗΠΑ.
- 1960: Καθιερώνεται ως απαραίτητο υλικό για την εξερεύνηση του διαστήματος. Στην κάψουλα Mercury [2] χρησιμοποιήθηκε ως επικάλυψη για θερμική προστασία. Στην Utah των ΗΠΑ δημιουργείται ορυχείο για την κάλυψη των εγχωρίων αναγκών σε βηρύλλιο από την εταιρεία Brush Engineered Materials Inc.
- 1970: Γίνεται εκτενής χρήση στις αερομεταφορές, στις διαστημικές αποστολές και στα πυραυλικά συστήματα. Κράματα βηρυλλίου-χαλκού γίνονται το βασικό συστατικό στις βιομηχανίες υπολογιστικών εξαρτημάτων.
- 1980: Η πρώτη υποθαλάσσια οπτική ίνα χρησιμοποίησε περίβλημα από κράμα βηρυλλίου.
- 1990: σύνθετα υλικά μεταλλικής μήτρας (βηρυλλίου-αλουμινίου) εμφανίζονται. Κράματα νικελίου-βηρυλλίου χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αδρανειακών αισθητήρων που χρησιμοποιούνται σε αερόσακους.
- 2000: το διαστημικό τηλεσκόπιο James Webb [3] (αντικαθιστά το τηλεσκόπιο Hubble) χρησιμοποιεί εκτενώς βηρύλλιο για τα κάτοπτρα. Το υπουργείο άμυνας των ΗΠΑ θέτει το υψηλής καθαρότητας βηρύλλιο ως το μόνο κρίσιμο υλικό στρατηγικής σημασίας. Αντίστοιχα, η Ε.Ε. το κατατάσσει μέσα στα 14 υλικά υψηλού ενδιαφέροντος. Βελτιωμένα ηλιακά πάνελ χρησιμοποιούν υλικά βασισμένα σε βηρύλλιο. Το ίδιο γίνεται σε αντιδραστήρες πυρηνικής σχάσης.

### Προέλευση

Το βηρύλλιο δεν απαντάται ελεύθερο στη φύση. Βρίσκεται σε μικρή ποσότητα σε διάφορα ορυκτά και αποτελεί το 0.001% του φλοιού της γης ενώ η αναλογία του στο σύμπαν εκτιμάται ότι είναι ίση προς 20 άτομα για κάθε 106 άτομα πυριτίου.

Το σημαντικότερο από τα ορυκτά από τα οποία λαμβάνεται το βηρύλλιο είναι η βήρυλλος, που είναι μεταπυριτικό άλας του βηρυλλίου και του αργιλίου. Άλλα άλατα του βηρυλλίου είναι ο βρομελλίτης, η χρυσοβήρυλλος, ο φενακίτης, ο βηρολονίτης και ο βερτρανδίτης. Τα μεγαλύτερα ποσά βηρυλλίου προέρχονται από κοιτάσματα των ΗΠΑ (Colorado, New Mexico, Utah), Αργεντινής, Βραζιλίας, Ινδίας, Ζιμπάμπουε και Νοτίου Αφρικής.

### Εξαγωγή

Το βηρύλλιο είναι το 44<sup>ο</sup> πιο άφθονο στοιχείο στο φλοιό της γης. Πάνω από το 95% της παραγωγής του βασίζεται στην εξόρυξη ορυκτών, περιεκτικότητας 0.3-1.5%. Αυτού του είδους τα ορυκτά φέρουν την ονομασία βερτρανδίτης (Bertrandite-  $3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ). Κυρία περιοχή εξόρυξης είναι η Utah, στην οποία συναντάται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια, επιτρέποντας την εξαγωγή με φιλικό τρόπο προς το περιβάλλον. Το λεπτό στρώμα του βερτρανδρίτη αφαιρείται προσεκτικά και στην θέση του επανατοποθετείται χώμα.



Εικόνα 2. Στις Η.Π.Α το μέταλλευμα εξορύσσεται από ένα κοιτάσμα στη Γιούτα, κοντά στην επιφάνεια και πραγματοποιείται ένα φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο.

Ένα μικρό ποσοστό προέρχεται από την βήρυλλο (πυριτικό ορυκτό του βηρυλλίου,  $\text{Be}_4 \text{Si}_2\text{O}_7 (\text{OH})_2$ ). Η βήρυλλος αποτελεί παραπροϊόν κατά την εξόρυξη πολύτιμων λίθων σε χώρες της νότιας Αμερικής (Βραζιλία, Αργεντινή κ.λπ.). Σαν μέταλλευμα περιέχει συγκεντρώσεις από 3-5% αλλά είναι σκληρότερο από τον Bertrandite άρα κατεργάζεται δυσκολότερα.

### Υδροξείδιο του βηρυλλίου, εξαγωγή & κατεργασία

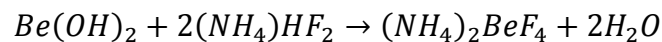
Το εξορυγμένο μέταλλευμα συνθλίβεται σε σφαιρόμυλο. Οι σφαιρόμυλοι ανήκουν στην κατηγορία τριτογενούς θραύσης ή άλεσης και μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν κλειστά δοχεία πλήρους ανάδευσης ή συνεχούς διεργασίας, σε υγρή ή ξερή άλεση και σε ανοικτό ή κλειστό κύκλωμα με ταξινομητή (Εικόνα 3).





Εικόνα 5. Ένα διυλιστήριο βηρυλλίου στη Γιούτα, ΗΠΑ.

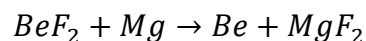
Για την παραγωγή καθαρού βηρυλλίου ακολουθείται μια διαφορετική διαδικασία. Το υδροξείδιο του βηρυλλίου,  $Be(OH)_2$ , αντιδρά με διφθοριούχο αμμώνιο,  $(NH_4)HF_2$ , δίνοντας τετραφθοροβηρυλλιούχο αμμώνιο  $(NH_4)_2BeF_4$ :



Το τετραφθοροβηρυλλιούχο ανιόν επιτρέπει τον καθαρισμό του με καθίζηση των διαφόρων προσμείξεων με τη μορφή των αντίστοιχων υδροξειδίων τους. Τελικά, η θέρμανση του καθαρισμένου (πλέον) τετραφθοροβηρυλλιούχου αμμωνίου δίνει το επιθυμητό προϊόν, δηλαδή φθοριούχο βηρύλλιο:



Γενικά, η δραστηριότητα του φθοριούχου βηρυλλίου με τα φθοριούχα ανιόντα είναι ανάλογη με εκείνη του διοξειδίου του πυριτίου με τα ανιόντα οξυγόνου [4]. Καθαρό βηρύλλιο προκύπτει στους 1300 °C αντιδρώντας με μαγνήσιο:



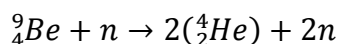
## Ιδιότητες του βηρυλλίου

Το βηρύλλιο (πάντα σε «πρότυπες συνθήκες») είναι ένα χαλυβδόμορφο γκρι και σκληρό υλικό που είναι εύθραυστο (σε «θερμοκρασία δωματίου») και έχει μια συμπιεσμένη εξαγωνική κρυσταλλική δομή [5]. Έχει μια εξαιρετική καμπτική ακαμψία, 287 GPa κατά το μέτρο Γιανγκ (Young's modulus), και ένα σχετικά υψηλό σημείο τήξης, για την ακρίβεια το υψηλότερο από όλα τα ελαφρά μέταλλα. Το μέτρο ελαστικότητας του βηρυλλίου είναι ακριβώς 50% μεγαλύτερο από αυτό του χάλυβα. Ο συνδυασμός αυτού του μέτρου και της σχετικά χαμηλής πυκνότητάς του έχει ως αποτέλεσμα μια ασυνήθιστα υψηλή ταχύτητα διάδοσης του ήχου μέσα από το βηρύλλιο, περίπου 12,9 km/s (46.440 km/h) στις συνθήκες περιβάλλοντος.

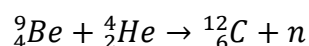
Άλλες σημαντικές ιδιότητες του βηρυλλίου είναι η υψηλή του ειδική θερμότητα [1.925 J/(kg·K)] και η (υψηλή του) θερμική αγωγιμότητά [216 W/(kg·K)], που κάνουν το βηρύλλιο το μέταλλο με την καλύτερη απαγωγή θερμότητας κατά μονάδα βάρους. Σε συνδυασμό με το σχετικά χαμηλό συντελεστή γραμμικής θερμικής διαστολής (11,4·10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>), αυτά τα χαρακτηριστικά καταλήγουν σε μια μοναδική σταθερότητας κάτω από συνθήκες θερμικής καταπόνησης [6]. Τέλος, η ολκιμότητά του είναι κατά περίπου 33% μεγαλύτερη από αυτή του χάλυβα.

Το φυσικό βηρύλλιο θεωρείται σχετικά ασφαλές σε μικρή έκθεση. Μόλυνση, περιορισμένης έκτασης και επιπτώσεων μπορεί να προκληθεί από κοσμογονικά ραδιοϊσότοπα (ουσιαστικά βηρύλλιο-9, που έχει πυρηνικό σπιν -3/2). Το βηρύλλιο έχει μια (σχετικά) μεγάλη διατομή σκέδασης για υψηλής ενέργειας νετρόνια, περίπου 6 barns για ενέργειες πάνω από 10 keV. Για αυτό το βηρύλλιο λειτουργεί ως ένας νετρονικός ανακλαστήρας και νετρονικός επιβραδυντής, που επιβραδύνει αποτελεσματικά νετρόνια στο εύρος των «θερμικών νετρονίων», δηλαδή σε ενέργειες κάτω από 0,03 eV, όπου η συνολική διατομή σκέδασης είναι τουλάχιστον κατά μια τάξη μεγέθους μικρότερη, η ακριβής τιμή εξαρτάται πολύ από την καθαρότητα και το μέγεθος των κρυσταλλιτών του υλικού.

Στο απλό αρχέγονο ισότοπο βηρύλλιο-9 επίσης συμβαίνει μια νετρονική αντίδραση τύπου (n,2n) με νετρονιακές ενέργειες πάνω από περίπου 1,9 MeV, παράγοντας βηρύλλιο-8, που σχεδόν αμέσως διασπάται σε δυο σωματίδια α. Έτσι, για υψηλής ενέργειας νετρόνια, το βηρύλλιο εκπέμπει περισσότερα νετρόνια από όσα απορροφά. Οι παραπάνω πυρηνικές αντιδράσεις μπορούν να παρασταθούν συνολικά ως ακολούθως [7]:



Νετρόνια απελευθερώνονται (επίσης) όταν πυρήνες βηρυλλίου «χτυπηθούν» από ενεργητικά σωματίδια α, παράγοντας την ακόλουθη πυρηνική αντίδραση:



Το άτομο του βηρυλλίου απελευθερώνει νετρόνια μετά από βομβαρδισμό με ακτίνες γ από ένα κατάλληλο ραδιοϊσότοπο, ή σωματίδια α. Ως εκ τούτου, το φυσικό βηρύλλιο συνιστά βασικό συστατικό σε όλες της ηλεκτρονικές συσκευές που προκαλούν αντιδράσεις με χρήση ελεύθερων νετρονίων.

Ως ένα μέταλλο, το βηρύλλιο είναι (σχετικά) διαφανές στα περισσότερα μήκη κύματος των ακτίνων X και ακτίνων γ, κάνοντάς το χρήσιμο για «παράθυρα εξόδου» σωλήνων ακτίνων X και άλλων παρόμοιων συσκευών.

### Ακατέργαστο βηρύλλιο

Οι κύριες ιδιότητες του βηρυλλίου είναι: χαμηλή πυκνότητα, υψηλή αντοχή, υψηλή ακαμψία, ανακλαστικότητα, δομική σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες και θερμική αγωγιμότητα. Το βηρύλλιο έχει αξιοσημείωτη επίδοση, μεταξύ των

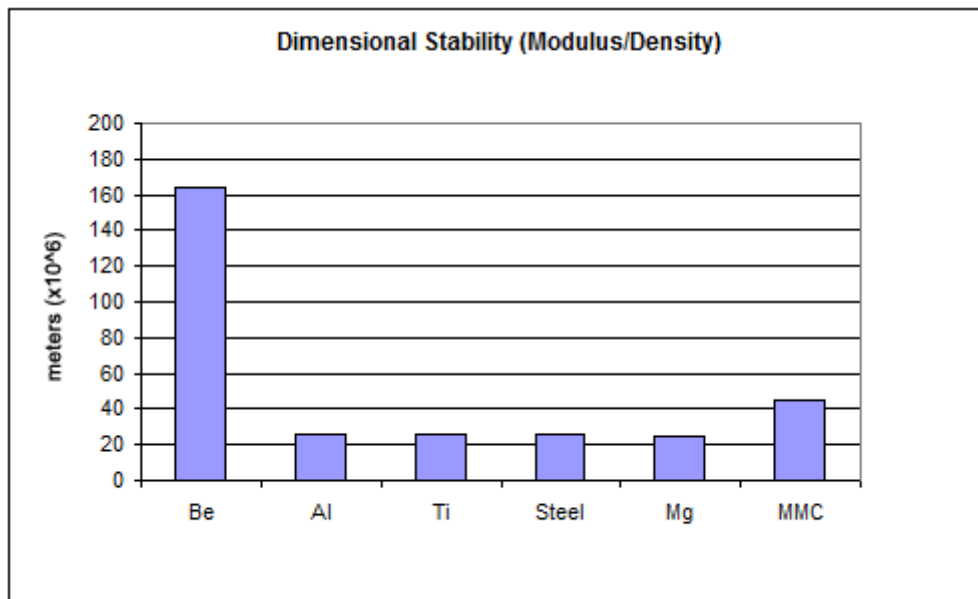


μετάλλων, στην ειδική δυσκαμψία (δηλαδή ο λόγος του μέτρου ελαστικότητας ως προς την πυκνότητα).

Πίνακας 3. Συγκριση βασικών ιδιοτήτων του βηρυλλίου με ευρεως διαδεδομένα υλικά.

	Βηρύλλιο	Αλουμίνιο 7075-T6	Τιτάνιο 6A1-4v	Χάλυβας 4340	Μαγνήσιο AZ80A	Metal- Matrix Composit
Πυκνότητα g/cm <sup>3</sup> lb/in <sup>3</sup>	1.85 0.067	2.80 0.101	4.43 0.16	7.83 0.28	1.80 0.065	2.91 0.105
Tensile Modulus GPa 10 <sup>6</sup> psi	303 44	72 10.4	113 16.5	203 29.5	44 6.4	131 19
Συντελεστής Θερμικής Διαστολής ppm/K ppm/F	11 6.3	23 13	10 5.5	15 8.3	26 14	14 7.6
Specific Heat J/kg.K BTU/lb.F	1925 0.46	920 0.22	540 0.13	500 0.12	1000 0.24	800 0.19
Θερμική αγωγιμότητα W/m.K BTU/ft.hr.F	182 1056	215 125	4 4	47 27	52 0.30	12 72
Yield Strength MPa 103 psi	520 75	480 70	860 125	1860 270	240 35	450 65

Η δυσκαμψία του βηρυλλίου είναι περίπου 50% μεγαλύτερη από εκείνη του χάλυβα, ενώ η πυκνότητα (1.84 gr/cm<sup>3</sup>) είναι περίπου 30% μικρότερη από εκείνη του αργιλίου. Η ειδική δυσκαμψία του βηρυλλίου είναι περίπου έξι φορές μεγαλύτερη από εκείνη οποιουδήποτε άλλου μετάλλου ή κράματος, και τέσσερις φορές μεγαλύτερη από διάφορα σύνθετα υλικά.



Εικόνα 6. Συγκριση της αναλογιας μετρο ελαστικότητας/πυκνότητας μεταξυ του βηρυλλίου αι άλλων μετάλλων.

Η χρήση του είναι διαδεδομένη στην παραγωγή εξειδικευμένων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Επίσης, δεν είναι επιρρεπής στο περιβάλλον λειτουργίας (αδρανές υλικό). Κατασκευές που χρησιμοποιούνται στο διάστημα βασίζονται στο βηρύλλιο εξαιτίας της ακαμψίας, του χαμηλού βάρους, αντοχής σε παρεμβολές και αποφυγή αστοχίας λόγω ταλαντώσεων και ιδιοταλαντώσεων (συντονισμός).

Ως υλικό είναι ισότροπο και ομοιογενές. Διατηρεί σταθερές τις ιδιότητες σε όλες τις διευθύνσεις, γεγονός που προφέρει ελευθερία στον σχεδιασμό από την πλευρά του κατασκευαστή. Επιπλέον, είναι εύκολα διαμορφώσιμο, κατεργάζεται εύκολα σε γραμμές παραγωγής και συνδυάζεται με πλήθος άλλων υλικών, ένας μοναδικός συνδυασμός πλεονεκτημάτων που συναντώνται σε λίγα υλικά. Χάρη στις θερμικές ιδιότητες, περιορίζει σημαντικά τις όποιες στρεβλώσεις (λόγω θερμικής διαστολής/ συστολής) στις κατασκευές. Είναι μέταλλο ελατό, άρα μπορεί να πάρει πολλές μορφές και να καλύψει σύνθετες επιφάνειες, η επιφάνεια κατεργάζεται εύκολα (λυαίνεται) και έχει την δυνατότητα εύκολης επίστρωσης από πλήθος άλλων υλικών. Κατ' επέκταση χρησιμοποιείται εκτενώς σε οπτικά εξαρτήματα.

Χρησιμοποιείται σε πτερύγια ψύξης και άλλες σχετικές διατάξεις λόγω του υψηλού σημείου τήξης (1284 °C). Σε στερεή μορφή αποτελεί αδρανές υλικό, μη ραδιενεργό, μη υδατοδιαλυτό, ανθεκτικό στη διάβρωση. Δεν απαιτούνται ιδιαίτερες προφυλάξεις για την αποθήκευση του.



Εικόνα 7. Τυπική διάταξη πτερυγίων ψύξης για αποτελεσματική ψύξη επεξεργαστών.

Αποτελεί το τελευταίο στρώμα επίστρωσης τοιχίου σε αντιδραστήρες σύντηξης για τον έλεγχο της υψηλής θερμοκρασίας πλάσματος. Επίσης χρησιμεύει στην διαχείριση εκπομπής νετρονίων (αφού μπορεί να τα επιβραδύνει ή να τα ανακλά).

### Κράματα βηρυλλίου

Το βηρύλλιο χρησιμοποιείται σε κράματα με χαλκό, για την κατασκευή εξαρτημάτων τα οποία είναι αδρανή, με σταθερές ιδιότητες με ανύπαρκτες εκπομπές κατά την χρήση τους. Γενικά κράματα βηρυλλίου συναντώνται οπουδήποτε απαιτείται αξιοπιστία, περιορισμένες διατάσεις, μεγάλος χρόνος ζωής και αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας.

Σχεδόν όλες οι ηλεκτρονικές συνδέσεις χρησιμοποιούν ως βάση τον χαλκό, για την μετάδοση ρεύματος ή κάποιου σήματος, εξαιτίας της καλής αγωγιμότητας. Γενικά, μέταλλα που κατεργάζονται εν ψυχρό παρουσιάζουν σημαντική πτώση στην αντοχή έπειτα από εκτεταμένη έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες. Η θερμική συστολή/διαστολή αναπτύσσει τάσεις στα υλικά και οδηγεί σε αστοχία. Τυπικές περιπτώσεις τέτοιων φαινομένων παρατηρούνται σε κινητήρες, συστήματα μετάδοσης της ροπής, ακόμα και σε οικιακές συσκευές όπως οι καφετιέρες. Όλα τα παραπάνω θέματα αντιμετωπίζονται με χρήση κραμάτων βηρυλλίου- χαλκού.

Τα κράματα βηρυλλίου χαλκού προσφέρουν στους σχεδιαστές ευελιξία, ώστε να χρησιμοποιούν μικρότερου μεγέθους ακροδέκτες και επαφές, χωρίς να θυσιάζουν σε αξιοπιστία και απόδοση. Ηλεκτρομηχανολογικά ρελέ, διακόπτες, ή συνδέσεις συχνά απαιτούν ένα ενιαίο άκαμπτο τμήμα, σε μορφή δοκού, που πλαισιώνεται από ένθετο χυτευτό πλαστικό περίβλημα. Μια μεγάλη ποικιλία κραμάτων χαλκού είναι διαθέσιμη για χρήση σε τέτοιες εφαρμογές. Ο συνδυασμός της φυσικής αντοχής ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες και η καλή αγωγιμότητα που παρέχονται από κράματα βηρυλλίου χαλκού επιτρέπουν την χρήση μικρότερων τμημάτων σε τερματικό δοκούς. Εκτός από τη μείωση του βάρους του μετάλλου που απαιτείται, η χρήση των κραμάτων βηρυλλίου χαλκού επιτρέπει τη χρήση λιγότερου πλιάτσικου

στο περίβλημα το οποίο εξοικονομεί ενέργεια και έχει μικρότερο κόστος στο τέλος του κύκλου ζωής.

#### Συνθέσεις κραμάτων επεξεργασμένου χαλκού-βηρυλλίου

Βηρύλλιο χαλκού κατασκευάζεται σε πολλές διαφορετικές συνθέσεις. Αυτές εμπίπτουν σε δύο κατηγορίες:

1. Κράματα για υψηλή αντοχή (κράματα 25, 190, 290, 165 και M25)
2. Κράματα για υψηλή αγωγιμότητα (κράματα 3, 10, 174 και Brush 60®).

Η σύνθεση του καθενός παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4. Χημική σύσταση κραμάτων χαλκού βηρυλλίου

χημική σύσταση (% κατά βάρος)							
Κράμα	Κωδική ονομασία	Βηρύλλιο	Κοβάλτιο	Νικέλιο	Κοβάλτιο + Νικέλιο	Κοβάλτιο + Νικέλιο	Μόλυβδος
25 190 290	C17200	1.80-2.00	-	-	0.20 min	0.6 max	0.02 max
M25	C17300	1.80-2.00	-	-	0.20 min	0.6 max	0.20-0.6
165	C17000	1.60-1.79	-	-	0.20 min	0.6 max	-
3	C17510	0.2-0.6	-	1.4-2.2	-	-	-
10	C17500	0.4-0.7	2.4-2.7	-	-	-	-
174	C17410	0.15-0.50	0.35-0.60	-	-	-	-
60	C17460	0.15-0.50	-	1.0-1.4	-	-	-

Κράμα No 25: Το πλέον συνηθισμένο, επιτυγχάνει την υψηλότερη αντοχή και σκληρότητα από κάθε εμπορικό κράμα με βάση τον χαλκό. Η τελική αντοχή σε εφελκυσμό μπορεί να υπερβαίνει τα 200 ksi, ενώ η σκληρότητα πλησιάζει στη Rockwell C45. Επίσης, η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ένα τουλάχιστον 22% με βάση τα διεθνή πρότυπα για ανοπτυμένο χαλκό (IACS). Κράμα 25 παρουσιάζει επίσης εξαιρετική αντοχή στην αστοχία λόγω συνεχούς τάσης (κόπωση) σε υψηλές θερμοκρασίες.

Κράμα No 190 παράγεται σε λωρίδες οι οποίες φρεζάρονται σε υψηλή θερμοκρασία αυξάνοντας την σκληρότητα. Η κύρια εταιρεία παραγωγής είναι η Brush Wellman. Αυτό το κράμα είναι παρόμοιο με κράμα No 25 στη χημική σύνθεση. Η αντοχή στον εφελκυσμό φθάνει μέχρι 190 ksi και έχει σκληρότητα κατά Rockwell C42.

Κράμα Νο 290: παρόμοιο στις ιδιότητες αντοχής και τη σύνθεση με το κράμα 190, αλλά παρουσιάζει βελτιωμένη ικανότητα διαμόρφωσης.

Κράμα Νο M25/3325: προσφέρει τις ιδιότητες αντοχής του κράματος 25 με πρόσθετο πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιείται ανεξαρτήτως τεχνικής μεταλλοτεχνίας. Το Κράμα M25, παράγεται σε μορφή ράβδων ή σύρματος, περιέχει μια μικρή ποσότητα μόλυβδου ώστε να χρησιμοποιείται εύκολα σε αυτόματες λειτουργίες κατεργασίας. Μόλυβδος βοηθά τις κατεργασίες κοπής, επεκτείνοντας έτσι τη ζωή των κοπτικών εργαλείων.

Το κράμα 165 περιέχει λιγότερο βηρύλλιο από κράμα 25 και έχει ελαφρώς μικρότερη αντοχή. Είναι λιγότερο ακριβό από κράμα 25 και το αντικαθιστά όταν υπάρχουν περιορισμένες απαιτήσεις σε αντοχή. Κράμα 165 είναι διαθέσιμο σε σφυρήλατες μορφές με ήπια θερμική κατεργασία.

Κράμα 174 και Brush 60<sup>®</sup> προσφέρει καλύτερη απόδοση σε σχέση με υλικά από μπρούντζο και ορείχαλκο, ιδίως όταν η αγωγιμότητα και η αντοχή σε κόπωση είναι τα βασικά στοιχεία που επιδιώκουμε. Τα δύο κράματα παρουσιάζουν αντοχή σε θραύση μέχρι 125 ksi, ανώτερη από άλλα κράματα χαλκού, όπως φωσφορούχος χαλκός, χαλκός με πυρίτιο, ορείχαλκος με αλουμίνιο και τα κράματα χαλκού-νικελίου-κασσιτέρου. Επιπλέον, προσφέρουν έως και πενταπλάσια ηλεκτρική αγωγιμότητα από αυτά τα κράματα. Το Brush 60<sup>®</sup> προσφέρει έναν άριστο συνδυασμό μέτρου ελαστικότητας, αντοχής, ικανότητας διαμόρφωσης και αγωγιμότητας.

Τα κράματα 3, 7, 10 και 11 παρέχουν μέτρια αντοχή σε θραύση, έως 140 ksi, με ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα από 45% έως 60% σε σχέση με τον καθαρό χαλκό. Τα κράματα 3 και 10 είναι διαθέσιμα σε σφυρήλατες μορφές.

#### Φυσικές ιδιότητες κραμάτων χαλκού – βηρυλλίου

Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες κραμάτων CuBe, διαφέρουν σημαντικά από εκείνες άλλων κραμάτων χαλκού. Μεταβάλλοντας την περιεκτικότητα σε βηρύλλιο, από περίπου 0.15 έως 2.0 τοις εκατό κατά βάρος, μπορούμε να παράγουμε μια ποικιλία κραμάτων με διαφορετικές φυσικές ιδιότητες. Οι τυπικές τιμές ορισμένων από αυτές τις ιδιότητες παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5. Ιδιότητες κραμάτων βηρυλλίου χαλκού.

Φυσικές ιδιότητες κραμάτων βηρυλλίου χαλκού					
Ονομασία κράματος	Πυκνότητα lb/cu.in.	Ελαστικότητα	Συντελεστής θερμικής διαστολής in/in/oF, 70 oF to 400 oF	Θερμική αγωγιμότητα Btu/(ft•hr•o F)	Θερμοκρασία τήξης (F)
25,190,290, M25/3325	0.302	19	$9.7 \times 10^{-6}$	60	1600-1800
165	0.304	19	$9.7 \times 10^{-6}$	60	1600-1800
3	0.319	20	$9.8 \times 10^{-6}$	140	1900-1980
10	0.319	20	$9.8 \times 10^{-6}$	115	1850-1930
174,60	0.318	20	$9.8 \times 10^{-6}$	135	1880-1960

Θερμική αγωγιμότητα: Μια φυσική ιδιότητα που διαφέρει σημαντικά μεταξύ των διάφορων κραμάτων. Κυμαίνεται από περίπου 60 Btu/(ft · hr · F) για κράματα υψηλής αντοχής έως 140 Btu/(ft · hr · F) για τις κατηγορίες υψηλής αγωγιμότητας. Οι θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα των κραμάτων CuBe προωθήσαν τη χρήση τους σε εφαρμογές που απαιτούν απαγωγή θερμότητας και μεταφορά ρεύματος.

Θερμική διαστολή: Η θερμική διαστολή των κραμάτων βηρυλλίου χαλκού ομοιάζει πολύ με εκείνη του χάλυβα. Αυτό εξασφαλίζει ότι βηρυλλίου χαλκού και χάλυβα είναι συμβατά με την ίδια διάταξη. Ειδική θερμότητα του βηρυλλίου χαλκού αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Για τα κράματα 25, M25 και 165, είναι 0.086 Btu/(lb · F) σε θερμοκρασία δωματίου, και 0.097 Btu/(lb · F) σε 200 F. για τα κράματα 3, 10, 174 και Brush 60® αυξάνεται από 0.080 για 0.091 Btu/(lb · F) πάνω από την ίδια περιοχή θερμοκρασιών.

Μαγνητική διαπερατότητα: Τα κράματα είναι σχεδόν αόρατα στα μαγνητικά πεδία. Επίσης, τα κράματα βηρυλλίου χαλκού έχουν μέτρο ελαστικότητας από 10 έως 20 τοις εκατό υψηλότερο από ό, τι άλλα κράματα χαλκού.



Silver plated Be Cu # 25 alloy on spools and in coils



Copper coated Be Cu # 25 alloy in coil

Εικόνα 8. Καλώδια και καρούλια από κράμα χαλκού βηρυλλίου No 25. Αριστερά έχουμε επάργυρη επίστρωση και δεξιά χάλκινη επικάλυψη.

## Βιομηχανικό προφίλ

Η μεγαλύτερη ποσότητα εξόρυξης σε ορυκτό βηρύλλιο προέρχεται από τις Η.Π.Α. Άλλες χώρες που ασχολούνται με την εξόρυξη είναι οι: Κίνα, Βραζιλία, Νιγηρία, Μαδαγασκάρη και Μοζαμβίκη. Η εξόρυξη με σκοπό την εμπορική χρήση στην Ρωσία σταμάτησε το 1990. Στις Αργεντινή, Ναμίμπια και Ζιμπάμπουε έχει, επίσης, σταματήσει η εξόρυξη. Η εταιρεία Materion Brush είναι ο μοναδικός παραγωγός στις Η.Π.Α. Στην Κίνα η αντίστοιχη εταιρεία είναι η Xinjiang (βιομηχανία μη σιδηρούχων μετάλλων).

Η Materion Brush Resources Inc., θυγατρική της Materion Corporation [8], ασχολείται αποκλειστικά με το βηρύλλιο και αποτελεί τον μεγαλύτερο παραγωγό όλων των προϊόντων βηρυλλίου παγκοσμίως. Το ορυκτό Bertrandite χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή υδροξειδίου του βηρυλλίου στο εργοστάσιο Delta, στη Γιούτα. Το υδροξείδιο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή μεταλλικού βηρυλλίου και κράματα στο Elmore του Οχάιο, κεραμική σκόνη στο Lorain του Οχάιο και την λωρίδες προϊόντος στο Reading, στην Πενσυλβάνια. Στο Elmore παράγονται, επίσης, κράματα βηρυλλίου.



Εικόνα 9. Οι εγκαταστάσεις της Materion Brush Resources, στο Elmore του Οχάιο.

Στις ΗΠΑ, η NGK Metals Corporation [9], η Starmet και οι βιομηχανίες Advanced Industries παράγουν προϊόντα βηρυλλίου, χρησιμοποιώντας πρώτες ύλες που προμηθεύονται από άλλους παραγωγούς. Η Starmet, παλαιότερα γνωστή ως Nuclear Metals Inc, παράγει κράματα από βηρύλλιο-αργίλιο (ALBE) χρησιμοποιώντας τη μέθοδο χύτευσης χαμένου κεριού [10].

Η NGK Metals Corp, μέρος της Ιαπωνικής NGK Insulators, είναι ένας από τους μεγαλύτερους παραγωγούς κραμάτων βηρυλλίου-χαλκού (CuBe) σε πλήθος μορφών, ταινίες, ράβδοι, μπάρες σε εργοστάσιά που βρίσκονται στην Ιαπωνία, τις ΗΠΑ και τη Γαλλία.

Το εργοστάσιο μεταλλουργίας Ulba (UMP) στο Καζακστάν ήταν ο μεγαλύτερος κατασκευαστής προϊόντων βηρυλλίου στην πρώην Σοβιετική Ένωση. Οι μονάδες παραγωγής χρησιμοποιούσαν βηρύλλιο από τα ορυχεία στη Ρωσία. Οι εισαγωγές σταμάτησαν στα μέσα της δεκαετίας του 1990, λόγω της υπερεπάρκειας σε απόθεμα στις εγκαταστάσεις στο Καζακστάν, που επιτρέπουν παραγωγή για αρκετά χρόνια. Η UMP διαθέτει μια αποθήκη διανομής, στην Ulba-Κίνας, στη Σαγκάη.



Εικόνα 10. Ορυκτό Bertrandite.



## Χρήσεις

Το βηρύλλιο είναι ένα ελαφρύ, σκληρό, θερμικά και ηλεκτρικά αγωγίμο, μη μαγνητικό μέταλλο, κατάλληλο για πληθώρα βιομηχανικών εφαρμογών. Κράματα βηρυλλίου- χαλκού χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρονικές συνδέσεις, στις οποίες επιθυμείται η συνεχής σύνδεση-αποσύνδεση αντί για μόνιμη συγκόλληση. Οι συνδέσεις αυτές είναι συχνά καλυμμένες με χρυσό, ούτως ώστε να αποτρέπεται ο επιφανειακός σχηματισμός οξειδίου του χαλκού και η επακόλουθη διαμόρφωση ενός μη αγωγίμου ηλεκτρικά στρώματος. Οι εφαρμογές του μεταλλικού βηρυλλίου περιλαμβάνουν ακόμη πλαίσια (chassis), πλακέτες κυκλωμάτων για αεροδιαστημικές εφαρμογές, περιστρεφόμενους καθρέπτες εκτυπωτών λέιζερ, παράθυρα γεννητριών ακτινών Χ, και πολλές άλλες.

Χρησιμοποιείται κυρίως ως σκληρυντής σε ορισμένα κράματα, ειδικότερα στο *tooldatax* [11], κράμα χαλκού-βηρυλλίου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή καλουπιών για πλαστικές ύλες. Τα κράματα του είναι, ταυτόχρονα, ελαφρά και δύσκαμπτα, αντιστέκονται στη θερμότητα και διαθέτουν μικρό συντελεστή διαστολής.

Το βηρύλλιο ενσωματώνεται σε ορισμένα ειδικά κράματα, για παράδειγμα υλικά που χρησιμοποιούνται για την τριβή. Συναντάται στα μπαστούνια του γκολφ, τα ελατήρια ρολογιών (αντιμαγνητικό), τα γυροσκόπια, σε διαστημικές και αεροναυτικές εφαρμογές. Χρησιμοποιήθηκε και στους κινητήρες για τους αγώνες ταχύτητας (έμβολα της Formula 1) έπειτα όμως η χρήση του απαγορεύτηκε [12].



Εικόνα 11. Πιστόνι και μπιέλα κινητήρα κατασκευασμένα με κράματα βηρυλλίου..

Το βηρύλλιο χρησιμοποιείται επίσης σε υψηλού κόστους μεγάφωνα tweeter (απόδοσης υψηλών συχνοτήτων) και mid-range (απόδοσης μέσων συχνοτήτων) ηχείων από ορισμένες εταιρείες, ως εναλλακτικό που πλεονεκτεί έναντι του τιτανίου και του αλουμινίου, κυρίως λόγω της χαμηλότερης πυκνότητας και υψηλότερης σκληρότητάς του (Focal-JMLab).

Το οξειδίο του βηρυλλίου χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό στην ηλεκτρονική, σε ιδιαίτερα υψηλή συχνότητα. Το σώμα αυτό διαθέτει πράγματι την ιδιότητα να είναι καλός μονωτής (μικρές διηλεκτρικές απώλειες) εξασφαλίζοντας μια ισχυρή θερμική αγωγιμότητα. Χρησιμεύει επομένως, σε συνδυασμό με σιλικόνη, ως υλικό ψύξης. Καθιστά επίσης δυνατή την παραγωγή εργαλείων που δεν προκαλούν σπινθήρες ανάφλεξης στη βιομηχανία των εκρηκτικών. Ορισμένες χρήσεις των κρυσταλλικών ιδιοτήτων του είναι οι εξής:

1. ως φίλτρο νετρονίων, για να σχηματιστούν «καθαρές» δέσμες νετρονίων απαλλαγμένες από άλλα σωματίδια.
2. ως "παράθυρο" ακτίνων Χ, για παράδειγμα το παράθυρο μιας λυχνίας ακτίνων Χ ή ενός ανιχνευτή ακτίνων Χ, το παράθυρο απομονώνει το εσωτερικό της συσκευής από το γύρω περιβάλλον.
3. υπό τη μορφή οξειδίου δρα ως επιβραδυντικό υλικό στους πυρηνικούς αντιδραστήρες.

Στη γεωμορφολογία και την παλαιοσεισμολογία, το ισότοπο  $^{10}\text{Be}$ , που δημιουργείται από τις κοσμικές ακτίνες, χρησιμοποιείται για τη χρονολόγηση επιφανειών μέσω κοσμογονικών ισωτόπων ή για τον προσδιορισμό του ποσοστού διάβρωσης.

### Επικοινωνίες

Βηρύλλιο χρησιμοποιείται για την κατασκευή του εξοπλισμού τηλεπικοινωνιακών υποδομών όπως οι υπολογιστές και τα κινητά τηλέφωνα, βοηθώντας έτσι τους ανθρώπους ανά τον κόσμο να έρχονται σε επαφή.

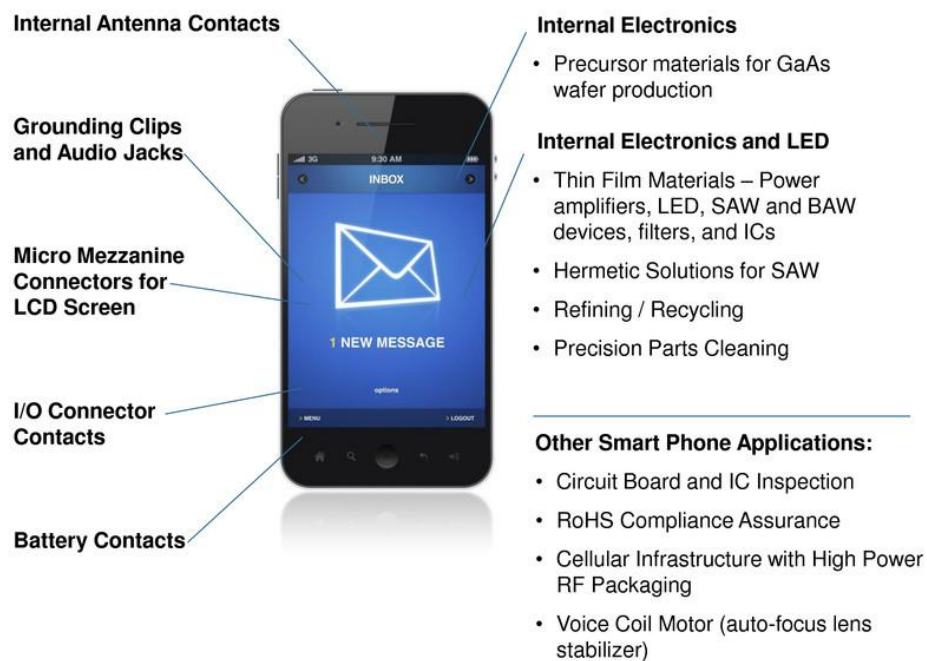
**Σύνδεση μεταξύ των ηπείρων.** Στον πυθμένα του ωκεανού, περιβλήματα από κράμα βηρυλλίου-χαλκού προστατεύουν τα ηλεκτρονικά συστήματα. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην προστασία των καλωδίων οπτικών. Χάρη στα περιβλήματα, εξαιρετικής αντίστασης στο διαβρωτικό θαλασσινό νερό και στις ακραίες πιέσεις, δεν υπάρχει κάποια αστοχία στις συνδέσεις ή στην απτική ίνα καθαυτή, ακόμη και μετά από δεκαετίες χρήσης.

Ευρεία χρήση σε πλήθος συσκευών:

- Οι επαφές στις μπαταρίες και οι ηλεκτρονικές συνδέσεις στα κινητά τηλέφωνα και τις φορητές ηλεκτρονικές συσκευές γίνονται με κράματα βηρυλλίου χαλκού. Το υλικό πληροί αυστηρές προδιαγραφές για την αντοχή, την εξοικονόμηση βάρους, την ηλεκτρική αγωγιμότητα και αντοχή στη διάβρωση σε όλες τις ακραίες καιρικές συνθήκες και τη θερμοκρασία.
- Κράματα βηρυλλίου χρησιμοποιούνται εκτεταμένα σε ηλεκτρικές συνδέσεις, ακροβύσματα για βάσεις μπαταρίας Είναι, δε, ανθεκτικά σε δονήσεις και έκθεση σε σταγόνες νερού.

- Η χαμηλή ηλεκτρική αντίσταση και υψηλή θερμική αγωγιμότητα των υλικών που περιέχουν βηρυλλίου υποστηρίζει την ενοποίηση λειτουργιών - τηλέφωνο, κάμερα, MP3 player - σε μια ενιαία, ελαφριά, συμπαγή συσκευή.

Η εξαιρετική θερμική αγωγιμότητα και μονωτικές ιδιότητες των κεραμικών ινών την προστασία αυτών των συστημάτων από τις δυνητικά επιζήμιες επιπτώσεις της έντονης θερμότητας. Με θερμική αγωγιμότητα μέχρι και 10 φορές μεγαλύτερη από εκείνη των κεραμικών αλουμινίου. Τα κεραμικά υλικά βηρυλλίου παραμένουν η πρώτη επιλογή για κυκλώματα υψηλής συχνότητας.



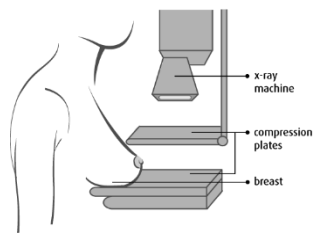
A. 17

Εικόνα 12. Μέρη στα οποία συναντάμε κράματα βηρυλλίου σε ένα κινητό τηλέφωνο.

## Ιατρική

Σημαντική πρόοδος στον εξοπλισμό απεικόνισης, διάγνωσης και ιατρικής μέσω λέιζερ έχει πραγματοποιηθεί χάρη στις ιδιότητες του βηρυλλίου.

1. Απεικόνιση Οι ακτίνες Χ, πρώτου διεισδύσουνε στον ιστό, επικεντρώνονται διερχόμενες από ένα παράθυρο κατασκευασμένο από βηρύλλιο. Στο εσωτερικό του σωλήνα παραγωγής ακτίνων-Χ υπάρχει κενό. Χαρακτηριστικές χρήσεις είναι η αξονική τομογραφία και μαστογραφία. Χάρη στο βηρύλλιο κάθε σάρωση περιέχει μικρότερη δόση ακτινοβολίας, ταυτόχρονα με σημαντικά καλύτερη ανάλυση του όγκου.



Εικόνα 13. (Πάνω) Σχηματική αναπαράσταση μαστογραφίας. (Δεξιά) Τυπικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται.



2. Μικρού μεγέθους οπτικά laser [13]: Τα ιατρικά λέιζερ κατασκευάζονται με κεραμικά βηρυλλίου. Χαρακτηριστική εφαρμογή είναι η αποκατάσταση/βελτίωση της όρασης για εκατομμύρια ανθρώπων. Τα κεραμικά βηρυλλίου είναι τα μόνα υλικά που προσφέρουν την θερμική αγωγιμότητα, την αντοχή και διηλεκτρικές ιδιότητες που απαιτούνται για τη συγκράτηση και τον έλεγχο αυτών των μικροσκοπικών, υψηλής ισχύος λέιζερ αερίου.



Εικόνα 14. Παράδειγμα ιατρικού εξοπλισμού για επεμβατική χειρουργική στα μάτια [14].

3. Απλούστερες χειρουργικές επεμβάσεις. Υποδοχές βηρυλλίου χαλκού μεταδίδουν ηλεκτρικά σήματα σε χειρουργικά εργαλεία υψηλής ακρίβειας και συσκευές παρακολούθησης που χρησιμοποιούνται σε μη επεμβατικές χειρουργικές τεχνικές. Τέτοιες τεχνικές μειώνουν το χρόνο επέμβασης, νοσηλείας και τις πιθανότητες επιπλοκών (κίνδυνος μόλυνσης), ενώ επιταχύνει τη διαδικασία της επούλωσης και αποκατάστασης.

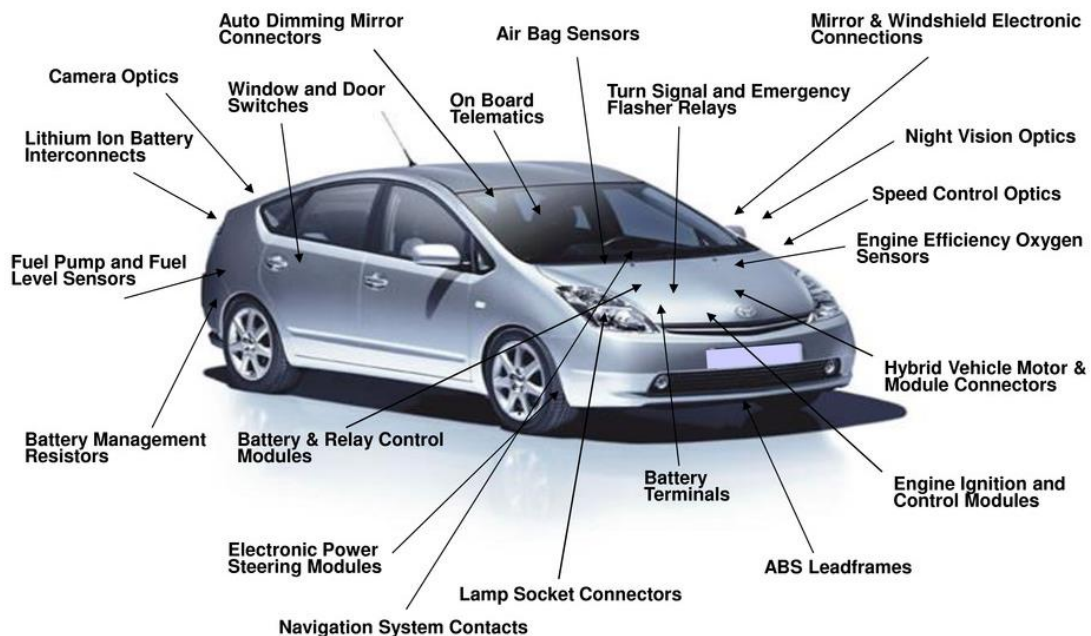


Εικόνα 15. Μηχάνημα για την αφαίρεση της χοληδόχου κύστης [15].

4. Αναλύοντας το αίμα. Βηρύλλιο χρησιμοποιείται επίσης σε πλήθος ιατρικών εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται από μικροβιολογικά εργαστήρια για την ανάλυση του αίματος (π.χ. έλεγχος για τον ιό HIV και άλλων ασθενειών).

### Μεταφορές

Χρησιμοποιείται σε αερόσακους αυτοκινήτων και ηλεκτρονικών συστημάτων πέδησης, σε δορυφόρους για την πρόγνωση του καιρού, σε συστήματα ανίχνευσης χημικών και σε συστήματα πυρόσβεσης και διάσωσης, σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.



Εικόνα 16. Χρήσεις βηρυλλίου σε εξαρτήματα του αυτοκινήτου.

1. Χρησιμοποιείται παντού. Μπορεί να βοηθήσει να σωθούν ζωές και να προστατεύσει περιουσίες σε ένα κλάσμα του δευτερολέπτου. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής: αερόσακους, συστήματα καταιονισμού φωτιά,

σύστημα λίπανσης κινητήρα, έδρανα στήριξης μηχανής, υδραυλικό τιμόνι, πάσης φύσεως ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου, σύστημα αντιεμπλοκής των τροχών. Η κύρια αιτία ευρείας χρήσης είναι η αντοχή στην κόπωση και στη διάβρωση.

2. Αξιοπιστία σε βάθος χρόνου. Οι κεφαλές καταιωνιστήρων, κατασκευάζονται από κράματα νικελίου βηρυλλίου. Το κράμα επιτρέπει στην κατασκευή να παραμείνει για πολλά χρόνια αδρανής χωρίς συνέπειες (π.χ. διάβρωση λόγω έκθεσης σε θαλασσινό νερό). Εφόσον υπάρξει ανάγκη, το σύστημα πυρόσβεσης θα λειτουργήσει και τα ακροφύσια δεν θα παρουσιάσουν κάποιο πρόβλημα. Χρησιμοποιείται εκτενώς σε μεταγωγικά σκάφη.



Εικόνα 17. Τυπικός καταιωνιστήρας νερού για συστήματα πυρόσβεσης. Το ακροφύσιο είναι φτιαγμένο από κράμα νικελίου βηρυλλίου.

3. Δεν προκαλεί σπινθήρες. Επιπλέον είναι μη μαγνητικό υλικό. Χρησιμοποιείται για προστασία των πληρωμάτων εξερεύνηση πετρελαίου και φυσικού αερίου (και άλλα άτομα που εργάζονται γύρω από εύφλεκτα αέρια) από τον κίνδυνο της τυχαίας έκρηξης από σπινθήρες που δημιουργούνται από εργαλεία και εξοπλισμό.
4. Η διασφάλιση της ασφάλειας των παιδιών από τα παιχνίδια. Οι συσκευές για την ανίχνευση μόλυβδου και άλλων επιβλαβών βαρέων μετάλλων χρησιμοποιούν εκτενώς το βηρύλλιο.
5. Μάσκες παροχής οξυγόνου. Ο έλεγχος πίεσης για την παροχή αέρα (σε εξοπλισμό που χρησιμοποιείται από πυροσβέστες και συνεργεία διάσωσης) βασίζεται σε βαλβίδες ροής κατασκευασμένες από βηρύλλιο.



Εικόνα 18. Παράδειγμα βαλβίδων ελέγχου ροής αέρα.

Ένα άλλο πολύ σημαντικό στοιχείο είναι η αξιοπιστία του κινητήρα. Οι εγκαταλείψεις από μηχανικές βλάβες είναι αρκετές -ακόμα και με την τόσο προηγμένη τεχνολογία των ημερών μας- επειδή οι κινητήρες πιέζονται πάντα στα όριά τους. Ένας φετινός κορυφαίος κινητήρας δουλεύει λίγο πιο κάτω από τις 20.000 σ.α.λ. Σε αυτούς τους ρυθμούς το έμβολο φτάνει σε ελάχιστα χιλιοστά τα 350 χλμ/ώρα, ενώ χρειάζεται άλλα τόσα για να επιβραδύνει ξανά στα 0 χλμ/ώρα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται 150 φορές το δευτερόλεπτο. Μοιραία λοιπόν, οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στο εσωτερικό του κινητήρα είναι τεράστιες. Το πιστόνι δέχεται επιταχύνσεις της τάξεως των 9000g (g = επιτάχυνση βαρύτητας), που σημαίνει ότι φτάνει να ζυγίζει 9000 φορές περισσότερες από το κανονικό του βάρος<sup>1</sup>.

Η Mercedes ήταν η πρώτη που λανσάρισε τους μικρούς κι ελαφριούς κινητήρες το 1998 και η μόνη που μέχρι και το 1999 χρησιμοποιούσε κράμα βηρυλλίου. Για να ανταπεξέλθει λοιπόν ο κινητήρας σε τόσο αντίξοες συνθήκες λειτουργίας, χρησιμοποιούνται εξωτικά υλικά εξαιρετικής ανθεκτικότητας. Παράλληλα, για να ελαχιστοποιηθεί η αδράνεια, τα υλικά αυτά πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ελαφρύτερα. Έως και το 1999 η Mercedes χρησιμοποιούσε κράματα αλουμινίου και βηρυλλίου (Be), όμως το τελευταίο απαγορεύτηκε από τη FIA το 2000. Κυρίως για λόγους ασφαλείας (υπό συγκεκριμένες συνθήκες το βηρύλλιο μετατρέπεται σε ισχυρό δηλητήριο) αλλά και επειδή οι μικρότερες ομάδες δεν είχαν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν τόσο ακριβά υλικά.

### Ερευνητικές αποστολές

Σε όλες τις ερευνητικές αποστολές, πέρα από τον πλανήτη, υπάρχει εκτεταμένη χρήση του βηρυλλίου. Χρησιμοποιείται κυρίως για κατασκευή ασπίδων θερμότητας που προστατεύουν τους αστροναύτες και τα τηλεσκόπια που βρίσκονται σε τροχιά. Από τις πρώτες μέρες της NASA, το διαστημικό σκάφος MERCURY κατά τη διάρκεια της επανεισόδου χρησιμοποίησε θερμικές ασπίδες βηρυλλίου. Οι σχεδιαστές και οι μηχανικοί συνεχίζουν να εξαρτώνται από αυτό το σκληρό, ελαφρύ και ευέλικτο υλικό για να καλύψουν τις πιο απαιτητικές προκλήσεις τους.

1. Σε τροχιά γύρω από τη γη. Το βηρύλλιο χρησιμοποιείται σε όλα τα οχήματα της NASA, όπου ενισχύει την ακαμψία και την αντοχή της ατράκτου, μειώνει την θερμική καταπόνηση (πτερύγια ψύξης, καλή θερμική διαχυτότητα, ανακλαστικότητα) και μειώνει το βάρος.
2. Εξερευνώντας τον πλανήτη Άρη. Δύο οχήματα εξερεύνησης (Mars Rover) το Spirit και το Opportunity, έχουν υπερβεί κατά πολύ τις αρχικές προσδοκίες σχετικά με την αντοχή και την συλλογή πληροφοριών. Ένα μεγάλο τμήμα του όγκου τους χρησιμοποιεί εξαρτήματα αλουμινίου-βηρυλλίου.

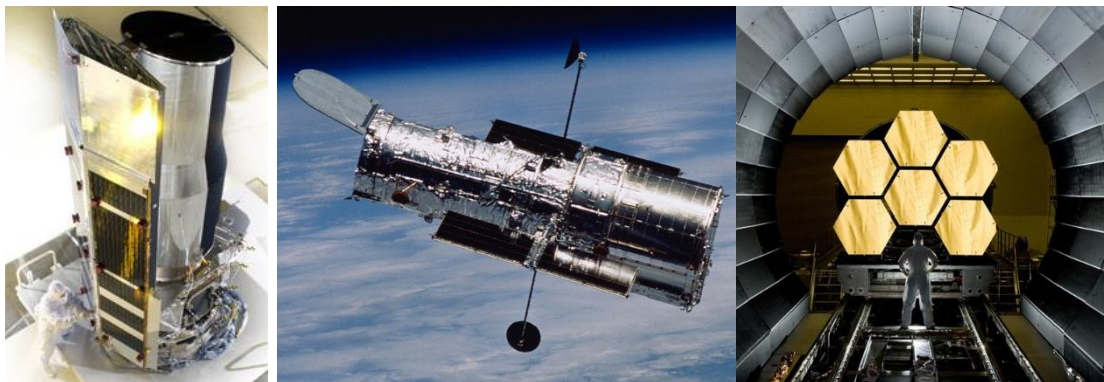
---

<sup>1</sup> Αν ένα άτομο που ζυγίζει 70 κιλά δεχόταν επιτάχυνση ισοδύναμη με 9000g τότε θα ζύγιζε 630 τόνους.



Εικόνα 19. Το ρομπότ εξερεύνησης του Άρη, Curiosity.

3. Επισκευάζοντας το Hubble. Όταν το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble δεν μπορούσε να δει καθαρά, νέοι φακοί σε περίβλημα βηρυλλίου χρησιμοποιήθηκαν. Τα νέα πλαίσια πληρούν όλες τις προϋποθέσεις για διαστημικά τηλεσκόπια: χαμηλότερο βάρος, υψηλή ακαμψία, μικρή παραμόρφωση λόγω εναλλαγής σε ακραίες θερμοκρασίες.
4. Κατασκευάζοντας την επόμενη γενιά διαστημικών τηλεσκοπίων. Το James Webb Space Telescope, αναπτύσσεται από το 2014, χρησιμοποιεί καθρέφτη βηρυλλίου, διαμέτρου 6.5 μέτρων, για να εντοπίσει αντικείμενα. Οι καθρέφτες πρέπει να συνδυάζουν την υψηλή ακαμψία, το μικρό βάρος και μια εξαιρετικά ομαλή, χωρίς ελαττώματα, ελεύθερη επιφάνεια. Η οπτική ποιότητά πρέπει να διατηρείται για δεκαετίες στο βαθύ διάστημα, όπου οι θερμοκρασίες δεν υπερβαίνει τους μείον 253 βαθμούς Κελσίου.



Spitzer

Hubble

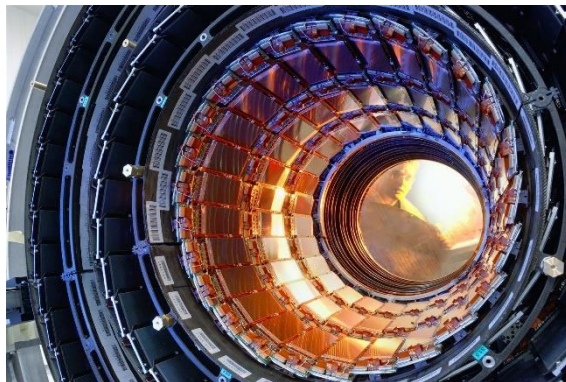
James Webb

Εικόνα 20. Τρεις γενιές διαστημικών τηλεσκοπίων. Όλες τους χρησιμοποιούν εκτενώς το βηρύλλιο.

5. Αναδημιουργώντας τις συνθήκες μετά το «Big Bang». Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν βηρύλλιο σε χερσαίους επιταχυντές σωματιδίων για να εξασφαλίσουν υψηλής ενέργειας συγκρούσεις σε υποατομικά σωματίδια, αναδημιουργώντας τις συνθήκες που θα μπορούσαν να δώσουν στοιχεία για το πώς σχηματίστηκε το σύμπαν. Ο CERN (υπόγειος επιταχυντής δεσμών αδρονίων



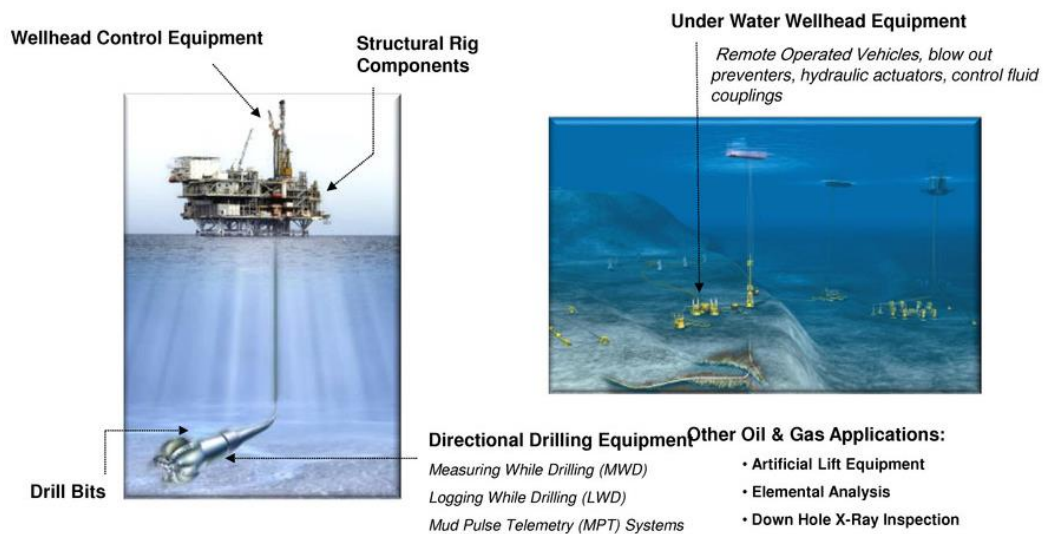
αξίας 10 δισεκατομμυρίων δολαρίων κοντά στη Γενεύη, Ελβετία) χρησιμοποιεί σωλήνες με δέσμες βηρύλλιο περικλείοντας τις περιοχές σύγκρουσης.



Εικόνα 21. Τα τοιχώματα στον επιταχυντή Συγκρούμενων Δεσμών Αδρονίων χρησιμοποιούν εκτενώς βηρύλλιο και κράματα αυτού.

### Ενέργεια

Το βηρύλλιο συναντά ευρεία χρήση στον τομέα της ενέργειας, ειδικά για την εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου. Επίσης, όλες οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας χρησιμοποιούν υλικά με βηρύλλιο.



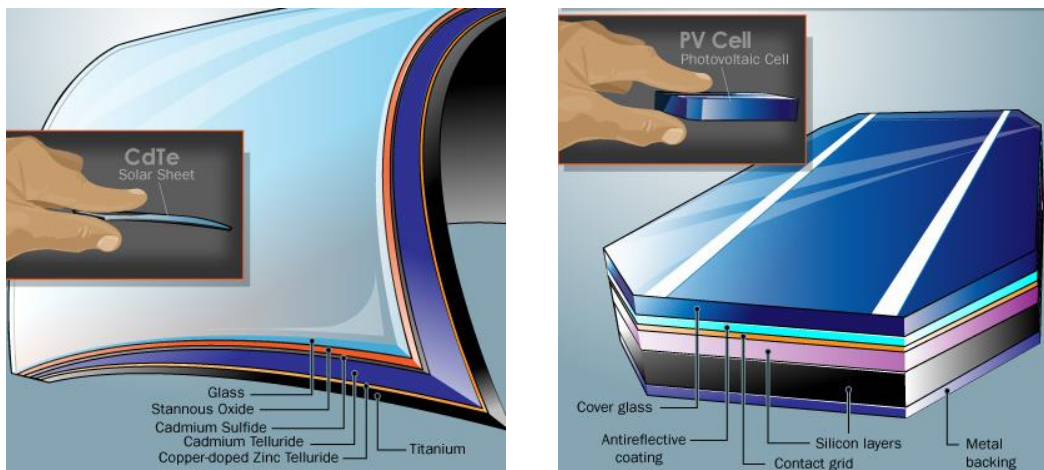
Εικόνα 22. Χρήσεις βηρυλλίου στην αναζήτηση πετρελαίου και φυσικού αερίου.

1. Βοηθώντας να σταματήσει η διαρροή, περιορίζοντας την έκταση των πετρελαιοκηλίδων: Στο Macondo Well στον Κόλπο του Μεξικού [16] χρησιμοποιήθηκαν σφιγκτήρες βηρυλλίου χαλκού για να σφραγίσει με ασφάλεια τα εξωτερικά τοιχώματα του αγωγού και να περιορίσει την διαρροή πετρελαίου με ασφάλεια. Λόγω της απίστευτης αντοχής του υλικού και την αντοχή στο στρες.



Εικόνα 23. Σφικτήρες σωλήνων για πετρέλαιο και φυσικό αέριο.

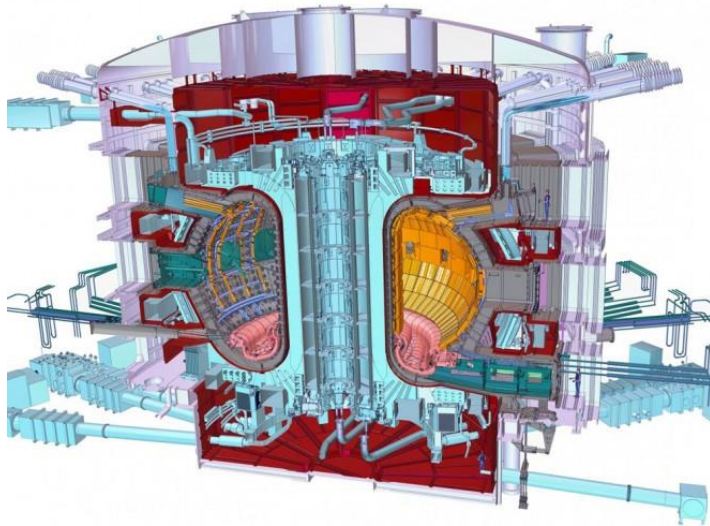
2. Εξαγωγή πετρελαίου: Η ιδιότητα που έχουν τα κράματα βηρυλλίου να μην παράγουν σπινθήρες μειώνουν τους κινδύνους για έκρηξη και πυρκαγιά. Η τεχνική κατευθυντικής γεώτρησης [17], που αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1990, επιτρέπει την αναζήτηση σε περισσότερα κοιτάσματα. Ωστόσο, τέτοιου είδους γεωτρήσεις απαιτούν ηλεκτρικές διατάξεις ελέγχου για απομακρυσμένο χειρισμό, μακριά από την κεφαλή του τρυπανιού, κάτω από υψηλή πίεση και αυξημένες θερμοκρασίες για να περιορίσει το κόστος σε πιθανή αποτυχία της γεώτρησης. Ξανά, τα κράματα βηρυλλίου-χαλκού χρησιμοποιούνται εκτενώς.
3. Διαχείριση ηλιακής ενέργειας: Τα κράματα που περιέχουν βηρύλλιο παρέχουν τη θερμική διαχείριση, αγωγιμότητα, και τη δύναμη που απαιτείται σε ηλεκτρικά τερματικά που συνδέουν τα συστατικά των thin-film ηλιακών συλλεκτών. Οι ανώτερες θερμικές ιδιότητες των κεραμικών βηρυλλίου επιτρέπουν στα συγκεντρωτικά φωτοβολταϊκά (ΣΦΒ) συστήματα να λειτουργούν σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις, διατηρώντας ταυτόχρονα δροσερά τα υπόλοιπα ηλεκτρικά μέρη για να εξακολουθούν να λειτουργούν αποτελεσματικά.



Εικόνα 24. των thin-film ηλιακών συλλεκτών και συγκεντρωτικά φωτοβολταϊκά συστήματα [18]

4. Χρήση σε αντιδραστήρες πυρηνικής σύντηξης: Οι αντιδραστήρες σύντηξης χρησιμοποιούν βηρύλλιο για τον έλεγχο των νετρονίων (μέσω ανάκλασης), καθώς και για την ικανότητά του να αντέχει τις εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες που αποτελούν το παραπροϊόν της παραγωγής ενέργειας μέσω σύντηξης. Το βηρύλλιο χρησιμοποιείται για την υλοποίηση του Διεθνή Θερμοπυρηνικού

Πειραματικού Αντιδραστήρα (ITER). Έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στον μικρότερο Joint European Torus (JET) πειραματικό αντιδραστήρα, που βρίσκεται στην Αγγλία.



Εικόνα 25. Απεικόνιση αντιδραστήρα πυρηνικής σύντηξης.

### Άμυνα και ασφάλεια

Το βηρύλλιο είναι ζωτικής σημασίας για την υπεράσπιση του έθνους, την προστασία των συμμάχων μας και την ασφάλεια της πατρίδας. Το 2008, το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ ανέφερε ότι μεταξύ των μετάλλων, που χρησιμοποιούνται στα οπλικά συστήματα, μόνο το βηρύλλιο υψηλής καθαρότητας θεωρείται "κρίσιμης σημασίας". Το NATO και η ΕΕ έχουν παρουσιάσει παρόμοιες αναφορές.

Τα στρατιωτικά συστήματα χρησιμοποιούν ηλεκτρονικά κυκλώματα για την πλοήγηση, την ανίχνευση στόχων και την κατάρριψη αυτών. Τα στρατιωτικά πρότυπα λειτουργίας απαιτούν αξιόπιστο εξοπλισμό, ο οποίος αποτελείται από δύσκαμπτα, ελαφρά συστατικά για να εξασφαλίζεται απρόσκοπτη λειτουργία κάτω από ακραίες συνθήκες.

Σε στρατιωτικό μαχητικά αεροσκάφη, το καθαρό βηρύλλιο εξοικονομεί βάρος άρα βελτιώνει για την ταχύτητα και την ευελιξία. Κράματα βηρυλλίου-χαλκού χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρικές συνδέσεις, σε μεταγωγικά και μαχητικά αεροσκάφη συμπεριλαμβανομένων των:

F-35 Lightning II Joint F-22 Raptor  
Strike



F-18 Supper Hornet



F-16 Fighting Falcon



F-15 Eagle Strike



Eurofighter



BAE Tornado



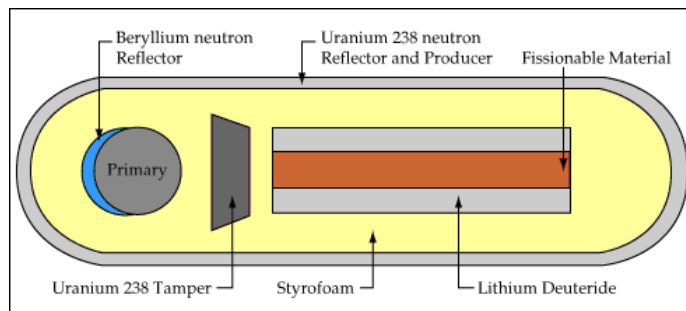
Dassault Rafale



Εικόνα 26. Διάφορα μαχητικά αεροσκάφη με πλήθος εξαρτημάτων κατασκευασμένα από βηρύλλιο.

Μερικές ενδεικτικές χρήσεις είναι:

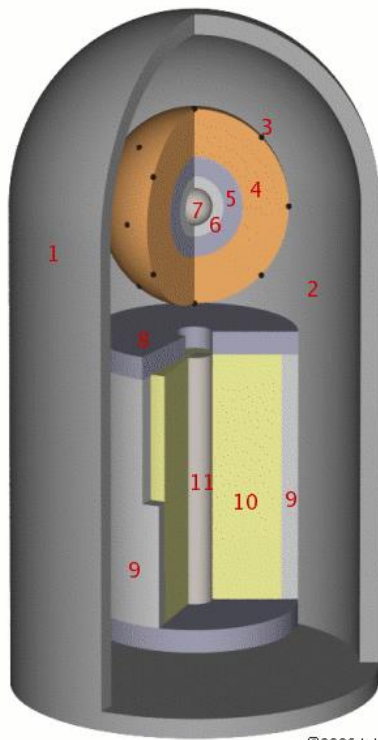
- Στα οπτικά συστήματα στόχευσης των στρατιωτικών ελικοπτέρων
- Σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη
- Σε άρματα μάχης σε κίνηση, χρησιμοποιούν συστήματα απόσβεσης κραδασμών με κράματα βηρυλλίου. Οι μηχανισμοί στόχευσης έχουν επίσης βηρύλλιο.
- Το βηρύλλιο είναι επίσης αναπόσπαστο στοιχείο για εξοπλισμό ανίχνευσης και καταστροφής αυτοσχέδιων εκρηκτικών μηχανισμών.



Εικόνα 27. Σχηματική αναπαράσταση της βόμβας υδρογόνου.

Επικοινωνία και έλεγχος . Στρατιωτικές επικοινωνίες εξαρτώνται από κράματα βηρυλλίου χαλκού σε κόμβους του δικτύου, διαμοιραστές και δρομολογητές. Η δύναμη, ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα του υλικού αυτού εξασφαλίζει την αξιοπιστία, ενώ ταυτόχρονα μεγιστοποιούν την ταχύτητα και το εύρος ζώνης του σήματος.

Εσωτερική Ασφάλεια. Οι χώροι στα αεροδρόμια, στα λιμάνια, στους συνοριακούς σταθμούς και άλλοι δημόσιοι χώροι, χρησιμοποιούν εξοπλισμό για την επιτήρηση, την επιθεώρηση και λήψη αντίμετρων, ζωτικής σημασίας για την ασφάλεια. Όλα τα συστήματα περιέχουν κάποιο μηχανισμό με βηρύλλιο. Το πλέον χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα μηχανήματα ακτίνων Χ και συναφείς σαρωτές που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο αποσκευών και φορτίου για παράνομη και επικίνδυνες ουσίες/ υλικά.



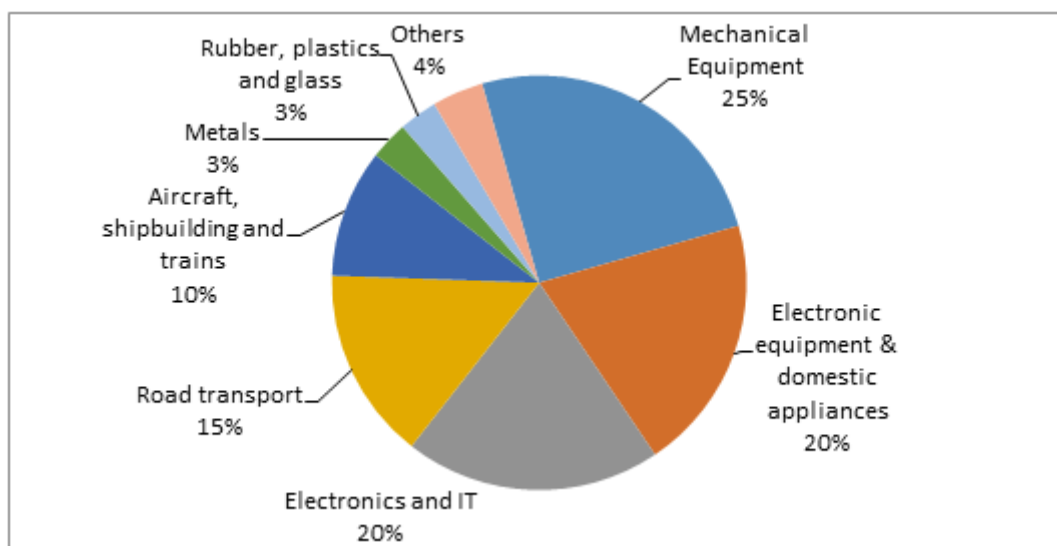
©2006 Johnston

Εικόνα 28. Σχηματική αναπαράσταση θερμοπυρηνικού οπλισμού.

1. bomb casing
2. interior filling (plastic material)
3. detonators
4. conventional high explosive
5. pusher (aluminum, others) and reflector (beryllium, tungsten)
6. tamper (uranium-238)
7. fissile core (plutonium or uranium-235)
8. radiation shield (tungsten, others)
9. fusion pusher/tamper (uranium-235 sleeve)
10. fusion fuel (solid lithium-deuteride)
11. sparkplug (uranium-235 or plutonium)

## Εφαρμογές εξέχοντος ενδιαφέροντος

Ο συνδυασμός χαμηλού βάρους/ υψηλής αντοχής σε ακραίες θερμοκρασίες κάνει το βηρύλλιο και τα κράματα βηρυλλίου-αλουμινίου ιδανικά για χρήση όπου απαιτείται υψηλή απόδοση. Σε δομικές εφαρμογές, το βηρύλλιο έχει υψηλή ακαμψία, θερμική σταθερότητα, θερμική αγωγιμότητα και χαμηλή πυκνότητα, ιδιότητες που το κάνουν ένα υψηλής ποιότητας υλικό για αεροδιαστημικές εφαρμογές, όπως υψηλής ταχύτητας αεροσκάφη, αυτοκατευθυνόμενα βλήματα, διαστημικά οχήματα και τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους. Εξαιτίας της σχετικά μικρής του πυκνότητας και ατομικής μάζας του, το βηρύλλιο είναι σχετικά διαφανές στις ακτίνες X και τις άλλες μορφές ιονίζουσας ακτινοβολίας και για αυτό, είναι πολύ συνηθισμένο «υλικό παράθυρο» για εξοπλισμό ακτίνων X και πειράματα φυσικής σωματιδίων. Η υψηλή θερμική αγωγιμότητα του βηρυλλίου και του οξειδίου του βηρυλλίου οδήγησαν στο να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές μεταφοράς και απαγωγής θερμότητας.



Εικόνα 29. Χρήση του βηρυλλίου ανά τομέα εφαρμογής

### Τουίτερ αντεστραμμένου θόλου

Ένα από τα πλέον γνωστά επιτεύγματα της Focal είναι τα τουίτερ αντεστραμμένου θόλου που χρησιμοποιεί. Το υλικό των θόλων της είναι το βηρύλλιο και αυτό την κατατάσσει σε έναν από τους ελάχιστους κατασκευαστές (γενικώς, όχι μόνο κατασκευαστές ηχείων) που μπορούν να χειριστούν αυτό το εξαιρετικά άκαμπτο και με χαμηλή πυκνότητα μέταλλο με αρκετή ακρίβεια ώστε να δημιουργήσουν θόλους οι οποίοι να μην χρειάζονται υποστήριξη από κάποιο άλλο υλικό. Σύμφωνα με την εταιρία, ένας θόλος από βηρύλλιο είναι ελαφρύτερος από τον αντίστοιχο αλουμινίου και πιο άκαμπτος από τον αντίστοιχο τιτανίου, μια επίδοση αξιοπρόσεκτη η οποία οδηγεί σε ένα μεγάφωνο ικανό να φτάσει τα 40kHz. Η Focal δηλώνει, πράγματι, ότι το SM8 φθάνει τα 40kHz (-2dB), γεγονός που επιτρέπει τον χειρισμό υλικού high-rez χωρίς super-tweeter (μια λύση για την οποία θα έχετε ακούσει και θα εξακολουθήσετε να ακούτε αρκετές μουρμούρες).

Τα τουίτερ βηρυλλίου χρησιμοποιούνται και από τα Utopia Be, τα κορυφαία audiophile ηχεία της εταιρίας και έχουν στην βάση ένα μαγνητικό σύστημα Κοβαλτίου-Σαμαρίου το οποίο υποβοηθείται από έναν δακτύλιο νεοδυμίου, τεχνική που η εταιρία ονομάζει “Focus Ring”. Οι μεσαίες/χαμηλές συχνότητες έχουν ανατεθεί σε ένα γούφερ 8 ιντσών με κώνο ο οποίος έχει την δομή σάντουιτς με δύο φύλλα από υαλονήματα ανάμεσα στα οποία έχει τοποθετηθεί ένα αφρώδες υλικό. Αυτή η κατασκευή, επίσης προέρχεται από τις κορυφαίες audiophile σχεδιάσεις της εταιρίας και ονομάζεται “W” (από το Verre-Verre, δηλαδή “γυαλί-γυαλί”, με βάση την εξήγηση που δίνει η ίδια η Focal). Με τις μικρές διαστάσεις του (380x268x320mm), το SM8 απαιτεί μια φόρτιση διαφορετική της κλασικής “κλειστού τύπου” που όλοι θέλουν από ένα καλό μόνιτορ (για να αποφύγουν τον θόρυβο και τα άλλα προβλήματα του bass reflex). Η Focal έχει επέλεξε να φορτίζει το γούφερ με έναν παθητικό ακτινοβολητή ίδιας διαμέτρου, και από το ίδιο υλικό. Για να μην μειώνεται ο εσωτερικός όγκος της καμπίνας, ο ακτινοβολητής είναι επίπεδος και οι διαδρομές που επιτρέπει η ανάρτησή του εντυπωσιακά μεγάλες.



*Εικόνα 30. Ένα από τα πλέον χαρακτηριστικά σημεία του SM8 είναι το τουίτερ βηρυλλίου της Focal. Κατά πάσα πιθανότητα αυτό καθορίζει σημαντικό μέρος της ηχητικής του ταυτότητας.*

### Διαστημικό τηλεσκόπιο

Επιστήμονες και μηχανικοί σχεδιάζουν ένα νέο παρατηρητήριο, το Διαστημικό Τηλεσκόπιο James Webb (JWST), που πρόκειται να ρίξει κάποιο πολύ-προσδοκώμενο φως σε αυτά τα ουράνια μυστήρια. Το JWST θα είναι το ισχυρότερο από οποιοδήποτε τηλεσκόπιο που έχει κατασκευαστεί ποτέ και θα μας επιτρέψει να δούμε ακόμα μακρύτερα στο διάστημα και το χρόνο. Συνολικά, 126 ειδικοί μηχανισμοί κίνησης θα ρυθμίζουν τη διάταξη των τμημάτων του κατόπτρου με ακρίβεια 10 δισεκατομμυριοστών του μέτρου, ώστε να σκοπεύει με απόλυτη ακρίβεια στο στόχο του. Το δε κάτοπτρο των 6,5 μέτρων θα συλλέγει επταπλάσια ακτινοβολία από το Hubble .

Τα τρία τμήματα του πτυσσόμενου κατόπτρου του διαστημικού τηλεσκοπίου James Webb, θα είναι φτιαγμένα από βηρύλλιο και χρυσό με συνολικό μήκος 6,5 μέτρων. Αν και το πρωτεύον κάτοπτρο του δεν υπερβαίνει σε μέγεθος ένα γκαράζ δύο

θέσεων, δεν υπάρχει άλλος μεγάλος πύραυλος που να μπορεί να το μεταφέρει στο διάστημα. Γι' αυτό και σχεδιάστηκε σε 18γωνικά τμήματα που θα αναρτηθούν σε δύο μεγάλες αρθρώσεις. Έτσι το 'διπλωμένο' κάτοπτρο θα στιβαχθεί στον πύραυλο και θα πάρει το τελικό του σχήμα στο διάστημα.

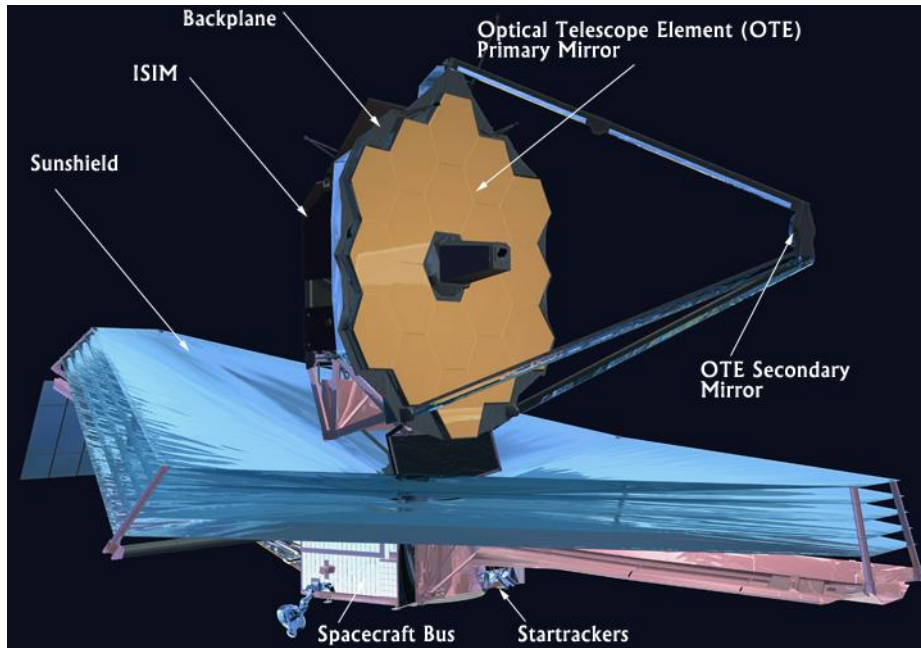
Το μεγαλύτερο τηλεσκόπιο που θα έχει εκτοξευθεί ποτέ θ' αναπτύξει το κάτοπτρο του και το αλεξήλιο έκτασης 223 τετραγωνικών μέτρων, καθώς θα τίθεται σε τροχιά γύρω από το 2ο σημείο Lagrange L2, ένα σημείο που απέχει 1,6 εκατομμύρια χλμ. από τη Γη ή 4 φορές την απόσταση μέχρι τη Σελήνη και στο οποίο η συνισταμένη βαρυτική έλξη είναι πολύ μικρή.

Εκεί το τηλεσκόπιο υπέρυθρης ακτινοβολίας δε θα επηρεάζεται από τη θερμότητα της Γης. Το James Webb Space Telescope (JWST), βλέπετε, θα παρατηρεί το σύμπαν μέσω μίας υπέρυθρης κάμερας, παρόμοια υπό μία έννοια με τα κιάλια νυχτερινής όρασης που χρησιμοποιούν οι στρατιώτες, αλλά ασύγκριτα πιο ευαίσθητη. (Ο επιστήμονας του προγράμματος John Mather χαρακτηρίζει τους ανιχνευτές του τηλεσκοπίου «απίστευτα καλούς» και «σχεδόν τέλειους».)

Οποιαδήποτε πηγή θερμότητας κοντά στο τηλεσκόπιο θ' αποτελούσε πηγή «θορύβου» - γι' αυτό και η μεγάλη απόσταση από τη Γη, το αλεξήλιο και τα συστήματα κρυογενικής ψύξης που θα διατηρούν τα οπτικά του συστήματα στους 37 βαθμούς πάνω από το απόλυτο μηδέν (δηλαδή στους μείον 236° C). Η ευαισθησία του τηλεσκοπίου στο υπέρυθρο φάσμα, λέει υπερήφανα ο Mather, θα είναι τόσο μεγάλη ώστε να μπορεί να εντοπίζει αστέρες και γαλαξίες που εκπέμπουν λίγα μόλις φωτόνια ανά ώρα.

Το κάτοπτρο του JWST αποτελείται από βηρύλλιο, ένα πολύ σκληρό, δύσκολο στην κατεργασία υλικό, αλλά τόσο ελαφρύ που το 6,5 μ. κάτοπτρο θα ζυγίζει μόλις το 1/3 του βάρους του γυάλινου κάτοπτρου του Hubble των 2,4 μ. Θα καλύπτεται από περίβλημα από καθαρό χρυσό, πάχους ενός εκατομμυριοστού του μέτρου, έναν εξαιρετικό ανακλαστήρα της υπέρυθρης ακτινοβολίας.





Εικόνα 31. Το Διαστημικό Τηλεσκόπιο James Webb.

Παρόλο που το JWST, κόστους περίπου 2,5 δις δολ., είναι το ακριβότερο αστρονομικό όργανο για το προσεχές μέλλον, αυτές οι δραστικές βελτιώσεις χαρακτηρίζουν όλο το στόλο των νέων τηλεσκοπίων. Όπως και στο Hubble, έτσι και στο JWST θα έχει πρόσβαση οποιοσδήποτε αστρονόμος με μία καλή ιδέα. Εκτός από την απαθανάτιση αρχέγονων ουράνιων σωμάτων, το JWST θα φωτογραφίσει περιοχές όπου σχηματίζονται νέα ηλιακά συστήματα, θ' αναζητήσει αποδείξεις ύπαρξης της σκοτεινής ύλης και ενέργειας, και θα μας παράσχει εκπληκτικές φωτογραφίες του Ποσειδώνα και του Ουρανού.

### Διάβρωση εδαφών

Η διάβρωση των εδαφών εξαιτίας της αποψίλωσης των δασών με σκοπό τη δημιουργία καλλιεργήσιμων εκτάσεων έχει επιταχυνθεί έως 100 φορές σύμφωνα με μελέτη που εστιάζει στα εδάφη των νοτιοδυτικών ΗΠΑ. Χαρακτηριστικό είναι το εύρημα ότι μέσα σε μια μόλις δεκαετία, ο άνθρωπος διάβρωσε το έδαφος περισσότερο από αυτό που είχε “καταφέρει” η φύση την προηγούμενη χιλιετία.

Ο υπολογισμός του φυσικού ρυθμού διάβρωσης των εδαφών έγινε μέσω της μέτρησης των ιζημάτων στα ποτάμια όπου καταλήγει το χώμα των διαβρωμένων εδαφών. Σε πρώτη φάση, οι ερευνητές συνέλεξαν 24 δείγματα ιζημάτων από δέκα ποτάμια στις νοτιοδυτικές ΗΠΑ, και απομόνωσαν ένα σπάνιο ισότοπο του στοιχείου βηρυλλίου, το βηρύλλιο-10.

Το ισότοπο αυτό παράγεται από την επίδραση των κοσμικών ακτίνων στα επιφανειακά εδάφη. Αυτό σημαίνει πως, όσο μικρότερη είναι η ταχύτητα διάβρωσης, τόσο μεγαλύτερη είναι η συσσώρευση βηρυλλίου-10 στο έδαφος.

Εξετάζοντας τα δείγματα με έναν ισχυρό φασματογράφο, οι ερευνητές μπόρεσαν να υπολογίσουν το ρυθμό διάβρωσης τα τελευταία δεκάδες χιλιάδες χρόνια. Η ανάλυση έδειξε ότι ο ρυθμός αυξήθηκε κατά 100 φορές από τη δεκαετία του 1700, όταν οι ευρωπαίοι άποικοι άρχισαν να αποψιλώνουν τα δάση των νοτιοδυτικών ΗΠΑ.

Πριν από την άφιξη των Ευρωπαίων η διάβρωση περιοριζόταν στα 2,5 εκατοστά κάθε 2.500 χρόνια. Συγκριτικά, την περίοδο κορύφωσης της γεωργικής δραστηριότητας τον 19ο αιώνα, η διάβρωση έφτασε τα 2,5 εκατοστά κάθε 25 χρόνια.

«Τα εδάφη καταρρέουν όταν αφαιρεθεί η βλάστηση» αναφέρει ο Πολ Μπίρμαν του Πανεπιστημίου του Βερμόντ, πρώτος συγγραφέας της μελέτης στην επιθεώρηση *Geology*.

«Η μελέτη μας δείχνει πόσο μεγάλη ήταν η επίδραση του αποικισμού και της γεωργίας στο τοπίο της Βορείου Αμερικής» επισημαίνει.

Η μέθοδος του βηρυλλίου-10 για τον προσδιορισμό του ρυθμού διάβρωσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ευρέως για τη ρύθμιση των χρήσεων της γης και την προστασία του εδάφους.

#### Ένα στοιχείο που υπάρχει σχεδόν παντού

Το βηρύλλιο συναντάται στο χώμα, σε βραχώδη πετρώματα και σε γαιάνθρακες σε αναλογία 0.5 έως 2 ppm σε διάφορες περιοχές ανά τον κόσμο. Υπάρχει σε πολύτιμους ή ημιπολύτιμους λίθους, ακόμα και στα περισσότερα φυτά και λαχανικά με συγκέντρωση της τάξης ppm. Ενδεικτικά αναφέρουμε την συγκέντρωση με μερικά (νωπά) τρόφιμα: ρύζι (72 μg/kg), μαρούλι (16 μg/kg), φασόλια (κουκιά) (2200 μg/kg), αρακάς (109 μg/kg), πατάτες (0.59 μg/kg).

Στα καύσιμα οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις είναι: 1.90 ppm στον άνθρακα, 28.35ppm σε στάχτη, 0.1-0.2 ppm σε υγρά καύσιμα. Επίσης, υλικά που χρησιμοποιούνται σε κάθε νοικοκυριό όπως πλακάκια οροφής, λιπάσματα, απορρυπαντικά, κάρβουνο, άμμος για γάτες, τούβλα, πλακάκια, κ.λπ.



Εικόνα 32. Διαφορα δομικά υλικά στα οποία υπάρχουν μικρές ποσοτητες βηρυλλίου.

#### Έλεγχος κατεργασιών που εμπλέκουν το βηρύλλιο

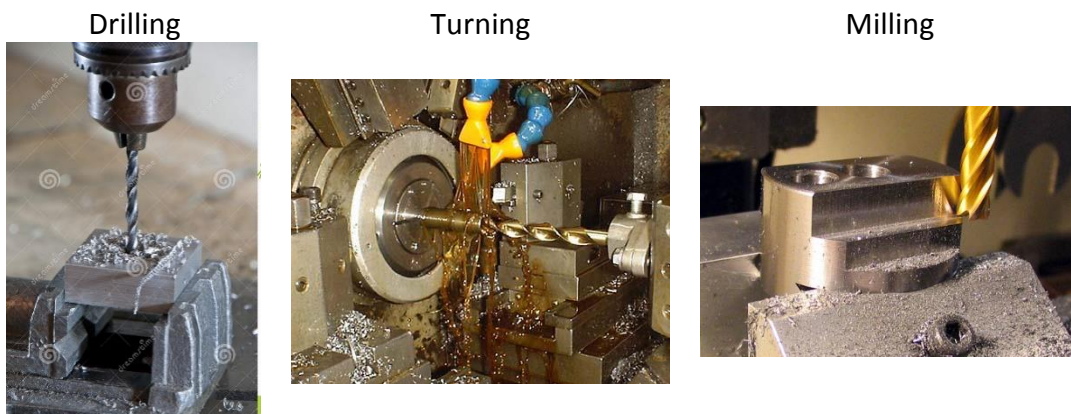
Υπάρχουν σημαντικές διαφορές στους κινδύνους έκθεσης, μεταξύ μεταλλικού βηρυλλίου και κράματα αυτού. Ως εκ τούτου οι πιθανές επιπτώσεις αναλύονται

χωριστά. Στην βιομηχανία (και συγκεκριμένα στα εγχειρίδια ασφαλείας) συναντάμε δυο ομάδες χαρακτηρισμού πιθανότητας εισπνοής βηρυλλίου: χαμηλής πιθανότητας και πιθανής εισπνοής.

Η κατηγορία Χαμηλής Πιθανότητας Εισπνοής αφορά εργασίες που απελευθερώνουν μη-εισπνεύσιμα ( $> 10 \mu\text{m}$ ) σωματίδια, αρα δεν αναμένεται να παράγουν εξαιρετικά μικρά σωματίδιων, ή/και δεν αναμένεται να οδηγήσουν σε έκθεση άνω των  $2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Εναλλακτικά υπάρχει η κατηγορία Πιθανή εισπνοή περιγράφει τις εργασίες που μπορούν να απελευθερώσουν αναπνεύσιμα ( $<10 \mu\text{m}$ ) σωματίδια.

Ο αποτελεσματικός εξαερισμός, οι σωστές πρακτικές εργασίας και η ορθή χρήση προστατευτικού εξοπλισμού πρέπει να ακολουθούνται και να εφαρμόζονται χωρίς παρεκκλίσεις. Κατά την αξιολόγηση των εργασιών, πρέπει να ληφθεί υπόψη το κόστος για την υποστήριξη αυτών των λειτουργιών, το οποίο περιλαμβάνει τα κόστη ρύθμισης, προετοιμασίας, καθαρισμού και συντήρησης.

Ο παρακάτω πίνακας παρέχει μια συνοπτική ταξινόμηση των διαδικασιών που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία **καθαρού** βηρυλλίου ( τα κράματα βηρυλλίου αναφέρονται παρακάτω σε αυτήν την ενότητα). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι περισσότερες από τις διαδικασίες διεξάγονται μόνο εκτός της Ευρωπαϊκής Οικονομικής Κοινότητας, υπό αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες.



Εικόνα 33. Τυπικές κατεργασίες βηρυλλίου που παράγουν ρύπους.

Πίνακας 6. Ταξινόμηση κατεργασιών καθαρού βηρυλλίου με βάση την επικινδυνότητα ως προς την έκθεση.

Κατεργασίες Χαμηλής Πιθανότητας Εισπνοής	Κατεργασίες με σημαντική πιθανότητα εισπνοής			
Adhesive Bonding Anodizing Assembly Bending Electroless Plating Electroplating Hand Solvent Cleaning Handling Inspection Packaging Painting Plating Radiography/X-ray Shipping Soldering Ultrasonic Cleaning Ultrasonic Testing	Abrasive Blasting Abrasive Processing Abrasive Sawing Annealing Atomizing Attritioning Blanking Bonding Boring Brazing Breaking Bright Cleaning Broaching Brushing Buffing Burnishing Casting Centerless grinding Chemical Cleaning Chemical Etching Chemical Milling CNC Machining Cold Forging Cold Heading Cold Isostatic Pressing (CIP) Cold Pilger Cold Rolling Coolant Management Crushing Cutting Deburring (grinding) Deburring (non-grinding)	Deep Hole Drilling Destructive Testing Dicing Drawing Drilling Dross Handling Dry Tumbling Electrical Chemical Machining (ECM) Electrical Discharge Machining (EDM) Electron Beam Welding (EBW) Extrusion Filing by Hand Forging Grinding Gun Drilling Heading Heat Treating (inert atmosphere) Heat Treating (in air) High Speed Machining (>10,000 rpm) Honing Hot Forging Hot Isostatic Pressing (HIP) Hot Rolling Investment Casting Lapping Laser Cutting Laser Machining Laser Scribing	Laser Marking Laser Welding Laundering Machining Melting Metallography Milling Mixing Photo-Etching Physical Testing Pickling Piercing Pilger Plasma Spray Point and Chamfer Polishing Powder Handling Powder Pressing Pressing Process Ventilation Maintenance Reaming Resistance Welding Ring Forging Ring Rolling Riveting Roll Bonding Roller Burnishing Rolling Rotary forging Sand Blasting Sand Casting Sanding Sawing (tooth blade)	Scrap Management Sectioning Shearing Sintering Sizing Skiving Slab Milling Slitting Solution Management Spot Welding Sputtering Stamping Straightening Stretch Bend Leveling Stretcher Leveling Swaging Tapping Tensile Testing Thin-Film Deposition Thread Rolling Torch Cutting (i.e., oxy-acetylene) Trepanning Tumbling Turning Upsetting Vapour Deposition Water-jet Cutting Welding (ARC, TIG, MIG, etc.) Wire Electrical Discharge Machining (WEDM)

Οι ακόλουθες πρακτικές μειώνουν αισθητά την πιθανότητα έκθεσης.

### Μέθοδοι υγρού περιορισμού

Οι μηχανουργικές εργασίες που συνήθως χρησιμοποιούν υγρά ως ψυκτικό μέσο, περιορίζουν αισθητά την διασπορά αερόφερτων σωματιδίων. Προσοχή πρέπει να δίδεται ώστε να μην χύνεται το υγρό στην γύρω περιοχή (πιτσιλωτοί λεκέδες στο πάτωμα ή στα ρούχα). Το υγρό πρέπει να καθαρίζεται με κατάλληλο τρόπο ώστε να μην έχει προσμείξεις βηρυλλίου.

Η επαναχρησιμοποίηση του υγρού κατεργασίας/ λιπαντικού/ψυκτικού μπορεί να οδηγήσει σε υψηλή συγκέντρωση σωματιδίων βηρυλλίου που να επιτρέπει αερομεταφερόμενους κοκκούς κατά τη χρήση. Το ρεζερβουάρ του ψυκτικού πρέπει να απομονώνεται και να καθαρίζεται. Ένα σύστημα φιλτραρίσματος για το ψυκτικό συνιστάται.



Εικόνα 34. Εγκαταστάσεις υγρής κατεργασίας.

### Τοπικός εξαερισμός

Ο τοπικός εξαερισμός, χρησιμοποιώντας κουκούλα στον θάλαμο κατεργασίας, πρέπει να χρησιμοποιείται σε όλες τις δραστηριότητες κατεργασίας που παράγουν αιωρούμενη σκόνη, ατμούς ή αναθυμιάσεις. Ο τύπος του εξαερισμού που απαιτείται εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των σωματιδίων που μεταβάλλονται με βάση την κατεργασία. Γενικά, ο ρυθμός παραγωγής σωματιδίων είναι εξαιρετικά ευμεταβλήτως και καθορίζεται από την ταχύτητα τροφοδοσίας δοκιμών για κατεργασία, το μέγεθος και την ταχύτητα των εργαλείων, τη ροή του ψυκτικού υγρού, κ.λπ. Η κουκούλα πρέπει να καλύπτει εντελώς το χώρο λειτουργίας συμπεριλαμβάνοντας την εργαλειοθήκη και το μηχάνημα εναλλαγής του κοπτικού

εργαλείου. Το περίβλημα δεν πρέπει να έχει ανοίγματα για να μην έχουμε απελευθέρωση των αερομεταφερόμενων σωματιδίων έξω από το περίβλημα. Οι θύρες του θαλάμου πρέπει να ασφαλιστούν ώστε εάν ανοιχθούν να σταματήσει αυτόματα η κατεργασία. Τα συστήματα εξαερισμού πρέπει να λειτουργούν πριν ή ταυτόχρονα με την έναρξη λειτουργίας των μηχανημάτων και να συνεχίζουν να λειτουργούν για ένα διάστημα μετά το τέλος της κάθε κατεργασίας.

Η ξηρή κατεργασία του βηρυλλίου απαιτεί υψηλής ταχύτητας και μικρού όγκου σύστημα εξαερισμού το οποίο θα βρίσκεται κατά το δυνατόν κοντύτερα στο δοκίμιο κατεργασίας. Η υποδοχή αναρρόφησης πρέπει να βρίσκεται από την πλευρά που παράγονται τα στερεά απόβλητα/απελευθερώνονται τα σωματίδια. Όπου είναι απαραίτητο, θα πρέπει να παρέχονται κατά παραγγελία κατάλληλοι είσοδοι αγωγών αναρρόφησης για να βελτιστοποιηθεί η αποδοτικότητα του συστήματος. Εκτός από το πρωτεύων σύστημα εξαερισμού, συστήνεται η χρήση και εξωτερικού περιβλήματος.

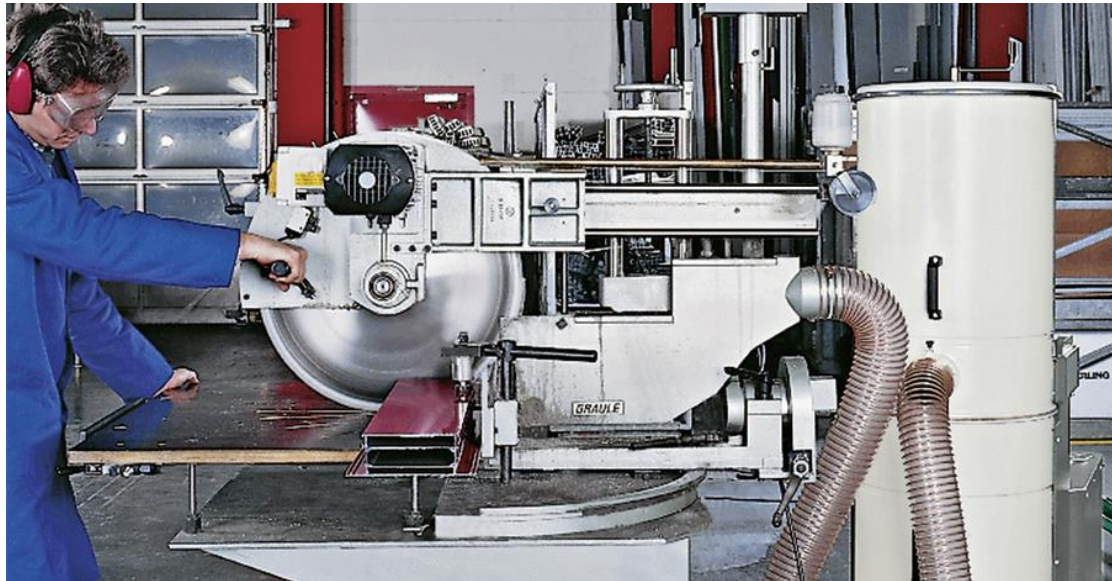


Εικόνα 35. Αριστερά: Τυπικό μηχάνημα άντλησης καπνών που προκύπτουν κατά την κατεργασία. Δεξιά: Εξωτερικά τοποθετημένος συλλέκτης σκόνης.

Τα σωματίδια που παράγονται κατά τη χρήση μηχανοκίνητων μύλων ή περιστροφικών κινήσεων (π.χ. φρέζα, τόρνος) είναι πολύ δύσκολο να ελεγχθούν λόγω της ποικιλίας σε μέγεθος, σχήμα, όγκο παραγωγής. Σε αυτές τις περιπτώσεις η διαδικασία πρέπει να γίνεται σε αεριζόμενο χώρο, με μερική ή πλήρη κάλυψη, ώστε όλα τα σωματίδια να μεταφέρονται μακριά από το χειριστή. Εναλλακτικές μέθοδοι, όπως το τρίψιμο στο χέρι και η λείανση, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται όπου είναι δυνατόν αφού παράγουν μικρότερη ποσότητα σωματιδίων, μεγαλύτερου μεγέθους και φιλτράρονται ευκολότερα.

Το τρίψιμο στο χέρι και η λείανση πρέπει, ή να πραγματοποιούνται μέσα σε ένα αεριζόμενο περίβλημα ή να βρίσκονται πλήρως βυθισμένα σε υγρό ή να υπάρχει επαρκή ποσότητα υγρού και να ξεπλένει συνεχώς το δοκίμιο. Ό,τι ήρθε σε επαφή με το βηρύλλιο πρέπει να καθαρίζεται πρώτου βγει από το περίβλημα ή την δεξαμενή

υγρής κατεργασίας. **Ο πεπιεσμένος αέρας δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό εξαρτημάτων.** Απαγορεύεται να αφήνουμε υπολείμματα πάνω σε εργαλεία.



Εικόνα 36. Σύστημα άντλησης αερομεταφερόμενων σωματιδίων που παράγονται κατά την κατεργασία μετάλλων. Η εναπόθεση γίνεται σε κλειστό δοχείο, όπου ακολουθεί κατάλληλο φιλτράρισμα.

Συνήθως η κατεργασία γίνεται σε κάποιο ειδικά διαμορφωμένο δωμάτιο. Η διακοπή/αλλοίωση της ροής του αέρα προς τον αγωγό εξαερισμού πρέπει να αποφεύγεται. Ακόμα και ένας απλός ανεμιστήρας, που θα τοποθετήσει ο εργαζόμενος για την προσωπική του ανακούφιση μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα. Επίσης, ανεξαρτήτως του συστήματος εξαερισμού και την χρήση φίλτρων, ο φιλτραρισμένος αέρας πρέπει να απορρίπτεται προς το περιβάλλον και σε καμία περίπτωση να μην επανατροφοδοτεί τον χώρο κατεργασίας. Με αυτό τον τρόπο μειώνουμε την πιθανότητα έκθεσης στην περίπτωση που υπάρχει μια αποτυχία του συστήματος φιλτραρίσματος. Το σύστημα θα πρέπει να διοχετεύεται στο εξωτερικό και μακριά από το κτίριο και εισόδους αέρα.

### Καθαρισμός των εργαλείων

Τα εργαλεία που εμπλέκονται με οποιαδήποτε μορφή κατεργασίας του βηρυλλίου ΔΕΝ πρέπει να χρησιμοποιούνται σε άλλου είδους δραστηριότητα. Αν αυτό δεν είναι εφικτό, πρέπει να καθαρίζονται εξονυχιστικά πριν από τη χρήση σε άλλα υλικά.

Όλα τα εργαλεία πρέπει να καθαρίζονται, αμέσως μετά την απομάκρυνση από τα μηχανήματα κατεργασίας, με υγρά μέσα, για να διασφαλίσουμε ότι δεν θα παραμείνουν ίχνη βηρυλλίου πάνω σε αυτά. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πιθανή έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους βηρυλλίου όταν τα εργαλεία τροχίζονται. Οι εκπομπές ελέγχονται καλύτερα με τη χρήση κατάλληλου εξαερισμού ή ψυκτικού υγρού επαρκούς ροής. Αν τα εργαλεία σταλούν για ακόνισμα, ο πάροχος υπηρεσιών θα πρέπει να ενημερώνεται γραπτώς για τις πιθανότητες έκθεσης σε βηρύλλιο.

### Προστασία Αναπνοής

Πρέπει να τηρούνται κατάλληλες εργασιακές πρακτικές και να γίνεται χρήση τοπικού εξαερισμού, για τον έλεγχο της έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια. Όταν αυτές οι μέθοδοι είναι αναποτελεσματικές ή βρίσκονται υπό ανάπτυξη, αρα βρισκόμαστε εκτός των ορίων επαγγελματικής έκθεσης, πρέπει να χρησιμοποιούνται εγκεκριμένες αναπνευστικές συσκευές (μάσκες κατάλληλων προδιαγραφών). Δείγματα του αέρα θα πρέπει να ληφθούν σε όλες τις επιχειρήσεις όπου υπάρχει πιθανότητα έκθεσης βηρύλλιο.



Εικόνα 37. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην επιλογή κατάλληλων φίλτρων για την μάσκα. Ο χρήστης πρέπει να έχει σωστή ενημέρωση για τις εκπομπες λόγω κατεργασίας και να τοποθετεί το αντιστοιχο φίλτρο.



Εικόνα 38. Προστασία αναπνοής. Η μάσκα διαθέτει κατάλληλη υποδοχή για να συνδεθεί με φορητή αντλία αέρα. Ο αέρας που παρέχεται είναι φιλτραρισμένος.



### Ένδυση και προσωπική υγιεινή

Τα ενδύματα εργασίας ή τα καλύμματα για ενδύματα πρέπει να φορεθούν ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΑ όταν πρόκειται να ακολουθήσει οποιαδήποτε δραστηριότητα που σχετίζεται με κάθε μορφής βηρύλλιο (σκόνη, ατμούς, κ.λπ.). Τα σωματίδια βηρυλλίου ΔΕΝ πρέπει να έρχονται σε επαφή με το δέρμα ή τα μαλλιά του εργαζομένου. Οι εργαζόμενοι που είναι πιθανό να έρθουν σε επαφή σωματίδια από βηρύλλιο πρέπει να έχουν εύκολη πρόσβαση σε κατάλληλες εγκαταστάσεις για πλύσιμο. Γενικός κανόνας είναι ότι το βηρύλλιο πρέπει να υπάρχει μόνο στους χώρους κατεργασίας. Τα χρησιμοποιημένα είδη ένδυσης και υπόδησης πρέπει να σφραγίζονται και να απορρίπτονται με τρόπο που θα εμποδίζει οποιαδήποτε μορφή έκθεσης. **Ποτέ μην χρησιμοποιείτε πεπιεσμένο αέρα για να καθαρίσετε τα ρούχα εργασίας.**

### Νοικοκυριό

Εξοπλισμός βηρυλλίου και συναφή συστήματα υποστήριξης (π.χ. συλλέκτες σκόνης, κλίβανοι θερμικής κατεργασίας, δίσκοι ψυκτικού και δεξαμενές) πρέπει να καθαρίζονται σε τακτά χρονικά διαστήματα για να αποφευχθεί η συσσώρευση τυχόν υλικών που περιέχουν βηρύλλιο. Τα δάπεδα και οι τοίχοι πρέπει να καθαρίζονται συχνά, έτσι καμία ορατή συσσώρευση σε χώμα ή μπάζα να είναι εμφανής.

Οι απλές σκούπες δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται στο χώρο εργασίας βηρύλλιο. Μπορούν να προκαλέσουν αερομεταφερόμενα ανοίγματα σαν αποτέλεσμα της σάρωσης δράσης. Η χρήση πεπιεσμένου αέρα ή σκούπες για τον καθαρισμό της σκόνης πρέπει να απαγορευθεί, επειδή η δραστηριότητα αυτή μπορεί να οδηγήσει σε περιττές αερομεταφερόμενων έκθεση σε σκόνη.



Εικόνα 39. Ειδικές σκούπες για τον καθαρισμό υπολειμμάτων βηρυλλίου. Αριστερά τυπικό μοντέλο, κεντρο σκούπα με υγρά φίλτρα και δεξιά σκούπα με ειδικά φίλτρα (HEPA).

Υγρός καθαρισμός και σκούπισμα με ηλεκτρική σκούπα, με κατάλληλα φίλτρα, είναι αποτελεσματικές μέθοδοι για τον καθαρισμό μετά ή κατά την κατεργασία. Μετά τον υγρό καθαρισμό ΔΕΝ πρέπει να επιτρέπεται στις πετσέτες που χρησιμοποιήθηκαν να στεγνώσουν ή να καθαρίσουν άλλες περιοχές. Στο τέλος πρέπει να τοποθετηθούν σε κλειστό δοχείο και τελικά να απορριφθούν. Η επαναχρησιμοποίηση πανιών καθαρισμού δεν συνιστάται.

### Συντήρηση

Υπό ορισμένες συνθήκες, η επισκευή ή συντήρηση του εξοπλισμού μπορεί να δημιουργήσει αιωρούμενα σωματίδια. Υπό αυτές τις συνθήκες, η προστασία των εργαζομένων μπορούν να απαιτεί τη χρήση συγκεκριμένων πρακτικών ή διαδικασιών που περιλαμβάνουν τη συνδυασμένη χρήση του εξαερισμού, υγρών μεθόδων καθαρισμού, αναπνευστική προστασία, την απολύμανση, ειδική προστατευτική ενδυμασία, και όταν είναι απαραίτητο, απαγορευμένες ζώνες εργασίας.

**Ο εξοπλισμός θα πρέπει να καθαρίζεται επιμελώς πριν από την εκτέλεση κατεργασιών και συντήρησης.**

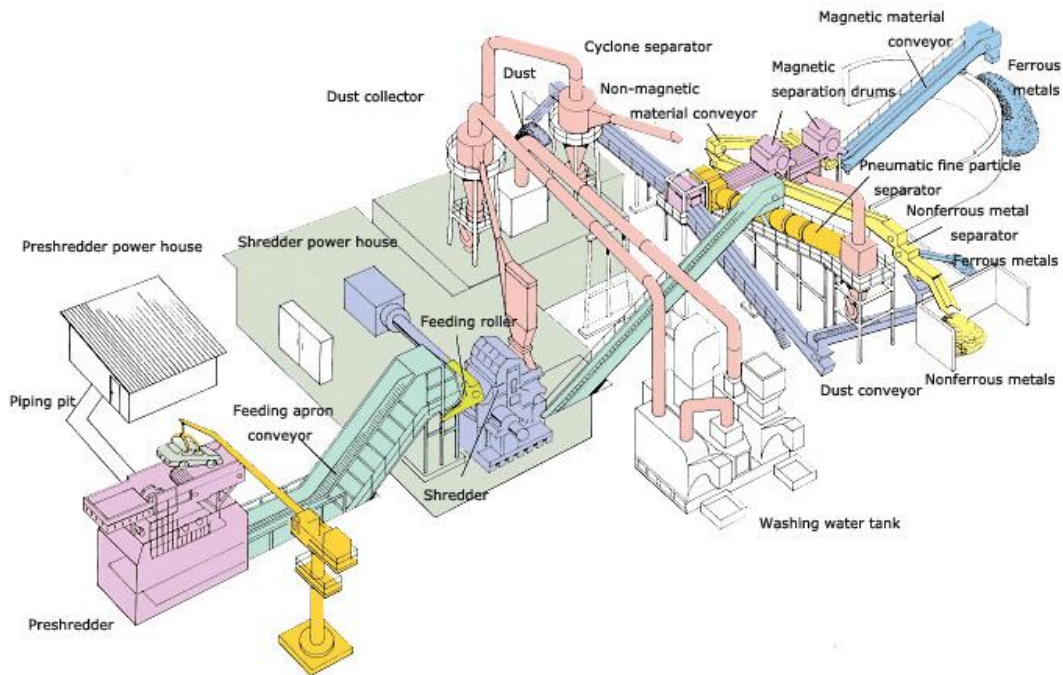
Κατάλοιπα Βηρυλλίου μπορούν να εντοπιστούν στις εσωτερικές επιφάνειες των θαλάμων εξαερισμού. Το υπόλειμμα πρέπει να αφαιρεθεί, διατηρείται υγρό ή αλλιώς ελέγχεται κατά τις εργασίες συντήρησης και σέρβις για την ελαχιστοποίηση των αερομεταφερόμενων σωματιδίων.

Θα πρέπει να υπάρχουν εγχειρίδια με λεπτομερείς διαδικασίες για την ασφαλή συντήρηση του εξοπλισμού και των συστημάτων εξαερισμού. Όλοι οι χειριστές και το προσωπικό συντήρησης πρέπει να εκπαιδευτούν, πριν από την εκτέλεση εργασιών συντήρησης ή την εργασία σε χώρους που υπάρχει πιθανότητα έκθεσης σε βηρύλλιο.

### Ανακύκλωση

Θραύσματα βηρυλλίου θα πρέπει να διατηρούνται ξεχωριστά από τα άλλα μέταλλα λόγω της υψηλότερης αξίας του ως ανακυκλώσιμο υλικό.

Σε κράματα βηρυλλίου (π.χ. βηρυλλίου- χαλκού) σε ηλεκτρονικά εξαρτήματα η ανακύκλωση δεν πραγματοποιείται λόγω του μικρού μεγέθους των υλικών (δυσκολία στην θρυματοποίηση) και την πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε βηρύλλιο ανά συσκευή (λιγότερο από 40 ppm). Τα κράματα που περιέχουν βηρύλλιο αποτελούν περίπου το 0.15% επί του συνόλου των κραμάτων χαλκού που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικές συσκευές. Τα εν λόγω κράματα συλλέγονται μαζί με άλλα απορρίμματα χαλκού, κατά τη διάρκεια της προ-επεξεργασίας του εξοπλισμού στο τέλος του κύκλου ζωής, και στη συνέχεια αραιώνονται με αναλογία περίπου 2 ppm στο ρεύμα ανακύκλωσης χαλκού .



Εικόνα 40. Τυπική διάταξη εργοστασίου ανακύκλωσης ηλεκτρικών συσκευών.

Έρευνα για την έκθεση σε αερομεταφερόμενα σωματίδια μετάλλων, συμπεριλαμβανομένου του βηρυλλίου, διενεργήθηκε σε εργαζόμενους στον τεμαχισμό, στη συγκέντρωση, και διαχωρισμό σημαντικών ποσοτήτων των ΑΗΗΕ σε μονάδα ανακύκλωσης της ΕΕ:

Οκτώ δραστηριότητες σχετικές με την διαλογή και την επεξεργασία, επιλέχθηκαν για δειγματοληψία. Μέσα σε αυτές συμπεριλαμβάνονταν η θρυματοποίηση, η έκπλυση και η διαλογή. Για κάθε δραστηριότητα ελήφθησαν 15-17 δείγματα αέρα ανα καθορισμένο χρόνο ώστε να καλύπτουν όλη την διάρκεια της κάθε βάρδιας. Η δειγματοληψία διήρκησε 8 εβδομάδες. Κάθε δείγμα αναλύθηκε για τον προσδιορισμό της συνολικής περιεχόμενης μάζας των 25 μετάλλων που μελετήθηκαν, συμπεριλαμβανομένου του βηρυλλίου.

Όλα τα αερομεταφερόμενα σωματίδια βηρυλλίου ήταν κάτω από 0.0002 χιλιοστόγραμμα ανά κυβικό μέτρο ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) και η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι η έκθεση σε βηρύλλιο αναμένεται να είναι κάτω από  $0.0002 \text{ mg}/\text{m}^3$  για περισσότερο από 95% του χρόνου εργασίας.

### Απόρριψη

Τα θραύσματα από καθαρό βηρύλλιο, τα τσιπ που βασίζονται στο βηρύλλιο, και η σκόνη βηρυλλίου συνήθως ανακυκλώνονται πλήρως και, ως εκ τούτου, δεν θεωρούνται απορρίμματα. Εάν κατά την συλλογή τους τοποθετηθούν σε δοχεία θα πρέπει να φέρουν την κατάλληλη ετικέτα (-ες) και να μεταφέρονται με προσοχή σε εγκεκριμένη εγκατάσταση διαχείρισης επικίνδυνων αποβλήτων.

Εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα κράματα βηρυλλίου (με χαλκό ή νικέλιο) φέρουν κατάλληλη σήμανση σε μια ποικιλία σχημάτων, μεγεθών και σχεδίων (δεν υπάρχει τυποποιημένη σήμανση προς το παρόν). Γενικά, υπάρχει ένα ευρύ πλήθος κατεργασιών που εμπλέκουν το βηρύλλιο. Αυτές οι κατεργασίες παράγουν αερομεταφερόμενα σωματίδια. Ακόμα και αν η πιθανότητα εισπνοής είναι μικρή, οι κατεργασίες πρέπει να γίνονται σε ελεγχόμενα και σφραγισμένα περιβάλλοντα. Οι δύο πίνακες που ακολουθούν παρέχουν μια περίληψη των τιμών για τους βηρυλλίου χαλκού και του νικελίου κράμα βηρυλλίου διαδικασίες:

Πίνακας 7. Κατεργασίες σε κράματα βηρυλλίου με χαμηλή πιθανότητα εισπνοής αερομεταφερόμενων σωματιδίων.

Χαμηλή πιθανότητα εισπνοής				
Adhesive Bonding	Drawing	Milling	Shipping	
Age Hardening	Drilling	Packaging	Sizing	
( Assembly	Dry Tumbling	Painting	Skiving	
Bending	Electroless Plating	Physical Testing	Slitting	
Blanking	Electroplating	Piercing	Stamping	
Bonding	Extrusion	Pilger	Straightening	
Boring	Filing by Hand	Plating	Stretch Bend Leveling	
Broaching	Gun Drilling	Pressing	Stretcher Leveling	
CNC Machining	Hand Solvent	Radiography/X-ray	Tapping	
Cold Forging	Cleaning	Reaming	Tensile Testing	
Cold Heading	Handling	Ring Forging	Thread Rolling	
Cold Pilger	Heading	Ring Rolling	Trepanning	
Cold Rolling	Heat Treating (inert atmosphere)	Roll Bonding	Tumbling	
Cutting	Inspection	Rotary forging	Turning	
Deburring (non-grinding)	Machining	Sawing (tooth blade)	Ultrasonic Cleaning	
Deep Hole Drilling	Metallography	Shearing	Ultrasonic Testing	
			Upsetting	

Πίνακας 8. Κατεργασίες σε κράματα βηρυλλίου με πιθανότητα εισπνοής αερομεταφερόμενων σωματιδίων.

Πιθανότητα εισπνοής						
Abrasive Blasting	Destructive Testing	Laser Cutting	Sanding			
Abrasive Processing	Dross Handling	Laser Machining	Scrap Management			
Abrasive Sawing	Electrical Chemical Machining (ECM)	Laser Scribing	(Clean)			
Annealing	Electrical Discharge Machining (EDM)	Laser Marking	Sectioning			
Brazing	Electron Beam Welding (EBW)	Laser Welding	Slab Milling			
Bright Cleaning	Forging	Laundrying	Soldering			
Brushing	Grinding	Melting	Solution Management			
Buffing	Heat Treating (in air)	Photo-Etching	Spot Welding			
Burnishing	High Speed Machining (>10,000 rpm)	Pickling	Sputtering			
Casting	Honing	Point and Chamfer	Swaging			
Centerless Grinding	Hot Forging	Polishing	Torch cutting (i.e., oxy-acetylene)			
Chemical Cleaning	Hot Rolling	Process Ventilation	Water-jet Cutting			
Chemical Etching	Investment Casting	Maintenance	Welding (ARC, TIG, MIG, etc.)			
Chemical Milling	Lapping	Resistance Welding	Wire Electrical			
Coolant Management		Roller Burnishing	Discharge Machining (WEDM)			
Deburring (grinding)		Sand Blasting				
		Sand Casting				

Οι παραπάνω λειτουργίες μπορούν να απελευθερώσουν εισπνεύσιμο αιώρημα (1000o/F/540 ° C) με κύριο συστατικό το οξείδιο του βηρυλλίου. Ανόπτηση σε αδρανή ατμόσφαιρα μπορεί να ελαχιστοποιήσει το σχηματισμό των οξειδίων πάνω στην επιφάνεια. Η αποξείδωση, περιλαμβάνει τη χρήση ενός ισχυρού οξέος ή/και καυστικά διαλύματα για να απομακρυνθούν τα οξείδια μετάλλου από την επιφάνεια των κραμάτων που περιέχουν βηρύλλιο.

### Γεγονότα γύρω από την ασφάλεια

Σχετικοί κανονισμοί γύρω από την ασφάλεια και τα μέτρα προστασίας εντός Ε.Ε. είναι:

REACH είναι ο κανονισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης που θεσπίστηκε με σκοπό την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος από τους κινδύνους που μπορεί να ενέχουν τα χημικά προϊόντα και, παράλληλα, την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας της βιομηχανίας χημικών προϊόντων της ΕΕ. Επίσης, ο κανονισμός αυτός προάγει εναλλακτικές μεθόδους αξιολόγησης κινδύνων των ουσιών με σκοπό να μειωθούν οι δοκιμές που διενεργούνται σε ζώα [19].

Ο κανονισμός CLP διασφαλίζει ότι οι κίνδυνοι που ενέχουν τα χημικά προϊόντα κοινοποιούνται με σαφήνεια στους εργαζόμενους και στους καταναλωτές της Ευρωπαϊκής Ένωσης μέσω της ταξινόμησης και επισήμανσης χημικών προϊόντων [20].

### Πρότυπο IEEE 1680

Πρωθήθηκε από την αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος, μαζί με το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών. Το νέο πρότυπο θα ενθαρρύνει τους κατασκευαστές να σχεδιάζουν τα προϊόντα τους για να χρησιμοποιούνται περισσότερο, να είναι ενεργειακά αποδοτικότερα, ευκολότερα στην αναβάθμιση και την ανακύκλωση, και να περιέχουν λιγότερο επιζήμια προς το περιβάλλον υλικά.

Το πρότυπο είναι το πρώτο πρότυπο των ΗΠΑ για την παροχή περιβαλλοντικών κατευθυντηρίων γραμμών σε αποφάσεις που αφορούν επιτραπέζιους και φορητούς υπολογιστές και οθόνες. Προσφέρει οκτώ κατηγορίες κριτηρίων. Μεταξύ αυτών είναι τα υλικά επιλογής και ο τρόπος διαχείρισης στο τέλος της ζωής.

### Συσχέτιση βηρυλλίου με εμφάνιση καρκίνου

Νέες μελέτες διεξήχθησαν με σκοπό την συμμόρφωση με τον REACH. Οι νέες μελέτες έδειξαν ότι το βηρύλλιο δεν αλληλοεπιδρά με το DNA και δεν προκαλεί μεταλλάξεις, ούτε δομικές χρωμοσωμικές ανωμαλίες. **Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το βηρύλλιο ΔΕΝ προκαλεί βλάβη στο DNA.**

Οι νέες μελέτες οδήγησαν επίσης σε μία σαφέστερη και πιο εμπειριστατωμένη επιστημονική ερμηνεία των διαθέσιμων δεδομένων ανά τον κόσμο σε βάθος χρόνου. **Καταρρίπτοντας το ΛΑΘΟΣ συμπέρασμα, επί δεκαετίες, ότι η τοξικότητα του βηρυλλίου (το οποίο χρησιμοποιείται στο εμπόριο) και οι διαλυτές ενώσεις βηρυλλίου (που δεν χρησιμοποιούνται εμπορικά) είναι τα ίδια.**

Μια λεπτομερής ανάλυση στο σύνολο της διαθέσιμης βιβλιογραφίας, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα υπάρχοντα δεδομένα από πειραματόζωα, σχετικά με τις **καρκινογόνες ιδιότητες είναι βάσιμες μόνο για τους αρουραίους και όχι για οποιοδήποτε άλλο είδος.** Επιδημιολογικά, όταν επικεντρωνόμαστε σε ομάδες ανθρώπων, με ιδιαίτερα υψηλή έκθεση στο βηρύλλιο, κατά την παραγωγή, δεν υπάρχει σαφής συσχέτιση έκθεσης με την πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου. Τα αποτελέσματα διαφέρουν σημαντικά.

Οι μελέτες των Levy [21,22], Brown [23] και Deubner [24] συμπεράνουν ότι η έκθεση σε βηρύλλιο δεν αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα στην εμφάνιση καρκίνου στον άνθρωπο. Η μελέτη του Ward [25], το 1992, έχει χρησιμοποιηθεί από οργανώσεις όπως η NTP και IARC, για να υποστηρίξει την κατηγοριοποίηση προϊόντων βηρυλλίου σε καρκινογόνα. Ο Levy το 2002 επανεξέτασε τα δεδομένα Ward χρησιμοποιώντας πιο σχετικά, στην περιοχή, ποσοστά καρκίνου και επιβεβαίωσε την εκτίμηση του Ward.

Το 2001 ο Sanderson [26] συσχέτισε την έκθεση βηρύλλιο με τον καρκίνο του πνεύμονα. Τόσο ο Levy όσο και ο Deubner εντόπισαν σημαντικά μεθοδολογικά σφάλματα στη μελέτη που Sanderson αναιρώντας το αποτέλεσμα. Μάλιστα, κατά τον Levy ο καρκίνος του πνεύμονα, στην υπο διερεύνηση πληθυσμιακή ομάδα, δεν σχετίζεται καθόλου με την έκθεση σε βηρύλλιο σε οποιαδήποτε μορφή (π.χ.

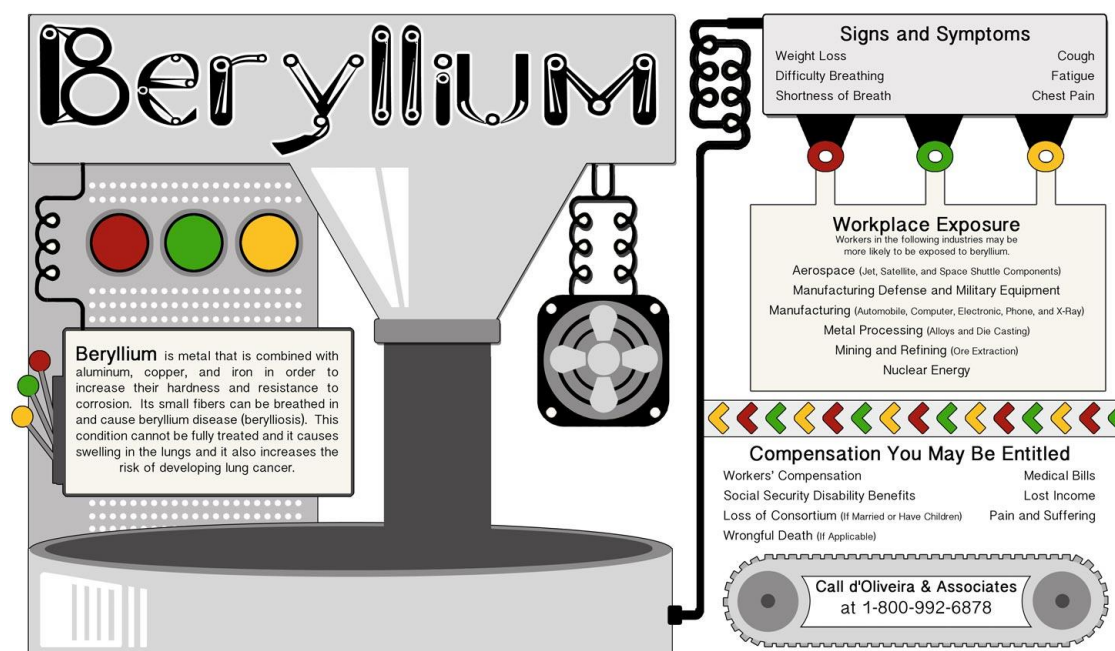
σωρευτική, μέση ή μέγιστη έκθεση). Ο Deubner επιβεβαιώνει το μεθοδολογικό σφάλμα που εντοπίστηκε από τον Levy με επαναλαμβανόμενες προσομοιώσεις δεδομένων.

Το 2009, ο Hollins [27] ανάλυσε τις μελέτες στα ζώων και στους ανθρώπους για το πως σχετίζεται η καρκινογένεση με το βηρυλλίου. Ο Hollins κατέληξε στο συμπέρασμα ότι "τα στοιχεία για καρκινογένεσεις στον άνθρωπο λόγω βηρυλλίου θα πρέπει να θεωρηθούν είτε ανεπαρκή ή οριακά υποκειμενικά στις σύγχρονες βιομηχανικές ρυθμίσεις. "

**Τα στοιχεία από τα Ευρωπαϊκά μητρώα νόσου και μεγάλες κλινικές δεν αναγνωρίζουν τη σχέση μεταξύ έκθεσης σε βηρύλλιο με τον καρκίνο του πνεύμονα.** Η έκθεση από το Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, αναφέρει ξεκάθαρα ότι ΔΕΝ παρατηρήθηκαν περιπτώσεις καρκίνου του πνεύμονα, σε επαγγελματικά εκτιθέμενο πληθυσμό, για πάνω από 20 χρόνια, στο βηρύλλιο.

Στην έκδοση Πληροφορίες για τις επαγγελματικές ασθένειες: Ένας οδηγός για την διάγνωση, 2009 αναφέρεται ότι: «η αιτιακή σχέση μεταξύ παρατεταμένης ή επαναλαμβανόμενης έκθεσης σε βηρύλλιο με την εμφάνιση βρογχικού καρκίνου του έχει δεν έχει εδραιωθεί, ...»

Τέλος, η επίδραση του βηρυλλίου εκτιμήθηκε, επίσης, κατά την πρόσφατη αναθεώρηση της ευρωπαϊκής οδηγίας για τον καρκίνο με τίτλο: Directive 2004/37/EC [28] . Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναθεώρησε 25 συνολικά ουσίες. Η έκθεση ανέφερε «Υπήρχαν ελάχιστες αποδείξεις για οποιαδήποτε σημαντική επίπτωση στην υγεία από έκθεση στο βηρύλλιο στην ΕΕ.»



Εικόνα 41. Διαφημιστικό σποτ από δικηγορικό γραφείο. Αφορά το δικαίωμα των εργαζομένων να διεκδικήσουν αποζημίωση λόγω προβλημάτων που προέκυψαν από έκθεση στο βηρύλλιο.

## Προστασία εργαζομένων

Οι μεταποιητικές επιχειρήσεις στην ΕΕ, που αφορούν την επεξεργασία του βηρυλλίου ή κραμάτων αυτού, είναι περιορισμένες σε αριθμό. Πιθανοί κίνδυνοι για την υγεία μπορεί να ελεγχθούν και να περιοριστούν μέσω συμβατικών μέτρων διαχείρισης του κινδύνου (μάσκες, ένδυση, γάντια, κ.λπ.), που χρησιμοποιούνται συνήθως στη βιομηχανία.

Οι κύριες πηγές εκπομπών βηρυλλίου δεν είναι ούτε η κατεργασία, ούτε η εξόρυξη. Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών βηρυλλίου στο περιβάλλον. Εντούτοις, το βηρύλλιο από την φυσική του συναντάται σε μικρές συγκεντρώσεις παντού. Κατ' επέκταση ο γενικός πληθυσμός δεν εκτίθεται στο βηρύλλιο λόγω της παρουσίας της στα αέρια απόβλητα των σταθμών παραγωγής.



Εικόνα 42. Αποτελεσματική προστασία εργαζομένων: έχουν ληφθεί όλα τα δυνατά μέτρα (ένδυση, μάσκες, καθαρός χώρος, φίλτρα αέρα και υγρή κατεργασία).

## Όρια επαγγελματικής έκθεσης

Η μελέτη των Cummings, et al. παρέχει μια εκτενή ανάλυση για την καθιέρωση ενός ορίου έκθεσης, με τιμή  $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Η τήρηση του προτεινομένου ορίου, από το 2000, μείωσε τα ποσοστά θετικής ανίχνευσης σε ευαισθητοποίηση στο βηρύλλιο από 8% στο 1%. Το 1% είναι το αντίστοιχο ποσοστό για τον γενικό πληθυσμό χωρίς επαγγελματική έκθεση.

Ο Schuler, το 2005 [29] (pdf, 141 kb) ένθετο σύνδεσμο πραγματοποίησε μια έρευνα για να εξετάσει την συσχέτιση μεταξύ ευαισθητοποίησης στο βηρύλλιο (BES) και της χρόνιας ασθένειας (CBD) με τους χώρους εργασίας/διεργασιών σε μία εγκατάσταση παραγωγής λωρίδων κράματος βηρυλλίου χαλκού και φινιρίσματος σε σύρμα. Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα:



«Οι BES και CBD εμφανίζουν θετική συσχέτιση με τις περιοχές εργασίας στις οποίες τα επίπεδα βηρυλλίου στον αέρα υπερβαίνουν τα 0.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Δεν υπήρξε συσχέτιση με περιοχές όπου σπάνια ξεπερνούσε αυτό το όριο. Οι εργαζόμενοι σε αυτή τη εγκατάσταση είχαν παρόμοια επίπεδα BES και CBD με άλλους εργαζόμενους σε διαφορετικές εγκαταστάσεις με έκθεση ανω του ορίου των 0.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ."

Μια σημαντική πρόκληση για την αξιολόγηση της σχέσης έκθεσης-αντίδρασης για BES και CBD είναι ότι στις περισσότερες μελέτες έχουν χρησιμοποιηθεί ασυνεπής τεχνικές δειγματοληψίας και μεθοδολογίες εκτίμησης. Επίσης, δεν υπάρχει σαφής ορισμός για τις BES και CBD (π.χ. συμπτωματολογία). Αυτές οι διαφορές εμποδίζουν άμεσες συγκρίσεις μεταξύ των μελετών.

Η μελέτη των Madl, et al. [30] βασίστηκε σε 3831 δειγματο (στην περιοχή γύρω από το λαίμο, στον γιακά) και σε 616 δείγματα από διάφορα σημεία του ρουχισμού. Με αυτά τα δείγματα εκτιμήσαν την έκθεση του κάθε εργαζομένου πριν διαγνωστούν με BES ή με CBD. Ακολούθησε μια ανάλυση της έκθεσης-απόκρισης για να καθοριστεί κατά πόσον θα μπορούσε να προσδιοριστεί κάποιο όριο έκθεσης που οδηγεί σε BES και CBD. Τέσσερις διαφορετικές μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν για την ανακατασκευή του ιστορικού έκθεσης του κάθε εργαζομένου. Διάφορα στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν όπως η βιομηχανική υγιεινή, ο τίτλος εργασίας, η εποχή των ελέγχων, κ.λπ. Η μελέτη του Madl κατέληξε στο συμπέρασμα:

"Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μετρήσεις έκθεσης με βάση τον συντομότερους μέσους χρόνους οριοθετούν καλύτερα το άνω φράγμα έκθεσης των εργαζομένων, πέρα από το οποίο αναμένεται ανάπτυξη BES ή CBD. Παρατηρήθηκε ότι τα άτομα με BES ή CBD πιθανόν είχαν εκτεθεί σε συγκεντρώσεις βηρυλλίου ανω των 0.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (διάστημα εμπιστοσύνης 95%). Το 90% είχε εκτεθεί σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 0.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (διάστημα εμπιστοσύνης 95%) για ένα εργασιακό έτος. Με βάση την ανάλυση αυτή, φαίνεται ότι η BES και η CBD γενικά οφείλονται σε έκθεση σε αιώρημα βηρυλλίου συγκέντρωσης ανω του 0.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Γενικά, η διατήρηση της έκθεσης κάτω από 0.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  στο 95% του χρόνου εργασίας μπορεί να αποτρέψει εμφάνιση BES και CBD. "

Οι συγγραφείς παρατήρησαν ότι, η μελέτη τους ήταν η πρώτη του είδους της, δηλώνοντας ότι:

«Ένα αποτελεσματικό ΟΕΕ μειώνει ή εξαλείφει τον κίνδυνο για όποιες αρνητικές συνέπειες στην υγεία, για την πλειοψηφία του εργαζόμενου πληθυσμού. Σε αντίθεση με πολλές άλλες χημικές ουσίες, ο προσδιορισμός ορίων έκθεσης για το βηρύλλιο είναι δύσκολος λόγω της ανοσολογική παθογένεσης. Ιστορικά, επιδημιολογικές μελέτες έχουν μελετήσει την BES και την CBD σε σχέση με τη μέση τιμή ή μέση συγκέντρωση βηρύλλιο, είτε για την μεγαλύτερη σε χρονική έκθεση εργασία είτε για την πιο πρόσφατη. Σε γενικές γραμμές, αυτές οι μελέτες έχουν κατηγοριοποιήσει τις επικίνδυνες εργασίες που οδηγούν σε έκθεση χωρίς να επικεντρωθούν στην έκθεση αυτή καθαυτή.

Η πλειοψηφία αυτών των μελετών εκτίμησε την έκθεση των εργαζομένων με βάση την εργασία τους και δεν έχουν αξιολογήσει συγκεκριμένα την συμβολή του βηρυλλίου στην BES ή στη CBD σε κάθε εργαζόμενο. Η ανάλυσή μας είναι η πρώτη που εκτίμησε την έκθεση εργαζομένων σε βηρύλλιο με βάση το ιστορικό εργασίας του καθενός. Ταυτόχρονα, είναι η πρώτη που αξιολογεί μια ποικιλία μεθόδων εκτίμησης της έκθεσης και την επιρροή τους στην ύπαρξη BES και εμφάνισης CBD. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων μας δείχνουν ότι η ανάπτυξη των BES και CBD δεν μπορεί να συσχετιστεί με μέσες τιμές ορίων έκθεσης κατά την εργασία στο παρελθόν. Δεδομένης της ανοσολογικής βάσης των BES και CBD, καθώς και της ύπαρξης περιπτώσεων εμφάνισης σε άτομα με περιορισμένο χρόνο έκθεσης είναι σημαντικό να κανονίσουμε τόσο σωρευτικά όσο και σε καθημερινή βάση τα όρια έκθεσης.

Εκτός από την δημιουργία ορίων έκθεσης, τα οποία οδηγούν στην εμφάνιση BES και CBD, είναι σημαντικό να καθορίσουμε τα επίπεδο έκθεσης κάτω από τα οποία η πιθανότητα εμφάνισης της νόσου δεν αυξάνεται σημαντικά. (...) Με βάση την παρούσα ανάλυση πάνω στην ευαισθητοποίηση σε βηρύλλιο και εμφάνισης CBD στους εργαζομένους, παρατηρούμε ότι δεν πρέπει να υπάρχει έκθεση μεγαλύτερη από  $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Η έκθεση κάτω από  $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  στο 95% του χρόνου εργασίας μπορεί να αποτρέψει εμφάνιση BES και CBD.»

Η έρευνα του Johnson [31] συμφωνεί ότι έκθεση κάτω από  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  σε 8 ώρες εργασίας μπορεί να αποτρέψει την εμφάνιση χρόνιας νόσου. Η μελέτη αναθεώρησε και ανάλυσε τα αποτελέσματα του προγράμματος παρακολούθησης έκθεσης, στις εγκαταστάσεις Δημιουργίας Ατομικών Οπλων Βηρυλλίου στο Cardiff της Ουαλίας. Η μελέτη αναλύει την πιο εκτεταμένη ιστορική βάση δεδομένων σε ατομικής έκθεσης βηρύλλιο. Περιλαμβάνει τα αποτελέσματα προσωπικής έκθεσης για κάθε μέρα εργασίας σε διάστημα άνω των 36 ετών. Περισσότερα από 200.000 προσωπική δείγματα συλλέχθηκαν μεταξύ 1981 και 1997, που αντιπροσωπεύουν τα τελευταία 16 χρόνια λειτουργίας. Η εγκατάσταση στο Cardiff συμμορφώθηκε πλήρως με την τήρηση του ορίου έκθεσης κάτω από  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  για το 98% του χρόνου σε 8ωρη εργασία. Παρατηρήθηκε **μόνο μία περίπτωση εμφάνισης χρόνιας νόσου βηρυλλίου** σε πάνω από 36 χρόνια λειτουργίας.»

Ο Schuler [29] εξέτασε μια περίπτωση που ο οδηγός πρακτικής από την αμερικανική Βιομηχανική ένωση για την υγιεινή τηρήθηκε, για την διατήρηση της έκθεσης κάτω από τα συνιστάμενα όρια. Το δείγμα περιλάμβανε 153 εργαζομένους και πάνω από 15 δείγματα ανα εργασία. Η μελέτη τονίζει ότι σταθερή έκθεση κάτω από  $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  δεν οδηγεί σε BES ή CBD.

Το Εθνικό Ινστιτούτο Επαγγελματικής Ασφάλειας και Υγείας (H.P.A) εξέτασε πληθυσμό 264 εργαζομένων, για εμφάνιση υπο-κλινικής (ασυμπτωματικής) χρόνιας νόσου βηρυλλίου, κατά τη διάρκεια μιας εξαετούς περιόδου. Διαθέσιμα ήταν 4022 δείγματα από 269 διαφορετικές θέσεις εργασίας (κατά μέσο όρο πάνω από 14 δείγματα ανά θέση εργασίας). Τα προσωπικά δεδομένα έκθεσης, σε βάθος χρόνου,

προσαρμόστηκαν συνυπολογίζοντας τις ετήσιες μεταβολές στην έκθεση με βάση 76.349 δείγματα σε διαφορετικές τοποθεσίες. Συνολικά 6 από τους 264 εργαζομένους που εκτίθενται σε πάνω από 0,38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (ετήσιος μέσος όρος) εμφάνισαν ασυμπτωματική υπο-κλινική CBD. Η μελέτη έδειξε επίσης ότι τα άτομα που έχουν συνολική μέση ετήσια έκθεση κάτω από 0,38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  δεν νόσησαν.

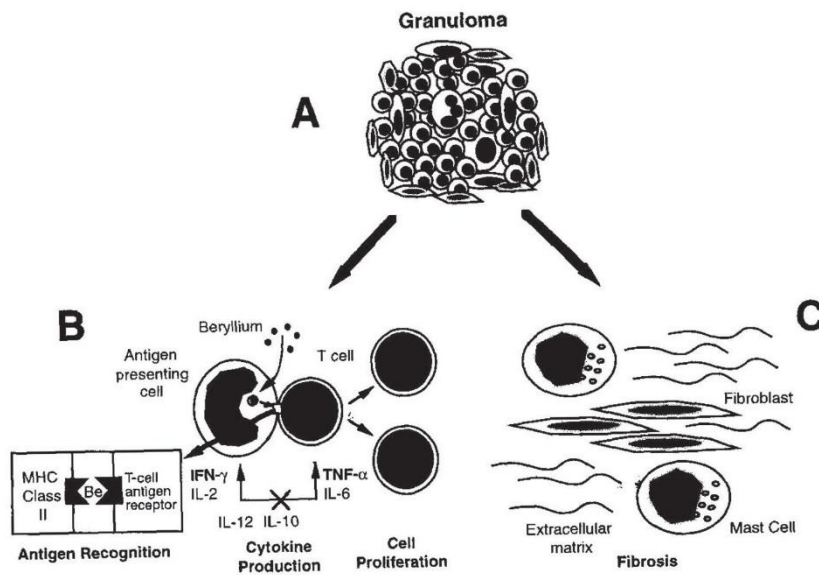
δεν έχει συσχετιστεί χημική ευαισθητοποίηση με την έκθεση σε αδιάλυτες μορφές βηρυλλίου. Καμία αντίδραση ευαισθητοποίησης δέρματος, όπως δερματικό εξάνθημα, κνίδωση, ερεθισμός της μύτης, του λαιμού, του δέρματος ή των ματιών, δεν συνδέεται με δερματική έκθεση σε αδιάλυτες μορφές του βηρυλλίου. Δεν υπάρχει βραχυπρόθεσμη ανοσολογική αντίδραση μέσω του αναπνευστικού, όπως το άσθμα ή αλλεργία, δύσπνοια, σφίξιμο στο στήθος, συριγμό, βήχα, ερεθισμό που να σχετίζεται με αερομεταφερόμενα ανοίγματα σε αδιάλυτες μορφές του βηρυλλίου. Οι αδιάλυτες μορφές του βηρυλλίου περιλαμβάνουν μέταλλα, συνθετικές ενώσεις βηρύλλιο αλουμινίου (AlBeMet $\text{\O}$ ), οξειδίου του βηρυλλίου και κράματα όπως ο βηρυλλιοχρος χαλκός.

Δερματικές αντιδράσεις και αντιδράσεις του πνεύμονα έχουν παρατηρηθεί με έκθεση σε άλατα βηρυλλίου, όπως θεικό άλας βηρυλλίου, φθοριούχου βηρυλλίου, που προκύπτουν κατά τη χημική εκχύλιση του βηρυλλίου. Αυτά τα διαλυτά άλατα βηρυλλίου θα πρέπει να θεωρηθούν ως χημικοί ευαισθητοποιητές.

#### Ευαισθητοποίηση στο βηρύλλιο

Η χρήση της δοκιμασίας BeLPT (Beryllium Lymphocyte Proliferation Testing) στο αίμα επιτρέπει στον ιατρό να προσδιορίσει από τον πληθυσμό των εργαζομένων που εκτίθενται σε βηρύλλιο αυτούς που αναπτύσσουν ανοσολογική απάντηση (cell mediated-antigen-driven) στο βηρύλλιο, χωρίς κλινικά ή παθολογοανατομικά ευρήματα οξείας ή χρόνιας νόσου από βηρύλλιο.

Αρχικά σωματίδια βηρυλλίου εισπνέονται και εναποτίθενται στους αεροχωρους των πνευμόνων. Επειδή το βηρύλλιο έχει πτωχή απέκκριση από τους πνεύμονες παραμένει καθηλωμένο για μακρά περίοδο. Κατόπιν αγνώστου χρονικού διαστήματος, κάποια άτομα καθίστανται ευαίσθητα στο βηρύλλιο με επακόλουθα, τον πολλαπλασιασμό των λεμφοκυττάρων, την έκκριση κυτταροκινών, την συσσώρευση μακροψάγων και σχηματισμό κοκκιωμάτων. Η ανώτερη φλεγμονώδης διεργασία δύναται να εξελιχθεί σε πνευμονική ίνωση και καταστροφή του πνευμονικού παρεγχύματος.



Εικόνα 43. Αναπαράσταση της αντίδρασης του οργανισμού σε αντιγόνα βηρυλλίου.

Οι εργαζόμενοι αυτοί συνήθως είναι ασυμπτωματικοί με φυσιολογικό το λειτουργικό έλεγχο αναπνοής, την ακτινολογική εικόνα, την καρδιοαναπνευστική δοκιμασία κόπωσης και αρνητική βιοψία πνεύμονα. Σε δημοσιευμένες μελέτες το ποσοστό των εργαζομένων, που έχουν μόνο ευαισθητοποίηση σε βηρύλλιο κυμαίνεται από 1 -5%.

Οι ευαισθητοποιημένοι στο βηρύλλιο εργαζόμενοι πρέπει να βρίσκονται υπό στενή ιατρική παρακολούθηση, και να εξετάζονται συχνότερα από τους υπόλοιπους για το ενδεχόμενο ανάπτυξης κλινικής συμπτωματολογίας.

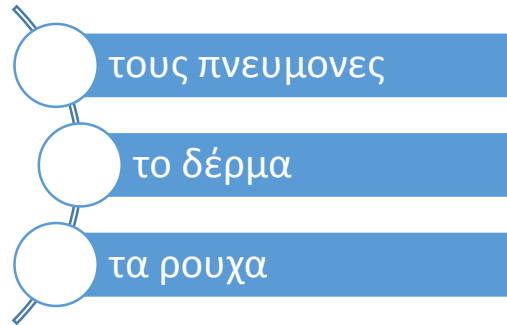
Σε άτομα με οριακές τιμές της δοκιμασίας BeLPT στο αίμα, η ευαισθητοποίηση δύναται να επιβεβαιωθεί μέσω της δερματικής δοκιμασίας (patch test). Η δερματική δοκιμασία επιτυγχάνεται με ενδοδερμική έγχυση διαλύματος θεικού < νιτρικού άλατος του βηρυλλίου, οπότε ύστερα από 48-72 ώρες (στο σημείο της έγχυσης) αναπτύσσεται ερυθματώδης αντίδραση (δερματική υπερευαισθησία), το δε κοκκίωμα του δέρματος μπορεί να αναπτυχθεί εντός 3-4 εβδομάδων. Επισημαίνεται ότι η λανθάνουσα περίοδος, από την πρώτη έκθεση στο βηρύλλιο, όπως και από την υποχώρηση ενός επεισοδίου βηρυλλίωσης οξείας μορφής μέχρι να εκδηλωθεί η χρόνια μορφή της νόσου μπορεί να είναι μεγαλύτερη από 15 χρόνια. Φαίνεται ότι η ευαισθητοποίηση του ατόμου στην έκθεση του βηρυλλίου παίζει σημαντικό και καθοριστικό παράγοντα σε ότι αφορά το χρόνο της εκδήλωσης της νόσου.

### Μοντέλα ασφάλειας

Το μοντέλο Υγείας και Ασφάλειας έχει αναπτυχθεί εδώ και πολλά χρόνια. Αξιοποιεί τις εκτεταμένες έρευνες για την αποτροπή της χρόνιας νόσου του βηρυλλίου και ευαισθητοποίησης σε αυτό. Το μοντέλο βασίζεται σε πραγματικές μετρήσεις ανα τον κόσμο που έχουν συλλεχθεί σε πάνω από μια δεκαετία έρευνας. Η γενική ιδέα αυτού του μοντέλου ασφαλείας έχει τους ακόλουθους κύριους άξονες:

**Κρατάμε  
βηρύλλιο  
από:**

**το  
μακριά**



Κρατήστε τους χώρους εργασίας καθαρούς: Στους χώρους εργασίας δεν πρέπει να υπάρχει ακαταστασία. Τα εργαλεία πρέπει να είναι σωστά τοποθετημένα, να υπάρχει επαρκής φωτισμός. Γενικά, πρέπει ο χώρος να είναι οπτικά ελκυστικός στον εργαζόμενο. Επίσης τυχόν σκόνη, κόκκοι, ορατές προσμίξεις πρέπει να αφαιρούνται άμεσα. Οι πάγκοι και οι επιφάνειες εργασίας πρέπει να διατηρούνται κατά το δυνατόν σε άριστη κατάσταση.

Το βηρύλλιο δεν πρέπει να εισπνέεται: Πρέπει να υπάρχουν κατάλληλες μάσκες για την προστασία του προσωπικού. Οι μάσκες πρέπει να φέρουν πιστοποίηση και να είναι επιλεγμένες με βάση την εργασία. Διαφορετική προστασία χρειάζεται ένας εργαζόμενος από ατμούς μετάλλων (π.χ. κατά την διάρκεια συγκόλλησης) και διαφορετική όταν έχουμε αιωρούμενα σωματίδια (εργασία σε τόρνο, φρέζα, κ.λπ.). Επίσης πρέπει να υπάρχουν εγκατεστημένα φίλτρα στον χώρο και επαρκής αερισμός.

Το βηρύλλιο δεν πρέπει να έρχεται σε επαφή με το δέρμα: ανεξαρτήτως αν μιλάμε για καθαρό βηρύλλιο, διαλύματα ή κράματα αυτού. Η προστασία αφορά την χρήση προστατευτικών γαντιών για την εκάστοτε χρήση. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται όταν υπάρχουν ανοικτές πληγές ή οποιαδήποτε ασυνέχεια στο δέρμα. Κάθε επαφή σε αυτή την περίπτωση είναι επικίνδυνη.



Εικόνα 44. Παράδειγμα τυπικού προστατευτικού εξοπλισμού.

Κρατήστε το βηρυλλίου μακριά από τα είδη ένδυσης: πρέπει να χρησιμοποιείται φόρμα εργασίας. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό τα ρούχα πρέπει να αφαιρούνται αμέσως μετά την ολοκλήρωση της εργασίας και να καθαρίζονται. Όταν υπάρχει η

πιθανότητα μόλυνσης με σωματίδια ή διαλύματα που περιέχουν βηρύλλιο, η φόρμα εργασίας πρέπει να πληροί τις εκάστοτε προδιαγραφές.

Το βηρυλλίου πρέπει να περιορίζεται στο Χώρο Εργασίας: η διάδοση πρέπει να αποτραπεί. Συστήνεται η χρήση ειδικών φίλτρου αέρα, και κατάλληλης ένδυσης/εξοπλισμού που θα παραμένει στον χώρο εργασίας.



Εικόνα 45. Πρέπει να υπάρχει πάντα επαρκής εξαερισμός και συνεχή ενημέρωση των εργαζομένων

## Υγεία και ασφάλεια

Η τοξικότητα του βηρυλλίου δεν είχε εκτιμηθεί επαρκώς έως τις αρχές του 20ου αιώνα. Κατά το 1930 η Ευρωπαϊκή και η Ρωσική ιατρική βιβλιογραφία ανέφερε μερικά περιστατικά πνευμονοπάθειας και δερματοπάθειας σε εργαζόμενους στην επεξεργασία βηρυλλίου. Όμως στη δεκαετία του 1940 οι Harriet Hardy και Irving Tabershow έστρεψαν την προσοχή των ερευνητών σε πνευμονοπάθειες τύπου σαρκοείδωσης που παρατηρήθηκαν σε εργαζόμενους στη βιομηχανία κατασκευής λαμπτήρων φθορισμού.<sup>4</sup> Μετά από αυτές τις διαπιστώσεις δημιουργήθηκε στο Γενικό Νοσοκομείο της Μασαχουσέτης Μητρώο Περιπτώσεων Βηρυλλίωσης (Beryllium Case Registry, 1952), όπου καταγραφόταν κάθε νέα περίπτωση βηρυλλίωσης.

Το 1949 η Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας των ΗΠΑ καθιέρωσε ως μέση χρονικά σταθμισμένη τιμή (TLV-Time Weighted Average), την τιμή  $2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ανα 8ωρο εργασίας και ως μέγιστο επιτρεπόμενο όριο έκθεσης (TLV-Ceiling), τα  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  για διάρκεια έκθεσης 30 λεπτών.

Αργότερα το ανώτερο αυτό όριο έκθεσης έγινε αποδεκτό και από τους υπόλοιπους αρμόδιους Οργανισμούς των ΗΠΑ καθώς και από τις υπόλοιπες χώρες του κόσμου. Αυτό ισχύει και σήμερα. Στις ημέρες μας ο οργανισμός των ΗΠΑ, που ασχολείται με τα επαγγελματικά νοσήματα, "Occupational Safety and Health Administration" (OSHA), εξετάζει το ενδεχόμενο περαιτέρω μείωσης των επιτρεπτών επιπέδων βηρυλλίου στον εργασιακό χώρο, βασιζόμενος σε νέες βελτιωμένες διαγνωστικές τεχνικές (ανοσολογικός έλεγχος, ασφαλέστερη βρογχοσκόπηση), που ενισχύουν τη δυνατότητα διάγνωσης υποκλινικών μορφών βηρυλλίωσης, καθώς και σε νεότερες επιδημιολογικές μελέτες που υποστηρίζουν ότι οι εργαζόμενοι σε χώρους επεξεργασίας βηρυλλίου με επίπεδα έκθεσης  $<2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  δύναται να αναπτύξουν τη νόσο.

### Έκθεση σε βηρύλλιο

Εκτιμάται ότι στις ΗΠΑ περισσότερο από 1.000.000 άνθρωποι έχουν εκτεθεί επαγγελματικά σε βηρύλλιο κάποια στιγμή στη ζωή τους. Συνήθως αναφέρονται περιπτώσεις βηρυλλίωσης σε τεχνολογικά προηγμένες χώρες, που ασχολούνται με αεροναυπηγική, διαδικασία παραγωγής ατομικής ενέργειας, βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικών συσκευών, ιατρικές εφαρμογές, σε κράτη που εφαρμόζουν προγράμματα πυρηνικού εξοπλισμού καθώς επίσης και σε χώρες που ασχολούνται με την εξαγωγή του μετάλλου από το ορυκτό του, την φόρτωσή του και τη μεταφορά του

Έκθεση όμως σε βηρύλλιο διαπιστώθηκε και στο υπαλληλικό-διοικητικό προσωπικό εργοστασίων επεξεργασίας βηρυλλίου, σε μέλη οικογενειών των εργαζομένων καθώς και σε κατοίκους περιοχών γειτονικών με τα εργοστάσια (μέση επιτρεπόμενη τιμή  $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  κατά τη διάρκεια μετρήσεων ενός μηνός).

Αλλά και ο γενικός πληθυσμός της γης εκτίθεται σε βηρύλλιο σε καθημερινή βάση, μέσω του ατμοσφαιρικού αέρα, του πόσιμου νερού και της διατροφής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το βηρύλλιο απαντάται συχνά στη φύση π.χ. στο γαιάνθρακα, στην ξυλεία, στα τρόφιμα καθώς και σε πολύτιμους λίθους.

Σύμφωνα με την American Conference of Governmental Industrial Hygienists, τα μέσα ασφαλή επίπεδα συγκέντρωσης του βηρυλλίου στο έδαφος είναι  $2.85 \text{ mg/Kgr}$ , στο πόσιμο νερό  $10-1200 \text{ ng/L}$  και στον ατμοσφαιρικό αέρα  $0.00003 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

*Πίνακας 9. Συνηθέστερες ομάδες έκθεσης σε βηρύλλιο.*

- |     |   |
|-----|---|
| 1.  | Κατασκευαστές κραμάτων βηρυλλίου  |
| 2.  | Κατασκευαστές κραμάτων χαλκού   |
| 3.  | Οι εργάτες που ασχολούνται με την εξαγωγή του μετάλλου από το ορυκτό      |
| 4.  | Οι εργάτες ειδών κεραμικής και αγγειοπλαστικής                            |
| 5.  | Επενδυτές καμίνων   |
| 6.  | Εργάτες χυτηρίων  |
| 7.  | Τροχιστές και λειαντές  |
| 8.  | Επιμεταλλωτές   |
| 9.  | Στιλβωτές   |
| 10. | Λιμενεργάτες  |
| 11. | Φορτοεκφορτωτές   |
| 12. | Οι εργαζόμενοι στην διαστημική αεροναυπηγική                              |
| 13. | Οι εργαζόμενοι στην κατασκευή αεροσκαφών                                  |
| 14. | Οδοντοτεχνίτες  |
| 15. | Οι εργαζόμενοι στα ηλεκτρονικά  |
| 16. | Οι εργαζόμενοι στον πυρηνικό εξοπλισμό                                    |
| 17. | Οι εργαζόμενοι στην ανακύκλωση μετάλλων και ηλεκτρονικών συσκευών και Η/Υ |
| 18. | Οι εργαζόμενοι στις τηλεπικοινωνίες                                       |

19. Τον κίνδυνο να προσβληθούν από βηρυλλίωση διατρέχουν επίσης και οι εξής:
1. Το υπαλληλικό προσωπικό του εργοστασίου
  2. Οι συγγενείς των εργατών που επισκέπτονται το εργοστάσιο
  3. Οι κάτοικοι των περιοχών γύρω από το εργοστάσιο

### Κατηγορίες υλικών

Η διαφοροποίηση του βηρυλλίου από τις ενώσεις του είναι ένα σημαντικό θέμα, λόγω των διαφορετικών φυσικοχημικές και τοξικολογικές ιδιότητες των διαφόρων ουσιών. Επί του παρόντος, οι νομικοί χαρακτηρισμοί ισχύουν για το "βηρύλλιο και τις ενώσεις του». Δεν υπάρχει σαφής. Επιπλέον, δεν είναι δυνατό να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα μελετών καθότι δεν γνωρίζουμε εάν έλαβαν υπόψη και διαχώρισαν τις επιπτώσεις του καθαρού βηρυλλίου από αυτές των ενώσεών του.

### Τοξικότητα

Η έκθεση σε βηρύλλιο ανάλογα με τον τύπο του βηρυλλίου, τη χρονική διάρκεια έκθεσης και την οδό εισόδου στον οργανισμό δεν περιορίζεται μόνο στους πνεύμονες αλλά προσβάλλει το δέρμα, τους οφθαλμούς καθώς και άλλα όργανα.

Όσον αφορά την προσβολή των πνευμόνων απαντάται με δύο κυρίως μορφές, ως οξεία μη ειδική πνευμονία και ως χρόνια κοκκιωματώδης νόσος με ενδεχόμενη κατάληξη τη διάχυτη διάμεση ίνωση. Όμως υπάρχει και η κατηγορία των ασθενών που εμφανίζουν απλά ευαισθητοποίηση στο βηρύλλιο. Η IARC (International Agency for Research on Cancer) κατέταξε επίσης το βηρύλλιο στην κατηγορία ένα ως καρκινογόνο ουσία για τον άνθρωπο.

Το βηρύλλιο είναι ένα από τα πιο τοξικά στοιχεία του περιοδικού πίνακα που σε ευαίσθητα άτομα προκαλεί: (α) μια αλλεργική ανοσολογική απάντηση γνωστή ως ευαισθητοποίηση στο βηρύλλιο, (β) μια οξεία νόσο που προσομοιάζει με οξεία πνευμονίτιδα μετά από έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις βηρυλλίου, που σπάνια συναντώνται σήμερα στη μοντέρνα βιομηχανία και (γ) χρόνια βηρυλλίωση που οφείλεται σε έκθεση είτε σε υψηλές είτε σε χαμηλές συγκεντρώσεις [32]. Η έκθεση στο βηρύλλιο επίσης προκαλεί μια μορφή ασθένειας του δέρματος που χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση κονδυλωμάτων και κακή επούλωση πληγών.

Η χρόνια βηρυλλίωση είναι πολυσυστηματική, κοκκιωματώδης νόσος, αποδίδεται σε αυτοάνοση διαταραχή και μόνο 0,4-2% των εκτιθεμένων στο βηρύλλιο εμφανίζει νόσο. Το βηρύλλιο απορροφάται δια μέσου των πνευμόνων ή του δέρματος, αλλά ποτέ από τη γαστρεντερική οδό. Συμπλέγματα βηρυλλίου με πρωτεΐνες εναποτίθενται στο ήπαρ, στο σπλήνα και στα οστά, ενώ μικρό ποσοστό αυτών παραμένει στους πνεύμονες. Αποβάλλεται κυρίως με τα ούρα, αλλά και από τους πνεύμονες.



Όταν λαμβάνεται από το στόμα, το βηρύλλιο έχει μικρή απορροφισιμοτητα, ώστε δεν είναι τοξικό. Σε δόση 5 μgr ανά χλgr πόσιμου ύδατος δεν υπάρχουν παρενέργειες ως προς τη διάρκεια ζωής, τη μακροβιότητα, την εμφάνιση όγκων και τη στάθμη της χοληστερόλης ή του ουρικού οξέος στον ορό του αίματος. Σε μεγάλες δόσεις, το βηρύλλιο, όπως και πολλά άλλα ιχνοστοιχεία, μπορεί να γίνει τοξικό όταν ληφθεί από το στόμα, προκαλώντας σοβαρές ραχίτιδες που δεν αντιδρούν στη βιταμίνη D. Επίσης, σε μερικούς ιστούς το ένζυμο αλκαλική φωσφατάση καταστέλλεται από το βηρύλλιο .

Στο δέρμα, αν υπάρχει λύση της συνέχειας του, προκαλεί κοκκίωμα, που ακολουθείται από ίνωση. Επίσης έχει επίδραση, άγνωστο πώς, στα ενδοκυττάρια ένζυμα. Η έκθεση στο βηρύλλιο είναι δυνατόν να προκαλέσει οξεία ή χρόνια νόσηση.

Η Οξεία νόσος βηρυλλίου (Acute Beryllium Disease -ABD) πρόκειται για οξεία χημική πνευμονίτιδα που οφείλεται σε υψηλή έκθεση σε διαλυτές ενώσεις βηρυλλίου ή σε χαμηλής θερμοκρασίας σχηματισμένα οξειδία του βηρυλλίου (τα οποία δεν είναι εμπορικά διαθέσιμα από το 1950). Η εμφάνιση των συμπτωμάτων είναι συνήθως άμεση, αλλά θα μπορούσε να καθυστερήσει από αρκετές ώρες έως 3 ημέρες. Τα συμπτώματα περιλαμβάνουν δύσπνοια , κόπωση , πυρετό, νυχτερινές εφιδρώσεις και βήχα . Οι δοκιμασίες πνευμονικής λειτουργίας αποκάλυψε αποφρακτική πνευμονοπάθεια με μειωμένη ανταλλαγή αερίων .

Ο περαιτέρω έλεγχος της πνευμονικής λειτουργίας, αποκάλυψε αποφρακτική πνευμονοπάθεια με μειωμένη ανταλλαγή αερίων. Οι περισσότερες από τις περιπτώσεις της ABD είναι πλήρως αντιμετωπίσιμες, ωστόσο , υπήρξαν και θανατηφόρων επεισόδια ή μεταγενέστερη εξέλιξη της σε χρόνια νόσο βηρυλλίου . Έκθεση σε αιώρημα μεταλλικού βηρυλλίου , οξειδίου του βηρυλλίου ή αναθυμιάσεις από κράματα βηρυλλίου ή σκόνης δεν συνδέονται με οξείες ή βραχυπρόθεσμες αντιδράσεις του αναπνευστικού συστήματος . Έκθεση σε αερομεταφερόμενα σωματίδια βηρυλλίου, οξειδίων ή καπνούς κραμάτων δεν σχετίζεται με την εμφάνιση οξείας νόσου ή βραχυπρόθεσμες αναπνευστικές αντιδράσεις.

Η φλεγμονή στους πνεύμονες από εισπνοή ατμών ή σκόνης βηρυλλίου είναι διαφορετική από εκείνη που παράγεται από άλλες επαγγελματικές εκθέσεις, επειδή φαίνεται ότι προσβάλλει μόνον εκείνους με υπερευαισθησία στο βηρύλλιο, αν και τα συμπτώματα μπορεί να μην εμφανιστούν για διάστημα 1-2 δεκαετιών μετά από ακόμη και μια σύντομη έκθεση στο μέταλλο.

Η χρόνια βηρυλλίωση είναι μια συστηματική κοκκιωματώδης νόσος που προκαλείται από ειδική επιβραδυνόμενου τύπου ανοσολογική απάντηση στο βηρύλλιο και μπορεί να εμφανιστεί εντός ολίγων μηνών μέχρι πολλές δεκαετίες μετά την έκθεση. Αν και η ευαισθητοποίηση στο βηρύλλιο δεν αποτελεί αυτή καθαυτή νόσο, ωστόσο θεωρείται πρόδρομος της χρόνιας βηρυλλίωσης. Η χρόνια ασθένεια βηρυλλίου (chronic beryllium disease (CBD), beryllicosis) διαγνώστηκε πρώτη φορά πριν το 1980, όταν εργαζόμενοι παρουσίασαν κλινικά συμπτώματα και αλλαγές στα αποτελέσματα

διαγνωστικών εξετάσεων ( ακτίνες x θώρακα, πνευμονικής λειτουργίας). Το 1951, προτάθηκε ότι η CBD ήταν ένα ανοσο-προκαλούμενη ασθένεια. Ως εκ τούτου, η ευαισθητοποίηση στο βηρύλλιο εξετάζονταν με βάση την αντίδραση σε δερματικό επίθεμα βηρυλλίου (BeBLPT). Η εν λόγω εξέταση, έβγαине θετική σε ποσοστό 100% σε εργαζομένους που πάσχουν από CBD.

Συχνά συγχέεται με τη σαρκοείδωση καθώς εμφανίζουν παρόμοιες ακτινολογικές εικόνες. Επί οξείας πνευμονίτιδας από βηρύλλιο, το μέταλλο, ως καπνός ή σκόνη συμπεριφέρεται ως χημικό ερεθιστικό και προκαλεί φλεγμονή. Λόγω των μέτρων προστασίας που έχουν ληφθεί, η επίπτωση της νόσου έχει σχεδόν εξαφανιστεί. Πρόκειται για αντίδραση επιβραδυνόμενου τύπου που διεγείρει τον πολλαπλασιασμό των T-λεμφοκυττάρων που προκαλούν φλεγμονή, ίνωση, και σχηματισμό μη τυροειδοποιούμενου κοκκιώματος. Οι ασθενείς αναφέρουν βήχα, πνευμονία, αρθραλγίες, κόπωση, και απώλεια βάρους. Από την ακρόαση τρίζοντες. Από τη βιοψία, μη νεκρούμενα κοκκιώματα. Θεραπευτικά, αποφυγή εκθέσεως στο υπεύθυνο περιβάλλον και κορτικοειδή για 4-6 εβδομάδες. Η πρόγνωση κυμαίνεται ευρέως, από την λύση μέχρι την ένδειξη μεταμοσχεύσεως.

Η δυνητικά θανατηφόρος οξεία βηρυλλίωση μπορεί να εκδηλωθεί αιφνίδια, με βήχα, δύσπνοια, απώλεια βάρους, και δερματικές και οφθαλμικές εκδηλώσεις. Η χρόνια βηρυλλίωση χαρακτηρίζεται από το σχηματισμό κοκκιωμάτων στους πνεύμονες και λεμφαδενοπάθειας, επί εκτεθειμένων ατόμων. Η νόσος μπορεί να αναγνωριστεί ως άλλη πνευμονοπάθεια, όπως η σαρκοείδωση, και, γι αυτό μπορεί να απαιτηθούν άλλες διαγνωστικές δοκιμασίες. Η θεραπεία συνίσταται στη χορήγηση κορτικοειδών και υποστήριξη της αναπνοής, και η κατάλληλη αγωγή μπορεί να αποδώσει αποκατάσταση σε διάστημα 10 ή περισσότερων ημερών. Εάν οι πνεύμονες έχουν προσβληθεί σε ικανό βαθμό, για μεγάλο διάστημα ή αφού παρατηρηθούν πολλές εξάρσεις, της χρόνιας μορφής της, μπορεί να παρατηρηθούν συνοσηρότητες από την καρδιά, μέχρις και της αναπτύξεως καρδιακής ανεπάρκειας.

Η ευαισθητοποίηση βηρύλλιο αναφέρεται στη θεωρητικώς αποδεκτή αναγνώριση του βηρυλλίου από το ανοσοποιητικό σύστημα. Μπορεί να ανιχνευθεί μόνο μέσω ενός δερματικού επιθέματος, in-vitro δοκιμή αίματος, ή in-vitro, ή με βρογχική έκπλυση, χρησιμοποιώντας διαλυτά άλατα του βηρυλλίου, όπως ως θειικό άλας βηρυλλίου. Δεν έχει άμεση επίπτωση στην υγεία, δεν θεωρείται ασθένεια ή αναπηρία, ούτε δύναται να προβλέψει μελλοντική εκδήλωση βηρυλλίωσης.

Μόνο οι εργαζόμενοι οι οποίοι έχουν ανοσολογική ευαισθητοποίηση στο βηρυλλίου πιστεύεται ότι θα αναπτύξουν CBD (κάποιας μορφής). Υπάρχουν, όμως, περιπτώσεις ατόμων που διαγνώστηκαν με CBD, παρόλο που δεν είχαν βρεθεί σε ελέγχους BeLPT ή BALLPT.

### Οξεία βηρυλλίωση

Η έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις βηρυλλίου δύναται να προκαλέσει φλεγμονή του ανώτερου και κατώτερου αναπνευστικού συστήματος, βρογχιολίτιδα, πνευμονικό οίδημα και χημική πνευμονίτιδα.

Η προσβολή του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος εμφανίζεται με ρινοφαρυγγίτιδα, ερεθισμό του ρινοφάρυγγα, επίσταξη, μεταλλική γεύση, εξελκώσεις ή και διάτρηση του ρινικού διαφράγματος και γενικότερα παρουσιάζει εικόνα παρόμοια με την ιογενή προσβολή του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος.

Η εικόνα της τραχειοβρογχίτιδας δύναται να εμφανιστεί βαθμιαία ή και ραγδαία και συχνά συνυπάρχει με οξεία πνευμονίτιδα. Η συμπτωματολογία της περιλαμβάνει μη παραγωγικό βήχα, δύσπνοια, αίσθημα οπισθοστερνικού καύσου, η δε ακτινογραφία θώρακα εμφανίζει πάχυνση των τοιχωμάτων των βρόγχων.

Η οξεία πνευμονίτιδα που οφείλεται σε έκθεση σε βηρύλλιο έχει κλινική συμπτωματολογία παρόμοια με την ανωτέρω περιγραφόμενη κλινική εικόνα της τραχειοβρογχίτιδας. Όταν όμως ο ασθενής εκτίθεται σε ποιο υψηλή συγκέντρωση βηρυλλίου, η κλινική εικόνα του είναι βαριά, δηλαδή ο ασθενής είναι κυανωτικός, εμφανίζει ταχύπνοια, ταχυκαρδία και ενίοτε αιματηρή απόχρεμψη. Γενικά παρουσιάζει προοδευτικά επιδεινούμενη δύσπνοια κόπωσης αρχικά και ηρεμίας αργότερα. Η γενική κατάσταση του αρρώστου είναι εξαιρετικά επιβαρυμένη, χωρίς να αποκλείεται και ο θάνατος. Η θνητότητα στην οξεία μορφή της νόσου κυμαίνεται στο 1.0-10%.

Συστηματικά συμπτώματα είναι συνήθη και περιλαμβάνουν ανορεξία, καταβολή δυνάμεων και δεκατική πυρετική κίνηση. Σημειώνεται ότι περίπου το 10% των ασθενών με οξεία βηρυλλίωση μπορεί να μεταπέσει σε χρόνια νόσο.

Κατά τη φυσική εξέταση του θώρακα διαπιστώνονται λεπτοί υγροί ρόγχοι στις βάσεις των πνευμόνων. Η ακτινογραφία θώρακα εμφανίζει ευρήματα συνήθως λίγες εβδομάδες μετά την έκθεση σε βηρύλλιο, που περιλαμβάνουν διάχυτα αμφοτερόπλευρα, κυψειδικά διηθήματα ή εικόνα πνευμονικού οιδήματος. Ακόμα δε μπορεί να παρατηρηθεί και διόγκωση των πυλαίων ίεμφαδένων.

Η παθολογοανατομική εικόνα εμφανίζεται ως μη κοκκιωματώδης πνευμονίτιδα καθώς επίσης και ως εικόνα βρογχιολίτιδας και ενδοκυψελιδικού οιδήματος. Η παρουσία των λεμφοκυττάρων και η δυνατότητα της οξείας νόσου να εξελιχθεί σε χρόνια βηρυλλίωση, κατευθύνει την σκέψη ότι η οξεία πνευμονίτιδα από βηρυλλίωση δεν προκαλεί απλά μια χημική βλάβη στους πνεύμονες, αλλά ίσως την αρχή μιας ανοσολογικής διαδικασίας μέσα στα πλαίσια φλεγμονώδους εξεργασίας.

Η διάγνωση τίθεται με την κλινική εικόνα του ασθενή και το ιστορικό έκθεσης σε βηρύλλιο. Το πρώτο θεραπευτικό βήμα συνίσταται σε απομάκρυνση του ασθενή από το περιβάλλον έκθεσης σε βηρύλλιο. Κορτικοστεροειδή, οξυγονοθεραπεία έως και

μηχανική υποστήριξη της αναπνοής ίσως χρειαστούν. Στις δευτεροπαθείς λοιμώξεις χορηγούνται ευρέως φάσματος αντιμικροβιακά φάρμακα.

Τα κλινικά σημεία και συμπτώματα της οξείας χημικής πνευμονίτιδας μπορεί να υποχωρήσουν σε μερικές εβδομάδες έως και μήνες. Η θνητότητα, στην οξεία μορφή, κυμαίνεται από 1.0-10%. Περίπου 17% των οξέων περιστατικών που περιεγράφηκαν στο «Μητρώο Περιστατικών Βηρυλλίωσης» του Νοσοκομείου της Μασαχουσέτης εξελίχθηκαν σε χρόνια βηρυλλίωση. Τέλος, δεν έχει αποσαφηνισθεί εάν τα άτομα με ιστορικό οξείας βηρυλλίωσης που επιστρέφουν στον ίδιο χώρο εργασίας και με συνεχή έκθεση σε βηρύλλιο είναι ασφαλή ή όχι.

### Χρόνια βηρυλλίωση

Η πιο συνήθης μορφή νόσου από βηρύλλιο είναι η χρόνια βηρυλλίωση CBD (Chronic Beryllium Disease). Πρόκειται για συστηματική κοκκιωματώδη νόσο, που δυναται να προσβάλει πνεύμονες, ήπαρ, δέρμα, σπλήνα, λεμφαδένες, νεφρούς, μυες και άλλα όργανα, έχει δε πολλά κοινά κλινικά, ακτινολογικά και παθολογοανατομικά ευρήματα με την σαρκοείδωση.

Αντίθετα από την οξεία βηρυλλίωση, η χρόνια μορφή της νόσου παρουσιάζεται σε διάστημα λίγων μηνών έως αρκετών χρόνων από τότε που ο ασθενής εκτέθηκε στο βηρύλλιο. Ιστορικά η χρόνια βηρυλλίωση περιγράφηκε αρχικά το 1946 από τους Hardy και Tabershaw με παρατηρήσεις σε εργαζόμενους στην κατασκευή φθοριζόντων ηλεκτρικών λαμπτήρων το 1946.

### Κλινική εικόνα

Ο ασθενής παρουσιάζει προοδευτικά επιδεινούμενη δύσπνοια προσπάθειας, βήχα παραγωγικό ή μη, θωρακικό άλγος και αίσθημα κόπωσης. Συστηματικά συμπτώματα όπως η ανορεξία, απώλεια βάρους, πυρετός, αρθραλγίες, πληκτροδακτυλία και νυκτερινοί ιδρώτες είναι δυνατόν να εμφανιστούν.

Σε σοβαρές περιπτώσεις, οι διογκωμένοι λεμφαδένες των πυλών και του μεσοθωρακίου πιέζουν τις πνευμονικές αρτηρίες και δημιουργούν θωρακικό πόνο, σημεία πνευμονικής υπέρτασης και γενικότερα συμπτωματολογία που μιμείται την πνευμονική εμβολή. Η χρόνια βηρυλλίωση μπορεί στο τελικό στάδιο να συνοδεύεται από χρόνια πνευμονική καρδιά και καρδιακή ανεπάρκεια. Κατά την φυσική εξέταση του θώρακα, διαπιστώνονται και στις δυο βάσεις των πνευμόνων τρίζοντες.

Η προσβολή του δέρματος περιλαμβάνει εξελκώσεις και σχηματισμό υποδόριων κοκκιωματωδών διηθήσεων, εκδηλώσεις που είναι ανεξάρτητες από την παρουσία ή μη πνευμονικής παρεγχυματικής βλάβης. Σε αντίθεση με τη σαρκοείδωση, οζώδες ερυθημα και επιπεφυκίτιδα δεν έχει αναφερθεί στη χρόνια βηρυλλίωση. Επίσης μπορεί να εμφανιστεί υπερασβεσταιμία, υπερασβεστιουρία και επασβέστωση των νεφρών. Ραγοειδοπαρωτιδικός πυρετός δεν παρατηρείται στη βηρυλλίωση, η δερμοαντίδραση στη φυματίωση δεν επηρεάζεται από τη βηρυλλίωση ενώ στη

σαρκοείδωση είναι συνήθως αρνητική. Η προσβολή του ήπατος προκαλεί ηπατομεγαλία (10% των ασθενών).

Η χρόνια νόσος από βηρύλλιο δύναται να διαγνωστεί' σε πρώιμο στάδιο μέσω της δοκιμασίας BeLPT στο αίμα, ακόμα και σε ασυμπτωματικούς ασθενείς κατά τη διάρκεια προληπτικού ελέγχου, που διενεργείται στους εργαζόμενους εργοστασίων επεξεργασίας προϊόντων βηρυλλίου.

Η διάγνωση τίθεται με την διενέργεια της δοκιμασίας πολλαπλασιασμού των λεμφοκυττάρων σε εργάτες που έχουν ιστορικό έκθεσης σε βηρύλλιο (Beryllium Lymphocyte Proliferation Testing). Πρόκειται για μια δοκιμασία κατά την οποία κύτταρα περιφερικού αίματος ή βρογχοκυψελιδικού εκπλύματος, ατόμων που έχουν εκτεθεί σε βηρύλλιο, καλλιεργούνται παρουσία αλάτων βηρυλλίου και παρατηρείται πολλαπλασιασμός των λεμφοκυττάρων που διατηρούν «μνήμη» από προηγούμενη έκθεση στο βηρύλλιο.

Ο προσδιορισμός των επιπέδων βηρυλλίου στους ιστούς η στα ούρα έχει αποδειχθεί' ανεπαρκής ως διαγνωστική μέθοδος, διότι υψηλά επίπεδα μπορεί να βρεθούν σε εργαζόμενους εργοστασίου βηρυλλίου που πάσχουν από άλλη νόσο και χαμηλά επίπεδα σε πρώην εργαζόμενους σε βηρύλλιο που έχουν βηρυλλίωση.

Η χρήση λέιζερ μαζικής φασματομετρίας για ανάλυση του περιεχομένου των κοκκιωμάτων επέτρεψε την πιστοποίηση της ύπαρξης του βηρυλλίου στα κοκκίωματα, διαφοροποιώντας τα από αυτά της σαρκοείδωσης.

#### Παθολογοανατομική εικόνα

Η παρουσία μη τυροειδοποιημένου κοκκιώματος είναι χαρακτηριστική της χρόνιας νόσου από βηρύλλιο αλλά είναι δύσκολο να διακριθεί από το κοκκίωμα της σαρκοείδωσης. Μόνο η χρήση λέιζερ μαζικής φασματογραφίας μπορεί να βοηθήσει.

Σ' ένα αρχικό στάδιο, φαίνονται ιδιαίτερα θυλάκια των επιθηλιοειδών κυττάρων, που περιβάλλονται από λεμφοκύτταρα και πλασματοκύτταρα στους διάμεσους ιστούς και τα κυψελιδικά τοιχώματα. Παρόμοιες εικόνες βρίσκονται στους λεμφαδένες, τις δερματικές βλάβες, το ήπαρ και το σπλήνα. Τα γιγαντοκύτταρα τύπου Langhans αναπτύσσονται από την τήξη των επιθηλιοειδών κυττάρων, και μπορούν να εμφανιστούν ως σώματα κυττάρων σαρκοειδικού τύπου. Αυτά τα ιστολογικά γνωρίσματα είναι όμοια με εκείνα της σαρκοείδωσης. Καθώς η νόσος εξελίσσεται, εμφανίζεται διάμεση πνευμονική ίνωση, που μπορεί να προχωρήσει σε διάσπαρτη λοβιώδη καταστροφή και εικόνα μελικηρήθρας.

Συνήθης θέση λήψης βιοψίας είναι οι περιοχές των πνευμόνων, που παρουσιάζουν στον ακτινολογικό έλεγχο τη μεγαλύτερη εντόπιση της νόσου. Επί κλινικής υποψίας και με λεμφοκυτταρική επικράτηση στο BAL συνιστάται επανάληψη της προσπάθειας λήψης βιοψίας πνεύμονα. Σε σπάνιες περιπτώσεις ίσως είναι απαραίτητη η VATS ή και ανοικτή βιοψία πνεύμονα. Πάντοτε θα πρέπει να

στέλνονται δείγματα για έλεγχο προσβολής του πνεύμονα από μυκοβακτηρίδια και μύκητες.

#### Βρογχοκυψελιδικό έκπλυμα (BAL)

Όταν τεθεί η υποψία χρόνιας νόσου από βηρύλλιο CBD (Chronic Beryllium Disease), τότε η διενέργεια βρογχοσκόπησης και η λήψη βρογχοκυψελιδικού εκπλυματος καθίσταται επιτακτική. Τα στοιχεία που βρίσκονται στο BAL επί εδάφους χρόνιας βηρυλλίωσης είναι η παρουσία λευκοκυττάρων με λεμφοκυτταρική επικράτηση, 80% περίπου, (κυρίως CD4+ Tcells). Τα ευρήματα αυτά είναι παρόμοια με αυτά που ανευρίσκονται στη σαρκοείδωση και σε μερικές περιπτώσεις πνευμονίτιδας εξ' υπερευαισθησίας.

Σε αντίθεση όμως με τα ανωτέρω νοσήματα, τα κύτταρα του BAL σε ασθενή με CBD πολλαπλασιάζονται ως απάντηση σε έκθεση σε άλατα βηρυλλίου (BeLPT) [33]. Δείκτες του φλεγμονώδους φορτίου των πνευμόνων είναι το μέγεθος της κυτταροβρίθειας του BAL, της λεμφοκυττάρωσης και της απάντησης των κυττάρων στα άλατα βηρυλλίου. Αυτές οι παράμετροι ίσως βοηθήσουν στην πρόγνωση της νόσου καθώς και στην εκτίμηση της απάντησης στη θεραπεία.

Οι κύριοι λόγοι λοιπόν που καθιστούν αναγκαία τη βρογχοσκόπηση και τη λήψη βρογχοκυψελιδικού εκπλυματος σε ασθενή με πιθανή CBD είναι η διενέργεια της δοκιμασίας BeLPT στο BAL καθώς και η λήψη βιοψιών.

#### Εργαστηριακά ευρήματα

Εκτός από την δοκιμασία BeLPT και τα ευρήματα από το BAL υπάρχουν και μη ειδικά εργαστηριακά και κλινικά ευρήματα, τα οποία δυνανται να χαρακτηρίσουν κάποιες περιπτώσεις CBD.

1. Υπερουριχαιμία.
2. Αύξηση ανοσοσφαιρινών ορού.
3. Υπερασβεστιαϊμία.
4. Υπερασβεστιουρία.
5. Διαταραχές ηπατικών ενζυμων.
6. Πολυερυθραιμία σε προχωρημένες περιπτώσεις πνευμονικής καρδιάς.

ΗΚΓ ευρήματα του τυπου υπερτροφία δεξιών καρδιακών κοιλοτήτων, διαταραχές αγωγιμότητας, με ενδεχόμενη καρδιακή ανακοπή και αιφνίδιο θάνατο.

1. Πληκτροδακτυλία σπάνια.
2. Πνευμοθώρακας, πνευμονική καρδιά (επιπλοκές προχωρημένης νόσου).
3. Αύξηση SACE.

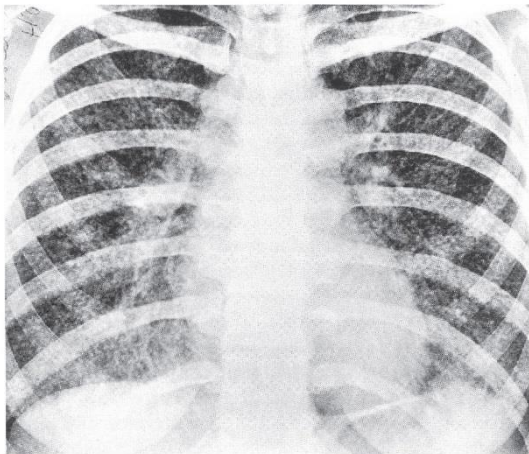
Η καρδιοαναπνευστική δοκιμασία κόπωσης είναι ο πιο ευαίσθητος δείκτης προσβολής του αναπνευστικού συστήματος ακόμα και εάν ο ασθενής διαθέτει φυσιολογικούς αναπνευστικούς όγκους, σπιρομέτρηση και διάχυση. Οι συνήθεις διαταραχές περιλαμβάνουν μειωμένη ανοχή στην άσκηση, χαμηλή κατανάλωση

οξυγόνου (VO<sub>2</sub>), αποκορεσμό και αυξημένη κυψελιδο-αρτηριακή διαφορά οξυγόνου.

#### Ακτινολογική εικόνα

Η ακτινολογική εικόνα της χρόνιας νόσου από βηρύλλιο περιλαμβάνει [34]:

1. Αμφοτερόπλευρα δικτυοζώδη διηθήματα στα μέσα και άνω πνευμονικά πεδία
2. Διόγκωση πυλαίων και μεσοθωρακικών λεμφαδένων (25% των περιπτώσεων)
3. Εικόνα πνευμονικής ινώσεως στους άνω λοβούς.
4. Μείωση πνευμονικών όγκων.
5. Περιβρογχοαγγειακή κατανομή οζιδίων.
6. Πάχυνση μεσολοβιδίων διαφραγματίων.
7. Εικόνα θολής υαΐου.
8. Πάχυνση τοιχώματος βρόγχων.
9. Σπάνια πνευμοθώρακα.



Εικόνα 46. Χρόνια βηρυλλίωση. Παρατηρούνται διάχυτα οζίδια με διόγκωση αυλαίων και μεσοθωρακικών λεμφαδένων.

#### Λειτουργικός έλεγχος αναπνοής

Οι διαταραχές που παρατηρούνται στη φυσιολογία της αναπνοής σε χρόνια νόσο από βηρύλλιο είναι τυπικές των λοιπών διάμεσων πνευμονοπαθειών και κυρίως της πνευμονίτιδας εξ υπερευαισθησίας και της σαρκοείδωσης.

Σε πρώιμα στάδια της νόσου διαπιστώνεται συνήθως ήπιο αποφρακτικού τύπου πρότυπο με φυσιολογικούς πνευμονικούς όγκους. Η παρουσία περιοριστικού τύπου προτύπου παρουσιάζεται συνήθως σε προχωρημένη νόσο. Όμως δύναται να παρατηρηθεί και μικτού τύπου διαταραχή αερισμού (περιοριστικού και αποφρακτικού τύπου). Διαταραχή διάχυσης (DLco) παρατηρείται συνήθως σε προχωρημένη νόσο.

Όπως προκύπτει από τη διαχρονική εξέλιξη της νόσου, η ακτινογραφία θώρακα δεν είναι χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση των ασθενών ούτε ακόμα και η υψηλής ευκρίνειας CT θώρακος διότι μπορεί να είναι απολύτως φυσιολογική σε αποδεδειγμένες με βιοψία περιπτώσεις χρόνιας νόσου από βηρύλλιο.

#### Διαγνωστική προσπέλαση

Παλαιότερα για να τεθεί η διάγνωση της χρόνιας βηρυλλίωσης απαραίτητη προϋπόθεση ήταν η παρουσία 4 από τα 6 ακόλουθα κριτήρια, περιλαμβανο- μένου όμως απαραίτητως ενός κριτηρίου από τα 2 πρώτα:

1. Ιστορικό έκθεσης σε βηρύλλιο.
2. Υψηλά επίπεδα βηρυλλίου σε ιστό η σε ουρά.
3. Χαρακτηριστικά ευρήματα στην ακτινολογική απεικόνιση του θώρακα.
4. Λειτουργικός έλεγχος αναπνοής με περιοριστικό ή /και αποφρακτικό πρότυπο ή διαταραχές διαχυσεως.
5. Ανεύρεση πνευμονικών αλλοιώσεων βηρυλλίωσης σε βιοψία πνεύμονα.
6. Κλινική εικόνα συμβατή με χρόνια αναπνευστικό νόσημα.

Όπως όμως αναφέρθηκε, τα ακτινολογικά ευρήματα, η διαταραχή του λειτουργικού ελέγχου της αναπνοής, η κλινική εικόνα και τα παθολογοανατομικά ευρήματα, σε βιοπτικό υλικό δεν είναι ειδικά ούτε και διαγνωστικά για τη χρόνια βηρυλλίωση (Chronic Beryllium Disease). Η δε μέτρηση βηρυλλίου σε ιστούς ή σε ούρα δεν θέτει διάγνωση και είναι μέθοδος με αρκετά τεχνικά προβλήματα.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, τα παλαιά διαγνωστικά κριτήρια υποδιαγιγνώσκουν τη χρόνια βηρυλλίωση, δεν ανιχνεύουν τους ασθενείς με νόσο σε πρώιμο στάδιο που δεν έχουν εμφανή κλινικοακτινολογικά ευρήματα και δεν δυνανται να διακρίνουν τη CBD από κοκκιωματώδη νοσήματα όπως η σαρκοείδωση και η πνευμονίτιδα εξ' υπερευαισθησίας.

Στην δεκαετία του 1980 η εφαρμογή της διαβρογχικής βιοψίας, του βρογχοκυψελιδικού εκπλυματος και των δοκιμασιών BeLPT σε BAL και αίμα έδωσε τη δυνατότητα ασφαλούς διάγνωσης της χρόνιας βηρυλλίωσης με υψηλή ειδικότητα. Στις ημέρες μας, η διάγνωση της CBD τίθεται [35]:

1. με τη θετική δοκιμασία BeLPT σε αίμα ή σε BAL ή τη δερματική δοκιμασία ενδοδερμικών εγχυσεων άλατος του βηρυλλίου (patch test)  
ΚΑΙ
2. παθολογονατομικά ευρήματα συμβατά με CBD

Επισημαίνεται ότι το ιστορικό γνωστής έκθεσης σε βηρυλλιο δεν είναι πλέον τόσο σημαντικό κριτήριο για τη διάγνωση, διότι όπως έχει αποδειχθεί υπάρχουν και ασθενείς που δεν γνωρίζουν ότι έχουν εκτεθεί σε βηρυλλιο στο παρελθόν, η παρουσία όμως των ανοσολογικών κριτηρίων (BeLPT) αναδεικνυει την έκθεση.



Επίσης, τα ανοσολογικά κριτήρια διακρίνουν τη CBD από τα κοκκιωματώδη νοσήματα όπως η σαρκοείδωση, πνευμονίτιδα εξ υπερευαισθησίας, καθώς επίσης παρέχουν τη δυνατότητα να διακρίνουν τα πρώιμα στάδια της νόσου χωρίς την ύπαρξη κλινικοακτινολογικών διαταραχών.

Η δοκιμασία BeLPT στο αίμα ανιχνεύει περίπου 70-94% των περιπτώσεων CPD, ενώ η BeLPT στο BAL θεωρείται από μερικούς ως "gold standard". Παρά ταυτα είναι δυνατόν να έχουμε ψευδώς αρνητικά αποτελέσματα σε καπνιστές, σε ανοσοκατεσταλμένους ασθενείς και ασθενείς με συνυπάρχουσα λοίμωξη αναπνευστικού. Στις περιπτώσεις που οι δοκιμασίες BeLPT στο αίμα και στο BAL θεωρηθούν ψευδώς αρνητικές, τότε διενεργείται το patch test, για να επιβεβαιωθεί η διάγνωση.

Συνιστάται λοιπόν η δοκιμασία ενδοδερμικής έγχυσης άλατος του βηρυλλίου (patch test) σε περιπτώσεις με υψηλή υποψία CBD και μη διαγνωστικές δοκιμασίες BeLPT αίματος και BAL.

Σε περιπτώσεις που η βιοψία πνεύμονα δεν είναι δυνατόν να διενεργηθεί ή είναι μη διαγνωστική, η διάγνωση τίθεται με βάση τις ανοσολογικές δοκιμασίες και την κλινικοακτινολογική εικόνα του ασθενή.

Σημειώνεται ότι η ανίχνευση βηρυλλίου σε βιολογικά δείγματα όπως ούρα, πνευμονικό ιστό, λεμφαδένες δεν έχει πρακτική κλινική αξία, δεδομένης της υψηλής διαγνωστικής αξίας της δοκιμασίας του BeLPT.

Σε επίπεδο καθημερινής κλινικής πρακτικής η εκτίμηση της δραστηριότητας και προόδου της νόσου βασίζεται, σύμφωνα με τους περισσότερους κλινικούς ιατρούς, στο λειτουργικό έλεγχο αναπνοής, της κλινικής εικόνας του ασθενή και τον ακτινολογικό έλεγχο.

#### Επιπλοκές

Οι επιπλοκές που παρατηρούνται στη χρόνια βηρυλλίωση είναι:

1. Πνευμονική καρδιά.
2. Αυτόματος πνευμοθώρακας.
3. Νεφρολιθίαση.
4. Ουρική αρθρίτιδα.

#### Πρόληψη και θεραπεία

Η πρόληψη θεωρείται το πρώτο θεραπευτικό βήμα για την αντιμετώπιση της χρόνιας νόσου από βηρύλλιο (Chronic Beryllium Disease). Η βηρυλλίωση είναι, όπως ελέγχθη, επαγγελματική πάθηση των πνευμόνων γι αυτό πρέπει να αποφεύγεται κάθε περιττή έκθεση του εργαζόμενου στο βηρύλλιο. Ο έλεγχος των χώρων εργασίας, σχετικά με την περιεκτικότητα του περιβάλλοντος σε ατμούς ή σκόνη βηρυλλίου, είναι μεγάλης σημασίας. Θα πρέπει η περιεκτικότητα των εργασιακών χώρων σε βηρύλλιο να διατηρείται στα χαμηλότερα δυνατά επίπεδα, σύμφωνα με το όριο ασφαλείας που

αναφέρθηκε. Επίσης πρέπει και οι εργαζόμενοι να τηρούν όλους τους όρους ασφαλείας (ένδυση, μάσκες, σωματική καθαριότητα) κ.ϊ.π. Κατά το παρελθόν για τους εργαζόμενους σε χώρους επεξεργασίας βηρυλλίου, η προληπτική ιατρική χρησιμοποιούσε τη φυσική εξέταση, την ακτινογραφία θώρακα και τη σπιρομέτρηση. Αποδείχθηκε όμως ότι οι εξετάσεις αυτές δεν είναι επαρκείς για την ανίχνευση της νόσου σε πρώιμο στάδιο. Σήμερα η εφαρμογή της δοκιμασίας BeLPT στο αίμα των εργαζομένων στη βιομηχανία βηρυλλίου είναι σαφώς πιο ευαίσθητη και ειδική μέθοδος με υψηλή θετική προγνωστική αξία. Περίπου 70-94% των περιπτώσεων CBD ανιχνεύονται. Οι εξετάσεις όμως θα πρέπει να επαναλαμβάνονται μία φορά το χρόνο.

Δυστυχώς για τον ήδη νοσούντα δεν υπάρχει ίαση παρά μόνο δυνατότητα προσπάθειας μείωσης της θνησιμότητας δια της αναστολής της φλεγμονώδους διεργασίας και μείωσης της προόδου της ασθένειας με την εφαρμογή της θεραπευτικής μεθόδου.

Στην περίπτωση αυτή, ο εργάτης που νοσεί θα πρέπει να απομακρυνθεί από την εργασία του και επί 15 χρόνια συνεχώς μετά την απομάκρυνσή του να βρίσκεται κάτω από ιατρική παρακολούθηση για το ενδεχόμενο ανάπτυξης χρόνιας βηρυλλίωσης.

Η κορτικοθεραπεία θεωρείται η πλέον αποτελεσματική μορφή θεραπείας. Περισσότερες από 25 δημοσιευμένες μελέτες κατά τα τελευταία έτη παρουσιάζουν την αποτελεσματικότητα των κορτικοστεροειδών στη μείωση των συμπτωμάτων και τη βελτίωση του λειτουργικού ελέγχου της αναπνοής.

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω προ της ενάρξεως της κορτικοθεραπείας συνιστάται η εκτίμηση της έκτασης της νόσου με ακτινολογικό έλεγχο του θώρακα, λειτουργικό έλεγχο της αναπνοής, καρδιοαναπνευστική δοκιμασία κόπωσης και το βασικό εργαστηριακό έλεγχο.

Οι ενδείξεις για έναρξη θεραπείας περιλαμβάνουν:

1. Σοβαρά συμπτώματα όπως έντονος βήχας και δύσπνοια
2. Μειωμένη αντοχή στην άσκηση, διαταραχές αερίων αίματος, διαταραγμένο
3. λειτουργικό έλεγχο αναπνοής
4. Πνευμονική υπέρταση, πνευμονική καρδιά, καρδιακή ή εξωθωρακική συμμετοχή.

Η θεραπεία αρχίζει με πρεδνιζολόνη (ή ισοδύναμο) από το στόμα 0.5-0.6 mgr/Kg καθημερινά. Μετά πάροδο 3-6 μηνών εκτιμάται η απάντηση στη θεραπεία και ακολουθεί σταδιακή μείωση της δόσης της αγωγής μέχρι την άριστη δόση που οδηγεί σε βελτίωση των συμπτωμάτων. Η θεραπεία συνήθως συνεχίζεται δια βίου, επειδή η νόσος υποτροπιάζει μετά τη διακοπή της αγωγής.

Σε πρώιμα στάδια απλής ευαισθητοποίησης σε βηρύλλιο ή ήπιες περιπτώσεις CBD δεν ενδείκνυται η κορτικοθεραπεία αλλά προγραμματίζεται ετήσιος έλεγχος του ασθενή για ενδεχόμενη πρόοδο της νόσου. Σε ασθενείς που αποτυγχάνει η κορτικοθεραπεία ή εμφανίζονται σοβαρές παρενέργειες, άλλοι ανοσοκατασταλτικοί παράγοντες ίσως αποδειχθούν αποτελεσματικοί π.χ. μεθοτρεξάτη.

Η οξυγονοθεραπεία, τα διουρητικά, η βρογχοδιαστολή, ο εμβολιασμός για influenza και πνευμονιόκοκκο, και προγράμματα πνευμονικής αποκατάστασης συνιστώνται αναλόγως της κλινικής συμπτωματολογίας και του σταδίου της νόσου. Τέλος η μεταμόσχευση πνεύμονα πραγματοποιήθηκε επιτυχώς σε μερικές σοβαρές τελικού σταδίου περιπτώσεις CBD.

Στις ημέρες μας, η έρευνα κατευθύνεται και στην αναζήτηση γονιδιακού παράγοντα που ενδεχομένως ευθύνεται για την προδιάθεση των ήδη ευαισθητοποιημένων σε βηρύλλιο ατόμων να αναπτύξουν νόσο ή όχι.

#### Γενετική προδιάθεση

Η γενετική προδιάθεση για τη χρόνια βηρυλλίωση έχει συσχετισθεί με γονίδιο του μεγίστου συμπλέγματος ιστοσυμβατότητας HLA-DP που περιέχει γλουταμικό οξύ στη θέση 69 της β αλυσίδας<sup>37</sup>. Η γλουταμίνη στη θέση 69 στο γονίδιο HLA-DPB1 δεν θεωρείται νόσος. Ωστόσο, όταν υπάρχει επαφή με σκόνη βηρυλλίου οι φορείς του Glu69+ HLA-DPB1 βρίσκονται σε αυξημένο κίνδυνο ανάπτυξης χρόνιας βηρυλλίωσης. Περίπου το 97% των ασθενών με χρόνια βηρυλλίωση είναι Glu69+ HLA-DPB1 θετικοί. Η συχνότητα Glu69+ HLA-DPB1 είναι επίσης αυξημένη σε ευαισθητοποιημένους υγιείς και θεωρείται παράγοντας κινδύνου για πρόοδο από την ευαισθητοποίηση στη χρόνια νόσο.

Υπάρχουν μεταλλάξεις εκτός της γαμετικής σειράς που καλούνται σωματικές μεταλλάξεις, οι περισσότερες από τις οποίες είναι σιωπηλές και είτε δεν προκαλούν έλλειμμα είτε διορθώνονται. Παρόλα αυτά υπάρχουν σωματικές μεταλλάξεις που προκαλούν καρκινογένεση. Τέτοιο παράδειγμα είναι η μετάλλαξη στο MYC γονίδιο που οδηγεί σε υπερέκφραση του c-myc. Το c-myc είναι μια ρυθμιστική πρωτεΐνη που προκαλεί ακετυλίωση των ιστονών και η υπερέκφραση του οδηγεί σε υπερακετυλίωση ιστονών και επακόλουθα σε μεταγραφή ενός αριθμού γονιδίων. Έχει δειχθεί ότι η υπερέκφραση του c-myc είναι σημαντικός παράγοντας στην παθογένεια του μικροκυτταρικού καρκίνου του πνεύμονα. Ωστόσο, ένα μονήρες σύμβαμα, όπως η μετάλλαξη του c-myc δεν είναι αποκλειστικά υπεύθυνο για την καρκινογένεση και γενικότερα στην ογκογένεση του καρκίνου του πνεύμονα εμπλέκονται πολλαπλές γενετικές μεταβολές όπως η μεθυλίωση του DNA, μεταβολές των ιστονών και μετάθεση.

#### Επίπεδα συγκέντρωσης στο περιβάλλον και ανθρώπινη έκθεση

Η έκθεση στο βηρύλλιο είναι μια απολύτως φυσιολογική διαδικασία που οφείλεται σε υπολείμματα βηρυλλίου στο φαγητό, στο νερό και στον αέρα.

### Αέρας

Οι Ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις βηρύλλιο σε αγροτικές τοποθεσίες, στις ΗΠΑ, κυμαίνονται από 0.03 έως 0.06 ng/m<sup>3</sup>. Χαμηλότερα επίπεδα συναντώνται σε λιγότερο βιομηχανοποιημένες χώρες. Επίσης, στις ΗΠΑ, οι συγκεντρώσεις από 0.04 έως 0.07 ng/m<sup>3</sup>, έχουν αναφερθεί σε προασιακό χώρους και 0,1-0,2 ng/m<sup>3</sup> σε αστικές βιομηχανικές περιοχές. Μια έρευνα για τις συγκεντρώσεις βηρυλλίου σε πόλεις της Ιαπωνίας ανέφεραν μέση συγκέντρωση των 0.042 ng/m<sup>3</sup> και μέγιστη συγκέντρωση των 0.222 ng/m<sup>3</sup>. Οι αστικές περιοχές στη Γερμανία είχαν συγκεντρώσεις βηρυλλίου στον αέρα που κυμαίνονταν μεταξύ 0.06 και 0.33 ng/m<sup>3</sup>.

### Νερό

Το Βηρύλλιο είναι, μάλλον, απίθανο να βρεθεί στο φυσικό νερό πάνω από τα επίπεδα ανίχνευσης, εξαιτίας της αδιαλυτότητας των οξειδίων και υδροξειδίων στο φυσιολογικό εύρος pH. Υπάρχουν μόνο περιορισμένα δεδομένα σχετικά με τις συγκεντρώσεις βηρύλλιο στο νερό, εκτός από τις ΗΠΑ, όπου μια συγκεκριμένη έρευνα διεξήχθη για να υποστηρίξει ενδεχόμενη ρύθμιση (Πίνακας 1).

Τα επιφανειακά ύδατα περιέχουν βηρύλλιο σε συγκεντρώσεις μέχρι και 1000 ng/l. Οι συγκεντρώσεις βηρύλλιο κυμαίνονταν από <4 έως 120 ng/l στην περιοχή των Μεγάλων Λιμνών στις ΗΠΑ και από <10 έως 120 ng/l (10-30 ng /l κατά μέσο όρο) στα νερά ποταμών της Αυστραλίας. Με βάση την βάση δεδομένων STORET των Υπηρεσιών Προστασίας του Περιβάλλοντος των Η.Π.Α., για τα έτη 1960-1988, η γεωμετρική μέση συγκέντρωση του συνόλου των βηρυλλίου στα επιφανειακά ύδατα ήταν 70 ng/l. Τα ιζήματα από τις λίμνες στο Ιλλινόις, περιείχε συγκεντρώσεις μεταξύ 1.4 με 7.4 mg/kg. Τα υπόγεια ύδατα στη Γερμανία περιείχαν μια μέση συγκέντρωση βηρυλλίου 8 ng/l. Σσυγκεντρώσεις 30-170 μg/l έχουν αναφερθεί σε βιομηχανικά απόβλητα. Τα στοιχεία που καταγράφονται από την Τσεχική Δημοκρατία δείχνουν ότι η μέση συγκέντρωση του βηρυλλίου σε 19173 δείγματα νερού που ελήφθησαν κατά την περίοδο 2004-2008 ήταν 0.19 μg/l, με ένα μέσο όρο 0.1 μg/l. Στο 11,29% των δειγμάτων, η συγκέντρωση ήταν κάτω από το όριο προσδιορισμού, ενώ οι συγκεντρώσεις σε 101 δείγματα (0,53%) ήταν πάνω από 2 μg/l, με ανώτατο όριο τα 35 μg/l.

### Εκτιμώμενη συνολική έκθεση και η σχετική συμβολή του πόσιμου νερού

Ο γενικός πληθυσμός μπορεί να εκτίθεται σε ίχνη ποσοτήτων του βηρυλλίου με εισπνοή του αέρα, κατανάλωση πόσιμου νερού και τροφίμων, καθώς και ακούσια κατάποση σκόνης. Η εκτιμώμενη συνολική ημερήσια πρόσληψη βηρυλλίου στις ΗΠΑ ήταν 423 ng, με την μεγαλύτερες συνεισφορά να έχουν τα τρόφιμα (120 ng/ημέρα, για κατανάλωση 1200g με μέση συγκέντρωση σε βηρύλλιο περίπου 0.1 ng/g νωπού βάρους). Ακολουθεί το πόσιμο νερό (300 ng/ημέρα, με πρόσληψη 1500g νερού που περιέχει βηρύλλιο κατά 0.2 ng/g). Ο αέρας έχει μικρότερες εισφορές (1.6 ng/ημέρα, με εισπνοή των 20 m<sup>3</sup> αέρα με συγκέντρωση σε βηρύλλιο 0.08 ng/m<sup>3</sup>). Τελευταία

έρχεται η σκόνη (1.2 ng/ημέρα, με πρόσληψη 0.02 g/ημέρα σκόνης με συγκέντρωση σε βηρύλλιο 60 ng/g).

### Κανονισμοί

Με την Οδηγία 78/319/ΕΟΚ, Απόφαση 72751/3054/1985 ΤΟΞΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΟΤΑΝ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΤΙΣ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΟΥΣΙΕΣ

1. Αρσενικό: ενώσεις αρσενικού
2. Υδράργυρος ενώσεις υδράργυροι)
3. Κάδμιο: ενώσεις καδμίου
4. Θάλλιο: ενώσεις θαλλίου
5. **Βηρύλλιο: ενώσεις βηρυλλίου.**
6. Ενώσεις εξασθενούς χρωμίου
7. ...

### Ευρωπαϊκή ένωση

Το ακρώνυμο REACH αφορά στον κανονισμό της Ευρωπαϊκής Κοινότητας για τις χημικές ουσίες και την ασφαλή χρήση τους. Ασχολείται με την καταχώριση, την αξιολόγηση, την αδειοδότηση και τους περιορισμούς των χημικών ουσιών. Ο κανονισμός τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιουνίου 2007. Ο στόχος του REACH είναι η βελτίωση της προστασίας της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος μέσω της καλύτερης και πιο έγκαιρης αναγνώρισης των εγγενών ιδιοτήτων των χημικών ουσιών. Την ίδια στιγμή, το REACH έχει ως στόχο την ενίσχυση της καινοτομίας και της ανταγωνιστικότητας της χημικής βιομηχανίας της ΕΕ. Το σχετικό link είναι: [http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/legislation\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/legislation_en.htm)

Οι οδηγίες σχετικά με τη συλλογή και την ανακύκλωση του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού και για τον περιορισμό ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού – οι λεγόμενες Οδηγίες WEEE και RoHS - έχουν τεθεί σε ισχύ από το 2004. Τον Δεκέμβριο του 2008 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε μια την αναθεώρηση των οδηγιών, η οποία αναμένεται η τελική έγκριση από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο για το δεύτερο εξάμηνο του 2011. Το σχετικό link είναι: [http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm)

Το 1997, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε μια πρόταση οδηγίας, η οποία αποσκοπεί στο να καταστήσει την αποσυναρμολόγηση και ανακύκλωση των οχημάτων πιο φιλικών προς το περιβάλλον, θέτει σαφείς ποσοτικούς στόχους για την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση και την ανάκτηση των οχημάτων και των εξαρτημάτων τους και να ωθήσει τους παραγωγούς να κατασκευάζουν νέα οχήματα με θέα να ανακυκλωθούν. Αυτή η νομοθεσία υιοθετήθηκε επίσημα από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο το Σεπτέμβριο του 2000. Το σχετικό link είναι: [http://ec.europa.eu/environment/waste/elv\\_index.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/elv_index.htm)

Τα Όρια επαγγελματικής έκθεσης (ΟΕΕ) βοηθούν στον έλεγχο της έκθεσης σε επικίνδυνες ουσίες στο χώρο εργασίας, με τον καθορισμό του ανώτατου ποσού συγκέντρωσης (αέρα) μιας ουσίας. Οι οριακές τιμές καθορίζονται σε όλη την ΕΕ, αλλά κάθε κράτος μέλος καθορίζει το δικό του εθνικό ΟΕΕ, συχνά εφαρμόζοντας αυστηρότερους περιορισμούς. Τα ΟΕΕ καθορίζονται από τις αρμόδιες εθνικές αρχές και άλλους σχετικούς θεσμούς. Τα ΟΕΕ μπορεί να είναι δεσμευτικά (που σημαίνει ότι θα πρέπει να τηρούνται), ή ενδεικτικό (δίνοντας μια ιδέα για το τι πρέπει να επιτευχθεί), και μπορούν να εφαρμόζονται τόσο για τα προϊόντα που διατίθενται στην αγορά και για τα απόβλητα και τα υποπροϊόντα που προκύπτουν από τις διαδικασίες παραγωγής. Το σχετικό link είναι: <http://osha.europa.eu/en/topics/ds/oel/members.stm/>

## Ανακύκλωση

Η ανακύκλωση, ως επί το πλείστο από απορρίμματα που παράγονται κατά τη διάρκεια της κατασκευής των προϊόντων βηρυλλίου, μπορεί να καλύψει το 10% της υπάρχουσας ζήτησης. [USGS 2009]. Επίσης, κράματα με χαλκό ή νικέλιο ανακυκλώνονται άμεσα για την παραγωγή νέου κράματος, δεδομένου ότι είναι επωφελές τόσο από οικονομική όσο και την ενεργειακή άποψη. Τα καθαρά μεταλλικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται σε τεχνολογικές εφαρμογές έχουν εξαιρετικά μεγάλη διάρκεια ζωής, και, ως εκ τούτου, αργούν πολύ να ανακυκλωθούν. Μερικά εξ αυτών, λόγω της χρήσης στο διάστημα ή σε στρατιωτικές εφαρμογές, δεν ανακυκλώνονται.

Ωστόσο, η ανάκτηση βηρυλλίου από κράματα βηρυλλίου-χαλκού, που συναντώνται στα ηλεκτρονικά απορρίμματα είναι δύσκολη λόγω του μικρού μεγέθους των εξαρτημάτων, της δυσκολίας διαχωρισμού, τη συνολικά χαμηλή περιεκτικότητα σε βηρύλλιο ανά εξάρτημα και τη χαμηλή περιεκτικότητα σε βηρύλλιο στο κράμα αυτό καθαυτο (κατά μέσο όρο 1.25% βηρύλλιο).

Πίνακας 10. Ποσοστά ανακύκλωσης και ανάκτησης βηρυλλίου

Θραύσματα που καταλήγουν ανακύκλωση	που για	Ανακυκλώσιμη ποσότητα	Ρυθμός ανακύκλωσης στο τέλος της ζωής
14% στις ΗΠΑ παγκοσμίως	75%	10% στις ΗΠΑ, 22-25% παγκοσμίως	7% στις ΗΠΑ, 0% παγκοσμίως

Σε μια προσπάθεια να ποσοτικοποιηθεί η πιθανότητα έκθεσης των εργαζομένων σε ατμοσφαιρικούς ρύπους βηρυλλίου, διεξήχθη μια έρευνα σε τέσσερις εγκαταστάσεις επεξεργασίας χαλκού-βηρυλλίου.

Οι εγκαταστάσεις αυτές εκτελούν μια σειρά από μηχανικές και θερμικές δραστηριότητες κατά τη διάρκεια της κατασκευής των εξαρτημάτων βηρυλλίου που περιέχουν για την βιομηχανία ηλεκτρονικών ειδών. Η μελέτη διαπίστωσε ότι εκατό τοις εκατό ( 100 % ) των 145 δειγμάτων που ελήφθησαν από τις διάφορες κατεργασίες, ήταν κάτω από  $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Στον Πίνακα 11 παρουσιάζεται μια περίληψη των αποτελεσμάτων :

Πίνακας 11. Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων/ τιμών έκθεσης εργαζομένων σε κατεργασίες κραμάτων χαλκού-βηρυλλίου

Αποτελέσματα έκθεσης		
Κατηγορία διεργασίας	Πλήθος δειγμάτων	Θετικά δείγματα ανω του $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Μηχανική		
- Stamping Press Operators	49	0
-Die Repair	27	0

-Assembly	14	0
-Dry Tumble Deburr	4	0
<b>Θερμική</b>		
– Heat Treating (inert atmosphere)	98	0
– Resistance Welding	0	0
<b>Λοιπές</b>		
Επιθεώρηση	17	0
Συσκευασία	17	0

Επιπλέον, μια ακόμα μελέτη διεξήχθη το 2010 σε μια μονάδα ανακύκλωσης ηλεκτρονικών στην ΕΕ. Αυτή η εγκατάσταση επεξεργάζεται απόβλητα ηλεκτρονικών προϊόντων και διαχωρίζει τα υλικά σε περισσότερες κατηγορίες (π.χ. πλαστικά, ατσάλι, χαλκός, αλουμίνιο και πολύτιμα μέταλλα). Στη μελέτη συμμετείχαν συλλογή των δειγμάτων αναπνοής προσωπική ζώνη των εργαζομένων για βηρύλλιο. Όλα τα αποτελέσματα ήταν κάτω από το όριο ανίχνευσης ή το όριο ποσοτικοποίησης και πολύ κάτω από κάθε κανονιστικό όριο.

Πίνακας 12. Έκθεση σε βηρύλλιο κατά την ανακύκλωση

Έκθεση σε βηρύλλιο κατά την ανακύκλωση		
	Πλήθος δειγμάτων	Θετικά δείγματα ανω του 0.2 µg/m <sup>3</sup>
Pre-Sort	9	0
Sorting	31	0
Shredding	16	0
Separation of Value Streams	12	0

Είναι σαφώς εμφανές ότι οι διαδικασίες ανακύκλωσης ηλεκτρονικών εντός της ΕΟΚ δεν παρουσιάζουν κίνδυνο έκθεσης για τους εργαζομένους. Ακόμα και αν μιλάμε για διεργασίες ανακύκλωσης χαλκού, πρέπει να ήμαστε προσεκτικοί για την ύπαρξη βηρυλλίου. Το βηρύλλιο αποτελεί περίπου το 0,15% στο κράμα του χαλκού που χρησιμοποιείται στον ηλεκτρικό εξοπλισμό. Αυτού του είδους ο εξοπλισμός συλλέγεται μαζί με άλλες κατασκευές από χαλκό και ανακυκλώνονται.

Το μεγαλύτερο μέρος των απορριμμάτων ανακυκλώνεται για την αξία του χαλκού. Η ανάκτηση του βηρυλλίου δεν είναι οικονομικά βιώσιμη. Υλικά από καθαρό βηρύλλιο, που χρησιμοποιούνται σε τεχνολογικές εφαρμογές, έχουν εξαιρετικά μεγάλο κύκλο ζωής, και ως εκ τούτου ανακυκλώνονται μετά από μεγάλο διάστημα. Υπάρχουν δε, περιπτώσεις, όπου δεν γίνεται ανακύκλωση (ειδικές στρατιωτικές εγκαταστάσεις, δορυφόροι, κ.λπ.) Σε γενικές γραμμές το βηρύλλιο συλλέγεται και ανακυκλώνεται σχετικά εύκολα, εξοικονομώντας ενέργεια πάνω από 70% σε σχέση με την εκ νέου εξαγωγή από μέταλλευμα.



## Βιβλιογραφία

- [1] Production Statistics - Beryllium Science & Technology Association, BeST, (n.d.). <http://beryllium.eu/about-beryllium-and-beryllium-alloys/facts-and-figures/production-statistics/> (accessed August 6, 2015).
- [2] Project Mercury, Wikipedia Free Encycl. (2015). [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Project\\_Mercury&oldid=674622215](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Project_Mercury&oldid=674622215) (accessed August 6, 2015).
- [3] James Webb Space Telescope, Wikipedia Free Encycl. (2015). [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=James\\_Webb\\_Space\\_Telescope&oldid=673834447](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=James_Webb_Space_Telescope&oldid=673834447) (accessed August 6, 2015).
- [4] N.N. Greenwood, A. Earnshaw, Chemistry of the Elements, Elsevier, 2012.
- [5] Beryllium atom structure, (n.d.). [http://www.grandunifiedtheory.org.il/Book5/html/Beryllium\\_atom\\_structure.htm](http://www.grandunifiedtheory.org.il/Book5/html/Beryllium_atom_structure.htm) (accessed August 6, 2015).
- [6] P. Beiss, V. Behrens, W. Martienssen, Advanced Materials and Technologies: Materials, Subvolume A, Powder metallurgy data, Part 1, Metals and magnets, Springer, 2003.
- [7] H.H. Hausner, Beryllium its Metallurgy and Properties, University of California Press, n.d.
- [8] About Materion Corporation-Advanced Materials Supplier, (n.d.). <http://materion.com/About.aspx> (accessed August 6, 2015).
- [9] NGK Berylco | World leader in Beryllium Copper, (n.d.). <https://www.ngkmetals.com/> (accessed August 6, 2015).
- [10] Lost-wax casting, Wikipedia Free Encycl. (2015). [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lost-wax\\_casting&oldid=676681203](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Lost-wax_casting&oldid=676681203) (accessed August 29, 2015).
- [11] Materion moldMAX® LH High Hardness Beryllium Copper Alloy, (n.d.). <http://www.matweb.com/search/datasheettext.aspx?matguid=af090b73f4794b059b298446ae473775> (accessed August 7, 2015).
- [12] F1 Engine Power Secrets, (n.d.). <http://www.pureluckdesign.com/ferrari/f1engine/> (accessed August 7, 2015).
- [13] Laser, Wikipedia Free Encycl. (2015). <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Laser&oldid=672695895> (accessed August 29, 2015).
- [14] Lasik NYC | Lasik eye surgery | Astoria Medical, Dental & Lasik Center, (n.d.). <http://astoriamedicalcenter.com/lasik-eye-surgery-nyc.php> (accessed August 9, 2015).
- [15] Single Site™ Instrumentation for the da Vinci® Si™ Surgical System | Robotic Surgery for Gallbladder Removal - Surgical Technology - Cholecystectomy | Alta Bates Summit Medical Center | Berkeley - Oakland - San Francisco East Bay Area, (n.d.). <http://www.altabatessummit.org/clinical/robotic-surgery/> (accessed August 9, 2015).

- [16] Deepwater Horizon oil spill, Wikipedia Free Encycl. (2015). [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Deepwater\\_Horizon\\_oil\\_spill&oldid=675343651](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Deepwater_Horizon_oil_spill&oldid=675343651) (accessed August 11, 2015).
- [17] Directional drilling, Wikipedia Free Encycl. (2015). [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Directional\\_drilling&oldid=662377160](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Directional_drilling&oldid=662377160) (accessed August 11, 2015).
- [18] How Thin-film Solar Cells Work - HowStuffWorks, (n.d.). <http://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/thin-film-solar-cell.htm> (accessed August 12, 2015).
- [19] REACH - ECHA, (n.d.). <http://echa.europa.eu/el/regulations/reach> (accessed August 29, 2015).
- [20] CLP - ECHA, (n.d.). <http://echa.europa.eu/web/guest/regulations/clp> (accessed August 29, 2015).
- [21] P.S. Levy, H.D. Roth, P.M.T. Hwang, T.E. Powers, Beryllium and lung cancer: a reanalysis of a niosh cohort mortality study, *Inhal. Toxicol.* 14 (2002) 1003–1015. doi:10.1080/08958370290084755.
- [22] P.S. Levy, H.D. Roth, D.C. Deubner, Exposure to Beryllium and Occurrence of Lung Cancer: A Reexamination of Findings From a Nested Case-Control Study, *J. Occup. Environ. Med.* 49 (2007) 96–101. doi:10.1097/JOM.0b013e31802db595.
- [23] S.C. Brown, M.F. Schonbeck, D. McClure, A.E. Barón, W.C. Navidi, T. Byers, et al., Lung Cancer and Internal Lung Doses among Plutonium Workers at the Rocky Flats Plant: A Case-Control Study, *Am. J. Epidemiol.* 160 (2004) 163–172. doi:10.1093/aje/kwh192.
- [24] D.C. Deubner, H.D. Roth, P.S. Levy, Empirical Evaluation of Complex Epidemiologic Study Designs: Workplace Exposure and Cancer, *J. Occup. Environ. Med.* 49 (2007) 953–959. doi:10.1097/JOM.0b013e318145b28d.
- [25] E. Ward, A. Okun, A. Ruder, M. Fingerhut, K. Steenland, A mortality study of workers at seven beryllium processing plants, *Am. J. Ind. Med.* 22 (1992) 885–904. doi:10.1002/ajim.4700220610.
- [26] W.T. Sanderson, E.M. Ward, K. Steenland, M.R. Petersen, Lung cancer case-control study of beryllium workers, *Am. J. Ind. Med.* 39 (2001) 133–144.
- [27] D.M. Hollins, M.A. McKinley, C. Williams, A. Wiman, D. Fillos, P.S. Chapman, et al., Beryllium and lung cancer: A weight of evidence evaluation of the toxicological and epidemiological literature, *Crit. Rev. Toxicol.* 39 (2009) 1–32. doi:10.1080/10408440902837967.
- [28] Directive 2004/37/EC - carcinogens or mutagens at work - Safety and health at work - EU-OSHA, (n.d.). <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/directive-2004-37-ec-indicative-occupational-exposure-limit-values> (accessed August 29, 2015).
- [29] C.R. Schuler, M.S. Kent, D.C. Deubner, M.T. Berakis, M. McCawley, P.K. Henneberger, et al., Process-related risk of beryllium sensitization and disease in a copper-beryllium alloy facility, *Am. J. Ind. Med.* 47 (2005) 195–205.
- [30] A.K. Madl, K. Unice, J.L. Brown, M.E. Kolanz, M.S. Kent, Exposure-Response Analysis for Beryllium Sensitization and Chronic Beryllium Disease Among

- Workers in a Beryllium Metal Machining Plant, *J. Occup. Environ. Hyg.* 4 (2007) 448–466. doi:10.1080/15459620701354747.
- [31] J.S. Johnson, K. Foote, M. McClean, G. Cogbill, Beryllium Exposure Control Program at the Cardiff Atomic Weapons Establishment in the United Kingdom, *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 16 (2001) 619–630. doi:10.1080/10473220118634.
- [32] Βηρύλλιο, (n.d.). <http://www.emedi.gr/κοινωνικά-θέματα/οικολογία-περιβάλλον/item/4808-βηρύλλιο.html> (accessed July 27, 2015).
- [33] P.E. EPSTEIN, J.H. DAUBER, M.D. ROSSMAN, R.P. DANIELE, Bronchoalveolar Lavage in a Patient with Chronic Berylliosis: Evidence for Hypersensitivity Pneumonitis, *Ann. Intern. Med.* 97 (1982) 213–216. doi:10.7326/0003-4819-97-2-213.
- [34] P.R. Cox, IMAGING OF THE DISEASES OF THE CHEST, 4TH EDITION:, *Shock.* 25 (2006) 427. doi:10.1097/01.shk.0000223841.40770.90.
- [35] M.I. Schwarz, T.E. King, *Interstitial Lung Disease*, PMPH-USA, 2010.

## Παράρτημα: Μέσα ατομικής προστασίας

Ως Μέσα (ή εξοπλισμός) Ατομικής Προστασίας νοείται κάθε εξοπλισμός τον οποίο ο εργαζόμενος πρέπει να φορά ή να φέρει κατά την εργασία για να προστατεύεται από έναν ή περισσότερους κινδύνους για την ασφάλεια και την υγεία του, καθώς και κάθε συμπλήρωμα ή εξάρτημα του εξοπλισμού που εξυπηρετεί αυτό το σκοπό.

Η χρήση των ΜΑΠ πρέπει να θεωρείται ως η τελευταία λύση για την προστασία των εργαζομένων και να χρησιμοποιείται μόνον εφόσον οι κίνδυνοι δεν μπορούν να αποφευχθούν ούτε να περιοριστούν επαρκώς με τεχνικά μέτρα ή μέσα συλλογικής προστασίας ή με μέτρα μεθόδους ή διαδικασίες οργάνωσης της εργασίας.

Κάθε ΜΑΠ πρέπει να είναι κατάλληλο για τους σχετικούς κινδύνους, χωρίς το ίδιο να οδηγεί σε αυξημένο κίνδυνο. Πρέπει να ανταποκρίνεται στις συνθήκες που επικρατούν στο χώρο εργασίας και να ταιριάζει σωστά στο χρήστη.

1. Ο εργοδότης πρέπει να παρέχει τα ΜΑΠ και να πληρώνει κάθε δαπάνη σχετικά με αυτόν, καθώς επίσης και να διασφαλίζει την καλή κατάσταση αυτού από άποψη λειτουργίας και υγιεινής.
2. Η κατάρτιση και η επίδειξη για τη χρησιμοποίηση των μέσων ατομικής προστασίας αποτελεί επίσης υποχρέωση του εργοδότη.

## Γενικές Απαιτήσεις Μέσων Ατομικής Προστασίας

Τα ΜΑΠ πρέπει :

1. Να είναι σύμφωνα με τις εκάστοτε ισχύουσες διατάξεις σχετικά με το σχεδιασμό και την κατασκευή τους από πλευράς ασφάλειας και υγείας.
2. Να είναι κατάλληλα για τους κινδύνους που πρέπει να προλαμβάνονται και η χρήση τους να μη συνεπάγεται νέους κινδύνους.
3. Να επιλέγονται με βάση τις συγκεκριμένες κάθε φορά συνθήκες και ανάγκες.
4. Να προσαρμόζονται στο χρήστη.
5. Να χρησιμοποιούνται μόνο για τις προβλεπόμενες χρήσεις και σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.
6. Να συνοδεύονται με σαφείς οδηγίες χρήσης στην ελληνική γλώσσα.
7. Να συντηρούνται, να επισκευάζονται και να καθαρίζονται τακτικά.
8. Να αντικαθίστανται όταν παρουσιάζουν προχωρημένη φθορά ή έχει λήξει ο επιτρεπόμενος χρόνος χρήσης τους.
9. Να φυλάσσονται σε ειδικές θέσεις ή χώρους με καλές συνθήκες καθαριότητας και υγιεινής.
10. Σε περίπτωση πολλαπλών κινδύνων αν χρησιμοποιούνται περισσότερα του ενός, πρέπει να είναι συμβατά μεταξύ τους και αποτελεσματικά.
11. Σε περίπτωση που τα ΜΑΠ διαθέτουν σύστημα με το οποίο μπορούν να συνδέονται με συμπληρωματικό σύστημα, το εξάρτημα σύνδεσης πρέπει να έχει

μελετηθεί και κατασκευαστεί έτσι ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί μόνο σε σύστημα κατάλληλου τύπου.

12. Τα ΜΑΠ που προορίζονται για χρήση σε εκρηκτική ατμόσφαιρα πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται έτσι ώστε να μην είναι δυνατό να παραχθεί σ' αυτά τόξο ή σπινθήρας προέλευσης ηλεκτρικής ή ηλεκτροστατικής, ή λόγω κρούσης, ο οποίος μπορεί να προκαλέσει ανάφλεξη εκρηκτικού μίγματος.
13. Να προορίζονται για προσωπική χρήση.
14. Τα ΜΑΠ επιτρέπεται να διατίθενται στην αγορά και να τίθενται σε χρήση εφόσον είναι κατάλληλα κατασκευασμένα ώστε να προφυλάσσουν την υγεία και να εξασφαλίζουν την ασφάλεια των χρηστών (χωρίς να θίγεται η υγεία και η ασφάλεια άλλων προσώπων) και εφόσον συντηρούνται κατάλληλα και χρησιμοποιούνται για τον κατάλληλο σκοπό.
15. Τα ΜΑΠ που διατίθενται στην αγορά απαιτείται να φέρουν τη σήμανση CE επ' αυτών και στη συσκευασία τους με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ορατή και ευαναγνώστη και να παραμένει ανεξίτηλη κατά την αναμενόμενη διάρκεια ζωής των μέσων ατομικής προστασίας.
16. Για κάθε μέσο ατομικής προστασίας που διατίθεται στην αγορά, ο κατασκευαστής υποχρεωτικά συντάσσει και παραδίνει ενημερωτικό σημείωμα στην ελληνική γλώσσα που περιέχει χρήσιμα στοιχεία για τα μέσα ατομικής προστασίας, όπως:
  - Τα στοιχεία του κατασκευαστή του μέσου ατομικής προστασίας
  - Τις οδηγίες χρήσης, αποθήκευσης, συντήρησης, καθαρισμού, επιθεώρησης, απολύμανσης.
  - Τις επιδόσεις που επιτεύχθηκαν από τις τεχνικές δοκιμές για τον προσδιορισμό, το επίπεδο ή την κατηγορία προστασίας των μέσων ατομικής προστασίας
  - Τα πρόσθετα εξαρτήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν
  - Τις διάφορες κατηγορίες προστασίας συναρτήσει του επιπέδου κινδύνων και τα όρια εκτός των οποίων αντενδείκνυται η χρησιμοποίηση των μέσων ατομικής προστασίας
  - Την ημερομηνία ή χρονική διάρκεια απόσυρσης των μέσων ατομικής προστασίας
  - Τη συσκευασία της ασφαλούς μεταφοράς
  - Τη σημασία της σήμανσης που υπάρχει

## **Κατά τη χορήγηση των ΜΑΠ και μετά:**

1. Ενημέρωση των εργαζομένων για τους κινδύνους που απειλούν την ασφάλεια και την υγεία τους, τα προληπτικά μέτρα που έχουν ήδη ληφθεί, τα μέτρα και τις προφυλάξεις που πρέπει να τηρούν, καθώς και για τους κινδύνους που παραμένουν σε ορισμένες εργασίες ή θέσεις εργασίας και κάνουν αναγκαία τη χρήση των μέσων ατομικής προστασίας

2. Παροχή οδηγιών για την αποτελεσματική χρήση των ΜΑΠ, με σχετική εκπαίδευση ή και εξάσκηση των εργαζομένων όποτε χρειάζεται.
3. Περιοδικός έλεγχος της σωστής χρήσης τους.
4. Φροντίδα για τη φύλαξή τους σε θέσεις με καλές συνθήκες καθαριότητας και υγιεινής.
5. Διάθεση κατάλληλων διευκολύνσεων και μέσων για τις αναγκαίες συντηρήσεις, επισκευές και καθαρισμούς των σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.
6. Αντικατάστασή τους σε περίπτωση φθοράς ή όταν έχει λήξει ο επιτρεπόμενος χρόνος χρήσης τους.

## **Οι εργαζόμενοι πρέπει:**

1. Να φορούν τα ΜΑΠ όπου απαιτείται για την προστασία της ασφάλειας και της υγείας τους.
2. Να χρησιμοποιούν σωστά τα ΜΑΠ που τίθεται στη διάθεσή τους και μετά τη χρήση να τα τακτοποιούν στη θέση του.
3. Να ακολουθούν πιστά τις οδηγίες χρήσης.
4. Να αναφέρουν αμέσως στους επικεφαλής κάθε παρατηρούμενη ανωμαλία κατά τη χρήση των ΜΑΠ ή άλλη αιτία που δικαιολογεί τη συντήρηση, την επισκευή ή την αντικατάστασή τους.

### Προστασία κεφαλιού

Στις περιπτώσεις που οι εργαζόμενοι εκτίθενται σε κίνδυνο τραυματισμού του κεφαλιού κατά τη διάρκεια της εργασίας πρέπει να εφοδιάζονται με κατάλληλο κράνος ασφαλείας. Ο κίνδυνος αυτός μπορεί να προέλθει κύρια από:

- Πτώση των ιδίων των εργαζομένων
- Πτώση ή εκτίναξη αντικειμένων
- Πρόσκρουση σε αντικείμενο, μηχάνημα ή στοιχείο κατασκευής
- Ηλεκτρισμό

### Προστασία κορμού

Όταν κατά τη διάρκεια της εργασίας υπάρχει κίνδυνος να λερωθούν ή να καταστραφούν τα κανονικά ρούχα των εργαζομένων πρέπει αυτοί να εφοδιάζονται με τα κατάλληλα για το είδος της εργασίας ενδύματα εργασίας όπως :

- Ενδύματα προστασίας από τις κακοκαιρίες όπως σε εργασίες στο ύπαιθρο με βροχή ή κρύο.
- Προστατευτικά ενδύματα που αναφλέγονται δύσκολα για εργασίες συγκόλλησης.
- Προστατευτικά ενδύματα για εκτέλεση εργασιών σε θέσεις με πιθανότητα ύπαρξης εκρηκτικού περιβάλλοντος.
- Δερμάτινες ποδιές για εργασίες συγκόλλησης.

- Γιλέκα, σακάκια και ποδιές προστασίας από τις μηχανικές και χημικές προσβολές.
- Ζώνες συγκράτησης κορμού.

#### Προστασία ματιών και προσώπου

Οι εργαζόμενοι πρέπει να εφοδιάζονται με κατάλληλη προσωπίδα, οθόνη, κατάλληλα γυαλιά (με άχρωμα ή έγχρωμα κρύσταλλα) ή άλλο κατάλληλο ανάλογα με τη φύση της εργασίας, ατομικό μέσο προστασίας όταν υπάρχει κίνδυνος τραυματισμού του προσώπου και των ματιών τους ή βλάβη της όρασής τους από:

- Εκτινασσόμενα σωματίδια.
- Επικίνδυνες ουσίες (καυστικά, ερεθιστικά υγρά, ατμούς κ.λπ.).
- Επικίνδυνες ακτινοβολίες.

#### Προστασία της ακοής

Οι εργαζόμενοι πρέπει να προστατεύονται από τους κινδύνους που προέρχονται ή μπορεί να προέλθουν κατά την εργασία όταν εκτίθενται σε θόρυβο. Ο θόρυβος κατά την εργασία εκτιμάται και εφόσον υπάρχει ανάγκη, μετράται προκειμένου να επισημανθούν οι εργαζόμενοι και οι τόποι εργασίας τους που πιθανόν δημιουργείται πρόβλημα. Τα τρία βασικά είδη Μέσων Ατομικής Προστασίας της ακοής είναι:

1. ωτοασπίδες
2. ωτοβύσματα
3. ωτοπώματα

#### Προστασία αναπνευστικών οδών

Τα Μέσα Ατομικής Προστασίας της αναπνοής διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Αναπνευστήρες με φίλτρο για τον καθαρισμό του εισπνεόμενου αέρα του άμεσου περιβάλλοντος από τα αιωρούμενα τοξικά αέρια ή τη σκόνη
2. Αυτοδύναμες αναπνευστικές συσκευές
3. Αναπνευστικές συσκευές με συνεχή παροχή καθαρού αέρα, μέσω σωλήνα από το εξωτερικό περιβάλλον εκτός του μολυσμένου χώρου εργασίας.

#### Προστασία χερών και βραχιόνων

Οι εργαζόμενοι πρέπει να εφοδιάζονται με κατάλληλα γάντια και όταν χρειάζεται με καλύμματα των βραχιόνων τους ή να τους χορηγούνται ειδικές προστατευτικές κρέμες ανάλογα με τη φύση της εργασίας τους από:

- Ουσίες θερμές, τοξικές, ερεθιστικές ή διαβρωτικές.
- Εκτινάξεις διάπυρων ή αιχμηρών σωματιδίων.
- Κίνδυνο ηλεκτροπληξίας.
- Αντικείμενα, εργαλεία ή μηχανήματα υψηλής θερμοκρασίας ή με επιφάνειες και ακμές αιχμηρές ή κοφτερές.

- Μηχανήματα ή εργαλεία που είναι δυνατόν με άλλο τρόπο να τραυματίσουν τα χέρια (π.χ. με συνεχή τριβή, πρόσκρουση ή δονήσεις όπως κατά των διατρητικών αεροσφυρών)

οδηγίες για την χρήση και συντήρηση των γαντιών

1. Δεν προσφέρουν όλα τα γάντια την ίδια προστασία. Ανάλογα με την εργασία που εκτελείται υπάρχουν και τα κατάλληλα γάντια.
  2. Να γίνεται έλεγχος στα γάντια πριν από κάθε χρήση ώστε να μην υπάρχουν τρύπες στα άκρα και ανάμεσα στα δάκτυλα.
  3. Πριν βγουν τα γάντια, πρέπει πρώτα να ξεπλυθούν με σαπούνι και νερό για να απομακρυνθούν τα χημικά, τα ξένα σώματα κ.λπ., να στεγνώνονται καλά και να αερίζονται.
  4. Να μην στεγνώνονται πάνω σε καλοριφέρ, σόμπα κ.λπ. η διαρκής επίδραση της θερμότητας αλλοιώνει τα γάντια και αυξάνει τη διαπερατότητα.
- Να μην αφήνονται τα γάντια για χημικά γυρισμένα το μέσα έξω. Αυτό μπορεί να παγιδεύσει χημικά ή ατμούς μέσα στα γάντια να σαπίσει το υλικό τους.
6. Να μην αποθηκεύονται τα γάντια με τα μανικέτια διπλωμένα. Η πτυχή εξασθενίζει το υλικό και μπορεί να σκιστούν εύκολα.
  7. Να ελέγχονται τα γάντια που παραμένουν στις αποθήκες και να γίνεται αντικατάσταση των παλιών και χαλασμένων γαντιών.
  8. Τα γάντια του ηλεκτροτεχνίτη πρέπει κάθε 6 μήνες να ελέγχονται για διηλεκτρική αντοχή αν χρησιμοποιούνται συχνά και κάθε 12 αν χρησιμοποιούνται ευκαιριακά.
  9. Εκτός του οπτικού ελέγχου τα γάντια του ηλεκτροτεχνίτη πρέπει κάθε πρωί να ελέγχονται με πίεση αέρα.
  10. Τα γάντια πρέπει να φυλάσσονται σε μέρος ξηρό και σκοτεινό, όπου η θερμοκρασία θα κυμαίνεται μεταξύ 10 και 21 βαθμών C.

Προστασία ποδιών

Ο κίνδυνος τραυματισμού των ποδιών μπορεί να προέλθει από:

- Πτώση αντικειμένων, πρόσκρουση ή σύνθλιψη
- Ουσίες θερμές, τοξικές, ερεθιστικές ή διαβρωτικές
- Καρφιά ή άλλα αιχμηρά υλικά ή επιφάνειες
- Εργαλεία με κοφτερές ακμές (όπως π.χ. τσεκούρια)
- Ολισθηρές επιφάνειες



Ανάλογα με το είδος των προς εκτέλεσης εργασιών επιλέγονται και τα κατάλληλα προστατευτικά υποδήματα ή μπότες για τους εργαζόμενους όπως:

- Υποδήματα, μπότες ασφαλείας
- Υποδήματα, μπότες με συμπληρωματική προστασία του άκρου του ποδιού
- Υποδήματα, μπότες για προστασία από το κρύο
- Υποδήματα, μπότες για προστασία από τα ηλεκτροστατικά φορτία
- Υποδήματα, μπότες με ηλεκτρική μόνωση

# **ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΜΕΣΩΝ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ**

## **1. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΧΕΡΙΩΝ: ΓΑΝΤΙΑ**

### **1.1. ΓΑΝΤΙΑ ΔΕΡΜΑΤΟΠΑΝΙΝΑ**

**1.1.1. Πεδίο χρήσης:** Εργασίες στις οποίες απαιτείται προστασία από απλούς μηχανικούς κινδύνους (τριβές, συμπίεσεις, εκδορές) σε στεγνό περιβάλλον (για εργαζόμενους σε απορριμματοφόρα, οικοδομές, κήπους, μηχανοτεχνίτες).

**1.1.2. Χαρακτηριστικά:** Μήκος περ.20-25 εκ. Πάχος: 1-1,2 mm

Υλικό κατασκευής: παλάμη, δάχτυλα και αντίχειρας από επεξεργασμένο βόειο δέρμα, μανσέτα και εξωτερικό μέρος από βαμβακερό ύφασμα με ελαστική ταινία σύσφιξης στο άνω μέρος της παλάμης

Επίπεδα μηχανικών αντοχών : 2 (τριβή), 1 (κοπή με λεπίδα), 2 (διάχιση), 2 (διάτρηση)

Σήμανση: CE, προμηθευτής, κωδικός προϊόντος, έτος κατασκευής, κωδικοί μηχανικών αντοχών 2-1-2-2, εικονόσημο προστασίας από μηχανικούς κινδύνους



Πρότυπα: EN-388, EN-420

### **1.2. ΓΑΝΤΙΑ ΑΠΟ PVC**

**1.2.1. Πεδίο χρήσης:** για προστασία από χημικούς, μηχανικούς, βιολογικούς κινδύνους (για εργαζόμενους σε απορριμματοφόρα ως εναλλακτική λύση, σε καθαρισμούς κάδων, νεκροταφεία)

**1.2.2. Χαρακτηριστικά:** Μήκος περ.30 εκ., πάχος: 1 mm.

Υλικό κατασκευής: εξωτερικά PVC (πολυβυτιλοχλωρίδιο ή κοινώς βυνίλιο), εσωτερική επένδυση από ανθιδρωτικό υλικό

Μηχανικές αντοχές : 3 (τριβή), 1 (κοπή με λεπίδα), 2 (διάχιση), 1 (διάτρηση)

Σήμανση: CE, προμηθευτής, κωδικός προϊόντος, έτος κατασκευής, κωδικοί μηχανικών αντοχών 3-1-2-1 εικονόσημο προστασίας από μηχανικούς κινδύνους, χημικές

ουσίες και μικροοργανισμούς 




Πρότυπα: EN-388, EN-420, EN-374

### **1.3. ΓΑΝΤΙΑ ΑΠΟ ΝΙΤΡΙΛΙΟ**

**1.3.1. Πεδίο χρήσης:** για προστασία από ισχυρά χημικά ή μικροοργανισμούς (για εργαζόμενους στην καθαριότητα και για ψεκασμούς)

**1.3.2. Χαρακτηριστικά:** Μήκος περ.30 εκ., πάχος: 0,5 mm.

Υλικό κατασκευής: εξωτερικά νιτρίλιο, εσωτερική επένδυση από ανθιδρωτικό υλικό Μηχανικές αντοχές : 3 (τριβή), 1 (κοπή με λεπίδα), 0 (διάχιση), 1 (διάτρηση)

Σήμανση: CE, προμηθευτής, κωδικός προϊόντος, έτος κατασκευής, κωδικοί μηχανικών αντοχών 3-1-0-1, εικονόσημα προστασίας από μηχανικούς κινδύνους, χημικές ουσίες και μικροοργανισμούς   

Πρότυπα: EN-388, EN-420, EN-374.1, EN-374.2, EN-374-3


#### **1.4. ΓΑΝΤΙΑ ΑΠΟ ΥΦΑΣΜΑ & ΝΙΤΡΙΛΙΟ**

**1.4.1. Πεδίο χρήσης:** για προστασία των χεριών σε εργασίες στις οποίες η παλάμη μπορεί να εκτεθεί σε χημικές ουσίες ή σε υγρό περιβάλλον, όπως συνεργεία συντήρησης σε υγρό περιβάλλον, υδραυλικοί, ελαιοχρωματιστές.

**1.4.2. Χαρακτηριστικά:** Μήκος περ.20-25 εκ., πάχος: min 0,5 mm

Υλικό κατασκευής: παλάμη, δάχτυλα και αντίχειρας από νιτρίλιο, μανσέτα και εξωτερικό μέρος από βαμβακερό ύφασμα με ελαστική ταινία σύσφιξης στο άνω μέρος της παλάμης ή ελαστική μανσέτα

Μηχανικές αντοχές : 3 (τριβή), 1 (κοπή με λεπίδα), 2 (διάσχιση), 2 (διάτρηση)

Σήμανση: CE, κατασκευαστής, κωδικός προϊόντος, έτος κατασκευής, κωδικοί μηχανικών αντοχών 3-1-2-2 εικονόσημο προστασίας από μηχανικούς κινδύνους 

Πρότυπα: EN-388, EN-420



#### **1.5. ΓΑΝΤΙΑ ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΜΙΑΣ ΧΡΗΣΕΩΣ**

**1.5.1. Πεδίο χρήσης:** για αντιμετώπιση χημικών ουσιών ή μικροοργανισμών

**1.5.2. Χαρακτηριστικά:** Μήκος περ.20 εκ., υλικό κατασκευής: νιτρίλιο

Μηχανικές αντοχές : αδιάφορο αφού είναι μιας χρήσεως

Μεγέθη: L- XL , Συσκευασία: κουτιά 100/200 τεμ.

Σήμανση: CE, προμηθευτής, κωδικός προϊόντος, έτος κατασκευής, εικονόσημα προστασίας από χημικές ουσίες και μικροοργανισμούς  

Πρότυπα: EN-374



#### **1.6. ΓΑΝΤΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΩΝ**

**1.6.1. Πεδίο χρήσης:** σε συγκολλήσεις για προστασία από μηχανικούς κινδύνους, επαφή με θερμότητα, μικρές εκτοξεύσεις λιωμένων μετάλλων.

**1.6.2. Χαρακτηριστικά:** Μήκος περ.20 εκ., υλικό κατασκευής: ειδικά επεξεργασμένο δέρμα με εσωτερική επένδυση

Μηχανικές αντοχές : 3 (τριβή), 1 (κοπή με λεπίδα), 2 (διάσχιση), 1 (διάτρηση)

Θερμικές αντοχές: 3 (καύση), 1 (επαφή με θερμές επιφάνειες), 3 (θερμότητα με αγωγή), 1 (ακτινοβολούμενη θερμότητα), 4 (μικρές εκτοξεύσεις τηγμένου μετάλλου), X (μεγάλες εκτοξεύσεις τηγμένου μετάλλου)

Σήμανση: CE, κατασκευαστής, κωδικός προϊόντος, έτος κατασκευής, εικονόσημα προστασίας από μηχανικούς κινδύνους και προστασία από θερμότητα  

Πρότυπα: EN-388, EN-420, EN-407

## **1.7. ΓΑΝΤΙΑ ΜΟΝΩΤΙΚΑ**

**1.7.1. Πεδίο χρήσης:** εργασίες σε χαμηλή τάση

**1.7.2. Χαρακτηριστικά:** Μήκος 30 εκ., Υλικό κατασκευής: συνθετικό υλικό χωρίς ραφές  
Κλάση τάσης εργασίας : 00, RC : αυξημένη μηχανική αντοχή, αντοχή σε όζον, οξέα, πετρελαιοειδή, ψύχος

Σήμανση: CE, κατασκευαστής, κωδικός προϊόντος, αριθμός σειράς, έτος και μήνας κατασκευής, κλάση τάσης εργασίας, κωδικός εργαστηρίου

πιστοποίησης, RC,( σήμα διεθνούς ηλεκτροτεχνικής επιτροπής (IEC) 

Πρότυπα: EN-60903

## **2. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΕΦΑΛΗΣ: ΚΡΑΝΗ**

### **2.1. ΚΡΑΝΗ**

**2.1.1. Πεδίο χρήσης:** για προστασία της κεφαλής σε χώρους όπου εκτελούνται εργασίες σε διαφορετικά επίπεδα, σε ηλεκτρολογικές εργασίες, στους απασχολούμενους σε οικοδομικές εργασίες, στους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων, σε εργασίες χρωματισμών, στην αποχέτευση.

**2.1.2. Χαρακτηριστικά:** Υλικό κατασκευής: εξωτερικό κέλυφος από συνθετικό υλικό με σπές αερισμού,  
Κεφαλόδεμα: στερεωμένο στο κέλυφος σε 4 σημεία, δυνατότητα ρύθμισης μεγέθους.

Κατακόρυφοι ιμάντες κεφαλοδέματος από συνθετικές ίνες ή μαλακό πλαστικό. Ρύθμιση ιμάντα αυχένα με κοχλία μιας κίνησης για να ρυθμίζεται αφού έχει φορεθεί. Ανθιδρωτική επένδυση ιμάντα προσώπου από δέρμα, η οποία θα μπορεί να αφαιρείται για να πλένεται.

Προστασία από ηλεκτρικό ρεύμα: 440 vac

Διάρκεια ασφαλούς χρήσης: 3-5 χρόνια μετά την ημερομηνία κατασκευής

Σήμανση: CE, κατασκευαστής, κωδικός προϊόντος, έτος κατασκευής, διηλεκτρική αντοχή: 440 vac, αυτοκόλλητη ετικέτα με πληροφορίες ασφαλούς χρήσης, συντήρησης, αποθήκευσης.

Πρότυπα: EN-397

### 3. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΟΦΘΑΛΜΩΝ: ΓΥΑΛΙΑ- ΑΣΠΙΔΙΑ – ΜΑΣΚΕΣ

#### 3.1. ΓΥΑΛΙΑ-ΜΑΣΚΑ GOGGLES

**3.1.1. Πεδίο χρήσης:** σε εργασίες που απαιτούν προστασία από χημικές ουσίες (υγρές ή σκόνες) ή/και από μηχανικούς κινδύνους (τροχός, τórνος κ.α.), δηλαδή για τους χειριστές εργαλειομηχανών

**3.1.2. Χαρακτηριστικά:** Οπτικός δίσκος: αρκετά μεγάλος ώστε να μην παρεμποδίζεται η ορατότητα, Υλικό κατασκευής οπτικού δίσκου: πολυκαρβονικό ή άλλο πολυμερές

Οπτική κλάση: κατηγορία 1 (κατάλληλος για συνεχή χρήση)

Μηχανική αντοχή: κατηγορία Β, Αντοχή σε τριβή: κατηγορία Κ,

Προστασία από θάμβωση: κατηγορία Ν, Προστασία από τηγμένα μέταλλα/θερμά υγρά: κατηγορία 9

Πλαίσιο στήριξης οπτικού δίσκου: με ιμάντα στερέωσης και προσαρμογής στο κεφάλι και οπές έμμεσου αερισμού, Μηχανική αντοχή: κατηγορία Β

Προστασία από υγρές χημικές ουσίες: κατηγορία 3, Προστασία από σκόνη: κατηγορία 4

Σήμανση: στο πλαίσιο: CE, κατασκευαστής, έτος κατασκευής, Β-3-4 στον οπτικό δίσκο: 1-Β-Κ-Ν-9

Πρότυπα: EN-166

#### 3.2. ΓΥΑΛΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

**3.2.1. Πεδίο χρήσης:** σε εργασίες στο ύπαιθρο τους θερινούς μήνες

**3.2.2. Χαρακτηριστικά:** Οπτικός δίσκος: Υλικό κατασκευής: πολυκαρβονικό ή άλλο πολυμερές Οπτική κλάση: κατηγορία 1 (κατάλληλος για συνεχή χρήση)

Προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία (συμπεριλαμβανομένου του υπέρυθρου φάσματος): 6

Βαθμός απορρόφησης ακτινοβολίας: 2 ή 2,5. Αντοχή σε τριβή: κατηγορία Κ

Βραχίονες: ρυθμιζόμενου μήκους για καλύτερη προσαρμογή Μηχανική αντοχή: κατηγορία F (κρούση χαμηλής ενέργειας)

Σήμανση: στους βραχίονες: CE, κατασκευαστής, έτος κατασκευής, F

στον οπτικό δίσκο: 1-6\_2 (ή 6\_2,5)-F\_K

Πρότυπα: EN-166, EN-169

### **3.3. ΑΣΠΙΔΙΟ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΥΓΡΑ**

**3.3.1. Πεδίο χρήσης:** σε εργασίες συντήρησης και καθαρισμού κάδων απορριμμάτων και των οχημάτων.

**3.3.2. Χαρακτηριστικά:** Οπτικός δίσκος: Υλικό κατασκευής: πολυκαρβονικό ή άλλο πολυμερές, ειδικό στήριγμα προσαρμογής στο κεφάλι.  
Οπτική κλάση: κατηγορία 1 (κατάλληλος για συνεχή χρήση)

Μηχανική αντοχή: κατηγορία F (κρούση χαμηλής ενέργειας)

Προστασία από υγρές χημικές ουσίες: κατηγορία 3, Προστασία από θάμβωση: κατηγορία N, Αντοχή σε τριβή: κατηγορία K

Σήμανση: στο στήριγμα: CE, κατασκευαστής, έτος κατασκευής, F

στον οπτικό δίσκο: 1-F-3-N-K

Πρότυπα: EN-166

### **3.4. ΚΡΑΝΟΣ ΜΕ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟ ΑΣΠΙΔΙΟ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΤΟΞΟ**

**3.4.1. Πεδίο χρήσης:** σε ηλεκτρολογικές εργασίες

**3.4.2. Χαρακτηριστικά:** Η διάταξη αποτελείται από κράνος προστασίας με ενσωματωμένο ασπίδιο προστασίας από ηλεκτρικό τόξο στο εσωτερικό του κράνους το οποίο θα είναι δυνατό να κατεβαίνει και να καλύπτει το πρόσωπο του χρήστη, καθώς και διάταξη χειρισμού μέσω της οποίας ο χρήστης θα ανεβάζει ή θα κατεβάζει το ασπίδιο κατά την κρίση του.

Κράνος: Προστασία από ηλεκτρικό ρεύμα: 440 vac

Κεφαλόδεμα με κατακόρυφους ιμάντες από πλεκτές συνθετικές ίνες και ιμάντες μετώπου και αυχένα από συνθετικό υλικό χαμηλής πυκνότητας. Η προσαρμογή μήκους ιμάντα αυχένα θα γίνεται με κοχλία ρύθμισης που θα βρίσκεται στο πίσω μέρος του ιμάντα αυχένα. Υποσιάγωνο με ρυθμιστή μήκους. Δερμάτινος ή βαμβακερός ιμάντας απορρόφησης ιδρώτα στο μέτωπο. Στο εξωτερικό τμήμα του κελύφους θα υπάρχει η διάταξη με την οποία θα ρυθμίζεται η θέση του ασπίδιου.

Ασπίδιο: Οπτική κλάση: κατηγορία 2 το πολύ (περιορισμένη διάρκεια χρήσης)

Βαθμός κλίμακας : 2-1.2 ή 3-1.2, Μηχανική αντοχή: κατηγορία B(κρούση μέσης ενέργειας), Προστασία από ηλεκτρικό τόξο: κατηγορία 8, Προστασία από θάμβωση: κατηγορία N, Αντοχή σε τριβή: κατηγορία K

Σήμανση: CE, κατασκευαστής, έτος κατασκευής, διηλεκτρική αντοχή: 440 vac,

Πρότυπα: EN-397 (κράνος), EN-166 (ασπίδιο)

### **3.5. ΑΣΠΙΔΙΟ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΕ ΚΛΑΔΕΜΑΤΑ ΜΕ ΒΕΝΖΙΝΟΠΡΙΟΝΟ**

**3.5.1. Πεδίο χρήσης:** για τους απασχολούμενες με το χειρισμό βενζινοπριόνου

**3.5.2. Χαρακτηριστικά:** Οπτικός δίσκος με μεταλλικό πλέγμα. Η προσαρμογή στο κεφάλι θα επιτυγχάνεται με ειδικό στήριγμα.

Υλικό κατασκευής: πολυκαρβονικό ή άλλο πολυμερές

Οπτική κλάση: κατηγορία 1 (κατάλληλος για συνεχή χρήση)

Μηχανική αντοχή: κατηγορία F

Στήριγμα: Μηχανική αντοχή: κατηγορία F (κρούση χαμηλής ενέργειας)

Σήμανση: στο στήριγμα: CE, κατασκευαστής, έτος κατασκευής, F

στον οπτικό δίσκο: 1-F

Πρότυπα: EN-166

### **3.6. ΓΥΑΛΙΑ ΟΞΥΓΟΝΟΚΟΛΛΗΤΩΝ**

**3.6.1. Πεδίο χρήσης:** σε συγκολλήσεις με αέρια (οξυγόνο)

**3.6.2. Χαρακτηριστικά:** Γυαλιά τύπου μάσκας, οι έγχρωμοι φακοί των οποίων μπορούν να ανασηκώνονται (τύπος flip-up) όταν δεν γίνεται οξυγονοκόλληση. Οπτικός δίσκος : Υλικό κατασκευής: πολυκαρβονικό ή άλλο πολυμερές. Οι οπτικοί δίσκοι θα πρέπει να μπορούν να αλλάζουν για να χρησιμοποιείται η κατάλληλη σκίαση ανάλο γμε το είδος της εργασίας και την παροχή αερίου σύμφωνα με τις προβλέψεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN-169.

Οπτική κλάση: κατηγορία 1 (κατάλληλος για συνεχή χρήση)

Βαθμός σκίασης: 4 έως 8

Μηχανική αντοχή: κατηγορία F (κρούση χαμηλής ενέργειας)

Πλαίσιο: Μηχανική αντοχή: κατηγορία F (κρούση χαμηλής ενέργειας) Σήμανση: στο πλαίσιο: CE, κατασκευαστής, έτος κατασκευής, F

στον οπτικό δίσκο: 1-F

Πρότυπα: EN-166, EN-175

## **4. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΝΑΠΝΟΗΣ: ΜΑΣΚΕΣ**

### **4.1. ΜΑΣΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΣΥΓΚΟΛΛΗΤΩΝ**

**4.1.1. Πεδίο χρήσης:** στους ηλεκτροσυγκολλητές

**4.1.2. Χαρακτηριστικά:** Μάσκα που καλύπτει όλο το πρόσωπο με οπτικούς δίσκους που απορροφούν την ακτινοβολία των συγκολλήσεων. Μπορούν να επιλεγούν είτε τύπος που στηρίζεται στο κεφάλι είτε τύπος που κρατιέται με το χέρι (ασπίδιο). Υλικό κατασκευής: fiberglass

Οι έγχρωμοι οπτικοί δίσκοι θα πρέπει να μπορούν να αλλάζουν για να χρησιμοποιείται η κατάλληλη σκίαση ανάλογα με το είδος της εργασίας και την ένταση του ρεύματος.

Οπτική κλάση: κατηγορία 1 (κατάλληλος για συνεχή χρήση)

Βαθμός σκίασης: 9 έως 14

Μηχανική αντοχή πλαισίου: κατηγορία F (κρούση χαμηλής ενέργειας)

Σήμανση: στο πλαίσιο: CE, κατασκευαστής, έτος κατασκευής, F

στον οπτικό δίσκο: 1- 9 έως 14

Πρότυπα: EN-166, EN-175, EN-169

#### **4.2. ΦΙΛΤΡΟΜΑΣΚΑ P1**

**4.2.1. Πεδίο χρήσης:** σε εργασίες που απαιτούν προστασία από τη σκόνη π.χ. οικοδομικές εργασίες

**4.2.2. Χαρακτηριστικά:** Μάσκα τύπου P (έναντι σωματιδίων λευκή) με ενσωματωμένο φίλτρο κατακράτησης σκόνης τύπου 1 (προστασία από μικρές συγκεντρώσεις ρύπων) με διπλό ιμάντα προσαρμογής που θα καλύπτει μύτη, στόμα και πιγούνι.

Υλικό κατασκευής: συνθετικό υλικό, Συσκευασία: 20-30 τεμ.

Σήμανση: η μάσκα και τα φίλτρα θα πρέπει να φέρουν ανεξίτηλα τυπωμένα τα εξής: CE, FF(=Filtering Facepiece)-P1, κατασκευαστής, κωδικός προϊόντος, έτος κατασκευής, Κωδικός Εργαστηρίου Πιστοποίησης. ,

#### **4.3. ΜΑΣΚΑ ΗΜΙΣΕΩΣ ΠΡΟΣΩΠΟΥ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΑΕΡΙΑ**

**4.3.1. Πεδίο χρήσης:** κατά τις εργασίες με χημικές ουσίες και μικροοργανισμούς όπως π.χ. σε απορριμματοφόρα, σε καθαριότητα, νεκροταφεία, βαφές.

**4.3.2. Χαρακτηριστικά:** Κυρίως μάσκα από συνθετικό υλικό με ιμάντες προσαρμογής που θα καλύπτουν μύτη στόμα και πιγούνι. Προτιμάται μάσκα με διπλά φίλτρα (χρώματος καφέ και λευκού): A1P3 (έναντι οργανικών αερίων/ατμών/σωματιδίων και για προστασία σε μικρές συγκεντρώσεις ρύπων) ή A2P3 -εφόσον διαθέτει η κατασκευάστρια εταιρία- έναντι οργανικών αερίων/ατμών/σωματιδίων και για προστασία σε μεσαίες συγκεντρώσεις ρύπων)

Υλικό κατασκευής: συνθετικό υλικό .

Σήμανση: η μάσκα και τα φίλτρα θα πρέπει να φέρουν ανεξίτηλα τυπωμένα τα εξής: CE, FF (filtering facepiece), κατασκευαστής, κωδικός προϊόντος, έτος κατασκευής, ημερομηνία λήξεως φίλτρων, Κωδικός Εργαστηρίου Πιστοποίησης, χρωματικός κωδικός φίλτρων (καφέ και άσπρο)

Πρότυπα: EN-140 για τη μάσκα και EN-141 για τα φίλτρα.

#### **4.4. ΜΑΣΚΑ ΟΛΟΚΛΗΡΟΥ ΠΡΟΣΩΠΟΥ ΜΕ ΦΙΛΤΡΑ**

**4.4.1. Πεδίο χρήσης:** για προστασία από οργανικά και ανόργανα αέρια, ατμούς οξέων, αμμωνία, σωματίδια, δηλαδή για τους απασχολούμενους με τους ψεκασμούς στους κήπους, στις απολυμνήσεις και την αποχέτευση.

**4.4.2. Χαρακτηριστικά:** κυρίως μάσκα από συνθετικό υλικό με ιμάντες προσαρμογής. Καλύπτει όλο το πρόσωπο συμπεριλαμβανομένων και των οφθαλμών. Το κατάλληλο φίλτρο είναι το ABEK2 P3 (A=χρώματος καφέ: έναντι οργανικών αερίων και ατμών, B=γκρι: έναντι ανόργανων αερίων και ατμών, E=κίτρινο: έναντι



HCl (Hydrogen Chloride), H<sub>2</sub>S (Hydrogen Sulfide), K=πράσινο: έναντι αμμωνίας και P=λευκό: έναντι σωματιδίων)

Σήμανση: η μάσκα και τα φίλτρα θα πρέπει να φέρουν ανεξίτηλα τυπωμένα τα εξής: CE, κατασκευαστής, κωδικός προϊόντος, έτος κατασκευής, ημερομηνία λήξεως φίλτρων, Κωδικός Εργαστηρίου Πιστοποίησης. Στα φίλτρα θα υπάρχει και χρωματικός κώδικας.

Πρότυπα: EN-136 για τη μάσκα και EN-141 για τα φίλτρα

#### **4.5. ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ**

**4.5.1. Πεδίο χρήσης:** ως μέσο προστασίας έκτακτης ανάγκης (π.χ.επέμβαση σε πυρκαγιά).

**4.5.2. Χαρακτηριστικά:** Θα αποτελείται από τη φιάλη υψηλής πίεσης αέρα, τη μάσκα ολόκληρου προσώπου, το μειωτήρα πίεσης, τον αεροπνεύμονα, τις προειδοποιητικές διατάξεις και στο σύστημα ανάρτησης. Το σύστημα θα λειτουργεί απομονώνοντας το χρήστη από τους ρύπους και τροφοδοτώντας τον με πεπιεσμένο αέρα που, μέσω του μειωτήρα και του αεροπνεύμονα, θα έχει μικρή πίεση ώστε να καθίσταται αναπνεύσιμος.

Σήμανση: CE, κατασκευαστής, κωδικός προϊόντος, έτος κατασκευής, αριθμός παρτίδας, Κωδικός Εργαστηρίου Τυποποίησης. Ειδικά η φιάλη πεπιεσμένου αέρα θα φέρει τη σήμανση που απαιτεί η νομοθεσία.


Πρότυπα: EN-137

### **5. ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΕΝΔΥΜΑΣΙΑ : ΓΙΛΕΚΑ-ΠΟΔΙΕΣ**

#### **5.1. ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΑ ΓΙΛΕΚΑ**

**5.1.1. Πεδίο χρήσης:** για εργασίες κοντά σε κινούμενα οχήματα (καθαριότητα , απορριμματοφόρα), στους απασχολούμενους με ασφαλοστρώσεις, στη σήμανση οδών, στην ύδρευση/αποχέτευση, στους εργάτες κήπων.

**5.1.2. Χαρακτηριστικά:** Γιλέκο με έντονα διακρινόμενο χρώμα ακόμα και σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού, με δύο οριζόντιες λωρίδες από ειδικό ανακλαστικό υλικό. Υλικό κατασκευής: βαμβάκι (15%) και πολυεστέρας (85%)


Σήμανση: CE, κατασκευαστής, κωδικός προϊόντος, έτος κατασκευής, κωδικοί 2-2 (επιφάνεια ανακλαστικού υλικού – συντελεστής αντανάκλασης) και εικονόσημο για αντανακλαστικές ενδυμασίες 

Πρότυπα: EN-340, EN-471

#### **5.2. ΑΔΙΑΒΡΟΧΕΣ ΠΟΔΙΕΣ**

**5.2.1. Πεδίο χρήσης:** στον καθαρισμό (πλύσιμο) των απορριμματοφόρων, οχημάτων, αυτοκινήτων και κάδων απορριμμάτων


**5.2.2. Χαρακτηριστικά:** ποδιές από συνθετικό υλικό

Σήμανση: CE, κατασκευαστής, κωδικός προϊόντος, εργαστήριο πιστοποίησης, έτος κατασκευής, εικονόσημο προστασίας από χημικές ουσίες 

Πρότυπα: EN-340, EN-467

### **5.3. ΠΟΔΙΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΩΝ**

**5.3.1. Πεδίο χρήσης:** στους απασχολούμενους με συγκολλήσεις


**5.3.2. Χαρακτηριστικά:** ποδιές από ειδικά επεξεργασμένο πυρίμαχο δέρμα (κρούτα)  
Σήμανση: CE, κατασκευαστής, κωδικός προϊόντος, εργαστήριο πιστοποίησης, έτος κατασκευής, εικονόσημο προστασίας από θερμότητα 

Πρότυπα: EN-370 EN-470

### **5.4. ΣΤΟΛΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΧΗΜΙΚΑ**

**5.4.1. Πεδίο χρήσης:** στους απασχολούμενους με τους ψεκασμούς στους κήπους και τις απολυμάνσεις, στους απασχολούμενους με τις βαφές

**5.4.2. Χαρακτηριστικά:** ενιαίες στολές (garment) από Τυνec ή ισοδύναμα υλικά που προστατεύουν από πιτσιλίσματα χημικών ουσιών και σκόνες, ενώ παράλληλα προστατεύουν επιτρέπουν την αναπνοή του δέρματος.  
Προστασία από χημικές ουσίες: 4: από αερολύματα (sprays), 5: από στερεά σωματίδια (σκόνες), 6: από πιτσιλίσματα υγρών ουσιών.

Σήμανση: CE, κατασκευαστής, κωδικός προϊόντος, εργαστήριο πιστοποίησης, έτος κατασκευής, κωδικοί 4-5-6, εικονόσημο προστασίας από πιτσιλίσματα χημικών ουσιών 

Πρότυπα: EN-340, EN-463 (EN-368 )

## **6. ΥΠΟΔΗΜΑΤΑ**

### **6.1. ΓΑΛΟΤΣΕΣ**

**6.1.1. Πεδίο χρήσης:** στους απασχολούμενους στην ύπαιθρο υπό βροχή και τους υγρούς χώρους

**6.1.2. Χαρακτηριστικά:** αδιάβροχο υπόδημα τύπου C(=μπότα) 2(=από συνθετικό υλικό), από αντιστατικό υλικό, αβλαβής, άνετη, σταθερή, με προστατευτικό δακτύλων έναντι κρούσης έως 200 J, με κλειστή φτέρνα και τακούνι απορρόφησης μηχανικής ενέργειας, με προστατευτικό σόλας έναντι διάτρησης και αντιολισθητική σόλα με αυλακώσεις .

Σήμανση: CE, κατασκευαστής, κωδικός προϊόντος, έτος κατασκευής, μέγεθος, στη σόλα oil resistant

Πρότυπα: EN-344, EN-345

### **6.2. ΑΡΒΥΛΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ**

**6.3.1. Πεδίο χρήσης:** σε όλους τους απασχολούμενους των τεχνικών συνεργειών ανεξαρτήτως εργασίας.

- 6.3.2. Χαρακτηριστικά:** υπόδημα τύπου Β(=ημιάρβυλο) 1(=από δέρμα), αδιάβροχο, από αντιστατικό υλικό, με ύψος που να προστατεύει τα σφυρά, αβλαβές, άνετο, σταθερό, με προστατευτικό δακτύλων έναντι κρούσης έως 200 J, με κλειστή φτέρνα και τακούνι απορρόφησης μηχανικής ενέργειας, με προστατευτικό σόλας έναντι διάτρησης και αντιολισθητική σόλα με αυλακώσεις. Ειδικά για τους ηλεκτρολόγους, το υπόδημα θα πρέπει να έχει ανταπεξέλθει τη δοκιμή διηλεκτρικής αντοχής 5kV.  
Σήμανση: CE, κατασκευαστής, κωδικός προϊόντος, έτος κατασκευής, μέγεθος, σύμβολο S3.

Πρότυπα: EN-344, EN-345

## 7. ΑΛΛΑ ΑΤΟΜΙΚΑ ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

### 7.1 ΩΤΟΑΣΠΙΔΕΣ

**7.1.1 Πεδίο χρήσης:** υποχρεωτικά όπου ο θόρυβος υπερβαίνει τα 90 dB(A), και δυνητικά όπου ο θόρυβος υπερβαίνει τα 85 dB(A) για οκτάωρη έκθεση του εργαζομένου.

**7.1.2 Χαρακτηριστικά:** κέλυφος και στεφάνη στήριξης στο κεφάλι με δυνατότητα αυξομειώσεως. Ανθιδρωτικές επενδύσεις στους δακτύλιους που έρχονται σε επαφή με το έξω αυτί για να είναι πιο εύχρηστες. Ο προμηθευτής θα πρέπει να προσκομίσει υποχρεωτικά, διάγραμμα με την εξασθένιση του ακουόμενου ήχου ανά οκτάβα συχνοτήτων. Το διάγραμμα πρέπει να συγκριθεί με τα αποτελέσματα της μέτρησης ώστε η χρήση τους να αντιμετωπίζει το συγκεκριμένο θόρυβο.

**Υλικό κατασκευής:** κέλυφος από συνθετικό υλικό

Σήμανση: CE, κατασκευαστής, κωδικός προϊόντος, έτος κατασκευής

Πρότυπα: EN-352-1, EN-352-3 αν προσαρμόζονται σε κράνος.

### 7.2. ΝΙΤΣΕΡΑΔΕΣ

**7.2.1. Πεδίο χρήσης:** στους οδοκαθαριστές, στους εργάτες καθαριότητας, στους εργάτες κήπων και τους κηπουρούς, στους απασχολούμενους με τα ασφαλτικά. (σε όλους τους εργαζόμενους στα τεχνικά συνεργεία)

**7.2.2. Χαρακτηριστικά:** επίπεδα μηχανικών αντοχών: αδιάβροχοποίηση: 3, διαπνοή : 3, αντοχή στη διάσχιση: ..., αντοχή στη διάτρηση: ...

Το σακάκι θα διαθέτει κουκούλα η οποία όταν δεν χρησιμοποιείται θα τοποθετείται σε θήκη στο πίσω μέρος της νιτσεράδας. Θα κλείνει με Velcro ή φερμουάρ, ή πρες μπουτόν και θα διαθέτει τσέπες εσωτερικές, εξωτερικές ή συνδυασμό τους.

Το παντελόνι θα διαθέτει ελαστική μέση.

Υλικό κατασκευής: nylon, pvc, polyester, PU (πολυουρεθάνη) ή συνδυασμός τους.

Σήμανση: Εικονόσημα μηχανικών αντοχών

Πρότυπα: EN-343, EN-340

**7.3. ΕΠΙΓΟΝΑΤΙΔΕΣ**

**7.3.1. Πεδίο χρήσης:** στους υδραυλικούς και στους εργάτες ύδρευσης αποχέτευσης

**7.3.2. Χαρακτηριστικά:** Υλικό κατασκευής: εσωτερικά: από υλικό που επιτρέπει την αναπνοή του δέρματος, εξωτερικά από υλικό αντιολισθητικό, εύκαμπτο, ανθεκτικό στην τριβή και τις χημικές ουσίες. Τα δύο άκρα των επιγονατίδων θα συνδέονται με δύο ζεύγη ιμάντων που θα κλείνουν με Velcro.

**7.4. ΚΑΠΕΛΑ**

**7.4.1. Πεδίο χρήσης:** σε όλους τους εργαζόμενους των τεχνικών συνεργείων

**7.4.2. Χαρακτηριστικά:** Θα είναι πλεκτά με ενιαία πλέξη, θα έχουν λάστιχο συγκράτησης και περιμετρική προέκταση σκίασης τουλάχιστον 10 εκ.

Υλικό κατασκευής: ψάθα καλής ποιότητας που δεν θα φθείρεται