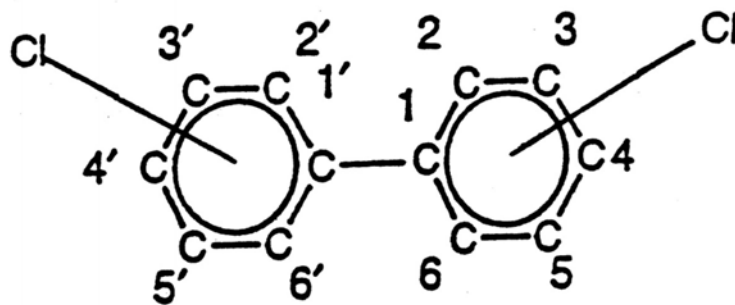


## Τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs): Διαχείριση του κινδύνου

**Κώστας Πούλιος**, Διπλ. Ηλεκτρολόγος - Μηχανικός, Παράρτημα Θεσσαλονίκης  
ΕΛΙΝΥΑΕ

### Γενικά

Τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (αγγλικά: Polychlorinated Biphenyls και σε συντομογραφία: PCBs) με τις εμπορικές ονομασίες **clophen**, **pyralene**, **aroclor**, **kanechlor**, **perchlor** κ.λπ. είναι μία κατηγορία χλωριωμένων υδρογονανθράκων (για την ακρίβεια αρωματικών οργανοχλωριωμένων ενώσεων, βλέπε τη χημική τους δομή στο Σχήμα 1) που περιλαμβάνει πάνω από 200 μέλη. Έχουν μικρή περιεκτικότητα σε χλώριο και είναι υγρά ελαιώδη, σχεδόν αδιάλυτα στο νερό (βλέπε τις φυσικές ιδιότητες τριών PCBs στον Πίνακα 1), άχρωμα ή ελαφρώς κιτρινωπά, με οσμή που πλησιάζει αυτή του χλωρίου. Οι ενώσεις αυτές παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία, δεν είναι πτητικές και συγκεντρώνονται σε ιζήματα χωρίς να αποικοδομούνται βιολογικά.



Σχήμα 1: Δομή των PCBs και αρίθμηση των ατόμων άνθρακα

Ειδικότερα το κλοφέν θεωρείται από τις πλέον τοξικές ουσίες που περιέχονται στη λίστα των 129 επικίνδυνων ρυπαντών η οποία έχει καταρτιστεί από την έγκυρη Υπηρεσία Περιβάλλοντος των ΗΠΑ. Στον αντίστοιχο κατάλογο της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα PCBs περιλαμβάνονται μαζί με άλλες 20 τοξικές ουσίες. Ήδη από το 1970 είχε συνειδητοποιηθεί ο κίνδυνος που συνιστά το κλοφέν, με αποτέλεσμα πρώτες οι ΗΠΑ και η Μ. Βρετανία να προχωρήσουν σε πλήρη απαγόρευση της παραγωγής του, το 1977. Η απαγόρευση αυτή υιοθετήθηκε και σε όλες σχεδόν τις χώρες της ΕΟΚ. Το κλοφέν βρήκε εφαρμογή από τη δεκαετία του 1960 σε κλειστά συστήματα:

- ως διηλεκτρικό υγρό στους μετασχηματιστές και τους πυκνωτές
- ως υδραυλικό υγρό στον εξοπλισμό ορυχείων και
- ως υγρό μεταφοράς θερμότητας σε εναλλάκτες.

Είναι υλικό που παρουσιάζει άριστες μονωτικές ιδιότητες, δεν αναφλέγεται εύκολα, είναι χημικά σταθερό και εμφανίζει υψηλή διηλεκτρική αντοχή. Αυτές ακριβώς οι ιδιότητες συνετέλεσαν στην ταχύτατη διάδοσή του μέχρις ότου διαπιστώθηκε η τοξικότητά του τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το υπέδαφος, την πανίδα και τη

χλωρίδα. Εξαιτίας των ανωτέρω διαπιστώσεων αποφασίστηκε διεθνώς στις αρχές της δεκαετίας του 1980:

α) Να σταματήσει η γενικά η παραγωγή των PCBs.

β) Να αντικατασταθούν τα μηχανήματα που χρησιμοποιούν PCBs με άλλα μη τοξικά.

γ) Να καταστραφούν τα αποσυρόμενα μηχανήματα σύμφωνα με τους διεθνείς κανόνες καταστροφής τοξικών αποβλήτων.

Επειδή όμως η εφαρμογή των αποφάσεων β) και γ) ήταν πρακτικά ανέφικτη λόγω τεχνικών, χωροταξικών αλλά κυρίως οικονομικών αιτιών (η αντικατάσταση ενός τοξικού μηχανήματος στοιχίζει τουλάχιστον το τριπλάσιο της πρωτογενούς αξίας του, χωρίς να ληφθεί υπόψη το κόστος εργατικών) αποφασίστηκε η υλοποίηση της καταγραφής των τοξικών μηχανημάτων με στόχο τη σταδιακή αντικατάστασή τους. Στην πράξη παρέμειναν μέχρι σήμερα πολλά από τα τοξικά μηχανήματα (μετασχηματιστές, πυκνωτές κ.α.) τα οποία συνεχίζουν να μολύνουν το περιβάλλον. Στην Ελλάδα με απόφαση του Ανωτάτου Χημικού Συμβουλίου του Γενικού Χημείου του Κράτους (ΑΧ. Σ 1310 / 86) απαγορεύτηκε η χρήση των PCBs, πλην όμως επιτρέπονταν η κατά παρέκκλιση χρήση τους σε συσκευές μέχρι τις 30/6/86. Είναι επομένως πολύ πιθανή η ύπαρξη του κλοφέν σε ηλεκτρικό εξοπλισμό που αγοράστηκε ή τοποθετήθηκε πριν το 1986 και εξακολουθεί να βρίσκεται σε χρήση ακόμα και σήμερα.

PCB	Μοριακός τύπος	Μοριακό βάρος	Σημείο τήξης (°C)	Πίεση ατμών στους 25 °C (Pa)	Διαλυτότητα στο νερό (mole/L)
Διφαινύλιο	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	154,2	71,0	9,4 * 10 <sup>-1</sup>	4,4 * 10 <sup>-2</sup>
2,2',4,5,5' – Πενταχλωρο διφαινύλιο	C <sub>12</sub> H <sub>5</sub> Cl <sub>5</sub>	326,4	76,5	1,1 * 10 <sup>-3</sup>	4,7 * 10 <sup>-5</sup>
Δεκαχλωροδιφαινύλιο	C <sub>12</sub> Cl <sub>10</sub>	498,7	305,9	6,9 * 10 <sup>-9</sup>	1,3 * 10 <sup>-9</sup>

Πίνακας 1: Οι φυσικές ιδιότητες τριών PCBs.

## Οδηγίες διαχείρισης τοξικών μηχανημάτων

Για συσκευές που βρίσκονται σε χρήση θα πρέπει να ληφθούν τα παρακάτω μέτρα μέχρι την απόσυρσή τους:

1. Να επισημανθούν οι συσκευές που περιέχουν κλοφέν. Η επισήμανση να γίνεται με μεταλλικές πλακέτες οι οποίες θα είναι στερεωμένες στη συσκευή με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνονται αμέσως αντιληπτές.
2. Στην περίπτωση που υπάρχει αμφιβολία για την ύπαρξη ή μη κλοφέν στη συσκευή, ανατρέχουμε στα παραστατικά αγοράς. Αν αυτά δεν υπάρχουν, ο χειρισμός της συσκευής γίνεται όπως στην περίπτωση που περιέχει κλοφέν και αναρτάται πινακίδα με ένδειξη: Άγνωστη ουσία. Πιθανά PCBs.
3. Σε περίπτωση συσκευής της οποίας το περιεχόμενο κλοφέν αντικαταστάθηκε από άλλο υγρό, να γίνει επισήμανση και στην πλακέτα να αναγράφεται το είδος του περιεχόμενου υγρού.
4. Οι συσκευές που περιέχουν κλοφέν πρέπει να ελέγχονται για διαρροές. Σε περίπτωση που διαπιστωθεί διαρροή πρέπει:

- α) Να γίνει συλλογή του υλικού της διαρροής πριν αυτό διαρρεύσει στο δάπεδο.
- β) Να κληθεί ειδικό συνεργείο που θα αποφανθεί για την αναγκαιότητα αντικατάστασης του υγρού και την ασφάλεια της συσκευής.
- γ) Αν διαρρεύσει κλοφέν στο δάπεδο να απαγορευτεί η είσοδος σε άτομα χωρίς προστατευτική ενδυμασία μέχρι να ολοκληρωθεί η διαδικασία απορρύπανσης. Να απομακρυνθούν όλες οι εστίες ανάφλεξης και να αεριστεί η περιοχή της διαρροής. Τέλος να συγκεντρωθεί το υγρό της διαρροής για επαναχρησιμοποίηση ή να απορροφηθεί με άμμο, χώμα κ.λπ. και να διατεθεί σε ελεγχόμενο χώρο όπως προβλέπεται από την ισχύουσα νομοθεσία.
5. Ο χώρος όπου λειτουργούν συσκευές με κλοφέν πρέπει να προστατεύεται από κεραυνούς και πυρκαγιές.
  6. Σε περίπτωση αντικατάστασης του κλοφέν με άλλο υλικό, η αντικατάσταση πρέπει να γίνει από εξουσιοδοτημένη εταιρεία. Το κλοφέν που αντικαταστάθηκε πρέπει να αποθηκεύεται χωριστά σε ειδικό χώρο σύμφωνα με την Υπουργική Απόφαση 72751/3054/85, ΦΕΚ 665/Β ύστερα από αδειοδότηση του ΥΠΕΧΩΔΕ.
  7. Δεν πρέπει ποτέ να αναμιγνύεται το χρησιμοποιημένο κλοφέν με παλιά λάδια μηχανών ή καθαρά ορυκτέλαια.
  8. Οι άχρηστοι μετασχηματιστές ή πυκνωτές δεν πρέπει να απορρίπτονται στα σκουπίδια. Για οποιαδήποτε ενέργεια ενημερώνεται πάντα η Νομαρχία ή το ΥΠΕΧΩΔΕ.
  9. Απαγορεύεται η αγορά καινούριων ή μεταχειρισμένων συσκευών που περιέχουν κλοφέν.
  10. Απαγορεύεται η χρήση του κλοφέν σαν καύσιμο διότι παράγονται τοξικές ουσίες κατά την καύση του.
  11. Σε περίπτωση ατυχήματος πρέπει να ενημερώνονται οι αρμόδιες υπηρεσίες του ΥΠΕΧΩΔΕ.

## **Καταστροφή του κλοφέν**

Η καταστροφή του κλοφέν επιτυγχάνεται με θερμικές, φυσικοχημικές και βιολογικές μεθόδους. Η μόνη μέθοδος που εφαρμόζεται σήμερα διεθνώς σε βιομηχανική κλίμακα, είναι η αποτέφρωση σε υψηλή θερμοκρασία 1000-1200 °C. Διακρίνονται δύο τεχνικές:

**α) Αποτέφρωση στην ξηρά:** Είναι η πλέον διαδεδομένη μέθοδος καταστροφής. Το κλοφέν καίγεται με περίσσεια οξυγόνου σε υψηλές θερμοκρασίες σε ειδικούς αποτεφρωτήρες.

**β) Αποτέφρωση σε πλοίο:** Γίνεται σε πλοία-αποτεφρωτήρες. Η τεχνολογία αυτή δεν είναι ικανοποιητική διότι ο χρόνος παραμονής του κλοφέν για καύση είναι ανεπαρκής. Εφαρμόζεται μόνο σε υγρά απόβλητα που έχουν μολυνθεί από κλοφέν και έχει χαμηλότερο κόστος από την αποτέφρωση στην ξηρά. Επισημαίνεται ότι βάσει του άρθρου 3 της οδηγίας COM 559 τελικό SYN 161 τα κράτη μέλη οφείλουν να λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα για να απαγορεύσουν την αποτέφρωση PCBs σε πλοία από το 1995. Το δυναμικό εξάλειψης των PCBs σε αποτεφρωτήρες ξηράς υπολογίζεται σε 16.000 τόνους για τις χώρες της κοινότητας.

## Επιπτώσεις στο περιβάλλον και τον άνθρωπο

Σύμφωνα με μελέτες, υπάρχει μία συνεχής μετακίνηση των PCBs καθώς και άλλων οργανοχλωριωμένων ενώσεων τόσο ανάμεσα στο νερό και τα ιζήματα, όσο ανάμεσα στο νερό και την ατμόσφαιρα. Εκτιμάται ότι στο περιβάλλον έχουν διασκορπιστεί παγκοσμίως περίπου 370.000 τόνοι PCBs που απαντώνται σε μεγάλο βαθμό σε παράκτια ιζήματα, αλλά και στα ανοικτά των ωκεανών. Το κλοφέν έχει δράση ανάλογη με το DDT και συχνά ανιχνεύεται μαζί του στη θάλασσα και στους θαλάσσιους οργανισμούς. Είναι από τις ανθεκτικότερες ουσίες στη φύση (δεν διασπάται στο φυσικό περιβάλλον) και με έμμεσο τρόπο συσσωρεύεται στον ανθρώπινο οργανισμό συνήθως μέσω της τροφής και του πόσιμου νερού. Ακόμη και όταν καεί, μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό καταστρέφεται και το υπόλοιπο παραμένει στη στάχτη. Άλλωστε, κατά τη διάρκεια της καύσης παράγεται η γνωστή τοξική ουσία διοξίνη. Έχει την ιδιότητα να διεισδύει στο μητρικό γάλα και το αίμα, ενώ μέσω του πλακούντα και του θηλασμού μεταφέρεται στο έμβryo και το νεογέννητο αντίστοιχα. Σύμφωνα με υπολογισμούς επιστημόνων, ακόμα και στην περίπτωση που θα έπαυε κάθε έκθεση σε PCBs, θα ήταν δυνατή η ανίχνευσή τους σε ανθρώπινους ιστούς επί έξι συνεχείς γενιές.

Οι επιπτώσεις στο οικοσύστημα και τον άνθρωπο συνοψίζονται κυρίως στις ακόλουθες:

- Μείωση της φωτοσύνθεσης στο φυτοπλαγκτόν.
- Αύξηση της θνησιμότητας σε ανώτερους θαλάσσιους οργανισμούς.
- Πρόκληση στειρότητας σε θαλάσσιους και χερσαίους οργανισμούς.
- Δημιουργία δυσλειτουργιών και εξασθένηση του ανοσοποιητικού συστήματος σε ανθρώπους και ζώα.
- Καρκίνος του μαστού.
- Προβλήματα ανάπτυξης σε παιδιά.

Το κλοφέν εισέρχεται στον οργανισμό μέσω της εισπνοής, της επαφής με τα μάτια και το δέρμα ή της κατάποσης. Έχει την ιδιότητα να προσρροφάται από το δέρμα, συνεπώς πρέπει να λαμβάνονται όλα τα μέτρα για την αποφυγή της επαφής με τον άνθρωπο. Η απορρόφηση διευκολύνεται ανάλογα με το βαθμό κατακερματισμού των μολυσμένων σωματιδίων. Γενικά τα μικρότερα σωματίδια χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη επικινδυνότητα. Το κλοφέν είναι επίσης δυνατό να προκαλέσει ερεθισμό των ματιών, της μύτης και του λαιμού. Επιπρόσθετα, μπορεί να δημιουργήσει βλάβη στο συκώτι και τα νεφρά, η οποία εκδηλώνεται με κόπωση, σκουρόχρωμα ούρα και ίκτερο. Η κατ' επανάληψη επαφή με το δέρμα μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό. Επιπρόσθετα, έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί εμφάνιση όγκων στο συκώτι και βλάβες στο αναπαραγωγικό σύστημα των πειραματόζωων.

### *Έκθεση ματιών.*

Σε περίπτωση εισόδου κλοφέν στα μάτια, απαιτείται πλύσιμο με πολύ νερό με ταυτόχρονο άνοιγμα των πάνω και κάτω βλεφάρων κατά διαστήματα. Απαγορεύεται η χρήση φακών επαφής σε όσους χειρίζονται κλοφέν.

### *Έκθεση του δέρματος.*

Εάν το κλοφέν έρθει σε επαφή με το δέρμα, χρειάζεται άμεσα καλό πλύσιμο με σαπούνι ή απορρυπαντικό και νερό. Εάν διαβραχούν τα ρούχα, πρέπει να αφαιρεθούν και να πλυθεί το δέρμα όπως περιγράφηκε. Σε περίπτωση που επιμένει ο ερεθισμός απαιτείται ιατρική βοήθεια.

### *Εισπνοή.*

Εάν ένα άτομο εισπνεύσει μεγάλες ποσότητες κλοφέν μεταφέρεται αμέσως στον καθαρό αέρα. Αν δεν αναπνέει εφαρμόζεται τεχνητή αναπνοή και καλείται γιατρός.

*Κατάποση.*

Σε περίπτωση κατάποσης καλείται αμέσως γιατρός. Καλό είναι να προκληθεί εμετός μόνο όμως αν το άτομο έχει τις αισθήσεις του.

## **Επεμβάσεις για αντιμετώπιση του προβλήματος**

Τα μέτρα που μπορούν να ληφθούν από ιδιώτες και δημόσιους φορείς για την αντιμετώπιση του κινδύνου από διαρροή και μόλυνση με κλοφέν είναι:

### **α) Αντικατάσταση του τοξικού μηχανήματος με συσκευή νέας τεχνολογίας.**

Το κόστος αυτής της λύσης είναι πολύ υψηλό όπως αναφέρθηκε, ωστόσο δίνει οριστική λύση στο πρόβλημα.

### **β) Μετατροπή του υπάρχοντος μηχανήματος με προσθήκη συσκευής ΣΑΠ (Συσκευή Απομόνωσης Περιβάλλοντος).**

Η συσκευή ΣΑΠ όπως ονομάζεται εμπορικά, αποτελεί προσωρινή λύση μέχρι την απόσυρση του μηχανήματος λόγω παλαιότητας. Ουσιαστικά πρόκειται για μία επέμβαση στο σύστημα κυκλοφορίας του μονωτικού και ψυκτικού υγρού που δεν επηρεάζει την απόδοση του μηχανήματος. Το ΣΑΠ εμποδίζει την εξάτμιση του κλοφέν ώστε να μην κυκλοφορεί στον αέρα των κτιρίων και μολύνει ανθρώπους και εσωτερικούς χώρους, ενώ σε περίπτωση βλάβης τα τοξικά αέρια παραμένουν εγκλωβισμένα στη συσκευή με ταυτόχρονη ειδοποίηση για τη βλάβη αυτή. Σαν λύση η μετατροπή αυτή είναι σημαντικά οικονομικότερη από την αντικατάσταση του μηχανήματος.

### **γ) Υποκατάσταση κλοφέν στις συσκευές.**

Μια ακόμα λύση που προτείνεται είναι η αντικατάσταση του περιεχόμενου κλοφέν με άλλο κατάλληλο υγρό χαμηλής τοξικότητας. Οι οδηγίες που πρέπει να εφαρμοστούν στην περίπτωση αυτή είναι:

α) Η εκκένωση και επαναπλήρωση των συσκευών πρέπει να γίνεται με τρόπο που να αποφεύγεται η μόλυνση του περιβάλλοντος.

β) Το κλοφέν που περιέχεται στο υγρό υποκατάστασης πρέπει να είναι διαχωρίσιμο με φυσικές ή χημικές μεθόδους.

γ) Το επίπεδο μόλυνσης του νέου υγρού από τα κατάλοιπα του κλοφέν που παρέμεινε στη συσκευή δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 500 ppm.

δ) Οι έλεγχοι του υγρού υποκατάστασης συνεχίζονται για περίοδο 90 ημερών μέχρι να αποδειχθεί ότι τα επίπεδα επιμόλυνσης με κλοφέν είναι χαμηλότερα από 500 ppm.

ε) Κατά την απόσυρση συσκευής στην οποία είχε γίνει υποκατάσταση υγρού υποβάλλονται σε ανάλυση τα τμήματά της. Αν περιέχουν περισσότερο από 50 ppm κλοφέν η συσκευή και το υγρό της πρέπει να καταστραφούν σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις. Σε αντίθετη περίπτωση τα υλικά της συσκευής μπορούν να ανακυκλωθούν.

## **Βιβλιογραφία**

1. Η Ελλάδα του κλοφέν, *Εφημερίδα "ΤΑ ΝΕΑ"* (3/11/1990).
2. Προκαταρκτική ενημερωτική έκθεση: Τα Πολυχλωριωμένα Διφαινύλια στην Ελλάδα, *ΥΠΕΧΩΔΕ – Δ/ση Περιβαλλοντικού σχεδιασμού (1989)*.
3. Πρακτική αντιμετώπιση των τοξικών αναθυμιάσεων μηχανημάτων με P.C.B.C. μέχρι την οριστική επίλυση του προβλήματος αυτού. *Ιωάννης Σαββόπουλος, περιοδικό Επιστήμη και Τεχνολογία*

4. Τα PCBs (κλοφέν), Άνθρωπος και Περιβάλλον. “Δράση” , Μηνιαία έκδοση του Εργατοϋπαλληλικού Κέντρου Αθήνας (2002)
5. Τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) στο περιβάλλον και τους χώρους εργασίας. Ξενοφών Κομηνός, Σπύρος Δοντάς, Υγιεινή και Ασφάλεια της Εργασίας, τεύχος 18 (Απρίλιος-Μάιος-Ιούνιος 2004)

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ - ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ

Τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs, εμπορική ονομασία: κλοφέν), όταν απελευθερώνονται στο περιβάλλον:

- διασπώνται μετά την παρέλευση μηνών
- **πρακτικά δε διασπώνται**
- διασπώνται άμεσα