εφαρμόζονται ως μακροπρόθεσμοι στόχοι ποιότητας, τιμές ενεργοποίησης και τιμές αποκοπής (απαιτείται αποκατάσταση), αντίστοιχα, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.11.

Πίνακας 4.10. Εφαρμογές των τιμών διαλογής χρήσεων γης στις συμμετέχουσες χώρες της ΕΕ

Χώρα	Εφαρμογές Χρήσης Γης για SSV					
	Αγροτική	Φυσική	Αναψυχής	Οικιστική		Βιομηχανική
Αυστρία	Γεωργικές ή κηπουρικές χρήσεις, καθώς και μη αγροτικά οικοσυστήματα	Οικιστικές περιοχές, γήπεδα, παιδότοποι				
Βέλγιο – Φλάνδρα	Αγροτική	Φυσική	Αναψυχής	Οικιστική		Βιομηχανική
Βέλγιο – Βαλονία	Αγροτική	Φυσική	Αναψυχής	Οικιστική		Βιομηχανική
Τσεχία	Αγροτική	Φυσική	Αναψυχής	Οικιστική		Βιομηχανική
Δανία		Γενική				
Φινλανδία		Οικιστική				
Γερμανία	Αγροτική	Χώροι πρασίνου	πάρκα/ αναψυχή	Παιδική χαρά	Οικιστική	Βιομηχανική
Ιταλία		Οικιστική/ζώνες πρασίνου				Εμπορική/ βιομηχανική
Λιθουανία	Αγροτική, αναψυχής και οικιστική					
Πολωνία	Αγροτική και αστικοποιημένη γη	Προστασία της φύσης και των υπόγειων υδάτων	Αγροτική και αστικοποιημένη γη			Βιομηχανική, ορυχεία και μεταφορές
Σλοβακία	Αγροτική	Γενική				
Ισπανία		Φυσική	Αστική/οικιστική			Βιομηχανική
Σουηδία		Ευαίσθητες χρήσης γης				Λιγότερο ευαίσθητες με ή χωρίς προστασία υπόγειων υδάτων
Ολλανδία		Γενική				
Μεγάλη Βρετανία	Περιαστικές καλλιέργειες	Εκτίμηση Οικολογικού Κινδύνου	Οικιστική με ανάπτυξη φυτών	Οικιστική χωρίς ανάπτυξη φυτών		Εμπορική/ βιομηχανική

Συνοπτικά, οι τιμές ελέγχου μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικές κατηγορίες κινδύνου, οι οποίες ονομάζονται ευρέως αμελητέος κίνδυνος, κίνδυνος προειδοποίησης και δυνητικά μη αποδεκτός κίνδυνος. Ωστόσο, η εκτίμηση που προκαλείται από κάθε κατηγορία κινδύνου εξαρτάται από τον εθνικό κανονισμό. Επιπλέον, μπορούν να διακριθούν σε τιμές κινδύνου διαλογής και σε τιμές συγκέντρωσης κινδύνου ανά τοποθεσία. Οι χρήσεις γης για τις χώρες που συμμετείχαν στην έρευνα του ISPRA παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.10.

Πίνακας 4.11. Τιμές διαλογής για αμελητέο κίνδυνο οργανικών προσμίξεων (mg/kg ξηρού βάρους)

	Βέλγιο – Βαλονία	Τσεχία	Ολλανδία	Σλοβακία
Βενζόλιο	0,1	0,03	0,01	
Αιθυλοβενζόλιο	0,1	0,04	0,0021	
Τολουόλιο	0,1	0,03	0,0007	
Ξυλόλιο	0,2	0,03	0,0007	
Ναφθαλένιο		0,05		0,01
Ανθρακένιο		0,1		0,1
Βενζο[a]ανθρακένιο	0,01	0,1		1
Βενζο(g,h,i)περυλένιο	0,01	0,05		10
Βενζο[a]πυρένιο	0,01	0,1		0,1
Τριχλωροαιθυλένιο			0,1	0,01
PCB		0,02	0,02	

Πίνακας 4.12. Τιμές διαλογής για τον κίνδυνο προειδοποίησης για τις σημαντικότερες οργανικές προσμίξεις (οικιακή χρήση) (mg/kg ξηρού βάρους)

	Αυστρία	Βέλγιο Φλάνδρα	Βέλγιο Βαλονία	Τσεχία	Φινλανδία	Γερμανία	Σλοβακία	Δανία	Σουηδία
Βενζόλιο		0,5	0,2	0,5	0,02		0,5	1,5	0,2
Αιθυλοβενζόλιο		5	5,6	25			5		50
Τολουόλιο		15	3,3	50			3		35
Ξυλόλιο		15	2	25			5		60
Βενζο[a]ανθρακένιο		10,5	1	4	1		5		
Βενζο[g,h,i]περυλένιο		3920	3	20			10		
PAH (σύνολο)	1				15		20	4	
PCDD/PCDF (σε ng I-TEQ TeCdd/g)	10			0,1	0,00001	1,000			0,00025
Βενζο[a]πυρένιο	0,5		0,5	1,5	0,2	4	1		
PCB	0,2			2,5	0,1	0,8			4

Πίνακας 4.13. Τιμές διαλογής για δυνητικά απαράδεκτο κίνδυνο (βιομηχανική χρήση εδάφους) για οργανικές προσμίξεις (mg/kg ξηρού βάρους)

	Βέλγιο - Φλάνδρα	Βέλγιο - Βρυξέλες	Βέλγιο - Βαλονία	Φινλανδία	Ιταλία	Πολωνία	Ισπανία	Μεγάλη Βρετανία
Βενζόλιο	1	1	0,6	1	2	76,5	10	
Αιθυλοβενζόλιο	70	70	76	50	50	130	100	48000
Τολουόλιο	200	200	85	25	50	117,5	100	
Ξυλόλιο	190	190	20	50	50	77,5	100	
Ναφθαλένιο	160	160		15	50	25	10	
Ανθρακένιο	4690	4690		15	50	25	100	
Βενζο[a]ανθρακένιο	30	30	10	15	10	25	20	
Βενζο[g,h,i]περυλένιο	4690	4690	100		10	52,5		
PAH (σύνολο)				30	100	110		
Διχλωρομεθάνιο	3,5	3,5		5	5		60	
Τριχλωροαιθυλένιο	10	10		5	10		70	
Τετραχλωρομεθάνιο	1	1			5		1	
Εξαχλωροβενζόλιο	55	55		2	5		1	
Φαινόλη					60	51,5	100	78
Κρεσόλες (σύνολο)					25	51,5	100	
Ατραζίνη (p)				2	1	3		
PCB		10,4		5	5	2,75	0,8	
MTBE	140	140		50	250			
1,1,1-τριχλωροαιθάνιο	300	300			50			
Βενζο[a]πυρένιο	3	3	8,8	15	10	22,5	2	

Πίνακας 4.14. Τιμές διαλογής για δυνητικά μη αποδεκτό κίνδυνο (χρήση εδάφους σε κατοικίες) για τους σημαντικότερους οργανικούς ρύπους (mg/kg ξηρού βάρους)

	Αυστρία	Βέλγιο Φλάνδρα	Βέλγιο Βρυξέλες	Βέλγιο Βαλονία	Τσεχία	Φινλανδία	Ιταλία	Λιθουανία	Ολλανδία	Πολωνία	Ισπανία	Μεγάλη Βρετανία	Δανία
Βενζόλιο		0,5	0,5	0,4	0,8	0,2	0,1	0,5	1	12,6	1		
Αιθυλοβενζόλιο		5	5	28	50	10	0,5	5	50	38	20	41	
Τολουόλιο		15	15	33	100	5	0,5	0,1	130	38	30		
Ξυλόλιο		15	15	10	30	10	0,5	0,1	25	18	100		
Ναφθαλένιο		5	5		60	5	5	5		12,5	8		
Ανθρακένιο		70	70		60	5	5	5		12,5	100		
Βενζο[a]ανθρακένιο		10,5	10,5	5	5	5	0,5			12,5	2		
Βενζο[g,h,i]περυλένιο		3920	3920	15	30		0,1			10			
PAH (σύνολο)	50					30	10	5	40	30			40
Διχλωρομεθάνιο		0,35	0,35			1	0,1	2	10		6		
Τριχλωροαιθυλένιο		1,4	1,4			1	1	2	60		7		
Τετραχλωρομεθάνιο		0,02	0,02				0,1	1	1		0,5		
Εξαχλωροβενζόλιο		0,1	0,1			0,05	0,05	0,5			0,1		
Φαινόλη							1	10	40	10,25	70	280	
Κρεσόλες (σύνολο)							0,1		5	10,25	40		
Ατραζίνη (p)						1	0,01		6	3			
DDT (άθροισμα DDT, DDE & DDD)						1			4	2,01			
PCB	1		0,9		5	0,5	0	0,1	1	0,55	0,08		
MTBE		9	9			5	10		100				
1,1,1-τριχλωροαιθάνιο		13	13				0,5		15				
Χωροβενζόλια (σύνολο)									30	1,05			
Βενζο[a]πυρένιο	5	1,5	1,5	4,4	2	2	0,1	0,1			7,5	0,2	
PCDD/PCDF (σε ng I-TEQ TeCdd/g)					0,5	0,0001	1,00 E-5		0,001				

Οι πίνακες 4.11 – 4.14 που προηγούνται δίνουν τιμές διαλογής για τα επίπεδα αμελητέου κινδύνου, κινδύνου προειδοποίησης και δυνητικά μη αποδεκτού κινδύνου για τις χώρες μέλη που συμμετείχαν στην έρευνα του ISPRA.

Κεφάλαιο 5

5.1. Δειγματοληψίες – Δείγματα

Κατά τη διάρκεια της διερεύνησης του τραγικού δυστυχήματος πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες από το χώρο του συμβάντος, από προσωπικά αντικείμενα επιβαινόντων, και από διάφορα σημεία είτε στοιχείων των συρμών (ηλεκτρομηχανές, βαγόνια, αντικείμενα των βαγονιών). Επίσης, ζητήθηκε από το συντάκτη της αναφοράς η δειγματοληψία και ανάλυση δειγμάτων ελαίου σιλικόνης από τους μετασχηματιστές των ηλεκτρομηχανών.

- 1η Δειγματοληψία: ΕΜΠ 25/29-03-2023. Αφορά 25 δείγματα από το χώρο του συμβάντος
- 2η Δειγματοληψία: ΕΜΠ 42/29-09-2023. Αφορά 13 δείγματα από αντικείμενα επιβαινόντων στην επιβατική αμαξοστοιχία
- 3η Δειγματοληψία: ΕΜΠ 51/25-10-2023. Αφορά 14 δείγματα (χώμα και αντικείμενα από το χώρο του συμβάντος και το φυλασσόμενο χώρο του ΟΣΕ στο Κουλούρι Λάρισας)
- 4η Δειγματοληψία: ΕΜΠ 12/05-04-2024. Αφορά 45 δείγματα χώματος (το ένα χόρτα) από το χώρο του συμβάντος
- 5η Δειγματοληψία: ΕΜΠ 13/18-04-2024. Αφορά 52 δείγματα, κυρίως χώμα καθώς και καμένα κλαδιά, υφάσματα και διάφορα αντικείμενα
- 6η Δειγματοληψία: ΕΜΠ 17/31-05-2024. Αφορά 25 δείγματα από ξύλα και επιχρίσματα από μεταλλικές επιφάνειες φορτάμαξας
- 7η Δειγματοληψία: ΕΜΠ 23/29-07-2024. Αφορά 2 δείγματα μεταλλικών τμημάτων από εμπορευματοκιβώτιο (container)
- 8η Δειγματοληψία: ΕΜΠ 25/30-08-2024. Αφορά 3 δείγματα εσωτερικής επένδυσης βαγονιού της επιβατικής αμαξοστοιχίας
- 9η Δειγματοληψία: ΕΜΠ 33/30-09-2024. Αφορά 4 δείγματα ελαίων σιλικόνης από το εσωτερικό των μετασχηματιστών

Συνολικά, το προσωπικό του ΓΧΚ ανέλυσε 183 δείγματα διαφόρων ειδών, με στόχο τη διευκόλυνση της διερεύνησης της υπόθεσης με την παροχή όχι μόνο των αναλύσεων, αλλά και παροχής πληροφοριών σχετικά με τις ουσίες που ανιχνεύθηκαν σε κάθε δείγμα.

Από το ξεκίνημα της διαδικασίας αξιολόγησης των δεδομένων θα πρέπει να δηλωθούν τα εξής:

1. Τα αποτελέσματα που τέθηκαν υπό διερεύνηση είναι αυτά που υποβλήθηκαν από τις αναλύσεις που διεξήγαγε το προσωπικό του ΓΧΚ.
2. Δεν είναι δυνατόν εκ των υστέρων να γίνουν σχόλια για την προέλευση των δειγμάτων (π.χ. σημείο δειγματοληψίας, χρόνος δειγματοληψίας κλπ).
3. Έγινε προσπάθεια σχολιασμού των αποτελεσμάτων του ΓΧΚ σε σχέση με ευρήματα από τη βιβλιογραφία, όσο αυτό ήταν εφικτό.
4. Τα δεδομένα της βιβλιογραφίας είναι αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων που διεξάγονται υπό συγκεκριμένες συνθήκες και με καθορισμένο στόχο. Για παράδειγμα, οι μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες αποτελούν αντικείμενο έρευνας ως συστατικά πολύ χρήσιμα στη χημική βιομηχανία, ως ενώσεις που ανήκουν στην κατηγορία των πτητικών οργανικών ενώσεων που σχετίζονται με την ποιότητα της ατμόσφαιρας και ως ενώσεις που σχηματίζονται σε συνθήκες ατελούς καύσης. Οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες αποτελούν αντικείμενο έρευνας λόγω της τοξικότητάς τους (κάποιοι είναι καρκινογόνοι και μεταλαξιογόνοι), κι επειδή ανιχνεύονται ως συστατικά της αιθάλης. Είναι τρομερά δύσκολο να βρεθούν βιβλιογραφικά δεδομένα που να έχουν άμεση συσχέτιση με τις συνθήκες που επικράτησαν στο τραγικό συμβάν, επομένως σε αρκετές περιπτώσεις μπορούν να θεωρηθούν ως ένδειξη και τίποτε περισσότερο.
5. Για ένα πολύ μεγάλο αριθμό ενώσεων που ανιχνεύθηκαν δεν κατέστη δυνατό να βρεθεί κάποια αναφορά που να μπορεί να τα συσχετίσει με προϊόντα που έχουν καταγραφεί σε πειραματικές μετρήσεις που αφορούν συνθήκες καύσης. Σε αυτές τις

ενώσεις περιλαμβάνονται τόσο φυσικά συστατικά όσο και συστατικά που είναι προϊόντα χημικής σύνθεσης.

6. Τα δείγματα χαρακτηρίζονται ως άγνωστα επειδή δεν πρόκειται για εμπορικά προϊόντα που θα έπρεπε να συγκριθούν τα χαρακτηριστικά τους με τις αντίστοιχες προδιαγραφές. Χρησιμοποιήθηκαν αρκετές τεχνικές με στόχο την απομόνωση και την ταυτοποίηση όσο το δυνατόν περισσότερων ενώσεων.
7. Θα γίνει ένας πιο αναλυτικός σχολιασμός στα δείγματα που περιέχουν ξυλόλιο επειδή αυτή είναι η ένωση που μετρήθηκε ποσοτικά.

5.2. Κατηγορίες Ενώσεων

Υπάρχουν μερικές κατηγορίες ενώσεων που έχουν ανιχνευτεί σε σημαντικό έως μεγάλο αριθμό δειγμάτων και κάποιες από αυτές πιθανότατα σχετίζονται με τις συνθήκες του τραγικού συμβάντος. Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- **Διμεθυλοσιλοξάνια**. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται γραμμικά και κυκλικά διμεθυλοσιλοξάνια. Στην ομάδα των γραμμικών διμεθυλοσιλοξανίων ανήκει και το έλαιο σιλικόνης που χρησιμοποιείται ως ψυκτικό έλαιο στις ηλεκτράμαξες των συρμών. Τα κυκλικά διμεθυλοσιλοξάνια αποτελούν προϊόν θερμικής καταπόνησης των ελαίων σιλικόνης και παράγονται σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών. Γραμμικά διμεθυλοσιλοξανια ανιχνεύθηκαν σε 59 δείγματα, κυκλικά διμεθυλοσιλοξάνια σε 39 δείγματα. Από κοινού παρουσία γραμμικών και κυκλικών διμεθυλοσιλοξανίων ανιχνεύθηκε σε 27 δείγματα.
- **Αρωματικοί υδρογονάνθρακες**. Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες είναι ενώσεις με χαρακτηριστική κυκλική δομή. Οι μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες (με έναν αρωματικό δακτύλιο στο μόριο) χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές της χημικής βιομηχανίας και αποτελούν συστατικά της βενζίνης με υψηλό αριθμό οκτανίου. Οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (με τρεις ή περισσότερους αρωματικούς δακτυλίους στο μόριο) είναι ενώσεις που ανιχνεύονται σε συνθήκες ατελούς καύσης όπως οι πυρκαγιές. Αποτελούν αντικείμενο έρευνας επειδή κάποιοι από αυτούς έχουν χαρακτηριστεί ως καρκινογόνοι ή μεταλαξιογόνοι. Ενδιάμεση κατηγορία μεταξύ των μονοαρωματικών και των πολυαρωματικών υδρογονανθράκων αποτελούν οι διαρωματικοί υδρογονάνθρακες (με δύο αρωματικούς δακτυλίους ανά μόριο). Μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες ανιχνεύθηκαν σε 30 δείγματα, διαρωματικοί υδρογονάνθρακες σε 14 δείγματα και πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες σε 11 δείγματα.

Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες αποτελούν μια σημαντική κατηγορία συστατικών που ανιχνεύονται σε περίπτωση καύσης. Γενικά, οι φλόγες κατηγοριοποιούνται σε φλόγες προανάμιξης, όπου το καύσιμο και το οξειδωτικό (το οξυγόνο του αέρα) αναμιγνύονται πριν το μέτωπο της φλόγας και οι φλόγες χωρίς προανάμιξη καυσίμου αέρα, γνωστές ως φλόγες διάχυσης. Το καθοριστικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι το καύσιμο και το οξειδωτικό προσεγγίζουν το μέτωπο της φλόγας από αντίθετες πλευρές. Και στις δύο θεμελιώδεις γεωμετρίες φλόγας, οι ρίζες και η θερμότητα διαχέονται από το μέτωπο της φλόγας στο επερχόμενο καύσιμο και προκαλούν τη διάσπασή του. Ωστόσο, στην περίπτωση της διάχυσης το οξειδωτικό βρίσκεται στην άλλη πλευρά του μετώπου της φλόγας, αντί να αναμιγνύεται με το καύσιμο όπως στην περίπτωση της προανάμιξης. Έτσι, τα προϊόντα αποσύνθεσης τείνουν να αντιδρούν μεταξύ τους, σχηματίζοντας μεγαλύτερους υδρογονάνθρακες και τελικά αιθάλη, αντί να οξειδώνονται σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Κατά συνέπεια, οι συσκευές καύσης που περιέχουν μη προαναμεμιγμένες φλόγες (π.χ. κινητήρες ντήζελ, αεριοστρόβιλοι, βιομηχανικοί κλίβανοι), καθώς και οι περιπτώσεις πυρκαγιάς αποτελούν τις κύριες πηγές εκπομπών αιθάλης και οι μη προαναμεμιγμένες φλόγες, παρά την πολυπλοκότητά τους, αποτελούν βασικό συστατικό της έρευνας για το σχηματισμό αρωματικών ουσιών. Σημειώνεται πως η περίπτωση μιας πυρκαγιάς είναι μια κλασσική περίπτωση φλόγας διάχυσης. Επίσης, όπως αναφέρεται στην παράγραφο 4.3 της αναφοράς,

υπάρχουν αναφορές που σχετίσουν την παρουσία μονοαρωματικών υδρογονανθράκων στο έδαφος με βιολογική δραστηριότητα μικροοργανισμών.
Ο αριθμός των ενώσεων που ταυτοποιήθηκαν υπερβαίνει κατά πολύ τις 200. Διευκρινίζεται για ακόμη μία φορά πως παρά την προσπάθεια που καταβλήθηκε ήταν αδύνατο να βρεθούν στοιχεία και δημοσιεύσεις που να μπορούσαν να συνδέσουν την παρουσία όλων αυτών των ενώσεων με υλικά που υπήρχαν πάνω στις δύο αμαξοστοιχίες.
Μία πολύ σημαντική παράμετρος με το σχολιασμό των αποτελεσμάτων έχει να κάνει και με το δείγμα στο οποίο έγιναν οι μετρήσεις. Υπάρχει σειρά δειγμάτων που αποτελούνται κυρίως από αντικείμενα των επιβαινόντων στα οποία έχει ανιχνευθεί ένας πού μεγάλος αριθμός διαφορετικών συστατικών, πολλά εκ των οποίων είναι φυσικά συστατικά τα οποία απαντώνται σε μεγάλο αριθμό προϊόντων καθημερινής χρήσης. Είναι αδύνατο να μπορέσουν να βρεθούν στοιχεία από τη βιβλιογραφία που να μπορούν να συσχετίσουν κάποιες ενώσεις με τα αποτελέσματα μετρήσεων σε συνθήκες καύσης. Στο διαβιβαστικό με ΑΠ ΕΜΠ 42/13-10-2023 του ΓΧΚ, έχει γίνει μια πολύ σημαντική προσπάθεια κατηγοριοποίησης ενώσεων που ανιχνεύθηκαν στα δείγματα που προήλθαν από προσωπικά αντικείμενα επιβαινόντων στην επιβατική αμαξοστοιχία, που είναι η ακόλουθη:

Α. Οξέα, αμίδια και άλλες ενώσεις που εν γένει απαντώνται στη φύση αλλά επίσης παρασκευάζονται βιομηχανικά και χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές.
Β. Μονομερή, πρόσθετα και προϊόντα αποικοδόμησης τους κυρίως από τη βιομηχανία των πλαστικών π.χ. εστέρες που αποτελούν πολύ συνήθεις πλαστικοποιητές και οξέα/αλκοόλες προϊόντα αποικοδόμησής τους.
Γ. Αλδεΰδες/κετόνες/αιθέρες/αλκοόλες, ενώσεις στις οποίες εν γένει αποδίδονται οι οσμές και που χρησιμοποιούνται στην αρωματοποιία ή ως αρτυματικές ύλες, μπορεί να βρίσκονται σε αρώματα, στα απορρυπαντικά, στα σωματικά υγρά ή και να προέρχονται από ημιτελή καύση άλλων οργανικών ουσιών.
Δ. Υδρογονάνθρακες και χλωριωμένα παράγωγα.

Πολλές από αυτές τις ενώσεις αποτελούν συστατικά των υλικών πάνω στα οποία ανιχνεύθηκαν και ταυτοποιήθηκαν. Κάποιες ανήκουν σε προϊόντα που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της καύσης (αρωματικοί υδρογονάνθρακες, αλδεΰδες όπως θα αναφερθεί στη συνέχεια της αναφοράς), ενώ υπάρχουν και προϊόντα τα οποία είναι προϊόν καύσης όπως πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες. Όπως αναφέρεται και στο σχετικό έγγραφο του ΓΧΚ, κάποιες από τις ανιχνευθείσες ενώσεις είναι συνήθεις περιβαλλοντικοί ρυπαντές ή και στη συγκεκριμένη διερεύνηση μπορεί να έχουν προκύψει ως παραπροϊόντα θερμικής διάσπασης άλλων οργανικών ουσιών.

5.3. Συνοπτικός Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Στις επόμενες παραγράφους γίνεται μια προσπάθεια σχολιασμού των βασικών ευρημάτων από τις αναλύσεις του ΓΧΚ.

5.3.1. Δείγματα Σειράς ΕΜΠ 12

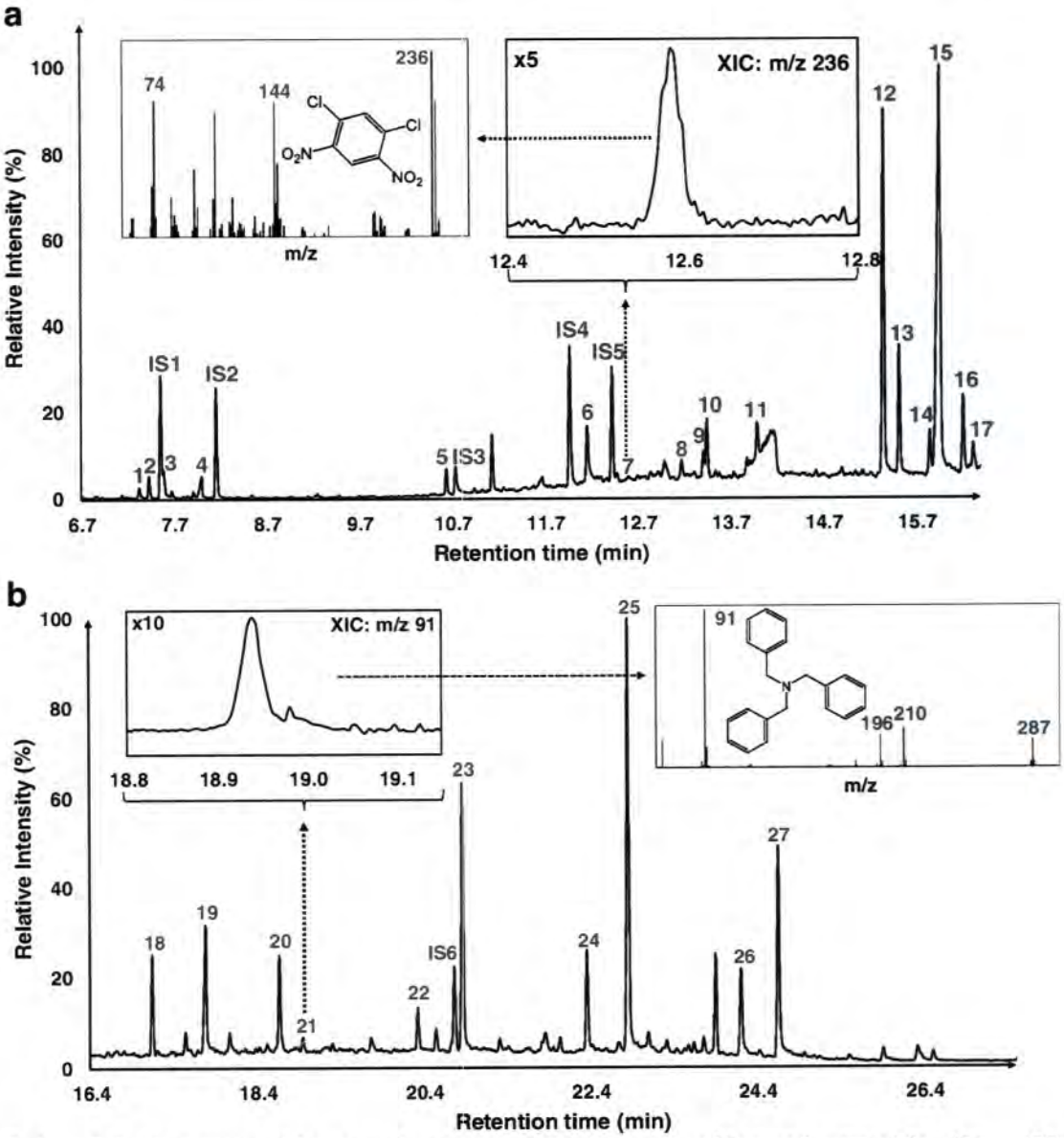
Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 29-03-2023 και είναι η πρώτη μετά το τραγικό δυστύχημα. Λήφθηκαν δείγματα από διάφορα σημεία στο χώρο του συμβάντος και οι αναλύσεις τους υπεβλήθησαν από το ΓΧΚ με το έγγραφο με ΑΠ ΕΜΠ 12/06-04-2023 στις 10-05-2023. Όπως αναφέρεται και στο έγγραφο ΕΜΠ 19/12-07-2024 του ΓΧΚ, οι αρχικές αναλύσεις των δειγμάτων αποσκοπούσαν στην ταυτοποίηση ουσιών και όχι στην ποσοτικοποίησή τους. Στα περισσότερα δείγματα της σειράς (19 από τα 25) ανιχνεύθηκε έλαιο σιλικόνης (12-1, 12-2, 12-3, 12-7, 12-9, 12-10, 12-12, 12-13, 12-14, 12-15, 12-16, 12-17, 12-18, 12-19, 12-20, 12-21, 12,22, 12-23, 12-24) και σε 8 ανιχνεύθηκαν κυκλικά διμεθυλοσιλοξάνια (12-2, 12-3, 12-14, 12-15, 12-19, 12-20, 12-21, 12-24). Το έλαιο σιλικόνης είναι το υγρό ψύξης των μετασχηματιστών των ηλεκτραμαξών, ενώ όπως αναφέρεται αναλυτικά στην παράγραφο 3.7.3 της παρούσας αναφοράς τα κυκλικά διμεθυλοσιλοξάνια

είναι προϊόντα θερμικής διάσπασης των πολυδιμεθυλοσιλοξανίων. Τα φάσματα των δειγμάτων 12-4 και 12-12 διαφοροποιούνται από τα υπόλοιπα στα οποία έχει ευρεθεί έλαιο σιλικόνης (πολλές οξείες κορυφές στην περιοχή κυματαριθμών 1000 – 1100 cm^{-1}, που βρίσκεται η ευρεία ζώνη των διμεθυλοσιλοξανίων). Σε 6 δείγματα (12-2, 12-5, 12-6, 12-14, 12-20, 12-21) ταυτοποιήθηκαν ίχνη μονοαρωματικών υδρογονανθράκων και σε 6 (12-3, 12-5, 12-6, 12-18, 12-19, 12-20) διαρωματικοί υδρογονάνθρακες (ενώσεις με δύο αρωματικούς δακτυλίους στο μόριο). Όπως έχει αναφερθεί στις παραγράφους 4.1.2 και 4.2.3, μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες παράγονται σε περιπτώσεις καύσης διαφόρων υλικών και είναι από τις ενώσεις που έχουν ανιχνευτεί σε συνθήκες ανοιχτής καύσης. Αντίστοιχες αναφορές υπάρχουν και για σχηματισμό πολυαρωματικών υδρογονανθράκων σε συνθήκες καύσης. Σημειώνεται πως σε αυτή τη σειρά δειγμάτων δεν ανιχνεύθηκε πολυαρωματικός υδρογονάνθρακας (PAH) σε κανένα δείγμα.
Η ποσοτικοποίηση της ποσότητας ξυλολίου σύμφωνα με τα με ΑΠ ΕΜΠ 30/28-07-2023 και 12/06-04-20230 έγγραφα του ΓΧΚ έγινε στο δείγμα ΕΜΠ 12-20. Η ποσότητα του ξυλολίου που μετρήθηκε ήταν 0,35 mg/kg εδάφους. Η βιβλιογραφική έρευνα επί του θέματος αναπτύσσεται στην παράγραφο 4.1.5. Η μετρηθείσα τιμή βρίσκεται εντός του εύρους των τιμών που έχουν βρεθεί στη βιβλιογραφία. Και μεταξύ των εργασιών που βρέθηκαν και αναφέρονται παρατηρείται πολύ μεγάλη διασπορά στα επίπεδα των μετρηθεισών τιμών. Σημειώνεται πως ενώ στη βιβλιογραφία υπάρχει μεγάλος αριθμός δημοσιεύσεων που αφορούν μετρήσεις μονοαρωματικών υδρογονανθράκων και γενικά πτητικών οργανικών ενώσεων σε επιφανειακά και υπόγεια νερά, οι δημοσιεύσεις που αφορούν μετρήσεις αντίστοιχων ενώσεων στο έδαφος είναι πολύ λίγες και υπάρχει μεγάλο εύρος διακύμανσης τιμών. Όσον αφορά τα επίπεδα τιμών διαλογής εδάφους SSV που αναφέρονται αναλυτικά στην παράγραφο 4.3, η τιμή των 0,35 mg/kg είναι άνω του ορίου αμελητέου κινδύνου οργανικών προσμίξεων (0,0007 – 0,2 mg/kg ξηρού εδάφους) και κάτω του ορίου για τον κίνδυνο προειδοποίησης για τις σημαντικότερες οργανικές προσμίξεις για χώρους οικιακής χρήσης (2 – 60 mg/kg ξηρού εδάφους). Όπως αναφέρεται στο έγγραφο του ΓΧΚ, οι συγκεντρώσεις ξυλολίου στα υπόλοιπα δείγματα εκτιμούνταν ως μικρότερες από 0,1 mg/kg. Εντελώς διαφορετικό από τα άλλα δείγματα είναι το ΕΜΠ 12-8 στο οποίο βρέθηκε διάλυμα υδροξειδίου του καλίου (KOH), που είναι ηλεκτρολύτης για συσσωρευτές (μπαταρίες).

5.3.2. Δείγματα Σειράς ΕΜΠ 42

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 29-09-2023 και είναι η δεύτερη μετά το τραγικό δυστύχημα. Ελήφθησαν δείγματα από αντικείμενα επιβαινόντων στην επιβατική αμαξοστοιχία. Ο αναλύσεις τους υπεβλήθησαν από το ΓΧΚ με το έγγραφο με ΑΠ ΕΜΠ 42/13-10-2023 στις 21-12-2023. Η σειρά περιλάμβανε 13 δείγματα με 40 υποδείγματα. Ανιχνεύθηκαν γραμμικά διμεθυλοσιλοξάνια σε 6 δείγματα (42-2, 42-4, 52-6, 42-7, 42-9, 42-13) και κυκλικά διμεθυλοσιλοξάνια σε 4 δείγματα της σειράς (42-4, 42-7, 42-9, 42-12), που όπως αναφέρθηκε προέρχονται από τη θερμική διάσπαση των ελαίων σιλικόνης. Μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες ανιχνεύθηκαν σε 4 δείγματα (42-5 ξυλόλιο, 42-11, τολουόλιο, 42-12 τολουόλιο, 42-13 στυρένιο), χωρίς να γίνει ποσοτικοποίηση. Το δείγμα 42-5 στο οποίο ανιχνεύθηκε ξυλόλιο σε 3 υποδείγματα ήταν ένα μαύρο κατεστραμμένο μπουφάν, και ξυλόλιο ανιχνεύθηκα στα υποδείγματα δεξιού μανικιού, κουκούλας και πλάτης. Το δείγμα 42-11 στο οποίο ανιχνεύθηκε τολουόλιο ήταν ένα μαύρο γυναικείο παπούτσι. Τολουόλιο ανιχνεύθηκε στο πάνω και στο κάτω τμήμα του παπουτσιού. Το δείγμα 42-12 στο οποίο ανιχνεύθηκε τολουόλιο ήταν ένα μαύρο αντρικό τσαντάκι. Το δείγμα 42-13 στο οποίο ανιχνεύθηκε στυρένιο ήταν ένα καμένο λευκό γυναικείο μπουφάν. Ελήφθησαν 3 υποδείγματα και ανιχνεύθηκε στυρένιο στο υποδείγμα 1 και στο υποδείγμα 3. Όπως έχει προαναφερθεί, μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες μπορεί να σχηματιστούν κατά την καύση διαφόρων υλικών. Τα δείγματα είναι διαφορετικής φύσης (ρούχα, παπούτσια, βιβλία, μεταλλικά αντικείμενα) και από αυτά προήλθαν και υποδείγματα από κομμάτια αυτών. Σε

αυτή τη σειρά δειγμάτων έχει ανιχνευθεί πολύ μεγάλος αριθμός οργανικών ενώσεων. Λόγω της πολυπλοκότητας και της διαφορετικότητας των δειγμάτων είναι τρομερά δύσκολο να μπορέσει να γίνει αντιστοίχιση των ευρημάτων των μετρήσεων του ΓΧΚ με τα υλικά κατασκευής των δειγμάτων, που επίσης δεν ήταν γνωστά.



Σχήμα 5.1. Χρωματογράφημα πολυεστερικού υφάσματος αθλητικού μπουφάν. IS1 – IS6: εσωτερικά πρότυπα.

Ενώσεις: (1) 2-φαινοξυαιθανόλη, (2) βενζοθειαζόλη, (3) κινολίνη, (4) εννεανικό οξύ, (5) 1-δωδεκανόλη, (6) 4-νιτροανιλίνη, (7) 1,3-διχλωρο-4,6-δινιτροβενζόλιο, (8) 2-χλωρο-4-νιτροανιλίνη, (9) μονοδωδεκυλαιθέρας αιθυλενογλυκόλης, (10) 2,6-διχλωρο-4-νιτροανιλίνη, (11) βενζοϊκός βενζυλεστέρας, (12) 2-χλωρο-4,6-δινιτροανιλίνη, (13) = 2,6-διβρωμο-4-νιτροανιλίνη, (14) φθαλικός διβουτυλεστέρας, (15) n-δεκαεξανικό οξύ, (16) μονοδωδεκυλαιθέρας διαιθυλενογλυκόλης, (17) 2-βρωμο-4,6-δινιτρο-ανιλίνη, (18) N-βενζυλο-1-φαινυλαιθαναμίνη, (19) δεκαοκτανικό οξύ, (20) μονοδωδεκυλαιθέρας τριαιθυλενογλυκόλης, (21) τριβενζυλαμίνη, (22) δεκαεξανάλη, (23) μονοδωδεκυλαιθέρας τετρααιθυλενογλυκόλης, (24) εξαιθυλενογλυκόλη, (25) μονοδωδεκυλαιθέρας πενταιθυλενογλυκόλης, (26) μονοδωδεκυλαιθέρας εξαιθυλενογλυκόλης, (27) μονοδωδεκυλαιθέρας επταιθυλενογλυκόλης

Ενδεικτικά, δίνεται η εικόνα που απεικονίζεται στο Σχήμα 5.1 και παρουσιάζει το

χρωματογράφημα ενός πολυεστερικού υφάσματος από αθλητικό μπουφάν. Στο χρωματογράφημα αυτό παρουσιάζονται οι κορυφές 27 διαφορετικών ενώσεων.[117] Σημειώνεται πως στο σχετικό διαβιβαστικό έγγραφο του ΓΧΚ (ΕΜΠ 42/13-10-2023), έχει γίνει μια εκτενής αναφορά στις ενώσεις που ανιχνεύθηκαν, στην ταξινόμησή τους, καθώς και στους πιθανούς τρόπους προέλευσης των αντίστοιχων ενώσεων. Όπως έχει αναφερθεί στο έγγραφο του ΓΧΚ πολλές από τις ενώσεις που ανιχνεύθηκαν χρησιμοποιούνται σε είδη προσωπικής περιποίησης, απορρυπαντικά, χρωστικές, κάτι που συμβαδίζει με το είδος των αντικειμένων που αναλύθηκαν (προσωπικά είδη επιβατών).

5.3.3. Δείγματα Σειράς ΕΜΠ 51

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 25-10-2023. Αφορά 14 δείγματα (χώμα και αντικείμενα από το χώρο του συμβάντος και το φυλασσόμενο χώρο του ΟΣΕ στο Κουλούρι Λάρισας). Ο αναλύσεις τους υπεβλήθησαν από το ΓΧΚ με το έγγραφο με ΑΠ ΕΜΠ 51/22-11-2023 στις 16-01-2024. Ανιχνεύθηκαν έλαια σιλικόνης και γραμμικά και κυκλικά πολυδιμεθυλοσιλοξάνια σε 10 δείγματα. Πιο συγκεκριμένα, γραμμικά διεμεθυλοσιλοξάνια σε 10 (51-5, 51-6, 51,7, 51-8, 51-9, 51-10, 51-11, 51-12, 51-13, 51-14), κυκλικά διμεθυλοσιλοξάνια σε 5 δείγματα (51-5, 51-6, 51-12, 51-13, 51-14) και κοινή παρουσία γραμμικων και κυκλικών διμεθυλοσιλοξανίων σε 5 δείγματα (51-5, 51-6, 51-12, 51-13, 51-14). Μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες ανιχνεύθηκαν σε 1 δείγμα (51-7: ξυλόλιο), και διαρωματικοί υδρογονάνθρακες σε 1 δείγμα (51-10). Σε αυτή τη δειγματοληψία είναι η πρώτη φορά που εμφανίζεται δείγμα να περιέχει πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες, (51-9: πυρένιο, φλουορανθένιο). Οι πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH) αποτελούν αντικείμενο έρευνας λόγω της τοξικότητάς τους και εντοπίζονται πολύ συχνά στα κατάλοιπα πυρκαγιών. το θέμα των PAH έχει αναφερθεί στις παραγράφους 4.1.3 και 4.1.4.

5.3.4. Δείγματα Σειράς ΕΜΠ 12

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 05-04-2024 και αφορούσε 45 δείγματα χώματος (το ένα χόρτα) από το χώρο του συμβάντος. Είναι η τέταρτη κατά δειγματοληψία μετά το τραγικό δυστύχημα. Ο αναλύσεις τους υπεβλήθησαν από το ΓΧΚ με το έγγραφο με ΑΠ ΕΜΠ 12/09-04-2024 στις 31-05-2024. Ανιχνεύθηκαν γραμμικά διμεθυλοσιλοξάνια σε ένα δείγμα (12-13), κυκλικά διμεθυλοσιλοξάνια σε 5 δείγματα (12-1, 12-3, 12-13, 12-21, 12-25). Κοινλη παρουσία γραμμικών και κυκλικών διμεθυλοσιλοξανίων υπήρξε σε 1 δείγμα (12-13). Δεν ανιχνεύθηκε σε κανένα δείγμα κάποιος μονοαρωματικός, διαρωματικός ή πολυαρωματικός υδρογονάνθρακας. Σε 1 δείγμα (12-37) ανιχνεύθηκαν υδρογονάνθρακες που αντιστοιχούν σε ορυκτέλαιο. Το δείγμα είχε ληφθεί από χώρο δίπλα σε χρησιμοποιημένο φίλτρο λαδιού, κάτι που εξηγεί το εύρημα της ανάλυσης. Σε 1 δείγμα (12-43) που ήταν δείγμα χόρτων ανιχνεύθηκε μεγάλος αριθμός οργανικών ενώσεων, οι περισσότερες εκ των οποίων δεν αποτελούν ενώσεις για τις οποίες δεν υπάρχει βιβλιογραφία που να τις σχετίζει με προϊόντα καύσης.

5.3.5. Δείγματα Σειράς ΕΜΠ 13

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 18-04-2024 και περιλάμβανε 52 δείγματα, κυρίως χώμα καθώς και καμένα κλαδιά, υφάσματα και διάφορα αντικείμενα, και είναι η πέμπτη κατά σειρά δειγματοληψία μετά το τραγικό δυστύχημα. Ελήφθησαν 34 δείγματα χώματος από 17 διαφορετικά σημεία (1-17) σε 2 διαφορετικά βάθη για κάθε σημείο (περίπου 40 cm και περίπου 1,5 m), 5 δείγματα σχετιζόμενα με ευρεθείσα παλέτα και συγκεκριμένα, 3 δείγματα χώματος από σημεία στην επιφάνεια, στο μέσο και στο κάτω μέρος παλέτας, 1 δείγμα πλαστικού αντικειμένου κάτω από την παλέτα και 1 δείγμα ξύλου πάνω από την παλέτα, 4

---

[117] Josefine Carlsson, Tim Åström, Conny Östman, Ulrika Nilsson: "Solvent-free automated thermal desorption-gas chromatography/mass spectrometry for direct screening of hazardous compounds in consumer textiles", *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 415, (2023), pp. 4675-4687, doi:10.1007/s00216-023-04780-x

δείγματα χώματος σχετιζόμενα με μεταλλικά αντικείμενα, 2 δείγματα καμένα κλαδιά, 2 δείγματα υφασμάτων, και 5 δείγματα αντικειμένων.
Ο αναλύσεις τους υπεβλήθησαν από το ΓΧΚ με το έγγραφο με ΑΠ ΕΜΠ 13/23-04-2024 στις 09-01-2025. Βρέθηκαν δείγματα με μονοαρωματικούς υδρογονάνθρακες (κυρίως δείγματα ρητινών), και δύο δείγματα με πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες. Ανιχνεύθηκαν έλαια σιλικόνης σε 7 δείγματα (13-15, 13-35, 13-38, 13-42, 13-46, 13-47, 13-48), κυκλικά διμεθυλοσιλοξάνια σε 8 δείγματα (13-13, 13-15, 13-35, 13-36, 13-38, 13-46, 13-47, 13-49). Μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες σε 3 δείγματα και 13 υποδείγματα (13-18: 1-μεθυλο-3-(1-μεθυλο αιθυλο βενζόλιο, 13-48: ξυλόλιο (2,8 mg/kg και 2,9 mg/kg), στυρένιο (ίχνη), 13-49: βενζόλιο, τολουόλιο, ξυλόλιο, στυρένιο, 13-52: στυρένιο), διαρωματικοί υδρογονάνθρακες σε 4 δείγματα (13-11, 13-48, 13-49, 13-52) και πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες σε 2 δείγματα. (13-16: πυρένιο, 13-48: ακεναφθένιο, 2 μεθυλο ναφθαλένιο).
Σε 2 δείγματα (13-48 και 13-49) που περιείχαν διαφορετικά υποδείγματα, πραγματοποιήθηκε ποσοτικός προσδιορισμός ξυλολίου.

- ΕΜΠ 13-48. Περιείχε 3 δείγματα υφάσματος που αναλύονται στον ακόλουθο πίνακα:

Δείγμα	Περιγραφή	Είδος	Μονοαρωματικά
Δ1	Ύφασμα με μαύρο χρώμα - τούλι	Πολυσετέρας	Στυρένιο, ξυλόλιο
Δ2	Ύφασμα με μαύρο χρώμα - τσόχα	Πολυπροπυλένιο	
Δ3	Ύφασμα ανοικτόχρωμο λαδί λεπτό	Πολυεστέρας	

Η ποσοτικοποίηση έδειξε περιεκτικότητα σε ξυλόλιο 2,8 mg/kg στο Δ1 και 2,9 mg/kg στο Δ3. Οι πολυστέρες ενδέχεται να περιέχουν ξυλόλιο που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του σχηματιζόμενου νερού στη φάση του πολυμερισμού. Το στυρένιο είναι ένα συστατικό που υπάρχει σε διάφορες κατηγορίες πολυεστέρων.

- ΕΜΠ 13-49. Σύμφωνα με την αναφορά του ΓΧΚ, το δείγμα αποτελείτο από κομμάτια διαφορετικών υλικών πάχους μερικών χιλιοστών. Από αυτά, ορισμένα αποτελούνταν από ξύλο (με ή χωρίς πλαστική επικάλυψη), άλλα από πλαστική ρητίνη ενισχυμένη με ίνες γυαλιού (fiber reinforced plastic, FRP) με επικάλυψη από στρώμα σκληρού πλαστικού, ενώ υπήρχε κι ένα δείγμα από συνθετικό υλικό χωρίς ίνες με πλαστική επικάλυψη. Στα δείγματα αυτά πέραν της ανάλυσης προσδιορισμού διαφόρων ενώσεων, πραγματοποιήθηκε ποσοτικός προσδιορισμός ξυλολίου. Τα δείγματα, οι μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες που ανιχνεύθηκαν που μετρήθηκαν φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Δείγμα	Περιγραφή	Επικάλυψη	Μονοαρωματικά
Δ1	Ξύλο με επένδυση πλαστικού φύλλου	Συμπολυμερές μελαμίνης φορμαλδεΰδης	Στυρένιο
Δ2	FRP με πλαστική επικάλυψη	Πολυεστερική ρητίνη	Στυρένιο, βενζόλιο
Δ3	FRP πλαστική επικάλυψη	Πολυεστερική ρητίνη	Στυρένιο, ξυλόλιο, βενζόλιο, μεθυλο αιθυλο βενζόλιο), προπυλο βενζόλιο, τριμεθυλο βενζόλιο, αιθυλο μεθυλο βενζόλιο, μεθυλο προπυλο βενζόλιο
Δ4	FRP με πλαστική επικάλυψη με μαύρο ελαστικό υλικό εσωτερικά	Πολυεστερική ρητίνη	Στυρένιο, ξυλόλιο, βενζόλιο, αιθυλο βενζόλιο
Δ5	FRP με πλαστική επικάλυψη	Εποξειδική ρητίνη	Στυρένιο, ξυλόλιο, τολουόλιο, αιθυλο βενζόλιο, τριμεθυλο βενζόλιο
Δ6	FRP με πλαστική επικάλυψη	Πολυεστερική ρητίνη	Αιθυλο βενζόλιο, ξυλόλιο, 1- μεθυλο αιθυλο βενζόλιο, προπυλο βενζόλιο, τριμεθυλο βενζόλιο, αιθυλο μεθυλο βενζόλιο

Δείγμα	Περιγραφή	Επικάλυψη	Μονοαρωματικά
Δ7	FRP με πλαστική επικάλυψη	Πολυεστερική ρητίνη	Στυρένιο, ξυλόλιο, βενζόλιο, αιθυλο βενζόλιο, 1- μεθυλο αιθυλο βενζόλιο, προπυλο βενζόλιο, τριμεθυλο βενζόλιο, αιθυλο μεθυλο βενζόλιο, μέθυλο προπυλο βενζόλιο, αιθυλο διμεθυλο βενζόλιο
Δ8	FRP με πλαστική επικάλυψη	Πολυεστερική ρητίνη	
Δ9	FRP με πλαστική επικάλυψη	Πολυεστερική ρητίνη	
Δ10	Τμήμα πλάκας από μαύρο σκληρό υλικό, που φέρει κατά τόπους στις δύο όψεις της, πλαστική επικάλυψη. Επίσης, η πλάκα σε τμήμα της μίας όψης της, καλύπτεται από αυτοκόλλητο φιλμ PVC για την προστασία της πλαστικής επικάλυψης	Συμπολυμερές μελαμίνης φορμαλδεΰδης	Στυρένιο
Δ11	Τρία τεμάχια ξύλου εκ των οποίων ένα φέρει υπολείμματα πράσινης βαφής, ένα άλλο φέρει μεταλλική ετικέτα με την επιγραφή "FUSE CUTOUT" και το τρίτο αποτελείται από πολλά στρώματα (κόντρα πλακέ).		Στυρένιο

Ποσοτικοποίηση έγινε μόνο για το ξυλόλιο (περιλαμβάνει o-, m-, p- ισομερή καθώς και αιθυλοβενζόλιο) και τα αποτελέσματα ήταν τα εξής:

Δ1: <LOQ (7,7 mg/kg)
Δ2: 39,5 mg/kg
Δ3: 91,6 mg/kg
Δ4: 465,3 mg/Kg
Δ5: 1.116 mg/kg
Δ6: 249,5 mg/kg
Δ7: 353,8 mg/kg
Δ8: 43,7 mg/kg
Δ9: 72,7 mg/kg
Δ10: <LOQ (7,7 mg/kg)
Δ11: <LOQ (7,7 mg/kg)

LOQ = εκτιμώμενο όριο ποσοτικού προσδιορισμού μεθόδου

Πιο αναλυτική αναφορά σχετικά με την περιεκτικότητα μονοαρωματικών υδρογονανθράκων σε πολυμερή δίνεται στην παράγραφο 5.3.10 που ακολουθεί.

5.3.6. Δείγματα Σειράς ΕΜΠ 17

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 31-05-2024 και αφορούσε 25 δείγματα από ξύλα και επιχρίσματα από μεταλλικές επιφάνειες φορτάμαξας. Ελήφθησαν 16 δείγματα ξύλου από 4 φορτάμαξες και 9 δείγματα επιχρισμάτων από 4 φορτάμαξες και από μεταλλικές επιφάνειες. Οι αναλύσεις υποβλήθηκαν από το ΓΧΚ με το έγγραφο με ΑΠ ΕΜΠ 17/25-06-2024 στις 03-02-2025. Ένα μεγάλο μέρος των ενώσεων που ανιχνεύθηκαν σε αυτά τα δείγματα είναι φυσικά προϊόντα που βρίσκονται στα φυτά. Ανιχνεύθηκαν γραμμικά διμεθυοσιλοξάνια σε 12 δείγματα (17-1, 17-4, 17-5, 17-7, 17-8, 17-13, 17-14, 17-17, 17-18, 17-20, 17-24, 17-25) και κυκλικά διμεθυλοσιλοξάνια σε 8 δείγματα (17-1, 17-3, 17-8, 17-9, 17-13, 17-16, 17-17, 17-24). Μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες ανιχνεύθηκαν σε 10 δείγματα

(17-3, 17-4, 17-5, 17-6, 17-7, 17-8, 17-14, 17-15, 17-24, 17-25), διαρωματικοί υδρογονάνθρακες (17-14, 17-24, 17-25 και πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (ανθρακένιο, πυρένιο) δείγματα (17-4, 17-5, 17-6, 17-14).

Το είδος των δειγμάτων και οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες που ανιχνεύθηκαν φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Δείγμα	Περιγραφή	Μονοαρωματικά	Πολυαρωματικά
17-1	Επίχρισμα περιμετρικά της μεταλλικής επιφάνειας στη φορτάμαξα No. 1 (1Ε)		
17-2	Δείγμα από ξύλο επιφάνειας πλατφόρμας στη φορτάμαξα No. 1 (1Ξ1)		
17-3	Δείγμα από ξύλο επιφάνειας πλατφόρμας στη φορτάμαξα No. 1 (1Ξ2)	Τολουόλιο, ξυλόλιο	
17-4	Επίχρισμα και λάδι στο εμπρόσθιο τμήμα της μεταλλικής επιφάνειας στη φορτάμαξα No. 2 (2ΕΛ)	1-μεθυλο αιθυλο βενζόλιο, 1,2-διαιθυλο βενζόλιο, ξυλόλιο	Ανθρακένιο, πυρένιο
17-5	Ξύλο επιφάνειας πλατφόρμας στη φορράμαξα No. 2 (2Ξ1)	2-αιθυλο-1-προπενυλο βενζόλιο, 1-μεθυλο-3-(1-μεθυλ αιθυλο) βενζόλιο	Πυρένιο
17-6	Ξύλο επιφάνειας πλατφόρμας στη φορτάμαξα No. 2 (2Ξ2)	Ξυλόλιο, 2-αιθυλο-1-προπενυλο βενζόλιο	Ανθρακένιο
17-7	Ξύλο επιφάνειας πλατφόρμας στη φορράμαξα No. 2 (2Ξ3)	1-μεθυλο-4-(1-μεθυλο αιθενυλο) βενζόλιο, 1-μεθυλο-4-(1-μεθυλο αιθυλο) βενζόλιο, 1-μεθυλο-3-(1-μεθυλο αιθυλο) βενζόλιο	
17-8	Επίχρισμα και λάδι στο εμπρόσθιο τμήμα της μεταλλικής επιφάνειας στη φορτάμαξα No. 3 (3ΕΛ)	Ξυλόλιο	
17-9	Ξύλο επιφάνειας πλατφόρμας στη φορράμαξα No. 3 (3Ξ1)		
17-10	Ξύλο επιφάνειας πλατφόρμας στη φορράμαξα No. 3 (3Ξ2)		
17-11	Ξύλο επιφάνειας πλατφόρμας στη φορράμαξα No. 3 (3Ξ3)		
17-12	Ξύλο επιφάνειας πλατφόρμας στη φορράμαξα No. 3 (3Ξ4)		
17-13	Ξύλο επιφάνειας πλατφόρμας στη φορράμαξα No. 3 (3Ξ5)		
17-14	Επίχρισμα και λάδι στο εμπρόσθιο άνω τμήμα της μεταλλικής επιφάνειας στη φορτάμαξα No. 4 (4ΕΛ1)	1-αιθυλο-3-μεθυλο βενζόλιο, 1,2,3-τριμεθυλο βενζόλιο, 1-μεθυλο αιθυλο βενζόλιο, 1,2,4-τριμεθυλο βενζόλιο, ξυλόλιο	Ανθρακένιο
17-15	Επίχρισμα και λάδι στο εμπρόσθιο άνω τμήμα της μεταλλικής επιφάνειας στη φορτάμαξα No. 4 (4ΕΛ2)	Ξυλόλιο	
17-16	Πλαστικό υλικό κολλημένο στη μεταλλική βάση στη φορτάμαξα No. 4 (4ΠΛ)		
17-17	Υαλοβάμβακας στην πλατφόρμα στη φορτάμαξα No. 4 (4Υ)		
17-18	Ξύλο επιφάνειας πλατφόρμας στη φορτάμαξα No. 4 (4Ξ1)		
17-19	Ξύλο επιφάνειας πλατφόρμας στη φορτάμαξα No. 4 (4Ξ2)		

Δείγμα	Περιγραφή	Μονοαρωματικά	Πολυαρωματικά
17-20	Ξύλο επιφάνειας πλατφόρμας στη φορτάμαξα No. 4 (4Ξ3)		
17-21	Ξύλο επιφάνειας πλατφόρμας στη φορτάμαξα No. 4 (4Ξ4)		
17-22	Ξύλο επιφάνειας πλατφόρμας στη φορτάμαξα No. 4 (4Ξ5)		
17-23	Ξύλο επιφάνειας πλατφόρμας στη φορτάμαξα No. 4 (4Ξ6)		
17-24	Υλικό επί της κυρτωμένης λαμαρίνας στη μεσαία στίβα (Λ1)	Ξυλόλιο, στυρένιο, αιθυλο βενζόλιο, 1,2,4-τριμέθυλο βενζόλιο	
17-25	Υλικό επί της άνω λαμαρίνας στην ανατολική στίβα (Λ2)	Ξυλόλιο, 1,2,3-τριμεθυλο βενζόλιο, 1,2,4-τριμεθυλο βενζόλιο, 1-αιθυλο-3-μεθυλο βενζόλιο	

Τα ποσοτικά αποτελέσματα για τη μέτρηση ξυλολίου ήταν τα ακόλουθα:

- Δείγματα ξύλου: 17-3 και 17-6. Και στις δύο περιπτώσεις η συγκέντρωση ξυλολίου ήταν μικρότερη των 3 mg/kg. Από βιβλιογραφική έρευνα, δε βρέθηκαν δημοσιεύσεις που να αναφέρονται σε μέτρηση ξυλολίου σε ξύλο. Οι μόνες κάπως σχετικές αφορούν τη χρήση ξυλοκάρβουνου (wood charcoal) ως προσροφητικού για τη δέσμευση ξυλολίου και άλλων πτητικών οργανικών ενώσεων.[118,119]
- Δείγματα από μεταλλικές επιφάνειες:
  17-4: αναφέρεται στο δελτίο ανάλυσης του ΓΧΚ ως φλοίδες από βαφή σκούρου καφέ χρώματος, με μέτρηση ξυλολίου 2,5 mg/kg.
  17-8: αναφέρεται στο δελτίο ανάλυσης του ΓΧΚ ως φλούδες σκουριασμένου μετάλλου με γκρι επίχρισμα και σκόνη σκουριάς, με μέτρηση ξυλολίου <1 mg/kg.
  17-14: αναφέρεται στο δελτίο ανάλυσης του ΓΧΚ ως επίχρισμα και λάδι σε μεταλλική επιφάνεια που περιέχει χώμα με χρώμα σκούρο καφέ, με μέτρηση ξυλολίου 2,2 mg/kg.
  17-15: αναφέρεται στο δελτίο ανάλυσης του ΓΧΚ ως επίχρισμα και λάδι σε μεταλλική επιφάνεια που περιέχει χώμα με χρώμα σκούρο καφέ, με μέτρηση ξυλολίου 2,6 mg/kg.
  17-24: αναφέρεται στο δελτίο ανάλυσης του ΓΧΚ ως υλικό επί της κυρτωμένης λαμαρίνας στη μεσαία στίβα. Χαρακτηρίστηκε ως κοκκώδες υλικό εμποτισμένο με έλαιο σιλικόνης. Μετά την απομάκρυνση του ελαίου σιλικόνης, με έκπλυση με διαλύτη αναφέρθηκαν θραύσματα πέτρας, θραύσματα γυαλιού, κομμάτια πλαστικού, ίνες, ρινίσματα μετάλλου, επιχρισμένα τεμάχια μετάλλου, καφέ σκόνη. Η μέτρηση ξυλολίου έδειξε 2,7 mg/kg.
  17-25: αναφέρεται στο δελτίο ανάλυσης του ΓΧΚ ως υλικό επί της κυρτωμένης λαμαρίνας στην ανατολική στίβα. Χαρακτηρίστηκε ως χώμα σκούρου καφέ χρώματος. Η μέτρηση ξυλολίου έδειξε 1,8 mg/kg.

Η σχετική έρευνα στη βιβλιογραφία για ύπαρξη ξυλολίου σε μεταλλικές επιφάνειες δεν έδωσε καμία σχετική εργασία. Σε κάποια δείγματα αναφέρεται επίχρισμα και χρώμα, που θα μπορούσαν να σχετιστούν με ξυλόλιο (διαλύτης χρωμάτων).

---

[118] S. Singh, S.S. Sombhatla, B.N. Rai, R.S. Singh: "Removal of MEK, Toluene and Xylene (MTX) from Air Using Modified Wood Charcoal Beads as Biofilter Media", *World Journal of Environmental Biosciences*, **2**, 1, (2013), pp. 21-30, eISSN 2277- 8047, www.environmentaljournals.org

[119] Kiran Singh, B.S. Giri, Amrita Sahi, S.R. Geed, M.K. Kureel, Sanjay Singh, S.K. Dubey, B.N. Rai, Surendra Kumar, S.N. Upadhyay, R.S. Singh: "Biofiltration of xylene using wood charcoal as the biofilter media under transient and high loading conditions", *Bioresource Technology*, **242**, (2017), pp. 351-358, doi:10.1016/j.biortech.2017.02.085

5.3.7. Δείγματα Σειράς ΕΜΠ 23

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 25-07-2024 και αφορούσε 2 δείγματα μεταλλικών πλακών που αποκόπηκαν εμπορευματοκιβώτιο (container) της εμπορικής αμαξοστοιχίας 63503. 7η Δειγματοληψία: ΕΜΠ 23/29-07-2024. Αφορά 2 δείγματα μεταλλικών τμημάτων από εμπορευματοκιβώτιο (container) της εμπορικής αμαξοστοιχίας. Τα αποτελέσματα υποβλήθηκαν με το με ΑΠ ΕΜΠ 23/29-07-2024 έγγραφο του ΓΧΚ στις 08-01-2025. Στα δείγματα ανιχνεύθηκαν μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες και στα 2 δείγματα (23-1, 23-2) και πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες σε 1 δείγμα (23-1). Οι μονορωματικοί υδρογονάνθρακες περιλάμβαναν ξυλόλιο σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (0,2 μg/cm^2 και 0,1 μg/cm^2 αντίστοιχα) και υποκατεστημένους αρωματικούς υδρογονάνθρακες C_8 – C_{10}. Πρόκειται πιθανότατα για τους διαλύτες που χρησιμοποιούνται στα χρώματα και ίχνη τους παγιδεύονται μετά τη σκλήρυνση της ρητίνης.[120]

5.3.8. Δείγματα Σειράς ΕΜΠ 25

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 30-08-2024 και αφορούσε τη λήψη 3 δειγμάτων από τμήματα της εσωτερικής επένδυσης βαγονιών της επιβατικής αμαξοστοιχίας. Τα αποτελέσματα υποβλήθησαν με το με ΑΠ ΕΜΠ 25/30-08-2024 στις 13-01-2025. Δεν ανιχνεύθηκαν διμεθυλοσιλοξάνια σε κανένα από τα 3 δείγματα. Ανιχνεύθηκαν μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες και στα 3 δείγματα, πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (ναφθαλένιο και στα 3 δείγματα). Τα αποτελέσματα είδους δείγματος και μονοαρωματικών υδρογονανθράκων φαίνονται στον επόμενο πίνακα:

Δείγμα	Περιγραφή	Επικάλυψη	Μονοαρωματικά
25-1	Επίπεδη πλάκα FRP με πλαστική επικάλυψη	Πολυεστερική ρητίνη	Στυρένιο, τριμεθυλο βενζόλιο, αιθυλο μεθυλο βενζόλιο, προπυλο βενζόλιο, 1-μεθυλο αιθυλο βενζόλιο, αιθυλο διμεθυλο βενζόλιο, μεθυλο προπυλο βενζόλιο, τετραμεθυλο βενζόλιο, αίθυλο βενζόλιο, ξυλόλιο
25-2	FRP με πλαστική επικάλυψη	Πολυεστερική ρητίνη	Στυρένιο, τριμεθυλο βενζόλιο, αιθυλο μεθυλο βενζόλιο, προπυλο βενζόλιο, 1-μεθυλο αιθυλο βενζόλιο, αιθυλο διμεθυλο βενζόλιο, μεθυλο προπυλο βενζόλιο, τετραμεθυλο βενζόλιο, αιθυλο βενζόλιο, ξυλόλιο
25-3	FRP πλαστική επικάλυψη	Πολυεστερική ρητίνη	βενζόλιο, τολουόλιο, αιθυλο βενζόλιο, ξυλόλιο, τριμεθυλο βενζόλιο, αιθυλο μεθυλο βενζόλιο, πρόπυλο βενζόλιο, 1 μεθυλο αιθυλο βενζόλιο

Οι μετρήσεις ξυλολίου ήταν: 25-1: 54,1 mg/kg, 25-2: 49,6 mg/kg, 25-3: 35,2 mg/kg.
Στην παράγραφο 5.3.10 δίνεται μια συνοπτική αναφορά για την περιεκτικότητα μονοαρωματικών υδρογονανθράκων σε δείγματα ρητινών.

5.3.9. Δείγματα Σειράς ΕΜΠ 33

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 30-09-2024 και αφορούσε 4 δείγματα ελαίων σιλικόνης από το εσωτερικό των μετασχηματιστών των ηλεκτραμαξών. Τα αποτελέσματα απεστάλησαν με το με ΑΠ ΕΜΠ 44/12-07-2024 στις 20-12-2024. Τα αποτελέσματα έδειξαν

[120] Richard H. McKee, Rosalie Tibaldi, Moyinoluwa D. Adenuga, Juan-Carlos Carrillo, Alison Margary: " Assessment of the potential human health risks from exposure to complex substances in accordance with REACH requirements. "White spirit" as a case study", *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, **92**, (2018), pp. 439-457, doi:10.1016/j.yrtph.2017.10.015

5.3.7. Δείγματα Σειράς ΕΜΠ 23

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 25-07-2024 και αφορούσε 2 δείγματα μεταλλικών πλακών που αποκόπηκαν εμπορευματοκιβώτιο (container) της εμπορικής αμαξοστοιχίας 63503. 7η Δειγματοληψία: ΕΜΠ 23/29-07-2024. Αφορά 2 δείγματα μεταλλικών τμημάτων από εμπορευματοκιβώτιο (container) της εμπορικής αμαξοστοιχίας. Τα αποτελέσματα υποβλήθηκαν με το με ΑΠ ΕΜΠ 23/29-07-2024 έγγραφο του ΓΧΚ στις 08-01-2025. Στα δείγματα ανιχνεύθηκαν μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες και στα 2 δείγματα (23-1, 23-2) και πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες σε 1 δείγμα (23-1). Οι μονορωματικοί υδρογονάνθρακες περιλάμβαναν ξυλόλιο σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (0,2 μg/cm^2 και 0,1 μg/cm^2 αντίστοιχα) και υποκατεστημένους αρωματικούς υδρογονάνθρακες C_8 – C_{10}. Πρόκειται πιθανότατα για τους διαλύτες που χρησιμοποιούνται στα χρώματα και ίχνη τους παγιδεύονται μετά τη σκλήρυνση της ρητίνης.[120]

5.3.8. Δείγματα Σειράς ΕΜΠ 25

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 30-08-2024 και αφορούσε τη λήψη 3 δειγμάτων από τμήματα της εσωτερικής επένδυσης βαγονιών της επιβατικής αμαξοστοιχίας. Τα αποτελέσματα υποβλήθησαν με το με ΑΠ ΕΜΠ 25/30-08-2024 στις 13-01-2025. Δεν ανιχνεύθηκαν διμεθυλοσιλοξάνια σε κανένα από τα 3 δείγματα. Ανιχνεύθηκαν μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες και στα 3 δείγματα, πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (ναφθαλένιο και στα 3 δείγματα). Τα αποτελέσματα είδους δείγματος και μονοαρωματικών υδρογονανθράκων φαίνονται στον επόμενο πίνακα:

Δείγμα	Περιγραφή	Επικάλυψη	Μονοαρωματικά
25-1	Επίπεδη πλάκα FRP με πλαστική επικάλυψη	Πολυεστερική ρητίνη	Στυρένιο, τριμεθυλο βενζόλιο, αιθυλο μεθυλο βενζόλιο, προπυλο βενζόλιο, 1-μεθυλο αιθυλο βενζόλιο, αιθυλο διμεθυλο βενζόλιο, μεθυλο προπυλο βενζόλιο, τετραμεθυλο βενζόλιο, αίθυλο βενζόλιο, ξυλόλιο
25-2	FRP με πλαστική επικάλυψη	Πολυεστερική ρητίνη	Στυρένιο, τριμεθυλο βενζόλιο, αιθυλο μεθυλο βενζόλιο, προπυλο βενζόλιο, 1-μεθυλο αιθυλο βενζόλιο, αιθυλο διμεθυλο βενζόλιο, μεθυλο προπυλο βενζόλιο, τετραμεθυλο βενζόλιο, αιθυλο βενζόλιο, ξυλόλιο
25-3	FRP πλαστική επικάλυψη	Πολυεστερική ρητίνη	βενζόλιο, τολουόλιο, αιθυλο βενζόλιο, ξυλόλιο, τριμεθυλο βενζόλιο, αιθυλο μεθυλο βενζόλιο, πρόπυλο βενζόλιο, 1 μεθυλο αιθυλο βενζόλιο

Οι μετρήσεις ξυλολίου ήταν: 25-1: 54,1 mg/kg, 25-2: 49,6 mg/kg, 25-3: 35,2 mg/kg.
Στην παράγραφο 5.3.10 δίνεται μια συνοπτική αναφορά για την περιεκτικότητα μονοαρωματικών υδρογονανθράκων σε δείγματα ρητινών.

5.3.9. Δείγματα Σειράς ΕΜΠ 33

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στις 30-09-2024 και αφορούσε 4 δείγματα ελαίων σιλικόνης από το εσωτερικό των μετασχηματιστών των ηλεκτραμαξών. Τα αποτελέσματα απεστάλησαν με το με ΑΠ ΕΜΠ 44/12-07-2024 στις 20-12-2024. Τα αποτελέσματα έδειξαν

[120] Richard H. McKee, Rosalie Tibaldi, Moyinoluwa D. Adenuga, Juan-Carlos Carrillo, Alison Margary: " Assessment of the potential human health risks from exposure to complex substances in accordance with REACH requirements. "White spirit" as a case study", *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, **92**, (2018), pp. 439-457, doi:10.1016/j.yrtph.2017.10.015

χαμηλές συγκεντρώσεις κυκλικών διμεθυλοσιλοξανίων στα δείγματα, και στο ένα δείγμα που υπήρχε σε επαρκή ποσότητα υψηλή τιμή σημείου ανάφλεξης. Σημειώνεται ότι αυτές οι μετρήσεις είναι οι μόνες που ζητήθηκαν από το συντάκτη της αναφοράς.

5.3.10. Μονοαρωματικοί Υδρογονάνθρακες στα Δείγματα Πολυμερών

Σε δείγματα της Σειράς 17 και της Σειράς 25, μετρήθηκαν συγκεντρώσεις ξυλολίου υψηλότερες σε σχέση με άλλα δείγματα, αλλά πάντα σε συγκεντρώσεις της τάξης των mg/kg (ppm). Οι αναλύσεις του ΓΧΚ για τα στερεά δείγματα είναι φυσιολογικές, όσον αφορά τη σύσταση των τεμαχίων που μελετήθηκαν. Τα αντικείμενα από τα οποία προήλθαν κατασκευάζονται συνήθως από ακόρεστο πολυεστέρα, ενισχυμένο με ινόμορφα υλικά, όπως ίνες και υφάσματα γυαλιού, άνθρακα, αραμιδικών ινών κλπ. Οι πολυεστέρες χαρακτηρίζονται ως πολυμερή υψηλών εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων λόγω της παρουσίας του μονομερούς διασύνδεσης εντός της ρητίνης. Αυτό το μονομερές διασύνδεσης έχει διπλό ρόλο στη διαδικασία πολυμερισμού: λειτουργεί ως διαλύτης, μειώνοντας το ιξώδες της βασικής ρητίνης, ενώ παράλληλα συμμετέχει ενεργά στη διαδικασία σκλήρυνσης.[121] Επιφανειακά, φέρουν ένα λεπτό πολυεστερικό στρώμα (gel coat) για αισθητικές ιδιότητες, χρώμα κλπ. Σε ειδικές περιπτώσεις που είναι επιθυμητός ο περιορισμός απορρόφησης υγρασίας, επιφανειακή σκληρότητα κλπ. χρησιμοποιείται εποξειδική ρητίνη ως επίστρωμα.

Η ανίχνευση ξυλολίου στις μικρές αναλογίες της τάξεως των mg/kg που εντοπίσθηκαν στα δείγματα, οφείλονται πιθανότατα στα κατάλοιπα των ιχνών αυτού του διαλύτη, τα οποία παραμένουν στην αλκυδική ρητίνη μετά τον πολυμερισμό. Πράγματι, κατά την αντίδραση πολυεστεροποίησης για την παραγωγή της ρητίνης προστίθεται ξυλόλιο στο σύστημα πολυμερισμού, ώστε να δημιουργήσει αζεότροπο μίγμα με το παραγόμενο νερό και να συναποστάξει με αυτό, επιταχύνοντας την πρόοδο και αυξάνοντας τον βαθμό του πολυμερισμού.[122]

Είναι ακόμη πιθανό, τα ανιχνευόμενα ίχνη αρωματικών υδρογονανθράκων να προέρχονται από την θερμική αποικοδόμηση αλυσίδων στυρενίου, το οποίο προστίθεται στα εμπορικά σκευάσματα του ακόρεστου πολυεστέρα σε αναλογίες περί το 35%. Επίσης, όπως αναφέρεται στη σχετική Έκθεση Εξέτασης Δείγματος του ΓΧΚ, το αποτέλεσμα ποσοτικού προσδιορισμού ξυλολίου περιλαμβάνει αθροιστικά τις ουσίες ο-ξυλόλιο, m-ξυλολιο, p-ξυλολιο και αιθυλοβενζόλιο. Το αιθυλοβενζόλιο είναι η ένωση από την οποία παρασκευάζεται το στυρένιο μέσω διεργασίας καταλυτικής αφυδρογόνωσης.[123,124] Ένα μέρος του αιθυλο βενζολίου παραμένει στο στυρένιο, δε συμμετέχει στην αντίδραση πολυμερισμού, και μπορεί να παραμείνει σε ιχνοποσότητα (mg/kg) στο τελικό προϊόν.

Σε εργασία που ασχολήθηκε με τον προσδιορισμό πτητικών οργανικών ενώσεων από επικαλυμμένο θερμοπλαστικό πολυεστερικό ελαστομερές σε εσωτερικά μέρη αυτοκινήτων, πέραν των διαλυτών που σχετίζονται με την παραγωγή του πολυμερούς ((οξικός αιθυλεστέρας, οξικός ισοβουτυλεστέρας, οξικός βουτυλεστέρας, 1-μεθοξυ-2-προπανυλο-οξικός και 2-βουτοξυαιθυλο-οξικός), κετόνες (ακετόνη, ισοβουτυλο-μεθυλο-κετόνη και 4-υδροξυ-4-μεθυλο-πενταν-2-όνη), αλκοόλες (αιθυλική αλκοόλη και ισοπροπυλική αλκοόλη) και ακεταλδεΰδη)), ανιχνεύθηκαν και αρωματικοί υδρογονάνθρακες και συγκεκριμένα: τολουόλιο, m- και ο- ξυλόλιο και 1,2,3-τριμεθυλοβενζόλιο. Όπως αναφέρεται, λόγω της υψηλής ικανότητας απορρόφησης διαλυτών του καθαρού πολυεστέρα, όλες οι πτητικές ενώσεις που περιλαμβάνουν τα ακατέργαστα υλικά επίστρωσης μπορεί να παραμείνουν ως

---

[121] Selinay Gümüş, Kaan Aksoy, Ayşe Aytaç: "Synthesis of low-VOC unsaturated polyester coatings for electrical insulation", *e-Polymers*, **23**, (2023), 20230125; doi:10.1515/e-poly-2023-0125

[122] J.K. Fink: "Reactive Polymers Fundamentals and Applications, A Concise Guide to Industrial Polymers", William Andrews Publishing, New York, 2005, ISBN: 0-8155-1515-4

[123] Sami Matar, Lewis F. Hatch: "Chemistry of Petrochemical Processes", 2nd Edition, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 2000, ISBN: 978-0-080-50108-6

[124] Chang Samuel Hsu, Paul R. Robinson: "Petroleum Science and Technology", Springer Nature Switzerland AG, 2019, ISBN 978-3-030-16275-7

υπολείμματα και να συμπεριφέρονται ως πτητικές οργανικές ενώσεις.[125] Επίσης το ξυλόλιο είναι μία από τις πτητικές οργανικές ενώσεις που ανιχνεύθηκαν κατά τον έλεγχο για εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων από βιομηχανικές δραστηριότητες σχετιζόμενες με ενισχυμένες πολυεστερικές ρητίνες. Η κύρια πτητική ένωση που ανιχνεύθηκε ήταν το στυρένιο.[126,127] Γενικά, το ξυλόλιο είναι μία από τις ενώσεις που αναφέρονται σε μελέτη σχετική με τις εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων από τη βιομηχανία συνθετικών ρητινών στην Κίνα, κυρίως στους κλάδους των επικαλυπτικών ρητινών και των ρητινών φαινόλης – φορμαλδεΰδης.[128]
Όσον αφορά τις εποξειδικές ρητίνες, το ξυλόλιο βελτιώνει την ευκολία εφαρμογής τους εποξειδικής ρητίνης μειώνοντας το ιξώδες τους.[129] Αντίστοιχη διαδικασία αλλά με μεγαλύτερη ποσότητα ξυλολίου ως διαλύτη χρησιμοποιείται και στην περίπτωση των χρωμάτων εποξειδικής βάσης.[130]

5.4. Απαντήσεις στα Ερωτήματα

5.4.1. Ερώτημα 1: Δικαιολογούνται τα ευρήματα των αναλύσεων του Γενικού Χημείου του Κράτους (Γ.Χ.Κ.) από την ίδια τη σύσταση των υλικών των δειγμάτων που αναλύθηκαν;

Όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 5.1, κατά τη διάρκεια διερεύνησης του τραγικού συμβάντος της 28-02-2023, πραγματοποιήθηκαν 9 σειρές δειγματοληψιών με επακόλουθες αναλύσεις των δειγμάτων από το ΓΧΚ. Ο συνολικός αριθμός των δειγμάτων ήταν 183, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις τα δείγματα περιείχαν και υποδείγματα. Τα δείγματα που ελήφθησαν ήταν πολλών διαφορετικών ειδών, με διαφορετική κάθε φορά στόχευση. Επίσης, ο χρόνος που έγινε η κάθε δειγματοληψία ήταν διαφορετικός. Συνοπτικά, στις παραγράφους 5.3.1 – 5.3.10 έχει γίνει ένας συνοπτικός σχολιασμός των αποτελεσμάτων της κάθε σειράς δειγμάτων, δίνοντας έμφαση στα διμεθυλοσιλοξάνια και στους αρωματικούς υδρογονάνθρακες, επειδή τα διμεθυλοσιλοξάνια σχετίζονται με τα έλαια σιλικόνης που είναι το έλαιο ψύξης των μετασχηματιστών των ηλεκτραμαξών και οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες αποτελούν συνήθη ευρήματα σε συνθήκες πυρκαγιάς. Επίσης, από τη βιβλιογραφική επισκόπηση που πραγματοποιήθηκε φάνηκε πως στο έδαφος μπορεί να υπάρξει ένας σημαντικός αριθμός οργανικών ενώσεων, κυρίως πτητικών οργανικών ενώσεων (ακόμη και αρωματικοί υδρογονάνθρακες) που σχετίζονται με τη βιολογική δραστηριότητα μικροοργανισμών που διαβιούν στο έδαφος (παράγραφος 4.3). Αυτές οι παρατηρήσεις υποδεικνύουν τη δυσκολία να υπάρξει μια σαφής απάντηση στο ερώτημα. Για παράδειγμα, τα διμεθυλοσιλοξάνια μπορούν εύκολα να συσχετιστούν με το έλαιο σιλικόνης που διέρρευσε στο έδαφος μετά τη ρήξη του περιβλήματος των μετασχηματιστών λόγω της πρόσκρουσης. Αυτό το εύρημα όμως, δε σχετίζεται με τη φυσιολογική σύσταση ενός δείγματος πάνω στο οποίο βρέθηκε έλαιο σιλικόνης, είτε αυτό είναι χώμα, είτε ξύλο, είτε

---

[125] Hyo Jeong Kim, Chanul Jeong, Arom Oh, Yong-Soo Seo, Hotak Jeon, Youngho Eom: " Elevated volatile organic compound emissions from coated thermoplastic polyester elastomer in automotive interior parts: Importance of plastic swelling", *Journal of Hazardous Materials*, **461**, (2024), 132614, doi:10.1016/j.jhazmat.2023.132614

[126] Jie Guo, Ying Jiang, Xiaofang Hu, Zhenming Xu: "Volatile Organic Compounds and Metal Leaching from Composite Products Made from Fiberglass-Resin Portion of Printed Circuit Board Waste", *Environmental Science & Technology*, **46**, (2012), pp. 1028-1034, doi:10.1021/es2029558

[127] Run Hao, Song Xue, Hao Sun, Tao Yang, Hailin Wang: "Emission Characteristics and the Environmental Impact of VOCs from Typical FRP Manufacture Industry", *Atmosphere*, **13**, (2022), 1274. Doi:10.3390/atmos13081274

[128] Yiran Ma, Shaqi Fu, Song Gao, Shuwei Zhang, Xiang Che, Qiaoming Wang, Zheng Jiao: "Update on volatile organic compound (VOC) source profiles and ozone formation potential in synthetic resins industry in China", *Environmental Pollution*, **291**, (2021), 118253, doi:10.1016/j.envpol.2021.118253

[129] Frederick H. Walker, Michael Cook, Gamini Vedage, Rob Rasing: "Dimethyl secondary amine chain extenders: a conceptual approach to in situ generation of advanced epoxy resins for rapid cure, low VOC coatings", *Journal of Coating Technology and Research*, **6**, (2009), pp. 283–313, doi:10.1007/s11998-009-9178-0

[130] U. Konwar, N. Karak, T. Jana: "Vegetable oil-based highly branched polyester modified epoxy based low VOC high solid industrial paint", *Journal of Applied Polymer Science*, **125**, S2 (2012), E2–E9. doi:10.1002/app.35370

μέταλλο. Μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες βρέθηκαν σε δείγματα εδάφους, και σε διάφορα αντικείμενα που αναλύθηκαν κατά τη διάρκεια της διερεύνησης. Μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες μπορεί να σχηματιστούν κατά τη διάρκεια της καύσης και να βρεθούν στο έδαφος, αλλά μπορεί επίσης να προέρχονται και από βιολογική δραστηριότητα. Σε δείγματα ξύλου ανιχνεύθηκαν ενώσεις που αποτελούν φυσικά συστατικά του ξύλου, αλλά και ενώσεις που χαρακτηρίζονται ως ρυπαντές (π.χ. μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες σε κάποιες περιπτώσεις). Σε πολλές περιπτώσεις, η έρευνα στη διεθνή βιβλιογραφία δεν έδωσε κάποιο αποτέλεσμα καθώς δε βρέθηκαν εργασίες που θα μπορούσαν να συσχετιστούν με κάποια από τα ευρήματα των αναλύσεων του ΓΧΚ.

5.4.2. Ερώτημα 2: Δικαιολογούνται τα ευρήματα των αναλύσεων του Γενικού Χημείου του Κράτους (Γ.Χ.Κ.) από τα φορολογικά και λοιπά στοιχεία-έγγραφα φόρτωσης της εμπορικής αμαξοστοιχίας;

Η απάντηση στο ερώτημα θα βασιστεί σε έγγραφα που έχουν υποβληθεί κατά τη διάρκεια της διερεύνησης και πιο συγκεκριμένα:

- Φορτωτικές της εμπορικής αμαξοστοιχίας (υποβλήθηκαν με το με ΑΠ 33052/23/Τ10/12-06-2023 έγγραφο της Hellenic Train.
- Έκθεση Αυτοψίας της Ελληνικής Αστυνομίας που συντάχθηκε στις 10-02-2023.

Σύμφωνα με τις φορτωτικές, τα εμπορεύματα που μετέφερε η εμπορική αμαξοστοιχία που ενεπλάκη στο συμβάν ήταν (η αναφορά γίνεται κατά σειρά όπως αναφέρονται στο έγγραφο της Hellenic Train):

Φορτωτική	Περιεχόμενο
31653914097-0	Παλέτες με χάλυβα θερμής έλασης (Hot rolled steel paletes)
31653924051-5	Παλέτες με χάλυβα θερμής έλασης (Hot rolled steel paletes)
31654540022-8	Παλέτες με χάλυβα θερμής έλασης (Hot rolled steel paletes)
31733622029-6	Κενό εμπορευματοκιβώτιο MNBU0656219
31733622170-8	Κενό εμπορευματοκιβώτιο SUDU6254697
31733622124-5	Εμπορευματοκιβώτιο TLLU6136460 με σύρματα από σίδηρο, ή από όχι σε κράμα χάλυβες
31733622056-9	Εμπορευματοκιβώτιο KKFU1817159 με σύρματα από σίδηρο, ή από όχι σε κράμα χάλυβες
31733622153-4	Εμπορευματοκιβώτιο TLLU8137315 με μπύρες
31733622098-1	Εμπορευματοκιβώτιο DRYU9632198 με μπύρες
31733622138-5	Εμπορευματοκιβώτιο ZMOU8830864 με παρασκευάσματα διατροφής ΜΕΚ
31733622247-4	Εμπορευματοκιβώτιο SEGU4298870 με παρασκευάσματα διατροφής ΜΕΚ
31733622175-7	Εμπορευματοκιβώτιο ZMOU8897301 με παρασκευάσματα διατροφής ΜΕΚ
31733622183-1	Εμπορευματοκιβώτιο OOLU6870319 με παρασκευάσματα διατροφής ΜΕΚ

Στην Έκθεση Αυτοψίας της Ελληνικής Αστυνομίας η υπ' αριθμόν 13 παρατήρηση, αφορά την εμπορική αμαξοστοιχία. Αναφέρεται ότι αποτελείτο από 2 ηλεκτροκίνητες μηχανές και 13 βαγόνια, εκ των οποίων τα τρία 3 πρώτα με φύλλα λαμαρίνας και τα επόμενα 10 με εμπορευματοκιβώτια. Μετά τη σύγκρουση οι 2 μηχανές και τα 3 πρώτα βαγόνια με τις λαμαρίνες εκτροχιάστηκαν ανατολικά των γραμμών, προς την παλιά εθνική οδό. Οι 2 μηχανές της εμπορικής αμαξοστοιχίας είχαν εκτροχιαστεί προς την πλευρά της Π.Ε.Ο., με την πρώτη. εξ αυτών να έχει προσκρούσει στο τσιμεντένιο τοιχίο υποστύλωσης της οδού. Τα 3 επόμενα βαγόνια – πλατφόρμες που έπονταν των μηχανών είχαν εκτροχιαστεί και το φορτίο τους, αποτελούμενο από φύλλα λαμαρινών, είχαν πέσει από αυτές καλύπτοντας την σιδηροδρομική γραμμή ανόδου και μερικά εξ αυτών χτύπησαν στο τσιμεντένιο τοιχίο του τούνελ. Αυτά τα 3 βαγόνια με τις λαμαρίνες βρέθηκαν μπροστά από τις δύο εκτροχιασμένες μηχανές της εμπορικής αμαξοστοιχίας, κατά τη φορά κίνησης. Το αμέσως επόμενο βαγόνι με εμπορευματοκιβώτιο το οποίο περιείχε ζωοτροφές εκτροχιάστηκε, ενώ το

εμπορευματοκιβώτιο) υπέστη υλικές ζημίες και μικρή διάτρηση στην πόρτα του, χωρίς ίχνη φωτιάς. Τα επόμενα 9 βαγόνια της εμπορικής αμαξοστοιχίας, φορτωμένα με εμπορευματοκιβώτια, βρέθηκαν τροχιοδρομημένα στις ράγες. Οι θύρες των εμπορευματοκιβωτίων βρέθηκαν σφραγισμένες, ενώ δεν υπήρχαν ίχνη φωτιάς. Τα εμπορευματοκιβώτια αποσφραγίστηκαν παρουσία των Αξιωματικών της Ελληνικής Αστυνομίας που συνέταξαν την Έκθεση Αυτοψίας και παρουσία αρμοδίων υπαλλήλων Τελωνείου, πραγματοποιήθηκε μακροσκοπικός έλεγχος και φωτογράφηση του περιεχομένου τους. Όπως αναφέρεται στην Έκθεση Αυτοψίας περιείχαν ζωοτροφές, αντιβιοτικό ζωοτροφών, φρούτα, μπύρες, ηλεκτρολογικό υλικό, ενώ τα δύο τελευταία ήταν κενά.
Από την Έκθεση Αυτοψίας και τις σχετικές φωτογραφίες που τη συνοδεύουν, φαίνεται ότι το εμπορευματοκιβώτιο που υπέστη υλικές ζημιές ήταν το OOLU6870319, η φορτωτική του οποίου αναφέρει ως περιεχόμενο παρασκευάσματα διατροφής, κάτι σε αντιστοιχία με την Έκθεση Αυτοψίας που αναφέρει ως περιεχόμενο ζωοτροφές.
Λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω και κυρίως το γεγονός ότι πλην ενός όλα τα εμπορευματοκιβώτια βρέθηκαν σφραγισμένα και επίσης κανένα από τα εμπορευματοκιβώτια δεν έχει ίχνη φωτιάς, τα αποτελέσματα των αναλύσεων του ΓΧΚ δεν μπορούν να συσχετιστούν με το περιεχόμενο της εμπορικής αμαξοστοιχίας.

5.4.3. Ερώτημα 3: Δικαιολογούνται τα ευρήματα των αναλύσεων του Γενικού Χημείου του Κράτους (Γ.Χ.Κ.) από τα υλικά κατασκευής των συγκρουσθεισών επιβαταμαξών, φορταμαξών και ηλεκτραμαξών;

Πριν δοθεί απάντηση, θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι δεν υπάρχει καταγραφή των υλικών κατασκευής των ηλεκτραμαξών, των επιβαταμαξών και των φορταμαξών των συρμών, επομένως θα γίνει μια κατ' εκτίμηση απάντηση με βάση τα βασικά υλικά που λογικά υπάρχουν σε τέτοιου είδους κατασκευές.
Το κύριο υλικό κατασκευής όλων των ανωτέρω λογικά είναι χάλυβας ο οποίος φέρει εξωτερική επίστρωση με χρώμα. Τα χρώματα αποτελούνται από ρητίνες (ως συνδετικό υλικό), πιγμέντα (χρωστικές), διαλύτες (ως φορέα για τη χρωστική και τη ρητίνη) και πρόσθετα. Κατά την εφαρμογή του χρώματος ο διαλύτης εξατμίζεται και απομακρύνεται σχεδόν στο σύνολό του, πέραν κάποιων μικροποσοτήτων που εγκλωβίζονται στη ρητίνη. Στο χώρο της ηλεκτράμαξας υπάρχουν καλωδιώσεις, διακόπτες, πλακέτες και άλλος ηλεκτρολογικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός που περιέχει πολυμερή υλικά. Οι επιβατάμαξες διαθέτουν καθίσματα, παράθυρα, επιστρώσεις, διακόπτες, που επίσης είναι κατασκευασμένα από πολυμερή υλικά. Επίσης υπάρχουν υφάσματα (κουρτίνες, καλύμματα καθισμάτων) καθώς και ξύλινες επενδύσεις. Το βαγόνι κυλικείο περιείχε αντίστοιχα αντικείμενα καθώς και τραπέζια, πάγκους, ηλεκτρικές συσκευές (για ζέσταμα τροφίμων και παρασκευή ζεστών ροφημάτων). Οι φορτάμαξες πέραν της μεταλλικής κατασκευής διαθέτουν και ξύλινες επιφάνειες (αυτές επί των οποίων είχαν φορτωθεί τα μεταλλικά ελάσματα).
Πολλά από αυτά τα είδη και αντικείμενα συμμετείχαν στην πυρκαγιά που εκδηλώθηκε μετά τη σύγκρουση των αμαξοστοιχιών. Όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 4.2.2 της αναφοράς, κατά την καύση πολυμερών εκπέμπονται διάφορες ενώσεις της κατηγορίας των πτητικών οργανικών ενώσεων όπως μονοαρωματικοί υδρογονάνθρακες, πτητικές αλδεΰδες και κετόνες, όπως επίσης και πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (ΡΑΗ). Αντίστοιχες κατηγορίες ενώσεων έχουν ανιχνευθεί στις αναλύσεις που διεξήγαγε το ΓΧΚ, οπότε είναι πιθανόν κάποιες από τις παρατηρηθείσες ενώσεις να οφείλονται στην καύση αυτών των υλικών.

5.4.4. Ερώτημα 4: Δικαιολογούνται τα ευρήματα των αναλύσεων του Γενικού Χημείου του Κράτους (Γ.Χ.Κ.) από τη σύσταση και τα ειδικότερα χαρακτηριστικά του ελαίου (σιλικόνης) ψύξης των μετασχηματιστών (Μ/Σ) των ηλεκτραμαξών των συγκρουσθεισών αμαξοστοιχιών;

Όπως έχει αναφερθεί στις παραγράφους 3.1 – 3.4 της αναφοράς, τα έλαια σιλικόνης αποτελούνται από γραμμικά πολυδιμεθυλοσιλοξάνια. Πρόκειται για πολυμερή υλικά που έχουν μοριακή δομή που περιέχει τον δεσμό –Si–C– (σιλοξάνιο), με ομάδες μεθυλίου CH_3. Τα πολυδιμεθυλοσιλοξάνια είναι βραδύκαυστες ενώσεις με υψηλά σημεία ανάφλεξης (άνω των 300 °C). Η διαδικασία καύσης τους περιλαμβάνει τη διάσπασή τους σε υψηλές θερμοκρασίες προς ολιγομερή (κυκλικά είδη και γραμμικά, αλυσίδας μικρού μήκους) με σημεία βρασμού κάτω από 250 °C τα οποία εξατμίζονται και υφίστανται καύση. Τα είδη υψηλότερου μοριακού βάρους υφίστανται τόσο οξείδωση, η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη διασύνδεση της μήτρας σιλικόνης, όσο και αποικοδόμηση μέσω αναδιάταξης σιλοξανίων, για να σχηματίσουν κυρίως κυκλικά μόρια χαμηλού μοριακού βάρους, τα οποία εξατμίζονται και παρέχουν καύσιμο για τη διαδικασία καύσης. Η τελευταία διαδικασία είναι η κυρίαρχη οδός για την ενδεχόμενη πλήρη καύση του πολυμερούς.
Κατά τη διαδικασία του τραγικού δυστυχήματος που ξεκίνησε με τη σύγκρουση των αμαξοστοιχιών και συνεχίστηκε με την πυρκαγιά, υπήρξε διασπορά ελαίου σιλικόνης από τους μετασχηματιστές των ηλεκτραμαξών. Ένα μέρος του ελαίου συμμετείχε στην πυρκαγιά, οπότε εξετέθη σε υψηλές θερμοκρασίες, κάτι που είχε ως αποτέλεσμα τη διάσπασή του προς κυκλικά και γραμμικά ολιγομερή διμεθυλοσιλοξάνια.
Οι αναλύσεις του ΓΧΚ προσδιόρισαν γραμμικά σιλοξάνια (ολιγομερή και πολυμερή) σε 59 δείγματα και κυκλικά διμεθυλοσιλοξάνια σε 39 δείγματα. Κοινή παρουσία γραμμικών διμεθυλοισιλοξανίων και κυκλικών διμεθυλοσιλοξανίων υπήρξε σε 27 δείγματα. Αυτά είναι τα ευρήματα των αναλύσεων του ΓΧΚ που σχετίζονται με τα έλαια ψύξης των μετασχηματιστών.

5.4.5. Ερώτημα 5: Σε τι κατά την γνώμη του οφείλεται το καταγραφέν από τις κάμερες φαινόμενο «πύρινης σφαίρας» («fireball») και με ποιο μηχανισμό εκδηλώθηκε αυτό;

Πύρινη Σφαίρα
Η πύρινη σφαίρα ορίζεται ως "φωτιά, που καίγεται επαρκώς γρήγορα ώστε η καιόμενη μάζα να ανυψωθεί στον αέρα ως νέφος ή σφαίρα". Μια πύρινη σφαίρα λαμβάνει χώρα όταν ένα εύφλεκτο υγρό, αέριο ή σκόνη απελευθερώνεται ξαφνικά και έχει περιορισμένη ανάμιξη με τον αέρα πριν από την ανάφλεξη. Αυτό το γεγονός διαφέρει από μια ταχεία ανάφλεξη (flash fire που παρατηρείται όταν ένα εύφλεκτο νέφος στον ανοικτό αέρα βρει μια πηγή ανάφλεξης), ή μια έκρηξη νέφους ατμών (vapor cloud explosion VCE) στο ότι η έκλυση του εύφλεκτου υλικού αναφλέγεται πριν από την ανάμιξη με τον εξωτερικό αέρα. Το συμβάν της καύσης με πύρινη σφαίρα περιλαμβάνει επομένως την παράσυρση και ανάμιξη με τον περιβάλλοντα αέρα καθώς καίγεται. Η καύση λαμβάνει χώρα κυρίως στο εξωτερικό στρώμα της πύρινης σφαίρας, όπου το πλούσιο σε καύσιμα νέφος αναμιγνύεται με τον περιβάλλοντα αέρα. Καθώς τα αέρια στο εσωτερικό της πύρινης σφαίρας θερμαίνονται, η άνωση αυξάνεται και η πύρινη σφαίρα ανυψώνεται καθώς διαστέλλεται.
Υπάρχουν διάφορα σενάρια που μπορούν να οδηγήσουν σε μια πύρινη σφαίρα, όπως:

- Η ανάφλεξη μιας έκλυσης εύφλεκτου υλικού κατά τη διάρκεια ενός συμβάντος BLEVE.
- Η ανάφλεξη ενός νέφους ατμών πλούσιου σε καύσιμο.
- Η ανάφλεξη μιας έκλυσης υγροποιημένου αερίου εντός αγωγού, όπου του πίδακα φωτιάς (jet fire) προηγείται μια πύρινη σφαίρα.

- Η ανάφλεξη μιας ξαφνικής απελευθέρωσης εύφλεκτου υλικού μετά από συμβάν έντονου βρασμού.
- Μια απελευθέρωση εύφλεκτων ατμών σε ένα κτίριο και επακόλουθη ανάφλεξη.
- Ανάφλεξη εκρηκτικών ή προωθητικών υλικών.
- Εκτόνωση μιας ανάφλεξης μέσα σε ένα κλειστό χώρο.

Ο τύπος καύσης της πύρινης σφαίρας είναι σχετικά αργός, δεδομένου ότι η ταχύτητα της καύσης περιορίζεται από το χρόνο παρασυρόμενου αέρα και το χρόνο ανάμιξης. Συνεπώς, δεν υπάρχει σχετικό κύμα έκρηξης. Η πύρινη σφαίρα, ωστόσο, ενέχει κίνδυνο ακτινοβολίας, καθώς η θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την καύση εκπέμπεται ακτινικά. [131]
Στη συνέχεια αναπτύσσεται εν συντομία η πιθανότητα σχηματισμού πύρινης σφαίρας, ξεκινώντας από τα υλικά τα οποία βρίσκονταν με βεβαιότητα πάνω στους συρμούς που ενεπλάκησαν στο τραγικό συμβάν.

Έλαιο Σιλικόνης

Τα έλαια σιλικόνης είναι υγρά με πολύ υψηλό σημείο ανάφλεξης (άνω των 300 °C), τα οποία σε φυσιολογικές συνθήκες αναφλέγονται δύσκολα, και σε συνθήκες καύσης σε συνθήκες ακινησίας χαρακτηρίζονται έως και αυτοσβενόμενα λόγω του σχηματισμού στερεού οξειδίου του πυριτίου (SiO_2) στην επιφάνεια του υγρού που δεν επιτρέπει στο οξυγόνο να έρθει σε επαφή με το φλεγόμενο υγρό για να συντηρήσει την καύση (Fire hazard classification to IEC 61100: K3).
Οι συνθήκες σχηματισμού πύρινης σφαίρας απαιτούν σημαντική ποσότητα υλικού που μπορεί να εξατμιστεί ή να σχηματίσει σταγονίδια κατάλληλου μεγέθους που θα δημιουργήσουν με τον αέρα αναφλέξιμο μίγμα που από τη στιγμή που θα πραγματοποιηθεί η έναυση θα υπάρξει ανύψωση της καύσιμης ύλης που θα διαρκέσει μέχρι να καταναλωθεί όλη η διαθέσιμη ποσότητα. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της πτητικότητας ενός υλικού είναι το σημείο βρασμού (ή η περιοχή βρασμού για μίγματα) και η τάση ατμών. Τόσο στο MSDS όσο και στο Τεχνικό Φυλλάδιο Bayer Silicones Baysilone Fluids δεν παρέχονται στοιχεία για την περιοχή βρασμού του ελαίου σιλικόνης M50 EL. Το MSDS δίνει τιμή τάσης ατμών < 0.1 mbar στους 20 °C, τιμή πάρα πολύ χαμηλή, η οποία σημαίνει πως το έλαιο σιλικόνης M50 EL δεν μπορεί να εξατμιστεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Επίσης στο Τεχνικό Φυλλάδιο δίνονται στοιχεία για την απώλεια εξάτμισης στους 250°C, με τη δοκιμή Noack (θέρμανση 65 g δείγματος για μία ώρα σε ατμοσφαιρική πίεση στους 250 °C), η οποία ήταν < 5%. Και αυτή η τιμή είναι ένδειξη υλικού με πολύ χαμηλή πτητικότητα. Μία ακόμη σημαντική παράμετρος είναι το ενεργειακό περιεχόμενο του καυσίμου, που εκφράζεται με τη θερμογόνο δύναμή του. Με βάση τη βιβλιογραφία, η κατώτερη θερμογόνος δύναμη ενός ελαίου σιλικόνης cSt είναι 24,8 MJ/kg και η θερμότητα εξάτμισης περίπου 3,3 MJ/kg.[132] Η θερμογόνος δύναμη του ελαίου σιλικόνης είναι σημαντικά χαμηλότερη αυτής των υδρογονανθράκων. Για παράδειγμα, η κατώτερη θερμογόνος δύναμη ενός ορυκτελαίου είναι της τάξης των 42,5 MJ/kg. Με βάση τα ανωτέρω χαρακτηριστικά, το έλαιο σιλικόνης M50 EL σε φυσιολογικές συνθήκες δεν μπορεί να σχηματίσει πύρινη σφαίρα.

Πιθανές Παράπλευρες Αντιδράσεις Ελαίου Σιλικόνης

Μία βασική πηγή πληροφοριών σχετικά με τη δραστικότητα ενός υλικού αποτελεί το φύλλο δεδομένων ασφαλείας (MSDS) του αντίστοιχου υλικού. Το σημείο που διερευνάται σε αυτό το σημείο είναι η δραστικότητα και η συμβατότητα με υλικά που χαρακτηρίζονται ως ισχυρά οξειδωτικά (οξέα και βάσεις). Το MSDS του Baysilone M50 αναφέρει ότι δεν υπάρχουν

---

[131] Morgan J. Hurley (Editor-in-Chief): "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", Fifth Edition, Volume I, Society of Fire Protection Engineers, Springer, New York, 2016, ISBN 978-1-4939-2565-0

[132] R. Buch, A. Hamins, K. Konishi, D. Mattingly, T. Kashiwagi: "Radiative emission fraction of pool fires burning silicone fluids", *Combustion and Flame*, **108**, 1–2, (1997), pp. 118-126, doi:10.1016/S0010-2180(96)00098-3

επικίνδυνα προϊόντα αποσύνθεσης όταν αποθηκεύεται σωστά, ότι δεν έχουν παρατηρηθεί επικίνδυνες αντιδράσεις Παρουσία αέρα, σχηματίζεται φορμαλδεΰδη σε μικρές ποσότητες με οξειδωτική αποικοδόμηση σε θερμοκρασίες από περίπου 150 °C.
Όπως αναφέρεται στο Τεχνικό Φυλλάδιο Bayer Silicones Baysilone Fluids τα έλαια Baysilone M είναι γενικά αδρανή. Είναι ανθεκτικά στο νερό, τους οργανικούς διαλύτες, το καθαρό οξυγόνο και πολλά χημικά. Η επαφή με τα περισσότερα μέταλλα δεν προκαλεί καμία αλλαγή και τα ίδια τα υγρά δεν προσβάλλουν ούτε τα μέταλλα ούτε το ξύλο, το χαρτί ή τα πλαστικά. Στο φυλλάδιο παρέχεται πίνακας που παρουσιάζει μεταβολή του ιξώδους των ελαίων 50 cSt και 100 cSt με την επίδραση οξέων και βάσεων μετά από έκθεση 12 ωρών στους 25 °C και 100 °C αντίστοιχα.
Ισχυρά οξειδωτικά, όπως το συμπυκνωμένο νιτρικό οξύ και το στοιχειακό χλώριο, προκαλούν φθορά των ελαίων Baysilone M, ειδικά σε αυξημένη θερμοκρασία. Ένα σημαντικό σημείο σχετικά με τη χρήση του Baysilone Fluids M σε ηλεκτρικές εφαρμογές είναι ότι το διοξείδιο του πυριτίου σχηματίζεται ως το κύριο προϊόν καύσης όταν καίγονται τα υγρά και ότι αυτό, σε αντίθεση με τον γραφιτικό άνθρακα, είναι μη αγώγιμο.
Από την ανάγνωση αυτή, δεν προκύπτει ότι η πιθανή επαφή του ελαίου με το διοξείδιο του καλίου (KOH) που ανιχνεύθηκε στο δείγμα ΕΜΠ12-8 από τους συσσωρευτές της ηλεκτράμαξας θα μπορούσε να προκαλέσει την έκλυση κάποιου επικίνδυνου ή αναφλέξιμου συστατικού.
Πέραν του ελέγχου του MSDS του ελαίου Baysilone M50, αναζητήθηκαν τα MSDS αντίστοιχων ελαίων από σημαντικούς κατασκευαστές παγκοσμίως, με στόχο να αναζητηθούν πληροφορίες σχετικά με την πιθανότητα προσβολής από βάσεις, ή το σχηματισμό πιθανώς επικίνδυνων συστατικών. Τα αποτελέσματα της αναζήτησης φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Εταιρία	Δραστικότητα	Ασύμβατες Ουσίες
Struers	Δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα	Ισχυρές οξειδωτικές ουσίες, ισχυρά οξέα και ισχυρές βάσεις
Merck - Supelco	Σχηματίζει εκρηκτικά μίγματα με αέρα σε έντονη θέρμανση. Ένα εύρος από περίπου 15 °C κάτω από το σημείο ανάφλεξης πρέπει να αξιολογηθεί ως κρίσιμο	Πιθανές βίαιες αντιδράσεις με ισχυρούς οξειδωτικούς παράγοντες
Sigma – Aldrich	Σχηματίζει εκρηκτικά μίγματα με αέρα σε έντονη θέρμανση. Ένα εύρος από περίπου 15 °C κάτω από το σημείο ανάφλεξης πρέπει να αξιολογηθεί ως κρίσιμο	Οξέα, βάσεις, ισχυροί οξειδωτικοί παράγοντες
Nedform	Δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα	Ασύμβατο με οξειδωτικούς παράγοντες, οξέα, βάσεις
Dow Corning	Μπορεί να αντιδράσει με ισχυρούς οξειδωτικούς παράγοντες. Όταν θερμαίνεται σε θερμοκρασίες άνω των 150 °C (300 °F) παρουσία αέρα, μπορούν να απελευθερωθούν ίχνη φορμαλδεΰδης	Οξειδωτικές ουσίες
Redox	Όταν θερμαίνεται σε θερμοκρασίες άνω των 150 °C παρουσία αέρα, μπορούν να ελευθερωθούν ίχνη φορμαλδεΰδης	Οξειδωτικές ουσίες
Dupont	Σταθερό υπό κανονικές συνθήκες	Οξειδωτικές ουσίες
Wacker	Μετρήσεις έχουν δείξει το σχηματισμό μικρών ποσοτήτων φορμαλδεΰδης σε θερμοκρασίες άνω των 150 °C (302 °F) μέσω οξείδωσης	Καμία γνωστή

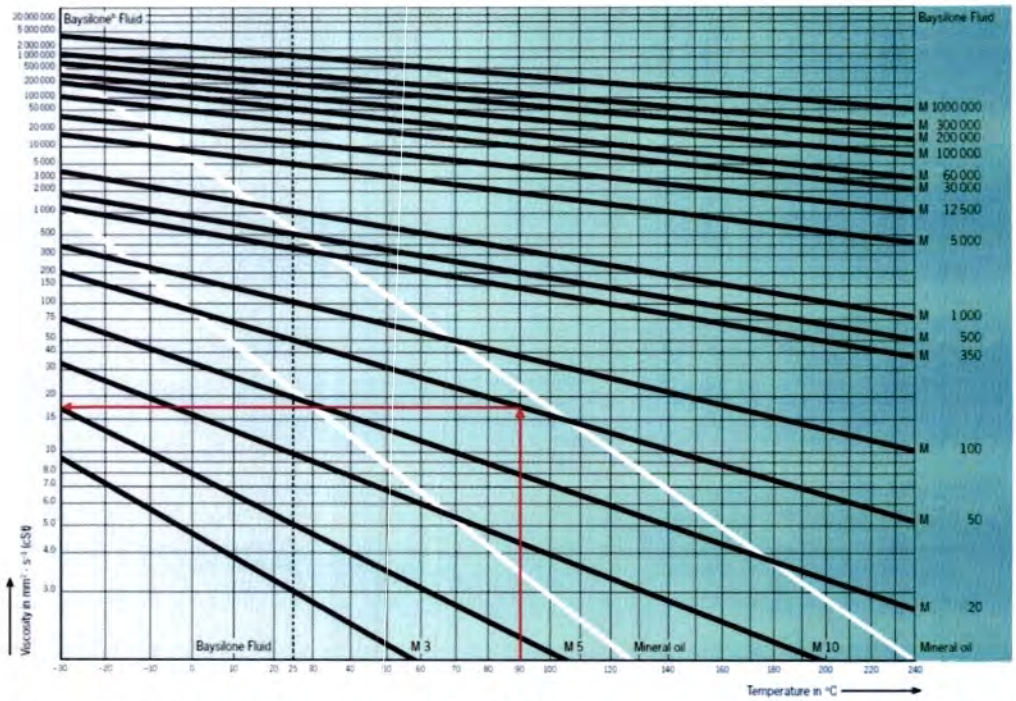
Επειδή σε αρκετά MSDS αναφέρεται ασυμβατότητα με οξειδωτικές ουσίες, οξέα και βάσεις, αναζητήθηκαν σχετικές αναφορές στη διεθνή βιβλιογραφία, αλλά δε βρέθηκε καμία σχετική αναφορά. Άρα, πέραν της αναφοράς που γίνεται στα MSDS για σχηματισμό μικρών ποσοτήτων φορμαλδεΰδης σε θερμοκρασίες άνω των 150 °C, δεν μπορεί να τεκμηριωθεί ο σχηματισμός κάποιας ουσίας που θα μπορούσε να οδηγήσει στο σχηματισμό εύφλεκτου μίγματος.

Σχηματισμός Εκνεφώματος

Μία περίπτωση σχηματισμού πύρινης σφαίρας από μη πτητικά υλικά είναι ο σχηματισμός εκνεφώματος (oil mist) σε πολύ λεπτό διαμερισμό (σταγονίδια με πολύ μικρή μέση διάμετρο). Η διαδικασία και οι σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών μιας διαρροής ενός υπόψυκτου υγρού αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.11 της παρούσας αναφοράς. Η διαδικασία που προτείνεται τόσο από τον TNO όσο και από τη διαδικασία ADAM απαιτεί μέθοδο επαναληπτικών βημάτων από την έναρξη της εκροής του ρευστού από το δοχείο μέχρι να επιτευχθούν οι συνθήκες τερματισμού της διαδικασίας. Δυστυχώς, στην περίπτωση του τραγικού δυστυχήματος της 28-02-2023 οι πραγματικές συνθήκες που επικράτησαν τα πρώτα δευτερόλεπτα μετά τη μοιραία σύγκρουση είναι άγνωστες και μόνο εικασίες μπορούν να γίνουν με βάση την καταγραφή από τις κάμερες παρακολούθησης κυκλοφορίας. Για παράδειγμα, τα ανοίγματα που έχουν μείνει στο μετασχηματιστή της ηλεκτράμαξας της επιβατικής αμαξοστοιχίας είναι ότι προέκυψε μετά το τέλος του όλου συμβάντος. Λαμβάνοντας υπόψη τη σφοδρότητα της σύγκρουσης, η υπόθεση της σταδιακής αύξησης του μεγέθους του ανοίγματος από τη στιγμή της πρόσκρουσης μέχρι της πλήρους ακινητοποίησης της ηλεκτράμαξας είναι πολύ λογική, χωρίς όμως να μπορεί να προσδιοριστεί καμία παράμετρος με ακρίβεια. Το μέγεθος του ανοίγματος είναι κρίσιμο για την εκτίμηση της μέσης διαμέτρου των σταγονιδίων.

Η αναφορά σε σταγονίδια γίνεται επειδή το έλαιο που βρισκόταν στο μετασχηματιστή της ηλεκτράμαξας της εμπορικής αμαξοστοιχίας αποκλείεται να άρχισε να τρέχει κρουνηδόν μετά τη σύγκρουση. Το έλαιο σιλικόνης κινείτο με την ταχύτητα του συρμού (περίπου 160 km/h) και ως ρευστό σίγουρα δεν έμεινε ακίνητο μετά την πρόσκρουση και τη ρήξη του περιβλήματος του μετασχηματιστή, αλλά εκσφενδονίστηκε από τα ανοίγματα που δημιουργήθηκαν κατά τη σύγκρουση των δύο συρμών. Επειδή ο σχηματισμός σταγονιδίων που οδηγεί στο σχηματισμό εκνεφώματος πραγματοποιείται σε συνθήκες υψηλής πίεσης και μέσω ανοιγμάτων μικρής διαμέτρου (ακροφύσια ψεκασμού), πρέπει να εξεταστεί η πίεση του ελαίου στο μετασχηματιστή. Σύμφωνα με την απάντηση της Hellenic Train (ΑΠ 384.24.Γ3./27-05-2024) οι μετασχηματιστές είναι ανοικτού τύπου και η πίεση λειτουργίας τους είναι ίση της ατμοσφαιρικής.

Μια άλλη σημαντική παράμετρος για το σχηματισμό σταγονιδίων είναι το ιξώδες του ρευστού. Το ιξώδες εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία του ελαίου στο μετασχηματιστή είναι άγνωστη. Στο έγγραφό της η Hellenic Train αναφέρει ότι: "Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, η θερμοκρασία του μετασχηματιστή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες εξωτερικούς, όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος, και εσωτερικούς, όπως η τιμή της ζητούμενης και της παραγόμενης ισχύος η οποία διαρκώς μεταβάλλεται. Σύμφωνα με τον Κατασκευαστή θεωρείται υπερβολική όταν υπερβαίνει τους 155 °C στην περιέλιξη του μετασχηματιστή και τους 90 °C στο υγρό σιλικόνης (σελ. 4/5, παρ. 2.2.1, Κεφ. 2, "Transformator1T2_EZAT6844_Haupttransformator.pdf")". Επομένως, η θερμοκρασία των ελαίων πρέπει να ήταν γύρω στους 90 °C. Από το διάγραμμα μεταβολής ιξώδους με θερμοκρασία (Σχήμα 2, σελ. 15 στο αρχείο "Bayer Silicones Baysilone Fluids M") το εκτιμώμενο ιξώδες του ελαίου σιλικόνης είναι περίπου 18 cSt.



Σχήμα 5.1. Εκτίμηση του ιξώδους του ελαίου M50 EL στην εκτιμώμενη θερμοκρασία του ελαίου

Χρησιμοποιώντας τη σχέση του Walther που χρησιμοποιείται για τα λιπαντικά:

$$\log\log(v+0,7) = A + B \cdot \log T$$

όπου: v = κινηματικό ιξώδες, cSt

T = θερμοκρασία, K

A, B = σταθερές ανάλογες του προς εξέταση ελαίου

και χρησιμοποιώντας τις τιμές του πίνακα ιξώδους που δίνονται στο Τεχνικό Φυλλάδιο και δίνονται κατωτέρω:

Baysilone® Fluid M	Viscosity in mm² · s⁻¹ (cSt) at												
	–80 °C	–60 °C	–40 °C	–20 °C	0°C		25°C	40°C	60°C	80°C	100°C	120°C	140°C
3	70	28	13	7	4.6	3	2.4	1.8	1.5				
5	132	50	23	14	7.8	5	4.0	3.1	2.6	2.2			
10		120	52	27	16	10	7.9	6.0	4.9	4.0	3.1	2.7	
20		270	100	57	34	20	15.2	11.8	9.2	7.2	6.0	5.0	
50				150	85	50	40	28	20	16	13	10	
100				290	170	100	75	55	41	32	27	21	
350				1000	620	350	290	200	150	125	95	75	
500				1300	850	500	400	290	210	165	140	110	
1000				2900	1850	1000	750	520	400	300	230	190	
5000					8500	5000	3800	2800	2000	1600	1200	1000	
12500					20000	12500	9800	7000	5100	4000	3000	2400	
30000					50000	30000	22000	16500	11500	8500	7000	5000	
60000					100000	60000	42000	30000	20000	15500	11000	9000	
100000					180000	100000	75000	55000	40000	30000	22000	17000	
300000					500000	300000	200000	175000	133000	100000	78000	62000	
1000000					2000000	1000000	750000	520000	390000	280000	210000	160000	

υπολογίζεται τιμή κινηματικού ιξώδους 17,9 cSt στους 90 °C.

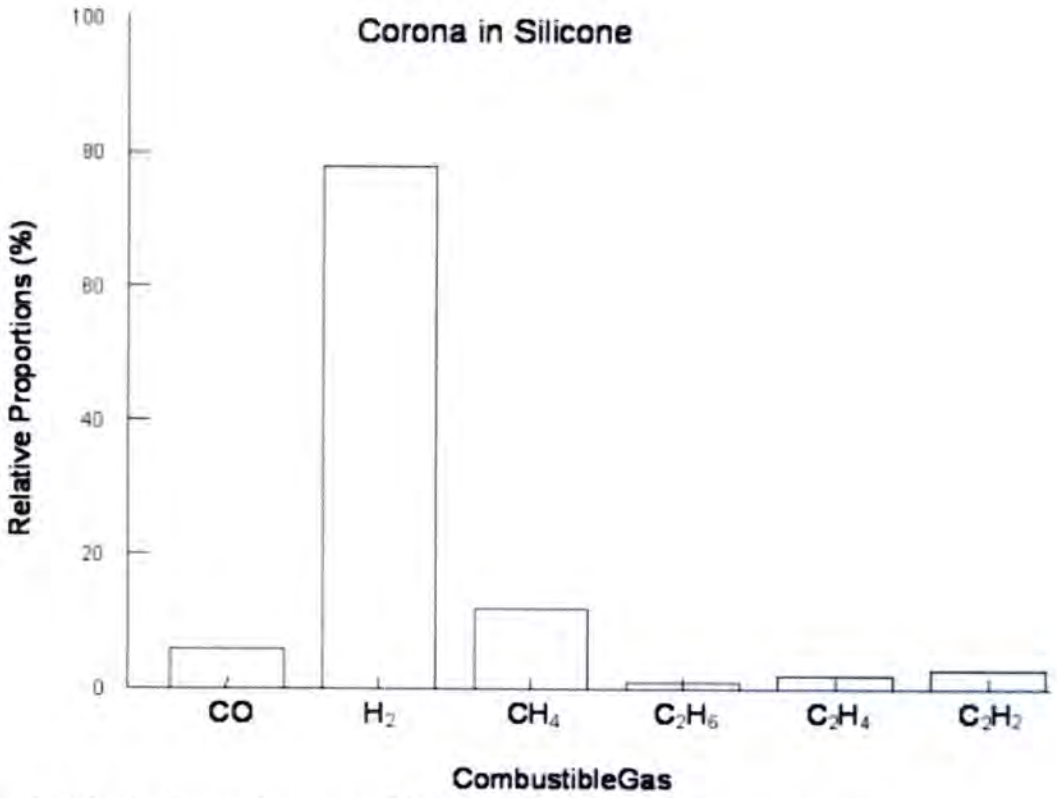
Η τιμή του ιξώδους είναι αντίστοιχη αυτής που λειτουργούν τα συστήματα ψεκασμού σε κινητήρες πλοίων, οι οποίοι όμως λειτουργούν σε συνθήκες υψηλής πίεσης.

Με βάση τα ανωτέρω, η αβεβαιότητα στην εκτίμηση εάν θα μπορούσαν να σχηματιστούν σταγονίδια κατά την έξοδο του ελαίου σιλικόνης τα πρώτα κρίσιμα δευτερόλεπτα μετά την

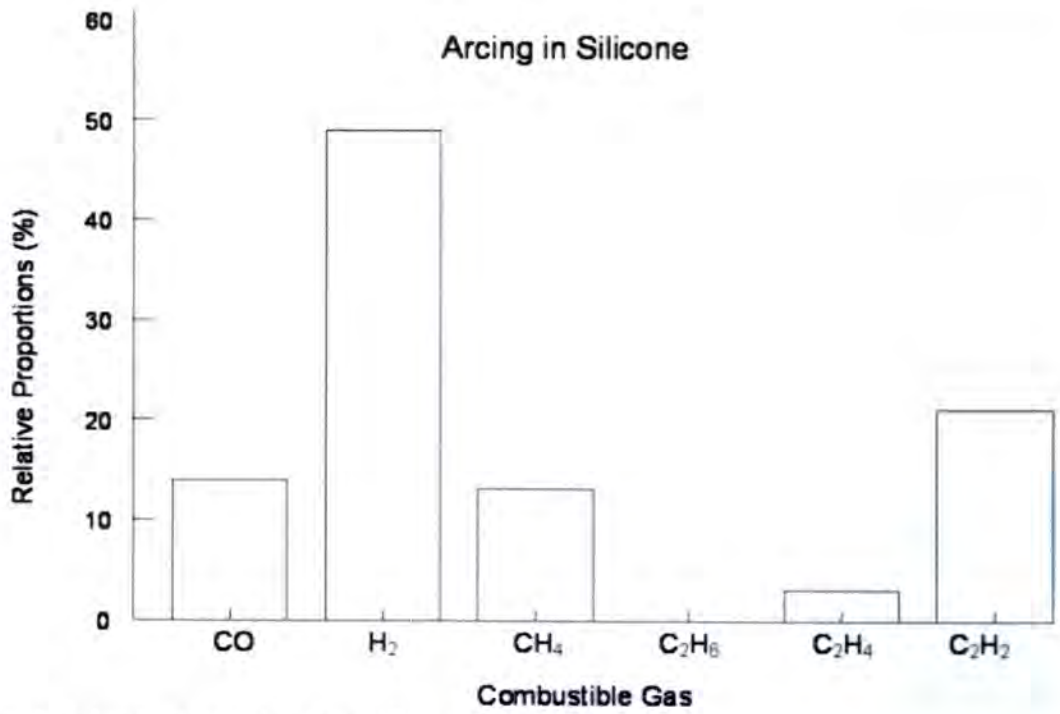
πρόσκρουση των συρμών είναι πολύ μεγάλη. Η χαμηλή πίεση, το υψηλό ιξώδες και το μεγάλο άνοιγμα που είναι ορατό μετά το τέλος του όλου συμβάντος δεν είναι συνθήκες που ευνοούν το σχηματισμό σταγονιδίων. Η υψηλή ταχύτητα του ελαίου (λόγω της υψηλής ταχύτητας των συρμών πριν τη σύγκρουση) και της εκτιμώμενης σταδιακής ρήξης του τοιχώματος του μετασχηματιστή είναι συνθήκες που θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως ευνοϊκές για το σχηματισμό σταγονιδίων αλλά δεν είναι εφικτό να γίνει σχετικός υπολογισμός.

Δημιουργία Εύφλεκτων Συστατικών σε Συνθήκες Ηλεκτρικού Τόξου

Πέραν των στοιχείων που δίνονται στα MSDS των υλικών που υπήρχαν στις αμαξοστοιχίες που ενεπλάκησαν στο τραγικό δυστύχημα, δεν πρέπει να παραληφθεί η αναφορά στο σχηματισμό εύφλεκτων ουσιών από τη διάσπαση των ελαίων σιλικόνης σε συνθήκες ηλεκτρικού τόξου. Το θέμα έχει αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό στην παράγραφο 3.5. Τα προϊόντα διάσπασης λόγω τόξου περιλαμβάνουν υδρογόνο, μεθάνιο, αιθάνιο, αιθυλένιο, ακετυλένιο και μονοξείδιο του άνθρακα. Οι σχετικές αναλογίες των αερίων ανάλογα με τις συνθήκες απεικονίζονται στα Σχήματα 5.2 και 5.3 και προέρχονται από τον Κανονισμό IEEE Std C57.146-2005, IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Silicone-Immersed Transformers.



Σχήμα 5.2. Αναλογίες αερίων σε συνθήκες στεφανοειδούς εκκένωσης (corona)



Σχήμα 5.3. Αναλογίες αερίων σε συνθήκες ηλεκτρικού τόξου

Και στις δύο περιπτώσεις, το αέριο που βρίσκεται σε υψηλότερη αναλογία είναι το υδρογόνο, με το ακετυλένιο να ακολουθεί στην περίπτωση του τόξου. Όλα αυτά τα αέρια είναι εύφλεκτα. Για την αντιμετώπιση της πιθανής έκλυσης αερίων κατά τη λειτουργία των συρμών, οι μετασχηματιστές διαθέτουν ασφαλιστική διάταξη Bucholz (relay Bucholz) που διακόπτει τη λειτουργία του μετασχηματιστή όταν ο όγκος των παραγόμενων αερίων υπερβεί τον προβλεπόμενο όγκο της ασφαλιστικής διάταξης που στη συγκεκριμένη περίπτωση σύμφωνα με το αρχείο transformator 2Φ31_XB0270-10_Buchholzrelais.pdf με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών των συρμών είναι 180 cm^3.

Όπως αναφέρεται διεξοδικά στην παράγραφο 3.8, η συστηματική έρευνα σχετικά με τα χαρακτηριστικά αναφλεξιμότητας και καύσης των ελαίων σιλικόνης έχει γίνει κατά κύριο λόγο τη δεκαετία του 1970, λόγω της ανάγκης αντικατάστασης των πολυχλωριωμένων διφαινυλίων (BCBs, askarels) εξαιτίας της υψηλής τοξικότητάς τους και της μη βιοαποικοδομησιμότητάς τους. Από τις πηγές εκείνης της εποχής που κατέστη δυνατό να βρεθούν, υπάρχουν δύο εργασίες οι οποίες αναφέρουν συνθήκες αναφλεξιμότητας ακόμη και έκρηξης κατά την επιβολή τόξου σε έλαια σιλικόνης. Η πρώτη εργασία είναι των H. Kuwahara, K. Yoshinga, K. Tsuruta, T. Ishii με τίτλο "Study of Explosion and Fire Hazards of Silicone Liquid Under Arc Conditions", που παρουσιάστηκε στο 1976 IEEE International Conference on Electrical Insulation, στο Montreal στο διάστημα 14-16 Ιουνίου 1976. Η εργασία συνέκρινε τη συμπεριφορά ελαίου σιλικόνης με ορυκτέλαιο σε συνθήκες τόξου μεσαίας έντασης (τάση 6,9 kV και ένταση 6,1 και 13 A) σε διάταξη με μικρή χαλύβδινη δεξαμενή διαμέτρου 180 mm και ύψος 65 mm που περιείχε 1.350 ml ελαίου, και ισχυρής έντασης (τάση 26 kV και ένταση 10 και 20 kA) σε δεξαμενή δοκιμής διαμέτρου 1.000 mm και ύψους 500 mm. Στην περίπτωση του τόξου μεσαίας έντασης παρατηρήθηκε ανάφλεξη και καύση στις περισσότερες περιπτώσεις με χρόνο εφαρμογής σαφώς υψηλότερο σε σχέση με το ορυκτέλαιο. Στην περίπτωση εφαρμογής τόξου ισχυρής έντασης προκλήθηκε έκρηξη, αλλά μετά τη διακοπή του τόξου, το έλαιο σιλικόνης έπαψε αμέσως να καίγεται. Παρατηρήθηκε ότι ο θάλαμος δοκιμής ήταν γεμάτος με ένα λευκό στρώμα οξειδίου πυριτίου πάνω από το υγρό. Η δεύτερη εργασία είναι του D. Ducket με τίτλο "Environmentally Acceptable Insulating Fluids May Replace Askarel", που παρουσιάστηκε στο The General Meeting of the Edison

Electric Institute Transmission and Distribution Committee στη Minneapolis της Minnesota στις 8 Μαΐου 1975. Η εργασία παρουσίασε σύγκριση δοκιμών αναφλεξιμότητας και εκρηκτικότητας σε ορυκτέλαιο, έλαιο σιλικόνης 50 cSt, συνθετικό έλαιο χαμηλής αναφλεξιμότητας (RTEMP) και πολυχλωριωμένο διφαινύλιο (askarel) σε συνθήκες ρεύματος υψηλής έντασης. Η ποσότητα του ελαίου σε κάθε δοκιμή ήταν περίπου 15 l (4 gal). Οι συνθήκες δοκιμής για το έλαιο σιλικόνης ήταν ένταση 4.760 A και τάση 4.800 V. Σε αυτές τις συνθήκες σχηματίστηκε πύρινη σφαίρα, πορτοκαλί και κίτρινου χρώματος, ύψους περίπου 10 m (30 ft) και διαμέτρου 5 m (15 ft). Η λάμψη φάνηκε πολύ φωτεινή σε σύγκριση με τις άλλες δοκιμές. Ο παραγόμενος καπνός ήταν λευκού χρώματος και μικρότερου όγκου από τον αντίστοιχο του ορυκτελαίου. Στο σύννεφο παρατηρήθηκαν μαύρες νιφάδες. Μετά την έκρηξη παρατηρήθηκαν λευκά σωματίδια, που αναγνωρίστηκαν ως οξείδιο πυριτίου, να αιωρούνται στον αέρα. Στις δύο ανωτέρω εργασίες δε γίνεται αναφορά στο τι δημιούργησε ανάφλεξη και την πύρινη σφαίρα, αλλά λαμβάνοντας υπόψη το υψηλό σημείο ανάφλεξης του ελαίου σιλικόνης, η πιο πιθανή εξήγηση είναι ο σχηματισμός σημαντικής ποσότητας εύφλεκτων αερίων που αναφλέγονται από το ηλεκτρικό τόξο. Στις παραγράφους 3.8.2 και 3.8.3 της παρούσας αναφοράς δίνονται και οι σχετικές φωτογραφίες της ανάφλεξης και της πύρινης σφαίρας. Όπως αναφέρεται στο πόρισμα του ΕΟΔΑΣΑΜ που έχει διερευνήσει διεξοδικά το τραγικό συμβάν, καταγράφηκαν στα βίντεο 3 έντονες αναλαμπές που χαρακτηρίζονται ως ηλεκτρικό τόξο, οι οποίες σταμάτησαν μετά την ενεργοποίηση της αυτόματης προστασίας από υπερφόρτωση που καταγράφηκε (χειροκίνητα) στον σταθμό ελέγχου ισχύος που παρακολουθεί εξ αποστάσεως όλα τα δεδομένα στη Θεσσαλονίκη.

Με βάση της ανωτέρω παρατηρήσεις ο σχηματισμός πύρινης σφαίρας υπό συνθήκες ηλεκτρικού τόξου υψηλής έντασης ρεύματος είναι εφικτός. Αυτό σημαίνει πως και στην περίπτωση του υπό διερεύνηση τραγικού δυστυχήματος, είναι ένα πιθανό ενδεχόμενο, αφού έχουν καταγραφεί αναλαμπές που αποδίδονται σε ηλεκτρικό τόξο. Σύμφωνα με τις σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές, η επίδραση του ηλεκτρικού τόξου οδηγεί στο σχηματισμό αερίων που περιλαμβάνουν κυρίως υδρογόνο καθώς και ακετυλένιο και μεθάνιο. Από τη διάρρηξη των τοιχωμάτων του μετασχηματιστή της επιβατικής αμαξοστοιχίας (η μόνη που ανεφλέγη) εξήλθε όχι μόνο έλαιο αλλά και τα αέρια που προέκυψαν από τη διάσπαση του ελαίου σιλικόνης. Το υδρογόνο και το ακετυλένιο έχουν πολύ χαμηλή ελάχιστη ενέργεια έναυσης (minimum ignition energy, MIE), ευρέα όρια αναφλεξιμότητας και υψηλή ταχύτητα φλόγας. Οι τιμές αυτές φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί, μαζί με τιμές για μερικούς υδρογονάνθρακες.[133,134]

Τα πολύ ευρέα όρια αναφλεξιμότητας των δύο αερίων σημαίνουν ότι είναι πολύ εύκολο να σχηματιστεί αναφλέξιμο μίγμα με τον αέρα. Η χαμηλή ενέργεια έναυσης και τα ευρέα όρια αναφλεξιμότητας των δύο αερίων σημαίνουν την ευκολία έναυσής τους ακόμη και από τους σπινθήρες από την τριβή των τροχών στις σιδηροτροχιές. Οι υψηλές θεμελιώδεις ταχύτητες καύσης σημαίνουν ταχεία διάδοση του μετώπου της φλόγας στο μίγμα των αερίων με τον αέρα. Σχηματισμός πύρινης σφαίρας έχει καταγραφεί τόσο για το υδρογόνο,[135,136] όσο και για

---

[133] Arthur E. Cote, Editor-in-Chief: "Fire Protection Handbook", 20th Edition, Volumes I and II, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 2008, ISBN: 978-0-87765-758-3

[134] Vytenis Babrauskas: "Ignition Handbook – Principles and applications to fire safety engineering, fire investigation, risk management and forensic science", Fire Science Publishers, Issaquah, WA 98027, USA, 2014, ISBN 0-9728111-3-3

[135] Qingchun Hu, Xihong Zhang, Hong Hao: "A review of hydrogen-air cloud explosions: The fundamentals, overpressure prediction methods, and influencing factors", *International Journal of Hydrogen Energy*, **48**, 36, (2023), pp. 13705-13730, https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.11.302

[136] S. Kudriakov, E. Studer, G. Bernard-Michel, D. Bou, L. Domergue, D. Forero, H. Gueguen, C. Ledier, P. Manicardi, M. Martin, F. Sauzedde: "Full-scale tunnel experiments: Blast wave and fireball evolution following hydrogen tank rupture", *International Journal of Hydrogen Energy*, **47**, 43, 2022, pp. 18911-18933, doi:10.1016/j.ijhydene.2022.04.037

το ακετυλένιο.[137,138] Πέραν αυτού, το υλικό που συνέχισε να εξέρχεται από τα ανοίγματα του μετασχηματιστή ήταν κατά πάσα πιθανότητα αυτό που συνέβαλε στη συνέχιση της καύσης και τη μετάδοση της φωτιάς στα τόσο στην αύξηση σχημάτισε τους πίδακες φωτιάς που παρατηρήθηκαν στη συνέχεια.

Αέριο	MIE (mJ)	LFL (% v/v)	UFL (% v/v)	Απόσταση Ψύξης (mm)	Θεμελιώδης Ταχύτητα Καύσης (cm/sec)	LHV (kJ/mol)	LHV (MJ/kg)
Υδρογόνο	0,017	4,0	75	0,64	312	241,8	119,96
Ακετυλένιο	0,017	2,5	81	0,65	166	1.255,5	48,22
Αιθυλένιο	0,070	2,7	36,9	1,25	63	1.323,1	47,16
Μεθάνιο	0,30	5,0	15	2,03	40	802,3	50,01
Αιθάνιο	0,25	3,0	12,4	1,50	42	1.428,6	47,51
Προπάνιο	0,26	2,1	9,5	1,75	46	2.043,1	46,33
Εξάνιο	0,29	1,2	7,4	1,50	46	3.855,1	44,73
Βενζόλιο	0,22	1,3	7,9	1,95	48	3.135,5	40,66
Τολουόλιο	0,24	1,2	7,1		41	3.733,9	40,52
Ξυλόλιο	0,20	3,6	29		40	4.332,8	40,81

MIE: ελάχιστη ενέργεια έναυσης
LFL: κατώτερο όριο αναφλεξιμότητας
UFL: ανώτερο όριο αναφλεξιμότητας
LHV: κατώτερη θερμογόνος δύναμη

Άλλα Υγρά στις Ηλεκτρομηχανές

Στο υπόμνημα της Hellenic Train αναφέρεται ότι ο μετατροπέας έλξης που είναι εγκατεστημένος στο μηχανοστάσιο της ηλεκτρομηχανής είναι ψύχεται με 720 l υγρού 3M Fluorinert™ FC-3284. Σύμφωνα με το MSDS του υλικού, πρόκειται για μίγμα υπερφθοριωμένων ενώσεων με 5 – 18 άτομα άνθρακα. Οι υπερφθοριωμένες ενώσεις [PFC] είναι οργανικές ουσίες στις οποίες όλα τα υδρογόνα της ραχοκοκαλιάς των υδρογονανθράκων αντικαθίστανται με άτομα φθορίου. Οι δεσμοί φθορίου-άνθρακα είναι εξαιρετικά σταθεροί προσδίδοντας στις ουσίες αυτές πολύ υψηλή θερμική και χημική σταθερότητα.[139] Το υγρό ταξινομείται ως μη επικίνδυνο (δεν ταξινομείται ως επικίνδυνο σύμφωνα με το πρότυπο OSHA 29 CFR 1910.1200) και δεν έχει σημείο ανάφλεξης ή σημείο καύσης, οπότε δεν είναι αναφλέξιμο. Στα μη συμβατά υλικά αναφέρονται δραστικά μέταλλα σε σκόνη και συγκεκριμένα μέταλλα αλκαλίων και αλκαλικών γαιών. Στα επικίνδυνα προϊόντα αποσύνθεσης αναφέρονται υδροφθόριο και υπερφθοροϊσοβουτυλένιο που όπως αναφέρεται σχηματίζονται σε θερμοκρασίες άνω των 200 °C. Βιβλιογραφική επισκόπηση πάνω σε αυτό το θέμα δεν απέφερε κάτι περισσότερο (δε βρέθηκε καμία σχετική βιβλιογραφική αναφορά), <u>άρα δεν μπορεί να τεκμηριωθεί ο σχηματισμός κάποιας ουσίας που θα μπορούσε να οδηγήσει στο σχηματισμό εύφλεκτου μίγματος</u>.

Πιθανό Φορτίο Εύφλεκτου Υλικού

Πέραν του ενδεχομένου του σχηματισμού της πύρινης σφαίρας λόγω του σχηματισμού εύφλεκτων αερίων σε συνθήκες ηλεκτρικού τόξου υψηλής έντασης, το άλλο ενδεχόμενο που ερευνάται είναι της ύπαρξης υδρογονάνθρακα ή κάποιου άλλου υλικού με αντίστοιχα χαρακτηριστικά. Με βάση τη βιβλιογραφία, όλα τα μοντέλα υπολογισμού των

[137] Y. Huang, Q. Zhang, H. Yan, W. Gao: "Estimation of the Fireball Size in an Ethyne–Air Cloud Explosion", *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, **54**, 1, (2018), pp. 106–112, doi:10.1134/S001050821801015X

[138] Vojtěch Jankůj, Miroslav Mynarz, Petr Lepík: "Uncontrolled and Controlled Destruction of Acetylene Pressure Cylinders", *Applied Sciences*, **12**, (2022), 3577. doi:10.3390/ app12073577

[139] T. Stahl, D. Mattern, H. Brunn: "Toxicology of perfluorinated compounds", *Environmental Sciences Europe*, **23**, (2011), 38, doi:10.1186/2190-4715-23-38

χαρακτηριστικών μιας πύρινης σφαίρας (διάμετρος, διάρκεια, θέση, εκπεμπόμενη θερμική ανκτινοβολία) βασίζονται στη δημιουργία πύρινης σφαίρας από εύφλεκτους ατμούς που απελευθερώνονται από τη ρήξη ενός δοχείου που περιέχει εύφλεκτο υλικό (συνήθως κάποιο υδρογονάνθρακα). Το μοντέλο που έχει τύχει ευρείας αναγνώρισης και χρήσης σε περίπτωση συμβάντων που οδηγούν σε έκλυση επικίνδυνου υλικού που μπορεί να οδηγήσει σε συνθήκες ανάφλεξης ή έκρηξης είναι αυτό του του TNO της Ολλανδίας (Dutch Organization for Applied Scientific Research) που βασικά στοιχεία του έχουν αναφερθεί στις παραγράφους 2.9 και 2.10. Το μοντέλο αυτό έχει αναπτυχθεί με βάση τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά υδρογονανθράκων και κυρίως πτητικών υδρογονανθράκων που είναι και οι περισσότερο επικίνδυνοι σε περίπτωση έκλυσης στην ατμόσφαιρα. Με βάση το μοντέλο του TNO, ο υπολογισμός της μάζας του καυσίμου που εμπλέκεται σε ένα συμβάν σχηματισμού πύρινης σφαίρας σχετίζεται με την παρατηρηθείσα πύρινη σφαίρα μέσω της σχέσης:

$$r = 3{,}24 \cdot m_f^{0{,}325}$$

Με μέγεθος πύρινης σφαίρας της τάξης των 80 – 85 m σε διάμετρο (αδρή εκτίμηση με βάση τα βίντεο που έχουν καταγράψει το συμβάν), η μάζα του καυσίμου θα έπρεπε να είναι m_f = 2.300 – 2.800 kg. Αντίστοιχα, αν χρησιμοποιηθεί το μοντέλο του Health and Safety Executive (HSE), που υπολογίζει τη διάμετρο της πύρινης σφαίρας από τη σχέση:

$$D = 5{,}8 \cdot m_f^{1/3}$$

η μάζα του καυσίμου υπολογίζεται m_f = 2.600 – 3.100 kg. Για να μπορέσει να σχηματιστεί νέφος εύφλεκτων ατμών αυτό θα πρέπει να βρίσκεται εντός των ορίων αναφλεξιμότητας του υλικού το οποίο θεωρείται ότι σχηματίζει το νέφος των ατμών. Η μέτρηση που χρησιμοποιείται ως ένδειξη του κατώτερου ορίου αναφλεξιμότητας είναι το σημείο ανάφλεξης, άρα για το σχηματισμό εύφλεκτου νέφους απαιτείται υλικό με σημείο ανάφλεξης τουλάχιστον ίσο με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος στο χώρο του συμβάντος. Σύμφωνα με το με ΑΠ. 1171/30-03-2025|ΕΜΥ/Ε1 έγγραφο της Διεύθυνσης Παροχής Μετεωρολογικών Δεδομένων της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας εκτιμάται η θερμοκρασία στην περιοχή των Τεμπών την ώρα του τραγικού δυστυχήματος ήταν 10 – 11 °C και η σχετική υγρασία 85 – 90%. Επομένως, το σημείο ανάφλεξης της ουσίας θα πρέπει να είναι κάτω από 10 °C.

Από τα στοιχεία του φορτίου της εμπορικής αμαξοστοιχίας και την Έκθεση Αυτοψίας της Ελληνικής Αστυνομίας, δεν αναφέρεται πουθενά καταγραφή υλικού που θα έχει χαρακτηριστικά αυτών που απαιτούνται για το σχηματισμό εύφλεκτου νέφους ατμών που θα μπορούσε να οδηγήσει στο σχηματισμό πύρινης σφαίρας. Επίσης, σύμφωνα με το με ΑΠ 3022/21/8925/4-ζ'/27-03-2025 έγγραφο της Διεύθυνσης Εγκληματολογικών Ερευνών της Ελληνικής Αστυνομίας, τα 3 βίντεο που απεικονίζουν τη διέλευση της εμπορικής αμαξοστοιχίας από τη Νότια Σήραγγα Πλαταμώνα και το ΚΕΚ Ραψάνης αποτελούν ακριβή αντίγραφα (γνήσια) αρχείων βίντεο από τις αντίστοιχες κάμερες ασφαλείας. Κατόπιν παρακολούθησης των σχετικών βίντεο, παρατηρείται ότι οι 3 ανοιχτές φορτάμαξες δεν έφεραν επάνω τους κάτι άλλο πέραν των μεταλλικών ελασμάτων (λαμαρίνες) που αναφέρονταν στις αντίστοιχες φορτωτικές (δεν εντοπίζεται πάνω στα μεταλλικά ελάσματα κάποιο αντικείμενο που θα μπορούσε να παραπέμπει σε δεξαμενή ή δοχεία αποθήκευσης κάποιου υγρού). Με δεδομένο δε πως οι υπόλοιπες φορτάμαξες με τα εμπορευματοκιβώτια δεν είχαν το παραμικρό ίχνος φωτιάς, και σύμφωνα με την Έκθεση Αυτοψίας της Ελληνικής Αστυνομίας τα εμπορευματοκιβώτια βρέθηκαν είτε με εμπορεύματα σύμφωνα με τις φορτωτικές είτε κενά, δε φαίνεται να υπήρχε στην εμπορική αμαξοστοιχία φορτίο με πτητικό υλικό από το οποίο θα μπορούσε να σχηματιστεί νέφος εύφλεκτων ατμών που θα οδηγούσε σε σχηματισμό πύρινης σφαίρας.

5.4.6. Ερώτημα 6: Είναι δυνατή η καύση του ελαίου (σιλικόνης) ψύξης των μετασχηματιστών (Μ/Σ) των ηλεκτραμαξών των συγκρουσθεισών αμαξοστοιχιών; Εάν ναι, υπό ποιες συνθήκες;

Η απάντηση στο ερώτημα αφορά τη δυνατότητα καύσης και δε σχετίζεται με την απάντηση στο Ερώτημα 5 που αφορά το σχηματισμό πύρινης σφαίρας.

Όπως έχει αναφερθεί στην ανάλυση σχετικά με την αναφλεξιμότητα των ελαίων σιλικόνης, τα έλαια αυτά κατά τις συνθήκες λειτουργίας τους δημιουργούν προϊόντα θερμικής υποβάθμισης, που είναι κυρίως κυκλικά διμεθυλοσιλοξάνια, κάποια εκ των οποίων έχουν σημαντικά χαμηλότερο σημείο ανάφλεξης σε σχέση με τα έλαια. Επίσης, λόγω συνθηκών τόξου κατά τη λειτουργία δημιουργούνται αέρια (υδρογόνο, αιθάνιο, αιθυλένιο, ακετυλένιο).

Σε ερώτημα που υποβλήθηκε προς την Hellenic Train σχετικά με τις συνθήκες λειτουργίας των μετασχηματιστών και με τη μέτρηση αερίων στα έλαια σιλικόνης η απάντηση της Hellenic Train (ΑΠ 384.24.Γ3./27-5-2024) απάντησε ότι (εδάφιο (ε)): "Μετρήσεις ύπαρξης αερίων δεν προβλέπονται και δεν γίνονται στους εν λόγω μετασχηματιστές καθότι διαθέτουν την ασφαλιστική διάταξη Buchholz (Bucholz relay), η οποία σε περίπτωση ανίχνευσης αερίων τον θέτει εκτός λειτουργίας (transformator 2Φ31_ XB0270-10_Buchholzrelais.pdf)".

Με βάση το συγκεκριμένο αρχείο με τα δεδομένα του μετασχηματιστή, ο διαθέσιμος όγκος για συλλογή αερίων πριν ενεργοποιηθεί σήμα προειδοποίησης είναι 180 cm^3. Όσον αφορά τη διαδικασία από κει και πέρα, αναφέρεται ότι: "Τυχόν επιπλέον αναπτυσσόμενο αέριο διαφεύγει στο δοχείο διαστολής. Όταν ενεργοποιηθεί η προειδοποίηση, το αέριο πρέπει να εξεταστεί αμέσως για να αποφευχθεί η εξάπλωση του σφάλματος. Σε περίπτωση διαρροής στον μετασχηματιστή, ο άνω πλωτήρας βυθίζεται μαζί με τη στάθμη του υγρού σιλικόνης και το άνω σύστημα επαφής αποκρίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως όταν αναπτύσσεται αέριο. Εάν υπάρξει περαιτέρω απώλεια υγρού σιλικόνης, το δοχείο διαστολής και ο σωλήνας πάνω από το relay Buchholz καθώς και το ίδιο το relay Buchholz θα αδειάσουν, με αποτέλεσμα ο κάτω πλωτήρας που βυθίζεται να ενεργοποιήσει τη σχετική επαφή αλλαγής κατάστασης και να προκαλέσει έτσι την απενεργοποίηση του μετασχηματιστή". Δεν υπάρχει καμία καταγραφή ή αναφορά για ενεργοποίηση σήματος προειδοποίησης, άρα λογικά, ο μετασχηματιστής λειτουργούσε φυσιολογικά.

Ως προς τα προϊόντα θερμικής υποβάθμισης, ζητήθηκε από το ΓΧΚ η εξέταση δειγμάτων ελαίων των μετασχηματιστών για ποσοτικό προσδιορισμό της συγκέντρωσης κυκλικών διμεθυλοσιλοξανίων καθώς και μέτρηση σημείου ανάφλεξης των ελαίων εάν υπήρχε επαρκής ποσότητα δείγματος. Πέραν του σημείου ανάφλεξης που είναι η βασική μέτρηση για την εκτίμηση της αναφλεξιμότητας ενός ελαίου, ο ποσοτικός προσδιορισμός των κυκλικών διμεθυλοσιλοξανίων ζητήθηκε επειδή βρέθηκαν εργασίες στις οποίες σχετίστηκε η περιεκτικότητα του ελαίου σε κυκλικά διμεθυλοσιλοξάνια με τη μείωση στο σημείο ανάφλεξης του ελαίου.

Τα δείγματα που αποστάλθηκαν στο ΓΧΚ για μετρήσεις ήταν τα ακόλουθα:

- Δείγμα 1: έλαιο μετασχηματιστή από την 1η ηλεκτράμαξα της εμπορευματικής αμαξοστοιχίας (120022), σε ποσότητα 600 ml (ΑΠ ΕΜΠ 33-1/16-10-2024).
- Δείγμα2: έλαιο μετασχηματιστή από τη 2η ηλεκτράμαξα της εμπορευματικής αμαξοστοιχίας (120012), σε ποσότητα 100 ml (ΑΠ ΕΜΠ 33-2/16-10-2024).
- Δείγμα 3: Υγρό από αγωγό του μετασχηματιστή στην ηλεκτράμαξα της επιβατικής αμαξοστοιχίας 9120023), σε ποσότητα 400 ml (ΑΠ ΕΜΠ 33-3/16-10-2024).
- Δείγμα 4: Υγρό από αντλία του μετασχηματιστή στην ηλεκτράμαξα της επιβατικής αμαξοστοιχίας (120023), σε ποσότητα 9 ml (ΑΠ ΕΜΠ 33-4/16-10-2024).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων κοινοποιήθηκαν στις 20/12/2024 (ΑΠ ΕΜΠ 44/12-7-2024). Από τα δείγματα αυτά, επαρκή ποσότητα για μέτρηση του σημείου ανάφλεξης είχαν τα υπ' αριθμόν 1 και 3, αλλά μέτρηση έγινε μόνο στο Δείγμα 1 επειδή το Δείγμα 3 ήταν υδατικό διάλυμα, και ως εκ τούτου εκτός πεδίου εφαρμογής της μεθόδου προσδιορισμού σημείου ανάφλεξης ανοιχτού δοχείου κατά ASTM D92. Το σημείο ανάφλεξης του Δείγματος 1

μετρήθηκε στους 288 °C, τιμή η οποία χαρακτηρίζεται απόλυτα φυσιολογική και ασφαλής για δείγμα ελαίου σιλικόνης σε χρήση. Όπως αναφέρεται στο αρχείο Bayer Silicones Baysilone Fluids M με τα χαρακτηριστικά των ελαίων σιλικόνης όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στους μετασχηματιστές Siemens της Hellenic Train, το σημείο ανάφλεξης ενός ελαίου σιλικόνης κατηγορίας 50 EL είναι της τάξης των 300 °C. Προκύπτει μια διαφορά της τάξης των 12 °C μεταξύ του χρησιμοποιημένου ελαίου και του φρέσκου ελαίου, κάτι που εκτιμάται ως αναμενόμενο και φυσιολογικό.

Όσον αφορά τις μετρήσεις συγκέντρωσης κυκλικών διμεθυλοσιλοξανίων στα δείγματα, μετρήθηκε η συγκέντρωση των εξαμεθυλο κυκλο τρι σιλοξάνιο (D3) οκταμεθυλο κυκλο τρι σιλοξάνιο (D4) και δεκαμεθυλο κυκλο τρι σιλοξάνιο (D5). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

	D3	D4	D5
Δείγμα 1-A	<2 mg/kg	<2 mg/kg	138,6 mg/kg
Δείγμα 1-B	<2 mg/kg	<2 mg/kg	138,5 mg/kg
Δείγμα 2-A	<2 mg/kg	<2 mg/kg	3,0 mg/kg
Δείγμα 2-B	<2 mg/kg	<2 mg/kg	2,9 mg/kg
Δείγμα 3-A	<2 mg/kg	<2 mg/kg	<2 mg/kg
Δείγμα 3-B	<2 mg/kg	<2 mg/kg	<2 mg/kg
Δείγμα 4-A	<2 mg/kg	<2 mg/kg	<2 mg/kg
Δείγμα 4-B	<2 mg/kg	<2 mg/kg	<2 mg/kg

Όπως αναφέρει η έκθεση του ΓΧΚ για τις μετρήσεις, τα 2 mg/kg είναι το όριο αναφοράς (συγκέντρωση στο δείγμα που αντιστοιχεί στη συγκέντρωση του χαμηλότερου προτύπου βαθμονόμησης), ουσιαστικά δηλαδή κάτω από το όριο ανίχνευσης με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε.

Όλες οι μετρήσεις βρίσκονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Αυτό σημαίνει ότι και για τα δείγματα για τα οποία δεν ήταν εφικτός ο προσδιορισμός του σημείου ανάφλεξης να μπορεί να εκτιμηθεί ότι το σημείο ανάφλεξης τους ήταν το αναμενόμενο.

Στην απάντηση του ερωτήματος: Όσον αφορά την καύση, τα έλαια σιλικόνης με αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να αναφλεγούν όταν η θερμοκρασία στο χώρο υπερβεί τους 300 °C και εν συνεχεία να καούν. Στο έγγραφό της η Hellenic Train αναφέρει ότι: "Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας, η θερμοκρασία του μετασχηματιστή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες εξωτερικούς, όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος, και εσωτερικούς, όπως η τιμή της ζητούμενης και της παραγόμενης ισχύος η οποία διαρκώς μεταβάλλεται. Σύμφωνα με τον Κατασκευαστή θεωρείται υπερβολική όταν υπερβαίνει τους 155 °C στην περιέλιξη του μετασχηματιστή και τους 90 °C στο υγρό σιλικόνης. (σελ. 4/5, παρ. 2.2.1, Κεφ. 2, "Transformator1T2_EZAT6844_Haupttransformator.pdf")". Επομένως, η θερμοκρασία των ελαίων πρέπει να ήταν στην περιοχή των 90 °C και κατά συνέπεια πολύ χαμηλότερη του σημείου ανάφλεξης των ελαίων. Άρα, όσον αφορά την καύση, είναι λογικό να υποτεθεί ότι τα έλαια σιλικόνης συμμετείχαν στην πυρκαγιά λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούσας μετά την ανάπτυξη της πύρινης σφαίρας.

Δημήτριος Καρώνης
Καθηγητής ΕΜΠ.