



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
UNIVERSITY OF PIRAEUS

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΜΣ «Βιομηχανική Διοίκηση και Τεχνολογία»

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: Διοίκηση Logistics

Η επίδραση της τεχνολογίας στη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων

Δημουλάκης Ανδρέας

A.M. tml2005

2023

Δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Η εργασία αυτή είναι πρωτότυπη και εκπονήθηκε αποκλειστικά και μόνο για την απόκτηση του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού τίτλου».

«Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του μη πρωτότυπου υλικού ΜΔΕ ανήκουν στο μεταπτυχιακό φοιτητή και το επιβλέπον μέλος ΔΕΠ εις ολόκληρο, δηλαδή εκάτερος μπορεί να κάνει χρήση αυτών χωρίς τη συναίνεση άλλου. Τα πνευματικά δικαιώματα χρησιμοποίησης του πρωτότυπου μέρους ΜΔΕ ανήκουν στον μεταπτυχιακό φοιτητή και τον επιβλέποντα από κοινού, δηλαδή δεν μπορεί ο ένας από τους δύο να κάνει χρήση αυτού χωρίς τη συναίνεση του άλλου. Κατ' εξαίρεση, επιτρέπεται η δημοσίευση του πρωτότυπου μέρους της διπλωματικής εργασίας σε επιστημονικό περιοδικό ή πρακτικά συνεδρίου από τον ένα εκ των δύο, με την προϋπόθεση ότι αναφέρονται τα ονόματα και των δύο (ή των τριών σε περίπτωση συνεπιβλέποντα) ως συν-συγγραφέων. Στην περίπτωση αυτή προηγείται γραπτή ενημέρωση του μη συμμετέχοντα στη συγγραφή του επιστημονικού άρθρου. Δεν επιτρέπεται η κατά οποιοδήποτε τρόπο δημοσιοποίηση υλικού το οποίο έχει δηλωθεί εγγράφως ως απόρρητο».

Περίληψη

Καθημερινά χρησιμοποιούμε χιλιάδες προϊόντα για να καλύψουμε τις ανάγκες μας. Πολλά από αυτά ανήκουν στην κατηγορία των επικίνδυνων φορτίων (π.χ. καύσιμα, απορρυπαντικά, αποσμητικά, αλκοολούχα ποτά κ.λπ.). Η μεταφορά τέτοιου είδους φορτίων εγκυμονεί πολλούς κινδύνους τόσο για τον άνθρωπο όσο και για το περιβάλλον. Σε αυτή την εργασία, παρουσιάζεται η έννοια των επικίνδυνων φορτίων, οι κατηγορίες στις οποίες ταξινομούνται και οι κύριοι κανονισμοί, όπως η συμφωνία ADR, που συνοδεύουν τη μεταφορά και αποθήκευσή τους. Στη συνέχεια, αναλύονται οι βασικές προκλήσεις που προκύπτουν από τη μεταφορά αυτών των φορτίων, όσον αφορά στο νομοθετικό πλαίσιο, τους διάφορους εμπλεκόμενους, τις εγκληματικές επιθέσεις καθώς και κινδύνους που προκύπτουν από τη φύση των συγκεκριμένων υλικών. Επίσης, αναφέρονται οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται, όπως τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), το Blockchain, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) κ.λπ., για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των διαδικασιών, που απαιτούνται για τη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων, τη μείωση των κινδύνων και τη μείωση του χρόνου απόκρισης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Τέλος, βλέπουμε παραδείγματα εφαρμογών των τεχνολογιών αυτών καθώς και τα αποτελέσματά τους.

Λέξεις κλειδιά: Μεταφορά επικίνδυνων φορτίων (TDG), ADR, Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), Blockchain, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS)

Abstract

We daily use thousands of products to cover our needs. A wide variety of these products, such as fuels, detergents, deodorants, alcoholic beverages and others, falls under the category of dangerous goods. The transport of such products involves a great risk for both human and the environment. This paper presents the notion of dangerous goods, the categories in which they are classified and the main regulations, such as the European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR), that accompany their transport and storage. Then, the main challenges that result from the transport of such products, regarding the legislative framework, the different individuals involved, the criminal aggressions and the risks arising from the nature of these specific products, are analyzed. In addition, the technologies which are applied for the improvement of the effectiveness of the processes required for the TDG, the reduction of risks and the reduction of the response time in case of an emergency, are mentioned. These technologies involve the Decision Support Systems (DSS), the Internet of Things (IoT), the Blockchain, the Geographic Information Systems (GIS) and others. Finally, we examine some examples of deployment of these technologies and their results.

Key words: Transport of Dangerous Goods (TDG), ADR, Internet of Things (IoT), Blockchain, Geographic Information Systems (GIS), Decision Support System (DSS)

Περιεχόμενα

| | |
|--|-------------|
| Λίστα γραφημάτων/ εικόνων..... | vii |
| Λίστα πινάκων..... | viii |
| Γλωσσάριο | ix |
| Εισαγωγή | 1 |
| Κεφάλαιο 1: Η έννοια των επικίνδυνων φορτίων | 3 |
| 1.1: Ορισμός των επικίνδυνων φορτίων | 3 |
| 1.2: Η νομοθεσία στη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων – Συμφωνία ADR..... | 4 |
| 1.3: Οι κλάσεις των επικίνδυνων φορτίων..... | 6 |
| 1.4: Η σήμανση των επικίνδυνων φορτίων..... | 9 |
| Κεφάλαιο 2: Προκλήσεις στη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων | 10 |
| 2.1: Η έννοια του κινδύνου στη μεταφορά DG..... | 10 |
| 2.2: Κανονισμοί και νόμοι | 13 |
| 2.3: Εμπλεκόμενοι και διαφορετικά συμφέροντα..... | 14 |
| 2.4: Εγκληματικές επιθέσεις και ασφαλιστική κάλυψη..... | 15 |
| 2.5: Δυναμική παρακολούθηση φορτίων | 16 |
| 2.6: Συσκευές IoT στη TDG | 17 |
| Κεφάλαιο 3: Η τεχνολογία στη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων | 19 |
| 3.1: Βασικές τεχνολογίες στη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων | 19 |
| 3.2: Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων DSS..... | 20 |
| 3.3: Συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών GIS για την εκτίμηση του κινδύνου.... | 23 |

| | |
|---|-----------|
| 3.4: Η τεχνολογία του blockchain | 24 |
| 3.4.1: Επιλογή του κατάλληλου πλαισίου blockchain | 28 |
| 3.4.2: Hyperledger Fabric | 29 |
| 3.5: Η έννοια του Διαδικτύου των Πραγμάτων IoT | 30 |
| Κεφάλαιο 4: Εφαρμογές της τεχνολογίας στη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων..... | 32 |
| 4.1: Δυναμική παρακολούθηση DG με τη χρήση του IoT και RFID | 32 |
| 4.2: Αυτόματη αναγνώριση πινακίδων φορτηγών DG | 34 |
| 4.3: Εφαρμογή διαφόρων DSS στη μεταφορά DG | 37 |
| 4.3.1: HAMER (HAzardous Material Emergency Response) | 38 |
| 4.3.2: HAZMAT path SDSS | 39 |
| 4.3.3: TrHaM (Transport of Hazardous Materials)..... | 41 |
| 4.3.4: TrHazGis – Transportation Hazardous GIS..... | 42 |
| 4.3.5: TRAT-GIS 4.1 (Transportation Risk Analysis)..... | 43 |
| 4.3.6: DESTINATION project 2014 - SIIG (Sistema Informativo Integrato Globale – Global Integrated Information System) | 44 |
| 4.4: Εκτίμηση του κινδύνου με τη χρήση των GIS..... | 45 |
| 4.4.1: Μελέτη περίπτωσης Κεμπέκ – Οντάριο | 46 |
| 4.4.2: Μελέτη περίπτωσης Γκαζιαντέπ..... | 51 |
| 4.5: Εφαρμογή της τεχνολογίας IoT και blockchain στη μεταφορά DG | 56 |
| 4.5.1: Η αρχιτεκτονική 3-επιπέδων..... | 57 |
| 4.5.2: Σύγκριση παραδοσιακού(web) τηλεμετρικού μοντέλου με σύγχρονο(blockchain)..... | 61 |

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Συμπεράσματα..... | 66 |
| Βιβλιογραφικές αναφορές..... | 68 |

Λίστα γραφημάτων/ εικόνων

- **Εικόνα 1:** Πινακίδα σήμανσης επικίνδυνων φορτίων.
<https://commons.wikimedia.org>
- **Εικόνα 2:** Σύστημα ανίχνευσης και αναγνώρισης πινακίδων επικίνδυνων εμπορευμάτων (Roth et al., 2010)
- **Εικόνα 3:** Σύγκριση όλων των μοντέλων κινδύνου (Özceylan et al., 2017)

Λίστα πινάκων

- **Πίνακας 1:** Κλάσσεις & χαρακτηριστικά κινδύνου DG (Health and Safety Authority, 2012)
- **Πίνακας 2:** Πληροφορίες για την παρακολούθηση των οδικών μεταφορών επικίνδυνων φορτίων (Liu et al., 2012)
- **Πίνακας 3:** Συχνότητα ατυχήματος ανά 1 εκατομμύριο χιλιόμετρα (Verter and Kara, 2001)
- **Πίνακας 4:** Μέση διανυθείσα απόσταση (χλμ) ανά φορτηγό (Verter and Kara, 2001)
- **Πίνακας 5:** Μέση έκθεση του πληθυσμού (αριθμός ατόμων) ανά φορτηγό (Verter and Kara, 2001)
- **Πίνακας 6:** Συνολικός Κοινωνικός Κίνδυνος (Αναμενόμενος αριθμός ατόμων που θα εκκενώσουν) (Verter and Kara, 2001)
- **Πίνακας 7:** Κοινωνικό αντίκτυπο της μεταφοράς βενζίνης (Verter and Kara, 2001)
- **Πίνακας 8:** Ο αντίκτυπος των ροών βενζίνης στο Κεμπέκ και το Οντάριο (Verter and Kara, 2001)
- **Πίνακας 9:** Ο αντίκτυπος των ροών και των τεσσάρων DG στο Κεμπέκ και το Οντάριο (Verter and Kara, 2001)
- **Πίνακας 10:** Αποτελέσματα του μοντέλου κινδύνου 1 (ελαχιστοποίηση της απόστασης) (Özceylan et al., 2017)
- **Πίνακας 11:** Αποτελέσματα του μοντέλου κινδύνου 2 (ελαχιστοποίηση του κινδύνου έκθεσης του πληθυσμού) (Özceylan et al., 2017)
- **Πίνακας 12:** Αποτελέσματα του μοντέλου κινδύνου 3 (ελαχιστοποίηση της πιθανότητας ατυχήματος) (Özceylan et al., 2017)
- **Πίνακας 13:** Αποτελέσματα του μοντέλου κινδύνου 4 (μεγιστοποίηση της απόκρισης έκτακτης ανάγκης) (Özceylan et al., 2017)

Γλωσσάριο

| | |
|----------|---|
| ADR | Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route |
| DBMS | Data Base Management System |
| DG | Dangerous Goods |
| DSS | Decision Support System |
| ERP | Enterprise Resource Planning |
| GIS | Geographic Information System |
| GPS | Global Positioning System |
| GUI | Graphical User Interface |
| HAMER | HAzardous Material Emergency Response system |
| HazMat | Hazardous Material |
| IATA | International Air Transport Association |
| IMO | International Maritime Association |
| IoT | Internet of Things |
| LPWAN | Low Power Wide Area Network |
| MBMS | Model Base Management System |
| MCDA | Multi Criteria Decision Aid |
| PoS | Proof of Stake |
| PoW | Proof of Work |
| RFID | Radio Frequency Identification |
| RID | Regulations Concerning the International Transport of Dangerous Goods by Rail |
| SC | Smart Contract |
| SIIG | Sistema Informativo Integrato Globale - Global Integrated Information System |
| TAPA | Transported Asset Protection Association |
| TDG | Transport of Dangerous Goods |
| TrHaM | Transport of Hazardous Materials |
| TrHazGis | Transportation Hazardous GIS |
| UNECE | United Nations Economic Commission for Europe |
| US DOT | US Department of Transportation |
| WAN | Wide Area Network |
| OHE | Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών |

Εισαγωγή

Τα επικίνδυνα υλικά είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη της οικονομίας και της ζωής και η μεταφορά τους γίνεται κυρίως μέσω του οδικού δικτύου. Ωστόσο η διαδικασία μεταφοράς των επικίνδυνων υλικών είναι μια κινητή πηγή κινδύνων, ειδικά στις οδικές μεταφορές, από τις οποίες προκύπτουν διάφορα ατυχήματα που επηρεάζουν τόσο την ανθρώπινη ζωή όσο και το περιβάλλον. Προκειμένου να μειωθούν οι πιθανότητες ατυχημάτων από τέτοιου είδους μεταφορές, είναι σημαντικό να εντοπιστούν οι βασικές αιτίες που τα προκαλούν. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορεί να είναι υπεύθυνοι για την πρόκληση ενός τέτοιου ατυχήματος, όπως η κατάσταση του οχήματος, του οδηγού καθώς και των ίδιων των υλικών και άλλοι εξωτερικοί παράγοντες όπως, η κατάσταση του οδικού δικτύου, οι καιρικές συνθήκες της περιοχής, η ώρα (μέρα ή νύχτα) και η κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Η τεχνολογία έχει μπει πολύ δυναμικά στη ζωή μας τις τελευταίες δεκαετίες. Η ανάπτυξη της και η συνεχή εξέλιξή της μας βοηθά να μειώνουμε τις πιθανότητες λάθος κινήσεων και επιλογών, για την επίτευξη όσο το δυνατόν καλύτερου αποτελέσματος. Σε ότι αφορά τα επικίνδυνα φορτία, είναι πολύ σημαντική η συμβολή της τεχνολογίας, διότι η μείωση πιθανότητας ενός λάθους, δεν σημαίνει μόνο οικονομικά οφέλη, αλλά μπορεί να προστατεύσει την υγεία πολλών ανθρώπων που βρίσκονται σε μια πιθανή περιοχή ατυχήματος. Επιπλέον, ένα τέτοιο ατύχημα μπορεί να προκαλέσει μακροχρόνιες περιβαλλοντικές καταστροφές, που μπορεί να επηρεάσουν τον πληθυσμό ολόκληρων πόλεων ή να επιφέρουν την καταστροφή ενός ολόκληρου οικοσυστήματος, όπως για παράδειγμα η μόλυνση των υδάτων, η ατμοσφαιρική ρύπανση και άλλα.

Παρόλο που οι τεχνολογίες των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών GIS, των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων DSS και του Διαδικτύου των Πραγμάτων IoT,

έχουν συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό στη μείωση των λαθών με αποτέλεσμα να μειώνεται ο κίνδυνος μιας τέτοιας μεταφοράς, συνεχίζουν να δημιουργούνται νέες προκλήσεις που αφορούν το απόρρητο και την εμπιστευτικότητα. Αυτά τα ζητήματα έρχεται να τα λύσει η τεχνολογία του blockchain, η οποία μπαίνει με όλο και πιο γρήγορους ρυθμούς στην καθημερινότητα μας. Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται η έννοια των επικίνδυνων φορτίων και τα βασικά στοιχεία των παραπάνω τεχνολογιών σε σχέση με τις μεταφορές επικίνδυνων φορτίων καθώς και παραδείγματα εφαρμογών τους.

Κεφάλαιο 1: Η έννοια των επικίνδυνων φορτίων

Σε αυτό το κεφάλαιο εξηγείται η έννοια των επικίνδυνων φορτίων. Ειδικότερα, δίνεται ο ορισμός τους, αναλύεται το βασικό νομοθετικό πλαίσιο και η συμφωνία ADR και τέλος η ταξινόμηση τους καθώς και ο τρόπος σήμανσης τους.

1.1: Ορισμός των επικίνδυνων φορτίων

Στις βιομηχανικές χώρες, μεγάλο μέρος των υλικών που μεταφέρονται είναι επιβλαβές τόσο για την ανθρώπινη υγεία όσο και για το περιβάλλον. Τα υλικά αυτής της φύσης ονομάζονται επικίνδυνα εμπορεύματα DG (Dangerous Goods) ή επικίνδυνα υλικά (Hazardous Materials) (Verter and Kara, 2001). Σύμφωνα με το Υπουργείο Μεταφορών των ΗΠΑ (US DOT) ως επικίνδυνο υλικό ορίζεται κάθε ουσία η οποία μπορεί να προκαλέσει βλάβη σε ανθρώπους, περιουσίες και περιβάλλον (Torretta *et al.*, 2017). Περισσότερα από 3300 υλικά και τα παράγωγά τους ταξινομούνται ως επικίνδυνα υλικά (Özceylan *et al.*, 2017). Σε αυτά περιλαμβάνονται εκρηκτικά υλικά, αέρια, εύφλεκτα υγρά και στερεά, οξειδωτικές ουσίες, δηλητηριώδεις και μολυσματικές ουσίες, διαβρωτικές ουσίες καθώς και επικίνδυνα απόβλητα (Verter and Kara, 2001).

Είναι γεγονός ότι η αποθήκευση και η μεταφορά επικίνδυνων υλικών ενέχει σοβαρούς κινδύνους για τον άνθρωπο και το περιβάλλον όμως, η κυκλοφορία τέτοιων υλικών είναι αναπόφευκτη. Τα τελευταία χρόνια, έχει αυξηθεί η ευαισθητοποίηση του κόσμου για τα περιβαλλοντικά ζητήματα και την υγιεινή ζωή με αποτέλεσμα, εκτός από τους νομικούς περιορισμούς για τη μείωση του κινδύνου μεταφοράς DG, να εφαρμόζονται επιπλέον σχέδια και πρακτικές. Τα δύο πιο σημαντικά στοιχεία της εφοδιαστικής επικίνδυνων υλικών είναι η τοποθεσία των εγκαταστάσεων επικίνδυνων υλικών και η μεταφορά τους από και προς αυτές τις εγκαταστάσεις. Τα επικίνδυνα εμπορεύματα μεταφέρονται με διαφορετικούς τρόπους (σιδηροδρομικό 15%, ναυτιλιακό 21% και ναυτιλία κοντινών

αποστάσεων 16%), αλλά το μεγαλύτερο μέρος αυτών (48%) γίνονται οδικώς. Όλα τα είδη μεταφοράς, σε όλο τον κόσμο υπόκεινται σε νόμους και για το λόγο αυτό, η Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών κάνει συστάσεις για διαδικασίες μεταφοράς επικίνδυνων εμπορευμάτων (Özceylan *et al.*, 2017).

Υπάρχει μεγάλη δυσκολία στην αξιολόγηση του κινδύνου από την έκθεση σε αυτές τις ουσίες. Τα επικίνδυνα εμπορεύματα ταξινομούνται σε κλάσεις, τις οποίες θα δούμε αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο. Η μεταφορά τέτοιων ουσιών αποτελεί μια πραγματική πρόκληση, καθώς οποιοδήποτε ατύχημα μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος ατυχήματος από την μεταφορά τέτοιων υλικών (Imeri, Agoulmine and Khadraoui, 2020).

1.2: Η νομοθεσία στη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων – Συμφωνία ADR

Από το 1900 μόλις υπάρχει η ανάγκη ύπαρξης διεθνών κανονισμών για τη διαχείριση της μεταφοράς επικίνδυνων εμπορευμάτων και με την πάροδο των χρόνων έχουν αναπτυχθεί ειδικοί κανονισμοί για τους διάφορους τρόπους μεταφοράς (οδικό, θαλάσσιο, αεροπορικό και σιδηροδρομικό) συμπεριλαμβανομένων των εθνικών διασυνοριακών.

Με βάση αυτούς τους κανονισμούς θεσπίστηκαν διαδικασίες για την ταξινόμηση των επικίνδυνων εμπορευμάτων, οι οποίες περιλάμβαναν τους όρους μεταφοράς τους, τις μεθόδους φόρτωσης στα διάφορα μέσα μεταφοράς καθώς και τις απαιτήσεις όσον αφορά στην οργάνωση, την εκπαίδευση του προσωπικού και την ειδική αντιμετώπιση που πρέπει να παρέχεται σε περίπτωση ατυχήματος.

Οι οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως η τελευταία Οδηγία Seveso¹ παρέχουν τις κύριες κατευθυντήριες γραμμές για τη διαχείριση του κινδύνου στη χημική βιομηχανία.

¹ Μετά το καταστροφικό ατύχημα στην ιταλική πόλη Seveso το 1976, η Ευρώπη οδηγήθηκε στη θέσπιση νομοθεσίας για την πρόληψη και τον έλεγχο τέτοιων ατυχημάτων. Η λεγόμενη οδηγία Seveso (οδηγία 82/501/EEC) τροποποιήθηκε αργότερα λόγω των διδαγμάτων που αντλήθηκαν από μεταγενέστερα

Οι διεθνείς συμφωνίες αποτελούν τις κύριες ευρωπαϊκές αναφορές σχετικά με τη ρύθμιση των οδικών και σιδηροδρομικών μεταφορών επικίνδυνων υλικών, όπως η Ευρωπαϊκή Συμφωνία σχετικά με τις διεθνείς οδικές μεταφορές επικίνδυνων εμπορευμάτων (ADR).

Η οδηγία ADR συντάχθηκε στη Γενεύη στις 30 Σεπτεμβρίου 1957 υπό την καθοδήγηση της Οικονομικής Επιτροπής των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (UNECE) και τέθηκε σε ισχύ στις 29 Ιανουαρίου 1968. Το δεύτερο άρθρο αναφέρει ότι οι επικίνδυνες ουσίες πρέπει να μεταφέρονται, σε διεθνές επίπεδο, σε οχήματα που πληρούν τις προϋποθέσεις που περιγράφονται στα ακόλουθα:

- Παράρτημα Α: για τις εν λόγω ουσίες, ιδίως όσον αφορά στη συσκευασία και την επισήμανση.
- Παράρτημα Β: αφορά την κατασκευή, τον εξοπλισμό και τη λειτουργία οχημάτων που μεταφέρουν τέτοιες ουσίες.

Τα παραρτήματα Α και Β τροποποιούνται και ενημερώνονται κάθε δύο χρόνια από το 1968. Το 2013, και τελικά το 2015, δημοσιεύτηκε μια αναθεωρημένη έκδοση ως το έγγραφο ECE/TRANS/225 Τεύχος I & II.

Όσον αφορά στην ταξινόμηση των επικίνδυνων ουσιών, η ADR παρέχει μια κατανομή σε εννέα κατηγορίες (ομαδοποιώντας τις ουσίες που έχουν παρόμοιες επιπτώσεις στην ίδια κατηγορία κινδύνου):

1. Εκρηκτικά
2. Αέρια

ατυχήματα όπως το Bhopal, η Toulouse ή το Enschede που οδήγησαν σε Seveso-II (οδηγία 96/82/EK). Το 2012 το Seveso-III (οδηγία 2012/18/EE) εκδόθηκε λαμβάνοντας υπόψη, μεταξύ άλλων, τις αλλαγές στη νομοθεσία της Ένωσης για την ταξινόμηση των χημικών ουσιών και τα αυξημένα δικαιώματα πρόσβασης των πολιτών σε πληροφορίες και δικαιοσύνη. Η Οδηγία εφαρμόζεται σε περισσότερες από 12 000 βιομηχανικές εγκαταστάσεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση όπου χρησιμοποιούνται ή αποθηκεύονται επικίνδυνες ουσίες σε μεγάλες ποσότητες, κυρίως στη χημική και πετροχημική βιομηχανία, καθώς και στους τομείς χονδρικής και αποθήκευσης καυσίμων. Η οδηγία Seveso έχει συμβάλει στην επίτευξη χαμηλής συχνότητας μεγάλων ατυχημάτων. <https://ec.europa.eu>

3. Εύφλεκτα υγρά
4. Εύφλεκτα στερεά, αντιδραστικές ουσίες και απευαισθητοποιημένα στερεά εκρηκτικά
5. Οξειδωτικά
6. Τοξικά
7. Ραδιενεργά
8. Διαβρωτικά
9. Διάφορες επικίνδυνες ουσίες

Επίσης, ορίζονται κανόνες για τη σήμανση που πρέπει να εφαρμόζονται στα εμπορευματοκιβώτια για τη μεταφορά επικίνδυνων εμπορευμάτων (ετικέτες και πορτοκαλί πινακίδες). Ο στόχος της σήμανσης είναι η άμεση ενημέρωση όλων των ατόμων που εμπλέκονται στη μεταφορά με γρήγορες και εύκολες οδηγίες για τους πιθανούς κινδύνους, τηρώντας τις ακόλουθες απαιτήσεις: (1) να μπορεί να αναγνωστεί εύκολα και από απόσταση το περιεχόμενο του κάθε εμπορευματοκιβωτίου, (2) να επιτρέπεται ο εύκολος εντοπισμός των κινδύνων που επιφυλάσσονται και (3) να παρέχονται οι βασικοί κανόνες για τη συντήρηση και τον χειρισμό τέτοιων εμπορευμάτων.

(Torretta *et al.*, 2017)




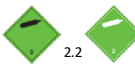






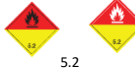





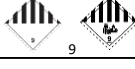
1.3: Οι κλάσεις των επικίνδυνων φορτίων

Πριν τη μεταφορά, ενός επικίνδυνου υλικού θα πρέπει να ταξινομηθεί, σύμφωνα με τις συστάσεις του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών ΟΗΕ, με βάση τις φυσικοχημικές του ιδιότητες. Όσον αφορά στη μεταφορά, τα προϊόντα θα πρέπει να ταξινομούνται σύμφωνα με τις επικίνδυνες ιδιότητές τους. Αυτή η ταξινόμηση βασίζεται στη συμφωνία Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route ADR για τις οδικές μεταφορές, στη Règlement des Transports RID για τις σιδηροδρομικές μεταφορές, στη International Maritime Association IMO για τις θαλάσσιες μεταφορές και στη International Air Transport Association IATA για τις αεροπορικές μεταφορές

(Suter and Bisel, 2006). Τα Ηνωμένα Έθνη, με βάση τις ιδιότητες των επικίνδυνων ουσιών, τις ταξινομούν σε εννέα κατηγορίες: (1) εκρηκτικά και πυροτεχνήματα, (2) αέρια, (3) εύφλεκτα και καυστικά υγρά, (4) εύφλεκτα, καυστικά και επικίνδυνα αν έρθουν σε επαφή με νερό στερεά, (5) οξειδωτικά και οργανικά υπεροξειδία, (6) δηλητηριώδεις και μολυσματικές ουσίες, (7) ραδιενεργά υλικά, (8) διαβρωτικά υλικά (όξινα ή βασικά) και (9) διάφορα επικίνδυνα εμπορεύματα (Torretta *et al.*, 2017).

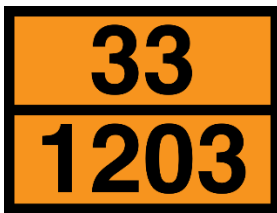
Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας με τις κλάσεις των υλικών και τα κύρια χαρακτηριστικά του κινδύνου που παρουσιάζουν:

Πίνακας 1: Κλάσεις & χαρακτηριστικά κινδύνου DG (Health and Safety Authority, 2012)

| ΣΗΜΑΝΣΗ | ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΙΝΔΥΝΟΥ |
|--|---|
| <p>Εκρηκτικές ουσίες και υλικά.</p>  <p>1 1.5 1.6</p> | <p>Ουσίες και υλικά που μπορεί να προκαλέσουν μαζική έκρηξη, εκτόξευση θραυσμάτων, πυρκαγιά, υψηλή θερμότητα, έντονη λάμψη, δυνατό θόρυβο ή καπνό.</p> <p>Ευαίσθητα σε κραδασμούς, συγκρούσεις και υψηλές θερμοκρασίες.</p> |
| <p>Εκρηκτικές ουσίες και υλικά.</p>  <p>1.4</p> | <p>Μικρός κίνδυνος έκρηξης και πυρκαγιάς.</p> |
| <p>Εύφλεκτα αέρια.</p>  <p>2.1 2.2</p> | <p>Κίνδυνος πυρκαγιάς. Κίνδυνος έκρηξης. Μπορεί να βρίσκεται υπό πίεση. Κίνδυνος ασφυξίας. Μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα ή/και κρουπαγήματα.</p> |
| <p>Μη εύφλεκτα/ μη τοξικά αέρια.</p>  <p>2.2 2.3</p> | <p>Κίνδυνος ασφυξίας. Μπορεί να βρίσκεται υπό πίεση. Μπορεί να προκαλέσει κρουπαγήματα. Τα δοχεία μπορεί να εκραγούν όταν θερμαίνονται.</p> |
| <p>Τοξικά αέρια.</p>  <p>2.3</p> | <p>Κίνδυνος δηλητηρίασης. Μπορεί να βρίσκεται υπό πίεση. Μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα ή/και κρουπαγήματα. Τα δοχεία μπορεί να εκραγούν όταν θερμαίνονται.</p> |
| <p>Εύφλεκτα υγρά.</p>  <p>3</p> | <p>Κίνδυνος πυρκαγιάς. Κίνδυνος έκρηξης. Τα δοχεία μπορεί να εκραγούν όταν θερμαίνονται.</p> |
| <p>Εύφλεκτα στερεά, αυτενεργά στερεά και στερεά απευαίσθητοποιημένα εκρηκτικά</p>  <p>4.1</p> | <p>Κίνδυνος πυρκαγιάς. Κίνδυνος ανάφλεξης από υψηλές θερμοκρασίες, σπινθήρες και φλόγες. Μπορεί να περιέχει αυτό-αντιδρώσες ουσίες που υπόκεινται σε εξώθερμη αποσύνθεση σε περίπτωση έκθεσης του σε θερμότητα, επαφής με άλλες ουσίες (όπως οξέα, ενώσεις βαρέων μετάλλων ή αμίνες), τριβής ή κρούσης. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση επιβλαβών και εύφλεκτων αερίων ή ατμών ή αυτανάφλεξη. Τα δοχεία μπορεί να εκραγούν όταν θερμαίνονται. Κίνδυνος έκρηξης απευαίσθητοποιημένων εκρηκτικών μετά την απώλεια του απευαίσθητοποιητή.</p> |
| <p>Ουσίες που υπόκεινται σε αυτανάφλεξη.</p>  <p>4.2</p> | <p>Κίνδυνος πυρκαγιάς από αυτανάφλεξη εάν οι συσκευασίες καταστραφούν ή χυθεί το περιεχόμενό τους. Μπορεί να αντιδράσει έντονα με το νερό.</p> |
| <p>Ουσίες οι οποίες σε επαφή με το νερό εκπέμπουν εύφλεκτα αέρια.</p>  <p>4.3</p> | <p>Κίνδυνος πυρκαγιάς ή έκρηξης σε περίπτωση που η ουσία έρθει σε επαφή με το νερό.</p> |
| <p>Οξειδωτικές ουσίες.</p>  <p>5.1</p> | <p>Κίνδυνος έντονης αντίδρασης, ανάφλεξης και έκρηξης όταν έρθει σε επαφή με εύφλεκτες ουσίες.</p> |
| <p>Οργανικά υπεροξειδία.</p>  <p>5.2</p> | <p>Κίνδυνος εξώθερμης αποσύνθεσης σε υψηλές θερμοκρασίες, όταν έρθει σε επαφή με άλλες ουσίες (όπως οξέα, ενώσεις βαρέων μετάλλων ή αμίνες), τριβή ή κρούση. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση επιβλαβών και εύφλεκτων αερίων ή ατμών ή αυτανάφλεξη.</p> |
| <p>Τοξικές ουσίες.</p>  <p>6.1</p> | <p>Κίνδυνος δηλητηρίασης από εισπνοή, επαφή με το δέρμα ή κατάποση. Κίνδυνος για το υδάτινο περιβάλλον ή το αποχετευτικό σύστημα.</p> |
| <p>Μολυσματικές ουσίες.</p>  <p>6.2</p> | <p>Κίνδυνος μόλυνσης. Μπορεί να προκαλέσει σοβαρή ασθένεια σε ανθρώπους ή ζώα. Κίνδυνος για το υδάτινο περιβάλλον ή το αποχετευτικό σύστημα.</p> |
| <p>Ραδιενεργά υλικά.</p>  <p>7</p> | <p>Κίνδυνος πρόσληψης και εξωτερικής ακτινοβολίας.</p> |
| <p>Σχάσιμο υλικό.</p>  <p>7</p> | <p>Κίνδυνος πυρηνικής αλυσιδωτής αντίδρασης.</p> |
| <p>Διαβρωτικές ουσίες.</p>  <p>8</p> | <p>Κίνδυνος εγκαυμάτων από διάβρωση. Μπορεί να αντιδράσουν έντονα μεταξύ τους, με το νερό και με άλλες ουσίες. Η χυμένη ουσία μπορεί να προκαλέσει διαβρωτικούς ατμούς. Κίνδυνος για το υδάτινο περιβάλλον ή το αποχετευτικό σύστημα.</p> |
| <p>Διάφορες επικίνδυνες ουσίες και υλικά.</p>  <p>9</p> | <p>Κίνδυνος εγκαυμάτων. Κίνδυνος πυρκαγιάς. Κίνδυνος έκρηξης. Κίνδυνος για το υδάτινο περιβάλλον ή το αποχετευτικό σύστημα.</p> |

1.4: Η σήμανση των επικίνδυνων φορτίων

Στις μεταφορές επικίνδυνων εμπορευμάτων, όπως για παράδειγμα τα καύσιμα, είναι απαραίτητο να υπάρχει η κατάλληλη σήμανση. Για αυτό το λόγο υπάρχουν πορτοκαλί πινακίδες (40x30cm) που αναφέρουν την κατηγορία κινδύνου και τον αριθμό αναγνώρισης των επικίνδυνων ουσιών σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Συμφωνία για τη Διεθνή Οδική Μεταφορά Επικίνδυνων Εμπορευμάτων, κοινώς ADR. Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι πινακίδες είτε είναι κενές (για μεταφορά μικτών φορτίων) είτε περιέχουν δύο κωδικούς: (1) την κλάση/αναγνώριση κινδύνου (π.χ. 3 ή 33 για εύφλεκτα υγρά) και τον αριθμό UN (π.χ. 1202 για καύσιμο ντίζελ ή πετρέλαιο θέρμανσης)



Εικόνα 1: Πινακίδα σήμανσης επικίνδυνων φορτίων. <https://commons.wikimedia.org>

Η σήμανση είναι πολύ σημαντική, ιδιαίτερα σε περίπτωση ατυχήματος, για να ακολουθήσουν οι αρμόδιοι τα κατάλληλα βήματα αντιμετώπισης. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και ο συνεχώς αυξανόμενος αριθμός καμερών παρακολούθησης, δίνουν την δυνατότητα να λαμβάνονται αυτές οι πληροφορίες από αυτόματα συστήματα.

(Roth *et al.*, 2010)

Κεφάλαιο 2: Προκλήσεις στη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων

Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται οι κύριες προκλήσεις στον τομέα των μεταφορών επικίνδυνων φορτίων. Οι προκλήσεις σχετίζονται με τη φύση των υλικών, που τα καθιστά επικίνδυνα από μόνα τους, τους κανονισμούς και τους νόμους, που ορίζουν τον τρόπο μεταφοράς, τους διαφορετικούς εμπλεκόμενους, που έχουν διαφορετικούς στόχους μεταξύ τους με αποτέλεσμα να συγκρούονται τα συμφέροντα τους και τις εγκληματικές επιθέσεις και τα ατυχήματα. Τέλος, παρουσιάζονται προκλήσεις που σχετίζονται με αναδυόμενες τεχνολογίες που εφαρμόζονται σε τέτοιου είδους μεταφορές.

2.1: Η έννοια του κινδύνου στη μεταφορά DG

Καθημερινά μεταφέρονται μεγάλες ποσότητες επικίνδυνων ουσιών μέσω των δικτύων μεταφορών, όπως δρόμοι, σιδηρόδρομοι, αγωγοί κ.λπ.. Μια τυχόν διαρροή που μπορεί να προκληθεί σε ένα μέσο μεταφοράς μπορεί να οδηγήσει σε πολύ επικίνδυνες καταστάσεις για τον πληθυσμό, καθώς οι διαδρομές που επιλέγονται για τη μεταφορά τέτοιων φορτίων πολλές φορές διασχίζουν πυκνοκατοικημένες περιοχές. Ένα ατύχημα που αφορά τη μεταφορά επικίνδυνων ουσιών μπορεί να συμβεί στο σημείο αναχώρησης, στον τελικό προορισμό ή κατά την διαδρομή. Η διακοπή της κυκλοφορίας, οι υλικές ζημιές, η εκκένωση, η περιβαλλοντική υποβάθμιση, οι τραυματισμοί και οι θάνατοι είναι οι βαρύτερες πιθανές επιπτώσεις ενός ατυχήματος. Ο πρωταρχικός στόχος που πρέπει να επιδιωχθεί είναι η μείωση του κινδύνου που προκύπτει από την διαχείριση των επικίνδυνων ουσιών (πιθανότητα ατυχήματος και πιθανές συνέπειες). Προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο στόχος συνιστάται η ανάπτυξη και η υιοθέτηση εργαλείων διαχείρισης που υποστηρίζουν τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων στην εξεύρεση των πιο κατάλληλων στρατηγικών, τακτικών και επιχειρησιακών λύσεων. Τέτοια εργαλεία αναφέρονται συνήθως ως Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων.

Ο κίνδυνος στον τομέα των μεταφορών σχετίζεται με τις επιπτώσεις στο περιβάλλον γύρω μας, ιδίως στην ποιότητα του φυσικού περιβάλλοντος και της υγείας και ασφάλειας των ανθρώπων. Οι επιπτώσεις που προκαλούν τέτοιου είδους μεταφορές μπορεί να είναι χρόνιες (αυξημένος θόρυβος, εκπομπή αέριων ρύπων κ.λπ.) ή βραχυπρόθεσμες (ατυχήματα κ.λπ.). Επομένως, απαιτείται διεξοδική ανάλυση του κινδύνου, για τον καλό σχεδιασμό και τη σωστή διαχείριση των μεταφορών, προκειμένου να προληφθούν ατυχήματα και να μετριαστούν οι επιπτώσεις τους. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων θα πρέπει να λάβει υπόψη του πολλά από τα χαρακτηριστικά της μεταφοράς, όπως το μεταφορικό μέσο, το είδος των μεταφερόμενων ουσιών, τον τύπο του εμπορευματοκιβωτίου, τις συνθήκες του δρόμου, την ώρα που πραγματοποιείται η μεταφορά και τις καιρικές συνθήκες στη συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Υπάρχουν βέβαια και μεταβλητές που εξαρτώνται από τον οδηγό (ηλικία, φυσική κατάσταση, εμπειρία κ.λπ.)

Όσον αφορά στη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων, υπάρχουν διάφορες στρατηγικές για τη μείωση του κινδύνου. Αρχικά, πολύ σημαντική είναι η επιλογή της διαδρομής, η οποία μπορεί να μειώσει σε μεγάλο βαθμό την πιθανότητα ατυχήματος. Η επιλογή της διέλευσης από λιγότερο κατοικημένες περιοχές, έχει ως αποτέλεσμα την έκθεση μικρότερου αριθμού ατόμων στον κίνδυνο. Επίσης, τα οχήματα μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να μειωθεί η ποσότητα διαρροής σε περίπτωση ατυχήματος. Εξίσου σημαντική είναι και η καλύτερη εκπαίδευση του οδηγού, γνωρίζοντας τον κίνδυνο μειώνεται η πιθανότητα ατυχήματος.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής του 2007, περίπου το 60% του συνολικού όγκου των επικίνδυνων εμπορευμάτων μεταφέρονται οδικώς στην Ευρώπη, επομένως η επιλογή της βέλτιστης διαδρομής περιλαμβάνει μια σύνθετη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Είναι γεγονός, ότι η οδική μεταφορά των επικίνδυνων εμπορευμάτων

οργανώνεται συνήθως με τρόπο τέτοιο ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος, οι διαδρομές που προτιμούν οι μεταφορικές εταιρείες είναι εκείνες που ελαχιστοποιούν τον χρόνο ταξιδιού. Όμως, οι συγκεκριμένες διαδρομές πολλές φορές συμπεριλαμβάνουν μεγάλα πληθυσμιακά κέντρα, στα οποία αυξάνεται η επικινδυνότητα από τη διέλευση φορτηγών που περιέχουν επικίνδυνα φορτία. Από την άλλη πλευρά, η αποφυγή των αστικών κέντρων σημαίνει ότι επιλέγονται οι περιφερειακοί οδοί, οι οποίοι είναι λιγότερο γρήγοροι και μεγαλύτεροι με αποτέλεσμα η επιλογή της διαδρομής που ελαχιστοποιεί τόσο τους κινδύνους για το κοινό όσο και τον χρόνο ταξιδιού να αποτελεί μεγάλη πρόκληση.

Ως κίνδυνος ορίζεται η πιθανότητα να συμβεί ένα επιβλαβές γεγονός σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα και σε συγκεκριμένες συνθήκες. Σε μαθηματικούς όρους, κίνδυνος (R) είναι η συνάρτηση της πιθανότητας εμφάνισης και του μεγέθους, δηλαδή της σοβαρότητας του επιβλαβούς συμβάντος. Η πιο κοινή συνάρτηση κινδύνου στη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων είναι το λεγόμενο «παραδοσιακό μοντέλο κινδύνου», που ορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i * C S_i$$

όπου το P_i είναι η πιθανότητα εμφάνισης ενός συμβάντος ή ατυχήματος στο τμήμα (i) μιας συγκεκριμένης διαδρομής και το $C S_i$ είναι ένα μέτρο των συνεπειών ενός συμβάντος στην ίδια έκταση, το οποίο μπορεί να εκφραστεί ως ο αριθμός των ατόμων που επηρεάζονται σε μια συγκεκριμένη απόσταση από την τοποθεσία του συμβάντος.

Ο ανθρώπινος κίνδυνος διακρίνεται σε ατομικό και κοινωνικό. Η έννοια του ατομικού κινδύνου ορίζεται ως η ετήσια συχνότητα θανάτου ενός ατόμου μόνιμα τοποθετημένο σε ένα σημείο μιας γεωγραφικής περιοχής, χωρίς μέσα προστασίας και διαφυγής. Αυτή η

κατάσταση δεν αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα στην οποία ο ατομικός κίνδυνος ισούται με τον τοπικό κίνδυνο πολλαπλασιασμένο με την πιθανότητα παρουσίας του ατόμου στο σημείο και έναν παράγοντα μετριασμού, που σχετίζεται με την ικανότητα των ατόμων να προστατευτούν ή να ξεφύγουν. Ο κοινωνικός κίνδυνος εκφράζει τον αντίκτυπο ενός μεμονωμένου γεγονότος σε μια κοινότητα. Αυτό συμβαίνει επειδή το κοινό είναι πιο επιρρεπές σε ένα μεμονωμένο γεγονός που προκαλεί πολλούς θανάτους, όπως για παράδειγμα ένα αεροπορικό δυστύχημα, από τα πολλά ατυχήματα που προκαλούν έναν θάνατο το καθένα.

(Torretta *et al.*, 2017)

2.2: Κανονισμοί και νόμοι

Όπως είδαμε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο η μεταφορά επικίνδυνων φορτίων περιλαμβάνει πολλές προκλήσεις λόγω του υψηλού κινδύνου που ενδέχεται να εκθέσουν τον άνθρωπο και το περιβάλλον σε περίπτωση ατυχήματος. Συνεπώς, έχουν θεσπιστεί συγκεκριμένοι κανονισμοί και νόμοι. Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία της μεταφοράς τέτοιων φορτίων διέπεται από τις τοπικές και διεθνείς αρμόδιες αρχές που ακολουθούν κανονισμούς όπως η ADR ή ο ευρωπαϊκός κανονισμός 1003/2006 για τις οδικές μεταφορές, τη RID για τις σιδηροδρομικές μεταφορές, την IATA για τις αεροπορικές μεταφορές κ.λπ.. Το νομικό πλαίσιο απαιτεί αυστηρή συμμόρφωση σε όλα τα στάδια της μεταφοράς. Η χρήση του οδικού δικτύου είναι ο καταλληλότερος τρόπος μεταφοράς λόγω του χαμηλού κόστους σε σύγκριση με τους άλλους τρόπους μεταφοράς. Οι μεταφορείς επιλέγουν συνήθως διαδρομές που ελαχιστοποιούν το κόστος οι οποίες περνούν μέσα από κατοικημένες περιοχές. Επίσης, πολλές φορές, λόγω της παγκοσμιοποίησης, απαιτείται η διασυνοριακή μεταφορά με αποτέλεσμα η διαδικασία να έρχεται αυτόματα σε διεθνές επίπεδο.

Οι προκλήσεις που προκύπτουν από την μεταφορά επικίνδυνων φορτίων είναι πολλές και σημαντικές. Ένα μεγάλο μέρος αυτών αφορά τις οργανωτικές πτυχές της διαδικασίας της μεταφοράς όπως η διαχείριση της διαδικασίας (η συσκευασία, η σήμανση, η καταχώρηση δεδομένων και η φόρτωση των επικίνδυνων φορτίων). Άλλη μια σημαντική πρόκληση είναι το επίπεδο ασφάλειας για την ανταλλαγή των πληροφοριών.

(Imeri, Agoulmine and Khadraoui, 2020)

2.3: Εμπλεκόμενοι και διαφορετικά συμφέροντα

Στην μεταφορά επικίνδυνων φορτίων υπάρχουν πολλοί ενδιαφερόμενοι με διαφορετικά συμφέροντα, γεγονός που αποτελεί πρόκληση για το σχεδιασμό του καταλληλότερου τρόπου μεταφοράς. Ένας μεταφορέας, αντιμετωπίζει μία μεταφορά DG ως ένα μέσο απόκτησης κερδών και οι κανονισμοί που διασφαλίζουν τη δημόσια και περιβαλλοντική ασφάλεια πρέπει να τηρούνται προκειμένου να διατηρείται η λειτουργία της επιχείρησης του. Από την άλλη πλευρά, μια κυβερνητική υπηρεσία έχει ως στόχο τον περιορισμό των κινδύνων που προκύπτουν από ένα τέτοιο είδος μεταφοράς χωρίς όμως να μετατρέπει την μεταφορική διαδικασία σε μια σημαντική πρόκληση για την οικονομική βιωσιμότητα των επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται σε αυτή. Άλλη μια σημαντική διαφορά, είναι ότι ο μεταφορέας όταν του ανατεθεί μια μεταφορά DG ενδιαφέρεται για τον εντοπισμό της καταλληλότερης διαδρομής μεταξύ του σημείου παραλαβής και του σημείου παράδοσης. Όμως, μια κρατική υπηρεσία δεν περιορίζεται μόνο σε αυτό, πρέπει να εξετάσει όλες τις αποστολές DG συλλογικά. Αυτό συνήθως περιλαμβάνει την αξιολόγηση του συνολικού κινδύνου μεταφοράς που επιβάλλεται στον άνθρωπο και το περιβάλλον από τη διακίνηση πολλών επικίνδυνων εμπορευμάτων μεταξύ ενός μεγάλου αριθμού σημείων προέλευσης και σημείων προορισμού (Verter and Kara, 2001).

2.4: Εγκληματικές επιθέσεις και ασφαλιστική κάλυψη

Σύμφωνα με την Υπηρεσία Πληροφόρησης Συμβάντων TAPA² (Transported Asset Protection Association) το 90% των απωλειών φορτίου που αναφέρθηκαν αφορούν εγκληματικές επιθέσεις σε οχήματα. Στα ασφαλισμένα φορτία σε περίπτωση απώλειας ή κλοπής η ασφαλιστική εταιρεία αποζημιώνει τον ιδιοκτήτη, αλλά όταν πρόκειται για επικίνδυνα εμπορεύματα, οι συνέπειες δεν είναι πάντα μόνο οικονομικές. Ένα συμβάν που εμπλέκονται επικίνδυνα προϊόντα μπορεί να προκαλέσει κίνδυνο για την υγεία του πληθυσμού, ακόμη και μια περιβαλλοντική καταστροφή. Οι κανονισμοί για την οδική μεταφορά επικίνδυνων φορτίων καθορίζονται από την ADR (Ευρωπαϊκή Συμφωνία για τη Διεθνή Οδική Μεταφορά Επικίνδυνων Εμπορευμάτων) κάθε 3 χρόνια, με την UNECE³ (United Nations Economic Commission for Europe) να παρέχει κατάλογο επικίνδυνων φορτίων και την ασφάλεια της οδικής κυκλοφορίας.

Είναι απαραίτητος ο αυστηρός έλεγχος, κατά τη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων, σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού. Ακόμη και ένα μικρό λάθος είναι αρκετό για να προκληθεί μια καταστροφή. Η παρακολούθηση με αισθητήρες σε πραγματικό χρόνο μπορούν να ειδοποιήσουν για πιθανό προβλήματα και να ληφθούν μέτρα πριν συμβούν. Η συλλογή δεδομένων και η ενημέρωση των ενδιαφερόμενων (οδηγοί, μεταφορείς, ασφαλιστικές κ.λπ.) σε πραγματικό χρόνο κάνουν την μεταφορά ασφαλέστερη καθώς, σε περίπτωση που οι τιμές βρεθούν εκτός του επιτρεπόμενου εύρους, λαμβάνουν άμεση ειδοποίηση. Όσον αφορά στις ασφαλιστικές, η τεκμηριωμένη χρονολογία των γεγονότων

² Η TAPA ιδρύθηκε ως μια μη κερδοσκοπική βιομηχανική ένωση το 1997 για να βοηθήσει τους κατασκευαστές, τους μεταφορείς και τους παρόχους υπηρεσιών Logistics να ελαχιστοποιήσουν τις απώλειες που προκύπτουν από κλοπές φορτίων στην αλυσίδα εφοδιασμού. <https://tapaemea.org/>

³ Η Οικονομική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη (UNECE) ιδρύθηκε το 1947 με κύριο στόχο της την προώθηση μιας ολοκληρωμένης πανευρωπαϊκής οικονομίας. Κάποιες από τις δραστηριότητες της είναι ο πολιτικός διάλογος, η διαπραγμάτευση διεθνών νομικών πράξεων, η ανάπτυξη κανονισμών και κανόνων, η ανταλλαγή και εφαρμογή βέλτιστων πρακτικών καθώς και οικονομική και τεχνική εμπειρογνομosύνη, η τεχνική συνεργασία για χώρες με οικονομίες σε μεταβατικό στάδιο κ.λπ. <https://unece.org/>

που λαμβάνεται από τους αισθητήρες αποδεικνύει ξεκάθαρα τον χρόνο που συνέβη το συμβάν, είτε υπόκειται σε αποζημίωση είτε προκαλείται από αμέλεια του οδηγού, του φορτωτή (πχ σε εργασίες μεταφόρτωσης) είτε οποιουδήποτε άλλου εμπλεκόμενου.

(Valchanov and Aleksieva, 2022)

2.5: Δυναμική παρακολούθηση φορτίων

Για τη ρύθμιση της μεταφοράς DG αν και υπάρχουν πολλές νομοθεσίες και κανονισμοί, στο δρόμο δεν χρησιμοποιούνται ευρέως αποτελεσματικές εφαρμογές για τη λήψη πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τα αγαθά, τον οδηγό, το όχημα, την κατάσταση του δρόμου και τη σχετική ζώνη. Έτσι, η πρόβλεψη πιθανού ατυχήματος και η έκτακτη επέμβαση των αρμόδιων αρχών δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν αποτελεσματικά. Για να αλλάξει αυτή η κατάσταση, είναι σημαντική η συστηματική γνώση της ποιότητας και των χαρακτηριστικών των μεταφερόμενων αγαθών ή των επιπτώσεων στο περιβάλλον και την ανθρώπινη ζωή γύρω από μια τοποθεσία ατυχήματος. Οι πληροφορίες που απαιτούνται από τη συστηματική γνώση της μεταφοράς DG χωρίζονται σε στατικές και πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο. Για παράδειγμα, οι στατικές πληροφορίες σχετικά με τον οδηγό περιλαμβάνουν το όνομα, την ηλικία, το ύψος, το βάρος και ούτω καθεξής. Οι δυναμικές πληροφορίες σχετικά με τον οδηγό περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία του σώματος, τον χρόνο οδήγησης, την υπνηλία ή όχι και ούτω καθεξής. Προφανώς, οι πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο είναι πιο σημαντικές για τη δυναμική παρακολούθηση τέτοιων μεταφορών. Οι πληροφορίες που χρειάζονται σε ένα σύστημα δυναμικής παρακολούθησης φαίνονται στον πίνακα 2 (Liu *et al.*, 2012).

Πίνακας 2: Πληροφορίες για την παρακολούθηση των οδικών μεταφορών επικίνδυνων φορτίων (Liu et al., 2012)

| | | |
|--|-----------|---|
| Επικίνδυνα υλικά | Στατικές | Είδος, φυσική μορφή, αστάθεια, τοξικότητα, σταθερότητα, εύφλεκτο, εκρηκτικότητα, οξείδωση, ραδιενέργεια |
| | Δυναμικές | Πίεση, θερμοκρασία, υγρασία, επιτάχυνση, κλίση, επίπεδο υγρού |
| Container | Στατικές | Υλικό, όγκος-μέγεθος, αντοχή-ανθεκτικότητα |
| | Δυναμικές | Πίεση, θερμοκρασία, υγρασία, στεγανότητα |
| Οδηγός | Στατικές | Όνομα, φύλο, ηλικία, τόπος γέννησης, ύψος, βάρος, οδηγική εμπειρία |
| | Δυναμικές | Χρόνος οδήγησης, αρτηριακή πίεση, παλμοί, αναπνοή, ψυχική κατάσταση, κόπωση |
| Όχημα TDG | Στατικές | Μοντέλο, φορτίο, κατάσταση |
| | Δυναμικές | Ταχύτητα, στροφές κινητήρα, πίεση/θερμοκρασία λαδιού κινητήρα, ποσότητα καυσίμου, στατικός ηλεκτρισμός, πίεση/θερμοκρασία ελαστικών, τάση μπαταρίας, πίεση/θερμοκρασία φρένων |
| Κατάσταση οδικού δικτύου | Στατικές | Τοποθεσία, κλίση, γωνία, όριο ταχύτητας, υψόμετρο |
| | Δυναμικές | Κυκλοφοριακή συμφόρηση ή όχι, καιρικές συνθήκες |
| Τοποθεσίες που συνδέονται με ατυχήματα | Στατικές | Τοποθεσία, πληθυσμιακή πυκνότητα, σύνθεση του πληθυσμού, τοποθεσία καταφυγίων |
| | Δυναμικές | Περίοδος (γιορτές, διακοπές κ.λπ.), Καιρικές συνθήκες |

2.6: Συσκευές IoT στη TDG

Η διαδικασία της TDG παρουσιάζει μεγάλη βελτίωση με τη χρήση των συσκευών IoT, καθώς διευκολύνουν την παρακολούθηση, την ιχνηλασιμότητα και την ενεργοποίηση ενεργειών σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης όπως ένα ατύχημα. Το κύριο ζήτημα με τη χρήση των συσκευών IoT είναι η ασφάλεια και η εμπιστοσύνη κατά την ανταλλαγή αυτών των πληροφοριών. Τα σημερινά συστήματα DSS έχουν σχεδιαστεί ως ένα κεντρικό σύστημα, το οποίο είναι το μόνο σημείο αναφοράς ανταλλαγής δεδομένων και φιλοξενείται είτε στο cloud computing είτε σε ένα ιδιωτικό κέντρο δεδομένων χωρίς να παρέχουν κανέναν επίσημο τρόπο επαλήθευσης της αξιοπιστίας των αποθηκευμένων δεδομένων.

Ο έλεγχος, η ασφάλεια, η εμπιστευτικότητα και η παρακολούθηση της διαδικασίας TDG σε πραγματικό χρόνο είναι πολύ σημαντικά αν σκεφτεί κανείς ότι ανάμεσα στις ουσίες που μεταφέρονται μπορεί να υπάρχουν πυρηνικά υλικά, μολυσματικές ουσίες, βιολογικά απόβλητα κ.λπ..

Για τη διασυνοριακή TDG της οποίας τα ενδιαφερόμενα μέρη βρίσκονται σε διαφορετικές χώρες και συνήθως είναι φορείς μεγάλης φήμης, εφαρμόζονται διεθνείς και τοπικοί νόμοι. Σε περίπτωση οποιασδήποτε αστοχίας κατά την TDG όπως ατυχήματος ή ακανόνιστης διαδικασίας, οι πληροφορίες που συλλέγονται από τις συσκευές IoT δεν είναι αμετάβλητες με αποτέλεσμα να επιτρέπεται στους μεγάλους παίκτες της αγοράς να επηρεάσουν τη διαδικασία πιθανώς παραποιώντας τις πληροφορίες. Οι υπάρχουσες τεχνολογίες υποστήριξης αποθήκευσης δεδομένων IoT δεν εγγυόνται αυτή την ακεραιότητα. Παρακάτω θα δούμε λύσεις, οι οποίες προκύπτουν από τον συνδυασμό των τεχνολογιών IoT και blockchain οι οποίες καταφέρνουν να προσφέρουν στις διαδικασίες το απαιτούμενο επίπεδο ασφάλειας και εμπιστοσύνης στην ανταλλαγή πληροφοριών.

(Imeri, Agoulmine and Khadraoui, 2020)

Κεφάλαιο 3: Η τεχνολογία στη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται οι βασικότερες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες μεταφοράς επικίνδυνων φορτίων. Αρχικά αναφέρονται οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται από τους περισσότερους εμπλεκόμενους στο χώρο της μεταφοράς καθώς και κάποια μειονεκτήματά τους. Στη συνέχεια, βλέπουμε τις σύγχρονες τεχνολογίες που ήρθαν να καλύψουν τα κενά και τα ελαττώματα των προηγούμενων.

3.1: Βασικές τεχνολογίες στη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων

GPS / GPRS / GIS

Η κύρια τεχνολογία που χρησιμοποιείται στις μεταφορές DG είναι η τεχνολογία 3G η οποία περιλαμβάνει το Παγκόσμιο Σύστημα εντοπισμού θέσης GPS, General Packet Radio Service GPRS και σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών GIS. Το GPS είναι ένα σύστημα εντοπισμού θέσης και πλοήγησης με τρία απαραίτητα μέρη: (1) τερματικό GPS του οχήματος, (2) δίκτυο μετάδοσης και (3) πλατφόρμα παρακολούθησης. Το GPRS είναι ένα ασύρματο σύστημα επικοινωνίας που έχει την δυνατότητα να μεταφέρει τις πληροφορίες της θέσης ενός οχήματος σε ένα κέντρο παρακολούθησης. Το GIS είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα επεξεργασίας και ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων. Με όλα τα παραπάνω είναι εφικτό να παρακολουθούνται η θέση και η διαδρομή ενός οχήματος μεταφοράς DG. Όμως δεν αρκεί για τη δυναμική παρακολούθηση της διαδικασίας πράγμα που το επιτρέπουν οι τεχνολογίες του IoT και RFID με αποτέλεσμα να κάνουν την παρακολούθηση πιο αποτελεσματική. (Liu *et al.*, 2012)

RFID

Το Radio Frequency Identification RFID είναι μια τεχνολογία σήμανσης και αναγνώρισης που επιτρέπει την ταυτόχρονη ανίχνευση πολλαπλών, απομακρυσμένων και μη οπτικών αντικειμένων. Η τεχνολογία του RFID επιτρέπει την αναγνώριση πολλών

αντικειμένων σε κίνηση χωρίς να επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες (βροχή, χιόνι, ομίχλη, θόρυβος, κραδασμοί κ.λπ.). Αυτή η τεχνολογία χωρίς επαφή προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στις μεταφορές DG. Συνδυάζοντας αυτή την τεχνολογία με το GPS/GPRS/GIS κ.λπ. μπορεί η θέση και η κίνηση των οχημάτων να εμφανίζεται στην πλατφόρμα σε πραγματικό χρόνο. (Liu *et al.*, 2012)

3.2: Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων DSS

Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων DSS (Decision Support System) έχουν σχεδιαστεί με σκοπό να βοηθούν τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων με ένα συγκεκριμένο περίπλοκο πρόβλημα με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Ο κύριος στόχος ενός DSS είναι η εξαγωγή μεγάλου όγκου δεδομένων καθώς και όλων των απαραίτητων πληροφοριών για την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Τέτοια συστήματα βελτιώνουν γρήγορα την αποτελεσματικότητα με ευέλικτο τρόπο. Γενικά, ένα DSS είναι ένα αυτοματοποιημένο σύστημα που παρέχει στον λήπτη αποφάσεων όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για την κατανόηση του προβλήματος, τη δυνατότητα διερεύνησης δεδομένων από διαφορετικές οπτικές γωνίες και τη δυνατότητα αξιολόγησης εναλλακτικών επιλογών. Τα DSS χρησιμοποιούν τόσο τα δεδομένα μέτρησης όσο και τις γνώσεις του υπεύθυνου λήψης αποφάσεων. Επίσης, χρησιμοποιούν μοντέλα και κατασκευάζονται επαναληπτικά και διαδραστικά, με τη συμμετοχή του τελικού χρήστη.

Ένα DSS αποτελείται από τα παρακάτω:

- GUI (Graphical User Interface)
- GIS (Geographical Information System)
- DBMS (Data Base Management System)
- MBMS (Model Base Management System)
- Generator of alternatives
- MCDA (Decision Model – Multi Criteria Decision Aid)

Για τη διενέργεια της αξιολόγησης του κινδύνου, θα πρέπει να συλλέγονται όλα τα δεδομένα που σχετίζονται με την περιοχή. Τα δεδομένα που αφορούν τη γεωγραφία της περιοχής και τα οδικά δίκτυα αποθηκεύονται σε ένα GIS. Για να υπολογιστεί σωστά ο κίνδυνος, πρέπει να ληφθούν υπόψη το κλίμα και οι καιρικές συνθήκες, μαζί με τις πληροφορίες για την παρουσία ή την απουσία ανθρώπων στην περιοχή αξιολόγησης.

Για τον προσδιορισμό των πηγών κινδύνου (οχήματα μεταφοράς επικίνδυνων εμπορευμάτων) είναι απαραίτητα τα εξής:

- Η ποσοτικοποίηση των ροών όλων των επικίνδυνων εμπορευμάτων, η οποία περιλαμβάνει την ανάλυση όλων των εισερχόμενων και εξερχόμενων αγαθών των μεμονωμένων εταιρειών στην περιοχή.
- Η αξιολόγηση των μηχανικών συνθηκών των οχημάτων, την αντοχή των δοχείων στη θραύση, τα χαρακτηριστικά της μεταφερόμενης ουσίας (πίεση και θερμοκρασία), την ποσότητα της ουσίας που μεταφέρεται και που μπορεί να απελευθερωθεί σε ένα ατύχημα.

Όσον αφορά στην αξιολόγηση της συχνότητας των ατυχημάτων, οι κύριες πτυχές που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι δύο:

- η συχνότητα του πρωτεύοντος συμβάντος, δηλαδή η σύγκρουση του οχήματος με κάτι, το οποίο μπορεί ή και όχι να ακολουθείται από διαρροή κάποιας επικίνδυνης ουσίας.
- η πιθανότητα το πρωτεύον συμβάν να έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση κάποιας ουσίας.

Τέλος, πραγματοποιείται ο υπολογισμός του κινδύνου, συνήθως μέσα από ένα συγκεκριμένο λογισμικό. Η σωστή εκτίμηση του κινδύνου αποτελεί πολύ σημαντικό

στοιχείο όσον αφορά στην προετοιμασία των σχεδίων έκτακτης ανάγκης, της εκκένωσης των κατοικημένων περιοχών, του συντονισμού των υπεύθυνων βοήθειας, καθώς και της πιθανής αλλαγής διαδρομών εάν ο κίνδυνος ενός συγκεκριμένου τμήματος του δρόμου γίνει πολύ υψηλός.

Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση του χρόνου που απαιτείται για τη λήψη κρίσιμων αποφάσεων, συμπεριλαμβανομένης της ανάθεσης εργασιών και της κατανομής πόρων, αλλά και για την καθοδήγηση μακροπρόθεσμων αποφάσεων, όπως η εκπαίδευση και οι δυνατότητες διοίκησης και ελέγχου του οργανισμού. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί διαφορετικά Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων, μερικά από τα πιο δημοφιλή φαίνονται παρακάτω:

- HAMER (HAZardous Material Emergency Response system)
- HAZMAT PATH Spatial DSS (SDSS)
- TrHaM (Transport of Hazardous Materials)
- TrHazGis – Transportation Hazardous GIS
- TRAT-GIS 4.1 (Transportation Risk Analysis)
- DESTINATION project 2014 - SIIG (Sistema Informativo Integrato Globale - Global Integrated Information System)

(Torretta *et al.*, 2017)

Πιο συγκεκριμένα η φύση των υλικών είναι αυτή που κάνει την μεταφορά τέτοιων φορτίων επικίνδυνη. Την δυνατότητα εκτίμησης του κινδύνου και της διαχείρισης της μεταφοράς των επικίνδυνων φορτίων μας την παρέχουν τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων DSS (Decision Support System) με σκοπό να βοηθήσουν τους ενδιαφερόμενους να εκτιμήσουν τον κίνδυνο, να εξοικονομήσουν χρόνο σε κρίσιμες αποφάσεις, να παρακολουθούν τη διαδικασία της μεταφοράς, να περιορίσουν τις επιπτώσεις σε περίπτωση ατυχήματος, να γίνει ευκολότερος ο προγραμματισμός και η κατανομή πόρων. Η αρχιτεκτονική των συστημάτων DSS είναι ένας συνδυασμός από υποσυστήματα τα οποία είναι ενσωματωμένα στα αντικείμενα όπως αισθητήρες,

συστήματα εντοπισμού θέσης GPS (Global Positioning System), RFID (Radio Frequency Identification), συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών GIS (Geographic Information System) κ.λπ.. Το DSS διαθέτει ενσωματωμένα όλα τα παραπάνω συστήματα προκειμένου να του παρέχονται συγκεκριμένες πληροφορίες που σχετίζονται με τις διαδικασίες της μεταφοράς των επικίνδυνων φορτίων. Για παράδειγμα, οι συσκευές IoT σε περίπτωση ατυχήματος κατά τη διαδικασία της μεταφοράς, θα συλλέξουν και θα μεταδώσουν σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες σχετικά με το ατύχημα στο DSS. Η αποθήκευση και η ανάλυση πραγματοποιείται από το DSS σε μια τοπική βάση δεδομένων των ενδιαφερομένων. Είναι λογικό, αυτό να δημιουργεί ανησυχίες σχετικά με την ασφάλεια και την αξιοπιστία των πληροφοριών καθώς και ζητήματα εμπιστοσύνης μεταξύ των ενδιαφερομένων. Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε μια νέα προσέγγιση για την διαχείριση, αποθήκευση και διαμοιρασμό των πληροφοριών, όλης της διαδικασίας της μεταφοράς των επικίνδυνων φορτίων πετυχαίνοντας υψηλότερο επίπεδο ασφάλειας και διαφάνειας χωρίς να είναι απαραίτητο η εκάστοτε επιχείρηση να χρησιμοποιήσει διαφορετική εφαρμογή από τη δική της. (Imeri, Agoulmine and Khadraoui, 2020)

3.3: Συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών GIS για την εκτίμηση του κινδύνου

Η εκτίμηση του κινδύνου μεταφοράς DG είναι η μέτρηση των πιθανών ανεπιθύμητων επιπτώσεων στον άνθρωπο και το περιβάλλον που μπορεί να προκύψουν από μεταφορές εμπορευμάτων DG. Δεν υπάρχει κοινός τρόπος μοντελοποίησης του κινδύνου που σχετίζεται με τέτοιου είδους μεταφορές. Τα τρία πιο δημοφιλή μοντέλα αξιολόγησης του κινδύνου είναι αυτό που μετράει τον κοινωνικό κίνδυνο, την έκθεση του πληθυσμού στον κίνδυνο και την πιθανότητα ατυχήματος. Είναι γνωστό ότι η πιθανότητα ενός τροχαίου ατυχήματος ποικίλλει ανάλογα με τη δομή του δρόμου (π.χ. τον αριθμό των λωρίδων).

Επίσης, η πιθανότητα ενός περιστατικού, όπως η φωτιά ή η έκρηξη, εξαρτάται από το είδος του εμπορεύματος που μεταφέρεται (Verter and Kara, 2001).

Υπάρχουν αρκετοί μέθοδοι για τον ποσοτικό προσδιορισμό του κινδύνου κατά τη μεταφορά επικίνδυνων υλικών. Ένα ατύχημα μπορεί να προκαλέσει την απελευθέρωση μιας επικίνδυνης ουσίας η οποία απελευθέρωση με τη σειρά της μπορεί να προκαλέσει οικονομικές ή περιβαλλοντικές απώλειες καθώς και ζημιές στον ανθρώπινο πληθυσμό με τη μορφή τραυματισμών και θανάτων. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει συναίνεση μεταξύ των ερευνητών σχετικά με τον τρόπο μοντελοποίησης του κινδύνου που σχετίζεται με τη μεταφορά επικίνδυνων υλικών (Özceylan *et al.*, 2017).

Ως κοινωνικός κίνδυνος μιας μεμονωμένης αποστολής ορίζεται ο αναμενόμενος αριθμός ατόμων που θα επηρεαστούν σε περίπτωση ενός ατυχήματος κατά τη μεταφορά DG (Verter and Kara, 2001). Σε σχετικές μελέτες για τη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων, οι ερευνητές λαμβάνουν υπόψη τους το κόστος και την ασφάλεια ή αξιολογούν τα ζητήματα (οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά) που μπορεί να προκύψουν. Τα μαθηματικά μοντέλα δημιουργούνται για τον προσδιορισμό των συντομότερων διαδρομών και για τη μείωση του κινδύνου του εκτεθειμένου πληθυσμού (Özceylan *et al.*, 2017). Η έκθεση του πληθυσμού μιας μεμονωμένης αποστολής είναι ο συνολικός αριθμός των ατόμων που θα εκτεθούν στο δυνητικά επικίνδυνο όχημα (Verter and Kara, 2001).

3.4: Η τεχνολογία του blockchain

Το blockchain είναι μια αποκεντρωμένη βάση δεδομένων μεταξύ πολλών μερών που επιτρέπει την αποθήκευση αμετάβλητων δεδομένων συναλλαγών τα οποία συγκεντρώνονται σε μια αλυσίδα από block. Όταν ένας χρήστης του blockchain εκτελεί μια συναλλαγή, δημιουργούνται αυτά τα δεδομένα. Το block αποτελεί μια δομή δεδομένων πολλών πεδίων. Η ώρα που δημιουργείται το κάθε block αποθηκεύεται από

μα χρονική σήμανση. Ένας προηγούμενος κατακερματισμός είναι η τιμή κατακερματισμού του προηγούμενου μπλοκ, π.χ. το μπλοκ n περιέχει τον κατακερματισμό από την κεφαλίδα του μπλοκ $n-1$. Το Nonce είναι η τιμή που δημιουργείται από τον αλγόριθμο συναίνεσης, π.χ. Απόδειξη εργασίας (Proof of Work). Το Transaction Root περιλαμβάνει όλες τις συναλλαγές που συμβαίνουν στους κόμβους σε μια καθορισμένη χρονική σήμανση. Όλες αυτές οι συναλλαγές οργανώνονται σε ένα δεντρικό δίκτυο που ονομάζεται Merkle Tree.

- **Αποκεντρωμένη (Decentralized):** Στην τεχνολογία του Blockchain δεν υπάρχει καμία κεντρική αρχή για την αποθήκευση και την ανάκτηση δεδομένων, βασίζεται σε έναν τρόπο επικοινωνίας peer-to-peer.
- **Αλγόριθμος συναίνεσης (Consensus Algorithm):** Ως συναίνεση, ορίζεται η συμφωνία των κόμβων για την αποθήκευση κοινόχρηστου περιεχομένου στην αλυσίδα block. Χρησιμοποιούνται πολλοί διαφορετικοί αλγόριθμοι συναίνεσης, όπως για παράδειγμα το Proof of Work (PoW), το Proof of Stake (PoS), το Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT) κ.λπ..
- **Ασφάλεια δεδομένων (Data Security):** Τα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στο blockchain ελέγχονται από ένα κρυπτογραφικό σύστημα. Το blockchain χρησιμοποιεί ψηφιακές υπογραφές για την επαλήθευση των συναλλαγών.
- **Μη μεταβαλλόμενα δεδομένα (Data Immutability):** Τα δεδομένα που καταγράφονται στο blockchain ελέγχονται κρυπτογραφικά και διαμοιράζονται σε όλους τους κόμβους του δικτύου. Για την αλλαγή μιας εγγραφής στο blockchain, ο χρήστης θα πρέπει να αλλάξει όλες τις συναλλαγές ταυτόχρονα σε όλους τους κόμβους του δικτύου, κάτι που είναι πρακτικά αδύνατο. Επιπλέον, άλλο ένα εμπόδιο είναι ότι ο αλγόριθμος συναίνεσης συγκρίνει τη ρίζα κατακερματισμού

της συναλλαγής και αρνείται αυτές τις αλλαγές. Επομένως, η συναλλαγή που καταγράφεται στο blockchain δεν μπορεί να τροποποιηθεί ή να διαγραφεί.

- **Auditability:** Όλοι οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν τις προηγούμενες εγγραφές που εκτελέστηκαν από έναν συγκεκριμένο χρήστη μέσω της χρονικής σήμανσης. Αυτό είναι δυνατό λόγω της προσβασιμότητας του blockchain σε οποιονδήποτε κόμβο του δικτύου.
- **Έξυπνα συμβόλαια SC (Smart Contract):** Τα SC είναι ένας κώδικας υπολογιστή που αναπτύσσεται στο blockchain προκειμένου να εκτελούνται συγκεκριμένες εργασίες όταν πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις. Μπορούν για παράδειγμα να κάνουν μια συναλλαγή, να εκτελέσουν ένα άλλο SC, να αλληλεπιδράσουν με υπηρεσίες εκτός του blockchain.
- **Αυτοματοποίηση διαδικασιών (Process automation):** Το κύριο χαρακτηριστικό των αυτοματοποιημένων διαδικασιών είναι η ικανότητα των έξυπνων συμβολαίων να εκτελούνται μόνα τους, όταν πληρούνται οι συγκεκριμένες προϋποθέσεις.
- **Διαλειτουργικότητα (Interoperability):** Το κύριο χαρακτηριστικό της τεχνολογίας του blockchain είναι ότι επιτρέπει σε πολλά μέρη να έχουν πρόσβαση σε αυτό υπό προκαθορισμένες συνθήκες.
- **Συντήρηση χαμηλού κόστους (Low-cost maintenance):** Η τεχνολογία του blockchain δεν μοιάζει με τα παραδοσιακά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν κεντρικούς διακομιστές για την ανταλλαγή και επικύρωση μηνυμάτων και έχουν συνήθως υψηλό κόστος συντήρησης της βάσης δεδομένων (αναβάθμιση, δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας). Δεν υπάρχει ανάγκη ανάπτυξης κεντρικών

υποδομών διακομιστή για την επικύρωση των συναλλαγών, πράγμα που κάνει τις λειτουργίες του ιδιαίτερα χαμηλού κόστους.

- **Βιωσιμότητα (Sustainability):** Το blockchain παραμένει διαθέσιμο και διατηρεί τη σωστή λειτουργία του ακόμα και αν πολλοί κόμβοι αποτύχουν ή αποσυνδεθούν δεν επηρεάζονται οι υπόλοιποι κόμβοι. Όταν οι αποσυνδεδεμένοι κόμβοι (offline) συνδεθούν και πάλι στο δίκτυο (online) λαμβάνουν την τελευταία κατάσταση του δικτύου.
- **Δημόσιο blockchain (Public blockchain):** Στο δημόσιο blockchain, οποιοσδήποτε χρήστης μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο, να εκτελέσει μία συναλλαγή ή να εξερευνήσει το μπλοκ της συναλλαγής που διεξάγεται από άλλους χρήστες χωρίς να διαθέτει κάποια άδεια.
- **Consortium blockchain:** Ο συγκεκριμένος τύπος blockchain χρησιμοποιείται κυρίως από οργανισμούς, και θεωρείται μερικώς αποκεντρωμένος. Σε αυτόν τον τύπο για παράδειγμα, εάν υπάρχουν 15 οργανισμοί μπορούν να επιτύχουν συναίνεση εάν 10 οργανισμοί εγκρίνουν τη συναλλαγή. Επιπλέον, χορηγούνται δικαιώματα πρόσβασης σε συγκεκριμένες περιπτώσεις.
- **Ιδιωτικό blockchain (Private blockchain / permissioned blockchain):** Στην ιδιωτική λειτουργία του blockchain, παρουσιάζονται διαφορετικά επίπεδα πρόσβασης και άδειες ανάγνωσης και εγγραφής. Για να μπορέσει κάποιος να έχει πρόσβαση στο ιδιωτικό δίκτυο blockchain, πρέπει να του χορηγηθεί άδεια.
- **Διαχείριση δεδομένων (Data management):** On-Chain vs Off-Chain. Στο πλαίσιο της διαχείρισης δεδομένων, η κοινή πρακτική στο blockchain είναι η ταξινόμηση των ακατέργαστων δεδομένων εκτός αλυσίδας (Off-Chain) και η

αποθήκευση των μεταδεδομένων που σχετίζονται με τις συναλλαγές, π.χ. ο κατακερματισμός των συναλλαγών, στην αλυσίδα (On-Chain).

(Imeri, Agoulmine and Khadraoui, 2020)

3.4.1: Επιλογή του κατάλληλου πλαισίου blockchain

Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις κατά το σχεδιασμό μιας λύσης που βασίζεται στο blockchain είναι η επιλογή του κατάλληλου πλαισίου blockchain. Πριν το σχεδιασμό μιας λύσης πρέπει να ληφθούν υπόψη παράμετροι που σχετίζονται με την απόδοση της τεχνολογίας blockchain ή τα δικαιώματα πρόσβασης, το απόρρητο και η εμπιστευτικότητα.

Στις μεταφορές επικίνδυνων φορτίων πολλές φορές χρησιμοποιούνται συσκευές IoT για τη λήψη δεδομένων και για την επικύρωση δεδομένων. Η ασφάλεια που απαιτείται για τέτοιου είδους δεδομένα επιτυγχάνεται με τη χρήση του blockchain με τρόπο τέτοιο ώστε να ικανοποιούνται οι νομικές συμβάσεις και οι επιχειρηματικές συμφωνίες.

Οι δημόσιες αλυσίδες blockchain όπως το Bitcoin ή το Ethereum δεν είναι κατάλληλες για την εφαρμογή τους στις μεταφορές DG λόγω της μεγάλης σπουδαιότητας ζητημάτων απορρήτου και εμπιστευτικότητας. Σε τέτοιες εφαρμογές απαιτείται η επίσημη ταυτοποίηση όλων των ενδιαφερόμενων μερών που συμμετέχουν στην κοινοπραξία. Όταν ένας ενδιαφερόμενος θέλει να είναι μέρος της κοινοπραξίας θα απαιτείται πρόσβαση η οποία θα είναι εφικτή μόνο αν του παραχωρηθεί. Η παροχή πρόσβασης σημαίνει για τον ενδιαφερόμενο την ευκαιρία να ανταλλάσσει πληροφορίες με άλλα μέλη της κοινοπραξίας με βάση το απόρρητο που ορίζεται.

(Imeri, Agoulmine and Khadraoui, 2020)

3.4.2: Hyperledger Fabric

Το Hyperledger Fabric είναι ένα πλαίσιο βασισμένο στο blockchain που παρέχει τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά για την ανάπτυξη μιας ιδιωτικής αλυσίδας ή μιας κοινοπραξίας. Είναι ένα πλαίσιο ανοιχτού κώδικα που υποστηρίζεται από πολλά εργαλεία όπως το Hyperledger Explorer⁴ και το Hyperledger Composer⁵. Επιπλέον, επιτρέπει τη σύνταξη έξυπνων συμβολαίων.

Το δίκτυο blockchain Hyperledger Fabric αποτελείται από κόμβους που είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με τρόπο peer-to-peer και περιέχει διαφορετικούς τύπους κόμβων:

- **Peer node** (peers): είναι ένας από τους κόμβους που περιέχει το ledger (blockchain) και εκεί φιλοξενούνται Smart Contracts. Οι peers μπορούν να περιέχουν ένα ή περισσότερα ledger.
- **Orderer node**: διασφαλίζει τη συναίνεση του Hyperledger Fabric και διατηρεί σταθερά τα peer's ledgers.
- **Certification Authority nodes**: διασφαλίζουν την ταυτοποίηση μέσω ψηφιακών πιστοποιητικών, που συνήθως απαιτούνται από κάθε οργανισμό για την εγγραφή νέων μελών.
- **Client nodes**: μπορούν να συνδέονται και να αλληλεπιδρούν με peers του δικτύου.

⁴ Το Hyperledger Explorer είναι ένα φιλικό προς το χρήστη εργαλείο εφαρμογών Ιστού που χρησιμοποιείται για την προβολή, ανάκληση, προβολή ή αναζήτηση μπλοκ, συναλλαγών και σχετικών δεδομένων, πληροφοριών δικτύου (όνομα, κατάσταση, λίστα κόμβων), κωδικούς αλυσίδας και οικογένειες συναλλαγών, καθώς και κάθε άλλη σχετική πληροφορία που είναι αποθηκευμένη στην αλυσίδα. <https://www.hyperledger.org>

⁵ Το Hyperledger Composer είναι ένα σύνολο εργαλείων για τη δημιουργία επιχειρηματικών δικτύων blockchain που καθιστούν απλό και γρήγορο για τους ιδιοκτήτες επιχειρήσεων και τους προγραμματιστές τη δημιουργία Smart Contracts και εφαρμογών blockchain για την επίλυση επιχειρηματικών προβλημάτων. <https://www.hyperledger.org>

Το Hyperledger Fabric μπορεί να διοικείται από διάφορους οργανισμούς που αποτελούν μια κοινοπραξία. Έτσι, κάθε οργανισμός είναι υπεύθυνος να διαχειρίζεται τους δικούς του κόμβους και είναι υποχρεωτικό να έχει τουλάχιστον έναν κόμβο Certification Authority και έναν Orderer.

Τα κανάλια επιτρέπουν μια ιδιωτική σύνδεση επικοινωνίας μεταξύ των peers. Αυτός είναι ένας τρόπος διαχωρισμού του δικτύου σε ένα ιδιωτικό υποδίκτυο, που αποτελείται από ένα υποσύνολο μελών/peers. Οι επικοινωνίες σε κάθε κανάλι κρυπτογραφούνται και ελέγχονται από τους κόμβους Orderer και Certification Authority. Επειδή το δίκτυο είναι ιδιωτικό και απαιτείται άδεια για κάθε κίνηση, κάθε ενέργεια που εφαρμόζεται από τους οργανισμούς μέσω του δικτύου πρέπει να γίνεται μέσω ενός συγκεκριμένου καναλιού με τα σωστά δικαιώματα και διαπιστευτήρια.

(Imeri, Agoulmine and Khadraoui, 2020)

3.5: Η έννοια του Διαδικτύου των Πραγμάτων IoT

Το Internet of Things (IOT) είναι μια τεχνολογία που έχει εμφανιστεί τα τελευταία χρόνια με πολύ καλά αποτελέσματα στις σύγχρονες ασύρματες τηλεπικοινωνίες. Η βασική ιδέα αυτής της τεχνολογίας είναι η σύνδεση όλων των αντικειμένων γύρω μας (ετικέτες RFID, αισθητήρες, κινητά τηλέφωνα κ.λπ.) μέσω διαδικτύου, επιτρέποντας τους να συνεργάζονται και να πετυχαίνουν κοινούς στόχους (Liu *et al.*, 2012). Το IoT αναγνωρίζεται ως μία από τις σημαντικότερες μελλοντικές τεχνολογίες. Ειδικότερα, με η γρήγορη εξέλιξη των ασύρματων τεχνολογιών επικοινωνίας, το IoT κερδίζει ραγδαία έδαφος σε αυτό τον κλάδο (Song *et al.*, 2021).

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων IoT (Internet of Things) είναι μια τεχνολογία που έχει μεγάλο αντίκτυπο στον μετασχηματισμό των επιχειρηματικών διαδικασιών και δίνει τη δυνατότητα σε φυσικά αντικείμενα να επικοινωνούν με επιχειρηματικές εφαρμογές. Το

IoT εφαρμόζεται σε ένα σύνολο συσκευών που είναι σε θέση να συλλέγουν, να ανταλλάσσουν και να μοιράζονται πληροφορίες. Οι συσκευές IoT επιτρέπουν την συλλογή δεδομένων από τα αντικείμενα και το περιβάλλον τους, την εκτέλεση υπολογισμών και τη δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ συσκευών και καναλιών μετάδοσης δεδομένων. Τα συστήματα IoT αποτελούνται κυρίως από τρία επίπεδα: (1) τις συσκευές, που είναι ένα σύνολο διαφορετικών συσκευών υπεύθυνες για τη συλλογή (ανίχνευση, μέτρηση, αναγνώριση) συγκεκριμένων δεδομένων, (2) το δίκτυο μετάδοσης δεδομένων, για την μεταφορά των δεδομένων στο επίπεδο της εφαρμογής και (3) το επίπεδο εφαρμογής, που αποθηκεύει τις συλλεγμένες πληροφορίες. Όσον αφορά στις μεταφορές, προτείνεται η χρήση αισθητήρων για τη λήψη δεδομένων, όπως αισθητήρες υγρασίας, θερμοκρασίας και κραδασμών. Επίσης, χρησιμοποιείται και η τεχνολογία του RFID για την αναγνώριση αντικειμένων (αναγνώριση φορτηγών και αντικειμένων εντός φορτηγού). Υπάρχουν ήδη γνωστές ανησυχίες σχετικά με τα συστήματα IoT, όπως το απόρρητο και η ασφάλεια των πληροφοριών που παράγονται από συσκευές IoT (Imeri, Agoulmine and Khadraoui, 2020).

Κεφάλαιο 4: Εφαρμογές της τεχνολογίας στη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων

Σε αυτό το κεφάλαιο δίνονται παραδείγματα εφαρμογών των τεχνολογιών που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτές οι τεχνολογίες βοηθούν στην βελτίωση των διαδικασιών της μεταφοράς επικίνδυνων φορτίων με σκοπό την μείωση των λαθών και του χρόνου ανταπόκρισης σε ζητήματα που μπορεί να οδηγήσουν στην έκθεση του πληθυσμού ή/ και του περιβάλλοντος σε κάποιο κίνδυνο.

4.1: Δυναμική παρακολούθηση DG με τη χρήση του IoT και RFID

Το σύστημα που περιγράφεται παρακάτω περιλαμβάνει ένα σύστημα δορυφορικής πλοήγησης, ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνιών, ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), ένα δίκτυο αισθητήρων, τερματικά οχημάτων και ένα μοντέλο ανάλυσης κινδύνου σε ένα πλαίσιο τεσσάρων επιπέδων για την δυναμική παρακολούθηση των μεταφορών DG.

1. **Βασικό επίπεδο συλλογής πληροφοριών:** Η κατάσταση του οδηγού μπορεί να ελέγχεται από το τερματικό παρακολούθησης του οδηγού με αισθητήρες. Η κατάσταση του οχήματος και του φορτίου ελέγχονται από τους αισθητήρες του τερματικού παρακολούθησης οχήματος. Όλα τα τερματικά μαζί συνθέτουν ένα δυναμικό δίκτυο αισθητήρων. Ο οδικός μετεωρολογικός σταθμός δίνει πληροφορίες για τις καιρικές συνθήκες που αφορούν την διαδρομή και τις γύρω περιοχές, που είναι χρήσιμες για την πρόβλεψη ατυχημάτων. Τέλος, το κέντρο οδικού ελέγχου συγκεντρώνει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση του δρόμου και το κέντρο διοίκησης έκτακτης ανάγκης με ιδιαίτερη έμφαση στην κατάσταση των τοποθεσιών που συνδέονται με ατυχήματα.

2. **Επίπεδο μετάδοσης δεδομένων:** Η κύρια λειτουργία του είναι η μετάδοση των πληροφοριών που συλλέγονται από το πρώτο επίπεδο χρησιμοποιώντας τις τεχνολογίες GPRS, GPS, Wi-Fi, δίκτυο αισθητήρων, Internet, intranet, Ad-hoc κ.λπ.
3. **Επίπεδο διαδικασίας πληροφόρησης:** Εδώ αποθηκεύονται χρήσιμες πληροφορίες σε πολλές βάσεις δεδομένων (βάση δεδομένων κατάστασης οδηγού, βάση δεδομένων κατάστασης οδού κ.λπ.) και αυτές οι πληροφορίες επεξεργάζονται και αναλύονται από ισχυρά συστήματα που συνοψίζουν τις χρήσιμες πληροφορίες προκειμένου να βελτιώνονται οι διαδικασίες της μεταφοράς DG.
4. **Επίπεδο εφαρμογής:** Βάση των δεδομένων που συλλέχτηκαν από τα προηγούμενα επίπεδα, το δυναμικό σύστημα παρακολούθησης μπορεί να εκπληρώσει εργασίες όπως άσκηση απόκρισης έκτακτης ανάγκης, ανάλυση και πρόβλεψη ατυχημάτων, προγραμματισμός οχημάτων μεταφορά DG και αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών. Για παράδειγμα σε περίπτωση ατυχήματος, ο οδηγός στέλνει ένα σήμα συναγερμού χρησιμοποιώντας το τερματικό του οχήματος στη βάση δεδομένων της κατάστασης οδηγού. Έπειτα, το σήμα μεταδίδεται στο σύστημα αντιμετώπισης ατυχημάτων έκτακτης ανάγκης. Εν τω μεταξύ, τα χαρακτηριστικά και οι μέθοδοι διάσωσης των επικίνδυνων εμπορευμάτων που είναι φορτωμένα στο όχημα λαμβάνονται από τη βάση δεδομένων γνώσης των επικίνδυνων εμπορευμάτων. Έτσι, είναι δυνατή η βελτίωση της αποτελεσματικότητας απόκρισης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Το παραπάνω σύστημα δυναμικής παρακολούθησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο εκπαίδευσης έκτακτης ανάγκης σε συνθήκες ρουτίνας. Επιπλέον, δίνει τη

δυνατότητα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο των επικίνδυνων φορτίων, των οδηγών, των οχημάτων καθώς και των συνθηκών διαδρομής με αποτέλεσμα την αποτροπή των ατυχημάτων. Τέλος, σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, η συστημική γνώση σχετικά με τα επικίνδυνα εμπορεύματα και της περιοχής που έγινε το συμβάν, η απόκριση για την αντιμετώπιση γίνεται πιο γρήγορα και πιο σωστά.

Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι η μεγάλη ευελιξία στην συλλογή και ανάλυση στατικών και δυναμικών πληροφοριών που αφορούν τη μεταφορά DG και οι δυνατότητες βελτιστοποίησης. Επίσης, το σύστημα χαρακτηρίζεται από μεγάλη πρακτικότητα καθώς ενσωματώνει όλες τις χρήσιμες πληροφορίες που είναι κατάλληλες για την παρακολούθηση μιας τέτοιας μεταφοράς. Τέλος, αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται στην Κίνα σε δημόσια πλατφόρμα στην οποία οι σχετικές πληροφορίες (συνθήκες διαδρομής, καιρικές συνθήκες κ.λπ.) μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από άλλους ενδιαφερόμενους.

(Liu *et al.*, 2012)

4.2: Αυτόματη αναγνώριση πινακίδων φορτηγών DG

Στην παρακάτω εφαρμογή υπάρχουν δύο σημαντικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν: (1) το μεγάλο μέγεθος των εικόνων που δεν επιτρέπει την ανάλυση σε πραγματικό χρόνο και (2) οι πινακίδες επικίνδυνων εμπορευμάτων περιγράφονται κυρίως ως ομοιογενείς περιοχές με αποτέλεσμα να αυξάνεται η δυσκολία να τις διακρίνουμε. Στη συνέχεια περιγράφεται μια προσέγγιση πέντε σταδίων για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων.

1. **Εντοπισμός Διακριτικών (Saliency Detection):** Προκειμένου να μειωθεί ο χρόνος εντοπισμού, εκτελείτε μια ανίχνευση των πιθανών περιοχών ύπαρξης της πινακίδας. Για παράδειγμα, όλες οι πινακίδες είναι πορτοκαλί, όμως λόγω

μεγάλης μεταβλητότητας (φωτισμός, βρωμιά, ξεθώριασμα κ.λπ.) δεν είναι δυνατή η τμηματοποίηση βάση αυτού. Παρατηρήθηκε επίσης, ότι οι πινακίδες παρουσιάζουν μεγάλη ομοιογένεια οπότε επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος Maximally Stable Extremal Region (MSER⁶), ο οποίος έχει αποδειχθεί ότι είναι ένας από τους καλύτερους ανιχνευτές σημείων ενδιαφέροντος για έναν υπολογιστή (δηλαδή, είναι αμετάβλητος σε συγγενείς μετασχηματισμούς, επιτρέπει την ανίχνευση πολλαπλής κλίμακας, κ.λπ.). Οι αρχικές εικόνες περιορίζοντουσαν στις αποχρώσεις του γκρι, όμως τα χρώματα σε αυτή την εφαρμογή μας παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες. Έτσι, εφαρμόστηκε ένας χρωματικός μετασχηματισμός και μετά εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος MSER στις επεξεργασμένες εικόνες. Με αυτόν τον τρόπο, λαμβάνεται μια εικόνα πιθανότητας που καλύπτει τις πιο βασικές πληροφορίες, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως είσοδος στην τυπική μέθοδο MSER όμως, η χρήση αυτής της εικόνας πιθανότητας μπορεί να βελτιώνει την τμηματοποίηση αλλά δεν επιλύει πλήρως το πρόβλημα (λόγω της μεγάλης μεταβλητότητας στα δεδομένα).

2. **Ανιχνευτής πινακίδων (Plate Detector):** Μετά τον εντοπισμό των πιθανών περιοχών, προκειμένου να μειωθεί η απαραίτητη υπολογιστική ισχύ, εκτελείτε μια ανίχνευση βασισμένη στο μοντέλο sliding-window⁷ μόνο σε αυτές τις περιοχές. Για την αύξηση της απόδοσης ανίχνευσης, χρησιμοποιούνται τρεις ανιχνευτές παράλληλα: (1) ένας για κενές πινακίδες,

⁶ Οι περιοχές MSER είναι αυτές που χαρακτηρίζονται από σχεδόν ομοιόμορφη ένταση, που περιβάλλεται από αντίθεση φόντου. Κατασκευάζονται μέσα από μια διαδικασία δοκιμής πολλαπλών ορίων. Οι περιοχές που επιλέγονται είναι εκείνες που διατηρούν αμετάβλητα σχήματα σε ένα μεγάλο σύνολο ορίων. <https://courses.cs.washington.edu>

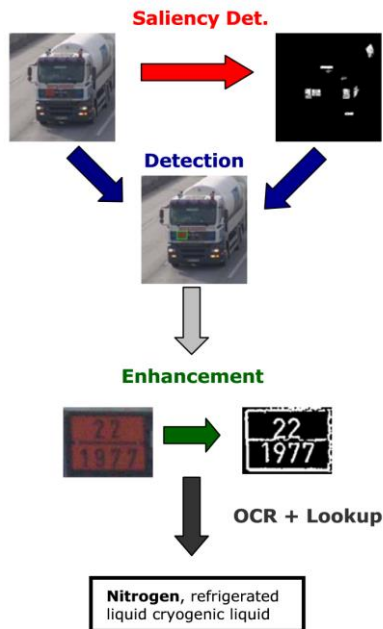
⁷ Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής του μοντέλου sliding-window είναι ο ανιχνευτής προσώπων που υπάρχει σε όλες τις σύγχρονες φωτογραφικές μηχανές. <https://cs.brown.edu>

(2) ένας για πινακίδες που περιέχουν αριθμούς και (3) ένας που καλύπτει και τις δύο περιπτώσεις.

3. **Ενίσχυση της αντίθεσης (Contrast Enhancement):** Για να μπορέσει να μας δώσει λογικά αποτελέσματα η οπτική αναγνώριση χαρακτήρων OCR⁸ (Optical Character Recognition) είναι απαραίτητο οι εικόνες να έχουν υψηλή αντίθεση. Οι εικόνες που λαμβάνονται από τους ανιχνευτές δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας στο OCR λόγω της μεγάλης ευαισθησίας του σε σφάλματα. Έτσι, είναι σημαντικό να κάνουμε μια προεπεξεργασία των αρχικών εικόνων με σκοπό την ταξινόμηση του φόντου και των αριθμών σε δύο μόνο χρώματα μεγάλης αντίθεσης.
4. **Αναγνώριση των αριθμών (Number Recognition):** Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας ένα OCR μπορεί να αναγνωριστεί ο αριθμός κινδύνου HIN (Hazard Identification Number) και ο αριθμός UN. Ωστόσο, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας οι εικόνες που λαμβάνουμε από το προηγούμενο βήμα λόγω της ύπαρξης και άλλων στοιχείων εκτός χαρακτήρων (γραμμές πλαισίου). Επομένως, αφαιρούνται αυτές οι γραμμές για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εικόνα ως είσοδος στο OCR.
5. **Αναζήτηση (Lookup):** Τέλος, αφού εκτελεστεί το OCR τα αποτελέσματα ελέγχονται σε σχέση με τη βάση δεδομένων του ΟΗΕ η οποία περιέχει όλους τους πιθανούς συνδυασμούς αριθμών τέτοιων πινακίδων. Με αυτόν τον τρόπο τα σφάλματα από τα προηγούμενα βήματα μειώνονται λόγω των περιορισμών που δίνονται από τη βάση δεδομένων. Ο μοναδικός τετραψήφιος κωδικός UN επιτρέπει τον εντοπισμό του HIN. Για παράδειγμα, εάν το UN και το HIN

⁸ Το OCR (οπτική αναγνώριση χαρακτήρων) είναι η χρήση τεχνολογίας για τη διάκριση χαρακτήρων έντυπου ή χειρόγραφου κειμένου μέσα σε ψηφιακές εικόνες φυσικών εγγράφων, όπως ένα σαρωμένο έγγραφο. <https://www.techtarget.com>

αναγνωρίστηκαν ως 1202 και 38, το HIN μπορεί να διορθωθεί σε 30 αφού δεν μπορεί να υπάρξει ο προηγούμενος συνδυασμός.



Εικόνα 2: Σύστημα ανίχνευσης και αναγνώρισης πινακίδων επικίνδυνων εμπορευμάτων (Roth et al., 2010)

Η παραπάνω εφαρμογή παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον όσον αφορά στην ασφάλεια των μεταφορών. Για παράδειγμα, σε περίπτωση ατυχήματος, το να γνωρίζουμε το είδος των επικίνδυνων εμπορευμάτων που εμπλέκονται στο ατύχημα θα μπορούσε να βοηθήσει στη λήψη των σωστών απαραίτητων μέτρων αντιμετώπισης.

(Roth et al., 2010)

4.3: Εφαρμογή διαφόρων DSS στη μεταφορά DG

Τα DSS έχουν αναπτυχθεί για να αξιολογούν το επίπεδο κινδύνου σχετικά με την υγεία και την ασφάλεια των ανθρώπων μέσω του παγκόσμιου ατομικού και πληθυσμιακού κινδύνου. Υπάρχουν αρκετοί αλγόριθμοι πολλαπλών στόχων λαμβάνοντας υπόψη και ελαχιστοποιώντας τους συνδυασμούς κινδύνου χρόνου ταξιδιού, κόστους μεταφοράς και κατανομής των μονάδων απόκρισης έκτακτης ανάγκης. Παρακάτω περιγράφονται

διάφορα DSS καθώς και η εφαρμογή τους στη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων. (Torretta *et al.*, 2017)

4.3.1: HAMER (HAzardous Material Emergency Response)

Το σύστημα HAMER αναπτύχθηκε με στόχο την ελαχιστοποίηση της διάρκειας και των επιπτώσεων ενός ατυχήματος που περιλαμβάνει επικίνδυνα υλικά. Το συγκεκριμένο DSS αποτελείται από τρία βασικά δομικά μέρη: (1) μια βάση δεδομένων, στην οποία περιέχονται όλα τα δεδομένα που απαιτούνται από το μοντέλο όπως λεπτομέρειες για το δίκτυο μεταφοράς, χωρικά δεδομένα, συνθήκες κυκλοφορίας, προηγούμενα ατυχήματα στο δίκτυο, εγκαταστάσεις επικίνδυνων υλικών, διαθέσιμοι πόροι για την αντιμετώπιση ενός ατυχήματος και δεδομένα σχετικά με τα ατυχήματα, όπως καιρικές συνθήκες, τοποθεσία και χαρακτηριστικά του ατυχήματος. (2) το ίδιο το μοντέλο, στο οποίο περιέχονται αλγόριθμοι για την εκτίμηση των επιπτώσεων και την πρόβλεψη του τρόπου εξέλιξης ενός ατυχήματος, κανόνες για τους αλγόριθμους και την εκτίμηση των πόρων που απαιτούνται για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων του ατυχήματος και (3) μοντέλα για την εύρεση του καλύτερου σχεδίου εκκένωσης (μια γραφική διεπαφή βασισμένη σε GIS).

Το παραπάνω σύστημα μας επιτρέπει την αξιολόγηση των επιπτώσεων που προκύπτουν από την εξέλιξη ενός ατυχήματος, τη δυνατότητα να προτείνει σχέδια έκτακτης ανάγκης και εκκένωσης συμβατά με τους διαθέσιμους πόρους, την άμεση ενημέρωση των εμπλεκόμενων παρέχοντας τους πληροφορίες σχετικά με τα επικίνδυνα υλικά που εμπλέκονται καθώς και για τις τοποθεσίες σημαντικών σημείων αναφοράς (νοσοκομεία, βιομηχανίες κοντά στην περιοχή κ.λπ.). Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της HAMER είναι ότι σε περίπτωση που η κατάσταση αλλάξει κατά τη διάρκεια ενός ατυχήματος και τα δεδομένα εισόδου διαφέρουν από αυτά στην αρχή του συμβάντος έχει την δυνατότητα

να παρέχει μια δυναμική απόκριση και να τροποποιεί τα αποτελέσματα για να τα προσαρμόσει στις νέες συνθήκες.

Το HAMER παρουσιάζει υψηλή ικανότητα στο να περιγράφει την εξέλιξη της δυναμικής του ατυχήματος και να παρέχει στον χρήστη πολύ ακριβείς και χρήσιμες ενδείξεις για την εκπόνηση σχεδίων έκτακτης ανάγκης και εκκένωσης. Ως εκ τούτου, το HAMER είναι κατά προτίμηση προσανατολισμένο στη διαχείριση της φάσης της παρέμβασης κατά τη διάρκεια μιας έκτακτης ανάγκης αντί για μια πρόβλεψη του επαγόμενου κινδύνου.

(Torretta *et al.*, 2017)

4.3.2: HAZMAT path SDSS

Το HazMat Path (Hazardous Material Path) είναι ένα χωρικό DSS (Spatial DSS) το οποίο βάσει των δηλωμένων στόχων και των περιορισμών του μπορεί να προτείνει μία ή περισσότερες συμβατές διαδρομές. Σε αντίθεση με άλλα συστήματα που προτείνουν διαδρομές επικίνδυνων φορτίων, που έχουν σχεδιαστεί βασικά για μικρά δίκτυα, αυτό το DSS λειτουργεί και σε δίκτυα μεγαλύτερης κλίμακας. Επίσης, τα διαδραστικά εργαλεία επεξεργασίας που διαθέτει, επιτρέπει την εύκολη σύγκριση των προτεινόμενων λύσεων και την αξιολόγηση των κριτηρίων λήψης αποφάσεων.

Τα κόστη πολλαπλών χαρακτηριστικών συνήθως συνδυάζονται σε μεμονωμένα κόστη, τα οποία συσχετίζουν τον πληθυσμό με τον κίνδυνο, τον χρόνο, την απόσταση και την πιθανότητα ατυχήματος μέσω μιας γραμμικής συνάρτησης. Με αυτόν τον τρόπο, η διαδρομή ενός οχήματος μπορεί να καθοριστεί με μια απλή μέθοδο. Μπορούν επίσης, να προσδιοριστούν διαφορετικές διαδρομές αλλάζοντας τα βάρη του κόστους των χαρακτηριστικών.

Οι δομές δεδομένων χωρίζονται ως εξής:

1. **Εμφάνιση αντικειμένων στο χάρτη:** Αυτή η λειτουργία απεικόνισης επιτρέπει στο χρήστη να εμφανίζει διαφορετικά αντικείμενα στο χάρτη (όρια, διαφορετικούς τύπους δρόμων, διασταυρώσεις δρόμων, ονόματα πόλεων, υπόμνημα κ.λπ.).
2. **Διαγραφή και προσθήκη διασταυρώσεων στο δικτύου:** Οι διασταυρώσεις που δεν ανήκουν στην προγραμματισμένη διαδρομή των φορτηγών μπορούν να διαγραφούν προσωρινά από το οδικό δίκτυο, προκειμένου να επιταχυνθούν οι υπολογισμοί, να συμμορφωθούν με τους κυκλοφοριακούς κανονισμούς ή να αποφευχθούν λύσεις που διασχίζουν συγκεκριμένες περιοχές.
3. **Παράμετροι δημιουργίας της διαδρομής:** Δύο είναι τα είδη των διαδρομών που μπορούν να δημιουργηθούν από το HazMat Path: (1) οι διαδρομές που ανήκουν στην επιλογή μικρότερου κόστους και (2) στη διαδρομή ελάχιστου χρόνου. Και οι δύο επιλογές κάνουν τον χρήστη να εισάγει την απόσταση από το δρόμο στον οποίο ένα ατύχημα αναμένεται να προκαλέσει επικίνδυνες επιπτώσεις στον πληθυσμό, οι οποίες εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του υλικού που μεταφέρεται και το μέγεθος της διαρροής του. Η επιλογή της διαδρομής με το μικρότερο κόστος ζητά από τον χρήστη να εισαγάγει τα βάρη σε ένα πλαίσιο διαλόγου. Για κάθε χαρακτηριστικό, τα βάρη κανονικοποιούνται με βάση το κόστος της ελάχιστης διαδρομής προέλευσης-προορισμού.

Εάν επιλεγεί μια προσέγγιση που περιλαμβάνει τον παράγοντα του χρόνου, η διαδρομή επηρεάζεται από την ώρα έναρξης, η οποία μπορεί να οριστεί από τον χρήστη. Η επιλογή της διαδρομής γίνεται βάση πέντε χαρακτηριστικών, που απεικονίζονται οπτικά ως πολύγωνα: (1) πιθανότητα ατυχήματος, (2) απόσταση, (3) εμπλεκόμενος πληθυσμός, (4) χρόνος ταξιδιού και (5) αναμενόμενα αποτελέσματα.

Το HAZMAT PATH SDSS είναι πολύ αποτελεσματικό στη σύγκριση δύο ή περισσότερων εναλλακτικών λύσεων σχετικά με τις διαδρομές που μπορούν να επιλεγούν για τη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων. Αυτό το DSS είναι χρήσιμο ιδιαίτερα όσον αφορά στην αξιολόγηση του κόστους και του χρόνου μεταφοράς, ενώ είναι λιγότερο κατάλληλο στο να αξιολογεί τον κίνδυνο που προκαλείται, επομένως, δεν έχει τόσο καλή εφαρμογή από την άποψη της πρόληψης.

(Torretta *et al.*, 2017)

4.3.3: TrHaM (Transport of Hazardous Materials)

Το TrHaM είναι ένα DSS που επιτρέπει την ποσοτικοποίηση των συνολικών κινδύνων που σχετίζονται με τη μεταφορά επικίνδυνων εμπορευμάτων. Αυτό το σύστημα βοηθά τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων με τον προγραμματισμό των μεταφορικών δραστηριοτήτων. Επιπλέον, μπορεί να εκτιμά την κατανομή του κινδύνου και να εμφανίζει τα αποτελέσματα μέσω ενός λογισμικού GIS. Λαμβάνονται επίσης υπόψη τοποθεσίες που χαρακτηρίζονται από την παρουσία ευαίσθητων ομάδων πληθυσμού (σχολεία, νοσοκομεία κ.λπ.) ή πολυσύχναστες περιοχές (εμπορικά κέντρα, τουριστικά αξιοθέατα κ.λπ.). Τέλος, ως αποτέλεσμα των υπολογισμών, εμφανίζονται στατιστικά στοιχεία για τις κυκλοφοριακές ροές, την περιογή επιπτώσεων και τους ατομικούς και κοινωνικούς κινδύνους για κάθε εξεταζόμενο τμήμα της διαδρομής.

Το TrHaM είναι αποκλειστικά προσανατολισμένο στην αξιολόγηση του κινδύνου που προκαλείται από τη μεταφορά του HazMat. Η επιλογή των διαδρομών γίνεται λαμβάνοντας υπόψη μόνο τη δυνατότητα ελαχιστοποίησης του κινδύνου που προκαλείται, τόσο των κοινωνικών όσο και των ατομικών κινδύνων. Για τη σωστή εφαρμογή του TrHaM, είναι υποχρεωτική η ενημέρωση των δεδομένων εισόδου. Σε

σύγκριση με τα άλλα DSS το TrHaM δεν επιτρέπει την επιλογή παραμέτρων εκτός του κινδύνου.

(Torretta *et al.*, 2017)

4.3.4: TrHazGis – Transportation Hazardous GIS

Το TrHazGis αναπτύχθηκε με σκοπό να υποστηρίζει την Ιταλική Πολιτική Προστασία και να εκτελεί αναλύσεις κινδύνου για τη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων με γρήγορο και ακριβή τρόπο. Οι πρόσφατες βελτιώσεις αφορούν την επιλογή συνδυασμένων μεταφορών και εναλλακτικών τρόπων μεταφοράς για τη διατήρηση των κινδύνων των μεταφορικών δραστηριοτήτων στο ελάχιστο.

Το λογισμικό TrHazGis αποτελείται από πολλά προγράμματα, όπως το πρόγραμμα εκτίμησης κινδύνου (TrHaz) το οποίο διαχειρίζεται και συνδυάζει πληροφορίες σχετικά με την κάθε μεταφορά, που σχετίζονται με τα μεταφερόμενα προϊόντα (δεδομένα που περιέχονται στη βάση δεδομένων TrHazDat) και τα δεδομένα στον χάρτη κινδύνου GIS για τον υπολογισμό των ατομικών και κοινωνικών κινδύνων.

Η βάση δεδομένων περιέχει τις παρακάτω πληροφορίες για κάθε μεταφερόμενο προϊόν:

- την φυσική κατάσταση του προϊόντος κατά τη μεταφορά (όρια ευφλεκτότητας και τοξικότητας).
- την πιθανότητα σοβαρής ή καταστροφικής απελευθέρωσης του προϊόντος μετά από ατύχημα.
- την πιθανή εξέλιξη μιας απελευθέρωσης (πυρκαγιά, έκρηξη κ.λπ.)
- τις αποστάσεις από τις περιοχές ατυχήματος που σχετίζονται με κάθε κίνδυνο, υπολογισμένες με βάση τον τρόπο με τον οποίο απελευθερώθηκε η επικίνδυνη ουσία και τις καιρικές συνθήκες.

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα αξιολόγησης κινδύνου, ο χρήστης επιλέγει την ουσία και τον αριθμό των ταξιδιών σε κάθε περίοδο, υποδεικνύοντας την περίοδο στην οποία πρέπει να πραγματοποιηθεί η μεταφορά. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να προσδιορίζει τη διαδρομή και να υποδεικνύει την απόσταση από την αρχή έως το τέλος του κάθε διαφορετικού δικτύου (εθνικός δρόμος, αστικός δρόμος, αυτοκινητόδρομος, σιδηρόδρομος). Με βάση τα δεδομένα εισόδου, το πρόγραμμα επιλέγει τις τιμές ατυχήματος για κάθε τμήμα της διαδρομής, οι οποίες συνδυάζονται με την πιθανότητα διαρροής και την πιθανότητα ατυχήματος. Με βάση τις εποχικές καιρικές συνθήκες των ταξιδιών, επιλέγονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης των συνεπειών αυτών των επικίνδυνων γεγονότων μαζί με τις περιοχές ατυχήματος. Αυτά συνδυάζονται με την πληθυσμιακή πυκνότητα κάθε δρόμου, προσδιορίζοντας έτσι τον πληθυσμό που κινδυνεύει.

Το TrHazGis έχει σκοπό να ποσοτικοποιήσει τον κίνδυνο που προκαλείται από την κίνηση των HazMats, κάνοντας διάκριση μεταξύ του ατομικού και του κοινωνικού κινδύνου. Ως εκ τούτου, αυτό το DSS είναι χρήσιμο κατά τον σχεδιασμό λύσεων και παρεμβάσεων, τόσο λόγω της δυνατότητας επιλογής των λιγότερο επικίνδυνων διαδρομών όσο και λόγω της ικανότητας αξιολόγησης της συχνότητας εμφάνισης νέων (ή τροποποιημένων) υποδομών στην κατανομή κινδύνου.

(Torretta *et al.*, 2017)

4.3.5: TRAT-GIS 4.1 (Transportation Risk Analysis)

Το λογισμικό TRAT-GIS 4.1 αναλύει και ποσοτικοποιεί τον κίνδυνο που σχετίζεται με τη μεταφορά επικίνδυνων εμπορευμάτων οδικώς, σιδηροδρομικώς και μέσω αγωγών. Χωρίζεται σε δύο μέρη: (1) το TRAT Windows, το οποίο διαχειρίζεται λειτουργίες ανεξάρτητες από το GIS, για παράδειγμα τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων

(εξαιρουμένων των χωρικών δεδομένων). και (2) το TRAT-GIS, το οποίο συλλέγει και επεξεργάζεται χωρικά δεδομένα και επιστρέφει πληροφορίες μέσω μιας διεπαφής που δημιουργήθηκε στο ArcView GIS. Ο υπολογισμός του κινδύνου διεξάγεται για (1) ανθρώπους, (2) περιβάλλον και (3) ανθρώπους και περιβάλλον (συνολικός κίνδυνος). Τα αποτελέσματα διαβάζονται και αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων ή στο αρχείο.

Η δομή του λογισμικού αποτελείται από τέσσερις ενότητες:

1. **τη γραφική διεπαφή** που δημιουργείται στο ArcView, η οποία επιτρέπει στους χρήστες να εισάγουν δεδομένα στις δημογραφικές και γεωγραφικές βάσεις δεδομένων, και μπορεί να διαχειρίζεται και να εμφανίζει τα αποτελέσματα για τον τοπικό κίνδυνο.
2. **την εφαρμογή TRAT.EXE**, η οποία επιτρέπει την εισαγωγή δεδομένων και λειτουργεί ως σύνδεσμος μεταξύ της βάσης δεδομένων και του υπολογιστή.
3. **τη βάση δεδομένων** με τα δεδομένα εισόδου και τα δεδομένα εξόδου.
4. **τις μονάδες διεργασίας**, που εκτελούν τους υπολογισμούς που απαιτούνται για την αξιολόγηση του κινδύνου.

Το TRAT-GIS 4.1 έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με εκείνα του TrHazGis, αλλά, κατά την αξιολόγηση του κινδύνου, το TRAT-GIS 4.1. μπορεί να λαμβάνει υπόψη τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των πιθανών ατυχημάτων.

(Torretta *et al.*, 2017)

4.3.6: DESTINATION project 2014 - SIIG (Sistema Informativo Integrato Globale – Global Integrated Information System)

Το SIIG είναι ένα DSS για την αξιολόγηση των ανθρωπογενών και των περιβαλλοντικών κινδύνων, την πρόληψη και τη διαχείριση ατυχημάτων και την παρακολούθηση των υπερβολών στην μεταφορά επικίνδυνων εμπορευμάτων. Αναπτύχθηκε ως μέρος του

έργου διασυνοριακής συνεργασίας, που ονομάζεται DESTINATION (Επικίνδυνες Μεταφορές με Νέα Προληπτικά Μέσα). Περιλαμβάνει διαφορετικούς τύπους επεξεργασίας με στόχο τον υπολογισμό του κινδύνου σε διαφορετικές καιρικές συνθήκες και περίοδο. Επιτρέπει επίσης, την αξιολόγηση της σωρευτικής επίδρασης διαφόρων σεναρίων ατυχημάτων, του πιθανού κινδύνου που προκύπτει από προσομοιωμένα σενάρια και της ζημίας που προκαλείται από ένα πραγματικό συμβάν. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως σύνοψη, ταξινομώντας τα οδικά τμήματα με βάση το επίπεδο κινδύνου ή αναλύονται εντοπίζοντας λεπτομερώς τους σχετικούς ανθρωπογενείς και περιβαλλοντικούς στόχους από συγκεκριμένα σενάρια ατυχημάτων που μπορεί να συμβούν σε έναν δρόμο. Το DESTINATION είναι ένα πλήρως εξοπλισμένο εργαλείο και αντιπροσωπεύει μια σημαντική εξέλιξη των προηγούμενων, χάρη στην ικανότητά του να χειρίζεται τόσο στατικά δεδομένα (σενάρια χειρότερης περίπτωσης), των οποίων τα αποτελέσματα γίνονται χρήσιμα κατά τον σχεδιασμό, όσο και δυναμικά δεδομένα (παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο), των οποίων τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Ως περιορισμό, το DESTINATION μπορεί να εφαρμοστεί μόνο στις οδικές μεταφορές, καθώς δεν λαμβάνονται υπόψη πρόσθετοι τρόποι μεταφοράς.

(Torretta *et al.*, 2017)

4.4: Εκτίμηση του κινδύνου με τη χρήση των GIS

Παρακάτω θα δούμε δύο παραδείγματα εφαρμογής των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών GIS, για την εκτίμηση κινδύνου στη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων στις πόλεις Κεμπέκ – Οντάριο του Καναδά και στην πόλη Γκαζιαντέπ της Τουρκίας.

4.4.1: Μελέτη περίπτωσης Κεμπέκ – Οντάριο

Το μοντέλο GIS, που παρουσιάζεται στο παρακάτω παράδειγμα, χρησιμοποιεί τρία μοντέλα κινδύνου με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος στοχεύει στον προσδιορισμό μιας διαδρομής που ελαχιστοποιεί ένα συγκεκριμένο μέτρο κινδύνου και ο δεύτερος τρόπος στην αξιολόγηση του κοινωνικού κινδύνου, της πληθυσμιακής έκθεσης και του κινδύνου ατυχήματος μιας συγκεκριμένης διαδρομής.

Το μοντέλο GIS που εφαρμόστηκε στις πόλεις του Κεμπέκ και του Οντάριο, εστίασε στις μεταφορές βενζίνης, μαζούτ, πετρελαίου/ πίσσας και αλκοόλ που αποτελούν το 56% όλων των DG που μεταφέρονται μέσω του δικτύου αυτοκινητοδρόμων του Καναδά. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν, από την Στατιστική Υπηρεσία του Καναδά, ήταν ο τόπος φόρτωσης/ εκφόρτωσης, το είδος του εμπορεύματος και ο αριθμός των φορτηγών που χρησιμοποιούνται για κάθε αποστολή ενώ δεν λήφθηκε υπόψιν η ποσότητα των επικίνδυνων εμπορευμάτων ανά φορτηγό. Η έρευνα περιορίστηκε μόνο στους αυτοκινητόδρομους δηλαδή, τα αποτελέσματα μπορεί να ήταν κάπως διαφορετικά αν το οδικό δίκτυο δεν περιοριζόταν μόνο σε αυτούς. Για την πιθανότητα ατυχήματος χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω πίνακας 3 πολλαπλασιάζοντας τις τιμές με 5% που αφορά το ποσοστό των ατυχημάτων που εμπλέκονται οχήματα μεταφοράς DG. Όσοι αφορά τον τύπο ατυχήματος, για τις μεταφορές βενζίνης, μαζούτ και οινοπνευματωδών ποτών υπολογίστηκαν οι διαρροές και οι πυρκαγιές για τα ατυχήματα των οχημάτων που μετέφεραν πετρέλαιο και πίσσα. Για τις παραπάνω περιπτώσεις η Transport Canada απαιτεί την εκκένωση του πληθυσμού που κατοικεί σε απόσταση μικρότερη των 800 μέτρων από την τοποθεσία του συμβάντος.

Πίνακας 3: Συχνότητα ατυχήματος ανά 1 εκατομμύριο χιλιόμετρα (Verter and Kara, 2001)

| Τύπος δρόμου | Αστικός | Μη-Αστικός |
|-------------------|---------|------------|
| Πολλαπλών λωρίδων | 1,11 | 0,43 |
| Διαχωρισμένος | 1,89 | 0,71 |
| Μη-Διαχωρισμένος | 2,05 | 0,77 |

Πρώτος τρόπος προσδιορισμού:

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα τέσσερα διαφορετικά μοντέλα δρομολόγησης που είδαμε παραπάνω φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Το πιο σημαντικό συμπέρασμα που μπορεί να βγάλει κάποιος από τον πίνακα 6 είναι ότι ο αναμενόμενος αριθμός εκκενώσεων μπορεί να μειωθεί κατά 41% χρησιμοποιώντας το κριτήριο MinRisk αντί του MinLength. Από τον πίνακα 4 και 5 παρατηρούμαι ότι η μέση έκθεση ενός φορτηγού βενζίνης μπορεί να μειωθεί κατά 41% με τη χρήση του κριτηρίου MinExpro. Κάθε φορτηγό που μεταφέρει βενζίνη και ακολουθεί τη συντομότερη διαδρομή μεταξύ της Simcoe και του Τορόντο εκθέτει 136.830 ανθρώπους σε κίνδυνο εκκένωσης. Αυτός ο αριθμός, που είναι ο υψηλότερος μέσος όρος έκθεσης στην περίπτωση μας, μειώνεται σε 64.800 άτομα με το κριτήριο MinExpro. Από τον πίνακα 7 μπορούμε να συμπεράνουμε ότι υπάρχει δυνατότητα μείωσης κατά 33% του κοινωνικού κινδύνου των αποστολών βενζίνης χρησιμοποιώντας τις διαδρομές που προκύπτουν από το μοντέλο MinRisk αντί του MinLength όμως, αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα μια αύξηση κατά 56% της απόστασης που πρέπει να διανυθεί.

Πίνακας 4: Μέση διανυθείσα απόσταση (χλμ) ανά φορτηγό (Verter and Kara, 2001)

| Κριτήριο | Βενζίνη | Μαζούτ | Πετρέλαιο/ Πίσσα | Αλκοόλ |
|-----------|---------|--------|------------------|--------|
| MinLength | 230 | 242 | 212 | 392 |
| MinRisk | 359 | 550 | 417 | 962 |
| MinExpro | 437 | 761 | 488 | 1.139 |
| MinProb | 235 | 275 | 235 | 410 |

Πίνακας 5: Μέση έκθεση του πληθυσμού (αριθμός ατόμων) ανά φορτηγό (Verter and Kara, 2001)

| Κριτήριο | Βενζίνη | Μαζούτ | Πετρέλαιο/ Πίσσα | Αλκοόλ |
|-----------|---------|---------|------------------|---------|
| MinLength | 73.983 | 100.272 | 88.558 | 164.297 |
| MinRisk | 43.839 | 53.144 | 43.225 | 55.181 |
| MinExpo | 43.207 | 50.104 | 42.451 | 52.993 |
| MinProb | 71.763 | 102.146 | 90.123 | 170.450 |

Πίνακας 6: Συνολικός Κοινωνικός Κίνδυνος (Αναμενόμενος αριθμός ατόμων που θα εκκενώσουν) (Verter and Kara, 2001)

| Κριτήριο | Βενζίνη | Μαζούτ | Πετρέλαιο/ Πίσσα | Αλκοόλ | Σύνολο |
|-----------|---------|--------|------------------|--------|--------|
| MinLength | 545 | 469 | 237 | 51 | 1.302 |
| MinRisk | 365 | 266 | 124 | 19 | 774 |
| MinExpo | 374 | 286 | 126 | 20 | 806 |
| MinProb | 530 | 476 | 240 | 53 | 1.299 |

Πίνακας 7: Κοινωνικό αντίκτυπο της μεταφοράς βενζίνης (Verter and Kara, 2001)

| Κριτήριο | Απόσταση (εκατομμύρια χλμ.) | Αναμενόμενες εκκενώσεις | Πληθυσμιακή Έκθεση (εκατομμύρια άτομα-φορτηγό) |
|-----------|-----------------------------|-------------------------|--|
| MinLength | 24 | 545 | 7.570 |
| MinRisk | 37 | 365 | 4.490 |
| MinExpo | 45 | 374 | 4.420 |
| MinProb | 24 | 530 | 7.350 |

Δεύτερος τρόπος προσδιορισμού

Σε αυτή την προσέγγιση παρουσιάζεται μια ανάλυση της χωρικής κατανομής του κινδύνου μεταφοράς και η σύγκριση των δύο περιοχών. Η παρακάτω ανάλυση βασίζεται σε τέσσερα χαρακτηριστικά σε κάθε πληθυσμιακό κέντρο: (1) ο αριθμός των ατόμων που εκτίθενται σε κίνδυνο εκκένωσης (δηλαδή πληθυσμός που κατοικεί σε ζώνη έκθεσης), (2) η συνολική απόσταση που διανύουν τα φορτηγά DG εντός του πληθυσμιακού κέντρου, (3) η συνολική έκθεση του πληθυσμού (δηλαδή, το άθροισμα των τιμών έκθεσης του πληθυσμού για κάθε δρομολόγιο που εκτελείτε εντός ενός πληθυσμιακού κέντρου, όπου η έκθεση πληθυσμού ενός συνδέσμου είναι ο αριθμός των ατόμων που ζουν στη ζώνη έκθεσής του πολλαπλασιασμένος επί τον αριθμό των φορτηγών που

χρησιμοποιούν αυτό το δρομολόγιο) και (4) η ατομική έκθεση, η οποία είναι η συνολική έκθεση του πληθυσμού διαιρεμένη με τον αριθμό των ατόμων που ζουν στο πληθυσμιακό κέντρο.

Παρατηρώντας τον πίνακα 8 γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η επιλογή των διαδρομών με βάση το MinRisk ή το MinExpro αντί του MinLength προκαλούν μεγάλες διαφορές στην πόλη του Οντάριο. Όμως δεν υπάρχουν τα ίδια αποτελέσματα και στην περιοχή του Κεμπέκ. Αυτό πιθανώς οφείλεται στη δομή του δικτύου αυτοκινητόδρομων στο Κεμπέκ, που καθιστά αδύνατη την πλήρη αποφυγή των κατοικημένων περιοχών. Προκειμένου να αποφύγει κανείς τις πυκνοκατοικημένες περιοχές του Κεμπέκ θα πρέπει να περάσει από τις λιγότερο κατοικημένες περιοχές ενώ στο Οντάριο είναι δυνατή η χρήση των αγροτικών δρόμων σύμφωνα με τα μοντέλα MinRisk και MinExpro, επομένως η απόσταση μετακίνησης εντός των πληθυσμιακών κέντρων μειώνεται όταν χρησιμοποιούνται αυτές οι διαδρομές. Τα αποτελέσματα μας κάνουν σαφές ότι ο κίνδυνος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τοπολογία του οδικού δικτύου, καθώς και από τη χωρική κατανομή των πληθυσμιακών κέντρων. Για παράδειγμα στο Οντάριο η χρήση των διαδρομών MinRisk μειώνει σε μεγάλο βαθμό τον κίνδυνο πράγμα που δεν συμβαίνει στο Κεμπέκ με τη χρήση του ίδιου μοντέλου.

Πίνακας 8: Ο αντίκτυπος των ροών βενζίνης στο Κεμπέκ και το Οντάριο (Verter and Kara, 2001)

| Επαρχία / Κριτήριο | Πληθυσμός στη ζώνη εκκένωσης | Διαδρομή εντός πληθυσμιακού κέντρου (εκατομμύρια χλμ.) | Πληθυσμιακή Έκθεση (εκατομμύρια άτομα-φορτηγό) | Ατομική έκθεση (φορτηγό/ άτομο) |
|--------------------|------------------------------|--|--|---------------------------------|
| Κεμπέκ | | | | |
| MinLength | 659.943 | 7,6 | 2.620 | 689 |
| MinRisk | 603.057 | 8,4 | 2.360 | 622 |
| MinExpo | 542.935 | 9 | 2.300 | 605 |
| MinProb | 611.896 | 7,4 | 2.610 | 687 |
| Οντάριο | | | | |
| MinLength | 1.063.966 | 9,6 | 4.960 | 653 |
| MinRisk | 277.604 | 5,2 | 2.130 | 281 |
| MinExpo | 234.533 | 5,4 | 2.120 | 280 |
| MinProb | 1.003.375 | 9,2 | 4.740 | 624 |

Πίνακας 9: Ο αντίκτυπος των ροών και των τεσσάρων DG στο Κεμπέκ και το Οντάριο (Verter and Kara, 2001)

| Επαρχία / Κριτήριο | Πληθυσμός στη ζώνη εκκένωσης | Διαδρομή εντός πληθυσμιακού κέντρου (εκατομμύρια χλμ.) | Πληθυσμιακή Έκθεση (εκατομμύρια άτομα-φορτηγό) | Ατομική έκθεση (φορτηγό/ άτομο) |
|--------------------|------------------------------|--|--|---------------------------------|
| Κεμπέκ | | | | |
| MinLength | 708.968 | 17,8 | 6.770 | 1.780 |
| MinRisk | 658.470 | 20,3 | 5.080 | 1.337 |
| MinExpo | 656.008 | 20,5 | 4.780 | 1.258 |
| MinProb | 708.967 | 17,6 | 6.820 | 1.793 |
| Οντάριο | | | | |
| MinLength | 1.063.966 | 23,8 | 12.300 | 1.614 |
| MinRisk | 305.262 | 13,2 | 5.170 | 681 |
| MinExpo | 265.976 | 13,5 | 5.150 | 678 |
| MinProb | 1.040.142 | 23,6 | 12.200 | 1.607 |

Η παραπάνω μεθοδολογία για την εκτίμηση του κινδύνου μεταφοράς DG μέσω του GIS αποτελεί ένα αποτελεσματικό μέσο για την αξιολόγηση του κινδύνου. Ο κίνδυνος μεταφοράς σε μια γεωγραφική περιοχή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους τύπους των βαρών που χρησιμοποιούνται, την τοπολογία του οδικού δικτύου, καθώς και τη χωρική κατανομή του πληθυσμού. Λόγω αυτών, δεν είναι δυνατή η θέσπιση γενικών κανόνων για τα κριτήρια δρομολόγησης των DG. Όμως, μέσα από τέτοιου είδους μοντέλα

μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα τις επιπτώσεις του κινδύνου ανάλογα με το κάθε διαφορετικό κριτήριο δρομολόγησης που επιλέγουμε και είναι ευκολότερο μια κρατική υπηρεσία να αναπτύξει κατάλληλες πολιτικές όσον αφορά τέτοιου είδους μεταφορές. Για παράδειγμα στο Οντάριο θα μπορούσαν να εφαρμοστούν πολιτικές για την αύξηση της χρήσης δρόμων με μικρότερο κίνδυνο μεταφοράς ενώ ανάλογες βελτιώσεις θα ήταν δυνατές στο Κεμπέκ μόνο με την κατασκευή νέων οδικών τμημάτων που αποφεύγουν τις πυκνοκατοικημένες περιοχές.

(Verter and Kara, 2001)

4.4.2: Μελέτη περίπτωσης Γκαζιαντέπ

Στο παρακάτω παράδειγμα αξιολόγησης του κινδύνου χρησιμοποιούνται κάποια από τα πιο δημοφιλή μοντέλα για την επιλογή διαδρομής όπως η μικρότερη διαδρομή (χρόνος ή απόσταση), η ελάχιστη έκθεση του πληθυσμού στο κίνδυνο, η ελάχιστη πιθανότητα ατυχήματος και η μέγιστη απόκριση έκτακτης ανάγκης τα οποία είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο τόσο στον ορισμό όσο και στη μέτρηση.

Πιο συγκεκριμένα θα δούμε τι έδειξε η εφαρμογή των μοντέλων αξιολόγησης του κινδύνου στην πόλη Γκαζιαντέπ της Τουρκίας. Το 99% των καυσίμων με βάση το πετρέλαιο (βενζίνη, ντίζελ, υγραέριο) στην Τουρκία μεταφέρονται οδικώς. Η Γκαζιαντέπ είναι μια πόλη περίπου δύο εκατομμυρίων κατοίκων και αποτελεί ένα σημαντικό εμπορικό και βιομηχανικό κέντρο για την Τουρκία με μερίδιο 2,1% από τις συνολικές οδικές μεταφορές καυσίμων όλης της χώρας. Ωστόσο, λόγω του περιορισμού του χώρου, της υψηλής πυκνότητας πληθυσμού και των στενών δρόμων, τα οχήματα που μεταφέρουν επικίνδυνα υλικά όπως το μαζούτ πρέπει αναπόφευκτα να περάσουν από πυκνοκατοικημένες περιοχές ή τις γειτονιές τους. Ως παράδειγμα για την συγκεκριμένη μελέτη επιλέχτηκε η μεταφορά βενζίνης η οποία μεταφέρεται από το διυλιστήριο Ata σε

υπόγειες δεξαμενές που βρίσκονται στην είσοδο της πόλης και στη συνέχεια διανέμεται σε πρατήρια βενζίνης με βυτιοφόρα χύδην φορτίου.

Στη συγκεκριμένη μελέτη οι υπόγειες δεξαμενές υπολογίστηκαν ως αποθήκες και χρησιμοποιήθηκαν 78 διαφορετικά πρατήρια βενζίνης τα οποία καλύπτουν τις ανάγκες του 85% του συνολικού πληθυσμού της Γκαζιαντέπ. Οι υπολογισμοί έγιναν για ένα μεταφορέα που διαθέτει 14 βυτιοφόρα χωρητικότητας 20 τόνων. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές τιμές ταχύτητας προκειμένου τα αποτελέσματα να πλησιάζουν την πραγματική κατάσταση: (1) 50 km/h για το κέντρο της πόλης. (2) 70 km/h για αυτοκινητόδρομο της περιφερειακής ζώνης και (3) 80 km/h για αυτοκινητόδρομο. Τέλος, λήφθηκαν υπόψη τα δεδομένα από τους χάρτες πυκνότητας του πληθυσμού, τον αριθμό των προηγούμενων ατυχημάτων, τον αριθμό των μηχανοκίνητων οχημάτων και των θέσεων των πυροσβεστικών μονάδων και των νοσοκομείων.

Η αναζήτηση των εφικτών διαδρομών για τη μεταφορά βενζίνης από τις υπόγειες αποθήκες στα 78 πρατήρια, έγινε βάση του GIS εφαρμόζοντας τέσσερα διαφορετικά μοντέλα: ελαχιστοποίηση (1) της απόστασης, (2) του κινδύνου έκθεσης του πληθυσμού, (3) της πιθανότητας ατυχήματος και (4) τη μεγιστοποίηση της απόκρισης έκτακτης ανάγκης. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από τα τέσσερα μοντέλα επιτρέπουν στον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων να δει πώς είναι μια διαδρομή βελτιστοποιημένη με ένα κριτήριο απόδοσης έναντι των άλλων. Σύμφωνα με τους παρακάτω πίνακες 10, 11, 12 και 13, όλα τα πρατήρια βενζίνης ικανοποιούν τις ανάγκες τους σε κάθε λύση. Η συνολική διανυθείσα απόσταση, ο χρόνος ταξιδιού και η μέση ταχύτητα όλων των μοντέλων κινδύνου απεικονίζονται στη εικόνα 3.

Πίνακας 10: Αποτελέσματα του μοντέλου κινδύνου 1 (ελαχιστοποίηση της απόστασης) (Özceylan et al., 2017)

| Φορηγό | Εξυπηρετούμενα πρατήρια | Χρόνος διαδρομής (λεπτά) | Απόσταση διαδρομής (χλμ.) |
|--------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1 | 1-2-9-68 | 29,47 | 39,30 |
| 2 | 7-8-33-52-54 | 24,60 | 27,46 |
| 3 | 42-45-58-60-63 | 34,15 | 35,42 |
| 4 | 15-30-31-48-64-46 | 30,12 | 31,29 |
| 5 | 12-24-26-34-77 | 32,04 | 32,89 |
| 6 | 10-14-16-18-21-35-59 | 40,54 | 39,76 |
| 7 | 11-25-29-55-57-61 | 40,08 | 41,45 |
| 8 | 5-23-39-49-50-73 | 35,53 | 35,80 |
| 9 | 6-22-41-51-53-56 | 43,33 | 42,30 |
| 10 | 17-20-67-71-76 | 40,57 | 39,99 |
| 11 | 19-37-38-44-70-78 | 46,22 | 44,71 |
| 12 | 36-43-62-65-78 | 50,73 | 48,47 |
| 13 | 3-13-27-40-66 | 51,96 | 50,90 |
| 14 | 4-25-32-47-69-72-75 | 86,37 | 93,19 |

Πίνακας 11: Αποτελέσματα του μοντέλου κινδύνου 2 (ελαχιστοποίηση του κινδύνου έκθεσης του πληθυσμού) (Özceylan et al., 2017)

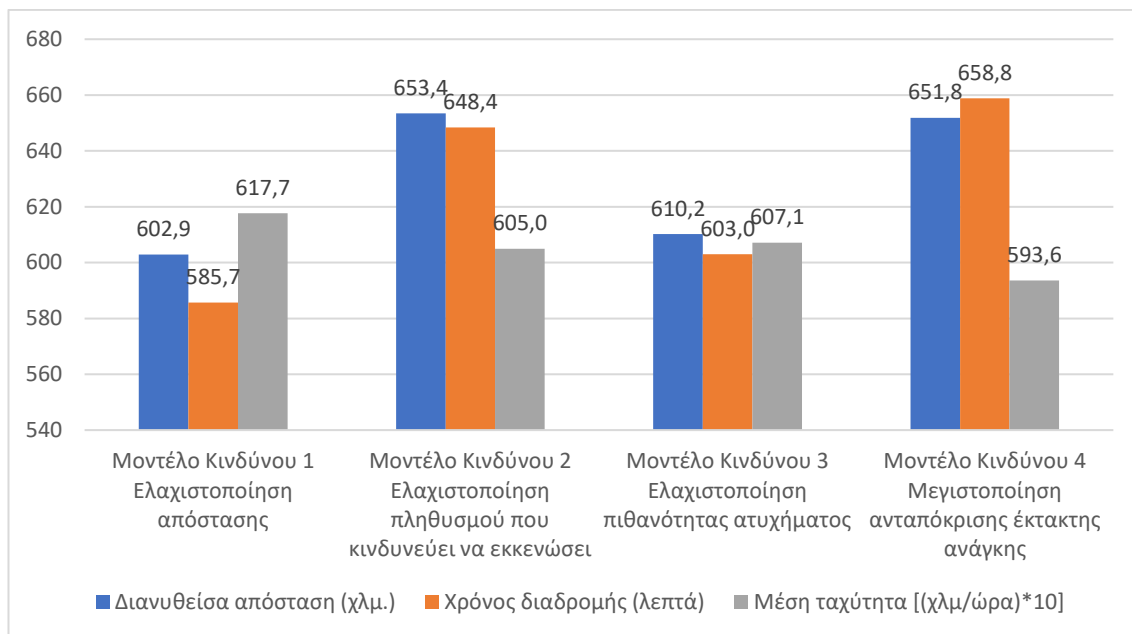
| Φορηγό | Εξυπηρετούμενα πρατήρια | Χρόνος διαδρομής (λεπτά) | Απόσταση διαδρομής (χλμ.) |
|--------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1 | 1-2-68 | 27,26 | 36,36 |
| 2 | 30-34-48-51-54 | 30,37 | 31,27 |
| 3 | 7-9-45-60-63 | 31,56 | 34,77 |
| 4 | 5-23-39-46-50-73 | 38,87 | 38,36 |
| 5 | 12-24-26-33-77 | 33,87 | 34,19 |
| 6 | 6-22-37-49-51-53 | 44,36 | 43,91 |
| 7 | 10-15-31-38-41-56-76 | 48,09 | 46,04 |
| 8 | 11-29-42-52-57-58 | 36,60 | 38,96 |
| 9 | 19-32-47-70-71-78 | 56,93 | 53,42 |
| 10 | 8-14-16-18-59-67-69 | 45,98 | 44,29 |
| 11 | 17-20-36-43-62 | 47,34 | 45,42 |
| 12 | 3-4-44-65-74-75 | 68,31 | 65,26 |
| 13 | 13-27-40-64-66 | 47,42 | 46,46 |
| 14 | 25-28-35-55-61-72 | 91,49 | 94,70 |

Πίνακας 12: Αποτελέσματα του μοντέλου κινδύνου 3 (ελαχιστοποίηση της πιθανότητας ατυχήματος) (Özceylan et al., 2017)

| Φορτηγό | Εξυπηρετούμενα πρατήρια | Χρόνος διαδρομής (λεπτά) | Απόσταση διαδρομής (χλμ.) |
|---------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1 | 1-2-68 | 27,26 | 36,36 |
| 2 | 7-9-45-52-54 | 26,51 | 29,05 |
| 3 | 12-15-26-30-48-76 | 30,74 | 31,81 |
| 4 | 29-42-57-58-60-63 | 36,51 | 37,38 |
| 5 | 31-33-34-46-64 | 30,44 | 31,56 |
| 6 | 5-6-23-49-50-77 | 36,41 | 36,53 |
| 7 | 22-37-39-51-53-73 | 40,17 | 39,66 |
| 8 | 14-18-24-35-59-67 | 42,66 | 41,74 |
| 9 | 8-11-13-28-55-61 | 44,51 | 43,28 |
| 10 | 36-43-47-62-71 | 44,65 | 43,40 |
| 11 | 19-20-44-65-74 | 50,10 | 47,94 |
| 12 | 3-38-41-56-70-75-78 | 61,48 | 57,42 |
| 13 | 4-17-27-32-40-66 | 61,27 | 57,25 |
| 14 | 10-16-21-25-69-72 | 70,31 | 76,79 |

Πίνακας 13: Αποτελέσματα του μοντέλου κινδύνου 4 (μεγιστοποίηση της απόκρισης έκτακτης ανάγκης) (Özceylan et al., 2017)

| Φορτηγό | Εξυπηρετούμενα πρατήρια | Χρόνος διαδρομής (λεπτά) | Απόσταση διαδρομής (χλμ.) |
|---------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1 | 1-2-68 | 27,26 | 36,36 |
| 2 | 10-15-21-31-54-64 | 34,84 | 35,00 |
| 3 | 8-26-30-34-46-48 | 32,31 | 32,89 |
| 4 | 9-39-49-51-52-56-76 | 42,28 | 41,20 |
| 5 | 7-33-42-45 | 36,48 | 36,37 |
| 6 | 5-12-23-24-47-77 | 41,18 | 40,29 |
| 7 | 19-37-44-53-73 | 43,65 | 42,34 |
| 8 | 17-20-32-36-43-75 | 56,12 | 52,74 |
| 9 | 11-29-57-58-60-63 | 44,63 | 43,16 |
| 10 | 3-22-38-41-70-78 | 51,81 | 49,14 |
| 11 | 4-62-65-71-74 | 55,64 | 52,34 |
| 12 | 6-14-16-18-28-55-61 | 65,88 | 60,88 |
| 13 | 13-27-40-50-66 | 50,22 | 47,82 |
| 14 | 25-35-59-67-69-72 | 76,55 | 81,27 |



Εικόνα 3: Σύγκριση όλων των μοντέλων κινδύνου (Özceylan et al., 2017)

Συγκρίνοντας τις τέσσερις εναλλακτικές διαδρομές, μπορεί κανείς να βελτιστοποιήσει τη δρομολόγηση σύμφωνα με ένα μοντέλο κινδύνου. Οι παραπάνω πληροφορίες επιτρέπουν σε έναν υπεύθυνο λήψης αποφάσεων να βρει τη βέλτιστη λύση και να ελέγξει την απόδοση της σε σχέση με τα άλλα κριτήρια. Αντί να επιτρέπεται στις μεταφορικές εταιρείες να επιλέγουν αυτές τις διαδρομές, ο οποίος είναι συνήθως ο πιο σύντομος σε χρόνο ή απόσταση, μπορούν να ορίζονται από τις αρμόδιες αρχές. Η μεταφορά επικίνδυνων φορτίων είναι η πιο επικίνδυνη δραστηριότητα μεταξύ όλων των άλλων δραστηριοτήτων logistics και σχεδόν σε όλες τις χώρες ρυθμίζεται από νόμους ή κανονισμούς προκειμένου να προστατεύονται τόσο οι πολίτες όσο και το περιβάλλον καθώς ένα ατύχημα μπορεί να προκαλέσει τραυματισμό, θάνατο ή καταστροφή ιδιοκτησίας και περιβάλλοντος. Ενώ υπάρχουν ορισμένες διαδικασίες για αυτές τις αποστολές (ειδικές άδειες, εκπαιδευμένο προσωπικό κ.λπ.) είναι εξίσου σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη και οι δρομολογήσεις. Η παραπάνω εφαρμογή μπορεί να συνεισφέρει σε όλους τους εμπλεκόμενους αυτής της αλυσίδας (φορείς λήψης

αποφάσεων, προμηθευτές, οδηγούς κ.λπ.) όμως ο περιορισμός της είναι ότι μπορεί να εστιάσει μόνο σε ένα κριτήριο μεταφοράς.

(Özceylan *et al.*, 2017)

4.5: Εφαρμογή της τεχνολογίας IoT και blockchain στη μεταφορά DG

Στη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων εμπλέκονται πολλοί ενδιαφερόμενοι που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Όπως είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, όλη η διαδικασία της μεταφοράς καθορίζεται από το ρυθμιστικό πλαίσιο και διαχειρίζεται από τις αρμόδιες αρχές των εμπλεκόμενων χωρών. Επομένως, η διαδικασία σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες βασίζεται πλήρως στις κανονιστικές οδηγίες (ADR και Ευρωπαϊκός κανονισμός - Αριθ. 1003/2006).

Η εφοδιαστική αλυσίδα των επικίνδυνων εμπορευμάτων αποτελείται από ένα σύνολο ενδιαφερομένων οι οποίοι είναι: (1) ο αποστολέας, (2) ο παραλήπτης, (3) ο μεταφορέας, (4) οι αποθήκες, (5) οι τοπικές αρχές και (6) οι αρχές αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης.

Στο παρακάτω μοντέλο καθορίζεται η ροή της διαδικασίας και οι αλληλοεπιδράσεις μεταξύ των ενδιαφερομένων όλης της διαδικασίας της μεταφορά επικίνδυνων φορτίων διασυνοριακά. Ο αποστολέας είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση των εμπορευμάτων, τη φυσική προετοιμασία και την παροχή των σχετικών δεδομένων που αφορούν το φορτίο. Κατά τον προγραμματισμό της μεταφοράς DG θα πρέπει να ειδοποιηθούν οι αρμόδιες αρχές και ο παραλήπτης. Στη συνέχεια αναλαμβάνει ο μεταφορέας σύμφωνα με το πρόγραμμα. Ανάλογα με την απόσταση που θα πρέπει να διανυθεί, ενδέχεται να προγραμματιστούν και ενδιάμεσες στάσεις για τις οποίες θα πρέπει να ενημερωθούν οι ενδιαφερόμενοι, που είναι υπεύθυνοι για την παρακολούθηση αυτής της διαδικασίας. Ο παραλήπτης των DG ενημερώνεται όταν τα εμπορεύματα διασχίσουν τα σύνορα της χώρας για να προετοιμαστεί κατάλληλα και να λάβει τις απαραίτητες προφυλάξεις για

την παραλαβή των επικίνδυνων υλικών. Επίσης, για λόγους ασφαλείας, ενημερώνονται και οι τοπικές αρχές της χώρας προορισμού ή διέλευσης για να ληφθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας. Κατά την παραλαβή, ο παραλήπτης επιβεβαιώνει την παραλαβή και ακολουθεί τις νομικές διαδικασίες που ορίζονται από το κανονιστικό πλαίσιο Αρ. 1003/2006 για τον χειρισμό των επικίνδυνων υλικών.

Ο τύπος blockchain που χρησιμοποιείται για να ικανοποιεί τις απαιτήσεις της παρακάτω περίπτωση χρήσης είναι το consortium blockchain, το οποίο επιτρέπει τη δημιουργία μιας κοινοπραξίας ενδιαφερομένων με πρόσθετες ιδιότητες για το απόρρητο και την εμπιστευτικότητα. Ως αποτέλεσμα, το Hyperledger Fabric έχει επιλεγεί ως πλαίσιο blockchain για την ανάπτυξη του συστήματος που παρουσιάζεται παρακάτω.

4.5.1: Η αρχιτεκτονική 3-επιπέδων

Σε αυτό το μοντέλο προτείνεται μια νέα προσέγγιση για την ανταλλαγή (κοινή χρήση), τη διαχείριση και την αποθήκευση πληροφοριών μεταξύ των ενδιαφερομένων χρησιμοποιώντας την τεχνολογία του blockchain, με στόχο την έξυπνη, ασφαλή και αξιόπιστη διαδικασία της μεταφοράς επικίνδυνων φορτίων. Το βασικό πλεονέκτημα είναι ο μηχανισμός αποκέντρωσης που υποστηρίζεται από έναν συνδυασμό της τεχνολογίας του blockchain και των συσκευών IoT.

Η αρχιτεκτονική αποτελείται από τρία επίπεδα, οργανωμένα με τρόπο από πάνω προς τα κάτω ως εξής:

- L3: IoT devices layer

Αυτό το επίπεδο αποτελείται από τις συσκευές IoT που χρησιμοποιούνται στην εκάστοτε γεωγραφική περιοχή (π.χ. για αναγνώριση αντικειμένων κατά την μετακίνηση) και τοποθετούνται στα μέσα μεταφοράς (π.χ. αισθητήρες και ιχνηλάτες GPS στα φορτηγά κ.λπ.). Αυτές οι συσκευές IoT δεν προορίζονται απαραίτητα να έχουν ισχυρές

δυνατότητες επεξεργασίας. Προκειμένου να υπάρχει μεγαλύτερη ασφάλεια, όλες οι συσκευές IoT αναγνωρίζονται πριν μεταδώσουν πληροφορίες στο blockchain, χρησιμοποιώντας την αρχή Certification Authority της Hyperledger Fabric, η οποία απελευθερώνει ένα δημόσιο κλειδί για τις συσκευές IoT και ελέγχεται η ταυτότητα τους. Αυτή η καταχώριση επιτρέπει την αποθήκευση του δημόσιου κλειδιού των συσκευών IoT στο blockchain, για την αναγνώρισή τους. Έτσι επιτρέπεται στο blockchain να αποφεύγει τη λήψη πληροφοριών από μια μη εξουσιοδοτημένη συσκευή IoT και επομένως αυξάνεται η ασφάλειά του από πιθανές επιθέσεις.

Όσον αφορά στο πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών IoT, προτείνεται η χρήση της peer-to-peer επικοινωνίας. Ενώ αυτό είναι προαιρετικό, επιλέγεται από τους σχεδιαστές του συστήματος για τη βελτίωση των επιδόσεων του συστήματος (π.χ. επέκταση του εύρους επικοινωνίας με χρήση πρωτοκόλλου επικοινωνίας P2P IoT).

- L2: Blockchain Lightweight Node

Το δεύτερο επίπεδο αποτελείται από συσκευές IoT υψηλότερων δυνατοτήτων επεξεργασίας δεδομένων συναλλαγών που καταγράφονται από τις συσκευές IoT του L1. Αυτές οι συσκευές είναι κυρίως Raspberry Pi⁹, οι οποίες διαθέτουν τον απαραίτητο αποθηκευτικό χώρο, την επεξεργαστική ισχύ και το λειτουργικό σύστημα που τους επιτρέπει να εκτελούν τον έλεγχο ταυτότητας και την επιβεβαίωση των συναλλαγών στο blockchain. Αυτές οι συσκευές IoT είναι γνωστές ως blockchain lightweight node 8, που σημαίνει ότι δεν περιέχουν την πλήρη στοίβα blockchain. Η κύρια αποστολή τους είναι να επιβεβαιώνουν συναλλαγές χρησιμοποιώντας τον μηχανισμό του blockchain. Όταν ο

⁹ Το Raspberry Pi είναι το όνομα μιας σειράς υπολογιστών με μία πλακέτα που κατασκευάστηκε από το Raspberry Pi Foundation και κυκλοφόρησε το 2012. Χρησιμοποιείται για την εκμάθηση δεξιοτήτων προγραμματισμού, την δημιουργία hardware, την αυτοματοποίηση των οικιακών συσκευών, ακόμη και για βιομηχανικές εφαρμογές κ.λπ.. Το Raspberry Pi είναι ένας πολύ φθηνός υπολογιστής που τρέχει Linux, αλλά παρέχει επίσης ένα σύνολο ακίδων GPIO (γενικής εισόδου/εξόδου), επιτρέποντάς στο χρήστη να ελέγχει ηλεκτρονικά στοιχεία για φυσικούς υπολογιστές και να εξερευνάτε το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). <https://opensource.com>

lightweight node λαμβάνει μια συναλλαγή , πρώτα ελέγχει εάν αυτή η συναλλαγή προέρχεται από καταχωρημένη συσκευή IoT και, στη συνέχεια, επιβεβαιώνει τη συναλλαγή. Μετά την επιβεβαίωση της συναλλαγής, ο lightweight κόμβος, χρησιμοποιεί το κατάλληλο κανάλι επικοινωνίας για να στείλει τις συναλλαγές στον πλήρη κόμβο blockchain (L1).

Το προτεινόμενο κανάλι επικοινωνίας είναι μια σύνδεση μέσω ενός κυψελοειδούς δικτύου 2G/3G/4G που παρέχεται από έναν πάροχο κινητής τηλεφωνίας ή μέσω ενός ασύρματου δικτύου ευρείας περιοχής WAN (Wide Area Network) που παρέχεται από παρόχους LPWAN (WAN χαμηλής ισχύος), π.χ. SigFox, LoRA, κ.λπ., για τη σωστή μεταφορά δεδομένων συναλλαγών από το επίπεδο L2 στο επίπεδο L1 και αντίστροφα. Δεδομένου ότι το κανάλι επικοινωνίας θα μπορούσε να υπόκειται σε ζητήματα ασφάλειας σε αυτό το τμήμα του δικτύου, προτείνεται η κρυπτογράφηση όλων των μεταφερόμενων συναλλαγών.

- L1: Stakeholder blockchain side

Αυτό το επίπεδο ανήκει στο τμήμα του κάθε ενδιαφερόμενου. Αποτελείται από πολλούς κόμβους blockchain που μπορούν να αναπτυχθούν στις εγκαταστάσεις του κάθε ενδιαφερόμενου δημιουργώντας έτσι ένα γεωγραφικά κατανεμημένο και δικτυωμένο σύστημα. Επίσης, αυτοί οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα να προσθέτουν νέα μπλοκ στο blockchain. Πρόκειται για ένα σύνολο συναλλαγών που λαμβάνονται από το προηγούμενο επίπεδο (L2) ή/και συναλλαγές που λαμβάνονται από άλλους εμπλεκόμενους. Η επιχειρηματική λογική που απαιτείται για τη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων σε αυτό το επίπεδο, υλοποιείται από ένα καλά καθορισμένο Smart Contract. Επιπλέον, όλα τα άλλα στοιχεία, όπως συσκευές IoT (L3) και lightweight nodes (L2) καταχωρούνται σε αυτό το επίπεδο. Όταν προστίθεται ένα μπλοκ στην αλυσίδα του

blockchain, εκτελείται το αντίστοιχο Smart Contract προκειμένου να ενεργοποιηθούν οι καθορισμένες εργασίες σύμφωνα με τη λογική του επιχειρησιακού μοντέλου της επιχείρησης.

Αυτό το επίπεδο χρησιμεύει επίσης ως διεπαφή για τα ενδιαφερόμενα μέρη. Όσοι εμπλέκονται στη διαδικασία ενδέχεται να χρησιμοποιήσουν το API¹⁰ που παρέχεται από αυτό το επίπεδο για να εισάγουν αμετάβλητες πληροφορίες, χρησιμοποιώντας την πύλη blockchain, και να τις μοιραστούν με άλλους εξουσιοδοτημένους ενδιαφερόμενους.

Η προτεινόμενη προσέγγιση επιτρέπει επίσης σε υπάρχουσες επιχειρηματικές εφαρμογές όπως το DSS, ή άλλα συστήματα ERP¹¹, να συνδέονται με την αλυσίδα μπλοκ (ως πλήρεις κόμβοι της αλυσίδας μπλοκ) χρησιμοποιώντας συγκεκριμένο API.

Η παραπάνω προσέγγιση έχει ως στόχο την παροχή ενός νέου τρόπου διαχείρισης, αποθήκευσης και ανταλλαγής πληροφοριών στη διαδικασία της μεταφοράς επικίνδυνων φορτίων που επιτρέπει στους ενδιαφερόμενους να συνδέουν τις δικές τους εφαρμογές στο σύστημα, ενώ παράλληλα εξαλείφει την ανάγκη χρήσης τρίτων ή κεντρικών συστημάτων, όπως το cloud και οι κεντρικές βάσεις δεδομένων. Επιπλέον, η χρήση του blockchain για την αποθήκευση και την διαχείριση πληροφοριών προσφέρει στο σύστημα το απαιτούμενο επίπεδο εμπιστευτικότητας αφού μόνο οι πιστοποιημένοι ενδιαφερόμενοι έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν ενέργειες οι οποίοι ταυτοποιούνται και

¹⁰ Το API επιτρέπει στον προγραμματιστή blockchain να αλληλεπιδρά με το blockchain με διάφορους τρόπους. Για παράδειγμα, μπορούν να δημιουργούν πορτοφόλια για χρήστες, να στέλνουν και να λαμβάνουν πληρωμές και να ελέγχουν τα υπόλοιπα. Το API επιτρέπει επίσης στους προγραμματιστές να παρακολουθούν τις αγορές και τις τάσεις, καθώς και να δημιουργούν εφαρμογές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση τιμών ή τη διαχείριση επενδύσεων. <https://www.moesif.com/blog>

¹¹ Το Enterprise Resource Planning (ERP) σημαίνει προγραμματισμός πόρων επιχείρησης. Ο απλούστερος τρόπος για να οριστεί είναι να σκεφτείτε όλες τις βασικές επιχειρηματικές διαδικασίες που απαιτούνται για τη λειτουργία μιας εταιρείας: χρηματοδότηση, ανθρώπινο δυναμικό, παραγωγή, αλυσίδα εφοδιασμού, υπηρεσίες, προμήθειες και άλλα. Στο πιο βασικό του επίπεδο, το ERP βοηθά στην αποτελεσματική διαχείριση όλων αυτών των διαδικασιών σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα. Συχνά αναφέρεται ως το σύστημα καταγραφής του οργανισμού. <https://www.sap.com>

εξουσιοδοτούνται μετά τον έλεγχο τους από το σύστημα. Για παράδειγμα, ένας οδηγός επιτρέπεται να φορτώσει τα επικίνδυνα εμπορεύματα μόνο εάν έχει πιστοποιηθεί επιτυχώς από τον κεντρικό υπολογιστή (π.χ. τον αποστολέα των DG), και ταυτόχρονα η τοποθεσία του οδηγού πρέπει να ταιριάζει με μία από τις εγκαταστάσεις του αποστολέα. Σε περίπτωση παράβασης, αποστέλλεται συναγερμός στις αρχές και στον παραλήπτη των DG για μη συμμόρφωση.

Σε ένα τέτοιο σύστημα οι πληροφορίες παραμένουν αμετάβλητες, χάρη στις ιδιότητες του blockchain. Οι κόμβοι που φιλοξενούν το κύριο ledger είναι πλήρως αποκεντρωμένοι και το σύστημα παραμένει βιώσιμο αφού κανένας από τους τελικούς χρήστες (ενδιαφερόμενους φορείς) δεν είναι σε θέση να κλείσει ολόκληρο το σύστημα. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τις συσκευές IoT παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την κατάσταση που βρίσκονται οι διαδικασίες της μεταφοράς DG. Τέλος, οι εξουσιοδοτημένοι ενδιαφερόμενοι μπορούν να παρακολουθούν τη διαδικασία και να αποθηκεύουν με ασφάλεια τα δεδομένα τους στο σύστημα που χάρη στην αμετάβλητη τήρηση αρχείων του blockchain μπορούν να ελέγχουν όλες τις διαδικασίες και τις λειτουργίες μιας μεταφοράς επικίνδυνων φορτίων.

(Imeri, Agoulmine and Khadraoui, 2020)

4.5.2: Σύγκριση παραδοσιακού(web) τηλεμετρικού μοντέλου με σύγχρονο(blockchain)

Σε ένα παραδοσιακό τηλεμετρικό μοντέλο, βασισμένο στο διαδίκτυο, οι πληροφορίες αποστέλλονται ανά πάσα στιγμή από τους αισθητήρες στο cloud / web based system, όμως μόνο προς μία κατεύθυνση από το φορηγό προς το σύστημα παρακολούθησης. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες αποστέλλονται σε καθορισμένες χρονικές στιγμές οι οποίες ορίζονται ανάλογα με τον τύπο του προϊόντος. Σε περίπτωση

που η τιμή ενός αισθητήρα (θερμοκρασίας, υγρασίας, κλίσης) βρίσκεται εκτός ορίων (τα οποία προκαθορίζονται στο τοπικό σύστημα) οι αρμόδιοι ενημερώνονται με μήνυμα το οποίο στέλνεται αυτόματα χωρίς να τηρείται το καθορισμένο πρόγραμμα αλλά άμεσα. Άλλοι αισθητήρες ειδοποιούν όταν ανοίξει κάποια πόρτα ή αν υπάρξει αλλαγή στο βάρος οι οποίοι στέλνουν ειδοποιήσεις που εμφανίζονται σαν συναγερμός στον αποστολέα της μεταφορικής με σκοπό να λάβει τα απαραίτητα μέτρα για την εξασφάλιση της ποιότητας και της ακεραιότητας των εμπορευμάτων. Όλα τα δεδομένα καταχωρούνται στο cloud / web based system και αποθηκεύονται για ανάλυση και απόδειξη ενός γεγονότος.

Όλα τα οχήματα μεταφοράς εμπορευμάτων είναι υποχρεωτικά ασφαλισμένα, όμως το φορτίο προκειμένου να ασφαλιστεί πρέπει να προηγηθεί αίτηση από τον ιδιοκτήτη προσκομίζοντας το τιμολόγιο που φαίνεται η αξία του εμπορεύματος, η φορτωτική και η προσφορά. Το ασφαλιστήριο συμβόλαιο του φορτίου συνάπτεται για το συγκεκριμένο φορτίο στον αντίστοιχο όγκο και ποιότητα, μόνο για την διαδικασία της μεταφοράς του.

Σε περίπτωση ασφαλιστικού συμβάντος ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

1. Ο ασφαλισμένος αποστέλλει εγγράφως αξίωση κατά του ασφαλιστή επισυνάπτοντας του το πρωτότυπο ασφαλιστήριο συμβόλαιο, το πρωτόκολλο για τον έλεγχο από τον επίτροπο έκτακτης ανάγκης, τη δήλωση ευρημάτων του μεταφορέα, την επιστολή διαμαρτυρίας στον μεταφορέα, ένα packing list και τις προδιαγραφές του φορτίου.
2. Ο ασφαλιστής ελέγχει την ισχύ του ασφαλιστηρίου συμβολαίου και αναθέτει σε εμπειρογνώμονα την εκτίμηση της ζημίας και τον υπολογισμό του οφειλόμενου ποσού.
3. Ο πραγματογνώμονας ζητά πρόσθετες πληροφορίες από τον ασφαλισμένο, εάν χρειάζεται (στοιχεία από το σύστημα παρακολούθησης, από τον ταχογράφο, από την τροχιά σε περίπτωση ατυχήματος κ.λπ.).

4. Ο πραγματογνώμονας βάσει των παρεχόμενων πληροφοριών εκτιμά τη ζημία και συντάσσει έκθεση στον ασφαλιστή με την απόφασή του για την απαίτηση και το υπολογιζόμενο οφειλόμενο ποσό.
5. Ο πραγματογνώμονας υποβάλλει την έκθεσή του στον ασφαλιστή.
6. Ο Ασφαλιστής καταβάλλει το οφειλόμενο ποσό στον ιδιοκτήτη του φορτίου.

Τα μειονεκτήματα που προκύπτουν από την παραπάνω διαδικασία είναι:

- Ο κίνδυνος αντικατάστασης των πληροφοριών που συλλέχθηκαν και αποθηκεύτηκαν από τους αισθητήρες.
- Η πληθώρα εγγράφων που καλείται να συμπληρώσει ο ασφαλισμένος κατά την υποβολή της αίτησης ασφάλισης.
- Η ευθύνη του ασφαλισμένου να προσκομίσει αποδεικτικά στοιχεία για την αξία της ζημίας που υπέστη.
- Η ύπαρξη κινδύνου απάτης.
- Η επεξεργασία των πληροφοριών είναι υποκειμενική και όχι αυτοματοποιημένη, έτσι οι ειδικοί αναλύουν πολλούς παράγοντες κατά την εκτίμηση της ζημιάς με αποτέλεσμα να υπάρχει πιθανότητα διαφορετικοί εμπειρογνώμονες να καθορίσουν διαφορετικά ποσά που οφείλονται για την ίδια ζημιά.

Η χρήση του blockchain και των έξυπνων συμβολαίων μπορεί να βελτιώσει την διαδικασία επεξεργασίας των αξιώσεων. Για παράδειγμα, οι πληροφορίες που σχετίζονται με τη ζημιά, μπορούν να αποστέλλονται απευθείας από τους αισθητήρες του οχήματος σε μια αυτοματοποιημένη εφαρμογή για τη διεκπεραίωση της αξίωσης. Επίσης, ο πελάτης μπορεί να λαμβάνει ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο για τα σχετικά ασφαλιστήρια συμβόλαια που προβλέπονται από το έξυπνο συμβόλαιο. Με ένα έξυπνο συμβόλαιο και χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που παρέχονται από τον ασφαλιστή είναι δυνατή η αυτοματοποιημένη διεκπεραίωση της αξίωσης βάση μιας καθορισμένης

επιχειρηματικής λογικής. Το έξυπνο συμβόλαιο χρησιμοποιεί αυτόματα πρόσθετες πηγές (στατιστικά στοιχεία, αναφορές) για την αξιολόγηση της αξίωσης και τον υπολογισμό της ζημίας. Επιπλέον, ανάλογα με το ασφαλιστήριο συμβόλαιο, το έξυπνο συμβόλαιο μπορεί να υπολογίσει αυτόματα την προσωπική ευθύνη και αν η απαίτηση εγκριθεί, η πληρωμή στον ασφαλισμένο ξεκινά μέσω ενός έξυπνου συμβολαίου.

Για τις μεταφορές επικίνδυνων φορτίων το προτεινόμενο μοντέλο blockchain είναι αυτό του Hyperledger Fabric, το οποίο είναι ιδιωτικό blockchain. Τα βασικά πλεονεκτήματα των ιδιωτικών blockchain είναι ότι τα δεδομένα καταχωρούνται και διαβάζονται μόνο από τον κάτοχο τους, με αποτέλεσμα να παρακολουθείται ο αποστολέας της εγγραφής και όλων των προηγούμενων και να μειώνεται ο κίνδυνος ψευδών δεδομένων. Επιπλέον, έχουν χαμηλότερο κόστος και μικρότερο χρόνο επικύρωσης της κάθε συναλλαγής. Με τέτοιου είδους μοντέλα μειώνεται και ο κίνδυνος επιθέσεων καθώς οι κόμβοι επικύρωσης των συναλλαγών είναι γνωστοί και παρέχουν αυξημένο απόρρητο λόγω του ότι τα δικαιώματα ανάγνωσης μπορούν να παραχωρηθούν μόνο σε επιλεγμένους κόμβους.

Η δοκιμή του προτεινόμενου μοντέλου και η εφαρμογή του γίνεται με αποστολή αιτημάτων στο Smart Contract.

Τα πλεονεκτήματα της παραπάνω προτεινόμενης λύσης είναι ότι:

- Μειώνεται η γραφειοκρατία – οι πληροφορίες λαμβάνονται απευθείας από το blockchain.
- Μειώνεται ο χρόνος υποβολής και διεκπεραίωσης της αξίωσης.
- Προσφέρει ασφάλεια των πληροφοριών που αποθηκεύονται από τους αισθητήρες και τις προστατεύει από πιθανή πλαστογραφία.

- Ο ασφαλιστής έχει πρόσβαση στο ιστορικό προέλευσης της ζημίας, το οποίο μειώνει την πιθανότητα απάτης του ασφαλιστή όσον αφορά στη στιγμή του ασφαλιστικού συμβάντος ή τις συνθήκες που οδήγησαν σε αυτό.
- Η ενσωματωμένη επιχειρηματική λογική στο Smart Contract εξαλείφει την ανάγκη των ειδικών να εξετάζουν κάθε αξίωση (εκτός από συγκεκριμένες περιπτώσεις).

Για την οπτικοποίηση του δικτύου και για την ανάκτηση στατιστικών πληροφοριών χρησιμοποιείται ένα εργαλείο που βασίζεται στο Hyperledger Explorer. Αυτό το εργαλείο είναι μια πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα και είναι ενσωματωμένο στο Hyperledger Fabric.

Το παραπάνω μοντέλο βασίζεται στο blockchain, το IoT και ένα Smart Contract για επικίνδυνα φορτία που πρέπει να παρακολουθούνται με αισθητήρες. Πιο συγκεκριμένα, προσφέρει διαφάνεια και χρονολογική παρακολούθηση δεδομένων από τους αισθητήρες, που βρίσκονται στο φορτηγό. Επιπλέον, έχει τη δυνατότητα να στέλνει έγκαιρα σήματα στους ενδιαφερομένους όταν οι μετρήσεις των αισθητήρων υπερβούν τα καθορισμένα όρια. Παράλληλα, μειώνεται η γραφειοκρατία και το λειτουργικό κόστος του ασφαλιστή σε περίπτωση ασφαλιστικού συμβάντος, εξαλείφει την πιθανότητα απάτης και βελτιώνει την ικανοποίηση των πελατών κατά το χειρισμό των αξιώσεων. Η πειραματική υλοποίηση γίνεται σε Hyperledger Fabric και αποδεικνύει ξεκάθαρα τη δυνατότητα εφαρμογής του μοντέλου.

(Valchanov and Aleksieva, 2022)

Συμπεράσματα

Η μεταφορά επικίνδυνων υλικών είναι η πιο επικίνδυνη δραστηριότητα μεταξύ όλων των αποστολών logistics. Έτσι, σχεδόν όλες οι χώρες ρυθμίζουν τη μεταφορά επικίνδυνων υλικών με νόμους ή κανονισμούς για την προστασία τόσο των πολιτών όσο και του περιβάλλοντος. Τα επικίνδυνα υλικά μεταφέρονται κυρίως με φορτηγά και λιγότερο με τρένα και πλοία γεγονός που αποτελεί πρόκληση στον κλάδο της μεταφοράς καθώς οι οδικές μεταφορές παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά ατυχημάτων έναντι των εναλλακτικών τους.

Η συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας έχει επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τον τρόπο αντιμετώπισης των προκλήσεων που προκύπτουν από τις μεταφορές επικίνδυνων φορτίων. Τα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί εστιάζουν στην μείωση των λάθους επιλογών που κάνει ο άνθρωπος όταν δουλεύει υπό συνθήκες πίεσης ή όταν έχει να διαχειριστεί μεγάλο όγκο δεδομένων. Όπως είδαμε και παραπάνω τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων είναι προγραμματισμένα έτσι ώστε σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης να λαμβάνουν τη σωστή απόφαση στο μικρότερο δυνατό χρόνο. Άλλη μία σημαντική τεχνολογία που συμβάλει στη μείωση του χρόνου απόκρισης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης είναι αυτή του IoT. Η τεχνολογία του IoT μας βοηθάει να έχουν επίγνωση της κατάστασης των επικίνδυνων προϊόντων σε πραγματικό χρόνο, ενώ ακόμα ενημερώνουν άμεσα και με αυτόματο τρόπο τους αρμόδιους όταν οι δείκτες ξεπεράσουν τα επιτρεπόμενα όρια με σκοπό να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα. Ακόμη μία σημαντική τεχνολογία, είναι αυτή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφόρησης που μας δίνει τη δυνατότητα να επιλέξουμε την κατάλληλη διαδρομή σύμφωνα με τα κριτήρια που ορίζουμε όπως η μείωση του εκτιθέμενου πληθυσμού, η ελαχιστοποίηση της απόστασης και άλλα.

Ωστόσο, ενώ η τεχνολογία βοηθάει στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλούνται από τη μεταφορά επικίνδυνων φορτίων, παράλληλα δημιουργεί νέες προκλήσεις. Το IoT ενώ συμβάλει με μεγάλη αποτελεσματικότητα στη μείωση των συνεπειών από τη μεταφορά των επικίνδυνων φορτίων, δημιουργεί προβλήματα σχετικά με την εμπιστευτικότητα και το απόρρητο. Τέτοιου είδους προβλήματα έρχεται να λύσει η τεχνολογία του blockchain που δημιουργεί ένα αδιαπέραστο τείχος προστασίας στα δεδομένα της εκάστοτε εταιρείας από εξωτερικές απειλές.

Συμπερασματικά, η τεχνολογία μας βοηθάει να οργανώνουμε και να διαχειριζόμαστε ζητήματα που προκύπτουν από τις απαιτήσεις της εποχής που ζούμε. Πάντα υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης ώστε να επιτύχουμε καλύτερα αποτελέσματα. Ωστόσο η λύση ενός προβλήματος πολλές φορές δημιουργεί νέο κύκλο προκλήσεων και έτσι η τεχνολογία εξελίσσεται.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Health and Safety Authority (ed.) (2012) 'ADR - Carriage of Dangerous Goods by Road'. Health and Safety Authority. Available at: <https://www.hsa.ie>.

Imeri, A., Agoulmine, N. and Khadraoui, D. (2020) 'Blockchain and IoT integrated approach for a trusted and secured process to manage the transportation of dangerous goods', 10(1), p. 17.

Liu, W. *et al.* (2012) 'Dangerous goods dynamic monitoring and controlling system based on IOT and RFID', in. *Proceedings of the 2012 24th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2012*, pp. 4171–4175. Available at: <https://doi.org/10.1109/CCDC.2012.6243113>.

Özceylan, E. *et al.* (2017) 'A GIS-based risk reduction approach for the hazardous materials routing problem in Gaziantep', *Human and Ecological Risk Assessment*, 23(6), pp. 1437–1453. Available at: <https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1325713>.

Roth, P.M. *et al.* (2010) 'Automatic detection and reading of dangerous goods plates', in. *Proceedings - IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance, AVSS 2010*, pp. 580–585. Available at: <https://doi.org/10.1109/AVSS.2010.28>.

Song, Y. *et al.* (2021) 'Applications of the Internet of Things (IoT) in Smart Logistics: A Comprehensive Survey', *IEEE Internet of Things Journal*, 8(6), pp. 4250–4274. Available at: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3034385>.

Suter, G. and Bisel, A. (2006) 'Transport logistics file. Classification. Physical chemistry in the service of transport', *Info Chimie Magazine*, 43(469), pp. 42–45.

Torretta, V. *et al.* (2017) 'Decision support systems for assessing risks involved in transporting hazardous materials: A review', *Safety Science*, 92, pp. 1–9. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.09.008>.

Valchanov, H. and Aleksieva, V. (2022) 'Blockchain and IoT integration for smart transportation', in. *Journal of Physics: Conference Series*. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2339/1/012012>.

Verter, V. and Kara, B.Y. (2001) 'A GIS-based framework for hazardous materials transport risk assessment', *Risk Analysis*, 21(6), pp. 1109–1120. Available at: <https://doi.org/10.1111/0272-4332.216179>.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ADR_Plate_-_UN_1203_Gasoline.svg

<https://courses.cs.washington.edu/courses/cse455/10au/notes/MSER.pdf>

<https://cs.brown.edu/courses/csci1430/2013/proj4/>

<https://ec.europa.eu/environment/seveso/>

<https://opensource.com/resources/raspberry-pi>

<https://tapaemea.org/>

<https://unece.org/>

<https://www.hyperledger.org/use/explorer>

<https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2017/05/Hyperledger-Composer-Overview.pdf>

<https://www.moesif.com/blog/api-product-management/api-analytics/Top-8-Blockchain-APIs-For-Developers/>

<https://www.sap.com/insights/what-is-erp.html>

<https://www.techtarget.com/searchcontentmanagement/definition/OCR-optical-character-recognition>