



ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΩΝ ΑΛΥΣΙΔΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ
ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: «ΛΕΥΚΟΣ ΔΡΑΚΟΣ»**

Της

ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΔΕΣΠΟΙΝΑΣ του ΧΡΗΣΤΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑΣ: ΓΚΟΤΖΑΜΑΝΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ, ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

Υποβλήθηκε ως απαιτούμενο για την απόκτηση του μεταπτυχιακού διπλώματος στη
Διοίκηση Επιχειρήσεων

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2023

Αφιέρωση

“I believe of a world where water will one day be employed as fuel, that hydrogen and oxygen which constitute it, used singly or together, will furnish an inexhaustible source of heat and light, of an intensity of which coal is not capable.”

Julius Verne
The Mysterious Island

Περίληψη

Η ενεργειακή μετάβαση αποτελεί έναν από τους βασικούς πυλώνες εστίασης της σύγχρονης κοινωνίας, έχοντας απώτερο σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος και την υιοθέτηση αιεφόρων μορφών ενέργειας σε όλο το παραγωγικό φάσμα. Το υδρογόνο, ως ανεξάντλητη και άφθονη πηγή ενέργειας κατέχει στρατηγικό ρόλο σε αυτή τη μετάβαση, καθώς η ανάγκη για υιοθέτηση βιώσιμων πόρων και απανθρακοποίησης στον τομέα της ενέργειας και των μεταφορών, έχει οδηγήσει στην ανεύρεση μεθόδων χρήσης του υδρογόνου με πολλαπλές μορφές. Συγκεκριμένα, αναπτύσσονται διάφοροι τρόποι παραγωγής, μεταφοράς και χρήσης του τελικού προϊόντος, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας συνολικής αλυσίδας αξίας, την εφοδιαστική αλυσίδα υδρογόνου.

Στο πλαίσιο ανάπτυξης της εφοδιαστικής αλυσίδα υδρογόνου κρίσιμο στοιχείο αποτελούν οι αποτελεσματικές πρακτικές διαχείρισης, οι οποίες είναι απαραίτητες για να διασφαλιστεί η επιτυχία της. Η παρούσα μελέτη διερευνά τις βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης στην εφοδιαστική αλυσίδα υδρογόνου και τη δυνατότητα εφαρμογής τους σε ένα πραγματικό πλαίσιο. Βασιζόμενη σε μια ολοκληρωμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση, η έρευνα προσδιορίζει τις θεμελιώδεις έννοιες της διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας, τις υφιστάμενες πρακτικές διαχείρισης, τα μοναδικά χαρακτηριστικά της και την αναγκαία διεύρυνση των γνώσεων για περαιτέρω έρευνα.

Χρησιμοποιώντας μια μεθοδολογία μελέτης περίπτωσης, η έρευνα επικεντρώνεται στο έργο «Λευκός Δράκος», ένα έργο κοινού Ευρωπαϊκού ενδιαφέροντος, με έδρα τη Δυτική Μακεδονία, στα πλαίσια της εθνικού σχεδίου Δίκαιης Μετάβασης. Η μελέτη εξετάζει τις βέλτιστες πιθανές πρακτικές διαχείρισης για το έργο και αξιολογεί την αποτελεσματικότητά τους στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που προκύπτουν. Μέσω μιας λεπτομερούς ανάλυσης της μελέτης περίπτωσης, η έρευνα αποκαλύπτει ευρήματα και παρατηρήσεις που συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση της δυνατότητας εφαρμογής των πρακτικών διαχείρισης.

Τα συμπεράσματα της μελέτης προσφέρουν μια σύνοψη των αποτελεσμάτων, επισημαίνοντας τα κύρια ευρήματα και τη συμβολή τους στην τρέχουσα βιβλιογραφία για τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας υδρογόνου. Η έρευνα υπογραμμίζει τη σημασία της προσαρμογής των πρακτικών διαχείρισης στις ειδικές απαιτήσεις του υδρογόνου. Επιπλέον, η μελέτη εντοπίζει περιορισμούς στην έρευνα, όπως η μοναδική εστίαση στο έργο μεγάλης κλίμακας «Λευκός δράκος», το οποίο δεν αντιπροσωπεύει όλο το φάσμα των έργων υδρογόνου.

Υπό το πρίσμα αυτών των περιορισμών, η μελέτη προτείνει προτάσεις για περαιτέρω έρευνα, συμπεριλαμβανομένης της διερεύνησης πρόσθετων περιπτωσιολογικών μελετών και της ανάπτυξης ενός πιο ολοκληρωμένου πλαισίου για τις βέλτιστες πρακτικές στην αλυσίδα εφοδιασμού υδρογόνου. Προωθώντας την κατανόηση των αποτελεσματικών πρακτικών διαχείρισης σε αυτόν τον αναδυόμενο τομέα, η έρευνα συμβάλλει στην ανάπτυξη μιας πιο βιώσιμης και αποτελεσματικής εφοδιαστικής αλυσίδας υδρογόνου, υποστηρίζοντας τελικά τη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Abstract

The energy transition is one of the main pillars of focus for modern society, with the goal of protecting the environment and adopting sustainable forms of energy across the production spectrum. Hydrogen, as an inexhaustible and abundant energy source, has a strategic role in this transition, as the need to adopt sustainable resources and decarbonization in the energy and transport sectors has led to the discovery of methods to use hydrogen in multiple forms. In particular, different ways of producing, transporting, and using the final product are being developed, resulting in the creation of an overall value chain, the hydrogen supply chain.

Within the development of the hydrogen supply chain, effective management practices are a critical element, which are necessary to ensure its success. This study explores the best management practices in the hydrogen supply chain and their applicability in a real-world context. Based on a comprehensive literature review, the research identifies the fundamental concepts of supply chain management, existing management practices, its unique characteristics, and the need to expand knowledge for further research.

Using a case study methodology, the research focuses on the project "White Dragon", a project of common European interest, based in Western Macedonia, within the framework of the national Fair Transition project. The study examines the best possible management practices for the project and assesses their effectiveness in addressing the challenges that arise. Through a detailed analysis of the case study, the research reveals findings and observations that contribute to a better understanding of the feasibility of management practices.

The conclusions of the study offer a summary of the results, highlighting the key findings and their contribution to the current literature on hydrogen supply chain management. The research highlights the importance of tailoring management practices to the specific requirements of hydrogen. In addition, the study identifies limitations in the research, such as the singular focus on the large-scale White Dragon project, which does not represent the full range of hydrogen projects.

About these limitations, the study suggests recommendations for further research, including the exploration of additional case studies and the development of a more comprehensive framework for best practices in the hydrogen supply chain. By advancing the understanding of effective management practices in this emerging sector, the research contributes to the development of a more sustainable and efficient hydrogen supply chain, ultimately supporting the transition to a carbon-free economy.

Πίνακας Περιεχομένων

Αφιέρωση	2
Περίληψη	3
Abstract	4
1 Εισαγωγή.....	7
1.1 Θεωρητικό Υπόβαθρο, Αιτιολόγηση του Θέματος	7
1.2 Σκοπός και Σημασία της Εργασίας	8
1.3 Δομή της Εργασίας.....	9
2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	10
2.1 Βασικές έννοιες διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας	10
2.2 Πρακτικές διαχείρισης μιας εφοδιαστικής αλυσίδας.....	15
2.3 Εφοδιαστική αλυσίδα υδρογόνου	20
2.4 Βέλτιστες πρακτικές στην Εφοδιαστική Αλυσίδα υδρογόνου	25
3 Μεθοδολογία Έρευνας.....	29
3.1 Εισαγωγή.....	29
3.2 Μέθοδος Μελέτης Περίπτωσης.....	30
4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	31
4.1 Μελέτη Περίπτωσης «Λευκός Δράκος».....	31
4.2 Πρακτικές διαχείρισης στη Μελέτη Περίπτωσης.....	34
4.3 Ευρήματα και Παρατηρήσεις.....	36
5 Συμπεράσματα	37
5.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	37
5.2 Σύνδεση με τη βιβλιογραφία	38
5.3 Περιορισμοί της έρευνας	38
5.4 Βασικά ευρήματα και συμβολή της έρευνας	39
5.5 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	40
6 Βιβλιογραφικές Αναφορές	42

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 Διάγραμμα Εφοδιαστικής Αλυσίδας.....	12
Εικόνα 2 Καλές Πρακτικές Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας.....	19
Εικόνα 3 Η εφοδιαστική αλυσίδα του υδρογόνου	24
Εικόνα 4 Σχεδιασμός εφοδιαστικής αλυσίδας με χρήση πράσινου υδρογόνου.....	32
Εικόνα 5 Σχεδιασμός αλυσίδας έργου.....	34

1 Εισαγωγή

Η οικονομία του υδρογόνου έχει αποκτήσει σημαντική δυναμική τα τελευταία χρόνια, καθώς όλο και περισσότερες χώρες και βιομηχανίες αναγνωρίζουν το υδρογόνο ως βιώσιμη εναλλακτική λύση έναντι των ορυκτών καυσίμων. Η μετάβαση προς ένα ενεργειακό σύστημα με βάση το υδρογόνο απαιτεί την ανάπτυξη αποδοτικών και αποτελεσματικών αλυσίδων εφοδιασμού για την παραγωγή του υδρογόνου και την μεταφορά του στους τελικούς χρήστες. Η παρούσα έρευνα αποσκοπεί στη διερεύνηση των βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας υδρογόνου με σκοπό τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, της βιωσιμότητας και της ανταγωνιστικότητας της οικονομίας του υδρογόνου.

1.1 Θεωρητικό Υπόβαθρο, Αιτιολόγηση του Θέματος

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι μια κρίσιμη πτυχή κάθε παραγωγικής διαδικασίας, καθώς περιλαμβάνει το συντονισμό και την ολοκλήρωση διαφόρων διαδικασιών και δραστηριοτήτων από διάφορους ενδιαφερόμενους φορείς, από την προμήθεια πρώτων υλών έως την παράδοση στον τελικό χρήστη, όπως επισημαίνουν οι Tan et al. (1998). Επίσης τονίζουν ότι στο πλαίσιο αυτό, έχουν αναπτυχθεί καλές πρακτικές και μέθοδοι για την διαχείριση μιας εφοδιαστικής αλυσίδας.

Σύμφωνα με τους Ketchen and Hult (2017), με την αυξανόμενη έμφαση στη βιωσιμότητα και τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, οι βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης σε μια εφοδιαστική αλυσίδα έχουν αναδειχθεί σε βασικό παράγοντα επιχειρηματικής επιτυχίας και βελτιστοποίησης της απόδοσης. Όσον αφορά την εφοδιαστική αλυσίδα υδρογόνου, η υιοθέτηση πρακτικών διαχείρισης μπορεί να ενισχύσει σημαντικά τη συνολική αποδοτικότητα και βιωσιμότητα της οικονομίας του υδρογόνου, συμβάλλοντας στις παγκόσμιες προσπάθειες για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και τη μετάβαση σε ένα μέλλον χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Η παγκόσμια ώθηση για βιώσιμες ενεργειακές λύσεις έχει οδηγήσει στην εξερεύνηση και υιοθέτηση διαφόρων εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Οι Li et al. (2019) τονίζουν ότι το υδρογόνο, ως καθαρή και άφθονη πηγή, αποτελεί βασικό στοιχείο των ενεργειακών συστημάτων τόσο για την ευελιξία των εφαρμογών του όσο και για την ανάπτυξη του σε έργα μεγάλης κλίμακας. Η χρήση του υδρογόνου σε μονάδες ενεργειακών συστημάτων προσφέρει πολυάριθμα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη, ιδίως στο πλαίσιο της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της προώθησης της εθνικής ενεργειακής ανεξαρτησίας. Σε αυτή την κατεύθυνση, κρίσιμο ρόλο θα διαδραματίσει η ανάπτυξη έργων μεγάλης κλίμακας. Το έργο «Λευκός Δράκος» που βρίσκεται σε φάση αρχικού σχεδιασμού, στην Δυτική Μακεδονία, αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας φιλόδοξης πρωτοβουλίας που αποσκοπεί στην αξιοποίηση του δυναμικού του υδρογόνου ως βασικού συστατικού ενός πράσινου ενεργειακού μέλλοντος.

Το θεωρητικό υπόβαθρο της παρούσας έρευνας εδράζεται στις πρακτικές διαχείρισης εφοδιαστικών αλυσίδων, στα ενεργειακά συστήματα και στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Η μελέτη επιδιώκει να αναλύσει τις βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης σε συστήματα εφοδιαστικής αλυσίδας υδρογόνου. Καθώς η τεχνολογία υδρογόνου και η

αγορά υδρογόνου συνεχίζουν να εξελίσσονται, η κατανόηση των βέλτιστων πρακτικών στη διαχείριση των αλυσίδων εφοδιασμού υδρογόνου είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχία έργων μεγάλης κλίμακας όπως ο «Λευκός Δράκος».

Παράλληλα, στην κατεύθυνση της βιωσιμότητας και αποδοτικότητας των παραγωγικών διαδικασιών έχει αναπτυχθεί δραστικά η έννοια της πράσινης διαχείρισης εφοδιαστικών αλυσίδων, όπως αναλύει ο Blanchard (2007). Με σκοπό τη βιωσιμότητα, η έννοιά αυτή επικεντρώνεται στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τη μείωση των αποβλήτων και την προώθηση της κοινωνικής ευθύνης, δίνοντας προτεραιότητα στις φιλικές προς το περιβάλλον πρακτικές, στην αποδοτικότητα των πόρων και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Οι Mohamadreza et al. (2020), επισημαίνουν ότι η εφοδιαστική αλυσίδα υδρογόνου και η ανάπτυξη αυτής, θα οδηγήσει σε μια βιώσιμη κοινωνία, με την παράλληλη ενσωμάτωση στο σχεδιασμό των δικτύων παραγωγής των περιβαλλοντικών και κοινωνικών παραγόντων ευθύνης. Στη διεθνή ανταγωνιστική αγορά, αυτό το πλεονέκτημα της αλυσίδας υδρογόνου θα μπορούσε να θεωρηθεί το κλειδί της επιτυχίας, ώστε να αυξηθεί περαιτέρω η διεθνής ζήτηση του προϊόντος και η ευαισθητοποίηση της κοινωνίας στη χρήση φιλικών προς το περιβάλλον καυσίμων.

Η αιτιολόγηση για την εστίαση σε αυτό του έργου κοινού ενδιαφέροντος της ΕΕ προκύπτει από τον φιλόδοξο χαρακτήρα του, καθώς περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών υδρογόνου σε διάφορους τομείς, όπως η βιομηχανία, οι μεταφορές και η αποθήκευση ενέργειας. Προκειμένου να διασφαλιστεί η αποτελεσματική και βιώσιμη υλοποίηση του έργου «Λευκός Δράκος», είναι απαραίτητο να εντοπιστούν και να υιοθετηθούν οι βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης στη διαχείριση της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου για την αποτελεσματική διαχείριση των αλυσίδων εφοδιασμού υδρογόνου στο πλαίσιο ενεργειακών έργων μεγάλης κλίμακας.

1.2 Σκοπός και Σημασία της Εργασίας

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να διερευνήσει τις βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης στην εφοδιαστική αλυσίδα υδρογόνου, εξετάζοντας το έργο «Λευκός Δράκος» ως μελέτη περίπτωσης. Δεδομένου του αυξανόμενου παγκόσμιου ενδιαφέροντος για το υδρογόνο ως καθαρή πηγή ενέργειας και των σημαντικών επενδύσεων στο έργο που πρόκειται να υλοποιηθεί, είναι ζωτικής σημασίας να κατανοήσουμε τις βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης που μπορούν να εφαρμοστούν για τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας, των περιβαλλοντικών οφελών και της συνολικής επιτυχίας ενός τέτοιου εγχειρήματος.

Η σημασία της παρούσας μελέτης έγκειται στη δυνατότητά της να συμβάλει στον αυξανόμενο όγκο γνώσεων σχετικά με τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας υδρογόνου και να παράσχει πολύτιμες γνώσεις στους ενδιαφερόμενους που εμπλέκονται στην ανάπτυξη και υλοποίηση παρόμοιων έργων παγκοσμίως. Επιπλέον, τα ευρήματα της έρευνας μπορούν να βοηθήσουν στην ενημέρωση των φορέων χάραξης πολιτικής και των ηγετών του κλάδου, σχετικά με τις στρατηγικές και τις πρακτικές που απαιτούνται για να διασφαλιστεί η επιτυχής ενσωμάτωση των ενεργειακών συστημάτων υδρογόνου στο ευρύτερο ενεργειακό τοπίο.

Συνεπώς, προκειμένου να επιτευχθεί η κατανόηση του θέματος, αναπτύσσεται το βασικό ερευνητικό ερώτημα:

- Ποιες είναι οι βέλτιστες πρακτικές στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας που μπορούν να εφαρμοστούν στον τομέα του υδρογόνου;

Επιπροσθέτως, για την επίτευξη του σκοπού της παρούσας μελέτης, θα εξεταστούν τα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

- Πώς μπορούν να συνδυαστούν βέλτιστα οι κεντρικές και οι αποκεντρωμένες μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου, ώστε να διασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα και η ανθεκτικότητα της αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου;
- Ποιες είναι οι βασικές εκτιμήσεις για την ανάπτυξη ενός ισχυρού δικτύου μεταφοράς υδρογόνου και υποδομής ανεφοδιασμού στο πλαίσιο του έργου «Λευκός Δράκος»;
- Πώς μπορεί το έργο Λευκός Δράκος να ενσωματωθεί αποτελεσματικά με τα υφιστάμενα συστήματα μεταφοράς φυσικού αερίου και να συμβάλει στην ανάπτυξη μιας ευρωπαϊκής ραχοκοκαλιάς υδρογόνου;
- Ποιες στρατηγικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προώθηση της συνεργασίας και της έρευνας μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών, προωθώντας ένα συνεργατικό περιβάλλον για την ανάπτυξη της βιομηχανίας υδρογόνου στην Ελλάδα και πέραν αυτής;
- Ποια μέτρα ασφάλειας και συμμόρφωσης είναι απαραίτητα για την επιτυχή υλοποίηση και διαχείριση των αλυσίδων εφοδιασμού υδρογόνου, ειδικά σε σχέση με τη μεταφορά και τη χρήση του υδρογόνου ως καυσίμου;

Με την αντιμετώπιση αυτών των ερευνητικών ερωτημάτων, η μελέτη αποσκοπεί στην παροχή μιας ολοκληρωμένης κατανόησης των βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας υδρογόνου και την εφαρμογή τους στο πλαίσιο της μελέτης περίπτωσης που διερευνάται.

1.3 Δομή της Εργασίας

Η δομή της παρούσας εργασίας χωρίζεται σε πέντε κύριες ενότητες, οι οποίες αναλύονται ως εξής:

Η πρώτη ενότητα παρέχει μια ολοκληρωμένη εισαγωγή, συζητώντας το θεωρητικό υπόβαθρο, την αιτιολόγηση του θέματος, τον σκοπό και τη σημασία της μελέτης, μαζί με τα ερευνητικά ερωτήματα. Αυτή η ενότητα καθορίζει το πλαίσιο και τα κίνητρα της έρευνας, τονίζοντας την αυξανόμενη σημασία του υδρογόνου ως πράσινη πηγή ενέργειας και την ανάγκη για την υιοθέτηση καλών πρακτικών για την αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας υδρογόνου.

Η δεύτερη ενότητα είναι μια βιβλιογραφική ανασκόπηση που καλύπτει τις βασικές έννοιες μιας εφοδιαστικής αλυσίδας, εστιάζοντας στις πρακτικές διαχείρισης και στην ανάπτυξη των βέλτιστων πρακτικών που προκύπτουν για την εφοδιαστική αλυσίδα του υδρογόνου. Στην ενότητα αυτή γίνεται ανασκόπηση των σχετικών ερευνών και θεωριών, ώστε να δημιουργηθούν τα θεμέλια για την ανάλυση του έργου κοινού ευρωπαϊκού

ενδιαφέροντος «Λευκός Δράκος». Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση θα χρησιμοποιηθούν για να καθοδηγήσουν τα ερευνητικά ερωτήματα και τη μεθοδολογία της μελέτης.

Στο τρίτο τμήμα της εργασίας παρουσιάζεται η μεθοδολογία της έρευνας, η οποία βασίζεται στη προσέγγιση με τη μέθοδο της μελέτης περίπτωσης. Η ενότητα αυτή αναλύει τη επιλογή για τη χρήση της μεθοδολογίας της μελέτης περίπτωσης, συζητά τις μεθόδους συλλογής δεδομένων και περιγράφει τα βήματα που έγιναν για να διασφαλιστεί η εγκυρότητα και η αξιοπιστία της έρευνας. Η εστίαση στο έργο «Λευκός Δράκος» ως μελέτη περίπτωσης επιτρέπει τη διερεύνηση των υφιστάμενων βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας υδρογόνου σε ένα πραγματικό πλαίσιο.

Στην τέταρτη ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας, συμπεριλαμβανομένης της λεπτομερούς εξέτασης του έργου «Λευκός Δράκος», των βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης που προτείνονται στο πλαίσιο του έργου, καθώς και των ευρημάτων και παρατηρήσεων που προέκυψαν από την ανάλυση. Τέλος στην πέμπτη ενότητα συζητούνται τα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα της έρευνας για τη βιομηχανία υδρογόνου και τον ευρύτερο ενεργειακό τομέα, καθώς και η παροχή συστάσεων για την αποτελεσματική διαχείριση των αλυσίδων εφοδιασμού υδρογόνου σε παρόμοια έργα.

2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Βασικές έννοιες διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνει τις διάφορες δραστηριότητες και διαδικασίες που εμπλέκονται στην παραγωγή, τη διακίνηση και την τελική κατανάλωση προϊόντων και υπηρεσιών, από τις πρώτες ύλες έως τους τελικούς καταναλωτές (Tan et al., 2008). Η παρούσα ενότητα παρέχει μια επισκόπηση των θεμελιωδών εννοιών της εφοδιαστικής αλυσίδας, οι οποίες περιλαμβάνουν την αλυσίδα εφοδιασμού, τους στόχους της, τα συστατικά της στοιχεία και τις διάφορες προσεγγίσεις για την αποτελεσματική διαχείρισή της.

Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι ένα δίκτυο διασυνδεδεμένων οργανισμών, εγκαταστάσεων και διαδικασιών που συνεργάζονται για την παραγωγή, μετατροπή και παράδοση προϊόντων και υπηρεσιών στους καταναλωτές (Chen and Paulraj, 2004). Καλύπτει ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, από την εξόρυξη πρώτων υλών έως την κατασκευή, τη διανομή, την κατανάλωση και τη διάθεση. Σύμφωνα με τους Chen and Paulraj (2004), πολλαπλοί παράγοντες έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη της και την εδραίωση της ως υψίστης σημασίας για την βελτιστοποίηση της απόδοσης των επιχειρήσεων, όπως η επανάσταση της ποιότητας, η αύξηση του ενδιαφέροντος για τις βιομηχανικές αγορές και τα δίκτυα και η έννοια της ολοκληρωμένης εφοδιαστικής αλυσίδας.

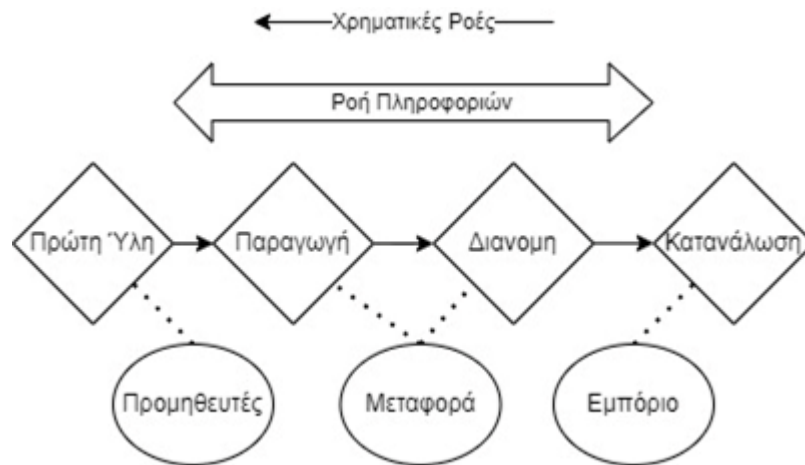
Όσον αφορά της διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, οι Mentzer et al. (2001), την προσδιορίζουν ως ένα στρατηγικό και συστηματικό συγχρονισμό όλων των παραδοσιακών επιχειρηματικών λειτουργιών και τις επιμέρους πρακτικές αυτών, με σκοπό την βελτίωση της απόδοσης σε όλο το μήκος μιας εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπροσθέτως, αναπτύσσεται και η έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας βέλτιστης αξίας, η οποία αφορά τη στρατηγική διαχείριση με σκοπό την ευημερία των επιχειρήσεων σε ένα σύγχρονο ανταγωνιστικό περιβάλλον, ως προς όρους ταχύτητας, ποιότητας, κόστους και ευελιξίας, όπως αναλύουν οι Ketchen and Hult (2017).

Οι πρωταρχικοί στόχοι της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας, η ελαχιστοποίηση του κόστους και η εξασφάλιση της ικανοποίησης των πελατών (Μπύρος, 2013). Οι στόχοι αυτοί επιτυγχάνονται με το συντονισμό των διαφόρων δραστηριοτήτων κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένων των προμηθειών, της παραγωγής, της μεταφοράς, της αποθήκευσης και της διανομής. Η αποτελεσματική διαχείριση απαιτεί επίσης την ολοκλήρωση των ροών πληροφοριών, οικονομικών και υλικών σε ολόκληρη την αλυσίδα.

Σύμφωνα με τον Blanchard (2007), η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελείται από διάφορα βασικά στοιχεία:

- Προμήθειες: Η διαδικασία απόκτησης πρώτων υλών, εξαρτημάτων και συστατικών από τους προμηθευτές. Η αποτελεσματική προμήθεια περιλαμβάνει την προμήθεια υλικών υψηλής ποιότητας με το χαμηλότερο δυνατό κόστος και τη διατήρηση καλών σχέσεων με τους προμηθευτές για να διασφαλιστεί η σταθερή προμήθεια.
- Παραγωγή: Η μετατροπή των πρώτων υλών σε τελικά προϊόντα ή υπηρεσίες. Οι αποτελεσματικές διαδικασίες παραγωγής είναι ζωτικής σημασίας για την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, τη μείωση του κόστους και την ικανοποίηση της ζήτησης των πελατών.
- Αποθήκευση: Η αποθήκευση των πρώτων υλών, των αποθεμάτων εργασίας σε εξέλιξη και των τελικών προϊόντων πριν από την αποστολή τους στους πελάτες. Οι αποτελεσματικές στρατηγικές αποθήκευσης περιλαμβάνουν τη βελτιστοποίηση του αποθηκευτικού χώρου, τη μείωση του κόστους διατήρησης και τη διασφάλιση ότι τα προϊόντα είναι εύκολα προσβάσιμα όταν χρειάζονται.
- Μεταφορά: Η μετακίνηση πρώτων υλών, αποθεμάτων σε εξέλιξη και τελικών προϊόντων από μια τοποθεσία σε μια άλλη. Τα αποδοτικά συστήματα μεταφοράς ελαχιστοποιούν το κόστος, εξασφαλίζουν την έγκαιρη παράδοση και μειώνουν τον κίνδυνο ζημιών στα προϊόντα.
- Διανομή: Η διαδικασία παράδοσης των προϊόντων στους πελάτες, συμπεριλαμβανομένης της εκτέλεσης των παραγγελιών, της συσκευασίας και της αποστολής. Τα αποτελεσματικά συστήματα διανομής ελαχιστοποιούν το κόστος

και διασφαλίζουν ότι οι πελάτες παραλαμβάνουν τις παραγγελίες τους εγκαίρως και σε καλή κατάσταση.



Εικόνα 1 Διάγραμμα Εφοδιαστικής Αλυσίδας

(Πηγή: Blanchard, 2007)

Στην έρευνα τους, οι Tan et al. (1998), τονίζουν ότι η έννοια της διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού έχει εξελιχθεί με την πάροδο του χρόνου, με τις ρίζες της να ανάγονται στη δεκαετία του 1980, όταν οι επιχειρήσεις άρχισαν να αναγνωρίζουν τη σημασία της ενοποίησης των εσωτερικών λειτουργιών τους για τη βελτίωση της απόδοσης.

Ορισμένες από τις γενικές βασικές αρχές που διέπουν την έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνουν:

- Συνεργασία: Η αποτελεσματική διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού βασίζεται στην ισχυρή συνεργασία μεταξύ όλων των ενδιαφερόμενων μερών, συμπεριλαμβανομένων των προμηθευτών, των κατασκευαστών, των διανομέων, των λιανοπωλητών και των τελικών πελατών. Αυτή η συνεργασία είναι απαραίτητη για την ευθυγράμμιση των στόχων, την ανταλλαγή πληροφοριών και τη συνεργασία για τη βελτιστοποίηση ολόκληρης της αλυσίδας εφοδιασμού (Van Wassenhove, 2006).
- Ολοκλήρωση: Η ολοκλήρωση αναφέρεται στη διαδικασία συνδυασμού διαφορετικών στοιχείων της αλυσίδας εφοδιασμού για τη δημιουργία ενός συνεκτικού συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει την ενσωμάτωση των εσωτερικών λειτουργιών ενός οργανισμού, όπως οι προμήθειες, η παραγωγή και η εφοδιαστική, καθώς και τη σύνδεση εξωτερικών εταίρων, όπως οι προμηθευτές και οι πελάτες (Πάππου, 2022).
- Ορατότητα: Η ορατότητα στην αλυσίδα εφοδιασμού είναι ζωτικής σημασίας για τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και τον εντοπισμό πιθανών σημείων συμφόρησης ή αναποτελεσματικότητας. Αυτό απαιτεί πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο σε ακριβείς πληροφορίες σχετικά με τα επίπεδα αποθεμάτων, τα

χρονοδιαγράμματα παραγωγής, την κατάσταση των μεταφορών και τη ζήτηση των πελατών (Kalaiarasan et al., 2022).

- **Ευελιξία:** Η ικανότητα προσαρμογής στις αλλαγές της ζήτησης, της προσφοράς ή άλλων εξωτερικών παραγόντων είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση μιας αποτελεσματικής αλυσίδας εφοδιασμού. Η ευελιξία μπορεί να επιτευχθεί με διάφορα μέσα, όπως η εφαρμογή ευέλικτων διαδικασιών παραγωγής, η διατήρηση μιας ποικιλόμορφης βάσης προμηθευτών και η εφαρμογή προηγμένων τεχνικών διαχείρισης αποθεμάτων (Cohen and Roussef, 2013).
- **Διαχείριση κινδύνων:** Οι αλυσίδες εφοδιασμού είναι εκτεθειμένες σε διάφορους κινδύνους, συμπεριλαμβανομένων των διαταραχών στην προμήθεια πρώτων υλών, των φυσικών καταστροφών, των γεωπολιτικών εντάσεων και των διακυμάνσεων της ζήτησης (Althaf and Babbitt, 2021). Η αποτελεσματική διαχείριση κινδύνων περιλαμβάνει τον εντοπισμό και την αξιολόγηση των πιθανών κινδύνων, την ανάπτυξη στρατηγικών για τον μετριασμό τους και την παρακολούθηση της αλυσίδας εφοδιασμού για τις αναδυόμενες απειλές.
- **Βιωσιμότητα:** Οι επιχειρήσεις αναγνωρίζουν ολοένα και περισσότερο τη σημασία της ενσωμάτωσης της βιωσιμότητας στις πρακτικές διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού τους. Αυτό περιλαμβάνει την εξέταση των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων των δραστηριοτήτων της αλυσίδας εφοδιασμού και την εφαρμογή στρατηγικών για τη μείωση των αποβλήτων, τη διατήρηση των πόρων και την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στους ανθρώπους και το περιβάλλον (Θεοχάρη, 2022).
- **Συνεχής βελτίωση:** Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι μια συνεχής διαδικασία που απαιτεί συνεχή αξιολόγηση και βελτίωση για να παραμείνει ανταγωνιστική. Οι οργανισμοί πρέπει να δεσμεύονται για τη συνεχή βελτίωση των διαδικασιών της αλυσίδας εφοδιασμού τους με τη μέτρηση των επιδόσεων, τον εντοπισμό της αναποτελεσματικότητας και την εφαρμογή βέλτιστων πρακτικών (Gunasekaran, Patel, and Tirtiroglu, 2001).
- **Εστίαση στον πελάτη:** Σε τελική ανάλυση, ο σκοπός της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η παροχή αξίας στον τελικό πελάτη. Αυτό απαιτεί από τους οργανισμούς να υιοθετήσουν μια προσέγγιση που δίνει προτεραιότητα στις ανάγκες, τις προτιμήσεις και τις προσδοκίες των πελατών κατά τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την αλυσίδα εφοδιασμού (Αυγέρη, 2017).

Οι αρχές αυτές αποτελούν το θεμέλιο για την ανάπτυξη μιας αποτελεσματικής διαχείρισης στην εφοδιαστική αλυσίδα οι οποίες εφαρμόζονται σε διάφορες βιομηχανίες και σε ένα εύρος τομέων. Ωστόσο, οι συγκεκριμένες προκλήσεις και ευκαιρίες που αντιμετωπίζουν οι οργανισμοί κατά τη διαχείριση των αλυσίδων εφοδιασμού τους ποικίλλουν ανάλογα με παράγοντες όπως η φύση των προϊόντων τους, η πολυπλοκότητα των δικτύων εφοδιασμού τους και το επίπεδο μεταβλητότητας της ζήτησης (Nassimbeni, 1998).

Οι τεχνολογικές εξελίξεις έχουν μεταμορφώσει το τοπίο της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ψηφιακά εργαλεία και πλατφόρμες, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η μηχανική μάθηση και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), έχουν δώσει τη δυνατότητα στους οργανισμούς να βελτιστοποιήσουν τις αλυσίδες εφοδιασμού τους βελτιώνοντας την ορατότητα, ενισχύοντας τη συνεργασία και αυτοματοποιώντας τις χειροκίνητες διαδικασίες. Οι τεχνολογίες αυτές έχουν επίσης διευκολύνει την εμφάνιση νέων επιχειρηματικών μοντέλων και στρατηγικών, όπως η λιανική πώληση μέσω παντός καναλιού και οι εφοδιαστικές αλυσίδες με γνώμονα τη ζήτηση, οι οποίες έχουν αναδιαμορφώσει περαιτέρω τον τρόπο με τον οποίο οι επιχειρήσεις διαχειρίζονται τις λειτουργίες της εφοδιαστικής τους αλυσίδας (Hassija et al., 2020).

Όπως αναφέρει ο Blanchard (2007), με τη ταχύτατη εξέλιξη των υπολογιστών και των λογισμικών, έχουν εξελιχθεί και τα ψηφιακά εργαλεία απόδοσης που επιτρέπουν στις επιχειρήσεις να αποκτήσουν πρόσβαση σε πληθώρα δεδομένων που σχετίζονται με την εφοδιαστική τους αλυσίδα μέσω των συστημάτων τους, αλλά και να εξάγουν σημαντικές πληροφορίες για την τρέχουσα εικόνα των λειτουργιών τους. Το λογισμικό επιχειρηματικής νοημοσύνης έχει κοινή ρίζα με το λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης, υπό την έννοια της δομής τους με κανόνες, την εστίαση στην ανάλυση των δεδομένων και την ενίσχυση της λήψης αποφάσεων. Η επιχειρηματική νοημοσύνη ενοποιεί τα δεδομένα από όλους τους τομείς, όπως το ευρύτερο φάσμα μιας εφοδιαστικής αλυσίδας, τα αναλύει με βάση κατευθυντήριες στρατηγικές και τα παρουσιάζει ως προς τον αντίκτυπο στην απόδοση. Εν κατακλείδι, προσφέρει μία ξεκάθαρη οπτική ολόκληρης της αλυσίδας εφοδιασμού, με έμφαση όχι απλώς στη συλλογή των δεδομένων αλλά και στην μετάφραση αυτών.

Οι Rao and Holt (2005), αναλύουν τον σημαντικό ρόλο που διαδραματίζουν οι πράσινες και βιώσιμες αλυσίδες εφοδιασμού, οι οποίες επικεντρώνονται στην ελαχιστοποίηση του οικολογικού αποτυπώματος των επιχειρήσεων με τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων, τη μείωση των αποβλήτων και τον μετριασμό των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Με την ενσωμάτωση βιώσιμων πρακτικών, οι εταιρείες μπορούν να ενισχύσουν τη λειτουργική αποδοτικότητα, να μειώσουν το κόστος και να βελτιώσουν τη φήμη του εμπορικού σήματος. Τα βασικά στοιχεία των πράσινων αλυσίδων εφοδιασμού περιλαμβάνουν την ηθική προμήθεια πρώτων υλών, τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την προώθηση φιλικών προς το περιβάλλον συσκευασιών και την υιοθέτηση των αρχών της κυκλικής οικονομίας. Δίνοντας έμφαση στη διαφάνεια και τη συνεργασία, αυτές οι αλυσίδες εφοδιασμού ενισχύουν τις μακροπρόθεσμες σχέσεις μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών, προωθώντας την καινοτομία και δημιουργώντας ανταγωνιστικό πλεονέκτημα.

Ακολουθώντας τις βασικές αρχές της συνεργασίας, της ολοκλήρωσης, της ορατότητας, της ευελιξίας, της διαχείρισης κινδύνων, της βιωσιμότητας, της συνεχούς βελτίωσης και της εστίασης στον πελάτη, οι οργανισμοί μπορούν να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τις αλυσίδες εφοδιασμού και να δημιουργούν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην αγορά. Επιπλέον, οι ραγδαίες εξελίξεις στην τεχνολογία έχουν επιτρέψει στις επιχειρήσεις να αξιοποιήσουν ψηφιακά εργαλεία και πλατφόρμες για την περαιτέρω βελτιστοποίηση των λειτουργιών της εφοδιαστικής αλυσίδας, οδηγώντας σε βελτιωμένη αποδοτικότητα, μειωμένο κόστος και αυξημένη ικανοποίηση των πελατών.

Καθώς η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας συνεχίζει να εξελίσσεται, οι οργανισμοί πρέπει να παραμένουν ευέλικτοι και να ανταποκρίνονται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες της αγοράς, τις προτιμήσεις των πελατών και τις αναδυόμενες τεχνολογίες. Αυτό απαιτεί δέσμευση για συνεχή μάθηση, καινοτομία και προσαρμογή, καθώς και προθυμία για υιοθέτηση νέων ιδεών και βέλτιστων πρακτικών ώστε να παραμείνουν μπροστά από τον ανταγωνισμό. Με τον τρόπο αυτό, οι επιχειρήσεις μπορούν όχι μόνο να επιτύχουν λειτουργική αριστεία στη διαχείριση της εφοδιαστικής τους αλυσίδας, αλλά και να δημιουργήσουν μακροπρόθεσμη αξία για τα ενδιαφερόμενα μέρη τους και να συμβάλουν θετικά στο ευρύτερο κοινωνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό τοπίο.

2.2 Πρακτικές διαχείρισης μιας εφοδιαστικής αλυσίδας

Με την πάροδο των ετών, έχουν αναπτυχθεί και εφαρμοστεί διάφορες πρακτικές διαχείρισης για τη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας, της αποτελεσματικότητας και της βιωσιμότητας μιας εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι πρακτικές αυτές αποσκοπούν στη βελτίωση της λήψης αποφάσεων, στην ανάπτυξη των λειτουργιών και στη μείωση του κόστους (Blanchard, 2007).

Υπάρχουν στρατηγικές κατευθυντήριες για την υιοθέτηση πρακτικών διαχείρισης σε μία εφοδιαστική αλυσίδα, όπως εξηγεί ο Blanchard (2007). Οι στρατηγικές αυτές αφορούν την συνεργασία μεταξύ όλων των μερών της αλυσίδας, την ασφάλεια και τη βιωσιμότητα αυτής καθώς και τη συνεχή βελτίωση.

Παρακάτω αναφέρονται οι πιο σημαντικές πρακτικές διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας.

Λιτή διαχείριση: Η λιτή διαχείριση, είναι μια φιλοσοφία διαχείρισης που επικεντρώνεται στην ελαχιστοποίηση της σπατάλης καθώς και των αποθεμάτων με παράλληλη μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας. Η πρακτική αυτή δίνει έμφαση στη συνεχή βελτίωση, την εξάλειψη της σπατάλης και την αποτελεσματική χρήση των πόρων. Με την υιοθέτηση των αρχών της λιτής διαχείρισης, οι οργανισμοί εφοδιαστικής αλυσίδας μπορούν να μειώσουν τους χρόνους παράδοσης, να μειώσουν τα επίπεδα αποθεμάτων και να βελτιώσουν τη συνολική επιχειρησιακή αποδοτικότητα (Τσιοπούλου, 2022).

Διαχείριση αποθεμάτων Just-In-Time (JIT): Η διαχείριση αποθεμάτων Just-In-Time (JIT) είναι μια τεχνική διαχείρισης αποθεμάτων που αποσκοπεί στη μείωση του κόστους κράτησης και της σπατάλης διασφαλίζοντας ότι τα υλικά παραδίδονται ή παράγονται μόνο όταν χρειάζονται. Η προσέγγιση αυτή ελαχιστοποιεί τα επίπεδα αποθεμάτων και εξαλείφει την ανάγκη για μεγάλες αποθήκες, μειώνοντας έτσι το κόστος και αυξάνοντας τη συνολική αποδοτικότητα. Η Just-In-Time (JIT) απαιτεί ισχυρές σχέσεις με τους προμηθευτές, ακριβή πρόβλεψη της ζήτησης και αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ των εταίρων της αλυσίδας εφοδιασμού για να λειτουργήσει απρόσκοπτα (Singh & Singh, 2013).

Διοίκηση ολικής ποιότητας (Total Quality Management [TQM]): Η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας είναι μια διοικητική πρακτική που αποσκοπεί στη συνεχή βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων και των διαδικασιών. Η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας

περιλαμβάνει μια δέσμευση για την ποιότητα σε ολόκληρη την εταιρεία, η οποία περιλαμβάνει όλες τις πτυχές του οργανισμού, από τον σχεδιασμό και την παραγωγή έως τη διανομή και την εξυπηρέτηση των πελατών. Με την ενσωμάτωση των αρχών της συγκεκριμένης πρακτικής, οι οργανισμοί της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα των προϊόντων, να μειώσουν τα ελαττώματα και να αυξήσουν την ικανοποίηση των πελατών (Θεοχάρη, 2022).

Ολοκληρωμένη αλυσίδα εφοδιασμού: Η ολοκλήρωση της αλυσίδας εφοδιασμού (Supply Chain Integration [SCI]) αναφέρεται στη στενή συνεργασία και τον συντονισμό μεταξύ των διαφόρων εταίρων της αλυσίδας εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένων των προμηθευτών, των κατασκευαστών, των διανομέων και των λιανοπωλητών. Η πρακτική αυτή περιλαμβάνει την ανταλλαγή πληροφοριών, πόρων και δυνατοτήτων για τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης της αλυσίδας εφοδιασμού. Με την εφαρμογή της συγκεκριμένης πρακτικής, οι οργανισμοί μπορούν να μειώσουν τους χρόνους παράδοσης, να βελτιώσουν την ορατότητα και να ελαχιστοποιήσουν τις διαταραχές, με αποτέλεσμα μια πιο ευέλικτη αλυσίδα εφοδιασμού (Fabbe-Costes & Jahre, 2008).

Διαχειριζόμενα αποθέματα από προμηθευτές (Vendor Managed Inventory [VMI]): Πρόκειται για μια πρακτική διαχείρισης κατά την οποία ο προμηθευτής αναλαμβάνει την ευθύνη για τη διαχείριση των επιπέδων αποθεμάτων των πελατών του. Με την παρακολούθηση των δεδομένων πωλήσεων και των επιπέδων αποθεμάτων, οι προμηθευτές μπορούν να βελτιστοποιήσουν τα χρονοδιαγράμματα αναπλήρωσης και να αποτρέψουν τα αποθέματα. Επιπλέον, επιτρέπει μια πιο αποτελεσματική αλυσίδα εφοδιασμού, μειώνοντας το κόστος αποθεμάτων και ενισχύοντας τη συνεργασία μεταξύ προμηθευτών και πελατών (Claassen, Van Weele, & Van Raaij, 2008).

Βιώσιμη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού: Η αειφόρος διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού είναι μια αναδυόμενη πρακτική που επικεντρώνεται στην ενσωμάτωση περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών εκτιμήσεων στις αποφάσεις της αλυσίδας εφοδιασμού. Με την υιοθέτηση των αρχών της βιώσιμης διαχείρισης, οι οργανισμοί μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τις αρνητικές επιπτώσεις των λειτουργιών τους στο περιβάλλον και την κοινωνία, βελτιώνοντας παράλληλα τις συνολικές τους επιδόσεις. Οι βασικές πτυχές αυτής της πρακτικής περιλαμβάνουν την υπεύθυνη προμήθεια, τη φιλική προς το περιβάλλον συσκευασία, τη μείωση των αποβλήτων και την ενεργειακά αποδοτική μεταφορά (Βερανούδης, 2022).

Ασφάλεια και διαχείριση κινδύνων: Ένα αποτελεσματικό σχέδιο ασφάλειας προαπαιτεί την στρατηγική θεώρηση των δραστηριοτήτων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η διαχείριση απρόβλεπτων καταστάσεων και κινδύνων συμβάλλει στην ουσιαστική μείωση των διαταραχών της αλυσίδας. Αυτό προϋποθέτει την έγκαιρη και πλήρη ενημέρωση και εκπαίδευση σε όλες τις διαδικασίες για την αντιμετώπιση των πιθανών διαταραχών, με ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα καθώς και αξιολόγηση και συμμόρφωση όλων των μελών σε αυτό (Dani, 2009).

Πρόβλεψη και προγραμματισμός της ζήτησης: Η ακριβής πρόβλεψη και ο προγραμματισμός της ζήτησης είναι ζωτικής σημασίας για τους οργανισμούς της αλυσίδας εφοδιασμού προκειμένου να διατηρούν τα βέλτιστα επίπεδα αποθεμάτων, να κατανέμουν αποτελεσματικά τους πόρους και να μειώνουν το κόστος. Αξιοποιώντας τα

ιστορικά δεδομένα πωλήσεων, τις τάσεις της αγοράς και τις προηγμένες αναλύσεις, οι εταιρείες μπορούν να λαμβάνουν καλύτερα τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τα χρονοδιαγράμματα παραγωγής, τις αγορές και τις στρατηγικές διανομής (Gunasekaran, Patel, & McGaughey, 2004).

Μέτρηση επιδόσεων και συγκριτική αξιολόγηση: Η μέτρηση της απόδοσης και η συγκριτική αξιολόγηση περιλαμβάνουν την παρακολούθηση των βασικών δεικτών απόδοσης και τη σύγκρισή τους με τα πρότυπα του κλάδου ή τις βέλτιστες πρακτικές. Η πρακτική αυτή επιτρέπει στους οργανισμούς της αλυσίδας εφοδιασμού να εντοπίζουν τομείς βελτίωσης, να θέτουν στόχους και να παρακολουθούν την πρόοδο προς την επίτευξη των στρατηγικών τους στόχων (Piotrowicz, Cuthbertson, & Islei, 2011).

Υιοθέτηση τεχνολογιών αιχμής: Η υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών και η ψηφιοποίηση αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία στη σύγχρονη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Με την αξιοποίηση τεχνολογιών όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η τεχνητή νοημοσύνη, η μηχανική μάθηση, οι οργανισμοί εφοδιαστικής αλυσίδας μπορούν να βελτιώσουν την ορατότητα, να ενισχύσουν τη λήψη αποφάσεων και να αυτοματοποιήσουν διάφορες διαδικασίες. Για παράδειγμα, η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της πρόβλεψης της ζήτησης, ενώ οι έξυπνες συσκευές μπορούν να παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τα επίπεδα αποθεμάτων και τις συνθήκες μεταφοράς (Saber, Kouhizadeh, Sarkis, & Shen, 2019).

Συνεργασία και ανταλλαγή πληροφοριών: Η συνεργασία και η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των εταίρων της αλυσίδας εφοδιασμού είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της ανταπόκρισης. Με τη συνεργασία και την ανοιχτή ανταλλαγή δεδομένων, οι οργανισμοί μπορούν να ευθυγραμμίσουν τους στόχους τους, να εντοπίσουν πιθανά σημεία συμφόρησης και να αναπτύξουν λύσεις για την αντιμετώπιση των προκλήσεων. Αυτή η συνεργατική προσέγγιση απαιτεί εμπιστοσύνη και διαφάνεια μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων μερών της αλυσίδας εφοδιασμού και μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη λήψη αποφάσεων, μείωση του κόστους και βελτίωση της απόδοσης (Kocoglu et al., 2011).

Εξωτερική ανάθεση και στρατηγικές συνεργασίες: Η εξωτερική ανάθεση και η δημιουργία στρατηγικών εταιρικών σχέσεων με εξειδικευμένους παρόχους υπηρεσιών μπορεί να επιτρέψει στους οργανισμούς της εφοδιαστικής αλυσίδας να αποκτήσουν πρόσβαση σε τεχνογνωσία, πόρους και τεχνολογίες που μπορεί να μην είναι διαθέσιμες στο εσωτερικό τους. Η πρακτική αυτή μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση κόστους, βελτιωμένα επίπεδα υπηρεσιών και αυξημένη ευελιξία. Ωστόσο, η εξωτερική ανάθεση συνεπάγεται επίσης κινδύνους, όπως η απώλεια του ελέγχου κρίσιμων διαδικασιών και πιθανά ζητήματα ποιότητας. Ως εκ τούτου, οι οργανισμοί πρέπει να αξιολογούν προσεκτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της εξωτερικής ανάθεσης και να επιλέγουν στρατηγικά τους συνεργάτες τους για να διασφαλίσουν μια επιτυχημένη συνεργασία (Bhatnagar & Viswanathan, 2000).

Παρόλα αυτά, είναι αναγκαίο να εξεταστούν και επιπλέον πτυχές των πρακτικών για την διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, με σκοπό την επιλογή των κατάλληλων και συνεπών βέλτιστων πρακτικών για κάθε περίπτωση. Σύμφωνα με έρευνα των Meijns and

Pardo (2014), ως προς τη διερεύνηση των βέλτιστων πρακτικών, ανεγέρθησαν δύο κατηγορίες. Ονομαστικά, οι πρακτικές κατηγοριοποιούνται στις παραδοσιακές, ως προς την οικονομική αποδοτικότητα και τις βιώσιμες.

Παραδοσιακές πρακτικές:

- εφαρμογή συστημάτων διαχείρισης της ποιότητας των περιβαλλοντικών συστημάτων
- συντονισμός όλων των μερών
- εφαρμογή τεχνολογιών πληροφορίας και επικοινωνιών.

Βιώσιμες πρακτικές:

- λειτουργία υπό διαφορετικά πρότυπα
- συνεργατική συμπεριφορά μεταξύ πελατών και προμηθευτών
- συνεργασία με μη παραδοσιακά μέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως ανταγωνιστές
- σχεδιασμός και διαχείριση διαδικασιών με σκοπό την διαφάνεια και την ιχνηλασιμότητα
- συγκριτική αξιολόγηση της βιωσιμότητας

Στη συνέχεια, η έρευνα κατηγοριοποιεί τις παραπάνω πρακτικές σε επιμέρους υποκατηγορίες βασιζόμενη στον τομέα εφαρμογής, για όλο το φάσμα της εφοδιαστικής αλυσίδας:

- στη διαχείριση αγορών
- στη διαχείριση παραγωγής
- στη διαχείριση αποθήκευσης και μεταφορών και,
- στην αντίστροφη διαχείριση

Καλές Πρακτικές

ΑΓΟΡΑ

ΒΙΩΣΙΜΕΣ

- ΚΩΔΙΚΑΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ
- ΙΧΝΗΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΠΡΟΗΘΕΥΤΕΣ
- ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΩΝ
- ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΠΙΚΩΝ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΩΝ
- ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΤΑΜΟΙΒΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ
- ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΗΘΙΚΗ
- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΕΣ

- ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗ
- ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗ
- ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΩΝ

ΠΑΡΑΓΩΓΗ

ΒΙΩΣΙΜΕΣ

- ΒΙΩΣΙΜΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ
- ΠΡΑΣΙΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ
- ΛΙΤΕΣ ΣΥΝΕΡΓΕΙΕΣ
- ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ
- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΗΓΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΛΗΨΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ
- ΠΡΑΣΙΝΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ

ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΕΣ

- ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ JUST IN TIME
- ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΑΝΑΘΕΣΗ
- ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ
- ΛΙΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ
- ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ

ΒΙΩΣΙΜΕΣ

- ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ
- ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΕΠΙΣΤΡΟΦΩΝ
- ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
- ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΥ

ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΕΣ

- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΠΙΣΤΡΟΦΩΝ
- JUST IN TIME
- ΠΡΟΣΕΚΤΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΩΝ

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ

ΒΙΩΣΙΜΕΣ

- ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
- ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ
- ΚΑΘΑΡΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ / ΧΡΗΣΗ ΒΙΨΙΜΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ
- ΛΙΤΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ
- ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΟΛΥΝΣΗΣ
- ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΒΡΑΒΕΥΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ
- ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΕΣ

- ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΩΝ
- CROSS DOCKING
- ΔΙΑΤΡΟΠΙΚΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ
- ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΔΟΣΗ

Εικόνα 2 Καλές Πρακτικές Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας

(Πηγή: Mejias and Padro, 2014)

Οι Cuthbertson and Piotrowicz (2008), διερεύνησαν τις βέλτιστες πρακτικές με εφαρμογή σε πολλαπλές μελέτες περίπτωσης και σε διάφορους κλάδους της βιομηχανίας. Τα ευρήματα τους συνοψίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης.

Η πρώτη κατηγορία αφορά τις πρακτικές με πεδίο την πρόβλεψη και τον σχεδιασμό της ζήτησης, όπως η ανάπτυξη προηγμένων τεχνικών πρόβλεψης κατάλληλων για οικογένειες προϊόντων και παραπροϊόντων αυτών, η σύνδεση των πωλήσεων με τον σχεδιασμό των λειτουργιών, ο εντοπισμός παραγόντων που επιδρούν στη ζήτηση και η καθιέρωση αποτελεσματικών και αποδοτικών συνεργασιών μεταξύ των τμημάτων της αλυσίδας. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει πρακτικές με πεδίο τον σχεδιασμό διανομής και εφοδιασμού. (Shepherd and Gunter, 2006)

Συμπερασματικά, οι Cuthbertson and Piotrowicz (2008) καταδεικνύουν τον οικονομικό χαρακτήρα των βέλτιστων πρακτικών, ενώ εντοπίζουν έλλειψη μέτρων σε δια-επιχειρησιακό επίπεδο με παράλληλη άγνοια ως προς τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις των λειτουργιών μιας εφοδιαστικής αλυσίδας.

Συνοψίζοντας, οι πρακτικές διαχείρισης που συζητήθηκαν στην παρούσα ενότητα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση της απόδοσης της αλυσίδας εφοδιασμού. Οι πρακτικές αυτές, όταν εφαρμόζονται αποτελεσματικά, μπορούν να οδηγήσουν σε εξοικονόμηση κόστους, βελτιωμένη αποδοτικότητα, αυξημένη ανταπόκριση και καλύτερη συνολική απόδοση της αλυσίδας εφοδιασμού. Η επιλογή των πρακτικών που θα υιοθετηθούν για τη διαχείριση μιας εφοδιαστικής αλυσίδας είναι συναρτήσεως πολλών παραγόντων, όπως η φύση της εφοδιαστικής αλυσίδας, το μέγεθος της, το πλήθος των ενδιαφερόμενων μερών και το κοινωνικό και περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Συνεπώς, με γνώμονα την βελτιστοποίηση της διαχείρισης και την μεγιστοποίηση της απόδοσης, ακολουθούνται οι ανάλογες βέλτιστες πρακτικές.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε ότι δεν υπάρχει λύση που να ταιριάζει σε όλους και οι οργανισμοί πρέπει να επιλέγουν προσεκτικά και να προσαρμόζουν τις πρακτικές διαχείρισης με βάση τις μοναδικές απαιτήσεις και το πλαίσιο του κλάδου τους. Καθώς οι εφοδιαστικές αλυσίδες συνεχίζουν να εξελίσσονται, οι εταιρείες και οι οργανισμοί οφείλουν να παρακολουθούν τις αναδυόμενες τάσεις και τις βέλτιστες πρακτικές για να διατηρήσουν το ανταγωνιστικό τους πλεονέκτημα στην αγορά.

2.3 Εφοδιαστική αλυσίδα υδρογόνου

Η εφοδιαστική αλυσίδα υδρογόνου διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη μετάβαση προς την τη βιώσιμη ανάπτυξη, με κυρίαρχο στόχο τη χρήση καυσίμων φιλικών προς το περιβάλλον. Η μετάβαση αυτή καθοδηγείται από την παγκόσμια ζήτηση για βιώσιμες λύσεις για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Η εφοδιαστική αλυσίδα υδρογόνου περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες που εμπλέκονται στην παραγωγή, αποθήκευση, μεταφορά και κατανάλωση υδρογόνου ως ενεργειακού φορέα (Mohamadreza et al. 2020).

Στην παρούσα ενότητα θα συζητηθούν τα διάφορα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου, συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων παραγωγής, των τεχνολογιών αποθήκευσης, των επιλογών μεταφοράς και των εφαρμογών τελικής χρήσης.

Πρώτη ύλη

Οι Almaraz et al. (2013), παρατηρούν ότι το μεγαλύτερο ποσοστό υδρογόνου παράγεται για βιομηχανικές χρήσεις μέσω χημικών διεργασιών, κυρίως για την παραγωγή αμμωνίας, με μόλις το 5% της παραγωγής υδρογόνου παγκοσμίως να εκτιμάται σε άλλες χρήσεις. Οι μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά την καύση του, καθώς και η ποσότητα διοξειδίου που απελευθερώνεται στον αέρα αναλόγως τη μέθοδο παραγωγής του, καθιστούν το υδρογόνο μεταξύ των πιο ελκυστικών εναλλακτικών καυσίμων του μέλλοντος. Οι χρήσεις του υδρογόνου ως ενεργειακό προϊόν αφορούν τη θέρμανση

κατοικιών και γραφείων, την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, τη χρήση του ως καύσιμο στις μεταφορές και διάφορες άλλες φορητές εφαρμογές.

Επίσης οι Almaraz et al. (2013), διαπιστώνουν ότι αναλόγως με τον τρόπο παραγωγής του, το υδρογόνο ταξινομείται σε γκρίζο, μπλε και πράσινο. Το γκρίζο αφορά την παραγωγή του με τη χρήση ορυκτών καυσίμων, όπου και αντιπροσωπεύει το 95% της συνολικής ποσότητας υδρογόνου σε παγκόσμιο επίπεδο. Το μπλε υδρογόνο, αφορά την αιχμαλώτιση και αποθήκευση των εκπομπών διοξειδίου που παράγονται από την χρήση των ορυκτών καυσίμων, με διάφορους τρόπους. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, έχουν αναπτυχθεί πολλαπλές νέες χρήσεις του υδρογόνου σε διάφορους τομείς, ενώ ως προς τη βιωσιμότητα της παραγωγικής του διαδικασίας έχει αναπτυχθεί το πράσινο υδρογόνο, δίνοντας στο καύσιμο ένα νέο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην αγορά.

Ως πρώτη ύλη, το πράσινο υδρογόνο έχει το χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα καθώς χρησιμοποιεί τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την διαδικασία παραγωγής του, όπως η αιολική και η ηλιακή. Η αντιστάθμιση του κόστους εγκατάστασης μιας τέτοιας προσέγγισης αποτελεί πρόκληση για τις επενδυτικές αναλύσεις, ωστόσο οι ανερχόμενες ολοκληρωμένες νομοθετικές διατάξεις ως προς τις επιδοτήσεις και την χρηματοδότηση αυτού του είδους επενδύσεων αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην επιλογή του πράσινου υδρογόνου έναντι των άλλων μορφών. Η προσέγγιση αυτή γίνεται με τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης, με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Atilhan et al., 2021).

Παραγωγή

Σύμφωνα με τους Finke et al. (2021), η παραγωγή υδρογόνου είναι το πρώτο βήμα στην αλυσίδα εφοδιασμού και μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες μεθόδους, όπως η αναμόρφωση μεθανίου με ατμό (SMR), η ηλεκτρόλυση νερού και οι θερμικές και χημικές διεργασίες. Η αναμόρφωση μεθανίου με ατμό είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 95% της παγκόσμιας παραγωγής υδρογόνου. Περιλαμβάνει την αντίδραση του φυσικού αερίου με ατμό υψηλής θερμοκρασίας για την παραγωγή υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα. Αν και είναι η πιο αποδοτική και καθιερωμένη μέθοδος, εκπέμπει σημαντική ποσότητα αερίων του θερμοκηπίου.

Εναλλακτικά, οι Almaraz et al. (2013), τονίζουν ότι η ηλεκτρόλυση νερού είναι η πιο φιλική προς το περιβάλλον επιλογή που χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια για τη διάσπαση του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο. Η διαδικασία αυτή κατηγοριοποιείται σε τρεις τύπους: αλκαλική ηλεκτρόλυση, ηλεκτρόλυση με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEM) και ηλεκτρόλυση στερεών οξειδίων. Η αλκαλική ηλεκτρόλυση είναι η πιο ώριμη τεχνολογία, αλλά η ηλεκτρόλυση με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων προσφέρει υψηλότερη απόδοση και πιο συμπαγή σχεδιασμό. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ηλεκτρόλυσης νερού εξαρτώνται από την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν τροφοδοτείται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, παράγει μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και αναφέρεται ως πράσινο υδρογόνο (Atilhan et al., 2021).

Σύμφωνα με έρευνα της Επιτροπής Εναλλακτικών και Στρατηγικών για μελλοντική παραγωγή και χρήση υδρογόνου (2004), η παραγωγή υδρογόνου κατηγοριοποιείται ως

προς την κλίμακα της μονάδας παραγωγής. Η κεντρική ή μεγάλης κλίμακας μονάδα για παραγωγή υδρογόνου μεγαλύτερη των 1.200.000 κιλά/μέρα με συντελεστή ισχύος τουλάχιστον 0.8. Η μεσαίας κλίμακας μονάδα με παραγωγή 24.000 κιλά/μέρα με συντελεστή ισχύος τουλάχιστον 0.9 και η διανομής με 480 κιλά/μέρα.

Αποθήκευση

Η αποθήκευση υδρογόνου είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση των διακυμάνσεων της προσφοράς και της ζήτησης και τη διασφάλιση της σταθερότητας της αλυσίδας εφοδιασμού. Ο κύριος ρόλος της αποθήκευσης είναι η διασφάλιση της ανταπόκρισης της ζήτησης, κυρίως σε περίπτωση παραγωγής μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας λόγω της στοχαστικότητας τους. Πρόκειται για σημαντικό πυλώνα της εφοδιαστικής αλυσίδας γεφυρώνοντας την διαφοροποίηση μεταξύ ποσότητας παραγωγής και ζήτησης (Tlili et al., 2020). Οι κύριες μέθοδοι αποθήκευσης περιλαμβάνουν την αποθήκευση αερίου υψηλής πίεσης, την υγροποίηση σε δεξαμενές υγρών, τα υβρίδια μετάλλων και τη χημική αποθήκευση (Agnolucci et al., 2013).

Η αποθήκευση αερίου υψηλής πίεσης περιλαμβάνει τη συμπίεση του υδρογόνου σε δεξαμενές υπό πίεση, ενώ η υγροποίηση απαιτεί την ψύξη του αερίου στους -253°C για τη μετατροπή του σε υγρό. Αν και η υγροποίηση προσφέρει υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, είναι πιο ενεργοβόρα από την αποθήκευση υπό υψηλή πίεση. Τα υβρίδια μετάλλων και η χημική αποθήκευση είναι αναδυόμενες τεχνολογίες που αποθηκεύουν το υδρογόνο με χημική δέσμευσή του σε ένα στερεό υλικό. Τα υβρίδια μετάλλων προσφέρουν υψηλή ογκομετρική αποθηκευτική ικανότητα, αλλά αντιμετωπίζουν προκλήσεις που σχετίζονται με το βάρος και τη διαχείριση της θερμοκρασίας. Η χημική αποθήκευση περιλαμβάνει φορείς υδρογόνου όπως η αμμωνία, η μεθανόλη ή το μυρμηκικό οξύ, οι οποίοι μπορούν να απελευθερώσουν υδρογόνο κατά την αποσύνθεση. Αυτοί οι φορείς είναι προτιμότεροι στο χειρισμό και τη μεταφορά από ό,τι το αέριο ή το υγρό υδρογόνο, αλλά η αποδοτικότητα μετατροπής τους χρειάζεται βελτίωση (El Kharbachi et al., 2020).

Μεταφορά

Η μεταφορά του υδρογόνου είναι ένα κρίσιμο στοιχείο της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς αφορά τον προσδιορισμό του πιο αποδοτικού και αποτελεσματικού τρόπου διανομής και σχετίζεται με τις υπόλοιπες διαδικασίες εντός της εφοδιαστικής (Johnson and Ogden, 2012).

Υπάρχουν τρεις κύριες μέθοδοι μεταφοράς: δίκτυο αγωγών, μεταφορά με φορτηγά και θαλάσσια ναυτιλία. Η χρήση υφιστάμενων αγωγών φυσικού αερίου με τις ανάλογες τροποποιήσεις, είναι η πιο αποτελεσματική και αποδοτική επιλογή για μεγάλης κλίμακας μεταφορές σε μεγάλες αποστάσεις, αλλά απαιτεί σημαντικές αρχικές επενδύσεις και προσαρμογές στις υποδομές (Reub et al., 2019). Η χρήση των υφιστάμενων αγωγών, ακόμα με προσμίξεις με το φυσικό αέριο, αποτελεί μια οικονομική και βιώσιμη ευκαιρία για την ενίσχυση της μεταβατικής περιόδου και τη μείωση του κόστους διανομής, ενώ αντίστοιχοι περιορισμοί που ανακύπτουν είναι η υποβάθμιση του χρόνου ζωής των αγωγών και η δομική ακεραιότητα (Cerniauskas et al., 2020).

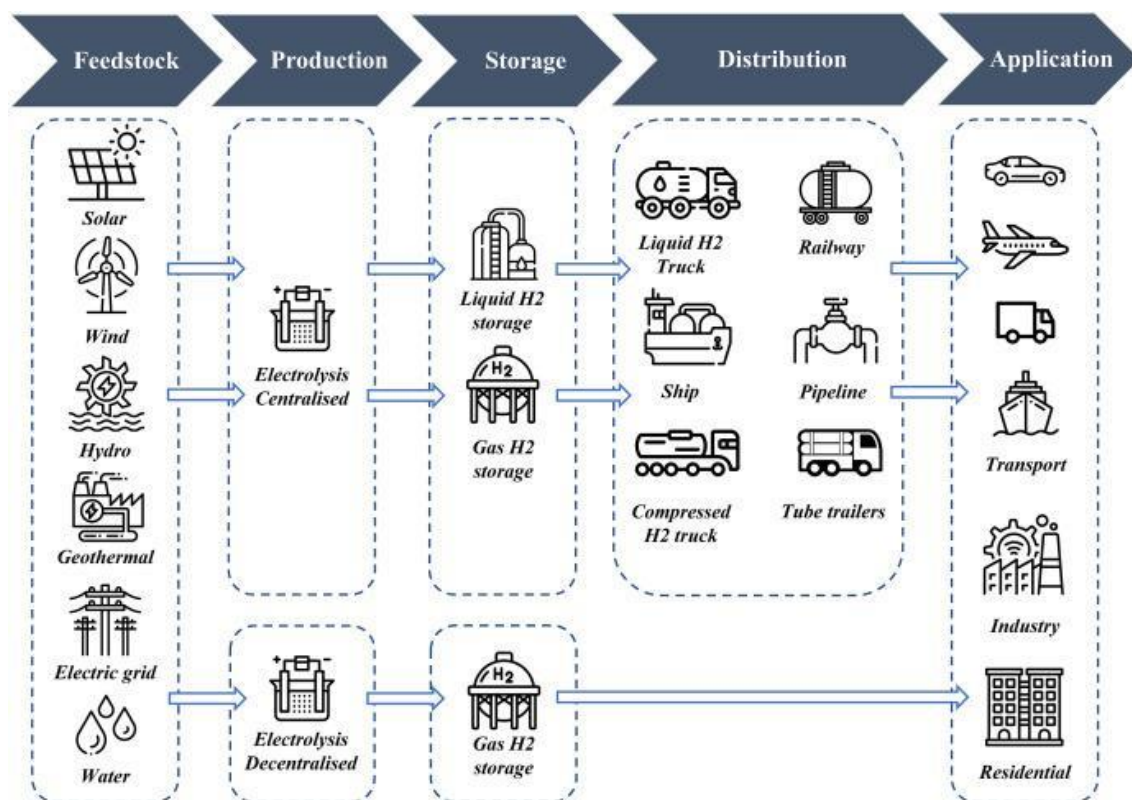
Η μεταφορά με φορτηγά, που χρησιμοποιούν είτε συμπιεσμένο είτε υγροποιημένο υδρογόνο, παρέχει ευελιξία όσον αφορά τις διαδρομές και τις ποσότητες, αλλά είναι λιγότερο αποτελεσματική από τους αγωγούς για μεγάλες ποσότητες. Επιπλέον, τα φορτηγά ως πιο αποδοτική διαδικασία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως μέσα αποθήκευσης αλλά και μεταφοράς για επιπλέον ευελιξία της αλυσίδας, σύμφωνα με την έρευνα των He et al. (2021). Η θαλάσσια ναυτιλία χρησιμοποιεί κρυογονικά σκάφη ή χημικά μεταφορικά μέσα όπως αμμωνία ή μεταφορικά μέσα υγρού οργανικού υδρογόνου για διεθνείς μεταφορές. Είναι μια βιώσιμη επιλογή για μεταφορές μεγάλων αποστάσεων, αλλά αντιμετωπίζει προκλήσεις όσον αφορά το κόστος και την υποδομή (Reub et al., 2019).

Επιπλέον, οι σταθμοί ανεφοδιασμού αποτελούν σημαντικό μέρος της διανομής, και έχουν συνάρτηση το αναγκαίο μέγεθος καθώς η γεωγραφική θέση τους για την κάλυψη της ζήτησης αποτελεί παράγοντα για έρευνα. Υπάρχουν διάφορα κριτήρια που επηρεάζουν τη θέση τους, όπως περιβαλλοντικά, τεχνολογικά, οικονομικά, κοινωνικά και ενεργειακά, επομένως έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα για τη βέλτιστη επιλογή σταθμών ανεφοδιασμού υδρογόνου, όπως το μοντέλο θέσης ροής καυσίμου και το μοντέλο θέσης σύλληψης ροής (Gul et al., 2009).

Τελική χρήση

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών, της παραγωγής ενέργειας, και των βιομηχανικών διεργασιών. Στις μεταφορές, οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου χρησιμοποιούνται ως τελικό καύσιμο σε οχήματα όπως αυτοκίνητα, λεωφορεία και φορτηγά, προσφέροντας μια εναλλακτική λύση μηδενικών εκπομπών σε σχέση με τις παραδοσιακές μηχανές εσωτερικής καύσης. Στην παραγωγή ενέργειας, το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αεριοστρόβιλους ή κυψέλες καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ελάχιστες εκπομπές. Οι βιομηχανικές εφαρμογές περιλαμβάνουν την παραγωγή αμμωνίας, μεθανόλης και

χάλυβα, όπου το υδρογόνο χρησιμεύει ως πρώτη ύλη ή αναγωγικό μέσο (Nunes and Oliveira, 2015).



Εικόνα 3 Η εφοδιαστική αλυσίδα του υδρογόνου

(Πηγή: Sgarbossa et al., 2023)

Συμπερασματικά, η εφοδιαστική αλυσίδα υδρογόνου είναι ένα πολύπλοκο και εξελισσόμενο δίκτυο διεργασιών που είναι απαραίτητο για την ευρεία υιοθέτηση του υδρογόνου ως καθαρού ενεργειακού φορέα. Η μετάβαση σε μια οικονομία βασισμένη στο υδρογόνο απαιτεί εξελίξεις στις μεθόδους παραγωγής, ιδίως στην υιοθέτηση του πράσινου υδρογόνου. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης πρέπει επίσης να συνεχίσουν να βελτιώνονται, με έμφαση στη βελτιστοποίηση της απόδοσης, της ενεργειακής πυκνότητας και του κόστους. Επιπλέον, η ανάπτυξη υποδομών μεταφοράς, όπως οι αγωγοί και η θαλάσσια ναυτιλία, είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική σύνδεση των παραγωγών υδρογόνου με τους τελικούς χρήστες (Sgarbossa et al., 2023).

Η επάρκεια του ενεργειακού εφοδιασμού είναι ζωτικής σημασίας για την οικονομική σταθερότητα και ανάπτυξη της Ευρώπης. Οι παραδοσιακές πηγές ενέργειας, όπως τα ορυκτά καύσιμα, βρίσκονται αντιμέτωπες με διάφορες προκλήσεις όπως η μειωμένη επάρκεια λόγω μειωμένης εξόρυξης και γεωπολιτικής αστάθειας, με αποτέλεσμα την αυξομείωση των τιμών και την ανασφάλεια επάρκειας εφοδιασμού. Επιπλέον οι προσπάθειες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής καθιστούν αναγκαία τη μετάβαση προς καθαρές εναλλακτικές μορφές ενέργειας.

Συνεπώς, τα έργα ανάπτυξης με τη τεχνολογία του υδρογόνου αναδεικνύονται ως βιώσιμη λύση, προσφέροντας ένα χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ενεργειακό φορέα που μπορεί να ενσωματωθεί σε διάφορους τομείς. Η ανάπτυξη

υποδομών υδρογόνου σε ευρωπαϊκό επίπεδο είναι απαραίτητη για την αξιοποίηση αυτού του δυναμικού, προωθώντας την ενεργειακή ασφάλεια και αυτάρκεια, ενώ παράλληλα αντιμετωπίζει τις προκλήσεις της απαλλαγής από τα ορυκτά καύσιμα και της διαφοροποίησης των ενεργειακών πόρων για μακροπρόθεσμη ανθεκτικότητα (He et al. 2021).

Καθώς το υδρογόνο αποκτά σημαντική θέση σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών, της παραγωγής ενέργειας και των βιομηχανικών εφαρμογών, είναι επιτακτική ανάγκη να αντιμετωπιστούν οι προκλήσεις και τα εμπόδια στην αλυσίδα εφοδιασμού υδρογόνου. Εστιάζοντας στην έρευνα, την ανάπτυξη και τις επενδύσεις σε καινοτόμες τεχνολογίες και υποδομές, η αλυσίδα εφοδιασμού υδρογόνου μπορεί να αποτελέσει αναπόσπαστο μέρος της παγκόσμιας μετάβασης προς βιώσιμες ενεργειακές λύσεις. Η αποτελεσματική συνεργασία μεταξύ κυβερνήσεων, βιομηχανίας και ερευνητικών ιδρυμάτων θα είναι απαραίτητη για τη δημιουργία μιας ισχυρής και ανθεκτικής αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου που θα μπορεί να ανταποκριθεί στην αυξανόμενη ζήτηση για καθαρές και βιώσιμες πηγές ενέργειας.

2.4 Βέλτιστες πρακτικές στην Εφοδιαστική Αλυσίδα υδρογόνου

Για να διασφαλιστεί η επιτυχία και η αποτελεσματικότητα μιας εφοδιαστικής αλυσίδας, είναι απαραίτητη η υιοθέτηση βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης που μπορούν να αντιμετωπίσουν τις μοναδικές προκλήσεις και ευκαιρίες στον τομέα του υδρογόνου. Η παρούσα ενότητα διερευνά ορισμένες από αυτές τις πρακτικές και τις δυνατότητές τους να βελτιώσουν τις επιδόσεις της αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου.

Δεδομένης της παρούσας κατάστασης της βιομηχανίας υδρογόνου και των ποικίλων εμπλεκόμενων φορέων, ο συνεργατικός σχεδιασμός και ανταλλαγή πληροφοριών είναι ζωτικής σημασίας για την διαχείριση μιας αποτελεσματικής εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτό περιλαμβάνει τη δημιουργία αποτελεσματικών διαύλων επικοινωνίας και την ανταλλαγή βασικών δεδομένων μεταξύ των συμμετεχόντων στην αλυσίδα εφοδιασμού, όπως οι οργανισμοί στην παραγωγή, οι διανομείς και οι τελικοί χρήστες. Με την υιοθέτηση μιας διαφανούς προσέγγισης και την αξιοποίηση προηγμένης ανάλυσης δεδομένων, οι ενδιαφερόμενοι φορείς μπορούν να λαμβάνουν καλύτερα τεκμηριωμένες αποφάσεις, να βελτιστοποιούν την κατανομή των πόρων και να μειώνουν τις αβεβαιότητες (Khalilpour, Pace, & Karimi, 2020).

Παρακάτω αναφέρονται καλές πρακτικές για την διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας του υδρογόνου, όπως αυτές αναλύονται σύμφωνα με την βιβλιογραφία, και η υιοθέτηση των οποίων οδηγεί στη μέγιστη αποδοτικότητα, αποτελεσματικότητα και ομαλή ροή της εφοδιαστικής αλυσίδας.

- Αρθρωτή δομή

Ως προς τη δομή της εφοδιαστικής αλυσίδας του υδρογόνου, είναι αναγκαία μια αρθρωτή και επεκτάσιμη υποδομή. Μία από τις σημαντικές προκλήσεις στην αλυσίδα εφοδιασμού υδρογόνου είναι η ανάγκη για επενδύσεις σε υποδομές μεγάλης κλίμακας. Με την υιοθέτηση μιας αρθρωτής και επεκτάσιμης προσέγγισης, οι ενδιαφερόμενοι φορείς μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τις αρχικές κεφαλαιουχικές δαπάνες και να διευκολύνουν

την ταχεία ανάπτυξη λύσεων υδρογόνου. Αυτό συνεπάγεται τη χρήση τυποποιημένων, εναλλάξιμων εξαρτημάτων που μπορούν εύκολα να αναβαθμιστούν ή να μειωθούν καθώς εξελίσσεται η αγορά. Επιπλέον, η αρθρωτή υποδομή μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ή να μεταφερθεί, προσφέροντας ευελιξία και προσαρμοστικότητα (Reuß et al., 2017).

- Παρακολούθηση και υιοθέτηση των τεχνολογικών εξελίξεων

Οι τεχνολογικές καινοτομίες στην παραγωγή, αποθήκευση και μεταφορά υδρογόνου είναι ζωτικής σημασίας για την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας της αλυσίδας εφοδιασμού. Για παράδειγμα, η υιοθέτηση προηγμένων μεθόδων ηλεκτρόλυσης, όπως η ηλεκτρόλυση με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEM), μπορεί να αυξήσει την αποδοτικότητα της παραγωγής και να μειώσει το κόστος. Παρομοίως, οι ανακαλύψεις στις τεχνολογίες αποθήκευσης, όπως οι μεταλλικοί υδρίτες ή οι υγροί οργανικοί φορείς υδρογόνου, μπορούν να βελτιώσουν την πυκνότητα και την ασφάλεια της αποθήκευσης. Παραμένοντας ενήμεροι για τις αναδύμενες τεχνολογίες και ενσωματώνοντάς τις στην αλυσίδα εφοδιασμού, οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να αξιοποιήσουν τις νέες ευκαιρίες και να μειώσουν το λειτουργικό κόστος, σύμφωνα με τους Ball & Wietschel (2009).

Οι Nunes et al. (2015), αναφέρουν την έντονη ύπαρξη αβεβαιότητας της ζήτησης στην αγορά ως ένα από τα σημαντικότερα θέματα εστίασης στη διαδικασία ανάπτυξης της αλυσίδας του υδρογόνου. Όπως προκύπτει από την έρευνα τους, η δυσκολία αντιστοίχισης της παραγωγής υδρογόνου για την κάλυψη της μελλοντικής ζήτησης είναι μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις κατά τον σχεδιασμό του δικτύου της εφοδιαστικής αλυσίδας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πολλαπλών και περίπλοκων σχέσεων μεταξύ όλων των μερών της αλυσίδας. Για την ορθή και ομαλή λειτουργία της είναι απαραίτητη η χρήση εξειδικευμένων εργαλείων και μοντέλων βελτιστοποίησης για την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων.

- Ασφάλεια και διαχείριση κινδύνων

Η διασφάλιση της ασφάλειας είναι υψίστης σημασίας, τονίζουν οι Ratnakar et al. (2021), στην αλυσίδα εφοδιασμού υδρογόνου λόγω της πτητικής φύσης του υδρογόνου. Τα ολοκληρωμένα μέτρα ασφαλείας, όπως αυστηρά προγράμματα κατάρτισης, η εφαρμογή προτύπων ασφαλείας και η χρήση προηγμένων συστημάτων παρακολούθησης και ελέγχου, μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τα ατυχήματα και να προστατεύσουν το προσωπικό, τα περιουσιακά στοιχεία και το περιβάλλον. Επιπλέον, η διενέργεια τακτικών αξιολογήσεων κινδύνου και η υιοθέτηση προληπτικών στρατηγικών διαχείρισης κινδύνου μπορούν να ενισχύσουν περαιτέρω τις επιδόσεις ασφαλείας και την ανθεκτικότητα της αλυσίδας εφοδιασμού.

Σύμφωνα με έρευνα των Kim and Moon (2022), το μοντέλο σχεδιασμού δικτύου υδρογόνου πολλαπλών στόχων είναι το αυτό που διαμορφώνει μια αποδοτικότερη εφοδιαστική αλυσίδα με το χαμηλότερο κόστος και τη μέγιστη ασφάλεια. Το μοντέλο στοχεύει στη βελτιστοποίηση ως προς τη γεωγραφική θέση για την παραγωγή του υδρογόνου για τη διασφάλιση της αλυσίδας από κινδύνους.

- Περιβαλλοντική βιωσιμότητα

Καθώς η βιομηχανία υδρογόνου επιδιώκει να συμβάλει σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, είναι ζωτικής σημασίας να δοθεί προτεραιότητα στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Αυτό συνεπάγεται την υιοθέτηση μεθόδων παραγωγής φιλικών προς το περιβάλλον, όπως η πράσινη παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης νερού με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, οι ενδιαφερόμενοι φορείς θα πρέπει να παρακολουθούν και να αξιολογούν συνεχώς τις περιβαλλοντικές τους επιδόσεις, να θέτουν στόχους βιωσιμότητας και να εφαρμόζουν πρωτοβουλίες για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, της χρήσης νερού και της παραγωγής αποβλήτων (Andrews & Shabani, 2014).

- Ανάπτυξη του εργατικού δυναμικού και κατάρτιση δεξιοτήτων

Ένα εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό είναι απαραίτητο για την επιτυχία και την ανάπτυξη της βιομηχανίας υδρογόνου. Οι ενδιαφερόμενοι θα πρέπει να επενδύσουν σε προγράμματα ανάπτυξης εργατικού δυναμικού, όπως κατάρτιση, εκπαίδευση και μαθητεία, για να εξασφαλίσουν σταθερή προσφορά εξειδικευμένων εργαζομένων. Επιπλέον, η προώθηση της ποικιλομορφίας και της ενσωμάτωσης στο εργατικό δυναμικό μπορεί να προωθήσει την καινοτομία και να βελτιώσει τη συνολική απόδοση της αλυσίδας εφοδιασμού (Barreto, Makihira, & Riahi, 2003).

- Συνεχής βελτίωση και μέτρηση των επιδόσεων

Η εφαρμογή μιας κουλτούρας συνεχούς βελτίωσης μπορεί να αυξήσει την αποδοτικότητα και την ανταγωνιστικότητα στην αλυσίδα εφοδιασμού υδρογόνου. Με την τακτική παρακολούθηση των βασικών δεικτών απόδοσης και τον καθορισμό κριτηρίων αναφοράς, οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να εντοπίζουν τομείς προς βελτίωση, να παρακολουθούν την πρόοδο και να διασφαλίζουν τη λογοδοσία. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την υιοθέτηση αρχών λιτής διαχείρισης, μεθοδολογιών Six Sigma ή άλλων πλαισίων διαχείρισης για τον εξ ορθολογισμό των λειτουργιών, τη μείωση της σπατάλης και τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων (Riera et al., 2023).

- Κανονιστική συμμόρφωση και τυποποίηση

Η συμμόρφωση με τους σχετικούς κανονισμούς και η υιοθέτηση βιομηχανικών προτύπων μπορούν να προωθήσουν τη συνέπεια, την αξιοπιστία και την ασφάλεια σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού υδρογόνου. Οι ενδιαφερόμενοι θα πρέπει να ενημερώνονται για τους τοπικούς και διεθνείς κανονισμούς, να εφαρμόζουν τυποποιημένες διαδικασίες και τεχνολογίες και να συνεργάζονται με ρυθμιστικούς φορείς και βιομηχανικές ενώσεις για τη διαμόρφωση μελλοντικών πολιτικών και προτύπων (Skiba, 2020).

- Ευελιξία της αλυσίδας εφοδιασμού

Όπως επισημαίνουν οι Fazli-Khalaf et al. (2020), η οικοδόμηση μιας ανθεκτικής και ευέλικτης αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου είναι απαραίτητη για τον μετριασμό των πιθανών διαταραχών και τη διασφάλιση αξιόπιστου εφοδιασμού των τελικών χρηστών με υδρογόνο. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη σχεδίων έκτακτης ανάγκης, τη διαφοροποίηση των πηγών εφοδιασμού, την επένδυση σε αποθηκευτική ικανότητα και την ενσωμάτωση εναλλακτικών τρόπων μεταφοράς. Με την ενίσχυση της ανθεκτικότητας της αλυσίδας εφοδιασμού, οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να προσαρμοστούν καλύτερα στις διακυμάνσεις της αγοράς, σε απρόβλεπτα γεγονότα και

στο εξελισσόμενο ενεργειακό τοπίο. Για να μεγιστοποιηθεί η αξιοπιστία του δικτύου η εφοδιαστική αλυσίδα θα πρέπει να ενισχυθεί για την αντιμετώπιση διαταραχών με την ύπαρξη εφεδρειών του συστήματος.

- Στρατηγικές συνεργασίες και συμμαχίες

Ο σχηματισμός στρατηγικών εταιρικών σχέσεων και συμμαχιών μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών, όπως οι παραγωγοί, οι διανομείς, οι πάροχοι τεχνολογίας και οι τελικοί χρήστες, μπορεί να επιτρέψει συνέργειες και να επιταχύνει την ανάπτυξη της αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου. Οι συνεργασίες αυτές μπορούν να συμβάλουν στη συγκέντρωση πόρων, τεχνογνωσίας και ικανοτήτων, μειώνοντας έτσι το κόστος, προωθώντας την καινοτομία και προωθώντας την υιοθέτηση λύσεων υδρογόνου σε μεγαλύτερη κλίμακα (Eicke & De Blasio, 2022).

- Πρόβλεψη και προγραμματισμός της ζήτησης

Οι Kim and Moon (2008), τονίζουν ότι η εφοδιαστική αλυσίδα υδρογόνου χαρακτηρίζεται από τον παράγοντα της αβεβαιότητας, καθώς οι υποδομές και τα δίκτυα του υδρογόνου βρίσκονται σε στάδιο ανάπτυξης για την κάλυψη μελλοντικής ζήτησης και απαιτήσεων με βάση πρόβλεψη της ζήτησης χωρίς ιστορικά δεδομένα με τη χρήση στοχαστικών μοντέλων.

Η έρευνα των Almansoori and Shah (2012), τονίζει αρχικά την ανάγκη υιοθέτησης προγραμματιστικών μαθηματικών μοντέλων για την επίλυση του προβλήματος της βέλτιστης ανάπτυξης της εφοδιαστικής αλυσίδας υδρογόνου. Σύμφωνα με την έρευνα, τα μοντέλα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την συνήθη αλλά και εποχιακή μεταβολή της ζήτησης του υδρογόνου, τόσο με την κατάλληλη αποθήκευση όσο και με τη σύνδεση του δικτύου με εισαγωγές ποσοτήτων από εξωτερικούς φορείς. Για την πρόβλεψη της ζήτησης, αναπτύσσονται στοχαστικά μοντέλα με τη χρήση σχεδιαστικών σεναρίων για μακροπρόθεσμη εφαρμογή με ντετερμινιστική προσέγγιση, ενώ η μεταβολή της ζήτησης επηρεάζεται από συγκεκριμένες παραμέτρους και μεταβλητές. Για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας της ζήτησης, είναι σημαντική η ανάλυση κινδύνων, η οποία καταδεικνύει ότι όσο μεγαλύτερο είναι το δίκτυο της εφοδιαστικής αλυσίδας τόσο μεγαλύτερο το ρίσκο της αστοχίας στην κάλυψη της ζήτησης. Ωστόσο, ακόμα και στο δυσμενέστερο σενάριο, προκύπτει ότι δεδομένου της ανάπτυξης της τεχνολογίας η οποία θα οδηγήσει σε μείωση του κόστους εγκατάστασης του δικτύου υδρογόνου, η σύγκριση με μία αντίστοιχη μονάδα ορυκτών καυσίμων, οι υποδομές υδρογόνου υπερτερούν, όχι μόνο ως προς το κόστος αλλά κυρίως ως προς το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και τη συνεισφορά τους στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

- Βιώσιμη διαχείριση

Η ελαχιστοποίηση των επιβλαβών εκπομπών αερίου σε όλο το φάσμα της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί ένα σημαντικό δείκτη για τη βιώσιμη ανάπτυξη του δικτύου του υδρογόνου, καθώς ο κύριος σκοπός εξέλιξης και αναβάθμισης των υποδομών του υδρογόνου είναι η μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και η απομάκρυνση των δραστηριοτήτων από τα ορυκτά καύσιμα, όπως αναφέρουν οι Almaraz et al. (2013). Ο σχεδιασμός φιλικών προς το περιβάλλον δικτύων ενισχύει την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων, η οποία είναι απαραίτητη και σύμφωνα με νομοθετικές διατάξεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Σύμφωνα με την έρευνα των Fazli-Khalaf et al. (2020), η υιοθέτηση του μοντέλου της βιώσιμης αλυσίδας πολλαπλών στόχων μεγιστοποιεί την αξία του δικτύου έναντι διαταραχών μέσω της αξιόπιστης εγκατάστασης και την ύπαρξη εφεδρικών σχεδίων για τη μέγιστη ικανοποίηση της ζήτησης σε καταστάσεις αιχμής με την ύπαρξη αποθηκευτικών μονάδων. Επίσης, η μέγιστη βιωσιμότητα της αλυσίδας επιτυγχάνεται μέσω της ταυτόχρονης μοντελοποίησης των στόχων περιβαλλοντικής και κοινωνικής ευθύνης και ελαχιστοποίηση των επικίνδυνων εκπομπών αερίων.

Ως προς την κοινωνική ευθύνη, οι Almaraz et al. (2013), αναδεικνύεται ως σημαντικός δείκτης για τη βιωσιμότητα, καθώς η επίτευξη αειφορίας είναι συνάρτηση της ενίσχυσης της χρήσης υδρογόνου, με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας ζωής και το επίπεδο του κοινωνικού πλούτου, λαμβάνοντας υπόψη τις κοινωνικές ανησυχίες ως προς την ανάπτυξη και τη δημιουργία θέσεων εργασίας και την έγκαιρη ικανοποίηση της ζήτησης. Συνεπώς, ενισχύοντας την αξία της κοινωνικής ευθύνης, η εφοδιαστική αλυσίδα υδρογόνου εστιάζει στην αύξηση των δεικτών των ευκαιριών εργασίας, της περιφερειακής ανάπτυξης, της ελαχιστοποίησης των αναρρωτικών αδειών και της ελαχιστοποίησης της κοινωνικής ποινής των ανεκπλήρωτων απαιτήσεων. Έτσι, η έρευνα καταλήγει στην αποκεντρωμένη ανάπτυξη της εφοδιαστικής αλυσίδας για την επίτευξη των στόχων.

Συνοψίζοντας, η εφαρμογή βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης στην αλυσίδα εφοδιασμού υδρογόνου είναι ζωτικής σημασίας για την αντιμετώπιση των μοναδικών προκλήσεων και την αξιοποίηση των ευκαιριών σε αυτόν τον ταχέως αναπτυσσόμενο κλάδο. Με την υιοθέτηση της συνεργασίας, των τεχνολογικών εξελίξεων, της ασφάλειας και της διαχείρισης κινδύνων, της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, της ανάπτυξης του εργατικού δυναμικού, της συνεχούς βελτίωσης, της κανονιστικής συμμόρφωσης, της ανθεκτικότητας της αλυσίδας εφοδιασμού και των στρατηγικών συμπράξεων, οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να δημιουργήσουν μια ισχυρή και αποτελεσματική αλυσίδα εφοδιασμού υδρογόνου που θα συμβάλει σε ένα πιο πράσινο και βιώσιμο μέλλον.

3 Μεθοδολογία Έρευνας

3.1 Εισαγωγή

Η ερευνητική μεθοδολογία αποτελεί κρίσιμο στοιχείο κάθε μελέτης, καθώς θέτει τα θεμέλια για την όλη διαδικασία και τελικά καθορίζει την εγκυρότητα και την αξιοπιστία των ευρημάτων. Ο πρωταρχικός στόχος αυτής της ενότητας είναι να παρέχει μια ολοκληρωμένη κατανόηση της μεθοδολογικής προσέγγισης και της εφαρμογής της στο πλαίσιο του ερευνητικού προβλήματος.

Μια ερευνητική μεθοδολογία είναι μια συστηματική προσέγγιση που χρησιμοποιείται από τους ερευνητές για να απαντήσουν σε συγκεκριμένα ερωτήματα ή να ελέγξουν υποθέσεις. Η επιλογή της μεθοδολογίας εξαρτάται από τη φύση του ερευνητικού ερωτήματος, τον σκοπό της μελέτης και τα χαρακτηριστικά του υπό διερεύνηση φαινομένου. Υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες, όπως ποσοτικές, ποιοτικές και μικτές

προσεγγίσεις. Ενώ η ποσοτική έρευνα δίνει έμφαση στα αριθμητικά δεδομένα και τη στατιστική ανάλυση, η ποιοτική έρευνα επικεντρώνεται στην κατανόηση των πολύπλοκων ανθρώπινων συμπεριφορών και των νοημάτων που τα άτομα αποδίδουν στις εμπειρίες τους (Antwi & Hamza, 2015). Η έρευνα μικτής μεθόδου, από την άλλη πλευρά, συνδυάζει στοιχεία τόσο της ποσοτικής όσο και της ποιοτικής προσέγγισης για να παρέχει μια πιο ολιστική κατανόηση του θέματος.

Η μέθοδος της μελέτης περίπτωσης περιλαμβάνει την εντατική εξέταση μιας μεμονωμένης μονάδας ή ενός μικρού αριθμού μονάδων, οι οποίες μπορεί να είναι άτομα, ομάδες, οργανισμοί ή ακόμη και ολόκληρες κοινότητες. Τα δεδομένα συλλέγονται με διάφορα μέσα, όπως συνεντεύξεις, παρατηρήσεις, έγγραφα και οπτικοακουστικό υλικό, ώστε να παρέχεται μια πλούσια και λεπτομερής περιγραφή του υπό εξέταση φαινομένου. Στη συνέχεια, ο ερευνητής αναλύει τα δεδομένα, αναζητώντας μοτίβα και θέματα που μπορούν να βοηθήσουν στην εξήγηση των υποκείμενων διαδικασιών και δυναμικών που διαδραματίζονται (Gerring, 2004).

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, η μέθοδος της μελέτης περίπτωσης επιτρέπει την εμβάθυνση στο ερευνητικό πρόβλημα εξετάζοντας συγκεκριμένες περιπτώσεις ή παραδείγματα που αποτελούν παράδειγμα του υπό εξέταση ζητήματος. Μέσω της προσεκτικής επιλογής των περιπτώσεων και της ενδελεχούς ανάλυσης των δεδομένων που συλλέξαμε, ο στόχος είναι η παροχή πολύτιμων πληροφοριών και η συμβολή στην καλύτερη κατανόηση του υπό διερεύνηση φαινομένου. Επιπλέον, η μέθοδος της μελέτης περιπτώσεων επιτρέπει τη στοχοθέτηση και απάντηση ερευνητικών ερωτημάτων με τρόπο που να ανταποκρίνεται στα μοναδικά χαρακτηριστικά και τους παράγοντες του πλαισίου που ενδέχεται να επηρεάσουν το αποτέλεσμα.

Στην ενότητα που ακολουθεί, θα αναλυθεί η μελέτη περίπτωσης, περιγράφοντας τα βήματα που εμπλέκονται στη διαδικασία και εξετάζοντας τις βασικές εκτιμήσεις που πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους οι ερευνητές όταν χρησιμοποιούν αυτή την προσέγγιση. Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου, οι αναγνώστες θα πρέπει να έχουν κατανοήσει με σαφήνεια τη μεθοδολογία έρευνας και την εφαρμογή της στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης.

3.2 Μέθοδος Μελέτης Περίπτωσης

Η επιλογή της ερευνητικής μεθοδολογίας είναι συνάρτηση της φύσης του θέματος που τίθεται υπό εξέταση. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε έρευνα για τη συλλογή και ανάλυση των απαραίτητων πληροφοριών από αξιόπιστες βιβλιογραφικές πηγές με σκοπό την ευρύτερη κατανόηση και υποστήριξη του απαιτητικού υπόβαθρου του θέματος και εν συνεχεία συγκρίθηκαν και αποτυπώθηκαν τα ευρήματα επί της συγκεκριμένης πρότασης της μελέτης περίπτωσης.

Μέσα από μια εκτενέστερη ανάλυση ο Yin (1984) αναφέρει ότι η μεθοδολογία της μελέτης περίπτωσης είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη προσέγγιση στις κοινωνικές επιστήμες για τη διερεύνηση φαινομένων του πραγματικού κόσμου μέσα στο συγκεκριμένο πλαίσιο. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την παρούσα έρευνα, καθώς επιτρέπει τη διερεύνηση σε βάθος του έργου «Λευκός Δράκος», εστιάζοντας στις

βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης στην αλυσίδα εφοδιασμού υδρογόνου. Η παρούσα ενότητα περιγράφει τη μεθοδολογία μελέτης περίπτωσης που υιοθετήθηκε στην παρούσα έρευνα, συζητώντας το σκεπτικό πίσω από την επιλογή αυτής της προσέγγισης, τη συλλογή δεδομένων και τις μεθόδους ανάλυσης δεδομένων.

Σύμφωνα με τον Gerring (2014), η συλλογή δεδομένων για τη μελέτη περίπτωσης περιλαμβάνει κυρίως μια εκτεταμένη επισκόπηση δευτερογενών πηγών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων επίσημων εγγράφων του έργου, κυβερνητικών εκθέσεων και δελτίων τύπου. Επιπλέον, εξετάστηκε η ακαδημαϊκή βιβλιογραφία σχετικά με τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου, τις βέλτιστες πρακτικές και την οικονομία του υδρογόνου, προκειμένου να παρασχεθεί θεωρητικό υπόβαθρο για την έρευνα. Για να διασφαλιστεί μια ολοκληρωμένη κατανόηση του έργου «Λευκός Δράκος», η έρευνα εξέτασε επίσης σχετικά άρθρα ειδήσεων, εκθέσεις του κλάδου και γνώμες εμπειρογνομώνων.

Η διαδικασία ανάλυσης των δεδομένων περιλαμβάνει συστηματική εξέταση των συλλεχθέντων δεδομένων για τον εντοπισμό μοτίβων, σχέσεων και θεμάτων που σχετίζονται με τις βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης στην αλυσίδα εφοδιασμού υδρογόνου του έργου «Λευκός Δράκος». Η ανάλυση ακολούθησε μια επαναληπτική διαδικασία, όπου τα ερευνητικά ερωτήματα και οι στόχοι καθοδήγησαν την αρχική κωδικοποίηση και κατηγοριοποίηση των δεδομένων.

Για να διασφαλιστεί η αξιοπιστία και η εγκυρότητα των ευρημάτων της μελέτης περίπτωσης, χρησιμοποιήθηκαν διάφορες στρατηγικές. Πρώτον, εφαρμόστηκε η χρήση πολλαπλών πηγών δεδομένων, ώστε να υπάρξει μια ολοκληρωμένη και ακριβής κατανόηση του έργου. Δεύτερον, η έρευνα διατήρησε μια σαφή διαδρομή ελέγχου που τεκμηριώνει τη διαδικασία συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, ενισχύοντας τη διαφάνεια και την αξιοπιστία των ευρημάτων. Τέλος, τα ευρήματα της έρευνας βασίστηκαν στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, εξασφαλίζοντας τη συνάφεια και τη δυνατότητά τους να εφαρμοστούν στο ευρύτερο πλαίσιο της διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου.

Συμπερασματικά, η μεθοδολογία μελέτης περίπτωσης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα επέτρεψε τη λεπτομερή διερεύνηση των βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης στην εφοδιαστική αλυσίδα υδρογόνου. Τα ευρήματα αυτής της μελέτης περίπτωσης παρέχουν πολύτιμες γνώσεις που μπορούν να συμβάλλουν στην περαιτέρω ανάπτυξη και διαχείριση των αλυσίδων εφοδιασμού υδρογόνου τόσο σε εθνικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο.

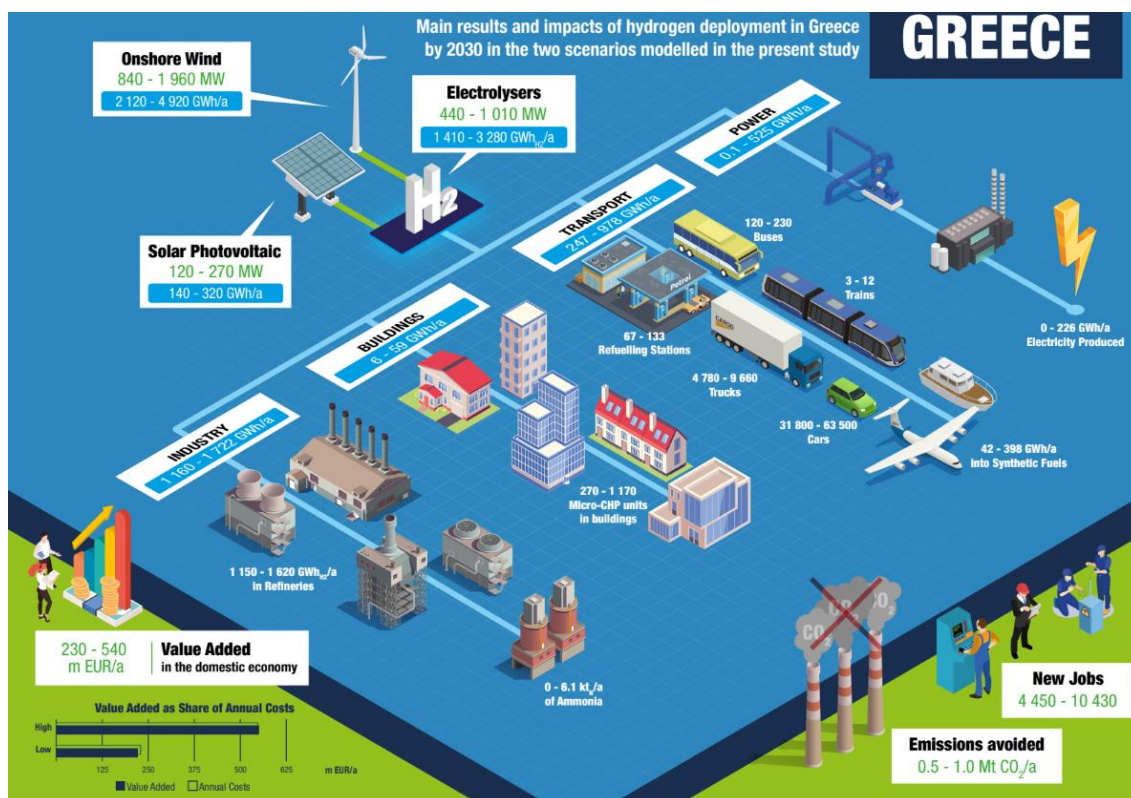
4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

4.1 Μελέτη Περίπτωσης «Λευκός Δράκος»

Σύμφωνα με το Σχέδιο Δίκαιης Αναπτυξιακής Μετάβασης του Υπουργείου Ενέργειας (2020), το έργο «Λευκός Δράκος» είναι μια φιλόδοξη πρωτοβουλία που αποσκοπεί στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου οικοσυστήματος πράσινου υδρογόνου στην Ελλάδα, το

οποίο θα περιλαμβάνει ολόκληρη την αλυσίδα αξίας του υδρογόνου. Με συνολικό επενδυτικό κόστος 8,063 δις. ευρώ, πρωταρχικός στόχος του έργου είναι η ανάπτυξη ενός Κέντρου Βιομηχανικής Έρευνας Υδρογόνου σε συνεργασία με πολλές εταιρείες στο πλαίσιο του Κόμβου Υδρογόνου Υψηλής Τεχνολογίας στη Δυτική Μακεδονία. Η παρούσα μελέτη περίπτωσης παρέχει μια επισκόπηση του έργου και των διαφόρων συνιστωσών του, εστιάζοντας σε γενικές πληροφορίες.

Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (2019), τονίζει του πυλώνες ανάπτυξης της αλυσίδας υδρογόνου, με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, χρήση του υδρογόνου για απαλλαγή από τα συμβατικά καύσιμα στον τομέα των μεταφορών και κυρίως της ναυτιλίας, μακροπρόθεσμη αποθήκευση υδρογόνου για παραγωγή ενέργειας και χρήση της υπάρχουσας υποδομής φυσικού αερίου για τη μεταφορά υδρογόνου. Τα βασικά στοιχεία αυτής της πρωτοβουλίας περιλαμβάνουν ετήσια παραγωγή υδρογόνου 250.000 τόνων και υδρογόνο για άλλες χρήσεις που κυμαίνεται από 58.000 έως 71.000 τόνους ετησίως. Το έργο αναμένεται να οδηγήσει σε μείωση εκπομπών CO₂ ύψους 11,5 εκατομμυρίων τόνων ετησίως και να δημιουργήσει 18.000 άμεσες και 29.500 έμμεσες θέσεις εργασίας.



Εικόνα 4 Σχεδιασμός εφοδιαστικής αλυσίδας με χρήση πράσινου υδρογόνου

(Πηγή: Gerard et al., 2020)

Επομένως, το έργο «Λευκός Δράκος» συμβάλλει σε όλα τα παραπάνω, όπως αναλύεται από τον κύριο ανάδοχο του έργου τη Δημόσια Επιχείρηση Αερίου (2021). Αναλυτικά, ως ζωτικής σημασίας χαρακτηρίζονται ο εκσυγχρονισμός και οι επενδύσεις στις υπάρχουσες ενεργειακές υποδομές, όπως τα ηλεκτρικά δίκτυα και οι αγωγοί φυσικού αερίου. Η πρώτη φάση του έργου περιλαμβάνει την προετοιμασία του Εθνικού Συστήματος Μεταφοράς

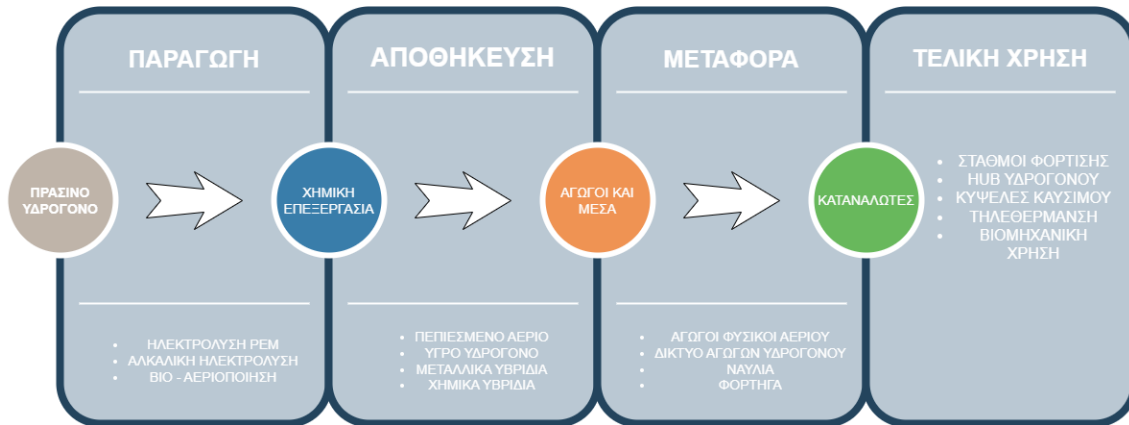
Φυσικού Αερίου για την αποδοχή αυξανόμενων ποσοτήτων υδρογόνου. Αυτό το βήμα θα μειώσει το αποτύπωμα άνθρακα του καυσίμου και θα ανοίξει το δρόμο για την αγορά υδρογόνου. Στη συνέχεια, θα υλοποιηθεί ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός ειδικού αγωγού κορμού υδρογόνου στην Ελλάδα. Το έργο θα επικεντρωθεί επίσης στην ανάπτυξη έργων υδρογόνου για τον τομέα των μεταφορών, συμπεριλαμβανομένων των οχημάτων συλλογής απορριμμάτων, των φορτηγών, των τρένων και των αυτοκινήτων, μαζί με την απαραίτητη υποδομή για σταθμούς ανεφοδιασμού υδρογόνου και την οδική μεταφορά και διανομή.

Η αυξημένη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σε συνδυασμό με την απολιγνιτοποίηση στη Δυτική Μακεδονία και την προώθηση έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, δημιουργεί τις προϋποθέσεις για την παραγωγή επαρκούς ποσότητας υδρογόνου. Η επέκταση του δικτύου από τον Διαχειριστή του Εθνικού Συστήματος Φυσικού Αερίου, μέσω του αγωγού στη Δυτική Μακεδονία, στην περιοχή, δημιουργεί την απαραίτητη υποδομή για τη μεταφορά υδρογόνου. Ο αγωγός αυτός, θα είναι εξ αρχής συμβατός με τη μεταφορά υδρογόνου και συνδέεται με την προοπτική να γίνει η Δυτική Μακεδονία ένα πράσινο ενεργειακό κέντρο υδρογόνου μέσω του έργου «Λευκός Δράκος».

Ο αγωγός μεταφοράς υδρογόνου θα επιτρέψει τη διασύνδεση μεταξύ των αποκεντρωμένων μονάδων παραγωγής πράσινου υδρογόνου και των μεγάλων τελικών χρηστών, όπως τα διυλιστήρια και οι βιομηχανικές μονάδες, ώστε να διευκολυνθεί η βιωσιμότητα των παραγωγικών διαδικασιών. Επιπλέον, ο αγωγός θα έχει τη δυνατότητα διασύνδεσης με παρόμοια συστήματα σε γειτονικές χώρες. Στο έργο Λευκός Δράκος διερευνάται επίσης η δυνατότητα μεταφοράς και εξαγωγής υδρογόνου μέσω του υφιστάμενου αγωγού φυσικού αερίου «TAP» (Trans Adriatic Pipeline), ο οποίος ήδη συνδέει την Ελλάδα με τις ευρωπαϊκές αγορές όπως αναφέρει η Δημόσια Επιχείρηση Αερίου (2021).

Στο πλαίσιο της πρωτοβουλίας «European Hydrogen Backbone», ο «Λευκός Δράκος» θα συμβάλει στην ανάπτυξη ενός ευρωπαϊκού δικτύου μεταφοράς υδρογόνου. Μέχρι το 2030, η ευρωπαϊκή ραχοκοκαλιά υδρογόνου θα μπορούσε να αποτελείται από 11.600 χιλιόμετρα δικτύου αγωγών, συνδέοντας τις αναδυόμενες αγορές υδρογόνου. Το δίκτυο θα μπορούσε να επεκταθεί περαιτέρω σε ένα πανευρωπαϊκό δίκτυο 39.700 χιλιομέτρων έως το 2040, ενώ στη συνέχεια προβλέπεται πρόσθετη ανάπτυξη (European Energy Backbone, 2021).

Όπως αναφέρεται στην έρευνα, στην ανάπτυξη της ευρωπαϊκής ραχοκοκαλιάς υδρογόνου συμμετέχουν συνολικά 23 Διαχειριστές Συστημάτων Μεταφοράς Αερίου από 21 χώρες, με τον διαχειριστή να εκπροσωπεί την Ελλάδα. Η ανάπτυξη των υποδομών στην Ελλάδα είναι ζωτικής σημασίας, καθώς οι βιομηχανίες αναζητούν όλο και περισσότερο τον εφοδιασμό με υδρογόνο. Ο αγωγός «TAP» θα χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση της Ελλάδας με την ευρωπαϊκή αγορά, ενώ στη Δυτική Μακεδονία θα δημιουργηθεί ένα σύμπλεγμα υδρογόνου, με σχέδια σύνδεσης με τον υφιστάμενο αγωγό «TAP».



Εικόνα 5 Σχεδιασμός αλυσίδας έργου

(Πηγή: Δημόσια Επιχείρηση Αερίου, 2021)

4.2 Πρακτικές διαχείρισης στη Μελέτης Περίπτωσης

Σύμφωνα με τα ευρήματα των βέλτιστων πρακτικών που αναλύθηκαν στην ενότητα 2.4, προκύπτει ότι ο «Λευκός Δράκος», εφόσον υλοποιηθεί, θα αποτελεί ένα θεμελιώδες βήμα προς την επίτευξη ενός πράσινου ενεργειακού τοπίου στην Ελλάδα, με έμφαση στην αξιοποίηση των δυνατοτήτων του υδρογόνου ως εναλλακτική πηγή καυσίμου. Καθώς το έργο στοχεύει να καλύψει ολόκληρη την αλυσίδα αξίας του υδρογόνου, είναι ζωτικής σημασίας η καθιέρωση βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας υδρογόνου, ώστε να διασφαλιστεί η απρόσκοπτη ενσωμάτωση, η αποτελεσματική λειτουργία και τα περιβαλλοντικά οφέλη.

Δίνοντας έμφαση στη συνεργασία, τις στρατηγικές συμπράξεις και τις συμμαχίες μεταξύ των ενδιαφερομένων, το έργο στοχεύει στη δημιουργία μιας αποτελεσματικής αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου. Με την υιοθέτηση αρθρωτών και κλιμακούμενων υποδομών, τεχνολογικών καινοτομιών και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας, το έργο επιδιώκει την ελαχιστοποίηση του κόστους και τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας. Επιπλέον, η ανάπτυξη του εργατικού δυναμικού, η συνεχής βελτίωση, η κανονιστική συμμόρφωση και η ανθεκτικότητα της αλυσίδας εφοδιασμού θα αποτελέσουν βασικά στοιχεία για την επιτυχία του έργου.

Ως προς τις κατευθυντήριες πρακτικές για το έργο, και με σκοπό την ανάπτυξη πυλώνων βελτίωσης ολόκληρης της εφοδιαστικής αλυσίδας, τα ευρήματα της έρευνας καταλήγουν στις ακόλουθες στρατηγικές πρακτικές για την διαχείριση μιας αποτελεσματικής εφοδιαστικής αλυσίδας:

- Κεντρική παραγωγή και αποκεντρωμένη διανομή

Για την αποτελεσματική παραγωγή υδρογόνου σε κλίμακα, στο έργο θα πρέπει να υιοθετήσει ένας συνδυασμός κεντρικών και αποκεντρωμένων μεθόδων παραγωγής υδρογόνου. Η κεντρική παραγωγή επιτρέπει οικονομίες κλίμακας και καλύτερο έλεγχο της διαδικασίας παραγωγής, ενώ η αποκεντρωμένη παραγωγή εξασφαλίζει ευελιξία και ανθεκτικότητα. Οι μεγάλης κλίμακας μονάδες ηλεκτρόλυσης θα πρέπει να τοποθετούνται στρατηγικά κοντά σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως ηλιακά και αιολικά πάρκα,

ώστε να αξιοποιείται η διαθεσιμότητα καθαρής ενέργειας. Μικρότερες, αποκεντρωμένες μονάδες ηλεκτρόλυσης μπορούν να τοποθετηθούν πιο κοντά στους τελικούς χρήστες, μειώνοντας το κόστος μεταφοράς και βελτιώνοντας τη συνολική αποδοτικότητα του έργου.

- **Ανάπτυξη ενός στιβαρού δικτύου μεταφοράς υδρογόνου**

Η ευρωπαϊκή πρωτοβουλία «Hydrogen Backbone» οραματίζεται ένα δίκτυο αγωγών υδρογόνου που θα συνδέει χώρες σε ολόκληρη την ήπειρο. Το έργο θα πρέπει να συμμετάσχει ενεργά στην ανάπτυξη αυτού του δικτύου και να συνδεθεί με τον αγωγό TAP, εξασφαλίζοντας την αποτελεσματική μεταφορά και εξαγωγή υδρογόνου. Επιπλέον, η δημιουργία ενός ειδικού αγωγού κορμού υδρογόνου στην Ελλάδα θα ενισχύσει περαιτέρω τη συνδεσιμότητα, επιτρέποντας τη διασύνδεση μεταξύ αποκεντρωμένων μονάδων παραγωγής πράσινου υδρογόνου και μεγάλων τελικών χρηστών.

- **Δημιουργία υποδομής ανεφοδιασμού με υδρογόνο**

Η ανάπτυξη μιας ισχυρής υποδομής μεταφοράς υδρογόνου είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχή ενσωμάτωση του υδρογόνου ως καυσίμου μεταφορών. Οι προσπάθειες θα πρέπει να επικεντρωθούν στο σχεδιασμό και την κατασκευή σταθμών ανεφοδιασμού υδρογόνου και στην υλοποίηση έργων υδρογόνου για διάφορους τρόπους μεταφοράς, συμπεριλαμβανομένων των οχημάτων συλλογής απορριμμάτων, των φορτηγών, των τρένων και των αυτοκινήτων. Είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι η υποδομή HRS κατασκευάζεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές ασφαλείας και είναι εύκολα προσβάσιμη από τους τελικούς χρήστες.

- **Ενσωμάτωση με το υφιστάμενο σύστημα μεταφοράς φυσικού αερίου**

Το έργο «Λευκός Δράκος» θα πρέπει να συνεργαστεί με το Εθνικό Σύστημα Μεταφοράς Φυσικού Αερίου (ΔΕΣΦΑ), ώστε να διευκολυνθεί η υποδοχή αυξανόμενων ποσοτήτων υδρογόνου στο σύστημα. Αυτό όχι μόνο θα μειώσει το ανθρακικό αποτύπωμα του καυσίμου αλλά και θα συμβάλει στην έναρξη της αγοράς υδρογόνου.

- **Προώθηση της συνεργασίας και της έρευνας**

Ο «Λευκός Δράκος» θα πρέπει να προωθήσει τη συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών, συμπεριλαμβανομένων των ενεργειακών εταιρειών, των ερευνητικών ιδρυμάτων και των κυβερνητικών φορέων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου οικοσυστήματος υδρογόνου στη Δυτική Μακεδονία, που περιλαμβάνει ένα Κέντρο Μελετών Υδρογόνου στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, ένα σύμπλεγμα υδρογόνου με έδρα το Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ) στην Πτολεμαΐδα και μια ηλεκτρονική πλατφόρμα για εφαρμογές τεχνολογίας υδρογόνου.

Επιπλέον, η δημιουργία ενός τεχνολογικού πάρκου υδρογόνου και ενός κόμβου καινοτομίας για το υδρογόνο και τις πράσινες ενεργειακές και περιβαλλοντικές τεχνολογίες θα προωθήσει περαιτέρω τη συνεργασία και την ταχεία ανάπτυξη πράσινων τεχνολογιών υδρογόνου. Αυτό θα δημιουργήσει ένα ευνοϊκό περιβάλλον για επενδύσεις μεγάλης κλίμακας στη Δυτική Μακεδονία και θα επιτρέψει στην περιοχή να καταστεί ηγετικός παίκτης στην παγκόσμια αγορά υδρογόνου.

- Διασφάλιση της ασφάλειας και της συμμόρφωσης

Είναι ζωτικής σημασίας να αναπτυχθούν και να επιβληθούν προδιαγραφές ασφαλείας, απαιτήσεις εγκαταστάσεων και ταξινομήσεις οχημάτων, ώστε να διασφαλιστεί ότι το υδρογόνο θα εισαχθεί ως καύσιμο μεταφοράς με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Αυτό περιλαμβάνει τον τεχνικό έλεγχο των οχημάτων υδρογόνου, την τήρηση των προτύπων ασφαλείας και την τακτική συντήρηση των σταθμών ανεφοδιασμού και των υποδομών μεταφοράς.

Με την υιοθέτηση αυτών των βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας υδρογόνου, η υλοποίηση του «Λευκού Δράκου» μπορεί να συμβάλει αποτελεσματικά στην ανάπτυξη ενός βιώσιμου, πράσινου ενεργειακού τοπίου στην Ελλάδα και στην ευρύτερη ευρωπαϊκή περιοχή.

4.3 Ευρήματα και Παρατηρήσεις

Σε αυτό το κεφάλαιο, αναλύονται συνοπτικά τα ευρήματα και τις παρατηρήσεις που προκύπτουν από τις περιγραφόμενες πρακτικές διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου για το έργο «Λευκός Δράκος», το οποίο στοχεύει στον μετασχηματισμό του ενεργειακού τοπίου της Ελλάδας μέσω της αξιοποίησης του πράσινου υδρογόνου ως εναλλακτικής πηγής καυσίμου.

Συμπερασματικά, όπως προκύπτει από τα ευρήματα της έρευνας, η πολυπλοκότητα και η ιδιαιτερότητα του έργου, καθιστά κρίσιμη την υιοθέτηση ενός υβριδικού μοντέλου πρακτικών για τη διαχείριση της διευρυμένης εφοδιαστικής αλυσίδας του υδρογόνου. Επομένως, η βέλτιστη στρατηγική παραγωγής είναι ο συνδυασμός κεντρικών και αποκεντρωμένων μεθόδων παραγωγής υδρογόνου, ο οποίος προσφέρει πολυάριθμα πλεονεκτήματα, συμπεριλαμβανομένων των οικονομιών κλίμακας, της ευελιξίας και της ανθεκτικότητας. Αυτή η υβριδική προσέγγιση διασφαλίζει ότι το έργο μπορεί να παράγει αποτελεσματικά υδρογόνο σε μεγάλη κλίμακα, ενώ παράλληλα προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των τελικών χρηστών και στη διαθεσιμότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στη συνέχεια κρίσιμη είναι η σημασία της υποδομής. Η ανάπτυξη ενός ισχυρού δικτύου μεταφοράς υδρογόνου είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχία του έργου. Με την ενεργό συμμετοχή στην ευρωπαϊκή πρωτοβουλία «Hydrogen Backbone» και τη σύνδεση με τον αγωγό «TAP», το έργο μπορεί να διευκολύνει την αποτελεσματική μεταφορά και εξαγωγή υδρογόνου. Επιπλέον, ο ειδικός αγωγός κορμού υδρογόνου στην Ελλάδα θα ενισχύσει τη συνδεσιμότητα μεταξύ των αποκεντρωμένων μονάδων παραγωγής και των μεγάλων τελικών χρηστών.

Επιπροσθέτως, ως προς την υποδομή ανεφοδιασμού και ενσωμάτωση των μεταφορών, κρίνεται ότι η επιτυχής ενσωμάτωση του υδρογόνου ως καυσίμου μεταφορών εξαρτάται από την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης υποδομής ανεφοδιασμού υδρογόνου. Εστιάζοντας στον σχεδιασμό και την κατασκευή σταθμών ανεφοδιασμού υδρογόνου (HRS) και στην υλοποίηση έργων υδρογόνου σε διάφορους τρόπους μεταφοράς, το έργο «Λευκός Δράκος» μπορεί να συμβάλει στην καθιέρωση του υδρογόνου ως βιώσιμης

εναλλακτικής πηγής καυσίμου, τηρώντας παράλληλα τα πρότυπα ασφαλείας και εξασφαλίζοντας την προσβασιμότητα για τους τελικούς χρήστες.

Σημαντική επίσης κρίνεται και η συνεργασία και έρευνα. Η προώθηση της συνεργασίας μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών, όπως οι εταιρείες ενέργειας, τα ερευνητικά ιδρύματα και οι κυβερνητικές υπηρεσίες, είναι απαραίτητη για την επιτυχία του «Λευκού Δράκου». Ένα ολοκληρωμένο οικοσύστημα υδρογόνου στη Δυτική Μακεδονία, το οποίο περιλαμβάνει ένα Κέντρο Μελέτης Υδρογόνου, μια συστάδα υδρογόνου και μια διαδικτυακή πλατφόρμα για εφαρμογές τεχνολογίας υδρογόνου, μπορεί να προωθήσει την καινοτομία και να διευκολύνει επενδύσεις μεγάλης κλίμακας στην περιοχή.

Τέλος ως προς την ασφάλεια και συμμόρφωση. Η διασφάλιση της ασφαλούς και αποτελεσματικής εισαγωγής του υδρογόνου ως καυσίμου μεταφορών απαιτεί την ανάπτυξη και την επιβολή προτύπων ασφαλείας, απαιτήσεων εγκατάστασης και ταξινομήσεων οχημάτων. Εστιάζοντας σε αυτές τις πτυχές, το έργο μπορεί να συμβάλει σε ένα βιώσιμο και ασφαλές τοπίο πράσινης ενέργειας στην Ελλάδα και πέραν αυτής.

Εν κατακλείδι, αυτά τα ευρήματα και οι παρατηρήσεις αναδεικνύουν τα κρίσιμα στοιχεία της διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου για το έργο. Με τον κατάλληλο χειρισμό αυτών των τομέων, το έργο μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην προώθηση της υιοθέτησης πράσινων τεχνολογιών υδρογόνου και στην προώθηση ενός καθαρότερου, πιο φιλικού προς το περιβάλλον μέλλοντος για την Ελλάδα και την ευρύτερη ευρωπαϊκή περιοχή.

5 Συμπεράσματα

5.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Το έργο «Λευκός Δράκος» είναι μια πρωτοποριακή πρωτοβουλία στην Ελλάδα, η οποία επικεντρώνεται στην ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου οικοσυστήματος πράσινου υδρογόνου που καλύπτει ολόκληρη την αλυσίδα αξίας του υδρογόνου. Με επενδύσεις συνολικού ύψους άνω των 8 δισεκατομμυρίων ευρώ, το έργο έχει λάβει σημαντική υποστήριξη από την ελληνική κυβέρνηση, την Ευρωπαϊκή Ένωση και διάφορους περιφερειακούς φορείς. Στόχος της έρευνας είναι να προσδιορίσουμε και να αναλύσουμε τις βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης για την εφοδιαστική αλυσίδα υδρογόνου, χρησιμοποιώντας αυτή την πρωτοβουλία ως πρωταρχική μελέτη περίπτωσης.

Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, εντοπίστηκαν βασικές πρακτικές διαχείρισης που συμβάλλουν στην απρόσκοπτη ολοκλήρωση, την αποτελεσματική λειτουργία και τα περιβαλλοντικά οφέλη της αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου. Οι πρακτικές αυτές περιλαμβάνουν ένα συνδυασμό κεντρικής και αποκεντρωμένης παραγωγής υδρογόνου, την ανάπτυξη ενός ισχυρού δικτύου μεταφοράς υδρογόνου και τη δημιουργία υποδομής ανεφοδιασμού υδρογόνου. Η ενσωμάτωση με τα υφιστάμενα συστήματα μεταφοράς φυσικού αερίου, η προώθηση της συνεργασίας και της έρευνας μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών και η διασφάλιση της ασφαλείας και της συμμόρφωσης αποτελούν ουσιώδεις κατευθύνσεις για την αποτελεσματικότητα του έργου.

Με την εξέταση του έργου «Λευκός Δράκος» και των διαφόρων συνιστωσών του, η μελέτη διερευνά πολύτιμες πληροφορίες για τις πρακτικές διαχείρισης που μπορούν να υιοθετηθούν από άλλες πρωτοβουλίες υδρογόνου παγκοσμίως παρόμοιας κλίμακας. Η έρευνα υπογραμμίζει τη σημασία της υιοθέτησης βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης στην εφοδιαστική αλυσίδα του υδρογόνου, η οποία μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη ενός βιώσιμου, πράσινου ενεργειακού τοπίου στην Ελλάδα και στην ευρύτερη ευρωπαϊκή περιοχή.

5.2 Σύνδεση με τη βιβλιογραφία

Η προσέγγιση του έργου «Λευκός Δράκος» για τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου αντικατοπτρίζει την τρέχουσα βιβλιογραφία σχετικά με τις βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης στη βιομηχανία υδρογόνου. Η κεντρική και αποκεντρωμένη παραγωγή υδρογόνου, μια βασική πτυχή του έργου, ευθυγραμμίζεται με τη βιβλιογραφία που τονίζει τη σημασία της εξισορρόπησης των οικονομικών κλίμακας με την ευελιξία και την ανθεκτικότητα στην αλυσίδα εφοδιασμού υδρογόνου. Με τη χωροθέτηση μεγάλων μονάδων ηλεκτρόλυσης κοντά σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και μικρότερων μονάδων κοντά στους τελικούς χρήστες, το έργο ακολουθεί τις συστάσεις κορυφαίων ερευνητών στον τομέα (Almaraz et al., Tili et al., 2013, 2020).

Μια άλλη κρίσιμη πτυχή του έργου που υποστηρίζεται από τη βιβλιογραφία είναι η ανάπτυξη ενός ισχυρού δικτύου μεταφοράς υδρογόνου, το οποίο είναι απαραίτητο για την αποτελεσματική διανομή και εξαγωγή υδρογόνου. Οι προσπάθειες του «Λευκού Δράκου» να συνδεθεί με τον αγωγό «TAP» και να συμμετάσχει στην ευρωπαϊκή πρωτοβουλία «Hydrogen Backbone» ευθυγραμμίζονται με τις συστάσεις των εμπειρογνομόνων που τονίζουν την ανάγκη για μια ολοκληρωμένη υποδομή μεταφοράς υδρογόνου (Reub et al., 2019). Αυτό περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός ειδικού αγωγού κορμού υδρογόνου στην Ελλάδα, ο οποίος θα επιτρέψει τη διασύνδεση μεταξύ των αποκεντρωμένων μονάδων παραγωγής πράσινου υδρογόνου και των μεγάλων τελικών χρηστών (Gul et al., 2009).

Τέλος, η βιβλιογραφία υπογραμμίζει τη σημασία της συνεργασίας μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών στον κλάδο του υδρογόνου, συμπεριλαμβανομένων των ενεργειακών εταιρειών, των ερευνητικών ιδρυμάτων και των κυβερνητικών φορέων. Το ολοκληρωμένο οικοσύστημα υδρογόνου του έργου «Λευκός Δράκος» στη Δυτική Μακεδονία, το οποίο περιλαμβάνει ένα Κέντρο Μελέτης Υδρογόνου, μια συστάδα υδρογόνου, μια διαδικτυακή πλατφόρμα για εφαρμογές τεχνολογίας υδρογόνου, ένα τεχνολογικό πάρκο υδρογόνου και έναν κόμβο καινοτομίας, αποτελεί παράδειγμα του είδους του συνεργατικού περιβάλλοντος που είναι απαραίτητο για την ταχεία ανάπτυξη και τις επενδύσεις μεγάλης κλίμακας στον τομέα του υδρογόνου (He et al., Sgarbossa et al., 2021, 2023).

5.3 Περιορισμοί της έρευνας

Η έρευνα επηρεάζεται από ορισμένους περιορισμούς που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Ένας σημαντικός περιορισμός είναι ότι το έργο

«Λευκός Δράκος» βρίσκεται ακόμη στα αρχικά στάδια ανάπτυξής του, με πολλές πτυχές να μην έχουν ακόμη εφαρμοστεί πλήρως. Αυτό σημαίνει ότι η ανάλυση των πρακτικών διαχείρισης του έργου ενδέχεται να μην αποτυπώνει πλήρως τις προκλήσεις και τις πολυπλοκότητες που ενδέχεται να προκύψουν κατά την πραγματική εκτέλεση του έργου. Κατά συνέπεια, τα ευρήματα της μελέτης περίπτωσης ενδέχεται να μην παρέχουν πλήρη αναπαράσταση των βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης στην αλυσίδα εφοδιασμού υδρογόνου.

Ένας άλλος περιορισμός είναι ότι η μελέτη επικεντρώνεται σε μία μόνο περίπτωση, γεγονός που περιορίζει τη δυνατότητα γενίκευσης των ευρημάτων. Παρόλο που το έργο είναι μια φιλόδοξη και ολοκληρωμένη πρωτοβουλία, ενδέχεται να μην αντιπροσωπεύει πλήρως το ποικίλο φάσμα έργων υδρογόνου που θα μπορούσαν να υλοποιηθούν σε διαφορετικά πλαίσια, υπό διαφορετική κλίμακα, πόρους και συμφέροντα των ενδιαφερομένων μερών. Ως εκ τούτου, τα συμπεράσματα που εξάγονται από αυτή τη μελέτη περίπτωσης ενδέχεται να μην είναι καθολικά εφαρμόσιμα σε άλλες πρωτοβουλίες για την αλυσίδα εφοδιασμού υδρογόνου.

Τέλος, η ταχέως εξελισσόμενη φύση της τεχνολογίας υδρογόνου και η αναδυόμενη αγορά υδρογόνου θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε νέες βέλτιστες πρακτικές και στρατηγικές διαχείρισης που δεν έχουν ακόμη ληφθεί υπόψη στην παρούσα έρευνα. Καθώς η βιομηχανία υδρογόνου συνεχίζει να αναπτύσσεται και να ωριμάζει, ενδέχεται να προκύψουν νέες προσεγγίσεις και καινοτομίες που θα μπορούσαν να αναμορφώσουν τις βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης για τις αλυσίδες εφοδιασμού υδρογόνου. Κατά συνέπεια, τα ευρήματα της παρούσας μελέτης περίπτωσης θα πρέπει να θεωρηθούν ως ένα στιγμιότυπο της τρέχουσας κατάστασης της γνώσης και της πρακτικής, η οποία μπορεί να εξελιχθεί με την πάροδο του χρόνου καθώς ο τομέας του υδρογόνου εξελίσσεται.

5.4 Βασικά ευρήματα και συμβολή της έρευνας

Τα κύρια ευρήματα της παρούσας έρευνας υπογραμμίζουν τη σημασία της υιοθέτησης βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης στη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου, ειδικά στο πλαίσιο του έργου «Λευκός Δράκος». Ο συνδυασμός κεντρικών και αποκεντρωμένων μεθόδων παραγωγής υδρογόνου, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη ενός ισχυρού δικτύου μεταφοράς υδρογόνου, επιτρέπει την αύξηση της αποδοτικότητας και της ανθεκτικότητας της αλυσίδας εφοδιασμού. Επιπλέον, η έρευνα υπογραμμίζει τη σημασία της ενσωμάτωσης της παραγωγής υδρογόνου με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως τα αιολικά και ηλιακά πάρκα, ώστε να διασφαλιστεί η περιβαλλοντικά βιώσιμη παραγωγή υδρογόνου.

Μια άλλη κρίσιμη πτυχή των ευρημάτων της έρευνας είναι η έμφαση στη δημιουργία υποδομών ανεφοδιασμού με υδρογόνο για τη διευκόλυνση της εισαγωγής του υδρογόνου ως καυσίμου μεταφορών. Με την ανάπτυξη σταθμών ανεφοδιασμού υδρογόνου και την υλοποίηση έργων υδρογόνου για διάφορους τρόπους μεταφοράς, συμπεριλαμβανομένων των οχημάτων συλλογής απορριμμάτων, των φορτηγών, των τρένων και των αυτοκινήτων, το έργο «Λευκός Δράκος» μπορεί να ενσωματώσει με επιτυχία το υδρογόνο στον τομέα των μεταφορών. Επιπλέον, η έρευνα υπογραμμίζει την αναγκαιότητα της ενσωμάτωσης με τα υφιστάμενα συστήματα μεταφοράς φυσικού

αερίου και τη διασφάλιση της ασφάλειας και της συμμόρφωσης κατά την εισαγωγή του υδρογόνου ως καυσίμου μεταφορών.

Η μελέτη υπογραμμίζει επίσης τη σημασία της προώθησης της συνεργασίας και της έρευνας μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών που συμμετέχουν στο έργο. Η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου οικοσυστήματος υδρογόνου στη Δυτική Μακεδονία, συμπεριλαμβανομένου ενός Κέντρου Μελέτης Υδρογόνου στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, ενός συμπλέγματος υδρογόνου με έδρα το ΕΚΕΤΑ στην Πτολεμαΐδα και μιας διαδικτυακής πλατφόρμας για εφαρμογές τεχνολογίας υδρογόνου, θα προωθήσει τη συνεργασία μεταξύ ενεργειακών εταιρειών, ερευνητικών ιδρυμάτων και κυβερνητικών φορέων. Αυτό το συνεργατικό περιβάλλον θα δημιουργήσει ένα ευνοϊκό επενδυτικό τοπίο για έργα μεγάλης κλίμακας στη Δυτική Μακεδονία, επιτρέποντας στην περιοχή να καταστεί ηγετικός παίκτης στην παγκόσμια αγορά υδρογόνου.

Η έρευνα συμβάλλει στην υπάρχουσα βιβλιογραφία σχετικά με τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου παρέχοντας μια ολοκληρωμένη ανάλυση του έργου «Λευκός Δράκος» και προσδιορίζοντας τις πρακτικές διαχείρισης που μπορούν να υιοθετηθούν από άλλες πρωτοβουλίες υδρογόνου παγκοσμίως. Εστιάζοντας σε αυτό το project ως μελέτη περίπτωσης, η έρευνα προσφέρει πολύτιμες γνώσεις και πρακτικές συστάσεις για παρόμοια έργα, επιτρέποντας στην παγκόσμια βιομηχανία υδρογόνου να αναπτύξει και να εφαρμόσει αποτελεσματικές και βιώσιμες πρακτικές διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου.

5.5 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Με βάση τα ευρήματα της παρούσας μελέτης, υπάρχουν πολλές ευκαιρίες για περαιτέρω έρευνα στο πλαίσιο του έργου «Λευκός Δράκος» και της διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου. Μια πιθανή κατεύθυνση περιλαμβάνει τη διεξαγωγή διαχρονικών μελετών καθώς εξελίσσεται το έργο. Η προσέγγιση αυτή θα επιτρέψει στους ερευνητές να αξιολογήσουν την αποτελεσματικότητα των αναγνωρισμένων πρακτικών διαχείρισης με την πάροδο του χρόνου και να προσδιορίσουν εάν προκύπτουν νέες πρακτικές καθώς εξελίσσεται το έργο. Οι διαχρονικές μελέτες θα μπορούσαν επίσης να προσφέρουν πληροφορίες για τον τρόπο με τον οποίο το έργο προσαρμόζεται σε απρόβλεπτες προκλήσεις, τεχνολογικές εξελίξεις και εξελισσόμενες δυναμικές της αγοράς.

Ένας άλλος τομέας για περαιτέρω έρευνα περιλαμβάνει τη διεξαγωγή συγκριτικών περιπτώσιολογικών μελετών πολλαπλών πρωτοβουλιών υδρογόνου σε διαφορετικές χώρες και πλαίσια. Συγκρίνοντας το έργο «Λευκός Δράκος» με άλλα παρόμοια έργα, οι ερευνητές μπορούν να κατανοήσουν βαθύτερα τη δυνατότητα γενίκευσης και προσαρμογής των βέλτιστων πρακτικών που εντοπίστηκαν στη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού υδρογόνου. Οι συγκριτικές μελέτες μπορούν επίσης να αποκαλύψουν μοναδικούς περιφερειακούς και συγκυριακούς παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό και τη διαχείριση των αλυσίδων εφοδιασμού υδρογόνου, παρέχοντας έτσι πολύτιμες γνώσεις για τα ενδιαφερόμενα μέρη που εμπλέκονται στην ανάπτυξη και την υλοποίηση πρωτοβουλιών υδρογόνου παγκοσμίως.

Ένας τρίτος δρόμος για περαιτέρω έρευνα είναι η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των αλυσίδων εφοδιασμού υδρογόνου και άλλων ενεργειακών συστημάτων, όπως τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και τα δίκτυα φυσικού αερίου. Η εξέταση των συνεργειών και των προκλήσεων της διαχείρισης ολοκληρωμένων ενεργειακών συστημάτων θα παρέχει μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση της πολυπλοκότητας που συνδέεται με τη μετάβαση σε ένα ενεργειακό μέλλον χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η έρευνα αυτή θα μπορούσε να εντοπίσει ευκαιρίες για τη βελτιστοποίηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του υδρογόνου και άλλων ενεργειακών φορέων, οδηγώντας σε πιο αποδοτικά και ανθεκτικά ενεργειακά συστήματα.

Τέλος, η διερεύνηση του αντίκτυπου της πολιτικής και των κανονιστικών πλαισίων στην ανάπτυξη και τη διαχείριση των αλυσίδων εφοδιασμού υδρογόνου αποτελεί ουσιαστικό πεδίο για μελλοντική έρευνα. Ο ρόλος των κυβερνητικών πολιτικών, των κανονισμών του κλάδου και των διεθνών συμφωνιών στη διαμόρφωση της αγοράς υδρογόνου και στον επηρεασμό των πρακτικών διαχείρισης της αλυσίδας εφοδιασμού αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχή ανάπτυξη του υδρογόνου ως εναλλακτικής πηγής ενέργειας. Με την ανάλυση του τοπίου πολιτικής που περιβάλλει τα έργα υδρογόνου, όπως το «Λευκός Δράκος», οι ερευνητές μπορούν να προσδιορίσουν τις βέλτιστες πρακτικές στο σχεδιασμό και την εφαρμογή πολιτικών που υποστηρίζουν αποτελεσματικά και επιταχύνουν την ανάπτυξη της βιομηχανίας υδρογόνου.

6 Βιβλιογραφικές Αναφορές

Αυγέρη, Μ. (2017). Η αριστεία στην διεθνή εφοδιαστική αλυσίδα

Βερανούδης, Μ. Α. (2022). Αξιολόγηση της ενσωμάτωσης των νέων τεχνολογιών πληροφορικής στην εφοδιαστική αλυσίδα και η συμβολή τους στην βιώσιμη ανάπτυξη

ΔΕΠΑ (2021) “White Dragon” proposal submitted for IPCEI Hydrogen Important Projects of Common European Interest

Θεοχάρη, Δ. (2022). Βιωσιμότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα: βέλτιστες πρακτικές (Master's thesis, Πανεπιστήμιο Πειραιώς)

Μπύρος, Κ. (2023). Logistics και διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας. Μια ανάλυση των δεικτών απόδοσης: μελέτη περίπτωσης επίπλων IKEA (Master's thesis, Πανεπιστήμιο Πειραιώς)

Πάππου, Γ. (2022). Ψηφιακός μετασχηματισμός σε αλυσίδες εφοδιασμού στον κλάδο των ταχέως κινούμενων καταναλωτικών προϊόντων (Master's thesis, Πανεπιστήμιο Πειραιώς)

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ελληνική Κυβέρνηση (2020) Επικαιροποιημένο Master Plan Δίκαιης Αναπτυξιακής Μετάβασης των λιγνιτικών περιοχών

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Ελληνική Κυβέρνηση (2019) Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα

Τασιοπούλου, Σ. (2022). Η ανάπτυξη κουλτούρας Lean Management (λιτής διοίκησης). Η περίπτωση της Περιφέρειας Αττικής (Doctoral dissertation, University of Piraeus (Greece))

Atilhan , Selma Sunhwa Park, Mahmoud M El-Halwagi, Mert Atilhan, Margaux Moore, Rasmus B Nielsen, Green hydrogen as an alternative fuel for the shipping industry, Current Opinion in Chemical Engineering, <https://doi.org/10.1016/j.coche.2020.100668>

Almansoori A., N. Shah, Design and operation of a stochastic hydrogen supply chain network under demand uncertainty, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 37, Pages 3965-3977, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.11.091>.

Almaraz Sofía De-León, Catherine Azzaro-Pantel, Ludovic Montastruc, Luc Pibouleau, Oscar Baez Senties, Assessment of mono and multi-objective optimization to design a hydrogen supply chain, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 38, Issue 33, 2013, Pages 14121-14145, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.07.059>

Althaf, S., & Babbitt, C. W. (2021). Disruption risks to material supply chains in the electronics sector. *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105248

Agnolucci P., O. Akgul, W. McDowall, L.G. Papageorgiou The importance of economies of scale, transport costs and demand patterns in optimising hydrogen fuelling infrastructure: an exploration with SHIPMod (Spatial hydrogen infrastructure planning model) *Int. J. Hydrogen Energy*, 38 (2013), pp. 11189-11201, 10.1016/J.IJHYDENE.2013.06.071

Andrews, J., & Shabani, B. (2014). The role of hydrogen in a global sustainable energy strategy. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 3(5), 474-489

Antwi, S. K., & Hamza, K. (2015). Qualitative and quantitative research paradigms in business research: A philosophical reflection. *European journal of business and management*, 7(3), 217-225

Ball, M., & Wietschel, M. (2009). The future of hydrogen—opportunities and challenges. *International journal of hydrogen energy*, 34(2), 615-627

Barreto, L., Makihiro, A., & Riahi, K. (2003). The hydrogen economy in the 21st century: a sustainable development scenario. *International Journal of Hydrogen Energy*, 28(3), 267-284

Bhatnagar, R., & Viswanathan, S. (2000). Re-engineering global supply chains: Alliances between manufacturing firms and global logistics services providers. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*

Blanchard, D. (2007). *Supply chain management best practices*. John Wiley & Sons

Cerniauskas, A. Jose Chavez Junco, T. Grube, M. Robinius, D. Stolten Options of natural gas pipeline reassignment for hydrogen: cost assessment for a Germany case study *Int. J. Hydrogen Energy*, 45 (2020), pp. 12095-12107, 10.1016/J.IJHYDENE.2020.02.121

Chen, I. and Paulraj, A. (2004). Towards a Theory of Supply Chain Management: The Constructs and Measurements. *Journal of Operations Management*, 22(2), pp.119-150

Claassen, M. J., Van Weele, A. J., & Van Raaij, E. M. (2008). Performance outcomes and success factors of vendor managed inventory (VMI). *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(6), 406-414

Cohen, S., & Roussel, J. (2013). *Strategic supply chain management: the five disciplines for top performance*. McGraw-Hill Education

Committee on Alternatives and Strategies for Future Hydrogen Production and Use. *The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs*. United States: N. p., 2004. Web. doi:10.2172/882095

Cuthbertson, R. and Piotrowicz, W. (2008), "Supply chain best practices – identification and categorisation of measures and benefits", *International Journal of Productivity and Performance Management*

Dani, S. (2009). Predicting and managing supply chain risks. *Supply chain risk: a handbook of assessment, management, and performance*, 53-66

Eicke, L., & De Blasio, N. (2022). The Future of Green Hydrogen Value Chains: Geopolitical and Market Implications in the Industrial Sector. *Environment and Natural Resources Program Reports*

El Kharbachi, A., Dematteis, E. M., Shinzato, K., Stevenson, S. C., Bannenberg, L. J., Heere, M., ... & Hauback, B. C. (2020). Metal hydrides and related materials. Energy carriers for novel hydrogen and electrochemical storage. *The Journal of Physical Chemistry C*, 124(14), 7599-7607

European Hydrogen Backbone (2021). Analysing future demand supply, and transport of hydrogen <https://ehb.eu/files/downloads/EHB-Analysing-the-future-demand-supply-and-transport-of-hydrogen-June-2021-v3.pdf>

Fabbe-Costes, N., & Jahre, M. (2008). Supply chain integration and performance: a review of the evidence. *The International Journal of Logistics Management*

Finke, C. E., Leandri, H. F., Karumb, E. T., Zheng, D., Hoffmann, M. R., & Fromer, N. A. (2021). Economically advantageous pathways for reducing greenhouse gas emissions from industrial hydrogen under common, current economic conditions. *Energy & Environmental Science*, 14(3), 1517-1529

Gerard Frank, Nuffel Luc, Smit Tycho, Yearwood Jessica and Cerny Ondrej, Trinomics (2020). Opportunities for Hydrogen Energy Technologies considering the National Energy & Climate Plans

Gerring, J. (2004). What is a case study and what is it good for?. *American political science review*, 98(2), 341-354

Gül T., S. Kypreos, H. Turton, L. Barreto An energy-economic scenario analysis of alternative fuels for personal transport using the Global Multi-regional MARKAL model (GMM) *Energy*, 34 (2009), pp. 1423-1437, 10.1016/j.energy.2009.04.010

Gunasekaran, A., Patel, C., & Tirtiroglu, E. (2001). Performance measures and metrics in a supply chain environment. *International journal of operations & production Management*, 21(1/2), 71-87

Hassija, V., Chamola, V., Gupta, V., Jain, S., & Guizani, N. (2020). A survey on supply chain security: Application areas, security threats, and solution architectures. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(8), 6222-6246

Johnson N., J. Ogden A spatially-explicit optimization model for long-term hydrogen pipeline planning *Int. J. Hydrogen Energy*, 37 (2012), pp. 5421-5433, 10.1016/j.ijhydene.2011.08.109

Kalaiarasan, R., Agrawal, T. K., Olhager, J., Wiktorsson, M., & Hauge, J. B. (2022). Supply chain visibility for improving inbound logistics: a design science approach. *International Journal of Production Research*, 1-16

Ketchen, D. and Hult, T. (2007). Bridging Organization Theory and Supply Chain Management: The Case of Best Value Supply Chains. *Journal of Operations Management*, 25(2), pp.573-580

Khalilpour, K. R., Pace, R., & Karimi, F. (2020). Retrospective and prospective of the hydrogen supply chain: A longitudinal techno-historical analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(59), 34294-34315

Kim Jiyong, Younghee Lee, Il Moon, Optimization of a hydrogen supply chain under demand uncertainty, *International Journal of Hydrogen Energy*

Koçoğlu, İ., İmamoğlu, S. Z., İnce, H., & Keskin, H. (2011). The effect of supply chain integration on information sharing: Enhancing the supply chain performance. *Procedia-social and behavioral sciences*, 24, 1630-1649

Lei Li, Hervé Manier, Marie-Ange Manier, Hydrogen supply chain network design: An optimization-oriented review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 103, 2019, Pages 342-360

Mejias, A. and Pardo, J. (2014). Best Practices in Sustainable Supply Chain Management: A Literature Review. Book of the Proceedings of the *7th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*, available at: <http://www.insisoc.org/CIO2013/papers/EN-01%20S&E/Best%20Practices%20in%20Sustainable%20Supply%20Chain%20Management%20A%20Literature%20Review.pdf>

Mohamadreza Fazli-Khalaf, Bahman Naderi, Mohammad Mohammadi, Mir Saman Pishvaei, Design of a sustainable and reliable hydrogen supply chain network under mixed uncertainties: A case study, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020

Nassimbeni, G. (1998). Network Structures and Co-ordination Mechanisms: A Taxonomy. *International Journal of Operations & Production Management*, 18(6), pp.538-554

Nunes Paula, Fabricio Oliveira, Silvio Hamacher, Ali Almansoori, Design of a hydrogen supply chain with uncertainty, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 40, Issue 46, 2015, Pages 16408-16418

Rao, P., & Holt, D. (2005). Do green supply chains lead to competitiveness and economic performance?. *International journal of operations & production management*

Ratnakar, R. R., Gupta, N., Zhang, K., van Doorne, C., Fesmire, J., Dindoruk, B., & Balakotaiah, V. (2021). Hydrogen supply chain and challenges in large-scale LH2 storage and transportation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(47), 24149-24168

Reuß, M., Grube, T., Robinius, M., Preuster, P., Wasserscheid, P., & Stolten, D. (2017). Seasonal storage and alternative carriers: A flexible hydrogen supply chain model. *Applied energy*, 200, 290-302

Riera Jefferson A., Ricardo M. Lima, Omar M. Knio, A review of hydrogen production and supply chain modeling and optimization, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2023, Pages 13731-13755

Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2117-2135

Shepherd, C. and Gunter, H. (2006). Measuring Supply Chain: Current Research and Future Directions. *Journal of Productivity and Performance Management*, 55(3-4), pp.242-258

Singh, D. K., & Singh, S. (2013). JIT: A strategic tool of inventory management. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 3(2), 133-136

Skiba, R. (2020). Competency Standards for Emerging Hydrogen Related Activities.

Van Wassenhove, L. N. (2006). Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational research Society*, 57(5), 475-489

Sgarbossa Fabio, Simone Arena, Ou Tang, Mirco Peron, Renewable hydrogen supply chains: A planning matrix and an agenda for future research, *International Journal of Production Economics*

Tan. K., Kannan, V. and Handfield, R. (1998). Supply Chain Management Supplier Performance and Firm Performance. *International Journal of Purchasing and Material Management*, 34(3), pp. 2-9

Tlili O., C. Mansilla, Linßen, J., M. Reuß, T. Grube, M. Robinius, J. André, Y. Perez, A. Le Duigou, D. Stolten Geospatial modelling of the hydrogen infrastructure in France in order to identify the most suited supply chains *Int. J. Hydrogen Energy*, 45 (2020), pp. 3053-3072, 10.1016/J.IJHYDENE.2019.11.006

Yin, R. (1984). *Case Study Research: Design and Methods*. Beverly Hills, California: Sage Publications

Yin, R. (1994). *Case study research: Design and methods* (2nd ed.). Newbury Park, CA: SAGE Publications