



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΚΑΙ
ΒΙΩΣΙΜΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΛΕΩΦΟΡΕΙΩΝ ΣΕ ΜΙΑ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΗ: ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΡΕΘΥΜΝΟΥ, ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ
ΣΜΑΡΑΓΔΑΚΗ ΆΓΓΕΛΟΥ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Καθηγητής ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΤΣΟΥΤΣΟΣ
(ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

Καθηγητής ΓΕΝΤΕΚΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Αν. Καθηγήτρια ΔΙΟΝΥΣΙΑ ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ

ΧΑΝΙΑ, 2018



ΑΦΙΕΡΩΝΕΤΑΙ
στους γονείς μου

Ευχαριστίες

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέπον Καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Θεοχάρη Τσούτσο για την αμέριστη στήριξη και την άψογη συνεργασία μας. Ευχαριστώ τον Αν. Καθηγητή και μέλος της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, κ. Σπύρο Παπαευθυμίου για τη συνεργασία μας. Ιδιαίτερα, ευχαριστώ πολύ τη μεταπτυχιακή φοιτήτρια Ελένη Φαρμάκη για τη πολύτιμη βοήθεια και τη καθοδήγηση της σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Επιπροσθέτως, ευχαριστώ θερμά τον Δρα. Σπυρίδωνα Φωτείνη για τη βοήθεια, τις πληροφορίες και τις συμβουλές του. Επιπλέον, ευχαριστώ τον Καθηγητή Ιωάννη Γεντεκάκη και την Αν. Καθηγήτρια Κολοκοτσά Διονυσία που αποτέλεσαν μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής καθώς και για τα πολύτιμα σχόλια πάνω στην εργασία μου.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους φίλους μου και ειδικά τα αδέρφια μου για τη στήριξη και τη συμπαράστασή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Περίληψη	2
Abstract	4
Πίνακας Συνοτομογραφιών	5
Κατάλογος Πινάκων	6
Κατάλογος Διαγραμμάτων	7
Κατάλογος εικόνων	8
Κατάλογος Σχημάτων	8
Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή	9
Κεφάλαιο 2 : Διεθνής εμπειρία	10
2.1 Λειτουργία των ηλεκτρικών λεωφορείων	10
2.1.1 Πρόσδος μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων	12
Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (LiNiCoAlO ₂)	14
Lithium Titanate (Li ₄ Ti ₅ O ₁₂)	14
Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (LiNiMnCoO ₂ or NMC)	14
Lithium Iron Phosphate (LiFePO ₄)	14
Lithium Cobalt Oxide (LiCoO ₂)	14
Lithium Manganese Oxide (LiMn ₂ O ₄)	14
2.2 Εκβιομηχάνιση ηλεκτρικών λεωφορείων	14
2.2.1 Επικρατούσα παγκόσμια κατάσταση	14
2.2.2 Προβλήματα προώθησης	16
2.3 ΑΚΖ Ηλεκτρικών Λεωφορείων με Συσσωρευτή	18
Κεφάλαιο 3 : Μεθοδολογία	24
3.1 Περιγραφή εξεταζόμενου συστήματος	24
3.1.1 Ηλεκτρικό λεωφορείο της εταιρίας EnovRo BUS kft.(Modulo C48E)	24
3.1.2 Συμβατικό λεωφορείο της εταιρίας Otokar (Navigo C)	26
3.2 Ανάλυση Κύκλου Ζωής	28
3.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	28
3.2.2 Σκοπός της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	29
3.2.3 Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	29
3.3 Περιγραφή λογισμικού	33
3.3.1 Εισαγωγή στο SimaPro	33
3.3.2 Ξεκινώντας στο SimaPro	34
3.3.3 Μέθοδοι αποτίμησης	37

3.3.4 Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν	38
3.4 Σενάρια που μελετήθηκαν.....	40
3.5 Βασικές υποθέσεις και αναφορές.....	42
3.6 Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας & Περίοδος Αποπληρωμής	45
3.7 Επιλογή διαδρομών και παραμέτρων	47
3.7.1 Βασικές υποθέσεις-Ανάλυση οικονομικών παραμέτρων	49
Κεφάλαιο 4 : Αποτελέσματα	53
4.1 Απογραφή του Κύκλου Ζωής - Life Cycle Inventory (LCI)	53
4.3 Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.....	55
4.3.1 Βασικό σενάριο σύγκρισης λεωφορείων.....	55
4.3.2 2ο Σενάριο σύγκρισης λεωφορείων- Αύξηση κατανάλωσης κατά 10%.	63
4.3.4 3ο Σενάριο σύγκρισης λεωφορείων- Αλλαγή στη διαδρομή (λιγότερα χιλιόμετρα)	70
4.3.5 4ο Σενάριο σύγκρισης λεωφορείων-Πληρότητα λεωφορείου στο 60% της συνολικής	77
4.3.6 5ο Σενάριο σύγκρισης λεωφορείων-Πληρότητα λεωφορείου στο 100% της συνολικής.....	79
4.3.7 6ο Σενάριο σύγκρισης λεωφορείων-Αλλαγή Λειτουργικής μονάδας.....	80
4.4 Κόστος Ιδιοκτησίας & Περίοδος Αποπληρωμής	82
4.4.1 1ο Σενάριο χρόνων ζωής.....	83
4.4.2 2ο Σενάριο χρόνων ζωής.....	87
Κεφάλαιο 5 : Συζήτηση-Συμπεράσματα.....	92
Κεφάλαιο 6 : Προτάσεις για το μέλλον	97
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	98
INTERNET SITES.....	101
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	102

Περίληψη

Ο τομέας των μεταφορών είναι μεταξύ των κρίσιμων τομέων που συμβάλλουν σημαντικά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και ως εκ τούτου στην τοπική και σφαιρική κλιματική αλλαγή. Οι τρέχουσες μελέτες αναφέρουν ότι η ενσωμάτωση των ηλεκτρικών λεωφορείων στις δημόσιες συγκοινωνίες είναι ένα κρίσιμο βήμα προς τον προγραμματισμό της βιώσιμης κινητικότητας και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιδράσεων στο τομέα των μεταφορών. Στις ημέρες μας περισσότερο από το 1.2% του στόλου των λεωφορείων στην Ευρώπη είναι πλήρως ηλεκτρικά και υπολογίζεται το ποσοστό αυτό να αυξηθεί στο κοντινό μέλλον.

Η αγορά των ηλεκτρικών λεωφορείων παρέχει πλέον μια ευρεία ποικιλία των πρότυπων λεωφορείων, με διαφορετικά χαρακτηριστικά και χωρητικότητα και ένα συνεχώς αυξανόμενο εύρος χιλιομέτρων που μπορούν να πραγματοποιήσουν. Μπορούν να διαιρεθούν σε κατηγορίες, βασιζόμενες στη ρουτίνα διαδρομών τους και το μήκος τους, στοχεύοντας να καλύψουν τις διαφορετικές ανάγκες των δημόσιων συστημάτων μεταφοράς. Εντούτοις, λαμβάνοντας υπόψη τις πτυχές παραγωγής και προμήθειας των ηλεκτρικών λεωφορείων, μερικά μειονεκτήματα μπορούν να προσδιοριστούν εύκολα, όπως το μεγάλο αρχικό κόστος επένδυσης, το βάρος τους και οι εκπομπές του CO₂ κατά τη διάρκεια της παραγωγής.

Προκειμένου να αξιολογηθούν οι περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις της ενσωμάτωσης των ηλεκτρικών λεωφορείων στους δημόσιους στόλους, αυτή η έρευνα συγκρίνει ένα πλήρως ηλεκτρικό λεωφορείο και ένα συμβατικό λεωφορείο με μια diesel-εσωτερική μηχανή καύσης. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της μεθόδου Ανάλυσης Κύκλων Ζωής (LCA), μαζί με την ανάλυση του συνολικού κόστους της ιδιοκτησίας (TCO) και την εκτίμηση των ετών αποπληρωμής της επένδυσης για την αγορά των δύο τύπων λεωφορείου, με παρόμοια χαρακτηριστικά: μίνι λεωφορεία με μήκος 7 m ικανό να εξυπηρετήσει τις αστικές διαδρομές.

Η ανάλυση LCA περιλαμβάνει όλα τα στάδια της ζωής των λεωφορείων, εκτός από την τελική τους διάθεση και την ανακύκλωση, ενσωματώνοντας τα στοιχεία για το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας, την εποχική διακύμανση και τις εξυπηρετούμενες διαδρομές κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου στη πόλη του Ρεθύμνου. Μετά από μια σφαιρική προσέγγιση για την αξιολόγηση, η ανάλυση TCO και ο χρόνος εξόφλησης υπολογίστηκαν για να αποτυπώσουν το οικονομικό αντίκτυπο ανά km των οχημάτων για διαφορετικά σενάρια, συμπεριλαμβανομένων 3 διαφορετικών αστικών διαδρομών μέσα στην πόλη αλλά και της ευρύτερης περιοχής του Ρεθύμνου καθώς και τις εκτός/εκτός περιόδων αιχμής του τουρισμού. Προκειμένου να παραχθούν αξιόπιστα αποτελέσματα, τα απαραίτητα στοιχεία έχουν προκύψει από βιβλιογραφική εμπειρία και από παροχής πληροφοριών που συλλέχθηκαν από εταιρίες κατασκευής ηλεκτρικών και συμβατικών λεωφορείων

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της AKZ, η κατασκευή μπαταριών ιόντων-λιθίου και η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι τα στάδια με τις βαρύτερες περιβαλλοντικές επιδράσεις, ενώ η οικονομική ανάλυση δείχνει ότι η τιμή των μπαταριών αυτών έχει σημαντική συνεισφορά στο Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας των ηλεκτρικών λεωφορείων και στα έτη αποπληρωμής του, τα οποία είναι πάντα υψηλότερα σε σύγκριση με το συμβατικό

(ΔΤCO). Εντούτοις, η μείωση της τιμής των μπαταριών αυτού του τύπου θα οδηγήσει σε μείωση της συνολικής τιμής του λεωφορείου.

Η μελέτη επισημαίνει την ανάγκη να προσδιοριστούν τρόποι για τη μείωση της περιβαλλοντικής επίδρασης της κατασκευής μπαταριών και να χρησιμοποιηθούν ελαφρύτερα ή ανακυκλώσιμα υλικά, δεδομένου ότι αυτό θα μειώσει το συνολικό βάρος και τις γενικές δαπάνες των λεωφορείων. Αυτές οι βελτιώσεις, θα επιφέρουν περαιτέρω αύξηση στα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη των ηλεκτρικών λεωφορείων και θα διευκολύνουν την ενσωμάτωσή τους στους δημόσιους στόλους. Έτσι θα αποτελούν βιώσιμη λύση για να καλύψουν τις ανάγκες των μεταφορών του τοπικού πληθυσμού και να μετριάσουν τις επιδράσεις τις εκπομπές, ειδικά κατά τη διάρκεια της τουριστικής περιόδου.

Abstract

Transportation has been amongst the crucial sectors that contributed significantly to greenhouse gas emissions and hence to local and global climate change. Current studies suggest that the incorporation of electric buses in the public transport is a crucial step towards the planning of sustainable mobility and the reduction of the environmental impacts of transportation. Nowadays, more than 1.2% of bus fleets in Europe are fully electric and that number is estimated to increase in the near future.

The market of electric buses provides a wide variety of models, with different characteristics and a constantly increased range and capacity, which can be divided into categories, based on their routes routine and their length, aiming to cover the different needs of public transport systems. However, considering the production and procurement aspects of the electric buses, some drawbacks can be easily identified, such as the big initial investment cost, their weight and CO₂ emissions during production.

In order to evaluate the environmental and economic implications of the integration of e-buses in the public fleets, this research compares a fully electric battery bus and a conventional bus with a diesel-fueled internal combustion engine, by implementing an approximate Life Cycle Assessment (LCA) analysis, along with the analysis of Total Cost of Ownership (TCO) and the estimation of Payoff years on these two bus types, with similar characteristics: mini buses with 7-m length and able to serve urban routes.

The LCA analysis included all the stages of buses' life, except for final disposal and recycling, incorporating data about the electricity mix, the seasonal fluctuation and the served routes during the summer period in Rethymno. Following a spherical approach for the assessment, the TCO analysis and the payoff time were estimated to calculate the impact per km of the vehicles for different scenarios, including 3 different urban routes in the city and the greater area of Rethymno and the peak/off-peak tourist period. In order to produce reliable results, the required data have been derived from literature reviews and from companies that produce electric and conventional buses.

The LCA results indicate that in the case of Rethymno, the Li-ion batteries manufacturing and the production of electricity are the stages with the heaviest environmental impacts, while the economic analysis indicates that of the price of the Li-ion batteries significantly affects the TCO and the pay back period of the electric bus, which are always higher in comparison with the conventional one (Δ TCO). However, the battery price reduction will lead to a reduction of the e-bus TCO.

The study reveals that the need to identify ways to reduce the environmental impact of the batteries manufacturing and use lighter or recyclable materials is considered imperative, since this will reduce the total weight and the overall costs of the buses. These improvements will further increase the environmental and economic benefits of electric buses and facilitate their incorporation in the public fleets as a sustainable solution to address the transport needs of the local population and mitigate the impacts on energy and emissions, especially during the tourist period.

Πίνακας Συντομογραφιών

- **ΑΚΖ:** Ανάλυση Κύκλου Ζωής
- **ΑΠΕ:** Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
- **Δ/Υ:** Δεν υπάρχουν
- **ΕΕ:** Ευρωπαϊκή Ένωση
- **ΕΞΔ:** Εξωτερικές δαπάνες
- **ΗΛΣ:** Ηλεκτρικό Λεωφορείο Συσσωρευτή
- **ΗΛΥ:** Ηλεκτρικό Λεωφορείο Υδρογόνου
- **ΗΟ:** Ηλεκτρικό όχημα
- **Ιόντων-Li:** Ιόντων Λιθίου
- **ΛΚΚ:** Λεωφορείο Κυψέλης Καυσίμου
- **ΛΝ:** Λεωφορείο Ντίζελ
- **ΟΕΚ:** Όχημα Εσωτερικής Καύσης
- **ΟΚΚ:** Όχημα Κυψέλης Καυσίμου
- **ΠΑ:** Περίοδος Αποπληρωμής
- **ΣΚΙ:** Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας
- **ΣΛΕΚ:** Συμβατικό Λεωφορείο Εσωτερικής Καύσης
- **ΙΕΑ:** International Energy Agency

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2:1 Εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικών λεωφορείων και χαρακτηριστικά	16
Πίνακας 2:2 Πλεονεκτήματα ηλεκτρικών λεωφορείων με συσσωρευτή	17
Πίνακας 2:3 Μειονεκτήματα ηλεκτρικών λεωφορείων με συσσωρευτή`	18
Πίνακας 2:4 Εκπομπές CO ₂ κατά τη φάση της WTW ανάλυσης.[Mahmoud et al, 2016]	19
Πίνακας 2:5 Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για μια AKZ ενός ηλεκτρικού οχήματος[Nuri Cihat Onat et al, 2014]	21
Πίνακας 2:6 Υλικά μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων για μια AKZ[Tagliaferri et al, 2016]	22
Πίνακας 2:7 Αποτελέσματα AKZ ηλεκτρικού οχήματος[Tagliaferri, et al, 2016]	23
Πίνακας 3:1 Χαρακτηριστικά ηλεκτρικού λεωφορείου Modulo C48E	25
Πίνακας 3:2 Μπαταρίες της εταιρίας Valence και χαρακτηριστικά αυτών.....	26
Πίνακας 3:3 Χαρακτηριστικά συμβατικού λεωφορείου Navigo C.....	27
Πίνακας 3:4 Χαρακτηριστικά λεωφορείων προς σύγκριση	28
Πίνακας 3:5 Πίνακας με τους δεκαοκτώ δείκτες [Πανταζή, 2014]	39
Πίνακας 3:6 Σύνοψη σεναρίων για τη σύγκριση λεωφορείων	42
Πίνακας 3:7 Σύνοψη βασικών σεναρίων & υποθέσεων	44
Πίνακας 3:8 Διαδρομές λεωφορείων	47
Πίνακας 3:9 Σενάρια χρήσιμων χρόνων ζωής.....	50
Πίνακας 3:10 Σύνοψη οικονομικών παραμέτρων	52
Πίνακας 4:1 Απογραφή κύκλου ζωής ηλεκτρικού λεωφορείου [Marianne Leuenberger et al, 2010]	54
Πίνακας 4:2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα καταγραφής περιβαλλοντικών φορτίων	63
Πίνακας 4:3 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα καταγραφής περιβαλλοντικών φορτίων.	70
Πίνακας 4:4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα καταγραφής περιβαλλοντικών φορτίων.	77
Πίνακας 4:5 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για πληρότητα 60% της χωρητικότητας των λεωφορείων.	78
Πίνακας 4:6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για πληρότητα 100% της χωρητικότητας των λεωφορείων.	79
Πίνακας 4:7 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα βασικού σεναρίου με διαφορετικές λειτουργικές μονάδες.....	80
Πίνακας 4:8 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σεναρίου αύξησης κατανάλωσης κατά 10% με διαφορετικές λειτουργικές μονάδες	81
Πίνακας 4:9 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σεναρίου αλλαγής διαδρομής με διαφορετικές λειτουργικές μονάδες.	82
Πίνακας 4:10 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας και για τα δύο σενάρια.	91
Πίνακας 4:11 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Περιόδου Αποπληρωμής και για τα δύο σενάρια... ..	91

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 3.1 Στάδια πραγματοποίησης ΑΚΖ ηλεκτρικού λεωφορείου	44
Διάγραμμα 4.1 Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων ηλεκτρικού λεωφορείου-1 ^ο Σενάριο	56
Διάγραμμα 4.2 Χαρακτηρισμός ηλεκτρικού λεωφορείου για το βασικό σενάριο	57
Διάγραμμα 4.3 Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων συμβατικού λεωφορείου-1 ^ο Σενάριο	60
Διάγραμμα 4.4 Γράφημα χαρακτηρισμού για τη σύγκριση των δύο λεωφορείων-1 ^ο Σενάριο	61
Διάγραμμα 4.5 Διάγραμμα ροής των περιβαλλοντικών φορτίων ηλεκτρικού λεωφορείου για αύξηση κατανάλωσης κατά 10%.	64
Διάγραμμα 4.6 Χαρακτηρισμός ηλεκτρικού λεωφορείου για αύξηση της κατανάλωσης κατά 10%.	65
Διάγραμμα 4.7 Διάγραμμα ροής των περιβαλλοντικών φορτίων συμβατικού λεωφορείου για αύξηση κατανάλωσης κατά 10%.....	67
Διάγραμμα 4.8 Γράφημα χαρακτηρισμού σύγκρισης των δύο λεωφορείων για αύξηση κατανάλωσης κατά 10%.....	68
Διάγραμμα 4.9 Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων ηλεκτρικού λεωφορείου για αλλαγή στη διαδρομή.	71
Διάγραμμα 4.10 Χαρακτηρισμός ηλεκτρικού λεωφορείου για αλλαγή στη διαδρομή.	72
Διάγραμμα 4.11 Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων συμβατικού λεωφορείου για αλλαγή στη διαδρομή.	74
Διάγραμμα 4.12 Γράφημα χαρακτηρισμού σύγκρισης των δύο λεωφορείων για αλλαγή στη διαδρομή.....	75
Διάγραμμα 4.13 Γράφημα στηλών Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας πρώτου σεναρίου πρώτης διαδρομής.	84
Διάγραμμα 4.14 Γράφημα στηλών Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας πρώτου σεναρίου πρώτης διαδρομής.	85
Διάγραμμα 4.15 Γράφημα στηλών Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας πρώτου σεναρίου πρώτης διαδρομής	86
Διάγραμμα 4.16 Γράφημα στηλών Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας δεύτερου σεναρίου πρώτης διαδρομής	87
Διάγραμμα 4.17 Γράφημα στηλών Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας δεύτερου σεναρίου δεύτερης διαδρομής	88
Διάγραμμα 4.18 Γράφημα στηλών Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας δεύτερου σεναρίου τρίτης διαδρομής	89
Διάγραμμα 5.1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα όλων των σεναρίων για την ΑΚΖ.	93
Διάγραμμα 5.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα όλων των σεναρίων για ΣΚΙ και ΠΑ.	94

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2:1 Στόλος ηλεκτρικών λεωφορείων στη Ευρώπη[Civitas Forum, Torres Verdas, 2017]	15
Εικόνα 2:2 Όρια συστημάτων σε μια AKZ [Tagliaferri et al, 2016]	20
Εικόνα 2:3 Όρια πλήρους AKZ συμπεριλαμβανομένου και της παραγωγής ηλεκτρισμού[Nuri Cihat Onat et al, 2014].....	21
Εικόνα 3:1 Ηλεκτρικό λεωφορείο Modulo C48E.....	24
Εικόνα 3:2 Συμβατικό λεωφορείο Navigo C	26
Εικόνα 3:3 Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής [SAIC, 2006].....	30
Εικόνα 3:4 Οριοθέτηση του συστήματος [Κορνελάκη, 2009]	31
Εικόνα 3:5 Ενδεικτική περιγραφή επιπτώσεων σε διάφορα συστήματα κατά τον Κύκλο Ζωής τους [UNEP, 2011]	32
Εικόνα 3:6 Αρχική εικόνα του λογισμικού SimaPro που χρησιμοποιήθηκε	33
Εικόνα 3:7 Γενικό περιβάλλον του SimaPro και εισαγωγή νέου έργου	34
Εικόνα 3:8 Οι διαθέσιμες βιβλιοθήκες του χρήστη	35
Εικόνα 3:9 Επιλογές της καρτέλας των διεργασιών	36
Εικόνα 3:10 Δημιουργία νέων προϊόντων	36
Εικόνα 3:11 Φόρμα εισαγωγής όλων των απαιτούμενων ενεργειών για το προϊόν	37
Εικόνα 3:12 Σχηματική απεικόνιση της ReCiPe [SimaPro database manual]	40
Εικόνα 3:13 Διαδρομή από τα ΚΤΕΛ Ρεθύμνου προς Λούτρα	48
Εικόνα 3:14 Διαδρομή από Περιβόλια προς Πανεπιστήμιο Γάλλου.	48
Εικόνα 3:15 Διαδρομή από Palm Beach προς όλη τη παραλιακή Ρεθύμνου.	49

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1 Διάγραμμα ηλεκτρικού οχήματος[Βουγιουκλάκης Παναγιώτης, 2012]	11
Σχήμα 2.2 Χαρακτηριστικά ηλεκτρικού λεωφορείου [MRCagney et al,2017]	11
Σχήμα 2.3 Τρόπος φόρτισης και αποφόρτισης μπαταριών ιόντων-Li[www.sustainable-nano.com(5/2018)]	13

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

Τα ηλεκτρικά οχήματα τα τελευταία χρόνια προσφέρουν μια περιβαλλοντικά φιλική λύση στον τομέα των μεταφορών και με τη μαζική χρήση τους να συμβάλλουν στη μείωση των επιζήμιων ρύπων που παράγονται από τον συγκεκριμένο τομέα. Προκειμένου να αξιολογηθεί ένα εγχείρημα όπως αυτό της εισαγωγής των ηλεκτρικών οχημάτων και δη των ηλεκτρικών λεωφορείων στη καθημερινότητα μας πρέπει να καθοριστεί κατά πόσο η λύση αυτή είναι βιώσιμη. Ο καθορισμός της βιωσιμότητας ενός συστήματος είναι ένας από τους βασικούς και αναπόσπαστους πυλώνες της αειφόρου ανάπτυξης. Μια από τις πλέον κατάλληλες μεθόδους αξιολόγησης τέτοιον τεχνολογιών είναι η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ). Το σύνολο της ΑΚΖ αποτελείται από τέσσερα στάδια:

- I. τον καθορισμό σκοπού και στόχου,
- II. την απογραφή του κύκλου ζωής,
- III. την ανάλυση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής και
- IV. την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Ένα άλλο κομμάτι της αξιολόγησης επικεντρώνεται στην οικονομική βιωσιμότητα της εισαγωγής των ηλεκτρικών λεωφορείων. Αυτό οφείλεται στην αδυναμία μέχρι στιγμής των ηλεκτρικών οχημάτων να γίνουν ανταγωνιστικά σε ότι αφορά τον οικονομικό τομέα. Το κόστος αγοράς τους καθώς και τυχόν αλλαγής της συσσωρευτής αποθήκευσης ενέργειας είναι οι τομείς με τη μεγαλύτερη συμβολή στην αυξημένη τιμή επένδυσης. Τα τελευταία χρόνια, η κινητικότητα γύρω από την εξέλιξη των περιβαλλοντικών όσο και των οικονομικών παραμέτρων των ηλεκτρικών λεωφορείων είναι αισθητή, με σκοπό τα ηλεκτρικά οχήματα και δη τα ηλεκτρικά λεωφορεία να αποτελούν μια συμφέρουσα και αξιόπιστη λύση στα μέσα μαζικής μεταφοράς και συγκοινωνιών.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι:

- Η συγκριτική περιβαλλοντική αξιολόγηση ενός ηλεκτρικού και ενός συμβατικού λεωφορείου κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής εφαρμόζοντας τη μέθοδο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.
- Η αξιολόγηση των οικονομικών παραμέτρων των δύο λεωφορείων προκειμένου να εισαχθούν στη πόλη του Ρεθύμνου, με συγκεκριμένους οικονομικούς δείκτες, όπως Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας και Περίοδος Αποπληρωμής της επένδυσης αγοράς τους.

Κεφάλαιο 2 : Διεθνής εμπειρία

Ο τομέας των μεταφορών αποτελεί έναν από τους πλέον ελκυστικούς και σημαντικούς τομείς όταν απευθυνόμαστε στην επίτευξη των στόχων μείωσης των εκπομπών επιζήμιων ρύπων. Συγκεκριμένα, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που οφείλονται στον τομέα των μεταφορών, αντιστοιχούν στο 23% των συνολικών ανθρωπογενών εκπομπών ρύπων παγκοσμίως.[Gilbert et al, 2002]

Σύμφωνα με έρευνα που εκπονήθηκε από το Παγκόσμιο Επαγγελματικό Συμβούλιο Αειφόρου Ανάπτυξης, ο αριθμός των οχημάτων που χρησιμοποιούνται για ελαφρές εργασίες αναμένεται να αυξηθεί κατά 1.3 δισεκατομμύρια μέχρι το 2030 και κατά 2 δισεκατομμύρια μέχρι το 2050, με αποτέλεσμα την εντυπωσιακή αύξηση της ζήτησης παροχής καυσίμων που σχετίζονται με τις μεταφορές.(*World Business Council For Sustainable Development (WBCSD)*, 09/2018)

Οι αυξήσεις αυτές, αναμένεται να επιδράσουν αρνητικά στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής καθώς και την ποιότητα τόσο του εξωτερικού αστικού αέρα όσο και του εσωτερικού αλλά και να οδηγήσουν στη μείωση της χρήσης μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Για το λόγο αυτό η ανάγκη ανάπτυξης νέων, καινοτόμων, τεχνολογιών, στην αυτοκινητιστική βιομηχανία έχει καταστεί επιτακτικότερη. Τα ηλεκτρικά οχήματα συμβάλουν σε μεγάλο βαθμό στην ελάττωση των επιζήμιων αποτελεσμάτων και έρχονται να δώσουν σημαντικές λύσεις στο συγκεκριμένο πρόβλημα. Αυτά τροφοδοτούνται από ηλεκτρική ενέργεια, η οποία ως πηγή είναι καθαρότερη και φτηνότερη από το πετρέλαιο. [Tagliaferri et al, 2016].

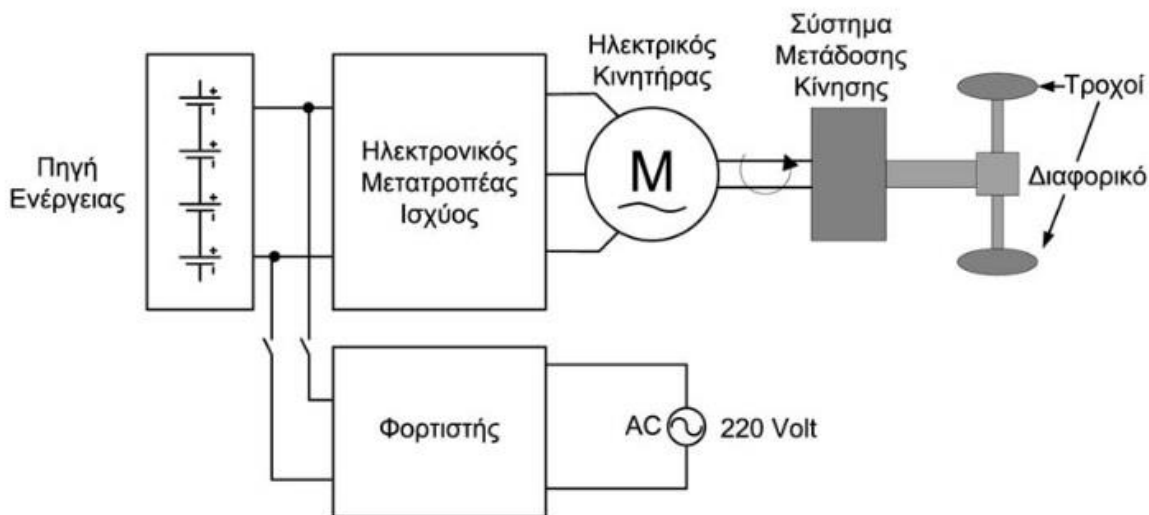
Ακόμα και όταν η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από άνθρακα, τα ηλεκτρικά οχήματα (EVs) παράγουν λιγότερη αέρια ρύπανση από τα συμβατικά αντίστοιχά τους, αλλά και λιγότερες ή ακόμα και μηδαμινές εκπομπές επιζήμιων ρύπων. Ορισμένες αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν ανακοινώσει τα βραχυπρόθεσμα σχέδια τους όσον αφορά την παραγωγή και την μαζική εισαγωγή ηλεκτρικών οχημάτων στην αγορά, ενώ άλλες έχουν κάνει ήδη αισθητή την παρουσία τους με την παραγωγή καθαρών ηλεκτρικών οχημάτων, τόσο αυτοκίνητων όσο και λεωφορείων. Με τον τρόπο αυτό δεσμεύονται για ένα «καθαρότερο» μέλλον, απαλλαγμένο από τις μαζικές εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα.

2.1 Λειτουργία των ηλεκτρικών λεωφορείων

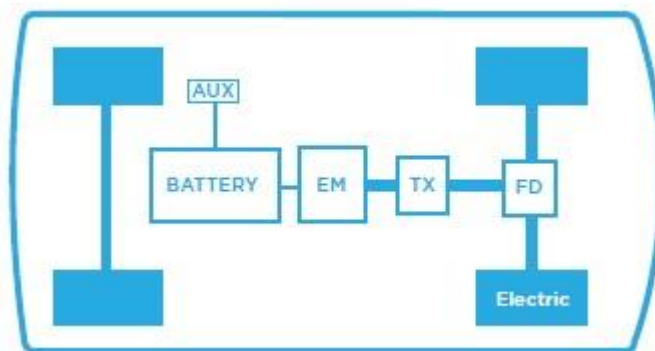
Τα ηλεκτρικά λεωφορεία διακρίνονται τρεις βασικές κατηγορίες, όπως και στα αυτοκίνητα. Υπάρχουν τα λεωφορεία με κυψέλες καυσίμου(fuel cell electric buses), τα υβριδικά (hybrid electric buses) και τα ηλεκτρικά με αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτή(battery electric buses). (Στο εξής κάθε αναφορά σε ηλεκτρικά λεωφορεία και αυτοκίνητα και όταν μιλάμε για αυτά θα αναφερόμαστε στη τρίτη κατηγορία)

Τα ηλεκτρικά λεωφορεία μπαταριών (ΗΛΣ) αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια επί του αμαξώματος στον συσσωρευτή, και φορτίζονται είτε ολονυχτίς καθώς είναι σταθμευμένα , είτε κατά τη διάρκεια της διαδρομής.

Το ΗΛΣ είναι ένα λεωφορείο με σύστημα ηλεκτρικής προώθησης που χρησιμοποιεί τη χημική ενέργεια που αποθηκεύεται στα πακέτα μπαταριών. (Σχήμα 2.1) Τα ΗΛΣ χρησιμοποιούν για την προώθηση ηλεκτρικές μηχανές αντί των μηχανών εσωτερικής καύσεως. Αντλούν το σύνολο της απαιτούμενης δύναμης από τα πακέτα του συσσωρευτή και δεν έχουν καμία μηχανή εσωτερικής καύσεως, κύτταρο καυσίμων ή δεξαμενή καυσίμων. (Σχήμα 2.2) Τα λεωφορεία μπαταριών φορτίζονται όταν είναι στατικά, κάνοντας χρήση του μηχανικού και ηλεκτρικού εξοπλισμού. [Mahmoud et al , 2016]



Σχήμα 2.1 Διάγραμμα ηλεκτρικού οχήματος [Βουγιουκλάκης Παναγιώτης, 2012]



Σχήμα 2.2 Χαρακτηριστικά ηλεκτρικού λεωφορείου [MRCagney et al, 2017]

Μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες με βάση το προφίλ φόρτισης και στην αυτονομία των χιλιομέτρων τους. Η πρώτη κατηγορία είναι τα (ευκαιριακά) ηλεκτρικά λεωφορεία, που είναι δυνατόν να φορτιστούν γρήγορα καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και υπό τις κατάλληλες συνθήκες. Η δεύτερη κατηγορία είναι τα ολονύκτια ηλεκτρικά λεωφορεία, που έχουν μια πιο μακροχρόνια σειρά για να ολοκληρώσουν την φόρτιση της ημέρας, και χρεώνονται με βάση τις βραδινές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ευκαιριακά έχουν πιο μικρή εμβέλεια χιλιομέτρων σε σύγκριση με τα ολονύκτια, συνήθως 30-70 km, και συχνά έχουν τη δυνατότητα να επαναφορτιστούν 80-100% σε πέντε έως δέκα λεπτά. [Mahmoud et al, 2016]

Η Proterra7, μια αμερικάνικη εταιρία κατασκευής ηλεκτρικών λεωφορείων, υποστηρίζει ότι η πιο μακροχρόνια σειρά της, η E2 max, έχει ονομαστική αυτονομία 560km και χρόνο

φόρτισης πέντε ωρών. Αυτή η σειρά της Proterra δεν ελέγχεται ανεξάρτητα και το εύρος των χιλιομέτρων των ηλεκτρικών λεωφορείων ενδέχεται να ποικίλει σε μεγάλο βαθμό βάσει διάφορων όρων λειτουργίας, όπως η χρήση κλιματισμού, ο μέσος όγκος επιβατών, τη συχνότητα που σταματούν, την οδική συμπεριφορά, και τη κλίση διαδρομών. Τα παραπάνω αποτελούν ορισμένα παραδείγματα παραγόντων, που είναι πιθανό να επηρεάσουν την κατανάλωση ενέργειας ενός λεωφορείου και ενδεχομένως να μειώσουν σημαντικά τη γενική αυτονομία του.

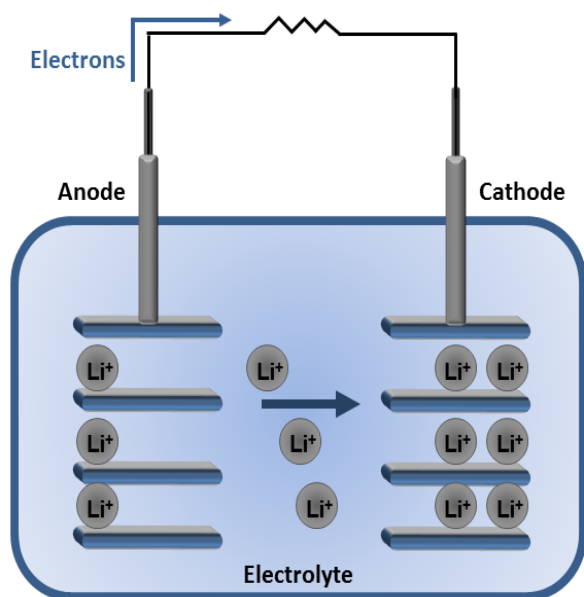
Στην πράξη, η αυτονομία ενός ΗΛΣ εξαρτάται από το σχεδιασμό του κατασκευαστή. Ένα ΗΛΣ μπορεί να σχεδιαστεί με τέτοιον τρόπο, ώστε να έχει οποιαδήποτε λογική αυτονομία ανάλογα με την εγκατάσταση των διαφορετικών μπαταριών. Οι δύο κύριες συνέπειες της αυξανόμενης αυτονομίας που απορρέει από την αύξηση του μεγέθους των μπαταριών είναι η διαρκώς αυξανόμενη τιμή αγοράς των οχημάτων και η επίσης αυξανόμενη μάζα τους.

2.1.1 Πρόοδος μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων

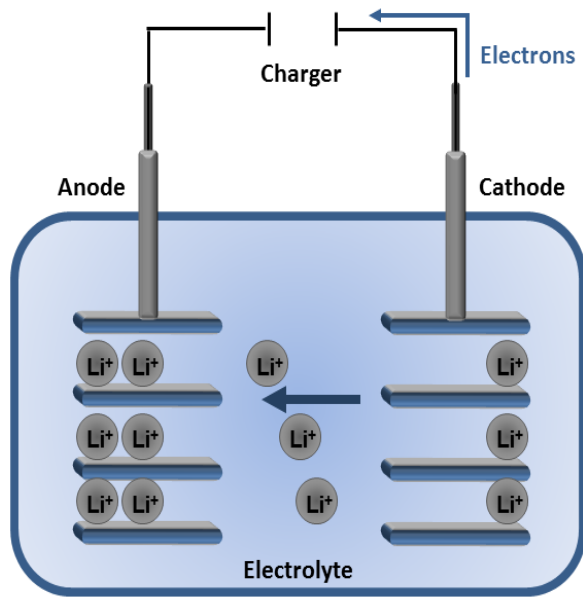
Τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα χρησιμοποιούν μπαταρίες ιόντων Li (Li-ion). Οι μπαταρίες αυτές είναι της ίδιας τεχνολογίας με αυτές που χρησιμοποιούνται στα κινητά τηλέφωνα. Τα ιόντα Li κινούνται από το αρνητικό προς το θετικό ηλεκτρόδιο καθώς αποφορτίζονται, ενώ κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση όταν φορτίζονται, όπως διακρίνεται στην Εικόνα 2.2. Η χρήση τους επεκτάθηκε στις μπαταρίες ηλεκτρικών οχημάτων, καθώς αναγνωρίστηκαν τα πολλαπλά τους οφέλη. Ένα από αυτά είναι η σχετικά μεγάλη αυτονομία που παρέχει μία και μοναδική φόρτιση. Πιο συγκεκριμένα, στα σύγχρονα οχήματα του παρόντος προσφέρεται η αυτονομία των 200 km κατά μέσο όρο με μία φόρτιση. Μία ολοκληρωμένη φόρτιση μπορεί να διαρκέσει από μερικά λεπτά (ταχεία φόρτιση) έως και 9-11 h (οικιακή φόρτιση). Επίσης, ιδιαίτερα σημαντική είναι η εξάλειψη του φαινομένου της μνήμης, αφού δε χρειάζονται αποφόρτιση. Όταν ένας συσσωρευτής για μεγάλα χρονικά διαστήματα δεν αποφορτίζεται εντελώς, τότε τα ηλεκτρόνια, που δεν έχουν κινηθεί, ενσωματώνονται και δημιουργούν οξείδια, τα οποία καθιστούν τις πλάκες ανενεργές. Το πρόβλημα ονομάστηκε «φαινόμενο μνήμης» για να υπενθυμίζει στους χρήστες ότι ο συσσωρευτής «θυμάται» την κακή της χρήση και χάνει την απόδοση της.

Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος όσον αφορά τις μπαταρίες ιόντων Li. Ο συσσωρευτής αποτελεί ουσιαστικά το βασικό κορμό των ηλεκτρικών οχημάτων. Ένας κοινός συσσωρευτής αποτελείται από ορισμένες ενότητες, στις οποίες περιέχονται τα κελιά των μπαταριών. Συνήθως περιέχονται 7 κελιά μπαταριών. Παρόλα αυτά, επειδή η τεχνολογία εξελίσσεται ραγδαία, τα τελευταία χρόνια υπάρχουν πολλές διαφοροποιήσεις σε κάθε μοντέλο ανάλογα με την εταιρία κατασκευής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η κατασκευή του μοντέλου S από την Tesla με συνολικά 18.650 κελιά, καθένα απ' τα οποία διαθέτει 3,4 Ah ή 248 Wh/kg ειδική ενέργεια. (Tagliaferri *et al.*, 2016)

Lithium-ion Battery: Powering a device



Lithium-ion Battery: Recharging Mechanism



Σχήμα 2.3 Τρόπος φόρτισης και αποφόρτισης μπαταριών ιόντων-Li(Sustainable Nano – a blog by the Center for Sustainable Nanotechnology, 09/2018)

Ένας συσσωρευτής των 90kWh(το 2015) μπορεί να προσφέρει 424 km αυτονομία και ζυγίζει 540 kg. Το βάρος των μπαταριών αποτελεί σημαντικό παράγοντα, καθώς όσο μεγαλύτερο είναι το βάρος των μπαταριών, τόσο μεγαλύτερο είναι και το συνολικό βάρος των οχημάτων, και έτσι, είτε αυξάνεται η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είτε μειώνει τη χωρητικότητα του λεωφορείου αφού αυξάνεται συνολικά η μάζα του αμαξώματος. Ωστόσο, δεν είναι ένα το είδος των μπαταριών Li-ion που χρησιμοποιείται. Τα τελευταία χρόνια το βάρος των μπαταριών, έχει μειωθεί αισθητά, καθώς πλέον χρησιμοποιούνται ελαφρύτερα υλικά για την κατασκευή τους. Για παράδειγμα, το αλουμίνιο έχει αντικαταστήσει ορισμένα μέταλλα που χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν όπως το αλουμίνιο και κάποια μέταλλα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται, ότι το 2012 το βάρος μιας κοινής μπαταρίας Li-ion ζύγιζε 212kg(μοντέλο Nissan Leaf), ενώ το 2016 το βάρος ήταν 204kg (μοντέλο BMW i3). Μάλιστα, έχουν ήδη ανακοινωθεί για το 2018 ορισμένα νέα μοντέλα ηλεκτρικών οχημάτων, με το βάρος των μπαταριών τους να μην ξεπερνά τα 200kg(BMW i3 μοντ. 2018). (BMW Hellas, no date)

Ακόμα, είναι σημαντικό να αναφερθεί μέσα στον ευρύτερο κύκλο προόδου, η τιμή του συσσωρευτή. Με την πάροδο των χρόνων και όσο εξελίσσεται η τεχνολογία παρατηρείται συνεχής μείωση του κόστους για αγορά και εφαρμογή μπαταριών ιόντων Li. Χαρακτηριστικά, το 2010 η τιμή των μπαταριών ήταν 1000 \$/kWh, ενώ αυτή τη στιγμή (2017) είναι 230 \$/kWh. Μάλιστα, αναμένεται στο άμεσο μέλλον το κόστος να μην ξεπερνά τα 180-160 \$/kWh. Όταν η τιμή πέσει κάτω από τα 200 \$/kWh, τα ηλεκτρικά οχήματα θα είναι εξαιρετικά ανταγωνιστικά σε σχέση με τα συμβατικά, όσον αφορά τη συνολική τιμή του οχήματος.

Τέλος, αναφορικά με την εξέλιξη στον τομέα της φόρτισης των ηλεκτρικών οχημάτων, παρατηρείται πως μειώνεται συνεχώς ο χρόνος φόρτισης που απαιτείται. Χωρίς να χρειάζονται αρχική φόρτιση χάρη στην λόγω της τεχνολογίας του συσσωρευτή Li-ion, πλέον θα είναι σε θέση ο χρήστης μέσα σε περίπου 2 ώρες να επαναφορτίσει το συσσωρευτή του οχήματος του στο 100% όταν ο σημερινός απαιτούμενος χρόνος κυμαίνεται στις 9-11 ώρες όταν μιλάμε για οικιακή φόρτιση.

Figure 2:1 Τύποι μπαταριών ιόντων Li

Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (LiNiCoAlO ₂)
Lithium Titanate (Li ₄ Ti ₅ O ₁₂)
Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (LiNiMnCoO ₂ or NMC)
Lithium Iron Phosphate (LiFePO ₄)
Lithium Cobalt Oxide (LiCoO ₂)
Lithium Manganese Oxide (LiMn ₂ O ₄)

2.2 Εκβιομηχάνιση ηλεκτρικών λεωφορείων

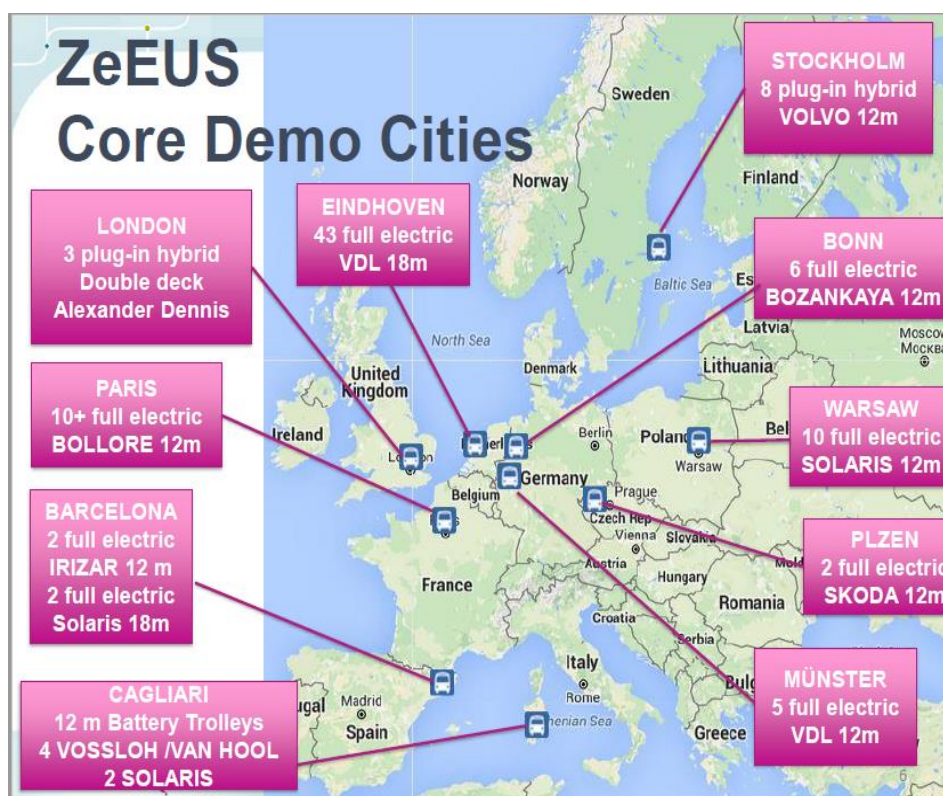
2.2.1 Επικρατούσα παγκόσμια κατάσταση

Λόγω της αυξημένης τιμής τους, το οποίο οφείλεται, όπως προαναφέρθηκε, κατά κύριο λόγο στην τιμή της μπαταρίας τους, τα ηλεκτρικά οχήματα δεν έχουν και μεγάλη απήχηση στην αγορά οχημάτων. Παρόλα αυτά, λόγω των συνεχώς αυξανόμενων τιμών CO_{2eq}, σε ορισμένες χώρες έχει ληφθεί η απόφαση να σταματήσουν οι αγορές των συμβατικών λεωφορείων, καθώς επίσης μελετάται η ιδέα απαγόρευσης αγοράς και κυκλοφορίας συμβατικών οχημάτων εντός συγκεκριμένων περιοχών, έπειτα από έκλυση των γιατρών της χώρας(Αγγλία).

Ο παγκόσμιος ηλεκτρικός στόλος λεωφορείων υπολογιζόταν για να είχε φθάσει περίπου 173.000 το 2015,κατά αντιστοιχία με τον σημερινό που παρουσιάζεται χονδρικά στην Εικόνα 2.3. Η Κίνα οδηγεί αυτήν την σφαιρική μάζα επέκτασης, με περισσότερα από 170.000 λεωφορεία (98,3% του σφαιρικού συνόλου) να λειτουργούν στο Πεκίνο, Σαγκάη, και άλλες πόλεις. Αυτές οι εξελίξεις επικυρώνονται έντονα από την κινεζική κυβερνητική πολιτική, με ένα επίσημο πρόγραμμα των νέων ενεργειακών λεωφορείων, να στοχεύσει στη παραγωγή 1,67 εκατομμυρίων ηλεκτρικών οχημάτων (συμπεριλαμβανομένων ηλεκτρικών λεωφορείων), και στη δημιουργία 1,2 εκατομμύρια θέσεων εργασίας ετησίως για την περίοδο 2010-2020.[Pan ad Zhang, 2011]

Στην Ευρώπη η αφετηρία της τρέχουσας ανάπτυξης ήταν η εισαγωγή, προς το τέλος της δεκαετίας του '90, των πρώτων μικρών ηλεκτρικών οχημάτων, που αφιερώνονται στις δημόσιες συγκοινωνίες. Στην Ιταλία αυτά τα οχήματα χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για τις διαδρομές εντός πόλεως μέσα στη πόλη. Η επέκταση των μικρών και μεσαίου μεγέθους λεωφορείων συνεχίστηκε με την χρήση πραγματικού μεγέθους ηλεκτρικών λεωφορείων μπαταριών, 12 m στους ολυμπιακούς αγώνες του Πεκίνου του 2008.

Αυτή τη στιγμή στην Ευρώπη ολοένα και αυξάνεται ο αριθμός των πόλεων και των χωρών που ενδιαφέρονται να τοποθετήσουν ηλεκτρικά λεωφορεία, αν και η διαδικασία βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι σε δέκα ευρωπαϊκές πόλεις υπάρχουν 10 διαφορετικού τύπου ηλεκτρικά λεωφορεία που εξυπηρετούν την καθημερινή μετακίνηση των πολιτών και συμβάλλουν στη μετακίνηση τους. (Εικόνα 2.1)



Εικόνα 2:1 Στόλος ηλεκτρικών λεωφορείων στη Ευρώπη[Civitas Forum, Torres Verdas, 2017]

Η εξοικονόμηση χρημάτων και ενέργειας και ταυτόχρονα η μείωση των επικινδύνων για την ανθρώπινη υγεία ρύπων έχει μονοπωλήσει το ενδιαφέρον μεγάλων εταιριών παρασκευής ηλεκτρικών λεωφορείων στην Ευρώπη και σε όλο τον κόσμο. Χαρακτηριστικά, αυτή τη στιγμή στην Ευρώπη λειτουργούν περισσότερες από 20 εταιρίες παραγωγής ΗΛΣ σε μεγέθη που ποικίλουν ανάλογα με τη χώρα που στοχεύουν οι πωλήσεις και τις διαδρομές που θα εξυπηρετούν. Στην Ισπανία και συγκεκριμένα στην πόλη της Μαδρίτης ανακοινώθηκε η συνεργασία δύο εταιριών κολοσσών για την παραγωγή ηλεκτρικών λεωφορείων, που θα εξυπηρετούν το ενεργειακό μείγμα της χώρας και της πόλης της Μαδρίτης.[Sánchez et al, 2013]

Τα λεωφορεία έχουν ως στόχο όχι μόνο την εξυπηρέτηση ορισμένες απ' τις μετακινήσεις των ανθρώπων, αλλά να αντικαταστήσουν τα λεωφορεία με συμβατικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης. Γι' αυτό το λόγο τα μεγέθη τους είναι κατά κύριο λόγο τρία (μικρού, μεσαίου και μεγάλου μεγέθους) και η χωρητικότητα τους αλλάζει ανάλογα με τη ζήτηση και το στόχο των μεταφερόμενων ανθρώπων. Παρακάτω, παρατίθεται πίνακας με ορισμένες εταιρίες κατασκευής ηλεκτρικών λεωφορείων καθώς επίσης και το μήκος διαφορετικών μοντέλων που κυκλοφορούν.

Πίνακας 2:1 Εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικών λεωφορείων και χαρακτηριστικά

Εταιρία	Μήκος	Αριθμός μοντέλων
BOZANKAYA A.S.	10.7 m 12 m 18 m	3
BYD AUTO IND USTRY CO MPANY LI MITED	12 m 8.7 m 9.6 - 11.5 m 10.2-12 m 18 m 12 m	7
CHARIOT MOTORS	12 m	3
ŠKODA ELECTRIC A.S.	12 m 18 m	4
SOL ARIS	8.95 m 12 m 18 m	3
URSUS BUS S.A.	11.96 m 8.5 m 9.95 m 12 m 18 m	6

2.2.2 Προβλήματα προώθησης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ορισμένα χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών λεωφορείων με συσσωρευτή, κρατάνε πίσω την αγορά νέων οχημάτων. Για παράδειγμα, η αυξημένη τιμή τους είναι ένας καθοριστικός παράγοντας που οδηγεί στην αποφυγή της αγοράς τους και προκαλεί πολλούς ενδοιασμούς στις εκάστοτε κυβερνήσεις ή στους τυχόν μελλοντικούς αγοραστές. Όμως, η τιμή που καθορίζει η εταιρία για το κάθε μοντέλο προκύπτει από ένα συνονθύλευμα παραγόντων, που την ανεβάζουν σε αυτό το επίπεδο. Ένα από τα κύρια εμπόδια στη χρήση ΗΛΣ στα υπάρχοντα δίκτυα δημόσιων συγκοινωνιών, είναι η σχέση μεταξύ της αυτονομίας χιλιομέτρων των οχημάτων και του βάρους [Mahmoud et al, 2016, Miles & Potter, 2014].

Η αυτονομία καθορίζεται κυρίως από την επί του οχήματος ικανότητα μπαταριών. Αφενός η αύξηση της ικανότητας των μπαταριών οδηγεί σε μια αυξανόμενη αυτονομία, εντούτοις αυτό αυξάνει επίσης το κόστος οχημάτων, αυξάνει το βάρος κράσπεδων, και μειώνει τη χωρητικότητα επιβατών λόγω των μέγιστων ορίων βάρους αξόνων στους δρόμους. Αφετέρου, ηλεκτρικά λεωφορεία με μειωμένη ικανότητα μπαταριών θα απαιτούν γενικά περισσότερη υποδομή φόρτισης, η οποία προκαλεί συμπληρωματικές δαπάνες και εμπόδια.

Έτσι διαμορφώνονται σε γενικές γραμμές κάποια πλεονεκτήματα και κάποια μειονεκτήματα των ηλεκτρικών λεωφορείων. Τα μειονεκτήματα είναι αυτά στα οποία πρέπει να στοχεύσει κάποιος όσον αφορά τη βελτίωση των ηλεκτρικών λεωφορείων καθώς και σε πολιτικές προώθησης της συγκεκριμένης κατηγορίας οχημάτων. Στους Πίνακες 2.3 και 2.4 συνοψίζονται τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ηλεκτρικών λεωφορείων με συσσωρευτή όπως διαμορφώθηκαν από τη σύνοψη της βιβλιογραφίας.

Πίνακας 2:2 Πλεονεκτήματα ηλεκτρικών λεωφορείων με συσσωρευτή

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	
Εκπομπές	Λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και τοπικές μολυσματικές εκπομπές
Μειωμένη δόνηση	Αυξανόμενη άνεση επιβατών και μείωση της ζημίας στο εξωτερικό κέλυφος .
Θόρυβος	Οι ηλεκτρικές μηχανές παράγουν λιγότερο θόρυβο από συμβατικά λεωφορεία και δεν συνεχίζει όταν ένα λεωφορείο είναι στάσιμο.
Αποδοτικότητα καυσίμων	Όλοι οι τύποι ηλεκτρικών λεωφορείων καταδεικνύουν συνήθως την αυξανόμενη ενεργειακή αποδοτικότητα.
Καμία εκπομπή από την εξάτμιση	Πολύ χαμηλές γενικές εκπομπές εάν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χρησιμοποιούνται.
Αποδοτικότητα	Πολύ υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα οχημάτων με ηλεκτρική μηχανή.
Μειωμένη δαπάνη λειτουργίας	Με βάση τις τρέχουσες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, το κόστος της λειτουργίας των ΗΛΣ θα ήταν πολύ φτηνότερο από τα συμβατικά. Αυτό ισχύει ακόμα και αν ο τρέχων φόρος καυσίμων προστεθεί στην τιμή ηλεκτρικής της ενέργειας.

Πίνακας 2:3 Μειονεκτήματα ηλεκτρικών λεωφορείων με συσσωρευτή`

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	
Κόστος	Η επιλογή αγοράς ηλεκτρικών λεωφορείων είναι αυτή τη περίοδο πιο ακριβή σε σχέση με τα συμβατικά.
Χαμηλή αυτονομία σε χιλιόμετρα	Τα τρέχον ΗΛΣ περιορίζονται σε μια εύλογα μικρή αυτονομία χιλιομέτρων. Αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί με τη γρήγορη χρέωση φόρτισης ανά διαδρομή.
Βάρος μπαταρίας	Οι τρέχουσες μπαταρίες είναι βαριές, προσθέτοντας στο βάρος του λεωφορείου και επηρεάζουν αρνητικά το εύρος των διαδρομών που θα μπορούσαν να καλύψουν .
Χωρητικότητα	Το αυξανόμενο βάρος σημαίνει ότι η χωρητικότητα των συγκεκριμένων οχημάτων μειώνεται για να μείνει κάτω από τα μέγιστα όρια βάρους αξόνων.
Υποδομές φόρτισης	Ένα ΗΛΣ απαιτεί υποδομή φόρτισης (είτε στις αποθήκες, τις στάσεις λεωφορείων, είτε και σοι δύο).

2.3 ΑΚΖ Ηλεκτρικών Λεωφορείων με Συσσωρευτή

Η αξιολόγηση των κύκλων ζωής είναι ένα από τα αναπτυγμένα και ευρέως χρησιμοποιούμενα εργαλεία περιβαλλοντικής εκτίμησης για τις εναλλακτικές τεχνολογίες [Clift et al, 2000], [Clift et al, 2013]. Μια ΑΚΖ ποσοτικοποιεί το ποσό των χρησιμοποιούμενων υλικών και ενέργειας και των εκπομπών αποβλήτων πέρα από την πλήρη αλυσίδα ανεφοδιασμού (δηλ. κύκλων ζωής) των αγαθών και των υπηρεσιών [Baumann&Tillman, 2004]. Επιπλέον, βοηθά στο προσδιορισμό των σημαντικών σημείων στο σύστημα που καθορίζουν τη σημαντικότερη περιβαλλοντική επίδραση και πρέπει να στοχεύσουν σε πρώτο στάδιο, επιτρέποντας κατά συνέπεια τον προσδιορισμό των πιο περιβαλλοντικών βιώσιμων επιλογών [Clift et al, 2006]. Στη φάση αξιολόγησης του αντίκτυπου, οι εκπομπές ρύπων και οι εισαγωγές δεδομένων που υπολογίζονται και εισάγονται στη φάση της απογραφής είναι μεταφρασμένες στις περιβαλλοντικές επιδράσεις. Για την ολοκλήρωση της ΑΚΖ, παρατηρούνται τρεις διαφορετικές φάσεις στη ζωή ενός ηλεκτρικού οχήματος. Την κατασκευή του, τη λειτουργία του και τη τελική του διάθεση που είναι και το τέλος ζωής του.

Ένα κόμματα της ΑΚΖ ενός οχήματος είναι και η ανάλυση «από το πηγάδι στον τροχό» (well-to-wheel) που αφορά στην αξιολόγηση της αειφορίας εναλλακτικών τεχνολογικών επιλογών οχημάτων. Σε αυτή την ανάλυση, υπολογίζεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας και εκπομπών ρύπων από τα οχήματα λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο την κατανάλωση από το κάθε όχημα (tank-to-wheel ή ttw), αλλά και την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την παραγωγή και διακίνηση του καυσίμου (well-to-tank ή wtt).

Τα αποτελέσματα μιας τέτοιας ανάλυσης είναι προς το παρόν τα μόνα στοιχεία που έχουμε στα χέρια μας από την ΑΚΖ ενός ηλεκτρικού λεωφορείου, ακόμα και αν αυτό είναι μια εξειδίκευση στη γενικότερη διαδικασία.

Επιλεκτικά, να αναφερθεί ότι ο Mahmoud το 2016 με βάση το ενεργειακό μείγμα από διάφορες περιοχές και με βάση τη παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας έβγαλε αποτελέσματα σχετικά με τα αέρια που επηρεάζουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς και για CO_{2eq} τα οποία φαίνονται Πίνακα 2.5.

Πίνακας 2:4 Εκπομπές CO_2 κατά τη φάση της WTW ανάλυσης. [Mahmoud et al, 2016]

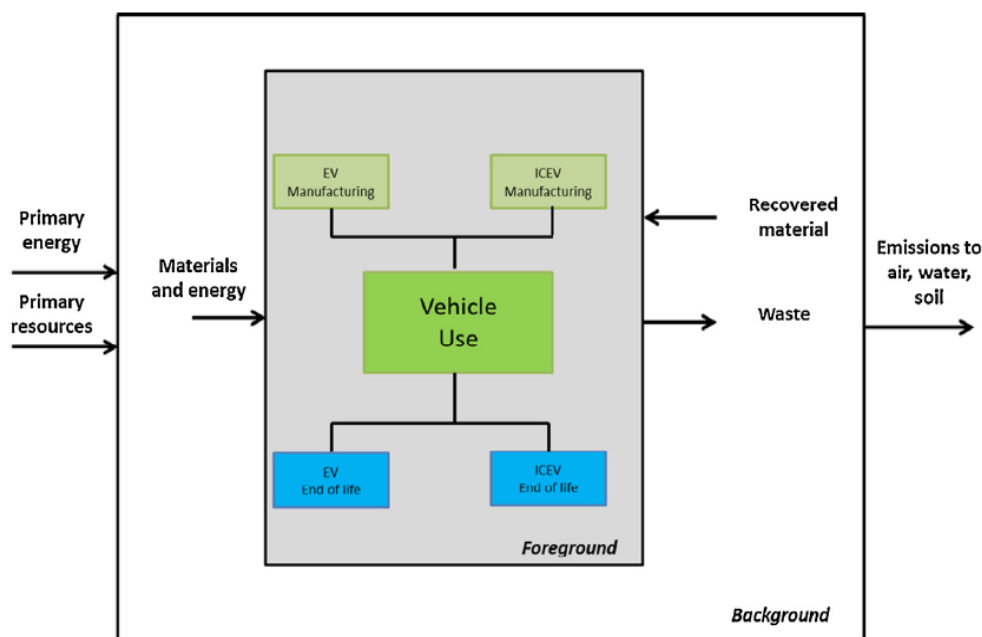
Τεχνολογία Κίνησης	Προέλευση καυσίμου	Από τη παραγωγή στη διακίνηση $g\ CO_{2eq}/km$	Από τη διακίνηση στη χρήση $g\ CO_{2eq}/km$	Από τη παραγωγή στη χρήση $g\ CO_{2eq}/km$	Μέση μείωση αερίων θερμοκηπίου σε σύγκριση με ΛΝ (%)
ΛΝ	Ντίζελ	218	1004	1222	-
ΗΛΥ-παράλληλη σύνδεση	Ντίζελ	188	870	1058	13.42
ΗΛΥ-συριακή σύνδεση	Ντίζελ	172	796	968	20.79
ΛΚΚ	H2	320	0	320	73.81
ΛΚΚ	H2	305	0	305	74.96
ΗΛΣ	Ηλεκτρισμός-ΕΜ Ηνωμένων Πολιτειών	1070.4	0	1070.4	12.41
ΗΛΣ	Ηλεκτρισμός-ΕΜ Ηνωμένων Πολιτειών	720	0	720	41.08
ΗΛΣ	Ηλεκτρισμός-ΕΜ Νέας Ζηλανδίας	172.8	0	172.8	85.86
ΗΛΣ	Ηλεκτρισμός-100% ΑΠΕ	20	0	20	98.36

Βλέπουμε ότι ανάλογα με το ενεργειακό μείγμα της χώρας η εκπομπή CO_{2eq} ποικίλει. Με τα δεδομένα της Ευρώπης παρατηρούμε ότι οι εκπομπές, από τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για να χρησιμοποιηθεί από ένα ηλεκτρικό λεωφορείο, είναι μικρότερες από ότι

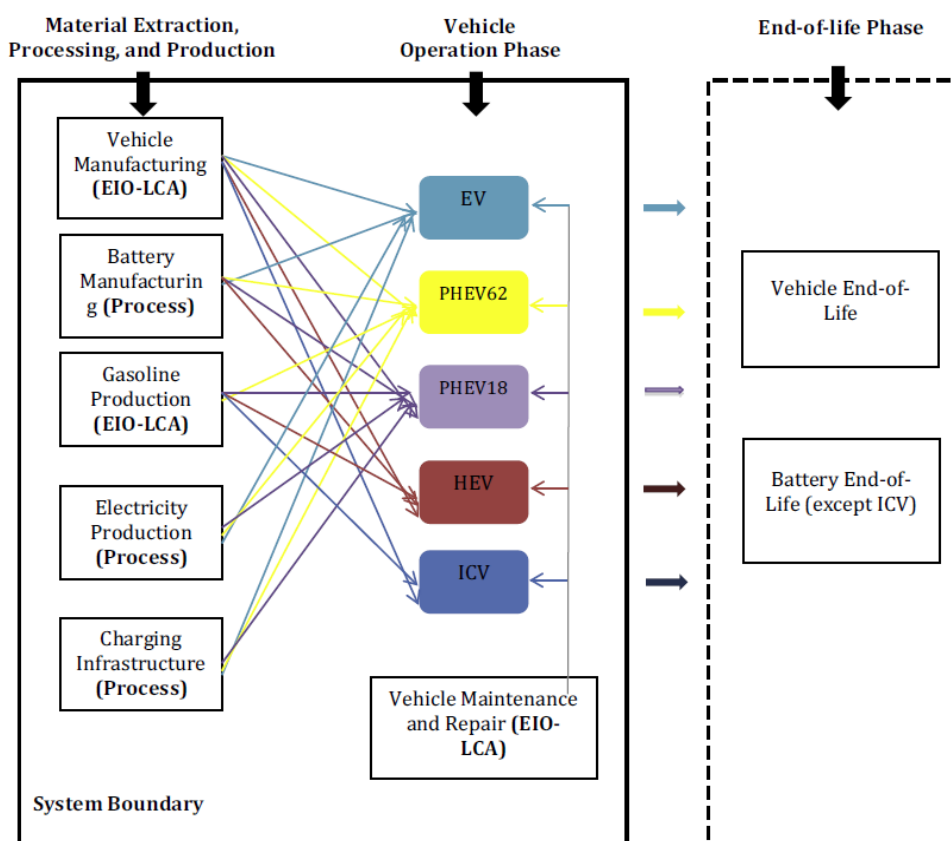
σε λεωφορείο με χρήση Diesel. Στο σενάριο βέβαια που η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται καθαρά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρατηρούμε ότι οι εκπομπές για ένα ΗΛΣ είναι πάρα πολύ μικρές σχεδόν μηδενικές.

Μέχρι στιγμής πολλές μελέτες έχουν εκπονηθεί και δημοσιευθεί κάνοντας χρήση ΑΚΖ για τα ηλεκτρικά οχήματα, όμως ελάχιστες έως καμία για τα ηλεκτρικά λεωφορεία. Η μόνη ΑΚΖ σε ηλεκτρικά λεωφορεία που έχει πραγματοποιηθεί είναι θεωρώντας ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο ως ηλεκτρικό λεωφορείο λόγω χρήσης ηλεκτροκινητήρα και απ' τα δύο οχήματα. Έτσι, τα παρακάτω αφορούν τη μεθοδολογία εκπόνησης μιας ΑΚΖ για ηλεκτρικά λεωφορεία, με βάση την ήδη υπάρχων βιβλιογραφία για ηλεκτρικά αυτοκίνητα.

Σε αντίστοιχη έρευνα, εκπονήθηκε ΑΚΖ ενός ηλεκτρικού λεωφορείου και ενός κανονικού συμβατικού. Για τη μελέτη αυτή θεώρησαν ως ηλεκτρικό λεωφορείο ένα Nissan Leaf που ανήκει στη κατηγορία των ηλεκτρικών αυτοκινήτων. Η επιλογή έγινε λόγω του σχεδόν κοινού τρόπου λειτουργίας των δύο οχημάτων (λεωφορείου και αυτοκινήτου), αφού χρησιμοποιούν και τα δύο ηλεκτροκινητήρα. Η ανάλυση βασίστηκε σε δύο κατηγορίες κατά τη διεξαγωγή της, που συμπεριλαμβάνουν άλλες υποκατηγορίες όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2 και στην Εικόνα 2.3. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει το σύστημα κίνησης, δηλαδή τον κινητήρα καθώς και το συσσωρευτή. Η δεύτερη κατηγορία αφορά το αμάξωμα. [Tagliaferri et al, 2016]



Εικόνα 2:2 Όρια συστημάτων σε μια ΑΚΖ [Tagliaferri et al, 2016]



Εικόνα 2:3 Όρια πλήρους AKZ συμπεριλαμβανομένου και της παραγωγής ηλεκτρισμού[Onat et al, 2014]

Στη συνέχεια γίνεται ουσιαστικά ο καθορισμός των παραμέτρων που επ' ακριβείας θα εξεταστούν. Οι παράμετροι αφορούν τις δύο κατηγορίες του οχήματος που χωρίστηκαν με βάση την AKZ που επρόκειτο να εκπονηθεί. Έτσι για το αμάξωμα καθορίζονται τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, η ποσότητα αυτών καθώς και το βάρος τους 'όπως αντίστοιχα παρουσιάζονται στην Πίνακα 2.6.

Πίνακας 2:5 Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για μια AKZ ενός ηλεκτρικού οχήματος[Onat et al, 2014]

Υλικά	Κατανομή βάρους 2009(kg)			Κατανομή βάρους 2020(kg)		
	OEK	HO	OKK	OEK	HO	OKK
Βαρέα μέταλλα	605.5	546	572	325	425	477
Χαλκός	9	11	13.5	9	13	18
Ψευδάργυρος	5	5	5	3	3	3
Μόλυβδος	10	5	5	10	0	0
Αλουμίνιο	211.5	200.5	226	342	304	355
Μαγνήσιο	15	20	20	20	20	20
Γυαλί	35	35	35	35	35	35
Υγρά	45	19.5	21.5	36	0	4
Καουτσούκ	52	50	50	50	50	50
Πλαστικά	100	88	98	100	79	99
Άλλα	78	162	98	78	246	118
Συνολικά	1166	1142	1144	1008	1175	1179

Όσο αφορά το σύστημα κίνησης, και τη συσσωρευτή καθορίζονται πάλι επ' ακριβείας τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και το βάρος τους ανά συνολικού βάρους αυτής και παρουσιάζονται. Παράδειγμα αυτού αποτελεί η Πίνακας 2.7.

Πίνακας 2:6 Υλικά μπαταριών ηλεκτρικών οχημάτων για μια AKZ[Tagliaferri et al, 2016]

HO μοντέλο 1 Απαιτήσεις Υλικών		HO μοντέλο 2 Απαιτήσεις Υλικών	
Πάστα ηλεκτροδίων ενεργού υλικού LiNi0.4Co0.2Mn0.4O2	0.20184	Πάστα ηλεκτροδίων ενεργού υλικού LiNi0.4Co0.2Mn0.4O2	0.218
Μαύρος άνθρακα (μαύρος φούρνος)	0.0116 [kg/kg μπαταρίας]	Μαύρος άνθρακα (μαύρος φούρνος)	0.00646 [kg/kg μπαταρίας]
N-μεθυλ-2-πυρρολιδόνη	0.064953271 [kg/kg μπαταρίας]	N-μεθυλ-2-πυρρολιδόνη	0.0952 [kg/kg μπαταρίας]
Τετραφθοροαιθυλένιο	0.01856 [kg/kg μπαταρίας]	Φθοριούχο πολυβινύλιο	0.00938 [kg/kg μπαταρίας]
Αρνητική πάστα ηλεκτροδίων		Αρνητική πάστα ηλεκτροδίων	
Γραφίτης, ποιότητα μπαταρίας	0.0893 [kg/kg μπαταρίας]	Γραφίτης, ποιότητα μπαταρίας	0.0964 [kg/kg μπαταρίας]
N-μεθυλ-2-πυρρολιδόνη	0.02632 [kg/kg μπαταρίας]	N-μεθυλ-2-πυρρολιδόνη	0.094 [kg/kg μπαταρίας]
Τετραφθοροαιθυλένιο	0.0047 [kg/kg μπαταρίας]	Ακρυλικό οξύ και Καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη. σκόνη	0.002 και 0.02 [kg/kg μπαταρίας]
Απαιτήσεις ενέργειας		Απαιτήσεις ενέργειας	
Ηλεκτρισμός για συναρμολόγηση	27 [MJ/kg μπαταρίας]	Ηλεκτρισμός για συναρμολόγηση	100.8014 [MJ/kg μπαταρίας]
Θερμότητα για συναρμολόγηση και πάστες ηλεκτροδίων	30 [MJ/kg μπαταρίας]	Θερμότητα για συναρμολόγηση και πάστες ηλεκτροδίων	- [MJ/kg μπαταρίας]

Σε τελικό στάδιο γίνεται η αξιολόγηση/εκτίμηση της επίδρασης όλων αυτών των παραμέτρων που αναλύθηκαν προηγουμένως, με διάφορους δείκτες. Τέτοιοι δείκτες μπορεί να είναι τα gCO_{2eq} που εκλύθηκαν κατά τη συνολική ζωή του οχήματος, μείωση στρώματος όζοντος κ.α.

Πίνακας 2:7 Αποτελέσματα AKZ ηλεκτρικού οχήματος[Tagliaferri, et al, 2016]

Συνολικά Κανονικοποιημένες Επιρροές	Ηλεκτρικό Όχημα 1	Ηλεκτρικό όχημα 2	Όχημα με μηχανή Εσωτερικής Καύσης	Όχημα Κυψέλης Καυσίμου-30%
Αβιοτική εξάντληση(σε στοιχεία)	5.24E-13	1.79E-13	5.64E-14	9.31E-14
Αβιοτική εξάντληση(καύσιμα)	3.77E-14	3.80E-14	6.65E-14	5.76E-14
Όξυνση	3.57E-14	3.76E-14	3.87E-14	3.84E-14
Ευτροφισμός	9.76E-15	7.64 E-15	9.62E-15	9.03E-15
Οικοτοξικότητα γλυκού νερού	1.62E-12	1.56E-12	8.86E-14	5.31E-13
Υπερθέρμανση του πλανήτη	2.30E-14	2.13E-14	3.21E-14	2.89E-14
Ανθρώπινη τοξικότητα	1.75E-13	1.42E-13	8.36E-14	2.91E-14
Θαλάσσια οικοτοξικότητα	4.06E-12	3.16E-112	8.70E-13	1.01E-13
Εξάντληση στο στρώμα του όζοντος	3.09E-14	2.02E-16	1.28E-16	1.56E-12
Φωτοχημική δημιουργία όζοντος	3.14E-14	3.25E-14	-5.35E-14	1.50E-16
Επίγεια οικοτοξικότητα	8.36E-15	8.23E-15	1.36E-14	-2.77E-14

Με βάση τον Πίνακα 2.8 που είναι τα αποτελέσματα από την AKZ βλέπουμε ότι σε κάποιος τομείς ένα ηλεκτρικό λεωφορείο έχει καλύτερα αποτελέσματα από ένα συμβατικό, όπως είναι η οικοτοξικότητα, δυνατότητα όξυνσης όζοντος, φαινόμενου το θερμοκηπίου. Όμως όπως αναφέρθηκε και πριν, δε μπορούμε να βασιστούμε μόνο σε αυτή την ανάλυση, καθώς τα δείγματα των ηλεκτρικών λεωφορείων που έχουν ληφθεί υπόψιν είναι μεν ηλεκτρικά οχήματα, αλλά όχι λεωφορεία.

Συνοψίζοντας, βλέπουμε ότι τα ηλεκτρικά λεωφορεία έχουν κάποια αρνητικά στοιχεία, με τα οποία αξίζει να ασχοληθεί κάποιος. Κάποια απ' αυτά είναι η συνολική χωρητικότητα των επιβαίνοντων ατόμων, το μεγαλύτερο συνολικό βάρος σε σχέση με τα συμβατικά λεωφορεία, η συνολικά μεγαλύτερη τιμή αγοράς καθώς και τα υλικά με οποία παρασκευάζονται στο σύνολο τους και πως αυτά επιδρούν στη συνολική εκπομπή επιζήμιων ρύπων, είναι παράμετροι που αναμφισβήτητα θα απασχολήσουν στο μέλλον την επιστημονική και όχι μόνο κοινότητα. Επίσης, θα ήταν χρήσιμο να γίνουν σχετικές συγκρίσεις του συνολικού κόστους με διάφορες παραμέτρους, όπως το, κόστος καυσίμου, των εισιτηρίων, τα χιλιόμετρα, τη διαδρομή που ακολουθούν κ.α.

Στο σύνολο τους, όλες οι παραπάνω παράμετροι αφορούν το πόσο βιώσιμο μπορεί να αποδειχθεί ένα ηλεκτρικό λεωφορείο με συσσωρευτή και πόσο μάλλον για το ελληνικό κοινό και την ελληνική αγορά.

Κεφάλαιο 3 : Μεθοδολογία

3.1 Περιγραφή εξεταζόμενου συστήματος

Στην ενότητα αυτή γίνεται περιγραφή των λεωφορείων που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή της ΑΚΖ. Τα δύο λεωφορεία που εξετάζονται στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας είναι τα εξής:

- Ηλεκτρικό λεωφορείο της EnovRo BUS kft.(Modulo C48E)
- Συμβατικό λεωφορείο της Otokar (Navigo C)

Στη συνέχεια γίνεται εκτενής περιγραφή των μοντέλων.

3.1.1 Ηλεκτρικό λεωφορείο της εταιρίας EnovRo BUS kft.(Modulo C48E)

Το ένα εκ των δύο λεωφορείων που εξετάστηκε είναι της εταιρίας EnovRo BUS kft(Εικόνα 3.1) Παρασκευάζεται και συναρμολογείται στην Ουγγαρία και το καθαρό βάρος του είναι κοντά 6200kg. Είναι ένα εξ ολοκλήρου ηλεκτρικό λεωφορείο που δουλεύει με ηλεκτροκινητήρα ο οποίος παρασκευάζεται από της εταιρία Siemens που εδρεύει στη Γερμανία. Ο Siemens AG 1DB2016-1NB06 (μοντέλο κινητήρα) δουλεύει με μέγιστη ισχύ ρεύματος στα 160 kW ενώ έχει τη δυνατότητα είτε ολονύκτιας φόρτισης είτε φόρτισης κατά τη διάρκεια της ημέρας ανάλογα με τη χρήση που προτιμάει ο χρήστης.



Εικόνα 3:1 Ηλεκτρικό λεωφορείο Modulo C48E

Το συγκεκριμένο μοντέλο ανήκει στη κατηγορία των λεωφορείων με μήκος μέχρι 8 m, με δυνατότητα εξυπηρέτησης αστικών δρομολογίων. Έχει χωρητικότητα που ακουμπάει τα 55 άτομα κατά μέσο όρο ανάλογα με τη διαθεσιμότητα ή όχι χώρου για αναπηρικά αμαξίδια. Στη δικιά μας περίπτωση αναφερόμαστε στο μοντέλο με χωρητικότητα 48 ατόμων όρθιων και καθιστών και με χώρο για αναπηρικά αμαξίδια.

Πίνακας 3:1 Χαρακτηριστικά ηλεκτρικού λεωφορείου Modulo C48E








Dimensions	Slope of floor - longitudinal / crosswise	Lowfloor	Easy manouvering ensured by high approach and departure angle.
	Seats (fixed) / seats available on lowfloor area	19 / 10	
	Nr. of passengers without wheelchair (stored energy level: 90-120kWh)	62	
	Nr. of passengers with wheelchair (stored energy level: 90-120kWh)	60	
	Gross weight	10350 kg	The door layout ensure high passenger flow.
	Mass in running order	6200 kg	
	Door layout	0/2-2/0	
Performance	Ramp	at the rear door	Extra low energy consumption resulted because of light-weight construction.
	Range	ca. 150 km *	
	Energy consumption according to SORT- 2	0,61 kWh / km *	
	Turning radius	< 9m	
	Max. gradeability	21%	
	Max. speed (limited according to urban transportation)	65 km/ h	Driving range can be adjusted to customer needs.
Motor	Motor power / Gross weight ratio	15,45 kWh / t	
	Type	Siemens AG 10B2016-1NB06	
	Drive	100% electrical	
Battery	Max. net power (Manufacturer's value) (limited)	160 kW (125kW)	
	Type	Valence U27-36XP Lithium Iron Magnesium Phosphate	Charging time with balancing 2+1 hours
	Charging method	Plug-in (overnight)	
Miscellaneous	Passenger information system	Customized to customer requirements	Optional fire extinguisher for every battery room. Automatic operation in case of electrical fire.
	Automatic fire extinguisher for the battery rooms		
	Security gateway system for online, realtime monitoring		

Το λεωφορείο χρησιμοποιεί μπαταρίες τεχνολογίας Li σιδήρου (LiFePO₄) τις οποίες εισάγει από την εταιρία Valence η οποία βρίσκεται σε Πολιτεία της Αμερικής. Η κάθε ενότητα του συσσωρευτή σαν πακέτο παράγει συνολικά 1,711 kWh και έτσι με συνολικά 15 ενότητες και 4 πακέτα έχει συνολική παραγωγή πάνω από 120 kWh (Πίνακας 3.1 και 3.2).

Πίνακας 3:2 Μπαταρίες της εταιρίας Valence και χαρακτηριστικά αυτών



Valence U-Charge® XP Modules with External BMS

	Product	Voltage	Capacity	Weight	Dimensions L x W x H	BCI Group Number	Max. Cont. Current	Charge Voltage	Energy
	U1-12XP	12V	40Ah	6.5 kg/ 14.3 lbs	7.76" x 5.12" x 7.17" 197mm x 131mm x 182mm	U1R	80A	14.6V	512 Wh
	U24-12XP	12V	110Ah	15.8 kg/ 34.8 lbs	10.2" x 6.77" x 8.86" 260mm x 172mm x 225 mm	Group 24	150A	14.6V	1408 Wh
	U27-12XP	12V	138Ah	19.5 kg/ 42.9 lbs	12.0" x 6.77" x 8.86" 306mm x 172mm x 225 mm	Group 27	150A	14.6V	1766 Wh
	UEV-18XP	18V	69Ah	14.9 kg/ 32.8 lbs	10.6" x 5.83" x 9.65" 269mm x 148mm x 245mm	-	120A	21.9V	1325 Wh
	U24-24XP	24V	56Ah	15.8 kg/ 34.8 lbs	10.2" x 6.77" x 8.86" 260mm x 172mm x 225mm	Group 24	112A	29.2V	1433 Wh
	U27-24XP	24V	69Ah	18.6 kg/ 40.9 lbs	12.0" x 6.77" x 8.86" 306mm x 172mm x 225 mm	Group 27	138A	29.2V	1766 Wh
	U27-36XP	36V	46Ah	19.6 kg/ 43.1 lbs	12.0" x 6.77" x 8.86" 306mm x 172mm x 225 mm	Group 27	90A	43.8V	1766 Wh

3.1.2 Συμβατικό λεωφορείο της εταιρίας Otokar (Navigo C)

Το συγκεκριμένο λεωφορείο της Τούρκικης εταιρίας Otokar επιλέχτηκε καταλλήλως για να μπορέσει να γίνει επιτυχής σύγκριση με το ηλεκτρικό.

Πιο συγκεκριμένα, το λεωφορείο κινείται με Diesel σαν καύσιμο με συνολικό βάρος κοντά στα 6.400 kg και συνολικό μήκος κοντά στα 7,7 m, γεγονός που το κατατάσσει στη κατηγορία των λεωφορείων με μήκος μέχρι 8 m. (Εικόνα 3.2) Η χωρητικότητα του λεωφορείου ξεπερνάει τους 46 επιβάτες συμπεριλαμβανομένων των καθιστών αλλά και των όρθιων. Διαθέτει χώρους για αναπηρικά αμαξίδια και εκτελεί αστικές διαδρομές, όντας εξαιρετικό εργαλείο για μετακινήσεις εντός πόλεως.

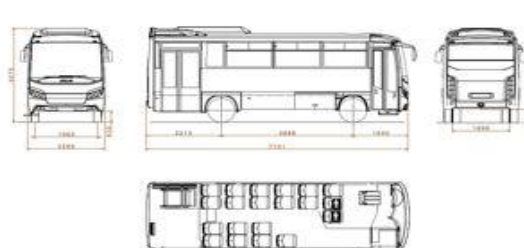


Εικόνα 3:2 Συμβατικό λεωφορείο Navigo C

Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι εξοπλισμένο με κινητήρα καινούργιας τεχνολογίας EURO VI, της εταιρίας Cummins όπου στεγάζεται επίσης στη Τουρκία. (Πίνακας 3.4) Ο εν λόγω κινητήρας εκτός από ιπποδύναμη που ακουμπάει τα 180 άλογα στα 2300rpm, ανήκει στη κατηγορία των κινητήρων με μειωμένες εκπομπές σύμφωνα με προδιαγραφές ρύπανσης για ανάλογου τύπου οχήματα και συγκεκριμένες εκπομπές CO_{2eq} . [Institute of Transport Economics, 2013].

Ο Πίνακας 3.3 αναγράφει τα κύρια χαρακτηριστικά των λεωφορείων και τις κύριες διαφορές τους.

Πίνακας 3:3 Χαρακτηριστικά συμβατικού λεωφορείου Navigo C

NAVIGO C			
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ			
Συνολικό Μήκος	(mm)	: 7721	
Συνολικό Πλάτος	(mm)	: 2265	
Συνολικό Ύψος	(mm)	: 3275 [Maximum]	
Μεταξόνιο	(mm)	: 3866	
Front Track	(mm)	: 1963	
Rear Track	(mm)	: 1696	
Front Length	(mm)	: 1640	
Rear Length	(mm)	: 2215	
Ύψος Εσωτερικό	(mm)	: 2020	
Βάρος			Λειτουργίες και Βασικός Εξοπλισμός
Επιτρεπτό Μεγ. Βάρος	(kg)	: 10500	
Καθαρό Βάρος	(kg)	: 5416 - 6464	
Θέσεις Επιβατών			
Θέσεις		: 20+4(Ανακλινόμενα)+19+1	
		: 20+26+1	
		: 20+1(Αναπηρικό καρότσι)+18+1	
Κινητήρας			
Κατασκευαστής		: Cummins	
Τύπος Κινητήρα		: ISBe4.5+180B	
		: Intercooler Turbo Diesel Euro 6	
Αριθμός κυλινδρων		: 4	A/C κλιματισμός ASR, EBS Retarder (Telma) ABS Κεντρικός Διακόπτης για Μπαταρίες Διακόπτης Εκτάκτου Ανάγκης για τον Οδηγό Ηλεκτρικοί και Θερμαινόμενοι Καθρέπτες Θερμαινόμενο Παράθυρο Οδηγού Θερμαινόμενα παράθυρα στις μπροστινές πόρτες Πνευματικά Ρυθμιζόμενο Κάθισμα Οδηγού με ζώνη τριών σημείων Σταθερά καθίσματα επιβατών αντιβανδαλιστικής αντοχής 1/3 Ανοιγόμενα Παράθυρα Radio, Cd, Mp3 player Φώτα Σκαλοπατιών Μπροστά ανοιγόμενο σκαλοπάτι Κουρτινάκια Μπροστά Μπάρα και Χειρολαβές για ορθίους Κουμπιά για Στάσεις Ηχομόνωση Πάνελ προστασίας πίσω από οδηγό Πυροσβεστήρες (1 x 6) kg Ελαστικά χωρίς αεροθάλαμο Ανακλινόμενες θέσεις και περιοχή αναπηρικού καροτσιού Φορητή ράμπα AMEA Ψηφιακός Ταχογράφος Κουρτινάκι στο εμπρόσθιο παρμπρίζ Κουρτινάκι Οδηγού Σφυράκια Παραθύρων με αντικλεπτικό σύστημα Καυστήρας με δυνατότητα προγραμματισμού Κόφτης 100 km/h Κουτί Πρώτων Βοηθειών
Κυβισμός		: 4462 cc	
Ιπποδύναμη		: 180 HP @ 2300 rpm	
Μέγιστη Ροπή		: 700 Nm @ 1200 rpm	
Θέση Κινητήρα		: Μπροστά	
Συμπλέκτης			
Τύπος Συμπλέκτη		: Μονός δίσκος, αεροβοηθούμενος	
		: Σεβρό	
Κιβώτιο Ταχυτήτων			
Μηχανικό			
Κατασκευαστής		: Eaton FS4106 B	
Τύπος		: 6 μπροστινές, 1 όπισθεν	
Διαφορικό			
Κατασκευαστής		: Ege Endüstri	
Σχέση Μετάδοσης		: 3.73	
Άξονες			
Μπροστά Άξονας		: Άκαμπτος	
Πίσω Άξονας		: Άκαμπτος	
Ανάρτηση			
Μπροστά		: Σούστες	
		: Αμορτισέρ διπλής ενέργειας	
Πίσω		: Air Suspension	
Φρένα			
Πέδηση		: Full air	
		: ABS	
Μπροστά και Πίσω		: Δισκόφρενα	
Χειρόφρενο		: Αέρα	
Σύστημα Διεύθυνσης			
Τύπος τιμονιού		: Υδραυλικός	
		: Αριστερή θέση	
Ελαστικά			Προαιρετικός Εξοπλισμός
Ελαστικά		: 235/75 R 17.5	Εξωτερική διακόσμηση Ηλεκ/γική προεγκατάσταση ηλεκτρ. πινακίδας & εισιτηρίων

Πίνακας 3:4 Χαρακτηριστικά λεωφορείων προς σύγκριση

Χαρακτηριστικά	Ηλεκτρικό Λεωφορείο	Συμβατικό Λεωφορείο
Χωρητικότητα Επιβατών	47	48
Τύπος λεωφορείου	Αστικού	Αστικού
Τύπος μηχανής	Ηλεκτρική Μηχανή	Μηχανή Εσωτερικής Καύσεως
Καύσιμο	Ηλεκτρισμός	Ντίζελ
Χώρα συναρμολόγησης	Ουγγαρία	Τουρκία
Μέση κατανάλωση καυσίμου	0,62 (kWh/km)	0,60 (L/km)
Κιλά	6.200 (kg)	5.416 (kg)

3.2 Ανάλυση Κύκλου Ζωής

3.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Με την ευαισθητοποίηση όλο και μεγαλύτερου μέρους του πληθυσμού σε θέματα που αφορούν το περιβάλλον, η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά την παραγωγική διαδικασία αποτελεί πια μείζον θέμα. Μέχρι τώρα η βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων γινόταν με μοναδικό στόχο το κέρδος. Παράγοντες όπως η ελάττωση των ρύπων και η διαχείριση των αποβλήτων στις παραγωγικές μονάδες συνθέτουν πια σημαντικές λειτουργίες για τις βιομηχανίες.

Μια από τις πλέον πολλά υποσχόμενες συστηματικές προσεγγίσεις για τον προσδιορισμό και την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αποτελεί η λεγόμενη Ανάλυση Κύκλου Ζωής – AKZ (Life Cycle Analysis - LCA). Η AKZ είναι μια ολοκληρωμένη μέθοδος ποσοτικοποίησης υλικού και ενεργειακών εισροών, όπου μας δίνει την δυνατότητα να λάβουμε υπόψη όλα τα στάδια του κύκλου ζωής. Η AKZ είναι σύμφωνη με το ISO 14040, ISO 14044 και τις πρότυπες κατευθυντήριες γραμμές από την Task 12 της IEA. Εφαρμόζοντας μια AKZ, οι εταιρείες προσδιορίζουν τις υπάρχουσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις μιας παραγωγικής διαδικασίας, με σκοπό τη μείωση αυτών και την περαιτέρω βελτίωση και ανταγωνιστικότητα των προϊόντων. Αν και η AKZ είναι μια σχετικά νέα έννοια, έχει βοηθήσει αρκετά στο να ελαχιστοποιηθούν τα παραγόμενα απόβλητα και επίσης έχει συνεισφέρει στη γενική μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε αρκετές διεργασίες. [Fthenakis and Kim, 2011].

Η AKZ αποτελεί πολύτιμο εργαλείο για:

- I. Την παροχή τρόπου προσδιορισμού των αλλαγών που προκύπτουν από μετατροπές του σχεδιασμού ενός προϊόντος, των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών και διάφορων άλλων διαχειριστικών επιλογών.
- II. Τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων με αναφορικά στοιχεία που θα αποτελέσουν μέτρο σύγκρισης μελλοντικών τροποποιήσεων.

- III. Τον ποσοτικό προσδιορισμό και την παρακολούθηση της καταναλισκόμενης ενέργειας και των εκπομπών που δημιουργούνται κατά τη κατασκευή ενός προϊόντος [Γιδαράκος, 2005].
- IV. Ο όρος «Ανάλυση Κύκλου Ζωής» χρησιμοποιείται όλο και πιο συχνά στις βιομηχανίες, γι' αυτό είναι σημαντική η κατανόηση της διαδικασίας.

Η SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry) έχει ορίσει την ΑΚΖ σαν «μια τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον, εκτιμώντας τις επιπτώσεις από την χρήση της ενέργειας και των υλικών καθώς και των αποβλήτων, αναγνωρίζοντας και εκτιμώντας τις δυνατότητες περιβαλλοντικών βελτιώσεων». [Κορνελάκη, 2011]

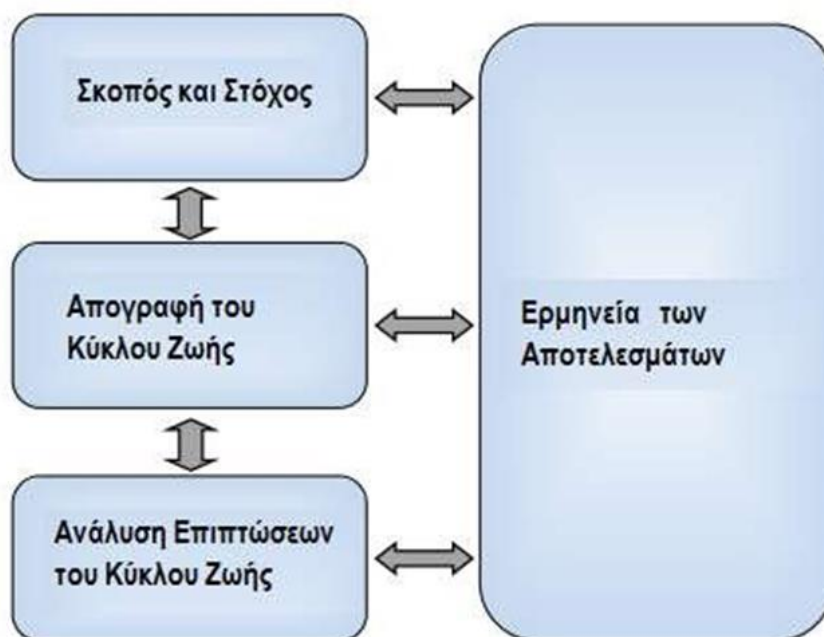
3.2.2 Σκοπός της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Η ΑΚΖ αποτελεί ένα βασικό εργαλείο περιβαλλοντικής διαχείρισης και λήψης αποφάσεων. Συμβάλλει στην πρόληψη της ρύπανσης, στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων και γενικά στη βιώσιμη ανάπτυξη. Είναι μια μεθοδική προσέγγιση και αποτίμηση, παρακολουθώντας όλο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, από τη συλλογή των πρώτων υλών μέχρι την τελική διάθεσή του προϊόντος. Εξετάζει μέσω εναλλακτικών σεναρίων την ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης για την προστασία του περιβάλλοντος. Επίσης, παρουσιάζεται μια αποτίμηση (1) των σχετικών αποβλήτων που παράγονται, (2) των επιρροών στην ανθρώπινη υγεία και (3) των οικολογικών επιβαρύνσεων. Τέλος, αξιολογεί τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τις εκπομπές αερίων, παρέχοντας έτσι μια διευκόλυνση στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων και στη λήψη των αποφάσεων, με σκοπό τη βελτίωση και την ανταγωνιστικότητα των προϊόντων.

3.2.3 Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Σύμφωνα με τη SETAC η ΑΚΖ αποτελείται από τέσσερα βασικά στάδια (εικόνα 3.3):

- Σκοπός και Στόχος (Scope and Goal): Προσδιορισμός του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης.
- Απογραφή του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Inventory): Αναλυτική απογραφή των δεδομένων.
- Ανάλυση Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής (Life Cycle Impact Assessment): Προσδιορισμός και εκτίμηση των επιπτώσεων που προκύπτουν από τη χρήση πρώτων υλών και ενέργειας, και των εκπομπών ρύπων προς το περιβάλλον.
- Αποτίμηση - Ερμηνεία των Αποτελεσμάτων (Data Interpretation): Εύρεση εναλλακτικών δυνατοτήτων για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων [Κορνελάκη, 2011].



Εικόνα 3:3 Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής [SAIC, 2006]

✚ Σκοπός και στόχος

Το πρώτο στάδιο καθορίζεται από το σκοπό, το αντικείμενο, τη μελλοντική εφαρμογή της μελέτης (που επηρεάζει άμεσα τις απαιτήσεις της τελικής αναφοράς) και τον καθορισμό της λειτουργικής μονάδας. Η λειτουργική μονάδα ορίζεται συνήθως ως ένα κομμάτι του προϊόντος ή της παροχής συγκεκριμένης λειτουργίας (π.χ. 1 ΦΒ πλαίσιο). [Fthenakis, 2012]

✚ Απογραφή του Κύκλου Ζωής

Στη συνέχεια, συλλέγονται και παρουσιάζονται όλα τα δεδομένα εισόδου – εξόδου του υπό εξέτασης συστήματος σε όλα τα στάδια του. Από τη μία πλευρά, δεδομένα εισόδου θεωρούνται όλες οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν, όπως επίσης και η ενέργεια που δαπανήθηκε. (Εικόνα 3.4) Από την άλλη, ως δεδομένα εξόδου καλούνται οι αέριες εκπομπές, τα απόβλητα κ.α.. [Κορωναίος, 2001]



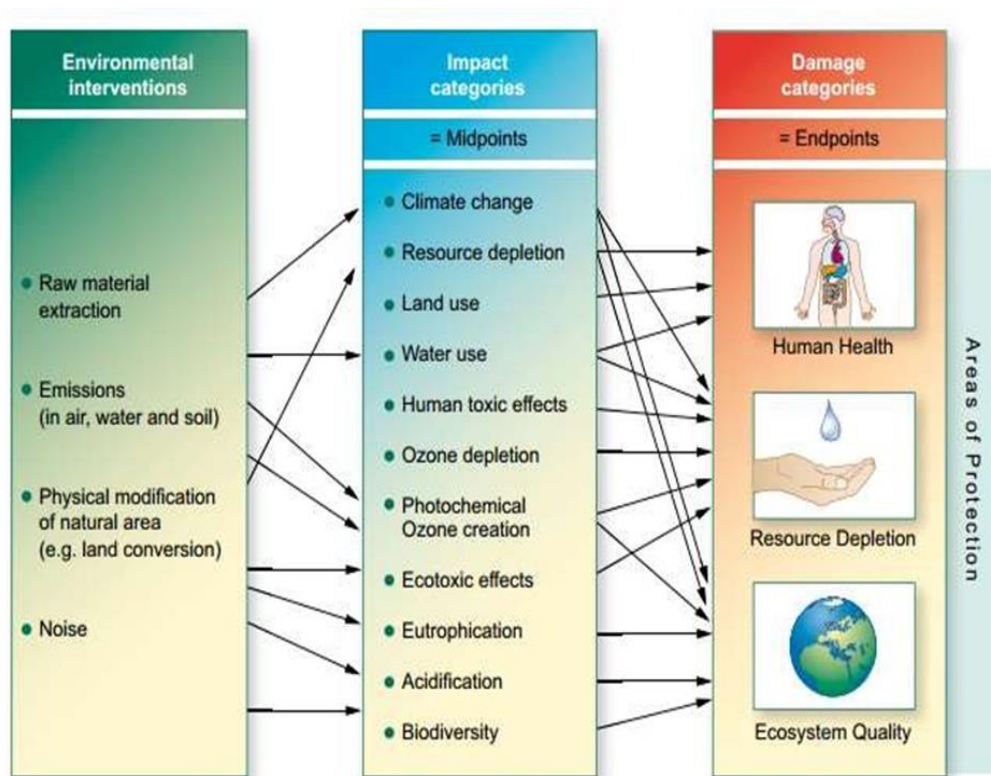
Εικόνα 3:4 Οριοθέτηση του συστήματος [Κορνελάκη, 2009]

🌈 Ανάλυση Επιπτώσεων του Κύκλου Ζωής

Ένα ακόμα σημαντικό στάδιο της ΑΚΖ είναι η ανάλυση των επιπτώσεων. Σε αυτό το στάδιο, κατατάσσονται οι εκπομπές που προκαλούνται στον κύκλο ζωής και οι οποίες ανάλογα με την συμβολή τους στις κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (π.χ. την υπερθέρμανση του πλανήτη) χαρακτηρίζονται και με τη σχέση τους ως προς τη μονάδα αναφοράς (π.χ. σε kg CO₂). [Fthenakis et al, 2012]

Η χρήση περιβαλλοντικών δεικτών βοηθάει στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων διακρίνεται στις παρακάτω κατηγορίες (Εικόνα 3.5):

- Ανθρώπινη υγεία (π.χ. Εισπνοή οργανικών και ανόργανων ενώσεων)
- Ποιότητα οικοσυστήματος (π.χ. Κλιματική αλλαγή)
- Φυσικοί πόροι (π.χ. Μείωση πρώτων υλών)



Εικόνα 3:5 Ενδεικτική περιγραφή επιπτώσεων σε διάφορα συστήματα κατά τον Κύκλο Ζωής τους [UNEP, 2011]

🌈 Αποτίμηση – Ερμηνεία

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό της βελτίωσης του προϊόντος αλλά και την μείωση των απρόβλεπτων επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Επίσης, μπορεί να συγκριθεί με άλλες μελέτες ανάλυσης κύκλου ζωής, ώστε να βγουν τα τελικά συμπεράσματα. [Fthenakis et al, 2012]

3.3 Περιγραφή λογισμικού

3.3.1 Εισαγωγή στο SimaPro



Εικόνα 3:6 Αρχική εικόνα του λογισμικού SimaPro που χρησιμοποιήθηκε

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα ΑΚΖ είναι το SimaPro (System for Integrated environMental Assessment of PROducts), το οποίο δημιουργήθηκε και διατίθεται από την Ολλανδική εταιρεία Pre Consultants. Είναι διεθνώς αναγνωρισμένο και ευρέως διαδεδομένο εργαλείο για την ΑΚΖ, ενώ είναι ένα επικυρωμένο εργαλείο από Πανεπιστήμια και Ερευνητικά Κέντρα.(Εικόνα 3.6)

Το λογισμικό αυτό παρέχει μεγάλο όγκο δεδομένων, τα οποία βρίσκονται κατανεμημένα σε ξεχωριστές βιβλιοθήκες, προσφέροντας έτσι τη δυνατότητα να χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα. Ακόμη μια ιδιότητα του λογισμικού αυτού είναι ότι τα αποτελέσματα που εξάγονται στα αρχικά στάδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επόμενες διαδικασίες. Ο χρήστης έχει στη διάθεσή του διάφορα εργαλεία τα οποία του προσφέρουν τη δυνατότητα να προσδιορίσει με περισσότερη ακρίβεια τον κύκλο ζωής του προϊόντος, προσθέτοντας τα σημαντικότερα δεδομένα. Παράλληλα, παρουσιάζονται σε ραβδογράμματα και πίνακες οι σημαντικότερες πληροφορίες που λαμβάνονται από τα αποτελέσματα (π.χ. σημαντικότερες εκπομπές). Δηλαδή μέσω της επιλογής των ορίων που κάνει ο χρήστης μπορεί να αποφύγει την παρουσίαση δεδομένων εξόδου με πολλή μικρή συνεισφορά στο περιβαλλοντικό φορτίο. Τα δεδομένα εξόδου κατατάσσονται ανάλογα με τον αποδέκτη εκπομπών (εκπομπές σε υδάτινο περιβάλλον, εκπομπές στην ατμόσφαιρα, εκπομπές στο έδαφος) και ανάλογα με τον αποδέκτη αποβλήτων. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται με διάφορους τρόπους, δίνοντας τη δυνατότητα να εμφανίζονται μόνο τα αποτελέσματα που συνεισφέρουν σε μια συγκεκριμένη κατηγορία ευρείας επίδρασης.

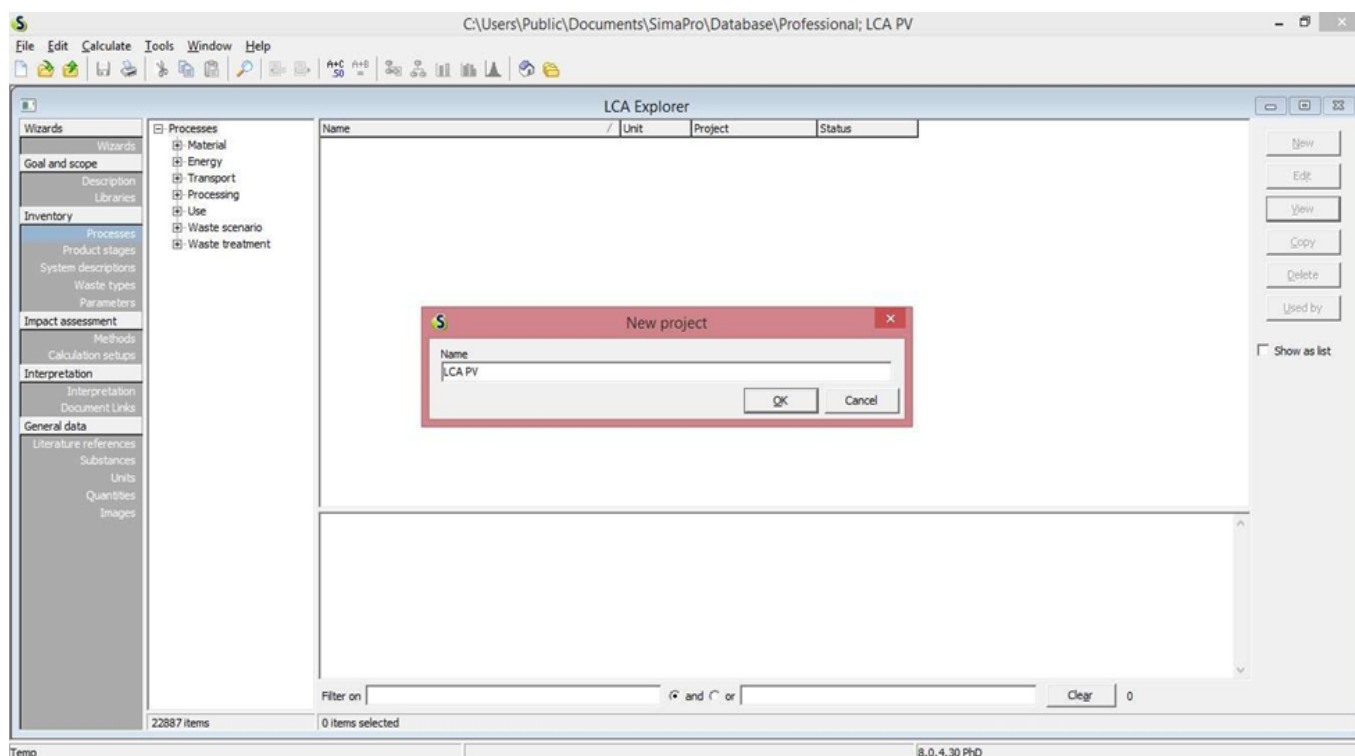
Τα κύρια χαρακτηριστικά του λογισμικού αυτού είναι:

- Ένα διαισθητικό περιβάλλον διεπαφής με το χρήστη καθοδηγεί μέσα από μια εξορθολογισμένη ή βασισμένη στο ISO 14040 AKZ.
- Εύκολη μοντελοποίηση με δυνατά εργαλεία.
- Διάφορες βάσεις δεδομένων απογραφής και μέθοδοι αξιολόγησης επιδράσεων προς επιλογή.
- Κατανομή πολλαπλών διαδικασιών των εξαγομένων.
- Διαφάνεια εύκολη ανάδραση.
- Ανάλυση αδύναμων στοιχείων αναγνώριση των «hot spots» στον κύκλο ζωής χρησιμοποιώντας το δέντρο της διαδικασίας.
- Φιλτράρισμα επιλογών διαθέσιμων για όλα τα αποτελέσματα.
- Ανάλυση πολύπλοκης διαχείρισης αποβλήτων και σεναρίων ανακύκλωσης.
- Monte Carlo ανάλυση για αβεβαιότητα δεδομένων.

3.3.2 Ξεκινώντας στο SimaPro

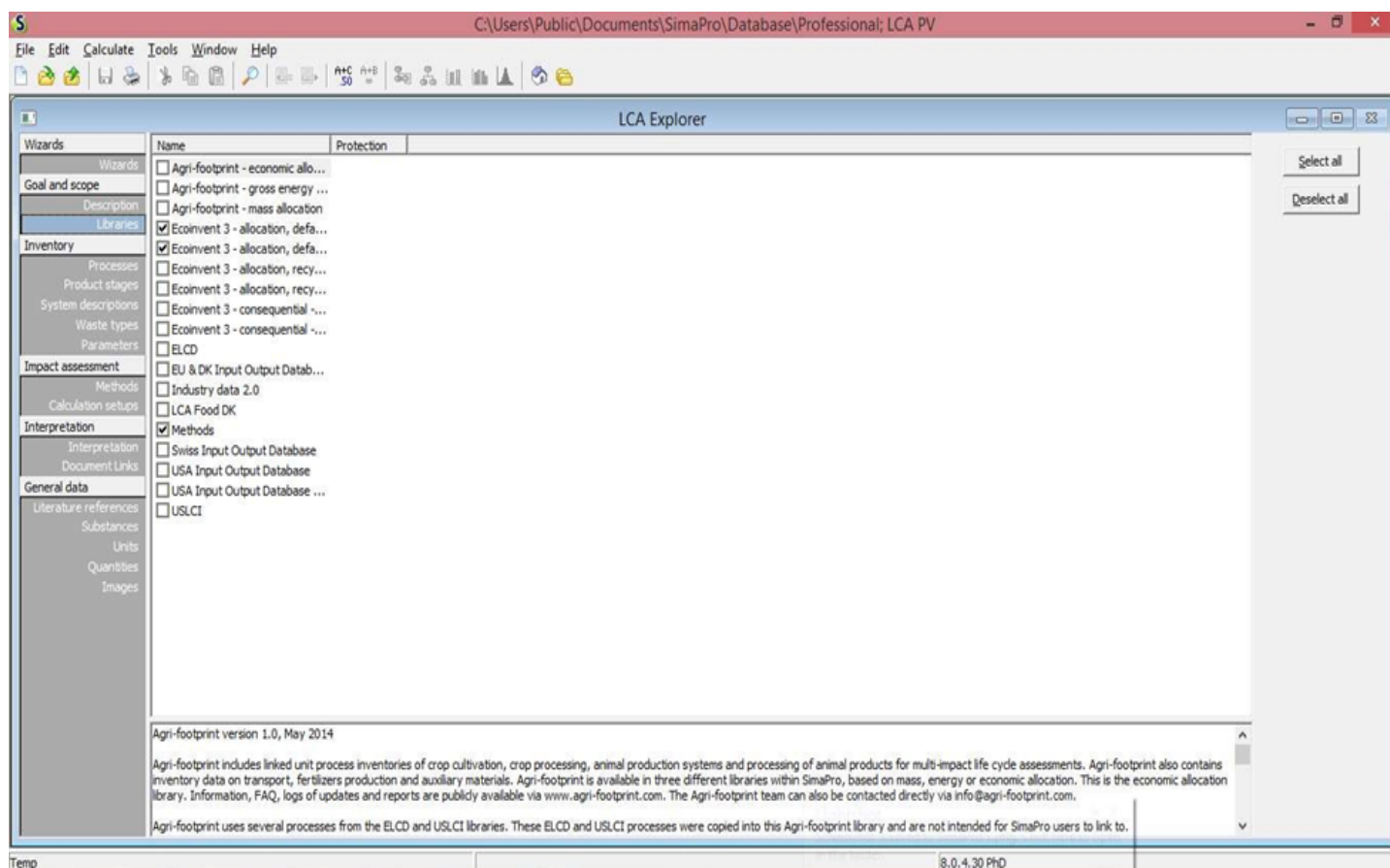
Κατά την εκκίνηση του λογισμικού ζητείτε είτε να ανοιχθεί ένα έργο ή μια βιβλιοθήκη, είτε να δημιουργηθεί ένα νέο έργο (Εικόνα 3.7). Ανοίγοντας ένα νέο έργο έχουμε τη δυνατότητα να αποθηκευτούν τα δεδομένα που απαιτούνται και να συναρμολογηθούν τα προϊόντα ή οι διεργασίες που θα μελετηθούν. Επίσης, στην Εικόνα 3.9 στα αριστερά φαίνονται τα στάδια του λογισμικού που είναι ίδια με εκείνα της AKZ όπως παρατίθενται παρακάτω:

- ❖ Σκοπός και Στόχος (Scope and Goal)
- ❖ Απογραφή (Inventory)
- ❖ Ανάλυση Επιπτώσεων (Impact Assessment)
- ❖ Αποτίμηση – Ερμηνεία (Interpretation)



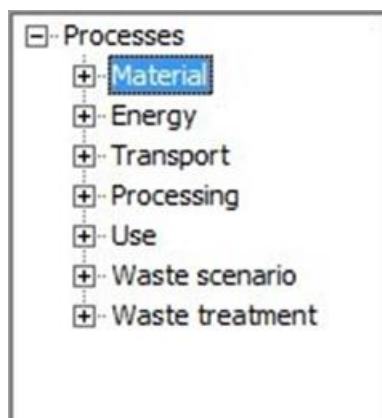
Εικόνα 3:7 Γενικό περιβάλλον του SimaPro και εισαγωγή νέου έργου

Οι βιβλιοθήκες περιλαμβάνουν κάποια συγκεκριμένα δεδομένα που παρέχονται από το SimaPro και όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.8 υπάρχει η δυνατότητα να επιλεχθούν όσες είναι θεωρούνται απαραίτητες για το εκάστοτε έργο.

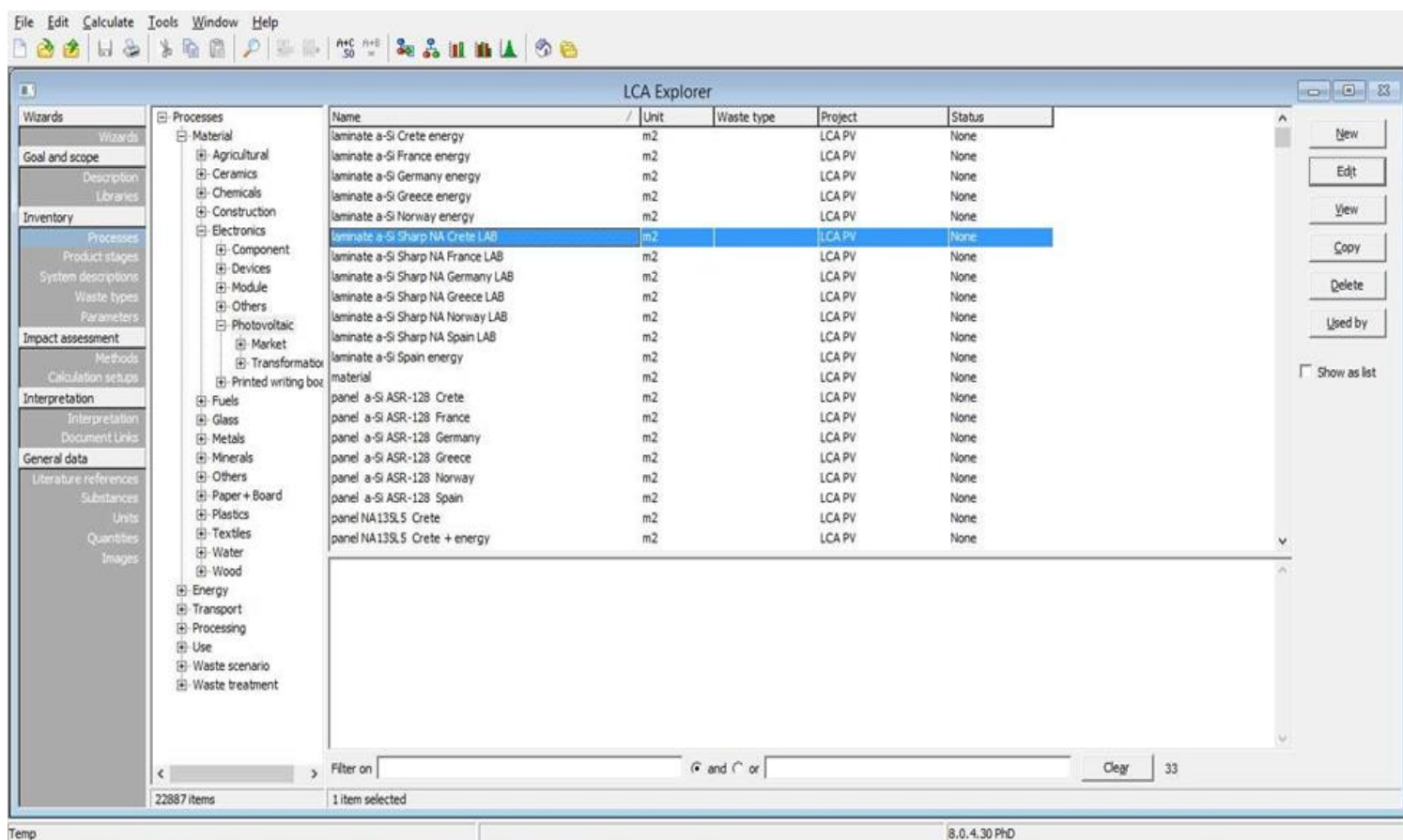


Εικόνα 3:8 Οι διαθέσιμες βιβλιοθήκες του χρήστη

Πηγαίνοντας στην απογραφή υπάρχει μια καρτέλα που ονομάζεται διαδικασίες (Process), πατώντας εκεί ανοίγουν διάφορες επιλογές όπως υλικά, μεταφορές, ενέργεια κ.α. (Εικόνα 3.9). Από εκεί πηγαίνοντας στην κατάλληλη επιλογή, για παράδειγμα στην δικιά μας περίπτωση για τη δημιουργία ενός λεωφορείου πήγαμε: μεταφορά→ δρόμος→ μεταμόρφωση → υποδομή (Transport road → transformation→ infrastructure) και πατώντας πάνω δεξιά την επιλογή “νέο” δημιουργήσαμε ένα νέο προϊόν τοποθετώντας όλα τα υλικά, ενέργεια, μεταφορές κ.α. που απαιτούνται. (εικόνα 3.10 και εικόνα 3.11).



Εικόνα 3:9 Επιλογές της καρτέλας των διεργασιών



Εικόνα 3:10 Δημιουργία νέων προϊόντων

Εικόνα 3:11 Φόρμα εισαγωγής όλων των απαιτούμενων ενεργειών για το προϊόν

3.3.3 Μέθοδοι αποτίμησης

Το λογισμικό SimaPro περιέχει διάφορες μεθόδους αποτίμησης αντικτύπου. Η βασική δομή των μεθόδων αντικτύπου είναι οι εξής:

- ❖ Χαρακτηρισμός – Characterization
- ❖ Αποτίμηση βλάβης – Damage Assessment
- ❖ Κανονικοποίηση – Normalization
- ❖ Στάθμιση – Weighting

Εκτός από το πρώτο βήμα τα επόμενα τρία είναι προαιρετικά σύμφωνα με τα πρότυπα ISO, επομένως δεν είναι διαθέσιμα και τα τέσσερα βήματα σε όλες τις μεθόδους που προσφέρονται για αποτίμηση.

Χαρακτηρισμός – Characterization

Οι ουσίες που συνεισφέρουν σε μια κατηγορία ευρείας επίδρασης, πολλαπλασιάζονται με κάποιο αντίστοιχο συντελεστή (Characterization), όπου εκφράζει το βαθμό συνεισφοράς της κάθε υπό εξέταση ουσίας, στην αντίστοιχη κατηγορία επίδρασης. Το παραγόμενο αποτέλεσμα εκφράζεται σε δείκτες ευρείας επίδρασης (Impact Category Indications).

Αποτίμηση βλάβης – Damage Assessment

Σκοπός του συγκεκριμένου βήματος είναι ο συνδυασμός ενός αριθμού δεικτών κατηγορίας ευρείας επίδρασης σε μια ευρύτερη κατηγορία βλάβης (Damage Category). Συνοψίζοντας τις επιβαρύνσεις σε συγκεκριμένες ευρύτερες κατηγορίες, είναι ευκολότερο να αξιολογήσουμε τη συνολική επιβάρυνση που προκαλείται από κάθε κατηγορία ευρείας επίδρασης στις κατηγορίες βλάβης.

Κανονικοποίηση – Normalization

Στο βήμα αυτό δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης των δεικτών κατηγορίας ευρείας επίδρασης με καθορισμένο σημείο αναφοράς. Η σύγκριση αυτή επιτυγχάνεται διαιρώντας τους δείκτες με το σημείο αναφοράς, ανάγοντας έτσι όλους τους δείκτες στην ίδια μονάδα μέτρησης. Το βήμα αυτό μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στα αποτελέσματα που προκύπτουν από το πρώτο βήμα, όσο και σε αυτά που εξάγονται από το δεύτερο. Ως σημείο αναφοράς χρησιμοποιείται ευρέως το μέσο ετήσιο περιβαλλοντικό φορτίο ανά χώρα ή ήπειρο, διαιρούμενο με τον αντίστοιχο πληθυσμό.

Στάθμιση – Weighting

Στο τελευταίο αυτό βήμα μπορούμε να πολλαπλασιάσουμε τα δεδομένα που έχουμε, είτε τους δείκτες κατηγορίας ευρείας επίδρασης είτε τους αντίστοιχους δείκτες από τις κατηγορίες βλάβης (Damage Category Indications), με ένα συντελεστή στάθμισης (weighting factor) προσθέτοντας τα νέα αποτελέσματα, ώστε να έχουμε ένα συνολικό τελικό αποτέλεσμα. Το βήμα αυτό έχει τη δυνατότητα να εφαρμοστεί σε κανονικοποιημένα ή μη δεδομένα. [Κορνελάκη, 2009]

3.3.4 Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν

Μέθοδος ReCiPe

Η μέθοδος σύγκρισης και παρουσίασης των αποτελεσμάτων που επιλέχθηκε είναι η ReCiPe η οποία είναι διάδοχος της Eco – Indicator 99 και τις CML-IA. Η μεθοδολογία ReCiPe παρέχει μια «συνταγή» για τον υπολογισμό των δεικτών κατηγοριών επίδρασης του κύκλου ζωής. Ο βασικός στόχος της ReCiPe είναι η μετατροπή της μεγάλης λίστας των αποτελεσμάτων των επιπτώσεων του κύκλου ζωής σε έναν περιορισμένο αριθμό δεικτών. Εδώ οι δείκτες εκφράζουν τη σχετική σοβαρότητα μια περιβαλλοντικής κατηγορίας επίδρασης.

Οι δείκτες καθορίζονται σε δύο επίπεδα:

1. Δείκτες σε δεκαοκτώ κατηγορίες επίδρασης που απευθύνονται στο ενδιάμεσο επίπεδο:

Πίνακας 3:5 Πίνακας με τους δεκαοκτώ δείκτες [Πανταζή, 2014]

1. κλιματική αλλαγή (CC)	10. οικοτοξικότητα γλυκού νερού (FET)
2. μείωση όζοντος (OD)	11.θαλάσσια οικοτοξικότητα (MET)
3. οξίνιση εδάφους (TA)	12. ιοντίζουσα ακτινοβολία (IR)
4. ευτροφισμός γλυκού νερού (FE)	13. ενασχόληση με την αγροτική γη (ALO)
5. θαλάσσιος ευτροφισμός (ME)	14. ενασχόληση με την αστική γη (ULO)
6. ανθρώπινη τοξικότητα (HT)	15. μετασχηματισμός φυσικής γης (NLT)
7. φωτοχημική οξείδωση (POF)	16. μείωση νερού (WD)
8. σχηματισμός σωματιδίων (PMF)	17. μείωση ορυκτών πόρων (MRD)
9. οικοτοξικότητα εδάφους (TET)	18. μείωση ορυκτών καυσίμων (FD)

2. Οι παραπάνω κατηγορίες μετατρέπονται και συντίθενται στις ακόλουθες τρεις τελικές κατηγορίες, οι οποίες αποτελούν τους κυριότερους αποδέκτες των περιβαλλοντικών φορτίων:

- Βλάβες στην Ανθρώπινη υγεία – Damage to Human Health
- Βλάβες στην Ποιότητα Οικοσυστήματος - Damage to Ecosystem Quality
- Βλάβες στους Πόρους - Damage to Resources

Βλάβες στην Ανθρώπινη υγεία – Damage to Human Health

Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως αριθμός των ετών ζωής που χάθηκαν και τον αριθμό των ετών ζωής αναπηρίας. Από το συνδυασμό αυτών προκύπτει η αντίστοιχη μονάδα μέτρησης DALY (Disability Adjusted Life Years).

Βλάβες στην Ποιότητα Οικοσυστήματος - Damage to Ecosystem Quality

Μια προσέγγιση για την περιγραφή της ποιότητας του οικοσυστήματος είναι σε όρους ενέργειας, ύλης και ροής πληροφοριών. Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως αριθμός ειδών που εξαφανίστηκαν σε καθορισμένη περιοχή για καθορισμένο χρόνο (species.yr).

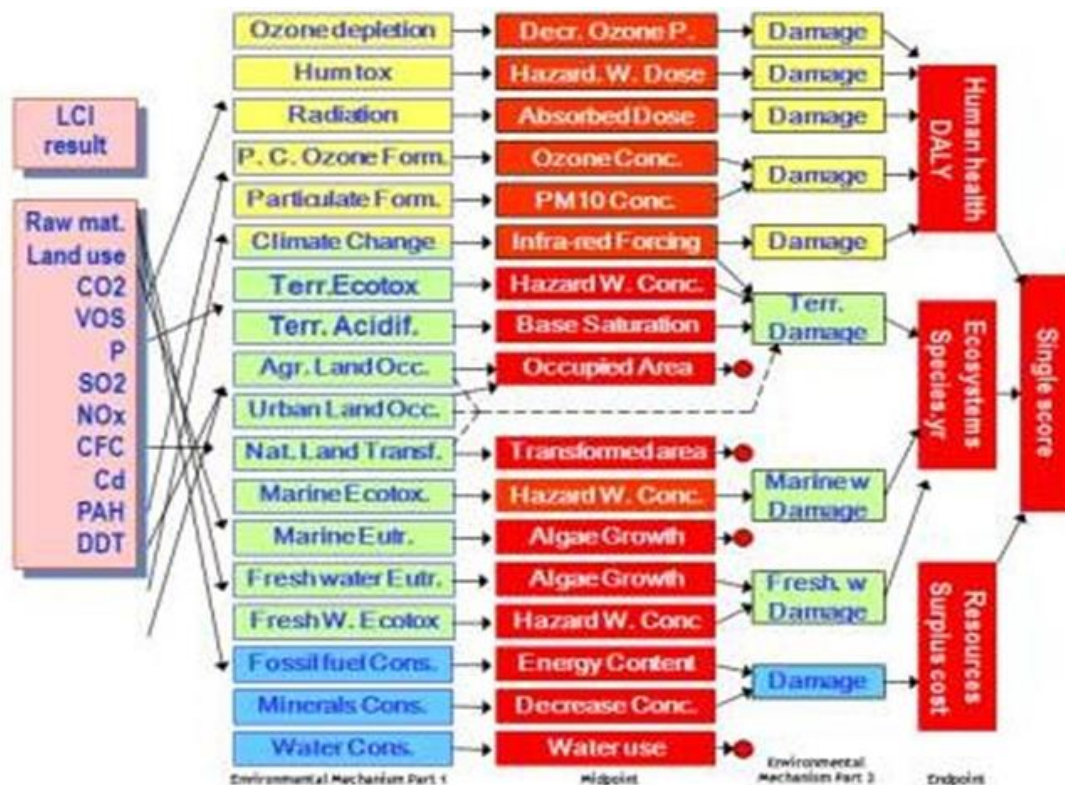
Βλάβες στους Πόρους - Damage to Resources

Ένα αρκετά σημαντικό ζήτημα που αναφέρεται πολύ τα τελευταία χρόνια είναι η εξάντληση των πόρων. Εδώ η μέθοδος που χρησιμοποιούμε έχει επιλέξει να βασίσουν αυτό το μοντέλο στη γεωλογική κατανομή ορυκτών πόρων και καυσίμων και να αξιολογήσουν πως η χρήση αυτών προκαλεί αλλαγές στις προσπάθειες εξόρυξης μελλοντικών πόρων. Τα αποτελέσματα εκφράζονται ως πλεόνασμα ενέργειας που απαιτείται για μελλοντική εξαγωγή ορυκτών καυσίμων (\$). [Πανταζή, 2014]

Η ReCiPe χρησιμοποιεί έναν περιβαλλοντικό μηχανισμό σαν τη βάση για τη μοντελοποίηση. Ένας περιβαλλοντικός μηχανισμός μπορεί να θεωρηθεί σαν μια σειρά

επιπτώσεων που όλες μαζί μπορούν να δημιουργήσουν ένα συγκεκριμένο επίπεδο βλάβης στη ανθρώπινη υγεία ή στο οικοσύστημα. Στη παρακάτω εικόνα φαίνεται σχηματικά η μέθοδος όπου αντιστοιχίζονται τα αποτελέσματα των επιπτώσεων του κύκλου ζωής στις μέσες κατηγορίες και έπειτα στις κατηγορίες βλάβης. (Εικόνα 3.12)

Τέλος, η χρησιμοποιούμενη μονάδα μέτρησης για τα συνολικά αποτελέσματα είναι το 1 Pt, το οποίο είναι ίσο με το 1/1000 του ετήσιου περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου κατοίκου.



Εικόνα 3:12 Σχηματική απεικόνιση της ReCiPe [SimaPro database manual]

3.4 Σενάρια που μελετήθηκαν

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης αποτιμήθηκε περιβαλλοντικά, η συναρμολόγηση δύο διαφορετικών τύπων λεωφορείων, λαμβάνοντας υπόψη τη τεχνολογία που επιτρέπει τη κίνηση τους, διαμορφώνοντας κατάλληλα σενάρια αξιολόγησης. Συγκεκριμένα μελετήθηκε η περιβαλλοντική επιβάρυνση που θα προκληθεί από τη συναρμολόγηση των λεωφορείων κάτω από διάφορες συνθήκες και παράγοντες αβεβαιότητας, τη μεταφορά τους και τη λειτουργία τους στη πόλη του Ρεθύμνου. Η επιλογή αυτή βασίστηκε στην παρατήρηση διαφοροποιήσεων κατά τη συναρμολόγηση τους και κατά τη περίοδο λειτουργίας τους.

Προκειμένου να οριστεί στο λογισμικό SimaPro και να γίνει σωστή σύγκριση μεταξύ των λεωφορείων καταγράφηκαν αλλαγές σε σχέση με το βασικό σενάριο που αφορούν τη κατανάλωση καυσίμου, των αριθμό των επιβατών που μεταφέρονται, τα συνολικά χρόνια ζωής και τα χιλιόμετρα που καταγράφουν τα λεωφορεία σαν διαφορετική διαδρομή.

Αναφορικά, σαν λειτουργική μονάδα για το πρώτο και βασικό σενάριο, δηλαδή τη μονάδα εκτέλεσης εντολών για τα αποτελέσματα, επιλέχθηκαν τα συνολικά χρόνια ζωής των λεωφορείων όπως περιγράφεται στις παρακάτω παραγράφους. Στα εναλλακτικά σενάρια περιλαμβάνεται η αλλαγή της λειτουργικής μονάδας και τα αποτελέσματα εξάγονται σε ανά επιβάτη ανά χιλιόμετρο (/Επιβάτη*km) και σε ανά χιλιόμετρο (/km), που είναι τα συνολικά χιλιόμετρα που εκτελεί καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του το λεωφορείο. Ο αναφερόμενος αριθμός επιβατών είναι ο συνολικός αριθμός επιβατών που μεταφέρει κα' όλη τη διάρκεια ζωής του. Ο συγκεκριμένος τρόπος παρουσίασης επιλέχτηκε προκειμένου να υπολογιστεί το περιβαλλοντικό φορτίο που αντιστοιχεί σε κάθε επιβάτη για κάθε χιλιόμετρο που πραγματοποιεί μεταφερόμενος από τα λεωφορεία και το περιβαλλοντικό φορτίο των λεωφορείων για κάθε χιλιόμετρο που εκτελούν αντίστοιχα. Με το τρόπο αυτό, γίνεται κατανοητό σε μεγαλύτερο βαθμό το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των λεωφορείων. Σαν βασική διαδρομή έχει επιλεγεί αυτή με αφετηρία περιοχή Περιβόλια μέσα στη πόλη του Ρεθύμνου και τελικό προορισμό το Πανεπιστήμιο Γάλλου όπως αναλύεται παρακάτω. Ωστόσο, τα εναλλακτικά σενάρια περιλαμβάνεται η αλλαγή στη διαδρομή που ακολουθούν τα λεωφορεία και κατά συνέπεια τη μείωση των χιλιομέτρων που καταγράφουν. Για το σενάριο αυτό, επιλέχτηκε η διαδρομή που έχει σχεδιαστεί από το Δήμο της πόλης του Ρεθύμνου και εξετάστηκε από το εργαστήριο Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης και από δημότες και τουρίστες της πόλης του Ρεθύμνου τη καλοκαιρινή περίοδο του έτους 2017 στα πλαίσια της Εβδομάδας Κινητικότητας. Το δρομολόγιο αυτό περιλαμβάνει τη διαδρομή με αφετηρία το ξενοδοχείο Palm Beach, τη διάσχιση όλης της παραλιακής της πόλης του Ρεθύμνου και με το τερματισμό να ταυτίζεται με την αφετηρία. Στο σενάριο αυτό εκτός απ' την αλλαγή στα χιλιόμετρα, που τα χρόνια ζωής για το συμβατικό λεωφορείο ανέρχονται στα 12, σε μια προσπάθεια διαφοροποίησης από τα βιβλιογραφικά δεδομένα και σύγκρισης των λεωφορείων επι ίσοις όροις.

Τέλος εκτός των παραπάνω σεναρίων έγινε σύγκριση των δύο λεωφορείων μέσω του λογισμικού του SimaPro, προκειμένου να εξεταστεί το περιβαλλοντικό αντίκτυπο από τη συναρμολόγηση και τη λειτουργία τους, με διάφορους περιβαλλοντικούς δείκτες. Με αυτό το τρόπο έγινε καταγραφή των βασικών παραγόντων επιρροής στο συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο με τη μεγαλύτερη συμβολή στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα των λεωφορείων.

Στο Πίνακα 3.6 συνοψίζονται όλα τα σενάρια που έχουν καταγραφεί προκειμένου να γίνει η σύγκριση των δύο λεωφορείων. Στα κελιά που σημειώνονται με παύλα(-), δεν αλλάζει το σενάριο σε σχέση με το προηγούμενο.

Πίνακας 3:6 Σύνοψη σεναρίων για τη σύγκριση λεωφορείων

Σενάριο	Κατανάλωση	Διαδρομή	Χωρητικότητα	Λειτουργική μονάδα	Χρόνια Ζωής (ΗΛΣ v ΣΛΕΚ)
Βασικό	Βάση εταιρίας κατασκευής	Περιβόλια-Πανεπιστήμιο Γάλλου	80% της συνολικής χωρητικότητας	Pt/12 χρόνια	12 v 16
Σενάριο 2 ^ο	+10%	-	-	-	-
Σενάριο 3 ^ο	Βάση εταιρίας κατασκευής	Palm Beach-Παραλιακή Ρεθύμνου	80% της συνολικής χωρητικότητας	-	12 v 12
Σενάριο 4 ^ο	Βάση εταιρίας κατασκευής	Περιβόλια-Πανεπιστήμιο Γάλλου	60%	-	12 v 16
Σενάριο 5 ^ο	Βάση εταιρίας κατασκευής	Περιβόλια-Πανεπιστήμιο Γάλλου	100%	-	12 v 16
Σενάριο 6 ^ο	Αλλαγή λειτουργικής μονάδας όλων των σεναρίων σε Pt/ Επιβάτη* km και σε Pt/ km				

3.5 Βασικές υποθέσεις και αναφορές

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας ήταν αναγκαίο να γίνουν κάποιες βασικές υποθέσεις. Πιο συγκεκριμένα, η ανάγκη για ρεαλιστικές υποθέσεις έγινε επιτακτική έπαιτα από άμεση επικοινωνία με εταιρίες συναρμολόγησης των λεωφορείων και άρνηση αυτών για παροχή περαιτέρω πληροφοριών σχετικά με τα προϊόντα που κατασκευάζουν. Συνεπώς, η καταγραφή και χρησιμοποίηση ορισμένων υλικών κατασκευής των λεωφορείων καθώς και των ποσών ηλεκτρικής ενέργειας που δαπανήθηκαν για τη κατασκευή τους, προέκυψαν έπειτα από ενδελεχή έλεγχο της βάσης δεδομένων του λογισμικού SimaPro και από τα ήδη έτοιμα μοντέλα που υπήρχαν καθώς και από βιβλιογραφική εμπειρία.

Στις βασικές υποθέσεις περιλαμβάνονται τα συνολικά χρόνια ζωής των δύο λεωφορείων που έπαιτα από βιβλιογραφική εμπειρία χρησιμοποιήθηκαν για το ηλεκτρικό λεωφορείο, 12 χρόνια ζωής [Chester et al ,2009] ενώ για το συμβατικό λεωφορείο 16 χρόνια [Andrea et al, 2014]. Επιπροσθέτως, για τις ανάγκες εκπόνησης της μελέτης, αντί του ενεργειακού μείγματος της Κρήτης χρησιμοποιήθηκε αυτό της Ελλάδας.

Σαν βασική διαδρομή που εκτελούν τα δύο λεωφορεία, προκειμένου να καταγραφούν τα χιλιόμετρα που διανύουν σε όλα τα χρόνια ζωής τους, χρησιμοποιείται αυτή, με αφετηρία την περιοχή Περιβόλια μέσα στη πόλη του Ρεθύμνου και τελικό προορισμό το Πανεπιστήμιο Γάλλου, όπως παρουσιάζεται παρακάτω. Η επιλογή έγινε λόγω περισσότερων χιλιομέτρων που εκτελούνται ετησίως σε σύγκριση με τις άλλες δύο προτεινόμενες διαδρομές που παρουσιάζονται στη συνέχεια και λόγω των συχνότητων των δρομολογίων σε αυτή τη διαδρομή που είναι αυξημένες. Με το τρόπο αυτό

προσεγγίζεται καλύτερα η πραγματικότητα πραγματοποίησης έως και μεγάλων αστικών διαδρομών από τα λεωφορεία. Για τη συγκεκριμένη διαδρομή τα λεωφορεία καταγράφουν συνολικά 92.806 km/έτος.

Προκειμένου να υπολογιστεί το συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο που αντιστοιχεί σε κάθε επιβάτη που εκτελεί ένα χιλιόμετρο της διαδρομής στα συνολικά χρόνια ζωής των λεωφορείων, έγινε η υπόθεση ότι η πληρότητα των λεωφορείων είναι σταθερή και ακουμπάει το 80% της συνολικής χωρητικότητας των λεωφορείων ενώ λόγω έλλειψης στοιχείων, θεωρείται ότι σε κάθε διαδρομή τα λεωφορεία γυρνάνε χωρίς επιβάτες ως χειρότερο δυνατό σενάριο. Η κατανάλωση καυσίμου που χρησιμοποιούν τα δύο λεωφορεία είναι η ονομαστική κατανάλωση όπως περιγράφεται από τις εταιρίες κατασκευής.

Ιδιαίτερη αναφορά αρμόζει στο τύπο συσσωρευτή που χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό λεωφορείο. Λόγω έλλειψης στη βιβλιοθήκη του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε συσσωρευτής τεχνολογίας Ιόντων-Li που υπήρχε ήδη στη βάση δεδομένων του προγράμματος και έγινε προσαρμογή στα συνολικά κιλά που ζυγίζουν στη πραγματικότητα οι μπαταρίες του ηλεκτρικού λεωφορείου. Αυτό φυσικά, έχει επίδραση στα συνολικά κιλά των υλικών που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή του κάθε κελιού του συσσωρευτή και κατά συνέπεια στα συνολικά κιλά υλικών όλου του συσσωρευτή.

Επιπροσθέτως, για τον υπολογισμό του συνολικού αριθμού συσσωρευτών που θα χρησιμοποιηθούν στο ηλεκτρικό λεωφορείο, έγινε η παρακάτω υπόθεση που διαφοροποιεί την παρούσα διπλωματική εργασία από άλλες μελέτες. Πιο συγκεκριμένα, αντί του υπολογισμού του αριθμού των συσσωρευτών βάση των ετών ζωής τους, έγινε υπολογισμός αυτών βάση των χιλιομέτρων που δίνονται σαν εγγύηση από τις εταιρίες κατασκευής και των κύκλων φόρτισης/αποφόρτισης των συσσωρευτών. Εκτελώντας το ηλεκτρικό λεωφορείο σταθερά χιλιόμετρα βάση της επιλεγμένης διαδρομής και των επιλεγμένων ετών ζωής τους, είναι δυνατόν να υπολογιστεί ο συνολικός αριθμός συσσωρευτών που θα πρέπει να παρασκευαστούν και να χρησιμοποιηθούν γι' αυτό. Με τη συγκεκριμένη υπόθεση, αναμένεται να παρουσιαστούν οι διαφορές σε σχέση με τα αποτελέσματα των βιβλιογραφικών μελετών σε ότι αφορά την επίδραση των συσσωρευτών στο συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο του λεωφορείου και σε άλλους παράγοντες επιρροής όπως για παράδειγμα σχηματισμός σωματιδίων κα.

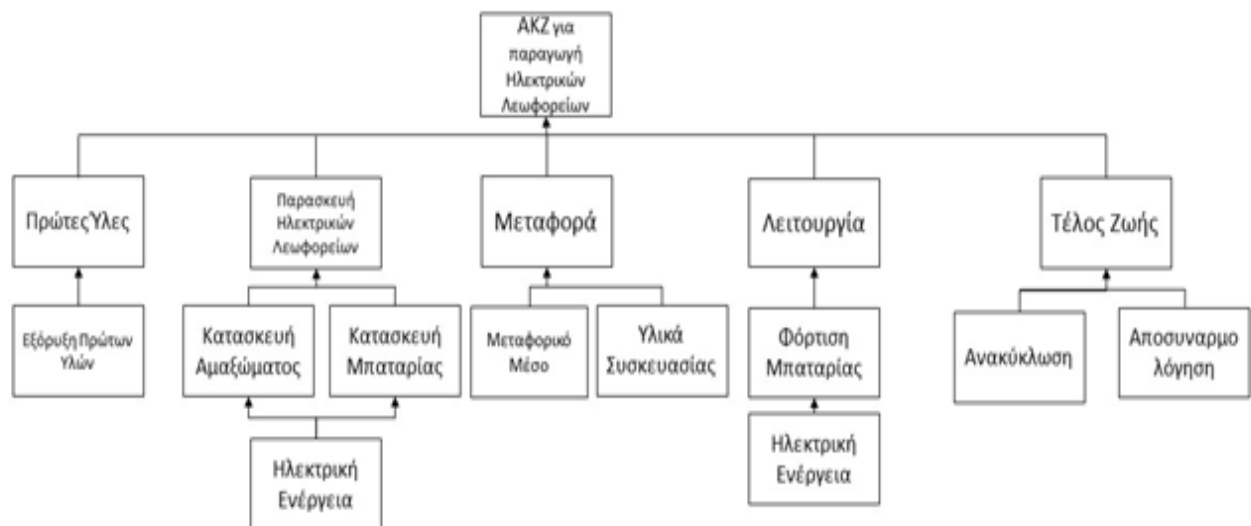
Για το συμβατικό λεωφορείο, τις εκπομπές του προς την ατμόσφαιρα και τη ρύπανση που προκαλεί, για τη καταχώρηση στο σύστημα δεδομένων του προγράμματος, χρησιμοποιήθηκαν τα όρια ρύπων της Ευρωπαϊκής Ένωσης σύμφωνα με κινητήρες EURO VI/6 για οχήματα τύπου λεωφορείων [International Association of Public Transport, 2017] και βάση του Διεθνές Συμβουλίου Καθαρών Μεταφορών [International Council on Clean Transportation, 2016], Αυτές, θεωρούνται οι πραγματικές εκπομπές σε συνθήκες πραγματικής κατάστασης.

Τέλος, για το τελικό στάδιο ζωής των λεωφορείων δεν έγινε αποσυναρμολόγηση και ανακύκλωση των υλικών τους.

Ακολουθεί το Διάγραμμα 3.1 που παρουσιάζεται η λογική με την οποία πραγματοποιήθηκε η ΑΚΖ των λεωφορείων για τις ανάγκες της συγκεκριμένης

διπλωματικής εργασίας και ο Πίνακας 3.7 που συνοψίζονται οι βασικές υποθέσεις και σενάρια.

Διάγραμμα 3.1 Στάδια πραγματοποίησης ΑΚΖ ηλεκτρικού λεωφορείου



Πίνακας 3:7 Σύνοψη βασικών σεναρίων & υποθέσεων

Βασικές Υποθέσεις & Σενάρια	
Έτη Ζωής (ΗΛΣ ν ΣΛΕΚ)	12 ν 16
Διαδρομή	Περιβόλια-Πανεπιστήμιο Γάλλου
Χωρητικότητα Λεωφορείων	80% συνολικής χωρητικότητας
Κατανάλωση Καυσίμου	Ονομαστική κατανάλωση λεωφορείων
Τύπος Συσσωρευτή	Συσσωρευτής τύπου Ιόντων-Li
Αλλαγή Συσσωρευτή	Κάθε 1500 κύκλους φόρτισης/αποφόρτισης
Εκπομπές Συμβατικού Λεωφορείου	Για οχήματα με κινητήρες EURO VI/6
Τελικό Στάδιο Ζωής Λεωφορείων	Χωρίς αποσυναρμολόγηση και ανακύκλωση

3.6 Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας & Περίοδος Αποπληρωμής

Η πόλη του Ρεθύμνου κάθε χρόνο γνωρίζει μεγάλη τουριστική ανάπτυξη στοχεύοντας όχι μόνο στην σωστή ανταπόκριση στις τουριστικές ανάγκες αλλά και στην βιώσιμη ανάπτυξη στο τομέα των μεταφορών μέσω καινοτόμων ιδεών και πράξεων.

Για να διαπιστώσουμε αν η κατασκευή και η αγορά ενός ηλεκτρικού λεωφορείου αποτελεί μια βιώσιμη λύση θα πρέπει εκτός των άλλων, να εξεταστεί και η οικονομική σκοπιμότητα του εγχειρήματος. Αυτό είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί συγκρίνοντας το συνολικό κόστος της επένδυσης σε ένα ηλεκτρικό λεωφορείο με το κόστος ενός συμβατικού. Το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας (Total Cost of Ownership) έχει χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσει την επίδραση σε ένα km οδήγησης. Το TCO είναι γενικά αποδεκτή μέθοδος για τη σύγκριση δύο οχημάτων κατά τη διάρκεια της ζωής τους, όπου όλες οι δαπάνες της αγοράς και της χρήσης οχημάτων κατά τη διάρκεια της ζωής οχημάτων υπολογίζονται. Εντούτοις, προκειμένου να αξιολογηθεί η περιφερειακή επίδραση, το παραδοσιακό TCO πρέπει να τροποποιηθεί. Το TCO μπορεί να αναλύσει σε διάφορα κύρια συστατικά. Για εμπορικούς λόγους, η γενική μορφή υπολογισμού του TCO που χρησιμοποιείται για να συγκρίνει δύο οχήματα της ίδιας τεχνολογίας είναι:

$$\Delta TCO = \Delta C_0 + \Delta PV(C) - \Delta PV(RV) \quad (1)$$

όπου C_0 είναι αρχική επένδυση, το $PV(C)$ είναι παρούσα αξία όλων των δαπανών κατά τη διάρκεια της ζωής των οχημάτων και το $PV(RV)$ είναι η παρούσα αξία της υπολειμματικής αξίας του οχήματος (δηλ. η αξία, στην οποία το όχημα μπορεί να πωληθεί στο τέλος της χρήσιμης ζωής τους.)

Η παρούσα αξία (PV) υπολογίζεται ως εξής:

$$PV = \sum \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

όπου το C_t δείχνει τις δαπάνες στο έτος t και το r δηλώνει το κόστος του κεφαλαίου.

Τελικά, το Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας αποτυπώνεται με το παρακάτω τύπο και τους διεθνείς επιστημονικά οικονομικούς όρους:

$$E = \Delta TCO = [\Delta APV(C_0) \cdot DB-1 + CEV-CICE + \Delta CEXT] \cdot Nmk \quad (3)$$

Το ΔTCO αποτελεί το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας και ουσιαστικά προκύπτει από τη διαφορά του κόστους επένδυσης των δύο λεωφορείων, του ηλεκτρικού και του συμβατικού. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε €/km και δηλώνουν το κέρδος από την αντικατάσταση του συμβατικού λεωφορείου με ένα ηλεκτρικό. Ο όρος $\Delta APV(C_0)$ αποτελεί τον συνολικά Ετήσιο Παράγοντα Κόστους και περιλαμβάνει την αρχική επένδυση καθώς και την υπολειμματική αξία του οχήματος. Αποτυπώνεται με τον παρακάτω τύπο :

$$\text{Annualized Cost Factor } APV(C_0) = \frac{r}{(1-(1+r)^{-t})} \quad (4)$$

Όπου r δηλώνει το κόστος κεφαλαίου ενώ το t δηλώνει το έτος.

Το DB δηλώνει τη τυπική διαδρομή που εκτελεί ένα λεωφορείο για δημόσιες μεταφορές μέσα σε ένα χρόνο και εκφράζεται σε km-1 , ενώ τα CEV και CICE δηλώνουν τα κόστη για το ηλεκτρικό λεωφορείο και το συμβατικό αντίστοιχα. Ακόμα ο όρος ΔCEXT αναφέρεται στη διαφορά των εξωτερικών κοστών του ηλεκτρικού και του συμβατικού λεωφορείου. Τέλος ο Nmk αναφέρεται στα συνολικά km που οδηγήθηκαν μέσα σε ένα χρόνο για μια τυπική διαδρομή για δημόσιες μεταφορές. [Laizāns et al,2015]

Ακόμα, όταν γίνονται τόσο μεγάλου ύψους επενδύσεις, είναι χρήσιμο να καθορίζεται η περίοδος αποπληρωμής. Η Περίοδος Αποπληρωμής (Payback Period -PP) ενός έργου (Project) μας δίνει ακριβείς πληροφορίες για το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να γίνει ανάκτηση του αρχικού κόστους επένδυσης. Για να μπορέσουν δηλαδή τα έσοδα μιας επένδυσης, να αντισταθμίσουν το αρχικό κόστος επένδυσης.

Η περίοδος αποπληρωμής δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Περίοδος Αποπληρωμής (years)} = \frac{\text{Αρχικό Κόστος Επένδυσης}}{\text{Ετήσια Καθαρά Κέρδη}} \quad (5)$$

Είναι φανερό, ότι η περίοδος αποπληρωμής (PP) είναι μια ιδιαίτερα απλή μέθοδος στον υπολογισμό της, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον καθένα γι' αυτό και συχνά προτιμάται έναντι των υπολοίπων. Δίνει πληροφορίες σχετικά με την επικινδυνότητα ενός έργου σε περίπτωση που είναι πολύ μεγάλη.

Ωστόσο η μέθοδος αυτή πρέπει να χρησιμοποιείται με ιδιαίτερη προσοχή σε περιπτώσεις που τα υποψηφία έργα έχουν διαφορετική ωφέλιμη ζωή.

Για μια έγκυρη σύγκριση μεταξύ των οχημάτων που αποκοπεί σε όσο το δυνατόν μικρότερα σφάλματα, επιλέχτηκε συμβατικό λεωφορείο με σχεδόν ίδια χωρητικότητα και ίδιο μέγεθος με αυτά του ηλεκτρικού.

Θεωρούμε ότι η αντικατάσταση είναι 1:1 και ότι τα λεωφορεία εκτελούν τις ίδιες διαδρομές σε όλη τη διάρκεια του χρόνου και της χρήσιμης ζωής τους. Επίσης, θεωρούμε ότι η πληρότητα στη διαδρομές των λεωφορείων ακουμπάει το 80%, που ήταν η ίδια επιλογή για το κομμάτι της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής των λεωφορείων. Πιο συγκεκριμένα για το ηλεκτρικό λεωφορείο αυτό συνεπάγεται με μεταφορά 48 επιβατών (μέγιστη χωρητικότητα 38 άτομα), ενώ για το συμβατικό 37 επιβατών (μέγιστη χωρητικότητα 47 άτομα).

Προκειμένου να γίνει ακριβή ανάλυση του συνολικού κόστους των δύο λεωφορείων επιλέχτηκαν τυπικές διαδρομές μέσα στη πόλη του Ρεθύμνου, βάση το ήδη υπάρχων δίκτυο μεταφορών και μιας ακόμα προτεινόμενης συμπληρωματικής διαδρομής, η οποία σχεδιάστηκε από το Δήμο Ρεθύμνης και εξετάστηκε από το εργαστήριο Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης και από δημότες της πόλης καθώς και επισκέπτες αυτής κατά τη καλοκαιρινή περίοδο του έτους 2017 στα πλαίσια της εβδομάδας κινητικότητας που είχε διεξαχθεί.

Οι διαδρομές που επιλέχτηκαν και παρουσιάζονται σαν σενάρια στον Πίνακα 3.8:

Πίνακας 3:8 Διαδρομές λεωφορείων

Από	Προς	Απόσταση (km)	Δρομολόγια/Εβδομάδα	Τιμή Εισιτηρίου(€)
Ρεθύμνο	Λούτρα	24.8	64	1.30
Περιβόλια	Πανεπιστημιούπολη Γάλλου	16.5	107	0.80
Palm beach Hotel	Όλη τη παραλιακή και πάλι πίσω	6.5	37	1.00

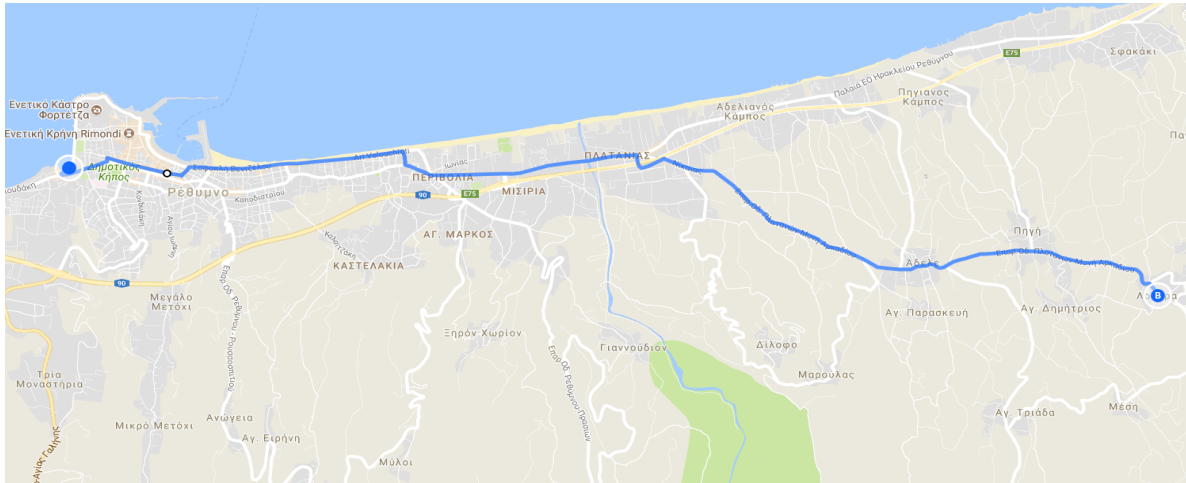
3.7 Επιλογή διαδρομών και παραμέτρων

Οι διαδρομές που επιλέχθηκαν εξυπηρετούν τρεις διαφορετικούς σκοπούς. Η πρώτη διαδρομή που εκτελείται, από το ΚΤΕΛ της πόλης του Ρεθύμνου μέχρι το χωριό Λούτρα έχει σταθερά δρομολόγια τα οποία δεν αλλάζουν ούτε κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ούτε κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Τα λεωφορεία εκτελούν σταθερά 64 δρομολόγια κάθε εβδομάδα καθώς το χωριό έχει μεγάλο πληθυσμό και δεν χωράει μείωση δρομολογίων για πιθανή εξυπηρέτηση άλλων διαδρομών, πιο τουριστικών ιδιαίτερα το καλοκαίρι. Η τιμή του εισιτηρίου από την εταιρία Κοινά Ταμεία Εισπράξεων Λεωφορείων (ΚΤΕΛ) είναι 1,3€/διαδρομή.

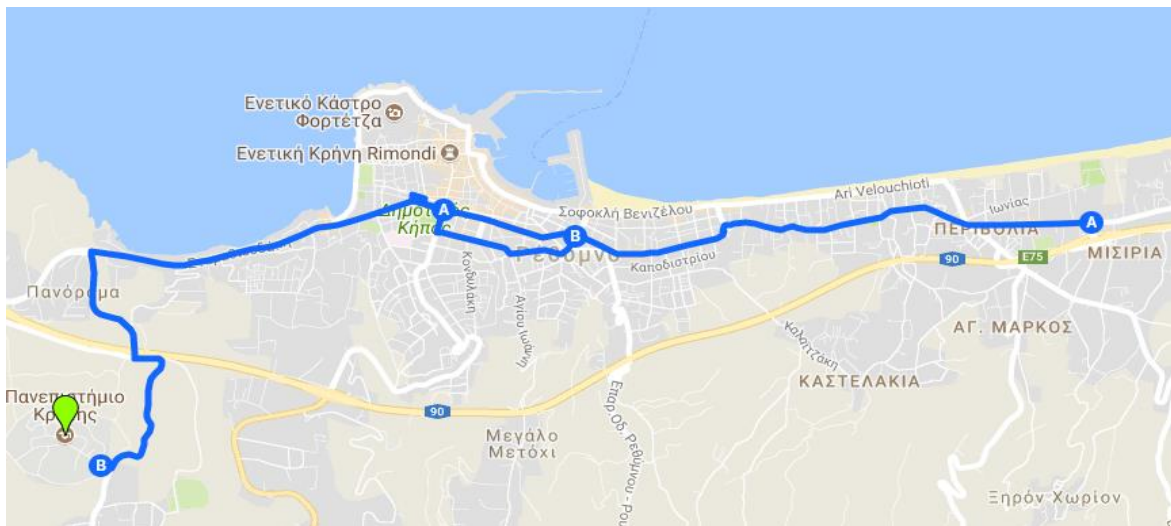
Η δεύτερη διαδρομή εκτελεί το δρομολόγιο Περιβόλια, που είναι περιοχή μέσα στη πόλη του Ρεθύμνου, μέχρι το πανεπιστήμιο Γάλλου. Η συγκεκριμένη διαδρομή έχει τα περισσότερα δρομολόγια από κάθε άλλη και αν μη τι άλλο χρησιμοποιούνται παραπάνω από ένα λεωφορεία για τη σωστή εξυπηρέτηση των φοιτητών. Πιο συγκεκριμένα εκτελούνται παραπάνω από 100 δρομολόγια εβδομαδιαίως, ενώ τρεις φορές το χρόνο, τη περίοδο των Χριστουγέννων, του Πάσχα και του καλοκαιριού η διαδρομή σταματάει να εκτελείται λόγω αναστολής λειτουργίας των του Πανεπιστημίου. Στη δικιά μας περίπτωση το ηλεκτρικό και συμβατικό λεωφορείου εκτελούν 107 διαδρομές εβδομαδιαίως. Ο συγκεκριμένος αριθμός επιλέχτηκε αφενός για να μπορεί να υπάρχει ο κατάλληλος ανεφοδιασμός των λεωφορείων μιας και ο χρόνος εκτέλεσης της διαδρομής είναι μεγάλος και αφετέρου για να γίνει το σενάριο που μελετάμε άκρως ρεαλιστικό μιας και επιβάλλεται η σωστή διαχείριση του στόλου των λεωφορείων προκειμένου να εξυπηρετηθεί ο μεγάλος αριθμός των φοιτητών που χρησιμοποιεί τα μέσα μαζικής μεταφοράς καθημερινά. Η τιμή του εισιτηρίου προκύπτει από τη μείωση κατά 50% του κανονικού εισιτηρίου δεδομένου ότι τη διαδρομή την επιλέγουν κατά βάση φοιτητές με τη συγκεκριμένη έκπτωση στις διαδρομές τους από τα ΚΤΕΛ.

Η τρίτη και τελευταία διαδρομή προτάθηκε από το εργαστήριο Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης σε μια προσπάθεια ανάδειξης του φυσικού και πολιτιστικού πλούτου της πόλης του Ρεθύμνου του καλοκαιρινούς μήνες όπου η πόλη γνωρίζει μεγάλη αύξηση πληθυσμού λόγω τουρισμού. Συνεπώς, η διαδρομή αυτή εκτελείται μόνο κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών με αφετηρία και τερματισμό το ξενοδοχείο Palm Beach. Η διαδρομή περιλαμβάνει τη διάσχιση όλης της παραλιακής περιοχής της πόλης ενώ εκτελεί 37 δρομολόγια κάθε εβδομάδα. Το κόστος του εισιτηρίου δεν είναι υπαρκτό καθώς δεν έχει οριστικοποιηθεί ούτε εκτελείται ακόμα η συγκεκριμένη διαδρομή, αλλά προκύπτει βάση των οικονομικών

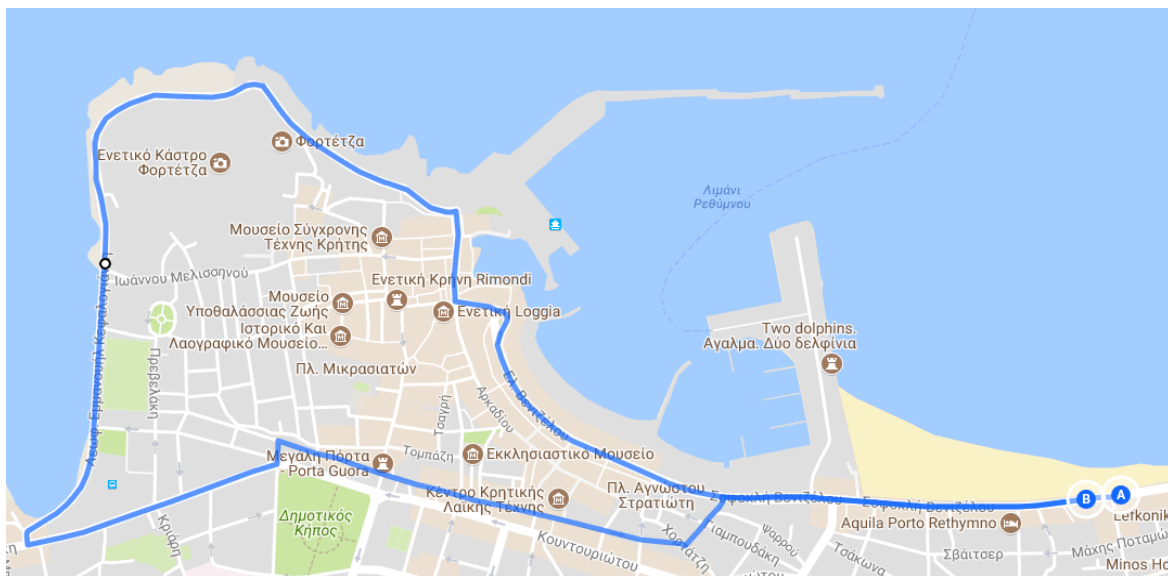
δεδομένων και αναγκών των πολιτών και προκειμένου να αποτελεί μια ελκυστική τουριστική επιλογή.



Εικόνα 3:13 Διαδρομή από τα ΚΤΕΛ Ρεθύμνου προς Λούτρα



Εικόνα 3:14 Διαδρομή από Περιβόλια προς Πανεπιστήμιο Γάλλου.



Εικόνα 3:15 Διαδρομή από Palm Beach προς όλη τη παραλιακή Ρεθύμνου.

3.7.1 Βασικές υποθέσεις-Ανάλυση οικονομικών παραμέτρων

Εκτός από τις διαδρομές και τα χιλιόμετρα που θα εκτελούν τα λεωφορεία θα πρέπει να γνωρίζουμε και τους υπόλοιπους όρους για τον υπολογισμό του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας, με ακρίβεια.

Πιο συγκεκριμένα η τιμές των λεωφορείων για την αρχική επένδυση παίζουν καθοριστικό ρόλο για τους υπολογισμούς. Για ηλεκτρικά λεωφορεία από βιβλιογραφική εμπειρία οι τιμές ακουμπάνε τα 500.000€ και αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί και σε ανάλογο τύπου μελέτες [Cooney et al, 2011] . Οι τιμές των συμβατικών σε αντίθεση είναι αρκετά μικρότερες σε σχέση με αυτές των ηλεκτρικών. Πιο συγκεκριμένα η τιμή ενός συμβατικού λεωφορείου κανονικού μεγέθους κυμαίνεται κοντά στις 220.000-380.000€ [Nurhadi et al, 2014]. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, κάνουμε λόγο για λεωφορεία μικρότερης κατηγορίας αλλά παρ' όλα αυτά, η μεγάλη διαφορά στις τιμές παραμένουν. Για το ηλεκτρικό λεωφορείο της εταιρίας EnoPro και έκδοσης των 7,7 m ακουμπάει τα 415.000 € ενώ το αντίστοιχο συμβατικό της εταιρίας Otokar του ίδιου μήκους ακουμπάει τα 100.000€.

Σημαντικό παράγοντα αποτελεί η χρήσιμη περίοδος ζωής του οχήματος. Σύμφωνα με τον νόμο της Ευρωπαϊκής Ένωσης το 2009 No 595/2009 τα οχήματα τα οποία κατασκευάζονται με σεβασμό το περιβάλλον και κατηγορίας Euro VI και πλέον νεότερης τεχνολογίας που το βάρος τους είναι περίπου 7,5 tons, ο χρήσιμος χρόνος ζωής εκτιμάται περίπου στα 7 χρόνια ή 700.000 km [Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2009]. Στη περίπτωση μας τα χρόνια που εκτιμώνται ως χρήσιμα για τα λεωφορεία υπολογίζονται με βάση τη διαδρομή που διαγράφουν τον χρόνο και πιο συγκεκριμένα διαιρώντας τα 700.00km με αυτά τα km που καταγράφονται ετησίως ανάλογα με την εκάστοτε διαδρομή. Βάση των διαδρομών που χρειάζονται να εκτελέσουν τα λεωφορεία στο Νομό Ρεθύμνης υπολογίστηκαν τα χρήσιμα έτη ζωής των λεωφορείων και ανέρχονται κατά μέσο όρο στα 8 έτη. Αυτή η επιλογή στο πρώτο σενάριο που αφορά τα 8 χρήσιμα έτη ζωής αποτελεί μια βασική υπόθεση για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Εκτός από το νόμο

της Ε.Ε. , θα εξετάσουμε το χρόνο χρήσιμης ζωής και κάτω από άλλες συνθήκες. Η δεύτερη συνθήκη αναφέρεται στη πραγματική ζωή και στα χρόνια εκμετάλλευσης των λεωφορείων από μια ιδιωτική επιχείρηση που θα τα αγοράζε. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψιν τις προκηρύξεις διαγωνισμών για τον εμπλουτισμό και την ανανέωση του στόλου των λεωφορείων από τον ΟΑΣΑ που έγινε εν έτη 2018 με την τελευταία να είναι το έτος 2006, υπολογίζουμε το έτος χρήσιμης ζωής των λεωφορείων να ανέρχεται στα 12 έτη. Η συγκεκριμένη παράμετρος κρίνεται εξαιρετικά σημαντική καθώς η συμβολή της στη τελική τιμή του δείκτη Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας είναι μεγάλη. Η συγκεκριμένη επιλογή έγινε στα πλαίσια μιας διαφορετικής επιλογής εκμετάλλευσης των λεωφορείων και προκειμένου να παρουσιαστεί η σημαντικότητα του ορίζοντα που θέτει ο εκάστοτε ιδιοκτήτης που κάνει την επένδυση προκειμένου να αποπληρώσει την επένδυση αυτή και προκειμένου να παρουσιαστεί μια διαφορετική εκδοχή των χρόνων εκμετάλλευσης των λεωφορείων. Οι δύο αυτές επιλογές που είναι και τα βασικά σενάρια παρουσιάζονται στο παρακάτω Πίνακα 3.9 όπου υπολογίζονται και καταγράφονται τα χρήσιμα χρόνια ζωής των λεωφορείων όπως υπολογίζονται βάση της οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του δεύτερου σεναρίου των 12 χρόνων.

Πίνακας 3:9 Σενάρια χρήσιμων χρόνων ζωής.

Σενάρια	1 ^ο Σενάριο - Βάση Οδηγίας Ευρωπαϊκής Ένωσης	2 ^ο Σενάριο – Βάση διαφορετικής πολιτικής εκμετάλλευσης του στόλου των λεωφορείων
Χρήσιμα Έτη Ζωής	8	12

Η τιμή της μπαταρίας είναι αυτή που καθορίζει σε ένα μεγάλο βαθμό τη τελική τιμή του ηλεκτρικού λεωφορείου. Το 2011 η τιμή του συσσωρευτή ήταν 600 €/kWh. [Ernst et al, 2011]. Το 2016 η τιμή είχε πέσει στα 273 €/kWh κάνοντας τα ηλεκτρικά οχήματα πιο προσιτά προς τον μέσο καταναλωτή, ενώ η τιμή της αναμένεται να μειωθεί σημαντικά μέχρι το 2020 [BloombergNEF, 2017]. Στη δικιά μας περίπτωση το λεωφορείο με προδιαγραφές για κανονική φόρτιση χρησιμοποιούνται 4 μονάδες συσσωρευτών με συνολικά 144 kWh.

Επίσης, ο χρόνος ζωής του συσσωρευτή, θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψιν στους υπολογισμούς μας. Από εταιρίες κατασκευής των μπαταριών η σχετική εγγύηση που δίνεται, είναι συνήθως για 8 χρόνια ή 160.000km. Έτσι ανάλογα με τη διαδρομή και τα συνολικά χιλιόμετρα που διαγράφει το λεωφορείο και τη διάρκεια ζωής του προκύπτει το πόσες φορές θα πρέπει να αλλαχτεί ο συσσωρευτής. Στη δικιά μας περίπτωση η αλλαγή του συσσωρευτή υπολογίζεται βάση των κύκλων φόρτισης και αποφόρτισης και βάση των χιλιομέτρων που καταγράφει το λεωφορείο. Ο συσσωρευτής χάνει της αποδοτικότητα του αφού ξεπεράσει τους 1500 κύκλους φόρτισης/αποφόρτισης [Zhou et al, 2016]. Συνεπώς, με βάση την αυτονομία του ηλεκτρικού λεωφορείου που ακουμπάει τα 200km/φόρτιση υπολογίζεται ο χρονικός ορίζοντας για την αντικατάσταση του συσσωρευτή. Επίσης λαμβάνεται υπόψιν η τιμή για τη προμήθεια του συσσωρευτή από την εταιρία που προμηθεύει τον κατασκευαστή του λεωφορείου. Η Valence κοστολογεί κάθε πακέτο μπαταριών στη τιμή των 1779.8 €. Δεδομένου ότι το λεωφορείο χρησιμοποιεί 4 μονάδες συσσωρευτών με τη κάθε μονάδα να περιέχει 15 πακέτα συσσωρευτών, η τιμή για ένα πλήρες σύνολο συσσωρευτών κοστολογείται στα 106.762,8 €. (Valence, 09/2018)

Η τιμή παροχής καυσίμου, δηλαδή ηλεκτρικής ενέργειας και πετρελαίου πρέπει να εισαχθεί στη τελική εξίσωση σαν καθοριστικός παράγοντας για τον υπολογισμό του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας. Πιο συγκεκριμένα για το ηλεκτρικό λεωφορείο γνωρίζουμε μια μέση τιμή για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, για το νησί της Κρήτης που ανέρχεται στα 0,1155€/kWh βάση των τιμών της ΔΕΗ (ΔΕΗ Α.Ε., 09/2018). Έτσι, από τη μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το λεωφορείο που φτάνει τα 0,62€/km και δεδομένου των συνολικών χιλιομέτρων που θα εκτελεί μπορούμε να υπολογίσουμε το κόστος καυσίμου που εκφράζεται σε €/km. Για το συμβατικό λεωφορείο, η μεθοδολογία είναι η ίδια με του ηλεκτρικού. Μέση κατανάλωση θεωρείται 60L/100km [Nurhadi et al, 2014], ενώ η μέση τιμή του πετρελαίου είναι 1,35 €/L βάση τιμών σε πρατήρια στο νησί της Κρήτης. Έτσι, παρατηρούμε ότι κόστος καυσίμου είναι αρκετά μεγαλύτερο για το συμβατικό λεωφορείο που φτάνει τα 0,81 €/km σε σύγκριση με το ηλεκτρικό που ακουμπάει τα 0,07 €/km.

Οι εξωτερικές δαπάνες, δεν θεωρούνται βασική παράμετρος, γι' αυτό και υπολογίζονται μόνο ως σενάριο. Πιο συγκεκριμένα οι εξωτερικές δαπάνες ή CEXT , είναι μια τιμή σε €/km που αφαιρούνται από την τελική τιμή του Κόστους Ιδιοκτησίας για το ηλεκτρικό λεωφορείο. Δεδομένου ότι τα ηλεκτρικά οχήματα είναι πολύ λιγότερο μολυσματικά, υπάρχει σημαντικό όφελος για τη χώρα , με τη μείωση των εξωτερικών δαπανών από την μη χρησιμοποίηση των εσωτερικών μηχανών καύσης. Η τιμή των εξωτερικών δαπανών για τη χρησιμοποίηση των ηλεκτρικών οχημάτων αντί των συμβατικών έχει θεωρηθεί για τη συγκεκριμένη εργασία ότι είναι 0,04 €/km [Buekers et al, 2014].

Επίσης, η τιμή των λεωφορείων μετά το τέλος ζωής τους θεωρείται μηδενική, καθώς μια βασική υπόθεση γι' αυτήν την εργασίας είναι, ότι τα λεωφορεία χρησιμοποιούνται έως ότου δεν έχουν αξία για μία μεταπώληση. Επιπλέον, το κόστος για συντήρηση και ασφάλεια των οχημάτων δεν θεωρείται ίδια, μιας και τα ηλεκτρικά οχήματα κατά παραδοχή χρειάζονται λιγότερη δαπάνη χρημάτων για συντήρησή τους. Θα χρησιμοποιήσουμε μια τιμή της τάξης των 0,30 €/km για το συμβατικό λεωφορείο, ενώ για το ηλεκτρικό μια τιμή κοντά στα 0,2€/km.[Olsson et al, 2016]

Προκειμένου να γίνει πλήρης έλεγχος των οικονομικών παραμέτρων για την επένδυση αγοράς ηλεκτρικού λεωφορείου υπολογίζεται και το κόστος για υποδομές φόρτισης αυτού καθώς και συντήρησης αυτών. Τα έξοδα που αναλογούν στα παραπάνω ανέρχονται στα 0,09 €/km για το ηλεκτρικό λεωφορείο ενώ για το συμβατικό αντίστοιχα δεν υπάρχουν. [Nurhadi et al, 2014]

Τέλος, για τον υπολογισμό του χρόνου αποπληρωμής, αρκεί να διαιρέσουμε την αρχική επένδυση, δηλαδή το αρχικό κόστος αγοράς των λεωφορείων, με καθαρά έσοδα κάθε χρονιάς που βρίσκονται στο δρόμο. Τα καθαρά έσοδα προκύπτουν αν αφαιρέσουμε από τις ετήσιες δαπάνες, τα καθαρά έσοδα που θα έχουν τα λεωφορεία, δηλαδή τα έσοδα από τα εισιτήρια. Για να γίνει αυτό υποθέτουμε μια πληρότητα της τάξης 80% για τα λεωφορεία, όπως αναφέρθηκε παραπάνω και για τα άτομα που συνολικά μπορούν να μεταφέρουν.

Τα παραπάνω οικονομικά δεδομένα συνοψίζονται στο Πίνακα 3.

Πίνακας 3:10 Σύνοψη οικονομικών παραμέτρων

Οικονομικοί Παράμετροι	Ηλεκτρικό Λεωφορείο	Συμβατικό Λεωφορείο
Τιμή Λεωφορείων (€)	415.000	100.000
Τιμή Αλλαγή Συσσωρευτή(€)	107.000	-
Τιμή Καυσίμου (€/km)	0,07	0,81
Εξωτερικές Δαπάνες (€/km)	-	0,04
Συντήρηση και Ασφάλεια (€/km)	0,20	0,30
Κόστος Υποδομών (€/km)	0,09	-

Κεφάλαιο 4 : Αποτελέσματα

4.1 Απογραφή του Κύκλου Ζωής - Life Cycle Inventory (LCI)

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η παρούσα μελέτη είχε ως βάση την απογραφή του κύκλου ζωής των δύο λεωφορείων και την ανάλυση οικονομικών παραμέτρων για μια ενδεχόμενη επένδυση στην αγορά ενός ηλεκτρικού λεωφορείου και την αντικατάσταση ενός συμβατικού με αυτό. Στην Εικόνα 4.1 εμφανίζονται σχετικά δεδομένα εκπομπών από τη συναρμολόγηση ενός ηλεκτρικού λεωφορείου και τη λειτουργία του. Με βάση αυτήν την απογραφή (LCI), έγινε η καλύτερη δυνατή εκτίμηση για το ηλεκτρικό λεωφορείο καθώς και το αντίστοιχο συμβατικό με σκοπό τη σύγκριση τους.

Η βασική διαφορά των δύο λεωφορείων είναι στο τρόπο που μεταδίδεται η κίνηση προκειμένου να εκτελούν της διαδρομές τους. Το συμβατικό λεωφορείο είναι εξοπλισμένο με συμβατικό κινητήρα εσωτερικής καύσης diesel ενώ το ηλεκτρικό λεωφορείο είναι εξοπλισμένο με σύγχρονης τεχνολογίας ηλεκτροκινητήρα. Επίσης, στη περίπτωση του ηλεκτρικού λεωφορείου προκειμένου να επιτευχθεί η κίνηση του αμαξώματος υπάρχει επιπρόσθετος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός όπως μετατροπέας και αντιστροφέας της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και άλλες τεχνολογίες προκειμένου να γίνει η σωστή χρήση και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται.

Τα μέσα που επιλέχθηκαν για τις μεταφορές των υλικών κατασκευής και αργότερα για τα λεωφορεία, είναι το πλοίο και μεγάλα φορτηγά μεταφοράς με κινητήρες EURO VI έως τη περιοχή συναρμολόγησης και από εκεί αντίστοιχα για Αθήνα, Χανιά και τελικά Ρέθυμνο που είναι η πόλη λειτουργίας των λεωφορείων. Η μονάδα μέτρησης της μεταφοράς στο SimaPro ήταν τα τονοχιλιόμετρα (tkm), έτσι για κάθε περίπτωση έγινε ο πολλαπλασιασμός των χιλιομέτρων με το βάρος λεωφορείων ή με το βάρος του κάθε υλικού που μεταφερόταν για τη συναρμολόγηση αυτών.

Πίνακας 4:1 Απογραφή κύκλου ζωής ηλεκτρικού λεωφορείου κατά τη λειτουργία
[Marianne Leuenberger et al, 2010]

product	Name	Location	Infrastructure	Unit	operation, passenger car, electric, LiMn2O4	operation, passenger car, electric, LiMn2O4, certified electricity	Uncertainty Type	Standard deviation	GeneralComment
	Location InfrastructureProcess Unit				CH 0 km	CH 0 km			
technosphere	operation, passenger car, electric, LiMn2O4	CH	0	km	1	0			
	operation, passenger car, electric, LiMn2O4, certified electricity	CH	0	km	0	1			
emission air, unspecified	electricity, low voltage, consumer mix, at grid	CH	0	kWh	2.00E-1	0	1	1.12	(1,3,1,1,1,4); factsheets BEVs
	electricity, low voltage, certified electricity, at grid	CH	0	kWh	0	2.00E-1	1	1.12	(1,3,1,1,1,4); factsheets BEVs
emission air, unspecified	Carbon dioxide, fossil	-	-	kg	0	0	1	1.23	(2,3,2,1,3,1); no combustion engine → assumption zero emission
	Sulfur dioxide	-	-	kg	0	0	1	1.23	(2,3,2,1,3,1); no combustion engine → assumption zero emission
	Cadmium	-	-	kg	6.49E-10	6.49E-10	1	5.27	(2,3,2,1,4,3); abrasion, calculated from ecoinvent report no. 14
	Copper	-	-	kg	4.53E-7	4.53E-7	1	5.27	(2,3,2,1,4,3); abrasion, calculated from ecoinvent report no. 14
	Chromium	-	-	kg	8.25E-9	8.25E-9	1	5.27	(2,3,2,1,4,3); abrasion, calculated from ecoinvent report no. 14
	Nickel	-	-	kg	7.89E-9	7.89E-9	1	5.27	(2,3,2,1,4,3); abrasion, calculated from ecoinvent report no. 14
	Zinc	-	-	kg	2.02E-7	2.02E-7	1	5.27	(2,3,2,1,4,3); abrasion, calculated from ecoinvent report no. 14
	Lead	-	-	kg	2.46E-8	2.46E-8	1	5.06	(2,3,2,1,3,1); abrasion, calculated from ecoinvent report no. 14
	Selenium	-	-	kg	0	0	1	5.27	(2,3,2,1,4,3); no combustion engine → assumption zero emission
	Mercury	-	-	kg	0	0	1	5.27	(2,3,2,1,4,3); no combustion engine → assumption zero emission
	Chromium VI	-	-	kg	0	0	1	5.27	(2,3,2,1,4,3); no combustion engine → assumption zero emission
	Carbon monoxide, fossil	-	-	kg	0	0	1	5.06	(2,3,2,1,3,1); no combustion engine → assumption zero emission
	Nitrogen oxides	-	-	kg	0	0	1	1.57	(2,3,2,1,3,1); no combustion engine → assumption zero emission
	Particulates, < 2.5 um	-	-	kg	7.80E-6	7.80E-6	1	3.05	(2,3,2,1,3,1); abrasion, calculated from ecoinvent report no. 14
	Particulates, > 10 um	-	-	kg	1.20E-5	1.20E-5	1	1.57	(2,3,2,1,3,1); abrasion, calculated from ecoinvent report no. 14
	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	-	-	kg	1.35E-5	1.35E-5	1	2.06	(2,3,2,1,3,1); abrasion, calculated from ecoinvent report no. 14
	NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	-	-	kg	0	0	1	1.57	(2,3,2,1,3,1); no combustion engine → assumption zero emission
	Methane, fossil	-	-	kg	0	0	1	1.57	(2,3,2,1,3,1); no combustion engine → assumption zero emission
	Benzene	-	-	kg	0	0	1	3.05	(2,3,2,1,3,1); no combustion engine → assumption zero emission
	Toluene	-	-	kg	0	0	1	1.57	(2,3,2,1,3,1); no combustion engine → assumption zero emission
	Xylene	-	-	kg	0	0	1	1.57	(2,3,2,1,3,1); no combustion engine → assumption zero emission
	Formaldehyde	-	-	kg	0	0	1	1.79	(2,3,2,1,4,3); no combustion engine → assumption zero emission
	Acetaldehyde	-	-	kg	0	0	1	1.79	(2,3,2,1,4,3); no combustion engine → assumption zero emission
	Ammonia	-	-	kg	0	0	1	1.31	(2,3,2,1,3,1); no combustion engine → assumption zero emission
	Dinitrogen monoxide	-	-	kg	0	0	1	1.57	(2,3,2,1,3,1); no combustion engine → assumption zero emission
	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	-	-	kg	0	0	1	3.24	(2,3,2,1,4,3); no combustion engine → assumption zero emission
emission air, high population density	Heat, waste	-	-	MJ	7.20E-1	7.20E-1	1	1.52	(2,3,2,1,4,3); calculated from electricity consumption
emission water, unspecified	Zinc, ion	-	-	kg	2.70E-7	2.70E-7	1	5.27	(2,3,2,1,4,3); identical to passenger car in ecoinvent report no.14
	Copper, ion	-	-	kg	6.39E-9	6.39E-9	1	3.24	(2,3,2,1,4,3); identical to passenger car in ecoinvent report no.14
	Cadmium, ion	-	-	kg	9.55E-11	9.55E-11	1	3.24	(2,3,2,1,4,3); identical to passenger car in ecoinvent report no.14
	Chromium, ion	-	-	kg	4.55E-10	4.55E-10	1	3.24	(2,3,2,1,4,3); identical to passenger car in ecoinvent report no.14
	Nickel, ion	-	-	kg	1.23E-9	1.23E-9	1	5.27	(2,3,2,1,4,3); identical to passenger car in ecoinvent report no.14
	Lead	-	-	kg	3.93E-9	3.93E-9	1	5.27	(2,3,2,1,4,3); identical to passenger car in ecoinvent report no.14
emission soil, unspecified	Zinc	-	-	kg	2.70E-7	2.70E-7	1	1.79	(2,3,2,1,4,3); identical to passenger car in ecoinvent report no.14
emission soil, agricultural	Copper	-	-	kg	6.39E-9	6.39E-9	1	1.79	(2,3,2,1,4,3); identical to passenger car in ecoinvent report no.14
emission soil,	Cadmium	-	-	kg	9.55E-11	9.55E-11	1	1.79	(2,3,2,1,4,3); identical to passenger car in ecoinvent report no.14
emission soil, unspecified	Cadmium	-	-	kg	9.55E-11	9.55E-11	1	1.79	(2,3,2,1,4,3); identical to passenger car in ecoinvent report no.14
	Chromium	-	-	kg	4.55E-10	4.55E-10	1	1.79	(2,3,2,1,4,3); identical to passenger car in ecoinvent report no.14
	Nickel	-	-	kg	1.23E-9	1.23E-9	1	1.79	(2,3,2,1,4,3); identical to passenger car in ecoinvent report no.14
	Lead	-	-	kg	3.93E-9	3.93E-9	1	1.79	(2,3,2,1,4,3); identical to passenger car in ecoinvent report no.14

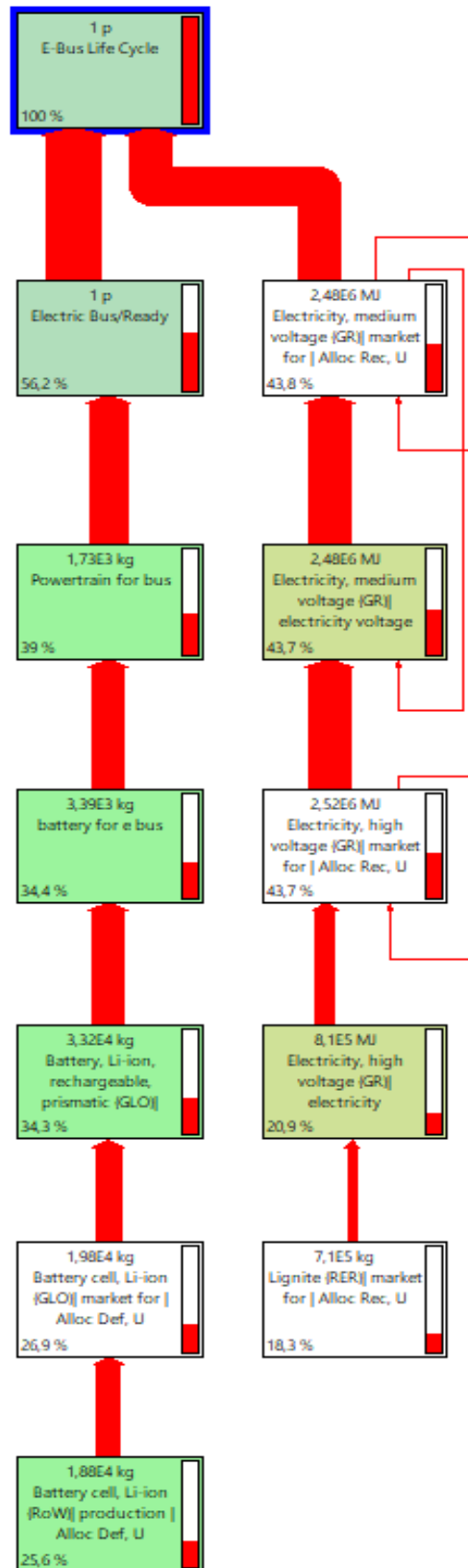
4.3 Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού SimaPro. Στην συγκεκριμένη εργασία θα παρουσιαστούν οι επιβαρύνσεις που προκαλούνται από τα λεωφορεία που μελετάμε κατά τη συναρμολόγησή τους και τη λειτουργία τους σε διάφορες κατηγορίες επίδρασης και βλάβης αλλά και τα ποσά διοξειδίου που εκλύονται για όλα τα σενάρια που υποθέσαμε.

4.3.1 Βασικό σενάριο σύγκρισης λεωφορείων

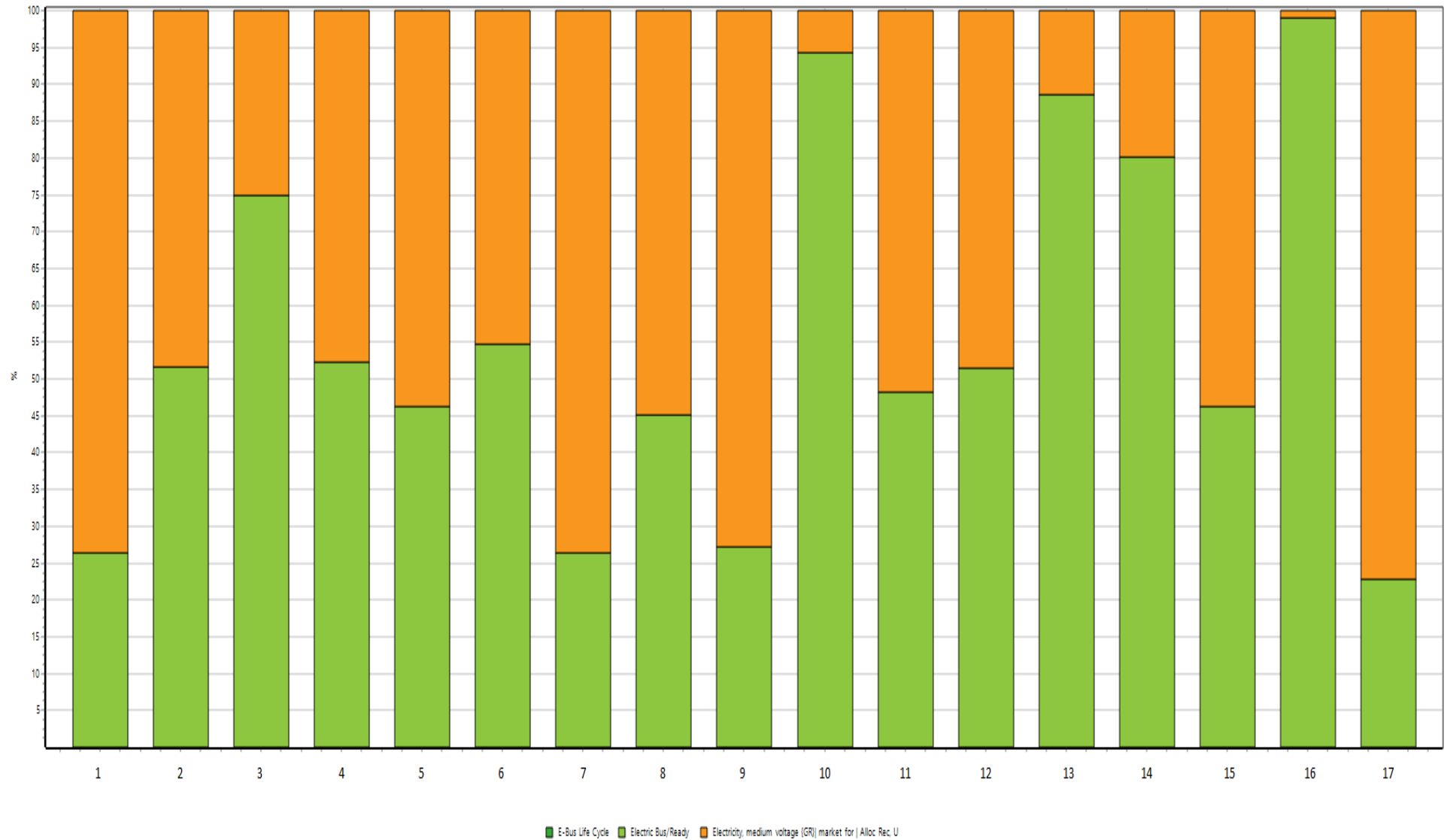
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης του SimaPro, με τα διαγράμματα ροής των περιβαλλοντικών φορτίων για το κάθε λεωφορείο ξεχωριστά, το διαγράμματα χαρακτηρισμού, μόνο για το ηλεκτρικό λεωφορείο καθώς και το αντίστοιχο διάγραμμα χαρακτηρισμού για τη σύγκριση των δύο λεωφορείων. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αφορούν το βασικό σενάριο με τις βασικές υποθέσεις όπως αναφέρθηκαν παραπάνω και σαν λειτουργική μονάδα έχουν οριστεί όλα τα έτη ζωής για το κάθε λεωφορείο ξεχωριστά, δηλαδή 12 έτη για το ηλεκτρικό και 16 για το συμβατικό λεωφορείο.

Διάγραμμα 4.1 Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων ηλεκτρικού λεωφορείου-1^ο
Σενάριο



Όπου 1 Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιου περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου

Διάγραμμα 4.2 Χαρακτηρισμός ηλεκτρικού λεωφορείου για το βασικό σενάριο.



1. Climate Change-Human Health 2. Ozon depletion 3. Human toxicity 4. Photochemical oxidant formation 5. Particulate matter formation 6. Ionising radiation 7. Climate change- Ecosystem 8. Terrestrial Acidification 9. Freshwater eutrophication 10. Terrestrial Ecotoxicity 11. Freshwater ecotoxicity 12. Marine ecotoxicity 13. Agricultural land occupation 14. Urban land occupation 15. Natural land transformation 16. Metal depletion 17. Fossil depletion

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται η συμβολή επί της εκατό(%) σε διάφορους παράγοντες επιρροής, της συναρμολόγησης του ηλεκτρικού λεωφορείου (με πράσινο χρώμα) και της χρήσης αυτού δηλαδή, η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του (με πορτοκαλί χρώμα). Οι παράγοντες που αναγράφονται στο συγκεκριμένο διάγραμμα αλλά και γενικά σε διαγράμματα χαρακτηρισμού καταγράφονται παρακάτω με τη σειρά :

1. Κλιματική αλλαγή- Ανθρώπινη Υγεία (Climate Change-Human Health)
2. Καταστροφή του όζοντος (Ozon depletion)
3. Ανθρώπινη τοξικότητα (Human toxicity)
4. Δημιουργία φωτοχημικών οξειδωτικών (Photochemical oxidant formation)
5. Δημιουργία αιωρούμενων σωματιδίων (Particulate matter formation)
6. Ιονίζουσες ακτινοβολίες (Ionising radiation)
7. Κλιματική αλλαγή- Οικοσύστημα (Climate change- Ecosystem)
8. Επίγεια όξυνση (Terrestrial Acidification)
9. Ευτροφισμός γλυκού νερού (Freshwater eutrophication)
10. Επίγεια οικοτοξικότητα (Terrestrial Ecotoxicity)
11. Οικοτοξικότητα γλυκού νερού (Freshwater ecotoxicity)
12. Θαλάσσια οικοτοξικότητα (Marine ecotoxicity)
13. Γεωργική χρήση γης (Agricultural land occupation)
14. Αστική χρήση γης (Urban land occupation)
15. Μετασχηματισμός εδάφους (Natural land transformation)
16. Εξάντληση μετάλλων (Metal depletion)
17. Εξάντληση ορυκτών (Fossil depletion)

Στο διάγραμμα 4.2 του χαρακτηρισμού των δεδομένων της απογραφής παρατηρούμε τη σχετική συμβολή των ουσιών που εκλύονται στις κατηγορίες επιπτώσεων. Κατά τη συναρμολόγηση των λεωφορείων ή την εξόρυξη των πρώτων υλών που απαιτούνται, διάφορες ουσίες όπως π.χ. το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) εκλύονται προς το περιβάλλον με την κάθε μια να έχει διαφορετική επίπτωση στην κάθε κατηγορία. Για κάθε ουσία το SimaPro έχει ένα συντελεστή που εκφράζει τη σχετική συμβολή της ουσίας στην εκάστοτε κατηγορία και έτσι παίρνουμε το διάγραμμα του χαρακτηρισμού. Φαίνεται πως οι περισσότερες κατηγορίες επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό από τη συναρμολόγηση του λεωφορείου παρά από τη χρήση και τη παραγωγή του ηλεκτρισμού.

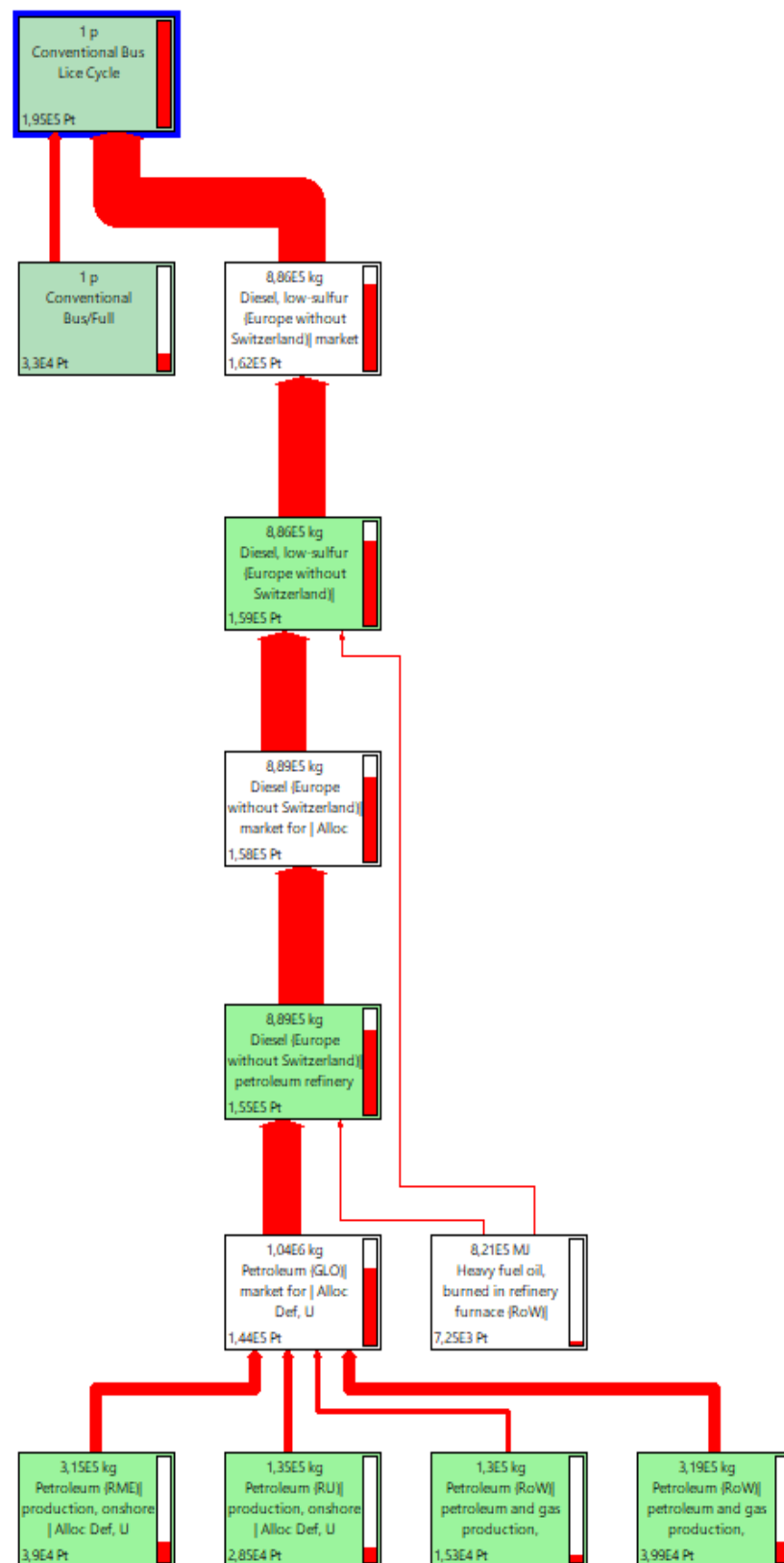
Η αποτίμηση βλάβης ανά κατηγορία παραγόντων επίδρασης, δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης αυτών με καθορισμένο σημείο αναφοράς (Παράρτημα-Διάγραμμα Π-1). Συνηθέστερο είναι αυτό της μέσης ετήσιας επιβάρυνσης του περιβάλλοντος σε μια χώρα ή ήπειρο διαιρώντας κάθε φορά με τον αντίστοιχο αριθμό κατοίκων, ώστε όλοι οι δείκτες να έχουν κοινή μονάδα μέτρησης.

Με το διάγραμμα κανονικοποίησης, δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης των δεικτών κατηγορίας ευρείας επίδρασης με καθορισμένο σημείο αναφοράς. Η σύγκριση αυτή επιτυγχάνεται διαιρώντας τους δείκτες με το σημείο αναφοράς, ανάγοντας έτσι όλους τους δείκτες στην ίδια μονάδα μέτρησης. Το βήμα αυτό μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στα αποτελέσματα που προκύπτουν από το πρώτο βήμα, όσο και σε αυτά που εξάγονται από το δεύτερο. Ως σημείο αναφοράς χρησιμοποιείται ευρέως το μέσο ετήσιο

περιβαλλοντικό φορτίο ανά χώρα ή ήπειρο, διαιρούμενο με τον αντίστοιχο πληθυσμό (Παράρτημα-Διάγραμμα Π-2).

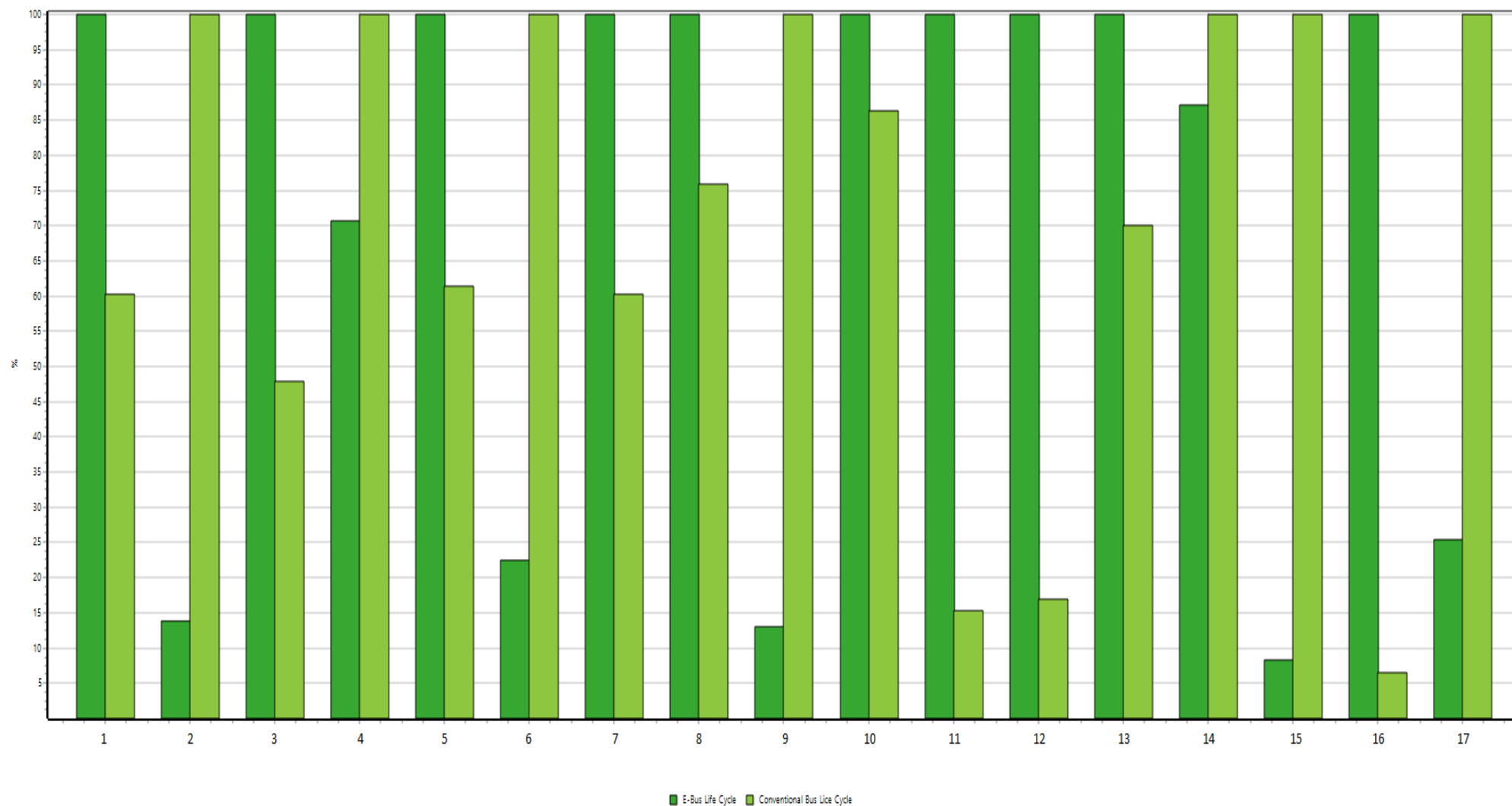
Στο τελευταίο βήμα και σε ένα διάγραμμα στάθμισης, μπορούμε να πολλαπλασιάσουμε τα δεδομένα που έχουμε, είτε τους δείκτες κατηγορίας ευρείας επίδρασης είτε τους αντίστοιχους δείκτες από τις κατηγορίες βλάβης (Damage Category Indications), με ένα συντελεστή στάθμισης (weighting factor) προσθέτοντας τα νέα αποτελέσματα, ώστε να έχουμε ένα συνολικό τελικό αποτέλεσμα. Το βήμα αυτό έχει τη δυνατότητα να εφαρμοστεί σε κανονικοποιημένα ή μη δεδομένα (Παράρτημα-Διάγραμμα Π-3).

Διάγραμμα 4.3 Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων συμβατικού λεωφορείου-1^ο
Σενάριο



Όπου 1 Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιου περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου

Διάγραμμα 4.4 Γράφημα χαρακτηρισμού για τη σύγκριση των δύο λεωφορείων-1^ο Σενάριο



1. Climate Change-Human Health 2. Ozon depletion 3. Human toxicity 4. Photochemical oxidant formation 5. Particulate matter formation 6. Ionising radiation 7. Climate change- Ecosystem 8. Terrestrial Acidification 9. Freshwater eutrophication 10. Terrestrial Ecotoxicity 11. Freshwater ecotoxicity 12. Marine ecotoxicity 13. Agricultural land occupation 14. Urban land occupation 15. Natural land transformation 16. Metal depletion 17. Fossil depletion

Το Διάγραμμα 4.4 χαρακτηρισμού περιέχει τις ίδιες κατηγορίες με το αντίστοιχο διάγραμμα για το ηλεκτρικό λεωφορείο μόνο. Στο συγκεκριμένο, το σκούρο πράσινο αφορά την ΑΚΖ του ηλεκτρικού λεωφορείου ενώ τον ανοιχτό πράσινο την αντίστοιχη του συμβατικού.

Όπως φαίνεται, οι κατηγορίες όπου η συνεισφορά του συμβατικού λεωφορείου είναι μεγαλύτερη του ηλεκτρικού είναι οι εξής:

- Καταστροφή του όζοντος (Ozon depletion)
- Σχηματισμός φωτοχημικών οξειδωτικών (Photochemical oxidant formation)
- Ιονίζουσες ακτινοβολίες (Ionising radiation)
- Ευτροφισμός γλυκού νερού (Freshwater eutrophication)
- Αστική χρήση γης (Urban land occupation)
- Μετασχηματισμός εδάφους (Natural land transformation)
- Εξάντληση ορυκτών (Fossil depletion)

Το συμβατικό λεωφορείο έχει μεγαλύτερη συνεισφορά στη βλάβες στους πόρους (Resources) ενώ σχεδόν ίδια είναι η συνεισφορά των δύο λεωφορείων στις βλάβες στη ποιότητα του οικοσυστήματος (Ecosystem). Ακόμα, το ηλεκτρικό λεωφορείο κυριαρχεί στις βλάβες στην ανθρώπινη υγεία (Human health) (Διαγράμματα Π-6, Π-7 και Π-8).

Ακολουθεί ο Πίνακας 4.1 με τη καταγραφή των περιβαλλοντικών φορτίων από τα διαγράμματα ροής του ηλεκτρικού και του συμβατικού λεωφορείου. Στο συγκεκριμένο πίνακα τα περιβαλλοντικά φορτία που έχουν καταγραφεί αφορούν όλο το κύκλο ζωής των δύο λεωφορείων, δηλαδή των συνολικών 12 χρόνων του ηλεκτρικού και των 16 χρόνων του συμβατικού λεωφορείου. Επίσης, έγινε καταγραφή των παραγόντων με τη μεγαλύτερη συνεισφορά και επίδραση στο συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο.

Πίνακας 4:2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα καταγραφής περιβαλλοντικών φορτίων

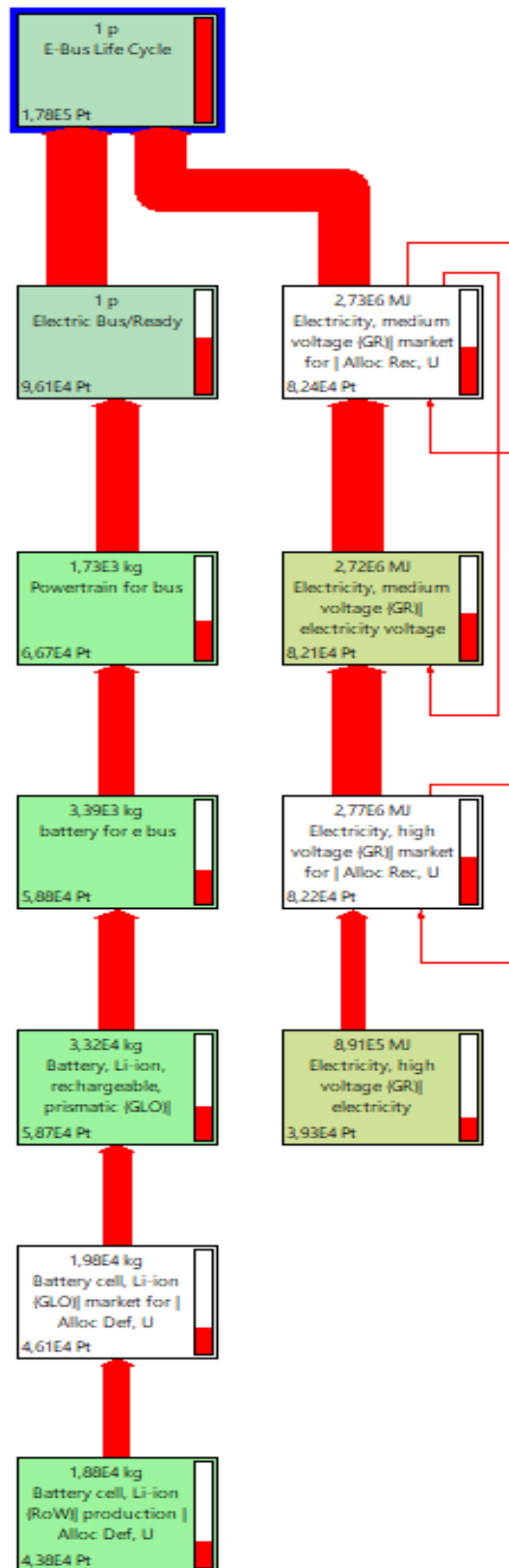
Παράγοντας Επιρροής	Ποσοστό Επιρροής (%)	Συνολικό Φορτίο Επιρροής (Pt)
Κύκλος Ζωής Ηλεκτρικού Λεωφορείου	100	174.000
Λειτουργία	43,8	76.212
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	56,2	97.788
Συναρμολόγηση Εξωτερικού Κελύφους	17,2	29.928
Συναρμολόγηση Μονάδας Κίνησης	39	67.860
Συσσωρευτής Ιόντων-Li	34,4	59.856
Κύκλος Ζωής Συμβατικού λεωφορείου	100	195.000
Λειτουργία	83,1	162.045
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	16,9	32.955

Στο παραπάνω πίνακα παρατηρούμε πως συνολικά το συμβατικό λεωφορείο έχει μεγαλύτερο περιβαλλοντικό φορτίο από το ηλεκτρικό, ενώ η χρήση Diesel για τη κίνηση του έχει τεράστια συνεισφορά στο συνολικό φορτίο του λεωφορείου γεγονός που επιβεβαιώνει πόσο σημαντική είναι η επιρροή ενός όχι και τόσο καθαρού καυσίμου στο κύκλο ζωής του. Για το ηλεκτρικό λεωφορείο, η μεγαλύτερη ποσοστιαία συνεισφορά στο συνολικό περιβαλλοντικό φορτίο προέρχεται από τη συναρμολόγηση του λεωφορείου(56,2%) και κυρίως από τη συναρμολόγηση της μονάδας κίνησης με συνολικό ποσοστό 39%. Σε αυτό το ποσοστό συμπεριλαμβάνεται οι μπαταρίες ιόντων-Li με συνολικό ποσοστό 34,4% του συνολικού περιβαλλοντικού φορτίου.

4.3.2 2ο Σενάριο σύγκρισης λεωφορείων- Αύξηση κατανάλωσης κατά 10%.

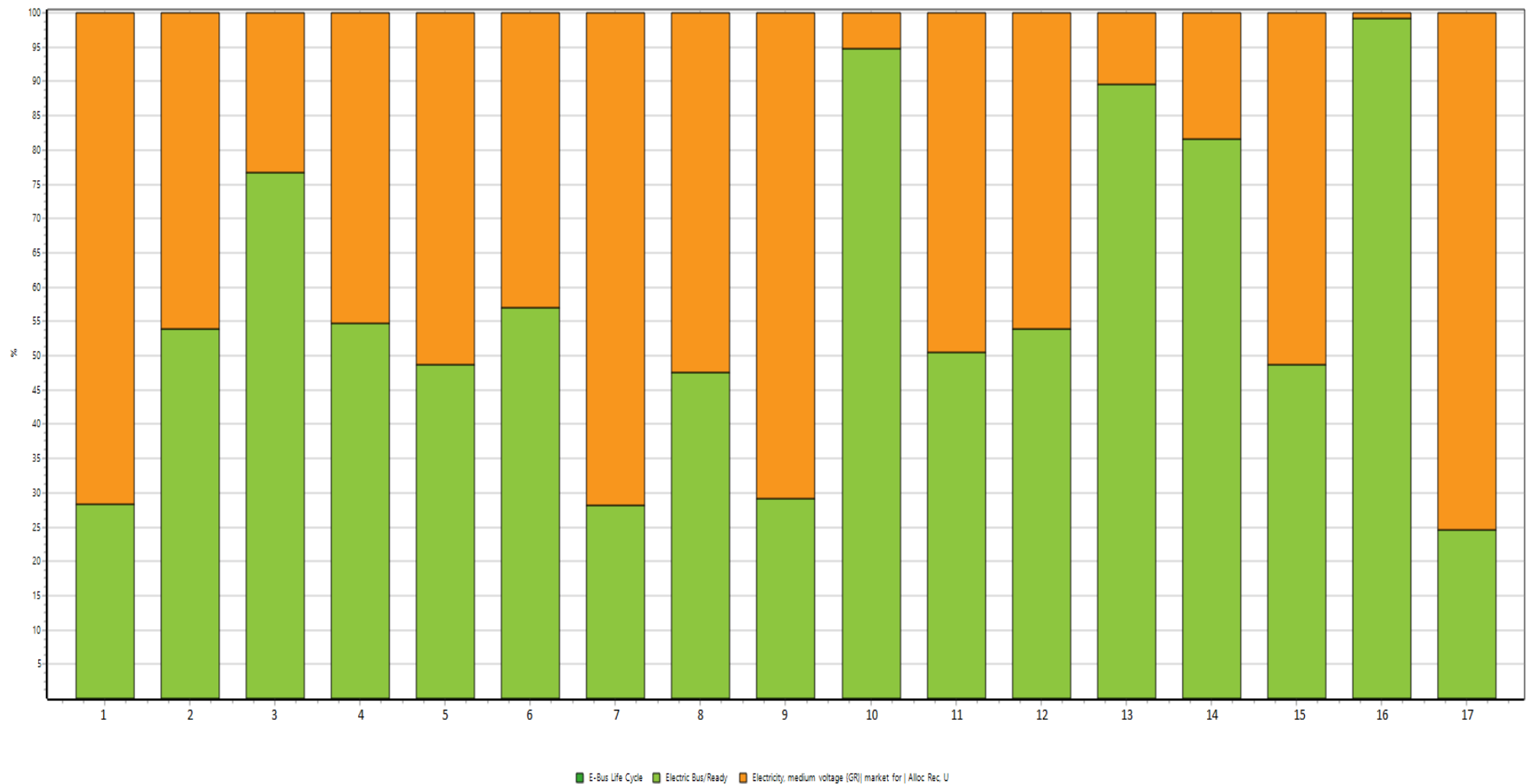
Στο σενάριο αυτό, γίνεται αλλαγή της κατανάλωσης των δύο λεωφορείων και πιο συγκεκριμένα αύξηση της κατανάλωσης τους κατά 10%. Έτσι, η συνολική κατανάλωση του ηλεκτρικού λεωφορείου γίνεται 0,682 kWh/ km και του συμβατικού 0,66 L Diesel/ km. Η λογική που ακολουθείται είναι η ίδια καθώς παρουσιάζονται διαγράμματα ροής και τα υπόλοιπα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν στο πρώτο και βασικό σενάριο.

Διάγραμμα 4.5 Διάγραμμα ροής των περιβαλλοντικών φορτίων ηλεκτρικού λεωφορείου για αύξηση κατανάλωσης κατά 10%.



Όπου 1 Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιου περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαϊκού

Διάγραμμα 4.6 Χαρακτηρισμός ηλεκτρικού λεωφορείου για αύξηση της κατανάλωσης κατά 10%.



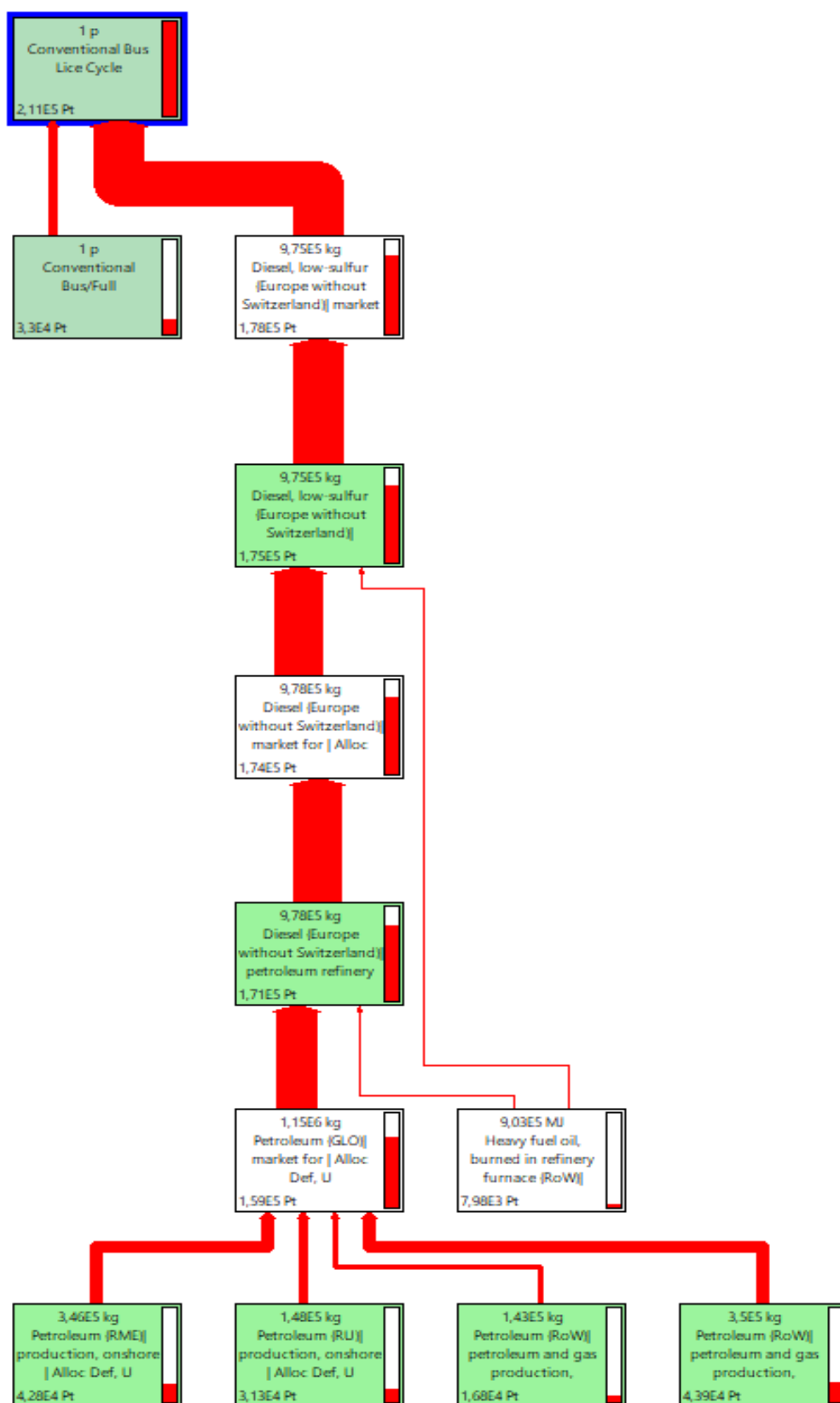
1. Climate Change-Human Health 2. Ozon depletion 3. Human toxicity 4. Photochemical oxidant formation 5. Particulate matter formation 6. Ionising radiation 7. Climate change-Ecosystem 8. Terrestrial Acidification 9. Freshwater eutrophication 10. Terrestrial Ecotoxicity 11. Freshwater ecotoxicity 12. Marine ecotoxicity 13. Agricultural land occupation 14. Urban land occupation 15. Natural land transformation 16. Metal depletion 17. Fossil depletion

Στο Διάγραμμα 4.5 και Διάγραμμα 4.7 βλέπουμε την επίδραση που έχει η αύξηση της κατανάλωσης στο συμβατικό και στο ηλεκτρικό λεωφορείο αντίστοιχα. Η αύξηση της κατανάλωσης, δηλαδή η αύξηση του ποσού του καυσίμου για κάθε λεωφορείο αντίστοιχα για να κινηθεί έχει την αντίστοιχη επίπτωση στα περιβαλλοντικά φορτία που είναι αυξημένα σε σχέση με το πρώτο σενάριο. Αυτή η επίδραση παρατηρείται αντίστοιχα και στα διαγράμματα ροής των επί τις εκατό συμβολής περιβαλλοντικών φορτίων (Διαγράμματα Π-10 και Π-15). Για ο συμβατικό και το ηλεκτρικό λεωφορείο, βλέπουμε την αυξημένη ποσοστιαία συνεισφορά του Diesel και του ηλεκτρισμού στα τελικά περιβαλλοντικά φορτία.

Στο Διάγραμμα 4.6 του χαρακτηρισμού για το ηλεκτρικό λεωφορείο, όπως και στο πρώτο σενάριο και βασικό, οι περισσότερες κατηγορίες επηρεάζονται πιο πολύ από τη συναρμολόγηση του λεωφορείου. Η μόνη αλλαγή φαίνεται να είναι ότι στο πρώτο σενάριο, οι 10 από τις 17 συνολικές κατηγορίες επηρεάζονται πιο πολύ από τη συναρμολόγηση, ενώ στο συγκεκριμένο σενάριο επηρεάζονται οι 9 από τις 17.

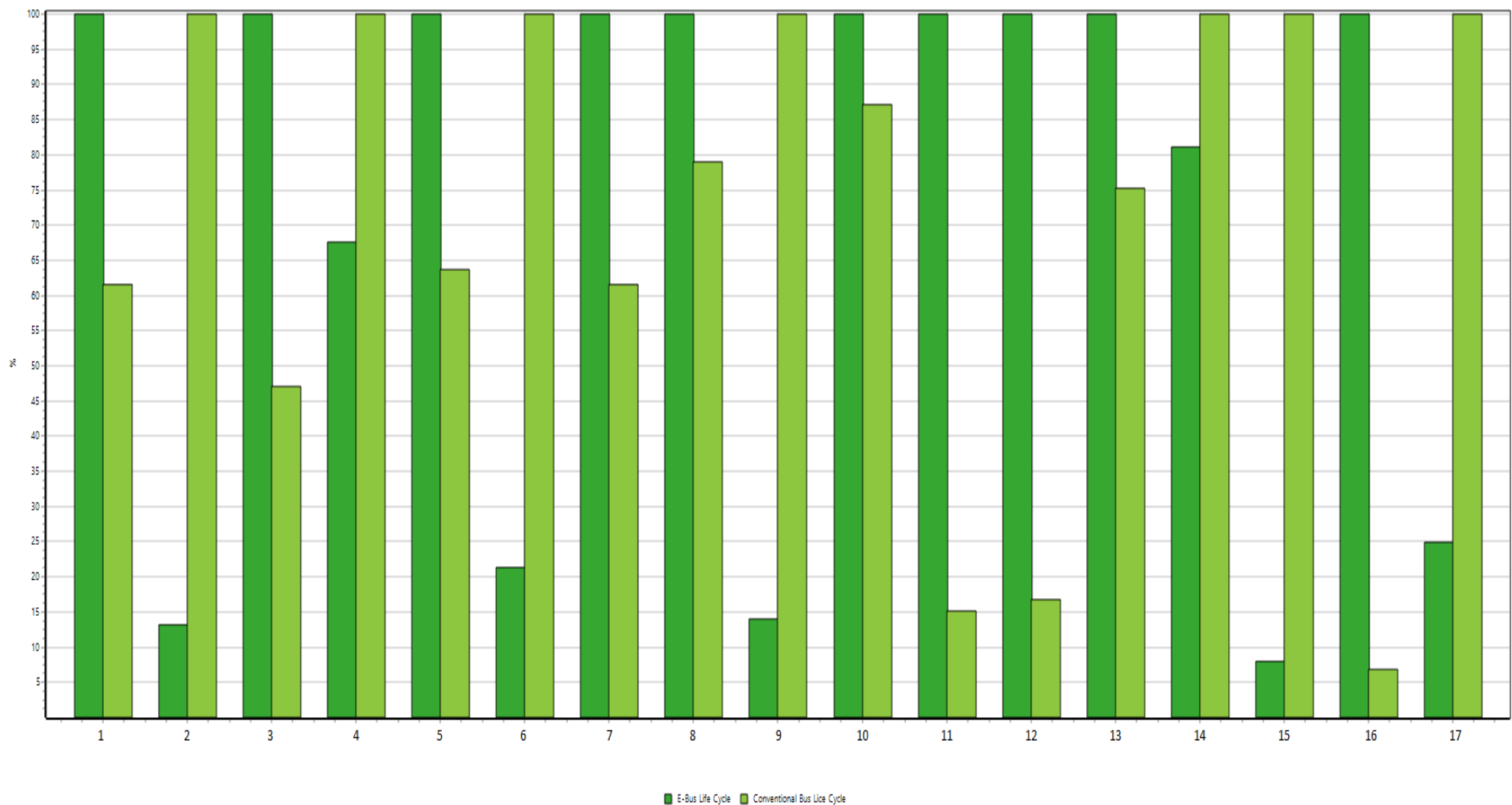
Στην αποτίμηση βλάβης και πάλι η μεγαλύτερη ποσοστιαία συνεισφορά ανήκει στη συναρμολόγηση του λεωφορείου στις 2 από τις 3 κατηγορίες (Ανθρώπινη υγεία και Εξάντληση πόρων) ενώ σε μία κατηγορία (Βλάβες στο οικοσύστημα) έχει μεγαλύτερη ποσοστιαία επίδραση η χρήση και παραγωγή ηλεκτρισμού. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται από τη κανονικοποίησης και τη στάθμιση παραγόντων. Στη τελευταία μάλιστα που οι μονάδες μέτρησης είναι τα kPt φαίνεται η διαφορά στις κατηγορίες επίδρασης με τα αντίστοιχα περιβαλλοντικά φορτία (Παράρτημα-Διάγραμμα Π-11, Π-12, Π-13).

Διάγραμμα 4.7 Διάγραμμα ροής των περιβαλλοντικών φορτίων συμβατικού λεωφορείου για αύξηση κατανάλωσης κατά 10%.



Όπου 1 Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιου περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου

Διάγραμμα 4.8 Γράφημα χαρακτηρισμού σύγκρισης των δύο λεωφορείων για αύξηση κατανάλωσης κατά 10%.



1. Climate Change-Human Health 2. Ozon depletion 3. Human toxicity 4. Photochemical oxidant formation 5. Particulate matter formation 6. Ionising radiation 7. Climate change- Ecosystem 8. Terrestrial Acidification 9. Freshwater eutrophication 10. Terrestrial Ecotoxicity 11. Freshwater ecotoxicity 12. Marine ecotoxicity 13. Agricultural land occupation 14. Urban land occupation 15. Natural land transformation 16. Metal depletion 17. Fossil depletion

Το Διάγραμμα 4.8 χαρακτηρισμού περιέχει τις ίδιες κατηγορίες με το αντίστοιχο διάγραμμα για το ηλεκτρικό λεωφορείο μόνο, όπως και στο πρώτο σενάριο όπου με σκούρο πράσινο είναι η συνεισφορά του ηλεκτρικού και με ανοιχτό πράσινο του συμβατικού λεωφορείου αντίστοιχα. Όπως φαίνεται, οι κατηγορίες που η συνεισφορά του συμβατικού λεωφορείου είναι μεγαλύτερη του ηλεκτρικού είναι οι εξής:

- Καταστροφή του όζοντος (Ozon depletion)
- Σχηματισμός φωτοχημικών οξειδωτικών (Photochemical oxidant formation)
- Ιονίζουσες ακτινοβολίες (Ionising radiation)
- Ευτροφισμός γλυκού νερού (Freshwater eutrophication)
- Αστική χρήση γης (Urban land occupation)
- Μετασχηματισμός εδάφους (Natural land transformation)
- Εξάντληση ορυκτών (Fossil depletion)

Παρατηρείται πως οι κατηγορίες που η συνεισφορά του συμβατικού είναι μεγαλύτερη από το ηλεκτρικό στο πρώτο σενάριο ταυτίζονται με αυτές του συγκεκριμένου σεναρίου. Οι διαφορές στα δύο διαγράμματα έγκειται στο γεγονός ότι σε ορισμένες κατηγορίες ποσοστιαία συνεισφορά του ηλεκτρικού έχει μειωθεί και έχει αυξηθεί αυτή του συμβατικού λεωφορείου. Αυτή η διαφορά πιστώνεται εντοπίζεται στο γεγονός του ότι το ηλεκτρικό λεωφορείο χρησιμοποιεί πιο καθαρό καύσιμο σε σχέση με το συμβατικό.

Ακόμα, στα διαγράμματα σύγκρισης των δύο λεωφορείων 4.21, 4.22 και 4.23 του παραρτήματος μπορεί να διαπιστωθεί ότι το ηλεκτρικό λεωφορείο κυριαρχεί στις ίδιες κατηγορίες επίδρασης όπως στο πρώτο σενάριο. Επίσης, το συμβατικό ανεβάζει ελαφρώς τη συμβολή του σε όλες τις κατηγορίες πράγμα που αποτυπώνεται στη κατηγορία βλάβης του οικοσυστήματος όπου η συμβολή των δύο λεωφορείων είναι σχετικά ίδια.

Τέλος, ακολουθεί ο Πίνακας 4.2 με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα καταγραφής περιβαλλοντικών φορτίων και για τα δύο λεωφορεία όπου παρατηρείται αύξηση και στα δύο. Στο ηλεκτρικό λεωφορείο έχουμε αύξηση κοντά στα 4.000 Pt ενώ στο συμβατικό κοντά στα 16.000 Pt σε σύγκριση με το βασικό σενάριο. Ακόμα εμφανής είναι η αύξηση της ποσοστιαίας συνεισφοράς του Diesel στο τελικό περιβαλλοντικό φορτίο του κύκλου ζωής για το συμβατικό που από 83,1% στο πρώτο σενάριο ανέβηκε στα 84,4% στο δεύτερο, δηλαδή αύξηση 1,3%.

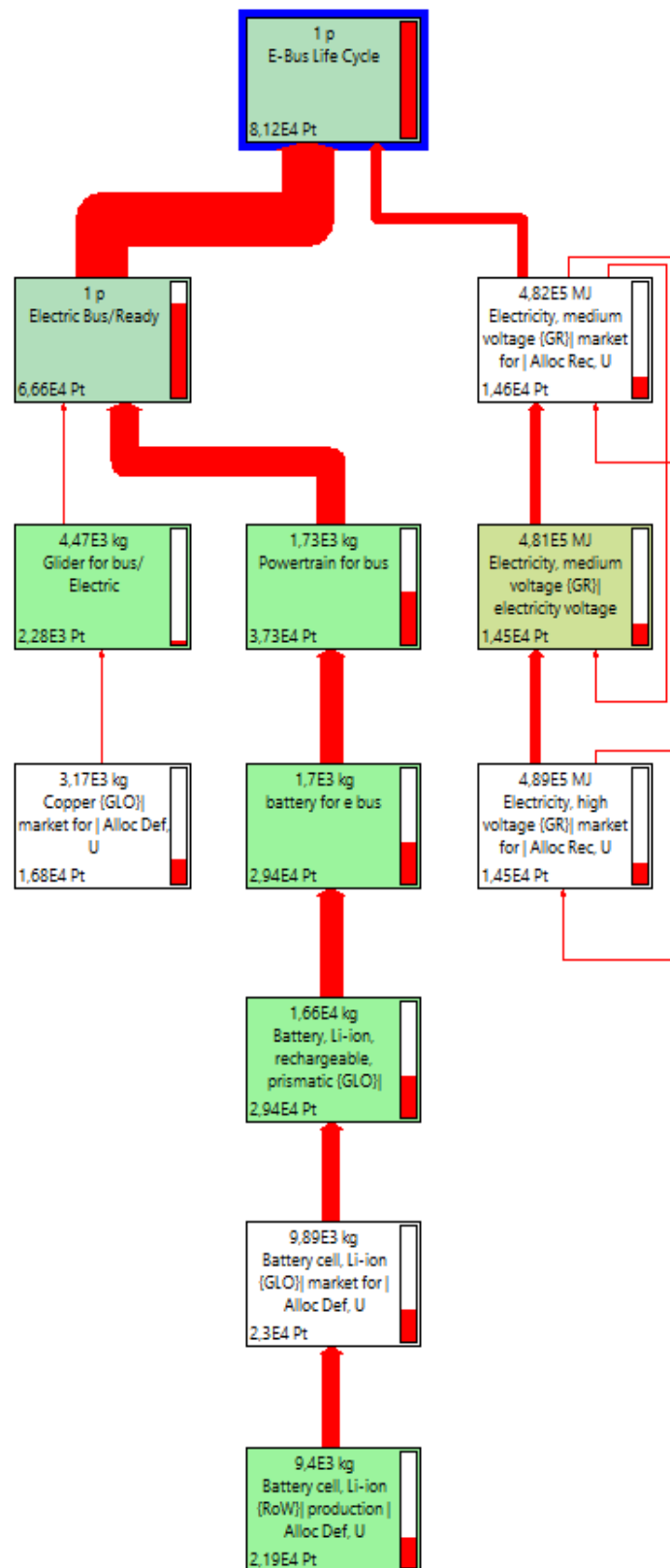
Πίνακας 4:3 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα καταγραφής περιβαλλοντικών φορτίων.

Παράγοντας Επιρροής	Ποσοστό Επιρροής (%)	Συνολικό Φορτίο Επιρροής (Pt)
Κύκλος Ζωής Ηλεκτρικού Λεωφορείου	100	178.000
Λειτουργία	46.2	82.400
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	53.8	96.100
Συναρμολόγηση Εξωτερικού Κελύφους	16.4	29.400
Συναρμολόγηση Μονάδας Κίνησης	37.4	66.700
Συσσωρευτής Ιόντων-Li	33	58.800
Κύκλος Ζωής Συμβατικού λεωφορείου	100	211.000
Λειτουργία	84.4	178.000
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	15.6	33.000

4.3.4 3ο Σενάριο σύγκρισης λεωφορείων- Αλλαγή στη διαδρομή (λιγότερα χιλιόμετρα)

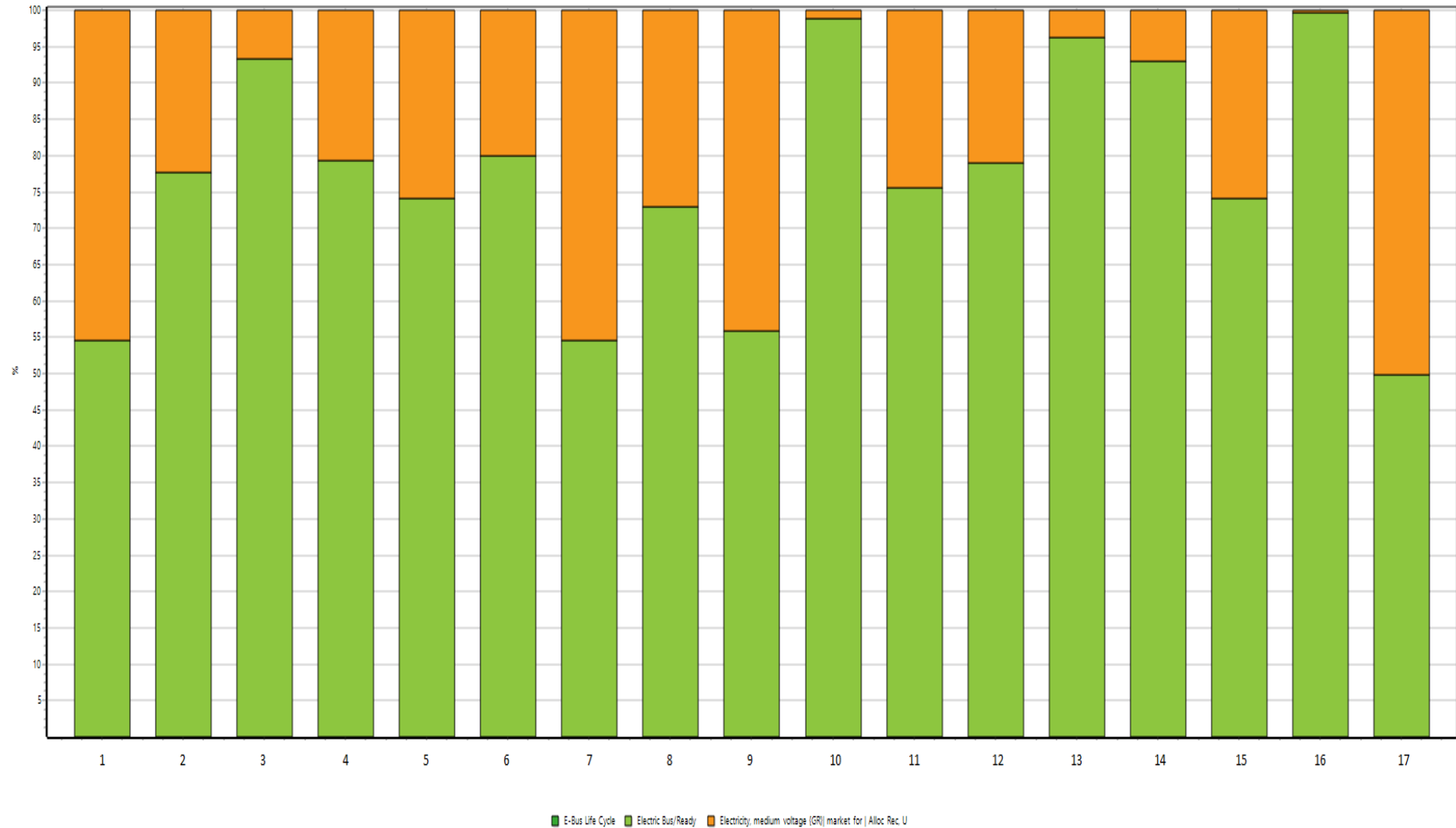
Στο συγκεκριμένο σενάριο, αλλάζει η διαδρομή που ακολουθούν τα δύο λεωφορεία. Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε στο τρίτο κεφάλαιο η εναλλακτική διαδρομή που επιλέχτηκε έχει λιγότερα χιλιόμετρα για να διανύσουν τα λεωφορεία. Αυτό πρακτικά σημαίνει λιγότερα χιλιόμετρα για όλη τη διάρκεια ζωής τους άρα και μικρότερες ποσότητες ηλεκτρισμού και Diesel για τη κίνηση των λεωφορείων. Επιπροσθέτως, το σενάριο αυτό ερμηνεύεται και ως λιγότερα ανταλλακτικά για τη συντήρηση των λεωφορείων. Ακόμα, αλλάζουν τα συνολικά χρόνια ζωής για το συμβατικό λεωφορείο, που μειώνονται στα 12 συνολικά. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται χρησιμοποιώντας την ίδια λογική παρουσίασης με τις προηγούμενες ενότητες κάνοντας χρήση διαγραμμάτων και πινάκων.

Διάγραμμα 4.9 Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων ηλεκτρικού λεωφορείου για αλλαγή στη διαδρομή.



Όπου 1 Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιου περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαϊκού

Διάγραμμα 4.10 Χαρακτηρισμός ηλεκτρικού λεωφορείου για αλλαγή στη διαδρομή.



1. Climate Change-Human Health 2. Ozon depletion 3. Human toxicity 4. Photochemical oxidant formation 5. Particulate matter formation 6. Ionising radiation 7. Climate change- Ecosystem 8. Terrestrial Acidification 9. Freshwater eutrophication 10. Terrestrial Ecotoxicity 11. Freshwater ecotoxicity 12. Marine ecotoxicity 13. Agricultural land occupation 14. Urban land occupation 15. Natural land transformation 16. Metal depletion 17. Fossil depletion

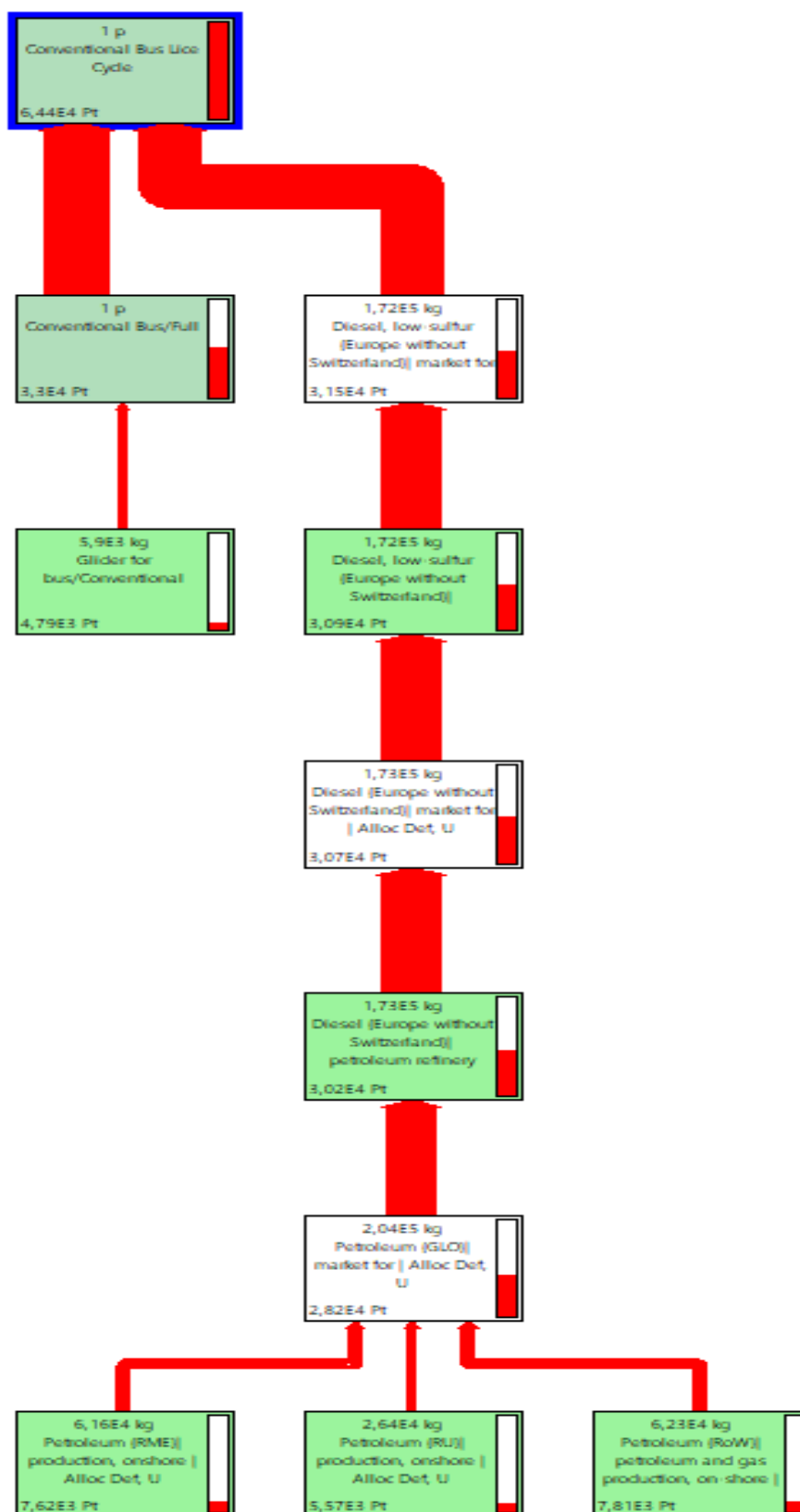
Στο σενάριο αυτό και σε ό,τι αφορά το ηλεκτρικό λεωφορείο για αρχή, γίνεται εύκολα αντιληπτή η επίπτωση της μείωσης των χιλιομέτρων που πραγματοποιεί. Αυτή η επίπτωση αντανακλάται στο γεγονός ότι το ηλεκτρικό λεωφορείο καθώς και το συμβατικό όπως φαίνεται στη συνέχεια, δε χρειάζεται μεγάλη συντήρηση, αλλαγές στο συσσωρευτή καθώς και μεγάλες ποσότητες καυσίμου, δηλαδή ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικά για το τελευταίο, φαίνεται ξεκάθαρα στα Διαγράμματα 4.10 η μειωμένη συνεισφορά της ηλεκτρικής ενέργειας για τη κίνηση του, στη επίδραση στους περιβαλλοντικούς δείκτες και στους δείκτες βλάβης.

Αναλυτικότερα, από το Διάγραμμα 4.10, χαρακτηρισμού είναι ευδιάκριτη η τεράστια συνεισφορά σχεδόν σε όλους τους δείκτες, της συναρμολόγησης του λεωφορείου σε σύγκριση με την ηλεκτρική ενέργεια. Μόνο σε μία κατηγορία (Εξάντληση πόρων) είναι μεγαλύτερη η συνεισφορά της χρησιμοποίησης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα Διαγράμματα Π-21, Π-22 και Π-23, αποτίμησης βλάβης, κανονικοποίησης και στάθμισης παραγόντων επιβεβαιώνονται τα παραπάνω. Στο διάγραμμα αποτίμησης βλάβης, και στις τρεις κατηγορίες βλαβών η συναρμολόγηση του λεωφορείου είναι αυτή που έχει τα μεγαλύτερα ποσοστά συνεισφοράς. Αυτό φαίνεται και στο διάγραμμα στάθμισης παραγόντων που φαίνονται ακριβώς τα ποσά περιβαλλοντικών φορτίων για την ηλεκτρική ενέργεια που μειονεκτεί έναντι της συναρμολόγησης.

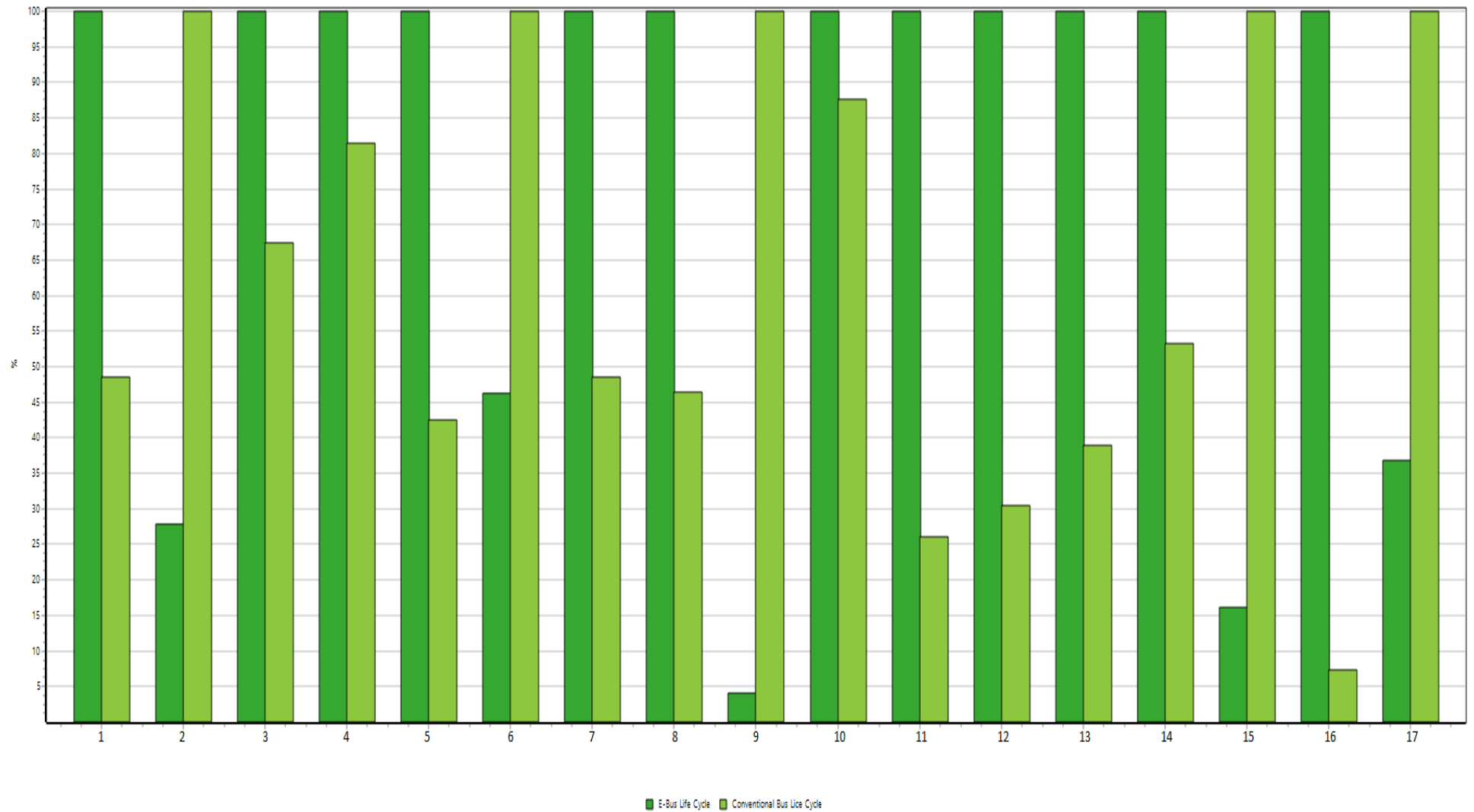
Ακολουθούν τα διαγράμματα ροής του συμβατικού λεωφορείου και το αντίστοιχο διάγραμμα σύγκρισης των λεωφορείων, όπου σημειώνονται εξίσου σημαντικές διαφοροποιήσεις σε σχέση με τα προηγούμενα σενάρια.

Διάγραμμα 4.11 Διάγραμμα ροής περιβαλλοντικών φορτίων συμβατικού λεωφορείου για αλλαγή στη διαδρομή.



Όπου 1 Pt ισούται με το 1/1000 του συνολικού ετήσιου περιβαλλοντικού φορτίου ενός μέσου Ευρωπαίου

Διάγραμμα 4.12 Γράφημα χαρακτηρισμού σύγκρισης των δύο λεωφορείων για αλλαγή στη διαδρομή.



1. Climate Change-Human Health 2. Ozon depletion 3. Human toxicity 4. Photochemical oxidant formation 5. Particulate matter formation 6. Ionising radiation 7. Climate change- Ecosystem 8. Terrestrial Acidification 9. Freshwater eutrophication 10. Terrestrial Ecotoxicity 11. Freshwater ecotoxicity 12. Marine ecotoxicity 13. Agricultural land occupation 14. Urban land occupation 15. Natural land transformation 16. Metal depletion 17. Fossil depletion

Από τη σύγκριση των δύο λεωφορείων προκύπτουν ενδιαφέρον αποτελέσματα που αν μη τι άλλο αξίζουν να σημειωθούν. Στο διάγραμμα χαρακτηρισμού 4.12 φαίνεται πως το ηλεκτρικό λεωφορείο έχει μεγαλύτερη αρνητική επίδραση σε 12 από τις συνολικά 17 κατηγορίες. Αυτές είναι οι εξής:

- Κλιματική αλλαγή- Ανθρώπινη Υγεία (Climate Change-Human Health)
- Ανθρώπινη τοξικότητα (Human toxicity)
- Δημιουργία φωτοχημικών οξειδωτικών (Photochemical oxidant formation)
- Δημιουργία αιωρούμενων σωματιδίων (Particulate matter formation)
- Κλιματική αλλαγή- Οικοσύστημα (Climate change- Ecosystem)
- Επίγεια όξυνσή (Terrestrial Acidification)
- Επίγεια οικοτοξικότητα (Terrestrial Ecotoxicity)
- Οικοτοξικότητα γλυκού νερού (Freshwater ecotoxicity)
- Θαλάσσια οικοτοξικότητα (Marine ecotoxicity)
- Γεωργική χρήση γης (Agricultural land occupation)
- Αστική χρήση γης (Urban land occupation)
- Εξάντληση μετάλλων (Metal depletion)

Οι περισσότερες κατηγορίες επίδρασης σε αυτό το σενάριο είναι διαφορετικές απ' ότι στο πρώτο σενάριο για το ηλεκτρικό λεωφορείο.

Κατά την αποτίμηση βλάβης, κανονικοποίηση και στάθμιση διακρίνεται ότι στις κατηγορίες, βλάβες στην ανθρώπινη υγεία και βλάβες στο οικοσύστημα το ηλεκτρικό λεωφορείο είναι αυτό που συνεισφέρει περισσότερο στην αρνητική τους επίδραση και γίνεται αισθητή η επίδραση της μεγάλης παραγωγής συσσωρευτών για χρήση στο λεωφορείο και την αντικατάσταση των παλαιών που έχουν εξαντληθεί. Μόνο στη κατηγορία εξάντληση πόρων είναι μεγαλύτερη η συνεισφορά του συμβατικού στη γενικότερη βλάβη, όπως περίπου και στα άλλα σενάρια (Παράρτημα-Διάγραμμα Π-26, Π-27, Π-28).

Επίσης, ακολουθεί ο Πίνακας 4.4 με τα περιβαλλοντικά φορτία των λεωφορείων όπως καταγράφηκαν από τα διαγράμματα ροής τους και είναι εμφανή η μείωση των φορτίων.

Πίνακας 4:4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα καταγραφής περιβαλλοντικών φορτίων.

Παράγοντας Επιρροής	Ποσοστό Επιρροής (%)	Συνολικό Φορτίο Επιρροής (Pt)
Κύκλος Ζωής Ηλεκτρικού Λεωφορείου	100	81.200
Λειτουργία	17.9	14.600
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	82.1	66.600
Συναρμολόγηση Εξωτερικού Κελύφους	28.1	2.280
Συναρμολόγηση Μονάδας Κίνησης	45.9	37.300
Συσσωρευτής Ιόντων-Li	36.2	29.400
Κύκλος Ζωής Συμβατικού Λεωφορείου	100	64.400
Λειτουργία	48.8	31.500
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	51.2	33.000

4.3.5 4ο Σενάριο σύγκρισης λεωφορείων–Πληρότητα λεωφορείου στο 60% της συνολικής

Στο σενάριο αυτό αλλάζει η πληρότητα των λεωφορείων και ακουμπάει τον 60% της συνολικής τους χωρητικότητας όπως περιγράφεται στο τρίτο κεφάλαιο της μεθοδολογίας. Τα χρόνια ζωής παραμένουν σταθερά και ίδια με το πρώτο και βασικό σενάριο. Με το τρόπο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και το περιβαλλοντικό φορτίο των λεωφορείων και σε Pt/ επιβατοχιλιόμετρο. Επίσης, γίνεται υπολογισμός του αριθμού των επιβατών και των χιλιομέτρων που καταγράφονται συνολικά σε όλη τη διάρκεια ζωής τους. Ο τρόπος παρουσίασης αλλάζει καθώς στη συγκεκριμένη παράγραφο τα αποτελέσματα παρατίθενται σε μορφή πίνακα με τα συνολικά φορτία.

Πίνακας 4:5 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για πληρότητα 60% της χωρητικότητας των λεωφορείων.

Παράγοντας Επιρροής	Ποσοστό Επιρροής (%)	Συνολικό Φορτίο Επιρροής (Pt)	Αριθμός Επιβατών x Χιλιόμετρα	Φορτίο Επιρροής/ Επιβάτη* Χιλιόμετρο (Pt)
Κύκλος Ζωής Ηλεκτρικού Λεωφορείου	100	174.000	2.14E+12	8.13084E-08
Λειτουργία	43,8	76.212	2.14E+12	3.56131E-08
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	56,2	97.788	2.14E+12	4.56953E-08
Συναρμολόγηση Εξωτερικού Κελύφους	17,2	29.928	2.14E+12	1.3985E-08
Συναρμολόγηση Μονάδας Κίνησης	39	67.860	2.14E+12	3.17103E-08
Συσσωρευτής Ιόντων-Li	34,4	59.856	2.14E+12	2.79701E-08
Κύκλος Ζωής Συμβατικού Λεωφορείου	100	195.000	3.67E+12	5.31335E-08
Λειτουργία	83,1	162.045	3.67E+12	4.4154E-08
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	16,9	32.955	3.67E+12	8.97956E-09

Από τον παραπάνω Πίνακα 4.5 παρατηρείται η διαφορά στους επιβάτες και στα χιλιόμετρα για τα δύο λεωφορεία. Τα χιλιόμετρα δεν αλλάζουν καθώς και τα δύο λεωφορεία εκτελούν την ίδια διαδρομή αλλά αλλάζουν οι επιβάτες που μεταφέρει το κάθε λεωφορείο. Με το πίνακα αυτόν γίνεται ουσιαστικά αντιληπτή η αλλαγή των επιβατών σε περίπτωση που η πληρότητα των λεωφορείων τροποποιηθεί.

4.3.6 5ο Σενάριο σύγκρισης λεωφορείων–Πληρότητα λεωφορείου στο 100% της συνολικής

Η λογική και ο τρόπος παρουσίασης σε αυτό το σενάριο είναι ο ίδιος με το προηγούμενο. Η μοναδική διαφορά έγκειται στη γεγονός ότι αυτή τη φορά η πληρότητα των λεωφορείων ακουμπάει τη μέγιστη χωρητικότητα τους, δηλαδή το 100%.

Πίνακας 4:6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα για πληρότητα 100% της χωρητικότητας των λεωφορείων.

Παράγοντας Επιρροής	Ποσοστό Επιρροής (%)	Συνολικό Φορτίο Επιρροής (Pt)	Αριθμός Επιβατών x Χιλιόμετρα	Φορτίο Επιρροής/ Επιβάτη* Χιλιόμετρο (Pt)
<i>Κύκλος Ζωής Ηλεκτρικού Λεωφορείου</i>	<i>100</i>	<i>174.000</i>	<i>3.54E+12</i>	<i>4.91525E-08</i>
Λειτουργία	43,8	76.212	3.54E+12	2.15288E-08
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	56,2	97.788	3.54E+12	2.76237E-08
Συναρμολόγηση Εξωτερικού Κελύφους	17,2	29.928	3.54E+12	8.45424E-09
Συναρμολόγηση Μονάδας Κίνησης	39	67.860	3.54E+12	1.91695E-08
Συσσωρευτής Ιόντων-Li	34,4	59.856	3.54E+12	1.69085E-08
<i>Κύκλος Ζωής Συμβατικού Λεωφορείου</i>	<i>100</i>	<i>195.000</i>	<i>6.2E+12</i>	<i>3.14516E-08</i>
Λειτουργία	83,1	162.045	3.54E+12	4.91525E-08
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	16,9	32.955	3.54E+12	2.76237E-08

4.3.7 6ο Σενάριο σύγκρισης λεωφορείων–Αλλαγή λειτουργικής μονάδας.

Σε αυτό το σενάριο διαφοροποιείται η λειτουργική μονάδα από τη βασική που υπήρχε στα πρώτα σενάρια όπως αναφέρθηκαν παραπάνω. Έτσι, παίρνοντας τα περιβαλλοντικά φορτία από τα πρώτα τέσσερα σενάρια και με τη κατάλληλη επεξεργασία οι μονάδες μέτρησης των αποτελεσμάτων έρχονται στη επιθυμητή μορφή. Συγκεκριμένα, προκειμένου η λειτουργική μονάδα να γίνει Pt/επιβατοχιλιόμετρα διαιρείται το περιβαλλοντικό φορτίο από το κάθε προηγούμενο σενάριο ξεχωριστά, με τον αριθμό των επιβατών πολλαπλασιασμένο με των αριθμό των χιλιομέτρων που καταγράφει το λεωφορείο. Επίσης, για τη λειτουργική μονάδα Pt/ km διαιρείται το περιβαλλοντικό φορτίο από κάθε σενάριο με τον αριθμό των χιλιομέτρων μόνο. Στους παρακάτω πίνακες διακρίνεται η αλλαγή στη λειτουργική μονάδα για κάθε σενάριο που εξετάστηκε παραπάνω, με τις δύο πρώτες στήλες του κάθε πίνακα να αφορά τα περιβαλλοντικά φορτία και το ποσοστό επιρροής επι του συνολικού φορτίου πριν τη μετατροπή όπως έχουν καταγραφεί προηγουμένως και οι υπόλοιπες τέσσερις στήλες αφορούν τις καινούργιες λειτουργικές μονάδες.

Πίνακας 4:7 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα βασικού σεναρίου με διαφορετικές λειτουργικές μονάδες.

Παράγοντας Επιρροής	Ποσοστό Επιρροής (%)	Συνολικό Φορτίο Επιρροής (Pt)	Αριθμός Επιβατών x Χιλιόμετρα	Φορτίο Επιρροής/ Επιβάτη* Χιλιόμετρο (Pt)	Αριθμός Χιλιομέτρων	Φορτίο Επιρροής/ Χιλιόμετρο (Pt)
Κύκλος Ζωής Ηλεκτρικού Λεωφορείου	100	174.000	2.8E+12	6.21429E-08	1106028	0.16
Λειτουργία	43,8	76.212	2.8E+12	2.72186E-08	1106028	0.09
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	56,2	97.788	2.8E+12	3.49243E-08	1106028	0.03
Συναρμολόγηση Εξωτερικού Κελύφους	17,2	29.928	2.8E+12	1.06886E-08	1106028	0.06
Συναρμολόγηση Μονάδας Κίνησης	39	67.860	2.8E+12	2.42357E-08	1106028	0.05
Συσσωρευτής Ιόντων-Li	34,4	59.856	2.8E+12	2.13771E-08	1106028	0.07
Κύκλος Ζωής Συμβατικού λεωφορείου	100	195.000	4.85E+12	4.02062E-08	1474704	0.13
Λειτουργία	83,1	162.045	4.85E+12	3.34113E-08	1474704	0.11
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	16,9	32.955	4.85E+12	6.79485E-09	1474704	0.02

Πίνακας 4:8 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σεναρίου αύξησης κατανάλωσης κατά 10% με διαφορετικές λειτουργικές μονάδες

Παράγοντας Επιρροής	Ποσοστό Επιρροής (%)	Συνολικό Φορτίο Επιρροής (Pt)	Αριθμός Επιβατών x Χιλιόμετρα	Φορτίο Επιρροής/ Επιβάτη* Χιλιόμετρο (Pt)	Αριθμός Χιλιομέτρων	Φορτίο Επιρροής/ Χιλιόμετρο (Pt)
<i>Κύκλος Ζωής Ηλεκτρικού Λεωφορείου</i>	<i>100</i>	<i>178.000</i>	<i>2.8E+12</i>	<i>6.35714E-08</i>	<i>1106028</i>	<i>0.16</i>
Λειτουργία	46.2	82.400	2.8E+12	2.94286E-08	1106028	0.09
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	53.8	96.100	2.8E+12	3.43214E-08	1106028	0.03
Συναρμολόγηση Εξωτερικού Κελύφους	16.4	29.400	2.8E+12	1.05E-08	1106028	0.06
Συναρμολόγηση Μονάδας Κίνησης	37.4	66.700	2.8E+12	2.38214E-08	1106028	0.05
Συσσωρευτής Ιόντων-Li	33	58.800	2.8E+12	0.000000021	1106028	0.07
<i>Κύκλος Ζωής Συμβατικού Λεωφορείου</i>	<i>100</i>	<i>211.000</i>	<i>4.85E+12</i>	<i>4.35052E-08</i>	<i>1474704</i>	<i>0.14</i>
Λειτουργία	84.4	178.000	4.85E+12	3.6701E-08	1474704	0.12
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	15.6	33.000	4.85E+12	6.80412E-09	1474704	0.02

Πίνακας 4:9 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σεναρίου αλλαγής διαδρομής με διαφορετικές λειτουργικές μονάδες.

Παράγοντας Επιρροής	Ποσοστό Επιρροής (%)	Συνολικό Φορτίο Επιρροής (Pt)	Αριθμός Επιβατών x Χιλιόμετρα	Φορτίο Επιρροής/ Επιβάτη* Χιλιόμετρο (Pt)	Αριθμός Χιλιομέτρων	Φορτίο Επιρροής/ Χιλιόμετρο (Pt)
Κύκλος Ζωής Ηλεκτρικού Λεωφορείου	100	81.200	5.45E+11	1.48991E-07	214968	0.38
Λειτουργία	17.9	14.600	5.45E+11	2.6789E-08	214968	0.31
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	82.1	66.600	5.45E+11	1.22202E-07	214968	0.01
Συναρμολόγηση Εξωτερικού Κελύφους	28.1	2.280	5.45E+11	4.18349E-09	214968	0.17
Συναρμολόγηση Μονάδας Κίνησης	45.9	37.300	5.45E+11	6.84404E-08	214968	0.14
Συσσωρευτής Ιόντων-Li	36.2	29.400	5.45E+11	5.3945E-08	214968	0.07
Κύκλος Ζωής Συμβατικού Λεωφορείου	100	64.400	9.44E+11	6.82203E-08	214968	0.30
Λειτουργία	48.8	31.500	9.44E+11	3.33686E-08	214968	0.15
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	51.2	33.000	9.44E+11	3.49576E-08	214968	0.15

Στους παραπάνω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των περιβαλλοντικών φορτίων αλλάζοντας τις λειτουργικές μονάδες. Με το τρόπο αυτό γίνεται κατανοητό το περιβαλλοντικό φορτίο που αντιστοιχεί σε κάθε επιβάτη των λεωφορείων για κάθε χιλιόμετρο που διανύει και το ποσό των περιβαλλοντικών φορτίων που αντιστοιχεί σε κάθε χιλιόμετρο που εκτελεί το κάθε λεωφορείο. Επίσης, μέσα από τους πίνακες βλέπουμε τα αντίστοιχα φορτία για τις επιμέρους συνιστώσες που επηρεάζουν το κύκλο ζωής των λεωφορείων όπως είναι η ηλεκτρική ενέργεια, ο συσσωρευτής και η συναρμολόγηση των λεωφορείων.

4.4 Κόστος Ιδιοκτησίας & Περίοδος Αποπληρωμής

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την οικονομική ανάλυση της σύγκρισης των λεωφορείων για το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας τους καθώς και για τα συνολικά χρόνια αποπληρωμής των κεφαλαίων για την αγορά τους. Το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας παρουσιάζεται σε €/km για τα δύο λεωφορεία ξεχωριστά καθώς και σαν τη διαφορά τους προκειμένου να γίνει κατανοητή η οικονομική διαφορά που έχουν και πόσο στοιχίζει το κάθε χιλιόμετρο που διανύουν. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω λαμβάνονται υπ' όψη δύο σενάρια για τα χρήσιμα χρόνια ζωής. Για το πρώτο

σενάριο αναμένεται το ΣΚΙ των λεωφορείων να είναι υψηλότερο από αυτό του δεύτερου σεναρίου αφού τα χρήσιμα χρόνια ζωής είναι λιγότερα (8 έναντι 12 που είναι στο δεύτερο σενάριο). Επιπροσθέτως, αναμένονται αλλαγές στη περίοδο αποπληρωμής για κάθε σενάριο χρήσιμων χρόνων ζωής και για κάθε διαδρομή. Σε ότι αφορά το δεύτερο σενάριο, αφού είναι ήδη καθορισμένα τα χρήσιμα χρόνια ζωής, αναμένονται αλλαγές σε ότι αφορά το ΣΚΙ και τη περίοδο αποπληρωμής, που αναμένονται να είναι χαμηλότερα σε σχέση με το πρώτο σενάριο και μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για το τρόπο εκμετάλλευσης των λεωφορείων και το χρονικό ορίζοντα εκμετάλλευσης τους. Επίσης, υπολογίζοντας τη περίοδο αποπληρωμής σε έτη, γίνεται αντιληπτό κατά πόσο μια τυχών επένδυση για την αγορά των δύο λεωφορείων είναι κερδοφόρα και πόσο γρήγορα μπορεί να γίνει η αποπληρωμή του κεφαλαίου που έχει επενδυθεί.

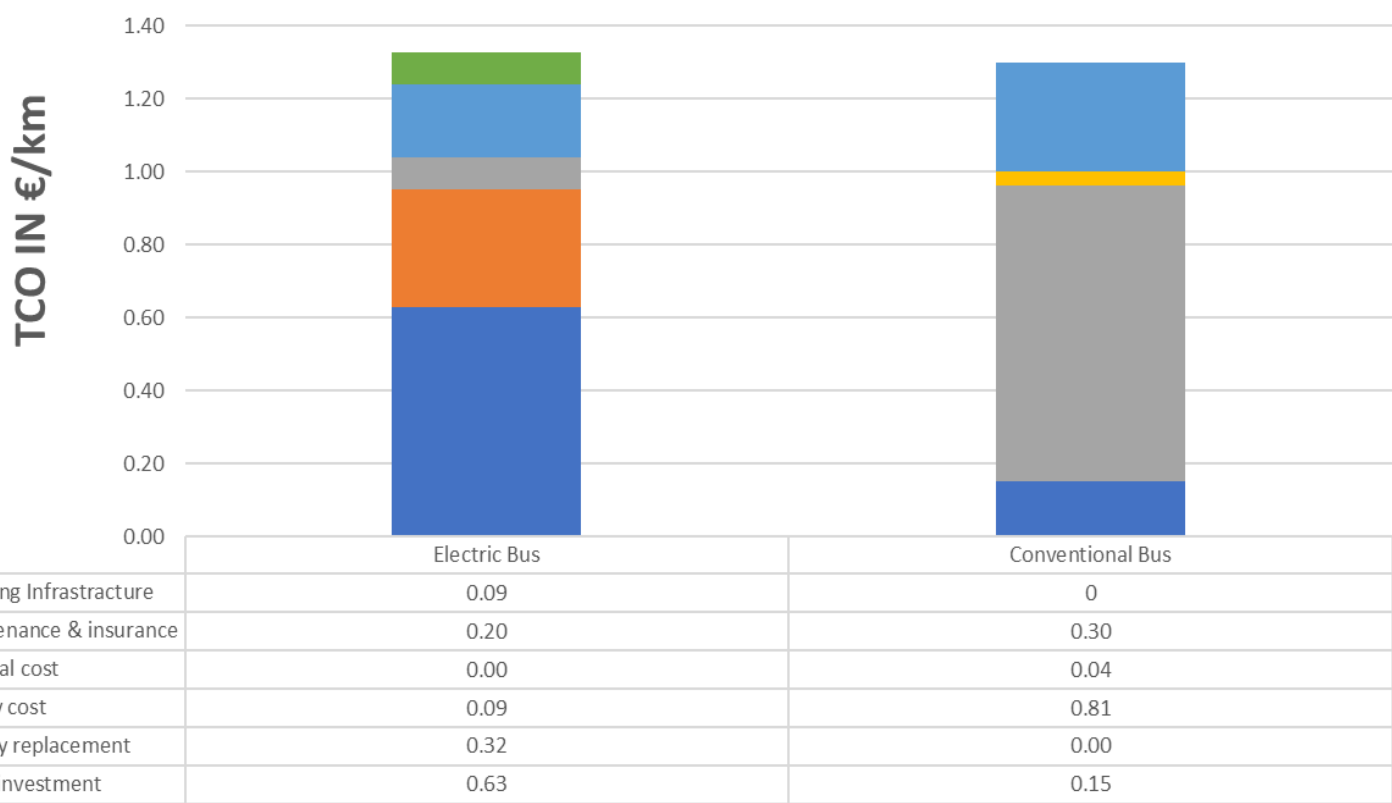
4.4.1 1ο Σενάριο χρόνων ζωής.

Στο πρώτο σενάριο σύγκρισης των οικονομικών παραμέτρων των δύο λεωφορείων, όπως ήδη έχει γίνει λόγος παραπάνω, γίνεται αναφορά στα χρήσιμα χρόνια ζωής των λεωφορείων που είναι συνολικά 8. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζεται το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας και τα χρόνια αποπληρωμής, έχοντας οριστεί σαν χρήσιμα χρόνια ζωής αυτά που προκύπτουν βάση της οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης περί συνολικών χρόνων εκμετάλλευσης των λεωφορείων και των μέσων αποστάσεων για τις διαδρομές μέσα στο Ρέθυμνο.

➤ 1η Διαδρομή : Ρέθυμνο-Λούτρα

Για τη πρώτη διαδρομή παρουσιάζεται το παρακάτω διάγραμμα, και σχολιάζεται καταλλήλως με τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

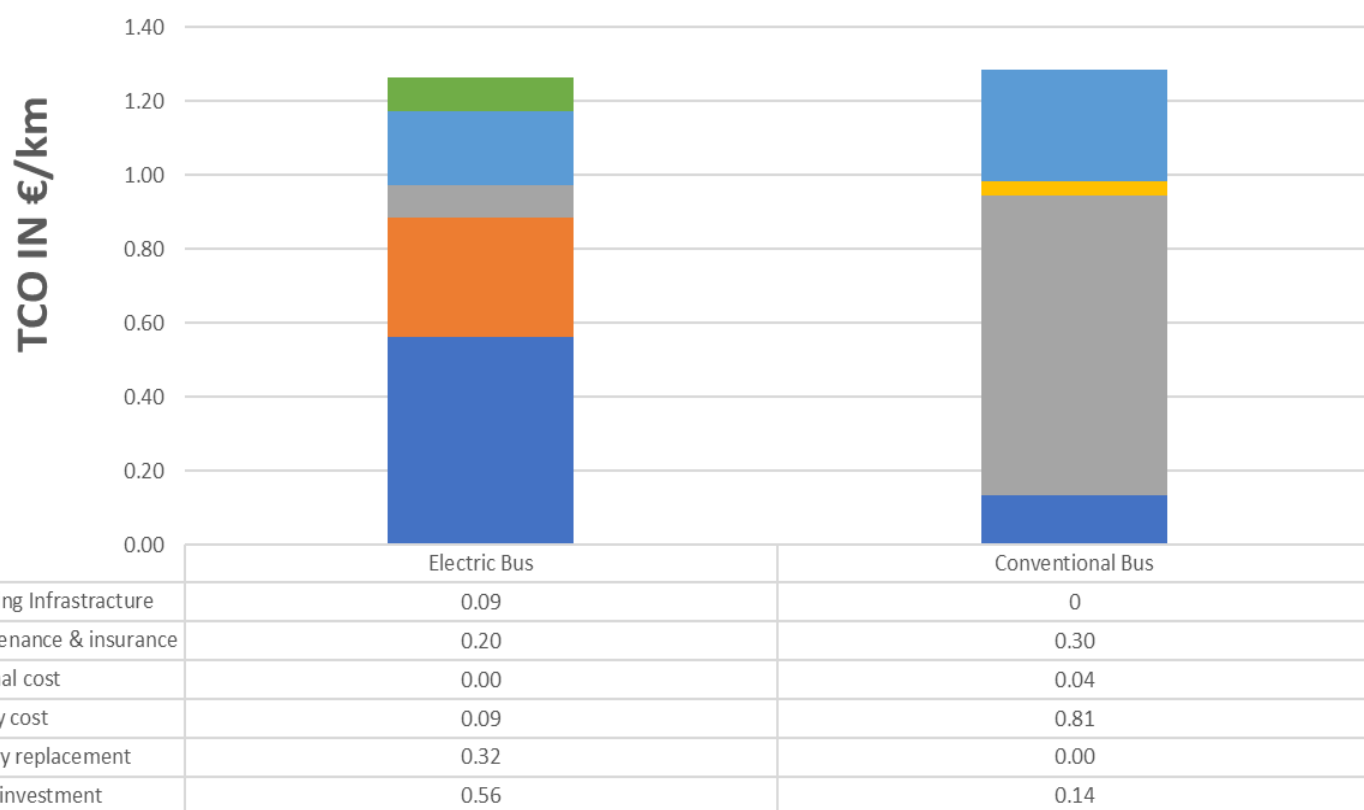
Διάγραμμα 4.13 Γράφημα στηλών Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας πρώτου σεναρίου πρώτης διαδρομής.



Για το διάγραμμα 4.13, το Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας ανέρχεται στα 1,33€/km για το ηλεκτρικό και 1,30 €/km για το συμβατικό λεωφορείο. Η περίοδος αποπληρωμής είναι 7,6 έτη για το ηλεκτρικό λεωφορείο ενώ για το συμβατικό 1,9 έτη.

➤ **2η Διαδρομή: Περιβόλια- Πανεπιστήμιο Γάλλου**

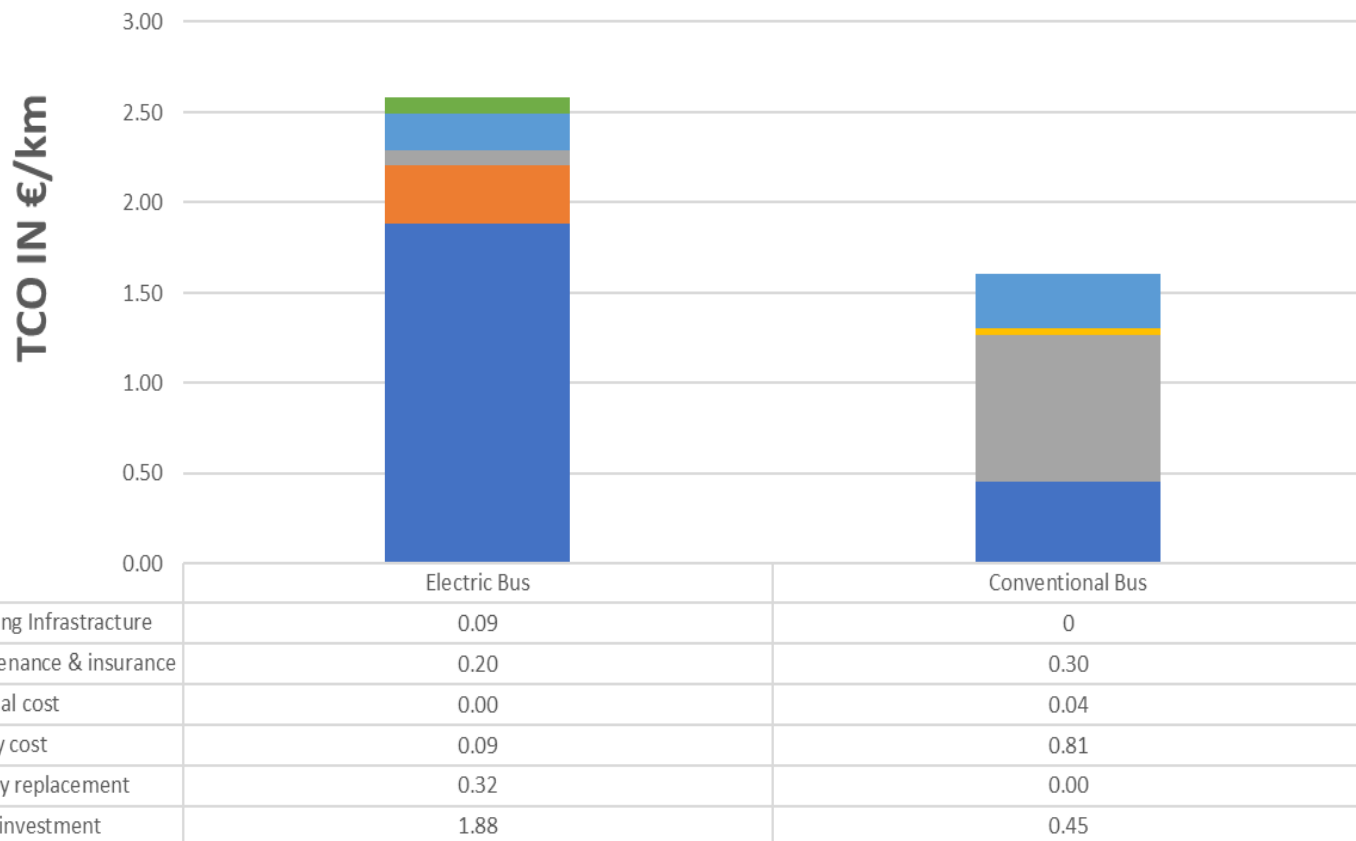
Διάγραμμα 4.14 Γράφημα στηλών Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας πρώτου σεναρίου πρώτης διαδρομής.



Για το διάγραμμα 4.14 το Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας ανέρχεται στα 1,26€/km για το ηλεκτρικό λεωφορείο ενώ για το συμβατικό 1,29€/km. Η περίοδος αποπληρωμής είναι 7,8 έτη για το ηλεκτρικό λεωφορείο ενώ για το συμβατικό 2,2 έτη.

➤ **3η Διαδρομή: Palm Beach- Όλη η παραλιακή του Ρεθύμνου και πίσω στην αφετηρία.**

Διάγραμμα 4.15 Γράφημα στηλών Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας πρώτου σεναρίου πρώτης διαδρομής



Για το διάγραμμα 4.15 το Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας ανέρχεται στα 2,58 €/km για το ηλεκτρικό λεωφορείο ενώ για το συμβατικό 1,60 €/km. Η περίοδος αποπληρωμής είναι 9,4 έτη για το ηλεκτρικό λεωφορείο ενώ για το συμβατικό 1,5 έτη.

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται η επικράτηση του συμβατικού λεωφορείου έναντι του ηλεκτρικού εκτός της δεύτερης διαδρομής. Στη δεύτερη διαδρομή το ηλεκτρικό λεωφορείο έχει χαμηλότερο ΣΚΙ από το συμβατικό. Στη δεύτερη διαδρομή αν και το κόστος του εισιτηρίου είναι μικρότερο από τις άλλες δύο, τα χιλιόμετρα που καταγράφει στο τέλος του κάθε χρόνου είναι περισσότερα από τις άλλες διαδρομές όπως και οι αντίστοιχες διαδρομές που εκτελεί. Αυτό που παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι η μεγάλη διαφορά στη περίοδο αποπληρωμής των επενδύσεων για την αγορά τους. Εύκολα γίνεται αντιληπτό πως το συμβατικό λεωφορείο σε κάθε διαδρομή κάνει σε μικρότερο χρόνο απόσβεση των χρημάτων που επενδύθηκαν για την αγορά του. Γεγονός που οφείλεται στο πολύ μικρότερο κόστος της επένδυσης, που είναι σχεδόν τέσσερις φορές μικρότερο σε σχέση με του ηλεκτρικού λεωφορείου. Επίσης, στο χάσμα των ετών αποπληρωμής των δύο λεωφορείων, συμβάλει και η αυξημένη τιμή για την αλλαγή των συσσωρευτών για το ηλεκτρικό λεωφορείο, που κάθε φορά συμβάλλει στην αύξηση του ΣΚΙ.

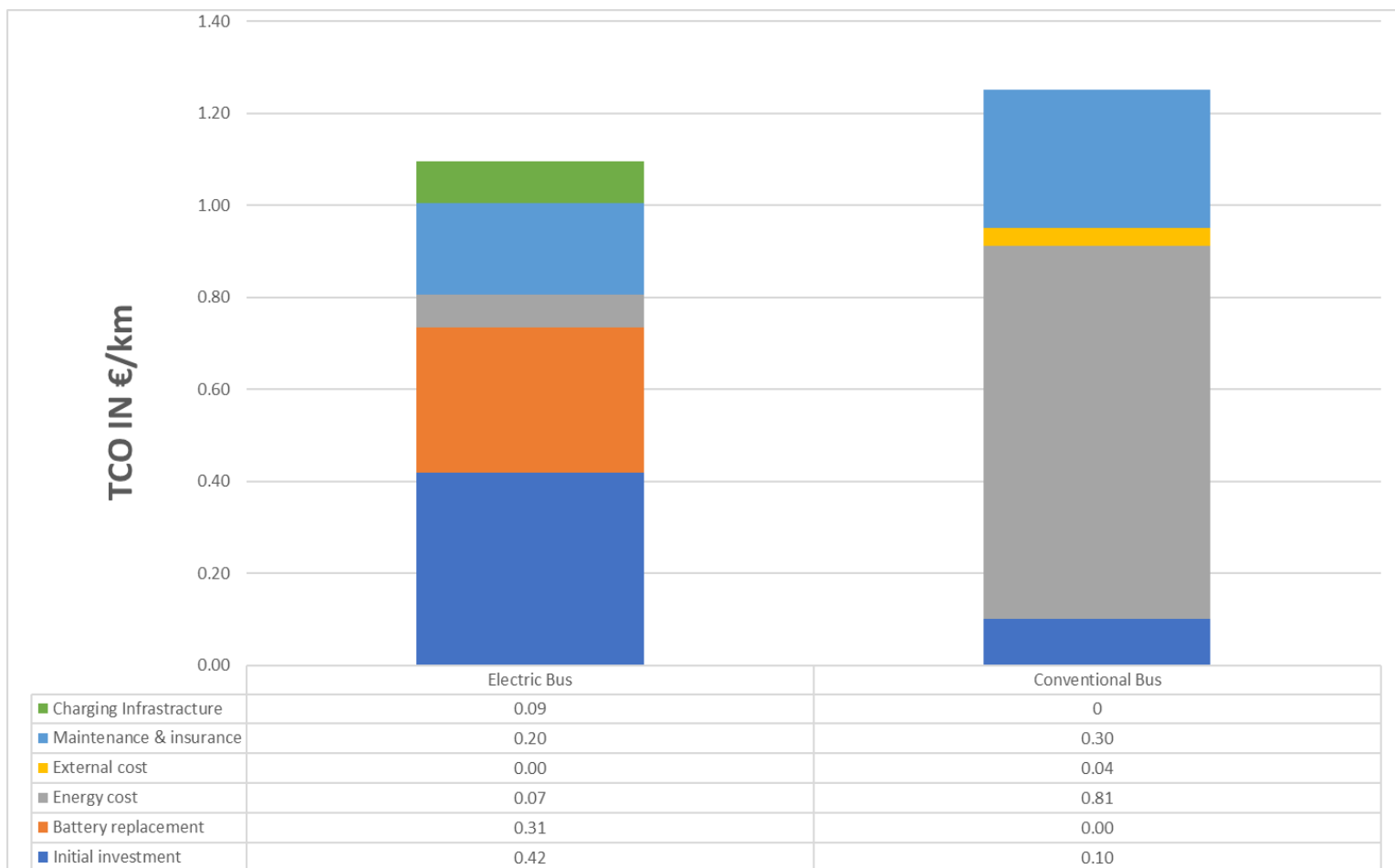
Πλεονέκτημα αποτελεί για το ηλεκτρικό λεωφορείο η μικρή τιμή στη χρέωση του καυσίμου του, δηλαδή της ηλεκτρικής ενέργειας έναντι της χρέωσης του Diesel για το συμβατικό καθώς και το μικρότερο κόστος για τη συντήρηση του.

4.4.2 2ο Σενάριο χρόνων ζωής

Στο σενάριο αυτό αλλάζουν τα χρήσιμα χρόνια ζωής για τους υπολογισμούς των οικονομικών παραμέτρων. Πλέον, τα έτη ζωής γίνονται 12 και για τα δύο λεωφορεία και για τις τρεις διαδρομές που ακολουθούν. Τα λεωφορεία συνεχίζουν να εκτελούν τις ίδιες διαδρομές για επιπλέον 4 χρόνια. Επιπλέον, εφόσον αυξάνονται τα χρήσιμα χρόνια ζωής ως επι το πλείστον, αυξάνεται και η ανάγκη για αντικατάσταση των μπαταριών των ηλεκτρικών λεωφορείων.

1η Διαδρομή : Ρέθυμνο-Λούτρα.

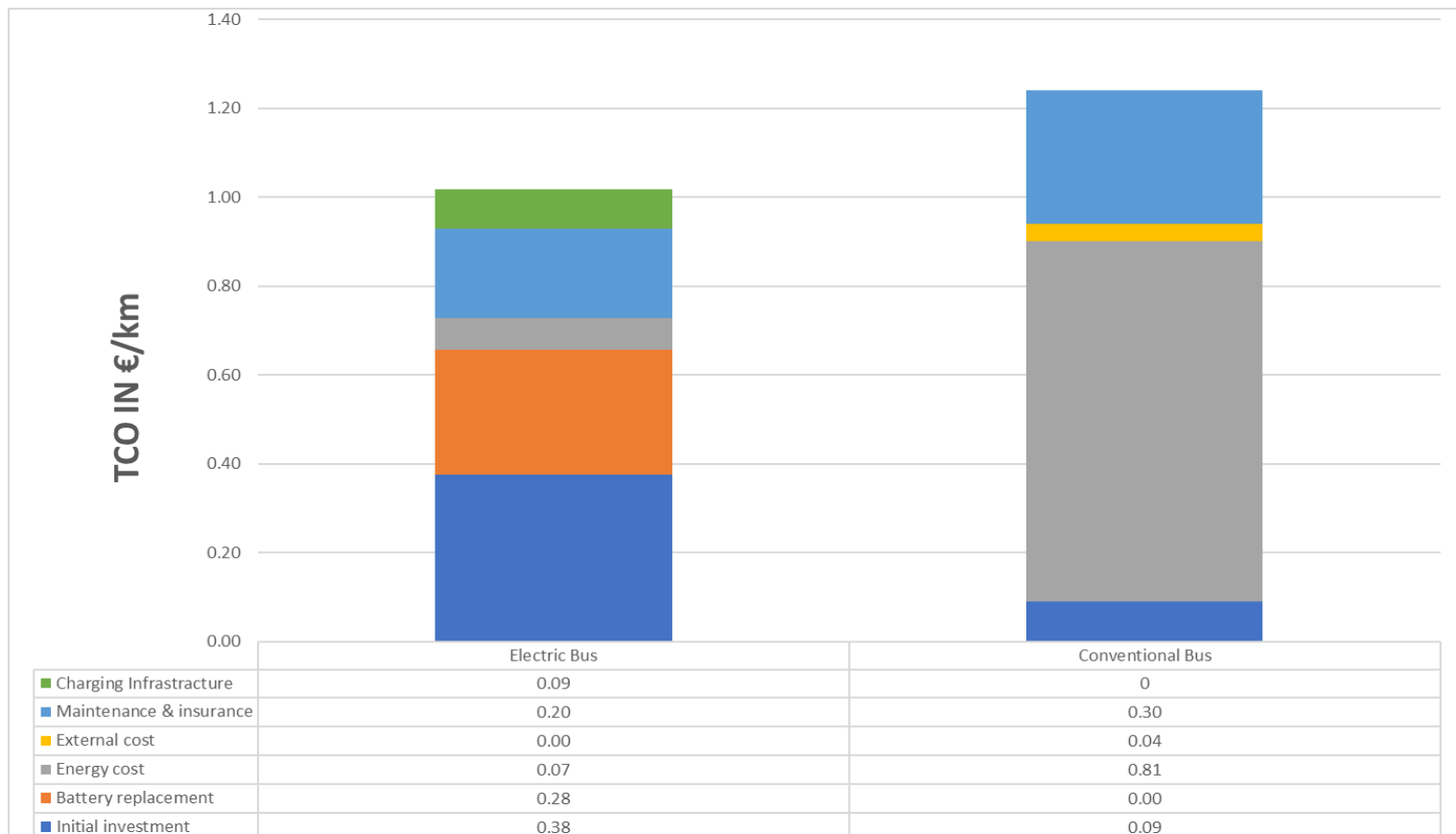
Διάγραμμα 4.16 Γράφημα στηλών Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας δεύτερου σεναρίου πρώτης διαδρομής



Για το διάγραμμα 4.16 το Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας ανέρχεται στα 1,10 €/km για το ηλεκτρικό λεωφορείο ενώ για το συμβατικό 1,25 €/km. Η περίοδος αποπληρωμής είναι 5,6 έτη για το ηλεκτρικό λεωφορείο ενώ για το συμβατικό 1,8 έτη.

➤ **2η Διαδρομή: Περιβόλια- Πανεπιστήμιο Γάλλου**

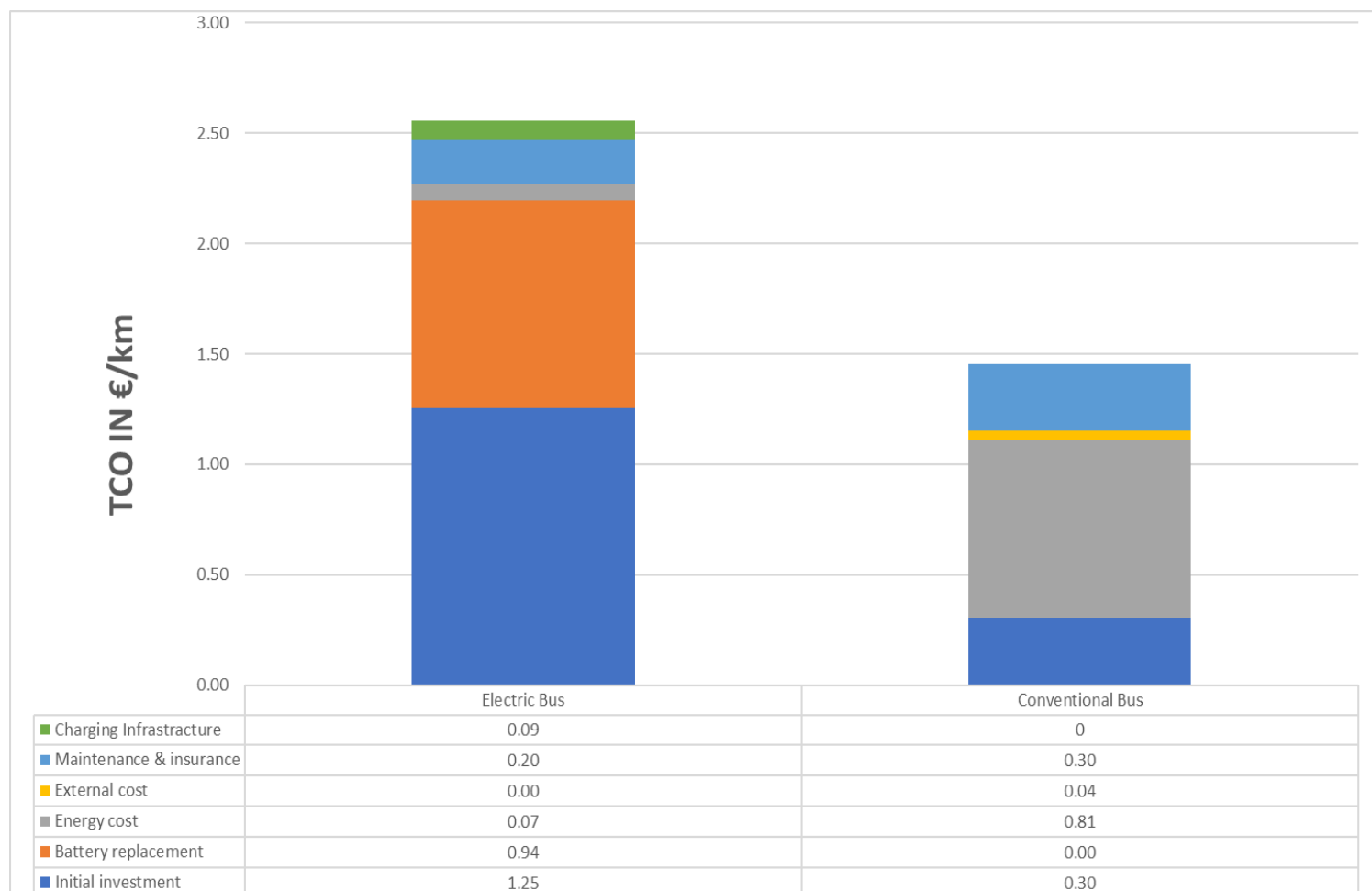
Διάγραμμα 4.17 Γράφημα στηλών Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας δεύτερου σεναρίου δεύτερης διαδρομής



Για το διάγραμμα 4.17 το Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας ανέρχεται στα 1,02 €/km για το ηλεκτρικό λεωφορείο ενώ για το συμβατικό 1,24 €/km. Η περίοδος αποπληρωμής είναι 5,5 έτη για το ηλεκτρικό λεωφορείο ενώ για το συμβατικό παραμένουν 2 έτη.

➤ **3η Διαδρομή: Palm Beach- Όλη η παραλιακή του Ρεθύμνου και πίσω στην αφετηρία.**

Διάγραμμα 4.18 Γράφημα στηλών Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας δεύτερου σεναρίου τρίτης διαδρομής



Για το διάγραμμα 4.18 το Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας ανέρχεται στα 2,56 €/km για το ηλεκτρικό λεωφορείο ενώ για το συμβατικό 1,45 €/km. Η περίοδος αποπληρωμής είναι 9,2 έτη για το ηλεκτρικό λεωφορείο ενώ για το συμβατικό παραμένουν 1,4 έτη.

Στο παρών σενάριο συμπερασματικά, βλέπουμε πιο εύκολα την επιρροή των χρησιμων χρόνων ζωής στο κόστος ιδιοκτησίας των λεωφορείων. Πιο συγκεκριμένα, αυτή τη φορά το κόστος ιδιοκτησίας του συμβατικού λεωφορείου είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του ηλεκτρικού στις δύο πρώτες διαδρομές. Αυτή η ενδιαφέρων διαφοροποίηση του πρώτου και του δεύτερου σεναρίου, έγκειται στο γεγονός της γρηγορότερης αποπληρωμής του συνολικού κεφαλαίου επένδυσης. Έτσι, αφού γίνει αποπληρωμή του μεγάλου κεφαλαίου για την αγορά του ηλεκτρικού, τα κόστη για τη λειτουργία του είναι πολύ μικρότερα από τα κόστη για τη λειτουργία του συμβατικού. Στη Τρίτη διαδρομή το ΚΣΙ του ΗΛΣ μικραίνει αλλά είναι και πάλι υψηλότερο του συμβατικού. Το γεγονός αυτό

οφείλεται στα κατά πολύ λιγότερα km που καταγράφουν τα λεωφορεία για τη διαδρομή αυτή καθώς και στο τετραπλάσιο αρχικό κόστος επένδυσης για την αγορά του ηλεκτρικού λεωφορείου σε σχέση με το συμβατικό. Μια παράμετρος που αξίζει να σχολιαστεί κυρίως στη Τρίτη διαδρομή είναι το κόστος για την αλλαγή συσσωρευτών. Το ηλεκτρικό λεωφορείο εκτελεί αρκετά λιγότερα km το χρόνο σε σχέση με τα άλλα δρομολόγια. Οι συσσωρευτές όμως απαιτούν καθημερινή φόρτιση, ασχέτως αν αποφορτίζονται εντελώς. Με αυτό το τρόπο εξαντλείται η επίδοσή τους και χρειάζονται αλλαγή. Έτσι αν υποθέσουμε ότι κατά ελάχιστα, κάθε μέρα γίνεται ένας κύκλος φόρτισης/αποφόρτισης, στο τέλος του χρόνου θα έχουν γίνει 365 κύκλοι. Έτσι, όταν φτάσει στα τέσσερα χρόνια λειτουργίας και εκτέλεσης της διαδρομής αυτής θα έχει ξεπεράσει τους 1500 κύκλους, άρα θα χρειαστεί αλλαγή στο συσσωρευτή. Συνεπώς, στα 12 χρόνια λειτουργίας θα χρειαστεί 3 συσσωρευτές που αυξάνουν το ΣΚΙ του λεωφορείου.

Παρατηρείται λοιπόν και η μείωση στα έτη αποπληρωμής των κεφαλαίων επένδυσης για το ηλεκτρικό λεωφορείο με την αλλαγή του πλάνου εκμετάλλευσης των λεωφορείων. Η συνεισφορά των αλλαγών των μπαταριών του ηλεκτρικού λεωφορείου μειώνεται παρόλο που αυξάνεται ο αριθμός των μπαταριών λόγω αύξησης των συνολικών εκτελούμενων χιλιομέτρων. Αυτό οφείλεται, στην αύξηση των χρήσιμων χρόνων ζωής που έγιναν συνολικά 12.

Οι παραπάνω διαφορές μπορούν να γίνουν πιο εύκολα αντιληπτές κοιτάζοντας τους συγκεντρωτικούς Πίνακες που ακολουθούν. Ο Πίνακας 4.10 αποτυπώνει τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας-Σ.Κ.Ι. (TCO). Τέλος, στον Πίνακα 4.11 περιέχονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της περιόδου αποπληρωμής για όλα τα σενάρια των δύο λεωφορείων.

Βάση των πινάκων παρατηρείται το εξής ενδιαφέρον γεγονός. Όταν ο ορίζοντας εκμετάλλευσης του ηλεκτρικού λεωφορείου είναι 8 έτη, δηλαδή τα χρήσιμα έτη ζωής του, παρατηρείται η μεγάλη αύξηση στα έτη αποπληρωμής της επένδυσης αγοράς του στη Τρίτη διαδρομή. Ο συνδυασμός του μεγάλου κεφαλαίου που απαιτείται για την αγορά του ΗΛΣ, το μεγάλο κόστος για τη αγορά των μπαταριών αντικατάστασης, τα συγκριτικά λιγότερα με τις άλλες διαδρομές χιλιόμετρα που εκτελεί ετησίως αποφέρουν τον αυξημένο αριθμό ετών για τη αποπληρωμή του κεφαλαίου επένδυσης.

Βάση των παραπάνω προκύπτουν ενδιαφέρον συμπεράσματα για το τρόπο επένδυσης και εκμετάλλευσης των λεωφορείων. Επίσης, τα παραπάνω ενδιαφέροντα αποτελέσματα μπορούν να φανούν χρήσιμα της δημιουργία οικονομικού πλάνου και να αλλάξουν τα δρώμενα αφού στις πλείστες των περιπτώσεων παρατηρείται μείωση του οικονομικού χάσματος μεταξύ ηλεκτρικών και συμβατικών λεωφορείων και σε ορισμένες περιπτώσεις φαίνεται η επένδυση για την ένταξη των ηλεκτρικών λεωφορείων να είναι άκρως συμφέρουσα υπό προϋποθέσεις.

Πίνακας 4:10 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Συνολικού Κόστους Ιδιοκτησίας και για τα δύο σενάρια.

Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας (€/km)						
			Σενάρια Χρόνων Ζωής			
			8 Έτη		12 Έτη	
Διαδρομή	Δρομολόγια/ Εβδομάδα	Τιμή Εισιτηρίου (€)	Ηλεκτρικό Λεωφορείο	Συμβατικό Λεωφορείο	Ηλεκτρικό Λεωφορείο	Συμβατικό Λεωφορείο
1	64	1.30	1.33	1.30	1.10	1.25
2	107	0.80	1.26	1.29	1.02	1.24
3	37	1.00	2.58	1.60	2.56	1.45

Πίνακας 4:11 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Περιόδου Αποπληρωμής και για τα δύο σενάρια.

Περίοδος Αποπληρωμής (Έτη)						
			Σενάρια Χρόνων Ζωής			
			8 Έτη		12 Έτη	
Διαδρομή	Δρομολόγια/ Εβδομάδα	Τιμή Εισιτηρίου (€)	Ηλεκτρικό Λεωφορείο	Συμβατικό Λεωφορείο	Ηλεκτρικό Λεωφορείο	Συμβατικό Λεωφορείο
1	64	1.30	7.6	1.9	5.6	1.8
2	107	0.80	7.8	2.2	5.5	2.0
3	37	1.00	9.4	1.5	9.2	1.4

Για τους παραπάνω Πίνακες: ΕΞΔ= Εξωτερικές Δαπάνες, Δ/Υ= Δεν Υπάρχουν

Κεφάλαιο 5 : Συζήτηση-Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, σε ότι έχει να κάνει με την ΑΚΖ του ηλεκτρικού και του συμβατικού λεωφορείου, τα περιβαλλοντικά φορτία που αντιστοιχούν τόσο στη συναρμολόγηση όσο και στη χρήση του ΗΛΣ είναι αρκετά μικρότερα απ' αυτά του συμβατικού. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο και κύριο σενάριο υποθέσεων, για το σύνολο των κύκλων ζωής τους παρατηρείται ότι, το ηλεκτρικό λεωφορείο είναι καλύτερο του συμβατικού, μάλιστα με ποσοστό μεγαλύτερο του 10% σε σχέση με τα περιβαλλοντικά φορτία που τους αντιστοιχούν. Από τους παρακάτω πίνακες, αυτό το γεγονός γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτό. Συγκεκριμένα από το Πίνακα 5.1 που αναγράφονται τα αποτελέσματα για όλα τα σενάρια, εύκολα εξάγεται το συμπέρασμα ότι στα δύο πρώτα σενάρια, το περιβαλλοντικό φορτίο του ηλεκτρικού λεωφορείου είναι αρκετά μικρότερο από το αντίστοιχο του συμβατικού. Επιπροσθέτως, τα περιβαλλοντικά φορτία που αντιστοιχούν σε κάθε επιβάτη που εκτελεί ένα km μεταφερόμενος από τα λεωφορεία, είναι μικρότερα για το συμβατικό, παρά τη διαφορά που παρατηρείται στα συνολικά φορτία για το σύνολο της ζωής τους. Αυτό οφείλεται στην ικανότητα του συμβατικού λεωφορείου να μεταφέρει ένα άτομο παραπάνω σε σχέση με το ηλεκτρικό λεωφορείο σε κάθε διαδρομή.

Στα υπόλοιπα σενάρια, τα συνολικά φορτία επιρροής του ηλεκτρικού λεωφορείου είναι μεγαλύτερα από αυτά του συμβατικού, το ίδιο για τα συνολικά φορτία ανά επιβάτη/ km.

Στο τελευταίο σενάριο, αλλάζοντας τη διαδρομή που εκτελούν τα δύο λεωφορεία και μειώνοντας ουσιαστικά τα χιλιόμετρα που καταγράφουν ετησίως με συνολικά 12 χρόνια ζωής υπάρχει η επικράτηση του συμβατικού λεωφορείου. Στο σύνολο των χρόνων ζωής τους, τα περιβαλλοντικά φορτία που αντιστοιχούν στο συμβατικό λεωφορείο είναι μικρότερα απ' αυτά που αντιστοιχούν στο ηλεκτρικό. Σε αυτό το σενάριο σύγκρισης, αποτυπώνεται μια καλύτερη περιβαλλοντική σύγκριση των λεωφορείων. Εύκολα παρατηρείται ότι το ηλεκτρικό λεωφορείο σε αυτή τη περίπτωση υστερεί στη διαδικασία συναρμολόγησης του. Το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό φορτίο αντιστοιχεί στη συναρμολόγηση του. Αντιθέτως, το καύσιμο που χρησιμοποιεί για τη κίνηση του, ο ηλεκτρισμός έχει αρκετά μικρή συνεισφορά στο κύκλο ζωής του. Το καύσιμο Diesel συνεισφέρει με φορτίο 31.500 Pt έναντι του συνολικού φορτίου για όλο το κύκλο ζωής του ΣΛΕΚ που είναι 64.400 Pt. Στην αντίπερα όχθη, ο ηλεκτρισμός συνεισφέρει με 14.600 Pt από τα συνολικά 81.200Pt που αντιστοιχούν στο κύκλο ζωής του ΗΛΣ. Αποτυπώνεται με αυτό το τρόπο η διαφορά στη ποιότητα του καυσίμου όσον αφορά τη περιβαλλοντική τους επίδραση.

Διάγραμμα 5.1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα όλων των σεναρίων για την ΑΚΖ.

	Βασικό Σενάριο			Χωρητικότη ητα Επιβατών 60%	Χωρητικότη τα Επιβατών 100%	Αύξηση κατανάλωσης 10%			Λιγότερα km & 12 χρόνια ζωής και για τα δύο λεωφορεία		
Παράγοντας Επιρροής	Συνολικό Φορτίο Επιρροής (Pt)	Φορτίο Επιρροής/ Επιβάτη* Χιλιόμετρο (Pt)	Φορτίο Επιρροής/ Χιλιόμετρο (Pt)	Φορτίο Επιρροής/ Επιβάτη* Χιλιόμετρο (Pt)	Φορτίο Επιρροής/ Επιβάτη* Χιλιόμετρο (Pt)	Συνολικό Φορτίο Επιρροής (Pt)	Φορτίο Επιρροής/ Επιβάτη* Χιλιόμετρο (Pt)	Φορτίο Επιρροής/ Χιλιόμετρο (Pt)	Συνολικό Φορτίο Επιρροής (Pt)	Φορτίο Επιρροής/ Επιβάτη* Χιλιόμετρο (Pt)	Φορτίο Επιρροής/ Χιλιόμετρο (Pt)
Κύκλος Ζωής Ηλεκτρικού Λεωφορείου	174.000	6.2E-08	0.16	8.1E-08	4.9E-08	178.000	6.4E-08	0.16	81.200	1.5E-07	0.38
Λειτουργία	76.212	2.7E-08	0.09	3.6E-08	2.2E-08	82.400	2.9E-08	0.09	14.600	2.7E-08	0.31
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	97.788	3.5E-08	0.03	4.6E-08	2.8E-08	96.100	3.4E-08	0.03	66.600	1.2E-07	0.01
Συναρμολόγηση Εξωτερικού Κελύφους	29.928	1.1E-08	0.06	1.4E-08	8.5E-09	29.400	1.1E-08	0.06	2.280	4.2E-09	0.17
Συναρμολόγηση Μονάδας Κίνησης	67.860	2.4E-08	0.05	3.2E-08	1.9E-08	66.700	2.4E-08	0.05	37.300	6.8E-08	0.14
Μπαταρία Ιόντων-Li	59.856	2.1E-08	0.07	2.8E-08	1.7E-08	58.800	2.1E-08	0.07	29.400	5.4E-08	0.07
Κύκλος Ζωής Συμβατικού Λεωφορείου	195.000	4.0E-08	0.13	5.3E-08	3.1E-08	211.000	4.4E-08	0.14	64.400	6.8E-08	0.30
Λειτουργία	162.045	3.3E-08	0.11	4.4E-08	2.6E-08	178.000	3.7E-08	0.12	31.500	3.3E-08	0.15
Συναρμολόγηση Λεωφορείου	32.955	6.8E-09	0.02	9.0E-09	5.3E-09	33.000	6.8E-09	0.02	33.000	3.5E-08	0.15

Σε όλα τα σενάρια που μελετήθηκαν η κατασκευή της μπαταρίας ιόντων-Li έχει αρκετά μεγάλα φορτία. Στο πρώτο σενάριο η συναρμολόγηση της μπαταρίας του ηλεκτρικού λεωφορείου έχει ποσοστό συνεισφοράς στο συνολικό φορτίο 34,4% και 59.856 Pt. Στο δεύτερο σενάριο η συνεισφορά είναι 33% με 58.800 Pt και στο τρίτο 36,2% με 29.400 Pt όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Η κατασκευή της κάθε μπαταρίας επιδρά αρνητικά στο περιβαλλοντικό αντίκτυπο που έχουν τα ηλεκτρικά λεωφορεία. Στο σύνολο ζωής τους τα ηλεκτρικά λεωφορεία συνήθως κάνουν χρήση δύο μπαταριών τέτοιας τεχνολογίας. Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας, όπως έχει γίνει γνωστό στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας, η συχνότητα αλλαγής των μπαταριών υπολογίστηκε διαφορετικά και συγκεκριμένα με βάση την εγγύηση των κατασκευαστών των μπαταριών και το εύρος των χιλιομέτρων που μπορούν να καλύψουν προτού χρειαστούν αντικατάσταση. Με το τρόπο αυτό οι αλλαγές στις μπαταρίες για το ηλεκτρικό λεωφορείο είναι πιο συχνές όπως και η αύξηση του περιβαλλοντικού φορτίου τους και κατά συνέπεια του ηλεκτρικού λεωφορείου που εξετάζεται. Το συγκεκριμένο εγχείρημα αποτυπώνεται και στα διαγράμματα ροής των περιβαλλοντικών φορτίων που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων.

Επίσης, στα διαγράμματα χαρακτηρισμού σύγκρισης των δύο λεωφορείων όπως παρουσιάστηκαν προηγουμένως παρατηρείται μια ενδιαφέρουσα διαφοροποίηση σε σχέση με την έως τώρα εμπειρία από τη βιβλιογραφία. Στο πρώτο και βασικό

σενάριο και πιο συγκεκριμένα στο διάγραμμα χαρακτηρισμού 4.11 παρατηρείται, η ποσοστιαία επικράτηση του ηλεκτρικού λεωφορείου έναντι του συμβατικού, σε κάποιες κατηγορίες επίδρασης που δεν αναμενόταν με βάση τη βιβλιογραφία και τις μέχρι τώρα μελέτες για ΑΚΖ ηλεκτρικών λεωφορείων. Με βάση το διάγραμμα, το ηλεκτρικό λεωφορείο συνεισφέρει ποσοστιαία στις παρακάτω κατηγορίες επιρροής:

1. Κλιματική αλλαγή- Ανθρώπινη Υγεία (Climate Change-Human Health)
2. Ανθρώπινη τοξικότητα (Human toxicity)
3. Δημιουργία αιωρούμενων σωματιδίων (Particulate matter formation)
4. Κλιματική αλλαγή- Οικοσύστημα (Climate change- Ecosystem)
5. Επίγεια όξυνση (Terrestrial Acidification)
6. Επίγεια οικοτοξικότητα (Terrestrial Ecotoxicity)
7. Οικοτοξικότητα γλυκού νερού (Freshwater ecotoxicity)
8. Θαλάσσια οικοτοξικότητα (Marine ecotoxicity)
9. Γεωργική χρήση γης (Agricultural land occupation)
10. Εξάντληση μετάλλων (Metal depletion)

Βάσει της βιβλιογραφίας, κατηγορίες όπως κλιματική αλλαγή, σχηματισμός αιωρούμενων σωματιδίων και οικοτοξικότητα νερού επηρεάζονται θετικά από τη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων. Η συνεισφορά του συμβατικού λεωφορείου σε αυτές τις κατηγορίες θα αναμενόταν να είναι μεγαλύτερη. Παρ' όλα αυτά ο αυξημένος αριθμός των μπαταριών που χρησιμοποιούνται επιδρούν αρνητικά και προκύπτουν τα συγκεκριμένα αποτελέσματα. Βάση των παραπάνω γίνεται αντιληπτό πως η ανάγκη για διερεύνηση εναλλακτικών τρόπων παραγωγής μπαταριών που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά οχήματα, γίνεται επιτακτική.

Διάγραμμα 5.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα όλων των σεναρίων για ΣΚΙ και ΠΑ.

		Συνολικό Κόστος Ιδιοκτησίας (€/km)				Περίοδος Αποπληρωμής (Έτη)			
		Σενάρια Χρόνων Ζωής				Σενάρια Χρόνων Ζωής			
		1 ^ο Σενάριο		2 ^ο Σενάριο		1 ^ο Σενάριο		2 ^ο Σενάριο	
Διαδρομή	Km/έτος	Ηλεκτρικό Λεωφορείο	Συμβατικό Λεωφορείο	Ηλεκτρικό Λεωφορείο	Συμβατικό Λεωφορείο	Ηλεκτρικό Λεωφορείο	Συμβατικό Λεωφορείο	Ηλεκτρικό Λεωφορείο	Συμβατικό Λεωφορείο
1 ^η	82.534	1.33	1.30	1.10	1.25	3.89	1.53	3.86	1.53
2 ^η	92.169	1.26	1.29	1.02	1.24	3.97	1.70	3.93	1.70
3 ^η	27.586	2.58	1.60	2.56	1.45	8.00	2.42	7.67	2.53

Σε ότι αφορά το οικονομικό σκέλος της διπλωματικής εργασίας, μέσω του παραπάνω συγκεντρωτικού πίνακα, παρατηρούνται κάποια πολύ ενδιαφέροντα αποτελέσματα.

Η δεύτερη διαδρομή καταγράφει τα πιο πολλά χιλιόμετρα, εξυπηρετεί τα δρομολόγια προς το Πανεπιστήμιο και είναι αυτή που έχει επιλεγεί για να εκτελούν τα λεωφορεία στην ΑΚΖ.

Ενδιαφέρον παρουσιάζεται στην μείωση της διαφοράς των δύο λεωφορείων σε ότι αφορά το κόστος που καταγράφουν ανά km. Πλέον, τα ηλεκτρικά λεωφορεία και γενικά τα ηλεκτρικά οχήματα γίνονται πιο ελκυστικά σε ότι αφορά τη τιμή τους. Η διαφορά με τα συμβατικά λεωφορεία κυμαίνεται κοντά 0,03 €/km για τη πρώτη διαδρομή και τη δεύτερη, με τη διαφορά πως στη πρώτη το ΣΚΙ του ΗΛΣ είναι μεγαλύτερο από του ΣΛΕΚ, ενώ στη δεύτερη το ηλεκτρικό λεωφορείο έχει μικρότερο κόστος /km. Για τη τρίτη διαδρομή καταγράφεται η μεγαλύτερη διαφορά στο ΣΚΙ των λεωφορείων. Τα χιλιόμετρα που εκτελεί στα 8 χρόνια είναι πολύ λίγα, μιας και η διαδρομή αυτή είναι εποχιακή λόγω τουρισμού το καλοκαίρι και το χειμώνα εξυπηρετεί πολύ λιγότερα δρομολόγια. Αλλάζοντας τα χρήσιμα χρόνια ζωής σε 12, και για τα δύο λεωφορεία παρατηρείται κάτι πολύ ενδιαφέρον. Η αλλαγή αυτή, εξηγείται ως εξής. Τα δύο λεωφορεία θα μπορούν να εκτελούν τα δρομολόγια για 12 συνεχόμενα χρόνια χωρίς φραγμό στα χιλιόμετρα. Άρα, για τη πρώτη διαδρομή τα χιλιόμετρα που θα καταγράφει το λεωφορείο θα είναι αρκετά περισσότερα σε σχέση με το πρώτο σενάριο. Έτσι, σε αυτή τη περίπτωση και οι τρεις διαδρομές μειώνεται το ΣΚΙ και των δύο λεωφορείων. Η πρώτη και η δεύτερη διαδρομή καταγράφουν ΣΚΙ για το ηλεκτρικό λεωφορείο που είναι μικρότερο από το συμβατικό. Συνεπώς, εκτός της τρίτης διαδρομής το ΣΚΙ του συμβατικού λεωφορείου είναι μεγαλύτερο απ' αυτό του ηλεκτρικού. Αυτό συμβαίνει διότι, αν εξαιρεθεί το μεγάλο αρχικό κόστος επένδυσης του ηλεκτρικού λεωφορείου και το μεγάλο κόστος των μπαταριών, το ΣΛΕΚ έχει μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας και συντήρησής. Συνεπώς, από τη στιγμή που το ηλεκτρικό λεωφορείο κάνει αποπληρωμή της επένδυσης του, μέσω των εισπράξεων των εισιτηρίων, το κόστος λειτουργίας είναι αρκετά μικρό. Η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία του καθώς και η συντήρηση του είναι αρκετά χαμηλές και μικρότερες από τη χρέωση του Diesel και τη συντήρηση του συμβατικού λεωφορείου. Έτσι και στο δεύτερο σενάριο η δεύτερη διαδρομή καταγράφει τα μικρότερα κόστη ιδιοκτησίας για το ηλεκτρικό λεωφορείο, ενώ η τρίτη διαδρομή φαίνεται να είναι η πιο κοστοβόρα .

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα για τη ΠΑ σε έτη από το Πίνακα 5.2, το συμβατικό λεωφορείο κάνει απόσβεση των χρημάτων που επενδύθηκαν σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα ιδιαίτερα για το δεύτερο σενάριο χρόνων ζωής. Ειδικά για τη Τρίτη διαδρομή παρατηρείται το εξής ενδιαφέρον. Όταν αλλάζουν τα χρήσιμα χρόνια ζωής και αυξάνονται σε 12, τα λεωφορεία δεν μειώνουν επαρκώς τα έτη αποπληρωμής όπως γίνεται στις πρώτες δύο περιπτώσεις. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ακόμα και αν το ΗΛΣ δουλέψει επιπλέον τέσσερα χρόνια στην ίδια διαδρομή, θα κάνει μόνο 2,5 μήνες λιγότερους να αποπληρώσει το κεφάλαιο που επενδύθηκε για την αγορά του. Αυτό συμβαίνει λόγω των παραμενόντων αναγκών για αλλαγές του συσσωρευτή, γεγονός που αυξάνει κατά πολύ το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας του.

Στις δύο πρώτες διαδρομές προς Λούτρα και Πανεπιστήμιο, το ΗΛΣ έχει μικρότερο ΣΚΙ από το ΣΛΕΚ, αλλά παρόλα αυτά η αποπληρωμή της επένδυσης του γίνεται με πιο αργούς ρυθμούς. Αυτό το γεγονός οφείλεται στο μεγάλο κόστος επένδυσης για

την αγορά του ηλεκτρικού λεωφορείου έναντι του συμβατικού που είναι τέσσερις φορές μικρότερο.

Συνοψίζοντας, βάση των αποτελεσμάτων της AKZ και της οικονομικής ανάλυσης των λεωφορείων, υπολογίζοντας το ΣΚΙ και τη ΠΑ των λεωφορείων, η επένδυση για την αγορά ενός ηλεκτρικού λεωφορείου και την αντικατάσταση ενός αντίστοιχου συμβατικού, θεωρείται βιώσιμη λύση. Συγκριτικά με το συμβατικό, τα περιβαλλοντικά φορτία που αντιστοιχούν στο ηλεκτρικό λεωφορείο είναι αρκετά μικρότερα, σε ποσοστό που ξεπερνάει το 10% για το σύνολο των χρόνων ζωής τους. Όπως παρατηρείται στο κύριο σενάριο, τα περιβαλλοντικά φορτία που αντιστοιχούν σε κάθε επιβάτη που εκτελεί ένα km με ηλεκτρικό λεωφορείο είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα για το συμβατικό. Αλλάζοντας την κατανάλωση των λεωφορείων σε μια προσπάθεια προσαρμογής των συνθηκών στη πραγματικότητα, τα αποτελέσματα είναι εξίσου ενθαρρυντικά για το ηλεκτρικό λεωφορείο. Όταν δε, μειώνουμε τα χιλιόμετρα που εκτελούν τα λεωφορεία και μειώνουμε τα χρόνια ζωής του συμβατικού, στο ηλεκτρικό λεωφορείο και στους επιβάτες που μεταφέρει, αντιστοιχούν μεγαλύτερα ποσοστά περιβαλλοντικών φορτίων, ενώ καταγράφεται η σημαντική επιρροή του καυσίμου Diesel στο κύκλο ζωής του συμβατικού. Η οικονομική διαφορά των δύο λεωφορείων μειώνεται όπως και το ΣΚΙ τους σε σχέση με το παρελθόν, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις το ΣΚΙ του συμβατικού είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο του ηλεκτρικού. Τα έτη αποπληρωμής είναι σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερα για το ηλεκτρικό με την αλλαγή των μπαταριών να είναι αυτή που θα πρέπει μονοπωλεί το ενδιαφέρον, για βελτίωση της τιμής της καθώς και των περιβαλλοντικών φορτίων που αντιστοιχούν για τη παραγωγή της.

Τέλος, από ένα συνδυασμό της οικονομικής μελέτης και της AKZ, η διαδρομή προς το Πανεπιστήμιο του Ρεθύμνου που καταγράφει τα περισσότερα χιλιόμετρα, φανερώνει το πλεονέκτημα που έχει το ΗΛΣ έναντι του ΣΛΕΚ σε μακροχρόνια χρήση και μεγάλες διαδρομές. Όταν η εκμετάλλευση του σχεδιάζεται σε μεγάλος βάθος χρόνου όπως τα 12 χρόνια, το ηλεκτρικό λεωφορείο έχει διαφορά >10% στα περιβαλλοντικά φορτία έναντι του συμβατικού, ενώ το ΣΚΙ του καταγράφεται το μεγαλύτερο οικονομικό όφελος. Όταν δε, τα χιλιόμετρα και οι διαδρομές λιγοστεύουν όπως στη τρίτη, τα περιβαλλοντικά φορτία είναι μειωμένα και για τα δύο λεωφορεία, με το συμβατικό να του αντιστοιχούν λιγότερα. Γεγονός που φανερώνει, τις μεγάλες ποσότητες περιβαλλοντικών φορτίων που αντιστοιχούν στο ΗΛΣ κατά τη κατασκευή αυτού και των συσσωρευτών του, μιας και κατά τη λειτουργία του τα φορτία είναι πολύ μικρότερα κατά αντιστοιχία με το ΣΛΕΚ.

Κεφάλαιο 6 : Προτάσεις για το μέλλον

Τα ηλεκτρικά λεωφορεία τα τελευταία χρόνια παρουσιάζουν μεγάλη βελτίωση τόσο στον περιβαλλοντικό όσο και στον οικονομικό τομέα. Όπως παρουσιάστηκε παραπάνω το ηλεκτρικό λεωφορείο στις πλείστες των περιπτώσεων έχει καλύτερη περιβαλλοντική απόδοση από ένα αντίστοιχο συμβατικό. Ωστόσο, υπάρχουν τομείς που επιδέχονται βελτίωσης. Μέσα από τη διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε έχουν βρεθεί καίρια σημεία που θα μπορούσαν να απασχολήσουν την επιστημονική κοινότητα προκειμένου τα ηλεκτρικά λεωφορεία όχι μόνο να αποτελούν μια αξιόπιστη λύση στο τομέα των μεταφορών, αλλά να πρωταγωνιστούν και σταδιακά να γίνει πλήρως αντικατάσταση του στόλου των συμβατικών λεωφορείων.

Η μπαταρία ιόντων-Li αποτελεί ένα κομμάτι που κατά τη συναρμολόγηση του και τη χρήση του έχει μεγάλα περιβαλλοντικά φορτία. Η κάθε μπαταρία έχει υπολογίσιμο βάρος συνεισφέροντας αρνητικά στο συνολικό βάρος του οχήματος και κατά συνέπεια στην αυξημένη κατανάλωση του. Παρακάτω παρατίθενται συγκεκριμένες προτάσεις βελτίωσης των περιβαλλοντικών φορτίων που αντιστοιχούν στη μπαταρία αλλά και το λεωφορείο συνολικά:

1. Αύξηση των κύκλων ζωής των μπαταριών από περίπου 3.000 κύκλους σε 6.000 ή και περισσότερους.
2. Χρήση ανακυκλωμένων υλικών για τη κατασκευή της μπαταρίας και όχι χρήση νέων υλικών.
3. Αύξηση της απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα σε μεγαλύτερη από 80%.
4. Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενη από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Αυξάνοντας το κύκλο ζωής των μπαταριών θα μειώσει στο μισό τη ανάγκη για αντικατάσταση της μπαταρίας. Αυτό αναμένεται να μειώσει τη συνεισφορά του λεωφορείου στη παραγωγή αιρούμενων σωματιδίων, στη υπερθέρμανση του πλανήτη, την οικοτοξικότητα του νερού κ.α.

Με τη χρήση ανακυκλώσιμων υλικών για τη κατασκευή των μπαταριών θα μειωθεί η εξόρυξη πρώτων υλών και η εξάντληση ορυκτών πόρων. Μέχρι στιγμής για τη κατασκευή των μπαταριών χρησιμοποιούνται μικρές ποσότητες ανακυκλώσιμων υλικών καθιστώντας τη μπαταρία ανακυκλώσιμη σε ένα ποσοστό περίπου 40%. Με αυτό το τρόπο μειώνεται και η τιμή της μπαταρίας που συνεισφέρει αρνητικά σε μεγάλο βαθμό στη τιμή του ηλεκτρικού λεωφορείου.

Με μια αύξηση στην απόδοση του ηλεκτροκινητήρα αναμένεται να χαμηλώσουν αρκετά τα ποσοστά συνεισφορά του ηλεκτρικού λεωφορείου στην υπερθέρμανση του πλανήτη, δημιουργία αιωρούμενων και εξάντληση του όζοντος.

Όσο αφορά τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, θεωρείται ότι τα ηλεκτρικά λεωφορεία θα είναι τουλάχιστον 60% πιο καθαρά από τα συμβατικά αφού όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, η ποσοστιαία συνεισφορά του ηλεκτρισμού παραγόμενου με συμβατικούς τρόπους είναι περίπου 40% του συνολικού περιβαλλοντικού φορτίου του λεωφορείου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Gilbert et al, (2002). Environmentally sustainable transport: concept, goal and strategy—the OECD's EST Project*,” Proc. ICE - Transp., vol. 153, no. 4, pp. 219–226, 2002.
2. Βουγιουκλάκης Παναγιώτης ,(2012). Διπλωματική Εργασία με θέμα “Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο”.
3. Tagliaferri et al, (2016). Life cycle assessment of future electric and hybridvehicles: A cradle-to-grave systems engineering approach
4. MRCagney, (2017). ELECTRIC BUS TECHNOLOGY TRANSPORT RESEARCH REPORT.
5. Mahmoud, M., Garnett, R., Ferguson, M., & Kanaroglou, P. (2016). Electric buses: A review of alternative powertrains. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
6. E. A. M. Falcão et al,(2017). Analysis of CO2 emissions and techno-economic feasibility of an electric commercial vehicle,” Appl. Energy, vol. 193, pp. 297–307, 2017.
7. Επιτροπή μεταφορών της πόλης του Λονδίνου, 2016
8. Ou, X., Zhang, X., & Chang, S. (2010). Alternative fuel buses currently in use in China: Lifecycle fossil energy use, {GHG} emissions and policy recommendations. Energy Policy,
9. Mahmoud et al, (2016). Electric buses: A review of alternative powertrains. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 673–684.
10. Miles & Potter, 2014. Developing a viable electric bus service: The Milton Keynes demonstration project. Research in Transportation Economics
11. Mahmoud et al, (2016). Electric buses: A review of alternative powertrains
12. Clift 2000 et al, Clift et al, 2013
13. Baumann H, Tillman AM. The hitch Hiker's guide to LCA. An orientation in lifecycle. Lund: Jones and Bartlett publishers;
14. Elghali, L., Cowell, S.J., Begg, K.G., Clift, R., (2006). Special Issue Honouring Helias A. Udo de Haes: LCA and other assessment tools support for sustainable development policy decisions a case study from highway maintenance. Int. J. LifeCycle Assess.

15. Nuri Cihat Onat, 2014. Conventional, hybrid, plug-in hybrid or electric vehicles? State-based comparative carbon and energy footprint analysis in the United States.
16. Institute of Transport Economics, 2013. Emissions from Euro 6/VI vehicles. Test programme phase 2.
17. Fthenakis, V., & Kim, H. (2011). Solar Energy. Photovoltaics: Life-cycle analyses, pp. 1609-1628.
18. Γιδάρακος, Ε. (2005). Επικίνδυνα Απόβλητα Διαχείριση και Διάθεση. Ζηγός.
19. Fthenakis, (2012). Life Cycle Analysis of PV. Center of Life Cycle Analysis Earth & Environmental Engineering Department Columbia University and Brookhaven National Laboratory.
20. Κορωναίος, Χ. (2001). Ανάλυση Κύκλου Ζωής: Η ολοκληρωμένη Περιβαλλοντική Προσέγγιση στην ολοκληρωμένη Ανάπτυξη. ΕΜΠ.
21. Κορνελάκη, Ε. (2009). Ανάλυση Κύκλου Ζωής φωτοβολταϊκού συστήματος στην περιοχή της Κρήτης. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.
22. UNEP, (2011). Global Guidance Principles for life cycle assessment databases.
23. Πανταζή, Ε. (2014). Συγκριτική μελέτη μεθόδων εκτίμησης επιπτώσεων κύκλου ζωής. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.
24. PRé, & authors, v. (2014). SimaPro Database Manual Methods library.
25. Mikhail V. Chester, (2009). Comparison of life-cycle energy and emissions footprints of passenger transportation in metropolitan regions
26. Del Duce, Andrea, (2014). Electric passenger car transport and passenger car life cycle inventories in ecoinvent version 3.
27. International Association of Public Transport, (2017). A technical summary of Euro 6/VI vehicle emission standards.
28. International Council on Clean Transportation, (2018). Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions.

29. Aigars Laizāns, (2015). Economic Viability of Electric Public Busses: Regional Perspective
30. Cooney (2011). Life Cycle Assessment of Diesel and Electric Public Transportation Buses
31. Lisiana Nurhadi, (2014). A sensitivity analysis of total cost of ownership for electric public bus transport systems in Swedish medium sized cities.
32. European Parliament Regulation (EC) No 595/2009 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2009 on type-approval of motor vehicles and engines with respect to emissions from heavy duty vehicles (Euro VI) and on access to vehicle repair and maintenance information. OJ L 188, 2009; 52:1–13. Available from Internet: <http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/environment/eurovi/index_en.htm>. 10 March 2015.
33. Ernst, (2011). Battery sizing for serial plug-in hybrid electric vehicles: A Model-based economic analysis for Germany, Energy Policy 39(10): 5871–5882.
34. BloombergNEF, (2017). Economic Viability of Electric Public Busses: Regional Perspective.
35. Boya Zhou, (2016). Real-world performance of battery electric buses and their life-cycle benefits with respect to energy consumption and carbon dioxide emissions.
36. Buekers, (2014). Health and environmental benefits related to electric vehicle introduction in EU countries, Transportation Research Part D: Transport and Environment 33: 26–38.
37. Oscar Olsson, (2016). Method to analyze cost effectiveness of different electric bus systems.
38. Marianne Leuenberger, (2010). Life Cycle Assessment of Battery Electric Vehicles and Concept Cars

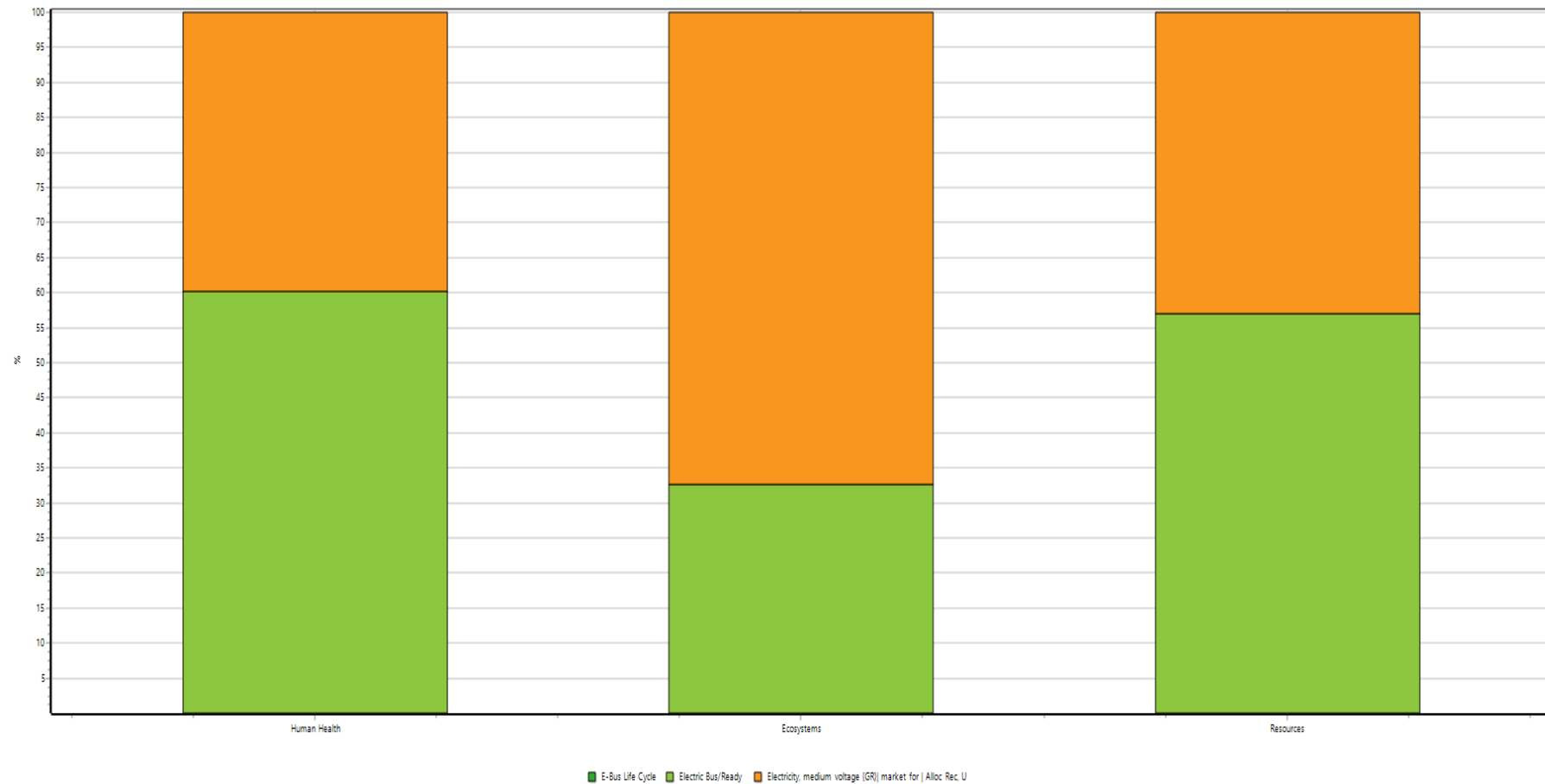
INTERNET SITES

1. *BMW Hellas* (no date). Available at: <https://www.bmw.gr/el/index.html> (Accessed: 19 September 2018).
2. Gilbert, R. *et al.* (2002) 'Environmentally sustainable transport: concept, goal and strategy—the OECD's EST Project*', *Proceedings of the ICE - Transport*, 153(4), pp. 219–226. doi: 10.1680/tran.2002.153.4.219.
3. *Sustainable Nano – a blog by the Center for Sustainable Nanotechnology* (no date). Available at: <http://sustainable-nano.com/> (Accessed: 19 September 2018).
4. Tagliaferri, C. *et al.* (2016) 'Life cycle assessment of future electric and hybrid vehicles: A cradle-to-grave systems engineering approach', *Chemical Engineering Research and Design*. Institution of Chemical Engineers, 112, pp. 298–309. doi: 10.1016/j.cherd.2016.07.003.
5. Wikipedia (2016) 'Lithium iron phosphate battery', *Wikipedia*, pp. 1–7. Available at: <https://lithiumwerks.com/> (Accessed: 19 September 2018).
6. *World Business Council For Sustainable Development (WBCSD)* (no date). Available at: <https://www.wbcsd.org/> (Accessed: 19 September 2018).
7. *ΔΕΗ Α.Ε.* (no date). Available at: <https://www.dei.gr/el> (Accessed: 19 September 2018).

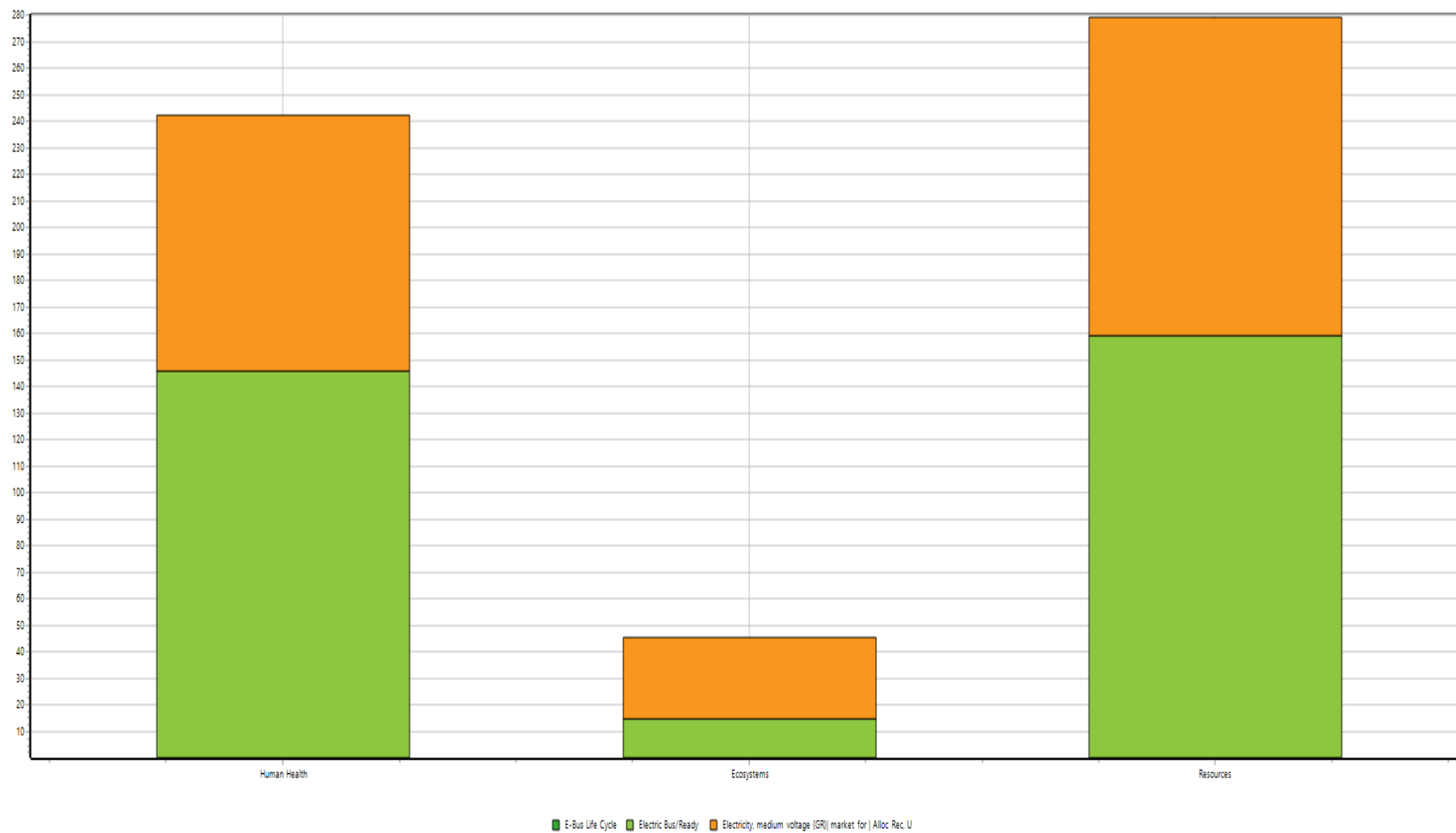
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παράρτημα 1 : Πίνακες αποτελεσμάτων SimaPro

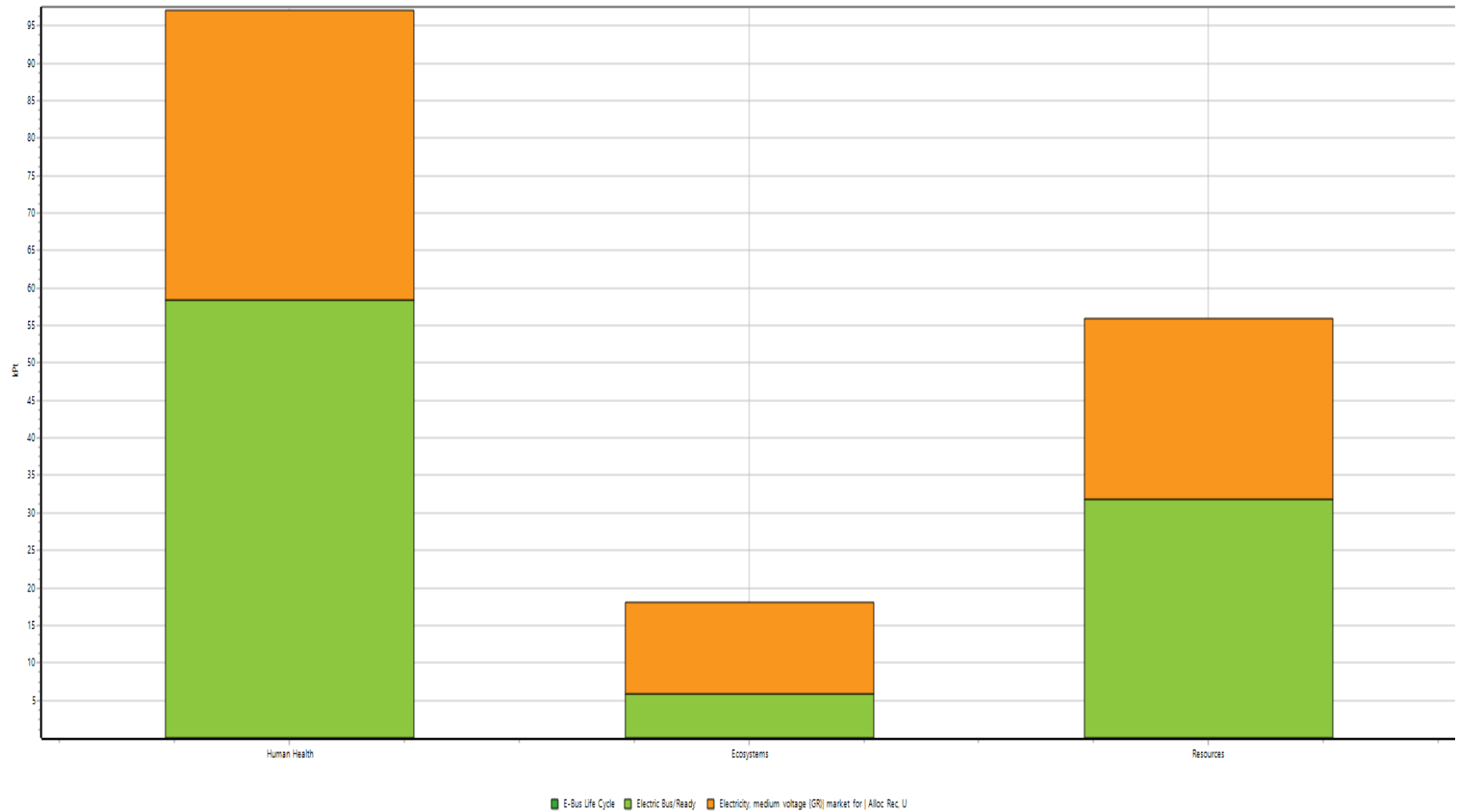
Διάγραμμα Π-1: Αποτίμησης βλάβης ηλεκτρικού λεωφορείου για το βασικό σενάριο.



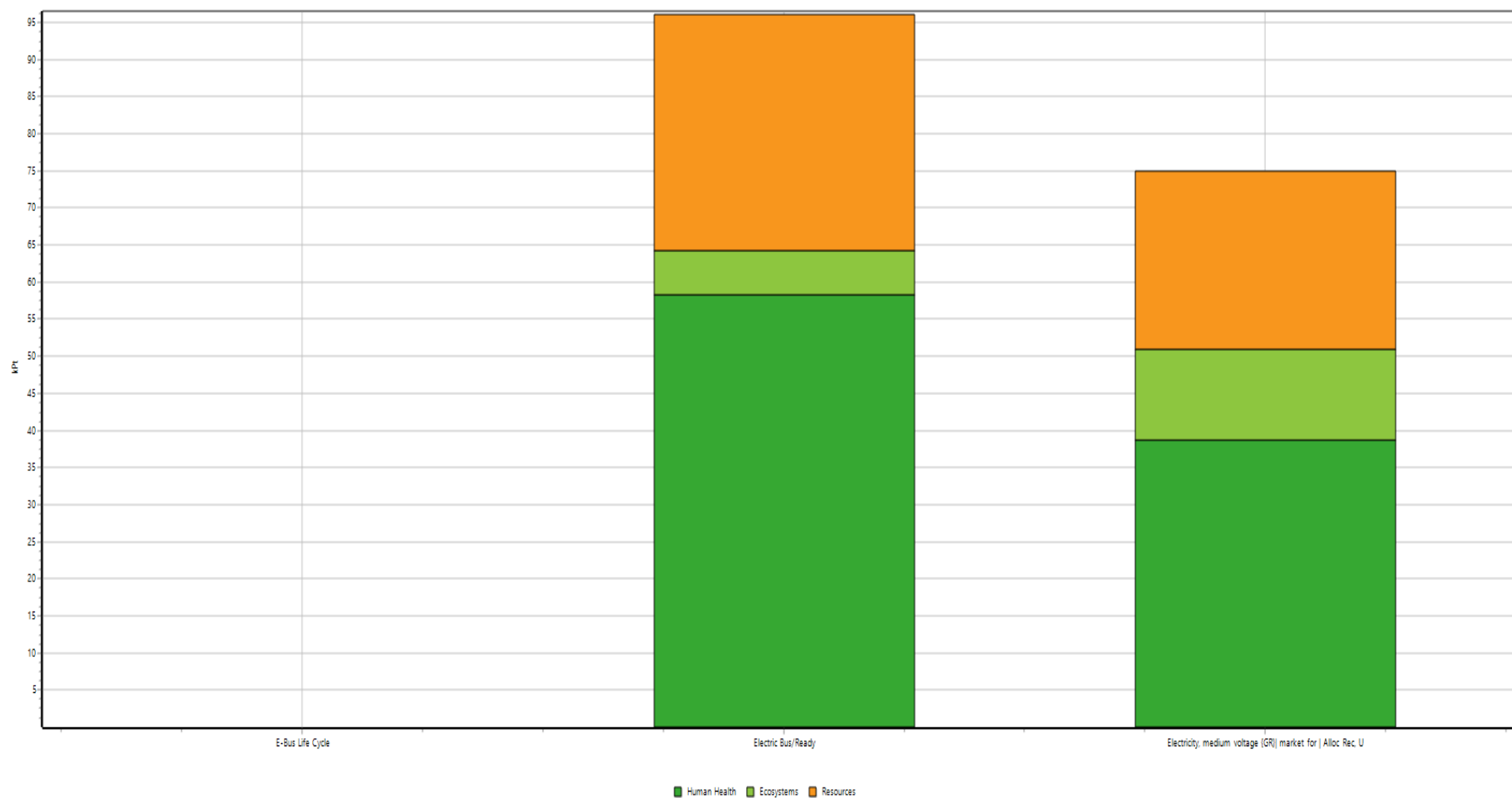
Διάγραμμα Π-2: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία ηλεκτρικού λεωφορείου για το βασικό σενάριο.



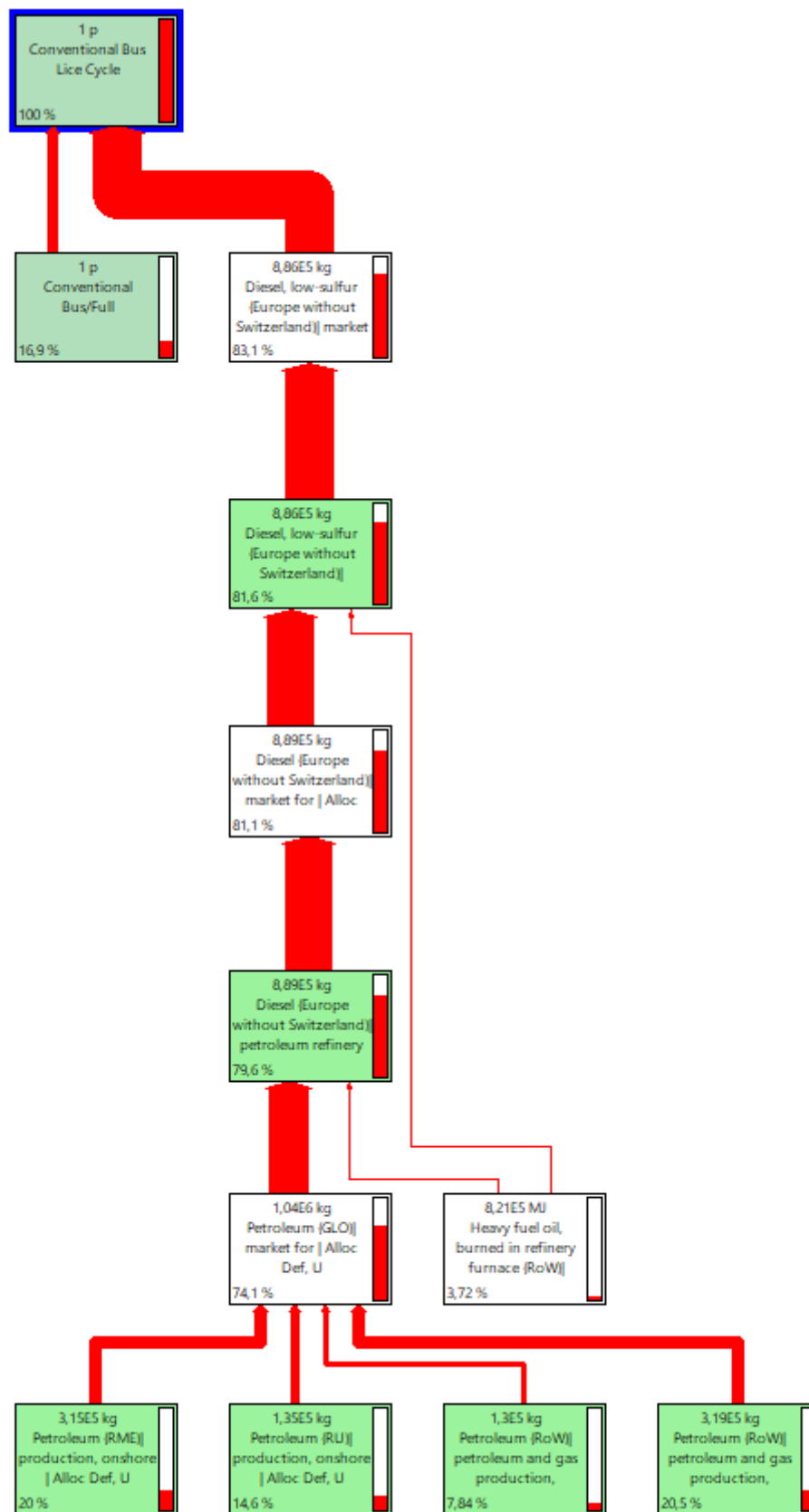
Διάγραμμα Π-3: Στάθμιση παραγόντων ηλεκτρικού λεωφορείου για το βασικό σενάριο.



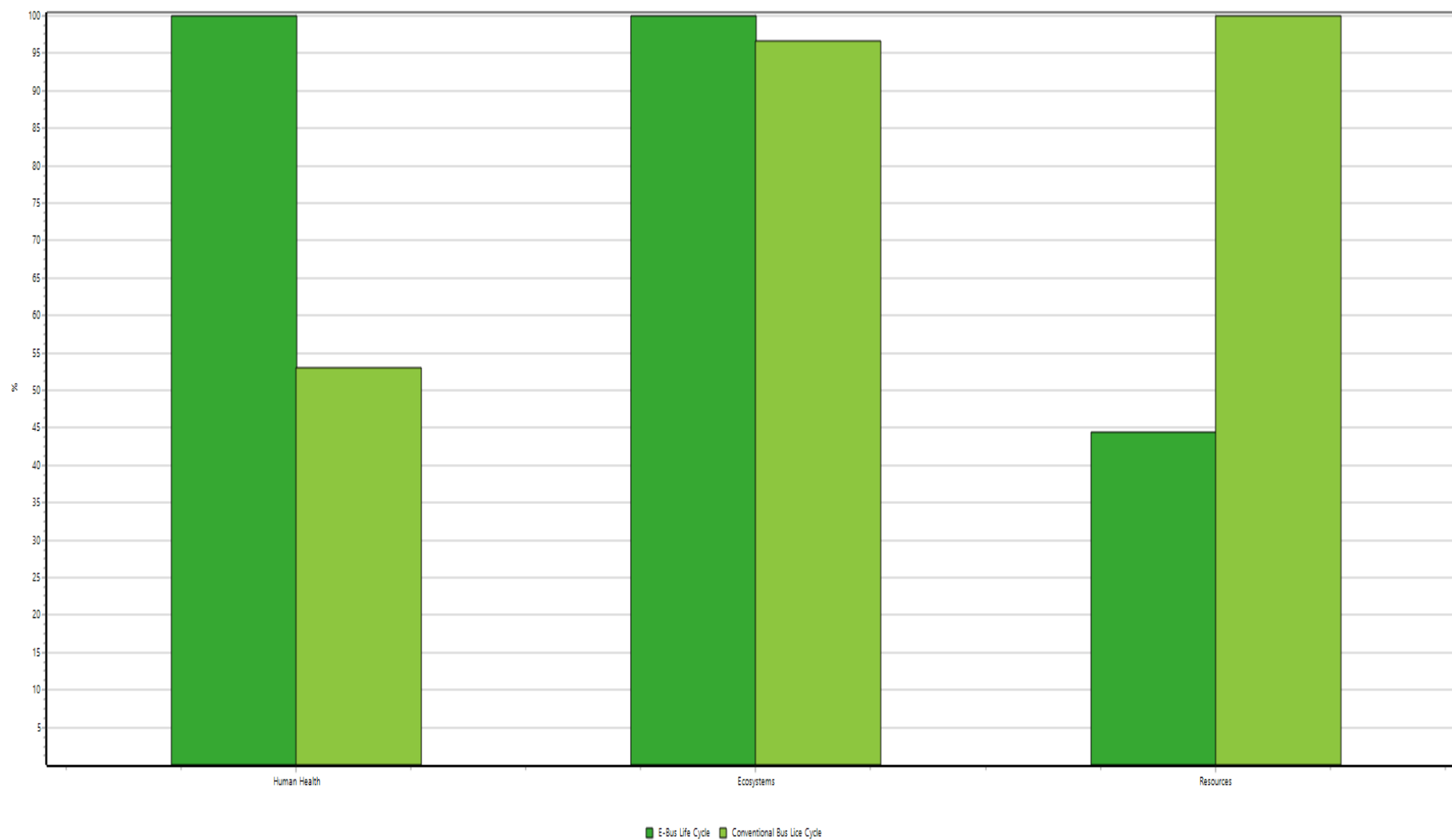
Διάγραμμα Π-4: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία για το ηλεκτρικό λεωφορείο για το βασικό σενάριο.



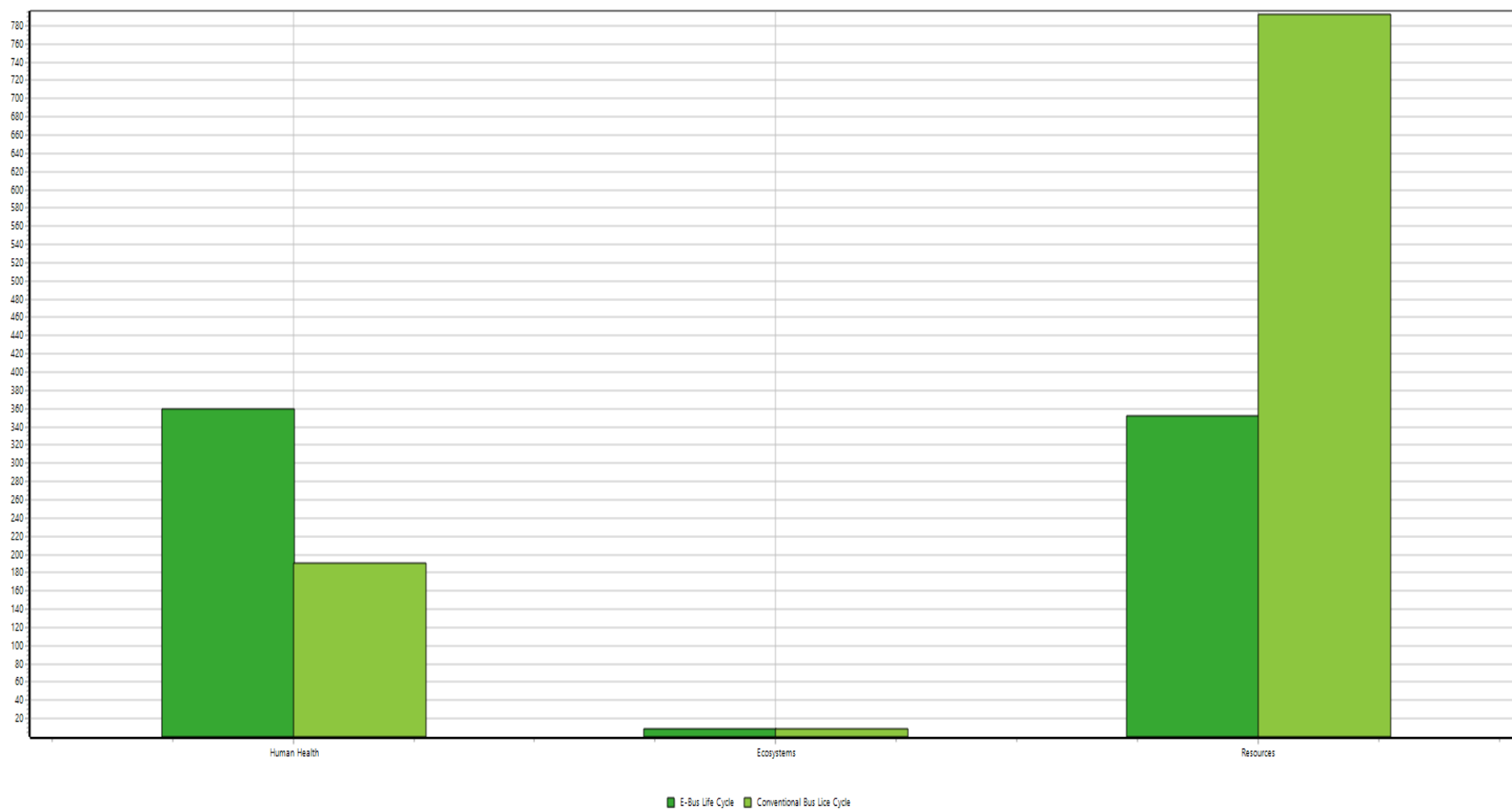
Διάγραμμα Π-5: Διάγραμμα ροής επι τις εκατό των περιβαλλοντικών φορτίων συμβατικού λεωφορείου.



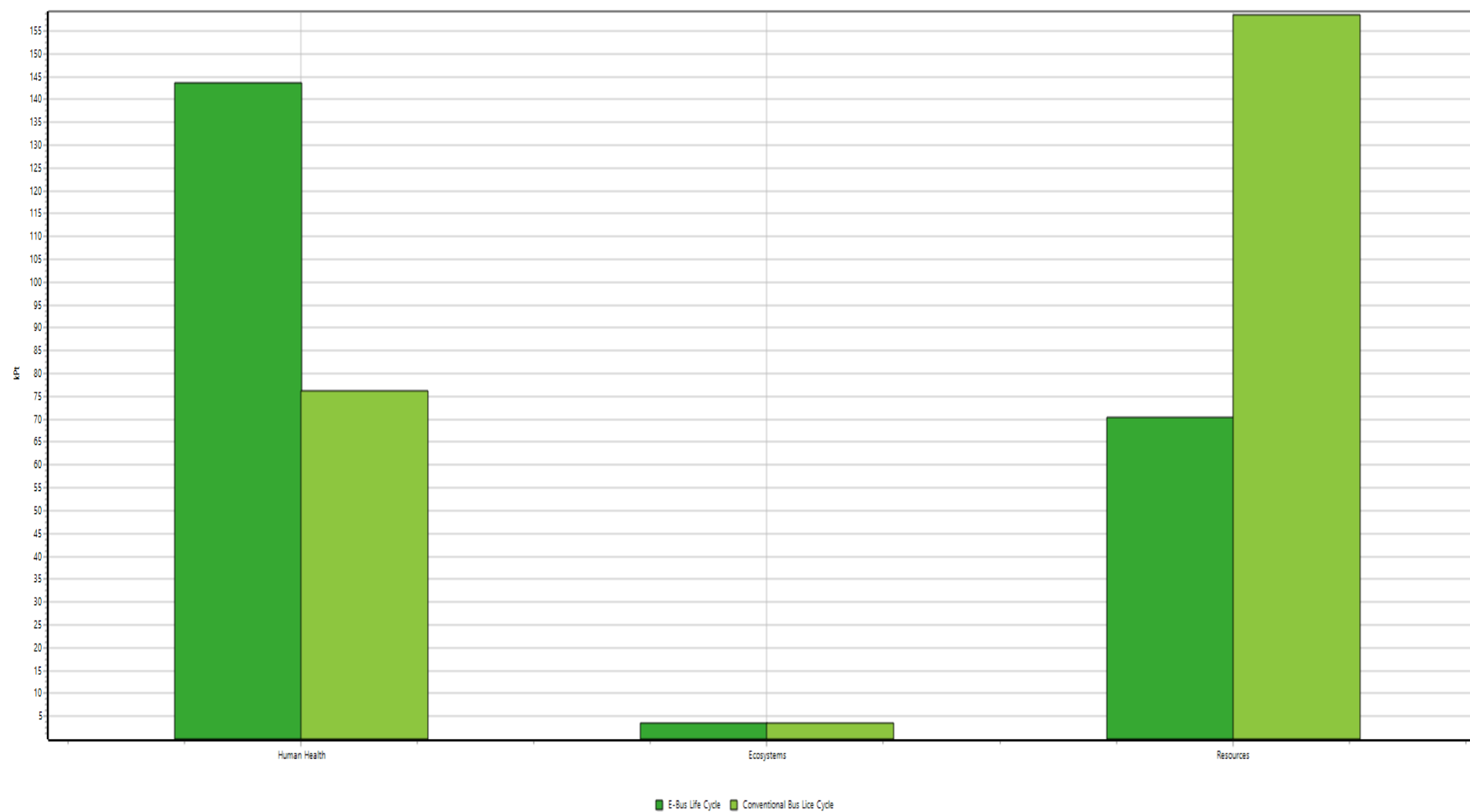
Διάγραμμα Π-6: Αποτίμηση βλάβης ανά κατηγορία για τη σύγκριση των δύο λεωφορείων.



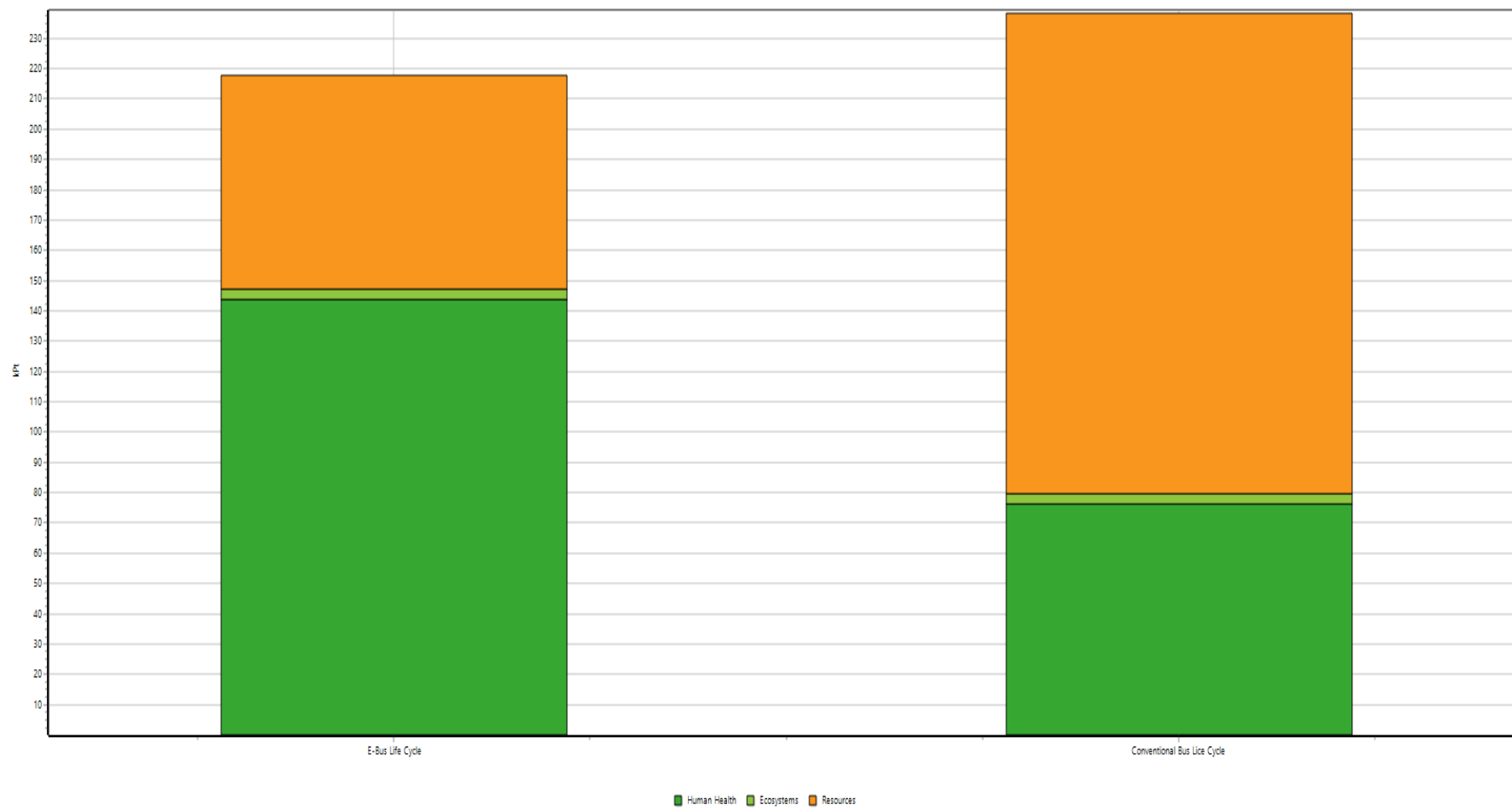
Διάγραμμα Π-7: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία για τη σύγκριση των δύο λεωφορείων.



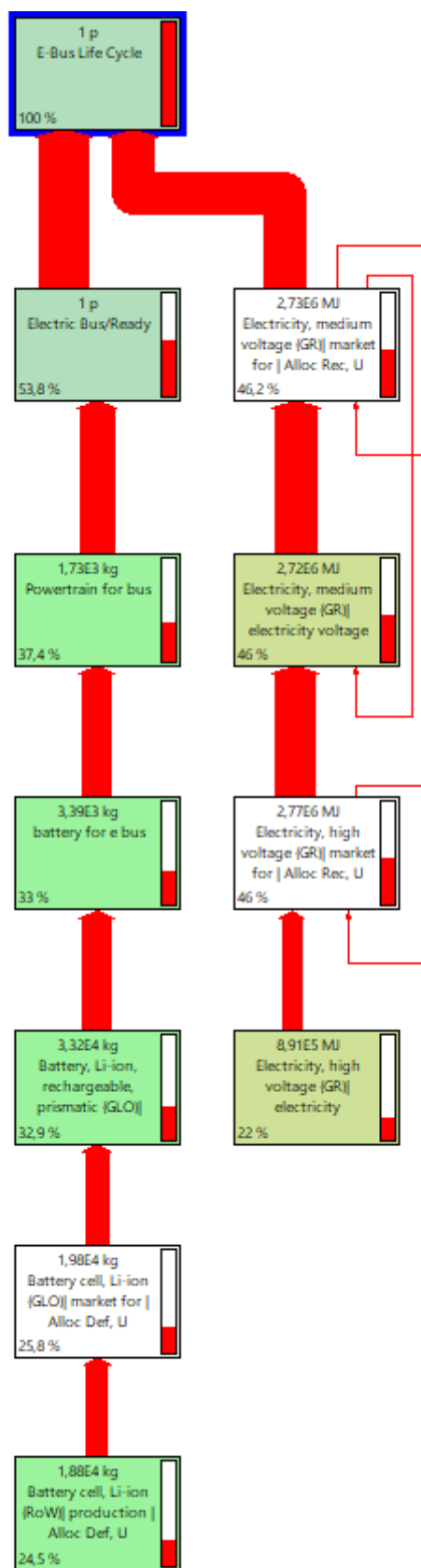
Διάγραμμα Π-8: Στάθμιση παραγόντων για τη σύγκριση των δύο λεωφορείων.



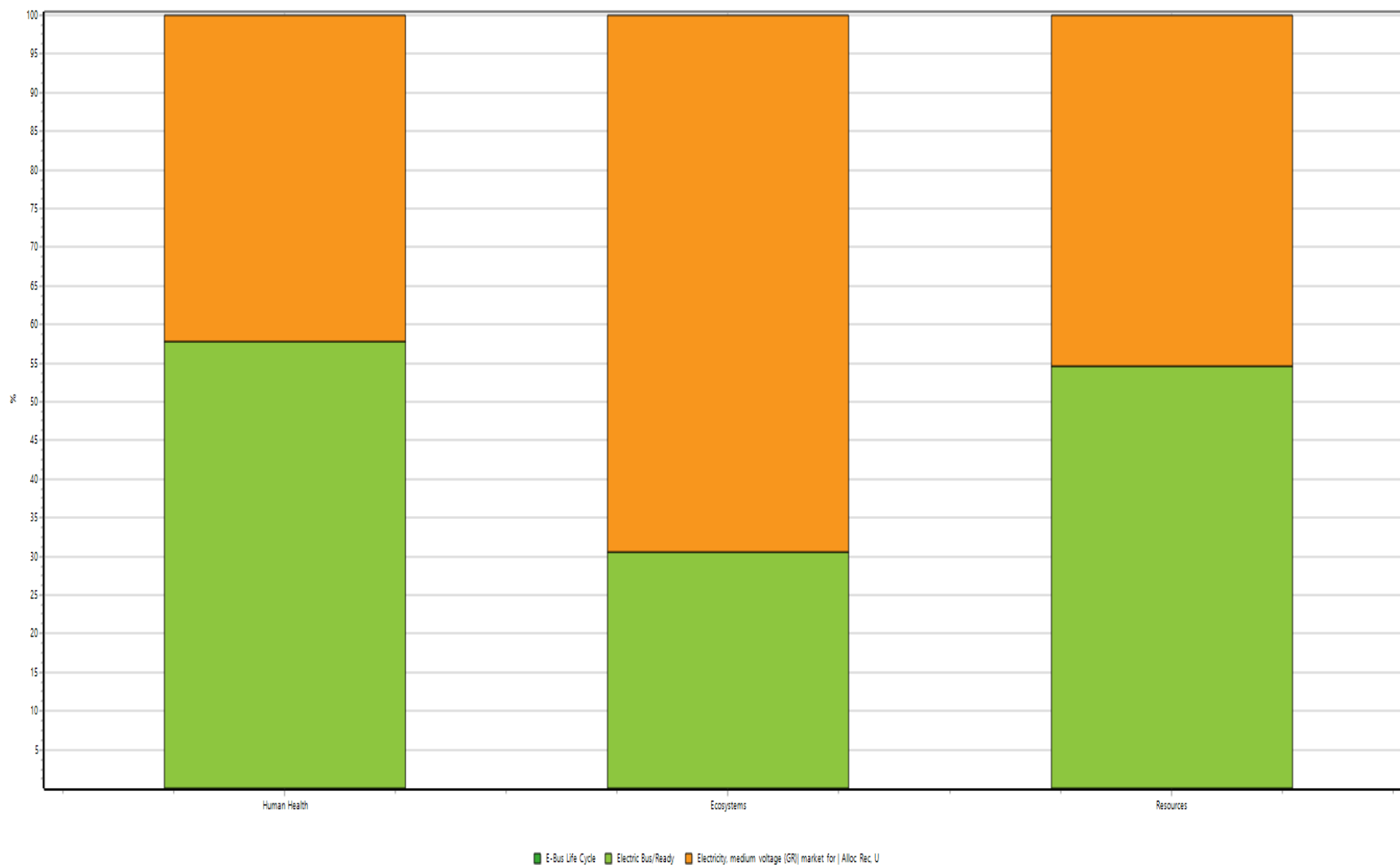
Διάγραμμα Π-9: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία για τη σύγκριση των δύο λεωφορείων.



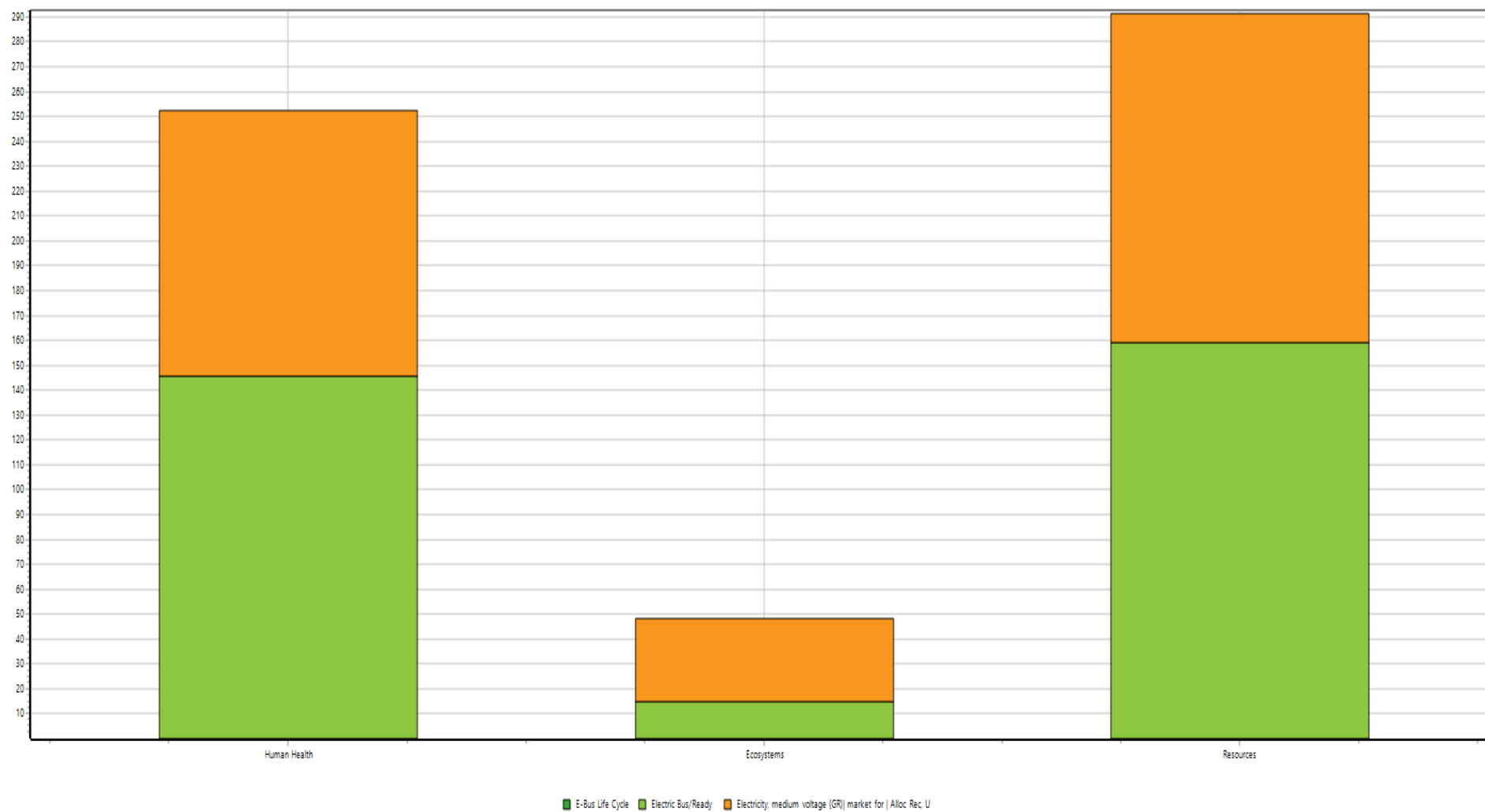
Διάγραμμα Π-10: Διάγραμμα ροής επι τις εκατό των περιβαλλοντικών φορτίων ηλεκτρικού λεωφορείου για αύξηση κατανάλωσης κατά 10%.



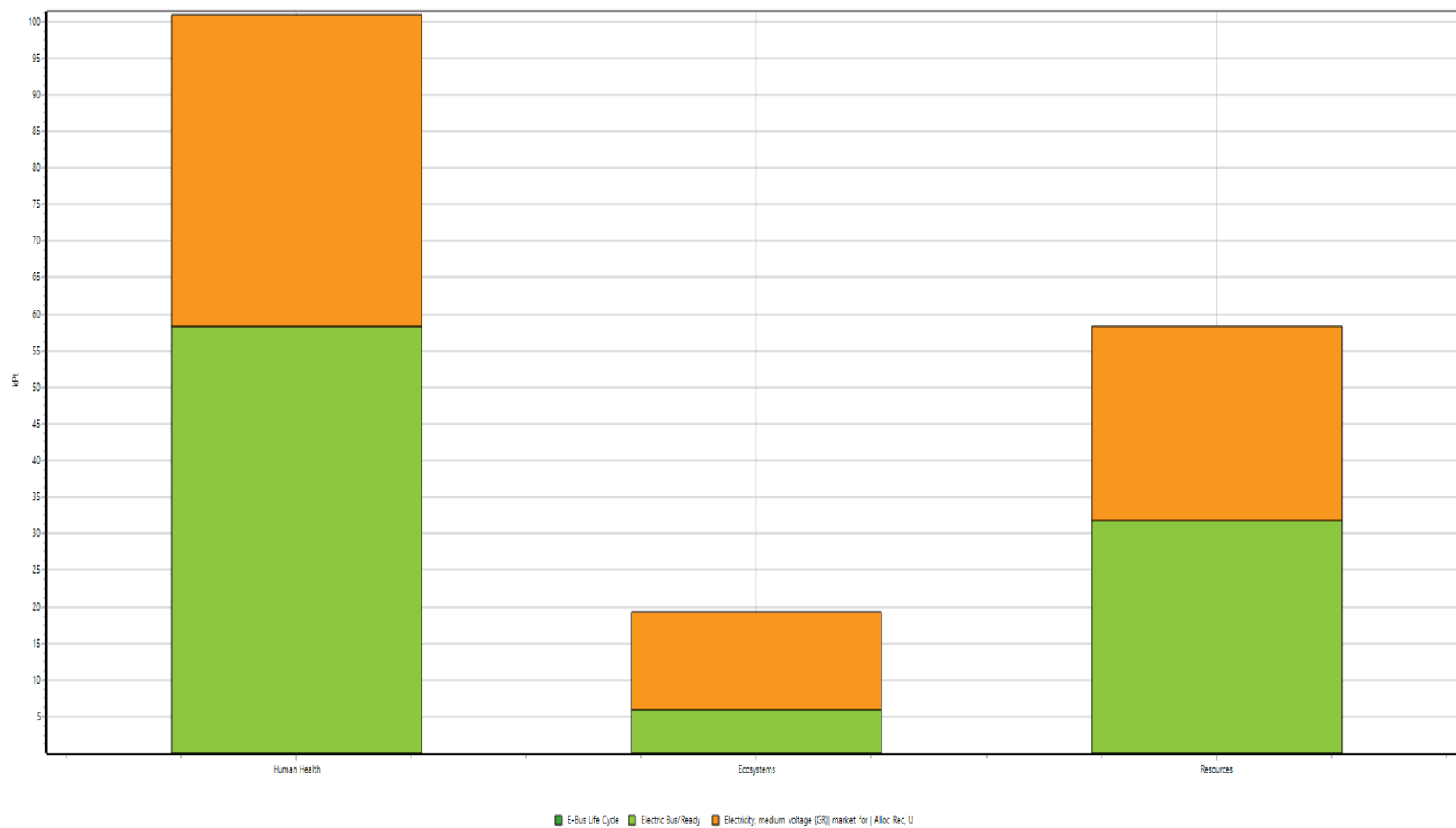
Διάγραμμα Π-11: Αποτίμησης βλάβης ηλεκτρικού λεωφορείου για αύξηση κατανάλωσης κατά 10%.



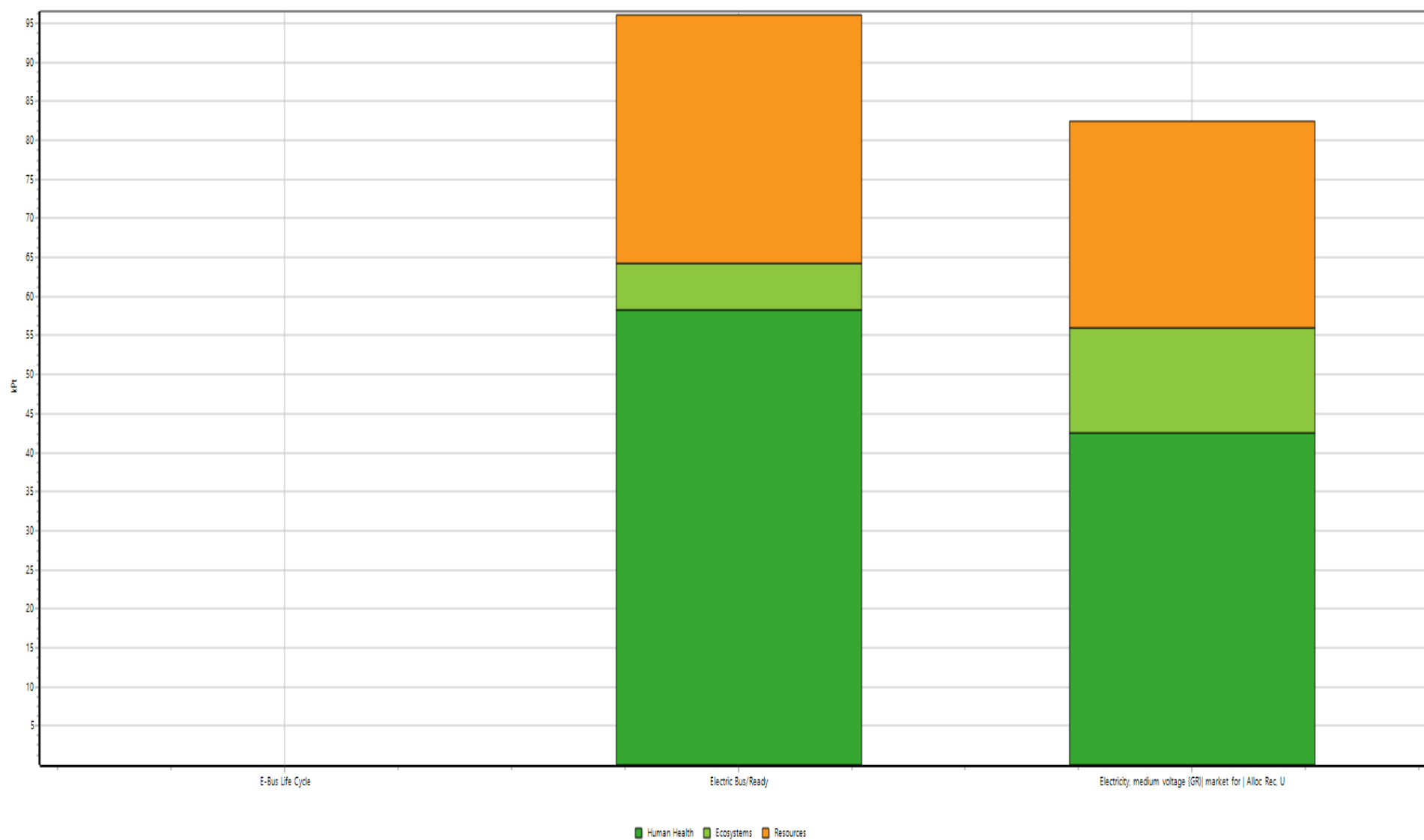
Διάγραμμα Π-12: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία ηλεκτρικού λεωφορείου για αύξηση της κατανάλωσης κατά 10%



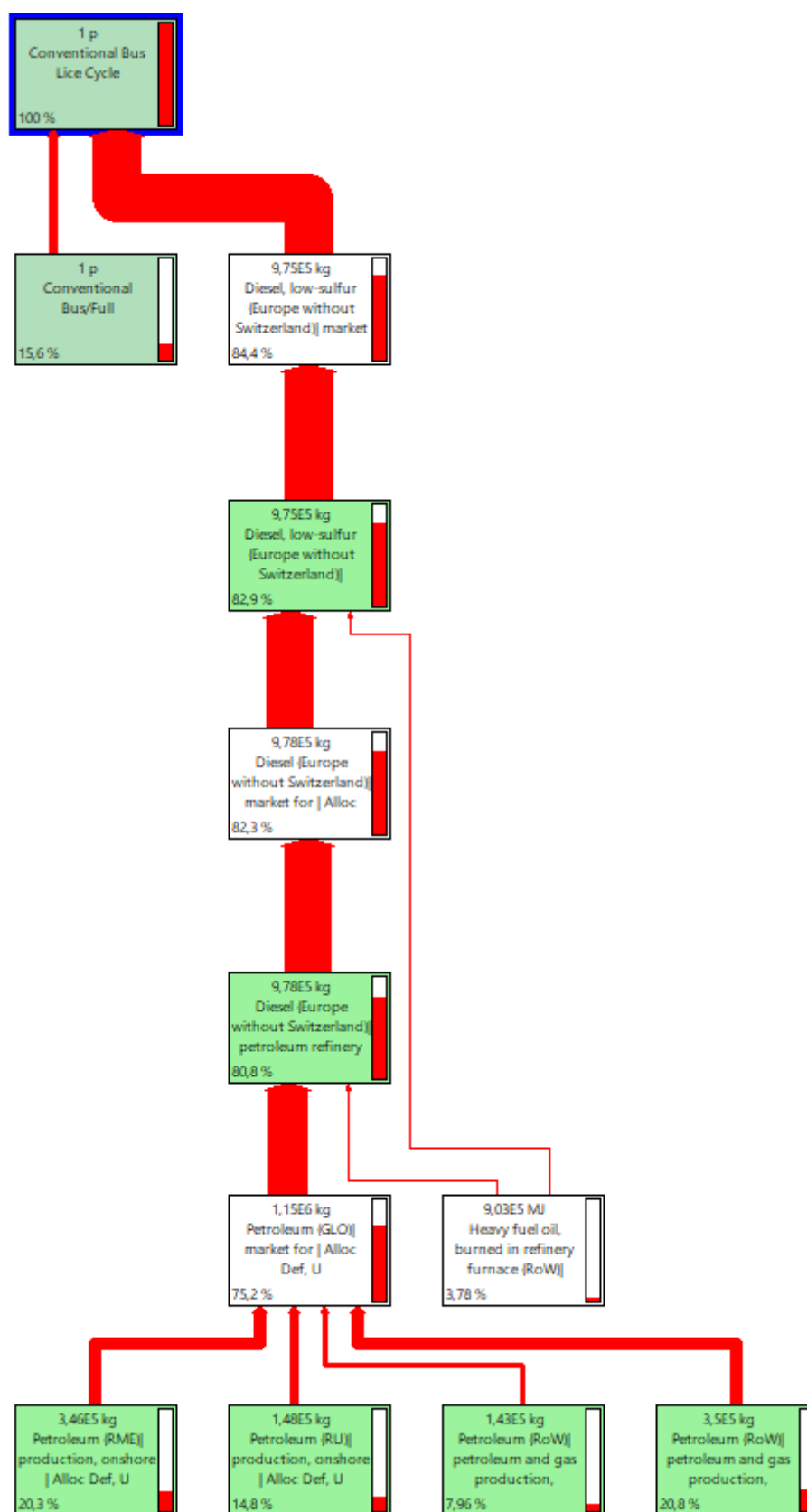
Διάγραμμα Π-13: Στάθμιση παραγόντων ηλεκτρικού λεωφορείου για αύξηση κατανάλωσης κατά 10%.



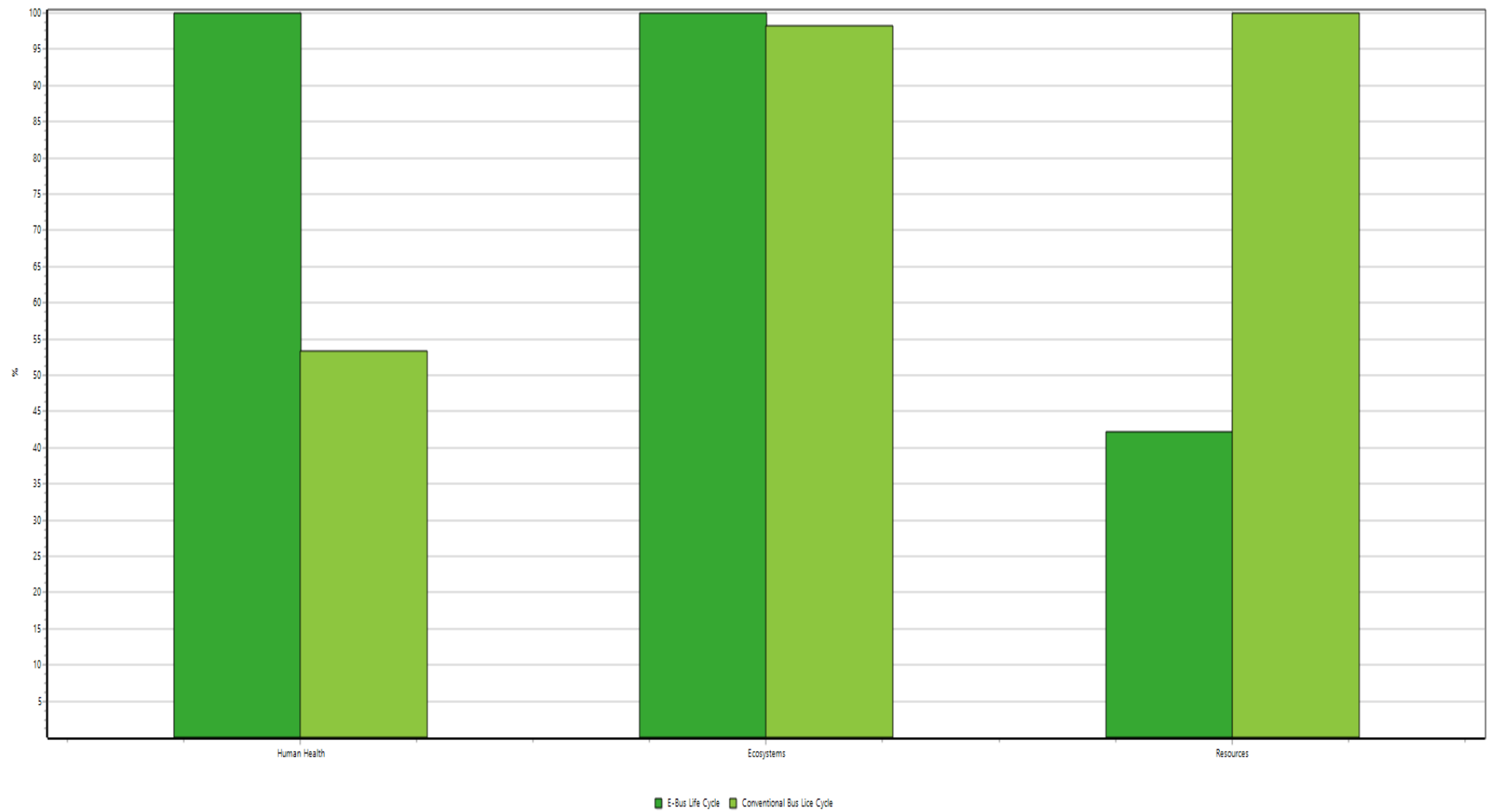
Διάγραμμα Π-14: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία για το ηλεκτρικό λεωφορείο για το για αύξηση κατανάλωσης κατά 10%.



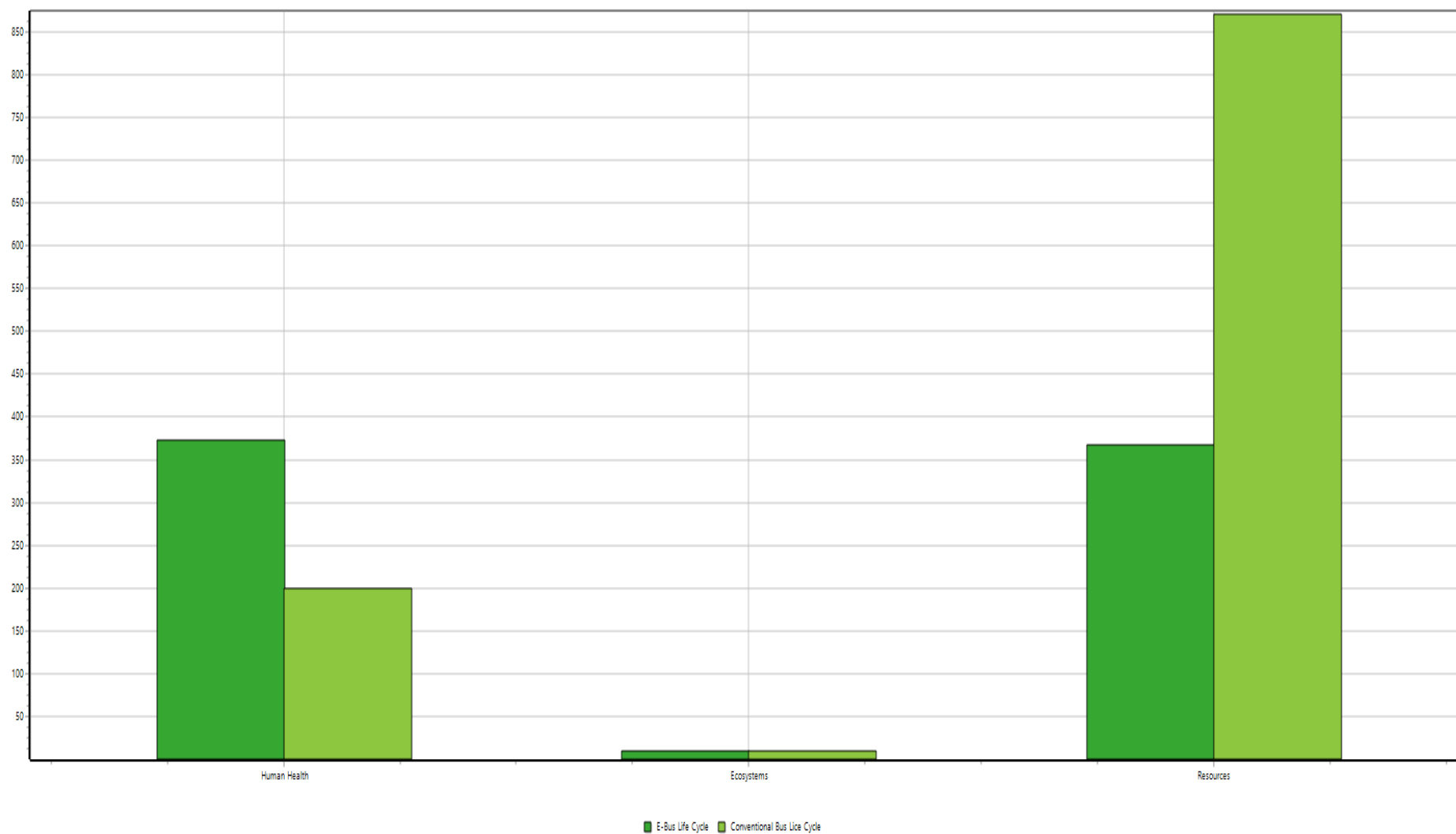
Διάγραμμα Π-15: Διάγραμμα ροής επι τις εκατό των περιβαλλοντικών φορτίων συμβατικού λεωφορείου για αύξηση κατανάλωσης κατά 10%.



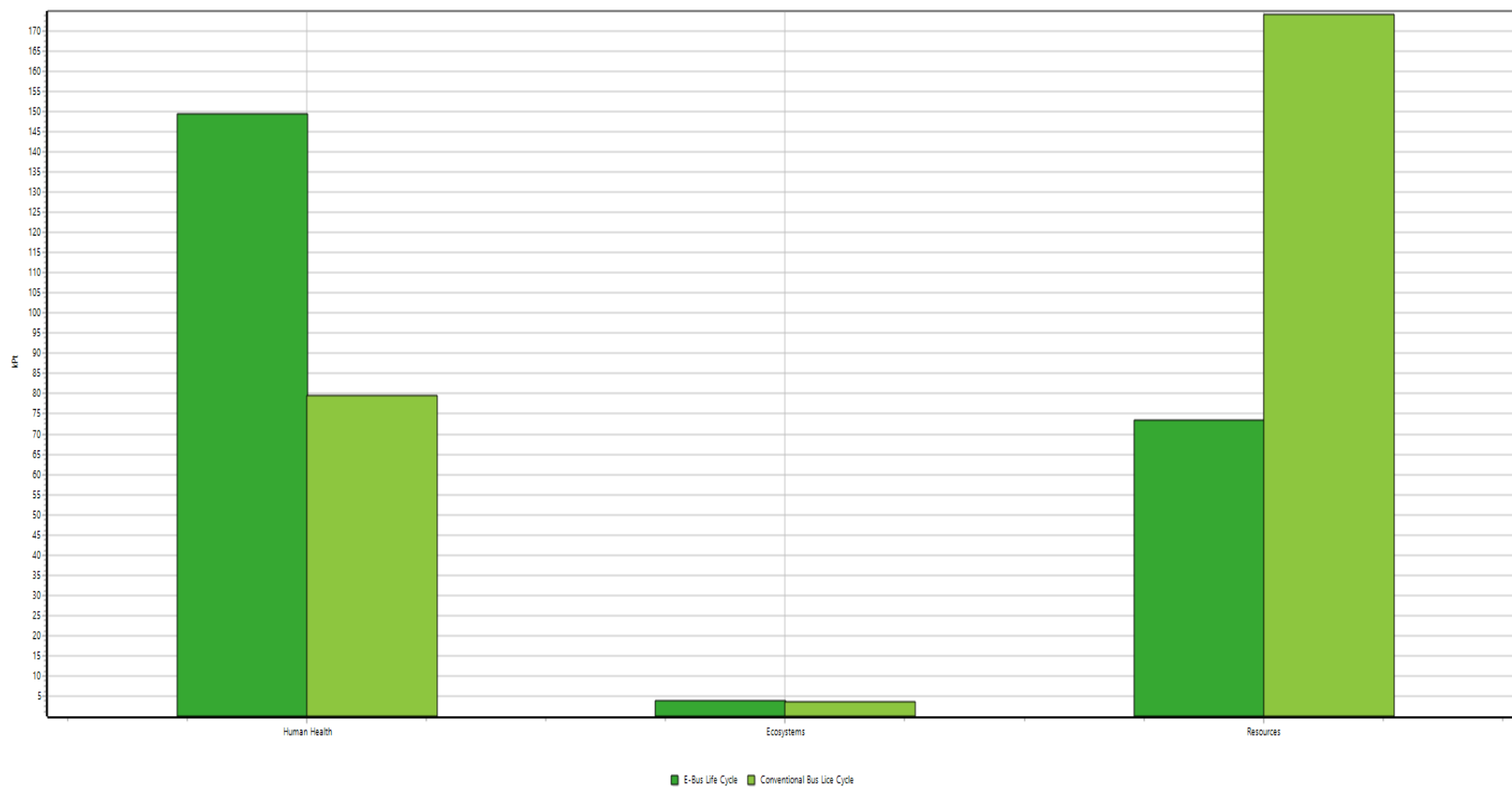
Διάγραμμα Π-16: Αποτίμηση βλάβης ανά κατηγορία για τη σύγκριση των δύο λεωφορείων.



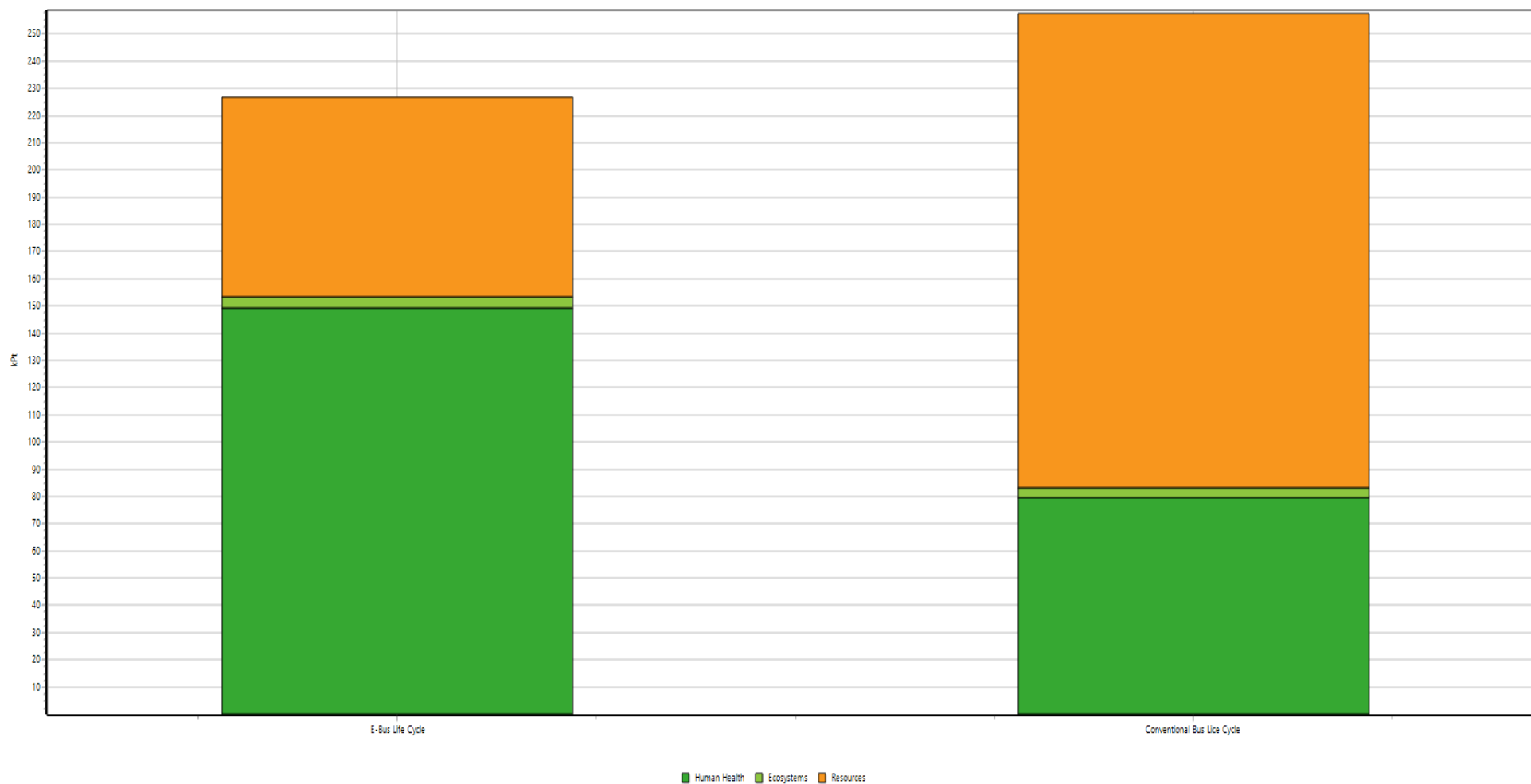
Διάγραμμα Π-17: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία για τη σύγκριση των δύο λεωφορείων.



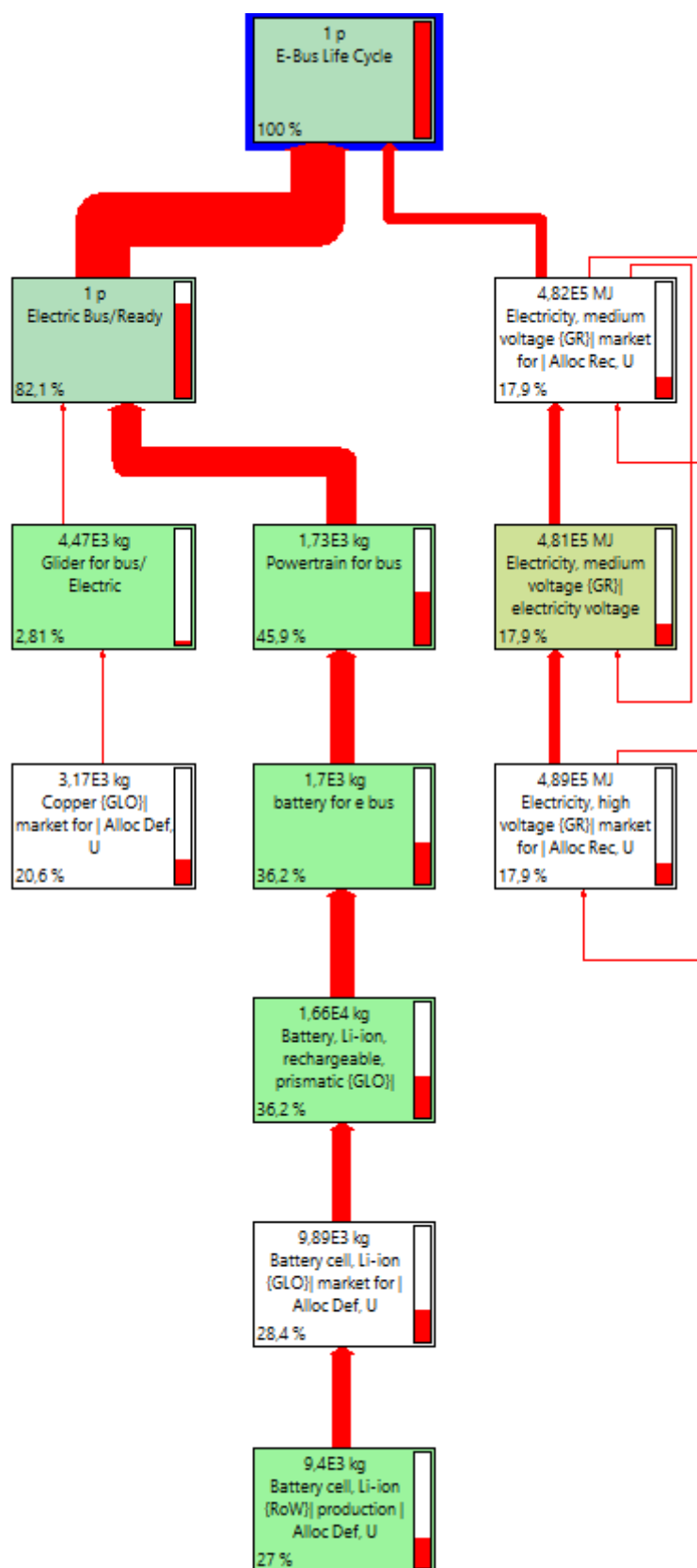
Διάγραμμα Π-18: Στάθμιση παραγόντων για τη σύγκριση των δύο λεωφορείων.



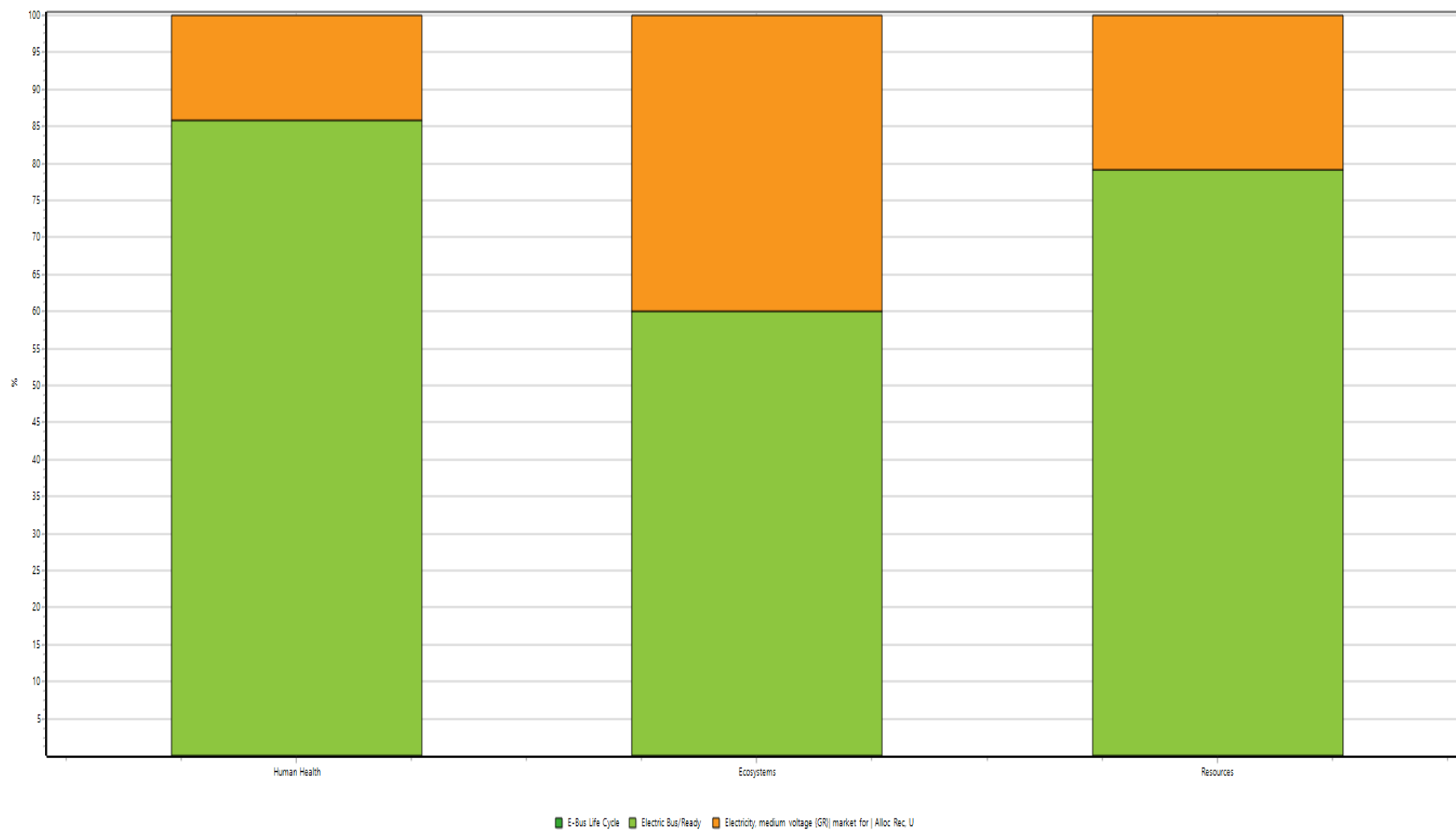
Διάγραμμα Π-19: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία για τη σύγκριση των δύο λεωφορείων.



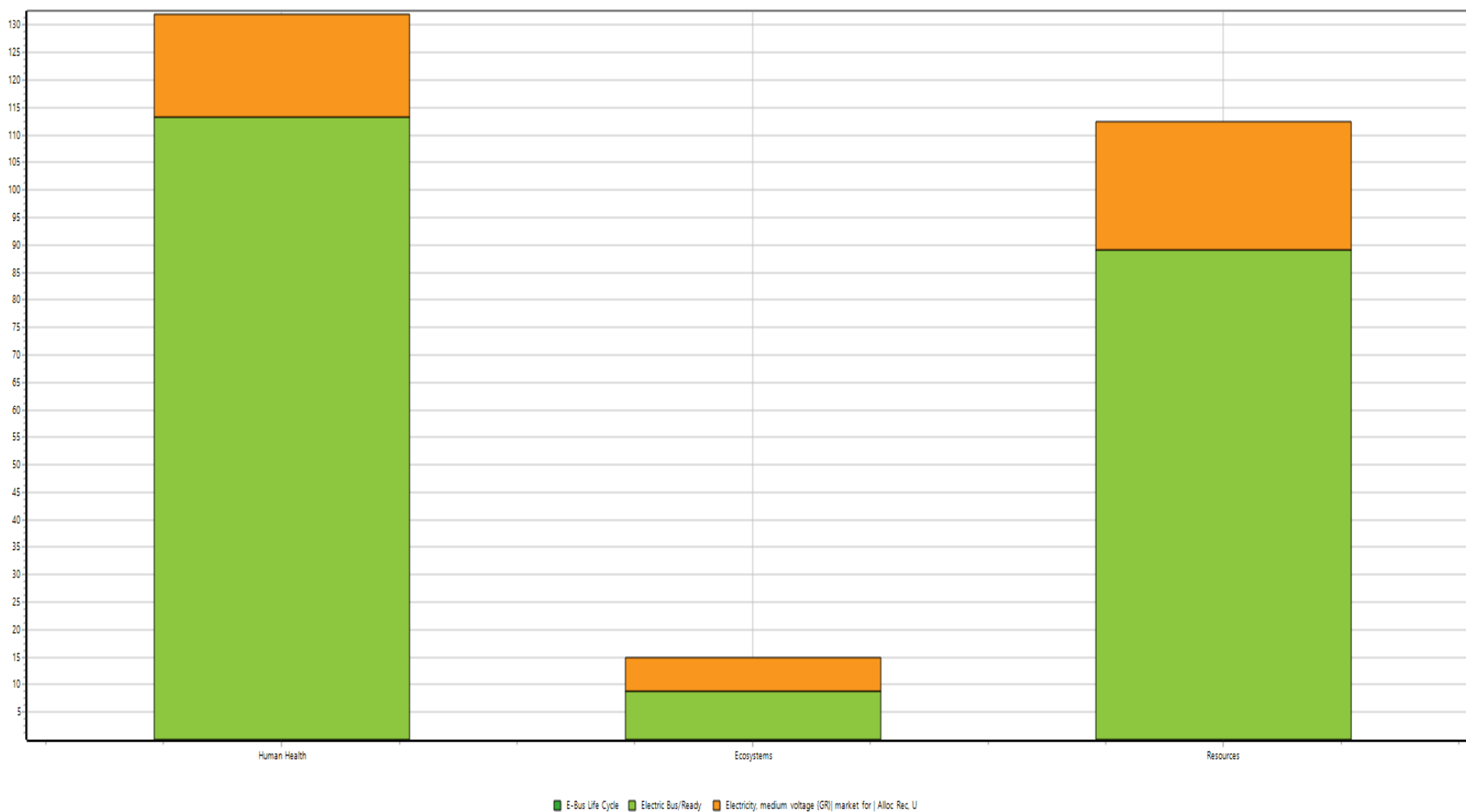
Διάγραμμα Π-20: Διάγραμμα ροής επι τις εκατό περιβαλλοντικών φορτίων ηλεκτρικού λεωφορείου για αλλαγή στη διαδρομή.



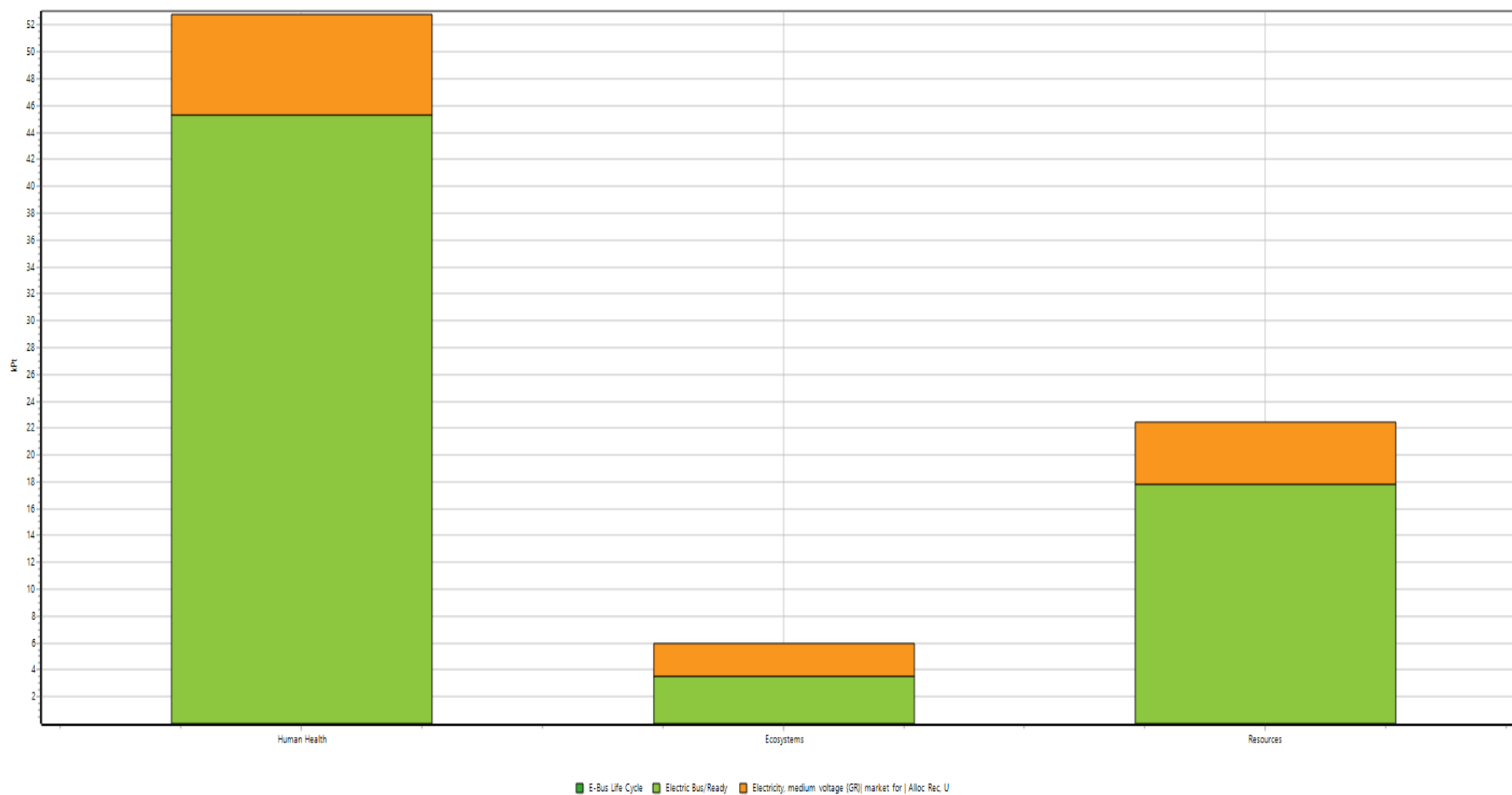
Διάγραμμα Π-21: Αποτίμησης βλάβης ηλεκτρικού λεωφορείου για διαφορετική διαδρομή.



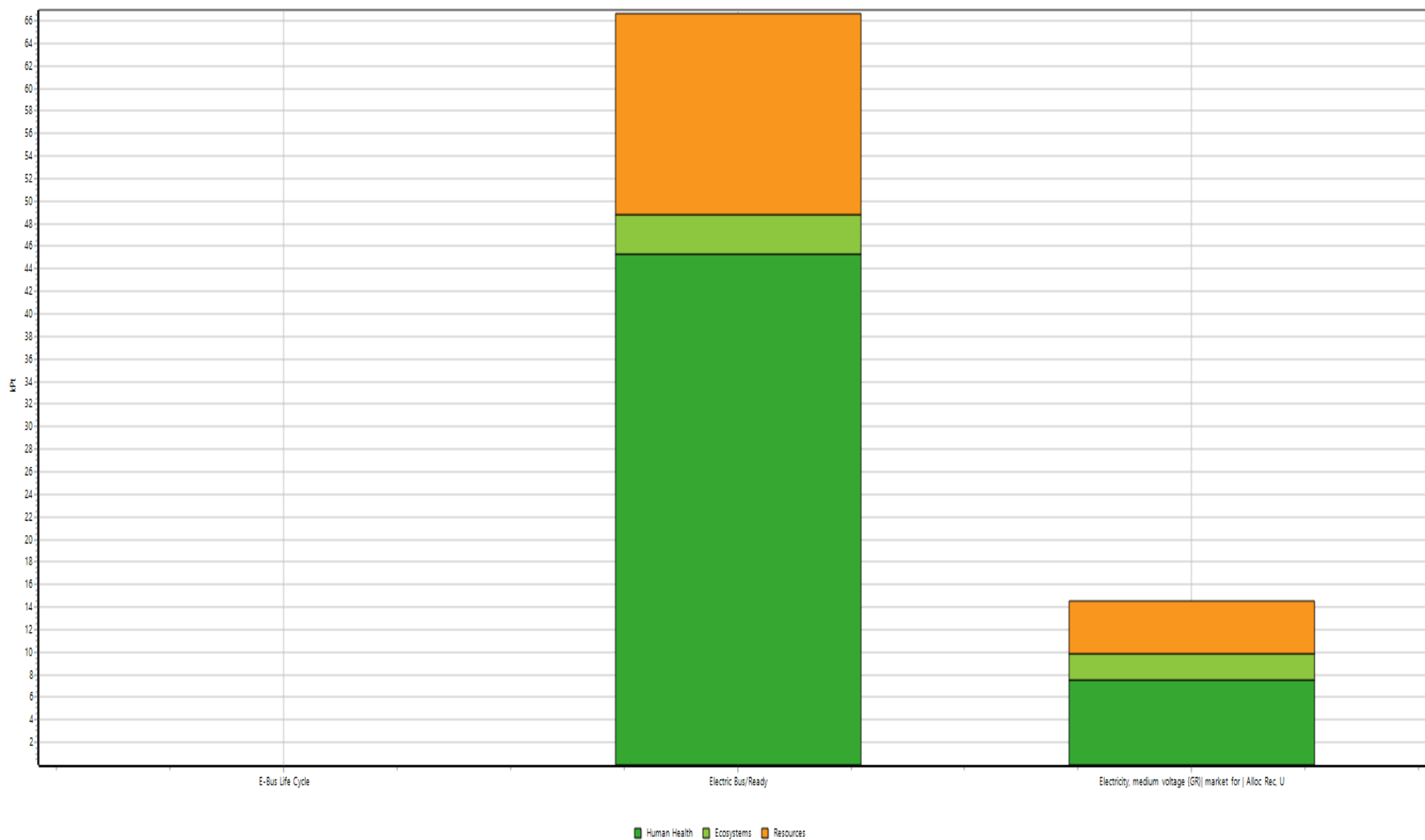
Διάγραμμα Π-22: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία ηλεκτρικού λεωφορείου για διαφορετική διαδρομή.



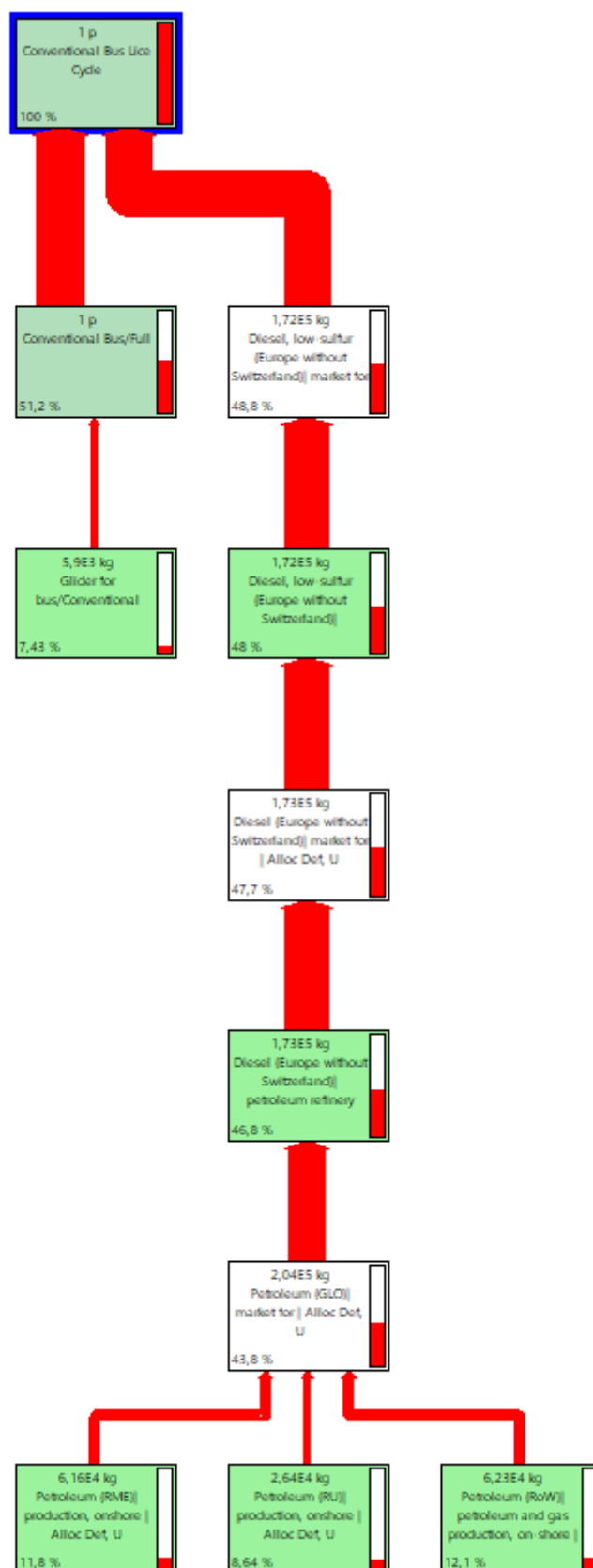
Διάγραμμα Π-23: Στάθμιση παραγόντων ηλεκτρικού λεωφορείου για διαφορετική διαδρομή



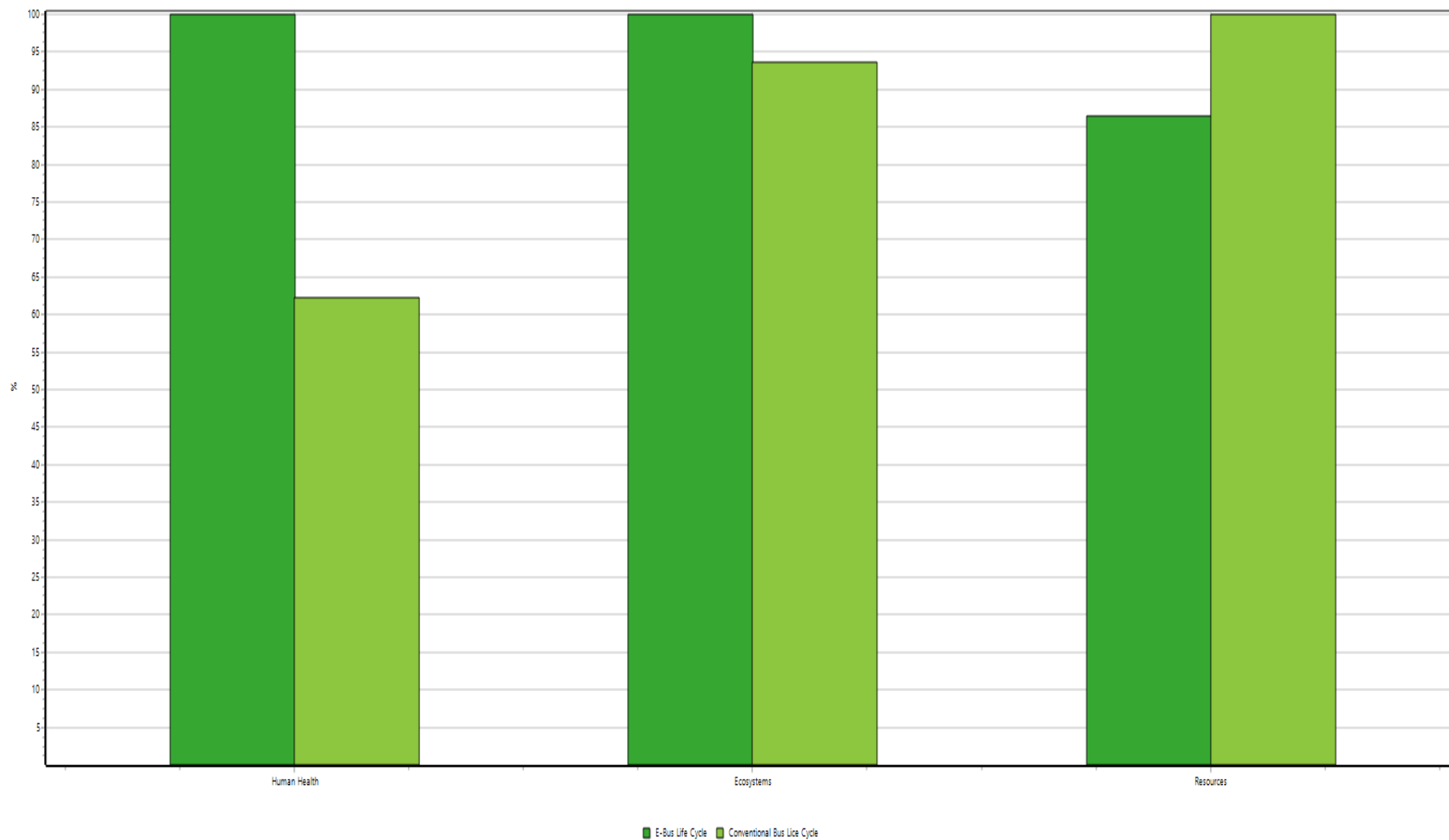
Διάγραμμα Π-24 Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία για το ηλεκτρικό λεωφορείο για διαφορετική διαδρομή



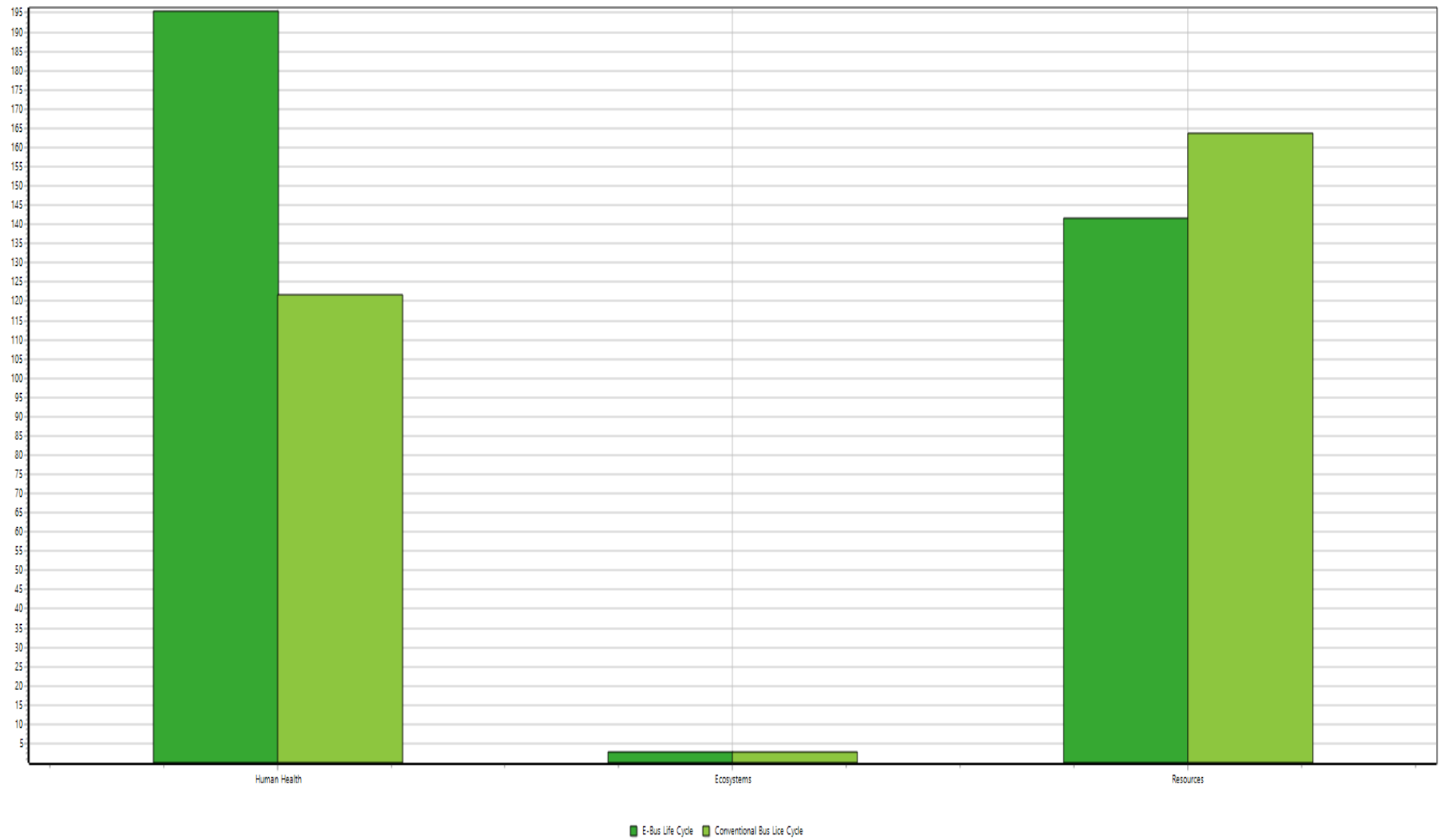
Διάγραμμα Π-25: Διάγραμμα ροής επί τις εκατό των περιβαλλοντικών φορτίων συμβατικού λεωφορείου για διαφορετική διαδρομή.



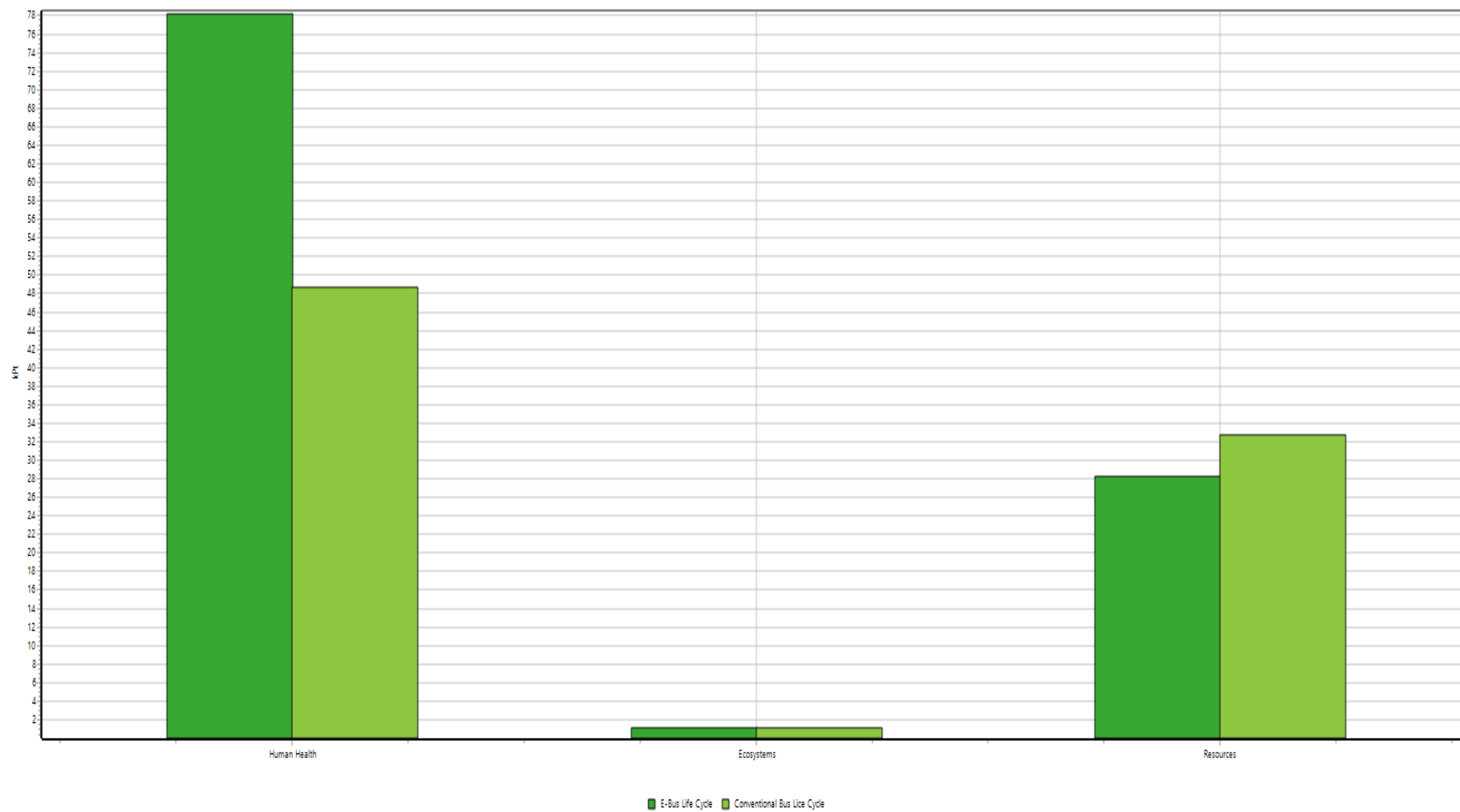
Διάγραμμα Π-26: Αποτίμηση βλάβης ανά κατηγορία για τη σύγκριση των δύο λεωφορείων.



Διάγραμμα Π-27: Κανονικοποίηση ανά κατηγορία για τη σύγκριση των δύο λεωφορείων.



Διάγραμμα Π-28: Στάθμιση παραγόντων για τη σύγκριση των δύο λεωφορείων.



Διάγραμμα Π-29: Συνολικές επιπτώσεις ανά κατηγορία για τη σύγκριση των δύο λεωφορείων.

