



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΡΕΝΟΥ ΠΟΛΥ
ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ
ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ**

ΓΕΡΟΒΑΣΙΛΗ ΓΛΥΚΕΡΙΑ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΓΕΡΟΒΑΣΙΛΗ ΓΛΥΚΕΡΙΑ

6969

ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΡΕΝΟΥ ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΩΝ
ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΔΡ. ΛΑΜΠΡΟΣ ΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ, ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ ΠΑΔΑ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2022

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 29/7/2022

<i>(Υπογραφή)</i>	<i>(Υπογραφή)</i>	<i>(Υπογραφή)</i>
Δρ. Μητρόπουλος Λάμπρος, Επιστημονικός συνεργάτης ΠΑΔΑ	Δρ. Μηλιώτη Χριστίνα, Επίκουρος καθηγήτρια ΠΑΔΑ	Δρ. Τυρινόπουλος Ιωάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑΔΑ

Αθήνα, Ιούλιος 2022

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Γεροβασίλη Γλυκερία του Σπύρου, με αριθμό μητρώου 6969 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικού Μηχανικού, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα

Γεροβασίλη Γλυκερία



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Γεροβασίλη Γλυκερία

© 2022 - Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και συγκεκριμένα στη κατεύθυνση των Συγκοινωνιολόγων Μηχανικών, κατά το έτος 2021-2022.

Για την ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας οφείλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, Δρ. Λ. Μητρόπουλο Επιστημονικό συνεργάτη του ΠΑΔΑ, που θα ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθεί χωρίς την υποστήριξη του, τις χρήσιμες συμβουλές του, τις υποδείξεις του, καθώς και την διαρκεί καθοδήγηση του, αλλά πάνω απ' όλα την άριστη συνεργασία και την αμέριστη προθυμία και βοήθεια που μου παρείχε σε όλο αυτό το διάστημα.

Σημαντικό στήριγμα και συναισθηματική υποστήριξη έλαβα επίσης από τα αδέρφια μου, Μιγάλη και Ελένη Γεροβασίλη οι οποίοι με ενθάρρυναν με κουράγιο και ψυχική δύναμη καθ' όλη την διάρκεια.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω πολύ τους γονείς μου, Σπύρο και Χριστίνα Γεροβασίλη οι οποίοι αποτελούν ανέκαθεν ένα πολύτιμο στήριγμα και στους οποίους οφείλω όλη τη διαδρομή των σπουδών μου, μέχρι σήμερα.

ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΡΕΝΟΥ ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΜΕΣΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

ΓΕΡΟΒΑΣΙΛΗ ΓΛΥΚΕΡΙΑ

Επιβλέποντες: Δρ. Α. Μητρόπουλος, Επιστημονικός Συνεργάτης ΠΑΔΑ

Σύνοψη

Το σύστημα μεταφοράς Hyperloop σύντομα θα αποτελέσει το κυρίαρχο τρόπο μεταφοράς επιβατών σ' όλο τον κόσμο. Η δυσκολία ανάγεται στο μεγάλο κόστος κατασκευής του αλλά και στο ποσοστό της επιβατικής ζήτησης που είναι απαραίτητο να εξυπηρετεί, ώστε να αποφέρει κέρδη.

Με την παρούσα Διπλωματική Εργασία διενεργείται κοινωνικοοικονομική ανάλυση που έχει ως στόχο τη σύγκριση του συστήματος Hyperloop με το αεροπλάνο και το τρένο για τη διαδρομή Αθήνα-Θεσσαλονίκη.

Οι δείκτες που επιλέχθηκαν για την ανάπτυξη του οικονομικού μοντέλου με σκοπό την σύγκριση του συστήματος Hyperloop με το αεροπλάνο και το τρένο ήταν οι εξής επτά: 1) το κόστος κατασκευής, 2) το κόστος οχημάτων, 3) το κόστος σταθμού, 4) το κόστος συντήρησης όπου το αναλύσαμε σε κόστος συντήρησης υποδομής, κόστος συντήρησης τούνελ, κόστος συντήρησης σταθμού, και κόστος συντήρησης οχημάτων, 5) το κόστος ενέργειας ανά διαδρομή, 6) το κόστος του χρόνου και 7) το εισιτήριο. Για τη συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων διεξήχθη έρευνα και στη συνέχεια αναπτύχθηκαν οικονομικά μοντέλα. Η ανάλυση γίνεται για 50 χρόνια.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για τη συγκεκριμένη διαδρομή με υφιστάμενες κατασκευές για το αεροπλάνο και το τρένο, αλλά και με επιβατική κίνηση για το Hyperloop δεν είναι δυνατόν το Hyperloop να ανταγωνιστεί τα άλλα δύο μέσα βάση των οικονομικών εισροών και εκροών.

Το υψηλό κόστος κατασκευής για το Hyperloop το καθιστά μη ανταγωνιστικό. Το κόστος κατασκευής αναλογεί σε 96,77% ενώ το κόστος αγοράς οχημάτων σε 0,19% επί του συνολικού κόστους.

Στην περίπτωση που το κόστος κατασκευής αφαιρεθεί για το σύστημα μεταφοράς Hyperloop, το μεγαλύτερο κόστος είναι το κόστος συντήρησης της υποδομής που αντιστοιχεί σε ποσοστό 75% του συνολικού κόστους (χωρίς το κόστος κατασκευής). Με την επιβατική κίνηση που έχει υπολογιστεί για την παρούσα Διπλωματική Εργασία το Hyperloop, δεν είναι ανταγωνιστικό, ως εκ τούτου θα πρέπει να γίνει μέρος ενός πιο διευρυμένου Ευρωπαϊκού δικτύου που θα συνδέει πόλεις και μεταφορικά συστήματα μεταξύ τους, ώστε να επωφεληθεί από την αυξημένη ζήτηση, και να αποτελέσει ένα βιώσιμο μέσο μεταφοράς.

Λέξεις-κλειδιά: Hyperloop, σύγκριση, κοινωνικοοικονομική ανάλυση, αεροπλάνο, τρένο, κόστος, όφελος.

MULTICRITERIA ASSESSMENT OF HYPERLOOP AND PASSENGER TRANSPORTATION MODES

GEROVASILY GLYKERIA

Supervisor: Dr. L. Mitropoulos

Abstract

The Hyperloop has been proposed as the fifth mode of transport. The difficulty to its implementation is related to the high cost of its construction and the share of passengers that will attract to make it sustainable.

This Diploma Thesis aims to compare the Hyperloop system with the plane and train for the route Athens-Thessaloniki by using a socio-economic cost benefit analysis.

Seven indicators are selected for the development of the economic model the 1) cost of construction, 2) cost of vehicle, 3) the cost of station, 4) the cost of maintenance where we analyzed it in terms of infrastructure maintenance costs, tunnel maintenance costs, station maintenance costs, and vehicle maintenance costs, 5) energy costs per route, 6) the cost of time and 7) ticket cost. The required data were collected by a conducting an extended literature review. The analysis is performed for a period of 50 years.

The results showed that for existing infrastructure in place for the plane and train, it does not become feasible for the Hyperloop to compete with them based on economic inputs and outputs. The high cost of construction for Hyperloop makes it uncompetitive. The construction cost accounts for 96.77% of the total costs, while the cost of purchasing vehicles corresponds to 0.19%. In the case the construction cost is excluded for the Hyperloop, the highest cost is the maintenance cost of the infrastructure corresponding to 75% of the total.

With estimated passenger traffic the Hyperloop is not competitive. Therefore it should become part of an expanded European network connecting various cities, in order to benefit from the increased demand and become a viable and sustainable transport system.

Keywords: Hyperloop, comparison, socio-economic analysis, Athens, Thessaloniki, airplane, train.

Περίληψη

Η πρόοδος της τεχνολογίας έχει συμβάλλει στον εκσυγχρονισμό και στην ανάπτυξη των σιδηροδρόμων σε παγκόσμιο επίπεδο. Η αύξηση της ταχύτητας στις μεταφορές είναι ένα ζήτημα που απασχολεί την ανθρώπινη κοινωνία εδώ και πολλά χρόνια. Λόγω των ανύπαρκτων διαδρόμων κυκλοφορίας σε συνδυασμό με την πρόοδο της τεχνολογίας των σιδηροδρόμων, αλλά και το ενδιαφέρον των επιβατών για μετακίνηση σε περιορισμένο χρόνο, έγινε η αφορμή να αναπτυχθούν συστήματα χερσαίων μεταφορών υψηλής ταχύτητας. Τα χερσαία συστήματα μεταφοράς υψηλής ταχύτητας μπορούμε να τα διακρίνουμε σε τρεις κατηγορίες: 1) συμβατικό σιδηρόδρομο υψηλής ταχύτητας, 2) συστήματα μεταφοράς Maglev και 3) συστήματα μεταφοράς Hyperloop.

Στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, αποσκοπούμε στη διερεύνηση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων ως προς την κοινωνία και τον άνθρωπο για στο σύστημα μεταφοράς υψηλής ταχύτητας Hyperloop συγκρίνοντας το με άλλα μέσα μεταφοράς ως προς την ταχύτητα, την κατανάλωση ενέργειας, το κόστος και την ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα, συγκρίνεται το σύστημα μεταφοράς Hyperloop με το αεροπλάνο και το τρένο με σκοπό την ανάδειξη του κοινωνικοοικονομικού οφέλους/κόστους.

Έπειτα, από την οριοθέτηση του επιδιωκόμενου στόχου, άρχισε η βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με το αντικείμενο της έρευνα πάνω σε ελληνική και ξενόγλωσση βιβλιογραφία. Ταυτόχρονα, αποφασίστηκε πως για την συλλογή των απαραίτητων στοιχείων σκόπιμο θα ήταν να πραγματοποιηθεί μέσω διαδικτύου, διότι το αντικείμενο μελέτης είναι υποθετική υπόθεση και όχι υπαρκτή, όποτε βασιστήκαμε σε έρευνες και υποθέσεις που έχουν γίνει από άλλους ερευνητές στο συγκεκριμένο αντικείμενο.

Με τη κατάλληλη κωδικοποίηση των στοιχείων από τη μελέτη στη βιβλιογραφία σε συνδυασμό με τη βοήθεια των υπολογιστικών φύλλων του Excel και των μαθηματικών τύπων για την παρούσα αξία ομοιόμορφων δόσεων και την παρούσα αξία ανομοιόμορφων δόσεων, αναπτύχθηκε ένα οικονομικό μοντέλο που προσδιορίζει σε χρηματικές μονάδες την κοινωνικοοικονομική ωφέλεια για τους επιβάτες που θα ταξιδέψουν με το σύστημα Hyperloop, με το αεροπλάνο ή με το τρένο.

Τα αποτελέσματα που παρήχθησαν από την ανάλυση του οικονομικού μοντέλου είναι τα εξής: πως το σύστημα μεταφοράς Hyperloop έχει πολύ μεγάλο κόστος κατασκευής και δεν δύναται να ανταγωνιστεί το αεροπλάνο και το τρένο με μοναδικό έσοδο τα εισιτήρια ακόμα και αν συμπεριλάβουμε τον χρόνο μετακίνησης, διότι τα άλλα δύο μέσα μεταφοράς είναι υφιστάμενες κατασκευές και δεν έχουν κόστος κατασκευής. Στην περίπτωση που αφαιρούσαμε το κόστος κατασκευής του συστήματος Hyperloop και αναλύσουμε μόνο τα κόστη, το μοντέλο συνεχίζει να μας δίνει έλλειμμα, αλλά αυτή τη φορά αισθητά πιο χαμηλό, δηλαδή έχουμε διαφορά € 17.139.394.853 αλλά με τα έσοδα από τα εισιτήρια μακροπρόθεσμα το σύστημα Hyperloop τείνει να αποφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Ακόμα, το μοντέλο μας έδειξε πως όταν αφαιρέσαμε το κόστος κατασκευής του συστήματος Hyperloop, τότε το αεροπλάνο βρίσκεται σε έλλειμμα € 2.788.655.139 και το τρένο αποκτά αισθητά σημαντικό έλλειμμα της τάξεως των € 1.001.655.767 παρόλο που δεν έχουμε το κόστος κατασκευής για αυτά τα δύο μέσα. Επιπλέον, όταν υπολογίζουμε τα συνολικά έξοδα και έσοδα χωρίς το κόστος κατασκευής για το σύστημα Hyperloop το μοντέλο συνεχίζει να μας δίνει έλλειμμα αλλά αυτή τη φορά ακόμα μικρότερο, δηλαδή €623.433.491. Αντίθετα, για το αεροπλάνο το μοντέλο μας δείχνει ότι αποφέρει κέρδη των € 319.238.556 και για το τρένο μας δείχνει ότι βρίσκεται σε έλλειμμα των € 273.583.049.

Εν κατακλείδι, συνοψίζονται όλα τα βασικά συμπεράσματα για το σύστημα μεταφοράς Hyperloop συγκριτικά με τα άλλα μέσα μεταφοράς ως προς τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε υποδομής, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά, αλλά και την κοινωνικοοικονομική τους ωφέλεια ως προς τον επιβάτη και την κοινωνία. Δίνονται επίσης, κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Περιεχόμενα

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	4
Ευχαριστίες.....	5
Σύνοψη	6
Abstract.....	7
Περίληψη	8
Περιεχόμενα.....	10
Κατάλογος Εικόνων	13
Κατάλογος Πινάκων	15
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια	17
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	18
1.1 Στόχος.....	18
1.2 Μεθοδολογία.....	18
1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	19
Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	21
2.1. Σιδηρόδρομος Υψηλών Ταχυτήτων (High Speed Rail).....	21
2.2. Εξέλιξη των σιδηρόδρομων κατά τον 21ο αιώνα	22
2.3. Σιδηρόδρομος μαγνητικής αιώρησης - Maglev.....	24
2.4. Τρένο πολύ υψηλής ταχύτητας - Hyperloop.....	25
2.4.1. Η τεχνολογία Hyperloop.....	26
2.4.2. Πώς διαφέρει το Hyperloop από τα τρένα υψηλής ταχύτητας;	27
2.5. Το Hyperloop και τα μέρη του.....	27
2.5.1. Σωλήνας (tube).....	27
2.5.2. Κάψουλα (capsule/pod)	28
2.5.3. Συμπιεστής (compressor)	29
2.5.4. Ανάρτηση (suspension).....	29
2.5.5. Προώθηση (propulsion)	30
2.6. Όραμα και διαθεσιμότητα Hyperloop.....	30
2.6.1. Ευρώπη	31
2.6.2. Βόρεια Αμερική.....	32
2.6.3. Νότια Αμερική.....	33
2.6.4. Ινδία.....	34
2.6.5. Αραβία.....	36

2.6.6.	Κίνα	37
2.6.7.	Αυστραλία.....	38
2.6.8.	Αφρική	40
2.7.	Σχετική έρευνα –	41
2.7.1.	Γενική σύγκριση όσον αναφορά τη ταχύτητα και τη χωρητικότητα Hyperloop, Maglev και Σ.Υ.Τ.	41
2.7.2.	Σύγκριση όσον αναφορά τα γεωμετρικά πρότυπα	42
2.7.3.	Σύγκριση όσον αναφορά το κόστος	43
2.7.4.	Σύγκριση όσον αναφορά την κατανάλωση ενέργειας.....	44
2.7.5.	Hyperloop με άλλα μεταφορικά μέσα	44
2.7.6.	Σύγκριση Hyperloop και αυτόματων οχημάτων.....	53
2.8.	Σύνοψη	55
Κεφάλαιο 3:Μεθοδολογία		58
3.1	Μέθοδος οφέλους-κόστους	58
3.2	Μέθοδος πολλαπλών κριτηρίων (MCA)	58
3.3	Μέθοδος κοινωνικού οφέλους-κόστους (SCBA)	60
3.4	Δείκτες αξιολόγησης Hyperloop	62
3.5	Μελέτη Περίπτωσης	63
3.5.1.	Περιγραφή της σιδηροδρομικής γραμμής Αθηνών-Θεσσαλονίκης	63
3.5.2.	Περιγραφή της αεροπορικής γραμμής Αθηνών-Θεσσαλονίκης	65
3.5.3.	Περιγραφή της γραμμής Hyperloop Αθηνών-Θεσσαλονίκης.....	67
3.6	Χαρακτηριστικά μεταφορικών μέσων	68
3.6.1.	Τρένο	68
3.6.2.	Αεροπλάνο.....	69
3.6.3.	Hyperloop	70
Κεφάλαιο 4: Ανάλυση και Αποτελέσματα		75
4.1.	Ζήτηση επιβατικού φόρτου	75
4.1.1.	Εξυπηρέτηση ζήτησης Hyperloop.....	78
4.1.2.	Εξυπηρέτηση ζήτησης αεροπλάνου.....	79
4.1.3.	Εξυπηρέτηση ζήτησης τρένου	79
4.2.	Κόστος	80
4.2.1.	Κόστος κατασκευής	80
4.2.2.	Κόστος οχήματος.....	83
4.2.3.	Κόστος εισιτηρίου.....	84
4.2.4.	Κόστος συντήρησης	88
4.3.	Χρόνος	98

4.4.1. Hyperloop	99
4.4.2. Αεροπλάνο.....	99
4.4.3. Τρένο	100
4.4. Ενέργεια.....	101
4.5. Οικονομικά στοιχεία	102
4.6. Σύνοψη	109
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και Προτάσεις	118
5.1. Συμπεράσματα	118
5.2. Προτάσεις	119
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	120
Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία	127

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Παγκόσμιο σιδηροδρομικό δίκτυο (Πηγή: Wikimedia, 2021).....	22
Εικόνα 2: Το Ιαπωνικό Tokaido Shikansen (Πηγή: Wikimedia, 2020)	23
Εικόνα 3: Το γαλλικό TGV (Πηγή: Wikipedia, 2021)	23
Εικόνα 4: Το γερμανικό ICE (Πηγή: Wikipedia,2021)	24
Εικόνα 5: Maglev (Πηγή: Japan Rail Pass, 2019)	24
Εικόνα 6: Παγκόσμιο δίκτυο Hyperloop - όραμα 2050 (Πηγή: Zeleros, 2021).....	25
Εικόνα 7: Hyperloop tube (Πηγή: TurboSquid, 2021)	28
Εικόνα 8: Hyperloop capsule (Πηγή: Sputnik International, 2017)	28
Εικόνα 9: Hyperloop compressor (Πηγή: Shinde, Rajjade, Lahare&Sarade, 2017)	29
Εικόνα 10: Hyperloop suspension (Πηγή: Delft Hyperloop, 2019)	29
Εικόνα 11: Hyperloop propulsion (Πηγή: Hyperloop Alpha, 2013)	30
Εικόνα 12: Οραματίζοντας το Hyperloop στην Ευρώπη (Πηγή: Zeleros, 2021)	31
Εικόνα 13: Η κύρια διαδρομή για το όραμα του 2050 για την Ευρώπη (Πηγή: Zeleros, 2021)	32
Εικόνα 14: Επιπλέον συνδέσεις για το όραμα του 2050 για την Ευρώπη(Πηγή: Zeleros, 2021)	32
Εικόνα 15: Οραματίζοντας το Hyperloop στη Βόρεια Αμερική (Πηγή: Zeleros, 2021).....	33
Εικόνα 16: Η κύρια διαδρομή για το όραμα του 2050 στη Βόρεια Αμερική (Πηγή: Zeleros, 2021)	33
Εικόνα 17: Οραματίζοντας το Hyperloop στην Νότια Αμερική (Πηγή: Zeleros, 2021).....	34
Εικόνα 18: Οραματίζοντας το Hyperloop στην Ινδία (Πηγή: Zeleros, 2021)	35
Εικόνα 19: Η κύρια διαδρομή για το όραμα του 2050 στην Ινδία (Πηγή: Zeleros, 2021).....	35
Εικόνα 20: Επιπλέον συνδέσεις για το όραμα του 2050 στην Ινδία (Πηγή: Zeleros, 2021)	36
Εικόνα 21: Οραματίζοντας το Hyperloop στην Αραβία (Πηγή: Zeleros, 2021)	36
Εικόνα 22: Η κύρια διαδρομή για το όραμα του 2050 στην Αραβία (Πηγή: Zeleros, 2021)...	37
Εικόνα 23: Επιπλέον συνδέσεις για το όραμα του 2050 στην Αραβία (Πηγή: Zeleros, 2021)	37
Εικόνα 24: Οραματίζοντας το Hyperloop στην Κίνα (Πηγή: Zeleros, 2021)	38
Εικόνα 25: Η κύρια διαδρομή για το όραμα του 2050 στην Κίνα (Πηγή: Zeleros, 2021)	38
Εικόνα 26: Οραματίζοντας το Hyperloop στην Αυστραλία (Πηγή: Zeleros, 2021).....	39
Εικόνα 27: Η κύρια διαδρομή για το όραμα του 2050 στην Αυστραλία(Πηγή: Zeleros, 2021)	39
Εικόνα 28: Επιπλέον συνδέσεις για το όραμα του 2050 στην Αυστραλία(Πηγή: Zeleros, 2021)	39
Εικόνα 29: Οραματίζοντας το Hyperloop στην Αφρική (Πηγή: Zeleros, 2021)	40
Εικόνα 30: Hyperloop pod (Πηγή: Pathare, 2020)	47
Εικόνα 31: Οι επιδράσεις των δυνάμεων γστο ανθρώπινο σώμα (Πηγή:Ozbek&Codur, 2021)	49
Εικόνα32: Waymo driving car (Πηγή: Wired, 2017)	54
Εικόνα 33: Multi-criteria Analysis (Πηγή: Chantalle&Frankin, 2019).....	60
Εικόνα 34: Σιδηροδρομικό δίκτυο του ΟΣΕ (Πηγή:ΟΣΕ, 2022)	64
Εικόνα 35: Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών (Πηγή: Κασσίμη, 2019).....	66
Εικόνα 36: Διεθνής Κρατικός Αερολιμένας Θεσσαλονίκης (Πηγή: Τσακαλίδης, 2021).....	67
Εικόνα 37: Hyperloop (Πηγή: Έθνος, 2020).....	68
Εικόνα 38: Αμαξοστοιχία IC54 ΤΡΑΙΝΟΣΕ (Πηγή: Lifo, 2022)	69

Εικόνα 39: Airbus A320 (Πηγή: Lancelot, χ.χ.)	70
Εικόνα 40: Χρονική διάρκεια ταξιδιού από κέντρο Αθήνας σε κέντρο Θεσσαλονίκης με τρένο (Πηγή: Προσωπική επεξεργασία)	72
Εικόνα 41: Χρονική διάρκεια ταξιδιού από κέντρο Αθήνας σε κέντρο Θεσσαλονίκης με αεροπλάνο (Πηγή: Προσωπική επεξεργασία)	73
Εικόνα 42: Αναλυτικό σχεδιάγραμμα υπολογισμού χρόνου ταξιδιού μέσα στην κάψουλα Hyperloop (Πηγή: Προσωπική επεξεργασία)	73
Εικόνα 43: Χρονική διάρκεια ταξιδιού από κέντρο Αθήνας σε κέντρο Θεσσαλονίκης με Hyperloop (Πηγή: Προσωπική επεξεργασία)	74
Εικόνα 44: Καμπύλη ζήτησης (Πηγή: Προσωπική επεξεργασία)	76
Εικόνα 45: Συνολικό κόστος του συστήματος μεταφοράς επιβατών Hyperloop (Πηγή: Tesla, 2013)	83
Εικόνα 46: Συνολικό κόστος του συστήματος μεταφοράς επιβατών Hyperloop (Πηγή: Mohit&Pravin, 2019)	84
Εικόνα 47: Κόστος Hyperloop	111
Εικόνα 48: Συνολικά έξοδα-έσοδα για το Hyperloop χωρίς κόστος κατασκευής	112
Εικόνα 49: Κόστος αεροπλάνου	113
Εικόνα 50: Συνολικά έξοδα-έσοδα για το αεροπλάνο	114
Εικόνα 51: Κόστος τρένου	115
Εικόνα 52: Συνολικά έξοδα-έσοδα για το τρένο	116

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Σύγκριση ταχυτήτων ΣΥΤ, Maglev και Hyperloop (χλμ./ώρα).....	41
Πίνακας 2: Σύγκριση χωρητικότητας ΣΥΤ, Maglev και Hyperloop	42
Πίνακας 3: Σύγκριση χρόνου ταξιδιού	45
Πίνακας 4: Σύγκριση συχνοτήτων	47
Πίνακας 5: Σύγκριση κομίστρου	48
Πίνακας 6: Σύγκριση άνεσης	49
Πίνακας 7: Σύγκριση αξιοπιστίας.....	49
Πίνακας 8: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας.....	50
Πίνακας 9: Σύγκριση χωρητικότητας	51
Πίνακας 10: Σύγκριση ανθεκτικότητας	52
Πίνακας 11: Σύγκριση διαλειτουργικότητας συστήματος.....	52
Πίνακας 12: Σύγκριση Waymo και Hyperloop	53
Πίνακας 13: Σύνοψη	56
Πίνακας 14: Δείκτες αξιολόγησης Hyperloop.....	62
Πίνακας 15: Χαρακτηρίστηκα του τμήματος σιδηροδρομικής γραμμής Αθηνών-Θεσσαλονίκης	64
Πίνακας 16: Σύνοψη βασικών χαρακτηριστικών μεταφορικών μέσων.....	72
Πίνακας 17: Μελλοντική επιβατική κίνηση Αθήνας-Θεσσαλονίκης με Hyperloop, Αεροπλάνο και Τρένο 2025-2074	77
Πίνακας 18: Εξυπηρέτηση ζήτησης Hyperloop.....	78
Πίνακας 19: Εξυπηρέτηση ζήτησης αεροπλάνου	79
Πίνακας 20: Εξυπηρέτηση ζήτησης τρένου.....	79
Πίνακας 21: Τιμές μονάδος χωματουργικών εργασιών.....	81
Πίνακας 22: Ενδεικτικό κόστος συνόλου υποδομών γραμμής με μέση τιμή και οριακές (μέγιστη-ελάχιστη).....	81
Πίνακας 23: Σύγκριση τιμών εισιτηρίου	85
Πίνακας 24: Έσοδα των εισιτηρίων με τ' επιστροφής για το Hyperloop.....	85
Πίνακας 25: Έσοδα των εισιτηρίων με τ' επιστροφής για το αεροπλάνο	86
Πίνακας 26: Έσοδα των εισιτηρίων με τ' επιστροφής για το τρένο.....	87
Πίνακας 27: Επενδυτικό και ετήσιο κόστος κεφαλαίου για το Hyperloop υποδομές και οχήματα	88
Πίνακας 28: Εκτιμώμενο ετήσιο κόστος του Hyperloop.....	89
Πίνακας 29: Κόστος συντήρησης υποδομής Hyperloop	89
Πίνακας 30: Κόστος συντήρησης τούνελ Hyperloop.....	90
Πίνακας 31: Κόστος συντήρησης σταθμών Hyperloop.....	91
Πίνακας 32: Κόστος συντήρησης καψουλών Hyperloop	91
Πίνακας 33: Επενδυτικό ετήσιο κόστος κεφαλαίου για το αεροπλάνο υποδομές και οχήματα.....	92
Πίνακας 34: Εκτιμώμενο ετήσιο κόστος αεροπλάνου.....	93
Πίνακας 35: Κόστος συντήρησης σταθμών αεροδρομίου.....	93
Πίνακας 36: Κόστος συντήρησης αεροσκαφών	94
Πίνακας 37: Επενδυτικό και ετήσιο κόστος κεφαλαίου για το τρένο υποδομές και οχήματα ..	95
Πίνακας 38: Εκτιμώμενο ετήσιο κόστος τρένου	95
Πίνακας 39: Κόστος συντήρησης υποδομής τρένου	95
Πίνακας 40: Κόστος συντήρησης τούνελ τρένου	96

Πίνακας 41: Κόστος συντήρησης σταθμών τρένου.....	97
Πίνακας 42: Κόστος συντήρησης αμαξοστοιχιών τρένου.....	98
Πίνακας 43: Κόστος (€) χρόνου ανά ώρα για μετακίνηση με Hyperloop.....	99
Πίνακας 44: Κόστος (€) χρόνου ανά ώρα για μετακίνηση με αεροπλάνο.....	100
Πίνακας 45: Κόστος (€) χρόνου ανά ώρα για μετακίνηση με τρένο.....	101
Πίνακας 46: Κόστος ενέργειας (€)/διαδρομή.....	102
Πίνακας 47: Κόστος ενέργειας (€)/διαδρομή σε χρηματικές μονάδες για το Hyperloop.....	104
Πίνακας 48: Κόστος εισιτηρίων με τ' επιστροφής σε χρηματικές μονάδες για το Hyperloop.....	105
Πίνακας 49: Κόστος χρόνου ανά ώρα σε χρηματικές μονάδες για το Hyperloop.....	106
Πίνακας 50: Κόστος ενέργειας (€) ανά διαδρομή σε χρηματικές μονάδες για το αεροπλάνο.....	107
Πίνακας 51: Κόστη και έσοδα για μεταφορικά μέσα συμπεριλαμβανόμενου του χρόνου.....	109
Πίνακας 52: Κόστη και έσοδα για μεταφορικά μέσα μη συμπεριλαμβανομένου του χρόνου.....	110
Πίνακας 53: Ποσοστιαία αποτελέσματα για το κόστος του Hyperloop.....	110
Πίνακας 54: Σύνολο εξόδων-εσόδων για το Hyperloop χωρίς κόστος κατασκευής.....	112
Πίνακας 55: Ποσοστιαία αποτελέσματα για το αεροπλάνο.....	113
Πίνακας 56: Σύνολο εξόδων-εσόδων για το αεροπλάνο.....	114
Πίνακας 57: Ποσοστιαία αποτελέσματα για το τρένο.....	115
Πίνακας 58: Σύνολο εξόδων-εσόδων για το τρένο.....	116

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

ΔΑΑ (Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών)

ΚΑΘΜ (Κρατικός Αερολιμένας Θεσσαλονίκης Μακεδονίας)

ΟΗΕ (Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών)

ΟΣΕ (Οργανισμός Σιδηροδρόμων Ελλάδας)

ΣΥΤ (Σιδηρόδρομος Υψηλών Ταχυτήτων)

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

AI (Apple Inc)

AUD (Australian Dollar)

BTU (British Thermal Unit)

CAHSR (California High Speed Rail)

CBA (Cost Benefit Analysis)

CO₂ (Διοξείδιο του άνθρακα)

EDS (Electrodynamic Suspension)

EES (Entry/Exit System)

EMS (Electromagnetic Suspension)

EU (European Union)

HSGT (High Speed Ground Transportation)

HSR (High Speed Rail)

HT (Hyperloop Technologies, τώρα μετονομάστηκε σε ‘Hyperloop One’)

HTT (Hyperloop Transportation Technologies)

ICE (Inter City Express)

MCA (Multicriteria Cost Analysis)

PM EDS (Permanent Magnets Electrodynamic Suspension)

SCBA (Social Cost Benefit Analysis)

SC EDS (Superconducting Magnets Electrodynamic Suspension)

SNCF (Société Nationale des Chemins de Français στα αγγλικά French National Railway Company)

TGV (High Speed Rail)

TSA (Transportation Security Administration)

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Η αύξηση της ταχύτητας των μεταφορών έχει καταλάβει σημαντική θέση στις προσπάθειες του ανθρώπου να βελτιώσει την επιβατική και εμπορευματική κίνηση. Λόγω των αυξημένων περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση, οι παρατεταμένοι χρόνοι ταξιδιού ή αναμονής, η ατμοσφαιρική ρύπανση και ο θόρυβος που προκαλούν οι υπάρχοντες μεταφορικοί τρόποι (Liu&Deng, 2004).

Ο Σιδηρόδρομος Υψηλών Ταχυτήτων (ΣΥΤ) αποτελεί την εκσυγχρονισμένη μορφή του απλού σιδηροδρόμου με την ιδιαιτερότητα πως έχει την ικανότητα να αναπτύσσει μεγάλες ταχύτητες άνω των 250 χλμ./ώρα για νεόδμητες γραμμές ή άνω των 200 χλμ./ώρα σε υφιστάμενες γραμμές. Σε αντίθεση με το Hyperloop που ο στόχος είναι να επιτευχθεί υπερηχητική ταχύτητα 1.220 χλμ./ώρα ελαχιστοποιώντας την αντίσταση και την τριβή του αέρα (Yavuz & Öztürk, 2021).

Το σύστημα μεταφοράς Hyperloop (τρένο πολύ υψηλών ταχυτήτων) παρουσιάστηκε στο κοινό το 2013 από τον Elon Musk ως ένα πέμπτο μέσο μεταφοράς μετά το αυτοκίνητο, το αεροπλάνο, το τρένο και το πλοίο.

Η ιδέα έγινε ευρέως γνωστή από τον Elon Musk παραθέτοντας μέσα από την έκθεση Hyperloop Alpha. Η βασική φιλοσοφία της τεχνολογίας Hyperloop είναι ότι οι κάψουλες σε σωλήνα υπό πίεση με γραμμικούς ασύγχρονους κινητήρες θα τροφοδοτούνται από ηλιακή ενέργεια (Tesla, 2013).

1.1 Στόχος

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποτελεί η αξιολόγηση και σύγκριση Hyperloop με άλλα μέσα μεταφοράς, καθώς και η αποτίμηση του κοινωνικού και οικονομικού οφέλους στην κοινωνία και στους επιβάτες για την κατασκευή του συστήματος μεταφοράς Hyperloop.

Το σύστημα μεταφοράς Hyperloop αρχίζει να γίνεται όλο και περισσότερο διαδεδομένο σ' όλο τον κόσμο. Σε ορισμένες χώρες το σύστημα Hyperloop βρίσκεται ήδη σε λειτουργία εδώ και αρκετά χρόνια, στην Ελλάδα ακόμα δεν έχει αναπτυχθεί κάποια διαδρομή για να λειτουργήσει το σύστημα. Έτσι, στοχεύουμε σε μια υποτιθέμενη διαδρομή για το Hyperloop ώστε να γίνει η αφορμή για τη μελέτη της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας.

Πιο συγκεκριμένα, στη παρούσα Διπλωματική Εργασία καταβάλλεται προσπάθεια διεξαγωγής οικονομικού μοντέλου στο οποίο θα φαίνεται σε χρηματικές μονάδες οι δείκτες αξιολόγησης (κόστος, χρόνος, ενέργεια) για να αποτιμηθούν ως προς το κοινωνικό όφελος των επιβατών.

1.2 Μεθοδολογία

Για την επίτευξη του στόχου της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας ακολουθήθηκε μεθοδολογία, της οποίας τα στάδια παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω.

Αρχικά, με την παγίωση του επιδιωκόμενου στόχου πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση σε ελληνική και σε ξενόγλωσση βιβλιογραφία. Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκε αναζήτηση παρεμφερών ή πανομοιότυπων ερευνών, επιστημονικών άρθρων, εντύπων, εφημερίδων, περιοδικών και γενικών πληροφοριών σχετικά με το

εξεταζόμενο αντικείμενο που θα αποτελούσαν χρήσιμες για την εν λόγω έρευνα. Μετά από την έρευνα αυτή, έγινε προσπάθεια απόκτησης σχετικής εμπειρίας στην επεξεργασία τέτοιου είδους θεμάτων.

Αφού μελετήθηκαν τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, ορίστηκε πως τα αναγκαία και απαραίτητα στοιχεία για την περαιτέρω ανάλυση θα συλλεχθούν μέσω διαδικτυακής έρευνας. Αυτή η απόφαση λήφθηκε διότι είναι η φύση της έρευνας τέτοια που δεν υλοποιείται με μετρήσεις ή με παρατηρήσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί η έρευνα αναφέρεται σε μια υποθετική κατάσταση και όχι υπαρκτή. Η έρευνα ορίστηκε ότι θα υλοποιηθεί μέσω υποθέσεων και παρατηρήσεων που έχουν πραγματοποιήσει κι άλλοι ερευνητές στο σχετικό θέμα έρευνας, η οποία θα αποτελέσει βάση για περαιτέρω επεξεργασία.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε μέσω των υπολογιστικών φύλλων Excel κωδικοποιώντας κατάλληλα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του λογισμικού, τα απαραίτητα στοιχεία που συλλέχθηκαν από τη διαδικτυακή έρευνα, για να ακολουθήσει οικονομική ανάλυση με τη χρήση οικονομικών τύπων (παρούσα αξία ομοιόμορφων δόσεων και παρούσα αξία ανομοιόμορφων δόσεων).

Έγινε χρήση του τύπου για την παρούσα αξία χρήματος ομοιόμορφων δόσεων και για την παρούσα αξία χρήματος ανομοιόμορφων δόσεων για να μετατρέψουμε σε χρηματικές μονάδες τους δείκτες αξιολόγησης (κόστος, χρόνος, ενέργεια), ώστε να μελετηθούν κοινωνικά οφέλη και να αποτιμηθούν οικονομικά, έτσι ώστε να εφαρμοστεί η μέθοδος της κοινωνικής ανάλυσης κόστους-οφέλους.

Στη συνέχεια, αξιολογήθηκαν και ερμηνεύτηκαν τα αποτελέσματα του μοντέλου που αναπτύχθηκε, καθώς εξήχθησαν τα αντίστοιχα συμπεράσματα και για τα τρία μέσα μεταφοράς, όπου γίνεται σύγκριση. Τέλος, προέκυψαν σημαντικές πληροφορίες για το υπό εξέταση πρόβλημα καθώς και διατυπώθηκαν αξιολογικές προτάσεις για τη λύση του προβλήματος, αλλά και για περαιτέρω έρευνα.

1.3 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Το *πρώτο κεφάλαιο* αποτελεί την εισαγωγή της Διπλωματικής Εργασίας και έχει σκοπό να παρουσιάσει στον αναγνώστη το γενικό πλαίσιο του αντικειμένου με το οποίο ασχολείται. Ξεκινά με μια σύντομη αναφορά στη διαδικασία διεξαγωγής της έρευνας, το στόχο και το αντικείμενο αυτής καθώς και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την υλοποίησή της.

Στο *δεύτερο κεφάλαιο* αναλύεται η πορεία εξέλιξης των τρένων πολύ υψηλών ταχυτήτων Hyperloop. Έπειτα, περιγράφονται ξεχωριστά τα μέρη από τα οποία αποτελείται το Hyperloop. Στη συνέχεια, παραθέτονται τα αποτελέσματα του οράματος και η διαθεσιμότητα του Hyperloop ανά γεωγραφική ήπειρο (Ευρώπη, Βόρεια Αμερική, Νότια Αμερική, Ινδία, Αραβία, Κίνα, Αυστραλία, Αφρική). Τέλος, γίνεται σύγκριση του Hyperloop με άλλα μέσα μεταφοράς ως προς τα χαρακτηριστικά της υποδομής αλλά και σύγκριση μεταξύ των μέσων μεταφοράς.

Στο *τρίτο κεφάλαιο* αναλύεται η μεθοδολογία της Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά, παρουσιάζονται πληροφορίες που αναφέρονται στη βιβλιογραφία σχετικά με τους τρόπους διεξαγωγής μεθόδων. Έπειτα, περιγράφεται η διαδρομή Αθήνας-Θεσσαλονίκης όπου αποτελεί τη μελέτη περίπτωσης της συγκεκριμένης έρευνας. Στη συνέχεια, αναλύονται τα χαρακτηριστικά των μεταφορικών μέσων όπου θα γίνει η σύγκριση.

Στο *τέταρτο κεφάλαιο* περιγράφονται οι δείκτες οι οποίοι μετατρέπονται σε χρηματικές μονάδες για να αποτιμηθεί το κοινωνικό τους όφελος. Παραθέτονται πίνακες στους οποίους αναδεικνύεται καθώς αναλύεται ο τρόπος κωδικοποίησης των στοιχείων και η αρχική επεξεργασία τους, ώστε να χρησιμοποιηθούν στην οικονομική ανάλυση. Τέλος, περιγράφεται η διαδικασία ανάπτυξης και εφαρμογής των μαθηματικών μοντέλων καθώς ακολουθεί η παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων τους.

Στο *πέμπτο κεφάλαιο* μετά την σύνοψη των αποτελεσμάτων, παρατίθενται τα συμπεράσματα που δημιουργήθηκαν από την διεξαγωγή του οικονομικού μοντέλου. Έμφαση δίνεται στα βασικά αποτελέσματα της Διπλωματικής Εργασίας, ενώ παράλληλα προτίθενται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1. Σιδηρόδρομος Υψηλών Ταχυτήτων (High Speed Rail)

“Δεν υπάρχει αποκλειστικά ένας ορισμός για το Σιδηρόδρομο Υψηλών Ταχυτήτων (ΣΥΤ) (ούτε καν σταθερή χρήση του όρου, καθώς κάποιες φορές αναφέρεται ως σιδηρόδρομος «πολύ υψηλών ταχυτήτων»). Οι ορισμοί ποικίλουν ανάλογα με τα κριτήρια, που χρησιμοποιούνται αφού ο όρος ΣΥΤ, περικλείει πολλές έννοιες.” (Τριαντάφυλλος, 2009, σ. 12).

Σύμφωνα με την Διεθνή Ένωση των Σιδηροδρόμων ένας σαφής ορισμός που δίνεται είναι ο εξής: “ως ΣΥΤ ορίζεται ο σιδηρόδρομος που πληροί τις προϋποθέσεις υποδομής, τροχαίου υλικού και λειτουργίας, για υψηλές ταχύτητες (άνω των 250 χλμ./ώρα)”.

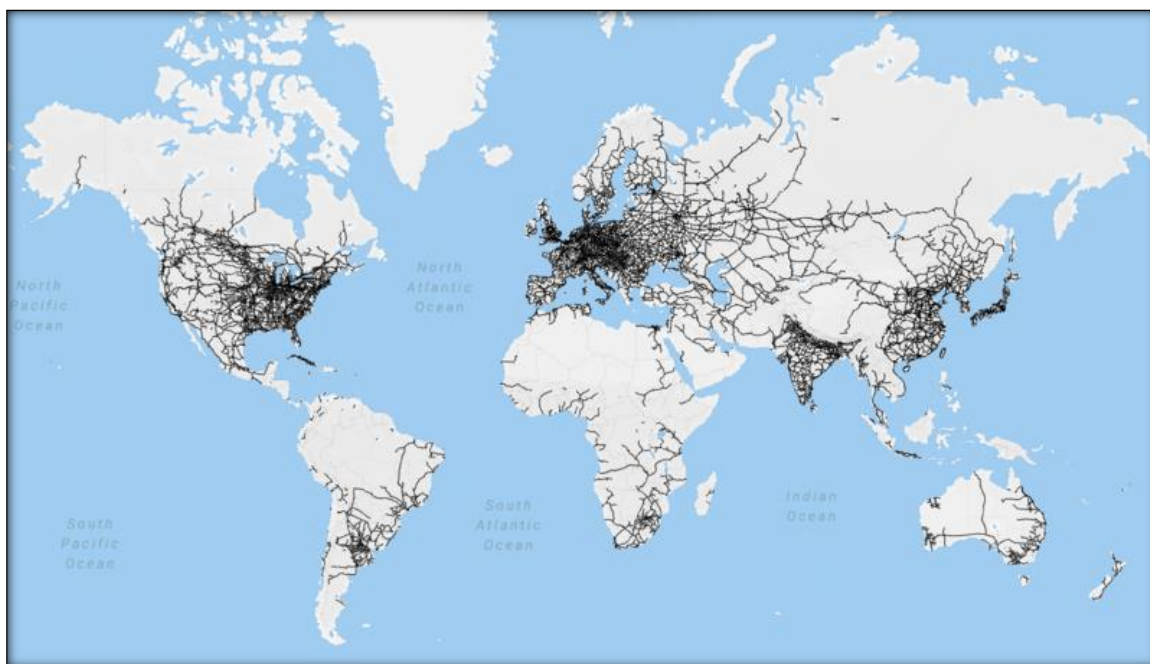
Σε κάθε περίπτωση, οι υψηλές ταχύτητες είναι ένας συνδυασμός στοιχείων που αποτελούν το «σύστημα» (Προφυλλίδης, 1993), αυτά είναι:

- Υποδομή (νέες γραμμές σχεδιασμένες για υψηλές ταχύτητες πάνω από 250 χλμ./ώρα και αναβαθμισμένες γραμμές για ταχύτητες έως 200 ή ακόμη και 220 χλμ./ώρα – κάποιοι σιδηρόδρομοι χρησιμοποιούν τρένα αιωρούμενου αμαξώματος και άλλοι όχι),
- Τροχαίο υλικό, και
- Συνθήκες λειτουργίας.

Ο Πυργίδης (2015), για το διαχωρισμό ενός δικτύου συμβατικών ταχυτήτων από ένα δίκτυο υψηλών ταχυτήτων, προτείνει να χρησιμοποιηθούν δύο κριτήρια, τα οποία πρέπει να πληρούνται ταυτόχρονα:

- Μέγιστη επιτεύξιμη ταχύτητα πορείας συρμού $V_{\max} \geq 200$ χλμ./ώρα,
- Ταχύτητα εκμετάλλευσης μεταξύ δύο τουλάχιστον ενδιάμεσων σταθμών $V_e \geq 150$ χλμ./ώρα.

Με βάση τα δεδομένα του 2015, σιδηροδρομική γραμμή που να ικανοποιεί αυτά τα δύο κριτήρια ταυτόχρονα, διαθέτει το δίκτυο της Κίνας, της Ισπανίας, της Ιαπωνίας, της Γαλλίας, της Ιταλίας, της Γερμανίας, της Τουρκίας, της Ν. Κορέας, της Ταϊβάν, του Βελγίου, της Ολλανδίας, της Ρωσίας, του Ηνωμένου Βασιλείου, της Σουηδίας, της Ελβετίας, των ΗΠΑ, του Ουζμπεκιστάν, της Αυστραλίας, της Φινλανδίας, της Νορβηγίας, και της Πορτογαλίας.



Εικόνα 1: Παγκόσμιο σιδηροδρομικό δίκτυο (Πηγή: Wikimedia, 2021)

2.2. Εξέλιξη των σιδηρόδρομων κατά τον 21ο αιώνα

Η επίγεια μεταφορά υψηλής ταχύτητας High Speed Ground Transportation (HSGT) αντιπροσωπεύει τον νέο τρόπο μεταφοράς στις μέρες μας. Η εμφάνισή του είναι το αποτέλεσμα μιας μακράς διαδικασίας που εξελίσσεται από την αρχή των σιδηροδρόμων, στις αρχές των δεκαετιών του 20ου αιώνα, ως απάντηση στην επιθυμία να μεταφέρονται περισσότεροι επιβάτες συχνότερα, ταχύτερα και με μεγαλύτερη ασφάλεια. Ακολουθώντας αυτούς τους στόχους, οι οποίοι εξακολουθούν να ισχύουν στις μέρες μας, οι νέες τεχνολογίες αναπτύχθηκαν με μεγάλη προσδοκία και ζήτηση παγκοσμίως Εικόνα 1. Μερικά παραδείγματα είναι οι ράγες υψηλής ταχύτητας High-Speed Rails (HSR ή AVE, με το ισπανικό ακρωνύμιο) και άλλα πιο ελκυστικά συστήματα που καλούνται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στο μέλλον, όπως το καινοτόμο Hyperloop (Gonzalez-Gonzalez&Nogues-Linares, 2017).

Το Ιαπωνικό Tokaido Shinkansen Εικόνα 2, το πρώτο τρένο υψηλής ταχύτητας (HSR) στον κόσμο, εγκαινιάστηκε το 1964, για να αυξήσει τη χωρητικότητα της επιβατικής κίνησης μεταξύ Τόκιο και Οσάκα. Στις αρχές της δεκαετίας του 1950, η Ευρώπη ανοικοδομούσε τις κατεστραμμένες σιδηροδρομικές υποδομές της μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, σε μια εποχή που τα τρένα έχαναν μερίδιο αγοράς από τα αεροπορικά και αυτοκινητοδρομικά ταξίδια. Για τη Γαλλία, η οποία είχε οραματιστεί να είναι πρωτοπόρος στον εκσυγχρονισμό της Ευρώπης, το άνοιγμα του Ιαπωνικού Shinkansen σήμαινε μία απογοήτευση αλλά ταυτόχρονα και μία πρόκληση, δεδομένου της καινοτόμου ικανότητάς του να προσφέρει συνεχή εξυπηρέτηση με μεγάλη μέση ταχύτητα. Η απάντηση στην πρόκληση που είχε λάβει η εθνική εταιρεία της Γαλλίας ήταν από την (SNCF) με την δημιουργία ενός ερευνητικού τμήματος όπου παρουσιάστηκε το 1969, η *turbotrain*, μια νέα ατμομηχανή που τροφοδοτείται από αεριοστρόβιλο. Σε δοκιμαστικό επίπεδο έφτασε σε ταχύτητες των 300 χλμ./ώρα, υποστηρίζοντας την ιδέα της κατασκευής μιας εξειδικευμένης γραμμής μεταξύ Λυών και Παρίσι, αλλά η ενεργειακή κρίση ανάγκασε την αντικατάστασή από ηλεκτρικά τρένα, τα οποία ονομάζονταν (TGV) (Meunier, 2002).



Εικόνα 2: Το Ιαπωνικό Tokaido Shikansen (Πηγή: Wikimedia, 2020)

Το 1981 η Γαλλία εγκαινίασε την πρώτη εμπορική γραμμή HSR που αφορούσε αποκλειστικά την επιβατική κίνηση στην Ευρώπη Εικόνα 3. Σε αντίθεση με το Ιαπωνικό σύστημα, ο σχεδιασμός ήταν πλήρως συμβατός με το ήδη υπάρχον σιδηροδρομικό δίκτυο. Η χρήση του ίδιου τυποποιημένου εύρους με εκείνη των συμβατικών γραμμών αυτόματα μειώνει το κόστος κατασκευής. Ταυτόχρονα, δύναται να προσφερθούν υψηλότερες ταχύτητες σε ολόκληρο το δίκτυο, υλοποιώντας μικρές προσαρμογές του υπάρχοντος δικτύου και στις συνδέσεις του με τις νέες γραμμές (Najafi&Nassar, 1996).



Εικόνα 3: Το γαλλικό TGV (Πηγή: Wikipedia, 2021)

Η Γερμανία ήταν η επόμενη χώρα που εισήγαγε το HSR, εγκαινιάζοντας το Inter-City Express (ICE) μεταξύ Ανόβερου και Γόρζμπουργκ, το 1991 Εικόνα 4. Η Γερμανία, λόγω της προνομιακής γεωγραφικής της θέσης στην Κεντρική Ευρώπη, ενδιαφερόταν για το σχεδιασμό ενός νέου συστήματος να επιτρέπει τόσο τις επιβατικές όσο και τις εμπορευματικές μεταφορές εντός των συνόρων της και προς τις γειτονικές χώρες, διασφαλίζοντας έτσι την οικονομική

αποδοτικότητα της επένδυσης. Ωστόσο, σύντομα εμφανίστηκαν προβλήματα που σχετίζονται με τη μικτή κυκλοφορία (Ebeling, 2005 ; Givoni, 2006).



Εικόνα 4: Το γερμανικό ICE (Πηγή: Wikipedia,2021)

2.3. Σιδηρόδρομος μαγνητικής αιώρησης - Maglev

Το τρένο Magnetic Levitation, γνωστό ως Maglev, εφευρέθηκε στο Brookhaven National Laboratory στις ΗΠΑ, το 1961. Το 1960 δόθηκε το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για το τρένο Maglev στους Τζέιμς Πάουελ και τον Γκόρντον Ντάνμπι. Η νέα αυτή τεχνολογία ανακαλύφθηκε από τον Τζέιμς Πάουελ, ο οποίος σκέφτηκε ότι θα μπορούσε να αιωρηθεί ένα τρένο χρησιμοποιώντας υπεραγωγούς μαγνήτες (“RayHayber” , 2020).



Εικόνα 5: Maglev (Πηγή: Japan Rail Pass, 2019)

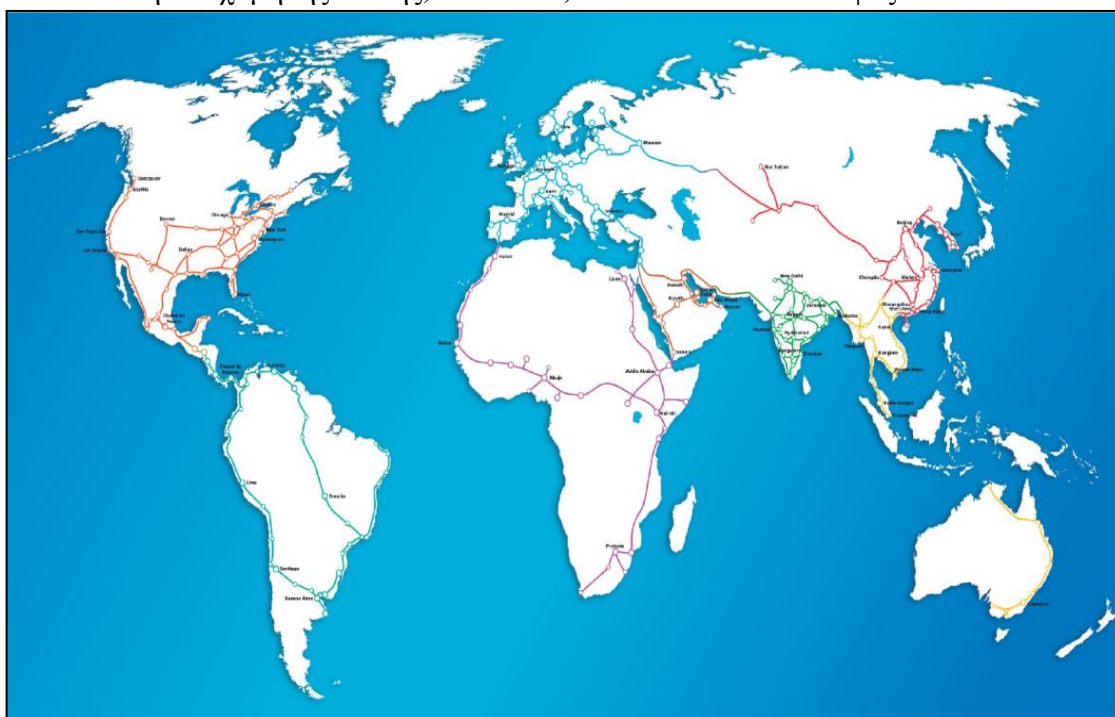
Το σύστημα Maglev Εικόνα 5 αποτελεί καινοτομία στον κλάδο της σιδηροδρομικής, καθώς γίνεται χρήση της μαγνητικής αιώρησης, καθοδήγησης και προώθησης χωρίς αλληλεπίδραση, αφού δεν διαθέτουν τροχούς, άξονες και μετάδοση. Στα συνήθη παραδοσιακά σιδηροδρομικά οχήματα υψηλής ταχύτητας υπάρχει άμεση φυσική επαφή του οχήματος με τον οδηγό πράγμα που δεν συμβαίνει στο σύστημα Maglev. Τα εν λόγω οχήματα κινούνται κατά μήκος μαγνητικών πεδίων που είναι τοποθετημένα μεταξύ του οχήματος και του οδηγού. Οι υψηλές ταχύτητες του οφείλονται στη μη μηχανική επαφή και στη μηδενική τριβή που παρέχει το σύστημα (Santangelo, 2018).

Το σύστημα Maglev διαχωρίζεται σε δύο κύριες κατηγορίες ανάρτησης οι οποίες είναι: α) Ηλεκτρομαγνητική ανάρτηση (EMS) και β) Ηλεκτροδυναμική ανάρτηση (EDS). Παρόλα αυτά τα χαρακτηριστικά τους είναι κοινά: αναπτύσσουν υψηλές ταχύτητες με ασφάλεια, έχουν φιλική συμπεριφορά ως προς το περιβάλλον καθώς διατηρούν χαμηλά τα επίπεδα σε ρίπους διότι καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια, έχουν χαμηλό κόστος συντήρησης και υψηλή χωρητικότητα για να υποδέχονται την αυξανόμενη αύξηση της κυκλοφορίας (Santangelo, 2018).

Το σύστημα EMS λειτουργεί με ελκυστικές μαγνητικές δυνάμεις και το όχημα αιωρείται περίπου 10 mm έως 100 mm πάνω από την τροχιά χρησιμοποιώντας μόνιμους μαγνήτες (PM EDS) ή υπεραγώγιμους μαγνήτες (SC EDS). Από την άλλη το σύστημα EDS λειτουργεί με αποκρουστικές μαγνητικές δυνάμεις και το όχημα αιωρείται περίπου 10 mm έως 20 mm πάνω από τον οδηγό χρησιμοποιώντας ηλεκτρομαγνήτες (Santangelo, 2018).

2.4. Τρένο πολύ υψηλής ταχύτητας - Hyperloop

Το Hyperloop είναι μια νέα μορφή χερσαίων μεταφορών που αναπτύσσονται επί του παρόντος από διάφορες εταιρείες σε όλο τον κόσμο Εικόνα 6. Προβλέπεται οι επιβάτες να ταξιδεύουν με ταχύτητα πάνω από 1.130 χλμ./ώρα (700 μίλια την ώρα) σε κάψουλα που τρέχει κατά μήκος γιγάντιων σωλήνων χαμηλής πίεσης, είτε πάνω, είτε κάτω από το έδαφος.



Εικόνα 6: Παγκόσμιο δίκτυο Hyperloop - όραμα 2050 (Πηγή: Zeleros, 2021)

Υπάρχουν δύο μεγάλες διαφορές μεταξύ του Hyperloop και του παραδοσιακού σιδηροδρόμου. Αρχικά, οι κάψουλες που μεταφέρουν επιβάτες ταξιδεύουν μέσω σωλήνων ή σηράγγων από τα οποία έχει αφαιρεθεί το μεγαλύτερο μέρος του αέρα για τη μείωση της τριβής. Αυτό θα επιτρέψει στην κάψουλα να ταξιδεύουν με ταχύτητα έως 1.200 χλμ./ώρα (750 μίλια την ώρα). Επιπλέον, αντί να χρησιμοποιούν τροχούς όπως ένα τρένο ή αυτοκίνητο, οι κάψουλες έχουν σχεδιαστεί για να επιπλέουν σε αέρα, χρησιμοποιώντας την ίδια βασική ιδέα με ένα τραπέζι χόκεϊ αέρα, ή χρησιμοποιούν μαγνητική ανύψωση για τη μείωση της τριβής (Ranger, 2019).

2.4.1. Η τεχνολογία Hyperloop.

Η τεχνολογία Hyperloop αποτελείται από όχημα (κάψουλα) το οποίο χρησιμοποιείται για επιβάτες ή μεταφορά φορτίου, σωλήνα κενού και σύστημα προώθησης. Η κάψουλα είναι το κύριο μέρος του Hyperloop που είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά επιβατών ή φορτίου. Το σχήμα της κάψουλας επιλέγεται έτσι ώστε να υπάρχει ελάχιστη αντίσταση στην τριβή του αέρα κατά τη διάρκεια της κίνησης. Η υποδομή του Hyperloop αποτελείται από έναν κυλινδρικό σωλήνα κενού. Προκειμένου να μειωθεί το κόστος της κατασκευής και να διατηρηθεί το απαιτούμενο μέγεθος στο ελάχιστο, ο σωλήνας κενού κατασκευάζεται σε στήλες ανά διαστήματα. Προκειμένου να επιταχυνθεί και να επιβραδύνει την κάψουλα, θα χρησιμοποιηθεί ο γραμμικός ασύγχρονος κινητήρας. Το σταθερό στοιχείο του κινητήρα θα κατασκευαστεί σε διάφορες θέσεις κατά μήκος του μήκους του σωλήνα για την επιτάχυνση της κάψουλας, ενώ ο κινητός κινητήρας τοποθετείται στις κάψουλες για να μεταφέρει ισχύ στην κάψουλα μέσω γραμμικών επιταχυντών.

Αν και το Hyperloop προτάθηκε το 2013 από τον Elon Musk ως το πέμπτο μέσο μεταφοράς, μετά το αυτοκίνητο, το αεροπλάνο, το τρένο και το πλοίο, η ιδέα του χρονολογείται από το 1900. Το 1910, ο Αμερικανός πρωτοπόρος του πυραύλου Ρόμπερτ Γκόντφραϊντ πρότεινε ένα πλωτό τρένο που ονομάστηκε vactrain (vacuumtrain) μέσα σε μια σφραγισμένη σήραγγα από τη Βοστώνη στη Νέα Υόρκη. Η ιδέα διαδόθηκε από τον Elon Musk παρουσιάζοντας την έκθεση Hyperloop Alpha. Η τεχνολογία Hyperloop ανακοινώθηκε σε ένα σχέδιο έγγραφο με την ονομασία Hyperloop Alpha (Tesla, 2013).

Το έγγραφο Hyperloop Alpha προσέλκυσε μεγάλο ενδιαφέρον παγκοσμίως καθώς δημιουργήθηκαν πολλές εταιρείες και ακαδημαϊκές ομάδες για να εργαστούν πάνω στην τεχνολογία Hyperloop. Ορισμένες από αυτές είναι: Hyperloop One, Hyperloop Transportation Technologies, Delft Hyperloop, Hardt Hyperloop κ.λπ.

Στο πλαίσιο αυτό, η πρώτη δοκιμαστική πίστα που ονομάζεται DevLoop κατασκευάστηκε από την εταιρεία Hyperloop One στην έρημο της Νεβάδα, βόρεια του Λας Βέγκας. Αυτή η δοκιμαστική πίστα είναι μήκος περίπου 500 μέτρων και χρησιμοποιείται για τη δοκιμή πρωτότυπων καψουλών επιβατών και φορτίων. Ενώ, οι Ηνωμένες Πολιτείες ηγούνται κυρίως των εργασιών για το Hyperloop, χώρες όπως τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, Ινδία, η Γαλλία και η Ολλανδία διεξάγουν έρευνα και μελέτες για την εφαρμογή αυτού του συστήματος (Yavuz&Öztürk, 2021).

2.4.2. Πώς διαφέρει το Hyperloop από τα τρένα υψηλής ταχύτητας;

Το Hyperloop θεωρείται καλύτερο από το τρένο υψηλής ταχύτητας, αφού έχει χαμηλότερο κόστος και είναι ενεργειακά αποδοτικότερο καθώς δεν απαιτείται η παροχή συνεχούς ισχύος στην κάψουλα και, επειδή οι κάψουλες μπορούν να φύγουν κάθε 30 δευτερόλεπτα, παρομοιάζεται περισσότερο με μια υπηρεσία κατ'απαίτηση (on demand). Είναι επίσης δυνητικά δύο ή τρεις φορές γρηγορότερο από τους σιδηροδρόμους υψηλής ταχύτητας (και δέκα φορές από τους τακτικούς σιδηροδρόμους) (Ranger, 2019).

Το Hyperloop θα μπορούσε να είναι φθηνότερο και ταχύτερο από το τρένο ή το αυτοκίνητο, και φθηνότερο και λιγότερο ρυπογόνο από το αεροπορικό ταξίδι, και φθηνότερο στην κατασκευή συγκριτικά με την παραδοσιακό τρένο υψηλής ταχύτητας. Το Hyperloop θα μπορούσε επομένως να χρησιμοποιηθεί για να απομακρύνει την συμφόρηση στους δρόμους, διευκολύνοντας τα ταξίδια μεταξύ μακρινών πόλεων και, ως εκ τούτου, μπορεί να επιφέρει σημαντικά οικονομικά οφέλη (Ranger, 2019).

Τα πλεονεκτήματα του Hyperloop (Tesla, 2013 ; Rana, 2020) συνοψίζονται ως:

- Εξαιρετικά αποδοτικές δυνατότητες μεταφοράς σε μεγάλη κλίμακα,
- Πολύ γρήγορη μεταφορά όσον αφορά την ταχύτητα,
- Εξ ολοκλήρου ανανεώσιμη ενέργεια (ηλιακή, αιολική ενέργεια) με εκμηδένιση των ρύπων,
- Πολύ χαμηλή κατανάλωση ρεύματος,
- Λιγότερος χώρος στο έδαφος για την κατασκευή καθώς χρειάζεται πολύ λιγότερη ενέργεια για την μεταφορά της κάψουλας σε σύγκριση με τα συμβατικά τρένα,
- Ανεξάρτητο από τις καιρικές συνθήκες,
- Ασφαλέστερος τρόπος μεταφοράς,
- Λιγότερος θόρυβος ή χωρίς άμεσες εκπομπές σε σύγκριση με τους σιδηροδρόμους,
- Η μέγιστη κατά μήκος κλίση είναι μεγαλύτερη από τη συμβατική, και
- Χαμηλότερο κόστος σήραγγας λόγω μικρότερης διαμέτρου.

Τα μειονεκτήματα του Hyperloop (Tesla, 2013 ; Rana, 2020) συνοψίζονται ως:

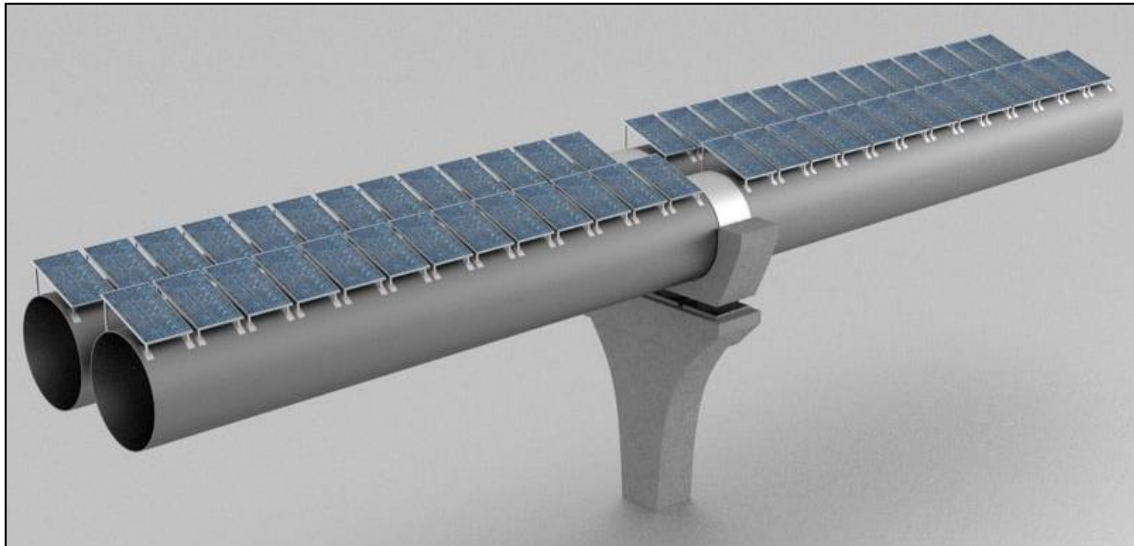
- Η ταχύτητα της κάψουλας μπορεί να προκαλέσει ζάλη στους επιβάτες λόγω κραδασμών και τραντάγματος μέσα στην κάψουλα,
- Αρχικό κόστος πολύ υψηλό,
- Απαίτηση περισσότερων τεχνικών δεξιοτήτων για την κατασκευή των σωλήνων κενού αέρος, καθώς το κόστος και οι κίνδυνοι διατήρησης μεγιστοποιούνται σε μακρύτερους σωλήνες,
- Για την ανάπτυξη του έργου μέλημα θα αποτελέσουν τα δικαιώματα χρήσης γης,
- Υψηλός κίνδυνος θανάτου σε περίπτωση λάθους στο σύστημα, και
- Αρκετά περιορισμένος χώρος για τους επιβάτες.

2.5. Το Hyperloop και τα μέρη του

2.5.1. Σωλήνας (tube)

Ο σωλήνας αποτελεί ένα από τα κυριότερα μέρη του συστήματος Hyperloop που είναι κατασκευασμένος από χάλυβα. Υπάρχουν δύο σωλήνες συγκολλημένοι ο ένας δίπλα στον άλλον πλάγια ή πάνω και κάτω για να επιτρέπεται στις κάψουλες να ταξιδεύουν και προς τις

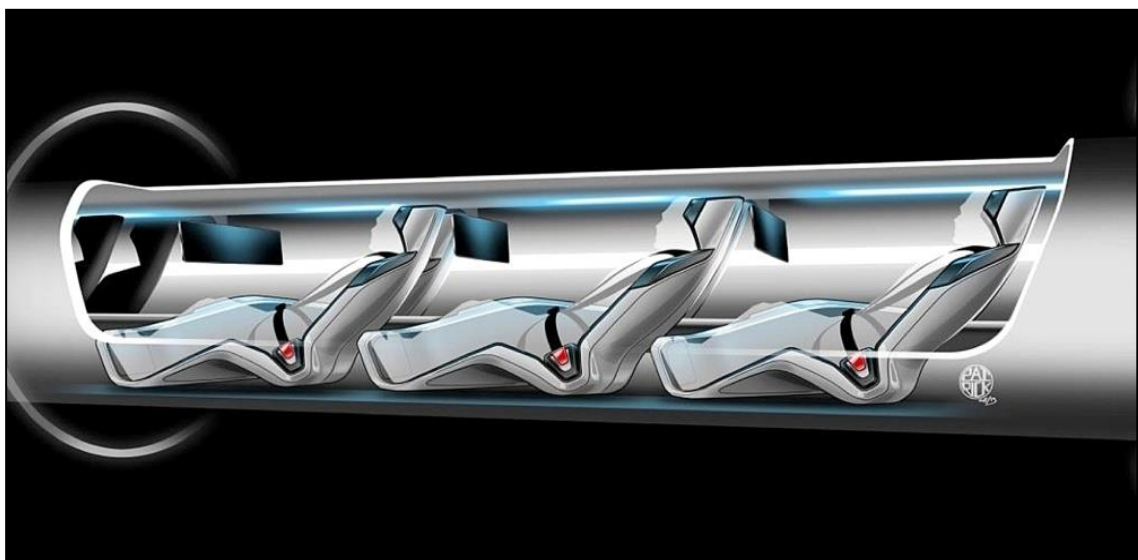
δύο κατευθύνσεις ταυτόχρονα. Οι σωλήνες αυτοί θα υποστηρίζονται με την βοήθεια των πυλώνων Εικόνα 7. Οι κολόνες τοποθετούνται σε απόσταση 30 μέτρων μεταξύ τους. Για την παροχή ισχύος στο σύστημα υπάρχουν ηλιακοί συλλέκτες στο πάνω μέρος του σωλήνα. Ως προς την γεωμετρία του σωλήνα, η εσωτερική διάμετρος είναι 2,23 μέτρα και η επιφάνεια διατομής του σωλήνα 3,91 τ.μ. Η αναμενόμενη πίεση αέρα στο εσωτερικό του σωλήνα κυμαίνεται περίπου στα 100 Pa (Dhote, 2017).



Εικόνα 7: Hyperloop tube (Πηγή: TurboSquid, 2021)

2.5.2. Κάψουλα (capsule/pod)

Η μεταφορική ικανότητα της κάψουλας αντιστοιχεί σε 28 επιβάτες ανά μονάδα χρόνου ταξιδεύοντας με πολύ υψηλές ταχύτητες σε ολόκληρο το μήκος του σωλήνα Εικόνα 8. Για την επιτάχυνση της κάψουλας χρησιμοποιούνται μαγνητικοί γραμμικοί επιταχυντές, όπου είναι σταθεροί σε διάφορους σταθμούς του σωλήνα Hyperloop. Κάθε κάψουλα περιέχει στροφείς στερεωμένους στο κάτω μέρος και τους στατήρες στα τοιχώματα του σωλήνα. Η ορμή της κάψουλας αντλείται από τον συνδυασμό του στροφέα και του στατήρα (Dhote, 2017).



Εικόνα 8: Hyperloop capsule (Πηγή: Sputnik International, 2017)

2.5.3. Συμπιεστής (compressor)

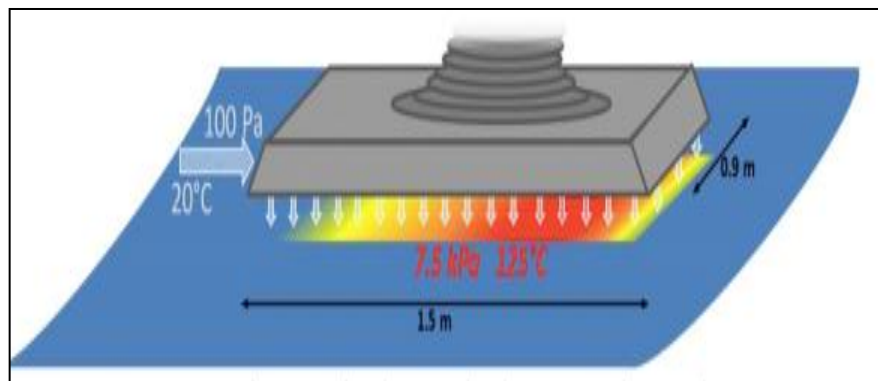
Ο συμπιεστής Εικόνα 9 είναι τοποθετημένος στην μπροστινή πλευρά της κάψουλας, απορροφώντας τον αέρα και τον μεταφέρει στα ρουλεμάν υποστηρίζοντας το βάρος της κάψουλας. Ο συμπιεστής δίνει την ικανότητα στη κάψουλα να διασχίζει το εσωτερικό του σωλήνα παρόλο την χαμηλή πίεση του επικρατεί δίχως να πνίγει τον ταξιδιώτη. Η αναλογία συμπίεσης του αέρα κυμαίνεται στο 20:1 μέσω του αξονικού συμπιεστή (Dhote, 2017).



Εικόνα 9: Hyperloop compressor (Πηγή: Shinde, Raijade, Lahare&Sarade, 2017)

2.5.4. Ανάρτηση (suspension)

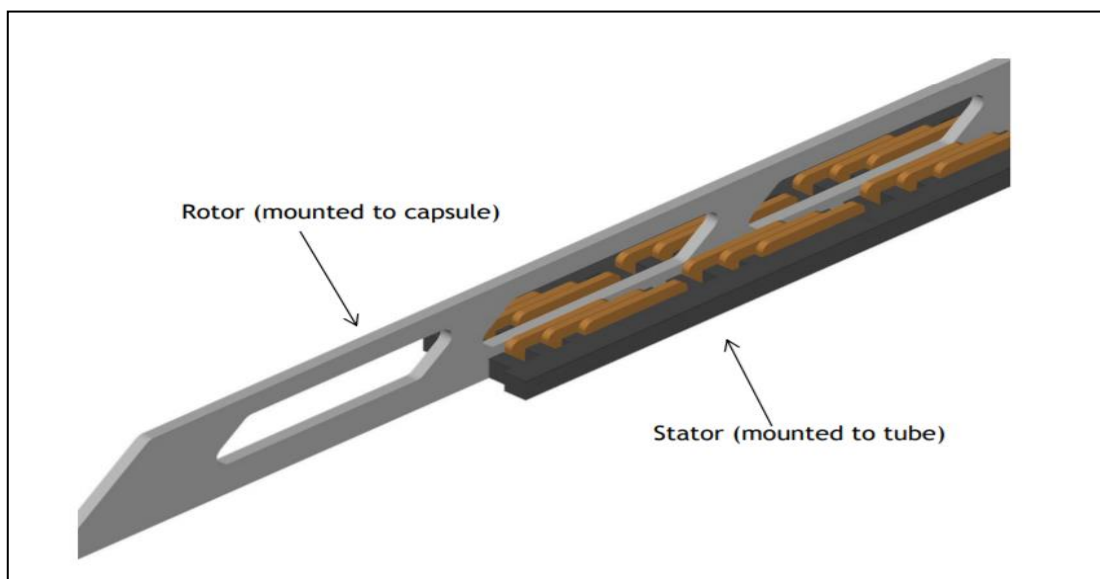
Η ανάρτηση ρουλεμάν αέρα παρέχει σταθερότητα και ιδιαίτερα χαμηλή έλξη με εφικτό κόστος για λόγους ασφάλειας και αξιοπιστίας του συστήματος. Εξαιτίας της αρκετά υψηλής ακαμψίας κρίνεται απαραίτητη η ανάρτηση ρουλεμάν αέρα για την διασφάλιση της σταθερότητας σε πολύ υψηλές ταχύτητες. Για το σύστημα Hyperloop εξαιρετικές θεωρούνται οι αεροδυναμικές και συμπιεσμένες αναρτήσεις Εικόνα 10. Δυσφορία στους επιβάτες προκαλεί η αυξημένη πίεση καθώς τα σκι απομακρύνονται. Πάνω από την επιφάνεια του σωλήνα επιπλέει μια σειρά από 28 ρουλεμάν αέρα σκι που είναι γεωμετρικά προσαρμοσμένα στα τοιχώματα του σωλήνα. Τα σκι υποστηρίζουν το βάρος της κάψουλας με ένα μαξιλάρι αέρα υπό πίεση. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των σκι είναι: το μήκος του 1,5 μέτρο, το πλάτος του 0,9 μέτρα και η πίεση μεταξύ των τοιχωμάτων του σωλήνα και του σκι είναι $9,4 \times 10^3$ Pa (Dhote, 2017).



Εικόνα 10: Hyperloop suspension (Πηγή: Delft Hyperloop, 2019)

2.5.5. Προώθηση (propulsion)

Σημαντικό συστατικό αποτελεί το σύστημα προώθησης για το Hyperloop για την ανάπτυξη επιτάχυνσης και επιβράδυνσης της κάψουλας από το 0 σε 482,80 χλμ./ώρα (0 σε 300 mph). Η προώθηση βοηθά την κάψουλα να διατηρήσει την απαραίτητη ταχύτητα μέσα στις αστικές αλλά και στις λοφώδεις περιοχές. Ο κινητήρας γραμμικής επαγωγής που χρησιμοποιείται για την επιτάχυνση και επιβράδυνση της κάψουλας πλεονεκτεί έναντι του κινητήρα μόνιμου μαγνήτη. Ο γραμμικός κινητήρας επαγωγής μειώνει το κόστος υλικού, το βάρος της κάψουλας και τις διαστάσεις της κάψουλας Εικόνα 11(Dhote, 2017).



Εικόνα 11: Hyperloop propulsion (Πηγή: Hyperloop Alpha, 2013)

2.6. Όραμα και διαθεσιμότητα Hyperloop

Σύμφωνα με τον προγραμματισμό της «Hyperloop Transportation Technologies» (HTT), 2021 στην Αμερική η κατασκευή του δικτύου της θα ξεκινήσει το 2023, και το 2028 θα ξεκινήσουν τα πρώτα δρομολόγια. Η πρώτη γραμμή που θα δημιουργηθεί θα είναι αυτή που θα ενώνει το Σικάγο με το Κλίβελαντ. Οι δύο πόλεις απέχουν 550 χλμ. μεταξύ τους και το Hyperloop θα καλύπτει αυτή την απόσταση σε περίπου 35 λεπτά (Naftemporiki, 2021).

Η δεύτερη γραμμή που βρίσκεται υπό μελέτη είναι αυτή ανάμεσα στο Πίτσμπουργκ της Πενσυλβάνια με την Νέα Υόρκη. Σύμφωνα με την εταιρεία στην πρώτη φάση το Hyperloop θα μπορεί να μεταφέρει 164.000 επιβάτες ημερησίως εκτελώντας δρομολόγια κάθε 40 δευτερόλεπτα (Naftemporiki, 2021).

Μια ακόμη εταιρεία ιδρύθηκε στις ΗΠΑ από τη Virgin. Η Virgin Hyperloop θεωρείται ότι έχει κάνει μεγαλύτερη πρόοδο από την HTT και μάλιστα συνεργάζεται με τα Ηνωμένα Αραβικά για την δημιουργία μιας γραμμής που θα ενώνει το Ντουμπάι με το Άμπου Ντάμπι, που απέχουν 170 χλμ, μέσα σε δώδεκα λεπτά (Naftemporiki, 2021).

2.6.1. Ευρώπη

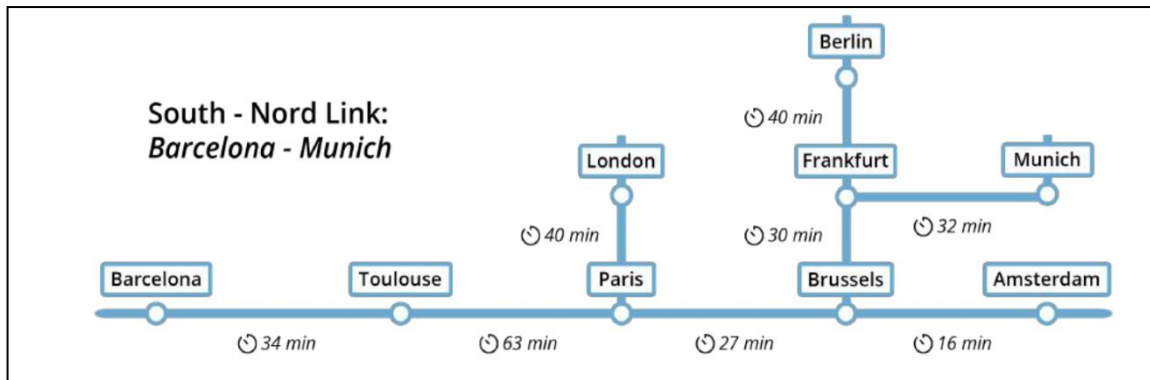
Η Ευρώπη επιδιώκει να μετατραπεί σε μια οικονομία ουδέτερη ως προς τον άνθρακα. Το πρόγραμμα «Ορίζων 2020» (European Commission, 2020) με προϋπολογισμό 100 δισεκατομμυρίων ευρώ, αυξάνει τις πιθανότητες να γίνει η Ευρώπη παγκόσμιος ηγέτης στην ανάπτυξη μιας οικονομίας ουδέτερης ως προς τον άνθρακα, αποδεικνύοντας παράλληλα τη συμβατότητά της με τη βιώσιμη ανάπτυξη και τη δημιουργία πλούτου για τους πολίτες της. Σε αυτή τη γραμμή, το Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ αναδεικνύει το Hyperloop ως μία από τις 20 βασικές αγορές που θα προκύψουν μετά την πανδημία COVID-19 (Zeleros, 2021).



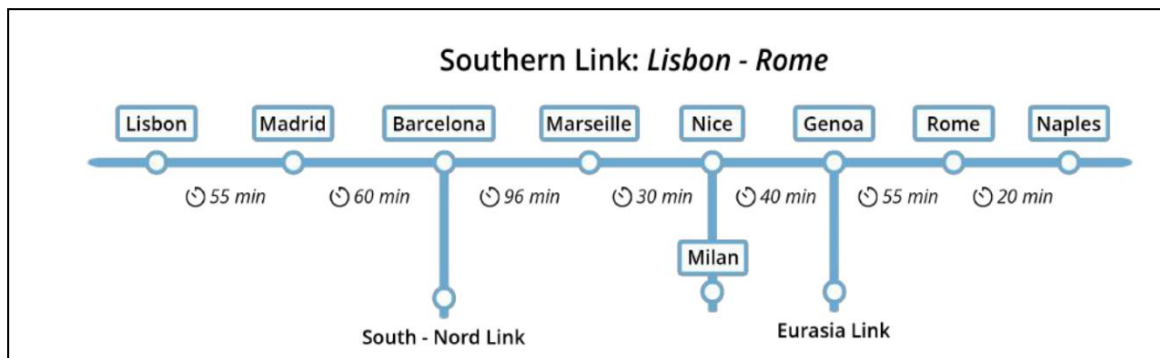
Εικόνα 12: Οραματίζοντας το Hyperloop στην Ευρώπη (Πηγή: Zeleros, 2021)

Η βάση για το Hyperloop στην Ευρώπη Εικόνα 12 τίθεται σε εφαρμογή χάρη στην πρόσφατη σύσταση της Μεικτής Τεχνικής Επιτροπής (Eurocontrol, 2018), που λειτουργεί υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Τυποποίησης. Μετά το 2020, η πολιτική συνοχής της Ευρωπαϊκής Ένωσης που χρηματοδοτεί την πράσινη ανάκαμψη (€ 322 δισεκατομμύρια), το Next Generation EU στηρίζει τις χώρες μέλη να επανεκκινήσουν τις οικονομίες τους, θέτοντας την βάση για μια σύγχρονη και πιο βιώσιμη Ευρώπη (€ 750 δισεκατομμύρια) (Zeleros, 2021).

Στα πλαίσια οραματισμού και εφαρμογής ενός δικτύου Hyperloop για την Ευρώπη το 2050 στόχος είναι να υπάρξει σύνδεση του Νότου με το Βορρά Εικόνα 13, όπου θα ενώνει την Βαρκελώνη με το Μόναχο, καθώς θα αποτελεί την κύρια διαδρομή. Στη συνέχεια, θα προστεθεί κι άλλη διαδρομή Νότια της Ευρώπης που θα ενώνει τη Λισαβόνα με τη Ρώμη Εικόνα 14.



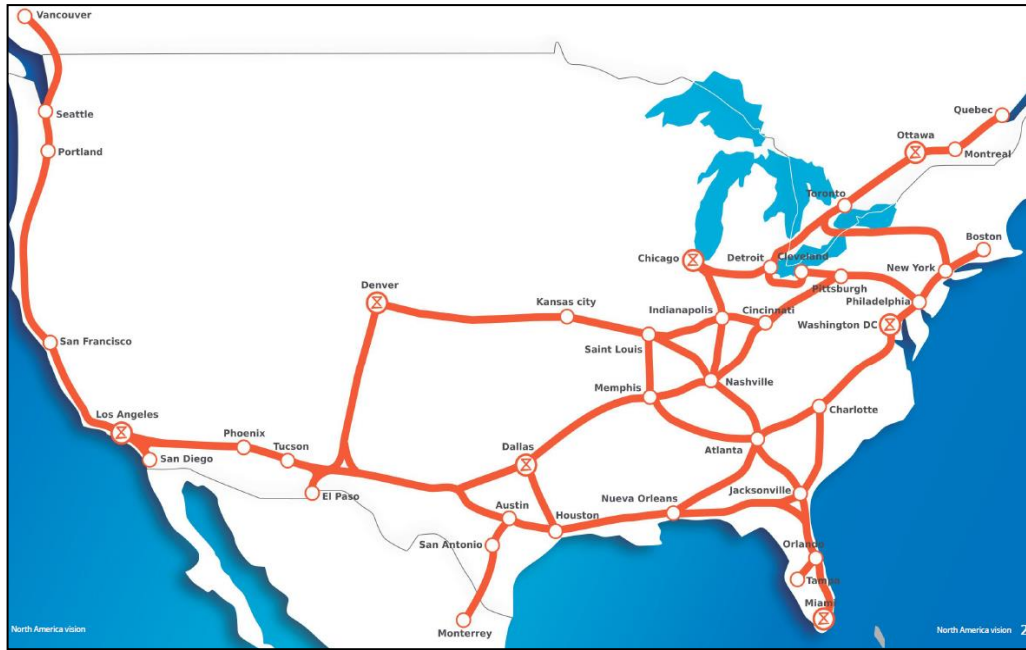
Εικόνα 13: Η κύρια διαδρομή για το όραμα του 2050 για την Ευρώπη (Πηγή: Zeleros, 2021)



Εικόνα 14: Επιπλέον συνδέσεις για το όραμα του 2050 για την Ευρώπη (Πηγή: Zeleros, 2021)

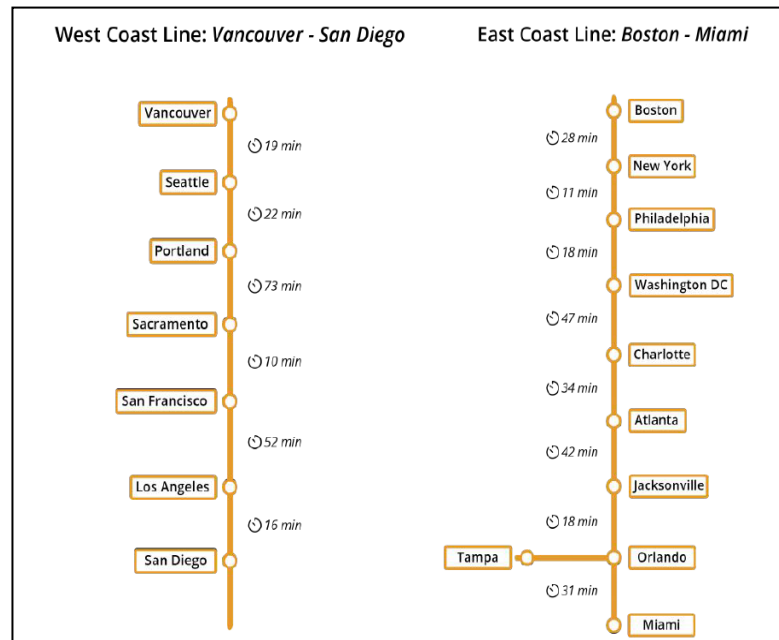
2.6.2. Βόρεια Αμερική

Οι ΗΠΑ ήταν πάντα στην πρώτη γραμμή των μεταφορών. Πριν από δύο αιώνες, ηγήθηκαν της απελευθέρωσης των αερομεταφορών μέσω του νόμου απορρύθμισης των ΗΠΑ του 1978, οι ΗΠΑ άλλαξαν αποτελεσματικά τους κανόνες για τα ταξίδια μεγάλων αποστάσεων και εκδημοκράτισαν την πρόσβαση στην αεροπορία και στο μαζικό κοινό. Τώρα, 200 χρόνια μετά την έναρξη της «αμερικανικής μανίας σιδηροδρόμων», με την ίδρυση της πρώτης γραμμής επιβατών και εμπορευμάτων στο έθνος του σιδηροδρόμου της Βαλτιμόρης και του Οχάιο το 1827, οι Αμερικανοί καινοτόμοι συνεχίζουν να πρωτοπορούν στην ανάπτυξη του μέλλοντος των μεταφορών Εικόνα 15. Ομοίως, η κυβέρνηση του Καναδά προβαίνει σε τολμηρές δεσμεύσεις για το μέλλον των μεταφορών με το σχέδιο «Μεταφορές 2030» να τίθεται σε εφαρμογή. Αυτό το στρατηγικό σχέδιο προσπαθεί να εφαρμόσει ένα έξυπνο, καθαρό και ασφαλές σύστημα μεταφορών σε ολόκληρη τη χώρα (Zeleros, 2021).



Εικόνα 15: Οραματίζοντας το Hyperloop στη Βόρεια Αμερική (Πηγή: Zeleros, 2021)

Μετά από μια καθυστερημένη έκκληση για την ανάπτυξη του HSR, το Hyperloop έχει τη δυνατότητα να αποτελέσει μια ευκαιρία για την ανάπτυξη υποδομών κινητικότητας με δύο κύριες διαδρομές Δυτικά και Ανατολικά της ακτής Εικόνα 16. Η προσέλκυση επιβατών από την περιφερειακή αεροπορία μπορεί να αποφέρει οφέλη που δεν έχουν διερευνηθεί πριν (Zeleros, 2021).



Εικόνα 16: Η κύρια διαδρομή για το όραμα του 2050 στη Βόρεια Αμερική (Πηγή: Zeleros, 2021)

2.6.3. Νότια Αμερική

Η Νότια Αμερική έχει σημειώσει σημαντική οικονομική και πολιτική πρόοδο τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Η γένεση των εμπορευμάτων κατά την περίοδο της δεκαετίας του 2000 τροφοδότησε υψηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης από τις ανεπτυγμένες χώρες και δημιούργησε

μα θεαματική πτώση του ποσοστού φτώχειας και μια πολύ μεγάλη εξάπλωση της εργατικής μεσαίας τάξης. Στις μέρες μας, 441 εκατομμύρια, ή δύο από τα τρία άτομα, θεωρούνται μέρος της αυξανόμενης μεσαίας τάξης της Νότιας Αμερικής (Zeleros, 2021).

Η Νότια Αμερική είναι μια εξαιρετικά αστικοποιημένη περιοχή με το 81% του πληθυσμού της να ζει σε πόλεις. Το Hyperloop είναι μια μεγάλη ευκαιρία για την περιοχή να συνδέσει τις πόλεις και τους πολίτες της Εικόνα 17, ενισχύοντας την ολοκλήρωση και την οικονομική ανάπτυξη. Επιπλέον, οι πολίτες θα είναι μάρτυρες του τρόπου με τον οποίο το Hyperloop ενισχύει τη συνδεσιμότητα και την ανταγωνιστικότητα των πόλεων τους (United Nations [UN], 2018).



Εικόνα 17: Οραματίζοντας το Hyperloop στην Νότια Αμερική (Πηγή: Zeleros, 2021)

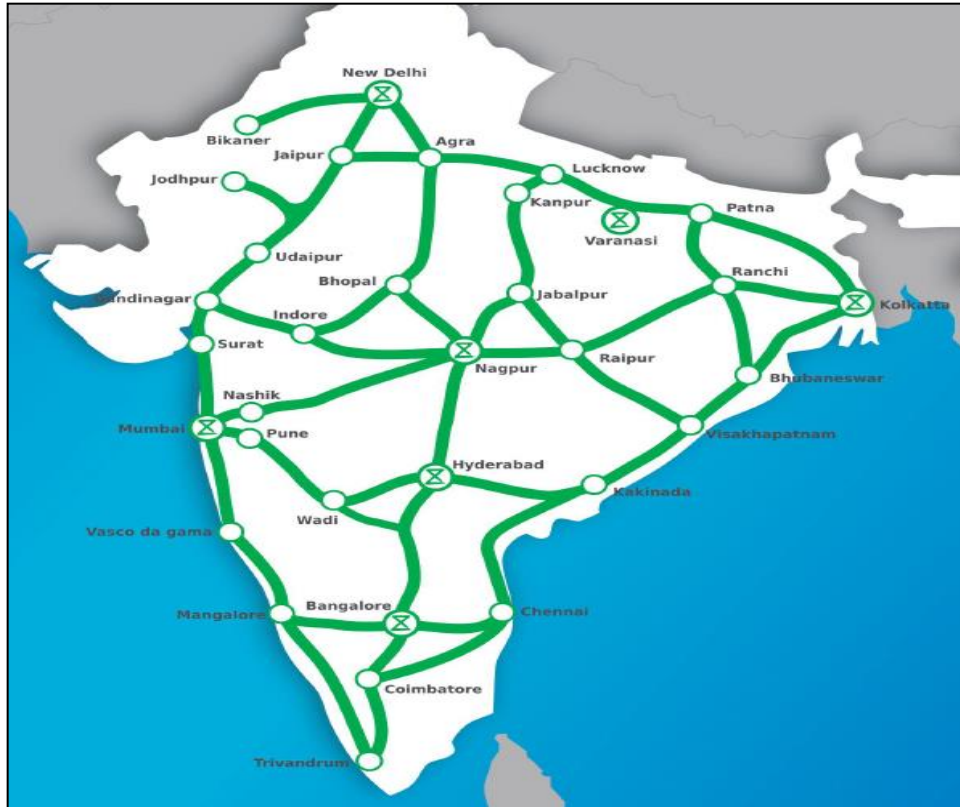
2.6.4. Ινδία

Η Ινδία βρίσκεται εν μέσω διαδικασίας μετασχηματισμού η οποία θα αναδιαμορφώσει τη δημογραφία και τις οικονομικές επιδόσεις της χώρας. Η οικονομία βιώνει μια άνευ προηγουμένου ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, βελτιώνοντας περισσότερο από 8,5% κατά μέσο όρο ετησίως. Όσον αφορά τα δημογραφικά στοιχεία, ο σημερινός πληθυσμός υπερβαίνει το 1,3 δισεκατομμύριο πολίτες (Wilson, 2003), με πρόβλεψη επέκτασης σε 1,6 έως το 2050 (Sankhe et al. 2020).

Σύμφωνα με τις προβλέψεις του Υπουργείου Οικονομικών και Κοινωνικών Υποθέσεων του ΟΗΕ, μέχρι το 2050, η Ινδία θα έχει προσθέσει 800 εκατομμύρια κατοίκους των πόλεων, δηλαδή 400 εκατομμύρια περισσότερους από τη βάση του 2018 (United Nations [UN], 2018).

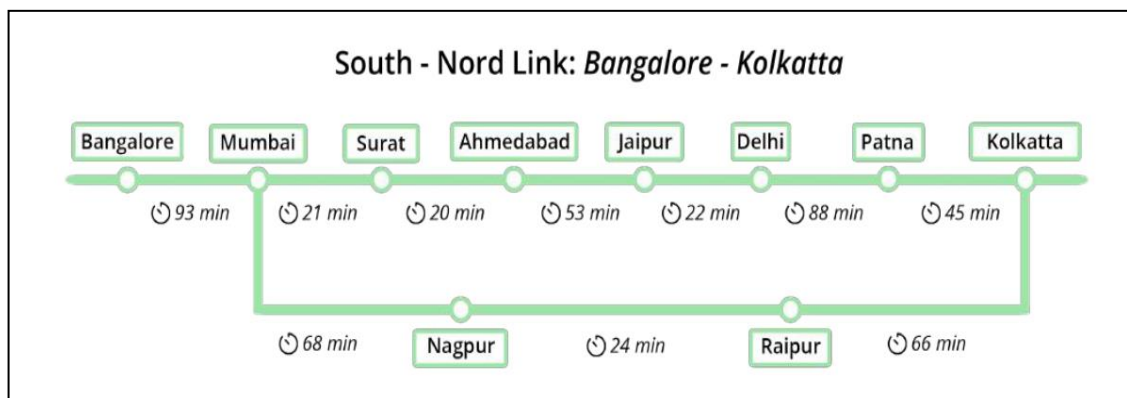
Οι Ινδικοί Σιδηρόδρομοι μεταφέρουν σχεδόν 8 δισεκατομμύρια επιβάτες ετησίως. Η Ινδία θα αντιμετωπίσει μια αλλαγή στην κινητικότητα Εικόνα 18, λόγω των απαιτήσεων που

δημιουργούνται από την αύξηση κατά 70% των νέων θέσεων απασχόλησης στις αστικές περιοχές έως το 2030, όπως εκτιμάται από το Παγκόσμιο Ινστιτούτο McKinsey (Sankhe et al. 2020).

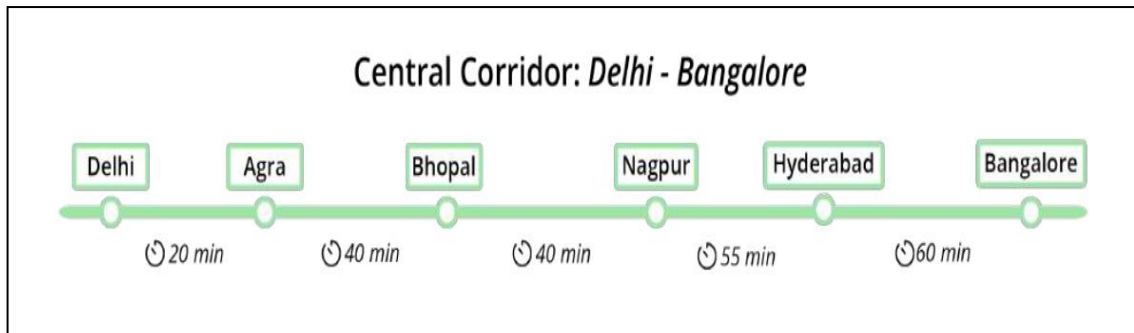


Εικόνα 18: Οραματίζοντας το Hyperloop στην Ινδία (Πηγή: Zeleros, 2021)

Η συνεχόμενη αύξηση πληθυσμού στην Ινδία δυσκολεύει την κινητικότητα του λαού, καθώς χρήζει επιτακτική ανάγκη η εφαρμογή ενός δικτύου Hyperloop όπου θα ενώνει τη Νότια με τη Βόρεια Ινδία Εικόνα 19 όπου θα αποτελεί την κύρια διαδρομή. Στη συνέχεια, θα προστεθεί νέα κεντρική διαδρομή που θα διασχίζει το κέντρο της Ινδίας Εικόνα 20.



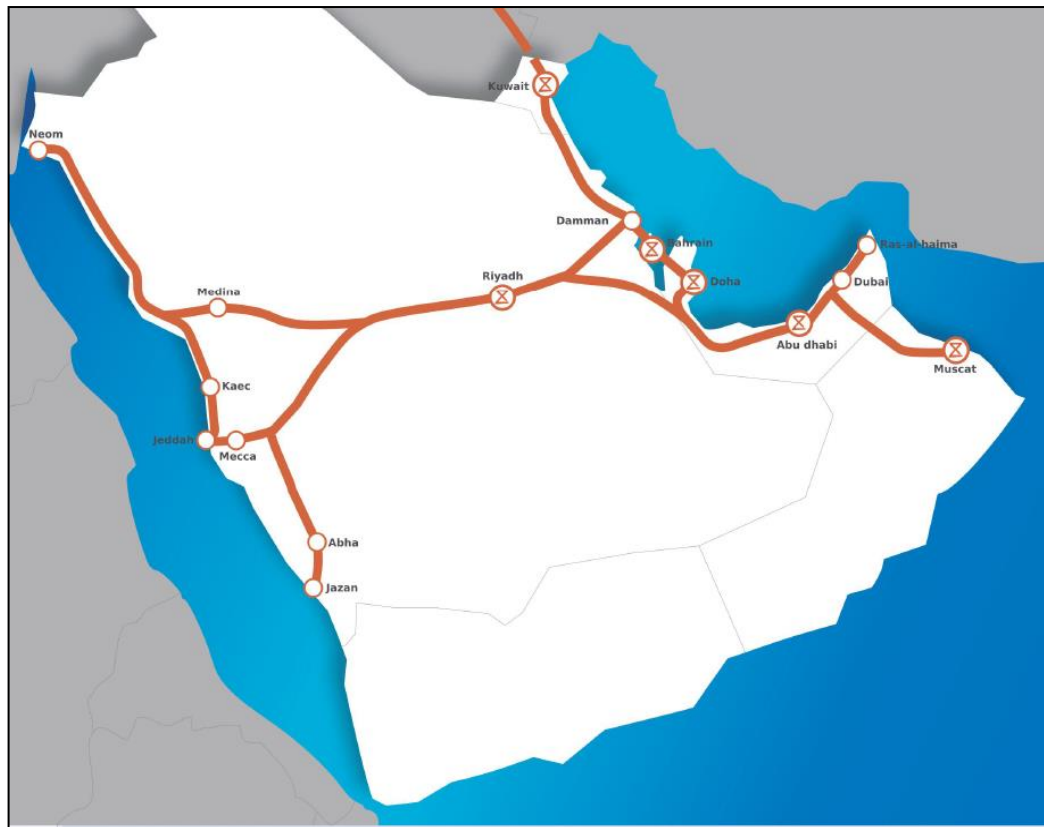
Εικόνα 19: Η κύρια διαδρομή για το όραμα του 2050 στην Ινδία (Πηγή: Zeleros, 2021)



Εικόνα 20: Επιπλέον συνδέσεις για το όραμα του 2050 στην Ινδία (Πηγή: Zeleros, 2021)

2.6.5. Αραβία

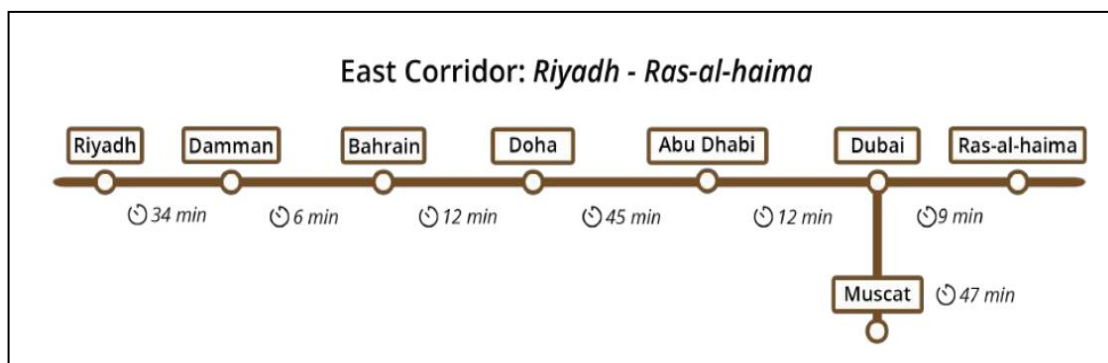
Η Αραβική Χερσόνησος Εικόνα 21, ειδικά τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα και η Σαουδική Αραβία, έχει αποδείξει τη μετασχηματιστική ικανότητά της μέσα από την ανάπτυξη μερικών από τις πιο προεξέχουσες πόλεις παγκοσμίως, μέσα σε λίγες δεκαετίες (Zeleros, 2021).



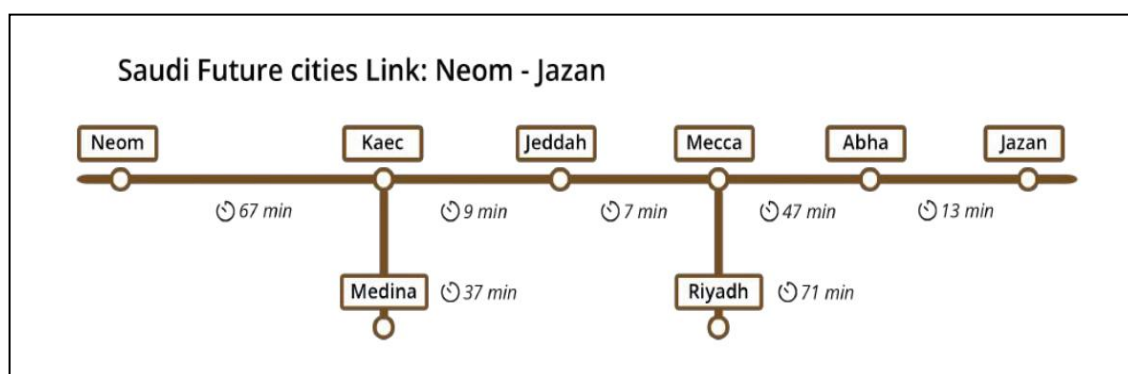
Εικόνα 21: Οραματίζοντας το Hyperloop στην Αραβία (Πηγή: Zeleros, 2021)

Στο σχέδιο ανάπτυξης που έχει υιοθετήσει η Αραβία συμπεριλαμβάνει και την ανάπτυξη στο τομέα των μεταφορών, με την εισαγωγή δικτύου Hyperloop στην Ανατολική Χερσόνησο

Εικόνα 22 ως κύρια διαδρομή και έπειτα με πρόσθετη μελλοντική διαδρομή στα Δυτικά Εικόνα 23.



Εικόνα 22: Η κύρια διαδρομή για το όραμα του 2050 στην Αραβία (Πηγή: Zeleros, 2021)



Εικόνα 23: Επιπλέον συνδέσεις για το όραμα του 2050 στην Αραβία (Πηγή: Zeleros, 2021)

2.6.6. Κίνα

Η Κίνα Εικόνα 24 με τον περισσότερο πληθυσμό άνω των 1,4 δισεκατομμυρίων πολιτών στον κόσμο, αντιμετωπίζει μια πρόκληση στη δημιουργία νέων μεγάλων πόλεων που έχουν την ικανότητα να φιλοξενήσουν τον μελλοντικό πληθυσμό της, ο οποίος συγκεντρώνεται όλο και περισσότερο στις αστικές περιοχές. Μέχρι το 2040, αναμένεται ότι το ποσοστό αστικοποίησης θα φτάσει το 81%, μια μαζική μετατόπιση από το 55% το 2015 (Heathcote&Mulheirn, 2017). Με αυτήν την ταχεία οικονομική και βιομηχανική ανάπτυξη, η Κίνα βρίσκεται τώρα σε εξαιρετική θέση να συνδέσει το έδαφός της (World Bank, 2021).

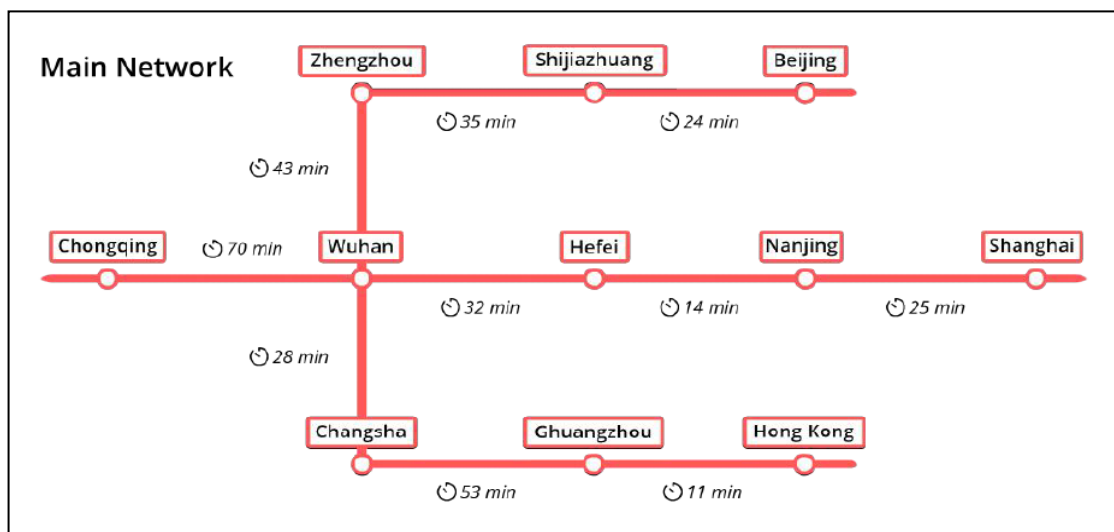
Η Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας διαθέτει ήδη το πιο εκτεταμένο σιδηροδρομικό δίκτυο υψηλής ταχύτητας στον κόσμο μήκους 35.000 χιλιομέτρων και επενδύει περαιτέρω στη σύνδεση των πόλεων της χρησιμοποιώντας καθαρές τεχνολογίες. Επιπλέον, σύμφωνα με την Oxford Economics, συνολικά \$ 16,7 τρισεκατομμύρια προορίζονται για επενδύσεις σε υποδομές μεταφορών για την περίοδο 2016-2040 (Heathcote&Mulheirn, 2017).

Η Κίνα αποδείχθηκε παραγωγική περιοχή για την ανάπτυξη καινοτομιών στην κινητικότητα, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του Maglev στη Σαγκάη.



Εικόνα 24: Οραματίζοντας το Hyperloop στην Κίνα (Πηγή: Zeleros, 2021)

Η Κίνα εκτός από το Maglev που έχει αναπτύξει τίθεται να εφαρμόσει δίκτυο Hyperloop Εικόνα 25 για την διευκόλυνση δισεκατομμυρίων πολιτών που κυρίως κατοικούν στις αστικές περιοχές της Κίνας.



Εικόνα 25: Η κύρια διαδρομή για το όραμα του 2050 στην Κίνα (Πηγή: Zeleros, 2021)

2.6.7. Αυστραλία

Με μόλις το 0,3% του παγκόσμιου πληθυσμού, η Αυστραλία κατείχε τη θέση της ως η 14η μεγαλύτερη οικονομία στον κόσμο το 2019. Η αξία της συνολικής, εθνικής παραγωγής έχει υπερτριπλασιαστεί μέσα σε μόλις δύο δεκαετίες. Επιπλέον, οι προβλέψεις προβλέπουν ότι η οικονομική ευημερία πρόκειται να συνεχιστεί τα επόμενα χρόνια (Piers, 2020).

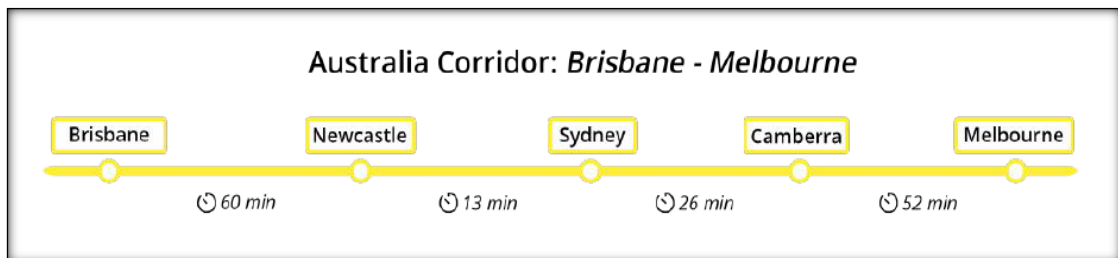
Η πρωτοβουλία Faster Rail Connecting Capital Cities, η οποία θα διερευνήσει βελτιώσεις στις σιδηροδρομικές συνδέσεις μεταξύ των πόλεων και των γύρω περιφερειακών περιοχών. Η

πρωτοβουλία αυτή αποτελεί μέρος της ατζέντας της αυστραλιανής κυβέρνησης για τις επιβατικές σιδηροδρομικές μεταφορές Εικόνα 26 (10 δισεκατομμύρια AUD, 2017-2028) (Zeleros, 2021).

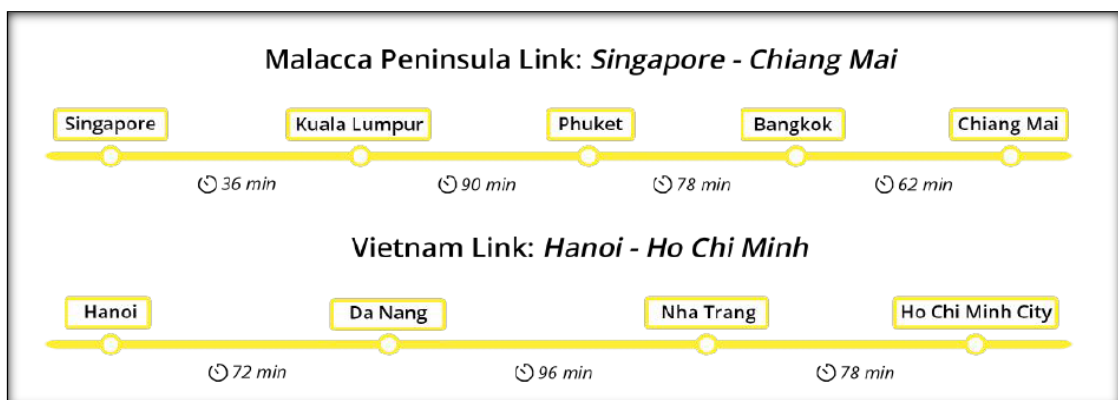


Εικόνα 26: Οραματίζοντας το Hyperloop στην Αυστραλία (Πηγή: Zeleros, 2021)

Η επιβατική σιδηροδρομική κίνηση που πρόκειται να δημιουργηθεί, λόγω του καινοτόμου δικτύου Hyperloop Εικόνα 27 της Αυστραλίας αποτελεί μέρος της οικονομικής ευημερίας της χώρας, καθώς πρόκειται να κατασκευασθούν και δύο επιπλέον διαδρομές στη Μαλαϊκή Χερσόνησο και το Βιετνάμ Εικόνα 28 όπου θα βοηθήσουν την χώρα στη περεταίρω εξέλιξή της.



Εικόνα 27: Η κύρια διαδρομή για το όραμα του 2050 στην Αυστραλία(Πηγή: Zeleros, 2021)



Εικόνα 28: Επιπλέον συνδέσεις για το όραμα του 2050 στην Αυστραλία(Πηγή: Zeleros, 2021)

2.6.8. Αφρική

Ο τομέας των μεταφορών της Αφρικής θα αντιμετωπίσει σύντομα νέες προκλήσεις. Εικόνα 29, όπως η δημογραφική επέκταση, και η αύξηση της ζήτησης στις μεταφορές. Ο πληθυσμός στην Αφρική θα διπλασιαστεί σχεδόν μέχρι το 2050. Μεγάλο μέρος αυτού του πληθυσμού θα ζει σε πόλεις. Στην πραγματικότητα, ο αριθμός των ανθρώπων που ζουν σε αφρικανικές πόλεις θα είναι 2,5 φορές ο σημερινός, αντιπροσωπεύοντας το 59% του συνολικού πληθυσμού (United Nations [UN], 2018). Η αύξηση του πληθυσμού θα έρθει συνάμα με μια επέκταση της μεσαίας τάξης, η οποία θα συνοψίζει έως και 800 εκατομμύρια ανθρώπους έως το 2038, πρόκειται για αύξηση 127% σε σχέση με τα στοιχεία του 2018 (Zeleros, 2021).

Αυτή η δημιουργία της μεσαίας τάξης πιθανότατα θα ζητήσει γρήγορες και αποτελεσματικές μεταφορές εντός της Αφρικής, αυξάνοντας ραγδαία τη ζήτηση στο τομέα των μεταφορών. Στην πραγματικότητα, η αεροπορική ζήτηση αναμένεται να αυξηθεί κατά 5,4% ετησίως για την περίοδο 2018-2038 (Africa Union Commission [AUC], 2015).

Η Ατζέντα 2063 είναι το γενικό σχέδιο της Αφρικανικής Ένωσης για τη μετατροπή της Αφρικής σε παγκόσμια δύναμη του μέλλοντος, με στόχο την παροχή μιας βιώσιμης ανάπτυξη χωρίς αποκλεισμούς. Ένα από τα έργα της Ατζέντας 2063 περιλαμβάνει ένα ολοκληρωμένο σιδηροδρομικό δίκτυο υψηλής ταχύτητας που συνδέει όλες τις αφρικανικές πρωτεύουσες και εμπορικά κέντρα, διευκολύνοντας την κυκλοφορία αγαθών, υπηρεσιών και ανθρώπων (SSATP, n.d.).



Εικόνα 29: Οραματίζοντας το Hyperloop στην Αφρική (Πηγή: Zeleros, 2021)

2.7. Σχετική έρευνα –

2.7.1. Γενική σύγκριση όσον αναφορά τη ταχύτητα και τη χωρητικότητα Hyperloop, Maglev και Σ.Υ.Τ.

Η βασικότερη παράμετρος που λαμβάνουν υπόψη οι επιβάτες για την επιλογή ενός συστήματος μεταφοράς είναι ο χρόνος ταξιδιού. Ο σχεδιασμός και η ταχύτητα λειτουργίας του εκάστοτε μέσου μεταφοράς διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο για το χρόνο ταξιδιού. Αντίθετα, η ταχύτητα σχεδιασμού εξαρτάται από την υποδομή, ενώ η μέγιστη ταχύτητα διαφοροποιείται ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τα λειτουργικά μοντέλα της αμαξοστοιχίας. Η μέση ταχύτητα ορίζεται ως το μήκος της τροχιάς διαιρούμενο με το συνολικό χρόνο ταξιδιού (Yavuz&Öztürk, 2021).

Ο Πίνακας 1 δείχνει τη σύγκριση της ταχύτητας σχεδιασμού, της ταχύτητας λειτουργίας και της μέσης ταχύτητας των σιδηροδρομικών αμαξοστοιχιών υψηλής ταχύτητας (ΣΥΤ), Maglev και Hyperloop.

Σύμφωνα με τους Ozbek and Codur (2021), Armagan (2020), Janic (2020), de Puechredon (2020), Doppelbauer (2018), van Goeverden, Milakis, Janic, and Konings (2018), Covell (2017), επαληθεύονται τα παρακάτω στοιχεία για τον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Σύγκριση ταχυτήτων ΣΥΤ, Maglev και Hyperloop (χλμ./ώρα)

Ταχύτητα	ΣΥΤ	Maglev	Hyperloop
Ταχύτητα σχεδιασμού	350	550	1.220 (θεωρητική)
Λειτουργική ταχύτητα	300	430	Μη διαθέσιμη
Μέση ταχύτητα	250	290	965 (θεωρητική)

Για το σύστημα μεταφοράς Hyperloop χρησιμοποιήθηκαν τιμές ταχύτητας που ορίζονται στην έκθεση Alpha. Η τεχνολογία Maglev έχει πλεονέκτημα έναντι των συμβατικών σιδηροδρόμων υψηλής ταχύτητας όσον αφορά τη μέγιστη λειτουργική ταχύτητα. Προς το παρόν, η υψηλότερη ταχύτητα για Hyperloop που είναι σχεδόν 463 χλμ./ώρα, μετρήθηκε από ομάδα του Τεχνικού Πανεπιστημίου του Μονάχου κατά τη διάρκεια του διαγωνισμού Hyperloop pod σε κάψουλα μικρής κλίμακας.

Μία άλλη παράμετρος που λαμβάνει υπόψη του ο επιβάτης για την επιλογή μεταφορικού συστήματος είναι η χωρητικότητα. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την χωρητικότητα μιας σιδηροδρομικής γραμμής είναι ο αριθμός των επιβατών ανά τμήμα αμαξοστοιχίας, ο αριθμός του τμήματος αμαξοστοιχίας και η χωρητικότητα, όπου εξαρτώνται κυρίως από τα τεχνικά χαρακτηριστικά. Έννοιες, όπως η πυκνότητα του πληθυσμού και η ζήτηση των επιβατών καθορίζουν την χωρητικότητα της γραμμής. Κατά τη σύγκριση μεταξύ των τρένων υψηλών ταχυτήτων με όσον αναφορά την χωρητικότητα, τα τρένα Shinkansen διακρίνεται ως το τρένο υψηλότερης χωρητικότητας, ενώ 28 επιβάτες ανά κάψουλα προτείνονται στο σύστημα μεταφοράς Hyperloop. Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει τη σύγκριση συστημάτων μεταφοράς του συμβατικού σιδηρόδρομου υψηλών ταχυτήτων με το Hyperloop και το Maglev όσον αναφορά τη χωρητικότητα. Η τιμή της χωρητικότητας στον πίνακα λαμβάνεται ως ο μέγιστος αριθμός επιβατών ανά ώρα προς μία κατεύθυνση. Παρατηρείται ότι ο ΣΥΤ υπερτερεί όσον αναφορά την χωρητικότητα με βάση τα δεδομένα από τον Πίνακα 2 (Tesla, 2013).

Σύμφωνα με τους Ozbek and Codur (2021), Armagan (2020), Janic (2020), de Puechredon (2020), Doppelbauer (2018), van Goeverden, Milakis, Janic, and Konings (2018), Covell (2017), επαληθεύονται τα παρακάτω στοιχεία για τον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Σύγκριση χωρητικότητας ΣΥΤ, Maglev και Hyperloop

Τύπος	ΣΥΤ	Maglev	Hyperloop
Αριθμός ανά συρμό	12	6	1 κάψουλα
Θέσεις επιβατών	1.090	574	28
Χρονοαπόσταση (λεπτά)	5	15	2
Χωρητικότητα	13.080	2.296	840

Όσον αναφορά τη συμβατότητα του συστήματος οι ΣΥΤ έχουν φανερό προβάδισμα έναντι των συστημάτων μεταφοράς Maglev και Hyperloop λόγω της δυνατότητας χρήσης της ήδη υπάρχουσας υποδομής, αλλά και σύνδεσης με τα υφιστάμενα σιδηροδρομικά δίκτυα. Δεδομένου ότι τα συστήματα μεταφοράς Hyperloop και Maglev έχουν δικιές τους ειδικές διαδρομές, δεν είναι εφικτή η συνεργασία με άλλους διαθέσιμους τρόπους μεταφοράς. Αυτή η λειτουργία μπορεί να θεωρηθεί ως μειονέκτημα των συστημάτων μεταφοράς Hyperloop και Maglev (Yavuz&Öztürk, 2021).

Ο ΣΥΤ έχει αποδείξει την ασφάλεια και την αξιοπιστία του με τις γραμμές που είναι σε λειτουργία σε όλο τον κόσμο. Για παράδειγμα, τα τρένα Shinkansen από την Ιαπωνία, τα τρένα TGV από την Γαλλία και τα τρένα ICE από την Γερμανία που εδώ και χρόνια εξυπηρετούν επιβάτες με ασφάλεια και άνεση. Για το σύστημα μεταφοράς Hyperloop προγραμματίζεται ο σχεδιασμός να πραγματοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μην επηρεάζεται ο σωλήνας και η κάψουλα από φυσικές καταστροφές, όπως ο σεισμός. Κατά την αξιολόγηση της άνεσης, της ασφάλειας και της αξιοπιστίας των επιβατών μεταξύ τριών τρόπων μεταφοράς, ΣΥΤ και το σύστημα μεταφοράς Maglev προσφέρουν ένα ασφαλές και άνετο ταξίδι. Στην έννοια Hyperloop, αν και υπάρχουν ανησυχίες όσον αφορά την άνεση στα στοχευμένα επίπεδα ήχου, δεν υπάρχουν δεδομένα που μπορούν να συγκριθούν, καθώς δεν υπάρχει εμπορική γραμμή Hyperloop προς το παρόν (Yavuz&Öztürk, 2021).

2.7.2. Σύγκριση όσον αναφορά τα γεωμετρικά πρότυπα

Για την συμπεριφορά των τρένων η γεωμετρία της τροχιάς είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας. Οι βασικές έννοιες που συνάδουν με την γεωμετρία της τροχιάς μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εύρος τροχιάς, επίκλιση, καμπύλη μετάβασης, οριζόντια και κατακόρυφη ακτίνα καμπύλη, κατά μήκος κλίση (Witt&Herzberg, 2020).

Σχετικά με την υπερίψωση, η μέγιστη τιμή που λαμβάνεται για τους σιδηρόδρομους υψηλής ταχύτητας είναι 180 mm. Για το σύστημα Maglev δεν αντιπροσωπεύεται σε mm. Η μέγιστη επιτρεπόμενη υπερίψωση είναι 12°, ισοδύναμη με περίπου 310 mm. Σε ορισμένες ειδικές περιπτώσεις, μπορεί να αυξηθεί σε 16°, δηλαδή περίπου 410 mm. Αυτό το πλεονέκτημα επιτρέπει στα Maglev να αυξήσουν την ευελιξία της ευθυγράμμισης σύμφωνα με το συμβατικό ΣΥΤ. Για το σύστημα Hyperloop υπάρχουν ανακριβείς πληροφορίες και ζητήματα, καθώς στην έκθεση Hyperloop Alpha δεν υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με την υπερίψωση. Η κατακόρυφη ακτίνα καμπύλης δεν δίνεται στο έγγραφο σχεδίασης της Hyperloop Alpha. Ωστόσο, για να μειωθούν οι χωματουργικές εργασίες, οι αγωγοί κατασκευάζονται ως

συμβατικοί με την γεωμετρία της οδού. Με βάση της προδιαγραφές της εθνικής οδού AASHTO, η κλίση της κατακόρυφης καμπύλης δεν πρέπει να ξεπερνάει το 6% (Yavuz&Öztürk, 2021).

2.7.3. Σύγκριση όσον αναφορά το κόστος

Το κόστος είχε και έχει το πιο ουσιαστικό και καθοριστικό ρόλο στην επιλογή και αξιολόγηση οποιουδήποτε τρόπου μεταφοράς. Το κόστος διαφοροποιείται σε πολλές έννοιες, όπως η κατασκευή, η λειτουργία και η διατήρηση του κόστους για ένα σύστημα μεταφοράς. Το κόστος κατασκευής εμπεριέχει το κόστος κατασκευής της γραμμής και των σταθμών, το σύστημα ελέγχου αμαξοστοιχιών και την αγορά αμαξοστοιχιών. Το λειτουργικό κόστος εμπεριέχει τα έξοδα που είναι αναγκαία για την διατήρηση της λειτουργίας της γραμμής. Τα έξοδα συντήρησης περιλαμβάνουν τα αναγκαία έξοδα για την σωστή και αποτελεσματική λειτουργία της γραμμής (Yavuz&Öztürk, 2021).

Παρατηρείται ότι το κόστος κατασκευής των σιδηρόδρομων υψηλής ταχύτητας ποικίλλει από χώρα σε χώρα. Το συνολικό κόστος μεταφοράς ενός συστήματος εξαρτάται από την επιλεγμένη τεχνολογία που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, την ταχύτητα σχεδιασμού, την τοπογραφία του εδάφους, τις απαιτήσεις αποκτήσεις γης, την ανάγκη για ειδικές κατασκευές και βοηθητικές εγκαταστάσεις. Σε μελέτη 45 έργων που έχει πραγματοποιηθεί διαπιστώθηκε ότι το κόστος κατασκευής των ΣΥΤ ανέρχεται μεταξύ 6 και 45 εκατομμυρίων €/χλμ. Το μέσο κόστος ανέρχεται στα € 17,5 εκατομμύρια. Η μεγάλη απόκλιση που υπάρχει οφείλεται στο γεγονός ότι στην ασιατική ήπειρο το κόστος είναι υψηλότερο συγκριτικά με την ευρωπαϊκή ήπειρο για τον ΣΥΤ. Πιο συγκεκριμένα στην Γαλλία και την Ισπανία το κόστος κατασκευής είναι ελαφρώς χαμηλότερο από την Γερμανία και την Ιταλία. Η τοπογραφία του εδάφους είναι ένας παράγοντας που μπορεί εύκολα να αυξομειώσει αυτή την διαφορά, καθώς και η μέθοδος κατασκευής αναδεικνύεται ως σημαντικός παράγοντας (Barron et al., 2009).

Στο σύστημα Hyperloop το κόστος κατασκευής καλύπτει την κατασκευή της κατευθυντήριας γραμμής, την παραγωγή καψουλών, το κόστος κατασκευής του σταθμού. Η έκθεση Hyperloop Alpha προβλέπει κόστος κατασκευής του συστήματος περίπου 6 δισεκατομμυρίων δολαρίων μόνο για την μεταφορά επιβατών και \$ 7,5 δισεκατομμύρια για την μεταφορά επιβατών και εμπορευμάτων (Tesla, 2013). Σε αυτή την εκτίμηση κόστους δεν περιλαμβάνονται οι χωματουργικές εργασίες και το ειδικό κόστος σταθμού. Επιπρόσθετα, ένα έργο που βρίσκεται σε εξέλιξη μεταξύ Ντουμπάι και Αμπού Ντάμπι, το οποίο σχεδιάζεται να ολοκληρωθεί σύντομα, εκτιμάται ότι θα κοστίζει μεταξύ 20 και 40 εκατομμυρίων \$/χλμ. Κατά τη σύγκριση του μέσου κόστους κατασκευής μεταξύ των τριών αυτών συστημάτων μεταφοράς, παρατηρείται ότι το υψηλότερο κόστος κατασκευής ανά χιλιόμετρο ανήκει στο Maglev. Σύμφωνα με το καθορισμένο κόστος στην έκθεση Hyperloop Alpha, το σύστημα μεταφορών Hyperloop έχει χαμηλότερο κόστος κατασκευής από το Maglev.

Επειδή το σύστημα Hyperloop λειτουργεί εντελώς αυτόματα το κόστος προσωπικού μπορεί να θεωρηθεί ελάχιστο. Στο σύστημα μεταφοράς Hyperloop, το κόστος συντήρησης αναμένουμε να είναι χαμηλό λόγω της απουσίας μηχανικής τριβής και προστασίας από τις καιρικές συνθήκες. Τα σχέδια λειτουργίας για την τεχνολογία Hyperloop εικάζονται να είναι παρόμοια με εκείνα των αεροπλάνων λόγω έλλειψης εμπειρικής λειτουργίας. Ωστόσο, οι έλεγχοι ασφαλείας και οι χρόνοι αναμονής των τερματικών σταθμών θα είναι μικρότεροι και το κόστος συντήρησης θα είναι μικρότερο από το κόστος συντήρησης των αεροσκαφών. Κατά τον Elon Musk στην έκθεση Hyperloop Alpha (2013), στο υπολογίζεται περίπου το εισιτήριο \$20 για ένα ταξίδι ενώ το κόστος του εισιτηρίου για τη διαδρομή μεταξύ Πίτσμπουργκ και Σικάγο,

ανέρχεται περίπου στα \$ 60. Εντούτοις, το ενιαίο κόστος εισιτηρίων της Σαγκάης Maglev είναι 50 yuan, το οποίο ισούται περίπου με \$ 8 (Yavuz&Öztürk, 2021).

Με βάση τα παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι το κόστος εισιτηρίου του Hyperloop θα είναι υψηλότερο από το Maglev.

2.7.4. Σύγκριση όσον αναφορά την κατανάλωση ενέργειας

Ο τομέας των μεταφορών αποτελεί σημαντική πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Για τον λόγο αυτόν, υποστηρίζονται νέες τεχνολογίες που μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών. Παραδείγματα αυτών των τεχνολογιών είναι η μείωση του βάρους (παραγωγή ελαφρύτερων αμαξοστοιχιών κ.λπ.), οι ενεργειακά αποδοτικές τεχνικές οδήγησης, η μείωση της αεροδυναμικής τριβής και το σύστημα πέδησης με ανάκτηση. Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας στους συμβατικούς σιδηροδρόμους υψηλής ταχύτητας και στο Maglev (Yavuz&Öztürk, 2021).

Στην τεχνολογία Hyperloop, σχεδιάζεται να καλύψει την ενεργειακή ανάγκη με ηλιακούς συλλέκτες τοποθετημένους σε σωλήνες. Στην έκθεση μελέτης Hyperloop Alpha (2013), τονίζεται ότι η τεχνολογία Hyperloop δύναται να λειτουργεί εξ ολοκλήρου με ηλιακή ενέργεια. Ως εκ τούτου, αναμένεται να έχει λιγότερη κατανάλωση ενέργειας από τους συμβατικούς σιδηροδρόμους υψηλής ταχύτητας και τον Maglev. Ωστόσο, δεδομένου ότι δεν υπάρχει ακόμη λειτουργική εμπειρία στο σύστημα μεταφορών Hyperloop, δεν είναι γνωστό ακριβώς πόση θα είναι η κατανάλωση ενέργειας (Tesla, 2013).

2.7.5. Hyperloop με άλλα μεταφορικά μέσα

Μια επιλογή μεταφοράς επιβατών μπορεί να επεξηγηθεί όσον αφορά τα χαρακτηριστικά εξυπηρέτησης και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος μεταφοράς. Τα χαρακτηριστικά εξυπηρέτησης που βιώνουν οι ταξιδιώτες περιλαμβάνουν:

- τον χρόνο ταξιδιού,
- την συχνότητα,
- το κόστος χρήστη,
- την άνεση και την αξιοπιστία.

Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν:

- την κατανάλωση ενέργειας,
- τη χωρητικότητα,
- την ανθεκτικότητα του συστήματος, και
- τη διαλειτουργικότητα του συστήματος (Taylor, Hyde&Barr, 2016).

α) Χρόνος ταξιδιού

Ο χρόνος ταξιδιού αποτελείται από τρία επιμέρους στοιχεία: 1) τον χρόνο ανάσυρσης γραμμής, 2) τον χρόνο σταθμού, και 3) τον χρόνο πρόσβασης ή εκτροπής.

Ο χρόνος ανάσυρσης γραμμής εξαρτάται από την ταχύτητα της τεχνολογίας και οποιασδήποτε ράμπας προς τα πάνω ή ράμπας προς τα κάτω, τον χρόνο τροχοδρόμησης,

συμπεριλαμβανομένης της καθυστέρησης της ασφάλτου (για αεροπορικά ταξίδια), του χρόνου παραμονής στο σταθμό και των ενδιάμεσων στάσεων (για ταξίδια με τρένο ή Maglev). Ο χρόνος του σταθμού αναφέρεται στον χρόνο που απαιτείται στο σταθμό επιβίβασης ή αποβίβασης για πράγματα όπως για παράδειγμα η έκδοση εισιτηρίων, ο έλεγχος ασφαλείας, η φόρτωση αποσκευών κ.λπ. Στην περίπτωση πολύ συχνών μη προγραμματισμένων δρομολογίων, όπως το μετρό, ο χρόνος ταξιδιού περιλαμβάνει τον αναμενόμενο χρόνο αναμονής μεταξύ των τρένων που συνήθως εκτιμάται ως το ήμισυ της πορείας μεταξύ των τρένων. Ο χρόνος πρόσβασης και εκκένωσης εξαρτάται από τη χωρική σχέση μεταξύ του σταθμού και της τελικής προέλευσης και προορισμού των μεμονωμένων ταξιδιωτών (Taylor, Hyde&Barr, 2016).

Το Hyperloop εκτιμάται ότι σε αποστάσεις 483-805 χλμ.(300-500 μιλίων) έχει μέγιστες ταχύτητες λειτουργίας της τάξης των 1.160-1.220χλμ./ώρα (720-760 mph). Αυτές οι λεγόμενες υψηλές ταχύτητες ελαττώνονται ως ένα σημείο από την ανάγκη για σταδιακή επιτάχυνση ή επιβράδυνση και στην αρχή και στο τέλος του ταξιδιού. Η έκθεση "Hyperloop Alpha" περιγράφει κάψουλες Hyperloop που κάνουν το ταξίδι από την περιοχή του Κόλπου του Σαν Φρανσίσκο στην περιοχή του Λος Άντζελες σε περίπου 35 λεπτά, χωρίς ενδιάμεσες στάσεις. Αυτή είναι μια απόσταση περίπου 563 χλμ. (350 μιλίων) για μια μέση ταχύτητα περίπου 966 χλμ./ώρα (600 mph). Άρα, δεν θα υπήρχε χρόνος τροχοδρόμησης όπως με τα αεροπορικά ταξίδια ή το χρόνο που δαπανάται σε ενδιάμεσες στάσεις, όπως υπάρχει για το σιδηρόδρομο ή το Maglev. Επίσης, υπάρχει ο χρόνος που απαιτείται για την πρόσβαση και την εκτροπή του σταθμού στην τελική προέλευση και τον προορισμό του. Ο χρόνος πρόσβασης και εκκένωσης που απαιτείται θα εξαρτηθεί από το πού βρίσκονται τα τερματικά Hyperloop. Οι τοποθεσίες στο κέντρο της πόλης παρέχουν εξοικονόμηση χρόνου για τους επιβάτες, αλλά από την άλλη παρέχουν υψηλότερο κόστος που συνδέεται με την απόκτηση γης μαζί με άλλα θεσμικά εμπόδια που σχετίζονται με την οικοδόμηση σε περιοχές υψηλής πυκνότητας πληθυσμού. Όσον αφορά τον χρόνο του σταθμού, δεν υπάρχουν σαφή πληροφορίες εάν το Hyperloop θα απαιτούσε οθόνες ασφαλείας τύπου Transportation Security Administration (TSA), όπως γίνεται προς το παρόν στα αεροπορικά ταξίδια. Στην έκθεση "Hyperloop Alpha" δηλώνεται ότι το σύστημα θα υπόκειται σε προβολές στυλ TSA. Ο χειρισμός αποσκευών για το Hyperloop αναμένεται να είναι παρόμοιος με αυτόν του αέρα, δηλαδή οι αποσκευές να στοιβάζονται σε ξεχωριστό τμήμα του οχήματος. Αντίθετα, οι αναβάτες ΣΥΤ και Maglev χειρίζονται τις δικές τους αποσκευές μόνοι τους, πράγμα που σημαίνει ότι εξοικονομείται χρόνος επί του σταθμού (Taylor, Hyde&Barr, 2016).

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται σύγκριση των χαρακτηριστικών του χρόνου ταξιδιού για διαφορετικά μέσα μεταφοράς.

Σύμφωνα με τους Ozbek and Codur (2021), Armagan (2020), de Puechredon (2020), Hansen (2020), van Goeverden, Milakis, Janic, and Konings (2018), Walker (2018), Covell (2017), Gonzalez-Gonzalez and Nogues (2017) επαληθεύονται τα παρακάτω στοιχεία για τον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Σύγκριση χρόνου ταξιδιού

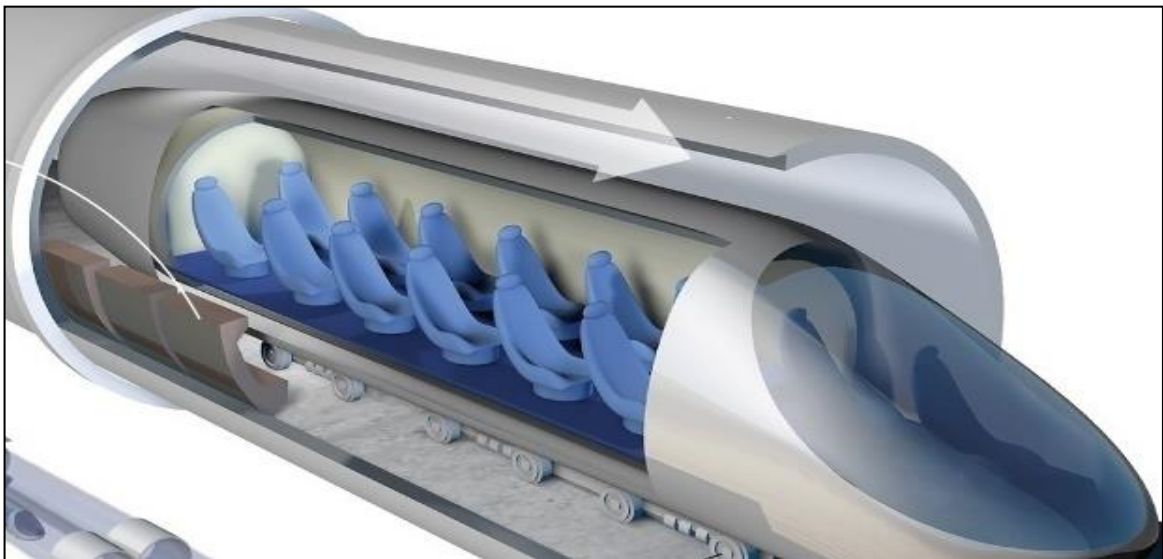
	Hyperloop	Αεροπλάνο	Maglev	ΣΥΤ
Μέγιστη Ταχύτητα	720 mph (HTT) 750 mph (HT) 760 mph (Alpha)	515 mph (ταχύτητα του CRJ700)	375 mph (Σιδηρόδρομος της Ιαπωνίας, δοκιμαστική πίστα)	150 mph (Acela, Βοστώνη προς N.Y.)

	Hyperloop	Αεροπλάνο	Maglev	ΣΥΤ
				168 mph (TGV, Παρίσι προς Λυών) 200 mph (Tohoku Shinkansen) 220 mph (CAHSR)
Μέση Ταχύτητα	600 mph (Alpha, Σαν Φρανσίσκο προς Λος Άντζελες)	253 mph (Σαν Φρανσίσκο προς Λος Άντζελες)	143 mph (Shanghai Maglev) 265 mph (προτείνεται γραμμή Tokyo Nagoya)	70 mph (Acela, Βοστώνη προς Ουάσιγκτων) 102 mph (Acela, Βοστώνη προς Πρόνοια) 130 mph (TGV, Παρίσι προς Λυών) 164 mph(CAHSR)
Αντιπροσωπευτικός Χρόνος Ταξιδιού Λος Άντζελες-Λας Βέγκας (270 μίλια αυτοκινητόδρομου) Σαν Φρανσίσκο προς Λος Άντζελες (382 μίλια αυτοκινητόδρομου)	26 λεπτά (HTT) 35 λεπτά (HTT)	70 λεπτά 83 λεπτά	61 λεπτά (με 265 mph) 86 λεπτά (με 265 mph)	84 λεπτά (Desert Xpress, 186 μίλια για Victorville προς LV Επιπλέον 85 μίλια Victorville προς LA) 160 λεπτά (CAHSR)
Χρόνος Πρόσβασης/Εξόδου	Χαμηλός αν οι σταθμοί βρίσκονται στο κέντρο της πόλης. Παρόμοια με τον αέρα εάν οι σταθμοί είναι στα περίχωρα.	Γενικά υψηλό.	Χαμηλός αν οι σταθμοί βρίσκονται στο κέντρο της πόλης. Shanghai Maglev Απαιτεί άλλα 20 λεπτά από μετρό.	Χαμηλός Οι σταθμοί, είναι γενικά στο κέντρο.
Χρόνος για τις αποσκευές	Υψηλός(παρόμοια με αέρα).	Υψηλός	Χαμηλός	Χαμηλός

	Hyperloop	Αεροπλάνο	Maglev	ΣΥΤ
Χρόνος για επιβατική φόρτωση	Ενδεχομένως Χαμηλό.	Το υψηλότερο από όλους τους Τρόπους.	Πολλαπλά σημεία επιβίβασης κατά μήκος τρένου που επιτρέπουν γρήγορη επιβίβαση.	Πολλαπλά σημεία επιβίβασης κατά μήκος τρένου που επιτρέπουν γρήγορη επιβίβαση.

β) Συχνότητα

Κατά την έκθεση "Hyperloop Alpha" σχεδιάζονται αναχωρήσεις Hyperloop κατά μέσο όρο κάθε 2 λεπτά, ή κάθε 30 δευτερόλεπτα κατά τη διάρκεια περιόδων αιχμής που σημαίνει ότι θεωρητικά ο χρόνος αναμονής πρέπει να είναι πολύ μικρός. Με την προϋπόθεση ότι η προσφορά και η ζήτηση βρίσκονται σε ανάλογη εξισορρόπηση και ομοιομορφία στον χρόνο. Πιο αναλυτικά, το ποσοστό των επιβατών που θα φθάνουν στο σταθμό θα πρέπει να είναι ίσο με τη διαθεσιμότητα των λωβών. Εάν για παράδειγμα, φτάσουν περισσότεροι επιβάτες από ότι η διαθέσιμη χωρητικότητα κάβουλας Εικόνα 30, θα δημιουργηθούν ουρές και ο χρόνος του σταθμού θα αυξηθεί (Taylor et al., 2016; Tesla, 2013).



Εικόνα 30: Hyperloop pod (Πηγή: Pathare, 2020)

Σύμφωνα με τους Hansen (2020), van Goeverden, Milakis, Janic, and Konings (2018), Covell (2017), επαληθεύονται τα παρακάτω στοιχεία για τον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Σύγκριση συχνότητων

	Hyperloop	Αεροπλάνο	Maglev	ΣΥΤ
Συχνότητα	30 – 120 την ώρα 30 δευτερόλεπτα έως 2 λεπτά χρονοαπόσταση	3 την ώρα (Λος Άντζελες-Σαν Φρανσίσκο)	4 την ώρα (Shanghai) 15 λεπτά χρονοαπόσταση	12 την ώρα 5 λεπτά χρονοαπόσταση (CAHSR)

γ) Κόστος χρήστη

Για την κάλυψη λειτουργικών εξόδων η έκθεση "Hyperloop Alpha" προτείνει κόμιστρο \$20 για τη διαδρομή Σαν Φρανσίσκο – Λος Άντζελες. Μια παρουσίαση που έγινε από ένα στέλεχος της HT ανέφερε 10 έως 15 δολάρια για μια διαδρομή που συνδέει το Αμπό Ντάμπι με το Ντουμπάι. Από την παρουσίαση αυτή συμπεραίνουμε ότι το ποσό του κομίστρου θα προκύψει από το όριο τιμών το οποίο θα μπορούσε να αντέξει η αγορά και όχι μια εκτίμηση του λειτουργικού κόστους της υπηρεσίας. Επειδή, τα κόμιστρα χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την κάλυψη των λειτουργικών εξόδων, κάποιο οικονομικό μέρος θα πρέπει να χρηματοδοτήσει το αρχικό κόστος κατασκευής κεφαλαίου και οχημάτων χωρίς επιστροφή (Taylor et al., 2016; Tesla, 2013).

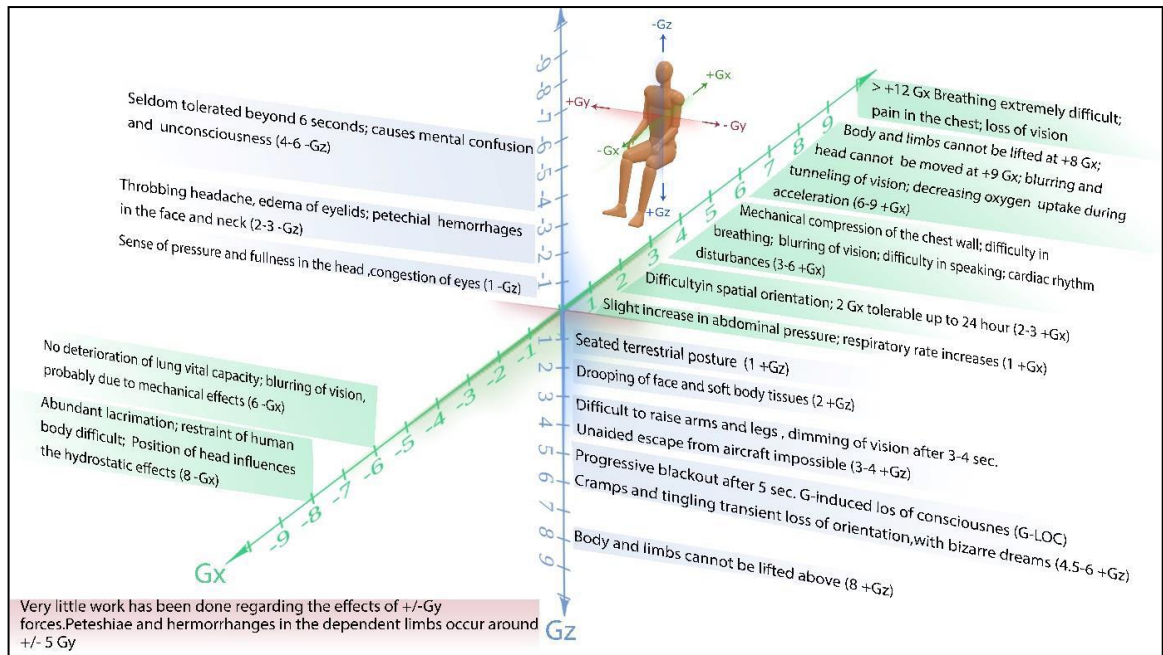
Σύμφωνα με τους Ozbek and Codur (2021), Covell (2017), Gonzalez-Gonzalez and Nogues (2017) επαληθεύονται τα παρακάτω στοιχεία για τον Πίνακα 5.

Πίνακας 5: Σύγκριση κομίστρου

	Hyperloop	Αεροπλάνο	Maglev	ΣΥΤ
Κόμιστρο (ανά μίλι)			\$0,33 ανά μίλι (Shanghai)	\$0,20 ανά μίλι (CAHSR) \$0,25 ανά μίλι (Ιταλία) \$0,22 ανά μίλι (Κίνα) \$0,52 ανά μίλι (Παρίσι, Λυών) \$0,50 ανά μίλι (Acela)
Λος Άντζελες-Λας Βέγκας		\$50 (Ερημος)		
Λος Άντζελες-Σαν Φρανσίσκο	\$20 αλλά δεν καλύπτει το κόστος παραγωγής (Alpha)	\$68-\$200 Εξαρτάται όταν αγοράζεται	\$0,33 ανά μίλι	\$86 (CAHSR)
Αμπό Ντάμπι - Ντουμπάι	\$10 - \$15			

δ) Άνεση και Αξιοπιστία

Ανησυχία εκφράζεται για την άνεση των επιβατών που πρόκειται να ταξιδέψουν με τόσο υψηλές ταχύτητες δηλαδή, οι δυνάμεις g που θα ασκηθούν στους επιβάτες από τις υψηλές ταχύτητες στους λόφους και στις καμπύλες. Μια συνήθης αναφερόμενη τιμή που συζητούν για το Hyperloop είναι το 0,5g όπου αποτελεί και το μέγιστο για την ανθρώπινη άνεση. Το 0,5g αναφέρεται ως ένα γενικό όριο ανοχής, αλλά υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ των ατόμων σχετικά με το τι μπορούν να ανεχθούν ο καθένας προσωπικά. Οι επιδράσεις των δυνάμεων g στο ανθρώπινο σώμα εμφανίζονται στην Εικόνα 31 (Taylor, Hyde&Barr, 2016).



Εικόνα 31: Οι επιδράσεις των δυνάμεων στο ανθρώπινο σώμα (Πηγή: Ozbek&Codur, 2021)

Σύμφωνα με τους Doppelbauer (2018), Walker (2018) επαληθεύεται τα παρακάτω στοιχεία του Πίνακα 6.

Πίνακας 6: Σύγκριση άνεσης

	Hyperloop	Αεροπλάνο	Maglev	ΣΥΤ
Επιβατική άνεση	Άγνωστο	Λιγότερο χώρο για τα πόδια, λιγότερο παραγωγική Χρήση χρόνου	Άγνωστο για πολύ μεγάλες αποστάσεις αλλά πιθανώς παρόμοια με HSR	Άνετα για να χρησιμοποιήσεις το χρόνο παραγωγικά

Ένα από τα πλεονεκτήματα του Hyperloop είναι η ανθεκτικότητα στις καιρικές συνθήκες που μπορούν να πλήξει τα αεροπορικά ταξίδια και σε μικρότερο βαθμό τα σιδηροδρομικά ταξίδια. Το Maglev θεωρείται επίσης ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες. Το HSR και οι συμβατικές σιδηροδρομικές γραμμές είναι πιο ανθεκτικές στις καιρικές συνθήκες από τα αεροπορικά ταξίδια (Taylor, Hyde&Barr, 2016).

Πίνακας 7: Σύγκριση αξιοπιστίας

	Hyperloop	Αεροπλάνο	Maglev	ΣΥΤ
Αξιοπιστία	Προστατεύεται από βροχή και χιόνι.	Επηρεασμένο από καιρικά φαινόμενα.	Μπορεί να λειτουργήσει σε όλες τις καιρικές συνθήκες	Επηρεασμένο από πάγο, χιόνι αλλά είναι πιο ανθεκτικό από τον αέρα. Ακόμη και ο

				συμβατικός σιδηρόδρομος φέρει επιπλέον επιβάτες όταν επηρεάζει ο καιρός το αεροπορικό ταξίδι.
--	--	--	--	---

➤ Λειτουργικά χαρακτηριστικά:

α) Κατανάλωση Ενέργειας

Η έκθεση "Hyperloop Alpha" υποστηρίζει ότι η τεχνολογία Hyperloop θα τροφοδοτείται πλήρως από ηλιακή ενέργεια. Ωστόσο, το Maglev και το HSR τροφοδοτούνται ηλεκτρικά ενώ θεωρητικά θα μπορούσαν να τροφοδοτούνται και αυτά από ηλιακή ενέργεια. Οι περισσότερες διαδρομές του Hyperloop θα ήταν δύο έως τρεις φορές πιο ενεργειακά αποδοτικό από τον αέρα σε βάση μιλίων επιβατών. Αντίθετα, οι Maglev και HSR χρησιμοποιούν το 1/3 της ενέργειας του αέρα σε βάση μιλίων επιβατών. Η έμφαση στην ηλιακή ενέργεια τείνει να επισκιάζει το γεγονός ότι καμία τεχνολογία δεν είναι απολύτως καθαρή επειδή καταναλώνεται ενέργεια στην κατασκευή.

Σύμφωνα με τους de Puechredon (2020), Walker (2018) επαληθεύονται τα παρακάτω στοιχεία του Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Σύγκριση κατανάλωσης ενέργειας

	Hyperloop	Αεροπλάνο	Maglev	ΣΥΤ
Καύσιμα	Ηλεκτρικά	Καύσιμα για τζετ	Ηλεκτρικά	Ηλεκτρικά
Πηγή ενέργειας	Ηλιακή ενέργεια με εφεδρικό μπαταρίες		Δίκτυο ηλεκτροδότησης που χρησιμοποιεί τις τοπικές πηγές ενέργειας. Δύναται να λειτουργεί και με ηλιακή ενέργεια	100% ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (CAHSR) Δίκτυο ηλεκτροδότησης που χρησιμοποιεί τις τοπικές πηγές ενέργειας. Δύναται να λειτουργεί και με ηλιακή ενέργεια
Κατανάλωση ενέργειας (BTU ανά επιβατικό μίλι)	Σύντομη διαδρομή 5-6x αποδοτικότερο καύσιμο από τον αεροπλάνο, άλλες διαδρομές 2-3x	3.230 BTU/p-m	1.180 BTU/p-m	975 BTU/p-m

	Hyperloop	Αεροπλάνο	Maglev	ΣΥΤ
	περισσότερο καύσιμο αποδοτικότερο από τον σιδηρόδρομο			
Φάση λειτουργίας	Μηδενικές	Υψηλά, αλλά βελτιώνουν τον χρόνο	Εξαρτάται από την ηλεκτρική πηγή	Εξαρτάται από την ηλεκτρική πηγή
Φάση κατασκευής	Όχι μηδενικές λόγω κατασκευής του σωλήνα και του οχήματος	Συν την κατασκευή του οχήματος και τις εγκαταστάσεις του αεροδρομίου	Συν την κατασκευή του οδηγού και των οχημάτων	Συν την κατασκευή του οδηγού και των οχημάτων

β) Χωρητικότητα

Όπως ήδη έχουμε προαναφέρει, με βάση την έκθεση "Hyperloop Alpha" όπου σχεδιάζει αναχωρήσεις Hyperloop κάθε 2 λεπτά, ή κάθε 30 δευτερόλεπτα κατά τη διάρκεια περιόδων αιχμής με χωρητικότητα 28 ατόμων ανά κάψουλα. Οι δύο αυτοί παράμετροι υπολογίζονται ως μέγιστη χωρητικότητα στους 3.360 επιβάτες ανά ώρα. Φαίνεται ότι η ικανότητα αυτή είναι σημαντικά χαμηλότερη από άλλους τρόπους υψηλής ταχύτητας έχοντας σημαντικές συνέπειες για την οικονομική βιωσιμότητα, καθώς οι μεταφορές είναι ένας κλάδος που γενικά παρουσιάζει σημαντικές οικονομίες. Επομένως, χρήσιμο θα ήταν οι κάψουλες να γίνουν μακρύτερες για να φιλοξενήσουν περισσότερους επιβάτες αλλά και αρκετοί σωλήνες θα ήταν εύλογο να διαμορφωθούν στην ίδια δομή πυλώνων για να αυξήσουν την χωρητικότητα.

Σύμφωνα με τους Armagan (2020), Goeverden, Milakis, Janic, and Konings (2018), Walker (2018), Covell (2017), επαληθεύονται τα παρακάτω στοιχεία για τον Πίνακα 9.

Πίνακας 9: Σύγκριση χωρητικότητας

	Hyperloop	Αεροπλάνο	Maglev	ΣΥΤ
Χωρητικότητα-Επιβάτες ανά όχημα	28 ανά όχημα	130 ανά αεροπλάνο 10.000 την ώρα για το αεροδρόμιο του Λος Άντζελες συνολικά	574 ανά τρένο 436 ανά τρένο (Τόκιο-Ναγκόγια)	1000 ανά τρένο (CAHSR)
Χωρητικότητα-Επιβάτες ανά ώρα	840 – 3.360 ανά ώρα	400 ανά ώρα (Λος Άντζελες-Σαν Φρανσίσκο)	2.296 ανά ώρα (Shanghai, 4 τρένα την ώρα)	12.000 ανά ώρα
Επιβάτες ανά έτος	15 εκατομμύρια ανά έτος (μέγιστη χωρητικότητα)		Άγνωστο	28 εκατομμύρια ανά έτος (πρόγνωση HSR)

	Hyperloop	Αεροπλάνο	Maglev	ΣΥΤ
				140 εκατομμύρια ανά έτος (πραγματικό Τόκιο-Οσάκα)

γ) Ανθεκτικότητα και διαλειτουργικότητα του συστήματος

Οι επισκευές μέσα σε ένα σωλήνα επιβάλλουν την διακοπή των λειτουργιών στο συγκεκριμένο σωλήνα και ανάλογα με τον πλεονασμό του συστήματος ενδεχομένως να επηρεάσουν κι άλλους σωλήνες. Οι επισκευές ίσως να απαιτήσουν την πίεση του σωλήνα για τη λειτουργία των εργαζομένων. Εάν οι επισκευές είναι έξω από τον σωλήνα, υπάρχει περίπτωση να χρειαστεί να σταματήσουν οι εργασίες για να αποφευχθεί οποιαδήποτε εξωτερική διαταραχή των λειτουργιών και των απαιτητικών ανοχών του σωλήνα. Η διακοπή των εργασιών προς μία κατεύθυνση μπορεί να επηρεάσει και να διακόψει τις εργασίες και προς την άλλη κατεύθυνση, ώστε να αποφευχθεί η στοίβαξη καψουλών στο σύστημα. Από την άλλη, τα συστήματα σιδηροτροχιάς και Maglev επιτρέπουν την εναλλαγή μεταξύ των γραμμών για συντήρηση της τροχιάς. Τα αεροπορικά ταξίδια δεν απαιτούν συντήρηση της διαδρομής (Taylor, Hyde&Barr, 2016).

Πίνακας 10: Σύγκριση ανθεκτικότητας

	Hyperloop	Αεροπλάνο	Maglev	ΣΥΤ
Ανθεκτικότητα	Άγνωστο πώς μικρές μετατοπίσεις στους πυλώνες μπορούν να έχουν επίπτωση στην επιχείρηση.	Το αεροσκάφος μπορεί να αντικατασταθεί για να συνεχίσει να προσφέρει υπηρεσία κατά τη διάρκεια συντήρησης.	Το τρένο είναι υπερυψωμένο, ελάχιστη φθορά, σε σύγκριση με το ΣΥΤ. Το Maglev μπορεί να αλλάξει σιδηροτροχιές, για συντήρηση.	Πολλαπλές γραμμές με τις πλαϊνές που επιτρέπουν να συνεχίσει η υπηρεσία ενώ εκτελείται η συντήρηση.

Επειδή το Hyperloop λειτουργεί σε ένα ξεχωριστό περιβάλλον, θα είναι σε θέση να παρέχει διαλειτουργικότητα με άλλους τρόπους. Το ίδιο πρόβλημα έχει και το Maglev. Ωστόσο, το HSR παρέχει διαλειτουργικότητα με τις συμβατικές σιδηροτροχιές, έτσι ώστε οι εν λόγω τρόποι να μπορούν να μοιράζονται αμέσως. Υπάρχουν πόλεις όπου το κόστος απόκτησης γης είναι ιδιαίτερα υψηλό, άρα ο απευθείας διαμερισμός καθιστά τα πράγματα πιο εύκολα, χρήσιμα και οικονομικά. Ακόμη, στις μικρές κοινωνίες οι πιθανότητες να φιλοξενήσουν ένα μεγάλο έργο υποδομής είναι ελάχιστες διότι δεν τους παρέχει οφέλη εκτός και αν αυτή η διαδρομή παρέχει τοπική υπηρεσία συγκοινωνίας (Taylor, Hyde&Barr, 2016).

Πίνακας 11: Σύγκριση διαλειτουργικότητας συστήματος

	Hyperloop	Αεροπλάνο	Maglev	ΣΥΤ
Διαλειτουργικότητα συστήματος	Δεν είναι διαλειτουργικό, δεν παρέχει τοπική συγκοινωνία.	Δεν είναι διαλειτουργικό, δεν παρέχει τοπική συγκοινωνία.	Δεν είναι διαλειτουργικό, αλλά παρέχει μικρές και μεγάλες	Μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το συμβατικό σιδηρόδρομο.

			αποστάσεις στο ίδιο κομμάτι ταξιδιού.	
--	--	--	--	--

2.7.6. Σύγκριση Hyperloop και αυτόματων οχημάτων

Η Waymo είναι μια θυγατρική εταιρεία της μητρικής εταιρείας της Google, Alphabet Inc. Από τον Μάρτιο του 2018, η τεχνολογία αυτόνομης οδήγησης Waymo είχε οδηγήσει περισσότερα από 5 εκατομμύρια μίλια σε δημόσιους δρόμους. Τα αυτοκίνητα είναι προγραμματισμένα να ακολουθούν το όριο ταχύτητας κάθε ζώνης που οδηγεί, ενώ χρησιμοποιούν επίσης αισθητήρες για να διατηρούν μια ορισμένη απόσταση μεταξύ των οχημάτων για τυχόν διαταραχές. Επειδή όλα τα αυτοκίνητα ακολουθούν το ίδιο όριο ταχύτητας για τη μείωση των πιθανών ατυχημάτων, θα υπάρχει λιγότερη κυκλοφοριακή συμφόρηση. Πλέον, η τεχνολογία της αυτόνομης οδήγησης αντικαθίσταται με τον πολύτιμο προσωπικό χρόνο, όπου στις μέρες μας διαρκώς μειώνεται. Τα οχήματα προβλέπεται να έχουν διαφορετική διαρρύθμιση των καθισμάτων και θα διαμορφώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αντιμετωπίζουν το ένα το άλλο. Τα αυτοκινούμενα αυτοκίνητα μπορούν να ακολουθήσουν το μοντέλο Uber, όπου οι καταναλωτές στέλνουν την τοποθεσία τους μέσω μιας εφαρμογής που θα παραληφθεί από ένα αυτοκίνητο (Razi et al., 2018).

Πίνακας 12: Σύγκριση Waymo και Hyperloop

	Waymo	Hyperloop
Χρόνος ταξιδιού	5 ώρες 23 λεπτά πάνω από 350 μίλια με ταχύτητα 65 μίλια/ώρα	52 λεπτά πάνω από 350 μίλια με ταχύτητα 760 μίλια/ώρα
Τιμή	\$ 1/ μίλι	\$ 20/350 μίλια (προτείνεται)
Ασφάλεια	Οδήγηση πάνω από 1.000.000 μίλια έως τον Ιούνιο του 2015 και μόνο 12 συγκρούσεις. (+) Εκθετικά ασφαλέστερο από την παρούσα μορφή οδήγησης. (-) Ζήτημα ευθύνης σε περίπτωση ατυχήματος.	Αναμένεται να είναι ασφαλέστερο από την οδήγηση αλλά δεν υπάρχουν δεδομένα. (+) Δεν θα επηρεαστεί από την εξωτερική κυκλοφορία λόγω του κλειστού σχεδιασμού σωλήνων. (-) Οι καταστραμμένες υποδομές σήραγγες μπορούν να χρειαστούν περισσότερο χρόνο για να διορθωθούν και να δημιουργηθεί πρόβλημα ασφάλειας.
Άνεση	(+) Περισσότερα κοινόχρηστα καθίσματα. Περισσότερη ελευθερία στην εργασία. Ευκολότερη πρόσβαση ανά πάσα στιγμή.	(+) Πιο άνετα καθίσματα. Ομαλότερη διαδρομή. (-) Δεν είναι σε θέση να κινηθεί τόσο ελεύθερα.

	(-) Οι άνθρωποι μπορεί να μην έχουν δικό τους αυτοκίνητο.	
--	---	--

Με βάση τα δεδομένα του παραπάνω Πίνακας 12το Hyperloop έχει πλεονέκτημα ως μέσο μεταφοράς όσον αναφορά το χρόνο ταξιδιού και το κόστος. Επειδή το Hyperloop απαιτεί αρκετή απόσταση για να επιταχυνθεί και να επιβραδυνθεί, ο βασικός σκοπός του θα είναι η μεταφορά των καταναλωτών μεταξύ πόλεων και μεγαλύτερων αποστάσεων. Το ηλεκτρικό ρεύμα αποτελεί λειτουργικό έξοδο της κατασκευής, αλλά μικρό, διότι κατατάσσεται μετά το σταθερό κόστος κατασκευής των σηράγγων και των καψουλών. Έτσι οι επιβάτες καταναλώνουν αρκετά μικρότερο χρηματικό ποσό ανά μίλι σε σύγκριση με τα αυτόματα αυτοκίνητα (Razi et al., 2018).

Το βασικό πλεονέκτημα του Waymo είναι ότι αποτελεί έναν εφικτό τρόπο μεταφοράς για μικρές ή μεγάλες αποστάσεις. Ο αριθμός των δεδομένων που έχει συλλέξει η Waymo κατά τη δοκιμή οδήγησης των αυτοκινήτων τους επιβεβαιώνει μόνο ένα θάνατοσε πάνω από 1.000.000 μίλια οδήγησης (που ισοδυναμεί με 75 χρόνια οδήγησης). Το επίπεδο ασφάλειας είναι μια εκθετική βελτίωση σε σύγκριση με τα τρέχοντα στατιστικά (1,18 θάνατοι σε 100.000.000 μίλια). (Razi et al., 2018).



Εικόνα32: Waymo driving car (Πηγή: Wired, 2017)

Εν κατακλείδι, τα αυτόματα αυτοκίνητα χάρις την ευελιξία και άλλα θετικά χαρακτηριστικά τους, έχουν ανταγωνιστικό χώρο στην αγορά με το Hyperloop. Αφού, λόγω της φύσης και του μεγέθους των αυτοκινήτων, καλύπτουν την ανάγκη μεταφοράς των καταναλωτών μεταξύ μικρών αποστάσεων, δηλαδή εντός πόλεων ή νομών. Αντίθετα, δεν καλύπτουν τις ανάγκες των καταναλωτών να ταξιδέψουν σε μεγάλες αποστάσεις σε σύγκριση με το Hyperloop, αυτό συμβαίνει, διότι τα αυτόματα αυτοκίνητα αναπτύσσουν χαμηλότερη ταχύτητα. Αναμφίβολα, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η Waymo θα έχει βλέψεις για πρωταρχική παρουσία στην αγορά μεταφορών και θα ικανοποιήσει την ανάγκη των καταναλωτών. Συμπερασματικά, η Waymo θα έχει κυρίαρχη θέση στην αγορά των μεταφορών και θα καλύψει κάποιες από τις ανάγκες των επιβατών. Ωστόσο, το Hyperloop θα ενταχθεί στην Waymo ως κυρίαρχη θέση στην αγορά, καθώς ικανοποιεί επίσης τις ίδιες ανάγκες μεταφοράς για τους καταναλωτές αλλά για μεγαλύτερες αποστάσεις και για διαφορετικό πλήθος πελατών (Razi et al., 2018).

2.8. Σύνοψη

Το Hyperloop είναι μια νέα μορφή χερσαίων μεταφορών, γνωστό και ως πέμπτο μέσο μεταφοράς όπου προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Elon Musk το 2013. Αποτελεί την εξελιγμένη μορφή του απλού σιδηρόδρομου σε συνδυασμό με τον αεροδυναμικό σχεδιασμό του αεροπλάνου. Προβλέπεται οι επιβάτες να ταξιδεύουν με ταχύτητα 1.220 χλμ./ώρα καθώς αυτό είναι ένα από τα χαρακτηριστικά του που το καθιστούν δημοφιλή και πολλά υποσχόμενο για το μέλλον. Για την ταχύτητα του Hyperloop γίνεται λόγος από τους περισσότερους συγγραφείς της βιβλιογραφίας καθώς **το 69% παραθέτει στοιχεία για την ταχύτητα** (Yavuz&Ozturk, 2021 ; Ozbek&Codur, 2021 ; de Puechredon, 2020 ; Janic, 2020 ; Hansen, 2020 ; Armagan, 2020 ; Doppelbauer, 2018 ; van Goeverden, Milakis, Janic, & Konings, 2018 ; Covell, 2017). **Για την χωρητικότητα του Hyperloop** γίνεται λόγος από αρκετούς συγγραφείς

της βιβλιογραφίας καθώς το 85% παραθέτει στοιχεία για την χωρητικότητα (Yavuz&Ozturk, 2021 ; Ozbek&Codur, 2021 ; de Puechredon, 2020 ; Janic, 2020 ; Hansen, 2020 ; Armagan, 2020 ; Doppelbauer, 2018 ; van Goeverden, Milakis, Janic, &Konings, 2018 ; Walker, 2018 ; Covell, 2017 ; Taylor, Hyde, &Barr, 2016). Το 31% των συγγραφών της βιβλιογραφίας παραθέτουν στοιχεία **για το κόμιστρο του Hyperloop** (Ozbek&Codur, 2021 ; Razi, Wu, Wang, Chen, Xue, Lui, &Jia, 2018 ; Covell, 2017 ; Taylor, Hyde, &Barr, 2016). Επίσης, το 31% των συγγραφών της βιβλιογραφίας παραθέτουν στοιχεία **για το χρόνο ταξιδιού του Hyperloop** (de Puechredon, 2020 ; Razi, Wu, Wang, Chen, Xue, Lui, &Jia, 2018 ; Walker, 2018 ; Taylor, Hyde, &Barr, 2016). Επιπλέον, το 31% των συγγραφών της βιβλιογραφίας παραθέτουν στοιχεία για τη **συχρότητα του Hyperloop** (Hansen, 2020 ; van Goeverden, Milakis, Janic, &Konings, 2018 ; Covell, 2017 ; Taylor, Hyde, &Barr, 2016). Ακόμα, το 31% των συγγραφών της βιβλιογραφίας παραθέτουν στοιχεία για **την άνεση του Hyperloop** (Doppelbauer, 2018 ; Razi, Wu, Wang, Chen, Xue, Lui, &Jia, 2018 ; Walker, 2018 ; Taylor, Hyde, &Barr, 2016). Το 23% των συγγραφών της βιβλιογραφίας παραθέτουν στοιχεία για **την κατανάλωση ενέργειας του Hyperloop** (de Puechredon, 2020 ;Walker, 2018 ;Taylor, Hyde, &Barr, 2016). Το 8% των συγγραφών της βιβλιογραφίας παραθέτουν στοιχεία για **την ασφάλεια του Hyperloop** (Razi, Wu, Wang, Chen, Xue, Lui, &Jia, 2018). Επίσης, 8% των συγγραφών της βιβλιογραφίας παραθέτουν στοιχεία για **την αξιοπιστία του Hyperloop** (Taylor, Hyde, &Barr, 2016). Ακόμα, 8% των συγγραφών της βιβλιογραφίας παραθέτουν στοιχεία για **την ανθεκτικότητα του συστήματος Hyperloop** (Taylor, Hyde, &Barr, 2016). Τέλος, 8% των συγγραφών της βιβλιογραφίας παραθέτουν στοιχεία για τη **διαλειτουργικότητα του συστήματος Hyperloop** (Taylor, Hyde, &Barr, 2016).

Πίνακας 13: Σύνοψη

Συγγραφείς	Εργασία	Δείκτες	Μέσα Μεταφοράς	Έτος	Τοποθεσία
M. N. Yavuz, & Z. Ozturk	Comparison of conventional high speed railway, maglev and hyperloop transportation systems	ταχύτητα χωρητικότητα	Σ.Υ.Τ./Maglev/Hyperloop	2021	Turkey
R. Ozbek, & M. Y. Codur	Comparison of Hyperloop and existing transport vehicles in terms of security and costs	ταχύτητα χωρητικότητα κόμιστρο	Σ.Υ.Τ./Maglev/Hyperloop	2021	Turkey
M. B. de Puechredon	Hyperloop: a breakthrough for vacuum transportation?	ταχύτητα χωρητικότητα χρόνος ταξιδιού κατανάλωση ενέργειας	Σ.Υ.Τ./Maglev/ Hyperloop	2020	Χωρίς τοποθεσία
M. Janic	Estimation of direct energy consumption CO2 emission by high speed rail, transrapid maglev and hyperloop passenger transport systems	ταχύτητα χωρητικότητα	Σ.Υ.Τ./Maglev/ Hyperloop	2020	Χωρίς τοποθεσία

Ingo A. Hansen	Hyperloop transport technology assessment and system analysis	ταχύτητα χωρητικότητα συχνότητα	Hyperloop/Air/ Maglev/HSR	2020	Χωρίς τοποθεσία
K. Armagan	The fifth mode of transportation: Hyperloop	ταχύτητα χωρητικότητα	Σ.Υ.Τ./Maglev/ Hyperloop	2020	Turkey
J. Doppelbauer	Hyperloop - an Innovation for Global Transportation ?	ταχύτητα χωρητικότητα άνεση	Σ.Υ.Τ./Maglev/ Hyperloop	2018	Valenciennes
K. van Goeverden, D. Milakis, M. Janic, & R. Konings	Analysis and modelling of performances of the HL (Hyperloop) transport system	ταχύτητα χωρητικότητα συχνότητα	Σ.Υ.Τ./Hyperloop	2018	Χωρίς τοποθεσία
K. Razi, N. Wu, C. Wang, M. Chen, H. S. Xue, N. Lui, & P. Jia	Consumer Desirability of the Proposed Hyperloop	χρόνος ταξιδιού κόμιστρο ασφάλεια άνεση	Waymo/Hyperloop	2018	Χωρίς τοποθεσία
R. Walker	Hyperloop: Cutting through the hype	χρόνος ταξιδιού χωρητικότητα κατανάλωση ενέργειας άνεση	HSR/Air/Hyperloop	2018	Χωρίς τοποθεσία
J. Covell	Hyperloop Technology: Economic Analysis of a Transportation Revolution	ταχύτητα χωρητικότητα συχνότητα κόμιστρο	Σ.Υ.Τ./Maglev/Hyperloop	2017	Χωρίς τοποθεσία
Catherine L. Taylor, David J. Hyde, & Lawrence C. Barr	Hyperloop Commercial Feasability Analysis: High Level Overview	χρόνος ταξιδιού συχνότητα κόμιστρο άνεση αξιοπιστία κατανάλωση ενέργειας χωρητικότητα ανθεκτικότητα συστήματος διαλειτουργικότητα συστήματος	Hyperloop/ Air/Maglev/HSR	2016	Χωρίς τοποθεσία

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία

3.1 Μέθοδος οφέλους-κόστους

Η μέθοδος οφέλους-κόστους (Cost-Benefit Analysis CBA) χρησιμοποιείται ευρέως για την λήψη απόφασης συγκοινωνιακών έργων. Αναπτύχθηκε την δεκαετία του 1960, αν και οι ιδέες ανευρίσκονται και παλιότερα. Η εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου καθίσταται δυσχερή σε μη οικονομικά κριτήρια, όπως ο θόρυβος, η ασφάλεια, οι εκπομπές (Tudela, Akiki&Cisternas, 2006).

Η μέθοδος οφέλους-κόστους συνίσταται στον υπολογισμό του πηλίκου: $\lambda = \frac{\Omega - \Lambda}{K - \Upsilon}$, όπου

Ω : παρούσα αξία όλων των ωφελειών που θα προκύψουν από την υλοποίηση του έργου,

Λ : παρούσα αξία όλων των δαπανών που απαιτούνται για τη λειτουργία του έργου,

K : παρούσα αξία του κόστους κατασκευής,

Υ : παρούσα αξία της υπολειμματικής αξίας του έργου.

Το έργο είναι σκόπιμο να πραγματοποιηθεί όταν $\lambda > 1$, για σύγκριση εναλλακτικών λύσεων επιλέγεται εκείνη με τη μεγαλύτερη τιμή του λ (Προφυλλίδης, 2016).

Η μέθοδος οφέλους-κόστους είναι μια τεχνική μεθόδου προτεινόμενων ή προηγουμένως καθορισμένων έργων για να προσδιοριστεί εάν η πράξη τους είναι προς το δημόσιο συμφέρον ή για την επιλογή μεταξύ δύο ή περισσότερων αμοιβαίως αποκλειστικών έργων. Η CBA εκχωρεί μια νομισματική αξία σε κάθε εισροή και σε κάθε εκροή που προκύπτει από ένα έργο. Στη συνέχεια συγκρίνονται οι τιμές των εισροών και των εκροών. Με την πιο βασική έννοια, εάν η αξία των οφελών είναι μεγαλύτερη από την αξία του κόστους, το έργο θεωρείται αξιόλογο και θα πρέπει να εκτελεστεί. Τα έργα που προσδιορίζονται ως αξιόλογα για υλοποίηση από την CBA είναι πιθανό να παράγουν εκροές που είναι πιο χρήσιμες από τις εισροές που χρησιμοποιούνται. Στην περίπτωση έργων που αλληλοαποκλείονται, η CBA θα προσδιορίσει το έργο που θα αποφέρει το μεγαλύτερο καθαρό όφελος. Επίσης, να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της ευαισθησίας των αποτελεσμάτων του έργου στον κίνδυνο και την αβεβαιότητα (Zerbe Jr&Bellas, 2006).

Αξίζει να σημειωθεί ότι παρόλο που η μέθοδος βρίσκει ευρέως αποδοχή και εφαρμογή σε ζητήματα αποτίμησης επιπτώσεων επενδύσεων σε υποδομές, δε χρησιμοποιείται ιδιαίτερα για θέματα που σχετίζονται με τη βιώσιμη κινητικότητα (Beria, Maltese&Mariotti, 2012).

3.2 Μέθοδος πολλαπλών κριτηρίων (MCA)

Σύμφωνα με τον Pareto (1896), όπου έκανε την πρώτη τεκμηριωμένη προσπάθεια επιστημονικής προσέγγισης του προβλήματος, της σύνθεσης πολλαπλών κριτηρίων και έθεσε τις απαραίτητες βάσεις, εισήγαγε μία από τις βασικότερες έννοιες της πολυκριτηριακής ανάλυσης, την έννοια της αποδοτικότητας (efficiency).

Η μέθοδος πολλαπλών κριτηρίων ή πολυκριτηριακή ανάλυση (Multicriteria Cost Analysis MCA) Εικόνα 33 αποτελεί μια σειρά από μεθόδους, όπως αρκετά φημισμένη και ευρέως

διαδεδομένη αναλυτική ιεραρχική διαδικασία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενσωμάτωση όλων των ποσοτικών και ποιοτικών πληροφοριών σ' ένα ενιαίο αποτέλεσμα, ενώ κατατάσσεται στις μη χρηματικές προσεγγίσεις. Η πολυκριτηριακή ανάλυση έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει υπόψη της πολύπλοκα ζητήματα και όλο το εύρος σημαντικών κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Browne&Ryan, 2011; Beria, Maltese&Mariotti, 2012).

Αντίθετα με την μέθοδο οφέλους-κόστους η πολυκριτηριακή ανάλυση είναι εφαρμόσιμη σ' επιπτώσεις που δεν μπορούν να αποτιμηθούν σε χρηματικές μονάδες (Campos&Ramos, 2005).

Οι μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι πολύ συνηθισμένες στην αξιολόγηση της βιωσιμότητας στα συστήματα μεταφορών και ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματά τους αποτελεί το γεγονός ότι στη διαμόρφωση της ιεραρχικής δομής των κριτηρίων διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο η άποψη των ενδιαφερόμενων πλευρών. Η μέτρηση ή αξιολόγηση των κριτηρίων ή δεικτών δε γίνεται με χρηματικές μονάδες, αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται βαθμολογίες, κατατάξεις και βάρη (Beria, Maltese&Mariotti, 2012 ; Rossi,Gastaldi&Gecchele, 2013).

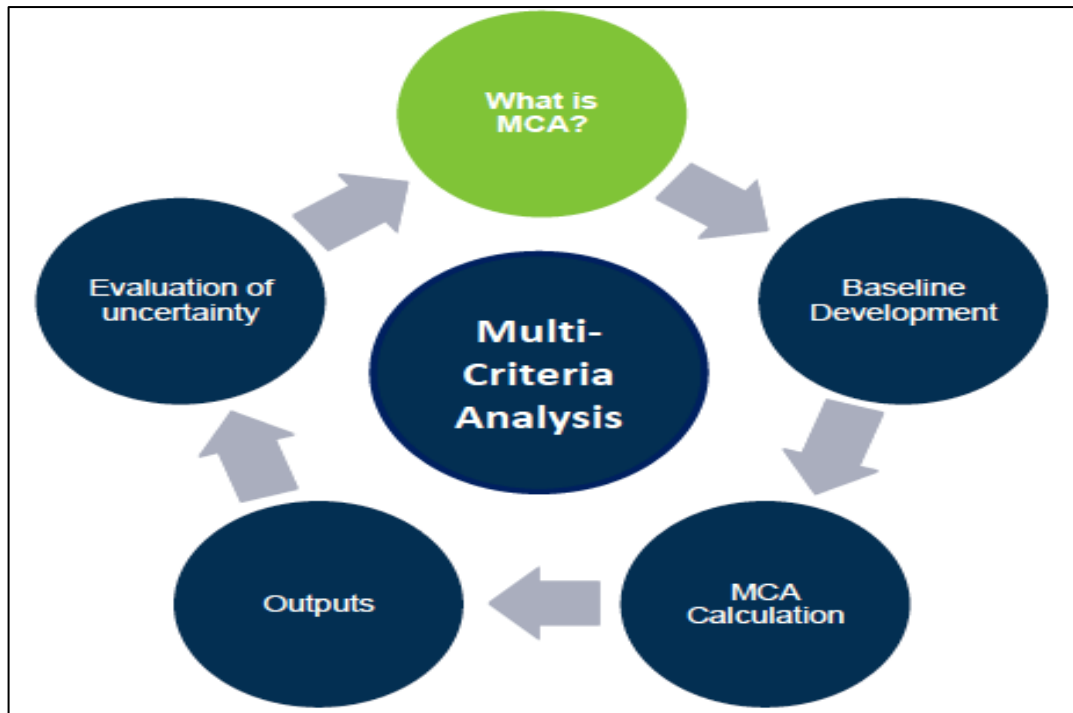
Τα κυριότερα στάδια μιας πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι (Beria, Maltese&Mariotti, 2012):

1. Ο καθορισμός της κατάστασης που θα αποτιμηθεί ή του έργου που θα αξιολογηθεί,
2. Ο προσδιορισμός των κριτηρίων που θα χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση της διαδικασίας,
3. Η ανάλυση των επιπτώσεων που θα μελετηθούν,
4. Η αξιολόγηση των επιπτώσεων με βάση τα επιλεγμένα κριτήρια, και
5. Η απόδοση βαρών.

Σύμφωνα με τον Zorounidis (1999), πολυκριτηριακή ανάλυση ορίζεται ένα σύνολο μεθόδων που βοηθούν στην σύνθεση πολλών κριτηρίων εκτίμησης, ούτως ώστε να καθιστά δυνατή την επιλογή, κατάταξη, ταξινόμηση και περιγραφή ενός συνόλου εναλλακτικών ενεργειών. Βασικός στόχος της ανάλυσης είναι, ο αποφασίζων να συγκεντρώσει τα εργαλεία που θα τον βοηθήσουν στην επίλυση προβλημάτων. Ο αποφασίζων πρέπει μέσω των υποβοηθούμενων εργαλείων να εξετάσει έναν αριθμό πολλαπλών και συνάμα αντικρουόμενων κριτηρίων.

Σύμφωνα με τους Siskos&Spiridakos (1999), η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί ένα σύνολο μεθόδων, μοντέλων και προσεγγίσεων, με στόχο να βοηθήσουν έναν η περισσότερους αποφασίζοντες να χειριστούν ημιδομημένα προβλήματα απόφασης με πολλαπλά κριτήρια.

Ορισμένα είδη MCA δεν προσφέρουν προς το παρόν αρκετή βοήθεια για τη λήψη πρακτικών αποφάσεων, αλλά ορισμένες μπορεί να είναι σημαντικής αξίας (Communities and Local Government [CLG], 2009).



Εικόνα 33: Multi-criteria Analysis (Πηγή: Chantalle&Frankin, 2019)

3.3 Μέθοδος κοινωνικού οφέλους-κόστους (SCBA)

Η κοινωνικοοικονομική μέθοδος (Social Cost Benefit Analysis SCBA) αξιολογεί τη συμβολή του έργου στην οικονομική ευημερία της περιφέρειας ή της χώρας. Διενεργείται προς όφελος ολόκληρης της κοινωνίας και όχι προς όφελος του ιδιοκτήτη της υποδομής (European Commission, 2015).

Αυτό που διαχωρίζει μια κοινωνική απόφαση από μια απόφαση ιδιωτικής οικονομίας, είναι το κέρδος, δηλαδή μια κοινωνική απόφαση το όφελος της μπορεί να είναι έμμεσο. Μια απόφαση στον ιδιωτικό τομέα είναι υποχρεωτική να παράγει κέρδος διαφορετικά θα οδηγηθεί σε πτώχευση. Αντίθετα, μια κοινωνική απόφαση δεν είναι υποχρεωτική να δημιουργήσει υπεραξία. Είναι όμως υποχρεωτική να δημιουργήσει κοινωνικό όφελος και να συμβάλει στην άνοδο της ποιότητας ζωής της κοινωνίας, με τρόπο που να εξασφαλίζει την αποτελεσματικότερη χρήση των διαθέσιμων πόρων (Μουστάκης, 2012).

Η ανάλυση κοινωνικού κόστους-οφέλους είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την αξιολόγηση της επένδυσης που χρησιμοποιείται από το δημόσιο. Μια ολοκληρωμένη ανάλυση κοινωνικού κόστους-οφέλους θα πρέπει να μπορεί να αντιμετωπίσει το αντίκτυπο ενός έργου Entry/Exit System (EES) στην οικονομική αποτελεσματικότητα (Sidhu, Pollitt&Anaya, 2018).

Η κοινωνικοοικονομική αξιολόγηση θα πρέπει να βασίζεται σε αναλυτικές προσεγγίσεις οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τους όλες τις πιθανές επιπτώσεις (Aylward et al., 2001). Οι κυριότερες προσεγγίσεις μιας κοινωνικοοικονομικής αξιολόγησης είναι:

1. Ανάλυση Αποδοτικότητας,
2. Ανάλυση Κοινωνικού Κόστους-Οφέλους,
3. Ανάλυση Κόστους Αποτελεσματικότητας, και
4. Συστηματική Ανάλυση.

Η κύρια ιδέα στην οποία στηρίζουν τις εκτιμήσεις τους οι παραπάνω προσεγγίσεις είναι η σύγκριση των ωφελειών με τις αντίστοιχες δαπάνες. Ωστόσο υπάρχουν ορισμένες βασικές διαφορές όπως:

1. Στην ανάλυση αποδοτικότητας γίνεται σύγκριση επιχειρηματικών ωφελειών με τις επιχειρηματικές δαπάνες, σε χρηματικούς όρους και σε τιμές της αγοράς, με μεγιστοποιημένο στοιχείο το επιχειρηματικό κέρδος. Δηλαδή, λαμβάνονται υπόψη μόνο οι επιπτώσεις στον επενδυτή και όχι στην κοινωνία (Aylward et al., 2001).
2. Στην ανάλυση κοινωνικού κόστους-οφέλους γίνεται σύγκριση κοινωνικών ωφελειών με το αντίστοιχο κοινωνικό κόστος, σε χρηματικούς όρους επίσης, αλλά με κοινωνικές τιμές και με μεγιστοποιημένο το κοινωνικό κέρδος (Μέργος, 2002).
3. Στην ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας γίνεται σύγκριση κόστους σε χρηματικούς όρους και αποτελέσματος σε φυσικούς μη χρηματικούς όρους. Η προσέγγιση αυτή βέβαια παρουσιάζει σημαντικές αδυναμίες και χρησιμοποιείται μόνο συγκριτικά (Aylward et al., 2001).
4. Στην συστηματική ανάλυση όλα τα στοιχεία οφέλους και κόστους εκφράζονται σε φυσικούς μόνο όρους (Aylward et al., 2001). Σε γενικές γραμμές, η προσέγγιση αυτή αφορά μια προσπάθεια συστηματικών συγκρίσεων με ποσοτικούς όρους, με τη χρήση μιας λογικής ακολουθίας υπολογισμών και εκτιμήσεων, την οποία μπορεί να παρακολουθεί και να ελέγχει συνδυαστικά τρίτος παρατηρητής. Συχνά συναντάμε την παρούσα προσέγγιση με άλλες διατυπώσεις όπως επιχειρησιακή έρευνα και ανάλυση κόστους χρησιμότητας.

Η κοινωνικοοικονομική αξιολόγηση θεωρείται η πλέον κατάλληλη προσέγγιση για επενδυτικά έργα δημόσιου ενδιαφέροντος (Aylward et al., 2001). Άλλωστε, η αξιολόγηση με κοινωνικοοικονομικά κριτήρια κρίνεται απαραίτητη διότι η "οικονομική ευημερία" δεν δέχεται την άποψη ότι τα επιχειρηματικά ενοίκια και οι επιχειρηματικές δαπάνες αποτελούν ικανοποιητικά μέτρα του κοινωνικού κόστους-οφέλους (Little & Mirrlees, 1974).

Η κοινωνικοοικονομική αξιολόγηση χρησιμοποιείται κατά κόρον στις μεταφορές για οποιοδήποτε μέσο. Μερικά παραδείγματα αποτελούν Mitropoulos, Prevedouros & Kopelias (2016), αναλύοντας τα υβριδικά και ηλεκτρικά οχήματα, Μουστάκης (2016), αναλύει κοινωνικοοικονομική μελέτη κόστους-οφέλους της επέκτασης του μετρό στο Ελληνικό, Mitropoulos & Prevedouros (2015), αναλύοντας το κύκλο ζωής και το κόστος για αστικά ελαφρά οχήματα, Ουσταπασίου (2013), αναλύοντας το κόστος-οφέλους και την κοινωνικοοικονομική ανάλυση του οδικού δικτύου Θεσσαλονίκης-Μουδανιά-Κόμβος Πολυλύρου-Γαλατίστα-Θέρμη.

Η ανάλυση κοινωνικού κόστους οφέλους περιλαμβάνει το όφελος ολόκληρης της κοινωνίας. Από την στιγμή που η κατασκευή του Hyperloop αποτελεί μια τεράστια οικονομική επένδυση και επανάσταση στην κοινωνία είναι σημαντικό πριν την απόφαση της υλοποίησης να πραγματοποιηθεί μια αξιολόγηση για την «ποιότητα» του έργου, δηλαδή την ικανότητα του να ανταποκρίνεται στις ανάγκες των χρηστών. Το Hyperloop πρόκειται να προσφέρει πολλαπλά οφέλη, όπως μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, εξοικονόμηση χρόνου, μείωση ατυχημάτων και μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Υπάρχουν επιπρόσθετα οφέλη που αφορούν μια σειρά οικονομικών φορέων, όπως τις κυβερνήσεις, ιδιωτικές μεταφορές, επιβάτες, ευρύ κοινό καθώς και ανειδίκευτο εργατικό δυναμικό, αφού η κατασκευή του Hyperloop δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας. Επομένως, εδώ θα μελετηθούν κοινωνικά οφέλη που προσφέρει μία τέτοια

κατασκευή και θα αποτιμηθούν οικονομικά έτσι ώστε να εφαρμοστεί η μέθοδος της κοινωνικής ανάλυσης κόστους-οφέλους.

3.4 Δείκτες αξιολόγησης Hyperloop

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία το Hyperloop αξιολογείται συγκριτικά με δύο άλλα μέσα: Το αεροπλάνο και το τρένο. Για την αξιολόγηση του απαιτείται να αναγνωρισθεί ένα σύνολο δεικτών οι οποίοι θα αποτελέσουν τη βάση της κοινωνικο-οικονομικής ανάλυσης.

Στηριζόμενοι στα ευρήματα της βιβλιογραφίας οι παρακάτω δείκτες επιλέγονται:

Πίνακας 14: Δείκτες αξιολόγησης Hyperloop

Δείκτης	Συγγραφείς
Κόμιστρο	Taylor, Hyde&Barr, 2016; Virginhyperloop, 2018 ;Naftemporiki, 2021 ; Skyscanner, 2022 ; Virail, 2022
Κατανάλωση ενέργειας	de Puechredon, 2020 ;Walker, 2018 ; Taylor, Hyde, & Barr, 2016
Κόστος κατασκευής	“HyperloopinAbuDhabi”, 2019 ;Barret, 2022
Κόστος οχημάτων	Mohit & Pravin2019 ;Hyperloop Alpha, 2013
Κόστος σταθμού	TechgearTeam, 2013 ;“Hyperloopproject”, 2016 ; “Hyperloop: Αυτόείναι”, 2021
Κόστος συντήρησης	vanGoeverden, Milakis, Janic, &Konings, 2018
Κόστος χρόνου	Wikipedia, 2022

3.5 Μελέτη Περίπτωσης

Η μελέτη περίπτωσης που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των 3 επιβατικών μεταφορικών μέσων είναι ο άξονας Αθηνών-Θεσσαλονίκης εφαρμόζοντας ανάλυση κοινωνικού κόστους οφέλους.

Πιο συγκεκριμένα, η διαδρομή που χρησιμοποιείται έχει ως αρχή την Αθήνα, το αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος και τέλος τη Θεσσαλονίκη, τη Πλατεία Αριστοτέλους. Για κάθε μεταφορικό μέσο χρησιμοποιούνται οι παρακάτω ως σταθμοί αναχώρησης και τερματισμού:

- Τρένο: Σταθμός Λαρίσης-Σταθμός Θεσσαλονίκης
- Αεροπλάνο: Αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος-Αεροδρόμιο Μακεδονίας
- Hyperloop: Αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος-Σταθμός Θεσσαλονίκης

3.5.1. Περιγραφή της σιδηροδρομικής γραμμής Αθηνών-Θεσσαλονίκης

Η διαδρομή του σιδηροδρόμου που ενώνει την Αθήνα με τη Θεσσαλονίκη έχει συνολικό μήκος 509,93 χιλιόμετρα. Αυτή η διαδρομή χωρίζεται σε δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα της διαδρομής είναι από την Αθήνα έως και το Δομοκό, με μήκος 277,60 χιλιόμετρα όπου οι συρμοί παλιότερα λειτουργούσαν με μηχανή τύπου diesel ενώ το δεύτερο τμήμα από το Δομοκό μέχρι τη Θεσσαλονίκη, με μήκος 232,33 χιλιόμετρα και οι συρμοί σε αυτό το τμήμα κινούνται με ηλεκτροκίνηση (Εικόνα 34). Τώρα πλέον ολόκληρη η διπλή σιδηροδρομική γραμμή Αθηνών-Θεσσαλονίκης είναι ηλεκτροκινούμενη (ΟΣΕ, 2022 ; “ΟΣΕ: Σε λειτουργία”, 2021 ;“Ολοκληρώθηκε η γραμμή”, 2019).



Εικόνα 34: Σιδηροδρομικό δίκτυο του ΟΣΕ (Πηγή: ΟΣΕ, 2022)

Στον παρακάτω Πίνακα 15, παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του τμήματος Αθήνα-Θεσσαλονίκη σύμφωνα με τη δήλωση δικτύου του ΟΣΕ για το 2022.

Πίνακας 15: Χαρακτηριστικά του τμήματος σιδηροδρομικής γραμμής Αθηνών-Θεσσαλονίκης

	Αρχικό Σημείο Διαδρομής/Κόμβος Δικτύου	Τελικό Σημείο Διαδρομής/Κόμβος Δικτύου	Μέγιστο Επιτρεπόμενο Φορτίο	Μήκος Γραμμής (χλμ.)	Μονή Γραμμή (χλμ.)	Διπλή Γραμμή (χλμ.)	Πολυαπλή Γραμμή (χλμ.)	Πλάθος	Μέγιστη Κλίση %	Μήκος Ηλεκτροδοτούμενης Γραμμής
1	ΠΕΙΡΑΙΑΣ	ΡΕΝΤΗΣ	20	3,37	-	3,37	-	2	16	-
2	ΡΕΝΤΗΣ	ΡΟΥΦ	20	3,6	-	-	3,6	3	16	-
3	ΡΟΥΦ	ΑΘΗΝΑ	20	2,58	-	2,58	-	2	16	-
4	ΑΘΗΝΑ	ΣΚΑ	22,5	8,86	-	8,86	-	2	16	-
5	ΣΚΑ	ΟΙΝΟΗ	22,5	52,25	-	52,25	-	2	20,5	-
6	ΟΙΝΟΗ	ΤΙΘΟΡΕΑ	22,5	93,17	-	93,17	-	2	22	-
7	ΤΙΘΟΡΕΑ	ΔΟΜΟΚΟΣ	20	121,6	121,6	-	-	1	22	-
8	ΔΟΜΟΚΟΣ	ΛΑΡΙΣΑ	22,5	57,5	-	57,5	-	2	14	57,5
9	ΛΑΡΙΣΑ	ΠΛΑΤΥ	22,5	127,94	-	127,94	-	2	14	127,94
10	ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	ΠΛΑΤΥ	20	32,1	-	32,1	-	2	10	32,1

Η πρόσβαση στο σιδηροδρομικό σταθμό της Αθήνας (Σταθμός Λαρίσης) είναι εφικτή με τρεις τρόπους (Moovit, 2022):

i. Λεωφορεία

Οι λεωφορειακές γραμμές που λειτουργούν και έχουν πρόσβαση κοντά στο Σταθμό Λαρίσης είναι: A8, B5, B9 και Γ12.

ii. Προαστιακός

Με τη γραμμή 3 του Προαστιακού της Αθήνας.

iii. Μετρό

Με τη γραμμή 2 του Μετρό της Αθήνας.

Ο σιδηροδρομικός σταθμός Θεσσαλονίκης γνωστός ως "Νέος σιδηροδρομικός σταθμός" αποτελεί κεντρικό επιβατικό σταθμό της πόλης για όλες τις επιβατικές και εμπορικές αμαξοστοιχίες. Βρίσκεται επί της οδού Μοναστηρίου στη συμβολή της με την Αναγεννήσεως, 2χιλιόμετρα από το κέντρο της Θεσσαλονίκης (Πλατεία Αριστοτέλους). Η είσοδος στο σταθμό γίνεται από την οδό Μοναστηρίου και από την οδό Μαργαροπούλου. Αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους σιδηροδρομικούς σταθμούς στα Βαλκάνια. Η συνολική του έκταση καταλαμβάνει 80 στρέμματα, ενώ το κεντρικό κτήριο καλύπτει επιφάνεια 55.000 τετραγωνικών μέτρων (ΣΦΣ, 2012). Όλο το δίκτυο των γραμμών του σταθμού είναι, εδώ και αρκετά χρόνια, ηλεκτροδοτούμενο. Από τον σταθμό μετρό *Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός* θα ξεκινά μελλοντικά η Γραμμή 1 και η Γραμμή 2 του Μετρό Θεσσαλονίκης, που βρίσκεται σήμερα υπό κατασκευή καθώς και η Κυκλική Γραμμή που βρίσκεται υπό μελέτη (Wikipedia, 2021).

3.5.2. Περιγραφή της αεροπορικής γραμμής Αθηνών-Θεσσαλονίκης

Ο Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών (ΔΑΑ) Εικόνα 35 ξεκίνησε την λειτουργία του στις 23 Μαρτίου του 2001, αλλάζοντας τοποθεσία διότι το παλιό αεροδρόμιο του Ελληνικού δεν διέθετε πλέον την απαιτούμενη χωρητικότητα για την εξυπηρέτηση της διαρκούς αυξανόμενης αεροπορικής ζήτησης από και προς την Αθήνα (Βασάκης, 2020).



Εικόνα 35: Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών (Πηγή: Κασσίμη, 2019)

Ο ΔΑΑ βρίσκεται επί της οδού Σπατών στη συμβολή της με την Αρτέμιδας, 33 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της Πλατείας Συντάγματος (κέντρο της Αθήνας).

Η πρόσβαση στο αεροδρόμιο είναι εφικτή με τρεις τρόπους (Wikipedia, 2022):

i. Σιδηροδρομική γραμμή

Στο σταθμό του αεροδρομίου καταλήγουν δρομολόγια τόσο του προαστιακού σιδηρόδρομου όσο και της γραμμής 3 του μετρό της Αθήνας. Ο σταθμός αποτελείται από τρεις γραμμές και δύο αποβάθρες μορφής νησίδας. Οι δύο ακραίες γραμμές χρησιμοποιούνται από τον Προαστιακό και η μεσαία από το μετρό της Αθήνας. Προβλέπεται σύνδεση με το λιμάνι της Ραφήνας το 2025 με επιπλέοντα σταθμό στο Συνεδριακό Κέντρο Αεροδρομίου.

ii. Λεωφορειακή γραμμή

Οι Συγκοινωνίες Αθηνών λειτουργούν λεωφορειακές γραμμές από και προς το αεροδρόμιο όλο το εικοσιτετράωρο, αυτές είναι: X93 προς Κηφισό, X95 προς Σύνταγμα, X96 προς Πειραιά και X97 προς Ελληνικό.

iii. Ιδιωτικό όχημα (ΙΧ)

Στο αεροδρόμιο, καταλήγει η Αττική Οδός, καθώς το αεροδρόμιο διαθέτει υπαίθρια πάρκινγκ μικρής και μακράς διάρκειας.

Ο Διεθνής Κρατικός Αερολιμένας Θεσσαλονίκης «Μακεδονίας» (ΚΑΘΜ) Εικόνα 36 βρίσκεται 15 χιλιόμετρα νοτιοανατολικά από το κέντρο της πόλης (Πλατεία Αριστοτέλους). Εξυπηρετεί τοπικές και διεθνείς πτήσεις προς Ευρωπαϊκές χώρες και λειτουργεί 24 ώρες ως επιβατικός και εμπορευματικός σταθμός (Wikipedia, 2022).



Εικόνα 36: Διεθνής Κρατικός Αερολιμένας Θεσσαλονίκης (Πηγή: Τσακαλίδης, 2021)

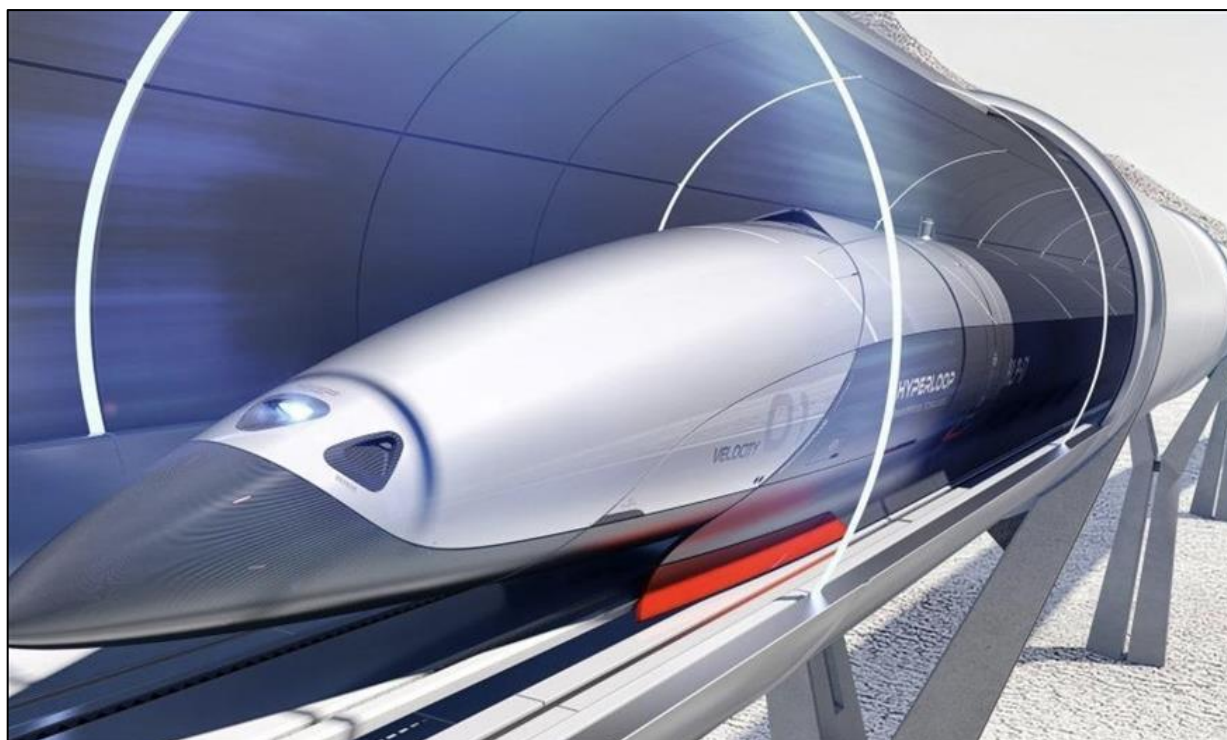
Η πρόσβαση στο αεροδρόμιο είναι εφικτή με τρεις τρόπους (Wikipedia, 2022):

- i. τον Σιδηροδρομικό Σταθμό Θεσσαλονίκης,
- ii. το Σταθμό Υπεραστικών Λεωφορείων «Μακεδονία», και
- iii. το ΚΤΕΛ Χαλκιδικής και με τον Ανατολικό Σταθμό Μετεπιβίβασης ΙΚΕΑ μέσω λεωφορειακών γραμμών του ΟΑΣΘ.

Έχει προβλεφθεί μελλοντικός σταθμός στο Μετρό Θεσσαλονίκης, μέσω υπέργειας επέκτασης της κατασκευαζόμενης επέκτασης της Καλαμαριάς (Wikipedia, 2022).

3.5.3. Περιγραφή της γραμμής Hyperloop Αθηνών-Θεσσαλονίκης

Η σιδηροδρομική γραμμή Hyperloop Εικόνα 37 που ενώνει την Αθήνα με την Θεσσαλονίκη εικάζουμε πως θα έχει σημείο αναφοράς για την έναρξη τον ΔΑΑ Ελ. Βενιζέλος και ως σημείο τερματισμού τον Σταθμό της Θεσσαλονίκης.



Εικόνα 37: Hyperloop (Πηγή: Έθνος, 2020)

3.6 Χαρακτηριστικά μεταφορικών μέσων

Επιλέγουμε για κάθε μεταφορικό μέσο (Τρένο, Αεροπλάνο και Hyperloop) το πιο συνηθισμένο όχημα για την μελέτη της γραμμής Αθηνών-Θεσσαλονίκης, θεωρώντας ως σημεία έναρξης και τερματισμού το κέντρο της Αθήνας (Πλατείας Συντάγματος) και το κέντρο της Θεσσαλονίκης (Πλατεία Αριστοτέλους), αντίστοιχα. Παρακάτω περιγράφουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε μεταφορικού μέσου για την αντίστοιχη διαδρομή.

3.6.1. Τρένο

Ο Σταθμός Λαρίσης βρίσκεται 2,5 χιλιόμετρα από την Πλατεία Συντάγματος, ενώ ο Σταθμός της Θεσσαλονίκης βρίσκεται 2 χιλιόμετρα από την Πλατεία Αριστοτέλους.

Η ταχύτητα με την οποία κινείται η αμαξοστοιχία διαφοροποιείται ανά τμήματα του σιδηρόδρομου:

- Από Πειραιά μέχρι Ρέντη κινείται με 25 χλμ./ώρα,
- από Ρέντη μέχρι Αθήνα με 80 χλμ./ώρα,
- από Αθήνα μέχρι Οινόη με 120χλμ./ώρα,
- από Οινόη μέχρι Τιθορέα με 160χλμ./ώρα,
- από Τιθορέα μέχρι Δομοκό με 120χλμ./ώρα,
- από Δομοκό μέχρι Πλατύ με 160 χλμ./ώρα, και
- από Θεσσαλονίκη μέχρι Πλατύ με 180χλμ./ώρα.

Η αμαξοστοιχία IC54 Εικόνα 38 αποτελείται από 6 βαγόνια. Το πρώτο βαγόνι έχει 32 θέσεις επιβατών, το δεύτερο βαγόνι έχει 23 θέσεις επιβατών, το τρίτο βαγόνι έχει 77 θέσεις επιβατών, το τέταρτο βαγόνι έχει 78 θέσεις επιβατών, το πέμπτο βαγόνι έχει 80 θέσεις επιβατών και το έκτο βαγόνι έχει 79 θέσεις επιβατών.

Συγκεντρωτικά υπολογίζεται για την αμαξοστοιχία IC54 (ΤΡΑΙΝΟΣΕ):

Ταχύτητα ταξιδιού (μέση ταχύτητα): 120 χλμ./ώρα

Χωρητικότητα: 369 επιβάτες

Χρόνος ταξιδιού (μεταξύ σταθμών): 4 ώρες και 23 λεπτά

Συχνότητα: 5 δρομολόγια την ημέρα



Εικόνα 38: Αμαξοστοιχία IC54 ΤΡΑΙΝΟΣΕ (Πηγή: Lifo, 2022)

3.6.2. Αεροπλάνο

Ο Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών βρίσκεται 33 χιλιόμετρα βορειοανατολικά από την Πλατεία Συντάγματος, ενώ ο Κρατικός Αερολιμένας Θεσσαλονίκης «Μακεδονίας» βρίσκεται 15 χιλιόμετρα νοτιοανατολικά από την Πλατεία Αριστοτέλους.

Το αεροσκάφος που θα μελετήσουμε για την διαδρομή Αθηνών-Θεσσαλονίκης είναι το Airbus A320 Εικόνα 39 είναι σειρά επιβατικών αεροσκαφών μέσω αποστάσεων και στενής ατράκτου. Κατασκευάζεται από την Airbus. Είναι ο βασικός ανταγωνιστής του Boeing 737 και είναι το πιο δημοφιλές πολιτικό αεροσκάφος της ευρωπαϊκής αεροναυπηγικής και της κατασκευάστριας εταιρείας (Wikipedia, 2021).



Εικόνα 39: Airbus A320 (Πηγή: Lancelot, χ.χ.)

Συγκεντρωτικά υπολογίζεται για το Airbus A320 (Aegean, 2022):

Ταχύτητα ταξιδιού: 840 χλμ./ώρα

Χωρητικότητα: 174 επιβάτες

Χρόνος ταξιδιού: 55 λεπτά

Συχνότητα: 9 δρομολόγια την ημέρα

3.6.3. Hyperloop

Ο Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών βρίσκεται 33 χιλιόμετρα βορειοανατολικά από την Πλατεία Συντάγματος όπου θα είναι το σημείο αναχώρησης, ενώ ο Σταθμός της Θεσσαλονίκης βρίσκεται 2 χιλιόμετρα από την Πλατεία Αριστοτέλους όπου θα είναι το σημείο τερματισμού.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία Taylor, Hyde & Barr (2016), μια ανεκτή τιμή για το ανθρώπινο σώμα είναι 0,5g, εμείς θα υποθέσουμε επιτάχυνση 0,3g. Σύμφωνα με τον Hansen (2020), μια ασφαλής τιμή για επιβράδυνση της κάψουλας είναι 1m/s^2 όπου αυτή θα χρησιμοποιήσουμε και εμείς.

Υποθέτουμε πως η γραμμή Hyperloop θα έχει τυπικές ώρες λειτουργίας 5 το πρωί έως 12 τα μεσάνυχτα, οπότε θα λειτουργεί 19 ώρες ημερησίως.

- Η χρονοαπόσταση των τρένων σύμφωνα με την βιβλιογραφία κυμαίνεται από 18 δευτερόλεπτα έως 2 λεπτά, εμείς υποθέτουμε κατ' ελάχιστο χρονοαπόσταση 5 λεπτών στις ώρες αιχμής (7-10 π.μ. και 16-19 μ.μ.).
- Τις πρωινές ώρες αιχμής (5-7 π.μ.) υποθέτουμε πως θα έχει χρονοαπόσταση 30 λεπτών και το χρονικό διάστημα 10:00-16:00 η χρονοαπόσταση θα είναι 20 λεπτά.
- Τις βραδινές ώρες (19-21 μ.μ.) υποθέτουμε πως θα έχει χρονοαπόσταση 30 λεπτών, και στο διάστημα (21-12 μ.μ.) η χρονοαπόσταση θα είναι 60 λεπτά.

Συνεπώς, υπολογίζουμε στις πρωινές ώρες αιχμής 7-10 θα έχουμε 36 δρομολόγια ημερησίως αντίστοιχα και στις απογευματινές ώρες αιχμής 16-19 θα έχουμε 36 δρομολόγια ημερησίως.

Τις υπόλοιπες πρωινές ώρες 5-7 θα έχουμε 4 δρομολόγια ημερησίως και στο διάστημα 10-16 θα έχουμε 18 δρομολόγια ημερησίως.

Τις βραδινές ώρες 19-21θα έχουμε 4 δρομολόγια ημερησίως και στο διάστημα 21-12 τα μεσάνυχτα θα έχουμε 3 δρομολόγια ημερησίως.

Οπότε, συνολικά ημερησίως θα έχουμε 101 δρομολόγια από Αθήνα προς Θεσσαλονίκη.

Τεχνικά χαρακτηριστικά Hypeloop (European Commission, 2021):

Ταχύτητα ταξιδιού: 1200 χλμ./ώρα

Χωρητικότητα: 28 επιβάτες (Tesla, 2013 ; Dhote, 2017 ; Yavuz&Ozturk, 2021)

Χρόνος ταξιδιού: 33min

Συχνότητα: 101*δρομολόγια την ημέρα

Στο παρακάτω Πίνακα 16συνοψίζουμε όλα τα βασικά στοιχεία για κάθε μέσο μεταφοράς που στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση στα υπολογιστικά φύλλα Excelκαι θα παραθέσουμε εδώ όλα τα αποτελέσματα μέσα από πίνακες, καθώς θα περιγράψουμε όλη τη διαδικασία εκτέλεσης βήμα προς βήμα.

Ταχύτητα (χλμ./ώρα): μέση ταχύτητα ταξιδιού για κάθε μέσο

Χωρητικότητα (επιβάτες): θέσεις επιβατών για κάθε μέσο

Απόσταση (χλμ.): η χιλιομετρική απόσταση από σταθμό αναχώρησης σε τερματικό για κάθε μέσο

Χρόνος ταξιδιού: ο χρόνος εντός του μεταφορικού μέσου συμπεριλαμβανομένου και των στάσεων

Ολικός χρόνος ταξιδιού Α-Θ: ο χρόνος από το κέντρο της Αθήνας (Πλατεία Συντάγματος) μέχρι την αντίστοιχη έναρξη ταξιδιού με αυτοκίνητο, συν τον χρόνο ταξιδιού, συν από τον αντίστοιχο τερματισμό μέχρι την το κέντρο της Θεσσαλονίκης (Πλατεία Αριστοτέλους) με το αυτοκίνητο

Συχνότητα (ημερησίως): πόσα δρομολόγια εκτελούνται ημερησίως για κάθε μέσο από Αθήνα για Θεσσαλονίκη

Πίνακας 16: Σύνολο βασικών χαρακτηριστικών μεταφορικών μέσων

	Τρένο	Αεροπλάνο	Hyperloop
Ταχύτητα (χλμ./ώρα)	120	840	1200
Χωρητικότητα (επιβάτες)	369	174	28
Απόσταση (χλμ.)	509	303	518
Χρόνος ταξιδιού	4h 23min	55min	33min
Ολικός χρόνος ταξιδιού Α-Θ	5h 17min	3h 21min	1h 40min
Συχνότητα* (ημερησίως)	5	9	101

*Μέγιστη ημερήσια συχνότητα

Στις Εικόνα 40, Εικόνα 41 και Εικόνα 43 παρουσιάζονται αναλυτικά ο χρόνο ταξιδιού για τα τρία μέσα μεταφοράς από το σημείο έναρξης ως το σημείο τερματισμού.



Εικόνα 40: Χρονική διάρκεια ταξιδιού από κέντρο Αθήνας σε κέντρο Θεσσαλονίκης με τρένο (Πηγή: Προσωπική επεξεργασία)

Αεροπλάνο

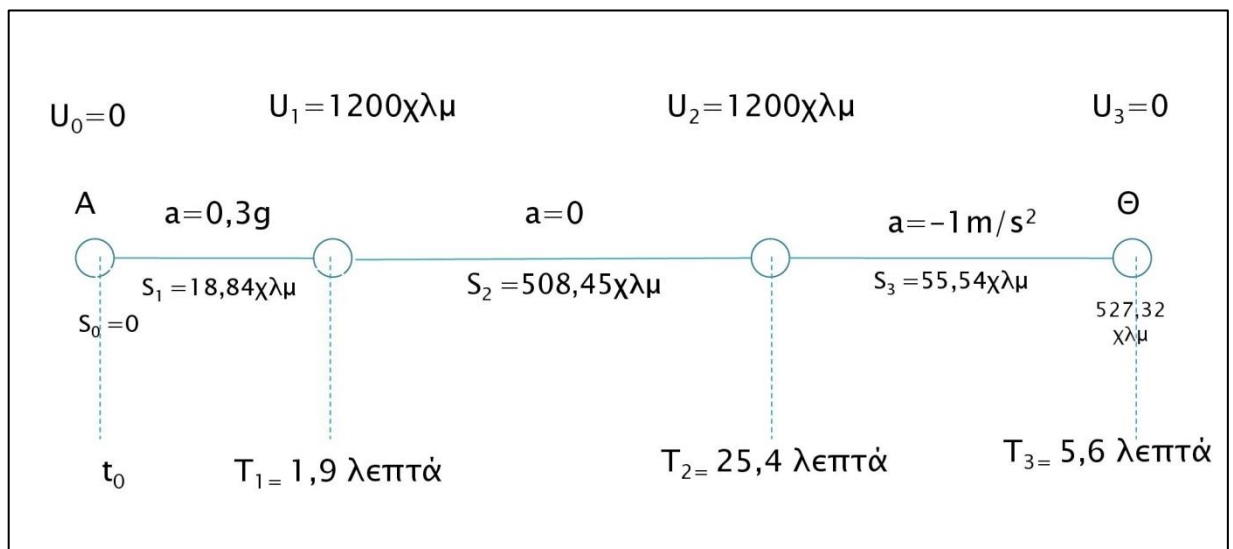


Εικόνα 41: Χρονική διάρκεια ταξιδιού από κέντρο Αθήνας σε κέντρο Θεσσαλονίκης με αεροπλάνο (Πηγή: Προσωπική επεξεργασία)

Παρακάτω γίνεται ο αναλυτικός υπολογισμός χρόνος ταξιδιού (μέσα στη κάψουλα) Αθήνα-Θεσσαλονίκη με Hyperloop με τις εξής παραδοχές (Εικόνα 42):

Επιτάχυνση: $0,3g$

Επιβράδυνση: -1 m/s^2



Εικόνα 42: Αναλυτικό σχεδιάγραμμα υπολογισμού χρόνου ταξιδιού μέσα στην κάψουλα Hyperloop (Πηγή: Προσωπική επεξεργασία)

Στη συνέχεια, υπολογίζουμε τον καθαρό χρόνο ταξιδιού, δηλαδή τον χρόνο που βρίσκεται ο ταξιδιώτης μέσα στη κάψουλα για τη διαδρομή Αθήνα-Θεσσαλονίκη με Hyperloop.

$$1200 \frac{\chi\lambda\mu}{\acute{\omega}\rho\alpha} = 333,3 \frac{m}{s^2}$$

$$a = \frac{U_{τελ}^2 - U_{αρχ}^2}{2S} \Rightarrow 0,3 * 9,81 = \frac{333,3^2 - 0}{2 * S_1} \Rightarrow S_1 = 18,87 \chi\lambda\mu.$$

Η απόσταση Αθήνα – Θεσσαλονίκη με το αυτοκίνητο είναι 500χλμ. και με το τρένο είναι 509,93χλμ. συνεπώς έχουν μια απόκλιση $\frac{509,93}{500} = 1,018$

Άρα η απόσταση Αθήνα – Θεσσαλονίκη με Hyperloop είναι 518χλμ. * 1,018 = 527,32χλμ.

$$S_2 = S_3 - S_1 = 527,32 - 18,87 = 508,45\chi\lambda\mu.$$

$$S_3 = \frac{U^2}{2a} = \frac{333,3^2}{2 * 1} = 55,54\chi\lambda\mu$$

$$\alpha = \frac{U_T - U_a}{T_T - T_a} \Rightarrow T_1 = \frac{U_T}{a} \Rightarrow T_1 = \frac{333,3}{0,3g} \Rightarrow T_1 = 113,26 \text{ sec} \Rightarrow T_1 = 1,9 \text{ λεπτά}$$

$$U_2 = \frac{S_2}{T_2} \Rightarrow 1200 = \frac{508,45}{T_2} \Rightarrow T_2 = \frac{508,45}{1200} \Rightarrow T_2 = 0,4237 \acute{\omega}\rho\epsilon\varsigma * 60 = 25,4 \text{ λεπτά}$$

$$\alpha = \frac{U_T - U_a}{T_T - T_a} \Rightarrow T_3 = \frac{U_a}{a} \Rightarrow T_3 = \frac{333,3}{1} \Rightarrow T_3 = 333,3 \text{ sec} \Rightarrow T_3 = 5,6 \text{ λεπτά}$$

$$T = T_1 + T_2 + T_3 = 1,9 + 25,4 + 5,6 = 32,9 \sim 33 \text{ λεπτά}$$



Εικόνα 43: Χρονική διάρκεια ταξιδιού από κέντρο Αθήνας σε κέντρο Θεσσαλονίκης με Hyperloop (Πηγή: Προσωπική επεξεργασία)

Κεφάλαιο 4: Ανάλυση και Αποτελέσματα

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η εφαρμογή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, καθώς και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της.

Στη συνέχεια, περιγράφονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν σε κάθε στάδιο της μελέτης και παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης του οικονομικού μοντέλου που κάναμε χρήση. Έγινε χρήση των υπολογιστικών φύλλων Excel κωδικοποιώντας κατάλληλα όλα τα απαραίτητα στοιχεία για να τροποποιηθούν σε χρηματικές μονάδες όλα τα στοιχεία. Τέλος, παρατίθενται όλα τα αποτελέσματα για ολόκληρη την περίοδο μελέτης 2025-2074 μέσω πίνακες που προέκυψαν από την εφαρμογή μαθηματικών τύπων, καθώς περιγράφονται και οι ερμηνείες των αποτελεσμάτων.

4.1. Ζήτηση επιβατικού φόρτου

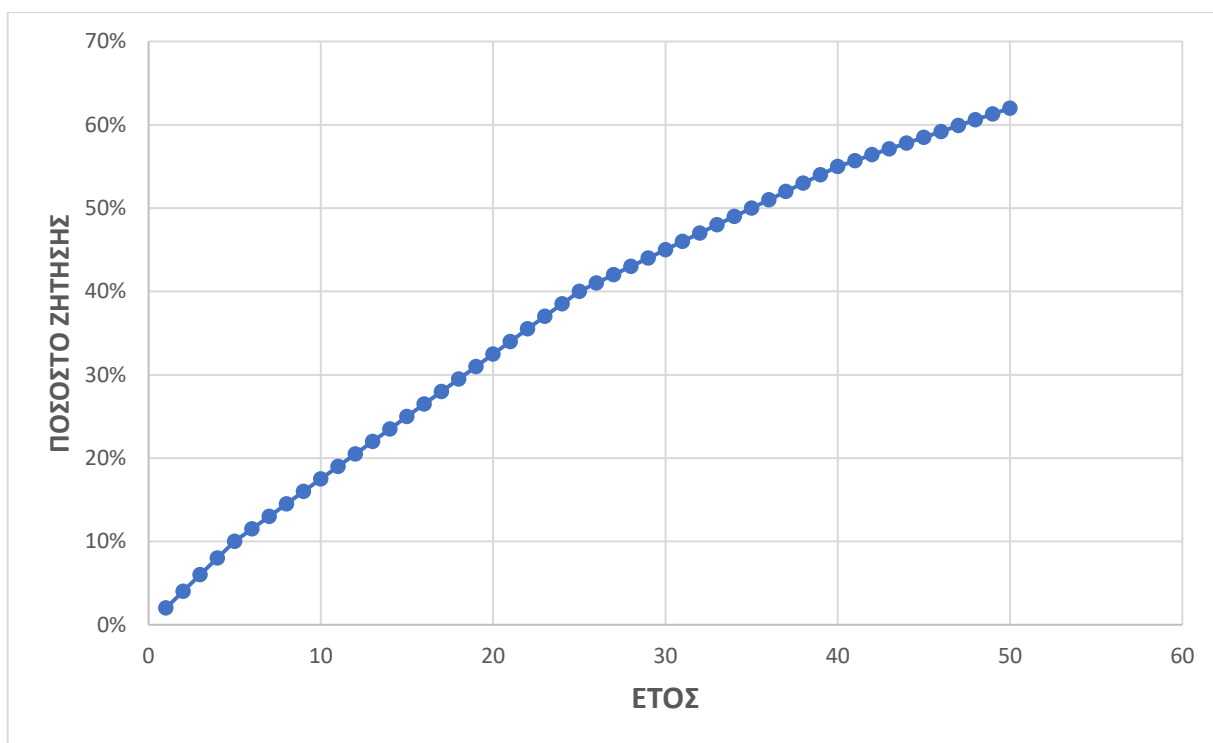
Η εκτίμηση της ζήτησης για ένα νέο αντικείμενο στην αγορά αποτελεί πρόκληση για οποιαδήποτε επιχείρηση. Η πρόκληση γίνεται μεγαλύτερη όταν το νέο αγαθό διαθέτει και νέα τεχνολογία. Συχνά, η «Καμπύλη S» **Error! Reference source not found.** αποτελεί χρήσιμη υπολογιστική μέθοδο για την οργάνωση της ανάλυσης μας (Arkieva, 2022).

Η «Καμπύλη S» πήρε το όνομα της από το σχήμα της, καθώς αποτελείται από 4 στάδια (Arkieva, 2022):

- Στάδιο 1, μικρή κλίση: αφορά την εισαγωγή νέων αγαθών και έχουν μικρή αύξηση του μεριδίου του στην αγορά,
- Στάδιο 2, μεγάλη κλίση: η επιχείρηση απογειώνεται καθώς έχουμε γρήγορη ανάπτυξη του μεριδίου του στην αγορά,
- Στάδιο 3, μικρή κλίση: έχουμε αργή έως μηδενική ανάπτυξη, και
- Στάδιο 4, μηδενική κλίση: καμία αύξηση στην αγορά.

Με βάση την λογική της «Καμπύλης S» και με διαφορά τα πρώτα χρόνια που θεωρούμε αυξημένη ζήτηση, δημιουργούμε την αντίστοιχη καμπύλη ζήτησης για το δικό μας μοντέλο προσαρμοσμένο στα δεδομένα για διάρκεια ζωής 50 χρόνων μελέτης. Να σημειωθεί ότι το αντικείμενο της παρούσας ΔΕ δεν είναι η πρόβλεψη των μελλοντικών φόρτων του Hyperloop και άλλων ανταγωνιστικών μέσων. Για πιο ακριβείς προβλέψεις προτείνεται να ακολουθηθούν επιπλέον μέθοδοι και μοντέλα.

Θεωρούμε πως το σύστημα Hyperloop τα 5 πρώτα χρόνια μελέτης (2025-2029) θα έχει συνολική ζήτηση 10%, τα επόμενα 20 χρόνια (2030-2049) θα έχει συνολική ζήτηση 30%, τα επόμενα 15 χρόνια (2050-2064) θα έχει συνολική ζήτηση 15% και τα τελευταία 10 χρόνια (2065-2074) θα έχει συνολική ζήτηση 7%. (Εικόνα 44).



Εικόνα 44: Καμπύλη ζήτησης (Πηγή: Προσωπική επεξεργασία)

Η ζήτηση για το Hyperloop για τον πρώτο χρόνο μελέτης (2025) υπολογίστηκε ως το ποσοστό της επιβατικής κίνησης του επί την συνολική επιβατική κίνηση του τρένου και του αεροπλάνου.

Σύμφωνα με την Στούπα (2018), η εσωτερική μετακίνηση με αεροπλάνο είναι 2.575.340 επιβάτες το 2016 και από αυτούς το 71,2% αποτελούν εσωτερική μετακίνηση στη διαδρομή Αθήνα-Θεσσαλονίκη, άρα έχουμε 1.833.642 επιβάτες για το 2016. Έχουμε αυξητική ζήτηση ανά έτος 1%, άρα για το 2017 η επιβατική κίνηση θα είναι ίση με την επιβατική κίνηση του 2016 επί την αυξητική ζήτηση συν την επιβατική κίνηση του 2016. Δηλαδή $(1.833.642 * 1\%) + 1.833.642 = 1.851.978$ επιβάτες για το 2017. Ομοίως υπολογίζεται και για τα επόμενα χρόνια η επιβατική ζήτηση μέχρι το 2025 όπου η επιβατική κίνηση φτάνει στους 2.005.427 επιβάτες.

Σύμφωνα με τον Μανδραβέλη (2019), η εσωτερική επιβατική κίνηση με τρένο εκτιμάται στους 800.000 επιβάτες, έτσι ξεκινάμε την μελέτη με 800.000 επιβάτες για το 2025.

Οπότε για την συνολική επιβατική μετακίνηση τρένου και αεροπλάνου για την πρώτη χρονιά μελέτης το 2025 είναι $2.005.427 + 800.000 = 2.805.427$ επιβάτες. Το 2074 η συνολική επιβατική κίνηση ανέρχεται στους 3.582.086 επιβάτες.

Θεωρούμε πως το σύστημα Hyperloop θα απορροφήσει το 50% της ζήτησης από το αεροπλάνο και το 50% από την ζήτηση στο τρένο,

Η επιβατική κίνηση του Hyperloop για τη διαδρομή Αθήνα-Θεσσαλονίκη υπολογίστηκε από το γινόμενο της συνολικής επιβατικής κίνησης της πρώτης χρονιάς το 2025 επί την αντίστοιχη ετήσια ζήτηση, δηλαδή $2.805.427 * 2\% = 56.109$ επιβάτες. Η ετήσια ζήτηση για το Hyperloop αυξάνεται όπως φαίνεται στον Πίνακα 17. Για τα υπόλοιπα έτη αθροίζεται η ζήτηση του προηγούμενου έτους και του τρέχοντος. Το έτος 2074 υπολογίζεται ότι το Hyperloop εξυπηρετεί το 54% της συνολικής ζήτησης.

Έτσι η τελική επιβατική κίνηση για το διάστημα 2025-2074 για το αεροπλάνο και το τρένο απεικονίζεται στο παρακάτω Πίνακας 17.

Πίνακας 17: Μελλοντική επιβατική κίνηση Αθήνας-Θεσσαλονίκης με Hyperloop, Αεροπλάνο και Τρένο 2025-2074

	Ζήτηση ανά έτος	Έτος	Hyperloop	Αεροπλάνο	Τρένο	Σύνολο
1	2%	2025	56.109	1.977.373	771.946	2.805.427
2	2%	2026	112.498	1.959.206	747.751	2.819.454
3	2%	2027	169.169	1.940.947	723.436	2.833.552
4	2%	2028	226.123	1.922.598	698.999	2.847.719
5	2%	2029	283.362	1.904.157	674.439	2.861.958
6	1,50%	2030	326.506	1.892.814	656.948	2.876.268
7	1,50%	2031	369.866	1.881.414	639.369	2.890.649
8	1,50%	2032	413.443	1.869.958	621.702	2.905.102
9	1,50%	2033	457.237	1.858.444	603.947	2.919.628
10	1,50%	2034	501.250	1.846.872	586.103	2.934.226
11	1,50%	2035	545.484	1.835.243	568.170	2.948.897
12	1,50%	2036	589.938	1.823.556	550.147	2.963.642
13	1,50%	2037	634.615	1.811.810	532.035	2.978.460
14	1,50%	2038	679.516	1.800.005	513.831	2.993.352
15	1,50%	2039	724.640	1.788.142	495.537	3.008.319
16	1,50%	2040	769.991	1.776.219	477.151	3.023.361
17	1,50%	2041	815.568	1.764.236	458.673	3.038.477
18	1,50%	2042	861.373	1.752.194	440.103	3.053.670
19	1,50%	2043	907.407	1.740.091	421.440	3.068.938
20	1,50%	2044	953.671	1.727.928	402.683	3.084.283
21	1,50%	2045	1.000.167	1.715.704	383.833	3.099.704
22	1,50%	2046	1.046.895	1.703.419	364.889	3.115.203
23	1,50%	2047	1.093.857	1.691.073	345.849	3.130.779
24	1,50%	2048	1.141.053	1.678.664	326.715	3.146.433
25	1,50%	2049	1.188.486	1.666.194	307.485	3.162.165
26	1,00%	2050	1.220.265	1.661.606	296.104	3.177.976
27	1,00%	2051	1.252.204	1.656.996	284.666	3.193.865
28	1,00%	2052	1.284.302	1.652.362	273.170	3.209.835
29	1,00%	2053	1.316.561	1.647.705	261.618	3.225.884
30	1,00%	2054	1.348.981	1.643.025	250.007	3.242.013
31	1,00%	2055	1.381.563	1.638.322	238.338	3.258.223
32	1,00%	2056	1.414.309	1.633.595	226.611	3.274.515
33	1,00%	2057	1.447.218	1.628.844	214.826	3.290.887
34	1,00%	2058	1.480.291	1.624.069	202.981	3.307.342
35	1,00%	2059	1.513.530	1.619.271	191.077	3.323.878
36	1,00%	2060	1.546.935	1.614.449	179.114	3.340.498
37	1,00%	2061	1.580.507	1.609.602	167.091	3.357.200
38	1,00%	2062	1.614.247	1.604.732	155.008	3.373.986
39	1,00%	2063	1.648.155	1.599.837	142.864	3.390.856
40	1,00%	2064	1.682.233	1.594.917	130.660	3.407.810

	Ζήτηση ανά έτος	Έτος	Hyperloop	Αεροπλάνο	Τρένο	Σύνολο
41	0,70%	2065	1.706.207	1.595.110	123.532	3.424.849
42	0,70%	2066	1.730.301	1.595.305	116.368	3.441.974
43	0,70%	2067	1.754.515	1.595.500	109.169	3.459.184
44	0,70%	2068	1.778.851	1.595.696	101.933	3.476.479
45	0,70%	2069	1.803.308	1.595.893	94.661	3.493.862
46	0,70%	2070	1.827.887	1.596.091	87.353	3.511.331
47	0,70%	2071	1.852.589	1.596.290	80.009	3.528.888
48	0,70%	2072	1.877.415	1.596.490	72.627	3.546.532
49	0,70%	2073	1.902.365	1.596.691	65.209	3.564.265
50	0,70%	2074	1.927.439	1.596.893	57.754	3.582.086

4.1.1. Εξυπηρέτηση ζήτησης Hyperloop

Με βάση την ζήτηση που υπολογίσαμε, για το Hyperloop υπολογίζουμε τον αριθμό καψουλών που απαιτούνται για να εξυπηρετούν το σύστημα όπως φαίνεται στον Πίνακα 18, διαιρώντας την ζήτηση με το 360 που είναι οι εργάσιμες μέρες τον χρόνο και το 28 που είναι η χωρητικότητα της κάψουλας Hyperloop.

Πίνακας 18: Εξυπηρέτηση ζήτησης Hyperloop

Χρόνια	Αριθμός καψουλών	Χρόνια	Αριθμός καψουλών
1	8	26	157
2	17	27	161
3	25	28	166
4	34	29	170
5	42	30	174
6	49	31	178
7	55	32	182
8	62	33	187
9	68	34	191
10	75	35	195
11	81	36	200
12	88	37	204
13	94	38	208
14	101	39	213
15	108	40	217
16	115	41	220
17	121	42	223
18	128	43	226
19	135	44	229
20	142	45	233
21	149	46	236
22	156	47	239
23	163	48	242
24	170	49	245
25	177	50	249

4.1.2. Εξυπηρέτηση ζήτησης αεροπλάνου

Με βάση την ζήτηση που υπολογίσαμε, για το αεροπλάνο υπολογίζουμε την ικανότητα εξυπηρέτησης της ζήτησης όπως φαίνεται στο παρακάτω Πίνακας 19, δηλαδή διαιρούμε την ζήτηση με το 360 που είναι οι εργάσιμες μέρες τον χρόνο και το 174 που είναι η χωρητικότητα του αεροσκάφους μελέτης.

Πίνακας 19: Εξυπηρέτηση ζήτησης αεροπλάνου

Χρόνια	Αριθμός αεροσκαφών	Χρόνια	Αριθμός αεροσκαφών
1	47	26	34
2	47	27	34
3	46	28	34
4	46	29	34
5	46	30	34
6	45	31	34
7	45	32	34
8	45	33	34
9	45	34	34
10	44	35	34
11	44	36	34
12	44	37	33
13	43	38	33
14	43	39	33
15	43	40	33
16	43	41	33
17	42	42	33
18	42	43	33
19	42	44	33
20	41	45	33
21	41	46	33
22	41	47	33
23	40	48	33
24	40	49	33
25	40	50	33

4.1.3. Εξυπηρέτηση ζήτησης τρένου

Ομοίως, με βάση την ζήτηση που υπολογίσαμε, για το τρένο υπολογίζουμε την ικανότητα εξυπηρέτησης της ζήτησης όπως φαίνεται στο παρακάτω Πίνακας 20, δηλαδή διαιρούμε την ζήτηση με το 360 που είναι οι εργάσιμες μέρες τον χρόνο και με το 369 που είναι η χωρητικότητα του τρένου μελέτης.

Πίνακας 20: Εξυπηρέτηση ζήτησης τρένου

Χρόνια	Αριθμός αμαξοστοιχιών	Χρόνια	Αριθμός αμαξοστοιχιών
--------	-----------------------	--------	-----------------------

1	10	26	3
2	10	27	3
3	10	28	3
4	9	29	3
5	9	30	3
6	9	31	3
7	9	32	3
8	8	33	2
9	8	34	2
10	8	35	2
11	8	36	2
12	7	37	2
13	7	38	2
14	7	39	2
15	7	40	1
16	6	41	1
17	6	42	1
18	6	43	1
19	6	44	1
20	5	45	1
21	5	46	1
22	5	47	1
23	5	48	1
24	4	49	1
25	4	50	1

4.2. Κόστος

Διακρίνεται σε 5 δείκτες:1) στο κόστος κατασκευής (μόνο το διάδρομο), 2) το κόστος λειτουργίας, 3) το κόστος οχήματος (κάψουλα), και 4) το κόστος εισιτηρίου, 5) το κόστος συντήρησης.

4.2.1. Κόστος κατασκευής

Ο Οργανισμός Σιδηροδρόμων Ελλάδας (ΟΣΕ) έχει διαθέσει πάνω από € 10 δισεκατομμύρια για την κατασκευή της σιδηροδρομικής γραμμής Αθήνας-Θεσσαλονίκης μήκους 500 χλμ. Δηλαδή κάθε χιλιόμετρο κόστισε κατά μέσον όρο € 20 εκατομμύρια (“10 δις. Ευρώ”, 2018).

Οι χωματουργικές εργασίες συμπεριλαμβάνουν τις εκσκαφές των ορυγμάτων, την πλήρωση των επιχωμάτων και γενικά την διαμόρφωση της υπόβασης της σιδηροδρομικής γραμμής με τις προστατευτικές της στρώσεις και την απαιτούμενη φέρουσα ικανότητα που προβλέπει ο σχεδιασμός. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται βασικές και συνήθως πολυδάπανες χωματουργικές εργασίες και το επιμέρους κόστος αυτών σύμφωνα με τα αναλυτικά τιμολόγια έργων οδοποιίας (ΑΤΕΟ, 2/2013) για έργα προϋπολογισμού μεγαλύτερων των € 10 εκατομμυρίων.

Πίνακας 21: Τιμές μονάδος χωματουργικών εργασιών

Χωματουργικές εργασίες			
Είδος εργασίας	Άρθρο ΑΤΕΟ	Μονάδες	Κόστος/Μονάδα
Εκσκαφή ακατάλληλων/χαλαρών εδαφών	ΟΔΟ 1110	m ³	0,32*
Εκσκαφή σε έδαφος γαιώδες-ημιβραχώδες	ΟΔΟ 1123.A	m ³	0,60*
Γενικές εκσκαφές σε έδαφος βραχώδες με χρήση εκρηκτικών	ΟΔΟ 1133.A	m ³	2,10*
Γενικές εκσκαφές σε έδαφος βραχώδες με ελεγχόμενη χρήση εκρηκτικών	ΟΔΟ 1133.A	m ³	3,60*
Γενικές εκσκαφές σε έδαφος βραχώδες χωρίς χρήση εκρηκτικών	ΟΔΟ 1133.A	m ³	6,80*
Προμήθεια δάνειων: Συνήθη υλικά Κατηγορίας E1 έως E4	ΟΔΟ 1510	m ³	0,86*
Προμήθεια δάνειων για την κατασκευή σιδηροδρομικών επιχωμάτων	ΟΔΟ 1510	m ³	1,15*
Κατασκευή επιχωμάτων	ΟΔΟ 1530	m ³	0,86
Κατασκευή σιδηροδρομικών επιχωμάτων	ΟΔΟ 1530	m ³	1,04
Επένδυση πρανών με φυτική γη	ΟΔΟ 1610	m ²	0,55

(στις τιμές με * πρέπει να προστεθεί και το κόστος μεταφοράς)

Οι τιμές του παραπάνω Πίνακας 21 αποτελούν ενδεικτικές τιμές καθώς δεν έχει προστεθεί σε αυτές η δαπάνη του μεταφορικού έργου. Οι τελικές τιμές των χωματουργικών εργασιών παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις από ένα έργο σε ένα άλλο, καθώς για τη μεταφορά των υλικών προστίθεται ένα ποσό της τάξεως των 0,18-0,28€/χιλιόμετρο (ανάλογα με την περιοχή: αστική, εκτός πόλης κλπ.), το οποίο ανάλογα με την απόσταση του τόπου προμήθειας ή απόθεσης μπορεί να γίνει σημαντικό (Δεληγιάννης, χ.χ.).

Σύμφωνα με τον J.P Baumgartner (2001), στον παρακάτω Πίνακας 22 δίνονται τιμές κόστους ανά χιλιόμετρο γραμμής, όπου περιέχουν όλες τις απαραίτητες εγκαταστάσεις για την υποδοχή της επιδομής ανάλογα με το τοπογραφικό ανάγλυφο την ταχύτητα και το πλήθος των τροχιοσειρών.

Πίνακας 22: Ενδεικτικό κόστος συνόλου υποδομών γραμμής με μέση τιμή και οριακές (μέγιστη-ελάχιστη)

Είδος γραμμής	Μέγιστη ταχύτητα (χλμ/ώρα)	Πεδινή τοπογραφία (εκατ. €/χλμ)	Μέτριας ομαλότητας τοπογραφία (εκατ. €/χλμ)	Ορεινή τοπογραφία (εκατ. €/χλμ)
Μονή γραμμή	100	2,5 (από 1,25 έως 3,75)	6,25 (από 3,75 έως 18,75)	25 (από 18,75 έως 50)
Διπλή γραμμή	100	2,5 (από 1,25 έως 5)	8,75 (από 3,75 έως 25)	25 (από 25 έως 62,5)
	300	3,75 (από 2,5 έως 7,5)	12,5 (από 7,5 έως 37,5)	50 (από 25 έως 62,5)

Στο σύστημα μεταφοράς Hyperloop το κόστος κατασκευής καλύπτει την κατασκευή της κατευθυντήριας γραμμής, την κατασκευή τούνελ, την παραγωγή καψουλών, το κόστος κατασκευής του σταθμού. Σύμφωνα με την έκθεση Hyperloop Alpha το κόστος κατασκευής

του συστήματος υπολογίζεται περίπου \$6 δισεκατομμυρίων μόνο για την μεταφορά επιβατών και \$7,5 δισεκατομμύρια για την μεταφορά επιβατών και εμπορευμάτων. Σε αυτή την εκτίμηση κόστους δεν περιλαμβάνονται οι χωματουργικές εργασίες και το ειδικό κόστος σταθμού (Tesla, 2013).

Όταν ο Elon Musk διάδωσε την ιδέα του για το σύστημα μεταφοράς Hyperloop το 2013 υπολόγισε μια διαδρομή από το Λος Άντζελες προς την περιοχή του κόλπου με κόστος περίπου \$ 6 δισεκατομμύρια ή \$ 11,5 εκατομμύρια ανά μίλι (6,61 εκατομμύρια €/χλμ.) (Bhuiyan, 2016 ; “Hyperloop: Το τρένο”, 2013).

Για την διαδρομή μεταξύ Άμπου Ντάμπι και Ντουμπάι υπολογίζεται να κοστίσει \$ 4,8 δισεκατομμύρια ή \$ 52 εκατομμύρια το μίλι (29,9 εκατομμύρια €/χλμ.) (Bhuiyan, 2016).

Με βάση πιο πρόσφατες εκτιμήσεις το έργο Άμπου Ντάμπι και Ντουμπάι αναμένεται να κοστίσει 40 εκατομμύρια \$/χλμ. (36,8 εκατομμύρια €/χλμ.) (“Hyperloop in Abu Dhabi”, 2019). Η αύξηση της τιμής την θεωρούμε λογική και αναμενόμενη.

Το κόστος κατασκευής του δικτύου Hyperloop υπολογίζεται περίπου στα \$ 1,7 δισεκατομμύρια (€ 1,5 δισεκατομμύρια) (SpencerJones, 2022).

Τα μαγνητικά τρένα Maglev της Κίνας κοστίζουν περίπου 63 εκατομμύρια \$/μίλι (36,2 εκατομμύρια €/χλμ.) για την κατασκευή, αν και το κόστος κατασκευής είναι φθηνότερο στη Κίνα σε αντίθεση με της ΗΠΑ (Barret, 2022).

Η σήραγγα Παναγοπούλας βρίσκεται σε φάση κατασκευής, η οποία εντάσσεται στο έργο υποδομής της διπλής σιδηροδρομικής γραμμής στο τμήμα Ροδοδάφνη – Ψαθόπυργος, στην Αχαΐα και κατατάσσεται στις 5 μεγαλύτερες σιδηροδρομικές σήραγγες της χώρας, καθώς το μήκος της ανέρχεται σε 4,8 χλμ. Στόχος του συγκεκριμένου έργου είναι η μείωση του χρόνου διαδρομής της γραμμής Αθήνα – Πάτρα σε 2 ώρες καθώς και η διασφάλιση της διαλειτουργικότητας με το ευρωπαϊκό σιδηροδρομικό δίκτυο. Η δαπάνη του εν λόγω κατασκευαστικού έργου υπολογίζεται στα € 293,1 εκατομμύρια και αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2022 (Μπαλής, 2021).

Σύμφωνα με τους van Goeverden, Milakis, Janic & Konings (2018), το κόστος για την κατασκευή των σηράγγων στο σύστημα Hyperloop υπολογίζεται στα 34 εκατομμύρια €/χλμ.

Η βασική σήραγγα Gotthard αποτελείται από δύο σήραγγες μονής τροχιάς που κοστίζουν 200εκατομμύρια €/χλμ. (Wikipedia, 2022).

Η σιδηροδρομική γραμμή Chuo Shinkansen στην Ιαπωνία μεταξύ Τόκιο και Ναγκόγια όπου το 60% των γραμμών διέρχεται από σήραγγες που κοστίζουν 160 εκατομμύρια €/χλμ. Η σήραγγα της Μάγχης μεταξύ Γαλλίας και Βρετανίας μήκους 50,5 χλμ. κοστίζει 190 εκατομμύρια €/χλμ. (2015) (van Goeverden, Milakis, Janic & Konings, 2018).

Το κόστος του κάθε σταθμού υπολογίζεται στα \$125 εκατομμύρια (€ 115.000.000) ενώ όλοι οι σταθμοί και οι αγωγοί θα στοιχίσουν συνολικά μεταξύ \$4-\$5.31 δισεκατομμύρια (€ 3.680.000.000-4.885.200.000) (Techgear Team, 2013; “Hyperloop project”, 2016 ; “Hyperloop: Αυτό είναι”, 2021).

Η διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη θα περιλαμβάνει συνολικά δύο σταθμούς, ένα σε κάθε πόλη, καθώς θα πραγματοποιεί απευθείας μετακίνηση και δεν χρειάζεται κάποιον ενδιάμεσο σταθμό.

Επομένως, έχουμε € 115 εκατομμύρια * 2 σταθμούς = € 230 εκατομμύρια συνολικά και για τους δύο σταθμούς.

Υποθέτουμε ότι η γραμμή Hyperloop θα κατασκευαστεί παράλληλα στον άξονα της σιδηροδρομικής γραμμής Αθηνών – Θεσσαλονίκης, οπότε αφού υπάρχει η σήραγγα Τεμπών 5χλμ. (Καραγιάννης, 2019) θα χρειαστεί να κατασκευάσουμε και μια για το σύστημα Hyperloop αντίστοιχη των 5χλμ.

Για την σιδηροδρομική γραμμή Αθήνας – Πάτρας 4,8χλμ.με κόστος 293,1 εκατομμύρια €/χλμ. προκύπτει 61 εκατομμύρια €/χλμ. κόστος κατασκευής.

Σύμφωνα με το “Hyperloop in Abu Dhabi” (2019) και τον Barret (2022), αν πάρουμε ένα μέσο κόστος κατασκευής 36 εκατομμύρια €/χλμ. για την γραμμή Αθήνας – Θεσσαλονίκης 509,93χλμ. προκύπτει € 1,8 δισεκατομμύρια.

Οπότε έχουμε € 1,8 δισεκατομμύρια + 5χλμ. * 61 εκατομμύρια €/χλμ. = € 18.662.480.000.

4.2.2. Κόστος οχήματος

Η κάθε κάψουλα θα έχει χωρητικότητα 28 επιβάτες και το κόστος της θα ανέρχεται στο \$1.3 εκατομμύρια (€ 1.196.000), ενώ θα υπάρχουν και άλλες μεγαλύτερες που θα χωρούν και οχήματα κόστους \$1.5 εκατομμύρια (€ 1.380.000) (Techgear Team, 2013).

Σύμφωνα με την έκθεση “Hyperloop Alpha” το συνολικό κόστος της κάψουλας επιβατών φαίνεται στη παρακάτω Εικόνα 45.

Component	Cost (million USD)
Capsule	54 (40 capsules)
Capsule Structure & Doors	9.8
Interior & Seats	10.2
Compressor & Plumbing	11
Batteries & Electronics	6
Propulsion	5
Suspension & Air Bearings	8
Components Assembly	4
Tube	5,410
Tube Construction	650
Pylon Construction	2,550
Tunnel Construction	600
Propulsion	140
Solar Panels & Batteries	210
Station & Vacuum Pumps	260
Permits & Land	1,000
Cost Margin	536
Total	6,000

Εικόνα 45: Συνολικό κόστος του συστήματος μεταφοράς επιβατών Hyperloop (Πηγή: Tesla, 2013)

Σύμφωνα με τους Mohit&Pravin (2019), το συνολικό κόστος της κάψουλας επιβατών φαίνεται στη παρακάτω Εικόνα 46.

Segment	Cost (million USD)
Container (40 cases)	54
Container Structure and Entryways	9.8
Inside and Seats	10.2
Blower and Pipes	11
Batteries and Gadgets	6
Impetus	5
Suspension and Air Orientation	8
Segments Get together	4
Cylinder	5,410
Cylinder Development	650
Arch Development	2,550
Passage Development	600
Drive	140
Sun powered Boards and Batteries	210
Station and Vacuum Siphons	260
Licenses and Land	1,000
Cost Edge	536
All out	6,000

Εικόνα 46: Συνολικό κόστος του συστήματος μεταφοράς επιβατών Hyperloop (Πηγή: Mohit&Pravin, 2019)

Σύμφωνα με τους van Goeverden, Milakis, Janic & Konings (2018), το κόστος για την αγορά οχήματος (κάψουλα) χωρίς τουαλέτες εκτιμάται περίπου στα € 1,42 εκατομμύρια, αντίθετα για τις κάψουλες με τουαλέτες το κόστος εκτιμάται στα € 1,52 εκατομμύρια. Συγκρίνοντας το Hyperloop με το Maglev, έχοντας θέσεις επιβατών στο ένα σύστημα και 90 θέσεις επιβατών στο άλλο το κόστος του Maglev εκτιμάται στα € 12,5-15 εκατομμύρια.

Σύμφωνα με την Εικόνα 45 και Εικόνα 46 οι 40 κάψουλες κοστίζουν \$ 54.000.000 (€ 49.680.000), άρα η μία κάψουλα κοστίζει \$ 1.350.000 (€ 1.242.000).

Για 101 δρομολόγια ημερησίως, με 33 λεπτά χρόνο ταξιδιού, με 20 λεπτά αναμονή σε κάθε σταθμό και χιλιομετρική απόσταση 509,93 χλμ., οπότε έχουμε $33 \text{ λεπτά} * 2 \text{ διαδρομές} + 20 \text{ λεπτά} * 2 \text{ σταθμούς} = 106 \text{ λεπτά}$.

Για τις ώρες αιχμής χρειαζόμαστε $106/5=21,2 \sim 22$ κάψουλες.

Οπότε $22 * 12\% = 26,4$ (στρογγυλοποιούμε στο 30) στο αμαξοστάσιο, άρα χρειαζόμαστε 30 κάψουλες.

Άρα το συνολικό κόστος των οχημάτων είναι $30 \text{ κάψουλες} * 1.242.000 \text{ €/κάψουλα} = € 37.260.000$.

4.2.3. Κόστος εισιτηρίου

Σύμφωνα με τον Elon Musk (Tesla, 2013), ένα ταξίδι θα κοστίζει \$20 (€ 18,4).

Μια μελέτη σχετικά με την προτεινόμενη διαδρομή Πίτσμπουργκ και Σικάγο το κόστος εισιτηρίου αναφέρεται στα \$60 (€ 55,2) για διάρκεια χρόνου ταξιδιού 56 λεπτών (Yavuz&Ozturk, 2021 ; Morpc, 2020).

Η έκθεση "Hyperloop Alpha" προτείνει κόμιστρο \$20 (€ 18,4) για τη διαδρομή Σαν Φρανσίσκο – Λος Άντζελες για διάρκεια χρόνου ταξιδιού 35 λεπτών χωρίς ενδιάμεσες στάσεις.

Καθώς η τιμή του εισιτηρίου για τη διαδρομή Σαν Φρανσίσκο – Λος Άντζελες απόστασης 600χλμ. έχει αναλογιστεί στα \$20 (€ 18,4) που είναι λιγότερο από το ένα τρίτο της τιμής του εισιτηρίου του ρωσικού «Sapsan» στην ίδια απόσταση επομένως η τιμή του εισιτηρίου στη Ρωσία θα είναι 700 ρούβλια (€ 7,7) (Kim, 2018).

Από μελέτη της HT το κόστος εισιτηρίου της διαδρομής Άμπου Ντάμπι και Ντουμπάι θα κοστίσει \$10-15 (€ 9,2-13,8) για διάρκεια χρόνου ταξιδιού 12 λεπτών (Taylor, Hyde&Barr, 2016; Virgin hyperloop, 2018 ; Naftemporiki, 2021).

Αντίθετα, το κόστος εισιτηρίου της Σαγκάης Maglev θα κοστίσει 50 yuan το οποίο ισούται με \$8 (€ 7,36) για ημερήσιο εισιτήριο απλής διαδρομής (Yavuz&Ozturk, 2021). Με βάση αυτές τις πληροφορίες αναμένουμε το κόστος εισιτηρίου του Hyperloop να είναι μεγαλύτερο από το Maglev.

Το κόστος εισιτηρίου με αεροπλάνου εξαρτάται από τη χρονική περίοδο που θα το αγοράσεις. Μια μέση τιμή εισιτηρίου για την διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη για απευθείας πτήση είναι € 80 με τ' επιστροφής (Skyscanner, 2022).

Μία μέση τιμή εισιτηρίου με τρένο για την διαδρομή Αθήνα – Θεσσαλονίκη για απευθείας μετακίνηση είναι € 72 με τ' επιστροφής (Virail, 2022).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα κόστη εισιτηρίου με τρένο και αεροπλάνο είναι € 72 και € 80 αντίστοιχα, έτσι υποθέτουμε για την Ελλάδα ένα μέσο κόστος εισιτηρίου για το Hyperloop € 42,5. Άρα, € 42,5 * 2 = 85 €/επιβάτη με τ' επιστροφής για απευθείας μετακίνηση.

Πίνακας 23: Σύγκριση τιμών εισιτηρίου

Διαδρομή	Χρόνος	Κόστος	Χιλιόμετρα
Πίτσμπουργκ - Σικάγο	56 λεπτά	55,2 €	740,30
Σαν Φρανσίσκο – Λος Άντζελες	35 λεπτά	18,4 €	616,38
Άμπου Ντάμπι - Ντουμπάι	12 λεπτά	9,2-13,8 €	170
Αθήνα - Θεσσαλονίκη	33 λεπτά	85 €	509,93

Hyperloop

Για το σύστημα Hyperloop με βάση το κόστος εισιτηρίου με τ' επιστροφής για τη διαδρομή Αθήνα-Θεσσαλονίκη προκύπτουν τα αντίστοιχα έσοδα για κάθε χρονιά, όπως απεικονίζονται στον παρακάτω Πίνακα 24.

Πίνακας 24: Έσοδα των εισιτηρίων με τ' επιστροφής για το Hyperloop

Χρόνια	Έσοδα εισιτηρίων (€)	Χρόνια	Έσοδα εισιτηρίων (€)
1	4.769.226	26	103.722.549
2	9.562.299	27	106.437.335
3	14.379.337	28	109.165.694
4	19.220.460	29	111.907.696
5	24.085.788	30	114.663.407

Χρόνια	Έσοδα εισιτηρίων (€)	Χρόνια	Έσοδα εισιτηρίων (€)
6	27.753.030	31	117.432.897
7	31.438.607	32	120.216.234
8	35.142.613	33	123.013.488
9	38.865.138	34	125.824.729
10	42.606.277	35	128.650.025
11	46.366.121	36	131.489.448
12	50.144.764	37	134.343.069
13	53.942.300	38	137.210.957
14	57.758.824	39	140.093.184
15	61.594.431	40	142.989.823
16	65.449.215	41	145.027.609
17	69.323.274	42	147.075.583
18	73.216.703	43	149.133.797
19	77.129.599	44	151.202.302
20	81.062.059	45	153.281.150
21	85.014.182	46	155.370.392
22	88.986.066	47	157.470.081
23	92.977.808	48	159.580.267
24	96.989.510	49	161.701.005
25	101.021.270	50	163.832.346

Αεροπλάνο

Για το αεροπλάνο με βάση το κόστος εισιτηρίου με τ' επιστροφής για απευθείας μετάβαση για τη διαδρομή Αθήνα-Θεσσαλονίκη προκύπτουν τα αντίστοιχα έσοδα για κάθε χρονιά, όπως απεικονίζονται στον παρακάτω Πίνακας 25.

Πίνακας 25: Έσοδα των εισιτηρίων με τ' επιστροφής για το αεροπλάνο

Χρόνια	Έσοδα εισιτηρίων (€)	Χρόνια	Έσοδα εισιτηρίων (€)
1	158.189.838	26	132.928.518
2	156.736.446	27	132.559.667
3	155.275.786	28	132.188.973
4	153.807.823	29	131.816.424
5	152.332.521	30	131.442.013
6	151.425.095	31	131.065.730
7	150.513.132	32	130.687.566
8	149.596.610	33	130.307.510
9	148.675.504	34	129.925.555
10	147.749.794	35	129.541.690
11	146.819.454	36	129.155.905
12	145.884.463	37	128.768.191
13	144.944.797	38	128.378.539

Χρόνια	Έσοδα εισιτηρίων (€)	Χρόνια	Έσοδα εισιτηρίων (€)
14	144.000.433	39	127.986.939
15	143.051.347	40	127.593.380
16	142.097.516	41	127.608.836
17	141.138.915	42	127.624.369
18	140.175.521	43	127.639.980
19	139.207.311	44	127.655.668
20	138.234.259	45	127.671.435
21	137.256.342	46	127.687.281
22	136.273.536	47	127.703.207
23	135.285.815	48	127.719.211
24	134.293.156	49	127.735.296
25	133.295.533	50	127.751.462

Τρένο

Για το τρένο με βάση το κόστος εισιτηρίου με τ' επιστροφής για τη διαδρομή Αθήνα-Θεσσαλονίκη προκύπτουν τα αντίστοιχα έσοδα για κάθε χρονιά, όπως απεικονίζονται στον παρακάτω Πίνακας 26.

Πίνακας 26: Έσοδα των εισιτηρίων με τ' επιστροφής για το τρένο

Χρόνια	Έσοδα εισιτηρίων (€)	Χρόνια	Έσοδα εισιτηρίων (€)
1	55.580.092	26	21.319.475
2	53.838.085	27	20.495.928
3	52.087.368	28	19.668.264
4	50.327.897	29	18.836.462
5	48.559.629	30	18.000.500
6	47.300.248	31	17.160.359
7	46.034.570	32	16.316.017
8	44.762.563	33	15.467.453
9	43.484.196	34	14.614.647
10	42.199.438	35	13.757.576
11	40.908.256	36	12.896.220
12	39.610.618	37	12.030.557
13	38.306.491	38	11.160.566
14	36.995.844	39	10.286.225
15	35.678.644	40	9.407.513
16	34.354.858	41	8.894.290
17	33.024.453	42	8.378.502
18	31.687.396	43	7.860.134
19	30.343.653	44	7.339.175
20	28.993.192	45	6.815.610
21	27.635.979	46	6.289.428

Χρόνια	Έσοδα εισιτηρίων (€)	Χρόνια	Έσοδα εισιτηρίων (€)
22	26.271.979	47	5.760.615
23	24.901.160	48	5.229.158
24	23.523.486	49	4.695.044
25	22.138.924	50	4.158.259

4.2.4. Κόστος συντήρησης

Περιλαμβάνει το κόστος συντήρησης της υποδομής, του τούνελ, των σταθμών και των οχημάτων για τη σωστή και αποτελεσματική λειτουργία της γραμμής.

Hyperloop

Σύμφωνα με τους van Goeverden, Milakis, Janic, & Konings, (2018), το κόστος συντήρηση του Hyperloop είναι 10% επί του κόστους επένδυσης κάθε στοιχείου, δηλαδή υποδομή, τούνελ, σταθμός και κάψουλες.

Αρχικά, υπολογίζουμε τις ετήσιες δαπάνες με τον τύπο, van Goeverden, Milakis, Janic, & Konings, (2018):

$$C_{b(e)} = \frac{C_{B(e)} - R_e}{L_{t(e)}} + \frac{C_{B(e)} + R_e}{2} * I_t,$$

όπου

$C_{b(e)}$: το ετήσιο κεφαλαιουχικό κόστος του στοιχείου κόστους e (€/πίστα, σταθμός ή όχημα)

$C_{B(e)}$: το παρεπόμενο κόστος κεφαλαίου του στοιχείου κόστους e (€)

R_e : η υπολειμματική αξία του στοιχείου κόστους e (€)

$L_{t(e)}$: η διάρκεια ζωής του στοιχείου υποδομής e (έτη)

I_t : επιτόκιο (% / έτος)

Ο Πίνακας 27 απεικονίζει μια επισκόπηση της παρεπόμενης επένδυσης και το ετήσιο κόστος για το σύστημα Hyperloop. Σε όλες τις περιπτώσεις υποθέτουμε ότι δεν έχουμε υπολειμματική αξία ($R_e = 0$) για όλα τα στοιχεία κόστους. Το επιτόκιο είναι ($I_t = 3,9\%$ /έτος) για την Ελλάδα. Η διάρκεια ζωής των στοιχείων καθορίζεται από τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις σιδηροδρομικές και οδικές μεταφορές υποδομών και τροχαίου υλικού (van Goeverden, Milakis, Janic, & Konings, 2018 ; “Τραπεζικά επιτόκια”, 2022 ; European Commission, 2005).

Πίνακας 27: Επενδυτικό και ετήσιο κόστος κεφαλαίου για το Hyperloop υποδομές και οχήματα

Επενδυτικό και ετήσιο κόστος κεφαλαίου για το Hyperloop υποδομές και οχήματα			
Στοιχείο κόστους	Κόστος επένδυσης	Ετήσιο κόστος	Διάρκεια ζωής
	€/km	€/km	έτη
Υποδομή	36.000.000	1.422.000,00	50
Τούνελ	61.000.000	2.409.500,00	50
Σταθμός	115.000.000	4.542.500,00	50
Κάψουλα	1.242.000	73.899,00	25

Εφόσον υπολογίσαμε τα ετήσια κόστη για κάθε στοιχείο, στη συνέχεια υπολογίζουμε το κόστος συντήρησης κάθε στοιχείου στο παρακάτω Πίνακας 28. Το κόστος συντήρησης είναι το γινόμενο του ετήσιου κόστους που υπολογίστηκε στο παραπάνω Πίνακας 27 επί το 10%.

Πίνακας 28: Εκτιμώμενο ετήσιο κόστος του Hyperloop

Συντήρηση 10%

Εκτιμώμενο ετήσιο κόστος του Hyperloop				
Στοιχείο κόστους	Μονάδες	Κόστος επένδυσης	Κόστος συντήρησης	Συνολικό κόστος
Υποδομή	km	1.422.000,00	142.200	1.564.200,00
Τούνελ	km	2.409.500,00	240.950	2.650.450,00
Σταθμός	Σταθμός	4.542.500,00	454.250	4.996.750,00
Κάψουλα	Οχήματα	73.899,00	7.390	81.288,90

Έπειτα, πολλαπλασιάζουμε το ετήσιο κόστος συντήρησης για την υποδομή με την χιλιομετρική απόσταση Αθήνας-Θεσσαλονίκης για το σύστημα Hyperloop για να βρούμε το κόστος συντήρησης για την υποδομή όλης της γραμμής για κάθε χρονιά μελέτης, όπως απεικονίζεται στον παρακάτω Πίνακας 29.

Πίνακας 29: Κόστος συντήρησης υποδομής Hyperloop

Χρόνια	Κόστος συντήρησης-υποδομή (€)	Χρόνια	Κόστος συντήρησης-υποδομή (€)
1	73.659.600	26	73.659.600
2	73.659.600	27	73.659.600
3	73.659.600	28	73.659.600
4	73.659.600	29	73.659.600
5	73.659.600	30	73.659.600
6	73.659.600	31	73.659.600
7	73.659.600	32	73.659.600
8	73.659.600	33	73.659.600
9	73.659.600	34	73.659.600
10	73.659.600	35	73.659.600
11	73.659.600	36	73.659.600
12	73.659.600	37	73.659.600
13	73.659.600	38	73.659.600
14	73.659.600	39	73.659.600
15	73.659.600	40	73.659.600
16	73.659.600	41	73.659.600
17	73.659.600	42	73.659.600
18	73.659.600	43	73.659.600
19	73.659.600	44	73.659.600
20	73.659.600	45	73.659.600
21	73.659.600	46	73.659.600
22	73.659.600	47	73.659.600
23	73.659.600	48	73.659.600

24	73.659.600	49	73.659.600
25	73.659.600	50	73.659.600

Για να βρούμε το κόστος συντήρησης για το τούνελ όλης της γραμμής, πολλαπλασιάζουμε το ετήσιο κόστος συντήρησης για το τούνελ επί την χιλιομετρική απόσταση του τούνελ για κάθε χρονιά μελέτης, όπως απεικονίζεται στο παρακάτω Πίνακας 30.

Πίνακας 30: Κόστος συντήρησης τούνελ Hyperloop

Χρόνια	Κόστος συντήρησης-τούνελ (€)	Χρόνια	Κόστος συντήρησης-τούνελ (€)
1	1.204.750	26	1.204.750
2	1.204.750	27	1.204.750
3	1.204.750	28	1.204.750
4	1.204.750	29	1.204.750
5	1.204.750	30	1.204.750
6	1.204.750	31	1.204.750
7	1.204.750	32	1.204.750
8	1.204.750	33	1.204.750
9	1.204.750	34	1.204.750
10	1.204.750	35	1.204.750
11	1.204.750	36	1.204.750
12	1.204.750	37	1.204.750
13	1.204.750	38	1.204.750
14	1.204.750	39	1.204.750
15	1.204.750	40	1.204.750
16	1.204.750	41	1.204.750
17	1.204.750	42	1.204.750
18	1.204.750	43	1.204.750
19	1.204.750	44	1.204.750
20	1.204.750	45	1.204.750
21	1.204.750	46	1.204.750
22	1.204.750	47	1.204.750
23	1.204.750	48	1.204.750
24	1.204.750	49	1.204.750
25	1.204.750	50	1.204.750

Για το κόστος συντήρησης των σταθμών, πολλαπλασιάζουμε το ετήσιο κόστος συντήρησης του σταθμού επί δύο για κάθε χρόνο μελέτης όπως φαίνεται στο παρακάτω Πίνακας 31. Επειδή, όπως έχουμε αναφέρει και νωρίτερα για το σύστημα Hyperloop για τη διαδρομή Αθήνα-Θεσσαλονίκη θα χρειαστούμε δύο σταθμούς μόνο, διότι η μετακίνηση θα γίνεται απευθείας χωρίς ενδιάμεσες στάσεις.

Πίνακας 31: Κόστος συντήρησης σταθμών Hyperloop

Χρόνια	Κόστος συντήρησης-σταθμών (€)	Χρόνια	Κόστος συντήρησης-σταθμών (€)
1	908.500	26	908.500
2	908.500	27	908.500
3	908.500	28	908.500
4	908.500	29	908.500
5	908.500	30	908.500
6	908.500	31	908.500
7	908.500	32	908.500
8	908.500	33	908.500
9	908.500	34	908.500
10	908.500	35	908.500
11	908.500	36	908.500
12	908.500	37	908.500
13	908.500	38	908.500
14	908.500	39	908.500
15	908.500	40	908.500
16	908.500	41	908.500
17	908.500	42	908.500
18	908.500	43	908.500
19	908.500	44	908.500
20	908.500	45	908.500
21	908.500	46	908.500
22	908.500	47	908.500
23	908.500	48	908.500
24	908.500	49	908.500
25	908.500	50	908.500

Για το κόστος συντήρησης των καψουλών, πολλαπλασιάζουμε το ετήσιο κόστος συντήρησης της κάψουλας επί την ζήτηση του Hyperloop αντίστοιχα κάθε χρονιάς για όλα τα χρόνια μελέτης, όπως φαίνεται στο παρακάτω Πίνακας 32. Η διάρκεια ζωής των καψουλών είναι 25 χρόνια, οπότε το 26 έτος αγορά νέων καψουλών όπου στοιχίζουν € 37.260.000.

Πίνακας 32: Κόστος συντήρησης καψουλών Hyperloop

Χρόνια	Κόστος συντήρησης-καψουλών (€)	Χρόνια	Κόστος συντήρησης-καψουλών (€)
1	59.119	26	
2	125.628	27	1.189.774
3	184.748	28	1.226.723
4	251.257	29	1.256.283
5	310.376	30	1.285.843
6	362.105	31	1.315.402
7	406.445	32	1.344.962

Χρόνια	Κόστος συντήρησης-καψουλών (€)	Χρόνια	Κόστος συντήρησης-καψουλών (€)
8	458.174	33	1.381.911
9	502.513	34	1.411.471
10	554.243	35	1.441.031
11	598.582	36	1.477.980
12	650.311	37	1.507.540
13	694.651	38	1.537.099
14	746.380	39	1.574.049
15	798.109	40	1.603.608
16	849.839	41	1.625.778
17	894.178	42	1.647.948
18	945.907	43	1.670.117
19	997.637	44	1.692.287
20	1.049.366	45	1.721.847
21	1.101.095	46	1.744.016
22	1.152.824	47	1.766.186
23	1.204.554	48	1.788.356
24	1.256.283	49	1.810.526
25	1.308.012	50	1.840.085

Αεροπλάνο

Με όμοιο τρόπο υπολογίσαμε το κόστος συντήρησης του αεροπλάνου, πιο συγκεκριμένα πήραμε το τύπο για τις ετήσιες δαπάνες, σύμφωνα με τους van Goeverden, Milakis, Janic, & Konings, (2018). Ο Πίνακας 33 απεικονίζει μία επισκόπηση της παρεπόμενης επένδυσης και το ετήσιο κόστος για το αεροπλάνο.

Πίνακας 33: Επενδυτικό ετήσιο κόστος κεφαλαίου για το αεροπλάνο υποδομές και οχήματα

Επενδυτικό και ετήσιο κόστος κεφαλαίου για το Αεροπλάνο υποδομές και οχήματα			
Στοιχείο κόστους	Κόστος επένδυσης €/km	Ετήσιο κόστος €/km	Διάρκεια ζωής έτη
Σταθμός	1.700.000.000	67.150.000,00	50
Αεροσκάφος	101.000.000	8.702.833,33	15

Εφόσον υπολογίσαμε τα ετήσια κόστη για κάθε στοιχείο, στη συνέχεια υπολογίζουμε το κόστος συντήρησης κάθε στοιχείου στο παρακάτω Πίνακας 34.

Σύμφωνα με τον Γαβριλάκη (χ.χ.) το κόστος συντήρησης σε παγκόσμια κλίμακα κυμαίνεται κατά μέσον όρο στο 20% του συνολικού κόστους λειτουργίας μιας αεροπορικής εταιρείας. Για τη δικιά μας μελέτη θεωρούμε κόστος συντήρησης 10% διότι, η Ελλάδα είναι μια αρκετή μικρή χώρα, επομένως θα πραγματοποιεί λιγότερες πτήσεις.

Πίνακας 34: Εκτιμώμενο ετήσιο κόστος αεροπλάνου

Συντήρηση 10% του συνολικού κόστους λειτουργίας

Εκτιμώμενο ετήσιο κόστος του Αεροπλάνου				
Στοιχείο κόστους	Μονάδες	Ετήσιο κόστος	Κόστος συντήρησης	Συνολικό κόστος
Σταθμός	Σταθμός	67.150.000,00	6.715.000	73.865.000
Αεροσκάφος	Όχημα	8.702.833,33	870.283	9.573.117

Σύμφωνα με τον Τερεζάκη (2010), το κόστος επένδυσης του σταθμού για το αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος κόστισε € 1.700.000.000.

Στη συνέχεια, πολλαπλασιάζουμε το ετήσιο κόστος συντήρησης του σταθμού επί δύο, διότι έχουμε δύο τερματικούς σταθμούς για κάθε χρόνο μελέτης, όπως φαίνεται στο παρακάτω Πίνακας 35. Λόγω της επέκτασης και αναβάθμισης που αεροδρομίου Μακεδονίας, θεωρούμε πως το αεροδρόμιο Αθηνών με το αεροδρόμιο Μακεδονίας θα έχουν το ίδιο ετήσιο κόστος συντήρησης.

Πίνακας 35: Κόστος συντήρησης σταθμών αεροδρομίου

Χρόνια	Κόστος συντήρησης-σταθμών (€)	Χρόνια	Κόστος συντήρησης-σταθμών (€)
1	147.730.000	26	147.730.000
2	147.730.000	27	147.730.000
3	147.730.000	28	147.730.000
4	147.730.000	29	147.730.000
5	147.730.000	30	147.730.000
6	147.730.000	31	147.730.000
7	147.730.000	32	147.730.000
8	147.730.000	33	147.730.000
9	147.730.000	34	147.730.000
10	147.730.000	35	147.730.000
11	147.730.000	36	147.730.000
12	147.730.000	37	147.730.000
13	147.730.000	38	147.730.000
14	147.730.000	39	147.730.000
15	147.730.000	40	147.730.000
16	147.730.000	41	147.730.000
17	147.730.000	42	147.730.000
18	147.730.000	43	147.730.000
19	147.730.000	44	147.730.000
20	147.730.000	45	147.730.000
21	147.730.000	46	147.730.000
22	147.730.000	47	147.730.000
23	147.730.000	48	147.730.000
24	147.730.000	49	147.730.000
25	147.730.000	50	147.730.000

Για το κόστος συντήρησης των αεροσκαφών, πολλαπλασιάζουμε το ετήσιο κόστος συντήρησης ενός αεροσκάφους επί την ζήτηση του αεροπλάνου αντίστοιχα κάθε χρονιάς για όλα τα χρόνια μελέτης, όπως φαίνεται στο παρακάτω Πίνακας 36.

Πίνακας 36: Κόστος συντήρησης αεροσκαφών

Χρόνια	Κόστος συντήρησης-αεροσκαφών (€)	Χρόνια	Κόστος συντήρησης-αεροσκαφών (€)
1	449.936.483	26	449.936.483
2	449.936.483	27	449.936.483
3	449.936.483	28	449.936.483
4	449.936.483	29	449.936.483
5	449.936.483	30	449.936.483
6	449.936.483	31	
7	449.936.483	32	449.936.483
8	449.936.483	33	449.936.483
9	449.936.483	34	449.936.483
10	449.936.483	35	449.936.483
11	449.936.483	36	449.936.483
12	449.936.483	37	449.936.483
13	449.936.483	38	449.936.483
14	449.936.483	39	449.936.483
15		40	449.936.483
16	449.936.483	41	449.936.483
17	449.936.483	42	449.936.483
18	449.936.483	43	449.936.483
19	449.936.483	44	449.936.483
20	449.936.483	45	449.936.483
21	449.936.483	46	
22	449.936.483	47	449.936.483
23	449.936.483	48	449.936.483
24	449.936.483	49	449.936.483
25	449.936.483	50	449.936.483

Η διάρκεια ζωής ενός αεροσκάφους είναι 10-15 χρόνια, εμείς για την εργασία μας θεωρούμε χρόνο ζωής αεροσκαφών ίσο με 15 χρόνια και αγορά 8 νέων αεροσκαφών ανά 15 χρόνια όπου στοιχίζουν € 808.000.000 (“Δοκιμή αντοχή”, χ.χ.).

Τρένο

Παρόμοιος, υπολογίσαμε το κόστος συντήρησης του τρένου, πιο συγκεκριμένα πήραμε το τύπο για τις ετήσιες δαπάνες, σύμφωνα με τους van Goeverden, Milakis, Janic, & Konings, (2018). Ο Πίνακας 37 απεικονίζει μία επισκόπηση της παρεπόμενης επένδυσης και το ετήσιο κόστος για το τρένο.

Πίνακας 37: Επενδυτικό και ετήσιο κόστος κεφαλαίου για το τρένο υποδομές και οχήματα

Επενδυτικό και ετήσιο κόστος κεφαλαίου για το Τρένου υποδομές και οχήματα			
Στοιχείο κόστους	Κόστος επένδυσης	Ετήσιο κόστος	Διάρκεια ζωής
	€/km	€/km	έτη
Υποδομή	12.500.000	493.750,00	50
Τούνελ	61.000.000	2.409.500,00	50
Σταθμός	115.000.000	4.542.500,00	50
Τρένο	10.400.000	618.800,00	25

Εφόσον υπολογίσαμε τα ετήσια κόστη για κάθε στοιχείο, στη συνέχεια υπολογίζουμε το κόστος συντήρησης κάθε στοιχείου στο παρακάτω Πίνακας 38. Το κόστος συντήρησης είναι το γινόμενο του ετήσιου κόστους που υπολογίστηκε στο παραπάνω Πίνακας 37 επί το 10%.

Πίνακας 38: Εκτιμώμενο ετήσιο κόστος τρένου

Συντήρηση 10%

Εκτιμώμενο ετήσιο κόστος του Τρένου				
Στοιχείο κόστους	Μονάδες	Κόστος επένδυσης	Κόστος συντήρησης	Συνολικό κόστος
Υποδομή	km	493.750,00	49.375	543.125,00
Τούνελ	km	2.409.500,00	240.950	2.650.450,00
Σταθμός	Σταθμός	4.542.500,00	454.250	4.996.750,00
Αμαξοστοιχία	Οχήματα	618.800,00	61.880	680.680,00

Έπειτα πολλαπλασιάζουμε το ετήσιο κόστος συντήρησης για την υποδομή με την χιλιομετρική απόσταση Αθήνας-Θεσσαλονίκης για το τρένο για να βρούμε το κόστος συντήρησης για την υποδομή όλης της γραμμής για κάθε χρονιά μελέτης, όπως απεικονίζεται στον παρακάτω Πίνακας 39.

Πίνακας 39: Κόστος συντήρησης υποδομής τρένου

Χρόνια	Κόστος συντήρησης-υποδομή (€)	Χρόνια	Κόστος συντήρησης-υποδομή (€)
1	25.177.794	26	25.177.794
2	25.177.794	27	25.177.794
3	25.177.794	28	25.177.794
4	25.177.794	29	25.177.794
5	25.177.794	30	25.177.794
6	25.177.794	31	25.177.794
7	25.177.794	32	25.177.794
8	25.177.794	33	25.177.794
9	25.177.794	34	25.177.794
10	25.177.794	35	25.177.794
11	25.177.794	36	25.177.794
12	25.177.794	37	25.177.794
13	25.177.794	38	25.177.794

14	25.177.794	39	25.177.794
15	25.177.794	40	25.177.794
16	25.177.794	41	25.177.794
17	25.177.794	42	25.177.794
18	25.177.794	43	25.177.794
19	25.177.794	44	25.177.794
20	25.177.794	45	25.177.794
21	25.177.794	46	25.177.794
22	25.177.794	47	25.177.794
23	25.177.794	48	25.177.794
24	25.177.794	49	25.177.794
25	25.177.794	50	25.177.794

Για να βρούμε το κόστος συντήρησης για το τούνελ όλης της γραμμής, πολλαπλασιάζουμε το ετήσιο κόστος συντήρησης για το τούνελ επί την χιλιομετρική απόσταση του τούνελ για κάθε χρονιά μελέτης, όπως απεικονίζεται στο Πίνακας 40.

Πίνακας 40: Κόστος συντήρησης τούνελ τρένου

Χρόνια	Κόστος συντήρησης-τούνελ (€)	Χρόνια	Κόστος συντήρησης-τούνελ (€)
1	1.204.750	26	1.204.750
2	1.204.750	27	1.204.750
3	1.204.750	28	1.204.750
4	1.204.750	29	1.204.750
5	1.204.750	30	1.204.750
6	1.204.750	31	1.204.750
7	1.204.750	32	1.204.750
8	1.204.750	33	1.204.750
9	1.204.750	34	1.204.750
10	1.204.750	35	1.204.750
11	1.204.750	36	1.204.750
12	1.204.750	37	1.204.750
13	1.204.750	38	1.204.750
14	1.204.750	39	1.204.750
15	1.204.750	40	1.204.750
16	1.204.750	41	1.204.750
17	1.204.750	42	1.204.750
18	1.204.750	43	1.204.750
19	1.204.750	44	1.204.750
20	1.204.750	45	1.204.750
21	1.204.750	46	1.204.750
22	1.204.750	47	1.204.750
23	1.204.750	48	1.204.750
24	1.204.750	49	1.204.750
25	1.204.750	50	1.204.750

Για το κόστος συντήρησης των σταθμών, πολλαπλασιάζουμε το ετήσιο κόστος συντήρησης του σταθμού επί δύο για κάθε χρόνο μελέτης όπως φαίνεται στο παρακάτω Πίνακας 41. Επειδή, όπως έχουμε αναφέρει και νωρίτερα για τη διαδρομή Αθήνα-Θεσσαλονίκη θα χρειαστούμε δύο σταθμούς μόνο.

Πίνακας 41: Κόστος συντήρησης σταθμών τρένου

Χρόνια	Κόστος συντήρησης-σταθμών (€)	Χρόνια	Κόστος συντήρησης-σταθμών (€)
1	908.500	26	908.500
2	908.500	27	908.500
3	908.500	28	908.500
4	908.500	29	908.500
5	908.500	30	908.500
6	908.500	31	908.500
7	908.500	32	908.500
8	908.500	33	908.500
9	908.500	34	908.500
10	908.500	35	908.500
11	908.500	36	908.500
12	908.500	37	908.500
13	908.500	38	908.500
14	908.500	39	908.500
15	908.500	40	908.500
16	908.500	41	908.500
17	908.500	42	908.500
18	908.500	43	908.500
19	908.500	44	908.500
20	908.500	45	908.500
21	908.500	46	908.500
22	908.500	47	908.500
23	908.500	48	908.500
24	908.500	49	908.500
25	908.500	50	908.500

Για το κόστος συντήρησης των οχημάτων, πολλαπλασιάζουμε το ετήσιο κόστος συντήρησης του οχήματος επί την ζήτηση του τρένου αντίστοιχα κάθε χρονιάς για όλα τα χρόνια μελέτης, όπως φαίνεται στο παρακάτω Πίνακας 42. Η διάρκεια ζωής των αμαξοστοιχιών είναι 25 χρόνια, οπότε το 26 έτος αγορά νέων αμαξοστοιχιών όπου στοιχίζουν € 52.000.000.

Πίνακας 42: Κόστος συντήρησης αμαξοστοιχιών τρένου

Χρόνια	Κόστος συντήρησης-αμαξοστοιχιών (€)	Χρόνια	Κόστος συντήρησης-αμαξοστοιχιών (€)
1	618.800	26	
2	618.800	27	618.800
3	618.800	28	618.800
4	618.800	29	618.800
5	618.800	30	618.800
6	618.800	31	618.800
7	618.800	32	618.800
8	618.800	33	618.800
9	618.800	34	618.800
10	618.800	35	618.800
11	618.800	36	618.800
12	618.800	37	618.800
13	618.800	38	618.800
14	618.800	39	618.800
15	618.800	40	618.800
16	618.800	41	618.800
17	618.800	42	618.800
18	618.800	43	618.800
19	618.800	44	618.800
20	618.800	45	618.800
21	618.800	46	618.800
22	618.800	47	618.800
23	618.800	48	618.800
24	618.800	49	618.800
25	618.800	50	618.800

4.3. Χρόνος

Αποτελεί από τα βασικότερα στοιχεία για επιλογή του μέσου μεταφοράς για κάποιον επιβάτη. Η μείωση του χρόνου μετακίνησης των επιβατών που επιτυγχάνεται με την τεχνολογία Hyperloop, λόγω της αυξημένης ταχύτητας των οχημάτων, είτε αφορά μετακίνηση για επαγγελματικούς λόγους, είτε αφορά μετακίνηση για αναψυχή έχει οικονομική αξία για τον ίδιο τον μετακινούμενο αλλά και γενικότερα για την εθνική οικονομία. Αφού ελαττώνεται ο χρόνος ταξιδιού αυξάνεται ο χρόνος που έχει στη διάθεση του ο μετακινούμενος για τις δραστηριότητες του. Επομένως, αυτή η ωφέλεια που προκύπτει από την υποδομή του Hyperloop πρέπει να αποτιμηθεί σε χρηματικές μονάδες και να ληφθεί υπόψη στη κοινωνικοοικονομική ανάλυση (Μπλέτσα, 2021).

Σύμφωνα με την Wikipedia (2022), για την Ελλάδα ο μέσος μηνιαίος μισθός είναι € 1.116, οπότε ο μέσος ωριαίος μισθός είναι € 6,34. Αυτό προκύπτει από το μηνιαίο μισθό διαιρώντας το με 22 εργάσιμες μέρες του μήνα και αυτό διαιρώντας το με το 8 που είναι η ημερήσιες εργάσιμες ώρες για έναν υπάλληλο.

4.4.1. Hyperloop

Ο μεικτός χρόνος, δηλαδή ο χρόνος που κάνει ο επιβάτης να μετακινηθεί από το κέντρο της Αθήνας (Πλατεία Συντάγματος) μέχρι το κέντρο της Θεσσαλονίκης (Πλατεία Αριστοτέλους) με το Hyperloop είναι 100 λεπτά. Διαιρούμε το μεικτό χρόνο μετακίνησης με το 60 και έτσι υπολογίζουμε το μεικτό χρόνο μετακίνησης με Hyperloop σε ώρες. Επομένως, ένας επιβάτης για μετακινηθεί από το κέντρο της Αθήνας στο κέντρο της Θεσσαλονίκης με Hyperloop χρειάζεται 1,7 ώρες.

Έτσι, το κόστος χρόνου ανά ώρα για το σύστημα μεταφοράς Hyperloop υπολογίζεται ως το γινόμενο του μεικτού χρόνου μετακίνησης σε ώρες επί την ζήτηση του Hyperloop επί το μέσο ωριαίο μισθό για κάθε χρόνο μελέτης όπως φαίνεται στο παρακάτω Πίνακας 43.

Πίνακας 43: Κόστος (€) χρόνου ανά ώρα για μετακίνηση με Hyperloop

Χρόνια	Κόστος χρόνου/ώρα	Χρόνια	Κόστος χρόνου/ώρα
1	592.965	26	12.895.985
2	1.188.895	27	13.233.519
3	1.787.805	28	13.572.740
4	2.389.710	29	13.913.657
5	2.994.623	30	14.256.279
6	3.450.577	31	14.600.614
7	3.908.811	32	14.946.671
8	4.369.336	33	15.294.458
9	4.832.163	34	15.643.984
10	5.297.304	35	15.995.257
11	5.764.772	36	16.348.287
12	6.234.576	37	16.703.082
13	6.706.730	38	17.059.651
14	7.181.244	39	17.418.003
15	7.658.131	40	17.778.146
16	8.137.402	41	18.031.507
17	8.619.070	42	18.286.135
18	9.103.146	43	18.542.036
19	9.589.643	44	18.799.217
20	10.078.572	45	19.057.683
21	10.569.945	46	19.317.442
22	11.063.776	47	19.578.499
23	11.560.075	48	19.840.862
24	12.058.856	49	20.104.537
25	12.560.131	50	20.369.530

4.4.2. Αεροπλάνο

Αντίστοιχα, ο μεικτός χρόνος μετακίνησης για έναν επιβάτη που θα μετακινηθεί με αεροπλάνο από το κέντρο της Αθήνας (Πλατεία Συντάγματος) μέχρι το κέντρο της Θεσσαλονίκης (Πλατεία Αριστοτέλους) είναι 201 λεπτά. Διαιρούμε το μεικτό χρόνο μετακίνησης με το 60 και έτσι υπολογίζουμε το μεικτό χρόνο μετακίνησης με αεροπλάνο σε ώρες. Επομένως, ένας επιβάτης

για μετακινηθεί από το κέντρο της Αθήνας στο κέντρο της Θεσσαλονίκης με αεροπλάνο χρειάζεται 3,4 ώρες.

Έτσι, το κόστος χρόνου ανά ώρα για το αεροπλάνο υπολογίζεται ως το γινόμενο του μεικτού χρόνου μετακίνησης σε ώρες επί την ζήτηση του αεροπλάνου επί το μέσο ωριαίο μισθό για κάθε χρόνο μελέτης όπως φαίνεται στο παρακάτω Πίνακας 44.

Πίνακας 44: Κόστος (€) χρόνου ανά ώρα για μετακίνηση με αεροπλάνο

Χρόνια	Κόστος χρόνου/ώρα	Χρόνια	Κόστος χρόνου/ώρα
1	42.003.447	26	35.295.920
2	41.617.534	27	35.197.981
3	41.229.691	28	35.099.552
4	40.839.910	29	35.000.631
5	40.448.179	30	34.901.215
6	40.207.234	31	34.801.302
7	39.965.085	32	34.700.890
8	39.721.725	33	34.599.976
9	39.477.148	34	34.498.557
10	39.231.348	35	34.396.631
11	38.984.319	36	34.294.195
12	38.736.055	37	34.191.247
13	38.486.550	38	34.087.785
14	38.235.797	39	33.983.805
15	37.983.790	40	33.879.305
16	37.730.524	41	33.883.409
17	37.475.991	42	33.887.533
18	37.220.185	43	33.891.678
19	36.963.100	44	33.895.844
20	36.704.730	45	33.900.030
21	36.445.068	46	33.904.238
22	36.184.108	47	33.908.466
23	35.921.843	48	33.912.716
24	35.658.266	49	33.916.987
25	35.393.372	50	33.921.279

4.4.3. Τρένο

Παρομοίως, ο μεικτός χρόνος μετακίνησης για έναν επιβάτη που θα μετακινηθεί με τρένο από το κέντρο της Αθήνας (Πλατεία Συντάγματος) μέχρι το κέντρο της Θεσσαλονίκης (Πλατεία Αριστοτέλους) είναι 317 λεπτά. Διαιρούμε το μεικτό χρόνο μετακίνησης με το 60 και έτσι υπολογίζουμε το μεικτό χρόνο μετακίνησης με τρένο σε ώρες. Επομένως, ένας επιβάτης για μετακινηθεί από το κέντρο της Αθήνας στο κέντρο της Θεσσαλονίκης με τρένο χρειάζεται 5,3 ώρες.

Έτσι, το κόστος χρόνου ανά ώρα για το τρένο υπολογίζεται ως το γινόμενο του μεικτού χρόνου μετακίνησης σε ώρες επί την ζήτηση του τρένου επί το μέσο ωριαίο μισθό για κάθε χρόνο μελέτης όπως φαίνεται στο παρακάτω Πίνακας 45.

Πίνακας 45: Κόστος (€) χρόνου ανά ώρα για μετακίνηση με τρένο

Χρόνια	Κόστος χρόνου/ώρα	Χρόνια	Κόστος χρόνου/ώρα
1	25.861.059	26	9.919.814
2	25.050.514	27	9.536.624
3	24.235.917	28	9.151.517
4	23.417.247	29	8.764.484
5	22.594.483	30	8.375.517
6	22.008.501	31	7.984.605
7	21.419.589	32	7.591.738
8	20.827.732	33	7.196.906
9	20.232.917	34	6.800.101
10	19.635.127	35	6.401.312
11	19.034.348	36	6.000.528
12	18.430.565	37	5.597.741
13	17.823.764	38	5.192.940
14	17.213.928	39	4.786.114
15	16.601.043	40	4.377.255
16	15.985.094	41	4.138.456
17	15.366.065	42	3.898.463
18	14.743.941	43	3.657.270
19	14.118.706	44	3.414.871
20	13.490.346	45	3.171.260
21	12.858.843	46	2.926.431
22	12.224.183	47	2.680.377
23	11.586.349	48	2.433.094
24	10.945.327	49	2.184.574
25	10.301.099	50	1.934.811

4.4. Ενέργεια

Σύμφωνα με την έκθεση “Hyperloop Alpha” το Hyperloop θα έχει πλήρης ηλιακή ενέργεια. Η έμφαση στην ηλιακή ενέργεια τείνει να επισκιάσει το γεγονός ότι καμία τεχνολογία δεν είναι απολύτως καθαρή επειδή καταναλώνεται ενέργεια στην κατασκευή.

Σύμφωνα με τους Taylor, Hyde&Barr (2016), όπως είδαμε και στη βιβλιογραφία νωρίτερα στο Πίνακας 8το σύστημα Hyperloop για σύντομη διαδρομή η κατανάλωση ενέργειας είναι 5-6 φορές αποδοτικότερο σε σύγκριση με το αεροπλάνο, ενώ σ’ άλλες διαδρομές η κατανάλωση ενέργειας του Hyperloop είναι 2-3 φορές αποδοτικότερο σε σύγκριση με το τρένο. Το HSR καταναλώνει 975 BTU/pm, ενώ το αεροπλάνο καταναλώνει 3.230 BTU/pm.

Σύμφωνα με τη Bureau of Transportation Statistics (n.d.), για το έτος 2020 η κατανάλωση ενέργειας του αεροπλάνου ήταν 4.423BTU/pm, αντίθετα την ίδια χρονιά η κατανάλωση ενέργειας για το τρένο ήταν 2.862 BTU/pm.

Με βάση τα παραπάνω χρησιμοποιούμε τις τιμές για την κατανάλωση ενέργειας του αεροπλάνου και του τρένου ως μέγιστη και ελάχιστη. Για την έρευση της μέγιστης και ελάχιστης τιμής του Hyperloop υιοθετούμε ως μέγιστη τιμή 5 φορές τον μέσο όρο ενέργειας

του αεροπλάνου, δηλαδή $3.826,5 * 5 = 19.132,5$ BTU/pm και ως ελάχιστη το 1/3 του μέσου όρου ενέργειας του τρένου, δηλαδή $(1/3) * 1.918,5 = 639,5$ BTU/pm.

Πίνακας 46: Κόστος ενέργειας (€)/διαδρομή

	Hyperloop	Air	Rail
Ενέργεια (BTU/pm)	19.132,5-639,5	3.230 - 4.423	975 - 2.862
Μέσος όρος ενέργειας (BTU/pm)	9.886,00	3.826,50	1.918,50
Ενέργεια (BTU/pmt)	19.132,5	2.391,6	1.199,1
Ενέργεια (BTU/pkt)	11.883,5	1.485,4	744,8
Ενέργεια (BTU)/διαδρομή	277.497.780	126.087.958	225.620.600
Ενέργεια (kWh) / διαδρομή	81.327	934	66.123
Κόστος ενέργειας (€) /διαδρομή	6.422	11.581	5.222

4.5. Οικονομικά στοιχεία

Τα παραπάνω οικονομικά στοιχεία που υπολογίσαμε για το σύστημα Hyperloop, το αεροπλάνο και το τρένο έγινε για να αποτιμηθούν σε χρηματικές μονάδες τα έσοδα και τα έξοδα όλων των τρόπων μεταφοράς και να ληφθεί υπόψη στη κοινωνικοοικονομική ανάλυση. Έτσι λοιπόν, υπολογίζουμε ξεχωριστά για κάθε μέσο μεταφοράς την παρούσα αξία για 50 χρόνια μελέτης για κάθε στοιχείο κόστους.

Σύμφωνα με τους Χασιακόξ&Τσινόπουλος (χ.χ.), η παρούσα αξία για ομοιόμορφες δόσεις υπολογίζονται από τον τύπο: $P = A * \frac{(1+i)^N - 1}{i * (1+i)^N}$ όπου,

P: Παρούσα αξία

A: ισοκαταναεμημένη δόση ποσού

i: επιτόκιο

N: χρόνια μελέτης

Ομοιόμορφες δόσεις

Με βάση τον παραπάνω τύπο, για τον υπολογισμό της παρούσας αξίας του κόστους συντήρησης της υποδομής Hyperloop προκύπτει:

$$P = A * \frac{(1+i)^N - 1}{i * (1+i)^N} \Rightarrow P = 73.659.600 * \frac{(1+0,039)^{50} - 1}{0,039 * (1+0,039)^{50}} \Rightarrow P = 1.609.846.955 \text{ €}.$$

Για τον υπολογισμό της παρούσας αξίας του κόστους συντήρησης του τούνελ για το σύστημα Hyperloop προκύπτει:

$$P = A * \frac{(1+i)^N - 1}{i * (1+i)^N} \Rightarrow P = 1.204.750 * \frac{(1+0,039)^{50} - 1}{0,039 * (1+0,039)^{50}} \Rightarrow P = 26.330.079 \text{ €}.$$

Για τον υπολογισμό της παρούσας αξίας του κόστους συντήρησης σταθμών για το σύστημα Hyperloop προκύπτει:

$$P = A * \frac{(1+i)^N - 1}{i * (1+i)^N} \Rightarrow P = 908.500 * \frac{(1+0,039)^{50} - 1}{0,039 * (1+0,039)^{50}} \Rightarrow P = 19.855.470 \text{ €}.$$

Για τον υπολογισμό της παρούσας αξίας του κόστους συντήρησης σταθμών για το αεροπλάνο προκύπτει:

$$P = A * \frac{(1+i)^N - 1}{i * (1+i)^N} \Rightarrow P = 13.430.000 * \frac{(1+0,039)^{50} - 1}{0,039 * (1+0,039)^{50}} \Rightarrow P = 293.515.640 \text{ €}.$$

Για τον υπολογισμό της παρούσας αξίας του κόστους συντήρησης υποδομής για το τρένο προκύπτει:

$$P = A * \frac{(1+i)^N - 1}{i * (1+i)^N} \Rightarrow P = 25.177.794 * \frac{(1+0,039)^{50} - 1}{0,039 * (1+0,039)^{50}} \Rightarrow P = 550.266.287 \text{ €}.$$

Για τον υπολογισμό της παρούσας αξίας του κόστους συντήρησης του τούνελ για το τρένο προκύπτει:

$$P = A * \frac{(1+i)^N - 1}{i * (1+i)^N} \Rightarrow P = 1.204.750 * \frac{(1+0,039)^{50} - 1}{0,039 * (1+0,039)^{50}} \Rightarrow P = 26.330.079 \text{ €}.$$

Για τον υπολογισμό της παρούσας αξίας του κόστους συντήρησης σταθμών για το τρένο προκύπτει:

$$P = A * \frac{(1+i)^N - 1}{i * (1+i)^N} \Rightarrow P = 908.500 * \frac{(1+0,039)^{50} - 1}{0,039 * (1+0,039)^{50}} \Rightarrow P = 19.855.470 \text{ €}.$$

Για τον υπολογισμό του κόστους ενέργειας (€)/διαδρομή για το τρένο προκύπτει:

$$P = A * \frac{(1+i)^N - 1}{i * (1+i)^N} \Rightarrow P = 52.217 * \frac{(1+0,039)^{50} - 1}{0,039 * (1+0,039)^{50}} \Rightarrow P = 1.141.219 \text{ €}.$$

Σύμφωνα με τους Χασιακός&Τσινόπουλος (χ.χ.) ; Furey (2022), η παρούσα αξία για ομοιόμορφες δόσεις αλλά με ενδιάμεσους συνδρομές υπολογίζονται από τον τύπο:

$$P = A * \frac{(1+i)^N - 1}{i * (1+i)^N} - \frac{A}{(1+i)^N} \text{ όπου,}$$

P: Παρούσα αξία

A: ισοκαταναεμημένη δόση ποσού

i: επιτόκιο

N: χρόνια μελέτης

Ομοιόμορφες δόσεις με ενδιάμεσες συνδρομές

Με βάση τον παραπάνω τύπο, για τον υπολογισμό της παρούσας αξίας του κόστους συντήρησης των αεροσκαφών για το αεροπλάνο προκύπτει:

$$P = A * \frac{(1+i)^N - 1}{i * (1+i)^N} - \frac{A}{(1+i)^N} - \frac{A}{(1+i)^N} - \frac{A}{(1+i)^N} \Rightarrow P = 40.903.317 * \frac{(1+0,039)^{50} - 1}{0,039 * (1+0,039)^{50}} - \frac{40.903.317}{(1+0,039)^{31}} - \frac{40.903.317}{(1+0,039)^{46}} \Rightarrow P = 852.242.549\text{€}.$$

Για τον υπολογισμό της παρούσας αξίας του κόστους συντήρησης των οχημάτων για το τρένο προκύπτει:

$$P = A * \frac{(1+i)^N - 1}{i * (1+i)^N} - \frac{A}{(1+i)^N} \Rightarrow P = 618.800 * \frac{(1+0,039)^{50} - 1}{0,039 * (1+0,039)^{50}} - \frac{618.800}{(1+0,039)^{26}} \Rightarrow P = 13.295.164\text{€}.$$

Σύμφωνα με τον Furey (2022), η παρούσα αξία για ανομοιόμορφες δόσεις υπολογίζεται από τον τύπο: $P = \frac{A}{(1+i)^N}$ όπου,

P: Παρούσα αξία

A: ανομοιόμορφη δόση ποσού

i: επιτόκιο

N: χρόνια μελέτης

Ανομοιόμορφες δόσεις

Με βάση τον παραπάνω τύπο, για τον υπολογισμό του κόστους ενέργειας (€)/διαδρομή για το σύστημα Hyperloop προκύπτει:

$$P_1 = \frac{A_1}{(1+i)^N} \Rightarrow P_1 = \frac{51.379}{(1+0,039)^1} \Rightarrow P_1 = 49.450 \text{ €}.$$

$$P_2 = \frac{A_2}{(1+i)^N} \Rightarrow P_2 = \frac{109.180}{(1+0,039)^1} \Rightarrow P_2 = 101.138 \text{ €}.$$

Επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για όλα τα χρόνια μελέτης, δηλαδή έως το 50 όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα Πίνακας 47.

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_{50} \Rightarrow P = 15.942.920 \text{ €}.$$

Πίνακας 47: Κόστος ενέργειας (€)/διαδρομή σε χρηματικές μονάδες για το Hyperloop

Χρόνια	Κόστος ενέργειας/διαδρομή	Χρόνια	Κόστος ενέργειας/διαδρομή
1	49.450	26	372.898
2	101.138	27	368.045
3	143.149	28	365.231

Χρόνια	Κόστος ενέργειας/διαδρομή	Χρόνια	Κόστος ενέργειας/διαδρομή
4	187.375	29	359.992
5	222.775	30	354.632
6	250.148	31	349.167
7	270.239	32	343.612
8	293.199	33	339.800
9	309.502	34	334.041
10	328.549	35	328.235
11	341.514	36	324.015
12	357.101	37	318.090
13	367.130	38	312.153
14	379.663	39	307.658
15	390.738	40	301.670
16	400.446	41	294.361
17	405.523	42	287.175
18	412.881	43	280.114
19	419.115	44	273.178
20	424.299	45	267.517
21	428.503	46	260.790
22	431.795	47	254.192
23	434.235	48	247.721
24	435.883	49	241.379
25	436.797	50	236.111
		Σύνολο	15.942.920

Για τον υπολογισμό του κόστους εισιτηρίου με τ' επιστροφής για το σύστημα Hyperloop προκύπτει:

$$P_1 = \frac{A_1}{(1+i)^N} \Rightarrow P_1 = \frac{4.769.226}{(1+0,039)^1} \Rightarrow P_1 = 4.590.208 \text{ €}.$$

$$P_2 = \frac{A_2}{(1+i)^N} \Rightarrow P_2 = \frac{9.562.299}{(1+0,039)^1} \Rightarrow P_2 = 8.857.909 \text{ €}.$$

Επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για όλα τα χρόνια μελέτης, δηλαδή έως το 50 όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα

Πίνακας 48.

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_{50} \Rightarrow P = 1.523.085.147 \text{ €}.$$

Πίνακας 48: Κόστος εισιτηρίων με τ' επιστροφής σε χρηματικές μονάδες για το Hyperloop

Χρόνια	Κόστος εισιτηρίων	Χρόνια	Κόστος εισιτηρίων
1	4.590.208	26	38.359.147
2	8.857.909	27	37.885.603
3	12.820.123	28	37.398.213

Χρόνια	Κόστος εισιτηρίων	Χρόνια	Κόστος εισιτηρίων
4	16.493.073	29	36.898.531
5	19.892.214	30	36.388.019
6	22.060.590	31	35.868.053
7	24.052.181	32	35.339.923
8	25.876.746	33	34.804.842
9	27.543.574	34	34.263.947
10	29.061.505	35	33.718.303
11	30.438.955	36	33.168.909
12	31.683.928	37	32.616.699
13	32.804.041	38	32.062.545
14	33.806.536	39	31.507.261
15	34.698.303	40	30.951.609
16	35.485.888	41	30.214.349
17	36.175.518	42	29.490.870
18	36.773.106	43	28.781.109
19	37.284.272	44	28.084.992
20	37.714.355	45	27.402.432
21	38.068.423	46	26.733.331
22	38.351.288	47	26.077.582
23	38.567.520	48	25.435.068
24	38.721.451	49	24.805.666
25	38.817.194	50	24.189.243
		Σύνολο	1.523.085.147

Για τον υπολογισμό του κόστους χρόνου ανά ώρα για το σύστημα Hyperloop προκύπτει:

$$P_1 = \frac{A_1}{(1+i)^N} \Rightarrow P_1 = \frac{592.965}{(1+0,039)^1} \Rightarrow P_1 = 570.708\text{€}.$$

$$P_2 = \frac{A_2}{(1+i)^N} \Rightarrow P_2 = \frac{1.188.985}{(1+0,039)^1} \Rightarrow P_2 = 1.101.318\text{€}.$$

Επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για όλα τα χρόνια μελέτης, δηλαδή έως το 50 όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα Πίνακας 49.

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_{50} \Rightarrow P = 189.367.538\text{€}.$$

Πίνακας 49: Κόστος χρόνου ανά ώρα σε χρηματικές μονάδες για το Hyperloop

Χρόνια	Κόστος χρόνου/ώρα	Χρόνια	Κόστος χρόνου/ώρα
1	570.708	26	4.769.252
2	1.101.318	27	4.710.376
3	1.593.946	28	4.649.778
4	2.050.609	29	4.587.652
5	2.473.230	30	4.524.179
6	2.742.827	31	4.459.531

7	2.990.445	32	4.393.867
8	3.217.296	33	4.327.340
9	3.424.535	34	4.260.090
10	3.613.262	35	4.192.249
11	3.784.522	36	4.123.942
12	3.939.312	37	4.055.285
13	4.078.577	38	3.986.386
14	4.203.219	39	3.917.347
15	4.314.094	40	3.848.262
16	4.412.016	41	3.756.597
17	4.497.758	42	3.666.646
18	4.572.057	43	3.578.400
19	4.635.611	44	3.491.851
20	4.689.084	45	3.406.987
21	4.733.106	46	3.323.796
22	4.768.275	47	3.242.266
23	4.795.160	48	3.162.381
24	4.814.298	49	3.084.127
25	4.826.202	50	3.007.486
		Σύνολο	189.367.538

Για τον υπολογισμό του κόστους ενέργειας (€)/διαδρομή για το αεροπλάνο προκύπτει:

$$P_1 = \frac{A_1}{(1+i)^N} \Rightarrow P_1 = \frac{506.224}{(1+0,039)^1} \Rightarrow P_1 = 487.222\text{€}.$$

$$P_2 = \frac{A_2}{(1+i)^N} \Rightarrow P_2 = \frac{506.224}{(1+0,039)^1} \Rightarrow P_2 = 468.933\text{€}.$$

Επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για όλα τα χρόνια μελέτης, δηλαδή έως το 50 όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα

Πίνακας 50.

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_{50} \Rightarrow P = 9.671.711 \text{ €}.$$

Πίνακας 50: Κόστος ενέργειας (€) ανά διαδρομή σε χρηματικές μονάδες για το αεροπλάνο

Χρόνια	Κόστος ενέργειας/διαδρομή	Χρόνια	Κόστος ενέργειας/διαδρομή
1	487.222	26	135.431
2	468.933	27	130.348
3	441.729	28	125.455
4	425.148	29	120.746
5	409.190	30	116.214
6	385.269	31	111.851
7	370.807	32	107.653
8	356.889	33	103.612
9	343.492	34	99.723

Χρόνια	Κόστος ενέργειας/διαδρομή	Χρόνια	Κόστος ενέργειας/διαδρομή
10	323.252	35	95.980
11	311.119	36	92.377
12	299.441	37	86.295
13	281.651	38	83.055
14	271.079	39	79.938
15	260.903	40	76.937
16	251.110	41	74.049
17	236.064	42	71.270
18	227.203	43	68.595
19	218.675	44	66.020
20	205.455	45	63.542
21	197.743	46	61.157
22	190.321	47	58.861
23	178.709	48	56.652
24	172.001	49	54.525
25	165.545	50	52.478
		Σύνολο	9.671.711

Για τον υπολογισμό του κόστους εισιτηρίου με τ' επιστροφής για το αεροπλάνο προκύπτει:

$$P_1 = \frac{A_1}{(1+i)^N} \Rightarrow P_1 = \frac{158.189.838}{(1+0,039)^1} \Rightarrow P_1 = 152.252.010 \text{ €}.$$

$$P_2 = \frac{A_2}{(1+i)^N} \Rightarrow P_2 = \frac{156.736.446}{(1+0,039)^1} \Rightarrow P_2 = 145.190.733 \text{ €}.$$

Επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για όλα τα χρόνια μελέτης, δηλαδή έως το 50 όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα **Error! Reference source not found..**

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_{50} \Rightarrow P = 3.107.893.696 \text{ €}.$$

Για τον υπολογισμό του κόστους χρόνου ανά ώρα για το αεροπλάνο προκύπτει:

$$P_1 = \frac{A_1}{(1+i)^N} \Rightarrow P_1 = \frac{42.003.447}{(1+0,039)^1} \Rightarrow P_1 = 40.426.801 \text{ €}.$$

$$P_2 = \frac{A_2}{(1+i)^N} \Rightarrow P_2 = \frac{41.617.534}{(1+0,039)^1} \Rightarrow P_2 = 38.511.852 \text{ €}.$$

Επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για όλα τα χρόνια μελέτης, δηλαδή έως το 50 όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_{50} \Rightarrow P = 825.225.239 \text{ €}.$$

Για τον υπολογισμό του κόστους εισιτηρίου με τ' επιστροφής για το τρένο προκύπτει:

$$P_1 = \frac{A_1}{(1+i)^N} \Rightarrow P_1 = \frac{55.580.092}{(1+0,039)^1} \Rightarrow P_1 = 53.493.833 \text{ €}.$$

$$P_2 = \frac{A_2}{(1+i)^N} \Rightarrow P_2 = \frac{53.838.085}{(1+0,039)^1} \Rightarrow P_2 = 49.872.198 \text{ €}.$$

Επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για όλα τα χρόνια μελέτης, δηλαδή έως το 50 όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_{50} \Rightarrow P = 728.072.718 \text{ €}.$$

Για τον υπολογισμό του κόστους χρόνου ανά ώρα για το τρένο προκύπτει:

$$P_1 = \frac{A_1}{(1+i)^N} \Rightarrow P_1 = \frac{25.861.059}{(1+0,039)^1} \Rightarrow P_1 = 24.890.336 \text{ €}.$$

$$P_2 = \frac{A_2}{(1+i)^N} \Rightarrow P_2 = \frac{25.050.514}{(1+0,039)^1} \Rightarrow P_2 = 23.205.213 \text{ €}.$$

Επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για όλα τα χρόνια μελέτης, δηλαδή έως το 50 όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα **Error! Reference source not found..**

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_{50} \Rightarrow P = 338.767.547 \text{ €}.$$

4.6. Σύνοψη

Έπειτα από την μελέτη που πραγματοποιήσαμε διαπιστώνουμε ότι το σύστημα Hyperloop για τα 50 χρόνια μελέτης με μοναδικά έσοδα τα εισιτήρια δεν δύναται να αντισταθμίσει τα κόστη με τη συγκεκριμένη επιβατική κίνηση ακόμα και αν συμπεριλάβουμε τον χρόνο του επιβάτη στην ανάλυση, όπου θεωρείται βασικό στοιχείο για την επιλογή μέσου μεταφοράς για τον μετακινούμενο. Ο Πίνακας 51 και Πίνακας 52 (με πορτοκαλί χρώμα απεικονίζονται τα έξοδα για τα διάφορα συστήματα μεταφοράς και με πράσινο χρώμα απεικονίζονται τα έσοδα) παρουσιάζουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα .

Πίνακας 51: Κόστη και έσοδα για μεταφορικά μέσα συμπεριλαμβανόμενου του χρόνου

	Με χρόνο		
	Hyperloop	Αεροπλάνο	Τρένο
Κόστος κατασκευής (€)	18.662.480.000	-	-
Κόστος οχημάτων (€)	37.260.000	808.000.000	52.000.000
Κόστος σταθμού (€)	230.000.000	-	-
Κόστος συντήρησης υποδομής (€)	1.609.846.955	-	550.266.287
Κόστος συντήρησης τούνελ (€)	26.330.079	-	26.330.079
Κόστος συντήρησης σταθμού (€)	19.855.470	293.515.640	19.855.470
Κόστος συντήρησης οχημάτων (€)	17.915.676	852.242.549	13.295.164
Κόστος ενέργειας/διαδρομή (€)	15.942.920	9.671.711	1.141.219
Κόστος χρόνου (€)	189.367.538	825.225.239	338.767.547

Εισιτήριο (€)	1.523.085.147	3.107.893.696	728.072.718
Σύνολο (€)	-19.285.913.491	319.238.556	-273.583.049

Πίνακας 52: Κόστη και έσοδα για μεταφορικά μέσα μη συμπεριλαμβανομένου του χρόνου

Χωρίς χρόνο			
	Hyperloop	Αεροπλάνο	Τρένο
Κόστος κατασκευής (€)	18.662.480.000	-	-
Κόστος οχημάτων (€)	37.260.000	808.000.000	52.000.000
Κόστος σταθμού (€)	230.000.000	-	-
Κόστος συντήρησης υποδομής (€)	1.609.846.955	-	550.266.287
Κόστος συντήρησης τούνελ (€)	26.330.079	-	26.330.079
Κόστος συντήρησης σταθμού (€)	19.855.470	293.515.640	19.855.470
Κόστος συντήρησης οχημάτων (€)	17.915.676	852.242.549	13.295.164
Κόστος ενέργειας/διαδρομή (€)	15.942.920	9.671.711	1.141.219
Εισιτήριο (€)	1.523.085.147	3.107.893.696	728.072.718
Σύνολο (€)	-19.096.545.953	1.144.463.796	65.184.498

Το κόστος κατασκευής είναι υψηλό για το σύστημα Hyperloop συμπεριλαμβανομένου και την αγορά οχημάτων σε αντίθεση με τα άλλα μέσα μεταφοράς όπου είναι εν λειτουργία και δεν έχουν το κόστος κατασκευής και το κόστος αγοράς οχημάτων.

Στη συνέχεια, παρουσιάζουμε σε μορφή ποσοστών τα παραπάνω αποτελέσματα τον Πίνακα 51 για τα κόστη και τα έσοδα για κάθε μεταφορικό μέσο ξεχωριστά συμπεριλαμβανομένου και του χρόνου, χωρίς να λάβουμε υπόψη μας το κόστος κατασκευής για το σύστημα μεταφοράς Hyperloop.

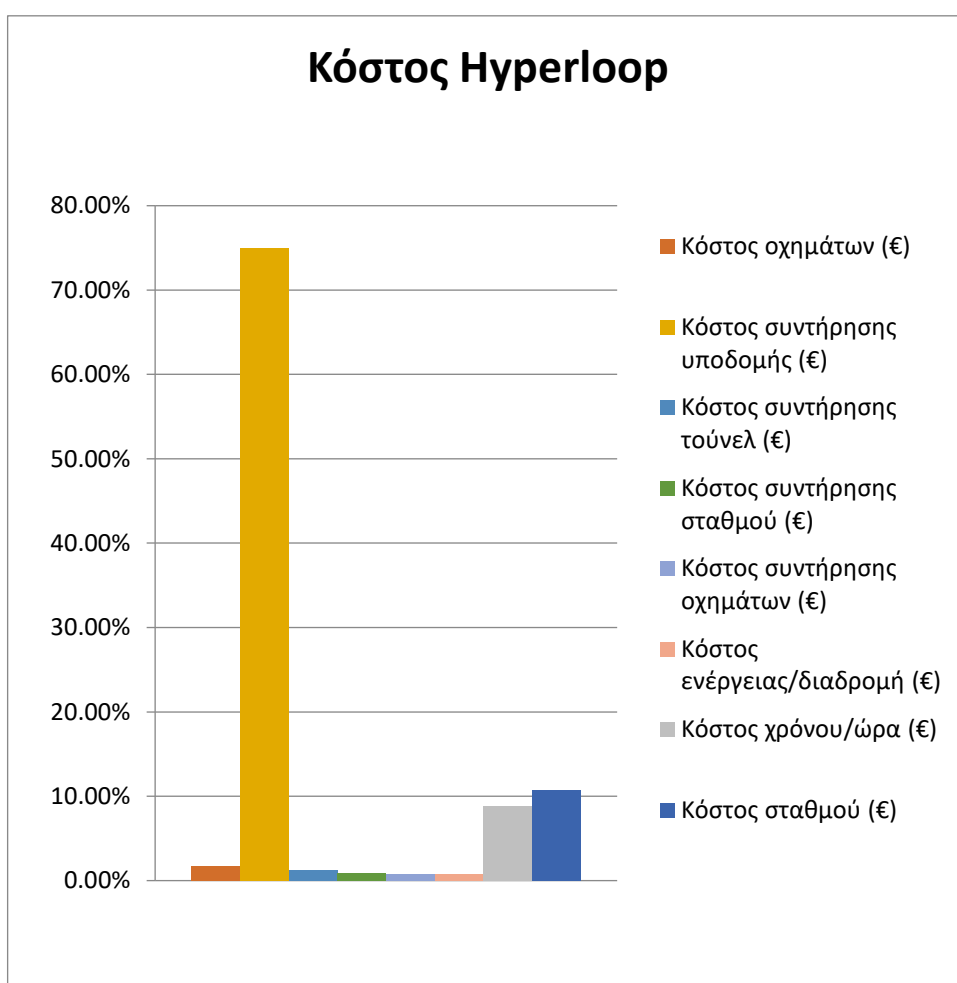
Hyperloop

Πίνακας 53: Ποσοστιαία αποτελέσματα για το κόστος του Hyperloop

	Hyperloop
Κόστος οχημάτων (€)	1,74%
Κόστος σταθμού (€)	10,72%
Κόστος συντήρησης υποδομής (€)	75,00%
Κόστος συντήρησης τούνελ (€)	1,23%
Κόστος συντήρησης σταθμού (€)	0,93%
Κόστος συντήρησης οχημάτων (€)	0,83%
Κόστος ενέργειας/διαδρομή (€)	0,74%
Κόστος χρόνου (€)	8,82%
Σύνολο	100%

Για να εξετάσουμε και το κόστος χωρίς να θεωρήσουμε την υποδομή απεικονίζοντας και τα αντίστοιχα ραβδόγραμματά χωρίς να λάβουμε υπόψη μας το κόστος κατασκευής για το σύστημα μεταφοράς Hyperloop.

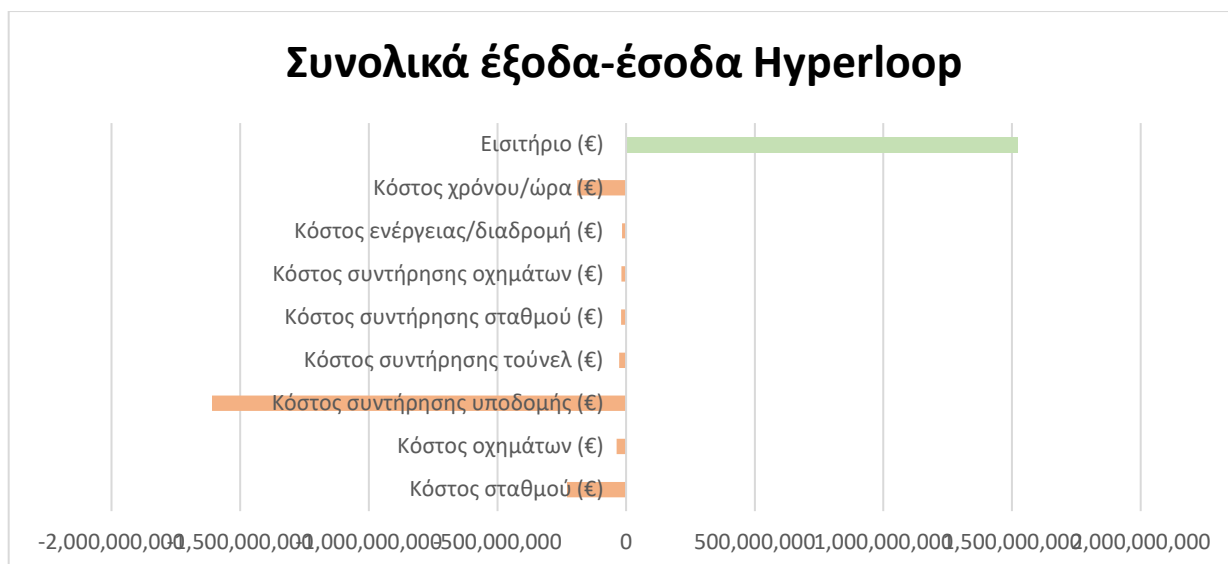
Αρχικά, στην Εικόνα 47 λαμβάνουμε υπόψη μας μόνο τα κόστη του Hyperloop χωρίς το κόστος κατασκευής. Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό στα κόστη το καταλαμβάνει το κόστος συντήρησης της υποδομής που αντιστοιχεί στο 75%. Αυτό το θεωρούμε αναμενόμενο καθώς και το κόστος κατασκευής του συστήματος Hyperloop είναι πολύ μεγάλο. Το 10,72% αντιστοιχεί στο κόστος σταθμού του συστήματος Hyperloop και το 8,82% αντιστοιχεί στο κόστος χρόνου/ώρα όπου ο χρόνος θεωρείται βασικός δείκτης για την επιλογή του μετακινούμενου. Έπειτα, οι υπόλοιποι δείκτες είναι μικρότεροι της μονάδας, όποτε δεν επηρεάζουν σημαντικά το μοντέλο μας.



Εικόνα 47: Κόστος Hyperloop

Αν στο συνολικό κόστος (χωρίς το κόστος κατασκευής) για το σύστημα Hyperloop, και προσθέτοντας τα έσοδα από τα εισιτήρια παραθέτουμε τα εξής αποτελέσματα μέσω του

Πίνακας 54 και της Εικόνα 48.



Εικόνα 48: Συνολικά έξοδα-έσοδα για το Hyperloop χωρίς κόστος κατασκευής

Πίνακας 54: Σύνολο εξόδων-εσόδων για το Hyperloop χωρίς κόστος κατασκευής

Κόστος σταθμού (€)	-230.000.000
Κόστος οχημάτων (€)	-37.260.000
Κόστος συντήρησης υποδομής (€)	-1.609.846.955
Κόστος συντήρησης τούνελ (€)	-26.330.079
Κόστος συντήρησης σταθμού (€)	-19.855.470
Κόστος συντήρησης οχημάτων (€)	-17.915.676
Κόστος ενέργειας/διαδρομή (€)	-15.942.920
Κόστος χρόνου (€)	-189.367.538
Εισιτήριο (€)	1.523.085.147
Σύνολο εξόδων (€) χωρίς κόστος κατασκευής	-2.146.518.638
Σύνολο εξόδων-εσόδων (€) χωρίς κόστος κατασκευής	-623.433.491

Παρατηρούμε πως χωρίς το κόστος κατασκευής για στο σύστημα Hyperloop υπάρχει αισθητή μείωση των εξόδων της τάξεως των € 17.139.394.853 παρόλο που ακόμα βρισκόμαστε σε έλλειμμα και η κατασκευή δεν επιφέρει κέρδη. Όταν προσθέσουμε τα έσοδα μας από τα εισιτήρια, παρατηρούμε πως το έλλειμμα μειώνεται στα € 1.523.085.147.

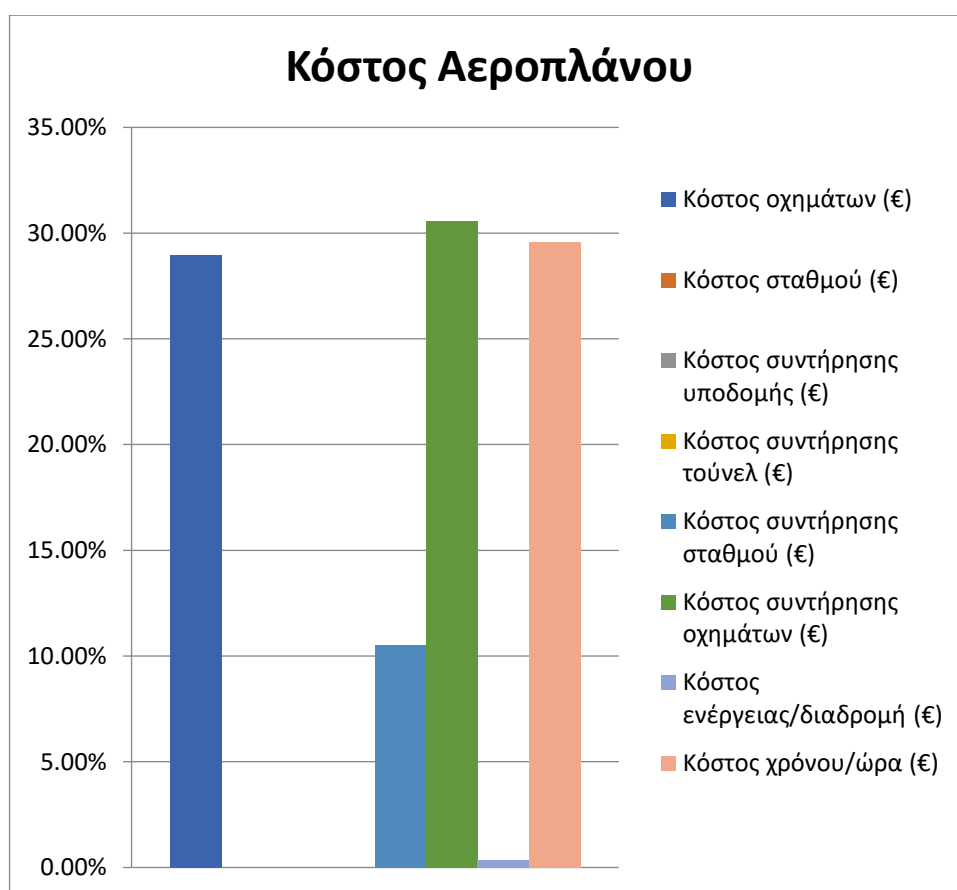
Αεροπλάνο

Η Εικόνα 49 μας δείχνει σε ποσοστά όλα τα έξοδα για το αεροπλάνο και στην Εικόνα 50 παρουσιάζονται η συνολική εικόνα για το αεροπλάνο, δηλαδή όλα τα έξοδα και τα έσοδα της υπάρχουσας υποδομής.

Πίνακας 55: Ποσοστιαία αποτελέσματα για το αεροπλάνο

Αεροπλάνο	
Κόστος οχημάτων (€)	28,97%
Κόστος σταθμού (€)	-
Κόστος συντήρησης υποδομής (€)	-
Κόστος συντήρησης τούνελ (€)	-
Κόστος συντήρησης σταθμού (€)	10,53%
Κόστος συντήρησης οχημάτων (€)	30,56%
Κόστος ενέργειας/διαδρομή (€)	0,35%
Κόστος χρόνου (€)	29,59%
Σύνολο	100%

Από την Εικόνα 49 παρατηρούμε πως το μεγαλύτερο ποσοστό 30,56% το καταλαμβάνει το κόστος συντήρησης των οχημάτων, καθώς εξίσου μεγάλο ποσοστό 29,59% καταλαμβάνει το κόστος χρόνου/ώρα αλλά και το κόστος των οχημάτων με 28,97%. Αυτοί είναι και οι δείκτες που επηρεάζουν σημαντικά το μοντέλο μας.



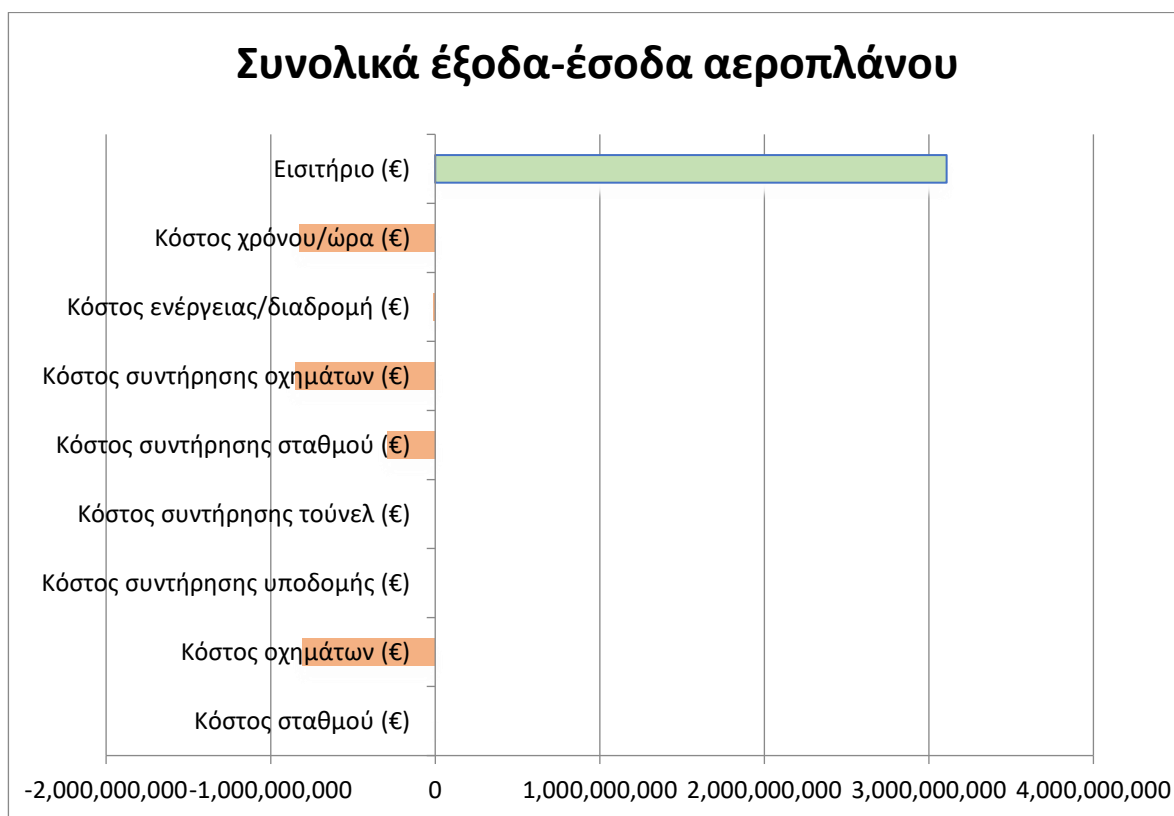
Εικόνα 49: Κόστος αεροπλάνου

Για το αεροπλάνο, το οποίο δεν έχουμε κόστος κατασκευής, προσθέτουμε τα έσοδα από τα εισιτήρια και παραθέτουμε τα αποτελέσματα μέσω του Πίνακας 56.

Πίνακας 56: Σύνολο εξόδων-εσόδων για το αεροπλάνο

Κόστος σταθμού (€)	-
Κόστος οχημάτων (€)	-808.000.000
Κόστος συντήρησης υποδομής (€)	-
Κόστος συντήρησης τούνελ (€)	-
Κόστος συντήρησης σταθμού (€)	-293.515.640
Κόστος συντήρησης οχημάτων (€)	-852.242.549
Κόστος ενέργειας/διαδρομή (€)	-9.671.711
Κόστος χρόνου (€)	-825.225.239
Εισιτήριο (€)	3.107.893.696
Σύνολο εξόδων (€) χωρίς κόστος κατασκευής	-2.788.655.139
Σύνολο εξόδων-εσόδων (€) χωρίς κόστος κατασκευής	319.238.556

Αν στο συνολικό κόστος (χωρίς το κόστος κατασκευής) για το αεροπλάνο, και προσθέτοντας τα έσοδα από τα εισιτήρια παραθέτουμε τα εξής αποτελέσματα μέσω του Πίνακας 56 και της Εικόνα 50.



Εικόνα 50: Συνολικά έξοδα-έσοδα για το αεροπλάνο

Από τον Πίνακα 56 παρατηρούμε πως όταν, από το σύστημα Hyperloop αφαιρέσουμε το κόστος κατασκευής τότε το αεροπλάνο βρίσκεται σε έλλειμμα της τάξεως € 2.788.655.139. Όταν, προσθέσουμε τα έσοδα μας από τα εισιτήρια, το έλλειμμα εξαλείφεται και πλέον έχουμε κέρδη της τάξεως € 319.238.556.

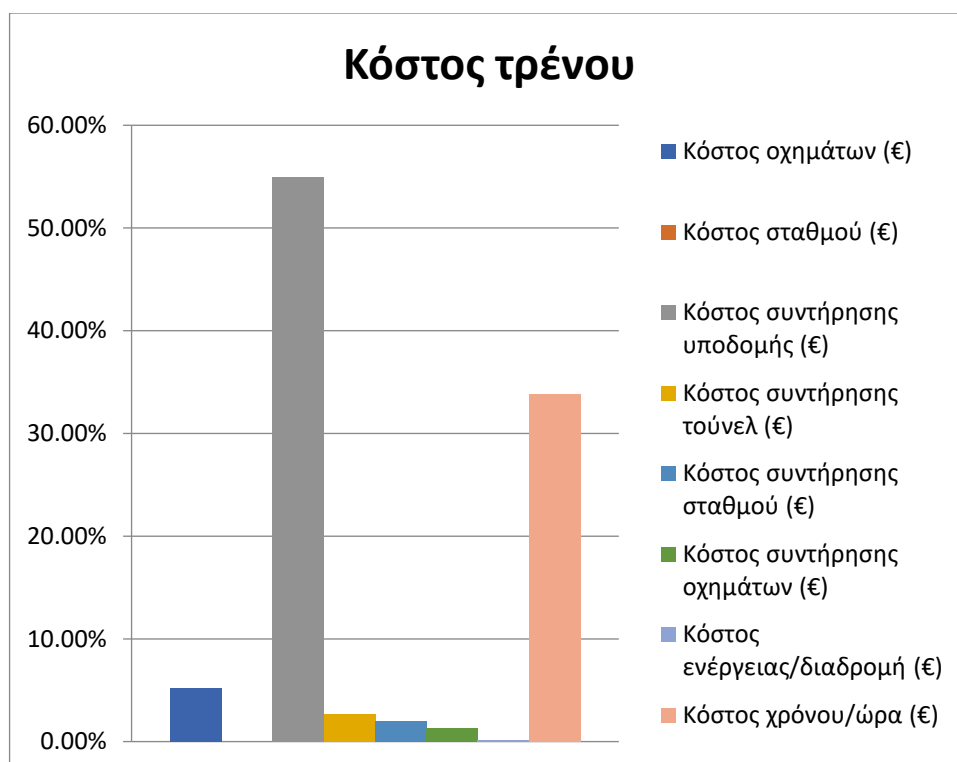
Τρένο

Η Εικόνα 51 μας δείχνει σε ποσοστά όλα τα έξοδα για το τρένο και στην Εικόνα 52 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το τρένο, δηλαδή όλα τα έξοδα και τα έσοδα του μέσου.

Πίνακας 57: Ποσοστιαία αποτελέσματα για το τρένο

Τρένο	
Κόστος οχημάτων (€)	5,19%
Κόστος σταθμού (€)	-
Κόστος συντήρησης υποδομής (€)	54,94%
Κόστος συντήρησης τούνελ (€)	2,63%
Κόστος συντήρησης σταθμού (€)	1,98%
Κόστος συντήρησης οχημάτων (€)	1,33%
Κόστος ενέργειας/διαδρομή (€)	0,11%
Κόστος χρόνου (€)	33,82%
Σύνολο	100%

Από την Εικόνα 51 παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό 54,94% το καταλαμβάνει το κόστος συντήρησης υποδομής του τρένου και αμέσως μετά είναι το 33,82% που αντιστοιχεί στο κόστος χρόνου/ώρα. Οι υπόλοιποι δείκτες δεν φαίνεται να επηρεάζουν σημαντικά το μοντέλο.



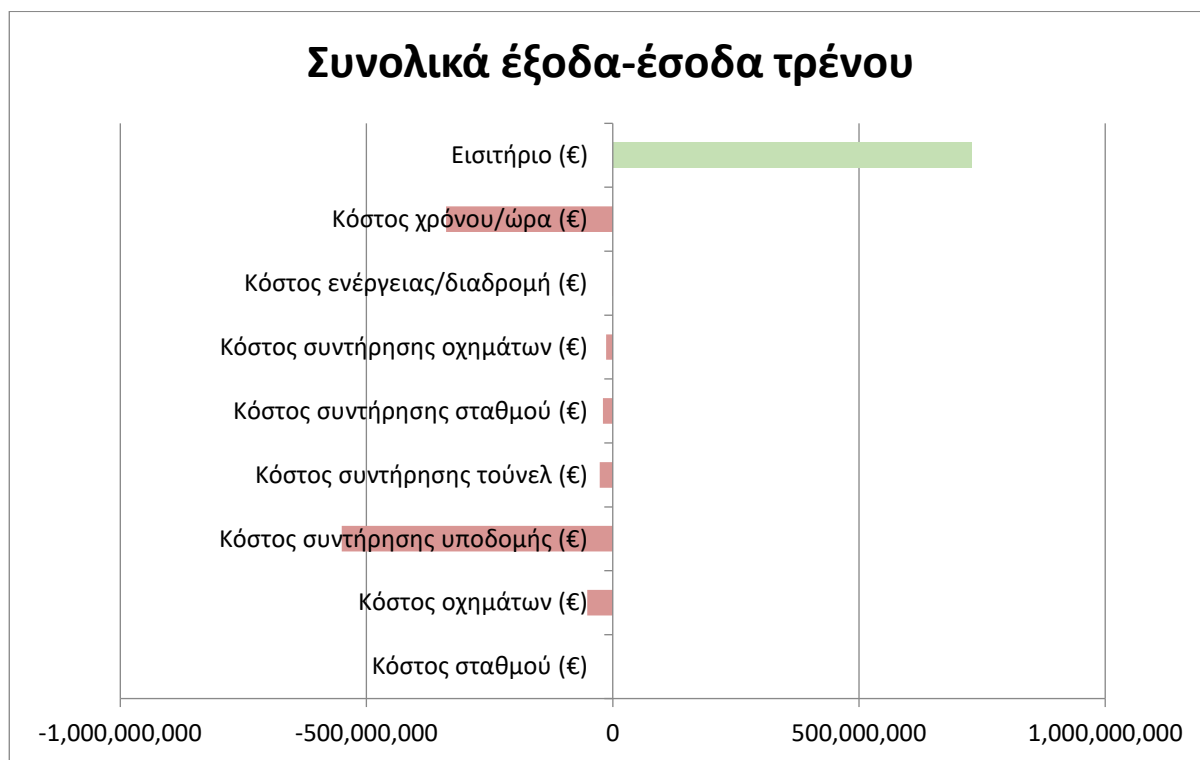
Εικόνα 51: Κόστος τρένου

Έχοντας υπόψη μας το ίδιο μοντέλο, δηλαδή χωρίς το κόστος κατασκευής για το τρένο που εξαρχής δεν είχαμε διότι είναι υπαρκτή κατασκευή, προσθέτουμε τα έσοδα από τα εισιτήρια και παραθέτουμε τα εξής αποτελέσματα μέσω του Πίνακας 58.

Πίνακας 58: Σύνολο εξόδων-εσόδων για το τρένο

Κόστος σταθμού (€)	-
Κόστος οχημάτων (€)	-52.000.000
Κόστος συντήρησης υποδομής (€)	-550.266.287
Κόστος συντήρησης τούνελ (€)	-26.330.079
Κόστος συντήρησης σταθμού (€)	-19.855.470
Κόστος συντήρησης οχημάτων (€)	-13.295.164
Κόστος ενέργειας/διαδρομή (€)	-1.141.219
Κόστος χρόνου (€)	-338.767.547
Εισιτήριο (€)	728.072.718
Σύνολο εξόδων (€) χωρίς κόστος κατασκευής	-1.001.655.767
Σύνολο εξόδων-εσόδων (€) χωρίς κόστος κατασκευής	-273.583.049

Αν στο συνολικό κόστος (χωρίς το κόστος κατασκευής) για το τρένο, και προσθέτοντας τα έσοδα από τα εισιτήρια παραθέτουμε τα εξής αποτελέσματα μέσω του Πίνακας 58 και της Εικόνα 52.



Εικόνα 52: Συνολικά έξοδα-έσοδα για το τρένο

Από τον Πίνακα 58 παρατηρούμε πως με την αφαίρεση των εσόδων από το τρένο υπάρχει αισθητά σημαντικό έλλειμμα της τάξεως των € 1.001.655.767 παρόλο που δεν έχουμε το κόστος κατασκευής. Όταν προσθέσουμε τα έσοδα μας από τα εισιτήρια, παρατηρούμε πως το έλλειμμα μειώνεται στα € 273.583.049.

Συμπερασματικά, αυτό που παρατηρούμε είναι ότι το κόστος κατασκευής του συστήματος Hyperloop είναι πολύ μεγάλο και σε καμία περίπτωση τα έσοδα από τα εισιτήρια δεν μπορούν

να εξισορροπήσουν τα έξοδα με τα έσοδα με τη συγκεκριμένη επιβατική ζήτηση, επομένως δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα μια τέτοια κατασκευή με βάση τα δεδομένα της μελέτης.

Το Hyperloop για να θεωρηθεί ανταγωνιστικό μέσο μεταφοράς θα έπρεπε να προσθέσουμε μια νέα διαδρομή των 509,9 χλμ. και για τα τρία μέσα μεταφοράς, διότι με 1.927.439 μετακινούμενους για το σύστημα μεταφοράς Hyperloop όπου έγινε η μελέτη για 50 χρόνια φαίνεται ότι δεν μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της συγκεκριμένης διαδρομής με αυτή την επιβατική ζήτηση. Έτσι, αν χρειαζόταν να κατασκευάσουμε επιπλέον υποδομές για το αεροπλάνο και το σιδηρόδρομο τότε πολύ πιθανό να είχαμε πιο ανταγωνιστικά αποτελέσματα για το σύστημα Hyperloop και να ήταν ένα ανταγωνιστικό μέσο μεταφοράς για τους επιβάτες και την κοινωνία.

Τέλος, μια ακόμα παρατήρηση είναι πως όταν αφαιρέσαμε από τα κόστη του Hyperloop το κόστος κατασκευής του, το έλλειμμα μειώθηκε αισθητά καθώς φαίνεται να μπορεί να ανταγωνιστεί τα άλλα δύο μέσα μεταφοράς με κρατική επιχορήγηση.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και Προτάσεις

Ενδιαφέροντα συμπεράσματα προέκυψαν από το οικονομικό μοντέλο που δημιουργήσαμε με την βοήθεια των υπολογιστικών φύλλων Excel, αλλά και από την ευρύτερη έρευνα που πραγματοποιήθηκε. Επιπλέον, με βάση τα αποτελέσματα ακολουθούν ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω αναζήτηση και μελέτη για την εν λόγω διπλωματική εργασία.

5.1. Συμπεράσματα

Σε όλο τον κόσμο πραγματοποιείται επιστημονική και τεχνολογική έρευνα για την ανάπτυξη όλο και ταχύτερων συστημάτων μεταφορών. Το αποτέλεσμα των ερευνών αυτών, μετά το συμβατικό σιδηρόδρομο υψηλής ταχύτητας, οι οποίοι λειτουργούν σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο και δίνουν την δυνατότητα σε εκατομμύρια επιβάτες καθημερινά να μετακινούνται γρήγορα και άνετα, καθώς έχουν αποδείξει τις ικανότητες τους, έρχεται η τεχνολογία Maglev όπου αποτέλεσε την πηγή έναρξης για τις γρήγορες μετακινήσεις και ξεκίνησε από την Ιαπωνία και την Γερμανία, έως ότου προτάθηκε ένας νέος τρόπος μεταφοράς -η τεχνολογία Hyperloop όπου γνωρίσαμε από τον Elon Musk το 2013 από την έκθεση Hyperloop Alpha. Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας εξετάστηκαν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του συστήματος Hyperloop ως προς τον άνθρωπο και την κοινωνία, άλλα και συγκρίνοντας το με άλλα μέσα μεταφοράς.

Από τη σύγκριση που πραγματοποιήθηκε προέκυψε ότι το σύστημα μεταφοράς Hyperloop αν και σε θεωρητικό επίπεδο ακόμα δίνει την εντύπωση ότι πρόκειται για μια επανάσταση στο τομέα των μεταφορών. Η ταχύτητα με την οποία πρόκειται να ταξιδεύει το καθιστά αναμφίβολα ως το κυρίαρχο μέσο μεταφοράς επιβατών και εμπορευμάτων. Λόγω της μη υφιστάμενης κατασκευής ακόμα είναι δύσκολο να τοποθετηθούμε με σιγουριά για την ασφάλεια και την άνεση του συστήματος Hyperloop καθώς δεν έχει τεθεί σε εφαρμογή.

Πραγματοποιήθηκε κοινωνικοοικονομική ανάλυση για το σύστημα μεταφοράς Hyperloop συγκρίνοντας το με το αεροπλάνο και το τρένο για να αποδώσουμε σε χρηματικούς όρους τους δείκτες που εξετάσαμε. Οι δείκτες που εξετάστηκαν είναι: 1) το κόστος που το διακρίναμε i) στο κόστος κατασκευής, ii) κόστος οχήματος, iii) κόστος εισιτηρίου και iv) κόστος συντήρησης, 2) τον χρόνο, και 3) την ενέργεια. Πέρα από τους δείκτες που εξετάσαμε, υπολογίσαμε και τον επιβατικό φόρτο για το σύστημα μεταφοράς Hyperloop, το αεροπλάνο και το τρένο για την διαδρομή Αθήνα-Θεσσαλονίκη. Η ανάλυση έγινε για την περίοδο 50 ετών.

Μέσα από αυτή την ανάλυση παρατηρήσαμε πως για το Hyperloop η κατασκευή της διαδρομής Αθήνας-Θεσσαλονίκης (509,9 χλμ.) δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα ως προς το σύστημα διότι, δεν αποφέρει κέρδη ακόμα και όταν συμπεριλαμβάνουμε το χρόνο μετακίνησης, όπως φαίνεται στους Πίνακας 51 και Πίνακας 52 όπου πραγματικά ο χρόνος διαδρομής είναι αρκετά μειωμένος σε αντίθεση με τα άλλα μέσα μεταφοράς.

Το κόστος κατασκευής του συστήματος Hyperloop είναι πολύ υψηλό και με μοναδικό έσοδο τα εισιτήρια για τη συγκεκριμένη επιβατική ζήτηση για τα 50 χρόνια είναι αδύνατον να αντισταθμιστούν τα έξοδα με τα έσοδα και πόσο μάλλον να αποφέρει κέρδη η λειτουργία της γραμμής.

5.2. Προτάσεις

Στη παρούσα Διπλωματική Εργασία εντοπίστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν κριτήρια αξιολόγησης του μεταφορικού μέσου Hyperloop με άλλα μέσα μαζικής μεταφοράς. Υπάρχουν, ωστόσο, περιθώρια για περαιτέρω έρευνα, και οι προτάσεις αυτές καταγράφονται παρακάτω:

- Το μοντέλο που εξετάστηκε δύναται να συμπεριλάβει περισσότερους δείκτες αξιολόγησης, όπως είναι η άνεση, οι ρύποι, η ασφάλεια, η αξιοπιστία, η ανθεκτικότητα και η διαλειτουργικότητα του συστήματος μεταφοράς Hyperloop.
- Ενδέχεται να παρουσιάζει ενδιαφέρον η μελέτη του συνδυασμού της επιβατικής με την εμπορευματικής κίνησης για το σύστημα Hyperloop, αφού η επιβατική ζήτηση είναι αρκετά χαμηλή, και να αξιολογηθεί το κόστος/όφελος.
- Η δημιουργία ενός ερωτηματολογίου δεδηλωμένης προτίμησής δύναται να ερευνήσει τις προτιμήσεις και απόψεις των ερωτηθέντων στην Ελλάδα για τη χρήση του Hyperloop. Επιπλέον μπορεί να υπολογιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η ζήτηση και να προβλεφθούν οι φόρτοι για τα ανταγωνιστικά μέσα.
- Τέλος, η μελέτη ενός Πανευρωπαϊκού δίκτυου το οποίο θα συνδέει πολλές πόλεις μεταξύ τους και θα περιέχει τη διαδρομή Αθήνας-Θεσσαλονίκης αποτελεί πρόταση για περαιτέρω έρευνα.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Aegean, (2022). <https://el.about.aegeanair.com/etaireia/stolos/airbus-a320/>
- Africa Union Comission, (2015). Agenda 2063: The Africa we want.https://au.int/sites/default/files/documents/33126-doc-01_background_note.pdf
- Airbus, (2019). *Global Market Forecast*.<https://www.airbus.com/en/products-services/commercial-aircraft/market/global-market-forecast>
- Arkieva, (2022). Some basics on the value of S curves and market adoption of a new product.<https://blog.arkieva.com/basics-on-s-curves/>
- Armagan, K. (2020). The fifth mode of transportation: Hyperloop. *Journal of Innovative Transportation*, 1(1), 1105. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1191792>
- Aylward, B., Berkhoff, J., Green, C., Gutman, P., Lagman, A., Manion, M., . . . Unsworth, R. (2001). Financial, Economic and Distributional Analysis. *World Commission on Dams*. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.13004.33921>
- AECOM, (2020). Preliminary feasibility of hyperloop technology. <https://tcdocs.ingeniumcanada.org/sites/default/files/2020-08/Hyperloop%20prelim%20study.pdf>
- Barret, E. (2022, February 22). Virgin just signaled the Hyperloop dream is dying with shock layoffs of half its staff. *FORTUNE*.<https://fortune.com/2022/02/22/virgin-hyperloop-layoffs-fires-staff-freight-tube-travel-richard-branson/>
- Barron, I., Campos, J., Gagnepain, P., Nash, C., Ulied, A., & Vickerman, R. (2009). Economic analysis of high speed rail in Europe. BBVA Foundation. https://www.fbbva.es/wp-content/uploads/2017/05/dat/inf_web_economic_analysis.pdf
- Beria, P., Maltese, I., & Mariotti, I. (2012). Multicriteria versus cost benefit analysis: A comparative perspective in the assessment of sustainable mobility. *European Transport Research Review*, 4, 137-152. <https://doi.org/10.1007/s12544-012-0074-9>
- Bhuiyan, J. (2016, October 26). The Hyperloop will take a lot more money to build than Elon Musk anticipated. *Vox*. <https://www.vox.com/2016/10/26/13425592/hyperloop-one-elon-musk-cost-leaked-documents>
- Browne, D., & Ryan, L. B. (2011). Comparative analysis of evolution techniques for transport policies. *Environmental Impact Assessment Review: Transport Policy*, 31(3), 226-233. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2010.11.001>
- Bureau of Transportation Statistics*, (n.d.). <https://www.bts.gov/content/energy-intensity-passenger-modes>
- Campos, V., & Ramos, R. (2005). Sustainable mobility evaluation in urban areas. https://www.researchgate.net/publication/228832877_Sustainable_mobility_evaluation_in_urban_areas

- Chantalle, T., & Frankiln, R. (2019). LHEES: guidance on strategy level socio-economic assessments: *Draft methodology*. Scottish Government. <https://www.gov.scot/publications/guidance-strategy-level-socio-economic-assessments-draft-methodology/pages/3/>
- Communities and Local Government (2009). *Multi-criteria analysis: a manual*. London. www.communities.gov.uk
- Covell, J. (2017). *Hyperloop Technology: Economic Analysis of a Transportation Revolution*. (BSE thesis). Available from The Pennsylvania State University.
- Delft Hyperloop, (2019). Levitation system for the Hyperloop. <https://hyperloopconnected.org/2019/05/levitation-systems-for-the-hyperloop/>
- De Puechredon, M. B. (2020). Hyperloop: a breakthrough for vacuum transportation?
- Dhote, A. S. (2017). Hyperloop new mode of transportation. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 2(8). <https://ijisrt.com/wp-content/uploads/2017/09/Hyperloop-New-Mode-of-Transportation.pdf>
- Doppelbauer, J. (2018). *Hyperloop – an Innovation for Global Transportation* ?https://www.era.europa.eu/content/hyperloop-innovation-global-transportation_en
- Ebeling, K. (2005). High-speed railways in Germany. *Japan Railway & Transport Review*, 40, 36-45. https://www.ejrcf.or.jp/jrtr/jrtr40/pdf/f36_kla.pdf
- Entrepreneur, (2014, Δεκέμβριος 20). 100 engineers are trying to bring Elon Musk's hyperloop dream to life. *Fortune*. <https://fortune.com/2014/12/19/elon-musks-hyperloop-dream/>
- Eurocontrol, (2018). *European aviation in 2040 – Challenges of growth*. <https://www.eurocontrol.int/publication/challenges-growth-2018>
- European Commission, (2021). *Hypernex: Ignition of the European Hyperloop ecosystem*. <https://cordis.europa.eu/project/id/101015145>
- European Commission, (2020). *What is horizon 2020?* <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020>
- European Commission, (2005). Infrastructure expenditures and costs, Practical guidelines to calculate total infrastructure costs for five modes of transport. https://transport.ec.europa.eu/index_en
- Furey, E. (2022). Present value calculator. <https://www.calculatorsoup.com/calculators/financial/present-value-calculator.php>
- Givoni, M. (2006). Development and impact of the modern High-Speed Train: A review. *Transport Reviews*, 26(5), 593-611. <http://dx.doi.org/10.1080/01441640600589319>
- Gonzalez-Gonzalez, E., & Nogues-Linares, S. (2017). Railways of the future: Evolution and prospects of high-speed, maglev and hyperloop (1st Part). *Dyna*, 92(4), 371-373. <http://dx.doi.org/10.6036/8269>

- Gonzalez-Gonzalez, E., &Nogues-Linares, S. (2017). Railways of the future: Evolution and prospects of high-speed, maglev and hyperloop (2st Part). *Dyna*, 92(4), 483-485. <https://doi.org/10.6036/8323>
- Hansen, I. A. (2020). Hyperloop transport technology assessment and system analysis. *Transportation Planning and Technology*, 43(8), 803-820. <https://doi.org/10.1080/03081060.2020.1828935>
- Hyperloop TT, (2020). Great lakes hyperloop feasibility study. https://8508ab36-da5a-4138-b6f6-8384719812eb.filesusr.com/ugd/c9f49b_9bcde8e715264f33acdba5ce946fda39.pdf
- Hyperloop in Abu Dhabi to cost up to Dh1.4 billion, to be ready by 2020 (2019, January 17). *BUSINESS*. <https://gulfnews.com/business/hyperloop-in-abu-dhabi-to-cost-up-to-dh14-billion-to-be-ready-by-2020-1.1547722844596>
- HYPERLOOP TECHNOLOGIES Revenue, Growth & Competitor Profile*(2022, April 11). <https://incfact.com/company/hyperlooptechnologies-losangeles-ca/#>
- Kim, K. K. (2018). The Russian version of the transport system “Hyperloop”. *Transportation Systems and Technology*, 4(2), 73-91. <https://doi.org/10.17816/transsyst20184273-91>
- Janic, M. (2020). Estimation of direct energy consumption and CO2 emission by high speed rail, transrapid maglev and hyperloop passenger transport systems. *International Journal of Sustainable Transportation*, 15(9), 696-717. <https://doi.org/10.1080/15568318.2020.1789780>
- Japan Rail Pass, (2019, Νοέμβριος 15). The Japanese Maglev: World’s fastest bullet train <https://www.jrailpass.com/blog/maglev-bullet-train>
- J.P Baumgartner, (2001). Prices and costs in the railway sector.
- Little, I. M. D.,&Mirrlees, J. A. (1974). Project Appraisal and Planning for Developing Countries.*Journal of Development Economics*,2, 407-412.
- Liu, R., & Deng, Y. (2004). Comparing operating characteristics of high-speed rail and maglev systems: case study of Beijing-Shanghai Corridor. *Transportation Research Record*, 1863(1), 19-27. <https://doi.org/10.3141/1863-03>
- Meunier, J. (2002). On the fast track: French railway modernization and the origins of the TGV 1944-1983.*Westport (USA)*:Ed. Praeger Publishers, 255.
- Mitropoulos, L. K.,&Prevedouros, P. D.(2015).Life cycle emissions and cost model for urban light duty vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 4, 147-159. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.09.024>
- Mitropoulos, L. K.,&Prevedouros, P. D.(2014). Multicriterion sustainability assessment in transportation: Private car, carsharing, and transit bus. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2403, 52-61. <http://dx.doi.org/10.3141/2403-07>

- Mitropoulos, L. K., Prevedouros, P. D., & Kopelias, P. (2016). Total cost of ownership and externalities of conventional, hybrid and electric vehicle. *Transportation Research Procedia*, 24(2017), 267-274. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.117>
- Mohit, B., & Pravin, K. (2019). A review on Hyperloop transportation system. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 3(3), 447-451. <https://www.ijtsrd.com/papers/ijtsrd22831.pdf>
- Morpc, (2020). Hyperloop feasibility study. <https://www.morpc.org/wordpress/wp-content/uploads/2020/05/HYPERLOOP-FEASIBILITY-STUDY.pdf>
- Najafi, F.T., & Nassar, F.E. (1996). Comparison of High-speed rail and MAGLEV systems. *Journal of Transportation Engineering*, 122(4), 276-281. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1996\)122:4\(276\)#sthash.3dEPrv5n.dpuf](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1996)122:4(276)#sthash.3dEPrv5n.dpuf)
- Heathcote, C., & Mulheim, I. (2017). *Global infrastructure outlook*. Oxford Economics, OE: University of Oxford. <https://www.oxfordeconomics.com/recent-releases/Global-Infrastructure-Outlook>
- Ozbek, R., & Codur, M. Y. (2021). Comparison of hyperloop and existing transport vehicles in terms of security and costs. *Modern Transportation Systems and Technologies*, 7(3), 5-29. <https://doi.org/10.17816/transsyst2021735-29>
- Pathare, K. S. (2020). Hyperloop: Fifth mode of transportation. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 4(11), 274-278. <http://www.ijeast.com>
- Piers, M. (2020). *Why Australia– Benchmark 2020*. Australian Government: Australian Trade and Investment Commission. <https://www.gapoz.com.au/blog/why-australis-benchmark-report-2020>
- Rana, V. (2020). Hyperloop-the fifth mode of transport. <https://bit.ly/3e1kmCZ>
- Ranger, S. (2019). What is hyperloop? Everything you need to know about the race for super-fast travel. *ZDNet* <https://www.zdnet.com/article/what-is-hyperloop-everything-you-need-to-know-about-the-future-of-transport/>
- Razi, K., Wu, N., Wang, C., Chen, M., Xue, H. S., Lui, N., & Jia, P. (2018). Consumer desirability of the proposed hyperloop.
- Rossi, R., Gastaldi, M., & Gecchele, G. (2013). Comparison of fuzzy-based and AHP methods in sustainability evaluation: A case of traffic pollution-reducing policies. *European Transport Research Review*, 5(11), 11-26. <https://doi.org/10.1007/s12544-012-0086-5>
- Sankhe, S., Madgavkar, A., Kumra, G., Woetzel, J., Smit, S., & Chockalingam, K. (2020). *India's turning point: An economic agenda to spur growth and jobs*. McKinsey Global Institute. <http://www.mckinsey.com/mgi>
- Santangelo, A. (2018). Hyperloop as an evolution of Maglev. *Transportation System and Technology*, 4(4), 44-63. <https://doi.org/10.17816/transsyst20184444-63>

- Shinde, R. T., Raijade, V. B., Lahare, A. S., & Sarode, V. B. (2017). Hyperloop transportation system. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(4), 763-766. <http://www.irjet.net/>
- Sidhu, A. S., Pollitt, M. G., & Anaya, K. L. (2018). A social cost benefit analysis of grid-scale electrical energy storage projects: A case study. *Applied Energy*, 212, 881-894. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.085>
- Siskos, Y., & Spyridakos, A. (1999). Intelligent multicriteria decision support: Overview and perspectives. *European Journal of Operational Research*, 113(2), 236-246. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00213-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00213-6)
- Skyscanner, (2022). <https://gr.skyscanner.com/>
- Spencer Jones, J. (2022). Hyperloop Holland – the Amsterdam Rotterdam low-carbon connection. *Smart Energy International*. <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/electric-vehicles/hyperloop-holland-the-amsterdam-rotterdam-low-carbon-connection/>
- Sputnik International, (2017). South Korea Developing Near-Supersonic Advanced Ground Transport. <https://sputniknews.com/20170119/south-korea-hyperloop-train-development-1049747374.html>
- SSATP.(n.d.). The Africa transport policy program: Promoting efficient, safe, and sustainable transport policies for people in Africa. https://www.ssatp.org/sites/ssatp/files/pdfs/Missionstatement/SSATP%20Fact%20Sheet_EN.pdf
- Taylor, C. L., Hyde, D. J., & Barr, L. C. (2016). [Review of the book *Hyperloop commercial feasibility analysis: High level overview*, by NASA]. *Academia*, 16(1), 2-89.
- Tesla, (2013). Hyperloop alpha report. https://www.tesla.com/sites/default/files/blog_images/hyperloop-alpha.pdf
- Tudela, A., Akiki, N., & Cisternas, R. (2006). Comparing the output of cost benefit and multi-criteria analysis: An application to urban transport investments. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(5), 414-423.
- The World Bank in China (2021, October 12). China overview. <https://www.worldbank.org/en/country/china/overview>
- Turbo Squid, (2021). Hyperloop Tubes and Supports. <https://www.turbosquid.com/3d-models/tubes-supports-hyperloop-3d-max/760382>
- United Nations Department of Economic and Social Affairs, (2018). <https://population.un.org/wup/>
- United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision, Online Edition*. <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>

- UIC, (2018). High speed rail. https://uic.org/?gclid=EAJaIQobChMIn8as_pqv-AIVaY9oCR3rGwrZEAAYASAAEgIWEPD_BwE
- van Goeverden, K., Milakis, D., Janic, M., & Konings, R. (2018). Analysis and modelling of performances of the HL (Hyperloop) transport system. *European Transport Research Review*, 10(41). <https://doi.org/10.1186/s12544-018-0312-x>
- Virail, (2022). <https://www.virail.gr/>
- Virgin hyperloop, (2018). A first look at our Dubai hyperloop pod. <https://virginhyperloop.com/blog/dubai-pod>
- Walker, R. (2018). Hyperloop: Cutting through the hype. *Transportation Research Board*. <https://trl.co.uk/papers/hyperloop-cutting-through-hype>
- Wikimedia, (2020). *Tokaido Shinkansen train front*. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tokaido_Shinkansen_train_front.jpg
- Wikimedia, (2021). *World railway network*. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_railway_network.png
- Wikipedia, (2021). *Airbus A320*. https://el.wikipedia.org/wiki/Airbus_A320
- Wikipedia, (2022). *Gotthard Base Tunnel*. https://en.wikipedia.org/wiki/Gotthard_Base_Tunnel
- Wikipedia, (2021). *Intercity Experimental*. https://en.wikipedia.org/wiki/Intercity_Experimental
- Wikipedia, (2022). *List of European countries by average wage*. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_European_countries_by_average_wage
- Wikipedia, (2021). *TGV*. <https://el.wikipedia.org/wiki/TGV>
- Wilson, D. (2003). *Dreaming with BRICs: The path to 2050*. (Report No.99). Goldman Sachs. <https://www.goldmansachs.com/insights/archive/brics-dream.html>
- Wired, (2017). Waymo has taken the human out of its self-driving cars. <https://www.wired.com/story/waymo-google-arizona-phoenix-driverless-self-driving-cars/>
- Witt, M., & Herzberg, S. (2020). Technical-economical system comparison of high speed railway systems. http://www.maglev.ir/eng/documents/papers/conferences/maglev2004/topic1/IMT_CP_M2004_T1_11.pdf
- Yavuz, M. N., & Ozturk, Z. (2021). Comparison of conventional high speed railway, maglev and hyperloop transportation systems. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 5(1), 113-122. <https://doi.org/10.35860/iarej.795779>
- Zeleros. (2021). A global hyperloop network vision 2050 and beyond. <https://zeleros.com/hyperloop-vision-2050-global-network/>

Zerbe Jr, R. O. & Bellas, A. S. (2006). *A primer for benefit-cost analysis*. United Kingdom, UK: Edward Elgar Publishing Limited

Zopounidis, C. (1999). Multicriteria decision aid in financial management. *European Journal of Operational Research*, 119, 404-415. <http://www.elsevier.com/locate/orms>

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

- ΑΤΕΟ, (2013). Τιμολόγιο έργων οδοποιίας ΦΕΚ 363B/ 19-2-2013. <http://www.ergotech.gr/ODN-2013.pdf>
- Βασάκης, Α. Γ. (2020). *Η ιστορία των δημόσιων αερομεταφορών στην Ελλάδα*. Αθήνα: 11 AVIATION.
- Γαβριλάκης, Κ. (χ.χ.). Φάκελος: Συντήρηση αεροσκαφών. <http://library.techlink.gr/ptisi/article.asp?mag=2&issue=163&article=4156>
- Δελγιάννης, Λ. (χ.χ.). *Εκτίμηση κόστους κατασκευής σιδηροδρομικών έργων* (Διπλωματική εργασία). https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/39792/deligiannis_l_railway.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR39I4alaWOWsWBS7P3RGIKwK0AEhUSxfFe8mn9rmo9hf956SUYimC4-FPg
- Διεθνή Ένωση των Σιδηροδρόμων <https://uic.org/>
- Δοκιμή αντοχής αεροσκάφους. Πώς δοκιμάζονται τα αεροπλάνα για την αντοχή Πώς δοκιμάζονται τα φτερά του αεροπλάνου για αντοχή* (χ.χ.). <https://zapustibiznes.ru/el/ispytanie-samol-tov-na-prochnost-kak-ispytyvayut-samolety-na-prochnost-kak/>
- Καραγιάννης, Ν. (2019). Αυτές είναι οι 10 μεγαλύτερες σιδηροδρομικές σήραγγες της Ελλάδας. <https://ypodomes.com/aftes-einai-oi-10-megalyteres-sidirodromikes-siragges-tis-elladas/>
- Κασσίμη, Α. (2019, Μάιος 10) Τρίτο καλύτερο αεροδρόμιο διεθνώς το «Ελευθέριος Βενιζέλος». *Η Καθημερινή*. <https://www.kathimerini.gr/>
- Μανδραβέλης, Β. (2019, Δεκέμβριος 24). Αυξήθηκαν κατά 50% οι επιβάτες στη γραμμή Αθήνα – Λάρισα – Θεσσαλονίκη. *Thessalia economy*. <https://www.thessaliaeconomy.gr/blog/eidiseis/ayksithikan-kata-50-oi-epivates-sti-grammi-athina-larisa-thessaloniki>
- Μέργος, Γ. (2002). *Κοινωνική Αξιολόγηση Επενδύσεων*. Αθήνα: Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.
- Μουστάκης, Β. (2016). *Κοινωνικοοικονομική μελέτη κόστους-οφέλους της επέκτασης του μετρό στο Ελληνικό* (Διπλωματική εργασία). <https://dias.library.tuc.gr/view/manf/66145>
- Μουστάκης, Β. Σ. (2012). *Πρακτικός οδηγός οικονομικής ανάλυσης*. Θεσσαλονίκη: Τζίολα.
- Μπαλής, Δ. (2021, Νοέμβριος 20). Το 2022 θα είναι έτοιμη η σιδηροδρομική σήραγγα Παναγοπούλας. *HUFFPOST*. https://www.huffingtonpost.gr/entry/to-2022-tha-einai-etoime-e-siderodromike-serayya-panagopoelas_gr_6199064ce4b0f398af05e3c9
- Μπλέτσα, Ε. (2021). *Μεθοδολογικό πλαίσιο αξιολόγησης οδικού έργου: Εφαρμογή στο έργο «Βελτίωση της οδού Νιάρχου στα Ιωάννινα»* (Διπλωματική εργασία). <https://apothesis.eap.gr/handle/repo/53909>
- Προφυλλίδης, Β. (1993). *Σιδηροδρομική*. Θεσσαλονίκη: ΓιαχούδηΓιαπούλη.
- Προφυλλίδης, Β. (2016). *Οικονομική των μεταφορών* (5^η εκδ.). Αθήνα: Παπασωτηρίου.

- ΟΣΕ, (2022). Δήλωση δικτύου 2022.
- ΟΣΕ: Σε λειτουργία η σιδηροδρομική γραμμή Αθηνών-Θεσσαλονίκης (2021, Αύγουστος 12). FPress. <https://www.fpress.gr/>
- Ολοκληρώθηκε η γραμμή Αθήνα-Θεσσαλονίκη [δελτίο τύπου] (2019, Ιανουάριος 28).<https://www.ergose.gr/deltio-tyrou-28-01-19/>
- Ουσταπασίδου, Ε. (2013). *Μελέτη κόστους-οφέλους και κοινωνικοοικονομική ανάλυση του οδικού δικτύου Θεσσαλονίκη-Μουδανιά-Κόμβος Πούγγρος-Γαλατίστα-Θέρμη* (Διπλωματική εργασία). <http://ikee.lib.auth.gr/record/134399/files/GRI-2014-12424.pdf>
- Πυργίδης, Χ. (2015). *Συστήματα σιδηροδρομικών μεταφορών*. Θεσσαλονίκη: Ζήτη
- Στούπα, Ε. (2018). *Ανάλυση της κίνησης και του αντιληπτού επιπέδου εξυπηρέτησης των επιβατών στον αερολιμένα Θεσσαλονίκης* (Διπλωματική εργασία). <http://ikee.lib.auth.gr/record/301568?ln=el>
- ΣΦΣ, (2012). Σιδηροτροχιά – Τεύχος 41-42. <https://issuu.com/sfsofathens/docs/sidirotroxia41-42>
- Τερεζάκης, Ι. (2010, Απρίλιος 15) Πληρώσαμε 5 φορές πάνω το Ελ. Βενιζέλος. *Τα Πολιτικά*. http://www.tapolitika.gr/document_item.php?id=125&category=cat&order_type=desc000000
- Τραπεζικά επιτόκια καταθέσεων και δανείων: Ιανουάριος 2022* [δελτίο τύπου] (2022, Μάρτιος 3). <https://www.bankofgreece.gr/enimerosi/grafeio-tyrou/anazhthsh-enhmerwsewn/enhmerwseis?announcement=2c47ef79-bf81-43db-9db5-3df2a7b1d768>
- Τριαντάφυλλος, Σ. (2009). *Ο Σιδηρόδρομος Υψηλών Ταχυτήτων στον Ευρωπαϊκό χώρο και οι χωρικές επιδράσεις του μέσου* (Διπλωματική εργασία). <http://ikee.lib.auth.gr/record/133298/files/STERGIOUee23.pdf>
- Τσακαλίδης, Κ. (2021). Τα νέα δρομολόγια στο αεροδρόμιο “Μακεδονία” της Θεσσαλονίκης φέρνουν αισιοδοξία για τον τουρισμό. <https://sputniknews.gr/20210602/ta-nea-dromologia-sto-aerodromio-makedonia-tis-thessalonikis-fernoyn-aisiodoxia-gia-ton-toyrismo-13615774.html>
- Χασιακός, Α., & Τσινόπουλος, Σ. (χ.χ.). Βασικές οικονομικές έννοιες μέθοδοι οικονομικής αξιολόγησης επενδύσεων.
- 10 δισ. Ευρώ για μια σιδηροδρομική γραμμή 500 χλμ (2018, Δεκέμβριος 12). *Η Καθημερινή*. <https://www.kathimerini.gr/>
- Hyperloop: Αυτό είναι το φουτουριστικό τρένο του μέλλοντος – Πότε θα ξεκινήσει το πρώτο δρομολόγιο* (2021, Φεβρουάριος 23). <https://www.i-diakopes.gr/eidiseis-live/hyperloop-afto-einai-to-foutouristiko-treno-tou-mellontos-pote-tha-xekinisei-to-proto-dromologio/>
- Hyperloop: Ο σίφουνας από το μέλλον που μπορεί να κάνει το Αθήνα-Θεσσαλονίκη σε 45’ (2020, Φεβρουάριος 2). *ΕΘΝΟΣ*. <https://www.ethnos.gr/>
- Hyperloop: Το τρένο που θα κινείται με ηλιακή ενέργεια (2013, Αύγουστος 13). *Energypress*. <https://energypress.gr/news/hyperloop-treno-poy-tha-kineitai-me-iliaki-energeia>

- Hyperloopproject: το υπερηχητικό τρένο του μέλλοντος (2016). *Viral news*. <https://www.viralnews.gr/index.php/kosmos/item/342-yperhxhtiko-treno/342-yperhxhtiko-treno>
- Lancelot, F. (χ.χ.). IndigoPartners: Παραγγελία για 430 AirbusA320 αξίας 49,5 δις. δολαρίων. <https://www.ertnews.gr/eidiseis/diethni/kosmos/parangelia-gia-430-airbus-a320-axias-495-dis-dolaria/>
- Lifo, (2022, Ιανουάριος 24). *Ελλάδα/Λιβαδειά: Σύγκρουση αμαξοστοιχίας με μηχανή του ΟΣΕ – Υπάρχουν τραυματίες*. <https://www.lifo.gr/now/greece/libadeia-syngkroyisi-amaxostoihias-me-mihani-trenoy-yparhoyn-traymaties>
- Μοονιτ, (2022). Πώς να πάω στο προορισμό Σιδηροδρομικός Σταθμός Αθήνας στη πόλη Σταθμός Λαρίσης με Μετρό, Λεωφορείο ή Προαστικός;
- Naftemporiki, (2021, Απρίλιος 2). *Υπερηχητικά τρένα με υλικό του «Μαύρου Πάνθηρα»*. <https://www.naftemporiki.gr/story/1709746/yperixitika-trena-me-uliko-tou-maurou-panthira>
- RayHaber, (2020, Αύγουστος 8). *Τι είναι το MagneticRailTrain; Ποίος ανακάλυψε το τρένο Maglev; Πόσο γρήγορα πηγαίνει το τρένο Maglev;*
- TechgearTeam, (2013, Αύγουστος 14). *Hyperloop: Όλα όσα θέλεις να γνωρίζεις για το "τρένο" του μέλλοντος*. <https://www.techgear.gr/hyperloop-futuristic-train-12933>
- Wikipedia, (2022). *Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών «Ελευθέριος Βενιζέλος»*. <https://el.wikipedia.org/>
- Wikipedia, (2022). *Διεθνής Κρατικός Αερολιμένας Θεσσαλονίκης «Μακεδονίας»*. <https://el.wikipedia.org/>
- Wikipedia, (2021). *Νέος Σιδηροδρομικός Σταθμός Θεσσαλονίκης*. <https://el.wikipedia.org/>

