



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

Ανάπτυξη Μοντέλου Εκτίμησης Κοινωνικο-Οικονομικών Επιπτώσεων Αυτόματων Οχημάτων

Επαμεινώνδας Θεοδωράκος

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Αθήνα, Οκτώβριος 2019

Βασικά Στάδια Διπλωματικής Εργασίας

Καθορισμός Στόχου



Βιβλιογραφική Ανασκόπηση



Ανάπτυξη Μοντέλου Εκτίμησης Κοινωνικο-Οικονομικών Επιπτώσεων



Συλλογή Στοιχείων



Εφαρμογή Μοντέλου

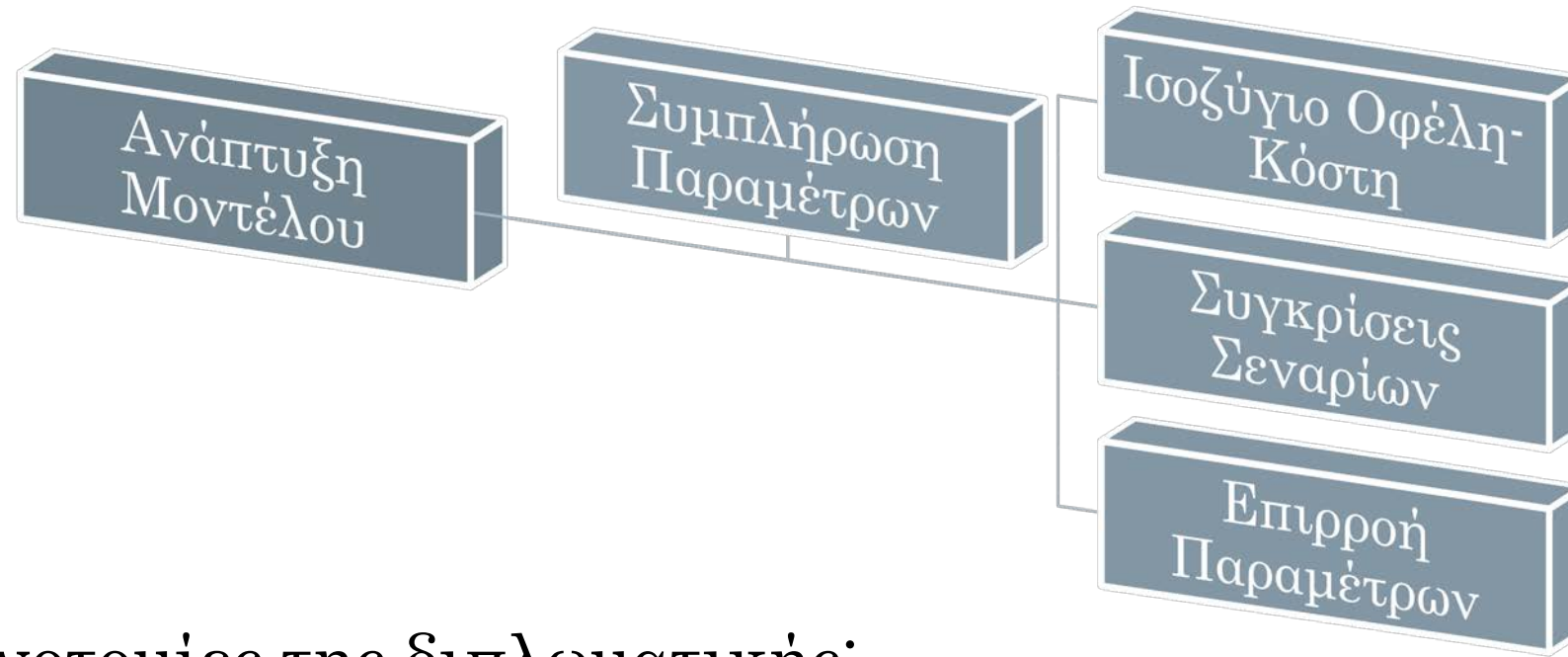


Περιγραφή Αποτελεσμάτων



Συμπεράσματα - Προτάσεις

Στόχος Διπλωματικής Εργασίας



Καινοτομίες της διπλωματικής:

- Αποτελεί **εργαλείο** εκτίμησης των κοινωνικο-οικονομικών επιπτώσεων των αυτόματων οχημάτων.
- **Δυνατότητα χρήσης** και από άλλους ερευνητές (μεγάλη παραμετροποίηση μοντέλου, ευκολία διενέργειας δοκιμών, κτλ).

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (1/2)

Διείσδυση αυτόματων οχημάτων

- Εντοπισμός διαφόρων **χρονοδιαγραμμάτων** διείσδυσης των αυτόματων οχημάτων

Διανυόμενα οχηματοχιλιόμετρα αυτόματων οχημάτων

- **Αύξηση** → Δυνατότητα χρήσης από άτομα από κοινωνικά ευπαθείς ομάδες

Κατανάλωση καυσίμων αυτόματων οχημάτων

- **Μείωση** μέσης κατανάλωσης → Ομαλές επιταχύνσεις – επιβραδύνσεις και ελάττωση κυκλοφοριακής συμφόρησης

Εκπομπές ρύπων

- **Ελάττωση** των παραγόμενων ρύπων → Καλύτερη κατανάλωση καυσίμων και χρήση ηλεκτρικών οχημάτων

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση (2/2)

Οφέλη αυτόματων οχημάτων στην ασφάλεια

- **Μείωση ατυχημάτων** → Δεν επηρεάζεται η οδήγηση από τον ανθρώπινο παράγοντα, τήρηση Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας, βέλτιστος χρόνος αντίδρασης.

Επιπτώσεις των αυτόματων οχημάτων στο χρόνο ταξιδιού

- **Μείωση** του χρόνου μετακίνησης - Δυνατότητα αξιοποίησής του.

Υποδομές για την υποστήριξη αυτόματων οχημάτων

- **Αύξηση** κόστους κατασκευής και λειτουργίας-συντήρησης των υποδομών.

Κόστος αγοράς αυτόματων οχημάτων

- **Αύξηση** κόστους απαιτούμενης τεχνολογίας (π.χ. Σύστημα LIDAR).

Σύνολο των επιπτώσεων χρήσης αυτόματων οχημάτων

- Ετήσια οφέλη \$2.000 έως και τα \$4.000 $\approx$ **1.800 € - 3.600 € ανά όχημα**
(Daniel J. Fagnant, Kara Kockelman, Transportation Research Part A, Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations)

Ανάπτυξη Μοντέλου

Σύνολο Μεταβλητών

1	Χρόνος ταξιδιού	19	Κοινοχρησία αυτόματων οχημάτων
2	Αξιοποιήσιμος χρόνος ταξιδιού	20	Συνύπαρξη με δίκυκλα
3	Κόστος αγοράς οχημάτων	21	Συνύπαρξη με πεζούς
4	Κόστος συντήρησης οχημάτων	22	Συνύπαρξη με μη αυτόματα οχήματα
5	Κόστος κατασκευής υποδομών	23	Κόστος κατασκευής και λειτουργίας κέντρων διαχείρισης της κυκλοφορίας
6	Κόστος λειτουργίας - συντήρησης υποδομών		
7	Ασφάλεια οδηγού	24	Κόστος μεταφοράς προϊόντων – Εμπόριο
8	Ασφάλεια χρηστών οδικού δικτύου	25	Κόστος μεταφοράς ανά επιβάτη – ΜΜΜ
9	Αύξηση διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων	26	Επιλογή μέσου μεταφοράς
10	Εκπομπές ρύπων	27	Θόρυβος
11	Κατανάλωση καυσίμων	28	Θέσεις εργασίας
12	Χρεώσεις ασφαλιστικών εταιρειών	29	Χώρος στάθμευσης οχημάτων
13	Ποσοστό διείδυσης οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού	30	Χώρος που καταλαμβάνουν οι υποδομές
14	Χρονικό διάστημα εφαρμογής	31	Αριθμός επιβατών ανά όχημα - Πλήρωση οχημάτων
15	Χώρα εφαρμογής	32	Προστασία προσωπικών δεδομένων
16	Άνεση επιβατών	33	Προστασία λογισμικού οχημάτων από hackers
17	Κυκλοφοριακός φόρτος	34	Ανάγκη ενημερώσεων λογισμικού
18	Βαθμός αποδοχής από την κοινωνία	35	Πρόστιμα τροχαίας

Παράμετροι Μοντέλου

1. Σενάρια διείσδυσης

- Ποσοστό οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού
- Βαθμός αποδοχής από την κοινωνία

2. Οχηματοχιλιόμετρα

- Αύξηση οχηματοχιλιομέτρων

3. Κατανάλωση καυσίμων

- $\approx$ Κόστος συντήρησης (θεωρήθηκε ίδιο λόγω έλλειψης στοιχείων)

4. Εκπομπές ρύπων

5. Χρόνος ταξιδιού

- Αξιοποιήσιμος χρόνος ταξιδιού
- Άνεση επιβατών
- Κυκλοφοριακός φόρτος

6. Κόστος υποδομών

- Κατασκευή
- Λειτουργία – Συντήρηση

7. Κόστος ατυχημάτων

- Ασφάλεια οδηγού
- Ασφάλεια χρηστών οδικού δικτύου

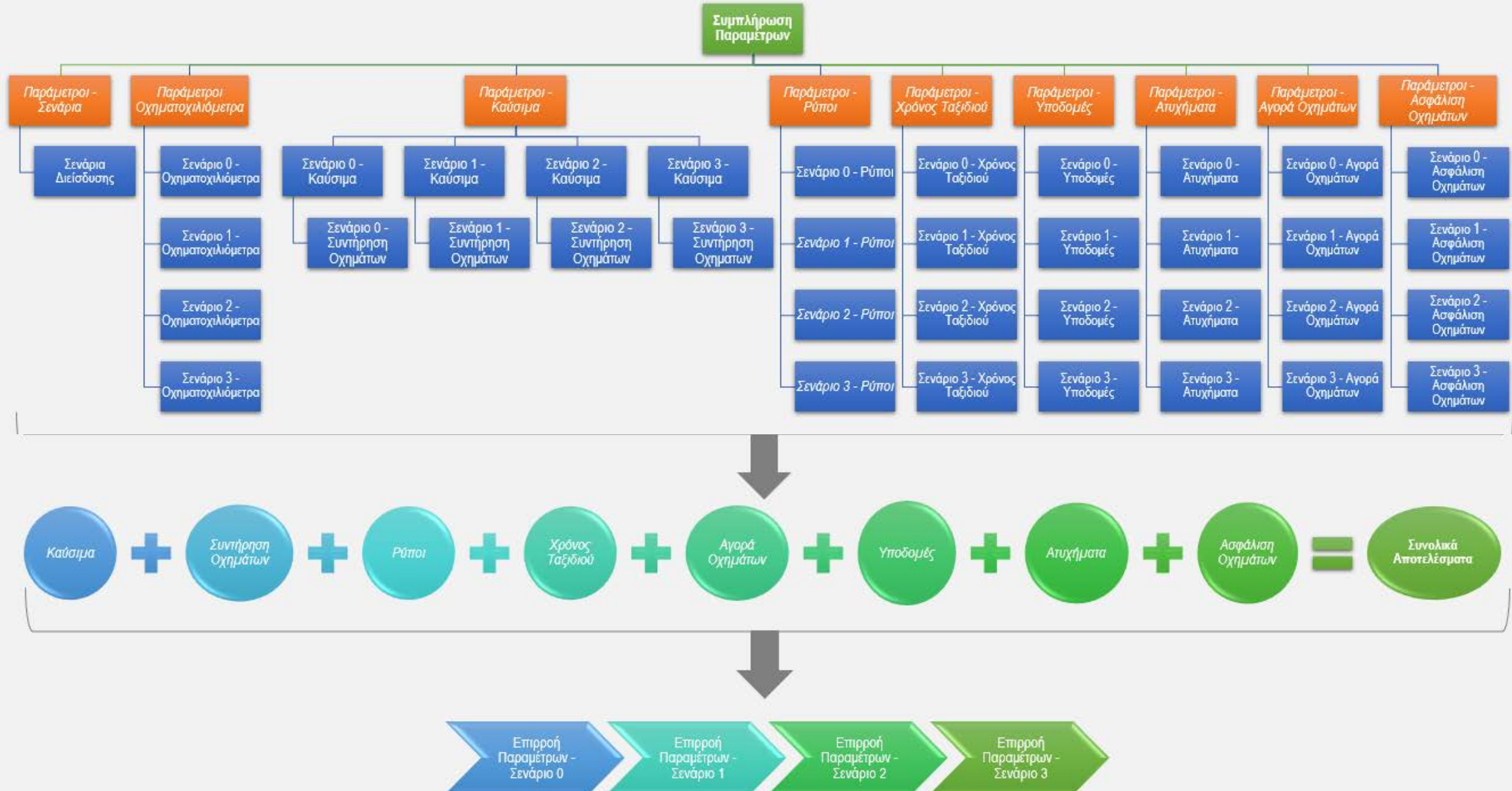
8. Κόστος αγοράς οχημάτων

9. Έξοδα ασφάλισης

Χρονικό διάστημα εφαρμογής

Χώρα εφαρμογής

Περιγραφή Μοντέλου



Συμπλήρωση Παραμέτρων

Περιοχή Εφαρμογής το **Ηνωμένο Βασίλειο**
Χρονικό διάστημα **2020-2050**

- Πληθώρα ερευνών
- Περιορισμένη βιβλιογραφία ως προς την Ελλάδα

Συμπλήρωση των παραμέτρων με:

- Στοιχεία από τη **βιβλιογραφία** (Προσαρμογή τους στο χρονικό διάστημα εφαρμογής του μοντέλου).
- **Δοκιμές** με χρήση ενδεικτικών τιμών μέσα από το εύρος όσων εντοπίσθηκαν στην βιβλιογραφική ανασκόπηση.
- **Παραδοχές** για όσες παραμέτρους δεν βρέθηκαν περαιτέρω στοιχεία.



Παραδοχές Μοντέλου

- Όλα τα αυτόματα οχήματα είναι **ηλεκτρικά**.
- Δεν λαμβάνονται υπόψη οι εκπεμπόμενοι ρύποι κατά την **κατασκευή ενός οχήματος** (π.χ. από την μπαταρία των ηλεκτρικών).
- Το κόστος κατασκευής των υποδομών των αυτόματων οχημάτων **ισομοιράζεται** στο χρονικό διάστημα.
- Η μέση **αξία του χρόνου** λαμβάνεται σταθερή για όλο το διάστημα αναφοράς.
- **Κόστος συντήρησης οχημάτων** $\approx$ Κόστος κατανάλωσης καυσίμων.
- Δεν υπάρχει **αλληλεξάρτηση** μεταξύ των εξεταζόμενων παραμέτρων.



Παράμετροι		Απαιτούμενα Στοιχεία	Πηγές
1	Σενάρια	Σενάρια διείσδυσης για το σύνολο των αυτόματων οχημάτων	Δοκιμές
		Ποσοστά αυτόματων οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού	Δοκιμές
		Ποσοστά οχημάτων ανά επίπεδο αυτοματισμού την υπάρχουσα κατάσταση	Εταιρεία Kelley Blue Book των Η.Π.Α. (θυγατρικός οργανισμός: Cox Automotive)
2	Οχηματο-χιλιόμετρα	Μέσος αριθμός διανυόμενων χιλιομέτρων (km) ανά όχημα	Παραδοχή
		Ποσοστό αύξησης km ανά όχημα για τα επίπεδα 4 και 5	Harper et al., 2016
		Πρόβλεψη συνολικού αριθμού οχημάτων	SMMT (Society of Motor Manufacturers and Traders)
3	Καύσιμα	Μέση τιμή μονάδας καυσίμου (€/lt ή kWh)	UK Department for Business, Energy and Industrial Strategy (Statista 2018), Eurostat (Statista 2018)
		Μέση κατανάλωση (lt ή kWh/100km) ανά επίπεδο αυτοματισμού	NRC, 2013a, Folsom, 2012 (RAND-Autonomous Vehicle Technology Guide-2016)
		Ποσοστό οχημάτων ανά είδος καταναλισκόμενου καυσίμου	SMMT (Society of Motor Manufacturers and Traders)
4	Ρύποι	tn CO ₂ / lt καυσίμου	http://ecoscore.be
		Τιμή μονάδας CO ₂ (€/ tn CO ₂)	European Commission, Environmental Guide
5	Χρόνος ταξιδιού	Τιμή ανά ώρα εργασίας και μη	CE / INFRAS / ISI (2008a) και HEATCO (2006a) (External Costs of Transport in Europe, 2008)
		Ποσοστό οχημάτων που κινείται για εργασία και μη	Παραδοχή
		Μέση ταχύτητα ανά επίπεδο αυτοματισμού	Επίπεδα αυτοματισμού 0, 1 και 2 → Υπουργείο Μεταφορών της Μεγάλης Βρετανίας
		Συντελεστής καθυστερήσεων ανά επίπεδο αυτοματισμού	Δοκιμές
		Μείωση αξίας χρόνου (%) ανά επίπεδο αυτοματισμού	Δοκιμές

	Παράμετροι	Απαιτούμενα Στοιχεία	Πηγές
6	Υποδομές	Κόστος λειτουργίας-συντήρησης (€/ vkm) για αυτόματα και μη οχήματα	Μη αυτόματα οχήματα → Ricardo-AEA, Update of the Handbook on External Costs of Transport, 2014
		Ποσοστό του κόστους συντήρησης των υποδομων επί του κόστους κατασκευής	Παραδοχή
7	Ατυχήματα	Ποσοστό μείωσης ατυχημάτων για κάθε επίπεδο αυτοματισμού	Δοκιμές
		Κόστος ανά νεκρό, βαριά και ελαφρά τραυματία	Ricardo-AEA, Update of the Handbook on External Costs of Transport, 2014
		Αριθμός θυμάτων ανά έτος με βάση τα πιο πρόσφατα στοιχεία	Reported road casualties in Great Britain: quarterly provisional estimates year ending June 2018
		Πρόβλεψη αριθμού νεκρών σε τροχαία	Ιστοσελίδα της SafeFITS (Πρόβλεψη πληθυσμού από το IMF, Statista 2019)
8	Αγορά οχημάτων	Κόστος για αγορά ενός καινούργιου οχήματος για κάθε επίπεδο αυτοματισμού	Εταιρεία Roland Berger (2016)
		Πρόβλεψη αριθμού καινούργιων οχημάτων που αγοράζονται ανά έτος	SMMT (Society of Motor Manufacturers and Traders)
		Ποσοστό ετήσιας μείωσης του κόστους	Παραδοχή
9	Ασφάλιση οχημάτων	Μέσο ετήσιο κόστος ασφάλισης για επίπεδα 0, 1, 2	Παραδοχή
		Ποσοστό μείωσης του κόστους για τα επίπεδα αυτοματισμού 3, 4 και 5	Παραδοχή

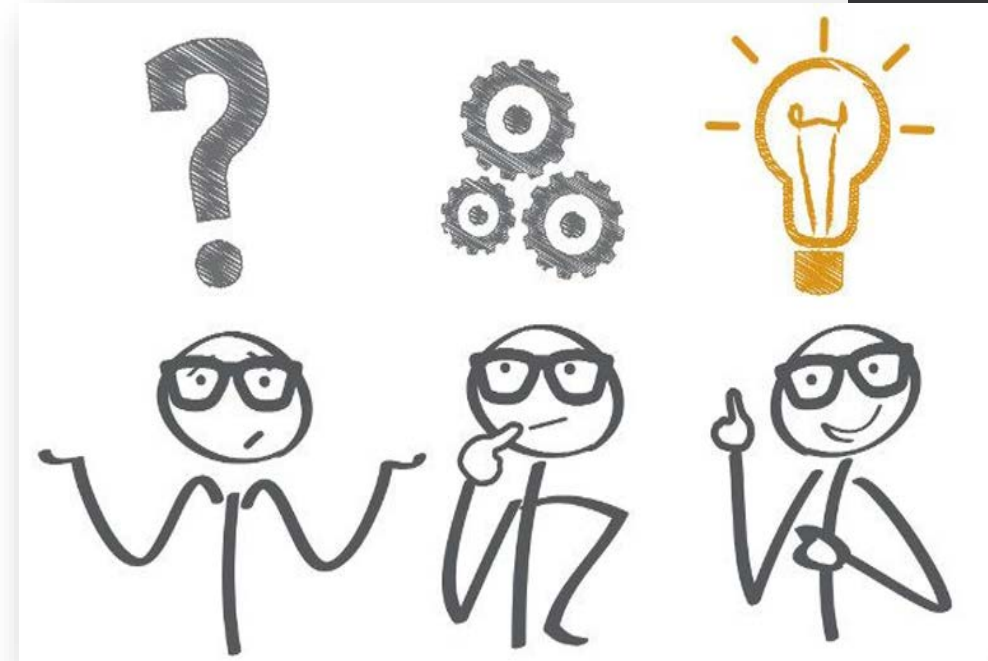
Συμπεράσματα (1/2)

- Το μοντέλο που αναπτύχθηκε μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμο για την **υποστήριξη των αποφάσεων** για την εκτίμηση των επιπτώσεων των αυτόματων οχημάτων.
- Αναμένονται σημαντικά **οφέλη** από την διείσδυση των αυτόματων οχημάτων.
- Υπάρχει **αβεβαιότητα** σχετικά με την τάξη μεγέθους των επιπτώσεων τους.
- Σημαντικότερη επιρροή στο οικονομικό κόστος των μετακινήσεων εκτιμήθηκε ο **χρόνος ταξιδιού** (Ελλάδα → Μειωμένη τιμή ανά ώρα σε σχέση με το Ηνωμένο Βασίλειο, διαφορετικά αποτελέσματα).



Συμπεράσματα (2/2)

- **Αποκλίσεις αποτελεσμάτων** κατά την εφαρμογή του από χώρα σε χώρα.
- Η ποσοστιαία επιρροή των παραμέτρων στο οικονομικό αποτέλεσμα διαφέρει από την **ποιοτική σημασία** τους (Παραγόμενοι ρύποι, ατυχήματα).
- **Παράμετροι αύξησης συνολικού κόστους** → το κόστος αγοράς των αυτόματων οχημάτων, το κόστος των υποδομών και η αύξηση της ζήτησης.
- Αβεβαιότητα σχετικά με το **μεταβατικό στάδιο**.
- Ανάδειξη σημασίας του **ρυθμού διεύθυνσης** των αυτόματων οχημάτων.



Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

- Προσπάθεια περιορισμού των παραδοχών.
- Έλεγχος αλληλεπίδρασης των εξεταζόμενων παραμέτρων.
- Διερεύνηση συνδυασμένης επιρροής των εξεταζόμενων παραμέτρων.
- Εμπλουτισμός του μοντέλου με νέες μεταβλητές.
- Εφαρμογή μοντέλου και σε άλλες χώρες - σύγκριση κοινωνικο - οικονομικών αποτελεσμάτων.
- Έλεγχος κορεσμού της ζήτησης από τα αυτόματα οχήματα.



Ευχαριστώ για την προσοχή σας





Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

Ανάπτυξη Μοντέλου Εκτίμησης Κοινωνικο-Οικονομικών Επιπτώσεων Αυτόματων Οχημάτων

Επαμεινώνδας Θεοδωράκος

Επιβλέπων: Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Αθήνα, Οκτώβριος 2019