



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

Ενότητα 2: Causal-loop-diagramming (CLD) για
Δυναμικά Συστήματα Μεταφορών

Διδάσκων: Γεώργιος Στεφανίδης

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Σκοποί ενότητας

Σκοπός της ενότητας αυτής είναι η αναλυτική παρουσίαση και ερμηνεία των Causality Diagrams εστιάζοντας σε Δυναμικά Συστήματα Μεταφορών.



Ερμηνεία Συστήματος

Όλα τα πράγματα γύρω μας είναι μέρος ενός συνολικού συστήματος και όλα αυτά τα στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους. Οι σχέσεις που τα συνδέουν είναι ροές πληροφοριών ή/και ροές υλικών. Οι ροές και τα στοιχεία αποτελούν μαζί ένα σύστημα.



Συστήματα Μεταφορών

Εδώ ασχολούμαστε με τα Συστήματα Μεταφορών. Είναι γνωστό, ότι η μεταφορά εμπορευμάτων και επιβατών αποτελούν ουσιαστικό μέρος για να εξασφαλιστεί η λειτουργία των κοινωνιών. Αλλά είναι επίσης σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε ότι οι μεταφορές δεν μπορούν να αυξάνονται συνεχώς χωρίς κανένα όριο. Πρέπει να υπάρχει αυτοσταθεροποιητική ιδιότητα σε κάθε σύστημα για την πρόληψη της απεριόριστης ανάπτυξης του.



Δομή Συστήματος [1/2]

Για να κατανοήσουμε τη συμπεριφορά ενός συστήματος σε βάθος χρόνου και να είμαστε σε θέση να διαχειριζόμαστε ένα δυναμικό σύστημα, όπως ένα προηγμένο σύστημα μεταφορών, είναι αναγκαίο να προσδιορίσουμε τα κύρια συστατικά του και τις σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος μεταξύ τους.



Δομή Συστήματος [2/2]

Με άλλα λόγια είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τη δομή του συστήματος που μας ενδιαφέρει για την εκτίμηση της συμπεριφοράς του συναρτήσεως του χρόνου. Για να κατανοήσουμε καλύτερα τη πολύπλοκη συμπεριφορά ενός συστήματος χρησιμοποιούμε κατάλληλα εργαλεία.



Causal-Loop-Diagramming (CLD)

Ένα από τα καλύτερα και αποτελεσματικότερα εργαλεία για την περιγραφή της συνολικής συμπεριφοράς ενός συστήματος είναι η τεχνική causal-loop-diagramming (CLD).

Πρόκειται για διαγράμματα κλειστών βρόγχων που απαρτίζονται από όλα τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος, αλλά και τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ τους, δηλαδή τις σχέσεις αιτίας-αποτελέσματος που τα συνδέει.



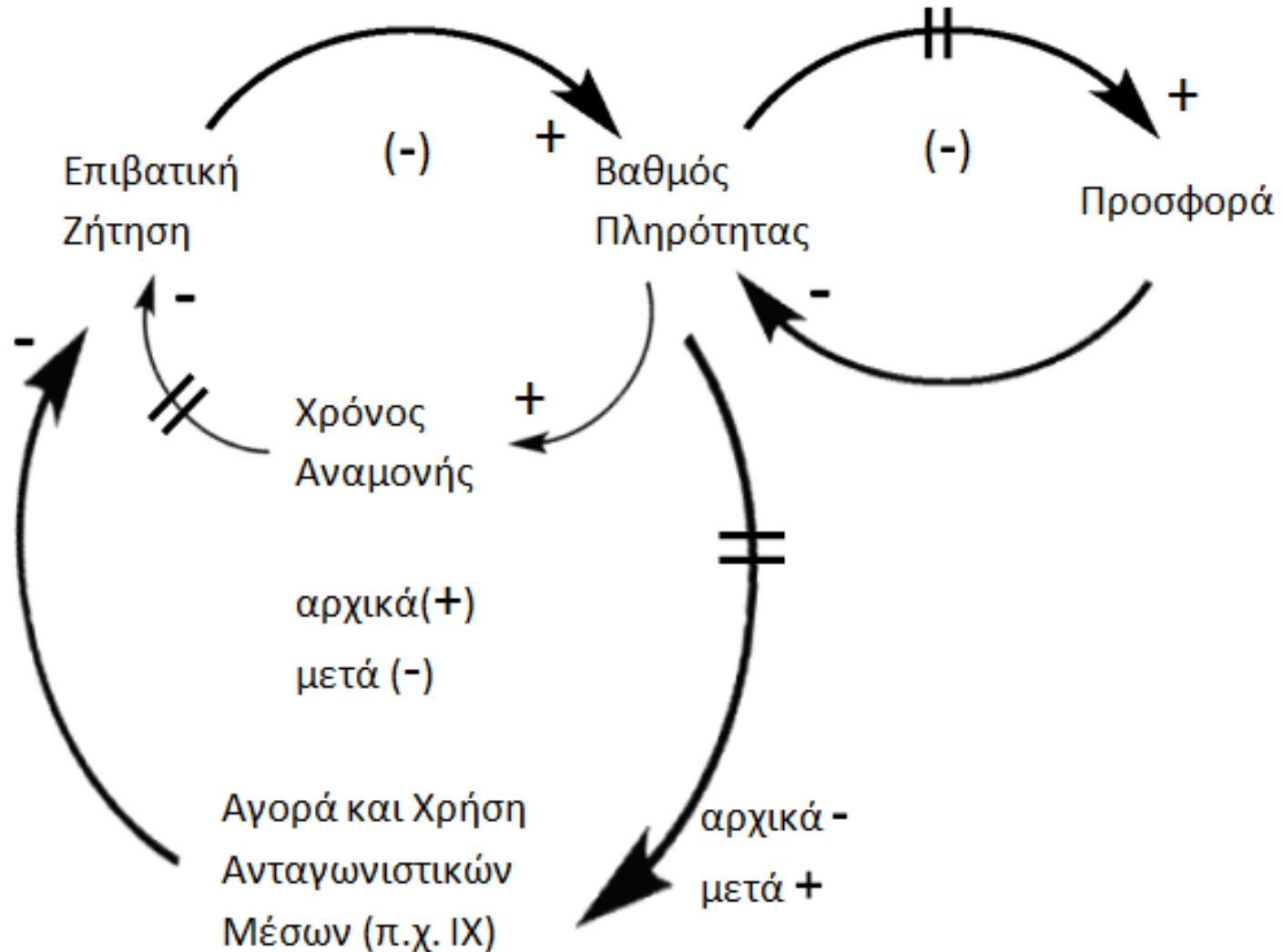
Παραδείγματα CLD

Για να καταλάβουμε τι ακριβώς απεικονίζουν και τι πληροφορίες μας δίνουν τα διαγράμματα αυτά θα εξετάσουμε στη συνέχεια μερικά παραδείγματα.

Συγκεκριμένα θα ασχοληθούμε με παραδείγματα της επιβατικής κίνησης $D(t)$ και του βαθμού πληρότητας $D/S(t)$ σε νέες λεωφορειακές γραμμές, όπου η συμπεριφορά μεταβάλλεται με το χρόνο.



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – Περιγραφή Διαγράμματος

Σε αυτό το διάγραμμα, οι **σύντομες περιγραφικές φράσεις** αποτελούν τα στοιχεία που συνθέτουν το σύστημα μας και τα **βέλη** αντιπροσωπεύουν τις αιτιώδεις επιδράσεις μεταξύ αυτών των στοιχείων.

Για παράδειγμα, εξετάζοντας το αριστερό τμήμα του διαγράμματος, συναντάμε την «Επιβατική ζήτηση», που επηρεάζεται άμεσα από το «Χρόνο αναμονής» και την «Αγορά και χρήση ανταγωνιστικού μέσου».



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – Σχέση Αιτίου-Αποτελέσματος [1/3]

Αυτό το διάγραμμα παρουσιάζει σχέσεις που είναι δύσκολο να περιγραφούν λεκτικά επειδή η κανονική γλώσσα παρουσιάζει αλληλεξαρτήσεις σε γραμμικές αλυσίδες αιτίου και αποτελέσματος, ενώ το διάγραμμα δείχνει ότι στο ίδιο το σύστημα, υπάρχουν κυκλικές αλυσίδες αιτίου και αποτελέσματος.



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – Σχέση Αιτίου-Αποτελέσματος [2/3]

Εξετάστε, για παράδειγμα, ξανά την «Επιβατική ζήτηση». Θα δείτε από το διάγραμμα ότι η «Επιβατική κίνηση» επηρεάζει το «Βαθμό πληρότητας», ο οποίος με τη σειρά του επηρεάζει το «Χρόνο αναμονής». Μέχρι αυτό το σημείο οι σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος που συνδέουν τα τρία στοιχεία είναι γραμμικές.



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – Σχέση Αιτίου-Αποτελέσματος [3/3]

Όμως, αν συνεχίσουμε στο διάγραμμα, παρατηρούμε ότι ο «Χρόνος αναμονής» επηρεάζει την «Επιβατική ζήτηση». Έτσι δημιουργείται ένας κλειστός βρόχος, με την «Επιβατική κίνηση» να επηρεάζει έμμεσα τον εαυτό της μέσω των άλλων στοιχείων του βρόχου. Τα διαγράμματα αυτά είναι πιο κατανοητά από μια λεκτική περιγραφή του συστήματος και των σχέσεων του.



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – *Βρόχος Ανάδρασης*

Όταν ένα στοιχείο του συστήματος επηρεάζει έμμεσα τον εαυτό του με τον τρόπο που κάνει η «Επιβατική κίνηση», όπως περιγράφηκε προηγουμένως, το τμήμα του συστήματος που εμπλέκεται ονομάζεται βρόχος ανάδρασης (feedback loop) ή ένας βρόχος αιτιότητας (causal loop).

Πιο τυπικά, ένα βρόχος ανάδρασης είναι μια κλειστή ακολουθία των αιτίων και των αποτελεσμάτων, η οποία είναι, μια κλειστή διαδρομή δράσης και πληροφοριών (Richardson και Pugh 1981).



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – Ερμηνεία των συμβόλων «+» και «-»

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το παράδειγμα μας αφορά την επιβατική κίνηση $D(t)$ και το βαθμό πληρότητας $D/S(t)$ που μεταβάλλονται με το χρόνο. Εκτός όμως από τα στοιχεία και τα βέλη παρατηρούμε επίσης σύμβολα (+ ή -) σε κάθε σύνδεσμο.

Η σημασία των συμβόλων αυτών αναλύεται στις ακόλουθες διαφάνειες.



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – *Ερμηνεία του συμβόλου «+»*

Μια σύνδεση αιτιότητας (causal link) από ένα στοιχείο A σε ένα άλλο στοιχείο B είναι **θετική** (δηλαδή +), εάν μια μεταβολή στο στοιχείο A, δημιουργεί αλλαγή στην ίδια κατεύθυνση στο στοιχείο B.

Για παράδειγμα, αν γίνει αύξηση στο στοιχείο A, αυτό να προκαλεί αύξηση και στο στοιχείο B.



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – *Ερμηνεία του συμβόλου «-»*

Μια σύνδεση αιτιότητας (causal link) από ένα στοιχείο A σε ένα άλλο στοιχείο B είναι **αρνητική** (δηλαδή -), εάν μια μεταβολή στο στοιχείο A, δημιουργεί αλλαγή σε αντίθετη κατεύθυνση στο στοιχείο B.

Για παράδειγμα, αν γίνει αύξηση στο στοιχείο A, αυτό να προκαλεί μείωση στο στοιχείο B.



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – Θετική σύνδεσης αιτιότητας [1/2]

Ξεκινώντας πάλι από την «Επιβατική ζήτηση», βλέπουμε πως αν αυτή αυξηθεί, τότε και ο «Βαθμός πληρότητας» αυξάνεται ταυτόχρονα.

Ως εκ τούτου, το πρόσημο στη σύνδεση από την «Επιβατική ζήτηση» προς το «Βαθμό πληρότητας» είναι θετικό +.



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – Θετική σύνδεσης αιτιότητας [2/2]

Ομοίως, αν ο «Βαθμός πληρότητας» αυξηθεί, τότε και ο «Χρόνος αναμονής» θα αυξηθεί ταυτόχρονα, οπότε το πρόσημο για τη σχέση μεταξύ αυτών των δύο στοιχείων είναι θετικό +.



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – *Αρνητική σύνδεσης αιτιότητας*

Στη συνέχεια όμως, παρατηρούμε ότι αν αυξηθεί ο «Χρόνος αναμονής», μειώνεται η «Επιβατική ζήτηση» και γι' αυτό το πρόσημο για τη σχέση του είναι αρνητικό - . Επομένως, έχουν αρνητική σύνδεση αιτιότητας.



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – *Σταθερά του χρόνου*

Η προηγούμενη μετάβαση δεν πραγματοποιείται ταυτόχρονα, αλλά χρειάζεται η πάροδος ενός χρονικού διαστήματος, ώσπου ο χρόνος αναμονής να μεγαλώσει αρκετά που οι επιβάτες να μην είναι διατεθειμένοι να περιμένουν.

Αυτή η πάροδος του χρόνου συμβολίζεται με τη **σταθερά του χρόνου (//)** που εισάγεται πάνω στο σύνδεσμο που ενώνει τα στοιχεία.



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – *Πρόσημο βρόχου*

Εκτός από το πρόσημο σε κάθε σύνδεσμο, κάθε πλήρης βρόχος χαρακτηρίζεται επίσης από ένα πρόσημο, θετικό ή αρνητικό. Αν το πρόσημο είναι θετικό ή αρνητικό, βρίσκεται εύκολα από το πλήθος των αρνητικών προσημων που υπάρχουν πάνω από όλες τις συνδέσεις που απαρτίζουν το βρόχο.



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – *Θετικό πρόσημο βρόχου*

Ο βρόχος ανάδρασης χαρακτηρίζεται θετικός και υποδεικνύεται από ένα σύμβολο + μέσα σε παρένθεση, αν περιέχει άρτιο αριθμό αρνητικών σχέσεων αιτίου και αιτιατού.



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – *Αρνητικό πρόσημο βρόχου*

Ο βρόχος ανάδρασης χαρακτηρίζεται αρνητικός και υποδεικνύεται από ένα σύμβολο - μέσα σε παρένθεση, αν περιέχει περιττό αριθμό αρνητικών σχέσεων αιτίου και αιτιατού.



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – Σταθερότητα συστήματος

Με λίγα λόγια το πρόσημο ενός πλήρους βρόχου είναι το αλγεβρικό γινόμενο των πρόσημων των συνδέσεων των στοιχείων του και με αυτό δηλώνεται η **σταθερότητα ή μη** του συστήματος.

Σταθερά συστήματα είναι τα αρνητικά και αυτά επιθυμούμε στην πράξη.



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – Ανάλυση συγκεκριμένου βρόχου [1/3]

Δεδομένου ότι στο βρόχο που εξετάζουμε υπάρχει μόνο ένα αρνητικό πρόσημο (αυτό που συνδέει το «Χρόνο αναμονής» με την «Επιβατική ζήτηση»), ο βρόχος μας είναι αρνητικός, και άρα το τμήμα αυτό του συστήματος μας είναι σταθερό.



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – Ανάλυση συγκεκριμένου βρόχου [2/3]

Αν παρατηρήσουμε το βρόχο που αποτελείται πάλι από την «Επιβατική ζήτηση» και το «Βαθμό πληρότητας», αλλά τώρα και την «Αγορά και χρήση ανταγωνιστικού μέσου», θα παρατηρήσουμε ότι το πρόσημο της σχέσης των δύο τελευταίων αρχικά ήταν αρνητικό.

Δηλαδή όσο αυξανόταν ο βαθμός πληρότητας, αλλά ήταν ακόμα σε μικρά ποσοστά, δεν αυξανόταν η αγορά ανταγωνιστικού μέσου από τους επιβάτες.



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 1 – Ανάλυση συγκεκριμένου βρόχου [3/3]

Δεδομένου αυτού, το πρόσημο όλου του βρόχου ήταν θετικό (+) και το σύστημα δεν πήγαινε προς την εξισορρόπηση, αλλά την ανεξέλεγκτη αύξηση.

Αργότερα, όταν ο «Βαθμός πληρότητας» αυξάνεται σε πολύ μεγάλα ποσοστά, τότε αρχίζει να αυξάνεται και η «Αγορά και χρήση ανταγωνιστικού μέσου», οπότε η σχέση τους γίνεται θετική, το πρόσημο όλου του βρόχου γίνεται αρνητικό (-) και άρα σταθερό.

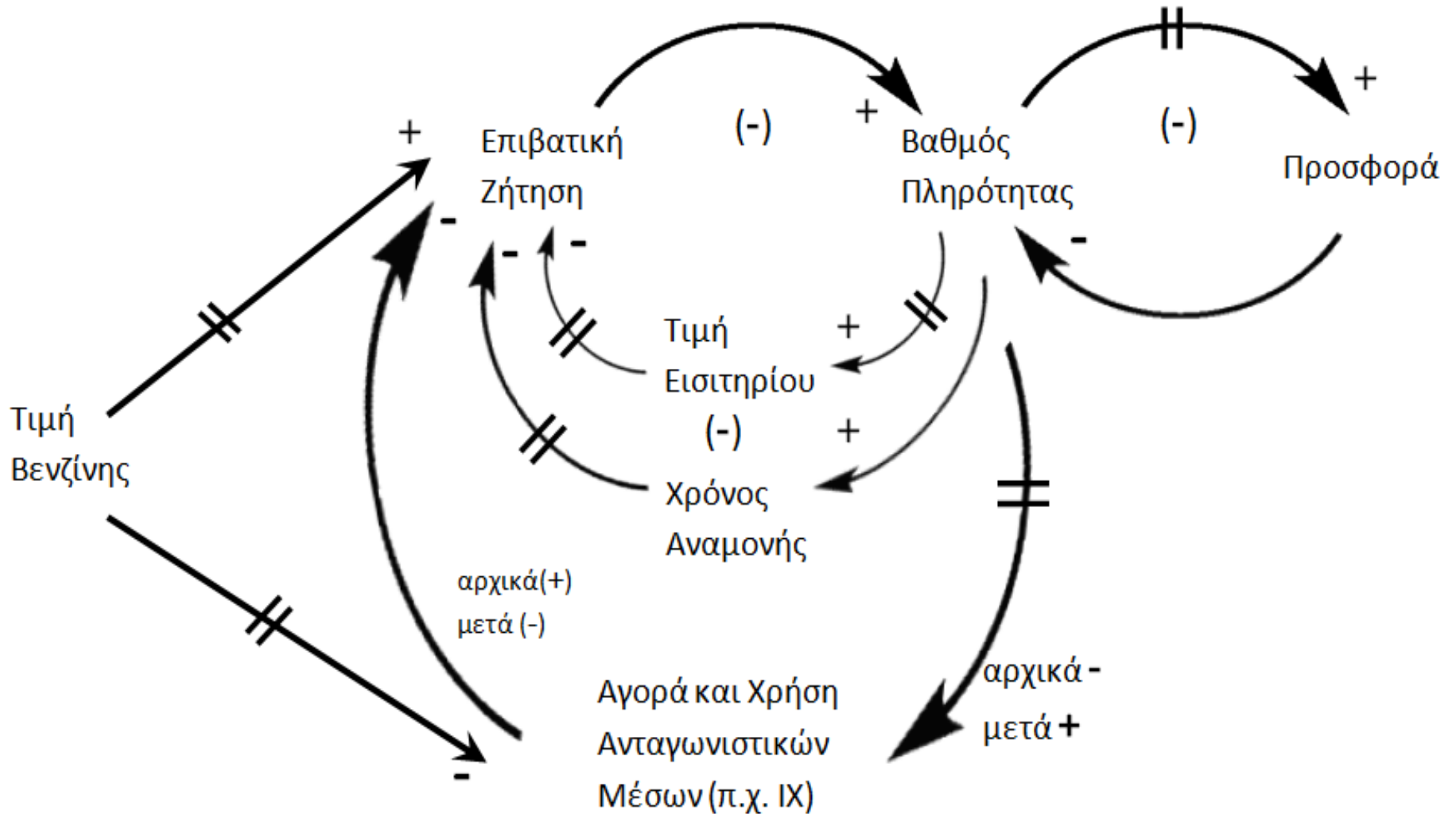


Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 2

Στη συνέχεια ακολουθεί και ένα δεύτερο δυναμικό μοντέλο στο οποίο παρουσιάζεται το ίδιο σύστημα με προηγουμένως, εμπλουτισμένο με **δύο νέα** στοιχεία, την «Τιμή εισιτηρίου» και την «Τιμή της βενζίνας».



Παράδειγμα: Δυναμικό Μοντέλο 2



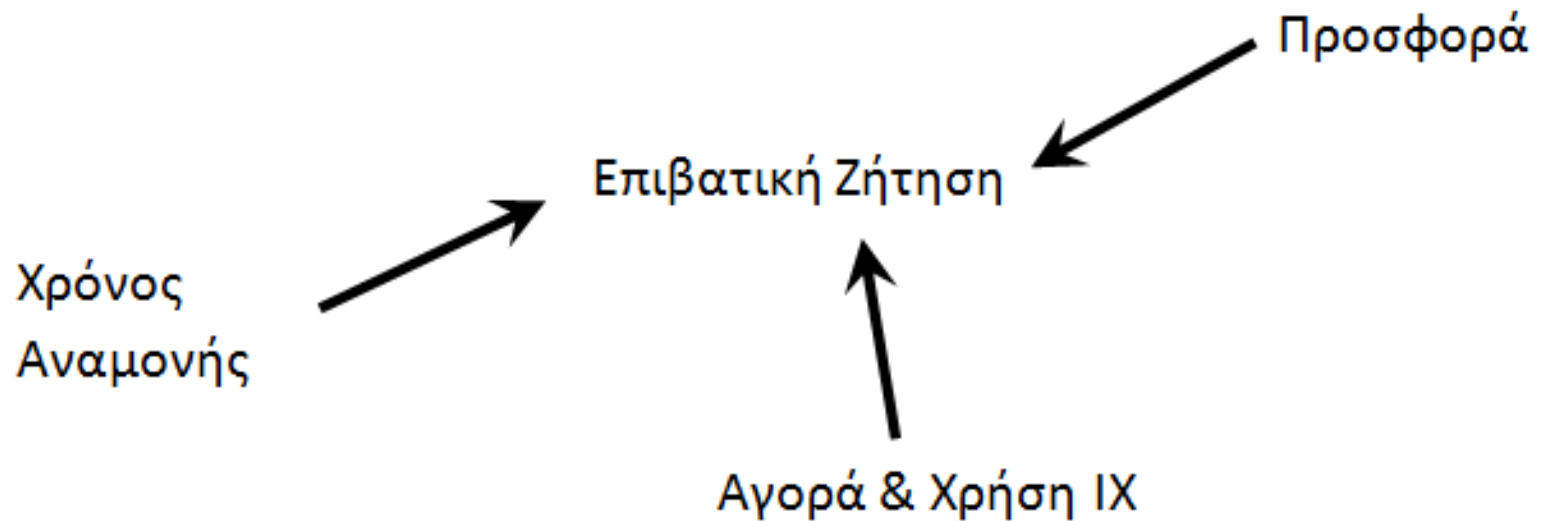
Οικονομετρικά Μοντέλα

Στις ακόλουθες διαφάνειες παρουσιάζονται δύο οικονομετρικά μοντέλα που αντιστοιχούν στα προηγούμενα παραδείγματα.

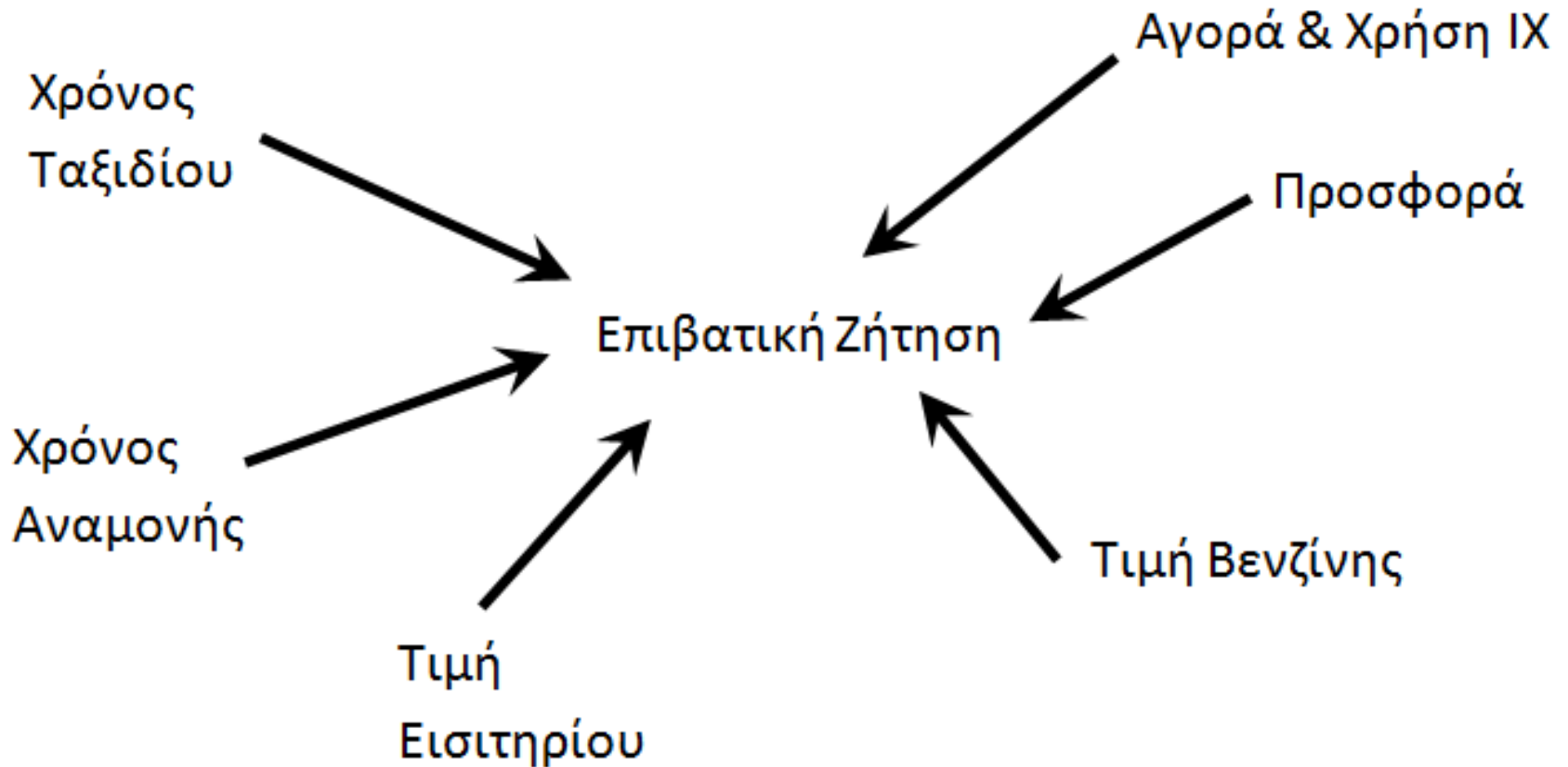
Το πρώτο αναφέρεται στο 1^ο Δυναμικό μοντέλο και το δεύτερο στο 2^ο Δυναμικό μοντέλο.



Οικονομετρικό Μοντέλο 1



Οικονομετρικό Μοντέλο 2



Συμπεράσματα [1/2]

Τα συστήματα μεταφορών είναι πολύ σημαντικά για τη λειτουργία των κοινωνιών, αλλά ταυτόχρονα έχουν σοβαρές οικονομικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις.

Για το λόγο αυτό πρέπει να εξασφαλίζονται αρνητικοί βρόχοι ανάδρασης (negative feedback loops) στα causality diagrams που περιγράψαμε προηγουμένως, ώστε να διακρίνονται από αυτοσταθεροποιητική συμπεριφορά.



Συμπεράσματα [2/2]

Όταν υπάρχουν συστήματα χωρίς τέτοια συμπεριφορά πρέπει τα συστήματα αυτά να ανιχνεύονται και να προβαίνουμε σε αλλαγές που θα οδηγήσουν στην σταθεροποίηση τους.

Αξίζει να σημειωθεί ότι χωρίς τη γνώση της συμπεριφοράς ενός συστήματος, η ανεξέλεγκτη επιτάχυνση είναι επικίνδυνη.



Άσκηση

Προσθέστε στα παραπάνω δυναμικά παραδείγματα άλλα στοιχεία του συστήματος που θα σκεφτείτε, όπως το κόστος μετακίνησης.

Σχεδιάστε τις σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος μεταξύ των στοιχείων που θα προσθέσετε και υπολογίστε το πρόσημο των επιμέρους βρόχων καθώς και του συνολικού συστήματος.

Είναι το σύστημά σας σταθερό;



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0 και δεν έχουν προηγηθεί άλλες εκδόσεις.



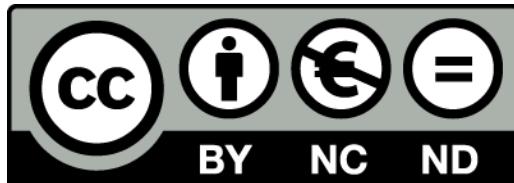
Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Διδάσκων: Γεώργιος Στεφανίδης. «Προηγμένα Συστήματα Μεταφορών. Ενότητα 2: Causal-loop-diagramming (CLD) για Δυναμικά Συστήματα Μεταφορών». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/CIV1699>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση, Μη παράγωγα έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Σύμφωνα με αυτήν την άδεια ο δικαιούχος σας δίνει το δικαίωμα να:

Μοιραστείτε — αντιγράψετε και αναδιανέμετε το υλικό

Υπό τους ακόλουθους όρους:

Αναφορά Δημιουργού — Θα πρέπει να καταχωρίσετε αναφορά στο δημιουργό, με σύνδεσμο της άδειας

Μη εμπορική χρήση — Δεν μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το υλικό για εμπορικούς σκοπούς

Μη παράγωγα έργα — Μπορείτε να αναδιανείμετε το υλικό ως έχει, χωρίς να προβείτε σε αλλαγές (ανάμιξη, τροποποίηση)

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

