ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ & ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

Π. ΒΥΘΟΥΛΚΑΣ†
ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: Β. ΨΑΡΑΚΗ-ΚΑΛΟΥΠΤΣΙΔΗ
ΑΝΑΠΛ. ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ 2015

13/12/2015

Οι σημειώσεις αυτές προετοιμάστηκαν από τον αείμνηστο συνάδελφο και φίλο ΠΕΤΡΟ ΒΥΘΟΥΛΚΑ, Επ. Καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ λίγο πριν από τον άδικο θάνατό του.

Προορίζονταν για τους φοιτητές του ΕΜΠ και είχαν ως στόχο την εισαγωγή τους στα μαθηματικά μοντέλα και τις εφαρμογές τους στο Σχεδιασμό Μεταφορικών Συστημάτων.

Η σαφήνεια του περιεχομένου, η περιγραφή των βασικών εννοιών και η διάρθρωση της ύλης συνθέτουν ένα μοναδικό συνεκτικό πλαίσιο το οποίο επιτρέπει την κατανόηση της ύλης από τον αναγνώστη χωρίς την απαίτηση εκτενών και εξειδικευμένων γνώσεων.

Ο Πέτρος ήταν εξαίρετος επιστήμονας που διακρίνονταν για την προσήλωσή του στα ακαδημαϊκά ιδεώδη, την αφοσίωση στη διδασκαλία και την έρευνα, το εξαίρετο ήθος, τη σεμνότητα και την αγάπη για τους φοιτητές μας.

Το ΕΜΠ και η επιστημονική κοινότητα έχασε πρόωρα ένα νέο συνάδελφο που είχε αναμφισβήτητα πολλά να προσφέρει.

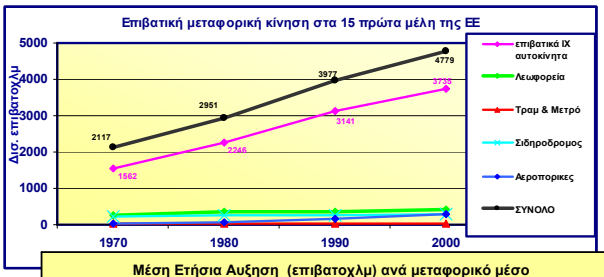
Θα τον θυμόμαστε πάντα.

Β.Ψαράκη-Καλουπτσίδη

Αν. Καθηγήτρια ΕΜΠ

1 εισαγωγή στον σχεδιασμό των μεταφορών

Η ανάπτυξη των Μεταφορών στην Ε.Ε.



Μέση Ετήσια Αυξηση (επιβατοχλμ) ανά μεταφορικό μέσο

	επιβατικά ΙΧ αυτοκίνητα	Λεωφορεία	Τραμ & Μετρό	Σιδηρ/μος	Αεροπ/ικες	ΣΥΝΟΛΟ
1970 - 1980	3,70%	2,61%	0,29%	1,25%	8,41%	3,38%
1980 - 1990	3,41%	0,59%	1,84%	0,78%	7,81%	3,03%
1990 - 2000	1,75%	1,06%	0,91%	1,27%	6,11%	1,85%

EUROPEAN UNION ENERGY & TRANSPORT STATISTICS 2003
European Commission Directorate-General For Energy and Transport

Εισαγωγή στον Σχεδιασμό των Μεταφορών

- Βασικές έννοιες και αρχές του Σχεδιασμού
- Η σημασία των κυκλοφοριακών προβλέψεων
- Η Διαδικασία του Σχεδιασμού των Μεταφορών
- Βασικές αρχές προτυποποίησης συστημάτων
- Κλασσική προσέγγιση προτυποποίησης των μεταφορικών συστημάτων – το μοντέλο των 4 βημάτων

Η εξέλιξη του μεριδίου αγοράς των Μεταφορικών Μέσων στην Ε.Ε.

Καταμερισμός της επιβατικής κίνησης (επιβατοχλμ) στα μεταφορικά μέσά

	επιβατικά ΙΧ αυτοκίνητα	Λεωφορεία	Τραμ & Μετρό	Σιδηρ/μος	Αεροπ/ικες	ΣΥΝΟΛΟ
1970	74%	13%	2%	10%	2%	100%
1980	76%	12%	1%	8%	3%	100%
1990	79%	9%	1%	7%	4%	100%
2000	78%	9%	1%	6%	6%	100%

EUROPEAN UNION ENERGY & TRANSPORT STATISTICS 2003
European Commission Directorate-General For Energy and Transport

- Η ανάγκη για μετακίνηση είναι αποτέλεσμα της διασποράς των χρήσεων γης στον χώρο.
- Οι μετακινήσεις κοστίζουν (χρόνος, χρήματα, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ατυχήματα)
- Η συγκέντρωση της ζήτησης για μετακίνηση κατά την διάρκεια χρονικών περιόδων περιορισμένης διάρκειας έχει σαν αποτέλεσμα η ζήτηση να υπερβαίνει την χωρητικότητα του μεταφορικού συστήματος. Αυτό έχει σαν συνέπεια την περαιτέρω αύξηση του κόστους μετακίνησης.
- Τα έργα μεταφορών απαιτούν μεγάλες επενδύσεις

αλλά

ή ταχεία, αποτελεσματική και φθηνή μετακίνηση μπορεί να αυξήσει την ανταγωνιστικότητα, και την κοινωνική συνοχή

Η ραγδαία αύξηση της κινητικότητας έχει οδηγήσει σε σημαντικά προβλήματα τόσο στα αστικά όσο και στα υπεραστικά μεταφορικά δίκτυα

Προβλήματα του τομέα των μεταφορών

EUROPEAN UNION ENERGY & TRANSPORT STATISTICS 2003
European Commission Directorate-General For Energy and Transport - Στοιχεία αφορούν τα 15 πρώτα μέλη της ΕΕ

1. **Συμφόρηση στους οδικούς άξονες, σιδηροδρομικά δίκτυα, αστικά δίκτυα μεταφορών και λιμάνια**
   - καθημερινά μποτιλιαρίσματα αφορούν το 10% (7.500 χλμ) των κεντρικών οδικών αξόνων (αυτοκινητόδρομων)
   - 16.000 χλμ (20%) του σιδηροδρομικού δικτύου έχουν χαρακτηρισθεί ως σημεία συμφόρησης
   - 30% των πτήσεων σε 16 από τα σπουδαιότερα Α/Δ έχει καθυστέρηση μεγαλύτερη από 15 λεπτά.
   - Αύξηση της κατανάλωση καυσίμων λόγω των καθυστερήσεων κατά 1,9 δισ Λίτρα ~ 6% της ετήσιας κατανάλωσης
   - με τους σημερινούς ρυθμούς προβλέπεται ότι το 2010, το κόστος της κυκλοφοριακής συμφόρησης θα αυξηθεί κατά 142% και θα ανέρχεται σε EUR 80 εκ. ~ 1% του ΑΕΠ της ΕΕ.
2. **Επιβλαβείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και την δημόσια υγεία, ατυχήματα**
   - 28% του συνόλου των εκπομπών CO_2 στην Ε.Ε. προέρχεται από τον τομέα των μεταφορών *εκ των οποίων το 85% εκπέμπεται από τις οδικές μεταφορές*
   - 40.000 θάνατοι από οδικά ατυχήματα ετησίως στην Ε.Ε.

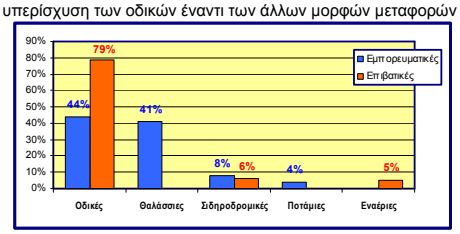
Προβλήματα του τομέα των μεταφορών

Η ΛΕΥΚΗ ΒΙΒΛΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ, Ε.Ε. (Transport White Paper)

3. Άνιση ανάπτυξη των διαφορετικών μεταφορικών μέσων

- μερικά μέσα προσαρμόσθηκαν στις ανάγκες της σύγχρονης οικονομίας
- αλλά όλα τα εξωγενή κόστη δεν περιλαμβάνονται στο κόστος μετακίνησης

υπερίσχυση των οδικών έναντι των άλλων μορφών μεταφορών



Σχεδιασμός Μεταφορών: Ιστορική αναδρομή

Η ιστορία του σχεδιασμού των μεταφορών είναι άμεσα συνδεμένη με την ιστορία του αυτοκινήτου.

1920s Με την αύξηση της ιδιοκτησίας του ΙΧ, κυκλοφοριακά προβλήματα εμφανίζονται για πρώτη φορά στις ΗΠΑ

1930s Διερεύνηση δυνατότητας κατασκευής αστικών αυτοκινητόδρομων για την επίλυση των κυκλοφοριακών προβλημάτων

Κυκλοφοριακές μετρήσεις και έρευνες Προέλευσης – Προορισμού διεξάγονται καθ΄ υπόδειξη του **BPR**. Προβολές στο μέλλον χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των μελλοντικών αναγκών.

η ανάγκη για συστηματική ανάλυση του σχεδιασμού των μεταφορών

- **Η ζήτηση για μετακίνηση συνεχώς αυξάνεται**
- **Η ανεκτικότητα/αποδοχή της κυκλοφοριακής συμφόρησης και του χαμηλού επίπεδου εξυπηρέτησης μειώνεται** ☹

Ο Τομέας των μεταφορών :

- **Κύριος παράγοντας της σύγχρονης οικονομίας**
- **επηρεάζει ανταγωνιστικότητα και κοινωνική συνοχή**
- **Παρέχει 10 εκ θέσεις εργασίας στην ΕΕ**
- **Παράγει ~ 10% ΑΕΠ της ΕΕ που αντιστοιχεί σε ~ 1 τρισ. EURO**
- **Το κόστος υποδομής και τεχνολογίας είναι σημαντικό**

Η λύση δεν μπορεί να είναι απλά η κατασκευή νέας υποδομής

Τα μεταφορικά συστήματα πρέπει να βελτιστοποιηθούν και να εξυπηρετήσουν την απαίτηση για αειφόρο ανάπτυξη

Ανάγκη για μια συστηματική θεώρηση και ανάλυση των προβλημάτων και των εναλλακτικών λύσεων

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

Σχεδιασμός Μεταφορών: Ιστορική αναδρομή

1940s Ραγδαία αύξηση της κυκλοφορίας σε συνδυασμό με την επιταχυνόμενη ανάπτυξη των προαστίων οδήγησε στην ανάγκη για μια συστηματική προσέγγιση στα θέματα συγκοινωνιακού σχεδιασμού

1950s Αυτή η συστηματική θεώρηση, ουσιαστικά εμφανίζεται στα μέσα της δεκαετίας 1950, στο Σικάγο, με την

Συγκοινωνιακή μελέτη της ευρύτερης περιοχής του Σικάγο CATS (Chicago Area Transportation Study),

που έθεσε το υπόδειγμα (standards) για τις μελλοντικές μελέτες συγκοινωνιακού σχεδιασμού

Μερικά από τα ερωτήματα που αναλύει ο συγκοινωνιολόγος μηχανικός :

- Ποιες επενδύσεις στον τομέα των μεταφορών θα βελτιώσουν την μελλοντική κινητικότητα στην περιοχή ?
- Πού είναι πιθανόν να εμφανισθεί κυκλοφοριακή συμφόρηση ?
- Πως θα επηρεασθούν τα μελλοντικά επίπεδα κυκλοφοριακών φόρτων από διάφορα σενάρια ανάπτυξης και χρήσεων γης ?
- Πόσοι μετακινούμενοι θα χρησιμοποιήσουν μέσα μαζικής μεταφοράς και πόσοι ΙΧ αυτοκίνητο για το ταξίδι προς και από την εργασία ?

Η συγκοινωνιακή μελέτη της ευρύτερης περιοχής του Σικάγο - CATS

- Κόστος : $3,5 εκ.
- Διάρκεια : 7 χρόνια
- Δυναμικό : 368 (1956, έτος μέγιστης δραστηριότητας)

- βασίσθηκε σε μελέτες Προέλευσης – Προορισμού
- χρησιμοποίησε μαθηματικά μοντέλα για τον υπολογισμό της βέλτιστης θέσης των αυτοκινητόδρομων
- Υπολόγισε την κατανομή την κυκλοφορία στους αυτοκινητόδρομους
- Εξέτασε την αποτελεσματικότητα εναλλακτικών σχεδίων

Σκοπός του σχεδιασμού μεταφορών

Να προωθήσει την ευημερία μέσω αύξησης της παραγωγικότητας

Αύξηση της παραγωγικότητας επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της αρχής της γραμμής συναρμολόγησης σε ένα εργοστάσιο.

Το μεταφορικό σύστημα αποτελεί την *«γραμμή συναρμολόγησης της κοινωνίας και των δραστηριοτήτων της στον αστικό χώρο».*

ακολουθώντας το υπόδειγμα της CATS (συγκοινωνιακή μελέτη του Σικάγο)

Βασικές ελλείψεις του σχεδιασμού μεταφορών όπως εφαρμόσθηκε στην CATS

αποτυχία να προβλεφθούν ζητήματα που είναι σημαντικά στην διαδικασία του συγκοινωνιακού σχεδιασμού.

- περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- έμφαση στη χρήση/διευκόλυνση των μετακινήσεων με ΙΧ αυτοκίνητο
- ενεργειακή κρίση
- βιώσιμη ανάπτυξη

Στόχοι του σχεδιασμού μεταφορών

CATS (συγκοινωνιακή μελέτη του Σικάγο)

- Να εξασφαλίσει (σχεδιάσει) ένα μεταφορικό σύστημα που θα ελαττώσει τα προβλήματα μετακίνησης υπό τους περιορισμούς της ασφάλειας, οικονομίας και επιθυμητής ανάπτυξης
- Αύξηση της ταχύτητας
- Βελτίωση της ασφάλειας
- Μείωση του λειτουργικού κόστους
- Οικονομία στην κατασκευή νέων έργων
- Ελαχιστοποίηση διατάραξης
- Προώθηση καλύτερης ανάπτυξης της γης

Σχεδιασμός Μεταφορών

Δραστηριότητες με αντικείμενο:

- Συλλογή πληροφοριών που αφορούν την απόδοση του μεταφορικού συστήματος
- Προσδιορισμός του υφιστάμενου και πρόβλεψη του μελλοντικού επίπεδου εξυπηρέτησης
- Προσδιορισμός λύσεων

Επίκεντρο:

Εξυπηρέτηση της υφιστάμενης και της μελλοντικής ζήτησης για μετακίνηση

Διαδικασία του σχεδιασμού μεταφορών

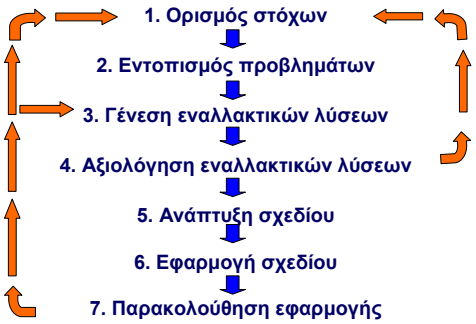
Ιστορικά ακολούθησε το μοντέλο του ορθολογικού σχεδιασμού

Η εναλλακτική θεώρηση του συγκοινωνιακού σχεδιασμού

Ο συγκοινωνιακός σχεδιασμός θα πρέπει να διερευνά την αποτελεσματικότητα των αλλαγών σχεδιασμού των χρήσεων γης και της πυκνότητας των κοινωνικοοικονομικών μεγεθών, αντί απλά να ανταποκρίνεται στις τρέχουσες τάσεις προεκτεινόμενες στο μέλλον .

Ο σχεδιασμός μεταφορών είναι άμεσα συνδεμένος με τον σχεδιασμό των χρήσεων γης, και αντίστροφα. Η εναλλακτική αυτή θεώρηση του σχεδιασμού μεταφορών όπως διατυπώθηκε από την ομάδα μελέτης της CATS, αποτελεί και την ορθή και αποτελεσματική προσέγγιση στο πρόβλημα του σχεδιασμού. Όμως, αυτός ο τρόπος ανάλυσης δεν υιοθετήθηκε διότι θεωρήθηκε ότι έρχεται σε αντίθεση με τις επιθυμίες των πολιτών.

η Διαδικασία του Ορθολογικού Σχεδιασμού



η Διαδικασία του Ορθολογικού Σχεδιασμού και η σημασία των κυκλοφοριακών προβλέψεων

2. Εντοπισμός προβλημάτων
   - Χαρακτηριστικά υφιστάμενων προβλημάτων
   - Πρόβλεψη μελλοντικών προβλημάτων και χαρακτηριστικά τους
3. Γένεση εναλλακτικών λύσεων
   - Λειτουργικά χαρακτηριστικά εναλλακτικών έργων (και σε μελλοντικούς χρονικούς ορίζοντες)
   - Γεωμετρικά χαρακτηριστικά
4. Αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων
   - Κόστος χρήσης (χρόνος, λειτουργικό, διόδιο/κόμιστρο)
   - Κοινωνικο-οικονομικές, Περιβαλλοντικές επιπτώσεις
   - Κόστος κατασκευής
   - Κόστος ατυχημάτων
6. Εφαρμογή σχεδίου
   - Δημόσια έργα
   - Νέες μέθοδοι χρηματοδότησης - Έργα Παραχώρησης

ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ **της Ζήτησης για Μετακίνηση, των Κυκλοφοριακών Ροών, και του Επίπεδου Εξυπηρέτησης**

Εναλλακτικές μέθοδοι αντιμετώπισης συγκοινωνιακών προβλημάτων

1) **μέτρα Ανάπτυξης της υποδομής** : αύξηση της κυκλοφοριακής ικανότητας του συστήματος
   - κατασκευή νέων έργων υποδομής
   - αναβάθμιση υπαρχόντων έργων υποδομής

→ *Καθορισμός διατομής – αριθμός λωρίδων*
→ *Σχεδιασμός ανισόπεδων κόμβων*

Προβλέψεις κυκλοφοριακών φόρτων

Εντοπισμός προβλημάτων

- Υφιστάμενα προβλήματα
  - παρατηρήσεις
  - μετρήσεις κυκλοφορικών μεγεθών
- Μελλοντικά προβλήματα
  - εντοπισμός της θέσης στο συγκοινωνιακό δίκτυο
  - χαρακτηριστικά (φόρτοι, καθυστερήσεις, διάρκεια, συχνότητα)

Προβλέψεις κυκλοφοριακών φόρτων και Επίπεδου εξυπηρέτησης

Εναλλακτικές μέθοδοι αντιμετώπισης συγκοινωνιακών προβλημάτων

2) **μέτρα Διαχείρισης της ζήτησης :** μείωση της ζήτησης ή κατανομή της σε μη κυκλοφοριακά φορτισμένες χρονικές περιόδους
   - περιορισμοί της κυκλοφορίας
   - Χρέωση για χρήση του οδικού δικτύου
   - Ελαστικά και κλιμακωτά ωράρια εργασίας

→ *Ορισμός περιοχής περιορισμών κυκλοφορίας*
→ *Ύψος, διάρκεια και περιοχή χρέωσης*
→ *Διαμόρφωση ωραρίων*

Προβλέψεις κυκλοφοριακών φόρτων και Επίπεδου εξυπηρέτησης

Γένεση και αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων

Η πλέον αποτελεσματική μέθοδος για αειφόρο ανάπτυξη

Ανάπτυξη και προώθηση των μέσων μαζικής μεταφοράς

Άλλες εναλλακτικές μέθοδοι αντιμετώπισης συγκοινωνιακών προβλημάτων περιλαμβάνουν:

1) μέτρα Ανάπτυξης της υποδομής
2) μέτρα Διαχείρισης της ζήτησης
3) μέτρα Μεγιστοποίησης της χρησιμοποίησης της υφιστάμενης χωρητικότητας του συστήματος

Εναλλακτικές μέθοδοι αντιμετώπισης συγκοινωνιακών προβλημάτων

3) **μέτρα Μεγιστοποίησης της χρησιμοποίησης της υφιστάμενης χωρητικότητας του συστήματος**
   - Ελαχιστοποίηση των παραγόντων που μειώνουν την κυκλοφοριακή ικανότητα (έλεγχος/αστυνόμευση στάσης και στάθμευσης επί της οδού)
   - Κυκλοφοριακές ρυθμίσεις
   - Προηγμένα συστήματα σηματοδότησης
   - Συστήματα πληροφόρησης και καθοδήγησης οδηγών

→ *Περιοχή επιβολής μέτρων και επιπτώσεις*
→ *Είδη ρυθμίσεων (μονοδρομήσεις, αριστερές στροφές κλπ)*
→ *Τύπος πληροφορίας*

Προβλέψεις κυκλοφοριακών φόρτων και Επίπεδου εξυπηρέτησης

Εφαρμογή προτεινόμενου σχεδίου

Νέες μέθοδοι χρηματοδότησης έργων υποδομής

- Συμβάσεις Παραχώρησης:
  Κατασκευή – Λειτουργία – Μεταβίβαση στο ΚτΕ
- Χρηματοδότηση
  - Ίδια κεφάλαια αναδόχου
  - Κρατική συμμετοχή
  - Δάνεια από εμπορικές τράπεζες

συμπέρασμα

Οι προβλέψεις των κυκλοφοριακών μεγεθών αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα της διαδικασίας του συγκοινωνιακού σχεδιασμού.

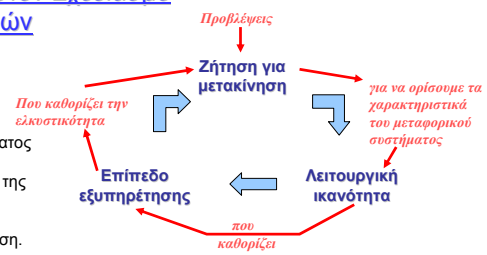
- Εντοπισμό μελλοντικών προβλημάτων
- Γένεση εναλλακτικών λύσεων,
- Αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων
- Χρηματοδότηση με ιδιωτικά κεφάλαια

Μέθοδοι πρόβλεψης της Ζήτησης

Κατασκευή έργων υποδομής μεταφορών με την μέθοδο παραχώρησης

Η ανάλυση της Προσφοράς και Ζήτησης στον Σχεδιασμό των Μεταφορών

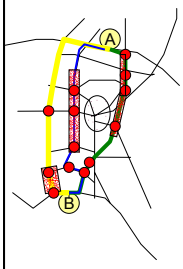
Η ανάλυση ενός μεταφορικού συστήματος θα πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη της αλληλεπίδραση της προσφοράς και της ζήτησης για μετακίνηση.



Τα μεταφορικά συστήματα έχουν περιορισμένη χωρητικότητα, επομένως, η ζήτηση για μετακίνηση και η λειτουργική τους ικανότητα καθορίζουν το επίπεδο εξυπηρέτησης που προσφέρουν. Καθώς η ζήτηση αυξάνεται, το επίπεδο εξυπηρέτησης μειώνεται. Καθώς όμως το επίπεδο εξυπηρέτησης μειώνεται, μειώνεται και η ζήτηση για μετακίνηση. Η μείωση της ζήτησης έχει όμως σαν αποτέλεσμα την βελτίωση του επιπέδου εξυπηρέτησης που οδηγεί σε αύξηση της ελκυστικότητας του κ.ο.κ.

Επομένως, για τον σωστό σχεδιασμό ενός μεταφορικού συστήματος, απαιτείται ανάλυση της δυναμικής αλληλεπίδρασης της προσφοράς και της ζήτησης για μετακίνηση.

Ένα απλό παράδειγμα



1. Σκοπός: Βελτίωση Κυκλοφοριακών Συνθηκών
   Στόχος: A -> B σε < 25΄
2. Εντοπισμός προβλημάτων: σοβαρή κυκλοφοριακή συμφόρηση σε τμήματα των 3 εναλλακτικών διαδρομών
3. Εναλλακτικές λύσεις: Αύξηση κυκλοφοριακής ικανότητας – διαπλάτυνση , κατασκευή ανισόπεδων κόμβων
4. Αξιολόγηση λύσεων:

Λύση	1	2	3
Χρόνος διαδρομής	23΄	28΄	24΄
Κόστος κατασκευής	38 M	35M	40 M

Χαρακτηριστικά της ζήτησης για μετακίνηση

Η ζήτηση για μετακίνηση :

- Χαρακτηρίζεται από υψηλή διαφοροποίηση
- Είναι απορρέουσα όχι αυτοσκοπός
- Χωρική διάσταση
- Δυναμικό μέγεθος - χρονική διάσταση

Χαρακτηριστικά της ζήτησης για μετακίνηση

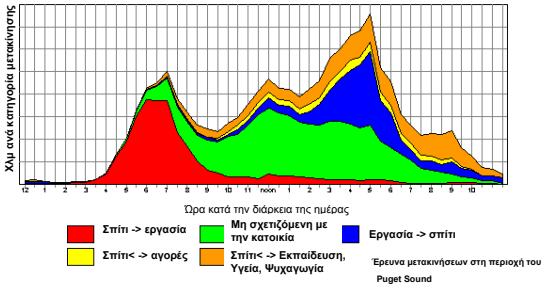
➔ Υψηλή διαφοροποίηση:

Η ζήτηση για μετακίνηση διαφοροποιείται σημαντικά

- κατά την διάρκεια της ημέρας
- ανά ημέρα της εβδομάδας
- ανάλογα με το σκοπό του ταξιδιού
- ανάλογα με τον τύπο φορτίου (εμπορευματικές μεταφορές)
- ανάλογα με σημασία της ταχύτητας και της συχνότητας, για τον μετακινούμενο

➔ Απορρέουσα όχι αυτοσκοπός:

Η ζήτηση για μετακίνηση απορρέει από τη επιθυμία των ανθρώπων να ταξιδεύσουν για να ικανοποιήσουν μια ανάγκη τους (εργασία, ψυχαγωγία, εκπαίδευση κλπ) στον προορισμό τους.



Χαρακτηριστικά της ζήτησης για μετακίνηση

➔ Χωρική διάσταση της ζήτησης:

- Η ζήτηση για μετακίνηση είναι αποτέλεσμα της κατανομής διαφορετικών δραστηριοτήτων στον χώρο.
- Α ανάλυση της χωρικής διάστασης της ζήτησης γίνεται με τον διαχωρισμό της περιοχής μελέτης σε ζώνες, και την κωδικοποίηση των μεταφορικών δικτύων.
- Η χωρική κατανομή της ζήτησης μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα συντονισμού που έχουν επιπτώσεις στην ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης (πχ. Η ζήτηση για ταξί σε μια περιοχή της πόλης μπορεί να μην ικανοποιείται, ενώ σε άλλη περιοχή να υπάρχει υπερπροσφορά).

Χαρακτηριστικά της προσφοράς

➔ Είναι υπηρεσία :

Η προσφορά για μετακίνηση είναι υπηρεσία, όχι αγαθό

- δεν μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί όταν υπάρχει υψηλότερη ζήτηση
- αν δεν χρησιμοποιηθεί όταν είναι διαθέσιμη, τότε το όφελος χάνεται

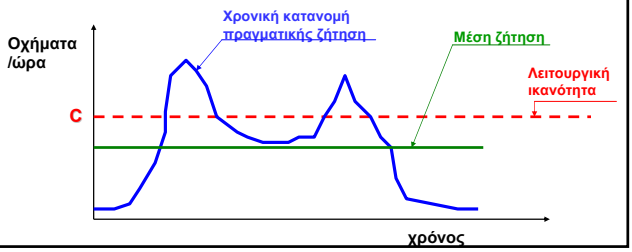
Για την αποδοτική χρησιμοποίηση των πόρων απαιτείται όσον το δυνατόν ακριβέστερη εκτίμηση της ζήτησης, έτσι ώστε η προσφερόμενη υπηρεσία να σχεδιασθεί για να καλύψει τις συγκεκριμένες ανάγκες της ζήτησης για μετακίνηση

Χαρακτηριστικά της ζήτησης για μετακίνηση

➔ Χρονική διάσταση :

Υψηλή συγκέντρωση της ζήτησης κατά την διάρκεια συγκεκριμένων χρονικών περιόδων (ώρα αιχμής, εποχιακή αιχμή).

- το μεταφορικό σύστημα είναι δυνατόν να εξυπηρετήσει την μέση ζήτηση για μετακίνηση αλλά μπορεί να οδηγήσει σε χαοτικές καταστάσεις κατά την περίοδο αιχμής



Χαρακτηριστικά της προσφοράς

➔ Τα χαρακτηριστικά του μεταφορικού συστήματος:

- Το μεταφορικό σύστημα αποτελείται από
  - υποδομή
  - οχήματα
- Συνήθως η υποδομή και τα οχήματα ανήκουν σε /διαχειρίζονται από διαφορετικούς φορείς / εταιρείες / φυσικά πρόσωπα. Σε ποιο σύστημα δεν είναι ?
- Υποδομή είναι μοναδοποιημένη
  - δεν μπορούμε να κατασκευάσουμε ½ διάδρομο προσγείωσης σε ένα Α/Δ ή ½ σιδηροδρομικό σταθμό – μπορούμε όμως να αναπτύξουμε την υποδομή σε φάσεις έτσι ώστε να εναρμονίζεται με την αύξηση της ζήτησης.
- Οι επενδύσεις στην υποδομή μεταφορών έχουν μεγάλο χρόνο υλοποίησης
  - ένα μεγάλο έργο υποδομής μπορεί να χρειασθεί 5 – 10 χρόνια από την φάση σχεδιασμού μέχρι την ολοκλήρωση της κατασκευής.

Χαρακτηριστικά της προσφοράς

➔ Τα χαρακτηριστικά του μεταφορικού συστήματος:

- Οι επενδύσεις σε υποδομή μεταφορών συχνά αποτελούν σημαντική πολιτική απόφαση
  - συμβάλουν στην ανάπτυξη, βελτιώνουν το επίπεδο εξυπηρέτησης και επομένως ωφελούν το κοινωνικό σύνολο
  - απαλλοτριώσεις, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οδηγούν σε αντιδράσεις
  - αποτελεσματική κατανομή των πόρων αυξάνει τα οφέλη

  επομένως απαιτείται σωστός σχεδιασμός, ανάλυση και έρευνα
- Ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά της προσφοράς είναι η κυκλοφοριακή συμφόρηση
  - εμφανίζεται όταν η ζήτηση προσεγγίζει ή υπερβαίνει την χωρητικότητα/κυκλοφοριακή ικανότητα του συστήματος, με αποτέλεσμα ο χρόνος διαδρομής να είναι πολύ υψηλότερος από τον μέσο χρόνο σε συνθήκες χαμηλής ζήτησης.

–

Ο ρόλος του σχεδιασμού των μεταφορών

Να εξασφαλίσει ότι:

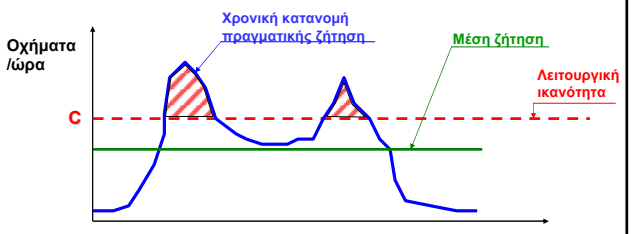
η ζήτηση για μεταφορά προσώπων και αγαθών

- *με διαφορετικούς σκοπούς μετακίνησης*
- *κατά την διάρκεια διαφορετικών χρονικών περιόδων*
- *χρησιμοποιώντας διαφορετικά μεταφορικά μέσα*

ικανοποιείται, δεδομένου ενός

μεταφορικού συστήματος *που έχει συγκεκριμένη χωρητικότητα/λειτουργική ικανότητα*

- **υποδομή**
- **σύστημα διαχείρισης**
- **μεταφορικά μέσα**



Η ισορροπία προσφοράς και ζήτησης

$$S = f(V,C,M) \qquad V = f(S,A)$$

S ταχύτητα (LOS επ. εξυπ.)
V φόρτοι του δικτύου
C λειτ. ικανότητα
M σύστημα διαχείρισης

A χωρική κατανομή των δραστηριοτήτων

$$C = f(E,M)$$

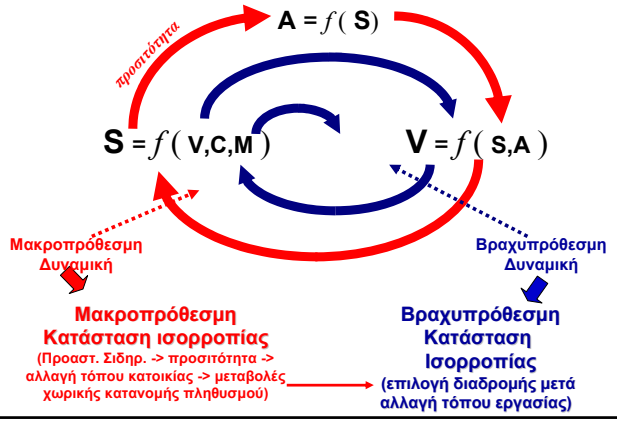
E επενδύσεις

Η αλληλεπίδραση προσφοράς και ζήτησης

➔ Ο ρόλος του σχεδιασμού των μεταφορών

➔ Δυναμική και καταστάσεις ισορροπίας

Η ισορροπία προσφοράς και ζήτησης



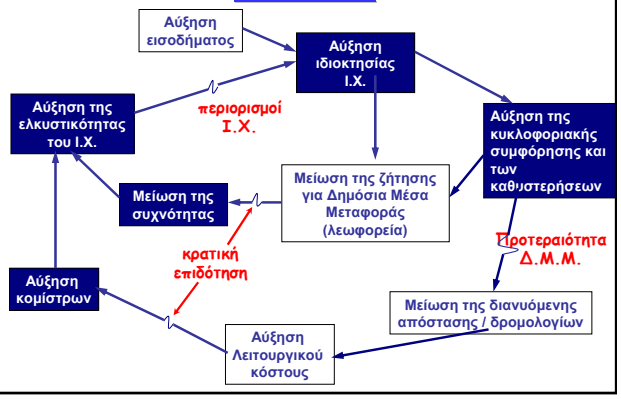
Το αντικείμενο του σχεδιασμού των μεταφορών

Να προβλέψει και να διαχειρισθεί την εξέλιξη των καταστάσεων ισορροπίας στον χρόνο, έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί το κοινωνικό όφελος

Σύνθετο πρόβλημα

Προτυποποίηση των καταστάσεων ισορροπίας συμβάλλει στην κατανόηση της διαδικασίας εξέλιξης του μεταφορικού συστήματος και βοηθά στην ανάπτυξη και εφαρμογή στρατηγικών Διαχείρισης **Μ**, και επενδυτικών προγραμμάτων **Ε**.

Ο φαύλος κύκλος των επιλογών μετακίνησης & ο ρόλος της Πολιτικής των Μεταφορών



Μια γραφική αναπαράσταση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν την ζήτηση και το επίπεδο εξυπηρέτησης είναι χρήσιμη για την κατανόηση του προβλήματος και την δυναμική του συστήματος που αναλύεται

Ένα παράδειγμα:

Ο φαύλος κύκλος των επιλογών μετακίνησης

οι επιπτώσεις των διαφορετικών, έργων (υποδομή, οργάνωση, διαχείριση), ρυθμίσεων, και κατευθύνσεων της πολιτικής των μεταφορών θα πρέπει να αξιολογούνται

Απαιτείται ποσοτική διερεύνηση

και επομένως

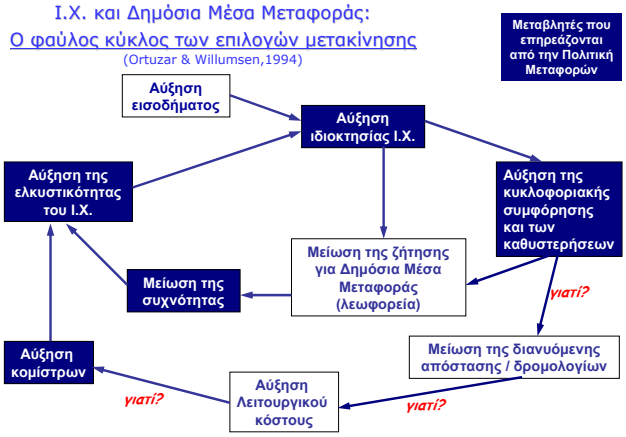
Μαθηματική προτυποποίηση των Μεταφορικών Συστημάτων

Μοντέλα (ή πρότυπα) Σχεδιασμού Μεταφορών

(ή Συγκοινωνιακού Σχεδιασμού)

Ι.Χ. και Δημόσια Μέσα Μεταφοράς: Ο φαύλος κύκλος των επιλογών μετακίνησης

(Ortuzar & Willumsen,1994)



Τι είναι τα συγκοινωνιακά μοντέλα και τι παραδοχές κάνουν ?

- Σειρά μαθηματικών σχέσεων που χρησιμοποιούνται για να **αναπαραστήσουν τις επιλογές που κάνουν οι μετακινούμενοι** όταν ταξιδεύουν
- Οι επιλογές των μετακινούμενων επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες όπως τα **προσωπικά χαρακτηριστικά** τους (ηλικία, εισόδημα, ιδιοκτησία ΙΧ), τα **χαρακτηριστικά της μετακίνησης** (σκοπός μετακίνησης, αριθμός μετακινούμενων μαζί), τα **χαρακτηριστικά των επιλογών** (προορισμός, διαδρομή, μέσο και χαρακτηριστικά τους)
- Οι μαθηματικές σχέσεις χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν την ανθρώπινη συμπεριφορά
- Βασίζονται σε υποθέσεις (συχνά απλουστευτικές) και **περιορίζονται από τα στοιχεία που είναι διαθέσιμα – έτος βάσης**
- **Η μορφή των μοντέλων καθορίζεται, και οι παράμετροι/συντελεστές τους υπολογίζονται, έτσι ώστε τα αποτελέσματα των μοντέλων να ταιριάζουν στα υφιστάμενα στοιχεία του έτους βάσης**

Τι είναι τα συγκοινωνιακά μοντέλα και τι παραδοχές κάνουν ?

- Η βασική παραδοχή που γίνεται ότι **οι σχέσεις που προσδιορίσθηκαν ισχύουν και παραμένουν σταθερές στο μέλλον.**
- Τα μοντέλα **υπολογίζουν προβλέψεις λαμβάνοντας υπόψη την εξέλιξη των παραγόντων/μεταβλητών** που περιλαμβάνουν (*π.χ. γένεση μετακινήσεων και εισόδημα*)
- **Εάν το μοντέλο δεν είναι ευαίσθητο** σε μια συγκεκριμένη πολιτική/πρόγραμμα ή χαρακτηριστικό του συστήματος **τότε δεν θα προβλέψει τις επιπτώσεις** της συγκεκριμένης πολιτικής/προγράμματος ή των μεταβολών των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών.

  (*αν στην ανάλυση επιλογής μέσου για υπεραστικές μετακινήσεις, δεν λαμβάνεται υπόψη η προσπελασιμότητα προς/από τους τερματικούς σταθμούς μέσων μαζικής μεταφοράς, τότε οι επιπτώσεις της μεταφοράς ενός σιδηροδρομικού σταθμού έξω από το κέντρο της πόλης, στο μερίδιο αγοράς του τρένου δεν υπολογίζονται*)

1. Ορισμός περιοχής μελέτης και καθορισμός εσωτερικών και εξωτερικών ζωνών

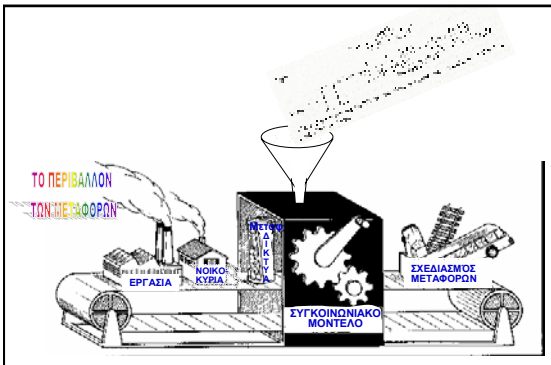
1. Ορισμός περιοχής μελέτης
2. Συλλογή στοιχείων
3. Ανάπτυξη Μαθηματικού Μοντέλου
4. Βαθμονόμηση Μοντέλου
5. Πρόβλεψη μεταβλητών σχεδιασμού
6. Εφαρμογή μοντέλου
7. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Περιοχή μελέτης: η περιοχή που επηρεάζεται από το έργο που μελετάται

- Για μελέτες στρατηγικού σχεδιασμού, θα πρέπει να περιλαμβάνει τα σημεία προέλευσης και προορισμού τής μεγάλης πλειοψηφίας των μετακινήσεων

- Σε μελέτες μικρών αστικών περιοχών και ή τοπικών έργων διαχείρισης κυκλοφορίας με μεγάλο ποσοστό διερχόμενης κυκλοφορίας, η περιοχή που αναλύεται θα πρέπει να έχει έκταση τέτοια ώστε αλλαγές των μετακινήσεων που συνεπάγονται το υπό μελέτη έργο να αναπαριστώνται από το μοντέλο

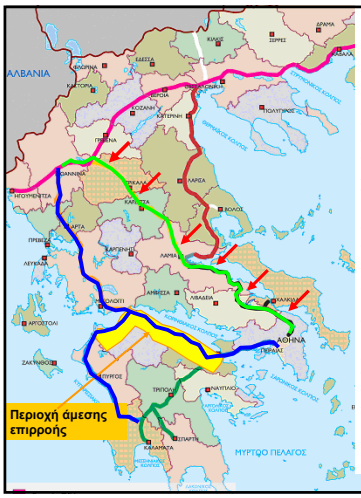
-



Η πλήρης κατανόηση της Διαδικασίας Ανάπτυξης των μοντέλων και της θεωρίας που χρησιμοποιούν

ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΓΙΑ

Γνωρίζουμε τις αδυναμίες τους, και επομένως να κατανοήσουμε τα αποτελέσματα που δίνουν και να ξέρουμε πώς να τα χρησιμοποιήσουμε



Παράδειγμα:

Πρόβλεψη κυκλοφοριακών φόρτων στον νέο αυτοκινητόδρομο Κόρινθος – Πάτρα.

Η περιοχή **άμεσης επιρροής** του έργου εκτείνεται γύρω από τον υπό μελέτη οδικό άξονα και περιλαμβάνει τους νομούς που διασχίζει. Στην περιοχή αυτή το ζωνικό σύστημα θα πρέπει να είναι αρκετά λεπτομερές έτσι ώστε να υπολογισθούν για παράδειγμα ο καταμερισμός των μετακινήσεων στον νέο αυτοκινητόδρομο και στην παλαιά εθνική, οι θέσεις των κόμβων, οι στρέφουσες κινήσεις κλπ.

Η περιοχή **έμμεσης επιρροής** περιλαμβάνει όλα τα σημεία που αποτελούν προέλευση ή/και προορισμό όλων των μετακινούμενων που προβλέπεται να χρησιμοποιήσουν τον υπό μελέτη άξονα ή άλλους άξονες ανταγωνιστικούς προς αυτόν. Για παράδειγμα οι μετακινήσεις από Αθήνα προς Ήπειρο μπορούν να γίνουν μέσω του νέου υπό μελέτη άξονα της Κεντρικής Ελλάδος, ή μέσω της Κορίνθου-Πατρών, γέφυρας Ρίου-Αντίριου και της Ιονίας Οδού (υπό μελέτη Δυτικός Άξονας).

Διαδικασία Ανάπτυξης Μοντέλων Συγκοινωνιακού Σχεδιασμού

1. Ορισμός περιοχής μελέτης και καθορισμός εσωτερικών και εξωτερικών ζωνών
2. Συλλογή στοιχείων
3. Ανάπτυξη Μαθηματικού Μοντέλου
4. Βαθμονόμηση Μοντέλου
5. Πρόβλεψη μεταβλητών σχεδιασμού
6. Εφαρμογή μοντέλου
7. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

1. Ορισμός περιοχής μελέτης και καθορισμός εσωτερικών και εξωτερικών ζωνών

Ζωνικό Σύστημα : Οι ζώνες είναι χωρικές ενότητες που χρησιμοποιούνται για να ενοποιήσουν τα πρωτογενή στοιχεία (πχ. Μετακινήσεις ανά σκοπό) έτσι ώστε να μπορούν εύκολα να αναλυθούν στα πλαίσια ανάπτυξης του συγκοινωνιακού μοντέλου.

- Θεωρητικά μεγαλύτερη ακρίβεια επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ένα λεπτομερές ζωνικό σύστημα. Αλλά αυξάνει το κόστος και μπορεί να οδηγήσει σε αστάθεια των αποτελέσματων

- Οι ζώνες θα πρέπει να είναι ομογενείς ως προς τις χρήσεις γης που περιλαμβάνουν

- Θα πρέπει να υπάρχει συμβατότητα με την διοικητική διαίρεση

- Το σφάλμα που οφείλεται στην παραδοχή ότι όλες οι μετακινήσεις προέρχονται η καταλήγουν στο κεντροειδές της ζώνης δεν είναι μεγάλο (πχ. Νομοί και έξοδοι Αυτοκινητόδρομου)

2. Συλλογή στοιχείων

Η αξιοπιστία του συγκοινωνιακού μοντέλου και των προβλέψεων εξαρτάται από την ποιότητα των στοιχείων που περιγράφουν την συμπεριφορά του συστήματος κάτω από ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών συνθηκών.

1. Ορισμός περιοχής μελέτης
2. Συλλογή στοιχείων
3. Ανάπτυξη Μαθηματικού Μοντέλου
4. Βαθμονόμηση Μοντέλου
5. Πρόβλεψη μεταβλητών σχεδιασμού
6. Εφαρμογή μοντέλου
7. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

- Παρατηρήσεις (π.χ. μετρήσεις κυκλοφοριακών, επιβατική κίνηση μέσων μαζικής μεταφοράς)
- Εθνικές έρευνες (απογραφή πληθυσμού, κατανάλωση νοικοκυριών),
- Έρευνες Μετακινήσεων (παρά την οδό (Π-Π), έρευνες νοικοκυριών – ημερολόγιο μετακινήσεων (travel diary),

Διερεύνηση της συμπεριφοράς των μετακινούμενων

Μηχανισμός
- γένεσης μετακινήσεων
- επιλογών που κάνουν οι μετακινούμενοι

- **έρευνες εκδηλωμένων προτιμήσεων**
- **έρευνες δεδηλωμένων προτιμήσεων**

Παράδειγμα πειράματος δεδηλωμένης προτίμησης (stated preferences experiment)

σενάριο 1	**Κλειστός αυτοκινητόδρομος 2+2** Χρόνος διαδρομής: 2 ώρες Κόστος διοδίου: € 13,00	**Σιδηρόδρομος Υψηλής Ταχύτητας** Χρόνος διαδρομής: 1 ώρα & 40 λεπτά Κόμιστρο: € 18,00
σενάριο 2	**Κλειστός αυτοκινητόδρομος 2+2** Χρόνος διαδρομής: 3 ώρες Κόστος διοδίου: € 15,00	**Σιδηρόδρομος Υψηλής Ταχύτητας** Χρόνος διαδρομής: 2 ώρες Κόμιστρο: € 25,00
σενάριο 3	**Κλειστός αυτοκινητόδρομος 2+2** Χρόνος διαδρομής: 3 ώρες Κόστος διοδίου: € 18,00	**Σιδηρόδρομος Υψηλής Ταχύτητας** Χρόνος διαδρομής: 1 ώρα & 40 λεπτά Κόμιστρο: € 32,00

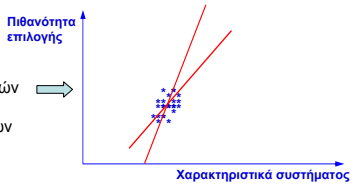
2. Συλλογή στοιχείων

- Στοιχεία εκδηλωμένων προτιμήσεων

Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας 1980 τα στοιχεία αυτά προέρχονταν από παρατηρήσεις των πραγματικών αποφάσεων και επιλογών που έκαναν οι μετακινούμενοι - δηλ. **στοιχεία εκδηλωμένων προτιμήσεων (revealed preferences data)**. Π.χ. *τι μεταφορικό μέσο επιλέγει ο μετακινούμενος ? ποια διαδρομή ακολουθεί ?*

Περιορισμοί

- Χαμηλή μεταβλητότητα των παρατηρούμενων χαρακτηριστικών δεν επιτρέπει τον προσδιορισμό συσχετίσεων, καθορισμό σχέσεων ⇒ Μεγαλύτερο Δείγμα - Υψηλό κόστος έρευνας αγοράς
- Πρόβλεψη επιλογής νέου μέσου / συστήματος με χαρακτηριστικά εντελώς διαφορετικά των υπαρχόντων συστημάτων



Τρένο υψηλής ταχύτητας

Αστικός αυτοκινητόδρομος με διόδιο

Μήπως ξεχάσαμε κάτι?

Πόσοι ταξιδεύουν μαζί ?

Κόστος με τρένο = αριθμός μετακινούμενων X κόμιστρο

Κόστος με αυτοκίνητο = σταθερό = Κόστος διοδίου

+ **Κόστος καυσίμου ?**

Ποιος είναι ο σκοπός ταξιδιού ?

πόσο ***ακριβός*** είναι ο χρόνος του μετακινούμενου?

ποιος πληρώνει για το ταξίδι??

Ποια είναι η αξιοπιστία του χρόνου διαδρομής ?

Τα τρένα έχουν καθυστερήσεις?

Ποια η συχνότητα των δρομολογίων του τρένου?

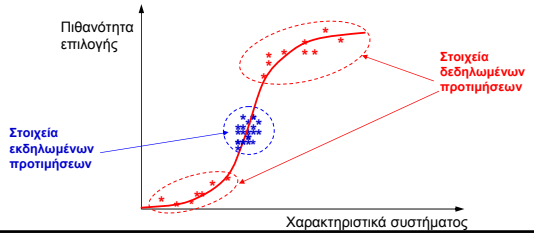
Πόσο εύκολο είναι να πάω στον σιδηροδρομικό σταθμό?

πόσο χρόνο παίρνει? Πόσο κοστίζει?

2. Συλλογή στοιχείων

- Έρευνες δεδηλωμένων προτιμήσεων

- Μέθοδος δίνει την δυνατότητα στον αναλυτή να πειραματιστεί με επιλογές που κάνουν οι μετακινούμένοι.
- Διαφορετικά υποθετικά σενάρια επιλογής παρουσιάζονται στον μετακινούμενο. Τα σενάρια καλύπτουν ένα **εκτενές φάσμα διαφορετικών καταστάσεων** του συστήματος και τιμών των χαρακτηριστικών του, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη **μεταβλητότητα για την εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου**



3. Ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου

- Προσδιορισμός του μοντέλου

1. Ορισμός περιοχής μελέτης
2. Συλλογή στοιχείων
3. Ανάπτυξη Μαθηματικού Μοντέλου
4. Βαθμονόμηση Μοντέλου
5. Πρόβλεψη μεταβλητών σχεδιασμού
6. Εφαρμογή μοντέλου
7. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια

- ➔ προσδιορισμός της Δομής του μοντέλου
- ➔ προσδιορισμός των Συναρτησιακών σχέσεων
- ➔ προσδιορισμός των μεταβλητών

3. Ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου

- **Προσδιορισμός του μοντέλου**

➔ **προσδιορισμός της Δομής του μοντέλου:**

Απλά μοντέλα ?	ή	Σύνθετα μοντέλα ?
- ντετερμινιστικά		- πιθανοκρατικά/στοχαστικά
- στατικά		- δυναμικά

➔ **προσδιορισμός των Συναρτησιακών σχέσεων:**

Γραμμικές μορφές ?	ή	Μη γραμμικές μορφές ?
- απλουστευτικά		- ακριβέστερη αναπαράσταση
- χαμηλές απαιτήσεις σε στοιχεία & τεχνικές επίλυσης		- υψηλές απαιτήσεις σε στοιχεία & τεχνικές επίλυσης

➔ **προσδιορισμός των μεταβλητών:**

- ποιες μεταβλητές θα χρησιμοποιηθούν
- με ποια μορφή θα εισαχθούν στο μοντέλο π.χ. κόστος & εισόδημα ή κόστος/εισόδημα

3. Ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου

- **Προσδιορισμός του μοντέλου**

παράδειγμα χρήσης δυναμικών μοντέλων στην πρόβλεψη της ιδιοκτησίας Ι.Χ.

Τα στατικά μοντέλα θεωρούν μια σταθερή σχέση μεταξύ ιδιοκτησίας ΙΧ και εισοδήματος:

καθώς το εισόδημα αυξάνεται η ιδιοκτησίας ΙΧ αυτοκινήτου αυξάνεται

⬇

όταν το εισόδημα μειώνεται θα πρέπει να μειώνεται και η ιδιοκτησία ΙΧ με τον ίδιο ρυθμό

Στην πραγματικότητα όμως ο ρυθμός μείωσης είναι πολύ χαμηλότερος από τον ρυθμό αύξησης.

Οι μετακινούμενοι δεν αλλάζουν τις επιλογές τους εύκολα – οι συνήθειες που έχουν, επηρεάζουν πολύ τις μελλοντικές τους επιλογές

3. Ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου

- **Προσδιορισμός του μοντέλου**

παράδειγμα χρήσης στοχαστικών μοντέλων στο πρόβλημα επιλογής διαδρομής

Ντετερμινιστικά

Οι οδηγοί έχουν:

- *πλήρη γνώση των κυκλοφοριακών συνθηκών*
- *Οικονομικά ορθολογική συμπεριφορά*

Στοχαστικά

Οι οδηγοί έχουν:

- *ελλιπή γνώση των κυκλοφοριακών συνθηκών*
- *Ιδιαίτερες προτιμήσεις και περιορισμοί επιλογής που οδηγούν σε μη οικονομικά ορθολογική συμπεριφορά*
- *μεταβλητότητα του τρόπου αντίληψης των κυκλοφοριακών συνθηκών*

3. Ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου

- **Προσδιορισμός του μοντέλου – στατικά και δυναμικά μοντέλα**

Στατική Μορφή

$$Y = f(X, \theta)$$

Y : **Προβλέψεις επιλογών**
Επιλογή μέσου
Ιδιοκτησία ΙΧ

θ : **παράμετροι**
που προσδιορίζονται στο στάδιο της βαθμονόμησης

Δυναμική Μορφή

$$Y(t) = f(Y(t-1), X(t), \theta)$$

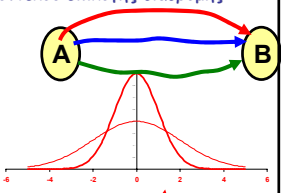
X : **Μεταβλητές μεταφορικού Συστήματος**
- Κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά μετακινούμενων
- Λειτουργικά χαρακτηριστικά μεταφορικού συστήματος

Στα στατικά μοντέλα η κατάσταση ενός συστήματος την χρονική στιγμή t εκφράζεται σαν συνάρτηση των τιμών που έχουν οι μεταβλητές που το περιγράφουν την χρονική στιγμή t. Στα δυναμικά μοντέλα, η κατάσταση του συστήματος την χρονική στιγμή t εκφράζεται σαν συνάρτηση α) των τιμών που έχουν οι μεταβλητές που το περιγράφουν την χρονική στιγμή t, και β) της διαχρονικής εξέλιξης του συστήματος και επομένως και των μεταβλητών που το περιγράφουν $y(t-1)=f(y(t-2),x(t-1),\theta)$, $y(t-2)=f(y(t-3),x(t-3),\theta)$, $y(t-3)=f(y(t-3),x(t-4),\theta)$, ...

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά στοχαστικά μοντέλα

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ εφαρμογής στοχαστικού μοντέλου επιλογής διαδρομής

	Αντιληπτός χρόνος		Πραγματικός χρόνος
	Οδηγός 1	Οδηγός 2	
Διαδρομή 1	25	20	21
Διαδρομή 2	20	25	22
Διαδρομή 3	25	25	23



Αντιληπτός χρόνος = **Πραγματικός χρόνος** + **Σφάλμα αντίληψης, ανάλυσης, πληροφόρησης**

Λόγω ελλιπούς γνώσης των κυκλοφοριακών συνθηκών, οι μετακινούμενοι κάνουν υποθέσεις σχετικά με τον χρόνο διαδρομής κατά μήκος των εναλλακτικών διαδρομών που οδηγούν στον προορισμό τους. Ο χρόνος διαδρομής όπως τον αντιλαμβάνεται ο κάθε οδηγός είναι διαφορετικός από τον πραγματικό χρόνο διαδρομής όπως τον μετρά ο αναλυτής. Έτσι ένα ντετερμινιστικό μοντέλο θα υπολόγιζε ότι και οι δύο οδηγοί θα χρησιμοποιήσουν την συντομότερη διαδρομή 1. Όμως ο πρώτος οδηγός αντιλαμβάνεται την διαδρομή 2 ως την συντομότερη μεταξύ των τριών.

3. Ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου

- **Προσδιορισμός του μοντέλου**

Επίπεδο λεπτομέρειας Ανάλυσης
Αθροιστικά ή εξατομικευμένα μοντέλα

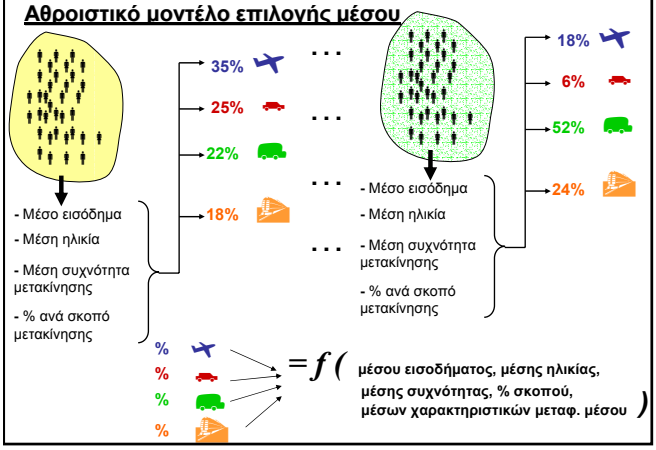
Αθροιστικά

- Μακροσκοπική θεώρηση του προβλήματος
- Αναλύουν τα χαρακτηριστικά στο σύνολο του πληθυσμού που εξετάζεται
- Υπολογίζουν ποσοστά ή απόλυτα μεγέθη ζήτησης, βάσει μέσων χαρακτηριστικών του πληθυσμού

Εξατομικευμένα

- Μικροσκοπική θεώρηση του προβλήματος
- Αναλύουν τα χαρακτηριστικά και τις επιλογές του κάθε μετακινούμενου
- Υπολογίζουν την πιθανότητα ο κάθε μετακινούμενος να κάνει μια συγκεκριμένη επιλογή

Αθροιστικό μοντέλο επιλογής μέσου



Η κλασσική προσέγγιση της προτυποποίησης του σχεδιασμού των μεταφορών

Το μοντέλου των τεσσάρων βημάτων του σχεδιασμού των μεταφορών

εξατομικευμένα μοντέλα (Disaggregate models)

Πιθανότητα ένας μετακινούμενος να επιλέξει ένα συγκεκριμένο μεταφορικό μέσου $= f($ **εισοδήματος, ηλικίας, συχνότητας, σκοπού, χαρακτηριστικών μεταφ. μέσου** $)$

Το κλασσικό μοντέλου του σχεδιασμού των μεταφορών

- Μακρόχρονη έρευνα και πειραματισμοί έχουν οδηγήσει σε μια γενική δομή που ονομάζεται το κλασικό μοντέλο του σχεδιασμού των μεταφορών.

1. Ορισμός περιοχής μελέτης
⇩
2. Συλλογή στοιχείων
⇩
3. Ανάπτυξη Μαθηματικού Μοντέλου
⇩
4. Βαθμονόμηση Μοντέλου
⇩
5. Πρόβλεψη μεταβλητών σχεδιασμού
⇩
6. Εφαρμογή μοντέλου
⇩
7. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

- Αυτή η δομή είναι στην πραγματικότητα ένα αποτέλεσμα από την πρακτική που ακολουθήκε στην δεκαετία του '60 αλλά έχει παραμείνει λίγο πολύ αμετάβλητη παρά τις σημαντικές βελτιώσεις στη διαμόρφωση των μεθόδων κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών δηλ. από το 1970 μέχρι σήμερα.
- Η προσέγγιση αρχίζει με την θεώρηση ενός συστήματος ζωνών και μεταφορικών δικτύων, και τη συλλογή των στοιχείων σχεδιασμού, βαθμονόμησης και ελέγχου εγκυρότητας.
- Αυτά τα στοιχεία περιλαμβάνουν τα κοινωνικο-οικονομικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, και τα χαρακτηριστικά των μετακινήσεων για το **έτος βάση**, δηλ. το έτος για το όποιο υπάρχει διαθέσιμη όλη η πληροφορία που απαιτείται για να βαθμονομηθεί το μοντέλο και να ελεγχθεί κατά πόσο αναπαριστά την διαδικασία των μετακινήσεων και με τι ακρίβεια υπολογίζει τον πραγματικό αριθμό των μετακινήσεων όπως έχουν μετρηθεί από τις κυκλοφοριακές έρευνες και μετρήσεις.

Αθροιστικά ή εξατομικευμένα μοντέλα

Αθροιστικά

- Λιγότερο λεπτομερή
- Αναλύουν την *μέση* συμπεριφορά

⇒

- Χαμηλότερη ακρίβεια πρόβλεψης
- Απαιτούμενα στοιχεία είναι πιο εύκολα διαθέσιμα
- Χαμηλότερο κόστος συλλογής στοιχείων

Εξατομικευμένα

- Μεγαλύτερη λεπτομέρεια ανάλυσης
- Επεξηγούν την συμπεριφορά του μετακινούμενου με βάση τα χαρακτηριστικά του

⇒

- μεγαλύτερη ακρίβεια πρόβλεψης
- Υψηλές απαιτήσεις σε στοιχεία
- Υψηλότερο κόστος συλλογής στοιχείων και ανάπτυξης μοντέλου
- Εξειδικευμένη γνώση στατιστικής και οικονομετρίας
- Προβλήματα μεταφοράς των συμπερασμάτων από ατομικό επίπεδο στο σύνολο του πληθυσμού.

Ο πλέον κατάλληλος τύπος μοντέλου εξαρτάται από την συγκεκριμένη περίπτωση

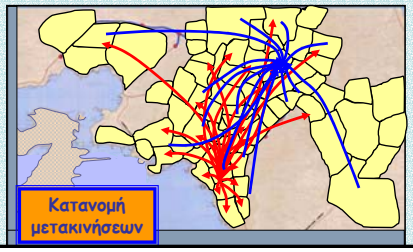
Το κλασσικό μοντέλου του σχεδιασμού των μεταφορών

- Το έτος βάση επομένως είναι το έτος που διεξάγεται ο κύριος όγκος των ερευνών/μετρήσεων για την συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων.
- Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται για την δημιουργία μιας βάσης δεδομένων, η οποία περιλαμβάνει
  - τον πίνακα Προέλευσης – Προορισμού, δηλ το αριθμό των μετακινήσεων που γίνονται μεταξύ κάθε ζεύγους ζωνών της περιοχής μελέτης,
  - Κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά της κάθε ζώνης, όπως πληθυσμός, εισόδημα, ιδιοκτησία ΙΧ, μεγέθη οικονομικής δραστηριότητας, απασχόληση, χαρακτηριστικά εμπορικών δραστηριοτήτων, επιφάνεια καταστημάτων, χώρων γραφείου, βιομηχανικών εγκαταστάσεων, βιοτεχνίας, κλπ, επιφάνεια χώρων εκπαίδευσης και αναψυχής, κλπ
  - Χαρακτηριστικά όλων των μεταφορικών συστημάτων, όπως μορφή δικτύων, μήκος, κυκλοφοριακή ικανότητα, ταχύτητες ελεύθερης ροής, σχέσεις φόρτου – καθυστερήσεων, κόστος μετακίνησης, για κάθε τμήμα του οδικού δικτύου, συχνότητα, κόστος και ταχύτητα των μέσων μαζικής μεταφοράς, κ.α.
  - Κυκλοφορικές μετρήσεις σε οδικά τμήματα και φόρτοι των ΜΜΜ για την σύγκριση με τα τελικά αποτελάσματα του μοντέλου

Το μοντέλο των τεσσάρων βημάτων

Κατανομή των μετακινήσεων

- Προσδιορίζει από πού ξεκινούν τα ταξίδια και που καταλήγουν
- Υπολογίζει τον αριθμό των μετακινήσεων μεταξύ κάθε ζεύγους Προέλευσης – Προορισμού
- Ο αριθμός των μετακινήσεων μεταξύ δύο ζωνών εξαρτάται από την παραγωγικότητα (σε μετακινήσεις) της ζώνης προέλευσης και την ελκυστικότητα της ζώνης προορισμού,
- Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή των μετακινήσεων είναι περιλαμβάνουν το μέγεθος και τις χρήσεις γης σε κάθε ζώνη, και το κόστος μετακίνησης από την ζώνη προέλευσης προς της ζώνη προορισμού.



Το κλασσικό μοντέλου του σχεδιασμού των μεταφορών

- Αυτά τα στοιχεία χρησιμοποιούνται στο κλασικό πρότυπο των μεταφορών που έχει την μορφή μιας ακολουθία τεσσάρων υποπροτύπων, που αναπαριστούν τις επιλογές που κάνουν οι μετακινούμενοι. Οι επιλογές αυτές αφορούν την απόφαση αν θα πραγματοποιήσουν μια μετακίνηση για κάποιο σκοπό, ποιος θα είναι ο προορισμός τους, τι μέσο θα χρησιμοποιήσουν και ποια διαδρομή θα ακολουθήσουν.
- Τα στοιχεία του έτους βάσης εισάγονται κατ΄ αρχάς στο μοντέλο της γένεσης των μετακινήσεων που υπολογίζει τον συνολικό αριθμό των μετακινήσεων που παράγονται και που προσελκύονται από κάθε ζώνη της περιοχής μελέτης.
- Το επόμενο βήμα είναι η κατανομή αυτών των μετακινήσεων.Το μοντέλο της κατανομής προσομοιώνει την επιλογή του προορισμού που κάνει ένας μετακινούμενος. Υπολογίζει πόσες από τις μετακινήσεις που παράγονται από μια ζώνη (και υπολογίσθηκαν στο στάδιο της γένεσης των μετακινήσεων) θα καταλήξουν σε κάθε ζώνη της περιοχής μελέτης. Το μοντέλο υπολογίζει τον αριθμό των μετακινήσεων που γίνονται μεταξύ κάθε δυνατού ζεύγους ζωνών, και παράγει το Πίνακα (ή Μητρώο) Προέλευσης – Προορισμού.

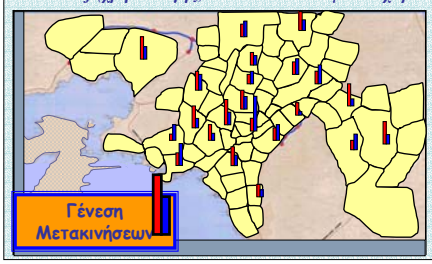
Το κλασσικό μοντέλου του σχεδιασμού των μεταφορών

- Το επόμενο στάδιο αναπαριστά την επιλογή του μεταφορικού μέσου. Το μοντέλο του καταμερισμού στα μεταφορικά μέσα χρησιμοποιεί α) τα στοιχεία που αφορούν την απόδοση των μεταφορικών συστημάτων και το επίπεδο εξυπηρέτησης που παρέχουν, και β) τον πίνακα των συνολικών μετακινήσεων μεταξύ κάθε ζεύγους Π-Π, και υπολογίζει ένα πίνακα Π-Π για κάθε μέσο, δηλ. για κάθε ζεύγος Π-Π υπολογίζεται ο αριθμός των μετακινήσεων με κάθε μεταφορικό μέσο.
- Το τελευταίο στάδιο του κλασικού μοντέλου προσομοιώνει την επιλογή της διαδρομής που ακολουθεί ο κάθε μετακινούμενος. Το μοντέλο του καταμερισμού στο δίκτυο φορτίζει τα δίκτυα των διαφορετικών μεταφορικών συστημάτων με τους αντίστοιχους πίνακες Π-Π που υπολογίσθηκαν στο στάδιο του καταμερισμού στα μέσα. Ο καταμερισμός γίνεται με βάση τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών διαδρομών που μπορούν να ακολουθήσουν οι μετακινούμενοι, και τελικά υπολογίζονται οι φόρτοι και οι καθυστερήσεις σε κάθε τμήμα του μεταφορικού δικτύου κάθε μέσου.

Γένεση μετακινήσεων

- Στο στάδιο της γένεσης των μετακινήσεων υπολογίζεται ο αριθμός των μετακινήσεων που ξεκινούν από κάθε ζώνη (παραγόμενες μετακινήσεις) και ο αριθμός των μετακινήσεων που καταλήγουν σε κάθε ζώνη (ελκόμενες μετακινήσεις)
- Αριθμός γενόμενων μετακινήσεων =

f (χρήσεων γης, κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών, ..,)



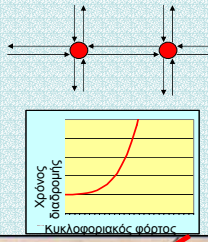
Καταμερισμός στα μεταφορικά μέσα

- Υπολογίζει τον αριθμό των μετακινήσεων μεταξύ κάθε ζεύγους Π-Π που γίνονται με κάθε μεταφορικό μέσο
- Παράγοντες που επηρεάζουν:
  - χαρακτηριστικά μέσων
  - εισόδημα
  - ιδιοκτησία ΙΧ αυτοκινητου
  - προσιτότητα μέσου μαζικής μεταφοράς
  - είδος ταξιδιού
  - ηλικία

Καταμερισμός στο δίκτυο

με δεδομένα :

- Αναπαράσταση του οδικού δικτύου με ένα χάρτη κόμβων - συνδέσμων
- Συναρτήσεις χρόνου διαδρομής για κάθε σύνδεσμο του δικτύου
- Πίνακα Προέλευσης – Προορισμού



Υπολογίζονται:

1. **Οι κυκλοφοριακοί φόρτοι και**
2. **οι χρόνοι διαδρομής**

σε κάθε σύνδεσμο του δικτύου

Βαθμονόμηση και έλεγχος αξιοπιστίας των συγκοινωνιακών μοντέλων

1. Ορισμός περιοχής μελέτης
2. Συλλογή στοιχείων
3. Ανάπτυξη Μαθηματικού Μοντέλου
4. Βαθμονόμηση Μοντέλου
5. Πρόβλεψη μεταβλητών σχεδιασμού
6. Εφαρμογή μοντέλου
7. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

- Βαθμονόμηση (calibration) του μοντέλου είναι διαδικασία με την οποία προσδιορίζονται οι τιμές των συντελεστών που περιλαμβάνονται στις μαθηματικές σχέσεις που αποτελούν το συγκοινωνιακό μοντέλο.
- Οι βέλτιστες τιμές των συντελεστών είναι εκείνες για τις οποίες τα αποτελέσματα του μοντέλου είναι όσο το δυνατό πλησιέστερα στα πραγματικά κυκλοφοριακά μεγέθη που έχουν μετρηθεί
- Μετά το στάδιο της βαθμονόμησης ακολουθεί ο έλεγχος αξιοπιστίας/εγκυρότητας του μοντέλου όπου ελέγχεται η ικανότητα του μοντέλου χρησιμοποιώντας διαφορετικά στοιχεία από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν την φάση της βαθμονόμησης.

Το κλασσικό μοντέλου του σχεδιασμού των μεταφορών

- Είναι γενικά παραδεκτό ότι οι αποφάσεις ταξιδιού δεν λαμβάνονται πάντα σύμφωνα με την ακολουθία που υιοθετεί το κλασσικό μοντέλο του σχεδιασμού των μεταφορών. Επιπλέον, το μοντέλο εστιάζει σε περιορισμένο αριθμό επιλογών. Η σύγχρονη άποψη είναι ότι ένα ευρύτερο φάσμα επιλογών θα πρέπει να αναλύεται. Για παράδειγμα, ένας μετακινούμενος που αντιμετωπίζει την συνεχώς αυξανόμενη κυκλοφοριακή συμφόρηση, μπορεί να αλλάξει την χρονική περίοδο που κάνει την μετακίνηση, την συχνότητα με την οποία κάνει την μετακίνηση. Επιπλέον, άλλες πιό σύνθετες επιλογές πραγματοποιούνται μακροπρόθεσμα. Για παράδειγμα ο μετακινούμενος αλλάζει θέση εργασίας ή/και κατοικίας, αλλάζει την περιοχή που κάνει τις αγορές του, κλπ.
- Παρά την έντονη κριτική που δέχεται, το κλασσικό μοντέλο των τεσσάρων βημάτων παρέχει ένα σημείο αναφοράς και σύγκρισης με εναλλακτικές μορφές μοντέλων. Το κλασσικό μοντέλο ουσιαστικά αποτελεί το πλαίσιο ανάπτυξης πιο προηγμένων μορφών προτύπων που αποτελούν αντικείμενο έρευνας στον τομέα του σχεδιασμού των μεταφορών.

Βαθμονόμηση και έλεγχος αξιοπιστίας των συγκοινωνιακών μοντέλων

Έστω ότι η γενική μορφή ενός μοντέλου σχεδιασμού μεταφορών εκφράζεται από μια σειρά σχέσεων της μορφής :

Προβλέψεις-εκτιμήσεις → $Y = f(\mathbf{X}, \theta)$

Φόρτοι, χρόνοι διαδρομής

Μεταβλητές μεταφ. Συστήματος

- **Κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά μετακινούμενων**
- **Λειτουργικά χαρακτηριστικά μεταφορικού συστήματος**

Απαιτούνται στοιχεία/δεδομένα από παρατηρήσεις, έρευνες, μετρήσεις

συντελεστές

Οι τιμές των συντελεστών προσδιορίζονται στο στάδιο της βαθμονόμησης

Το κλασσικό μοντέλου του σχεδιασμού των μεταφορών

- Τα βασικά χαρακτηριστικά της εξέλιξης στην έρευνα σε θέματα προτυποποίησης του σχεδιασμού των μεταφορών, που έχουν βελτιώσει την αξιοπιστία των μοντέλων του σχεδιασμού των μεταφορών, είναι:
  - η στροφή προς μεθόδους ανάλυσης που αναπαριστούν την συμπεριφορά των μετακινούμενων (behavioural transport demand models), με σημαντικό ορόσημο την χρήση και προσαρμογή της θεωρεία της μεγιστοποίησης της ωφέλειας σε θέματα προτυποποίησης των επιλογών που κάνουν οι μετακινούμενοι
  - η αναγνώριση της δυναμικής συμπεριφοράς των μεταφορικών συστημάτων, που σημαίνει ότι η ανάλυση αυτών των συστημάτων θα πρέπει να αναπαριστά την διαχρονική τους εξέλιξη και όχι την συγκεκριμένους χρονικούς ορίζοντες μόνο
  - η υιοθέτηση των μεθόδων μαθηματικής προσομοίωσης που με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των Η/Υ έδωσε την δυνατότητα στους ερευνητές να επιλύσουν προβλήματα η μαθηματική επίλυση των οποίων δεν ήταν εφικτή

Βαθμονόμηση και έλεγχος αξιοπιστίας των συγκοινωνιακών μοντέλων

- Η βαθμονόμηση του μοντέλου έγκειται στον προσδιορισμό των τιμών των συντελεστών θ έτσι ώστε τα αποτελέσματα, Y, του μοντέλου (π.χ. εκτιμήσεις φόρτων, χρόνων διαδρομής κλπ) να διαφέρουν όσο το δυνατό λιγότερο από τα πραγματικά μεγέθη, D.
- Στην απλούστερη μορφή της, αποτελεί ουσιαστικά ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης όπου η αντικειμενική συνάρτηση έχει την μορφή:

$$\min_\theta g\{ D - Y \} \quad : \quad \min_\theta g\{ D - f(\mathbf{X},\theta) \}$$

Πραγματικά μεγέθη (από μετρήσεις)

Εκτιμήσεις μοντέλου

έλεγχος αξιοπιστίας/εγκυρότητας (validation) των συγκοινωνιακών μοντέλων

Ακολουθεί την βαθμονόμηση του μοντέλου και αποτελεί ουσιαστικά τον έλεγχο της ικανότητας του μοντέλου να αναπαραστήσει μια πραγματική κατάσταση χρησιμοποιώντας στοιχεία διαφορετικά από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην βαθμονόμηση του μοντέλου.

- Επειδή τα συγκοινωνιακά μοντέλα βασίζονται σε Διαστρωματικά στοιχεία (cross sectional data) δηλ. στοιχεία από διαφορετικά στρώματα του πληθυσμού που συλλέγονται την ίδια χρονική περίοδο, συχνά όλα τα διαθέσιμα στοιχεία χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου. Το στάδιο του ελέγχου αξιοπιστίας παραλείπεται θεωρώντας ότι η βαθμονόμηση του μοντέλου εγγυάται την καλή προσαρμογή των αποτελεσμάτων του μοντέλου στις παρατηρήσεις, γεγονός που εξασφαλίζει την αξιοπιστία των προβλέψεων.
- όπως προκύπτει από μελέτες πριν και μετά ("before and after studies") την εφαρμογή παρεμβάσεων σε συστήματα μεταφορών, ο έλεγχος αξιοπιστίας θα πρέπει να βασίζεται σε στοιχεία που δεν χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των παραμέτρων του μοντέλου,

Εφαρμογή του μοντέλου των τεσσάρων βημάτων

έλεγχος αξιοπιστίας/εγκυρότητας (validation) των συγκοινωνιακών μοντέλων

Αν στοιχεία από δύο διαφορετικές περιόδους δεν είναι διαθέσιμα,

- ***μέρος των διαθέσιμων στοιχείων θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου και το υπόλοιπο για τον έλεγχο της αξιοπιστίας/εγκυρότητας του.***

Έλεγχος εγκυρότητας με εφαρμογή του μοντέλου σε περίοδο μεταγενέστερη της περιόδου βαθμονόμησης

Στοιχεία βαθμονόμησης Χρονική περίοδος Τ1	Στοιχεία ελέγχου εγκυρότητας Χρονική περίοδος Τ2

- Ελέγχει την ικανότητα του μοντέλου να προβλέψει μελλοντική κατάσταση
- Απαιτεί στοιχεία από δύο διαφορετικές περιόδους

Έλεγχος εγκυρότητας με εφαρμογή του μοντέλου με στοιχεία από την ίδια περίοδο μεταγενέστερη της περιόδου βαθμονόμησης

Στοιχεία βαθμονόμησης Χρονική περίοδος Τ1	Στοιχεία ελέγχου εγκυρότητας Χρονική περίοδος Τ1

Εφαρμογή του μοντέλου των τεσσάρων βημάτων

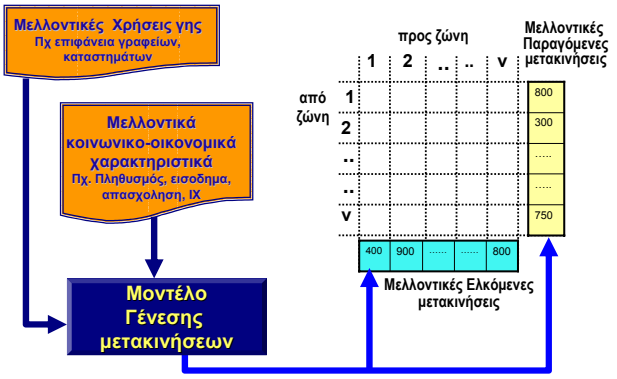
- Έχοντας διαμορφώσει την βάση δεδομένων του μελλοντικού σχεδιασμού, στην συνέχεια επιλέγεται κάθε ένα σενάριο ξεχωριστά, τα χαρακτηριστικά του οποίου εισάγονται στο μοντέλο των τεσσάρων βημάτων.
- Εφαρμόζεται η ακολουθία των υποπροτύπων, γένεσης, κατανομής στις ζώνες, καταμερισμού στα μέσα, και καταμερισμού στο δίκτυο, και τελικά προκύπτουν τα κυκλοφοριακά μεγέθη, όπως φόρτοι, χρόνοι διαδρομής, καθυστερήσεις, ροές επιβατών, χρόνοι αναμονής κλπ, που περιγράφουν την κατάσταση του συνολικού μεταφορικού συστήματος, η οποία στην συνέχεια θα αξιολογηθεί.
- Η διαδικασία εφαρμογής του μοντέλου των τεσσάρων βημάτων απεικονίζεται στα διαγράμματα που ακολουθούν:

Πρόβλεψη των μεταβλητών σχεδιασμού και εφαρμογή του μοντέλου

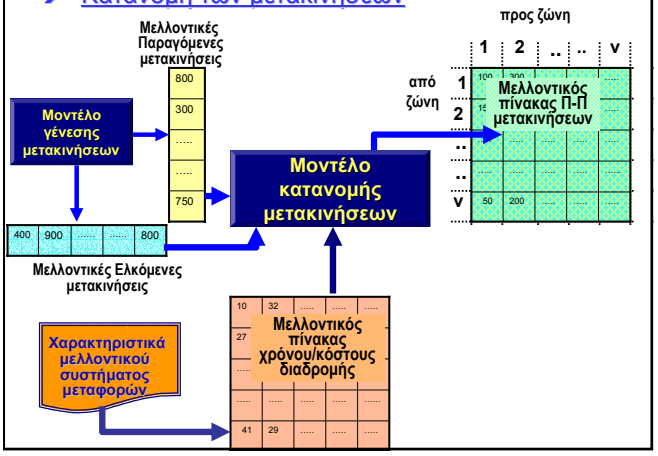
1. Ορισμός περιοχής μελέτης
2. Συλλογή στοιχείων
3. Ανάπτυξη Μαθηματικού Μοντέλου
4. Βαθμονόμηση Μοντέλου
5. Πρόβλεψη μεταβλητών σχεδιασμού
6. Εφαρμογή μοντέλου
7. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

- Μόλις βαθμονομηθεί το μοντέλο και επικυρωθεί για το έτος βάση, στην συνέχεια θα πρέπει να εφαρμοσθεί σε ένα ή περισσότερους ορίζοντες σχεδιασμού.
- Για κάθε ένα από τους μελλοντικούς χρονικούς ορίζοντες θα πρέπει να γίνουν προβλέψεις των μεταβλητών σχεδιασμού δηλ. των δραστηριοτήτων που το μεταφορικό σύστημα θα εξυπηρετήσει. Αυτό απαιτεί προβλέψεις για τα μελλοντικά μεγέθη και χωρική κατανομή των κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης, όπως πληθυσμός απασχόληση, εισόδημα, χρήσεις γης, οικονομικές, εμπορικές και κοινωνικές δραστηριότητες κ.α.
- Παράλληλα είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν εναλλακτικά σενάρια και σχέδια που περιγράφουν τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών συστημάτων μεταφορών που θα αξιολογηθούν.
- Τα εναλλακτικά σενάρια εξέλιξης των κοινωνικοοικονομικών μεγεθών που καθορίζουν τις δραστηριότητες που θα εξυπηρετήσουν τα μεταφορικά συστήματα της περιοχής μελέτης, και οι εναλλακτικές μορφές των μεταφορικών συστημάτων που θα αξιολογηθούν, αποτελούν την βάση δεδομένων του μελλοντικού σχεδιασμού της περιοχής μελέτης.

➔ Γένεση μετακινήσεων



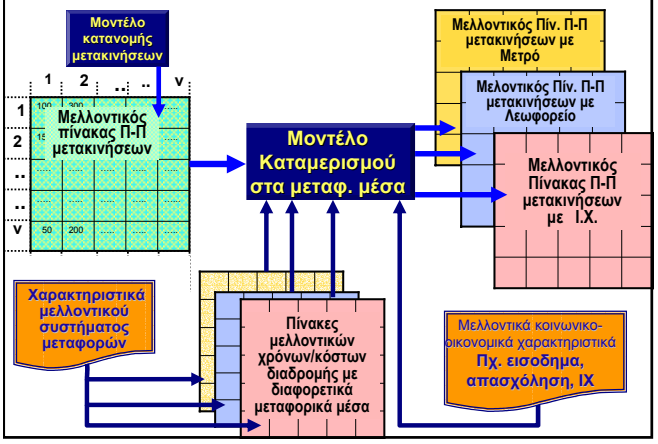
➔ Κατανομή των μετακινήσεων



Εφαρμογή του μοντέλου των τεσσάρων βημάτων

- Όπως απεικονίζεται και στα σχετικά διαγράμματα, η διαδικασία υπολογισμού των διαφόρων μεταβλητών για το σενάριο που αναλύεται περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:
  - ➔ Οι μελλοντικές χρήσεις γης και κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά εισάγονται στο μοντέλο γένεσης των μετακινήσεων που υπολογίζει τις μελλοντικές παραγόμενες και ελκόμενες μετακινήσεις από κάθε ζώνη.
  - ➔ Αυτές οι προβλεπόμενες μελλοντικές μετακινήσεις και τα μελλοντικά χαρακτηριστικά των μεταφορικών συστημάτων (που προσδιορίζουν τον χρόνο/κόστος μετακίνησης μεταξύ κάθε ζεύγους Π-Π) εισάγονται στο μοντέλο της κατανομής των μετακινήσεων που υπολογίζει τον μελλοντικό πίνακα Π-Π για την περιοχή μελέτης
  - ➔ Ο μελλοντικός πίνακας Π-Π των μετακινήσεων , τα μελλοντικά χαρακτηριστικά των διαφορετικών μεταφορικών συστημάτων, και τα μελλοντικά κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά των μετακινούμενων εισάγονται στο μοντέλο του καταμερισμού στα μέσα που υπολογίζει τον μελλοντικό πίνακα Π-Π των μετακινήσεων που θα γίνονται με το κάθε μεταφορικό μέσο.
  - ➔ Στην συνέχεια ο μελλοντικός Π-Π των μετακινήσεων με κάθε μέσο και τα χαρακτηριστικά του μελλοντικού μεταφορικού συστήματος εισάγονται στο μοντέλο του καταμερισμού στο δίκτυο το οποίο υπολογίζει τους μελλοντικούς κυκλοφοριακούς φόρτους και επίπεδο εξυπηρέτησης που προσφέρει το κάθε μεταφορικό σύστημα.

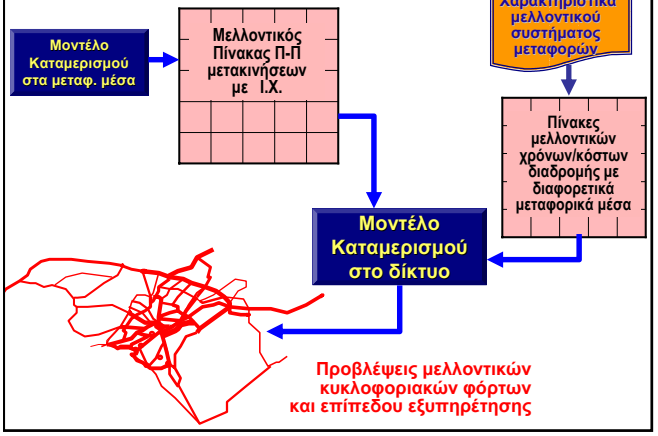
➔ Καταμερισμός στα μεταφορικά μέσα



Εφαρμογή του μοντέλου των τεσσάρων βημάτων

- Ένα σημαντικό θέμα στο κλασσικό μοντέλο των τεσσάρων βημάτων αφορά την σταθερότητα των τιμών των διαφόρων μεταβλητών που υπολογίζονται στα διάφορα στάδια του μοντέλου.
- Για παράδειγμα, στο βήμα του καταμερισμού στο δίκτυο υπολογίζονται οι φόρτοι και χρόνοι μετακίνησης. Αυτοί οι χρόνοι είναι μάλλον απίθανο να είναι οι ίδιοι με αυτούς που χρησιμοποιήθηκαν στα προγενέστερα στάδια της κατανομής στις ζώνες και του καταμερισμού στα μεταφορικά μέσα. Αυτό συνεπάγεται ότι το μοντέλο θα πρέπει να εφαρμοσθεί πάλι ακολουθώντας έτσι μια επαναληπτική διαδικασία μέχρι να υπολογισθεί μια κατάσταση ισορροπίας. Σε αυτή την κατάσταση οι χρόνοι διαδρομής που εισάγονται στα μοντέλα της κατανομής και του καταμερισμού στα μέσα θα πρέπει να είναι ίσοι με τους χρόνους που υπολογίζει το μοντέλο του καταμερισμού στο δίκτυο.

➔ Καταμερισμός στο δίκτυο



Διαδικασία Ανάπτυξης Μοντέλων Συγκοινωνιακού Σχεδιασμού

1. Ορισμός περιοχής μελέτης και καθορισμός εσωτερικών και εξωτερικών ζωνών
2. Συλλογή στοιχείων
3. Ανάπτυξη Μαθηματικού Μοντέλου
4. Βαθμονόμηση Μοντέλου
5. Πρόβλεψη μεταβλητών σχεδιασμού
6. Εφαρμογή μοντέλου
7. **Αξιολόγηση αποτελεσμάτων**

Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου

- Έχοντας εφαρμόσει το μοντέλο για ρεαλιστικά σενάρια μελλοντικών σχεδίων ανάπτυξης του μεταφορικού συστήματος, στην συνέχεια γίνεται μια αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

1. Ορισμός περιοχής μελέτης
2. Συλλογή στοιχείων
3. Ανάπτυξη Μαθηματικού Μοντέλου
4. Βαθμονόμηση Μοντέλου
5. Πρόβλεψη μεταβλητών σχεδιασμού
6. Εφαρμογή μοντέλου
7. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων κάθε σεναρίου περιλαμβάνει μια σύγκριση των δαπανών και των ωφελειών που προκύπτουν από την εφαρμογή του συγκεκριμένου σχεδίου που προτείνεται στο σενάριο που αναλύεται. Το στάδιο της αξιολόγησης συμπίπτει με το αντίστοιχο στάδιο 4 της διαδικασίας του ορθολογικού σχεδιασμού,

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

1. Ορισμός στόχων
2. Εντοπισμός προβλημάτων
3. Γένεση εναλλακτικών λύσεων
4. Αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων
5. Ανάπτυξη σχεδίου
6. Εφαρμογή σχεδίου
7. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου

Επομένως τα αποτελέσματα του κάθε σεναρίου συγκρίνονται με τους στόχους και τους περιορισμούς που είχαν τεθεί στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας του ορθολογικού σχεδιασμού των μεταφορών, και απορρίπτονται ή διατηρούνται για περαιτέρω αξιολόγηση.

Η διαδικασία της συγκριτικής αξιολόγησης όλων των εναλλακτικών σεναρίων τελικά προσδιορίζει

- το σχέδιο ανάπτυξης του μεταφορικού συστήματος,
- τις κατευθύνσεις της πολιτικής των μεταφορών
- το πρόγραμμα επενδύσεων στις μεταφορές που
  - ικανοποιούν την ζήτηση για μετακίνηση στην περιοχή μελέτης, και
  - ικανοποιούν τους στόχους και τους περιορισμούς, και μεγιστοποιούν τα καθαρά οφέλη όπως έχουν ορισθεί στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας του ορθολογικού σχεδιασμού,

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

1. Ορισμός στόχων
2. Εντοπισμός προβλημάτων
3. Γένεση εναλλακτικών λύσεων
4. Αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων
5. Ανάπτυξη σχεδίου
6. Εφαρμογή σχεδίου
7. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

2

δειγματοληψία

μέθοδοι συλλογής στοιχείων

δίκτυο & ζωνικό σύστημα

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Βασικές έννοιες

Μέθοδος Δειγματοληψίας

Δειγματοληψία κατά στρώματα: Χρησιμοποιείται υπάρχουσα πληροφορία για να χωρισθεί ο πληθυσμός σε ομοιογενείς ομάδες (ως προς την μεταβλητή που διαστρωμάτωσης). Οι ομάδες δεν έχουν απαραίτητα το ίδιο μέγεθος.
Στην συνέχεια επιλέγονται τυχαία στοιχεία από κάθε ομάδα, χρησιμοποιώντας την ίδια αναλογία δείγματος σε όλες τις ομάδες. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η σωστή αναλογία κάθε στρώματος στο συνολικό δείγμα.
Η μέθοδος χρησιμοποιείται όταν υπάρχουν σαφείς διαφορές μεταξύ των στρωμάτων ή όταν η διακύμανση των στοιχείων κάθε ομάδας γύρω από τον μέσο όρο δεν είναι ίδια.
Τα στρώματα μπορούν να προσδιορισθούν με βάση περισσότερες από μία μεταβλητή, γεγονός όμως που μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση του μεγέθους του δείγματος

Δειγματοληψία με βάση τις επιλογές των μετακινούμενων:
Σε αυτή την μέθοδο τα στρώματα του πληθυσμού δεν καθορίζονται με βάση τα χαρακτηριστικά του, αλλά με βάση τις επιλογές που κάνουν οι μετακινούμενοι. Το δείγμα και επομένως το κόστος θα είναι μικρότερο αλλά υπάρχει κίνδυνος μεροληψίας, δηλ. εισαγωγής σταθερού σφάλματος.

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Βασικές έννοιες

βασικές έννοιες

Πληθυσμός: Το σύνολο των στοιχείων για τα οποία απαιτείται συγκεκριμένη πληροφορία. Θεωρητικά τα στοιχεία αυτά θα μπορούσαν να μετρηθούν, αλλά αυτό είναι πρακτικά αδύνατο.

Δείγμα: Ένα υποσύνολο του πληθυσμού που έχουν επιλεχθεί ειδικά έτσι ώστε να αναπαριστά τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού που αναλύονται

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Εισαγωγή

δειγματοληψία

- Τα στοιχεία που απαιτούνται τόσο για την ανάλυση των μεταφορικών συστημάτων και όσο και για την ανάπτυξη των συγκοινωνιακών μοντέλων προέρχονται από **παρατηρήσεις, ανάλυση κι διερεύνηση των χαρακτηριστικών** ενός **δείγματος** του πληθυσμού που μελετάται. Ανάλυση όλου του πληθυσμού δεν εφικτή τόσο για οικονομικούς όσο και για τεχνικούς λόγους.
- Λόγω της **διακύμανσης** των τιμών / μεταβλητότητας των χαρακτηριστικών του πληθυσμού είναι απαραίτητο, το δείγμα να αναπαριστά αυτή την μεταβλητότητα να είναι δηλαδή **αντιπροσωπευτικό** του πληθυσμού.
- Ο σκοπός του σχεδιασμού της δειγματοληψίας είναι να εξασφαλίσει ότι τα στοιχεία που αναλύονται παρέχουν την **βέλτιστη πληροφορία** που απαιτείται για τον πληθυσμό που μελετάται, στο χαμηλότερο δυνατό κόστος.

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Βασικές έννοιες

Μέθοδος Δειγματοληψίας

Οι περισσότερες μέθοδοι βασίζονται στην γενική αρχή της **τυχαίας δειγματοληψίας**, σύμφωνα με την οποία κάθε στοιχείο του δείγματος έχει την ίδια πιθανότητα να επιλεγεί. Στην απλούστερη μορφή του, κάθε στοιχείο του πληθυσμού προσδιορίζεται από / συνδέεται με ένα αριθμό (*απαιτείται συνεχής αρίθμηση*) και στην συνέχεια μέσω των αριθμών που παράγονται από γεννήτρια τυχαίων αριθμών (random number generator) επιλέγονται τα στοιχεία του δείγματος.
Δειγματοληψία κατά ομάδες: Ο πληθυσμός χωρίζεται σε ομάδες ίδιου μεγέθους. Κάθε ομάδα χωρίζεται σε υποομάδες από ***κ*** στοιχεία η κάθε μία. Στη συνέχεια επιλέγεται ένα στοιχείο από την πρώτη ομάδα τυχαία και το επόμενο ***κ*** θέσεις μετά κ.ο.κ.
Οι μέθοδοι τυχαίας δειγματοληψίας μπορεί να απαιτήσουν μεγάλο δείγμα σε περιπτώσεις όπου ενδιαφερόμαστε για τα χαρακτηριστικά συγκεκριμένων κατηγοριών πληθυσμού που αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό του συνολικού πληθυσμού. Ο ομάδες δεν απαιτείται να είναι ομοιογενείς.

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Βασικές έννοιες

διαστήματα εμπιστοσύνης

- Όταν συλλέγουμε στοιχεία από ένα δείγμα δεν αναμένουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης να είναι ακριβώς ίδια με εκείνα που θα υπολογίζαμε αν είχαμε στοιχεία από όλο τον πληθυσμό
- Χρησιμοποιώντας την **μεταβλητότητα** των στοιχείων του δείγματος, μπορούμε να υπολογίσουμε το **φάσμα τιμών** μέσα στο οποίο είναι πιθανό να είναι η μέση τιμή του πληθυσμού.
- Μπορούμε να μεταβάλουμε το **εύρος** αυτού του φάσματος, ανάλογα με το **πόσο σίγουροι** θέλουμε να είμαστε ότι το εύρος αυτό θα περιλαμβάνει την πραγματική μέση τιμή του πληθυσμού (συνήθως θεωρούμε επίπεδο εμπιστοσύνης το 95%).

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Διαστήματα Εμπιστοσύνης

- Θεωρώντας ότι το δείγμα είναι αντιπροσωπευτικό, τα **διαστήματα εμπιστοσύνης** μπορούν να υπολογισθούν από τα δείγματα χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση:

Μέση τιμή δείγματος ± (**συντελεστής επίπεδου εμπιστοσύνης** x **τυπικό σφάλμα**)

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Το Τυπικό Σφάλμα

Πότε το τυπικό σφάλμα τείνει να μηδενισθεί ?

$$\nu \rightarrow N$$

$$se(\bar{x}) = \sqrt{\frac{(N-\nu).S^2}{\nu.N}}$$

Στη πράξη όμως έχουμε συνήθως μεγάλους πληθυσμούς και μικρό δείγμα

$$\Rightarrow \frac{(N-\nu)}{N} \approx 1 \quad \Rightarrow \quad se(\bar{x}) = \frac{S}{\sqrt{\nu}}$$

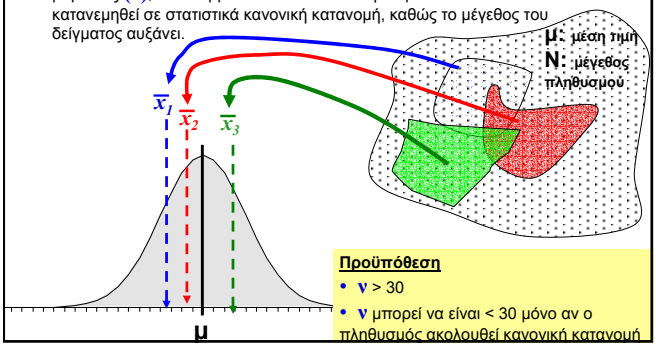
Επιλύνοντας μπορούμε να προσδιορίσουμε το **μέγεθος του δείγματος**, δηλ.

$$\nu = \frac{\nu'}{1+\frac{\nu'}{N}} \quad \xleftarrow{\text{Διόρθωση για δείγματα πεπερασμένου μεγέθους}} \quad \nu' = \frac{S^2}{se(\bar{x})^2}$$

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Το Θεώρημα της Κεντρικής Θέσης

Το θεώρημα της κεντρικής θέσης

Ο αριθμητικός μέσος όρος των στοιχείων τυχαίων δειγμάτων μέσου μεγέθους **(ν)**, που λαμβάνονται από ένα πληθυσμό τείνει να κατανεμηθεί σε στατιστικά κανονική κατανομή, καθώς το μέγεθος του δείγματος αυξάνει.



Προϋπόθεση

- **ν** > 30
- **ν** μπορεί να είναι < 30 μόνο αν ο πληθυσμός ακολουθεί κανονική κατανομή

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Το Τυπικό Σφάλμα

Προβλήματα εφαρμογής:

- Η ***εκτίμηση της διακύμανσης του δείγματος*** (S^2) που μπορεί να υπολογισθεί αφού πρώτα έχουν συλλεχθεί τα στοιχεία => πρέπει να εκτιμηθεί από άλλες πηγές (π.χ. πιλοτική έρευνα)
- Ο ***επιθυμητός βαθμός εμπιστοσύνης*** που συνδέεται με την χρήση της μέσης τιμής του δείγματος σαν εκτίμηση της μέσης τιμής του πληθυσμού. Ο βαθμός εμπιστοσύνης, στην πράξη συνήθως καθορίζεται σαν ένα **διάστημα γύρω από την μέση τιμή** του πληθυσμού για ένα δεδομένο **επίπεδο εμπιστοσύνης**. Επομένως:
  - Το **επίπεδο εμπιστοσύνης** για το διάστημα θα πρέπει να καθορισθεί, δηλ. η αποδεκτή συχνότητα εμφάνισης σφάλματος που οφείλεται στην παραδοχή ότι η μέση τιμή του δείγματος είναι η πραγματική μέση τιμή του πληθυσμού (δηλ. το τυπικό επίπεδο εμπιστοσύνης 95% σημαίνει ότι δεχόμαστε ότι στο 5% των περιπτώσεων θα υπάρχει σφάλμα)
  - Θα πρέπει καθορισθούν τα **όρια του διαστήματος γύρω από την μέση τιμή**

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Το Τυπικό Σφάλμα

	Πληθυσμός	Δείγμα
μέγεθος	N	ν
μέση τιμή (mean)	μ	$\bar{x}$
διακύμανση (variance)	σ^2	S^2

παράδειγμα

Εάν χρησιμοποιούμε ένα **μόνο δείγμα** η καλύτερη εκτίμηση του μ είναι το $\bar{x}$ και η καλύτερη εκτίμηση του σ^2 είναι το S^2

Σε αυτή την περίπτωση η τυπική απόκλιση δηλ. **το τυπικό σφάλμα** του μ είναι

$$se(\bar{x}) = \sqrt{\frac{(N-\nu).S^2}{\nu.N}}$$

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Διαστήματα Εμπιστοσύνης

Υπολογισμός των διαστημάτων εμπιστοσύνης

- Θεωρώντας ότι το δείγμα είναι αντιπροσωπευτικό, τα **διαστήματα εμπιστοσύνης** μπορούν να υπολογισθούν από τα δείγματα χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση:

Μέση τιμή δείγματος ± **συντελεστής επίπεδου εμπιστοσύνης** x **τυπικό σφάλμα**

$$\bar{x} \pm u_{Lc} \times se(\bar{x})$$

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Διαστήματα Εμπιστοσύνης

Τι είναι το Διάστημα Εμπιστοσύνης

- Αν θεωρήσουμε άπειρα δείγματα μεγέθους ν από ένα πληθυσμό
- Ένα διάστημα εμπιστοσύνης 95% για την μέση τιμή, μπορεί να υπολογισθεί για κάθε ένα από τα δείγματα :

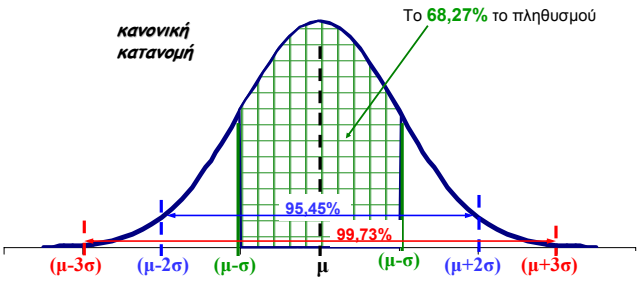
Διαστήματα εμπιστοσύνης 95%

$$\left.\begin{array}{l} \bar{x}_1 \pm u_{95\%} \times \left(s_1 / \sqrt{n}\right), \\ \bar{x}_2 \pm u_{95\%} \times \left(s_2 / \sqrt{n}\right), \\ \vdots \\ \bar{x}_\infty \pm u_{95\%} \times \left(s_\infty / \sqrt{n}\right). \end{array}\right\}$$

95% αυτών των διαστημάτων θα περιλαμβάνουν την μέση τιμή του πληθυσμού μ, ενώ το 5% από αυτά τα διαστήματα δεν θα περιλαμβάνουν την μέση τιμή του πληθυσμού.

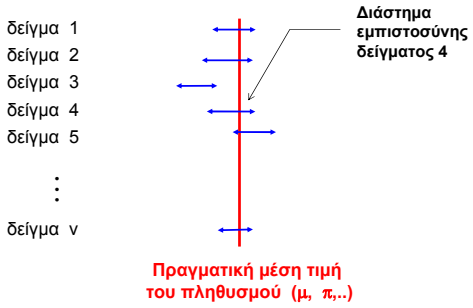
ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Όρια ακρίβειας της μέσης τιμής του δείγματος

Ακρίβεια της εκτίμησης : Η πιθανότητα που υπάρχει ο πραγματικός μέσος όρος (δηλ. ο μ.ο. του πληθυσμού) να βρίσκεται μέσα σε ορισμένα όρια



ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Διαστήματα Εμπιστοσύνης

Μέση τιμή πληθυσμού
και διαστήματα εμπιστοσύνης από τα δείγματα



ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Όρια ακρίβειας της μέσης τιμής του δείγματος

Υπάρχει πιθανότητα

68,27%	$\bar{x} - se(\bar{x}) < \mu < \bar{x} + se(\bar{x})$
95,45%	$\bar{x} - 2.se(\bar{x}) < \mu < \bar{x} + 2.se(\bar{x})$
99,73%	$\bar{x} - 3.se(\bar{x}) < \mu < \bar{x} + 3.se(\bar{x})$

Όπου :

$\bar{x}$: ο μέσος όρος του δείγματος

μ : ο μέσος όρος του πληθυσμού

$se(\bar{x}) = \frac{S}{\sqrt{\nu}}$ το τυπικό σφάλμα και

ν το μέγεθος του δείγματος

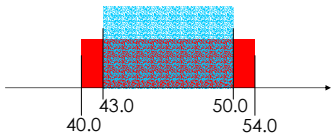
S η τυπική απόκλιση του δείγματος

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Διαστήματα Εμπιστοσύνης

- Αύξηση του επιπέδου εμπιστοσύνης από 95% σε 99% αυξάνει την βεβαιότητα ότι το διάστημα εμπιστοσύνης περιλαμβάνει την μέση τιμή του πληθυσμού, αλλά μειώνει την ακρίβεια της εκτίμησης, δεδομένου ότι το διάστημα είναι πιο ευρύ.

π.χ.

- Με επίπεδο εμπιστοσύνης 99% ο χρόνος διαδρομής θα είναι μεταξύ 40 και 54 λεπτών
- Με επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ο χρόνος διαδρομής θα είναι μεταξύ 43 και 50 λεπτών

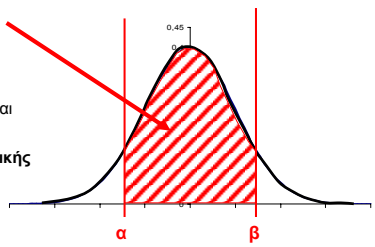


ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Υπολογισμός πιθανότητας

- Για να υπολογίσουμε την πιθανότητα η τιμή μιας μεταβλητής να είναι μεταξύ δύο συγκεκριμένων ορίων, θα πρέπει να υπολογίσουμε το εμβαδόν της περιοχής κάτω από την καμπύλη και ανάμεσα στα δυο όρια.

$P(\alpha < x < \beta)$

Το εμβαδόν αυτό υπολογίζεται εύκολα με χρήση της **Τυπικής/μοναδιαίας κανονικής κατανομής**

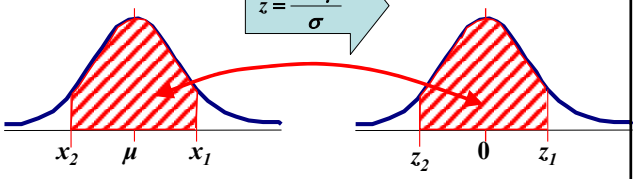


ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Τυπική/Μοναδιαία Κανονική Κατανομή -

- Η **Τυπική/Μοναδιαία Κανονική Κατανομή** είναι μια κανονική κατανομή πιθανότητας πού έχει μέση τιμή (μ) = 0, και τυπική απόκλιση (σ)= 1.
- Τα περισσότερα μεγέθη που ακολουθούν Κανονική Κατανομή δεν έχουν μέση τιμή = 0 και τυπική απόκλιση =1.
- Είναι δυνατό όμως να τυποποιήσουμε τις μη τυπικές περιπτώσεις χρησιμοποιώντας την σχέση :

$$Z = (X-\mu)/\sigma$$

$$z = \frac{x-\mu}{\sigma}$$



ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Μοναδιαία Κανονική Κατανομή

Appendix F Table of Areas of the Normal Curve

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0159	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
0.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0753
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
0.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1772	.1808	.1844	.1879
0.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
0.6	.2257	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2518	.2549
0.7	.2580	.2612	.2642	.2673	.2704	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
0.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2995	.3023	.3051	.3078	.3106	.3233
0.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508	.3531	.3554	.3577	.3599	.3621
1.1	.3643	.3665	.3686	.3718	.3729	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
1.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925	.3944	.3962	.398	.414	.4015
1.3	.4032	.4049	.4066	.4083	.4099	.4115	.4131	.4147	.4162	.4177
1.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251	.4265	.4279	.429		.4319
1.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382	.4394	.4406	.4418	.4430	.4441

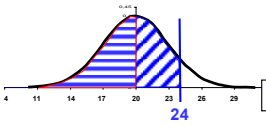
$$z = \frac{(x_i - \mu)}{\sigma}$$

Ο πίνακας δίνει το εμβαδόν κάτω από την μοναδιαία κανονική κατανομή και μεταξύ μιας τεταγμένης στο 0 και μιας στο z.

Παράδειγμα 1

X : N(μ,σ) = N(20, 3)

Ποια η πιθανότητα x < 24?



Pr(20<x<24) = Pr (20 < μ + z.σ < 24) =

= Pr (20 < 20 + z.3 < 24) = Pr (0 < 3z < 4) =

= Pr (**0 < z <** 1,33) = 0,4083 ⇒

⇒ Pr(20<x<24) = 0,4083

Pr (x < 24) = Pr (x<20) + Pr (20 < x < 24)

Pr (x<20) = 0,5

⇒

⇒ Pr (x < 24) = 0,5 + 0,4083 = 0,9083

Pr (16 < x < 24) = 2 x 0,4083 =0,8166

Pr (x < 16) = 0,5 – 0,4083 = 0,0917

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : ο συντελεστής z μετατροπής σε μοναδιαία κατανομή

$$z = \frac{x-\mu}{\sigma} \Rightarrow x = \mu + z.\sigma$$

Οι τιμές του συντελεστή z μετρούν τον αριθμό των τυπικών αποκλίσεων από απέχει μια τιμή από την μέση τιμή

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Μοναδιαία Κανονική Κατανομή

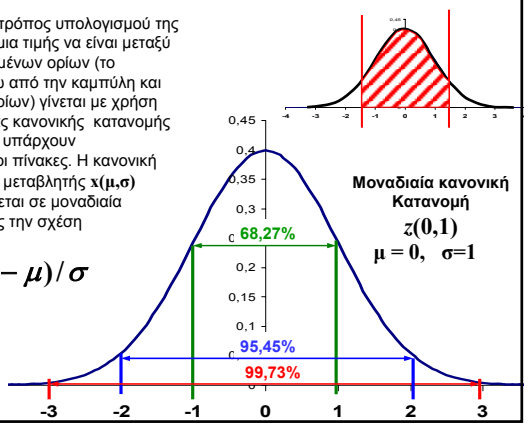
Appendix F Table of Areas of the Normal Curve

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0159	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
0.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0753
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
0.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1772	.1808	.1844	.1879
0.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
0.6	.2257	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2518	.2549
0.7	.2580	.2612	.2642	.2673	.2704	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
0.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2995	.3023	.3051	.3078	.3106	.3233
0.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508	.3531	.3554	.3577	.3599	.3621
1.1	.3643	.3665	.3686	.3718	.3729	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
1.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925	.3944	.3962	.3980	.3997	.4015
1.3	.4032	.4049	.4066	.4083	.4099	.4115	.4131	.4147	.4162	.4177
1.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251	.4265	.4279	.4292	.4306	.4319
1.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382	.4394	.4406	.4418	.4430	.4441
1.6	.4452	.4463	.4474	.4485	.4495	.4505	.4515	.4525	.4535	.4545
1.7	.4554	.4564	.4573	.4582	.4591	.4599	.4608	.4616	.4625	.4633
1.8	.4641	.4649	.4656	.4664	.4671	.4678	.4686	.4698	.4699	.4706
1.9	.4713	.4719	.4726	.4732	.4738	.4744	.4750	.4758	.4762	.4767
2.0	.4773	.4778	.4783	.4788	.4793	.4798	.4803	.4808	.4812	.4817
2.1	.4821	.4826	.4830	.4834	.4838	.4842	.4846	.4850	.4854	.4857
2.2	.4861	.4865	.4868	.4871	.4875	.4878	.4881	.4884	.4887	.4890
2.3	.4893	.4896	.4898	.4901	.4904	.4906	.4909	.4911	.4913	.4916
2.4	.4918	.4920	.4922	.4925	.4927	.4929	.4931	.4932	.4934	.4936
2.5	.4938	.4940	.4941	.4943	.4945	.4946	.4948	.4949	.4951	.4952
2.6	.4953	.4955	.4956	.4957	.4959	.4960	.4961	.4962	.4963	.4964
2.7	.4965	.4966	.4967	.4968	.4969	.4970	.4971	.4972	.4973	.4974
2.8	.4974	.4975	.4976	.4977	.4977	.4978	.4979	.4980	.4980	.4981
2.9	.4981	.4982	.4983	.4984	.4984	.4984	.4985	.4985	.4986	.4986
3.0	.49865	.4987	.4987	.4988	.4988	.4988	.4989	.4989	.4989	.4990
3.1	.49903	.4991	.4991	.4991	.4992	.4992	.4992	.4992	.4993	.4993

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Μοναδιαία Κανονική Κατανομή

Ο κλασσικός τρόπος υπολογισμού της πιθανότητας μια τιμής να είναι μεταξύ δύο συγκεκριμένων ορίων (το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη και μεταξύ των ορίων) γίνεται με χρήση της μοναδιαίας κανονικής κατανομής για την οποία υπάρχουν τυποποιημένοι πίνακες. Η κανονική κατανομή της μεταβλητής **x(μ,σ)** μετασχηματίζεται σε μοναδιαία εφαρμόζοντας την σχέση

$$z = (x-\mu)/\sigma$$



ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Μοναδιαία Κανονική Κατανομή

Appendix F Table of Areas of the Normal Curve

u	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0159	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
0.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0753
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
0.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1772	.1808	.1844	.1879
0.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
0.6	.2257	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2518	.2549
0.7	.2580	.2612	.2642	.2673	.2704	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
0.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2995	.3023	.3051	.3078	.3106	.3233
0.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508	.3531	.3554	.3577	.3599	.3621
1.1	.3643	.3665	.3686	.3718	.3729	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
1.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925	.3944	.3962	.3980	.3997	.4015
1.3	.4032	.4049	.4066	.4083	.4099	.4115	.4131	.4147	.4162	.4177
1.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251	.4265	.4279	.4292	.4306	.4319
1.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382	.4394	.4406	.4418	.4430	.4441
1.6	.4452	.4463	.4474	.4485	.4495	.4505	.4515	.4525	.4535	.4545
1.7	.4554	.4564	.4573	.4582	.4591	.4599	.4608	.4616	.4625	.4633
1.8	.4641	.4649	.4656	.4664	.4671	.4678	.4686	.4698	.4699	.4706
1.9	.4713	.4719	.4726	.4732	.4738	.4744	.4750	.4758	.4762	.4767
2.0	.4773	.4778	.4783	.4788	.4793	.4798	.4803	.4808	.4812	.4817
2.1	.4821	.4826	.4830	.4834	.4838	.4842	.4846	.4850	.4854	.4857
2.2	.4861	.4865	.4868	.4871	.4875	.4878	.4881	.4884	.4887	.4890
2.3	.4893	.4896	.4898	.4901	.4904	.4906	.4909	.4911	.4913	.4916
2.4	.4918	.4920	.4922	.4925	.4927	.4929	.4931	.4932	.4934	.4936
2.5	.4938	.4940	.4941	.4943	.4945	.4946	.4948	.4949	.4951	.4952
2.6	.4953	.4955	.4956	.4957	.4959	.4960	.4961	.4962	.4963	.4964
2.7	.4965	.4966	.4967	.4968	.4969	.4970	.4971	.4972	.4973	.4974
2.8	.4974	.4975	.4976	.4977	.4977	.4978	.4979	.4980	.4980	.4981
2.9	.4981	.4982	.4983	.4984	.4984	.4984	.4985	.4985	.4986	.4986
3.0	.49865	.4987	.4987	.4988	.4988	.4988	.4989	.4989	.4989	.4990
3.1	.49903	.4991	.4991	.4991	.4992	.4992	.4992	.4992	.4993	.4993
3.2	.49931									
3.3	.49952									
3.4	.49966									
3.5	.49977									
3.6	.49984									
3.7	.49989									
3.8	.49993									
3.9	.49995									

Παράδειγμα 2

X : N(μ,σ) = N(20, 3)

Μεταξύ ποιών ορίων μπορούμε να πούμε ότι κυμαίνεται η μεταβλητή X, με ακρίβεια (επίπεδο εμπιστοσύνης) 95%?

Pr (μ-u.σ < x < μ+ u.σ) = 0,95 =>

Pr (μ-u.σ < μ+z.σ < μ+ u.σ) = 0,95 =>

Pr (-u.σ < z.σ < u.σ) = 0,95 =>

Pr (0,5 < z < u) = 0,475 =>

u = **1,96**

Xmin = 20 - 1,96x3 = 14,12

Xmax = 20 + 1,96x3 = 25,88

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Όρια ακρίβειας της μέσης τιμής του δείγματος

$$\Pr\left(\bar{x} - 1.se(\bar{x}) < \mu < \bar{x} + 1.se(\bar{x})\right) = 68{,}27\%$$
$$\Pr\left(\bar{x} - 2.se(\bar{x}) < \mu < \bar{x} + 2.se(\bar{x})\right) = 95{,}45\%$$
$$\Pr\left(\bar{x} - 3.se(\bar{x}) < \mu < \bar{x} + 3.se(\bar{x})\right) = 99{,}73\%$$

$$\Pr\left(\bar{x} - z.se(\bar{x}) < \mu < \bar{x} + z.se(\bar{x})\right) = L$$

Τα όρια διακύμανσης των τιμών για διαφορετικά επίπεδα εμπιστοσύνης προσδιορίζονται από τον σχετικό πίνακα του παραδείγματος 2. Ενδεικτικά αναφέρονται ότι οι συντελεστές z για διαφορετικά επίπεδα εμπιστοσύνης, L.

Οι τιμές του συντελεστή z για διαφορετικά επίπεδα εμπιστοσύνης είναι:

Επίπεδο εμπιστοσύνης	z
90%	1,65
95%	1,96
98%	2,33
99%	2,58

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Σύγκριση αποτελεσμάτων δύο δειγματοληψιών

Σύμφωνα με το θεώρημα κεντρικής θέσης

- η καλύτερη εκτίμηση του μ_1 είναι το $\bar{x}_1$
- και η καλύτερη εκτίμηση του σ_1^2 είναι το S_1^2

(και αντίστοιχα για το δείγμα 2)

Υπόθεση προς έλεγχο: Οι δύο πληθυσμοί είναι στην ουσία ίδιοι δηλ. $\mu_1 = \mu_2$

Αποδεικνύεται στατιστικά ότι:

- Η διαφορά $x_1 - x_2$ ακολουθεί μια κατά προσέγγιση κανονική κατανομή με μέση τιμή 0
- Το τυπικό σφάλμα της κατανομής της διαφοράς των δύο μέσων όρων υπολογίζεται από την σχέση

$$S_D(\bar{x}) = \sqrt{\frac{S_1^2}{\nu_1} + \frac{S_2^2}{\nu_2}}$$

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Ανάλυση Μεγεθών εκφρασμένων σε Ποσοστά

- Σε περίπτωση που τα μεγέθη που αναλύουμε, εκφράζονται σε ποσοστά, π.χ. % νοικοκυριών με ιδιοκτησία Ι.Χ. αυτοκινήτου 2 ή υψηλότερο % μετακινούμενων που χρησιμοποιούν Μ.Μ.Μ.

- Η μέση τυπική απόκλιση υπολογίζεται από την σχέση:

$$se(p) = \sqrt{\frac{p.q}{\nu}}$$

Όπου :

$se(p)$ η προσέγγιση της τυπικής απόκλισης
p το ποσοστιαίο αποτέλεσμα της μετρήσεως
q $(100 - p)$
ν το μέγεθος του δείγματος

Προϋποθέσεις για ικανοποιητικά αποτελέσματα $p \geq 10\%$ $\nu \geq 30$

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Σύγκριση αποτελεσμάτων δύο δειγματοληψιών

Εάν η υπόθεση είναι σωστή:

- Με επίπεδο εμπιστοσύνης 95,45% η διαφορά $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ θα βρίσκεται μεταξύ $\pm 3.S_D(\bar{x})$
- Εάν η διαφορά $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ είναι μεγαλύτερη από $\pm 3.S_D(\bar{x})$ Η διαφορά είναι σημαντική, και άρα με επίπεδο 99,73% εμπιστοσύνης, τα δείγματα προέρχονται από διαφορετικούς πληθυσμούς με διαφορετικούς μέσους όρους
- Γενικά, για δείγματα με $\nu > 30$ συγκρίνεται η διαφορά $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$ με το $z.S_D(\bar{x})$ για το επίπεδο εμπιστοσύνης που αντιστοιχεί το z

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Σύγκριση αποτελεσμάτων δύο δειγματοληψιών

	δείγμα 1	δείγμα 2
μέγεθος	ν_1	ν_2
μέση τιμή (mean)	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$
διακύμανση (variance)	S_1^2	S_2^2

Ερώτημα

- τα δύο δείγματα προέρχονται από δύο διαφορετικούς πληθυσμούς με διαφορετικό μέσο όρο (πραγματική διαφορά)

ή

- από τον ίδιο πληθυσμό αλλά με διαφορετικές διακυμάνσεις (τυχαία διαφορά)

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Σύγκριση ποσοστιαίων αποτελεσμάτων

Σύγκριση ποσοστιαίων αποτελεσμάτων από δύο δείγματα

- Ακολουθείται η ίδια διαδικασία με την περίπτωση των μέσων όρων
- Το τυπικό σφάλμα υπολογίζεται από την σχέση:

$$S_D(p) = \sqrt{p_o.q_o.\left(\frac{1}{\nu_1} + \frac{1}{\nu_2}\right)}$$

- Η αναλογική μέση τιμή των δύο ποσοστών είναι ίση με τον λόγο

$$p_o = \frac{p_1.\nu_1 + p_2.\nu_2}{\nu_1 + \nu_2}$$

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ: Αξιοπιστία μικρών Δειγμάτων – ο συντελεστής t STUDENT

- Ο έλεγχος αξιοπιστίας του δείγματος, με βάση την υπόθεση της κανονικής κατανομής ισχύει για τις περιπτώσεις που το μέγεθος του δείγματος είναι μεγάλο, δηλ., τουλάχιστον 25 – 30.
- Για μικρά δείγματα αντί για τον συντελεστή z της μοναδιαίας κανονικής κατανομής χρησιμοποιείται ο συντελεστής t του Student
- Για μεγάλα δείγματα, οι τιμές του συντελεστή t ταυτίζονται με τις τιμές του συντελεστή z. Καθώς το μέγεθος του δείγματος ελαττώνεται, η διαφορά των τιμών των δύο συντελεστών αυξάνεται.
- Οι τιμές του συντελεστή t δίνονται σε πίνακες για διαφορετικά επίπεδα εμπιστοσύνης και διαφορετικά βαθμούς ελευθερίας (ο βαθμός ελευθερίας είναι ν -1 : το μέγεθος του δείγματος μείον ένα)

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Συμπέρασμα - Μεθοδολογία

επομένως

- Είναι δυνατό να υπολογίσουμε το μέγεθος του δείγματος, εάν θέλουμε να πετύχουμε ένα συγκεκριμένο επίπεδο ακρίβειας

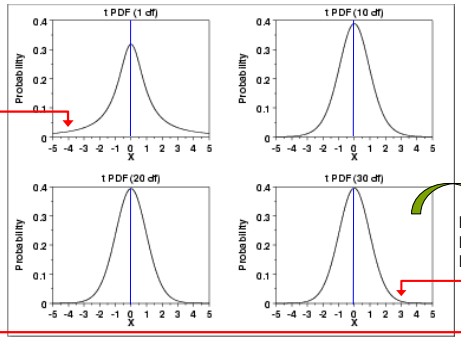
⇧

- Η ακρίβεια των εκτιμήσεων μπορεί να αυξηθεί όταν ελαττώσουμε το τυπικό σφάλμα

⇧

- Το μέγεθος του τυπικού σφάλματος εξαρτάται από το μέγεθος του δείγματος

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Κατανομή t-Student και βαθμοί ελευθερίας



Προσέγγιση Κανονικής Κατανομής

Οι κατανομές έχουν παρόμοια μορφή. Η διαφορές εντοπίζονται στο **πάχος** των «ουρών» κάθε κατανομής, που είναι μεγαλύτερο για χαμηλότερους βαθμούς ελευθερίας δηλ. μικρότερο δείγμα. Καθώς ο βαθμός ελευθερίας αυξάνεται η κατανομή t-Student, προσεγγίζει την κανονική κατανομή.

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Γενική Μεθοδολογία υπολογισμού μεγέθους δείγματος

Υπολογισμός μεγέθους δείγματος με βάση την επιθυμητή ακρίβεια για συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης,
π.χ. ακρίβεια χρόνου διαδρομής ± 0,5 λεπτά με πιθανότητα 95%

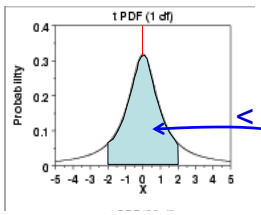
e : **επιθυμητή ακρίβεια = μέγιστο επιτρεπτό σφάλμα**

L : **επίπεδο εμπιστοσύνης, δηλ. η πιθανότητα σφάλματος = (100% - L)**

1. Προ-εκτίμηση του μέσης τυπικής απόκλισης του δείγματος, S, ή του ποσοστού p, από πιλοτική έρευνα/μετρήσεις, με δείγμα μεγέθους ν > 30
   (Παραδοχή : το πιλοτικό δείγμα είναι αντιπροσωπευτικό του πληθυσμού)
2. Υπολογισμός του τυπικού σφάλματος με βάση το ν

Μεγάλος πληθυσμός	Πληθυσμός πεπερασμένου μεγέθους	Μεγέθη που εκφράζονται σε ποσοστά
$se(\bar{x}) = \frac{S}{\sqrt{\nu}}$	$se(\bar{x}) = \sqrt{\frac{(N-\nu).S^2}{\nu.N}}$	$se(p) = \sqrt{\frac{p.q}{\nu}}$

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Κατανομή t-Student και βαθμοί ελευθερίας



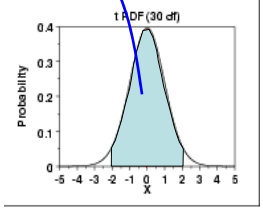
Για το ίδιο διάστημα
$\pm 2.\sigma$

< <

Το επίπεδο εμπιστοσύνης (πιθανότητα = εμβαδόν) είναι πολύ μεγαλύτερο

όταν

ο βαθμός ελευθερίας δηλ. το δείγμα είναι μεγαλύτερο



ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ : Γενική Μεθοδολογία υπολογισμού μεγέθους δείγματος

3. Υπολογισμός των ορίων διακύμανσης των τιμών του σφάλματος για διαφορετικά επίπεδα εμπιστοσύνης / ακρίβειας με βάση το δείγμα της πιλοτικής εφαρμογής
4. Υπολογισμός του συντελεστή z, (μοναδιαίας κανονικής κατανομής) για την επίτευξη του απαιτούμενου επίπεδου εμπιστοσύνης, $z = z(L)$
5. Υπολογισμός του μεγέθους του δείγματος, ν, έτσι ώστε το σφάλμα του τελικού δείγματος να είναι μικρότερο από το μέγιστο επιτρεπτό

$$z \,.\, se(\bar{x}) \le e \Rightarrow$$
$$\Rightarrow z.\frac{S}{\sqrt{\nu}} \le e \quad \Rightarrow \nu = \left(\frac{z}{e}\right)^2 .S$$

$$z \,.\, se(p) \le e \Rightarrow$$
$$\Rightarrow z.\sqrt{\frac{p.q}{\nu}} \le e \quad \Rightarrow \nu = \left(\frac{z}{e}\right)^2 .p.q$$

Άσκηση : Υπολογισμός μεγέθους δείγματος

Υπολογισμός μεγέθους δείγματος όταν δίνεται η επιθυμητή ακρίβεια (ανεκτό σφάλμα) για ορισμένο επίπεδο εμπιστοσύνης

Για την εκτίμηση του χρόνου διαδρομής μεταξύ δύο σημείων μιας αστικής περιοχής έχουν γίνει μετρήσεις με παρατηρητές που κάνουν την ίδια πάντα διαδρομή με αυτοκίνητο.

Έχουν γίνει 32 μετρήσεις και οι χρόνοι διαδρομής παρουσιάζονται στο πίνακα.

Εάν επιθυμούμε ο χρόνος διαδρομής να εκτιμηθεί με ακρίβεια $\pm 0{,}5$ λεπτών στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, να υπολογισθεί ο απαιτούμενος αριθμός των μετρήσεων

Συχνότητα	Χρόνος Διαδρομής
2	24,0
3	24,3
4	25,1
6	26,3
5	27,2
4	27,9
3	28,5
3	29,2
2	32,3

Δίδονται: z = **1,96 για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%**
t = **2,04 για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και 31 βαθμούς ελευθερίας**

Άσκηση : Σύγκριση Δειγμάτων

Για να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα κυκλοφοριακών ρυθμίσεων που εφαρμόσθηκαν σε κυκλοφοριακό διάδρομο αστικής περιοχής, έγιναν μετρήσεις χρόνου διαδρομής μεταξύ δύο σημείων, προ και μετά την εφαρμογή των μέτρων.

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση των μετρήσεων παρουσιάζονται στον πίνακα.

Μετρήσεις πριν και μετά την εφαρμογή του νέου συστήματος Φωτεινής Σηματοδότησης		
	Δείγμα - Πριν	**Δείγμα - Μετά**
μέση τιμή	22,6	21,2
τυπική απόκλιση	2,1	1,8
Μέγεθος δείγματος	50	60

Ζητείται να εξετασθεί αν η παρατηρούμενη μείωση του χρόνου διαδρομής οφείλεται σε τυχαία διακύμανση των συνθηκών της κυκλοφορίας ή αν είναι αποτέλεσμα των εφαρμοσθέντων ρυθμίσεων.

Άσκηση : Υπολογισμός μεγέθους δείγματος

$$\bar{x} = \frac{\sum_i f_i \cdot x_i}{\nu} = \frac{864{,}4}{32} = 27{,}01 \quad \text{λεπτά}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_i f_i \cdot (x_i - \bar{x})^2}{\nu - 1}} = \sqrt{\frac{138{,}13}{31}} = 2{,}11 \quad \text{λεπτά}$$

$$se(x) = \frac{S}{\sqrt{\nu}} = \frac{2{,}11}{\sqrt{32}} = 0{,}37 \quad \text{λεπτά}$$

- Για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ο συντελεστής z=1,96 και το σφάλμα που προκύπτει από τις 32 μετρήσεις είναι 1,96x0,373 =0,73 > 0,5 δηλ. από το επιτρεπτό σφάλμα.
- Με τις 32 μετρήσεις προκύπτει ότι το 95% των περιπτώσεων ο πραγματικός μέσος χρόνος διαδρομής θα είναι σε ένα εύρος $\pm$ 0,73 λεπτά από τον μέσο όρο του δείγματος

Άσκηση : Σύγκριση Δειγμάτων

- Η διαφορά των μέσων όρων των δειγμάτων είναι:

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 22{,}6 - 21.2 = 1{,}4 \quad \text{λεπτά}$$

- Το τυπικό σφάλμα των διαφορών των μέσων όρων των δειγμάτων είναι:

$$sd = \sqrt{\frac{2{,}1^2}{50} + \frac{1{,}8^2}{60}} = 0{,}377 \quad \text{λεπτά}$$

Για επίπεδο εμπιστοσύνης 99,75%, (οπότε ο σχετικός συντελεστής z = 3),

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 > z \times sd \quad \Leftrightarrow \quad 1{,}4 > 3 \times 0{,}377$$

Επομένως συμπεραίνουμε ότι πρόκειται για πραγματική διαφορά που οφείλεται στις νέες ρυθμίσεις.

Άσκηση : Υπολογισμός μεγέθους δείγματος

Επομένως θα πρέπει να αυξηθεί το μέγεθος του δείγματος έτσι ώστε το σφάλμα για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% να είναι μικρότερο από το επιτρεπτό.

$$z \,.\, se(x) < \text{επιτρεπτό σφάλμα}$$

$$1{,}96 \times \frac{2{,}11}{\sqrt{N}} < 0{,}5 \quad \Rightarrow N > \left(1{,}96 \times \frac{2{,}11}{0{,}5}\right)^2 \Rightarrow N > 68$$

Το πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί και με χρήση της κατανομής t-Student.
Με αυτή την μέθοδο το απαιτούμενο δείγμα θα είναι μεγαλύτερο.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

μέθοδοι συλλογής στοιχείων

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ - Έρευνες & Μετρήσεις

Κυκλοφοριακές μετρήσεις :

- Απλές μετρήσεις οχημάτων, και μετακινούμενων, χωρίς σημαντική διερεύνηση των χαρακτηριστικών τους. Γίνονται με παρατηρήσεις και δεν διερευνούν τα αιτία εμφανίσεως των μεγεθών που μετρούνται.
- Μετρήσεις κυκλοφοριακών φόρτων, και χαρακτηριστικών όπως ταχύτητα, τύποι οχήματος, στρέφουσες κινήσεις σε κόμβους, στάθμευση οχημάτων, βαθμός πληρότητας οχημάτων ΜΜΜ, κλπ
- Εντάσσεται σε μεγαλύτερο βαθμό στο μάθημα της Κυκλοφοριακής Τεχνικής

Κυκλοφοριακές Έρευνες :

- Απογραφές που πέρα από τις απλές μετρήσεις περιλαμβάνουν και καταγραφή των χαρακτηριστικών των μετακινήσεων και διερεύνηση των αιτίων που τις προκαλούν. Τα στοιχεία δεν είναι δυνατόν να συλλεχθούν με παρατηρήσεις, αλλά απαιτούνται έρευνες ερωτηματολογίου όπου με συνεντεύξεις σε κατοικίες, χώρους εργασίας, σε διάφορα σημεία του δικτύου, σε οχήματα ΜΜΜ, κλπ.
- Απαραίτητες για την ανάπτυξη και βαθμονόμηση μοντέλων σχεδιασμού μεταφορών.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ – Έρευνες Π-Π

Έρευνες Προέλευσης – Προορισμού

Σκοπός της έρευνας Π-Π είναι να εντοπίσει την κατανομή των μετακινήσεων μεταξύ των ζωνών, δηλ. την προέλευση και τον προορισμό τους.

Η έρευνα μπορεί να γίνει με δύο κυρίους τρόπους:

- με συνεντεύξεις στους τόπους γένεσης των μετακινήσεων, συνήθως στην κατοικία των μετακινούμενων
- με συνεντεύξεις και παρατηρήσεις σε σημεία του δικτύου κατά την διάρκεια προγματοποίησης της μετακίνησης

Στα πλαίσια μιας έρευνας Π-Π συλλέγονται τουλάχιστον οι ακόλουθες πληροφορίες:

- Προέλευση μετακίνησης (από πού αρχίζει)
- Προορισμός (που καταλήγει)
- Σκοπός της μετακίνησης
- Μεταφορικό μέσο
- Χρόνος πραγματοποίησης
- Χρήση γης στην προέλευση
- Χρήση γης στον προορισμό
- Διάρκεια μετακίνησης

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ – Έρευνες/Μετρήσεις

- Μέχρι και 10ετια 70, μεγάλες έρευνες Προέλευσης – Προορισμού σε νοικοκυριά με τυχαία δειγματοληψία.
- Μεγάλα αστικά κέντρα αναπτυγμένων χωρών και σε μεγάλες πόλεις αναπτυσσόμενων χωρών
- Υψηλό κόστος και μεγάλη χρονική περίοδος συλλογής στοιχείων
- Αθήνα : Wilbur Smith ‘ 70
  Μελέτη Αστικών Συγκοινωνιών ΟΑΣΑ ‘80
  ΜΑΜ – Μελέτη Ανάπτυξης Μετρό ‘90
- Ελλάδα : Luis Berger ’80
  ΝΕΕΠΠ Δοξιάδης ‘90
  Εργα Παραχώρησης, SDG - ΝΑΜΑ

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ – Έρευνες Π – Π

Ημερομηνία διεξαγωγής Έρευνας

- Εξαρτάται από τον σκοπό της έρευνας που συνήθως αφορά στην συλλογή στοιχείων σχετικά με την συμπεριφορά των μετακινούμενων κατά την διάρκεια μιας τυπικής ημέρας της εβδομάδας. Η καλύτερη εποχή είναι η Άνοιξη ή το Φθινόπωρο – οι κλιματικές συνθήκες μια χειμερινή μέρα μπορεί να επηρεάσουν την συμπεριφορά/επιλογές των μετακινούμενων, ενώ κατά την διάρκεια του καλοκαιριού μπορεί να παρατηρηθούν διαφορές λόγω των θερινών διακοπών

Ημέρα και χρόνος διεξαγωγής

- Αποκλείονται η Δευτέρα (δεδομένου ότι μπορεί να συνδέεται με μεγαλύτερη δραστηριότητα και επομένως συστηματική άρνηση για συμμετοχή στην έρευνα) και Παρασκευή (όπου συνήθως παρατηρείται μεγαλύτερη κινητικότητα). Επειδή συχνά είναι χρήσιμο να συλλέξουμε πληροφορία για τις μετακινήσεις της προηγούμενης μέρας, είναι προτιμότερο να προγραμματίζονται Τετάρτη ή Πέμπτη
- Συνεντεύξεις σε κατοικίες είναι προτιμότερο να προγραμματίζονται τις ώρες που είναι μεγαλύτερη η πιθανότητα τα μέλη του νοικοκυριού να βρίσκονται στην κατοικία 18:00 – 21:00. Για έρευνα στον χώρο εργασίας είναι προτιμότερο κατά τις κανονικές ώρες εργασίας.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ – Τυπικές απαιτήσεις

Σύγχρονη αντίληψη για μια μελέτη στρατηγικού σχεδιασμού μεταφορών με χρονικό ορίζοντα 20ετίας πρέπει να περιλαμβάνει και στοιχεία

Τυπικές απαιτήσεις

1. Απογραφή υποδομής και υφιστάμενων υπηρεσιών: (π.χ. οδικό δίκτυο, δίκτυα ΜΜΜ, σηματοδότηση) για βαθμονόμηση μοντέλου, ειδικά μοντέλο καταμερισμού σο δίκτυο
2. Απογραφή χρήσεων γης : ζώνες κατοικίας, ζώνες εμπορικής ΄και βιομηχανικής δραστηριότητας, χώροι στάθμευσης κλπ, για εκτίμηση παραμέτρων των μοντέλων γένεσης μετακινήσεων
3. Έρευνες Π – Π (σε νοικοκυριά, παρά την οδό σε κλειστή οριακή γραμμή, σε γραμμή διήθησης) και κυκλοφοριακές μετρήσεις φόρτων, ταχυτήτων, και χρόνων διαδρομής, για βαθμονόμηση μοντέλων κατανομής των μετακινήσεων
4. Κοινωνικο-οικονομικά χαρακτηριστικά (εισόδημα, ιδιοκτησία ΙΧ, μέγεθος νοικοκυριού κλπ) για βαθμονόμηση μοντέλων γένεσης μετακινήσεων και καταμερισμού στα μέσα.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ – Έρωτηματολόγιο

Περίοδος Έρευνας

- Δεδομένου του μεγάλου αριθμού των συνεντεύξεων που απαιτείται, συνήθως η έρευνα διεξάγεται κατά την διάρκεια αρκετών ημερών από μια μικρή σχετικά ομάδα εξειδικευμένων ερευνητών που μπορούν να εκπαιδευτούν και να ελέγχονται εύκολα.

Σχεδιασμός Ερωτηματολογίου- γενικές αρχές

- Απλές ερωτήσεις
- Ελαχιστοποίηση των ανοικτών ερωτήσεων
- Οι μετακινήσεις θα πρέπει να συνδέονται με τις δραστηριότητες που δημιουργούν την ανάγκη για μετακίνηση
- Όλα τα μέλη του νοικοκυριού ηλικίας > 12 ετών θα πρέπει να συμμετέχουν
- Η σειρά των ερωτήσεων θα πρέπει να δημιουργεί προοδευτικά αίσθηση οικειότητας - *΄Δύσκολες*΄ ερωτήσεις π.χ. εισόδημα του ερωτούμενου, θα πρέπει να γίνονται προς το τέλος της συνέντευξης.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ – Ερωτηματολόγιο

Σχεδιασμός Ερωτηματολογίου – Δομή και περιεχόμενο

Ένα ερωτηματολόγιο έχει 3 κυρίως μέρη:

- **Προσωπικά χαρακτηριστικά:**
  - σχέση με αρχηγό νοικοκυριού,
  - φύλο, ηλικία,
  - άδεια οδήγησης,
  - εκπαίδευση, απασχόληση,
  - δραστηριότητες που συμμετέχει
- **Χαρακτηριστικά μετακινήσεων:** Αναλύονται οι μετακινήσεις μήκους > 300μ.
  - προέλευση, προορισμός,
  - σκοπός,
  - ώρα έναρξης της μετακίνησης, ώρα άφιξης στον προορισμό
  - μεταφορικό μέσο
  - απόσταση που διανύθηκε πεζή (περιλαμβ, και των μετεπιβιβάσεων)
  - γραμμή ΜΜΜ, χρόνος αναμονής, σταθμός επιβίβασης και επιβίβασης
  - χρόνος αναμονής (και μετεπιβιβάσεων)
- **Χαρακτηριστικά νοικοκυριού:** κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά
  - εισόδημα,
  - ιδιοκτησία ΙΧ,
  - ιδιοκτησία κατοικίας, χαρακτηριστικά κατοικίας

ΔΙΚΤΥΟ & ΖΩΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

δίκτυο & ζωνικό σύστημα

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ - Έρευνες παρά την οδό

Έρευνες παρά την οδό

- Αποτελούν συχνά μια πιο αποτελεσματική μέθοδο για την εκτίμηση του πίνακα Π-Π δεδομένου ότι είναι **ευκολότερο να συλλεχθεί πληροφορία από μεγαλύτερο δείγμα**. Για αυτό το λόγο στοιχεία από αυτές τις έρευνες χρησιμοποιούνται για να αξιολογηθούν και να **εμπλουτισθούν τα στοιχεία από έρευνες σε νοικοκυριά**
- Στις συνεντεύξεις παρά την οδό, τα οχήματα αναγκάζονται να σταματήσουν στο πλευρό του δρόμο. Οδηγοί και επιβάτες απαντούν σε ερωτήσεις σχετικά με την **προέλευση, τον προορισμό και τον σκοπό μετακίνησης** της μετακίνησης τους . Λόγω χρονικών περιορισμών, ο αριθμός των ερωτήσεων περιορίζεται στις απολύτως απαραίτητες (συνήθως προσωπικά στοιχεία των μετακινούμενων δεν συλλέγονται) έτσι ώστε να συλλεχθεί όσο το δυνατό μεγαλύτερο δείγμα.
- Η **επιλογή των θέσεων** έχει μεγάλη σημασία έτσι ώστε να υπάρχει μεγάλη **αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος** σε σχέση με τις μετακινήσεις που μελετώνται, π.χ. θα πρέπει να είναι σε σημεία που να ελέγχουν την κυκλοφορία από και προς την περιοχή που μελετάται. Για παράδειγμα τα σημεία όπου οι κυριότερες οδικές αρτηρίες του δικτύου τέμνουν την κλειστή οριακή γραμμή της περιοχής μελέτης.

ΔΙΚΤΥΟ & ΖΩΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ - Ζωνικό Σύστημα

Ζώνες : χωρικές ενότητες που χρησιμοποιούνται για να ενοποιήσουν τα πρωτογενή στοιχεία (πχ. Μετακινήσεις ανά σκοπό) έτσι ώστε να μπορούν εύκολα να αναλυθούν στα πλαίσια ανάπτυξης του συγκοινωνιακού μοντέλου.

- ➔ Οι ζώνες θα πρέπει να είναι ομογενείς ως προς τις χρήσεις γης που περιλαμβάνουν και γενικά να έχουν ομοιόμορφα χαρακτηριστικά δεδομένου ότι λαμβάνονται σαν μια ενιαία μονάδα αναφοράς και ταξινόμησης όλων των στοιχείων, και χρησιμοποιείται έτσι σε όλη την διαδικασία του σχεδιασμού των μεταφορών
- ➔ Το μέγεθος και ο αριθμός τους εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της περιοχής και το επίπεδο λεπτομέρειας της μελέτης. Θεωρητικά μεγαλύτερη ακρίβεια επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ένα λεπτομερές ζωνικό σύστημα. Αλλά αυξάνει το κόστος και μπορεί να οδηγήσει σε αστάθεια των αποτελεσμάτων.
- ➔ Στα κέντρα αστικών περιοχών όπου υπάρχει μεγάλη πυκνότητα μετακινήσεων, το μέγεθος μπορεί να είναι αρκετά μικρό π.χ. 1-2 οικοδομικά τετράγωνα. Αντίθετα σε μελέτες στρατηγικού σχεδιασμού του συστήματος μεταφορών, οι ζώνες μπορεί να είναι οι επαρχίες, νομοί, ή ακόμα περιοχές που περιλαμβάνουν 2 ή και 3 νομούς.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ - Έρευνες παρά την οδό

Έρευνες παρά την οδό – μέγεθος δείγματος

Καθορίζεται με εφαρμογή της σχέσης

$$v \geq \frac{p.(1-p)}{\left(\frac{e}{u}\right)^2 + \frac{p.(1-p)}{N}}$$

Όπου

- v το μέγεθος του δείγματος
- p η αναλογία των μετακινήσεων προς ένα συγκεκριμένο προορισμό
- e το αποδεκτό σφάλμα (εκφραζόμενο ως αναλογία)
- u ο συντελεστής μοναδιαίας κανονικής κατανομής για το επιθυμητό επίπεδο εμπιστοσύνης
- N το μέγεθος του πληθυσμού, δηλ., ο κυκλοφοριακός φόρτος στην διατομή

Για δεδομένες τιμές του N, e, και u, η τιμή p = 0,5 συνεπάγεται το μεγαλύτερο δείγμα

Έρευνες με ταχυδρομικά δελτία : απαιτεί απλό ερωτηματολόγιο που συμπληρώνεται και αποστέλλεται από το μετακινούμενο, τα ταχυδρομικά τέλη πληρώνονται από αναλυτή, το % συμμετοχής είναι συνήθως πολύ χαμηλό (25-30%)

Έρευνες με καταγραφή των αριθμών κυκλοφορίας

ΔΙΚΤΥΟ & ΖΩΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ - Ζωνικό Σύστημα

Τα ακριβή όρια των ζωνών καθορίζονται με βάση διάφορα κριτήρια, που σχετίζονται με τους στόχους της μελέτης και ιδιαιτερότητες του προβλήματος

- ➔ Συμβατότητα των ορίων με βάση την διοικητική διαίρεση διευκολύνει την ανάλυση, δεδομένου ότι τα περισσότερα κοινωνικοοικονομικά στοιχεία από τις απογραφές της Στατιστικής υπηρεσίας, συγκεντρώνονται στο επίπεδο, δήμου, επαρχίας ή νομού.
- ➔ Αφού ορισθούν τα όρια μπορεί να γίνει περαιτέρω διάσπαση σε υποζώνες με βαση τις συγκεκριμένες ανάγκες της μελέτης.
- ➔ Τα ακριβή όρια των ζωνών καθορίζονται με βάση διάφορα κριτήρια, που σχετίζονται με τους στόχους της μελέτης και ιδιαιτερότητες του προβλήματος
- ➔ Οι ζώνες αναπαρίστανται στα μοντέλα σαν όλα τα χαρακτηριστικά τους να είναι συγκεντρωμένα σε ένα σημείο – το κεντροειδές της ζώνης. Το ζωνικό σύστημα θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι σφάλμα που οφείλεται στην παραδοχή ότι όλες οι μετακινήσεις προέρχονται η καταλήγουν στο κεντροειδές της ζώνης δεν είναι μεγάλο (πχ. Νομοί και έξοδοι Αυτοκινητόδρομου

ΔΙΚΤΥΟ & ΖΩΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ - Αναπαράσταση του Δικτύου

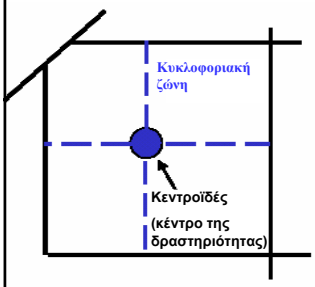
Το μεταφορικό δίκτυο συνήθως αναπαρίσταται από ένα σύστημα κόμβων και συνδέσμων. Οι κόμβοι αναπαριστούν διασταυρώσεις και οι σύνδεσμοι τα τμήματα του δρόμου μεταξύ διασταυρώσεων

- Οι σύνδεσμοι είναι όλοι μονής κατεύθυνσης και χαρακτηρίζονται από το μήκος τους, ταχύτητα, αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας, συνάρτηση φόρτου – χρόνου διαδρομής.
- Το επίπεδο λεπτομέρειας του μεταφορικού δικτύου θα πρέπει να συμβαδίζει με αυτό του ζωνικού συστήματος. Διερεύνηση του θέματος έχει δείξει ότι τα μεγαλύτερα σφάλματα υπολογισμού γίνονται στο χαμηλότερο επίπεδο ιεραρχίας του δικτύου που χρησιμοποιεί το συγκοινωνιακό μοντέλο. Επομένως το δίκτυο θα πρέπει να περιλαμβάνει τους συνδέσμους μιας κατηγορίας χαμηλότερης από αυτή του μελετάμε.
- Εκτενέστερη περιγραφή στο κεφάλαιο του καταμερισμού στα δίκτυα.

3 γένεση των μετακινήσεων

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Κυκλοφοριακές Ζώνες

κυκλοφοριακή ζώνη



- Η μονάδα ανάλυσης είναι η κυκλοφοριακή Ζώνη
- Για την διαμόρφωση των ορίων της Κυκλοφοριακής Ζώνης λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες :
  - Γεωγραφικά χαρακτηριστικά
  - Ομοιομορφία χρήσεων γης
  - Μεταφορικά δίκτυα
  - Θέση των κύριων κέντρων δραστηριότητας
  - Τα όρια των διοικητικών ενοτήτων
- Κεντροϊδές: χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει το κέντρο της δραστηριότητας μέσα σε μια ζώνη και να συνδέσει την ζώνη με τα μεταφορικά δίκτυα

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: εισαγωγή

το υπό διερεύνηση θέμα:

πόσες μετακινήσεις ξεκινούν από κάθε ζώνη?

πόσες μετακινήσεις κάνει ένας μετακινούμενος κατά την διάρκεια μιας μέσης εβδομάδας?

Ανάλυση κατά ζώνη

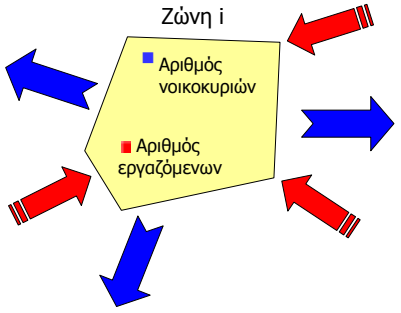
Αθροιστικά μοντέλα
(aggregate models)

Ανάλυση κατά άτομο

Εξατομικευμένα μοντέλα
(disaggregate models)

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Κυκλοφοριακές Ζώνες

οι ζώνες παράγουν και προσελκύουν μετακινήσεις



Ανάλογα με τις δραστηριότητες που πραγματοποιούνται μέσα σε μια ζώνη, η ζώνη αυτή μπορεί να παράγει ή/και να προσελκύει μετακινήσεις

Παραγόμενες μετακινήσεις

Προσελκυόμενες μετακινήσεις

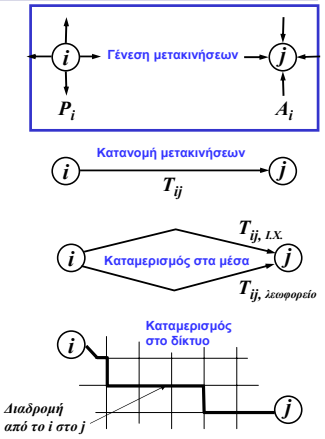
ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: εισαγωγή

γένεση μετακινήσεων

Η διαδικασία με την οποία μεγέθη μιας δραστηριότητας (εργασία, αγορές, ψυχαγωγία εκπαίδευση, κλπ) μετατρέπονται σε αριθμό μετακινήσεων.

Σκοπός:

- να ποσοτικοποιήσει την σχέση μεταξύ δραστηριοτήτων και της ζήτησης για μετακίνηση.
- να προβλέψει τον αριθμό των μετακινήσεων που παράγονται από, και έλκονται από κάθε ζώνη



ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μετακινήσεις

μετακινήσεις

Μια μετακίνηση είναι η κίνηση κατά μια συγκεκριμένη κατεύθυνση η οποία

→ ξεκινάει
- από ένα σημείο – το σημείο προέλευσης της μετακίνησης
- μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή – χρόνος έναρξης της μετακίνησης

→ καταλήγει
- σε ένα άλλο σημείο – το σημείο προορισμού
- μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή – χρόνος άφιξης στον προορισμό

→ και γίνεται για ένα συγκεκριμένο σκοπό – σκοπός μετακίνησης

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μετακινήσεις

μετακινήσεις

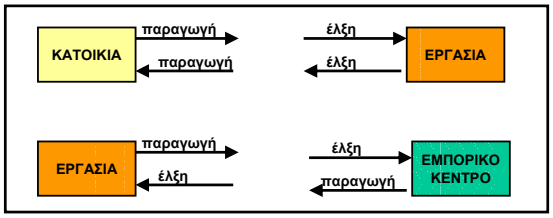
- Ένα ταξίδι από τον τόπο κατοικίας προς τον τόπο εργασίας θεωρείται ότι είναι μία μετακίνηση που έχει δύο άκρα. Εχει προέλευση την κατοικία και προορισμό την εργασία δηλ. παράγεται στον τόπο κατοικίας και έλκεται από τον τόπο εργασίας.
  - *Μια Μετακίνηση – **Δύο άκρα** μετακίνησης (κατοικία και εργασία).*
  - *Κάθε μετακίνηση χαρακτηρίζεται από τον **τόπο παραγωγής της και από τον τόπο έλξης** της.*
  - *Η Γένεση των μετακινήσεων προβλέπει τον αριθμό των μετακινήσεων (για ταξίδια με βάση την κατοικία και για ταξίδια που δεν έχουν βάση την κατοικία)*
  - *Σε ένα κλειστό σύστημα ο **συνολικός αριθμός των παραγόμενων μετακινήσεων είναι ίσος με τον συνολικό αριθμό των προσελκυόμενων** μετακινήσεων*

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Γένεσης Μετακινήσεων

κατηγορίες μοντέλων γένεσης μετακινήσεων

- Υπάρχουν δύο τύποι μοντέλων γένεσης των μετακινήσεων
  1) **Μοντέλα της Παραγωγής** των Μετακινήσεων ή μοντέλα προσελκυόμενων (ελκόμενων) μετακινήσεων
  2) **Μοντέλα Προσέλκυσης (έλξης)** των Μετακινήσεων ή μοντέλα προσελκυόμενων (ελκυόμενων) μετακινήσεων.
- Για την ανάλυση των **μετακινήσεων με βάση την κατοικία** (home-based-trips :
  - Τα μοντέλα Παραγωγής των μετακινήσεων εκτιμούν (υπολογίζουν) τον αριθμό των μετακινήσεων από και προς τις ζώνες που οι μετακινούμενοι κατοικούν
  - Τα μοντέλα Προσέλκυσης των Μετακινήσεων εκτιμούν τον αριθμό των μετακινήσεων από και προς κάθε ζώνη που περιλαμβάνει το άκρο της μετακίνησης που δεν είναι η κατοικία του μετακινούμενου
- Διαφορετικά μοντέλα Παραγωγής και Προσέλκυσης μετακινήσεων χρησιμοποιούνται για κάθε **σκοπό μετακίνησης**
- Ειδικά μοντέλα γένεσης μετακινήσεων χρησιμοποιούνται για να εκτιμήσουμε τις μετακινήσεις με βάση όχι την κατοικία, εξωτερικές μετακινήσεις, μεταφορές εμπορευμάτων κα.

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μετακινήσεις



- **Μετακίνηση με Βάση την Κατοικία:** η κατοικία είναι ο προέλευση ή ο προορισμός της μετακίνησης
- **Μετακίνηση με βάση όχι την Κατοικία:** κανένα από τα δύο άκρα της μετακίνησης δεν είναι η κατοικία του μετακινούμενου
- **Παραγωγή των μετακινήσεων:** Η κατοικία στις μετακινήσεις με βάση την κατοικία ή η προέλευση μιας μετακίνησης που δεν έχει βάση την κατοικία.
- **Έλξη των Μετακινήσεων:** Το άκρο της μετακίνησης που δεν είναι η κατοικία, σε μια μετακίνηση με βάση την κατοικία, ή ο προορισμός μιας μετακίνησης που δεν έχει βάση την κατοικία
- **Γένεση Μετακινήσεων:** Ο συνολικός αριθμός μετακινήσεων που γεννώνται από τα νοικοκυριά σε μια ζώνη

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Γένεσης Μετακινήσεων

Διαδικασία ανάπτυξης μοντέλων γένεσης των μετακινήσεων

- **Ομαδοποίηση των μονάδων λήψης απόφασης :**
  Η πρόβλεψη της γένεσης των μετακινήσεων απλοποιείται με το να ομαδοποιήσουμε σχετικά **ομοιογενείς** μονάδες – π.χ. τους μετακινούμενους που είναι **μέλη του ίδιου νοικοκυριού**. Αυτοί οι μετακινούμενοι έχουν τα ίδια κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά και οι δραστηριότητες τους που απαιτούν μετακινήσεις αλληλοσχετίζονται.
- **Άθροιση μετακινήσεων μιας Χρονικής περιόδου:**
  Τα μοντέλα γένεσης των μετακινήσεων προβλέπουν τον **συνολικό αριθμό** των μετακινήσεων που διεξάγονται κατά την διάρκεια **μιας χρονικής περιόδου**, αντί να προβλέπουν πότε θα μετακινηθεί ο κάθε μετακινούμενος

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Κατηγοριοποίηση Μετακινήσεων

κατηγορίες μετακινήσεων

- **Σκοπός μετακίνησης**
  - Εργασία
  - Εκπαίδευση
  - Ψώνια - Αγορές
  - Κοινωνικοί λόγοι/ Αναψυχή
  - άλλα
- **Χρόνος κατά την διάρκεια της ημέρας**
- **Προσωπικά χαρακτηριστικά μετακινούμενων**
  - Κατηγορία εισοδήματος
  - Ιδιοκτησία Ι.Χ.
  - Δομή και μέγεθος νοικοκυριού

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Γένεσης Μετακινήσεων

Διαδικασία ανάπτυξης μοντέλων γένεσης των μετακινήσεων

- **Διαχωρισμός ανά τύπο μετακίνησης :**
  Διαφορετικές κατηγορίες μετακινήσεων είναι πιο πιθανόν να πραγματοποιούνται κατά την διάρκεια συγκεκριμένων χρονικών περιόδων κατά την διάρκεια της ημέρας.
  Μερικές κατηγορίες μετακινήσεων είναι πιο πιθανόν να γίνονται πολλές φορές κατά την διάρκεια της ημέρας και άλλες όχι.
  Για αυτό τον λόγο, συνήθως τρεις κύριες κατηγορίες μετακινήσεων προτυποποιούνται:
  - οι μετακινήσεις προς και από την εργασία
  - οι μετακινήσεις για ψώνια/αγορές
  - οι μετακινήσεις για κοινωνικούς λόγους/ για αναψυχή

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Γένεσης Μετακινήσεων

Παράγοντες που επηρεάζουν την γένεση των μετακινήσεων

- Ο αριθμός των μετακινήσεων που κάνει ένας μετακινούμενος είναι γενικά συνάρτηση διαφόρων **κοινωνικοοικονομικών** χαρακτηριστικών (πχ ηλικία, εισόδημα) ή/και χαρακτηριστικών της **χωρικής κατανομής** των δραστηριότητων του (τόπος κατοικίας, τόπος εμπορικής δραστηριότητας, εργασίας κα)
- Η μορφή των μεταβλητών που περιλαμβάνονται στα μοντέλα γένεσης εξαρτάται από το τύπο του μοντέλου δηλ. αν προβλέπει μετακινήσεις ανά **ζώνη ή ανά νοικοκυριό**.
- Παράγοντες που έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε μελέτες περιλαμβάνουν:
  - Εισόδημα
  - Ιδιοκτησία Ι.Χ.
  - Δομή Νοικοκυριού
  - Μέγεθος οικογένειας
  - Αξία γης
  - Πυκνότητα δόμησης
  - Προσιτότητα (ελαστικότητα της ζήτησης)

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα του Συντελεστή Ανάπτυξης

μοντέλα του συντελεστή ανάπτυξης

- **Παράδειγμα** :
  Ζώνη με 250 νοικοκυριά με 1 ΙΧ, και 250 με 0 ΙΧ.
  - $t_{1\text{-}IX}$ = *6.0 μετακινήσεις/ημέρα;* $t_{0\text{-}IX}$ = *2.5 μετακινήσεις/ημέρα*
  - *Συνολικός αριθμός μετακινήσεων :* t_i = 6.0*250 + 2.5*250 = **2125**
  - *Στο έτος βάσης (σημερινή κατάσταση) η μέση ιδιοκτησία ΙΧ είναι 0,5 ΙΧ ανά νοικοκυριό.*

  Στην μελλοντική κατάσταση όλα τα νοικοκυριά θα έχουν 1 ΙΧ
  - F_i = 1/0.5 = **2** → $T_i = F_i \times t_i$ = **2*2125** = 4250 trips/day

- **Αξιολόγηση**
  - Απλοποιητικές παραδοχές,
  - Χρησιμοποιείται κυρίως για τον υπολογισμό των εξωτερικών μετακινήσεων της περιοχή μελέτης

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Γένεσης Μετακινήσεων

Μέθοδοι ανάλυσης της γένεσης των μετακινήσεων

- **Μοντέλα του Συντελεστή Ανάπτυξης**
  (growth factor models)
- **Μοντέλα Ανάλυσης κατά κατηγορίες**
  (Cross classification - Category analysis)
- **Μοντέλα Ανάλυσης Παλινδρόμησης**
  (Regression Analysis)

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Ανάλυσης κατά Κατηγορίες

μοντέλα ανάλυσης κατά κατηγορίες

- Χρησιμοποιούν σαν μονάδα ανάλυσης το **νοικοκυριό** και βασίζουν την εκτίμηση της ζήτησης (πχ. αριθμό των μετακινήσεων που παράγονται) σαν συνάρτηση των χαρακτηριστικών του νοικοκυριού.
- Τα νοικοκυριά ταξινομούνται σε **κατηγορίες** ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους (πχ. εισόδημα, διαθεσιμότητα ΙΧ, μέγεθος, αριθμός εργαζόμενων)
- Για κάθε κατηγορία υπολογίζεται ο **ρυθμός γένεσης των μετακινήσεων** από μετρήσεις για την υπάρχουσα κατάσταση

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα του Συντελεστή Ανάπτυξης

μοντέλα του συντελεστή ανάπτυξης

Βασική Παραδοχή:

$$T_i = F_i \times t_i$$

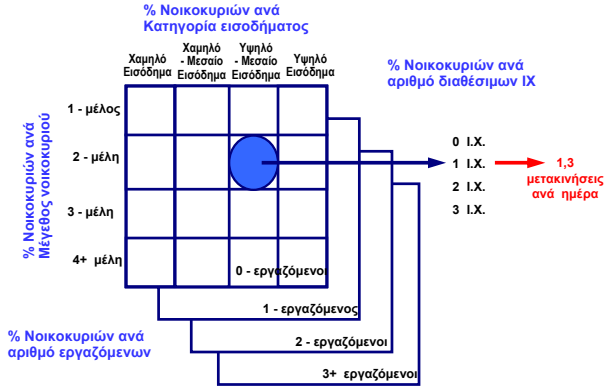
όπου

- T_i = μελλοντικές μετακινήσεις
- t_i = οι παρατηρούμενες μετακινήσεις στο έτος βάση
- F_i = συντελεστής ανάπτυξης

- F_i σχετίζεται με τον πληθυσμό, το εισόδημα, και ιδιοκτησία ΙΧ στην υπάρχουσα και στην μελλοντική κατάσταση

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ανάλυση κατά Κατηγορίες

μοντέλα ανάλυσης κατά κατηγορίες



ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ανάλυση κατά Κατηγορίες

μοντέλα ανάλυσης κατά κατηγορίες

- **Βασική παραδοχή:** Ο ρυθμός γένεσης μετακινήσεων σε κάθε κατηγορία παραμένει σταθερός (δηλ. είναι για όλη την περίοδο που αναφέρονται οι προβλέψεις

$$P^i(t) = \sum_{k,m,n} H^i_{k,m,n}(t) \times f_{k,m,n}$$

$P^i(t)$ = ο αριθμός των μετακινήσεων που παράγονται στην ζώνη i στον χρονικό ορίζοντα των προβλέψεων t

$H^i_{k,m,n}(t)$ = ο αριθμός των νοικοκυριών ζώνη i που προβλέπεται ότι θα ανήκουν στην κατηγορία k,m,n, στον χρονικό ορίζοντα t

$f_{k,m,n}$ = ο ρυθμός των μετακινήσεων (πχ. μετακινήσεις/ημέρα) που παράγονται από ένα νοικοκυριό που ανήκει στην κατηγορία k,m,n - παραμένει σταθερός

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ανάλυση κατά Κατηγορίες

Αν για το έτος πρόβλεψης των μετακινήσεων, εκτιμάται ότι στην περιοχή μελέτης θα υπάρχουν συνολικά 1500 νοικοκυριά και η κατανομή τους ανά κατηγορία ιδιοκτησίας ΙΧ και μεγέθους νοικοκυριού δίνεται από τον πίνακα (Ε), να υπολογισθεί ο μελλοντικός μέσος αριθμός μετακινήσεων ανά νοικοκυριό. **ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ**

(Ε)

Προβλεπόμενη Κατανομή Νοικοκυριών ανά μέγεθος και ιδιοκτησία ΙΧ		Μέγεθος Νοικοκυριού			
		1	2	3-4	5+
Ιδιοκτησία ΙΧ	0	5%	3%	5%	2%
	1	14%	7%	14%	17%
	2+	1%	5%	11%	16%

ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΩΝ = 1500

(Ζ)=1500 x (Ε)

Αριθμός νοικοκυριών ανά κατηγορία		Μέγεθος Νοικοκυριού			
		1	2	3-4	5+
Ιδιοκτησία ΙΧ	0	75	45	75	30
	1	210	105	210	255
	2+	15	75	165	240

(Η) = (Ζ) x (Α)

Συνολικός αριθμός μετακινήσεων ανά κατηγορία		Μέγεθος Νοικοκυριού			
		1	2	3-4	5+
Ιδιοκτησία ΙΧ	0	20	20	39	17
	1	97	109	275	451
	2+	7	80	257	521

Συνολικός αριθμός μετακινήσεων 1894

Μέσος αριθμός μετακινήσεων ανα νοικοκυριό στην περιοχή μελέτης 1,2629

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ανάλυση κατά Κατηγορίες

μοντέλα ανάλυσης κατά κατηγορίες

Απλό παράδειγμα

Μετακινήσεις ανά Νοικοκυριό		Μέγεθος Νοικοκυριού			
		1	2	3-4	5+
Ιδιοκτησία Ι.Χ.	0	0.27	0.45	0.52	0.57
	1	0.46	1.04	1.31	1.77
	2+	0.47	1.07	1.56	2.17

Κατανομή Νοικοκυριών ανά Μέγεθος & Ιδιοκτ. ΙΧ		Μέγεθος Νοικοκυριού			
		1	2	3-4	5+
Ιδιοκτησία Ι.Χ.	0	10%	5%	10%	5%
	1	5%	5%	10%	15%
	2+	5%	5%	10%	15%

Πόσες μετακινήσεις παράγονται εάν η ζώνη αποτελείται από 1000 νοικοκυριά ?

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ανάλυση κατά Κατηγορίες

μοντέλα ανάλυσης κατά κατηγορίες

- **Επιλογή των κατηγοριών**

Ο ρυθμός των μετακινήσεων $f_{k,m,n}$ υπολογίζεται από στοιχεία που συλλέγονται από έρευνες σε δείγματα από τα νοικοκυριά κάθε κατηγορίας. Το μέγεθος του δείγματος προσδιορίζεται με βάση τις στατιστικές μεθόδους της δειγματοληψίας.

Ο προσδιορισμός των κατηγοριών πρέπει να γίνει έτσι ώστε η τυπική απόκλιση της κατανομής του $f_{k,m,n}$ να ελαχιστοποιείται.

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ανάλυση κατά Κατηγορίες

(Α)

Μετακινήσεις ανά νοικοκυριό		Μέγεθος Νοικοκυριού			
		1	2	3-4	5+
Ιδιοκτησία ΙΧ	0	0,27	0,45	0,52	0,57
	1	0,46	1,04	1,31	1,77
	2+	0,47	1,07	1,56	2,17

(Β)

Κατανομή Νοικοκυριών ανά μέγεθος και Ιδιοκτησία ΙΧ		Μέγεθος Νοικοκυριού			
		1	2	3-4	5+
Ιδιοκτησία ΙΧ	0	12%	5%	10%	5%
	1	7%	5%	10%	15%
	2+	1%	5%	10%	15%

ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΩΝ = 1000

(Γ)=1000 x (Β)

Αριθμός νοικοκυριών ανά κατηγορία		Μέγεθος Νοικοκυριού			
		1	2	3-4	5+
Ιδιοκτησία ΙΧ	0	120	50	100	50
	1	70	50	100	150
	2+	10	50	100	150

(Δ)=(Α) x (Γ)

Συνολικός αριθμός μετακινήσεων ανά κατηγορία		Μέγεθος Νοικοκυριού			
		1	2	3-4	5+
Ιδιοκτησία ΙΧ	0	32,4	22,5	52	28,5
	1	32,2	52	131	265,5
	2+	4,7	53,5	156	325,5

Συνολικός αριθμός μετακινήσεων 1156

Μέσος αριθμός μετακινήσεων ανα νοικοκυριό στην περιοχή μελέτης 1,1558

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ανάλυση κατά Κατηγορίες

μοντέλα ανάλυσης κατά κατηγορίες

- **Πλεονεκτήματα της μεθόδου :**
  - Η κατηγοριοποίηση είναι ανεξάρτητη από το ζωνικό σύστημα
  - Η μορφή της σχέσης μεταξύ μετακινήσεων και των επεξηγηματικών μεταβλητών δεν προσδιορίζεται εκ των προτέρων (*πχ. γραμμική, μονοτονική*)
  - Οι σχέσεις μπορεί να διαφέρουν από κατηγορία σε κατηγορία (*πχ. Οι επιπτώσεις της μεταβολής του μεγέθους του νοικοκυριού για νοικοκυριά με 1 ή 2 Ι.Χ. μπορεί να είναι διαφορετικές*)
- **Μειονεκτήματα της μεθόδου:**
  - Δεν επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων για κατηγορίες πέρα αυτών που περιλαμβάνονται στην ανάλυση του έτους βάση
  - Δεν υπάρχουν στατιστικές μέθοδοι ελέγχου της αξιοπιστίας των προβλέψεων
  - Απαιτεί μεγάλα δείγματα
  - Δεν υπάρχει συγκεκριμένη μέθοδος επιλογής των κατηγοριών – απαιτεί μια μακρά διαδικασία «δοκιμής – και – λάθους»

μοντέλα ανάλυσης παλινδρόμησης

- Εκφράζουν τον αριθμό των παραγόμενων ή ελκόμενων μετακινήσεων σαν συνάρτηση των κοινωνικο-οικονομικών και λοιπών χαρακτηριστικών κάθε ζώνης.
- Οι συναρτήσεις είναι συνήθως γραμμικές - μη γραμμικές σχέσεις μπορούν να μετασχηματισθούν σε γραμμικές με κατάλληλο μετασχηματισμό των μεταβλητών,

  π.χ. $y = \alpha.\beta^x \Leftrightarrow log(y) = log(\alpha)+x.log(\beta)$
- Η μορφή της συναρτησιακής σχέσης και οι τιμές των παραμέτρων (συντελεστών) υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την θεωρεία της ανάλυσης παλινδρόμησης από την στατιστική.

- **Τα στάδια προσδιορισμού ενός μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης**

Ο υπολογισμός των τιμών των συντελεστών της γραμμικής σχέσης βασίζεται στην αρχή των ελαχίστων τετραγώνων. Τα προγράμματα στατιστικής ανάλυσης και spreadsheets υπολογίζουν τους συντελεστές ενός μοντέλου όταν η μορφή του έχει καθορισθεί.

Η διαδικασία ανάπτυξης εναλλακτικών μορφών μοντέλων και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων, περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

1. **Επιλογή των ανεξάρτητων μεταβλητών** που θα εξετασθούν και πιθανά να περιληφθούν στο μοντέλο
2. **Ανάλυση της σχέσης κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής με την εξαρτημένη μεταβλητή**. Αν ή σχέση με μια ανεξάρτητη μεταβλητή δεν είναι γραμμική, διερευνάται η δυνατότητα χρησιμοποίησης κατάλληλου μετασχηματισμού

- μια **Τυπική Μορφή** ενός μοντέλου γένεσης μετακινήσεων είναι:

$$Y = \alpha + \beta_1 . x_1 + \beta_2 . x_2 + \ldots.. + \beta_v . x_v$$

όπου

Y = ***εξαρτημένη*** μεταβλητή δηλ. ο αριθμός των παραγόμενων ή ελκόμενων μετακινήσεων σε μια ζώνη

x_i = ***ανεξάρτητες*** (επεξηγηματικές) μεταβλητές δηλ. οι τιμές των παραγόντων που επηρεάζουν τον αριθμό των μετακινήσεων, πχ. Μέσο εισόδημα νοικοκυριού, αριθμός νοικοκυριών, μέση ιδιοκτησία ΙΧ ανά νοικοκυριό, μέσο μέγεθος νοικοκυριού κ.α.

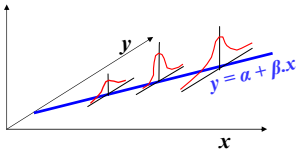
α, β_i = παράμετροι/συντελεστές του μοντέλου που προσδιορίζονται στην φάση της βαθμονόμησης

- **Τα στάδια προσδιορισμού ενός μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης** *(συνέχεια)*

3. Υπολογισμός του **πίνακα συντελεστών συσχέτισης** για όλα τα δυνατά ζεύγη μεταβλητών (ανεξάρτητων μεταβλητών μεταξύ τους και με την εξαρτημένη μεταβλητή). Σε περίπτωση που δύο μεταβλητές είναι συγγραμικές επιλέγεται μόνο μία για να περιληφθεί στο μοντέλο (εκείνη που έχει τη μεγαλύτερη συσχέτιση με την ανεξάρτητη και που για την οποία μπορούμε να κάνουμε αξιόπιστες προβλέψεις)
4. **Υπολογισμός των συντελεστών** της σχέσης παλινδρόμησης. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές εισάγονται σταδιακά στην εξίσωση και υπολογίζονται κάθε φορά οι διάφοροι **στατιστικοί δείκτες**. Σε κάθε στάδιο, μια μεταβλητή παραμένει στην εξίσωση ή απορρίπτεται ανάλογα με την συμβολή της στην **αύξηση της ακρίβειας** του μοντέλου.
5. Υπολογίζονται τα **τελικά στατιστικά μεγέθη** και ελέγχεται η αξιοπιστία του μοντέλου

- **Προϋποθέσεις για την χρήση της μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης**

- Για δεδομένη τιμή της ή των ανεξάρτητων μεταβλητών, η κατανομή των σφαλμάτων απόκλισης πρέπει να έχει μέση τιμή 0 και σταθερή διακύμανση ανεξαρτήτως της τιμής των x_i



Στοιχεία για τα οποία η διακύμανση του σφάλματος δεν είναι σταθερή ονομάζονται ετεροσκεδαστικά. Μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης που προσδιορίζονται από ετεροσκεδαστικά στοιχεία είναι ανακριβή

- Οι ανεξάρτητες μεταβλητές δεν συσχετίζονται. Αν συσχετίζονται τότε δεν είναι δυνατόν να προσδιορισθεί η επίδραση της κάθε μιας στην τιμή της εξηρτημένης μεταβλητής. Η ύπαρξη συγγραμμικότητας μεταξύ δύο μεταβλητών μπορεί να οδηγήσει σε παράλογες μορφές της συναρτησιακής σχέσης του μοντέλου

- **Τα στάδια προσδιορισμού ενός μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης** *(συνέχεια)*
  - Τα στατιστικά μεγέθη που υπολογίζονται είναι

    a) ο **συντελεστής προσδιορισμού** R^2 (*correlation of determination*) ή συντελεστής συσχέτισης R.
    R^2 x 100 = το ποσοστό της συνολικής μεταβλητότητας της εξαρτημένης μεταβλητής που εξηγείται από την σχέση της παλινδρόμησης

    b) Το **μέσο τετραγωνικό σφάλμα εκτίμησης** (*standard error of the estimate*). Χρησιμοποιείται για να συγκριθούν τα αποτελέσματα του μοντέλου με τις πραγματικές τιμές που μετρήθηκαν. Ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις

    y* - St. Err < y < y* + St. Err με πιθανότητα 68,27%

    y* - 2 St. Err < y < y* + 2 St. Err με πιθανότητα 95,45%

    όπου y η πραγματική τιμή που μετρήθηκε, y* η τιμή που υπολογίζει το μοντέλο και St. Err το σφάλμα εκτιμησης.

- **Τα στάδια προσδιορισμού ενός μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης** *(συνέχεια)*
  - Τα στατιστικά μεγέθη που υπολογίζονται είναι
    - **c) Ο λόγος t (*t-ratio*)** που χρησιμοποιείται για να διερευνηθεί η στατιστική σημαντικότητα κάθε συντελεστή.
      Ο λόγος t συγκρίνεται με την κατανομή t-Student, με βαθμό ελευθερίας ν-κ (ν είναι το μέγεθος του δείγματος και κ ο αριθμός των μεταβλητών στην εξίσωση περιλαμβανομένης και της ανεξάρτητης)
      Εάν η απόλυτη τιμή του *t-ratio* ενός συντελεστή είναι μεγαλύτερη από την τιμή του t-student από τον σχετικό πίνακα (για δεδομένο το επίπεδο εμπιστοσύνης) τότε η τιμή του συντελεστή είναι στατιστικά σημαντική (δηλ. έχει τιμή που στατιστικά είναι διάφορη από το μηδέν). Αν συμβαίνει το αντίθετο τότε η σχετική μεταβλητή απορρίπτεται και δεν χρησιμοποιείται στην συγκεκριμένη συναρτησιακή σχέση που διερευνάται.

Προτυποποίηση αθροιστικών μεγεθών ή μέσων όρων?

- **Τυποποίηση αθροιστικών μεγεθών ανά ζώνη**, πχ.

σύνολο μετακινήσεων =
f (σύνολο εργαζόμενων, συνολικός αριθμός IX, ….)

$$Y_i = \beta_o + \beta_1.X_{1i} + \beta_2.X_{2i} + \ldots \quad + \beta_\kappa.X_{\kappa i} + E_i$$

σφάλμα

- **Τυποποίηση μέσων όρων** πχ.,

μετακινήσεις/νοικοκυριό =
f (IX ανά νοικοκυριό, εργαζόμενοι ανά νοικοκυριό,…)

$$y_i = \beta_o + \beta_1.x_{1i} + \beta_2.x_{2i} + \ldots \quad + \beta_\kappa.x_{\kappa i} + e_i$$

όπου $y_i = Y_i / H_i$, $x_{1i} = X_{1i} / H_i$, . . ., $e_i = E_i / H_i$

και H_i είναι ο αριθμός των νοικοκυριών ανά ζώνη

Είναι τα αποτελέσματα της παλινδρόμησης λογικά????

Ένα «σωστό στατιστικά» μοντέλο δεν σημαίνει απαραίτητα ότι είναι και σωστό μοντέλο πρόβλεψης

Θα πρέπει να ελεγχθούν :

- Το **μέγεθος του σταθερού όρου** δεν πρέπει να είναι μεγάλο. Θεωρητικά η γραμμή της παλινδρόμησης θα πρέπει να διέρχεται από το 0. Αυτό όμως δεν είναι πάντα δυνατό. Το πρόσημο και το μέγεθος της σταθεράς δεν πρέπει να είναι τέτοια που να συνεπάγονται παράλογες εκτιμήσεις (π.χ. υψηλό αριθμό αρνητικών μετακινήσεων)
- Το μοντέλο πρέπει να περιλαμβάνει μεταβλητές που σχετίζονται με **χαρακτηριστικά των μετακινούμενων ή/και δραστηριοτήτων** που δεν παραμένουν αμετάβλητα, αλλά **που εξελίσσονται** (π.χ. εισόδημα, ιδιοκτησία IX, επιφάνεια εμπορικών κέντρων κλπ)

Προτυποποίηση αθροιστικών μεγεθών ή μέσων όρων?

- Οι δύο εξισώσεις είναι οι ίδιες δεδομένου ότι προσπαθούν να εξηγήσουν την μεταβλητότητα του αριθμού των μετακινήσεων σαν συνάρτηση συγκεκριμένων παραγόντων.
- Η διαφορά εντοπίζεται στην κατανομή του σφάλματος. Η απαίτηση για σταθερά διακύμανση μπορεί να ισχύει και για τις δύο μορφές μοντέλων μόνο όταν ο αριθμός των νοικοκυριών H_i είναι σταθερός για όλες τις ζώνες.
- Δεδομένου ότι τα αθροιστικά μεγέθη σχετίζονται με το μέγεθος της ζώνης, το μέγεθος του σφάλματος σχετίζεται με το μέγεθος της ζώνης, δηλ. εμφανίζεται ***ετεροσκεδαστικότητα***, η οποία ελαττώνεται όταν αναλύουμε σε επίπεδο νοικοκυριού (διαιρούμε με H_i)

➢ **Θα πρέπει να επιδιώκεται η κατασκευή μοντέλων με μεταβλητές που δεν σχετίζονται με το μέγεθος της ζώνης**

➢ **Η μονάδα ανάλυσης που ενδείκνυται είναι το νοικοκυριό**

Είναι τα αποτελέσματα της παλινδρόμησης λογικά????

- Οι προβλέψεις των **μελλοντικών τιμών** των ανεξάρτητων μεταβλητών (που περιλαμβάνονται στο μοντέλο) πρέπει να είναι αξιόπιστες
- Το πρόσημο και το μέγεθος των συντελεστών πρέπει να είναι σύμφωνο με τον βαθμό και τον τύπο της επιρροής που έχει η ανεξάρτητη μεταβλητή στις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής (πχ. το πρόσημο του συντελεστή του πληθυσμού σε ένα μοντέλο παραγόμενων μετακινήσεων δεν μπορεί να είναι αρνητικό, ούτε η τιμή του να είναι διαφορετικής τάξης μεγέθους από ότι ο μέσος ρυθμός μετακινήσεων ανά άτομο)

- **Διαδικασία πρόβλεψης των μελλοντικών μετακινήσεων**
  1. Συλλογή στοιχείων από την υπάρχουσα κατάσταση (έτος βάση) σχετικά με τον αριθμό των γενόμενων μετακινήσεων Y, και τις τιμές των διαφόρων παραγόντων που τις επηρεάζουν, $X_1, X_2, \ldots, X_\nu$
  2. Προσδιορισμός της εξίσωσης παλινδρόμησης που περιλαμβάνει α) τη μορφή της συναρτησιακής σχέσης δηλ. ποιες επεξηγηματικές μεταβλητές περιλαμβάνονται και β) οι τιμές των παραμέτρων $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_\nu$
  3. Η εξίσωση αποτελεί το μοντέλο της παραγωγής (ή έλξης) των μετακινήσεων. Χρησιμοποιώντας τις μελλοντικές τιμές των επεξηγηματικών μεταβλητών υπολογίζουμε τον αριθμό των μελλοντικών μετακινήσεων

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ανάλυση Παλινδρόμησης

ελκόμενες μετακινήσεις

- Οι Προσελκυόμενες Μετακινήσεις μπορούν να προσδιορισθούν αναλύοντας τις δραστηριότητες που προσελκύουν μετακινήσεις.
- Μετακινήσεις Προσελκύονται σε διάφορες ζώνες. Ο αριθμός των μετακινήσεων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της κάθε ζώνης, π.χ. τον αριθμό και μέγεθος των δραστηριοτήτων που λαμβάνει χώρα σε κάθε ζώνη.
- Οι ίδιες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την προτυποποίηση των προσελκυόμενων μετακινήσεων, αλλά οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι προφανώς διαφορετικές.
  - Απασχόληση
  - Εμπορική Δραστηριότητα
  - Πυκνότητα Δραστηριοτήτων

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Άσκηση Παλινδρόμησης

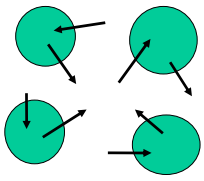
- Από τον πίνακα των συντελεστών συσχέτισης προκύπτει ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών X1 και X2, και της εξαρτημένης μεταβλητής Y.
- Υπάρχει υψηλή συσχέτιση μεταξύ X1 και X3 γεγονός που υποδηλώνει ότι μεταβλητές αυτές είναι συγγραμμικές και επομένως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί στο ίδιο μοντέλο
- Στο μοντέλο (1) ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι αρκετά υψηλός και οι συντελεστές του μοντέλου στατιστικά σημαντικοί δεδομένου ότι οι τιμές των λόγων - t είναι υψηλότερες από την κρίσιμη τιμή 1,645 για 95% επίπεδο εμπιστοσύνης και το μέγεθος του δείγματος που έχουμε. Η τιμή της σταθεράς είναι σχετικά υψηλή αλλά όχι σε βαθμό που να κάνει το μοντέλο μη αποδεκτό
- Στο μοντέλο (2) ο συντελεστής προσδιορισμού είναι ελαφρά υψηλότερος από το μοντέλο (1), και οι τιμές των λόγων-t είναι ελαφρά υψηλότερες από την κρίσιμη τιμή για το μέγεθος του δείγματος προκύπτει ότι οι συντελεστές είναι στατιστικά σημαντικοί

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ανάλυση Παλινδρόμησης

Εξισορρόπηση των συνολικών μετακινήσεων

- Το σύνολο των παραγόμενων και ελκόμενων μετακινήσεων στην περιοχή μελέτης πρέπει να είναι το ίδιο. Συνήθως όμως δεν είναι, δεδομένου ότι τα μεγέθη αυτά υπολογίζονται χρησιμοποιώντας διαφορετικά μοντέλα.
- Επειδή τα μοντέλα παραγωγής μετακινήσεων είναι συνήθως πιο ακριβή από τα μοντέλα έλξης μετακινήσεων, συνήθως ο συνολικός αριθμός των ελκόμενων μετακινήσεων προσαρμόζεται στον συνολικό αριθμό των παραγόμενων μετακινήσεων χρησιμοποιώντας τον παράγοντα F

$$F = \frac{\sum P_z}{\sum A_z}$$



P_z = παραγόμενες μετακινήσεις από ζώνη z

A_Z = ελκόμενες μετακινήσεις στην z

$A'_Z = F \times A_Z$

A'_Z = εξισορροπημένες μετακινήσεις

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Άσκηση Παλινδρόμησης

- Στο μοντέλο (3) ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 είναι ο υψηλότερος, αλλά ο συντελεστής της μεταβλητής X4 είναι αρνητικός που σημαίνει ότι αν ο αριθμός των εργαζομένων στις υπηρεσίες αυξηθεί, ο αριθμός των μετακινήσεων για εργασία θα μειωθεί γεγονός που είναι παράλογο. Επομένως το μοντέλο (3) απορρίπτεται.
- Μεταξύ των μοντέλων (1) και (2), το (2) παρουσιάζει ελαφρά υψηλότερο συντελεστή προσδιορισμού και χαμηλότερη σταθερά, επομένως έχει ένα προβάδισμα έναντι του (1), αν και τόσο το (1) όσο και το (2) είναι αποδεκτά.
- Το μοντέλο (1) είναι απλούστερο και προβλέπει τις μετακινήσεις από το σύνολο των θέσεων εργασίας. Όμως εάν οι διαφορετικοί τομείς απασχόλησης έχουν διαφορετικές επιπτώσεις στον ρυθμό γένεσης των μετακινήσεων, τότε αυτό το μοντέλο θα δώσει αξιόπιστες προβλέψεις, μόνο στην περίπτωση που το μερίδιο του κάθε τομέα απασχόλησης στο σύνολο των θέσεων εργασίας παραμείνει σταθερό στο μέλλον.
- Το μοντέλο (2) αναπαριστά τις διαφορετικές επιπτώσεις που διαφορετικοί τομείς απασχόλησης έχουν στον ρυθμό γένεσης των μετακινήσεων και ως εκ τούτου έχει καλύτερη ικανότητα πρόβλεψης των μελλοντικών μετακινήσεων ιδιαίτερα σε περιπτώσεις περιοχών όπου προβλέπονται μεταβολές στον τύπο των θέσεων απασχόλησης που θα προσφέρουν.

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Άσκηση Παλινδρόμησης

Επιλέξτε ένα από τα παρακάτω μοντέλα έλξης μετακινήσεων και εξηγείστε γιατί. Το μέγεθος του δείγματος είναι 300.

(1) $Y = 135 + 0{,}91.X_1$ (5,2) (7,2) $R^2 = 0{,}905$

(2) $Y = 35 + 0{,}15.X_2 + 0{,}61.X_3 + 0{,}25.X_4$ (6,1) (2,1) (2,6) (1,8) $R^2 = 0{,}925$

(3) $Y = -1.7 + 2{,}61.X_1 - 1{,}78.X_4$ (-1,7) (9,8) (-9,1) $R^2 = 0{,}996$

- Y είναι οι μετακινήσεις με σκοπό την εργασία που έλκονται στην ζώνη
- X_1 η συνολική απασχόληση, X_2 η απασχόληση στην βιομηχανία, X_3 η απασχόληση στο εμπόριο και X_4 η απασχόληση σε υπηρεσίες

Πίνακας συντελεστών συσχέτισης

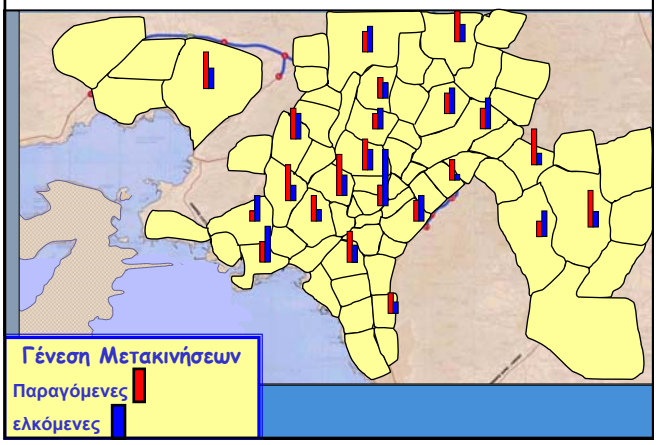
	X_1	X_2	X_3	X_4	Y
X_1	1,00	0,48	0,97	0,11	0,99
X_2	-	1,00	0,31	0,06	0,96
X_3	-	-	1,00	0,08	0,55
X_4	-	-	-	1,00	0,12
Y	-	-	-	-	1,00

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Άσκηση Παλινδρόμησης

- Προτείνεται το μοντέλο (2). Όμως η τελική επιλογή στην πράξη θα πρέπει να σχετίζεται και με την αξιοπιστία των προβλέψεων των επεξηγηματικών μεταβλητών. Εάν δεν είναι δυνατόν να έχουμε αξιόπιστες προβλέψεις των X2, X3 και X4, ή οι προβλέψεις των X2, X3 και X4 είναι πολύ λιγότερο αξιόπιστες από ότι οι προβλέψεις του X1, τότε στο συγκεκριμένο παράδειγμα το μοντέλο (1) θα είναι προτιμητέο (δεδομένου ότι όπως έχει ήδη αναφερθεί έχει υψηλό R2 και στατιστικά σημαντικούς συντελεστές με λογικά πρόσημα).

4 κατανομή των μετακινήσεων

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: εισαγωγή



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: εισαγωγή

το υπό διερεύνηση θέμα:

πόσες μετακινήσεις ξεκινούν από την ζώνη i και καταλήγουν στην ζώνη j ?

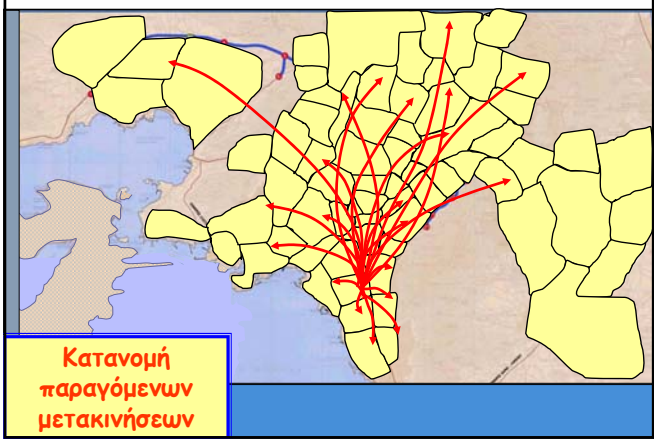
Ποιόν προορισμό θα επιλέξει ένας μετακινούμενος που ξεκινάει από την ζώνη i?

Ποια είναι η πιθανότητα ότι θα επιλέξει σαν προορισμό την ζώνη j?

Ανάλυση κατά ζώνη → **Αθροιστικά μοντέλα** *(aggregate models)*

Ανάλυση κατά άτομο → **Εξατομικευμένα μοντέλα** *(disaggregate models)*

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: εισαγωγή

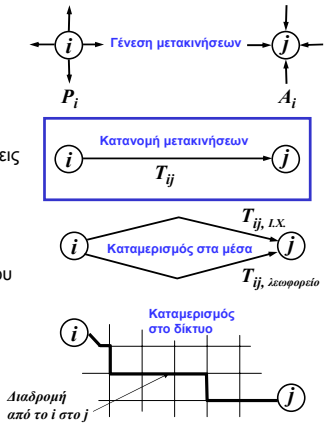


ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: εισαγωγή

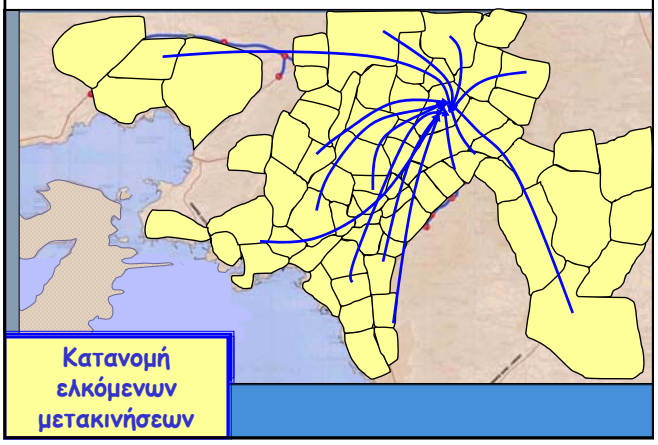
Κατανομή των μετακινήσεων

Η διαδικασία με την οποία, για κάθε ζώνη εκτιμάται:

- από που προέρχονται οι μετακινήσεις (δηλ. ποιές είναι οι ζώνες προέλευσης τους) που προσελκύονται στην ζώνη j, και
- που καταλήγουν οι μετακινήσεις (ποιος είναι ο προορισμός τους) που παράγονται στην ζώνη j



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: εισαγωγή



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: εισαγωγή

ορισμός του προβλήματος

Η διαδικασία της κατανομής των μετακινήσεων

- Προβλέπει από πού ξεκινούν τα ταξίδια και που καταλήγουν
- Υπολογίζει τον αριθμό των μετακινήσεων μεταξύ κάθε ζεύγους Προέλευσης – Προορισμού

  T_{ij} : μετακινήσεις από ζώνη i (προέλευση) στη ζώνη j (προορισμός)
- Ο αριθμός των μετακινήσεων εξαρτάται από την ελκυστικότητα της ζώνης προορισμού:
  - χρήσεις γης,
  - μέγεθος,
  - χρόνος/κόστος μετακίνησης από την ζώνη προέλευσης στη ζώνη προορισμού

Με δεδομένα τα ακόλουθα :

- Αριθμός των μετακινήσεων, O_i που παράγονται σε κάθε ζώνη i της περιοχής μελέτης
- Αριθμός των μετακινήσεων D_j που έλκονται από κάθε ζώνη j της περιοχής μελέτης.
- Η επιβάρυνση που δέχεται ο μετακινούμενος για την μετακίνηση από την ζώνη i στην ζώνη j, δηλαδή ο χρόνος διαδρομής t_{ij}, ή το γενικευμένο κόστος μετακίνησης c_{ij}

Ζητείται:

- Ο αριθμός των μετακινήσεων από την ζώνη i στην ζώνη j, T_{ij}

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Πίνακες Προέλευσης - Προορισμού

πίνακες Προέλευσης – Προορισμού (Π-Π)

- Το άθροισμα όλων των ταξιδιών T_{ij} μεταξύ της ζώνης i και j για όλες τις ζώνες προέλευσης μετακινήσεων είναι ίσο με τον συνολικό αριθμό των μετακινήσεων D_j που έλκονται στην ζώνη j.

$$\sum_i T_{ij} = D_j$$

- Το άθροισμα όλων των ταξιδιών T_{ij} μεταξύ της ζώνης i και όλων των προορισμών j, είναι ίσο με τον συνολικό αριθμό των μετακινήσεων που παράγονται από την ζώνη i.

$$\sum_j T_{ij} = O_i$$

- Το άθροισμα όλων των μετακινήσεων T_{ij} από όλες τις ζώνες προέλευσης i προς όλες τις ζώνες προορισμού j , είναι ίσο με το σύνολο όλων των παραγόμενων μετακινήσεων, και με το σύνολο όλων των προσελκυόμενων μετακινήσεων στην περιοχή μελέτης

$$\sum_i \sum_j T_{ij} = \sum_i O_i = \sum_j D_j$$

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Πίνακες Προέλευσης - Προορισμού

πίνακας Προέλευσης – Προορισμού (Π-Π)

- Η μορφή των μετακινήσεων αναπαρίσταται από τον πίνακα Προέλευσης – Προορισμού.
- Οι γραμμές και οι στήλες αναπαριστούν κάθε μια από τις ζώνες της περιοχής μελέτης.
- Τα κελιά κάθε γραμμής περιλαμβάνουν τα ταξίδια που έχουν σαν προέλευση την συγκεκριμένη ζώνη και προορισμούς τις ζώνες στις αντίστοιχες στήλες.
- Τα διαγώνια κελιά αναπαριστούν τις ενδοζωνικές επιχειρήσεις.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Πίνακες Προέλευσης - Προορισμού

πίνακες Προέλευσης – Προορισμού (Π-Π)

- Ένας πίνακας Π-Π μπορεί να επιμερισθεί σε πίνακες, για παράδειγμα ανά σκοπό μετακίνησης, ανά μέσο μετακίνησης κλπ.
- Πίνακες χρησιμοποιούνται επίσης για να αναπαραστήσουν τους χρόνους/κόστος διαδρομής ανά ζεύγος προέλευσης-προορισμού
- Το κόστος διαδρομής μπορεί να εκφράζεται σε μονάδες απόστασης, χρόνου ή κόστους. Συνήθως χρησιμοποιείται ένα μέγεθος που συνδυάζει όλα αυτά τα χαρακτηριστικά του ταξιδιού που σχετίζονται με την επιβάρυνση *(disutility)* που δέχεται ο μετακινούμενος. Το μέγεθος αυτό συνήθως αναφέρεται ως **γενικευμένο κόστος μετακίνησης**

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Πίνακες Προέλευσης - Προορισμού

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ - ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΥ

Έλξεις -- **προς ζώνη**

Παραγωγές - **από ζώνη**	1	2	3		j		z	$\sum_j T_{ij}$
1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	.....	T_{1j}	.....	T_{1z}	O_1
2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	.....	T_{2j}	.....	T_{2z}	O_2
3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	.....	T_{3j}	.....	T_{3z}	O_3
. . .	. . .	. . .	. . .		. . .		. . .	. . .
i	T_{i1}	T_{i2}	T_{i3}	.....	T_{ij}	.....	T_{iz}	O_i
. . .	. . .	. . .	. . .		. . .		. . .	
z	T_{z1}	T_{z2}	T_{z3}	.....	T_{zj}	.....	T_{zz}	O_z
$\sum_i T_{ij}$	D_1	D_2	D_3		D_j		D_z	$\sum_{i,j} T_{ij} = T$

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Γενικευμένο κόστος μετακίνησης

γενικευμένο κόστος μετακίνησης

Το γενικευμένο κόστος μετακίνησης εκφράζεται συνήθως σαν γραμμική συνάρτηση των χαρακτηριστικών της μετακίνησης.

$$c_{ij} = a_1.t_{ij}^v + a_2.t_{ij}^w + a_3.t_{ij}^t + a_4.t_{ij}^n + a_5.F_{ij} + a_6.\phi_j + \delta$$

t_{ij}^v ο χρόνος εντός του οχήματος

t_{ij}^w ο χρόνος πρόσβασης (προς και από στάση)

t_{ij}^t ο χρόνος αναμονής στην στάση

t_{ij}^n ο χρόνος μετεπιβίβασης

F_{ij} το χρηματικό κόστος (κόμιστρο, καύσιμο)

ϕ_j το κόστος στο τερματικό κόστος (π.χ. παρκινγκ)

δ επιβάρυνση που σχετίζεται με το μέσο (π.χ. άνεση)

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Πίνακες Προέλευσης - Προορισμού

- Η διαδικασία της κατανομής των μετακινήσεων χρησιμοποιείται για να προβλέψουμε τον μελλοντικό πίνακα Π – Π.
- Στο προηγούμενο στάδιο της διαδικασίας του σχεδιασμού των μεταφορών, δηλ. στο στάδιο της γένεσης των μετακινήσεων κάνουμε προβλέψεις των μελλοντικών μετακινήσεων που θα παράγονται και θα έλκονται από κάθε ζώνη.
- Στο στάδιο της κατανομής των μετακινήσεων οι μελλοντικές παραγόμενες O_i και ελκόμενες D_j μετακινήσεις χρησιμοποιούνται για να προβλέψουμε τον μελλοντικό πίνακα Π-Π.
- Οι τιμές των κελιών του μελλοντικού πίνακα θα πρέπει να υπόκεινται στους περιορισμούς

$$\sum_i T_{ij} = D_j \qquad \sum_j T_{ij} = O_i$$

$$\sum_i \sum_j T_{ij} = \sum_i O_i = \sum_j D_j$$

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης

- **Δίδονται**
  - Ο πίνακας Π-Π, T_{ij}^0 για το έτος βάση (υφιστάμενη κατάσταση)
  - Μελλοντικός αριθμός παραγόμενων μετακινήσεων από κάθε ζώνη i, O_i, (από το μοντέλο γένεσης των μετακινήσεων)
  - Μελλοντικός αριθμός παραγόμενων μετακινήσεων από κάθε ζώνη j, D_j, (από το μοντέλο γένεσης των μετακινήσεων)
- **Ζητείται**
  - Ο μελλοντικός πίνακας Π-Π
- **Μέθοδοι – Μορφές Προτύπων**
  - Μέθοδος ομοιόμορφου συντελεστή ανάπτυξης *(Uniform Growth Factor)*
  - Μέθοδος απλά περιορισμένου συντελεστή ανάπτυξης *(Singly Constrained Growth Factor)*
  - Μέθοδος διπλά περιορισμένου συντελεστή ανάπτυξης *(Doubly Constrained Growth Factor – Fratar Method)*

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Κατανομής Μετακινήσεων

Μέθοδοι ανάλυσης της κατανομής των μετακινήσεων

- **Μοντέλα του Συντελεστή Ανάπτυξης** *(growth factor models)*
- **Μοντέλα Βαρύτητας** *(Gravity Models)*

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης

Μέθοδος ομοιόμορφου συντελεστή ανάπτυξης

- Η απλούστερη μορφή, κατά την οποία χρησιμοποιείται ο ίδιος συντελεστής για όλα τα ζεύγη Π-Π, δηλ. ο ίδιος συντελεστής εφαρμόζεται σε όλα τα κελιά του πίνακα Π-Π.

$$T_{ij} = F^0 . T_{ij}^0$$

$$F^0 = \frac{\text{Συνολικός αριθμός μελλοντικών μετακινήσεων}}{\text{Συνολικός αριθμός μετακινήσεων στο έτος βάση}}$$

- Η παραδοχή της ομοιόμορφης ανάπτυξης δεν είναι ρεαλιστική , εκτός για πολύ βραχυπρόθεσμες προβλέψεις, δηλ.1- 2 χρόνια.

παράδειγμα

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης

Μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης

- **Βασική Παραδοχή :**

Η **σημερινή μορφή** της κατανομής των μετακινήσεων στην περιοχή μελέτης θα **παραμείνει η ίδια** στο μέλλον και ο αριθμός των μετακινήσεων θα μεταβληθεί κατά ένα σταθερό συντελεστή.

$$T_{ij} = F^0 . T_{ij}^0$$

T_{ij} ο μελλοντικός αριθμός μετακινήσεων από ζώνη i στην ζώνη j

T_{ij}^0 ο αντίστοιχος αριθμός μετακινήσεων για το έτος βάση (υπάρχουσα κατάσταση)

F^0 ο συντελεστής ανάπτυξης

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης

Μέθοδος ομοιόμορφου συντελεστή ανάπτυξης

παράδειγμα

Δίδεται ο πίνακας Π-Π για το έτος βάσης.

Η περιοχή μελέτης έχει 4 ζώνες και ο συνολικός αριθμός των μετακινήσεων θεωρείται γραμμική συνάρτηση του μέσου εισοδήματος στην περιοχή μελέτης.

Ζητείται να υπολογισθεί ο μελλοντικός πίνακας Π-Π όταν το μέσο εισόδημα στην περιοχή θα είναι υψηλότερο κατά 20% του εισοδήματος στο έτος βάση

T_{ij}^0

Υφιστάμενη κατάσταση	1	2	3	4	Σ_j
1	5	50	100	200	355
2	50	5	100	300	455
3	50	100	5	100	255
4	100	200	250	20	570
Σ_i	205	355	455	620	1635

$T_{ij} = F^0 . T_{ij}^0$

Μελλοντικός Πίνακας με συντελεστή F^0 = 1,2	1	2	3	4	Σ_j
1	6	60	120	240	426
2	60	6	120	360	546
3	60	120	6	120	306
4	120	240	300	24	684
Σ_i	246	426	546	744	1962

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: **Μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης**

Μέθοδος του απλά περιορισμένου συντελεστή ανάπτυξης

- Χρησιμοποιείται όταν έχει εκτιμηθεί η αύξηση του αριθμού του μετακινήσεων που ξεκινούν από κάθε ζώνη, δηλ. όταν από τα μοντέλα γένεσης των μετακινήσεων έχει υπολογισθεί ο συνολικός αριθμός των μελλοντικών μετακινήσεων O_i που παράγονται από κάθε ζώνη.

$$T_{ij} = F_i^0 . T_{ij}^0$$

F_i^0 ο συντελεστής ανάπτυξης πού υπολογίζεται από την σχέση

$$F_i^0 = \frac{O_i}{O_i^0}$$

όπου

O_i^0 ο συνολικός αριθμός των μετακινήσεων που παράγονται από την ζώνη i στο έτος βάση

O_i ο συνολικός αριθμός των μελλοντικών μετακινήσεων που προβλέπεται ότι θα παράγονται από την ζώνη i.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: **Μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης**

Μέθοδος του απλά περιορισμένου συντελεστή ανάπτυξης

Παράδειγμα – περιορισμός στις ζώνες προορισμού

Δίδεται ο πίνακας Π-Π για το έτος βάσης και προβλέψεις των μελλοντικών μετακινήσεων που θα έλκονται από τις ζώνες προορισμού των μετακινήσεων

T_{ij}^0

D_j^0

$$F_j^0 = \frac{D_j}{D_j^0}$$

$$T_{ij} = F_j^0 . T_{ij}^0$$

Ζητείται ο μελλοντικός πίνακας Π-Π

Υφιστάμενη κατάσταση	1	2	3	4	Σ_j
1	5	50	100	200	355
2	50	5	100	300	455
3	50	100	5	100	255
4	100	200	250	20	570
Σ_i	205	355	455	620	1635
Μελλοντικά D_j	300	450	600	700	
Συντελεστής	1,46341	1,26761	1,31868	1,12903	

Μελλοντικός Πίνακας Π-Π	1	2	3	4	Σ_j
1	7	63	132	226	428
2	73	6	132	339	550
3	73	127	7	113	319
4	146	254	330	23	752
Σ_i	300	450	600	700	2050
Μελλοντικά D_j	300	450	600	700	

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: **Μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης**

Μέθοδος του απλά περιορισμένου συντελεστή ανάπτυξης

- Αντίστοιχα όταν έχει εκτιμηθεί η αύξηση του αριθμού του μετακινήσεων που καταλήγουν σε κάθε ζώνη, δηλ. όταν από τα μοντέλα γένεσης των μετακινήσεων έχει υπολογισθεί ο συνολικός αριθμός των μελλοντικών μετακινήσεων D_i που έλκονται από κάθε ζώνη.

$$T_{ij} = F_j^0 . T_{ij}^0$$

F_j^0 ο συντελεστής ανάπτυξης πού υπολογίζεται από την σχέση

$$F_j^0 = \frac{D_j}{D_j^0}$$

όπου

D_j^0 ο συνολικός αριθμός των μετακινήσεων που έλκονται από την ζώνη j στο έτος βάση

παράδειγμα

D_j ο συνολικός αριθμός των μελλοντικών μετακινήσεων που προβλέπεται ότι θα έλκονται από την ζώνη j.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: **Μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης**

Μέθοδος του διπλά περιορισμένου συντελεστή ανάπτυξης

- Χρησιμοποιείται όταν έχει εκτιμηθεί όχι μόνο η αύξηση του αριθμού του μετακινήσεων που ξεκινούν από κάθε ζώνη, αλλά και η αύξηση του αριθμού των μετακινήσεων που καταλήγουν από κάθε ζώνη. Δηλ. όταν από τα μοντέλα γένεσης των μετακινήσεων έχει υπολογισθεί ο συνολικός αριθμός των μελλοντικών μετακινήσεων O_i που παράγονται από κάθε ζώνη, και ο συνολικός αριθμός D_j, των μελλοντικών μετακινήσεων που έλκονται από κάθε ζώνη.
- Ο πιο διαδεδομένος αλγόριθμος επίλυσης (μέθοδος Furness) χρησιμοποιεί μια επαναληπτική όπου σε κάθε επανάληψη επιχειρείται:
  - το άθροισμα κάθε γραμμής του πίνακα να είναι ίσο με το σύνολο των μελλοντικών μετακινήσεων O_i που προέρχονται από την συγκεκριμένη ζώνη
  - Το άθροισμα κάθε στήλης του πίνακα να είναι ίσο με το σύνολο των μελλοντικών μετακινήσεων D_j που καταλήγουν στην συγκεκριμένη ζώνη

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: **Μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης**

Μέθοδος του απλά περιορισμένου συντελεστή ανάπτυξης

Παράδειγμα – περιορισμός στις ζώνες προέλευσης

Δίδεται ο πίνακας Π-Π για το έτος βάσης και προβλέψεις των μελλοντικών μετακινήσεων που θα παράγονται στις ζώνες προέλευσης των μετακινήσεων

Ζητείται ο μελλοντικός πίνακας Π-Π

Υφιστάμενη κατάσταση	1	2	3	4	Σ_j	Μελλοντικά O_i	Συντελεστής
1	5	50	100	200	355	400	1,127
2	50	5	100	300	455	460	1,011
3	50	100	5	100	255	400	1,569
4	100	200	250	20	570	702	1,232
Σ_i	205	355	455	620	1635	1962	

Μελλοντικός Πίνακας Π-Π	1	2	3	4	Σ_j	Μελλοντικά O_i
1	6	56	113	225	400	400
2	51	5	101	303	460	460
3	78	157	8	157	400	400
4	123	246	308	25	702	702
Σ_i	257,8	464,6	529,5	710,1	1962	1962

T_{ij}^0 O_i^0 $F_i^0 = \frac{O_i}{O_i^0}$ $T_{ij} = F_i^0 . T_{ij}^0$

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: **Μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης**

Επαναληπτική διαδικασία εξισορρόπησης γραμμών και στήλων του πίνακα Π-Π εφαρμόζοντας κατάλληλους συντελεστές:

1. Εξισορρόπηση γραμμών του πίνακα Π-Π. Πολλαπλασίασε με τον συντελεστή προσαρμογής κάθε γραμμής έτσι ώστε το σύνολο των κελιών μιας γραμμής να είναι ίσο με το σύνολο των μετακινήσεων που παράγονται από την ζώνη που αντιστοιχεί στην συγκεκριμένη γραμμή.
2. Εξισορρόπηση στηλών του πίνακα Π-Π. Πολλαπλασίασε με τον συντελεστή προσαρμογής κάθε στήλης έτσι ώστε το άθροισμα κάθε στήλης να είναι ίσο με το σύνολο των μετακινήσεων που έλκονται από την ζώνη που αντιστοιχεί στην συγκεκριμένη στήλη.
3. Έλεγχος σύγκλισης. Εάν οι τιμές των συντελεστών είναι μέσα σε προκαθορισμένα όρια (π.χ. 0.95<F<1.05, όπου F είναι ο συντελεστής προσαρμογής), τερμάτισε την διαδικασία, αλλίως πήγαινε στο βήμα 1, και συνέχισε μέχρι να εξασφαλισθεί το όριο σύγκλισης.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης

1η επανάληψη

$$A_i^{(1)} = \frac{O_i}{\sum_j T_{ij}^0} \qquad TT_{ij}^1 = T_{ij}^0 . A_i^{(1)}$$

Εξισορρόπηση γραμμής (σύνολο προελεύσεων)

$$B_j^{(1)} = \frac{D_j}{\sum_i TT_{ij}^1} \qquad T_{ij}^{(1)} = TT_{ij}^1 . B_j^{(1)}$$

Εξισορρόπηση στήλης (σύνολο προορισμών)

2η επανάληψη

$$A_i^{(2)} = \frac{O_i}{\sum_j T_{ij}^{(1)}} \qquad TT_{ij}^2 = T_{ij}^{(1)} . A_i^{(2)}$$

Εξισορρόπηση γραμμής (σύνολο προελεύσεων)

$$B_j^{(2)} = \frac{D_j}{\sum_i TT_{ij}^2} \qquad T_{ij}^{(2)} = TT_{ij}^2 . B_j^{(2)}$$

Εξισορρόπηση στήλης (σύνολο προορισμών)

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης

Υφιστάμενη κατάσταση

T_{ij}^0	1	2	3	4	Σ_j	Μελλοντικά O_i	Συντελεστές εξισορροπ. O_i
1	5	50	100	200	355	400	1,127
2	50	5	100	300	455	460	1,011
3	50	100	5	100	255	400	1,569
4	100	200	250	20	570	702	1,232
Σ_i	205	355	455	620	1635		
Μελλοντικά D_j	260	400	500	802		1962	

$$A_i^{(1)} = \frac{O_i}{\sum_j T_{ij}^0}$$

1η επανάληψη (γραμμές)

	1	2	3	4	Σ_j
1	6	56	113	225	400
2	51	5	101	303	460
3	79	157	8	157	400
4	123	246	308	25	702
Σ_i	258	465	530	710,14	1962
Μελλοντικά D_j	260	400	500	802	1962
Συντελεστές εξισορροπ. D_j	1,009	0,861	0,944	1,129	

$$TT_{ij}^1 = T_{ij}^0 . A_i^{(1)}$$

$$B_j^{(1)} = \frac{D_j}{\sum_i TT_{ij}^1}$$

$$TT_{ij}^2 = T_{ij}^{(1)} . A_i^{(2)}$$

2η επανάληψη (γραμμές)

	1	2	3	4	Σ_j
1	5	47	103	245	400
2	48	4	89	319	460
3	79	135	7	178	400
4	133	227	312	30	702
Σ_i	266	414	511	772	1962
Μελλοντικά D_j	260	400	500	802	1962
Συντελεστές εξισορροπ. D_j	0,979	0,967	0,979	1,039	

$$T_{ij}^{(1)} = TT_{ij}^1 . B_j^{(1)}$$

1η επανάληψη (στήλες)

	1	2	3	4	Σ_j	Μελλοντικά O_i	Συντελεστές εξισορροπ. O_i
1	6	49	106	255	416	400	0,964
2	51	4	95	343	493	460	0,932
3	79	135	7	177	399	400	1,003
4	124	212	291	28	655	702	1,072
Σ_i	260	400	500	802	1962	1962	

$$B_j^{(2)} = \frac{D_j}{\sum_i TT_{ij}^2}$$

$$A_i^{(2)} = \frac{O_i}{\sum_j T_{ij}^{(1)}}$$

2η επανάληψη (στήλες)

3η επανάληψη (γραμμές)

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης

κ+1η επανάληψη

$$A_i^{(k+1)} = \frac{O_i}{\sum_j T_{ij}^k} \qquad TT_{ij}^{k+1} = T_{ij}^{(k)} . A_i^{(k+1)}$$

Εξισορρόπηση γραμμής (σύνολο προελεύσεων)

$$B_j^{(k+1)} = \frac{D_j}{\sum_i TT_{ij}^{k+1}} \qquad T_{ij}^{(k+1)} = TT_{ij}^{k+1} . B_j^{(k+1)}$$

Εξισορρόπηση στήλης (σύνολο προορισμών)

$A_i^{(n)}$, $B_j^{(n)}$ Οι συντελεστές ανάπτυξης/ εξισορρόπησης-παραγόμενων-και-ελκόμενων μετακινήσεων αντίστοιχα, για την επανάληψη n

παράδειγμα

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης

2η επανάληψη (στήλες)

$T_{ij}^{(2)}$	1	2	3	4	Σ_j	Μελλοντικά O_i	Συντελεστές εξισορροπ. O_i
1	5	45	100	255	405	400	0,986
2	47	4	87	332	469	460	0,980
3	78	131	7	185	401	400	0,999
4	130	220	305	31	686	702	1,023
Σ_i	260	400	500	802	1962		

$$A_i^{(3)} = \frac{O_i}{\sum_j T_{ij}^{(2)}}$$

3η επανάληψη (γραμμές)

	1	2	3	4	Σ_j
1	5	45	99	251	400
2	46	4	85	325	460
3	78	131	7	184	400
4	133	225	312	32	702
Σ_i	262	404	504	792	1962
Μελλοντικά D_j	260	400	500	802	1962
Συντελεστές εξισορροπ. D_j	0,993	0,990	0,992	1,012	

$$TT_{ij}^3 = T_{ij}^{(2)} . A_i^{(3)}$$

$$B_j^{(3)} = \frac{D_j}{\sum_i TT_{ij}^3}$$

$$TT_{ij}^4 = T_{ij}^{(3)} . A_i^{(4)}$$

4η επανάληψη (γραμμές)

	1	2	3	4	Σ_j
1	5	44	98	253	400
2	45	4	84	327	460
3	77	129	7	186	400
4	133	224	312	32	702
Σ_i	261	401	501	799	1962
Μελλοντικά D_j	260	400	500	802	1962
εξισορροπ. D_j	0,998	0,997	0,997	1,004	

$$T_{ij}^{(3)} = TT_{ij}^3 . B_j^{(3)}$$

3η επανάληψη (στήλες)

	1	2	3	4	Σ_j	Μελλοντικά O_i	Συντελεστές εξισορροπ. O_i
1	5	44	98	254	402	400	0,995
2	45	4	85	329	463	460	0,994
3	77	130	7	187	400	400	0,999
4	132	223	310	32	697	702	1,007
Σ_i	260	400	500	802	1962	1962	

$$B_j^{(4)} = \frac{D_j}{\sum_i TT_{ij}^4}$$

$$A_i^{(4)} = \frac{O_i}{\sum_j T_{ij}^{(1)}}$$

4η επανάληψη (στήλες)

5η επανάληψη (γραμμές)

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης

Μέθοδος του διπλά περιορισμένου συντελεστή ανάπτυξης

παράδειγμα

Δίδεται ο πίνακας Π-Π για το έτος βάσης.

Από τα μοντέλα γένεσης των μετακινήσεων έχουν υπολογισθεί οι μελλοντικές μετακινήσεις που προβλέπεται ότι θα παράγονται και θα έλκονται από τις ζώνες της περιοχής μελέτης.

Ζητείται ο μελλοντικός πίνακας Π-Π

Υφιστάμενη κατάσταση

	1	2	3	4	Σ_j	Μελλοντικά O_i
1	5	50	100	200	355	400
2	50	5	100	300	455	460
3	50	100	5	100	255	400
4	100	200	250	20	570	702
Σ_i	205	355	455	620	1635	
Μελλοντικά D_j	260	400	500	802		1962

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης

$$TT_{ij}^{\nu} = T_{ij}^{(\nu-1)} . A_i^{(\nu)}$$

ν_n επανάληψη (γραμμές)

	1	2	3	4	Σ_j
1	5	44	97	254	400
2	45	4	84	328	460
3	77	129	7	187	400
4	134	224	312	33	702
Σ_i	260	400	500	802	1962
Μελλοντικά D_j	260	400	500	802	1962
Συντελεστές εξισορροπ. D_j	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	

$$B_j^{(\nu)} = \frac{D_j}{\sum_i TT_{ij}^{\nu}}$$

$$T_{ij}^{(\nu)} = TT_{ij}^{\nu} . B_j^{(\nu)}$$

ν_n επανάληψη (στήλες)

	1	2	3	4	Σ_j	Μελλοντικά O_i	Συντελεστές εξισορροπ. O_i
1	5	44	97	254	400	400	1,00000
2	45	4	84	328	460	460	1,00000
3	77	129	7	187	400	400	1,00000
4	134	224	312	33	702	702	1,00000
Σ_i	260	400	500	802	1962		

$$A_i^{(\nu+1)} = \frac{O_i}{\sum_j T_{ij}^{(\nu)}}$$

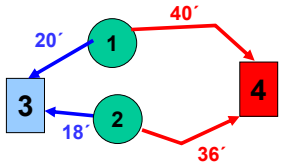
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το μοντέλο Συντελεστή Ανάπτυξης

Δίνονται Α) ο πίνακας Π-Π των μετακινήσεων με σκοπό τα ψώνια/αγορές κατά την διάρκεια της πρωινής αιχμής του Σαββάτου

Πίνακας Π-Π πρωινής αιχμής Σαββάτου

	1	2	3	4
1			4160	2080
2			3040	1520
3				
4				

Β) οι χρόνοι διαδρομής



Γ) Οι ζώνες κατοικίας είναι : 1 & 2

οι ζώνες εμπορικής δραστηριότητας : 3 & 4

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το μοντέλο Συντελεστή Ανάπτυξης

ΕΤΟΣ ΒΑΣΗ

	1	2	3	4	Σύνολο	Μελλοντικές Μετακινήσεις	Συντελεστής Ανάπτυξης
1			4160	2080	**6240**	10.500	1,6827
2			3040	1520	**4560**	6.900	1,5132
3							
4							

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ =
= μετακινήσεις έτους βάσης x Συντελεστής Ανάπτυξης

	1	2	3	4	Σύνολο
1			7000	3500	**10500**
2			4600	2300	**6900**
3					
4					

Μελλοντικός φόρτος στον σύνδεσμο (4,5) =
= $T_{14}+T_{24}$ = 3500 + 2300 = 5800

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το μοντέλο Συντελεστή Ανάπτυξης

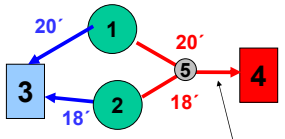
Δ) το μοντέλο γένεσης (παραγωγής) των μετακινήσεων

Μετακινήσεις/νοικοκυριό = 0,000015(μέσο ετήσιο εισόδημα)*

Ε) το μελλοντικό μέσο εισόδημα και αριθμός νοικοκυριών/ζώνη

Ζώνη	Μέσο ετήσιο εισόδημα Νοικοκυριού	Αριθμός Νοικοκυριών
1	35.000	20.000
2	46.000	10.000

ΣΤ) οι μελλοντικοί χρόνοι διαδρομής μετά τα προβλεπόμενα έργα αναβάθμισης του οδικού δικτύου



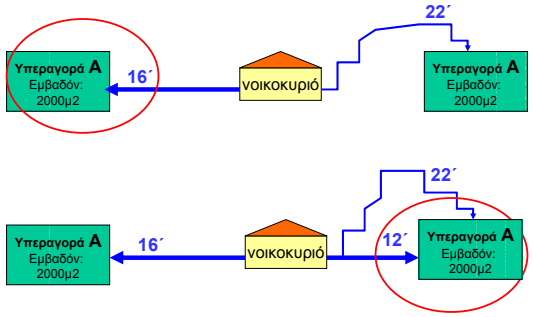
Ζητείται:

- Να προβλεφθεί ο φόρτος στον νέο οδικό σύνδεσμο 5-4
- Είναι τα αποτελέσματα λογικά?

Λύση

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Παράδειγμα Επιλογής Προορισμού

Ένα απλό παράδειγμα επιλογής προορισμού όταν μεταβάλλεται η ελκυστικότητα του και η προσιτότητα



Η επιλογή προορισμού που κάνουν οι μετακινούμενοι δεν επηρεάζεται μόνο από τις ευκαιρίες που προσφέρει ο κάθε προορισμός στον μετακινούμενο, αλλά και από το πόσο προσιτός είναι ο κάθε προορισμός.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το μοντέλο Συντελεστή Ανάπτυξης

ΕΤΟΣ ΒΑΣΗ - ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

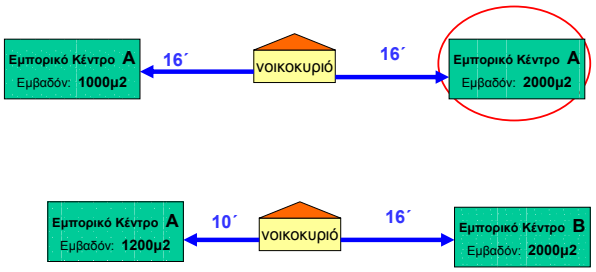
Ζώνη	Μέσο ετήσιο εισόδημα Νοικοκυριού	Αριθμός Νοικοκυριών	Αριθμός μετακινήσεων ανά νοικοκυριό	Συνολικός Αριθμός μετακινήσεων
	(1)	(2)	(3) = (1)*0,000015	(3) = (2)*(3)
1	26.000	16.000	0,39	6.240
2	38.000	8.000	0,57	4.560
Σύνολο		24.000		10.800
Συντελεστής μοντέλου γένεσης μετακινήσεων:				**0,000015**

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Ζώνη	Μέσο ετήσιο εισόδημα Νοικοκυριού	Αριθμός Νοικοκυριών	Αριθμός μετακινήσεων ανά νοικοκυριό	Συνολικός Αριθμός μετακινήσεων
	(1)	(2)	(3) = (1)*0,000015	(3) = (2)*(3)
1	**35.000**	**20.000**	0,53	**10.500**
2	**46.000**	**10.000**	0,69	**6.900**
Σύνολο				**17.400**

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Παράδειγμα Επιλογής Προορισμού

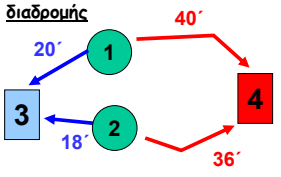
Ένα απλό παράδειγμα επιλογής προορισμού όταν μεταβάλλεται η ελκυστικότητα του και η προσιτότητα



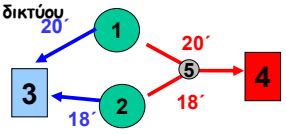
Υπάρχουν περιπτώσεις που ένας προορισμός είναι σαφώς πιο ελκυστικός από άλλους. Συνήθως όμως η απόφαση δεν τόσο ξεκάθαρη. **Ο μετακινούμενος σταθμίζει τα οφέλη και την επιβάρυνση που σχετίζονται με κάθε επιλογή πριν αποφασίσει τι επιλογή θα κάνει.**

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το μοντέλο Συντελεστή Ανάπτυξης

Β) οι σημερινοί χρόνοι διαδρομής



ΣΤ) οι μελλοντικοί χρόνοι διαδρομής μετά τα προβλεπόμενα έργα αναβάθμισης του οδικού δικτύου



Επομένως

- Είναι τα αποτελέσματα λογικά?

Όχι, το μοντέλο της κατανομής των μετακινήσεων με συντελεστή ανάπτυξης, δεν λαμβάνει υπόψη ότι μεταβολές στα χαρακτηριστικά του μεταφορικού συστήματος, επηρεάζουν την προσιτότητα των διαφόρων προορισμών και συνεπώς τις αποφάσεις για τις επιλογές προορισμών που κάνουν οι μετακινούμενοι.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το μοντέλο Βαρύτητας

Τα μοντέλα Βαρύτητας

- Επιδιώκουν να λάβουν υπόψη τους παράγοντες που επηρεάζουν την ανθρώπινη συμπεριφορά, και να προσδιορίσουν τα αίτια και τις σχέσεις που καθορίζουν την κατανομή των μετακινήσεων στην υπάρχουσα κατάσταση
- Τα αίτια που καθορίζουν την κατανομή των μετακινήσεων περιλαμβάνουν όχι μόνο την ελκυστικότητα των δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται στις ζώνες προορισμού, αλλά και στον χωρικό/χρονικό διαχωρισμό της ζώνης προέλευσης από τις εναλλακτικές ζώνες προορισμού.

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Γένεσης Μετακινήσεων

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεθόδων του συντελεστή ανάπτυξης

- **Πλεονεκτήματα της μεθόδου :**
  - Απλές μέθοδοι – εύκολη ανάπτυξη προγράμματος υπολογισμού
  - Δεν απαιτούν υπολογισμό του διαχωρισμού μεταξύ των ζωνών (*απόσταση, χρόνος, κόστος διαδρομής*)
  - Μπορούν να εφαρμοσθούν για όλους τους σκοπούς μετακίνησης
  - Ανάλογα με τα διαθέσιμα στοιχεία μπορούν εύκολα να υπολογίσουν μετακινήσεις κατά κατεύθυνση και ώρα της ημέρας
- **Μειονεκτήματα της μεθόδου:**
  - Απαιτούν πλήρη πίνακα Π-Π για την υφιστάμενη κατάσταση
  - Υποθέτουν ότι οι χρόνοι/τα κόστη μετακίνησης παραμένουν σταθερές, επομένως αδυνατούν να εκτιμήσουν τις επιπτώσεις μεταβολών του μεταφορικού συστήματος στις επιλογές των μετακινούμενων και στην κατανομή των μετακινήσεων γενικότερα

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το μοντέλο Βαρύτητας

- Όσο αυξάνεται η ελκυστικότητα A_j μιας ζώνης, αυξάνονται οι μετακινήσεις προς την ζώνη

$$A_j \uparrow \quad \Rightarrow T_{ij} \uparrow$$

- Όσο αυξάνεται η παραγωγικότητα P_i μιας ζώνης, αυξάνονται οι μετακινήσεις

$$P_i \uparrow \quad \Rightarrow T_{ij} \uparrow$$

- Όσο αυξάνεται ο διαχωρισμός c_{ij} μεταξύ δύο ζωνών i και j, μειώνονται οι μετακινήσεις μεταξύ των ζωνών.

$$c_{ij} \uparrow \quad \Rightarrow T_{ij} \downarrow$$

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Γένεσης Μετακινήσεων

- **Μειονεκτήματα της μεθόδου:**
  - Τα όρια των ζωνών δεν μπορούν να μεταβληθούν
  - Ζώνες με μηδενική παραγωγή ή έλξη μετακινήσεων παραμένουν έτσι και στο μέλλον
  - Σφάλματα από κακές δειγματοληψίες διατηρούνται
- **Χρήση των μεθόδων συντελεστή ανάπτυξης**
  - Μόνο σε βραχυχρόνιες προβλέψεις δηλ. 5 – 10 το πολύ χρόνια, όταν τα χαρακτηριστικά και η γεωγραφική κατανομή των μετακινήσεων προβλέπονται να παραμείνουν σταθερά
  - Για την ενημέρωση δεδομένων από πρόσφατες κυκλοφοριακές έρευνες
  - Σε περιοχές περιορισμένης έκτασης με σταθερά χαρακτηριστικά

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το μοντέλο Βαρύτητας

Επομένως

- Ο αριθμός των μετακινήσεων μεταξύ δύο ζωνών μπορεί να εκφρασθεί με την γενική σχέση

$$T_{ij} = k.\frac{P_i.A_j}{c_{ij}^n}$$

- Που είναι ανάλογη με τον γνωστό νόμο της Βαρύτητας

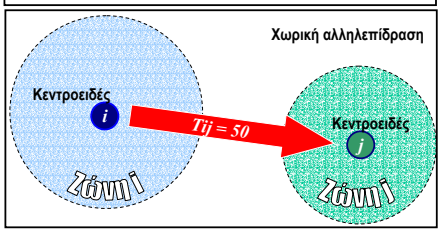
$$F = G.\frac{m_1.m_2}{d_{1,2}^2}$$

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Χωρική αλληλεπίδραση

Αναπαράσταση της μετακίνησης σαν χωρική αλληλεπίδραση

Σύμφωνα με το μοντέλο της βαρύτητας ο αριθμός των μετακινήσεων μεταξύ δύο ζωνών είναι:

- ανάλογος του μεγέθους των δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται στις δύο ζώνες και
- αντιστρόφως ανάλογος του διαχωρισμού μεταξύ των ζωνών.



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Χωρική αλληλεπίδραση

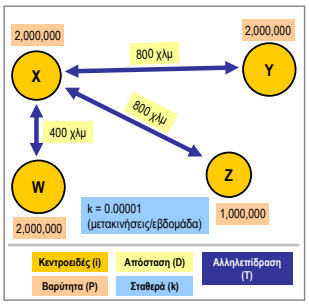
Αναπαράσταση της μετακίνησης σαν χωρική αλληλεπίδραση

- Η ζώνη j προσελκύει ένα ποσοστό των μετακινήσεων που παράγονται στην ζώνη i, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της συγκρινόμενα με τα χαρακτηριστικά των άλλων ζωνών στην περιοχή μελέτης.
- Οι μετακινήσεις O_i που παράγονται στην ζώνη i θα κατανεμηθούν σε κάθε άλλη ζώνη j T_{ij} ανάλογα με :
  - την σχετική ελκυστικότητα κάθε ζώνης j και
  - την σχετική προσιτότητα της κάθε ζώνης j

$$\textit{Οι μετακινήσεις μεταξύ i και j} = \textit{Μετακινήσεις που παράγονται στην ζώνη i} \times \frac{\textit{Χαρακτηριστικά ελκυστικότητας και προσιτότητας της ζώνης j}}{\textit{Χαρακτηριστικά ελκυστικότητας και προσιτότητας (από την ζώνη i) όλων των ζωνών στην περιοχή μελέτης}}$$

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Χωρική Αλληλεπίδραση

Εφαρμογή της βασικής σχέσης χωρικής αλληλεπίδρασης



Βασική σχέση

$$T_{ij} = k\frac{P_i * P_j}{D_{ij}}$$

	W	X	Y	Z	Ti
W		100,000			100,000
X	100,000		50,000	25,000	175,000
Y		50,000			50,000
Z		25,000			25,000
Tj	100,000	175,000	50,000	25,000	350,000

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το μοντέλο Βαρύτητας

Η εφαρμογή του μοντέλου βαρύτητας στην κατανομή των μετακινήσεων

- Η προσιτότητα μπορεί να τυποποιηθεί σαν μια φθίνουσα συνάρτηση της απόστασης, του χρόνου ή του κόστους μετακίνησης (καθώς η απόσταση, χρόνος, ή κόστος μετακίνησης αυξάνεται, η προσιτότητα μειώνεται)
- Μια γενική μορφή του μοντέλου βαρύτητας μπορεί να εκφρασθεί από την σχέση:

$$T_{ij} = \alpha . O_i . D_j . f(c_{ij})$$

όπου

T_{ij} ο αριθμός των μετακινήσεων από i σε j.

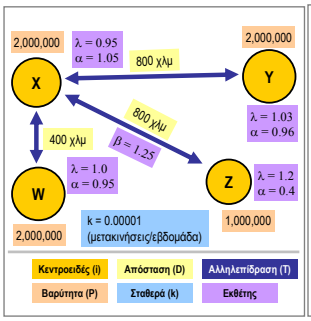
O_i ο αριθμός των μετακινήσεων που παράγονται στην ζώνη i

D_i ο αριθμός των μετακινήσεων που έλκονται στην ζώνη j.

$f(c_{ij})$ η συνάρτηση διαχωρισμού μεταξύ i και j, που εκφράζει την προσιτότητα

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Χωρική Αλληλεπίδραση

Εφαρμογή ενός απλού μοντέλου χωρικής αλληλεπίδρασης



Απλό μοντέλο αλληλεπίδρασης

$$T_{ij} = k\frac{P_i^{\alpha} * P_j^{\lambda}}{D_{ij}^{\beta}}$$

	W	X	Y	Z	Ti
W		71,378			71,378
X	6,059		2,203	1	8,263
Y		19,420			19,420
Z		153,893			153,893
Tj	6,059	244,692	2,203	1	252,954

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το μοντέλο Βαρύτητας

Συναρτήσεις διαχωρισμού

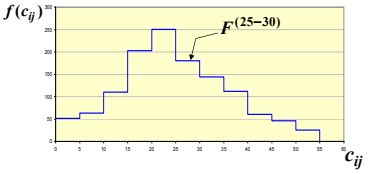
- Η συνάρτηση διαχωρισμού $f(c_{ij})$ μεταξύ i και j, εκφράζει την προσιτότητα της ζώνης j από την ζώνη i.
- Οι πιο συνηθισμένες μορφές αυτής της συνάρτησης είναι:
  - $f(c_{ij}) = \exp(-\beta . c_{ij})$ η εκθετική συνάρτηση
  - $f(c_{ij}) = c_{ij}^{-n}$ η συνάρτηση δύναμης
  - $f(c_{ij}) = c_{ij}^{n} . \exp(-\beta . c_{ij})$ η συνδυασμένη συνάρτηση (συνάρτηση Γ)

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το μοντέλο Βαρύτητας

Συναρτήσεις διαχωρισμού

- Η μια πιο γενική μορφή της συνάρτησης διαχωρισμού $f(c_{ij})$ μεταξύ i και j, μπορεί να υπολογισθεί από εμπειρικά στοιχεία. Το κόστος κάθε διαδρομής αναπαρίσταται από ένα πεδίο τιμών, που συμβολίζεται με τον δείκτη m. Η «συνδυαστική» συνάρτηση διαχωρισμού εκφράζεται με την σχέση:

$$f(c_{ij}) = \sum_m F^m . \delta_{ij}^m$$



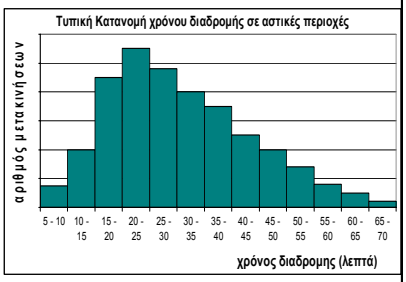
Όπου,

F_m είναι η μέση τιμή της παραμέτρου για το πεδίο τιμών m, και

δ_{ij}^m είναι ίσο με 1 εάν το κόστος διαδρομής εμπίπτει στο πεδίο τιμών της κατηγορίας m, και ίσο με 0 σε άλλη περίπτωση.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το μοντέλο Βαρύτητας

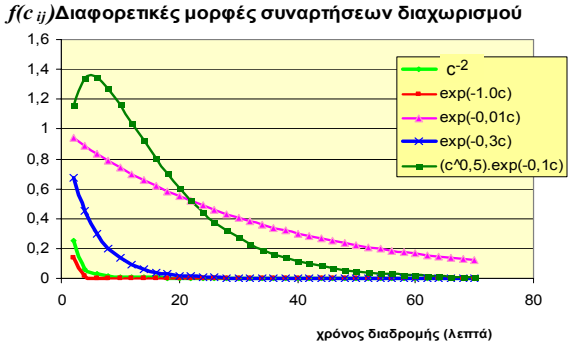
- έχει παρατηρηθεί ότι η κατανομή του χρόνου διαδρομής των μετακινήσεων σε μεγάλα αστικά κέντρα ακολουθεί την μορφή αυτού του διαγράμματος
- Η αρνητική εκθετική και η συνάρτηση δύναμης αναπαράγουν το δεύτερο μέρος της κατανομής αλλά όχι το πρώτο



- Η συνδυαστική συνάρτηση είναι περισσότερο ελαστική και δίνει την δυνατότητα να αναπαραχθεί η πραγματική κατανομή του χρόνου διαδρομής.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το μοντέλο Βαρύτητας

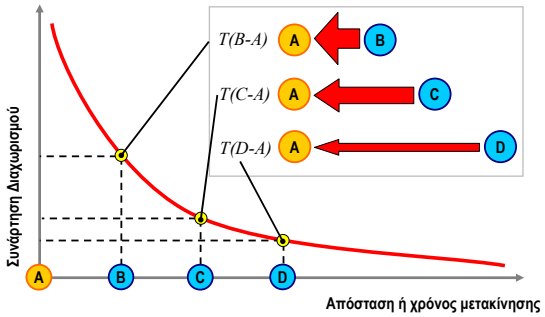
Διαφορετικές μορφές των συναρτήσεων διαχωρισμού



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το μοντέλο Βαρύτητας

Επιρροή της συνάρτησης διαχωρισμού

$$T_{ij} = \alpha . O_i . D_j . f(c_{ij})$$



ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το μοντέλο Βαρύτητας

Συνδυαστική συνάρτηση διαχωρισμού

- Για παράδειγμα εάν ο χρόνος διαδρομής είναι 22', δηλ. εμπίπτει στο πεδίο τιμών [20 – 25] , η συνάρτηση διαχωρισμού λαμβάνει την τιμή 250,3
- Οι τιμές των παραμέτρων F^m προσδιορίζονται έτσι ώστε η κατανομή του χρόνου (μήκους ή κόστους) διαδρομής που προκύπτει από το μοντέλο να είναι όσο το δυνατό περισσότερο όμοια με την πραγματική κατανομή που προκύπτει από τις παρατηρήσεις.

πεδία τιμών (m)	F^m
0 - 5	51,5
5 - 10	62,8
10 - 15	110,1
15 - 20	202,7
20 - 25	250,3
25 - 30	180,3
30 - 35	144,2
35 - 40	111,5
40 - 45	60,6
45 - 50	45,7
50 - 55	25,2
55 - 60	20,2

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το Μοντέλο Βαρύτητας

Η γενική μορφή του μοντέλου βαρύτητας

- Για τον υπολογισμό των μετακινήσεων T_{ij}, από το μοντέλο βαρύτητας

$$T_{ij} = \alpha . O_i . D_j . f(c_{ij})$$

θα πρέπει να προσδιορισθεί η μορφή της συνάρτησης διαχωρισμού $f(c_{ij})$, και η τιμή του συντελεστή α.

- Για να εξασφαλίσουμε ότι οι περιορισμοί

$$\sum_i T_{ij} = D_j \qquad \sum_j T_{ij} = O_i$$

ισχύουν, ο συντελεστής α θα πρέπει να αντικατασταθεί από 2 ομάδες συντελεστών, A_i και B_j, και κατά συνέπεια το μοντέλο της βαρύτητας μετασχηματίζεται στην ακόλουθη σχέση που αποτελεί και την **γενική μορφή του μοντέλου βαρύτητας:**

$$T_{ij} = A_i . O_i . B_j . D_j . f(c_{ij})$$

Μοντέλο βαρύτητας με διπλό περιορισμό

- Για την περίπτωση ενός διπλά περιορισμένου μοντέλου κατανομής, δηλ. όταν και οι δύο ακόλουθοι περιορισμοί πρέπει να ισχύουν

$$\sum_i T_{ij} = D_j \quad \text{και} \quad \sum_j T_{ij} = O_i$$

οι συντελεστές A_i και B_j υπολογίζονται αντικαθιστώντας την βασική σχέση του μοντέλου κατανομής στους παραπάνω περιορισμούς:

$$\left.\begin{aligned} &\sum_i T_{ij} = D_j \\ &T_{ij} = A_i.O_i.B_j.D_j.f(c_{ij}) \end{aligned}\right\} \Rightarrow \sum_i A_i.O_i.B_j.D_j.f(c_{ij}) = D_j \Rightarrow$$

$$B_j.D_j.\sum_i A_i.O_i.f(c_{ij}) = D_j \Rightarrow$$

$$\boxed{B_j = \frac{1}{\sum_i A_i.O_i.f(c_{ij})}}$$

Μοντέλο βαρύτητας με απλό περιορισμό

2) Για την περίπτωση περιορισμού στις ζώνες προορισμού των μετακινήσεων δηλ. όταν $\sum_i T_{ij} = D_j$

$$\begin{cases} A_i = 1 \\ B_j = \dfrac{1}{\sum_i O_i.f(c_{ij})} \end{cases}$$

Επισημαίνεται ότι στην περίπτωση του μοντέλου με απλό περιορισμό στις ζώνες προορισμού, η μεταβλητή O_i δεν αναπαριστά απαραίτητα τον αριθμό των παραγόμενων μετακινήσεων από την ζώνη j αλλά ένα οποιαδήποτε μέγεθος που αναπαριστά την παραγωγικότητα της ζώνης i.

$$\left.\begin{aligned} &\sum_j T_{ij} = O_j \\ &T_{ij} = A_i.O_i.B_j.D_j.f(c_{ij}) \end{aligned}\right\} \Rightarrow \sum_j A_i.O_i.B_j.D_j.f(c_{ij}) = O_i \Rightarrow$$

$$A_i.O_i.\sum_j B_j.D_j.f(c_{ij}) = O_i \Rightarrow$$

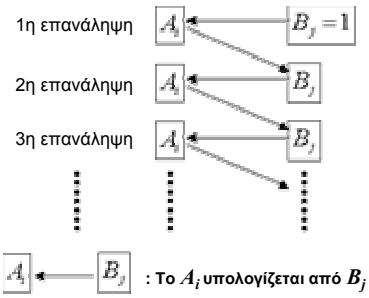
$$\boxed{A_i = \frac{1}{\sum_j B_j.D_j.f(c_{ij})}}$$

Για τον υπολογισμό των τιμών των συντελεστών A_i, απαιτούνται οι τιμές των συντελεστών B_j και αντίστροφα.

Η μέθοδος επίλυσης ακολουθεί μια επαναληπτική διαδικασία αντίστοιχη με αυτή που εφαρμόσθηκε στην μέθοδο Furness του συντελεστή ανάπτυξης

Πως επιλύεται στο μοντέλο βαρύτητας με διπλό περιορισμό

Εφαρμόζεται επαναληπτική μέθοδος εξισορρόπησης αντίστοιχη με την μέθοδο Furness



$$B_j = \frac{1}{\sum_i A_i.O_i.f(c_{ij})}$$

$$A_i = \frac{1}{\sum_j B_j.D_j.f(c_{ij})}$$

$$T_{ij} = A_i.O_i.B_j.D_j.f(c_{ij})$$

Μοντέλο βαρύτητας με απλό περιορισμό

- Για την περίπτωση ενός απλά περιορισμένου μοντέλου κατανομής, δηλ. όταν ένας μόνο από τους ακόλουθους δύο περιορισμούς πρέπει να ισχύει $\sum_i T_{ij} = D_j$ ή $\sum_j T_{ij} = O_i$

οι συντελεστές A_i και B_j υπολογίζονται με τις ακόλουθες σχέσεις:

1) Για την περίπτωση περιορισμού στις ζώνες προέλευσης των μετακινήσεων δηλ. όταν $\sum_j T_{ij} = O_i$

$$\begin{cases} B_j = 1 \\ A_i = \dfrac{1}{\sum_j D_j.f(c_{ij})} \end{cases}$$

Επισημαίνεται ότι στην περίπτωση του μοντέλου με απλό περιορισμό στις ζώνες προέλευσης, η μεταβλητή D_j δεν αναπαριστά απαραίτητα τον αριθμό των ελκόμενων μετακινήσεων στην ζώνη j αλλά ένα οποιαδήποτε μέγεθος που αναπαριστά την ελκυστικότητα της ζώνης j.

Βαθμονόμηση του μοντέλου Βαρύτητας

- Βαθμονόμηση ή Προσαρμογή του μοντέλου είναι η διαδικασία με την οποία προσδιορίζονται οι μορφές των συναρτησιακών σχέσεων και οι τιμές των σχετικών παραμέτρων του μοντέλου, έτσι ώστε τα αποτελέσματα του μοντέλου να αναπαριστούν όσο το δυνατό καλύτερα τις μετακινήσεις (μέγεθος και χωρική κατανομή) όπως έλαβαν χώρα στην πραγματικότητα.

$$T_{ij}^{\text{model}} \approx T_{ij}^{\text{real}}$$

Μέσο μήκος ταξιδιού από μοντέλο ≈ *Πραγματικό μέσο μήκος ταξιδιού*

κατανομή μήκους ταξιδιού από μοντέλο ≈ *κατανομή πραγματικού μήκους ταξιδιού*

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το Μοντέλο Βαρύτητας

Βαθμονόμηση του μοντέλου Βαρύτητας

- Στο μοντέλο Βαρύτητας, το αντικείμενο της βαθμονόμησης ουσιαστικά εστιάζει στον προσδιορισμό της μορφής της συνάρτησης διαχωρισμού δηλ., ποια συνάρτηση είναι η πλέον κατάλληλη και ποιες είναι οι τιμές των παραμέτρων της. Το πρόβλημα δηλ. εστιάζει στον υπολογισμό των :

a) των τιμών των παραμέτρων β, n των αναλυτικών συναρτήσεων $f(c_{ij})$

$$f(c_{ij}) = \exp(-\beta . c_{ij})$$

$$f(c_{ij}) = c_{ij}^{-n}$$

$$f(c_{ij}) = c_{ij}^{n} . \exp(-\beta . c_{ij})$$

και

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Κατανομής Μετακινήσεων

Ευαισθησία των μετακινήσεων στον χρόνο/κόστος μετακίνησης

- Στα μοντέλα κατανομής που η συνάρτηση διαχωρισμού έχει την μορφή της αρνητικής εκθετικής συνάρτησης ή της συνάρτησης δύναμης, η τιμή των παραμέτρων αναπαριστά την ευαισθησία της χωρικής αλληλεπίδρασης στο μήκος/χρόνο/κόστος μετακίνησης
- Τι σημαίνει ευαισθησία των μετακινήσεων στο κόστος μετακίνησης?

  Όσο αυξάνει το κόστος μετακίνησης, τόσο ελαττώνεται και ο αριθμός των μετακινήσεων

  ⇩

  Επομένως εξετάζοντας τις μετακινήσεις που παράγονται από μια ζώνη

  όσο αυξάνεται η ευαισθησία στο κόστος, τόσο περισσότερες είναι οι μετακινήσεις που έλκονται από ζώνες που βρίσκονται πλησιέστερα στην ζώνη παραγωγής των μετακινήσεων

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το Μοντέλο Βαρύτητας

Βαθμονόμηση του μοντέλου Βαρύτητας

β) και των τιμών των παραμέτρων F^m της «συνδυαστικής» συνάρτησης διαχωρισμού

$$f(c_{ij}) = \sum_m F^m . \delta_{ij}^m$$

Τελικά επιλέγεται εκείνη η συνάρτηση διαχωρισμού για την οποία, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα αποτελέσματα του μοντέλου προσεγγίζουν καλύτερα τις πραγματικές μετακινήσεις όπως έχουν καταγραφεί από έρευνες Προέλευσης – Προορισμού.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Κατανομής Μετακινήσεων

- Πώς αναπαρίσταται η ευαισθησία των μετακινήσεων στο μήκος/χρόνο μετακίνησης?
  - εάν η κατανομή των μετακινήσεων στην περιοχή μελέτης δείχνει ότι ο αριθμός των μετακινήσεων ανάμεσα σε ένα ζεύγος Π-Π είναι ευαίσθητος στο κόστος μετακίνησης c_{ij}, οι τιμές των παραμέτρων β, n, είναι μεγαλύτερες από τις τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων σε μια περιοχή όπου ο αριθμός των μετακινήσεων ανάμεσα σε ένα ζεύγος Π-Π είναι λιγότερο ευαίσθητος στο κόστος μετακίνησης

$$T_{ij} = A_i . O_i . B_j . D_j . f(c_{ij})$$

$$f(c_{ij}) = \exp(-\beta . c_{ij})$$

$$f(c_{ij}) = c_{ij}^{-n}$$

- Όταν η ευαισθησία των μετακινήσεων αυξάνεται, το μέσο μήκος μετακίνησης αυξάνεται ή μειώνεται?

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Το Μοντέλο Βαρύτητας

Στο παράδειγμα που παρουσιάζεται, έχουν εξετασθεί δύο συναρτήσεις διαχωρισμού.

Η κατανομή των χρόνων μετακίνησης που προκύπτουν από το μοντέλο που χρησιμοποιεί την συνάρτηση διαχωρισμού 1 δεν προσεγγίζει την κατανομή των πραγματικών χρόνων μετακίνησης. Επιπλέον ο μέσος χρόνος μετακίνησης από το μοντέλο 1 είναι σχεδόν διπλάσιος από τον πραγματικό.

Με εφαρμογή της συνάρτησης 2, τόσο η κατανομή όσο και ο μέσος χρόνος μετακίνησης αποτελούν καλές προσεγγίσεις των σχετικών μεγεθών που προκύπτουν από ανάλυση των πραγματικών μετακινήσεων για το έτος βάσης.

	Πραγ-ματικά	Συναρτ. Διαχωρ. 1	Συναρτ. Διαχωρ. 2
Σύνολο οχημάτων (x 1000)	44	84	43
Μέσος χρόνος διαδρομής	9,3	17,8	9,2

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Κατανομής Μετακινήσεων

- Πώς αναπαρίσταται η ευαισθησία των μετακινήσεων στο μήκος/χρόνο μετακίνησης?
  - εάν η κατανομή των μετακινήσεων στην περιοχή μελέτης δείχνει ότι ο αριθμός των μετακινήσεων ανάμεσα σε ένα ζεύγος Π-Π είναι ευαίσθητος στο κόστος μετακίνησης c_{ij}, οι τιμές των παραμέτρων β, n, είναι μεγαλύτερες από τις τιμές των αντίστοιχων παραμέτρων σε μια περιοχή όπου ο αριθμός των μετακινήσεων ανάμεσα σε ένα ζεύγος Π-Π είναι λιγότερο ευαίσθητος στο κόστος μετακίνησης

$$T_{ij} = A_i . O_i . B_j . D_j . f(c_{ij})$$

$$f(c_{ij}) = \exp(-\beta . c_{ij})$$

$$f(c_{ij}) = c_{ij}^{-n}$$

- Όταν η ευαισθησία των μετακινήσεων αυξάνεται, το μέσο μήκος μετακίνησης αυξάνεται ή μειώνεται? -> μειώνεται

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Κατανομής Μετακινήσεων

Μοντέλα Κατανομής για διαφορετικές κατηγορίες μετακινήσεων

- Διαφορετικά μοντέλα κατανομής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαφορετικούς σκοπούς μετακίνησης, ανάλογα με το επίπεδο λεπτομέρειας της μελέτης. Για παράδειγμα μπορούμε να αναπτύξουμε ένα μοντέλο για τις μετακινήσεις προς και από την εργασία, και ένα ή περισσότερα μοντέλα για όλες τις υπόλοιπες μετακινήσεις.
- Ανάλογα με το πρόβλημα που αναλύεται, είναι δυνατόν να χρησιμοποιείται άλλο μοντέλο για τις εξωτερικές (*ως προς ένα από τα άκρα μετακίνησης σε σχέση με την περιοχή μελέτης*) μετακινήσεις και άλλο για τις εσωτερικές μετακινήσεις. Π.χ. στα εθνικά μοντέλα πρόβλεψης των μετακινήσεων χρησιμοποιούμε μοντέλα τύπου βαρύτητας για τις μετακινήσεις και με τα δύο άκρα εντός της χώρας, ενώ για τις μετακινήσεις από και προς τις χώρες του εξωτερικού χρησιμοποιούμε μοντέλα αυξητικού συντελεστή

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Πίνακες χρόνων μετακίνησης

Προτυποποίηση Πρωϊνής Αιχμής – ζώνες κατοικίας 1,2 - ζώνες εργασίας 3,4

Ποιος πίνακας χρόνων διαδρομής είναι σωστός?

Πίνακας 1 Χρόνων Διαδρομής

		Προς Ζώνη			
		1	2	3	4
Από ζώνη	1	5	10	15	20
	2	10	2	8	15
	3	15	8	3	12
	4	20	15	12	4

Πίνακας 2 Χρόνων Διαδρομής

		Προς Ζώνη			
		1	2	3	4
Από ζώνη	1	5	10	25	28
	2	10	2	18	23
	3	15	8	3	12
	4	20	15	12	4

Κατά την πρωινή αιχμή αναμένεται ότι οι χρόνοι διαδρομής από τις ζώνες κατοικίας προς τις ζώνες εργασίας είναι υψηλότεροι από τους αντίστοιχους για τις μετακινήσεις από τις ζώνες εργασίας προς τις ζώνες κατοικίας. Επομένως ο πίνακας 2 είναι σωστός.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Κατανομής Μετακινήσεων

- Συνήθως οι μετακινήσεις προς την εργασία προτυποποιούνται με μοντέλα βαρύτητας με διπλό περιορισμό
- Οι μετακινήσεις που γίνονται για άλλους σκοπούς συνήθως προτυποποιούνται με **μοντέλα με απλό περιορισμό,** δεδομένου ότι οι ελκόμενες μετακινήσεις με σκοπό τις αγορές, ψυχαγωγία, ή άλλους κοινωνικούς λόγους δεν είναι δυνατόν να προβλεφθούν με ακρίβεια. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η ελκυστικότητα μιας ζώνης εκφράζεται στο μοντέλο βαρύτητας όχι από τον αριθμό των ελκόμενων μετακινήσεων αλλά από **παράγοντες όπως το συνολικό εμβαδόν των καταστημάτων λιανικού εμπορίου, το εμβαδόν των χώρων αναψυχής/ψυχαγωγίας, κλπ**.

$$T_{ij} = A_i . O_i . D_j . f(c_{ij})$$

και

$$\sum_j T_{ij} = O_i$$

ΓΕΝΕΣΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Πίνακες χρόνων μετακίνησης

Προτυποποίηση Ετήσιων Μέσων Ημερήσιων Μετακινήσεων (υπεραστικές μετακινήσεις)

Ένας από τους παρακάτω πίνακες χρόνων διαδρομής είναι λάθος. Ποιος και γιατί?

Πίνακας 1 Χρόνων Διαδρομής

		Προς Ζώνη			
		1	2	3	4
Από ζώνη	1	15	90	130	180
	2	90	20	160	140
	3	130	160	18	70
	4	180	140	70	25

Πίνακας 2 Χρόνων Διαδρομής

		Προς Ζώνη			
		1	2	3	4
Από ζώνη	1	15	100	140	210
	2	90	20	170	160
	3	130	160	18	80
	4	180	140	70	25

Ένα κυκλοφοριακό πρότυπο που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της Ετήσιας Μέσης Ημερήσιας Κυκλοφορίας, προσομοιώνει τις κυκλοφοριακές συνθήκες κατά την διάρκεια μιας μέσης (ως προς το μέγεθος της ζήτησης) ημέρας. Ο πίνακας Π-Π είναι συμμετρικός και ο πίνακας των χρόνων διαδρομής είναι συμμετρικός και περιγράφει τις μέσες κυκλοφοριακές συνθήκες. Επομένως ο πίνακας 1 είναι σωστός

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Κατανομής Μετακινήσεων

- Διαφορετικά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για διαφορετικές κατηγορίες οχημάτων, δηλ. α) για τα ΙΧ οχήματα που εξυπηρετούν επιβατικές μετακινήσεις και β) για τα φορτηγά που εξυπηρετούν τις μεταφορές εμπορευμάτων.
- Επίσης η κατανομή των μετακινήσεων εξαρτάται από την χρονική περίοδο που αναλύεται και επομένως διαφορετικά μοντέλα χρησιμοποιούνται. Επειδή η χρονική περίοδος διεξαγωγής των μετακινήσεων συνήθως σχετίζεται με τον σκοπό της μετακίνησης, (πχ. η πρωινή αιχμή περιλαμβάνει τις μετακινήσεις προς την εργασία) συχνά η προτυποποίηση διαφορετικών χρονικών περιόδων καλύπτεται από την ανάλυση που γίνεται ανά σκοπό μετακίνησης.
- Επισημαίνεται ότι ο πίνακας χρόνου/κόστους μετακινήσεων που χρησιμοποιείται σε ένα μοντέλο κατανομής θα πρέπει να είναι αυτός που αντιστοιχεί τις συγκεκριμένες μετακινήσεις που αναλύει το μοντέλο., π.χ. ο πίνακας των χρόνων διαδρομής κατά την διάρκεια της πρωινής αιχμής θα πρέπει να χρησιμοποιείται στο μοντέλο κατανομής των μετακινήσεων της πρωινής αιχμής (με σκοπό την εργασία, από τις περιοχές κατοικίας προς τις περιοχές εργασίας).

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Κατανομής Μετακινήσεων

Συντελεστές Κ

- Το μοντέλο της βαρύτητας μπορεί να παρέχει μια λογική αναπαράσταση της μορφής των μετακινήσεων, υπό την προϋπόθεση ότι ο αριθμός των μετακινήσεων μεταξύ κάθε ζεύγους Π-Π εξαρτάται α) από το δυναμικό της ζώνης προέλευσης να παράγει μετακινήσεις, β) από την ελκυστικότητα της ζώνης προορισμού και γ) από την αποθάρρυνση για μετακίνηση που προκαλείται από τον διαχωρισμό (χρόνο/κόστος) μεταξύ των ζωνών.
- Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως υπάρχουν ειδικοί παράγοντες που επηρεάζουν τον αριθμό των μετακινήσεων μεταξύ δύο ζωνών. Δεδομένου ότι το μοντέλο βαρύτητας δεν λαμβάνει υπόψη αυτούς τους παράγοντες, δεν μπορεί να κάνει ακριβείς προβλέψεις. Σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παρακάτω μορφή του μοντέλου βαρύτητας:

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Κατανομής Μετακινήσεων

$$T_{ij} = K_{ij}.A_i.O_i.D_j.f(c_{ij})$$

- Η χρήση αυτής της μορφής με τους συντελεστές Κ, πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή.
- Δεδομένου ότι στην γενική μορφή του μοντέλου υπάρχει ένας συντελεστής Κ για κάθε ζεύγος Π-Π, υπάρχει κίνδυνος το μοντέλο να προσαρμοσθεί στα στοιχεία του έτους βάσης αλλά να χάσει την ικανότητα του να προβλέψει την μελλοντική κατανομή των μετακινήσεων.
- Σε περιπτώσεις που υπάρχουν ιδιαίτεροι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες που δεν μπορούν να συμπεριληφθούν στο μοντέλο βαρύτητας, συνίσταται η χρήση μόνο περιορισμένου αριθμού συντελεστών Κ όπου κρίνεται απαραίτητο
- Χρησιμοποίηση πίνακα K_{ij}, δεν συνίσταται

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ασκήσεις

Όσον αφορά τις μετακινήσεις με σκοπό την εργασία, βραχυπρόθεσμα δεν προβλέπεται να επέλθουν αλλαγές στην κατανομή των μετακινήσεων, διότι μεταβολές στον χρόνο μετακίνησης δεν θα οδηγήσουν έναν εργαζόμενο στο να αλλάξει εργασία. Επισημαίνεται όμως, ότι μεταβολές στις επιλογές που κάνουν οι καταναλωτές, θα οδηγήσουν σε μεταβολές της εμπορικής δραστηριότητας των διαφορετικών εμπορικών κέντρων και συνεπώς στις ανάγκες τους σε προσωπικό. Τις μεταβολές αυτές δεν μπορεί να αναπαραστήσει το συγκεκριμένο μοντέλο κατανομής των μετακινήσεων με σκοπό την εργασία.

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ασκήσεις

άσκηση: απλή εφαρμογή μοντέλου βαρύτητας

Η περιοχή μελέτης έχει τρείς ζώνες και μοντέλο κατανομής των μετακινήσεων με σκοπό τις αγορές υπολογίζει τις μετακινήσεις από ένα μεγάλο αστικό κέντρο προς 3 εμπορικές ζώνες με βάση την σχέση:

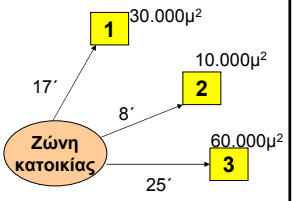
$$T_{ij} = 0{,}005.P_i.\frac{E_j.f(c_{ij})}{\sum_j E_j.f(c_{ij})}$$

$$f(c_{ij}) = \frac{1}{c_{ij}^{2,2}}$$

Το αντίστοιχο μοντέλο για τις μετακινήσεις με σκοπό την εργασία στις εμπορικές ζώνες δίδεται από τις σχέσεις:

$$TT_{ij} = 0{,}2.P_i.\frac{E_j.g(c_{ij})}{\sum_j E_j.g(c_{ij})}$$

$$g(c_{ij}) = \frac{1}{c_{ij}^{1,1}}$$



$$P_A = 400.000$$

Ποιες είναι οι επιπτώσεις μιας μείωσης του χρόνου διαδρομής προς την ζώνη 3, κατά 5΄ ?

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ασκήσεις

άσκηση: βαθμονόμηση μοντέλου βαρύτητας

Δίδεται ο πίνακας Π-Π των μετακινήσεων και ο πίνακας των χρόνων διαδρομής για το έτος βάσης.

Έτος Βάση - Πίνακας Π-Π (O_i, D_i)

	1	2	3	4	Σύνολο
1	60	70	335	10	475
2	75	15	70	190	350
3	200	50	50	120	420
4	20	230	200	240	690
Σύνολο	355	365	655	560	1935

Έτος Βάση - Πίνακας Χρόνων Μετακίνησης (c_{ij})

	1	2	3	4
1	5	13	18	22
2	12	3	13	19
3	18	13	5	8
4	24	18	8	5

Ζητείται να εκτιμηθεί ο μελλοντικός πίνακας Π-Π των μετακινήσεων όταν δίνονται οι μελλοντικές παραγόμενες και ελκόμενες μετακινήσεις και ο μελλοντικός πίνακας των χρόνων διαδρομής.

Μελλοντικές Παραγόμενες και Ελκόμενες Μετακινήσεις

	1	2	3	4	Σύνολο
1					600
2					500
3					700
4					900
Σύνολο	700	400	900	700	

Μελλοντικός Πίνακας Χρόνων Μετακίνησης

	1	2	3	4
1	6	15	20	23
2	12	4	14	23
3	21	14	7	9
4	25	20	9	6

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ασκήσεις

Υπολογίζονται κατ΄ αρχάς οι μετακινήσεις με απλή εφαρμογή του μοντέλου το οποίο έχει ήδη βαθμονομηθεί. Για παράδειγμα οι μετακινήσεις από την ζώνη κατοικίας Α στην ζώνη 2 υπολογίζονται από την σχέση:

$$T_{A3} = 0{,}005 \times 400000 \times$$
$$\times \frac{60000 \times .(1/25^{2,2})}{30000 \times .(1/17^{2,2}) + 10000 \times .(1/8^{2,2}) + 60000 \times .(1/25^{2,2})}$$

Στην συνέχεια υπολογίζονται οι μετακινήσεις, μετά την μείωση της διαδρομής στον σύνδεσμο (Α,3) :

$$T''_{A3} = 0{,}005 \times 400000 \times$$
$$\times \frac{60000 \times .(1/20^{2,2})}{30000 \times .(1/17^{2,2}) + 10000 \times .(1/8^{2,2}) + 60000 \times .(1/20^{2,2})}$$

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ασκήσεις

Για την βαθμονόμηση του μοντέλου θα χρησιμοποιηθεί μια από τις συναρτήσεις διαχωρισμού πού έχουν προκύψει από την βαθμονόμηση μοντέλων βαρύτητας σε δύο γειτονικές περιοχές.

Περιοχή Α

Πεδίο τιμών χρόνου διαδρομής	F^m
0 - 5	0,1
5 - 10	0,15
10 -15	0,35
15 - 20	0,5
20 - 25	0,01

Περιοχή Β

Πεδίο τιμών χρόνου διαδρομής	F^m
0 - 5	0,3
5 - 10	0,35
10 -15	0,5
15 - 20	0,6
20 - 25	0,7

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ασκήσεις

1. Για να υπολογίσουμε τον μελλοντικό πίνακα Π-Π θα πρέπει κατ΄ αρχάς να βαθμονομήσουμε το μοντέλο, δηλ. να βρούμε την κατάλληλη συνάρτηση διαχωρισμού F.
2. Από τα δεδομένα του προβλήματος προκύπτει ότι το μοντέλο θα είναι ένα μοντέλο βαρύτητας με διπλό περιορισμό, και η συνάρτηση διαχωρισμού θα είναι ή αυτή που χρησιμοποιήθηκε στην περιοχή Α, ή αυτή που χρησιμοποιήθηκε στην περιοχή Β.
3. Εξετάζουμε κατ' αρχάς την συνάρτηση διαχωρισμού της περιοχής Α, στην συνέχεια την συνάρτηση της περιοχής Β και επιλέγουμε εκείνη για την οποία τα αποτελέσματα του μοντέλου προσεγγίζουν καλύτερα τον πραγματικό πίνακα Π-Π όπως έχει καταγραφεί για το έτος βάση.

F(cij)	1	2	3	4
1	0,1	0,35	0,5	0,01
2	0,35	0,1	0,35	0,5
3	0,5	0,35	0,1	0,15
4	0,01	0,5	0,15	0,1

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ασκήσεις

Επανάληψη 4

Bj.Dj.f(cij)				A_i = 1/ Σ Bj.Dj.f(cij)
53,1	67,0	287,9	9,9	0,002393382
185,8	19,1	201,5	495,4	0,001108909
265,4	67,0	57,6	148,6	0,001856877
5,3	95,7	86,4	99,1	0,003491456

	Ai.Oi.f(cij)			
	0,114	0,398	0,568	0,011
	0,136	0,039	0,136	0,194
	0,390	0,273	0,078	0,117
	0,024	1,205	0,361	0,241
Bj = 1 / Σ Ai.Oi.f(cij)	1,50711	0,52236	0,87438	1,77511

Επανάληψη 5

Bj.Dj.f(cij)				A_i = 1/ Σ Bj.Dj.f(cij)
53,5	66,7	286,4	9,9	0,002400759
187,3	19,1	200,5	497,1	0,00110637
267,5	66,7	57,3	149,1	0,00184966
5,4	95,3	85,9	99,4	0,003496434

	Ai.Oi.f(cij)			
	0,114	0,399	0,570	0,011
	0,136	0,039	0,136	0,194
	0,388	0,272	0,078	0,117
	0,024	1,206	0,362	0,241
Bj = 1 / Σ Ai.Oi.f(cij)	1,51039	0,52188	0,87312	1,77676

Επανάληψη 6

Bj.Dj.f(cij)				A_i = 1/ Σ Bj.Dj.f(cij)
53,6	66,7	285,9	10,0	0,002402778
187,7	19,0	200,2	497,5	0,001105684
268,1	66,7	57,2	149,3	0,001847694
5,4	95,2	85,8	99,5	0,003497775

	Ai.Oi.f(cij)			
	0,114	0,399	0,571	0,011
	0,135	0,039	0,135	0,193
	0,388	0,272	0,078	0,116
	0,024	1,207	0,362	0,241
Bj = 1 / Σ Ai.Oi.f(cij)	1,51128	0,52174	0,87277	1,7772

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ασκήσεις

<u>Αξιολόγηση της συναρτήσεως διαχωρισμού της περιοχής Α</u>

Από τις τιμές του πίνακα των χρόνων διαδρομής και τις τιμές της συνάρτησης διαχωρισμού προκύπτει ο πίνακας του συναρτήσεως διαχωρισμού μεταξύ τω ζωνών

F(cij)	1	2	3	4
1	0,1	0,35	0,5	0,01
2	0,35	0,1	0,35	0,5
3	0,5	0,35	0,1	0,15
4	0,01	0,5	0,15	0,1

Δεδομένου ότι θα εφαρμοσθεί το μοντέλο βαρύτητας διπλού περιορισμού θα χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις:

$$T_{ij} = A_i.O_i.B_j.D_j.f(c_{ij})$$

$$A_i = \frac{1}{\sum_j B_j.D_j.f(c_{ij})}$$

$$B_j = \frac{1}{\sum_i A_i.O_i.f(c_{ij})}$$

παράδειγμα

$$T_{23} = A_2.O_2.B_3.D_3.f(c_{23})$$

$$A_2 = \frac{1}{B_1.D_1.f(c_{21}) + B_2.D_2.f(c_{22}) + B_3.D_3.f(c_{23}) + B_4.D_4.f(c_{24})}$$

$$B_3 = \frac{1}{A_1.O_1.f(c_{13}) + A_2.O_2.f(c_{23}) + A_3.O_3.f(c_{33}) + A_4.O_4.f(c_{43}) +}$$

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ασκήσεις

Αντικαθιστώντας στην σχέση

$$T_{ij} = A_i.O_i.B_j.D_j.f(c_{ij})$$

Προκύπτει ο πίνακας Π-Π όταν η χρησιμοποιείται η συνάρτηση διαχωρισμού της περιοχής Α

Αποτελέσματα Μοντέλου -					Πίνακας Π-Π
	1	2	3	4	Σύνολο
1	61	76	326	11	475
2	73	7	77	193	350
3	208	52	44	116	420
4	13	230	207	240	690
Σύνολο	355	365	655	560	1935

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ασκήσεις

Ακολουθείται η επαναληπτική διαδικασία υπολογισμού των τιμών των συντελεστών Α και Β, όπου στην πρώτη επανάληψη οι συντελεστές Β θεωρούνται ίσοι με 1.

Bj	1	1	1	1

Επανάληψη 1

Bj.Dj.f(cij)				A_i = 1/ Σ Bj.Dj.f(cij)
35,5	127,8	327,5	5,6	0,002014705
124,3	36,5	229,3	280,0	0,001492475
177,5	127,8	65,5	84,0	0,00219897
3,6	182,5	98,3	56,0	0,002938535

	Ai.Oi.f(cij)			
	0,096	0,335	0,478	0,010
	0,183	0,052	0,183	0,261
	0,462	0,323	0,092	0,139
	0,020	1,014	0,304	0,203
Bj = 1 / Σ Ai.Oi.f(cij)	1,31486	0,57993	0,94531	1,63382

Επανάληψη 2

Bj.Dj.f(cij)				A_i = 1/ Σ Bj.Dj.f(cij)
46,7	74,1	309,6	9,2	0,002275291
163,4	21,2	216,7	457,5	0,00116446
233,4	74,1	61,9	137,3	0,001973763
4,7	105,8	92,9	91,5	0,003391146

	Ai.Oi.f(cij)			
	0,108	0,378	0,540	0,011
	0,143	0,041	0,143	0,204
	0,414	0,290	0,083	0,124
	0,023	1,170	0,351	0,234
Bj = 1 / Σ Ai.Oi.f(cij)	1,45229	0,53213	0,89529	1,74537

Επανάληψη 3

Bj.Dj.f(cij)				A_i = 1/ Σ Bj.Dj.f(cij)
51,6	68,0	293,2	9,8	0,002366758
180,4	19,4	205,2	488,8	0,001118735
257,8	68,0	58,6	146,6	0,001883143
5,2	97,1	88,0	97,8	0,003472445

	Ai.Oi.f(cij)			
	0,112	0,393	0,562	0,011
	0,137	0,039	0,137	0,196
	0,395	0,277	0,079	0,119
	0,024	1,198	0,359	0,240
Bj = 1 / Σ Ai.Oi.f(cij)	1,49511	0,52422	0,87898	1,76904

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Μοντέλα Κατανομής Μετακινήσεων

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας την συνάρτηση διαχωρισμού της περιοχής Β προκύπτει ο αντίστοιχος πίνακας Π-Π

Αποτελέσματα Μοντέλου -					Πίνακας Π-Π
	1	2	3	4	Σύνολο
1	38	72	189	176	475
2	53	36	133	127	350
3	96	91	121	112	420
4	168	165	212	145	690
Σύνολο	355	365	655	560	1935

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ασκήσεις

Πραγματικός πίνακας

Ετος Βάση - Πίνακας Π-Π	1	2	3	4	Σύνολο
1	60	70	335	10	475
2	75	15	70	190	350
3	200	50	50	120	420
4	20	230	200	240	690
Σύνολο	355	365	655	560	1935

Ο μέσος χρόνος μετακίνησης:

$$\frac{\sum_{ij} T_{ij}.c_{ij}}{\sum_{ij} T_{ij}} = 13,33$$

Πίνακας με συνάρτηση διαχωρισμού περιοχής Α

Αποτελέσματα Μοντέλου - Πίνακας Π-Π	1	2	3	4	Σύνολο
1	61	76	326	11	475
2	73	7	77	193	350
3	208	52	44	116	420
4	13	230	207	240	690
Σύνολο	355	365	655	560	1935

Ο μέσος χρόνος μετακίνησης: $\frac{\sum_{ij} T_{ij}^{A}.c_{ij}}{\sum_{ij} T_{ij}^{A}} = 13,35$

Το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών από πραγματικό πίνακα

$$\sum_{ij}\left(T_{ij} - T_{ij}^{A}\right)^2 = 459$$

Πίνακας με συνάρτηση διαχωρισμού περιοχής Β

Αποτελέσματα Μοντέλου - Πίνακας Π-Π	1	2	3	4	Σύνολο
1	38	72	189	176	475
2	53	36	133	127	350
3	96	91	121	112	420
4	168	165	212	145	690
Σύνολο	355	365	655	560	1935

Ο μέσος χρόνος μετακίνησης: $\frac{\sum_{ij} T_{ij}^{B}.c_{ij}}{\sum_{ij} T_{ij}^{B}} = 14,03$

Το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών από πραγματικό πίνακα

$$\sum_{ij}\left(T_{ij} - T_{ij}^{B}\right)^2 = 111215$$

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ασκήσεις

Από σύγκριση των αποτελεσμάτων, δηλ. του μέσου χρόνου μετακίνησης και του αθροίσματος των τετραγώνων των διαφορών των μετακινήσεων για κάθε ζεύγος Π-Π, προκύπτει ότι η συνάρτηση διαχωρισμού της περιοχής Α περιγράφει καλύτερα την διαδικασία της κατανομής των μετακινήσεων στην περιοχή μελέτης.

Για την πρόβλεψη του μελλοντικού πίνακα Π-Π υπολογίζονται κατ΄ αρχάς οι τιμές των συντελεστών εξισορρόπησης, A_i και B_j , με βάση τον μελλοντικό πίνακα των χρόνων μετακίνησης και τις μελλοντικές παραγόμενες και ελκόμενες μετακινήσεις από κάθε ζώνη

Μελλοντικός Πίνακας Χρόνων Μετακίνησης	1	2	3	4
1	6	15	20	23
2	12	4	14	23
3	21	14	7	9
4	25	20	9	6

F(cij)	1	2	3	4
1	0,15	0,35	0,5	0,01
2	0,35	0,1	0,35	0,01
3	0,01	0,35	0,15	0,15
4	0,01	0,5	0,15	0,15

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ασκήσεις

Bj	1	1	1	1

Επανάληψη 1

Bj.Dj.f(cij)				A_i = 1/ Σ Bj.Dj.f(cij)
105,0	140,0	450,0	7,0	0,001424501
245,0	40,0	315,0	7,0	0,001647446
7,0	140,0	135,0	105,0	0,002583979
7,0	200,0	135,0	105,0	0,002237136

Ai.Oi.f(cij)			
0,128	0,299	0,427	0,009
0,288	0,082	0,288	0,008
0,018	0,633	0,271	0,271
0,020	1,007	0,302	0,302
Bj = 1 / Σ Ai.Oi.f(cij)	2,19911	0,49473	0,7758	1,69458

Επανάληψη 2

Bj.Dj.f(cij)				A_i = 1/ Σ Bj.Dj.f(cij)
230,9	69,3	349,1	11,9	0,001512534
538,8	19,8	244,4	11,9	0,001227279
15,4	69,3	104,7	177,9	0,002722416
15,4	98,9	104,7	177,9	0,002518862

Ai.Oi.f(cij)			
0,136	0,318	0,454	0,009
0,215	0,061	0,215	0,006
0,019	0,667	0,286	0,286
0,023	1,133	0,340	0,340
Bj = 1 / Σ Ai.Oi.f(cij)	2,54694	0,45883	0,77254	1,55979

Επανάληψη 3

Bj.Dj.f(cij)				A_i = 1/ Σ Bj.Dj.f(cij)
267,4	64,2	347,6	10,9	0,001448803
624,0	18,4	243,3	10,9	0,001115299
17,8	64,2	104,3	163,8	0,002856042
17,8	91,8	104,3	163,8	0,002647853

Ai.Oi.f(cij)			
0,130	0,304	0,435	0,009
0,195	0,056	0,195	0,006
0,020	0,700	0,300	0,300
0,024	1,192	0,357	0,357
Bj = 1 / Σ Ai.Oi.f(cij)	2,70715	0,44419	0,7769	1,48895

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ασκήσεις

Επανάληψη 4

Bj = 1 / Σ Ai.Oi.f(cij)	2,70715	0,44419	0,7769	1,48895

Bj.Dj.f(cij)				A_i = 1/ Σ Bj.Dj.f(cij)
284,3	62,2	349,6	10,4	0,001415496
663,3	17,8	244,7	10,4	0,001068187
19,0	62,2	104,9	156,3	0,002920914
19,0	88,8	104,9	156,3	0,002709953

Ai.Oi.f(cij)			
0,127	0,297	0,425	0,008
0,187	0,053	0,187	0,005
0,020	0,716	0,307	0,307
0,024	1,219	0,366	0,366
Bj = 1 / Σ Ai.Oi.f(cij)	2,78425	0,43749	0,77874	1,45693

Επανάληψη 5

Bj.Dj.f(cij)				A_i = 1/ Σ Bj.Dj.f(cij)
292,3	61,2	350,4	10,2	0,001400114
682,1	17,5	245,3	10,2	0,001046964
19,5	61,2	105,1	153,0	0,002951189
19,5	87,5	105,1	153,0	0,002739006

Ai.Oi.f(cij)			
0,126	0,294	0,420	0,008
0,183	0,052	0,183	0,005
0,021	0,723	0,310	0,310
0,025	1,233	0,370	0,370
Bj = 1 / Σ Ai.Oi.f(cij)	2,82057	0,43441	0,77949	1,44243

Επανάληψη 6

Bj.Dj.f(cij)				A_i = 1/ Σ Bj.Dj.f(cij)
296,2	60,8	350,8	10,1	0,00139306
691,0	17,4	245,5	10,1	0,001037289
19,7	60,8	105,2	151,5	0,002965184
19,7	86,9	105,2	151,5	0,002752456

Ai.Oi.f(cij)			
0,125	0,293	0,418	0,008
0,182	0,052	0,182	0,005
0,021	0,726	0,311	0,311
0,025	1,239	0,372	0,372
Bj = 1 / Σ Ai.Oi.f(cij)	2,83745	0,433	0,77981	1,43581

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ασκήσεις

Επανάληψη 7

Bj = 1 / Σ Ai.Oi.f(cij)	2,83745	0,433	0,77981	1,43581

Bj.Dj.f(cij)				A_i = 1/ Σ Bj.Dj.f(cij)
297,9	60,6	350,9	10,1	0,001389825
695,2	17,3	245,6	10,1	0,001032861
19,9	60,6	105,3	150,8	0,002971629
19,9	86,6	105,3	150,8	0,002758654

Ai.Oi.f(cij)			
0,125	0,292	0,417	0,008
0,181	0,052	0,181	0,005
0,021	0,728	0,312	0,312
0,025	1,241	0,372	0,372
Bj = 1 / Σ Ai.Oi.f(cij)	2,84524	0,43235	0,77995	1,43278

Επανάληψη 8

Bj.Dj.f(cij)				A_i = 1/ Σ Bj.Dj.f(cij)
298,8	60,5	351,0	10,0	0,00138834
697,1	17,3	245,7	10,0	0,001030831
19,9	60,5	105,3	150,4	0,002974592
19,9	86,5	105,3	150,4	0,002761504

Ai.Oi.f(cij)			
0,125	0,292	0,417	0,008
0,180	0,052	0,180	0,005
0,021	0,729	0,312	0,312
0,025	1,243	0,373	0,373
Bj = 1 / Σ Ai.Oi.f(cij)	2,84883	0,43205	0,78001	1,43139

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Ασκήσεις

Αντικαθιστώντας στην σχέση

$$T_{ij} = A_i.O_i.B_j.D_j.f(c_{ij})$$

Προκύπτει ο μελλοντικός πίνακας Π-Π στην περιοχή μελέτης

Αποτελέσματα Μοντέλου - Μελλοντικός Πίνακας Π-Π	1	2	3	4	Σύνολο
1	249	50	292	8	600
2	360	9	127	5	500
3	42	126	219	313	700
4	50	215	262	374	900
Σύνολο	700	400	900	700	2700

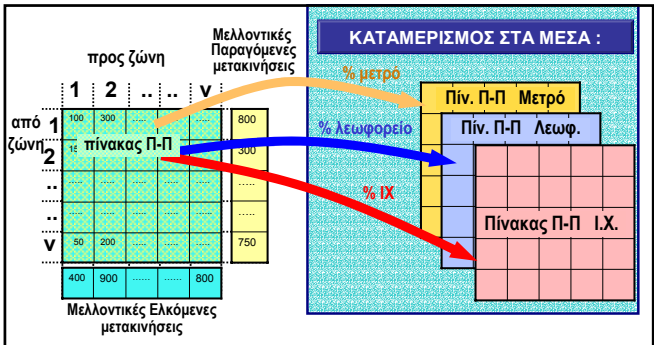
ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ:	Ασκήσεις

Στο πρόβλημα που αναλύθηκε, είχαμε να επιλέξουμε μεταξύ 2 συναρτήσεων διαχωρισμού και επιλέξαμε την πλέον κατάλληλη για την περιοχή που μελετάμε.

Στην περίπτωση που δεν διατίθενται συναρτήσεις ή που αυτές που είναι διαθέσιμες δεν εξασφαλίζουν ότι τα αποτελέσματα του μοντέλου είναι μια καλή προσέγγιση του πραγματικού πίνακα Π-Π, ο αναλυτής θα πρέπει να εξετάσει διαφορετικές μορφές συναρτήσεων διαχωρισμού (τις οποίες έχουμε ήδη παρουσιάσει) και με διαφορετικές τιμές των παραμέτρων τους ακολουθώντας την ίδια διαδικασία.

5 καταμερισμός στα μεταφορικά μέσα

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ :



- *Διευκρινίζεται ότι τα ποσοστά χρήσης κάθε μεταφορικού μέσου δεν υπολογίζονται για το σύνολο του πίνακα Π-Π αλλά για κάθε κελί του πίνακα ξεχωριστά.*
- *Όπως θα δείξουμε στην συνέχεια, το ποσοστό των μετακινούμενων που χρησιμοποιεί το κάθε μέσο εξαρτάται από την επίπεδο της εξυπηρέτησης του προσφέρει το κάθε μέσο. Το επίπεδο αυτό ποικίλει ανάλογα με το ζεύγος Π-Π.*

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : εισαγωγή

το υπό διερεύνηση θέμα :

πόσες μετακινήσεις από την ζώνη i στην ζώνη j γίνονται με κάθε μεταφορικό μέσο?

Ποιο μεταφορικό μέσο θα επιλέξει ένας μετακινούμενος που πηγαίνει από την ζώνη i στη ζώνη j?

Ποια είναι η πιθανότητα ότι θα επιλέξει το μεταφορικό μέσο m?

Ανάλυση κατά ζώνη

Αθροιστικά μοντέλα
(aggregate models)

Ανάλυση κατά άτομο

Εξατομικευμένα μοντέλα
(disaggregate models)

Μοντέλα διακριτών επιλογών
Θεωρεία μεγιστοποίησης της ωφέλειας

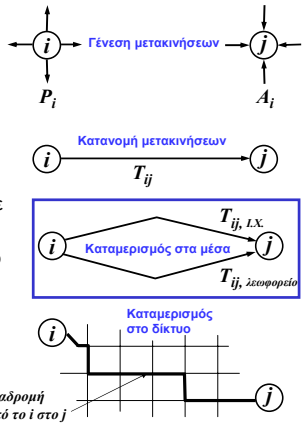
ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Πίνακες Προέλευσης - Προορισμού

Παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή μέσου

- Χαρακτηριστικά του μετακινούμενου
- Χαρακτηριστικά της μετακίνησης
- Χαρακτηριστικά του μεταφορικού συστήματος

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : εισαγωγή

Καταμερισμός στα μέσα



Η διαδικασία με την οποία, για κάθε ζεύγος Π-Π εκτιμάται:

- Πόσες μετακινήσεις γίνονται με κάθε μεταφορικό μέσο
- Ο πίνακας Π-Π για κάθε μεταφορικό μέσο

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : εισαγωγή

Χαρακτηριστικά του μετακινούμενου

- Εισόδημα
- Αριθμός διαθέσιμων ΙΧ αυτοκινήτων, κατοχή άδειας οδήγησης
- Δομή του νοικοκυριού και μέγεθος οικογένειας
- φύλο
- Πυκνότητα δόμησης

Χαρακτηριστικά μετακίνησης

- Ο προορισμός της μετακίνησης
- Ώρα κατά την διάρκεια της ημέρας
- Σκοπός της μετακίνησης

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : εισαγωγή

Χαρακτηριστικά του μεταφορικού συστήματος

- Κόστος μετακίνησης
  - Άμεσα κόστη
    - Κόμιστρο
    - Κόστος καυσίμου
    - Κόστος στάθμευσης
    - Διόδια
- Χρόνος μετακίνησης
  - Εντός του οχήματος
  - Εκτός του οχήματος:
    - ΙΧ
      - Χρόνος προς και από θέση στάθμευσης ΙΧ
    - Μέσα Μαζικής Μεταφοράς
      - Χρόνος πρόσβασης (από σημείο προέλευσης σε στάση και από στάση σε τελικό προορισμό)
      - Χρόνος αναμονής (συχνότητα δρομολογίων)
      - Χρόνος μετεπιβίβασης
- Αξιοπιστία
- Άνεση / ευκολία
- Διαθεσιμότητα / προσιτότητα

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Μοντέλα καμπυλών καταμερισμού

Μοντέλα καταμερισμού στα άκρα της μετακίνησης *(trip end models)*

- Είναι τα πρώτα μοντέλα καταμερισμού στα μέσα και χρησιμοποιήθηκαν στις ΗΠΑ για πρώτη φορά την δεκαετία 1950.
- Βασίζονται στην υπόθεση ότι τα χαρακτηριστικά του μετακινούμενου είναι αυτά που καθορίζουν τις επιλογές που κάνει. Συνεπώς τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνταν αμέσως μετά την φάση της γένεσης των μετακινήσεων. Έτσι στην περίπτωση ενός μοντέλου γένεσης με την μέθοδο της ανάλυσης ανά κατηγορίες, για κάθε κατηγορία υπολογίζεται και το ποσοστό χρήσης κάθε μεταφορικού μέσου.
- Η άποψη που επικρατούσε ήταν ότι καθώς αυξάνεται το εισόδημα, αυξάνεται η ιδιοκτησία και συνεπώς και η χρήση του ΙΧ αυτοκινήτου.
- Τα μοντέλα συσχέτιζαν την επιλογή του μέσου, με το εισόδημα, την ιδιοκτησία αυτοκινήτου και την οικιστική πυκνότητα.
- Δίνουν αξιόπιστες βραχυπρόθεσμες προβλέψεις όταν τα χαρακτηριστικά των μέσων μαζικής μεταφοράς είναι ομοιόμορφα στην περιοχή μελέτης και η περιοχή δεν εμφανίζει φαινόμενα κυκλοφοριακής συμφόρησης.
- Το κύριο μειονέκτημα τους είναι ότι δεν είναι ευαίσθητα σε αλλαγές των χαρακτηριστικών του μεταφορικού συστήματος και ως εκ τούτου δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αξιολόγηση διαφορετικών μέτρων, όπως πχ. βελτίωση των ΜΜΜ, περιορισμοί στάθμευσης, χρέωση για χρήση του οδικού δικτύου κλπ, και ως εκ τούτου δεν χρησιμοποιούνται πλέον.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Μέθοδοι καταμερισμού

Μέθοδοι ανάλυσης του καταμερισμού στα μέσα

Αθροιστικά μοντέλα

- Μοντέλα καταμερισμού στα άκρα στα άκρα της μετακίνησης *(trip end models)*
- Μοντέλα καταμερισμού μετακινήσεων με καμπύλες καταμερισμού *(diversion curves models)*
- Συνθετικά Μοντέλα καταμερισμού των μετακινήσεων ανά ζεύγος Π-Π - τύπου λογιστικής συνάρτησης *(logit models)*

Εξατομικευμένα μοντέλα

- Μοντέλα διακριτών επιλογών - εξατομικευμένα μοντέλα *(discrete choice models)*

Τα μοντέλα διακριτών επιλογών, αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για την προτυποποίηση της επιλογής του μεταφορικού μέσου, αλλά εφαρμόζονται σε κάθε πρόβλημα επιλογής που αντιμετωπίζουν οι μετακινούμενοι, δηλ. απόφαση για μετακίνηση ή όχι (γένεση), επιλογή προορισμού (κατανομή), επιλογή μέσου (καταμερισμός στα μέσα), επιλογή διαδρομής (καταμερισμός στο δίκτυο).

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Μοντέλα καμπυλών καταμερισμού

Μοντέλα καταμερισμού της ανταλλαγής μετακινήσεων με καμπύλες καταμερισμού *(trip interchange diversion curve models)*

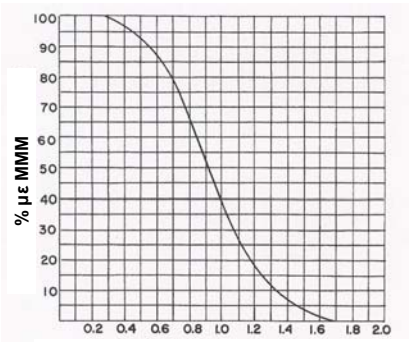
- Τα πρώτα μοντέλα καταμερισμού στα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν σε συγκοινωνιακές μελέτες στην Ευρώπη, και εφαρμόσθηκαν μετά το στάδιο της κατανομής των μετακινήσεων
- Λαμβάνουν υπόψη τα χαρακτηριστικά των μετακινήσεων αλλά όχι τα χαρακτηριστικά των μετακινούμενων. Το χαρακτηριστικό της μετακίνησης που χρησιμοποιείται είναι ο χρόνος εντός του οχήματος.
- Τα μοντέλα χρησιμοποιούν καμπύλες που δίνουν το ποσοστό χρήσης κάθε μέσο σαν συνάρτηση της διαφοράς (ή του λόγου) του χρόνου/κόστους μετακίνησης του συγκεκριμένου μέσου από τον χρόνο/ κόστος διαδρομής του ανταγωνιστικού μέσου. Οι καμπύλες προκύπτουν από την ανάλυση στοιχείων κυκλοφοριακών ερευνών και έχουν σιγμοειδή μορφή.
- Τα μοντέλα δεν βασίζονται σε κάποια θεωρεία ανάλυσης των επιλογών και είναι αμφίβολη η αξιοπιστία των προβλέψεων. Δεν χρησιμοποιούνται πλεόν.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Μέθοδοι καταμερισμού

Αθροιστικά μοντέλα καταμερισμού στα μέσα

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Μοντέλα καμπυλών καταμερισμού

Μοντέλο καμπυλών καταμερισμού απλής στρωματοποίησης



Λόγος των χρόνων μετακίνησης = Χρόνος με ΜΜΜ / χρόνος με ΙΧ

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Μοντέλα logit - λογιστικής συνάρτησης

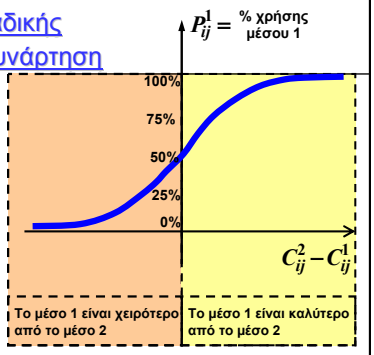
Συνθετικά μοντέλα τύπου λογιστικής συνάρτησης - logit

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Λογιστική Παλινδρόμηση

Αθροιστικό Μοντέλο δυαδικής επιλογής με λογιστική συνάρτηση

Οι καμπύλες διαχωρισμού έχουν την μορφή μιας σιγμοϊδούς συνάρτησης και μπορούν να προτυποποιηθούν χρησιμοποιώντας την λογιστική συνάρτηση

$$P_{ij}^1 = \frac{1}{1+\exp(-\lambda.[C_{ij}^2 - C_{ij}^1])}$$



Όπου

P_{ij}^1 το % των μετακινούμενων μεταξύ i και j που χρησιμοποιούν το μέσο 1

C_{ij}^1, C_{ij}^2 τα γενικευμένα κόστη μετακίνησης με το μέσο 1 και 2, αντίστοιχα

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Μοντέλα logit – λογιστικής συνάρτησης

Συνθετικά Μοντέλα καταμερισμού των μετακινήσεων ανά ζεύγος Π-Π - τύπου λογιστικής συνάρτησης *(logit models)*

- Η μορφή των μοντέλων προέκυψε από την ανάλυση της κατανομής των μετακινήσεων με χρήση της θεωρίας της μεγιστοποίησης της εντροπίας του συστήματος. Σύμφωνα με την μέθοδο μεγιστοποίησης της εντροπίας του συστήματος, ο πίνακας Π-Π ανά μεταφορικό μέσο προκύπτει από την επίλυση του προγράμματος μεγιστοποίησης:

$$Max\left(-\sum_{ijk}(T_{ij}^k.\log T_{ij}^k - T_{ij}^k\right)$$

Κάτω από τις συνθήκες

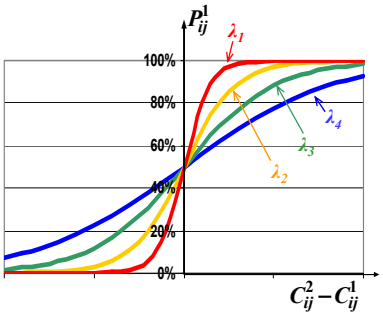
$$\sum_{jk} T_{ij}^k = O_i \qquad \sum_{ik} T_{ij}^k = D_j \qquad \sum_{ijk} T_{ij}^k.c_{ij}^k = C$$

T_{ij}^k, c_{ij}^k Είναι ο αριθμός των μετακινήσεων, και το κόστος αντίστοιχα από την ζώνη i στην ζώνη j με το μεταφορικό μέσο k

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Λογιστική Παλινδρόμηση

$$P_{ij}^1 = \frac{1}{1+\exp(-\lambda.[C_{ij}^2 - C_{ij}^1])}$$

$\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \lambda_4$



- Η τιμή της παραμέτρου λ καθορίζει την διασπορά της λογιστικής συνάρτησης
- Μεγαλύτερες τιμές του λ αντιπροσωπεύουν μετακινούμενους που είναι περισσότερο ευαίσθητοι στο γενικευμένο κόστος μετακίνησης, δηλ. μια μικρή διαφορά κόστους έχει σαν συνέπεια μια μεγάλη διαφορά στα ποσοστά που χρησιμοποιούν το κάθε μέσο

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Μοντέλα logit

Συνθετικά Μοντέλα καταμερισμού των μετακινήσεων ανά ζεύγος Π-Π - τύπου λογιστικής συνάρτησης *(logit models)*

- Η επίλυση του προγράμματος μεγιστοποίησης έδειξε ότι η πιθανότητα επιλογής ενός μεταφορικού μέσου μπορεί να εκφρασθεί με μια συνάρτηση σιγμοειδούς μορφής του τύπου λογιστικής συνάρτησης

$$f(x) = \frac{1}{1+\exp(\lambda.x)}$$

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ:

γενικευμένο κόστος μετακίνησης

Το γενικευμένο κόστος μετακίνησης εκφράζει την συνολική επιβάρυνση που δέχεται ο μετακινούμενος όταν κάνει μια μετακίνηση. Η επιβάρυνση αυτή οφείλεται κυρίως στον χρόνο που ξοδεύει για να κάνει την μετακίνηση και στο χρηματικό κόστος της μετακίνησης. Συνήθως εκφράζεται σαν γραμμική συνάρτηση των χαρακτηριστικών της μετακίνησης.

$$c_{ij} = a_1.t_{ij}^v + a_2.t_{ij}^w + a_3.t_{ij}^t + a_4.t_{ij}^n + a_5.F_{ij} + a_6.\phi_j + \delta$$

t_{ij}^v ο χρόνος εντός του οχήματος

t_{ij}^w ο χρόνος πρόσβασης (προς και από στάση)

t_{ij}^t ο χρόνος αναμονής στην στάση

t_{ij}^n ο χρόνος μετεπιβίβασης

F_{ij} το χρηματικό κόστος (κόμιστρο, καύσιμο)

ϕ_j το κόστος στο τερματικό σταθμό (π.χ. παρκινγκ)

δ άλλη επιβάρυνση που σχετίζεται με το μέσο (π.χ. άνεση)

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ: Πίνακες Προέλευσης - Προορισμού

γενικευμένο κόστος μετακίνησης

$$c_{ij} = a_1.t_{ij}^{v} + a_2.t_{ij}^{w} + a_3.t_{ij}^{t} + a_4.t_{ij}^{n} + a_5.F_{ij} + a_6.\phi_j + \delta$$

- Ο όρος γενικευμένο κόστος μετακίνησης, προέρχεται από το γεγονός ότι οι συντελεστές α_1, α_2, α_3 και α_4 των διαφόρων συνιστωσών του χρόνου μετακίνησης συνήθως εκφράζουν την αξία του χρόνου.
- Η αξία του χρόνου (που θα αναλύσουμε σε επόμενο κεφάλαιο) εκφράζει το πόσο πολύτιμος είναι ο χρόνος για ένα μετακινούμενο, δηλ. τι ποσό είναι διατεθειμένος να πληρώσει για να μειώσει τον χρόνο μετακίνησης του κατά μία μονάδα χρόνου.
- Όταν οι συντελεστές α_1, α_2, α_3 και α_4 τις σχετικές αξίες χρόνου, και οι συντελεστές F_{ij} και φ_j είναι ίσοι με την μονάδα, το γενικευμένο κόστος εκφράζει την επιβάρυνση που προκαλεί η μετακίνηση σε μονάδες χρήματος.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Λογιστική Παλινδρόμηση

- Λογαριθμίζοντας, έχουμε την ακόλουθη σχέση

$$\log[P_{ij}^{1}/(1-P_{ij}^{1})] = \lambda.[C_{ij}^{2} - C_{ij}^{1}] + \lambda.\delta$$

- Για κάθε ζεύγος Π-Π μπορούμε να υπολογίσουμε το μέγεθος

$$\log[P_{ij}^{*1}/(1-P_{ij}^{*1})]$$

όπου P_{ij}^{*1} το πραγματικό ποσοστό χρήσης του μέσου 1 όπως προκύπτει από τα στοιχεία των κυκλοφοριακών ερευνών.

- Επομένως οι τιμές των παραμέτρων λ και δ μπορούν να προσδιορισθούν με την μέθοδο της απλής γραμμικής παλινδρόμησης, όπου η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι η διαφορά $[C_{ij}^{2} - C_{ij}^{1}]$ και εξαρτημένη μεταβλητή το μέγεθος $\log[P_{ij}^{*1}/(1-P_{ij}^{*1})]$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Λογιστική Παλινδρόμηση

Βαθμονόμηση αθροιστικού μοντέλου δυαδικής επιλογής με λογιστική συνάρτηση

- Αν θεωρήσουμε ότι οι συντελεστές α της συνάρτησης του γενικευμένου κόστους είναι γνωστοί από άλλες μελέτες, το αντικείμενο της διαδικασίας βαθμονόμησης είναι να
  - **προσδιορίσει τις τιμές της παραμέτρου διασποράς λ και της σταθεράς δ του κάθε μέσου, έτσι ώστε τα αποτελέσματα του μοντέλου να προσεγγίζουν όσο το δυνατό περισσότερο τα ποσοστά χρήσης του κάθε μέσου πού έχουν προκύψει από κυκλοφοριακές έρευνες**

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Λογιστική Παλινδρόμηση

- Η αντιστοιχία με την γενική σχέση της απλής παλινδρόμησης:

$$y = \beta_0 + \beta_1 . x_1$$

$$\log[P_{ij}^{1}/(1-P_{ij}^{1})] = \lambda.\delta + \lambda.[C_{ij}^{2} - C_{ij}^{1}]$$

- Εάν οι τιμές των παραμέτρων α του γενικευμένου κόστους δεν είναι γνωστές τότε μπορούν να υπολογισθούν αναπτύσσοντας ένα πολυπαραμετρικό μοντέλο, αντικαθιστώντας την συνάρτηση του γενικευμένου κόστους στην παραπάνω σχέση. Σε αυτή την περίπτωση οι παράμετροι του μοντέλου υπολογίζονται με την μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, όπου η ανεξάρτητη μεταβλητή εκφράζεται με την σχέση:

$$\log[P_{ij}^{1}/(1-P_{ij}^{1})] = \lambda.\delta + \lambda.a_1.(t_{ij}^{2v} - t_{ij}^{1v}) + \lambda.a_2.(t_{ij}^{2w} - t_{ij}^{1w}) + \lambda.a_3.(t_{ij}^{2t} - t_{ij}^{1t}) + \ldots\ldots$$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Λογιστική Παλινδρόμηση

- Τα ποσοστά των μετακινούμενων που χρησιμοποιούν κάθε ένα από τα δύο εναλλακτικά μέσα είναι:

$$P_{ij}^{1} = \frac{1}{1+\exp(-\lambda.[C_{ij}^{2} + \delta - C_{ij}^{1}])}$$

$$P_{ij}^{2} = 1 - P_{ij}^{1} = \frac{\exp(-\lambda.[C_{ij}^{2} + \delta - C_{ij}^{1}])}{1+\exp(-\lambda.[C_{ij}^{2} + \delta - C_{ij}^{1}])}$$

Οι συντελεστές α του γενικευμένου κόστους είναι γνωστοί αλλά η χαρακτηριστική σταθερά δ του μέσου δεν είναι

- Λαμβάνοντας τον λόγο των δύο παραπάνω ποσοστών

$$\frac{P_{ij}^{1}}{(1-P_{ij}^{1})} = \frac{1}{\exp(-\lambda.[C_{ij}^{2} + \delta - C_{ij}^{1}])} = \exp(\lambda.[C_{ij}^{2} + \delta - C_{ij}^{1}])$$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Λογιστική Παλινδρόμηση

Παράδειγμα

Στοιχεία από τον καταμερισμό των μετακινήσεων για 5 ζεύγη Π-Π δίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

P1, P2 : το ποσοστό χρησιμοποίησης (ή η πιθανότητα επιλογής) του μέσου 1 και 2 αντίστοιχα,

C1, C2 : η συνιστώσα του γενικευμένου κόστους μετακίνησης (με το μέσο 1 και 2 αντίστοιχα) που υπολογίζεται με βάση τα χαρακτηριστικά του κάθε μέσου που μπορούν να μετρηθούν (δηλ. χρόνος και κόστος μόνο, και δεν περιλαμβάνει την σταθερά που αντιπροσωπεύει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του μέσου που δεν είναι δυνατόν να μετρηθούν αλλά επηρεάζουν τις επιλογές των μετακινούμενων π.χ. άνεση, ασφάλεια κλπ)

Να προσδιορισθεί το μοντέλο καταμερισμού, και να εκτιμηθεί η επίπτωση στον καταμερισμό στα μέσα που θα έχει μια μείωση του γενικευμένου κόστους του μέσου 2 κατά 25%.

Ζεύγος Π-Π	P1(%)	P2(%)	C1	C2
1	51%	49%	21,0	18,0
2	57%	43%	15,8	13,1
3	80%	20%	15,9	14,7
4	71%	29%	18,2	16,4
5	63%	37%	11,0	8,5

Παράδειγμα

Για κάθε ζεύγος Π-Π υπολογίζονται οι τιμές log[P1/(1-P1)] και η διαφορά του γενικευμένου κόστους μετακίνησης με τα δύο μέσα (C2-C1).

Ζεύγος Π-Π	P1(%)	P2(%)	C1	C2	log[P1/(1-P1)]	C2-C1
1	51%	49%	21,0	18,0	0,04	-3,0
2	57%	43%	15,8	13,1	0,28	-2,7
3	80%	20%	15,9	14,7	1,39	-1,2
4	71%	29%	18,2	16,4	0,90	-1,8
5	63%	37%	11,0	8,5	0,53	-2,5

αντί για το γενικευμένο κόστος μετακίνησης συνήθως δίδονται οι συνιστώσες του χρόνου μετακίνησης (πχ. εντός οχήματος, αναμονής κλπ) και του κόστους μετακίνησης (πχ. κόμιστρο, διόδιο κλπ) και οι αντίστοιχοι συντελεστές. Από αυτά τα στοιχεία μπορεί να υπολογισθεί το γενικευμένο κόστος μετακίνησης.

Γενική μορφή των μοντέλων επιλογής με λογιστική συνάρτηση

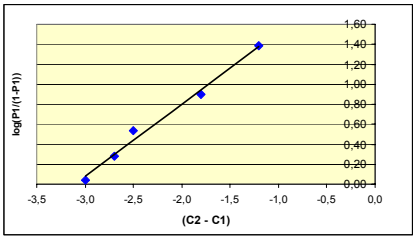
Τα μοντέλα δυαδικής επιλογής με βάση την λογιστική συνάρτηση :

$$P_{ij}^{1} = \frac{1}{1+\exp(-\lambda.[C_{ij}^{2}+\delta-C_{ij}^{1}])}$$

$$P_{ij}^{2} = 1-P_{ij}^{1} = \frac{\exp(-\lambda.[C_{ij}^{2}+\delta-C_{ij}^{1}])}{1+\exp(-\lambda.[C_{ij}^{2}+\delta-C_{ij}^{1}])}$$

Προκύπτουν από την γενική μορφή: $$P_{ij}^{m} = \frac{\exp(-\lambda.C_{ij}^{m})}{\sum_{k}\exp(-\lambda.C_{ij}^{k})}$$

που εκφράζει το ποσοστό χρήσης του μέσου m σαν συνάρτηση του γενικευμένου κόστους C_{ij}^{m} του μέσου m, και του γενικευμένου κόστους C_{ij}^{k} κάθε άλλου μέσου k



Οι τιμές των παραμέτρων υπολογίζονται με εφαρμογή της μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης.

λ = 0,721

λ.δ = 2,242 => δ=3,11

μοντέλα επιλογής όταν τα εναλλακτικά μέσα δεν συσχετίζονται : η πολυωνυμική δομή

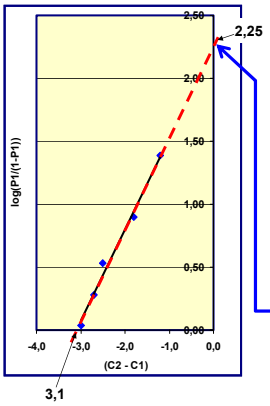
$$P_{ij}^{A} = \frac{\exp(-\lambda.C_{ij}^{A})}{\exp(-\lambda.C_{ij}^{A})+\exp(-\lambda.C_{ij}^{B})+\exp(-\lambda.C_{ij}^{\Gamma})}$$

$$P_{ij}^{B} = \frac{\exp(-\lambda.C_{ij}^{B})}{\exp(-\lambda.C_{ij}^{A})+\exp(-\lambda.C_{ij}^{B})+\exp(-\lambda.C_{ij}^{\Gamma})}$$

$$P_{ij}^{\Gamma} = \frac{\exp(-\lambda.C_{ij}^{\Gamma})}{\exp(-\lambda.C_{ij}^{A})+\exp(-\lambda.C_{ij}^{B})+\exp(-\lambda.C_{ij}^{\Gamma})}$$

$$P_{ij}^{m} = \frac{\exp(-\lambda.C_{ij}^{m})}{\sum_{k}\exp(-\lambda.C_{ij}^{k})}$$

Αυτή η παραπάνω μορφή έχει αποδειχθεί στατιστικά αξιόπιστη όταν τα διαφορετικά μέσα δεν συσχετίζονται. Όταν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των μέσων οι παράμετροι των μοντέλων δεν μπορούν να προσδιορισθούν. *(όπως συμβαίνει και στην περίπτωση μοντέλου παλινδρόμησης με ανεξάρτητες μεταβλητές που συσχετίζονται)*



Σε απλές μορφές μοντέλων, όταν οι τιμές των συντελεστών της συνάρτησης του γενικευμένου κόστους δίδονται, και ζητείται να υπολογισθούν

α) η παράμετρος της διασποράς της λογιστικής συνάρτησης λ, και

β) η σταθερά του μέσου δ,

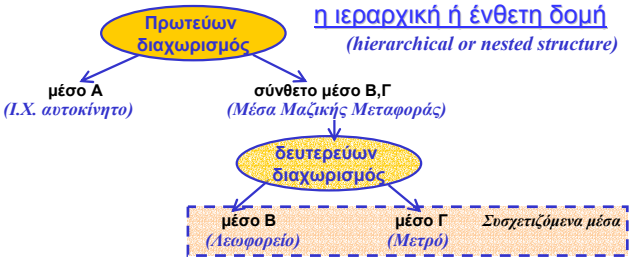
μια καλή προσέγγιση των τιμών λ και δ μπορεί να υπολογισθεί γραφικά, όπως σε ένα πρόβλημα απλής γραμμικής παλινδρόμησης.

Η τιμή του λ είναι η κλίση της γραμμής παλινδρόμησης και τιμή του λ.δ ορίζεται από το σημείο στο οποίο η γραμμή παλινδρόμησης τέμνει τον άξονα log(P1/(1-P1))

λ.δ = 2,25, λ=2,25/3,1

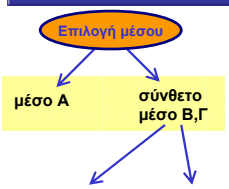
μοντέλα επιλογής όταν τα εναλλακτικά μέσα συσχετίζονται: η ιεραρχική ή ένθετη δομή

(hierarchical or nested structure)



Στα μοντέλα ιεραρχικής δομής, τα μέσα που έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά ή συσχετίζονται, ομαδοποιούνται και στο επίπεδο του πρωτεύοντος διαχωρισμού θεωρούνται σαν ένα μέσο, το σύνθετο μέσο που αποτελείται από τα μέσα που συσχετίζονται, π.χ. το λεωφορείο και το μετρό θεωρούνται σαν ένα σύνθετο μέσο, το μέσο μαζικής μεταφοράς. Το μερίδιο αγοράς του σύνθετο μέσου υπολογίζεται στο επίπεδο του πρωτεύοντος διαχωρισμού και το μερίδιο κάθε ενός από τα συσχετιζόμενα μέσα, υπολογίζεται στο επίπεδο του δευτερεύοντος διαχωρισμού.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Ιεραρχικό μοντέλο επιλογής



Πρωτεύον επίπεδο διαχωρισμού

$$P_A = \frac{\exp(-\lambda_1.C_A)}{\exp(-\lambda_1.C_A)+\exp(-\lambda_1.C_{B,\Gamma})}$$

$$P_{B,\Gamma} = 1 - P_A$$

Όπου $C_{B,\Gamma}$ είναι το κόστος του σύνθετου μέσου

$$C_{B,\Gamma} = \frac{-1}{\lambda_2}.\log[\exp(-\lambda_2.C_B)+\exp(-\lambda_2.C_\Gamma)]$$

Δευτερεύον επίπεδο διαχωρισμού

$$P_{B/B,\Gamma} = \frac{\exp(-\lambda_2.C_B)}{\exp(-\lambda_2.C_B)+\exp(-\lambda_2.C_\Gamma)} \qquad P_{\Gamma/B,\Gamma} = 1 - P_{B/B,\Gamma}$$

$$P_\Gamma = P_{\Gamma/B,\Gamma} \cdot P_{B,\Gamma} \qquad P_B = P_{B/B,\Gamma} \cdot P_{B,\Gamma}$$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Άσκηση επιλογής μέσου

- Χρησιμοποιώντας την αξία του χρόνου για κάθε κατηγορία του χρόνου μετακίνησης, και προσθέτοντας το κόστος μετακίνησης/στάθμευσης προκύπτει το γενικευμένο κόστος ανά ζεύγος Π-Π
- Υπολογίζουμε την τιμή του λόγου $P_{ij}^1/(1-P_{ij}^1)$ η οποία μπορεί να εκφρασθεί και σαν συνάρτηση του γενικευμένου κόστους του κάθε μεταφορικού μέσου, και στην συνέχεια λογαριθμίζουμε, οπότε προκύπτει η ακόλουθη σχέση:

$$\log[P_{ij}^1/(1-P_{ij}^1)] \quad = \quad \lambda.\delta \quad + \quad \lambda.[C_{ij}^2 - C_{ij}^1]$$

- Οι τιμές των παραμέτρων λ και δ, μπορούν να υπολογισθούν με χρήση της μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης εφαρμόζοντας τις σχετικές εξισώσεις. Μια καλή προσέγγιση προκύπτει και με γραφική επίλυση του προβλήματος. Η γραφική επίλυση δεν μας δίνει όμως την τιμή του συντελεστή R^2 ούτε και τις τιμές των λόγων t, που απαιτούνται για να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης παλνδρόμησης.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Άσκηση Παλινδρόμησης

Από επεξεργασία των στοιχείων κυκλοφοριακής έρευνας σε συγκοινωνιακό διάδρομο που ενώνει τις ζώνες κατοικίας Α,Β, Γ και Δ με τις ζώνες εργασίας 1,2 και 3, προκύπτουν τα ακόλουθα

Ζεύγος Π - Π	ΙΧ				σιδηροδρομος			% με ΙΧ
	X1	X2	X3	X4	X1	X2	X3	
Α - 1	21	3	120	40	19	10	72	0,82
Β - 1	20	3	96	40	17	8	64	0,8
Γ - 1	18	3	80	40	14	10	28	0,88
Δ - 1	15	3	68	40	14	12	20	0,95
Α - 2	26	4	152	60	23	10	104	0,72
Β - 2	19	4	96	60	18	9	72	0,9
Γ - 2	14	4	60	60	11	9	36	0,76
Δ - 2	12	4	56	60	12	11	28	0,93
Α - 3	30	5	160	80	25	10	120	0,71
Β - 3	20	5	100	80	16	8	92	0,57
Γ - 3	15	5	64	80	12	9	36	0,58
Δ - 3	10	5	52	80	8	9	24	0,64

X1 ο χρόνος εντός του οχήματος

X2 ο επιπλέον χρόνος μετακίνησης (αναμονής + προσβασης)

X3 το κόστος μετακίνησης (κόμιστρο ή καύσιμα)

X4 το κόστος στάθμευσης για την μετακίνηση προς μια κατεύθυνση

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Άσκηση επιλογής μέσου

Ζεύγος Π - Π	% με ΙΧ	γενικευμένο κόστος ΙΧ (C1)	γενικευμένο κόστος τρένο (C2)	log[P1/(1-P1)]	C2 - C1
Α - 1	82%	376	384	1,516	8
Β - 1	80%	344	328	1,386	-16
Γ - 1	88%	312	300	1,992	-12
Δ - 1	95%	276	324	2,944	48
Α - 2	72%	484	448	0,944	-36
Β - 2	90%	372	360	2,197	-12
Γ - 2	76%	296	268	1,153	-28
Δ - 2	93%	276	300	2,587	24
Α - 3	71%	560	480	0,895	-80
Β - 3	57%	420	348	0,282	-72
Γ - 3	58%	344	276	0,323	-68
Δ - 3	64%	292	232	0,575	-60

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Άσκηση επιλογής μέσου

Ζητείται:

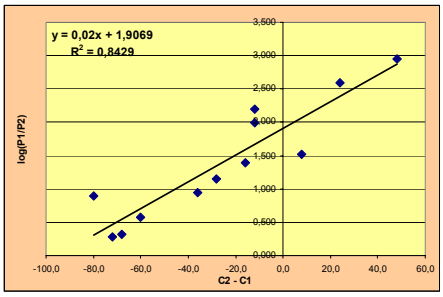
Α) να βαθμονομήσετε ένα μοντέλο λογιστικής μορφής για τον καταμερισμό στα μέσα, θεωρώντας ότι η αξία του χρόνου μετακίνησης είναι 8 λεπτά, και η αξία του χρόνου αναμονής/πρόσβασης είναι διπλάσια

Β) εκτιμήστε τις επιπτώσεις στον καταμερισμό στα μέσα που θα έχει μια αύξηση στην τιμή του πετρελαίου που διπλασιάζει το κόστος χρήσης του ΙΧ

Γ) εκτιμήστε τις επιπτώσεις που θα είχε μια μείωση του κόμιστρου του τρένου κατά 50%

Λύση

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Άσκηση Παλινδρόμησης



$$\log\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = \log\left(\frac{P_1}{1-P_1}\right) = 1{,}9069 + 0{,}02.(C_2 - C_1)$$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Άσκηση Παλινδρόμησης

Για τον υπολογισμό των επιπτώσεων του διπλασιασμού της τιμής του καυσίμου υπολογίζεται το γενικευμένο κόστος μετακίνησης με ΙΧ (C1), η διαφορά (C2-C1) και στην συνέχεια η τιμή της μεταβλητής log[p1/(1-p1)] από το μοντέλο παλινδρόμησης

$$\log\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = \log\left(\frac{P_1}{1-P_1}\right) = 1{,}9069 + 0{,}02.(C_2 - C_1)$$

Διπλάσια τιμή σε σχέση με τα δεδομένα του προβλήματος

Ζεύγος Π - Π	ΙΧ				σιδηροδρομος			γενικευμένο κόστος ΙΧ (C1)	γενικευμένο κόστος τρένο (C2)	C2 - C1	log[P1/(1-P1)]	P1/(1-P1)	P1
	X1	X2	X3	X4	X1	X2	X3						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9) = 8*(2) + 16*(3) + (4)+(5)	(10) = 8*(6) + 16*(7) + (8)	(11) = (10) - (9)	(12) = 1,9069 + 0,02*(11)	(13) = exp[(12)]	(14) = (13) / [(13 + 1]
Α - 1	21	3	240	40	19	10	72	496	384	-112	-0,336	0,7148	42%
Β - 1	20	3	192	40	17	8	64	440	328	-112	-0,336	0,7148	42%
Γ - 1	18	3	160	40	14	10	28	392	300	-92	0,065	1,0669	52%
Δ - 1	15	3	136	40	14	12	20	344	324	-20	1,506	4,5107	82%
Α - 2	26	4	304	60	23	10	104	636	448	-188	-1,858	0,1561	13%
Β - 2	19	4	192	60	18	9	72	468	360	-108	-0,256	0,7744	44%
Γ - 2	14	4	120	60	11	9	36	356	268	-88	0,145	1,1558	54%
Δ - 2	12	4	112	60	12	11	28	332	300	-32	1,266	3,5472	78%
Α - 3	30	5	320	80	25	10	120	720	480	-240	-2,899	0,0551	5%
Β - 3	20	5	200	80	16	8	92	520	348	-172	-1,537	0,2150	18%
Γ - 3	15	5	128	80	12	9	36	408	276	-132	-0,736	0,4789	32%
Δ - 3	10	5	104	80	8	9	24	344	232	-112	-0,336	0,7148	42%

Τέλος επιλύουμε ως προς P1 που εκφράζει το % χρήσης ΙΧ.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ : Άσκηση Παλινδρόμησης

Για τον υπολογισμό των επιπτώσεων της μείωσης του κομίστρου του τρένου κατά 50%, ακολουθείται η ίδια διαδικασία, δηλ.υπολογίζεται το γενικευμένο κόστος μετακίνησης με τρένο (C2), η διαφορά (C2-C1) και στην συνέχεια η τιμή της μεταβλητής log[p1/(1-p1)] από το μοντέλο παλινδρόμησης

$$\log\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = \log\left(\frac{P_1}{1-P_1}\right) = 1{,}9069 + 0{,}02.(C_2 - C_1)$$

50% της τιμής σε σχέση με τα δεδομένα του προβλήματος

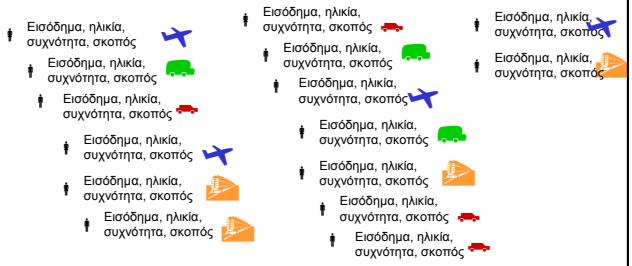
Ζεύγος Π - Π	ΙΧ				σιδηροδρομος			γενικευμένο κόστος ΙΧ (C1)	γενικευμένο κόστος τρένο (C2)	C2 - C1	log[P1/(1-P1)]	P1/(1-P1)	P1
	X1	X2	X3	X4	X1	X2	X3						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9) = 8*(2) + 16*(3) + (4)+(5)	(10) = 8*(6) + 16*(7) + (8)	(11) = (10) - (9)	(12) = 1,9069 + 0,02*(11)	(13) = exp[(12)]	(14) = (13) / [(13 + 1]
Α - 1	21	3	120	40	19	10	36	376	348	-28	1,346	3,8430	79%
Β - 1	20	3	96	40	17	8	32	344	296	-48	-0,336	0,7148	42%
Γ - 1	18	3	80	40	14	10	14	312	286	-26	0,065	1,0669	52%
Δ - 1	15	3	68	40	14	12	10	276	314	38	1,506	4,5107	82%
Α - 2	26	4	152	60	23	10	52	484	396	-88	-1,858	0,1561	13%
Β - 2	19	4	96	60	18	9	36	372	324	-48	-0,256	0,7744	44%
Γ - 2	14	4	60	60	11	9	18	296	250	-46	0,145	1,1558	54%
Δ - 2	12	4	56	60	12	11	14	276	286	10	1,266	3,5472	78%
Α - 3	30	5	160	80	25	10	60	560	420	-140	-2,899	0,0551	5%
Β - 3	20	5	100	80	16	8	46	420	302	-118	-1,537	0,2150	18%
Γ - 3	15	5	64	80	12	9	18	344	258	-86	-0,736	0,4789	32%
Δ - 3	10	5	52	80	8	9	12	292	220	-72	-0,336	0,7148	42%

Τέλος επιλύουμε ως προς P1 που εκφράζει το % χρήσης ΙΧ. P2 = 100% - P1

6 Ανάλυση διακριτών επιλογών

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ :

εξατομικευμένα μοντέλα (Disaggregate models)



Πιθανότητα επιλογής ενός συγκεκριμένου μεταφορικού μέσου $= f($ **εισοδήματος, ηλικίας, συχνότητας, σκοπού, χαρακτηριστικών μεταφ. μέσου** $)$

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ :

Αθροιστικά ή εξατομικευμένα μοντέλα
γενικά χαρακτηριστικά

Αθροιστικά

- Μακροσκοπική θεώρηση του προβλήματος
- Αναλύουν τα χαρακτηριστικά στο σύνολο του πληθυσμού που εξετάζεται
- Υπολογίζουν ποσοστά ή απόλυτα μεγέθη ζήτησης, βάσει μέσων χαρακτηριστικών του πληθυσμού

Εξατομικευμένα

- Μικροσκοπική θεώρηση του προβλήματος
- Αναλύουν τα χαρακτηριστικά και τις επιλογές του κάθε μετακινούμενου
- Υπολογίζουν την πιθανότητα ο κάθε μετακινούμενος να κάνει μια συγκεκριμένη επιλογή

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ :

Αθροιστικά ή εξατομικευμένα μοντέλα
γενικά χαρακτηριστικά

Αθροιστικά

- Λιγότερο λεπτομερή
- Αναλύουν την *μέση* συμπεριφορά

⇩

- Χαμηλότερη ακρίβεια πρόβλεψης
- Απαιτούμενα στοιχεία είναι πιο εύκολα διαθέσιμα
- Χαμηλότερο κόστος συλλογής στοιχείων

Εξατομικευμένα

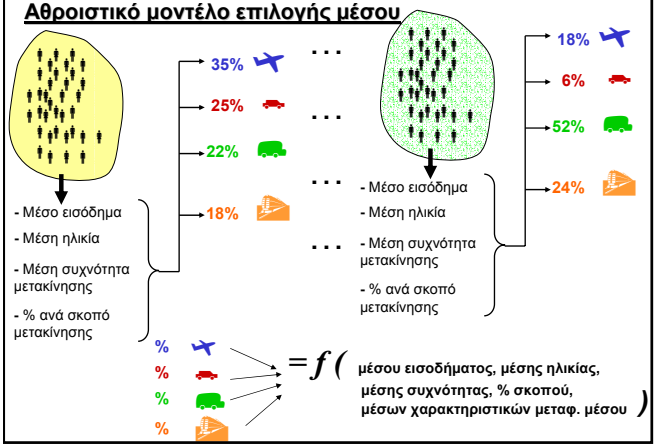
- Μεγαλύτερη λεπτομέρεια ανάλυσης
- Επεξηγούν την συμπεριφορά του μετακινούμενου με βάση τα χαρακτηριστικά του

⇩

- μεγαλύτερη ακρίβεια πρόβλεψης
- Υψηλές απαιτήσεις σε στοιχεία
- Υψηλότερο κόστος συλλογής στοιχείων και ανάπτυξης μοντέλου
- Εξειδικευμένη γνώση στατιστικής και οικονομετρίας
- Προβλήματα μεταφοράς των συμπερασμάτων από ατομικό επίπεδο στο σύνολο του πληθυσμού.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ :

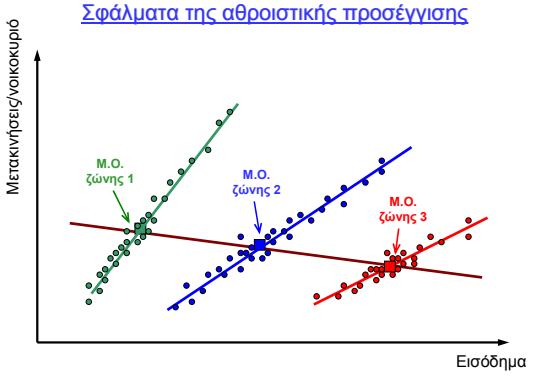
Αθροιστικό μοντέλο επιλογής μέσου



$= f($ **μέσου εισοδήματος, μέσης ηλικίας, μέσης συχνότητας, % σκοπού, μέσων χαρακτηριστικών μεταφ. μέσου** $)$

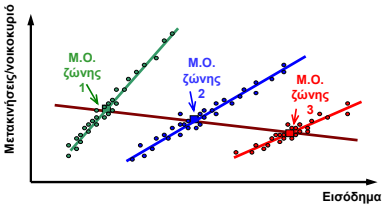
ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ :

Σφάλματα της αθροιστικής προσέγγισης



ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΑ ΜΕΣΑ :

Σφάλματα της αθροιστικής προσέγγισης



- Ένα αθροιστικό μοντέλο προσδιορίζει στην σχέση μεταξύ του μέσου εισοδήματος και του μέσου αριθμού μετακινήσεων ανά νοικοκυριό. Τα μεγέθη αυτά αφορούν μέσους όρους σε κάθε ζώνη.
- Σε ένα εξατομικευμένο μοντέλο προσδιορίζεται η σχέση μεταξύ του εισοδήματος κάθε νοικοκυριού και των μετακινήσεων που γίνονται από τα μέλη αυτού του νοικοκυριού.
- Με την χρήση μέσων όρων, χάνεται ουσιαστική πληροφορία σχετικά με την επιρροή των διαφόρων κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών στον αριθμό των μετακινήσεων που πραγματοποιούνται σε κάθε νοικοκυριό. Αυτό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα τον προσδιορισμό εσφαλμένων σχέσεων μεταξύ των μετακινήσεων και των κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ :

Οι συνιστώσες ενός προβλήματος επιλογής

1) Το άτομο που λαμβάνει την απόφαση, δηλ. ο μετακινούμενος
   Οι μετακινούμενοι αντιμετωπίζουν διαφορετικά προβλήματα, έχουν διαφορετικές απαιτήσεις και διαφορετικές προτιμήσεις
2) Οι εναλλακτικές επιλογές
   *Το περιβάλλον του μετακινούμενου προσδιορίζει το σύνολο των εναλλακτικών επιλογών που είναι διαθέσιμα. Κατά την διαδικασία επιλογής ο μετακινούμενος λαμβάνει υπόψη του ένα υποσύνολο αυτού του συνόλου, που περιλαμβάνει εκείνες τις **εναλλακτικές επιλογές που είναι γνωστές στον μετακινούμενο και που τις θεωρεί εφικτές**. Αυτές αποτελούν το **σύνολο των εναλλακτικών επιλογών (choice set) του μετακινούμενου**. π.χ. μπορεί να μην γνωρίζει για μια λεωφοριακή γραμμή που μπορεί να τον εξυπηρετήσει, ή μπορεί να μην είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσει το ΙΧ γιατί το χρησιμοποιεί άλλο μέλος του νοικοκυριού.*
3) Τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών επιλογών
   Περιγράφει τον μηχανισμό που χρησιμοποιεί ο μετακινούμενος για να επεξεργαστεί την διαθέσιμη πληροφορία και να καταλήξει σε μια επιλογή. Οι κανόνες επιλογής

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ :

Αθροιστικά ή εξατομικευμένα μοντέλα γενικά χαρακτηριστικά

- **Αθροιστικά μοντέλα:** Υπολογίζουν τον συνολικό αριθμό ή το ποσοστό των μετακινούμενων που κάνουν μια επιλογή k. Τα μοντέλα προσδιορίζουν την σχέση ανάμεσα στα ποσοστά που προσελκύει η κάθε επιλογή και στις μέσες τιμές των χαρακτηριστικών των επιλογών και των μετακινούμενων. Τα ποσοστά και οι μέσες τιμές αναφέρονται στο επίπεδο της μονάδας ανάλυσης που είναι συνήθως η κυκλοφοριακή ζώνη. Επομένως κάθε παρατήρηση που αναλύεται αφορά αθροιστικά μεγέθη πού σχετίζονται με κάθε ζώνη.
- **Εξατομικευμένα μοντέλα:** Χρησιμοποιούν στοιχεία από έρευνες χαρακτηριστικών μετακινήσεων σε ατομικό επίπεδο. Για την προσδιορισμό της μορφής και την εκτίμηση των συντελεστών του μοντέλου κάθε παρατήρηση της εξαρτημένης μεταβλητής είναι **μία μετακίνηση**. Σε αυτή την προσέγγιση γενικά χρησιμοποιούμε την έννοια της **ωφέλειας**, που θεωρείται ότι εκφράζει την ελκυστικότητα κάθε συγκεκριμένης εναλλακτικής επιλογής που έχει ο μετακινούμενος. Τα περισσότερα μοντέλα χρησιμοποιούν την **αντιληπτή ωφέλεια / ελκυστικότητα** ενός συγκεκριμένο μέσου που εκφράζεται σαν ένα σταθμισμένο άθροισμα κάποιων χαρακτηριστικών του, όπως τα αντιλαμβάνεται ο μετακινούμενος. Τα χαρακτηριστικά αυτά συνήθως περιλαμβάνουν μεταβλητές του μεταφορικού συστήματος όπως χρόνος και κόστος μετακίνησης, και μπορεί να περιλαμβάνει και κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά του μετακινούμενου όπως, εισόδημα, ιδιοκτησία ΙΧ ή άδειας οδήγησης, ηλικία, φύλο, κλπ.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ :

4) Ο κανόνας επιλογής/ λήψης απόφασης
   Περιγράφει τον μηχανισμό που χρησιμοποιεί ο μετακινούμενος για να επεξεργαστεί την διαθέσιμη πληροφορία και να καταλήξει σε μια επιλογή. Οι κανόνες επιλογής μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες :
   - Επικράτησης: μια εναλλακτική επιλογή προτιμάται όταν τουλάχιστον όσον αφορά ένα χαρακτηριστικό της είναι πολύ καλύτερη δηλ. επικρατέστερη από τις υπόλοιπες, και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της δεν είναι χειρότερα από τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των υπολοίπων επιλογών (δεν οδηγεί σε μοναδική λύση)
   - Ικανοποίησης: για κάθε χαρακτηριστικό τίθεται ένα αποδεκτό επίπεδο ικανοποίησης που χρησιμοποιείται σαν κριτήριο επιλογής. Εάν μια εναλλακτική λύση δεν ικανοποιεί το κριτήριο τότε απορρίπτεται. Π.χ. Κριτήριο : ο χρόνος μετακίνησης να είναι μικρότερος από 30'. Όλα τα μέσα με μεγαλύτερο χρόνο διαδρομής απορρίπτονται (δεν οδηγεί σε μοναδική λύση).
   - Ωφέλειας : Η ελκυστικότητα μιας επιλογής εκφράζεται σαν συνάρτηση όλων των χαρακτηριστικών της που σταθμίζονται κατάλληλα. Η συνάρτηση αυτή εκφράζει την ωφέλεια που έχει ο μετακινούμενος αν κάνει την συγκεκριμένη επιλογή. Ο μετακινούμενος επιλέγει την λύση που του δίνει την μεγαλύτερη ωφέλεια. -- **Κανόνας μεγιστοποίησης της Ωφέλειας**

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΕΠΙΛΟΓΩΝ :

εξατομικευμένα μοντέλα - η διαδικασία της επιλογής

Διαδικασία Επιλογής

- Είναι μια διαδοχική διαδικασία αποφάσεων που περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια
  1. καθορισμός του προβλήματος επιλογής
  2. Γένεση των εναλλακτικών επιλογών/λύσεων
  3. Αξιολόγηση των χαρακτηριστικών των εναλλακτικών επιλογών
  4. Επιλογή
  5. Εφαρμογή

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

Ντετερμινιστικά μοντέλα μεγιστοποίησης της ωφέλειας

Παράδειγμα

- Ένας εργαζόμενος μπορεί να πάει στην τόπο εργασίας του με ένα από τους ακόλουθους τρόπους:
  - οδηγώντας το δικό του ΙΧ, (**ΙΧ**)
  - επιβάτης σε άλλο ΙΧ μοιραζόμενος το κόστος μετακίνησης (**ΙΧα**)
  - με λεωφορείο, (**Λ**)
- Τα χαρακτηριστικά της μετακίνησης που λαμβάνονται υπόψη είναι ο χρόνος μετακίνησης **T** (σε ώρες), και το κόστος μετακίνησης **C** (ΕΥΡΩ),
- Τα χαρακτηριστικά του μετακινούμενου που επηρεάζουν την επιλογή είναι το ετήσιο εισόδημα **Y** (σε ΕΥΡΩ)
- Έστω ότι η ωφέλεια εκφράζεται με την σχέση

$$U(T,C,Y) = -T - 5C/Y$$

Η ωφέλεια μειώνεται καθώς ο χρόνος, κόστος μετακίνησης αυξάνονται

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

- Ο χρόνος και το κόστος της μετακίνησης με το κάθε μέσο είναι:

	Χρόνος (T) *(ώρες)*	Κόστος (C) *(ΕΥΡΩ)*
ΙΧ	0,50	2,00
ΙΧα	0,75	1,00
Λ	1,00	0,75

Και η ωφέλεια για δύο κατηγορίες εισοδημάτων, 40000 ΕΥΡΩ/έτος (Y=40), και 10000 ΕΥΡΩ/έτος (Y=10) υπολογίζεται,

	Ωφέλεια (U) **Y=40**	Ωφέλεια (U) **Y=10**
ΙΧ	-0,75	-1,50
ΙΧα	-0,88	-1,25
Λ	-1,09	-1,38

Ο μετακινούμενος με υψηλό εισόδημα επιλέγει ΙΧ, και αυτός με χαμηλό εισόδημα ΙΧα

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

Τα κύρια χαρακτηριστικά της μεθόδου που βασίζεται στην αρχή της μεγιστοποίησης της ωφέλειας:

- Για την πραγματοποίηση μιας μετακίνησης, ο μετακινούμενος δαπανά χρόνο και χρήμα. Ο μετακινούμενος επιβαρύνεται παρά ωφελείται από την διαδικασία της μετακίνησης.
- Επομένως η ωφέλεια που έχει ένας μετακινούμενος αποκλειστικά και μόνο από την πραγματοποίηση μιας μετακίνησης είναι ένα μέγεθος αρνητικό.
- Οι συντελεστές μιας συνάρτησης ωφέλειας που σχετίζονται με χαρακτηριστικά της μετακίνησης που επιβαρύνουν το μετακινούμενο (π.χ. χρόνος και κόστος) έχουν αρνητικό πρόσημο.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

- Ας θεωρήσουμε ότι το επίπεδο εξυπηρέτησης με λεωφορείο βελτιώνεται και ο χρόνος μετακίνησης είναι 0,75 ώρες. Οι νέες τιμές της ωφέλειας που σχετίζεται με κάθε μέσο είναι:

	Ωφέλεια (U) **Y=40**	Ωφέλεια (U) **Y=10**
ΙΧ	-0,75	-1,50
ΙΧα	-0,88	-1,25
Λ	-1,09	-1,13

Ο μετακινούμενος με υψηλό εισόδημα εξακολουθεί να επιλέγει ΙΧ, ενώ αυτός με χαμηλό εισόδημα αλλάζει και τώρα χρησιμοποιεί Λ.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

αθροιστικές επιλογές

- Ο χρόνος και το κόστος της μετακίνησης με το κάθε μέσο είναι:

	Χρόνος (T) *(ώρες)*	Κόστος (C) *(ΕΥΡΩ)*
ΙΧ	0,50	2,00
ΙΧα	0,75	1,00
Λ	1,00	0,75

- Και η κατανομή του εισοδήματος είναι:

Εισόδημα	% μετακινούμενων
17	5%
19	15%
27	25%
33	25%
37	20%
40	10%

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

Τα κύρια χαρακτηριστικά της μεθόδου που βασίζεται στην αρχή της μεγιστοποίησης της ωφέλειας:

- μια συνάρτηση ωφέλειας μπορεί να περιγράψει την εξάρτηση των επιλογών (ΙΧ, ΙΧα, Λ) από τα χαρακτηριστικά του μετακινούμενου (εισόδημα) και τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών επιλογών (χρόνος και κόστος μετακίνησης)
- η θεωρία ωφέλειας μπορεί να προβλέψει τις μεταβολές στις επιλογές που κάνουν οι μετακινούμενοι, όταν τα χαρακτηριστικά μιας επιλογής μεταβάλλονται
- Το μοντέλο μπορεί εύκολα να επεκταθεί έτσι ώστε να αναλύσει περισσότερα από 3 μεταφορικά μέσα

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

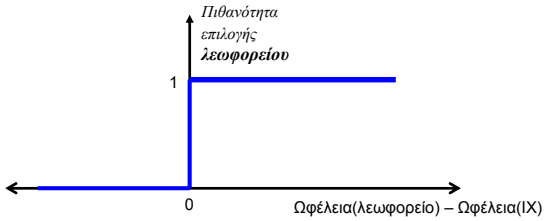
εισόδημα	%	U(ΙΧ)	U(ΙΧα)	U(Λ)	επιλογή
17	5	-1,09	-1,04	-1,22	**ΙΧα**
19	15	-1,03	-1,01	-1.20	**ΙΧα**
27	25	-0,87	-0,94	-1,14	**ΙΧ**
33	25	-0,80	-0,90	-1,11	**ΙΧ**
37	20	-0,77	-0,89	-1,10	**ΙΧ**
40	10	-0,75	-0,88	-1,09	**ΙΧ**

20% επιλέγουν ΙΧα και 80% το ΙΧ

Κανένας μετακινούμενος δεν επιλέγει το Λ

Κανόνας επιλογής σε ντετερμινιστικό μοντέλο μεγιστοποίησης της ωφέλειας

- Η ωφέλεια είναι ντετερμινιστική
- Ο κανόνας επιλογής είναι ντετερμινιστικός
- Εάν Ωφέλεια(λεωφορείο) - Ωφέλεια(ΙΧ) > 0, Πιθανότητα(λεωφορείο)=1
- Εάν Ωφέλεια(λεωφορείο) - Ωφέλεια(ΙΧ) < 0, Πιθανότητα(λεωφορείο)=0



Η Θεωρία της στοχαστικής ωφέλειας

ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

1) Οι μετακινούμενοι
   - ανήκουν σε ένα συγκεκριμένο ομοιογονενή πληθυσμό
   - έχουν οικονομικά ορθολογική συμπεριφορά,
   - κατέχουν ακριβή και πλήρη πληροφορία σχετικά με τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών επιλογών που έχουν

   ⇨ Επομένως : Κάνουν εκείνη την επιλογή πού μεγιστοποιεί την προσωπική τους ωφέλεια υπό τους κοινωνικούς, νομικούς, φυσικούς και οικονομικούς περιορισμούς που έχουν

Ανεπάρκεια των ντετερμινιστικών μοντέλων ωφέλειας

- Τα ντετερμινιστικά μοντέλα ωφέλειας βασίζονται στην αρχή της μεγιστοποίησης της ωφέλειας που δίδει ντετερμινιστικές προβλέψεις
- Όμως στην πραγματικότητα, μετακινούμενοι με τα ίδια χαρακτηριστικά κάνουν διαφορετικές επιλογές όταν αντιμετωπίζουν παρόμοια (ή ακόμα και τα ίδια) εναλλακτικά σενάρια επιλογής. Ακόμα και ό ίδιος μετακινούμενος μπορεί να κάνει διαφορετικές επιλογές σε διαφορετικές περιστάσεις
- Δεν είναι δυνατό ένα μοντέλο να περιλάβει όλες τις μεταβλητές που επηρεάζουν την διαδικασία επιλογής που εφαρμόζει ο κάθε μετακινούμενος, και επομένως δεν είναι δυνατόν να γίνουν προβλέψεις με 100% βεβαιότητα.
- Στην προτυποποίηση ενός προβλήματος επιλογής υπάρχουν
  - σφάλματα μετρήσεων και ελλιπής πληροφορία,
  - διαφορές στις προτιμήσεις που έχουν οι μετακινούμενοι, οι οποίες δεν παρατηρούνται/καταγράφονται
  - Χαρακτηριστικά των εναλλακτικών επιλογών που δεν παρατηρούνται ή δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν.

⇨ τα ντετερμινιστικά μοντέλα παρέχουν μια ανεπαρκή περιγραφή της ανθρώπινης συμπεριφοράς

2) Τα χαρακτηριστικά των μετακινούμενων και των εναλλακτικών επιλογών τους
   - Το σύνολο των επιλογών που έχουν οι μετακινούμενοι έχει προκαθορισθεί και δεν επηρεάζει την διαδικασία λήψης της απόφασης επιλογής. Το σύνολο των επιλογών περιλαμβάνει N επιλογές και συμβολίζεται, $\mathbf{A}=\{A_1, A_2, \ldots A_j \ldots A_N\}$
   - Υπάρχει ένα σύνολο $\mathbf{X}$ διανυσμάτων των χαρακτηριστικών των μετακινούμενων και των επιλογών τους, που δίνουν τις τιμές αυτών των χαρακτηριστικών όπως έχουν μετρηθεί από τον αναλυτή. Τα χαρακτηριστικά του μετακινούμενου που μπορεί να χρησιμοποιηθούν, περιλαμβάνουν την ηλικία, το εισόδημα, το φύλο, την απασχόληση, κα. Τα χαρακτηριστικά της μετακίνησης περιλαμβάνουν, τον συνολικό χρόνο διαδρομής και το συνολικό κόστος διαδρομής, ή τις επί μέρους συνιστώσες του (π.χ. όπως αναφέρονται στην τυποποίηση του γενικευμένου κόστους μετακίνησης), και τυχόν αλλά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με το επίπεδο εξυπηρέτησης, την αξιοπιστία κ.α.

μοντέλα στοχαστικής ωφέλειας ή πιθανοκρατικά μοντέλα επιλογής

- Εάν ο αναλυτής είχε στοιχεία για όλες τις μεταβλητές που σχετίζονται με (δηλ. όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν) το πρόβλημα της επιλογής, τα ντετερμινιστικά μοντέλα θα μπορούσαν να περιγράψουν το πρόβλημα επιλογής ικανοποιητικά, και να δώσουν αξιόπιστες προβλέψεις.
- Όμως ο απαιτούμενος όγκος στοιχείων δεν είναι διαθέσιμος. Δεν είναι δυνατόν να συλλεχθούν στοιχεία α) για τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που λαμβάνει υπόψη ο κάθε μετακινούμενος, β) για τις ιδιαίτερες προτιμήσεις που μπορεί να έχει, και γ) για τα πιθανά λάθη που οφείλονται στην έλλειψη πλήρους και ακριβούς εικόνας για τα χαρακτηριστικά των μεταφορικών συστημάτων που είναι διαθέσιμα για κάθε συγκεκριμένη επιλογή.
- Τα μοντέλα στοχαστικής ωφέλειας ή πιθανοκρατικά μοντέλα επιλογής αναγνωρίζουν αυτήν την έλλειψη πλήρους πληροφορίας
  - περιγράφουν τις προτιμήσεις και τις επιλογές με πιθανότητες
  - Αντί να προβλέψουν ότι ένας μετακινούμενος θα κάνει μια επιλογή με βεβαιότητα, υπολογίζουν τις πιθανότητες κάθε μια από τις εναλλακτικές λύσεις να επιλεγεί.

3) Η Ωφέλεια – χρησιμότητα (utility)
   - Η ελκυστικότητα κάθε μιας από τις εναλλακτικές επιλογές που έχουν οι μετακινούμενοι μπορεί να περιγραφεί με ένα μέτρο της ωφέλειας που θα έχει ο μετακινούμενος αν την επιλέξει
   - Κάθε εναλλακτική επιλογή A_j σχετίζεται με μια ωφέλεια U_{jq} για τον μετακινούμενο q.
   - Ο αναλυτής δεν έχει πλήρη πληροφορία για όλες τις παραμέτρους που λαμβάνει υπόψη ο μετακινούμενος όταν κάνει την επιλογή του.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

- Επομένως η ωφέλεια U_{jq} μπορεί να αναπαρασταθεί από 2 συνιστώσες
  a) την αντιπροσωπευτική, συστηματική, ή μετρούμενη ωφέλεια V_{jq} που είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών $\mathbf{x}$ που έχουν μετρηθεί από τον αναλυτή
  b) Μια στοχαστική/τυχαία συνιστώσα ε_{jq} που αναπαριστά, τις ιδιοσυγκρασίες και ιδιαίτερες προτιμήσεις του μετακινούμενου, και τα σφάλματα μέτρησης και παρατήρησης (δηλ. προτυποποίησης του προβλήματος) που κάνει ο αναλυτής

$$U_{jq} = V_{jq} + \varepsilon_{jq}$$

  c) η ωφέλεια U_{jq} αναπαριστά την **αντιληπτή** ωφέλεια της επιλογής j, δηλ. την ωφέλεια όπως την αντιλαμβάνεται ο μετακινούμενος (λόγω των ιδιαίτερων προτιμήσεων που έχει, ή/και λόγω σφαλμάτων που υπεισέρχονται από την έλλειψη πλήρους/ακριβούς γνώσης των χαρακτηριστικών των διαθέσιμων εναλλακτικών επιλογών που έχει)

*Για να ισχύει η παραπάνω σχέση απαιτείται ομοιογένεια των μετακινούμενων, δηλ. θα πρέπει να έχουν όλοι το ίδιο σύνολο επιλογών **A** και να αντιμετωπίζουν τους ίδιους περιορισμούς.*

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

Για απλοποίηση μπορούμε να παραλείψουμε τον δείκτη q (που σχετίζεται με τον μετακινούμενο), οπότε η πιθανότητα εκφράζεται ως εξής:

$$P_j = \text{Prob}\{\, \varepsilon_i \le \varepsilon_j + (V_j - V_i) \quad \forall A_i \,\}$$

Πού μπορεί να υπολογισθεί από την ακόλουθη σχέση όταν η κοινή κατανομή των σφαλμάτων ε, $f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots \varepsilon_N)$ είναι γνωστή :

$$P_j = \int_{\varepsilon_j=-\infty}^{+\infty} \int_{\varepsilon_1=-\infty}^{V_j - V_1 + \varepsilon_j} \int_{\varepsilon_2=-\infty}^{V_j - V_2 + \varepsilon_j} \ldots\ldots \int_{\varepsilon_k=-\infty}^{V_j - V_k + \varepsilon_j} \ldots\ldots$$

$$\ldots\ldots \int_{\varepsilon_N}^{V_j - V_N + \varepsilon_j} f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots \varepsilon_j, \ldots \varepsilon_N)\, d\varepsilon_N d\varepsilon_{N-1} \ldots d\varepsilon_1 d\varepsilon_j$$

Αυτή η πιθανότητα είναι πολύ δύσκολο να υπολογισθεί παρά μόνο όταν οι κατανομές των ε_i για κάθε επιλογή δεν συσχετίζονται.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

- Η στοχαστική/τυχαία συνιστώσα ε_{jq} που ονομάζεται και τυχαίο σφάλμα του μοντέλου μπορεί να θεωρηθεί ότι ακολουθεί μια κατανομή πιθανότητας με μέση τιμή 0.
- Η συστηματική συνιστώσα μπορεί να εκφρασθεί από την σχέση:

$$V_{jq} = \sum_k \theta_{kj} \,.\, x_{jkq}$$

Όπου οι τιμές των παραμέτρων θ θεωρούνται σταθερές για όλους τους μετακινούμενους, αλλά μπορεί να είναι διαφορετικές για τις διαφορετικές εναλλακτικές επιλογές που έχουν οι μετακινούμενοι.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

Τα μοντέλα στοχαστικής ωφέλειας που χρησιμοποιούνται ευρέως στον σχεδιασμό των μεταφορών, βασίζονται στην πλειοψηφία τους στην παραδοχή ότι :

- οι κατανομές των σφαλμάτων των συναρτήσεων ωφέλειας που σχετίζονται με κάθε επιλογή είναι ίδιες (έχουν όλες την ίδια μέση τιμή =0, και την ίδια μεταβλητότητα) και
- οι κατανομές των σφαλμάτων είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, δηλ. δεν συσχετίζονται.

Που είναι γνωστή ως η αρχή της ανεξαρτησίας και ταυτοσημίας των κατανομών των σφαλμάτων των συναρτήσεων ωφέλειας

Επομένως η κοινή κατανομή των σφαλμάτων ε, $f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots \varepsilon_N)$ μπορεί να εκφρασθεί :

$$f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots, \varepsilon_N) = \prod_k g(\varepsilon_k)$$

Όπου $g(\varepsilon_k)$ η κατανομή του σφάλματος που σχετίζεται με την επιλογή k

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

4) Ο κανόνας επιλογής

- Ο μετακινούμενος q επιλέγει εκείνη την εναλλακτική λύση που έχει την μεγαλύτερη αντιληπτή ωφέλεια, δηλ.

επιλέγει το A_j εάν και μόνο εάν $\quad U_{jq} \ge U_{iq}, \qquad \forall\, A_i \in A(q)$

$$U_{jq} \ge U_{iq} \quad \Rightarrow \quad V_{jq} + \varepsilon_{jq} \ge V_{iq} + \varepsilon_{iq} \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad V_{jq} - V_{iq} \ge \varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq}$$

η τιμή του $\varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq}$ δεν μπορεί να είναι γνωστή για κάθε μετακινούμενο q, και επομένως υπολογίζεται η πιθανότητα επιλογής του A_j (σύμφωνα με την παραδοχή που έχει γίνει για την κατανομή του σφάλματος) που δίνεται από την σχέση

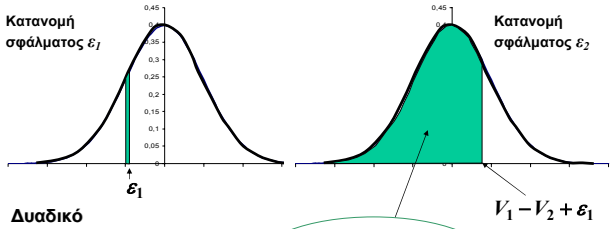
$$P_{jq} = \text{Prob}\{\, \varepsilon_{iq} \le \varepsilon_{jq} + (V_{jq} - V_{iq}) \quad \forall A_i \in A(q) \,\}$$

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

Με βάση αυτές τις παραδοχές, η πιθανότητα υπολογίζεται από την απλούστερη σχέση:

$$P_j = \int_{\varepsilon_j=-\infty}^{+\infty} g(\varepsilon_j) \,.\, \Big\{ \prod_{k \ne j} \int_{\varepsilon_k=-\infty}^{V_j - V_k + \varepsilon_j} g(\varepsilon_k)\, d\varepsilon_k \Big\}\, d\varepsilon_j$$

Που μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητή για την περίπτωση ενός δυαδικού προβλήματος επιλογής :



Δυαδικό μοντέλο

$$P_1 = \int_{-\infty}^{+\infty} g(\varepsilon_1).\{\int_{-\infty}^{V_1 - V_2 + \varepsilon_1} g(\varepsilon_2) d\varepsilon_2\} d\varepsilon_1$$

Πολυωνυμικό μοντέλο

$$P_j = \int_{-\infty}^{+\infty} g(\varepsilon_j).\{\prod_{i \neq j} \int_{-\infty}^{V_j - V_i + \varepsilon_j} g(\varepsilon_i) d\varepsilon_i\} d\varepsilon_j$$

Το πολυωνυμικό μοντέλο Logit

Το απλούστερο μοντέλο διακριτής επιλογής που χρησιμοποιείται ευρέως είναι το πολυωνυμικό μοντέλο logit. Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε με βάση την παραδοχή ότι τα τυχαία σφάλματα ακολουθούν ίδιες και ανεξάρτητες κατανομές τύπου Gumbel. Η μορφή του πολυωνυμικού Logit είναι:

$$P_{iq} = \frac{\exp(\beta . V_{iq})}{\sum_{A_j \in A(q)} \exp(\beta . V_{jq})}$$

Όπου β σχετίζεται με την τυπική απόκλιση, σ, της κατανομής Gumbel ως εξής:

$$\beta^2 = \pi^2 / 6.\sigma^2$$

Στην πράξη η β θεωρείται σαν ίση προς την μονάδα, αφού δεν μπορεί να υπολογισθεί ξεχωριστά από τις παραμέτρους θ της συστηματικής συνάρτησης ωφέλειας.

Επισημαίνεται ότι

ο περιορισμός για

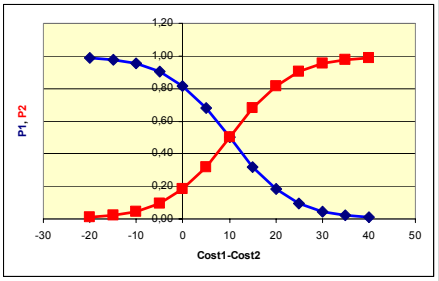
Ανεξαρτησία και ταυτοσημία των κατανομών των σφαλμάτων σημαίνει ότι και οι εναλλακτικές επιλογές που έχει ο μετακινούμενος πρέπει να είναι ανεξάρτητες.

➡ Επιλογές συνδυασμού μέσων, όπως, αυτοκίνητο – τραίνο συνήθως δεν υπακούουν σε αυτόν τον περιορισμό, δηλ. τα εναλλακτικά μέσα αυτοκίνητο και αυτοκίνητο-τρένο συσχετίζονται.

Παράδειγμα εφαρμογής του Δυαδικού Μοντέλου Logit

- V_1 =1.5 -0.15Κόστος$_1$
- V_2 = -0.15Κόστος$_2$ → V_1-V_2 = 1.5 -0.15(Κόστος$_1$-Κόστος$_2$)

Κόστος1-Κοστος2	P1	P2
-20	0.99	0.01
-15	0.98	0.02
-10	0.95	0.05
-5	0.90	0.10
0	0.82	0.18
5	0.68	0.32
10	0.50	0.50
15	0.32	0.68
20	0.18	0.82
25	0.10	0.90
30	0.05	0.95
35	0.02	0.98
40	0.01	0.99



Ανάλογα με τις παραδοχές που κάνουμε για την μορφή της κατανομής του σφάλματος έχουμε δύο κατηγορίες μοντέλων

Κατανομή σφάλματος	Gumbel	Normal
μοντέλο	**Logit**	**Probit**

Τα μοντέλα Logit χρησιμοποιούνται ευρέως στις μεταφορές, είναι τα πιο διαδεδομένα μοντέλα δεδομένου ότι περιγράφονται από μια αναλυτική σχέση και επιλύονται εύκολα. Το όνομα logit προέρχεται από το Logistic Probability Unit.

Τα μοντέλα Probit, παρόλο ότι δεν υπόκεινται σε πολλούς από τους περιορισμούς των μοντέλων logit, δεν περιγράφονται από μια αναλυτική σχέση, είναι πολύ δυσκολότερο να επιλυθούν, ιδίως όταν ο αριθμός των εναλλακτικών επιλογών είναι μεγάλος

διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων Logit

- Για να αποφασίσουμε ποια χαρακτηριστικά x_k θα περιλαμβάνονται στην συνάρτηση ωφέλειας εφαρμόζουμε μια σταδιακή διαδικασία παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό των μοντέλων παλινδρόμησης.
- Για κάθε χαρακτηριστικό γίνεται μια αξιολόγηση για να εκτιμήσουμε εάν βελτιώνει την ικανότητα του μοντέλου να επεξηγήσει την συμπεριφορά, δηλ. τις επιλογές που κάνουν οι μετακινούμενοι
- Οι μεταβλητές που περιλαμβάνονται στην συνάρτηση μπορεί να είναι
  - **γενικές (generic)** δηλ. να εμφανίζονται στην συνάρτηση ωφέλειας της κάθε εναλλακτικής επιλογής, και οι συντελεστές τους είναι οι ίδιοι, δηλ. ίσοι σε κάθε συνάρτηση της ωφέλειας, ή να είναι
  - **ειδικές (specific)** για την κάθε επιλογή, δηλ. να εμφανίζονται στην συνάρτηση ωφέλειας της συγκεκριμένης εναλλακτικής επιλογής μόνο.

Παράδειγμα γενικών μεταβλητών/χαρακτηριστικών

$$V_1 = \theta_1 . \left(\begin{array}{c}\text{Συνολικός χρόνος}\\ \text{με το μέσο 1}\end{array} \right) + \theta_2 . \left(\begin{array}{c}\text{Συνολικό κόστος}\\ \text{με το μέσο 1}\end{array} \right)$$

$$V_2 = \theta_1 . \left(\begin{array}{c}\text{Συνολικός χρόνος}\\ \text{με το μέσο 2}\end{array} \right) + \theta_2 . \left(\begin{array}{c}\text{Συνολικό κόστος}\\ \text{με το μέσο 2}\end{array} \right)$$

- Ο χρόνος διαδρομής προκαλεί την ίδια επιβάρυνση/ενόχληση στον μετακινούμενο, είτε αφορά τον χρόνο με το μέσο 1 είτε με το μέσο 2, δηλ. ίσοι χρόνοι διαδρομής προκαλούν την ίδια επιβάρυνση ανεξαρτήτως μέσου
- Το μέγεθος της ενόχλησης (= - ωφέλεια) εξαρτάται από την ποσότητα του χρόνου που απαιτείται για την μετακίνηση
- Οι συντελεστές είναι οι ίδιοι και για τα δύο μέσα, θ_1 για τον χρόνο διαδρομής και θ_2 για το κόστος
- Δεδομένου ότι ο χρόνος και το κόστος διαδρομής προκαλούν επιβάρυνση στον μετακινούμενο, οι συντελεστές τους έχουν αρνητική τιμή και οι τιμές των ωφελειών V_1 και V_2 είναι αρνητικές
- Για παράδειγμα 20 λεπτά με λεωφορείο προκαλούν την ίδια επιβάρυνση με 20 λεπτά με ΙΧ. Η επιβάρυνση αυτή είναι ίση με $-\theta_1$ x 20 , και αντίστοιχα για το κόστος διαδρομής.

Τυποποίηση των συναρτήσεων ωφέλειας

$$\left.\begin{array}{l} \log\left(\frac{1-P_1}{P_1}\right) = (V_2 - V_1) \\ V_1 = \theta_1 . x_{11} + \theta_2 . x_{12} + \theta_3 \\ V_2 = \theta_1 . x_{21} + \theta_2 . x_{22} + \theta_4 \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\log\left(\frac{1-P_1}{P_1}\right) = \theta_1 . (x_{21} - x_{11}) + \theta_2 . (x_{22} - x_{12}) + (\theta_4 - \theta_3)$$

$$y = \beta_1 . x_1 + \beta_2 . x_2 + \beta_0$$

Παράδειγμα ειδικών μεταβλητών/χαρακτηριστικών

$$V_1 = \theta_1 . \left(\begin{array}{c}\text{Συνολικός χρόνος}\\ \text{με το μέσο 1}\end{array} \right) + \theta_2 . \left(\begin{array}{c}\text{Συνολικό κόστος}\\ \text{με το μέσο 1}\end{array} \right)$$

$$V_2 = \theta_3 . \left(\begin{array}{c}\text{Συνολικός χρόνος}\\ \text{με το μέσο 2}\end{array} \right) + \theta_4 . \left(\begin{array}{c}\text{Συνολικό κόστος}\\ \text{με το μέσο 2}\end{array} \right)$$

- Ο χρόνος διαδρομής προκαλεί διαφορετική επιβάρυνση/ενόχληση στον μετακινούμενο, ανάλογα με το μέσο με το οποίο γίνεται η διαδρομή
- Το μέγεθος της ενόχλησης (= - ωφέλεια) εξαρτάται τόσο από την ποσότητα του χρόνου που απαιτείται για την μετακίνηση, όσο και από το μέσο
- Οι συντελεστές είναι οι διαφορετικοί και για τα δύο μέσα. θ_1, θ_3 για τον χρόνο διαδρομής και θ_2, θ_4 για το κόστος
- Δεδομένου ότι ο χρόνος και το κόστος διαδρομής προκαλούν επιβάρυνση στον μετακινούμενο, οι συντελεστές τους έχουν αρνητική τιμή και οι τιμές των ωφελειών V1 και V2 είναι αρνητικές
- Για παράδειγμα 20 λεπτά με λεωφορείο προκαλούν διαφορετική επιβάρυνση από ότι 20 λεπτά με ΙΧ , θ_1 x 20 $\neq$ θ_2 x 20, και αντίστοιχα για το κόστος διαδρομής.

Τυποποίηση των συναρτήσεων ωφέλειας

$$V_2 - V_1 = \theta_1 . (x_{21} - x_{11}) + \theta_2 . (x_{22} - x_{12}) + (\theta_4 - \theta_3)$$

Τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτήν την τυποποίηση είναι:

1) Δεν είναι δυνατόν να υπολογίσουμε τις τιμές των σταθερών θ_4 και θ_3, της συνάρτησης ωφέλειας, αλλά **μόνο την διαφορά** τους. Επομένως, θεωρούμε την τιμή της σταθεράς για μία (μόνο) από τις συναρτήσεις ωφέλειας ίση με 0, και οι υπόλοιπες σταθερές μπορούν να εκτιμηθούν. Σημειώνεται ότι η σταθερά της συνάρτησης ωφέλειας αναπαριστά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του μέσου που δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν

Τυποποίηση των συναρτήσεων ωφέλειας

Ας θεωρήσουμε το δυαδικό μοντέλο με γενικές μεταβλητές:

$$P_1 = \frac{\exp(V_1)}{\exp(V_1) + \exp(V_2)}$$

$$V_1 = \theta_1 . x_{11} + \theta_2 . x_{12} + \theta_3$$
$$V_2 = \theta_1 . x_{21} + \theta_2 . x_{22} + \theta_4$$

x_{jk} : η τιμή του χαρακτηριστικού k που έχει η εναλλακτική επιλογή j

$$P_1 = \frac{\exp(V_1)}{\exp(V_1) + \exp(V_2)} = \frac{1}{1 + \exp(V_2 - V_1)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{1}{P_1} = 1 + \exp(V_2 - V_1) \Rightarrow \frac{1-P_1}{P_1} = \exp(V_2 - V_1)$$

$$\Rightarrow \log\left(\frac{1-P_1}{P_1}\right) = (V_2 - V_1)$$

Τυποποίηση των συναρτήσεων ωφέλειας

$$V_2 - V_1 = \theta_1 . (x_{21} - x_{11}) + \theta_2 . (x_{22} - x_{12}) + (\theta_4 - \theta_3)$$

2) Εάν x_{1k} και x_{2k} έχουν την ίδια τιμή και για τις δύο επιλογές (όπως για παράδειγμα στην περίπτωση μεταβλητών που αναπαριστούν τα χαρακτηριστικά του μετακινούμενου, ή στην περίπτωση του κόμιστρου με μέσα μαζικής μεταφοράς σε μια μη ελεύθερη αγορά), ένας γενικός συντελεστής δεν μπορεί να εκτιμηθεί δεδομένου ότι πολλαπλασιάζεται με την διαφορά που έχει τιμή 0. Σε αυτή την περίπτωση τα χαρακτηριστικά μπορούν :
   - Να εισαχθούν σαν ειδικές μεταβλητές (με διαφορετικούς συντελεστές για κάθε εναλλακτική επιλογή) ή
   - να χρησιμοποιηθούν σαν επεξηγηματικές μεταβλητές σε μερικές (άλλα όχι όλες) τις συναρτήσεις ωφέλειας.

Παράδειγμα Δυαδικού μοντέλου Logit

Ορισμός προβλήματος : Επιλογή μεταφορικού μέσου

Εναλλακτικές επιλογές : Δύο μέσα: IX and MMM (μέσο μαζικής μεταφοράς)

Κανόνας επιλογής : Μεγιστοποίηση της Ωφέλειας

$P(IX) = P(U_{IX} \geq U_{MMM}) = P(V_{IX} + \varepsilon_{IX} \geq V_{MMM} + \varepsilon_{MMM})$

$$P(IX) = \frac{e^{V_{IX}}}{e^{V_{IX}} + e^{V_{MMM}}}$$

$$P(MMM) = \frac{e^{V_{MMM}}}{e^{V_{IX}} + e^{V_{MMM}}}$$

	Χρόνος Διαδρομής με IX	*Χρόνος Διαδρομής με MMM*	*Ηλικία*	*Εισόδημα*
Μετακινούμενος 1	15.4	58.2	25	20K
Μετακινούμενος 2	30.0	17.0	45	35K

Μετακινούμενος 1:

$V_{IX} = \beta_0 + \beta_1\, 15.4 + \beta_2\, 0 + \beta_3\, 0$

$V_{MMM} = \beta_1\, 58.2$

Μετακινούμενος 2:

$V_{IX} = \beta_0 + \beta_1\, 30.0 + \beta_2\, 1 + \beta_3\, 1$

$V_{MMM} = \beta_1\, 17.0$

$V_{IX} = \beta_0 + \beta_1\, TT_{IX} + \beta_2 Ηλικία + \beta_3 Εισόδημα$

$V_{MMM} = \beta_1\, TT_{MMM}$

Η ηλικία και το εισόδημα είναι χαρακτηριστικά του μετακινούμενου που είναι σταθερά ανεξαρτλήτωη

όπου

$$Ηλικία = \begin{cases} 1 & \text{Εάν ηλικία > 40,} \\ 0 & \text{στις υπόλοιπες περιπτώσεις} \end{cases}$$

$$Εισόδημα = \begin{cases} 1 & \text{Εάν εισόδημα > 25.000} \\ 0 & \text{στις υπολοιπ. περιπτωσεις} \end{cases}$$

Οι συντελεστές των συναρτήσεων ωφέλειας δίδονται στον πίνακα

	β_0	β_1	β_2	β_3
IX	2.0	-0.5	0.3	0.25
MMM		-0.8		

Μετακινούμενος 1:

$V_{IX} = \beta_0 + \beta_1\, 15.4 + \beta_2\, 0 + \beta_3\, 0$

$V_{MMM} = \beta_1\, 58.2$

Μετακινούμενος 1:

$V_{IX} = 2.0 - 0.5*15.4 + 0.3*\,0 + 0.25*\,0 = -\,5.7$

$V_{MMM} = -0.8*\,58.2 = -\,46.56$

Μετακινούμενος 2:

$V_{IX} = \beta_0 + \beta_1\, 30.0 + \beta_2\, 1 + \beta_3\, 1$

$V_{MMM} = \beta_1\, 17.0$

Μετακινούμενος 2:

$V_{IX} = -0.5*30.0 + 0.3*1 + 0.25*1 = -14.45$

$V_{MMM} = -0.8*\,17.0 = -\,13.60$

	β_0	β_1	β_2	β_3
IX	2.0	-0.5	0.3	0.25
MMM		-0.8		

- Θετική τιμή της σταθεράς βο της συνάρτησης ωφέλειας του IX σημαίνει ότι υπάρχει μια συστηματική προτίμηση προς αυτό το μέσο που πιθανόν οφείλεται σε κάποια χαρακτηριστικά του που δεν συμπεριλαμβάνονται στην συνάρτηση ωφέλειας (συνήθως αφορά μη μετρήσιμα/ποσοτικοποιησιμα χαρακτηριστικά)
- Ο συντελεστής του χρόνου διαδρομής β1 έχει μικρότερη απόλυτη τιμή για το IX από ότι για το MMM. 16 λεπτά στο **IX** προκαλούν την ίδια επιβάρυνση με 10 λεπτά στο MMM. (16 x (-0,5) = 10 x (-0,8) = -8 μονάδες ωφέλειας)
- Το ότι η τιμή β2 είναι θετική και αφορά τις ηλικίες >40 και τους χρήστες του IX, σημαίνει ότι οι μετακινούμενοι με ηλικία > 40 έχουν μεγαλύτερη αντιληπτή ωφέλεια (ή έχουν την πιστεύουν ότι έχουν μεγαλύτερη ωφέλεια) κατά β2=0,3 μονάδες ωφέλειας όταν χρησιμοποιούν το IX. Αντίστοιχα και για τους μετακινούμενους με εισόδημα > 25K.

Μετακινούμενος 1:

$V_{IX} = 2.0 - 0.5*15.4 + 0.3*\,0 + 0.25*\,0 = -\,5.7$

$V_{MMM} = -0.8*\,58.2 = -\,46.56$

$$\Pr(IX) = \frac{e^{-5.7}}{e^{-5.7} + e^{-46.56}} \sim 1.0$$

Επομένως σχεδόν όλοι οι μετακινούμενοι που έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά και τις ίδιες εναλλακτικές επιλογές με το μετακινούμενο 1, θα χρησιμοποιήσουν IX

Μετακινούμενος 2:

$V_{IX} = -0.5*30.0 + 0.3*1 + 0.25*1 = -14.45$

$V_{MMM} = -0.8*\,17.0 = -13.60$

$$\Pr(IX) = \frac{e^{-14.45}}{e^{-14.45} + e^{-13.6}} = 0.3$$

Επομένως από όλους τους μετακινούμενους που έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά και τις ίδιες εναλλακτικές επιλογές με το μετακινούμενο 2, το 30% θα χρησιμοποιήσει IX και το υπόλοιπο το MMM

Προσαρμογή σταθερών στις συναρτήσεις ωφέλειας μοντέλων logit

Εάν οι συντελεστές ενός μοντέλου Logit έχουν εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας
α) στοιχεία από ένα τμήμα της περιοχής μελέτης, ή
β) από ένα δείγμα με στατιστική απόκλιση (biased sample) από τον πληθυσμό,

έχει αποδειχθεί ότι:
- εάν οι ίδιες εναλλακτικές επιλογές είναι διαθέσιμες σε όλους τους μετακινούμενους, και
- εάν για το μοντέλο έχουν εκτιμηθεί οι (στατιστικά σημαντικές) σταθερές των συναρτήσεων ωφέλειας,

Τότε διορθώνοντας τις σταθερές των συναρτήσεων ωφέλειας με εφαρμογή της σχέσης:

$$K_i^* = K_i - \log(q_i / Q_i)$$

εχουμε ένα μοντέλο που δεν παρουσιάζει συστηματική στατιστική απόκλιση (unbiased model) από τον πληθυσμό.

K_i η σταθερά της συνάρτησης ωφέλειας της επιλογής i από το δείγμα
q_i το μερίδιο αγοράς της επιλογής i όπως υπολογίζεται στο δείγμα
Q_i το πραγματικό μερίδιο αγοράς της επιλογής i στον πληθυσμό
K_i^* η διορθωμένη σταθερά της συνάρτησης ωφέλειας της επιλογής i.

η Αξία του Χρόνου

- Εάν ο χρόνος διαδρομής με ένα μέσο ελαττωθεί, τότε από την παραπάνω σχέση μπορούμε να υπολογίσουμε, το ποσό του κόστους από το οποίο θα πρέπει να παραιτηθεί ο μετακινούμενος δηλ. την αύξηση του κόστους που θα αποδεχθεί, για να διατηρήσει την ωφέλεια του σταθερή δεδομένης της μείωσης του χρόνου μετακίνησης – δηλ. δείχνει πόσο πολύτιμος είναι ο χρόνος στον μετακινούμενος (σε χρήματα).
- Η οριακή τιμή υποκατάστασης του χρόνου είναι δηλ. η αξία του χρόνου όπως την αντιλαμβάνονται οι μετακινούμενοι.
- Η αξία του χρόνου ισούται με τον λόγο της οριακής ωφέλειας ως προς τον χρόνο διαδρομής, προς την οριακή ωφέλεια ως προς το κόστος διαδρομής.

$$V_{IX} = \beta_0 + \beta_1 \text{Κόστος}_{IX} + \beta_2 \text{Χρόνος}_{IX} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{αξία του χρόνου} = \frac{\beta_2}{\beta_1}$$

Οριακή Τιμή Υποκατάστασης

Ο λόγος δύο συντελεστών μιας συνάρτησης ωφέλειας παρέχει πληροφορία για το πώς οι μετακινούμενοι μπορούν

να **«ανταλλάξουν»** την ωφέλεια πού έχουν από ένα χαρακτηριστικό με την ωφέλεια από ένα άλλο χαρακτηριστικό,

δηλ. πως μπορούν να υποκαταστήσουν ένα χαρακτηριστικό με ένα άλλο. Ο λόγος αυτός είναι γνωστός σαν οριακή τιμή υποκατάστασης.

η Αξία του Χρόνου

- Αλλά μετακινούμενοι με διαφορετικό εισόδημα μπορεί να έχουν διαφορετική αξία χρόνου.
- Εάν το εισόδημα του μετακινούμενου είναι γνωστό η συνάρτηση ωφέλειας μπορεί να περιλαμβάνει ως ανεξάρτητη μεταβλητή τον λόγο του κόστους μετακίνησης προς το εισόδημα, δηλ την χρηματική επιβάρυνση που έχει σε σχέση με το εισόδημα του:

$$V = \beta_0 + \beta_1 \frac{\text{Κόστος}}{\text{εισόδημα}} + \beta_2 \text{Χρόνος}$$

Οπότε η οριακή τιμή υποκατάστασης του χρόνου υπολογίζεται από την σχέση που διατηρεί σταθερή των ωφέλεια:

$$dV = 0 = \beta_1 \frac{d\,\text{Κόστος}}{\text{εισόδημα}} + \beta_2\, d\text{Χρόνος} \Rightarrow \beta_1 \frac{d\text{Κόστος}}{\text{εισόδημα}} = -\beta_2\, d\text{Χρόνος}$$

η αξία του χρόνου είναι ίση με το κόστος που είναι ισοδύναμο με μια μονάδα χρόνου $\Rightarrow$

Εάν ο χρόνος μειωθεί κατά 1 μονάδα δηλ. $d\text{Χρόνος}$=-1 το κόστος θα πρέπει να αυξηθεί κατά ποσότητα ίση με την αξία του χρόνου $\Rightarrow$ $\text{αξία χρόνου} = \frac{\beta_2}{\beta_1}\text{εισόδημα}$

Οριακή Τιμή Υποκατάστασης

- Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να απαντήσουμε στην ερώτηση:
  - Εάν αυξηθεί ο χρόνος διαδρομής με το μέσο m κατά ζ μονάδες χρόνου, πόσο θα πρέπει να ελαττωθεί το κόστος αυτού του μέσου, έτσι ώστε ο μετακινούμενος να διατηρήσει το ίδιο επίπεδο Ωφέλειας? ή
  - Εάν αυξηθεί ο χρόνος διαδρομής με ΙΧ σχετικά με τον χρόνο διαδρομής με λεωφορείο, πόσο θα πρέπει να ελαττωθεί το κόστος με το ΙΧ σχετικά με το λεωφορείο για να διατηρήσουμε τα ποσοστά (την πιθανότητα) χρήσης του κάθε μέσου σταθερή?

$$dV_{IX} = 0 = \beta_1\, d\,\text{Κόστος}_{IX} + \beta_2\, d\,\text{Χρόνος}_{IX}$$

$$\Rightarrow -\beta_1\, d\,\text{Κόστος}_{IX} = \beta_2\, d\,\text{Χρόνος}_{IX}$$

$$\Rightarrow \left.\frac{-d\,\text{Κόστος}_{IX}}{d\,\text{Χρόνος}_{IX}}\right|_{V_{IX}=\text{σταθερό}} = \frac{\beta_2}{\beta_1}$$

Επομένως η μεταβολή του κόστους που απαιτείται για να παραμείνει σταθερή η ωφέλεια όταν ο χρόνος μεταβάλλεται κατά μια μονάδα ισούται με τον λόγο του συντελεστή του χρόνου προς τον συντελεστή του κόστους.

Παράδειγμα υπολογισμού οριακών τιμών υποκατάστασης

Η ωφέλεια του μέσου m δίνεται από την σχέση:

$$U_m = \theta_m + \theta_1 t_m + \theta_2 x_m/d + \theta_3 c_m/y$$

- U_m = η ωφέλεια του μέσου m (ΙΧ or λεωφορείο(Λ))
- t_m = ο χρόνος εντός του οχήματος (λεπτά)
- x_m = ο χρόνος εκτός οχήματος (λεπτά)
- d = το μήκος μετακίνησης (χλμ)
- c_m = το κόστος μετακίνησης (cents)
- Y = το ετήσιο εισόδημα (EURO)

- θ_Λ = -.19, θ_{IX} = 0, θ_1 = -.03, θ_2 = -.34, θ_3 = -50

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

- Η ωφέλεια του μέσου IX δίνεται από την σχέση:

$$U_m = \theta_m + \theta_1 t_m + \theta_2 x_m/d + \theta_3 c_m/y$$

- θ_Λ= -0,19, θ_{IX} = 0,0 θ_1 = -0,03, θ_2 = -0,34, θ_3 = -50
- Ας υποθέσουμε ότι y = 15.000 και d = 7,5 χλμ
- Αξία του χρόνου εντός του οχήματος είναι:

$$\theta_1 / (\theta_3/y) = \theta_1 y/\theta_3$$

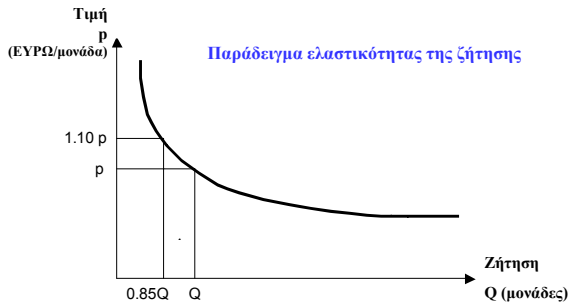
= (-0,03)*15.000/(-50) = 9 cents ανά λεπτό ή 5.40 EURO την ώρα

- Αξία του χρόνου εκτός του οχήματος:

$$\theta_2/d / (\theta_3/y) = (\theta_2 y)/(d\theta_3)$$

= 13.6 cents ανά λεπτό ή 8.16 EURO ανά ώρα.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας



Εάν $E_{Q/p}$= 15 → μια αύξηση της τιμής κατά 10% μειώνει την ζήτηση κατά 15%

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

- Η αξία της σταθεράς θ_m του μέσου δηλ. η ωφέλεια που έχει ο μετακινούμενος από το γεγονός ότι χρησιμοποίησε το συγκεκριμένο μέσο (δηλ. η ωφέλεια που αντιπροσωπεύει τα μη μετρήσιμα χαρακτηριστικά του μέσου) είναι:

$$\theta_m / (\theta_3/y) = \theta_m y/\theta_3$$

- Όπως έχουμε ήδη αναφέρει η σταθερά εκφράζει την διαφορά της ωφέλειας (από τα μη μετρήσιμα χαρακτηριστικά) του συγκεκριμένου μέσου από την αντίστοιχη ωφέλεια του ανταγωνιστικού μέσου. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η σταθερά θ_Λ για το λεωφορείο, που έχει αρνητικό πρόσημο ουσιαστικά αναπαριστά την επιπλέον επιβάρυνση (αρνητική ωφέλεια) που συνεπάγεται η χρήση του λεωφορείου, και υπολογίζεται σε

(-0,19)*y/(-50)

για εισόδημα y=15.000, η επιβάρυνση από την χρήση του λεωφορείου είναι 57 cents που είναι ισοδύναμο με 57/9 = 6,3 λεπτά χρόνου εντός του οχήματος

- Με βάση την αρχή της οριακής τιμής υποκατάστασης μπορεί να υπολογισθεί η αξία (σε χρήμα ή χρόνο) όλων των χαρακτηριστικών κάθε εναλλακτικής επιλογής, π.χ. να υπολογισθεί η επιβάρυνση που θεωρεί ο μετακινούμενος ότι έχει όταν κάνει μια μετεπιβίβαση από όχημα σε όχημα, εφόσον το χαρακτηριστικό αυτό περιλαμβάνεται στην συνάρτηση της ωφέλειας.

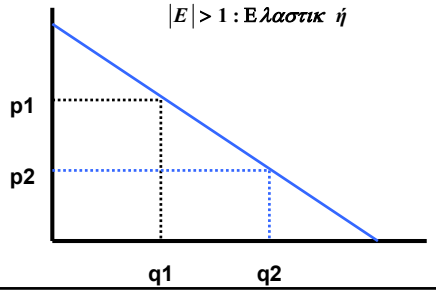
ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

Ελαστικότητα και χαρακτηρισμός της ζήτησης

$|E| = 1$: *μοναδιαία ελαστικότητας*

$|E| < 1$: *Ανελαστική*

$|E| > 1$: *Ελαστική*



ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

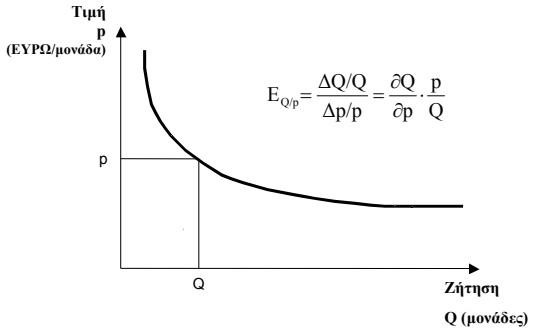
ελαστικότητα της ζήτησης

- Προσδιορίζει τις επιπτώσεις μιας μεταβολής του χρόνου, του κόστους κλπ στην ζήτηση
- Είναι ο λόγος της σχετικής μεταβολής της ζήτησης ως προς την σχετικής μεταβολή της τιμής του ενός χαρακτηριστικού (π.χ. κόστος, χρόνος κλπ)

Ελαστικότητα της ζήτησης ως προς την τιμή (κόστος) $= E_{Q/p} = \dfrac{\%\ \text{μεταβολή Ζήτησης}}{\%\ \text{μεταβολή τιμής}} = \dfrac{\Delta Q/Q}{\Delta p/p}$

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Θεωρία Μεγιστοποίησης της ωφέλειας

Προσδιορισμός ελαστικότητας από ένα μοντέλο ζήτησης



$$E_{Q/p} = \frac{\Delta Q/Q}{\Delta p/p} = \frac{\partial Q}{\partial p} \cdot \frac{p}{Q}$$

Άμεση και διασταυρωτική ελαστικότητα

- Άμεση ελαστικότητα: εκφράζει την μεταβολή της ζήτησης Q_i ενός προϊόντος/υπηρεσίας i που οφείλεται σε μεταβολή των χαρακτηριστικών p_i αυτού του προϊόντος/υπηρεσίας.

$$\varepsilon_{p_i}^{x_i} = \frac{p_i}{Q_i}\frac{\Delta Q_i}{\Delta p_i}$$

- Διασταυρωτική ελαστικότητα: εκφράζει την μεταβολή της ζήτησης Q_i ενός προϊόντος/υπηρεσίας που οφείλεται στην μεταβολή των χαρακτηριστικών p_j ενός ανταγωνιστικού προϊόντος/υπηρεσίας j:

$$\varepsilon_{p_j}^{x_i} = \frac{\Delta Q_i / Q_i}{\Delta p_j / p_j} = \frac{p_j}{Q_i}\frac{\Delta Q_i}{\Delta p_j}$$

Η ανεξαρτησία των μη σχετικών επιλογών (Independence of Irrelevant Alternatives) και το πολυωνυμικό μοντέλο Logit

Μια χαρακτηριστική ιδιότητα του logit είναι ή ανεξαρτησία των μη σχετικών επιλογών :

$$\left.\begin{aligned} P_i &= \frac{\exp(\beta.V_i)}{\sum_k \exp(\beta.V_k)} \\ P_j &= \frac{\exp(\beta.V_j)}{\sum_k \exp(\beta.V_k)} \end{aligned}\right\} \quad \boxed{\frac{P_i}{P_j} = \frac{\exp(\beta.V_i)}{\exp(\beta.V_j)}}$$

Όταν δύο οποιαδήποτε επιλογές έχουν μη μηδενική πιθανότητα, τότε ο λόγος της μιας πιθανότητας προς την άλλη δεν επηρεάζεται από την παρουσία ή απουσία άλλων εναλλακτικών επιλογών, στο σύνολο των επιλογών που έχει ο μετακινούμενος

Μοντέλα Logit και ελαστικότητα της ζήτησης

- Η ελαστικότητα της ζήτησης για μια εναλλακτική επιλογή που έχουν οι μετακινούμενοι, είναι ίση με την μεταβολή της πιθανότητας να επιλέξουν οι μετακινούμενοι την συγκεκριμένη επιλογή, δεδομένης μιας μεταβολής του συγκεκριμένου χαρακτηριστικού της επιλογής. Π.χ. η ελαστικότητα της ζήτησης για ένα μεταφορικό μέσο ως προς το κόστος χρήσης αυτού του μέσου, ισούται με την μεταβολή της πιθανότητας χρήσης του μέσου δεδομένης της μεταβολής του κόστους χρήσης.
- Επομένως η ελαστικότητα υπολογίζεται από την μερική παράγωγο της πιθανότητας (που υπολογίζει το μοντέλο Logit), ως προς το χαρακτηριστικό που μελετάμε.

Η ανεξαρτησία των μη σχετικών επιλογών (Independence of Irrelevant Alternatives) και το πολυωνυμικό μοντέλο Logit

Το πρόβλημα των κόκκινων και μπλε λεωφορείων :

Σε μια πόλη, το 50% των μετακινούμενων χρησιμοποιεί ΙΧ και το υπόλοιπο 50% λεωφορείο.

$$\left.\begin{aligned} P_{\text{IX}} &= \frac{\exp(\beta.V_{\text{IX}})}{\exp(\beta.V_{\text{IX}}) + \exp(\beta.V_{\Lambda})} = 50\% \\ P_{\Lambda} &= \frac{\exp(\beta.V_{\Lambda})}{\exp(\beta.V_{\text{IX}}) + \exp(\beta.V_{\Lambda})} = 50\% \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad V_{\Lambda} = V_{\text{IX}}$$

Έστω ότι ο διευθυντής της εταιρείας αστικών συγκοινωνιών αποφασίζει να βάψει τα μισά λεωφορεία μπλε και τα μισά κόκκινα, αλλά κατορθώνει να διατηρήσει το ίδιο επίπεδο εξυπηρέτησης όπως πριν.

Υπολογισμός της Ελαστικότητας της Ζήτησης

Η άμεση ελαστικότητα της ζήτησης εκφράζει την ποσοστιαία μεταβολή της ζήτησης μιας συγκεκριμένης επιλογής, i, ως προς την οριακή μεταβολή ενός χαρακτηριστικού, k, της συγκεκριμένης επιλογής, i :

$$E_{i,X_{ik}} = \frac{\partial P_i}{\partial X_{ik}} = \theta_{ik}.\mathrm{X}_{ik}.(1 - P_i)$$

Η διασταυρωτική ελαστικότητα της ζήτησης εκφράζει την ποσοστιαία μεταβολή της ζήτησης μιας συγκεκριμένης επιλογής, i, ως προς την οριακή μεταβολή ενός χαρακτηριστικού, k, της επιλογής, j :

$$E_{i,X_{jk}} = \frac{\partial P_i}{\partial X_{jk}} = -\theta_{jk}.\mathrm{X}_{jk}.P_j$$

Το πρόβλημα των κόκκινων και μπλε λεωφορείων :

- Επομένως

$$\left.\begin{aligned} &\Rightarrow \quad V_{\Lambda-\mu\pi\lambda\varepsilon} = V_{\Lambda-\kappa\acute{o}\kappa\kappa\iota\nu o} \\ &\text{Και η ωφέλεια του ΙΧ παραμένει σταθερή } V_{\text{IX}} \\ &\Rightarrow \quad V_{\text{IX}} = V_{\Lambda-\mu\pi\lambda\varepsilon} = V_{\Lambda-\kappa\acute{o}\kappa\kappa\iota\nu o} \end{aligned}\right\} \Rightarrow$$

$$P_{\text{IX}} = \frac{\exp(\beta.V_{\text{IX}})}{\exp(\beta.V_{\text{IX}}) + \exp(\beta.V_{\Lambda-\mu\pi\lambda\varepsilon}) + \exp(\beta.V_{\Lambda-\kappa o\kappa\kappa\iota\nu o})} = 0{,}33$$

Είναι ένα υπερβολικό παράδειγμα που δείχνει όμως τα προβλήματα που μπορούν να προκύψουν όταν συσχετίζονται οι εναλλακτικές επιλογές που αναλύουμε.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Ιεραρχικό μοντέλο Logit

Το ιεραρχικό μοντέλο Logit - Hierarchical (or nested) logit

- Όταν οι εναλλακτικές επιλογές που εξετάζει ο μετακινούμενος δεν είναι ανεξάρτητες (π.χ. υπάρχουν ομάδες που περιέχουν επιλογές που μεταξύ τους είναι ποιο όμοιες από ότι με άλλες, όπως τα δημόσια μέσα μεταφοράς σε σχέση με το ΙΧ), τότε εφαρμογή του πολυωνυμικού μοντέλου Logit θα οδηγήσει σε μη αξιόπιστες εκτιμήσεις των συντελεστών των συναρτήσεων ωφέλειας.
- Έχει αποδειχθεί ότι το πρόβλημα αυτό, μπορεί να παρακαμφθεί με την εφαρμογή του ιεραρχικού μοντέλου logit.
- Το ιεραρχικό μοντέλο logit θεωρεί ότι κάθε μετακινούμενος αξιολογεί τις εναλλακτικές επιλογές που έχει με βάση την ωφέλεια που συνδέεται με κάθε επιλογή. Επιπλέον θεωρεί ότι ο μετακινούμενος χωρίζει την μετακίνηση του σε διάφορα στάδια και στην συνέχεια ακολουθεί μια διαδοχική διαδικασία λήψης αποφάσεων, όπως φαίνεται και στα επόμενα διαγράμματα. Έτσι οι διαφορετικές εναλλακτικές επιλογές που συσχετίζονται, ομαδοποιούνται και αναπαρίστανται με μια σύνθετη μεταβλητή που συνδέεται με μια σύνθετη συνάρτηση ωφέλειας.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Εκτίμηση των συντελεστών των συναρτήσεων ωφέλειας

Αν θεωρήσουμε την ακόλουθη μεταβλητή

$$g_{jq} = \begin{cases} 1 & \text{εάν το Aj έχει επιλεγεί από τον μετακινούμενο q} \\ 0 & \text{στις υπόλοιπες περιπτώσεις} \end{cases}$$

Τότε η γενική μορφή της συνάρτηση της πιθανότητας ορίζεται ως εξής

$$L(\theta) = \prod_{q} \prod_{A_j} \left(P_{jq}\right)^{g_{iq}}$$

Επομένως το πρόβλημα του υπολογισμού των παραμέτρων (συντελεστών) θ ανάγεται σε ένα πρόβλημα μεγιστοποίησης της συνάρτησης L(θ), που μπορεί να επιλυθεί υπολογίζοντας τις μερικές παραγώγους ως προς θ και εξισώνοντας τις με 0.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Εκτίμηση των συντελεστών των συναρτήσεων ωφέλειας

Εκτίμηση των συντελεστών των συναρτήσεων ωφέλειας

- Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων που χρησιμοποιείται ευρέως σε προβλήματα προσδιορισμού των συντελεστών μοντέλων παλινδρόμησης δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση εκτίμησης των συντελεστών μοντέλων τύπου logit.
- Στα εξατομικευμένα μοντέλα επιλογών τύπου logit, οι συντελεστές προσδιορίζονται από στοιχεία ερευνών που αφορούν επιλογές που κάνει κάθε ένας μετακινούμενος ξεχωριστά.
- Δεν παρατηρούμε πιθανότητες επιλογής, αλλά μόνο εάν μια επιλογή έχει γίνει ή όχι, π.χ. αν έχει επιλεχθεί το αυτοκίνητο ή το λεωφορείο, δηλαδή η εξηρτημένη μεταβλητή παίρνει την τιμή 1 ή 0, αν έχει γίνει μια συγκεκριμένη επιλογή ή όχι.
- Η μέθοδος που χρησιμοποιείται ευρέως είναι η **μέθοδος της μεγιστοποίησης της πιθανότητας (Maximum Likelihood)**

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Εκτίμηση των συντελεστών των συναρτήσεων ωφέλειας

Η επίλυση απλοποιείται αν λογαριθμίσουμε την συνάρτηση L(θ)

$$l(\theta) = \log L(\theta) = \sum_{q} \sum_{A_j} g_{jq} \log P_{jq}$$

επομένως το πρόβλημα επίλυσης των παραμέτρων θ ορίζεται ως εξής:

$$\max_{\theta}[\, l(\theta)\,] = \max_{\theta}\left[\sum_{q} \sum_{A_j} g_{jq} \log P_{jq}\right]$$

Για την επίλυση του προβλήματος δηλ. τον προσδιορισμό των τιμών των συντελεστών θ και των σχετικών στατιστικών παραμέτρων για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, απαιτείται εξειδικευμένο λογισμικό. Όμως αν θέλουμε να υπολογίσουμε τις τιμές των παραμέτρων μόνο, μπορούν να χρησιμοποιήσουμε οποιαδήποτε λογισμικό που επιλύει προβλήματα βελτιστοποίησης π.χ. το εργαλείο **solver** του ***Excel .***

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Εκτίμηση των συντελεστών των συναρτήσεων ωφέλειας

- Η μέθοδος της μέγιστης πιθανότητας εκτιμάει τις τιμές των παραμέτρων που κάνουν πιο πιθανόν, δηλ. μεγιστοποιούν την πιθανότητα το μοντέλο να αναπαριστά τις πραγματικές επιλογές όπως έχουν καταγραφεί στην έρευνα.

  Ας θεωρήσουμε ένα δείγμα από Q μετακινούμενους για τους οποίους έχουμε παρατηρήσει τις επιλογές τους (0 ή 1) και τις τιμές των χαρακτηριστικών x_{jkq} για κάθε επιλογή j και χαρακτηριστικό k.

  Μετακινούμενος 1 κάνει την επιλογή 2
  Μετακινούμενος 2 κάνει την επιλογή 3
  Μετακινούμενος 3 κάνει την επιλογή 2
  Μετακινούμενος 4 κάνει την επιλογή 1

Επειδή οι πιθανότητες είναι ανεξάρτητες η συνάρτηση πιθανότητας εκφράζεται ως εξής :

$$L(\theta) = P_{21}.P_{32}.P_{23}.P_{14}.....$$

όπου P_{jq} είναι η πιθανότητα ο μετακινούμενος q να κάνει την επιλογή j.

Υπενθυμίζουμε ότι η πιθανότητα P_{jq} είναι συνάρτηση της Ωφέλειας V_{jq} που είναι συνάρτηση των συντελεστών θ.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Εκτίμηση των συντελεστών των συναρτήσεων ωφέλειας

- Εκτίμηση των συντελεστών θ χρησιμοποιώντας μικρά δείγματα μπορεί να επιφέρει ένα συστηματικό σφάλμα στον υπολογισμό των παραμέτρων θ. Το σφάλμα αυτό ελαττώνεται καθώς το μέγεθος του δείγματος αυξάνεται.
- Συνήθως 500 – 1000 παρατηρήσεις επαρκούν για να περιορισθεί το μέγεθος του συστηματικού σφάλματος.
- Για να αξιολογήσουμε αν ένας συντελεστής θ_k έχει τιμή «σημαντικά διαφορετική» από 0, θα πρέπει όπως και στην περίπτωση της παλινδρόμησης να εξετάσουμε αν η τιμή του σχετικού ορίου – t είναι επαρκώς υψηλή. Εάν η τιμή του t είναι μεγαλύτερη από 1,96, τότε με βεβαιότητα 95% η τιμή του συντελεστή θ_k είναι διαφορετική από 0, και επομένως το χαρακτηριστικό k έχει σημαντική επιρροή στις επιλογές που κάνουν οι μετακινούμενοι.
- Παράλληλα θα πρέπει να εξετάσουμε εάν το πρόσημο του συντελεστή συμφωνεί με την Θεωρία ή την αντίληψη που έχουμε για το πώς συμπεριφέρονται οι μετακινούμενοι.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Εκτίμηση των συντελεστών των συναρτήσεων ωφέλειας

- Η απόρριψη ή μη, μιας μεταβλητής/χαρακτηριστικού (με συντελεστή που έχει σωστό πρόσημο) ως επεξηγηματική μεταβλητή, εξαρτάται από την σπουδαιότητα της. Οι μεταβλητές μπορούν να χωρισθούν σε δύο κατηγορίες:
  - Οι «θεωρητικά συσχετιζόμενες μεταβλητές» για τις οποίες υπάρχει θεωρητική αιτιολόγηση ότι έχουν ισχυρή σχέση με τις επιλογές που κάνουν οι μετακινούμενοι (π.χ. κόστος), ή οι «μεταβλητές πολιτικής/σχεδιασμού» που είναι κρίσιμες για τις προβλέψεις του μοντέλου (π.χ. αν σχεδιάζουμε να βελτιώσουμε την αξιοπιστία ενός μέσου, η μεταβλητή «αξιοπιστία» θα πρέπει να συμπεριλαμβανεται στο μοντέλο.
  - Άλλες μεταβλητές που είτε δεν είναι κρίσιμες για την αξιολόγηση της πολιτικής που εξετάζουμε (πχ. το φύλο), είτε δεν υπάρχει θεωρητική αιτιολόγηση για να συμπεριληφθούν ή να απορριφθούν από το μοντέλο.
- Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζουμε τις συνθήκες υπό τις οποίες μια μεταβλητή απορρίπτεται ή συμπεριλαμβάνεται στο μοντέλο.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Εκτίμηση των συντελεστών των συναρτήσεων ωφέλειας

Παράδειγμα υπολογισμού συντελεστών ωφέλειας

Δεδομένου ότι η ωφέλεια δεν περιλαμβάνει σταθερά, η συνάρτηση ωφέλειας για κάθε μέσο εκφράζεται ως εξής:

$$V_{1q} = \theta . x_{1q} \qquad V_{2q} = \theta . x_{2q}$$

V_{1q} η ωφέλεια που έχει ο μετακινούμενος q αν κάνει την επιλογή 1

V_{2q} η ωφέλεια που έχει ο μετακινούμενος q αν κάνει την επιλογή 2

Η πιθανότητα ο μετακινούμενος q να επιλέξει το μέσο 1 ή το μέσο 2, εκφράζεται με το δυαδικό μοντέλο Logit:

$$P_{1q} = \frac{\exp(V_{1q})}{\exp(V_{1q}) + \exp(V_{2q})} \qquad P_{2q} = \frac{\exp(V_{2q})}{\exp(V_{1q}) + \exp(V_{2q})} \Rightarrow$$

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Εκτίμηση των συντελεστών των συναρτήσεων ωφέλειας

Τιμές του t για την επιλογή των μεταβλητών του μοντέλου

Συντελεστής της μεταβλητής		Χαρακτηριστικό / μεταβλητή μοντέλου	
		Θεωρητικά Σχετικές Μεταβλητές ή Μεταβλητές Σχεδιασμού / Πολιτικής	**Άλλες μεταβλητές**
Σωστό πρόσημο	στατιστικά **ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΣ**	**συμπεριλαμβάνεται**	**συμπεριλαμβάνεται**
	στατιστικά **ΜΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΣ**	**συμπεριλαμβάνεται**	Μπορεί να απορριφθεί
Λάθος πρόσημο	στατιστικά **ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΣ**	**Μεγάλο πρόβλημα προτυποποίησης**	**Απορρίπτεται**
	στατιστικά **ΜΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΣ**	**Πρόβλημα προτυποποίησης**	**Απορρίπτεται**

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Εκτίμηση των συντελεστών των συναρτήσεων ωφέλειας

Παράδειγμα υπολογισμού συντελεστών ωφέλειας

Η τιμή του συντελεστή θ είναι εκείνη που μεγιστοποιεί την συνάρτηση πιθανότητας.

$$L(\theta) = \prod_q \prod_{A_j} \left(P_{jq}\right)^{g_{iq}}$$

Η απλούστερα τον λογάριθμο της:

$$l(\theta) = \log L(\theta) = \sum_q \sum_{A_j} g_{jq} \log P_{jq}$$

$$g_{jq} = \begin{cases} 1 & \text{εάν το Aj έχει επιλεγεί από τον μετακινούμενο q} \\ 0 & \text{στις υπόλοιπες περιπτώσεις} \end{cases}$$

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Εκτίμηση των συντελεστών των συναρτήσεων ωφέλειας

Παράδειγμα υπολογισμού συντελεστών συνάρτησης ωφέλειας

Να υπολογισθούν οι συντελεστές της συνάρτησης ωφέλειας δυαδικού μοντέλου διακριτών επιλογών από τα στοιχεία που δίνονται στον ακόλουθο πίνακα, όπου

- από δείγμα 3 μετακινούμενων δίδεται η επιλογή που κάνει ο κάθε ένας
- το κόστος είναι το μόνο χαρακτηριστικό που επηρεάζει τις επιλογής, και οι τιμές αυτού του χαρακτηριστικού δίδονται για κάθε κάθε μέσο :

Παρατήρηση μετακινούμενος (q)	Επιλογή	x_{1q} κόστος μέσου 1	x_{2q} κόστος μέσου 2
1	1	3	5
2	1	2	1
3	2	4	3

Να υπολογισθεί η πιθανότητα επιλογής μέσου που προβλέπει το δυαδικό μοντέλο επιλογής.

Να θεωρήσετε ότι η ωφέλεια είναι συνάρτηση μόνο του κόστους, και δεν περιλαμβάνει σταθερά

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Εκτίμηση των συντελεστών των συναρτήσεων ωφέλειας

Από τα δεδομένα του προβλήματος, προκύπτει η συνάρτηση πιθανότητας $L(\theta)$ και ο λογάριθμος της $l(\theta)$:

$$l(\theta) = 1 \times \log(P_{11}) + 0 \times \log(P_{21}) + 1 \times \log(P_{12}) + 0 \times \log(P_{22}) + \\ + 0 \times \log(P_{13}) + 1 \times \log(P_{23})$$

$$\Rightarrow \quad l(\theta) = \log(P_{11}) + \log(P_{12}) + \log(P_{23})$$

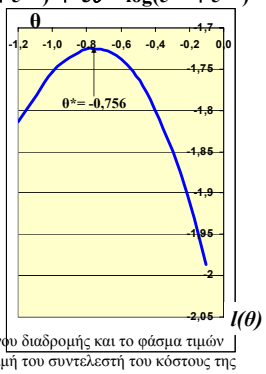
Αντικαθιστώντας τις τιμές των P_{11}, P_{12} και P_{23},

$$P_{11} = \frac{e^{3\theta}}{e^{3\theta} + e^{5\theta}} \qquad P_{12} = \frac{e^{2\theta}}{e^{1\theta} + e^{2\theta}} \qquad P_{23} = \frac{e^{3\theta}}{e^{3\theta} + e^{4\theta}}$$

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Εκτίμηση των συντελεστών των συναρτήσεων ωφέλειας

$$l(\theta) = 3\theta - \log(e^{3\theta} + e^{5\theta}) + 2\theta - \log(e^{\theta} + e^{2\theta}) + 3\theta - \log(e^{3\theta} + e^{4\theta})$$

$$\Rightarrow \quad l(\theta) = 8\theta - \log(e^{3\theta} + e^{5\theta}) - \log(e^{\theta} + e^{2\theta}) - \log(e^{3\theta} + e^{4\theta})$$



Η βέλτιστη τιμή του συντελεστή θ είναι εκείνη που μεγιστοποιεί την τιμή της συνάρτησης $l(\theta)$.

Οι τιμές των συντελεστών των μοντέλων διακριτής επιλογής προσδιορίζονται με χρήση εξειδικευμένων πακέτων Η/Υ. **Σε απλές περιπτώσεις (δηλ. με ένα συντελεστή, ή με δύο όταν δίνεται η τιμή του ενός*) όπως αυτές του παραδείγματος, η τιμή μπορεί να προσδιορισθεί γραφικά.**

* π.χ. μπορεί να δίδεται η τιμή του συντελεστή του χρόνου διαδρομής και το φάσμα τιμών της αξίας του χρόνου, οπότε προσδιορίζεται εύκολα η τιμή του συντελεστή του κόστους της μετακίνησης, δοκιμάζοντας διαφορετικές τιμές στην συνάρτηση $l(\theta)$.

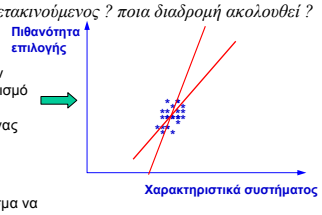
ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Μέθοδος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

Στοιχεία εκδηλωμένων προτιμήσεων

Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας 1980 τα στοιχεία που απαιτούνται για τον προσδιορισμό της μορφής των συγκοινωνιακών μοντέλων και των συντελεστών τους, προέρχονταν από παρατηρήσεις των πραγματικών αποφάσεων και επιλογών που έκαναν οι μετακινούμενοι - δηλ. **στοιχεία εκδηλωμένων προτιμήσεων (revealed preferences data)**. Π.χ. *τι μεταφορικό μέσο επιλέγει ο μετακινούμενος ? ποια διαδρομή ακολουθεί ?*

Μειονεκτήματα

- Χαμηλή μεταβλητότητα των παρατηρούμενων χαρακτηριστικών δεν επιτρέπει τον προσδιορισμό συσχετίσεων, καθορισμό σχέσεων
  ⇒ Μεγαλύτερο Δείγμα - Υψηλό κόστος έρευνας αγοράς
- Στο δείγμα που χρησιμοποιούμε, ορισμένα χαρακτηριστικά των επιλογών, μπορεί να παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατόν να διαχωρίσουμε τις επιπτώσεις τους στην εκτίμηση των συντελεστών του μοντέλου
- Δεν μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε για την πρόβλεψη επιλογής νέου μέσου / συστήματος με χαρακτηριστικά εντελώς διαφορετικά των υπαρχόντων συστημάτων



Τρένο υψηλής ταχύτητας

Αστικός αυτοκινητόδρομος με διόδιο

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Μέθοδος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

Η μέθοδος

των δεδηλωμένων προτιμήσεων

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Μέθοδος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

Έρευνες δεδηλωμένων προτιμήσεων

- Οι έρευνες δεδηλωμένων προτιμήσεων παρέχουν μια εναλλακτική λύση για να παρακάμψουμε τους περιορισμούς που θέτουν τα στοιχεία εκδηλωμένων προτιμήσεων.
- Μέθοδος δίνει την δυνατότητα στον αναλυτή να πειραματιστεί με επιλογές που κάνουν οι μετακινούμένοι, και να διερευνήσει ποια χαρακτηριστικά του συστήματος επηρεάζουν τις επιλογές που κάνουν οι μετακινούμενοι, και πως τα σταθμίζουν.
- Διαφορετικά υποθετικά σενάρια επιλογής παρουσιάζονται στον μετακινούμενο. Τα σενάρια καλύπτουν ένα **εκτενές φάσμα διαφορετικών καταστάσεων** του συστήματος και τιμών των χαρακτηριστικών του, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη **μεταβλητότητα για την εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου**

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Μέθοδος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

Έρευνες δεδηλωμένων προτιμήσεων

Η αξιοπιστία ενός συγκοινωνιακού μοντέλου και των προβλέψεων που κάνει εξαρτάται από την ποιότητα των στοιχείων που περιγράφουν την συμπεριφορά του συστήματος κάτω από ευρύ φάσμα διαφορετικών συνθηκών.

- Παρατηρήσεις (π.χ. μετρήσεις κυκλοφοριακών, επιβατική κίνηση μέσων μαζικής μεταφοράς)
- Εθνικές έρευνες (απογραφή πληθυσμού, κατανάλωση νοικοκυριών),
- Έρευνες Μετακινήσεων (παρά την οδό (Π-Π), έρευνες νοικοκυριών – ημερολόγιο μετακινήσεων (travel diary),

⇓

Διερεύνηση της συμπεριφοράς των μετακινούμενων

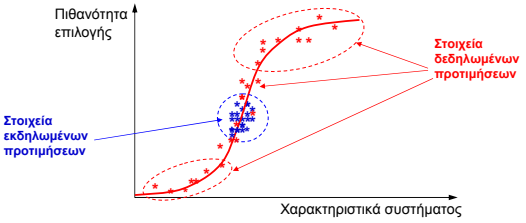
Μηχανισμός
- γένεσης μετακινήσεων
- επιλογών που κάνουν οι μετακινούμενοι

⇓

- **έρευνα εκδηλωμένων προτιμήσεων**
- **έρευνα δεδηλωμένων προτιμήσεων**

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Μέθοδος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

Μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών του συστήματος σε πειράματα δεδηλωμένης προτίμησης, για τον προσδιορισμό μοντέλου επιλογής



ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Μέθοδος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

Ιδιότητες/χαρακτηριστικά των ερευνών δεδηλωμένων προτιμήσεων

- Βασίζονται στην εκμαίευση δηλώσεων από μετακινούμενους για το πώς ανταποκρίνονται σε διαφορετικές υποθετικές επιλογές που αφορούν μετακινήσεις
- Κάθε εναλλακτική επιλογή παρουσιάζεται σαν ένα «πακέτο» διαφορετικών χαρακτηριστικών όπως χρόνος μετακίνησης, κόστος, αξιοπιστία μέσου, συχνότητα μέσου κλπ
- Ο αναλυτής φτιάχνει αυτές τις υποθετικές εναλλακτικές επιλογές, έτσι ώστε η επίπτωση του κάθε χαρακτηριστικού της δυνατής επιλογής, να μπορεί να εκτιμηθεί. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση ειδικών μεθόδων σχεδιασμού πειραμάτων που εξασφαλίζουν ότι η μεταβλητότητες των χαρακτηριστικών σε κάθε «πακέτο» είναι στατιστικά ανεξάρτητες από κάθε άλλη. (για να αποφεύγεται η συγγραμμικότητα των χαρακτηριστικών που οδηγεί σε λανθασμένες εκτιμήσεις των συντελεστών του μοντέλου).
- Τα εναλλακτικά σενάρια που παρουσιάζονται στους μετακινούμενους θα πρέπει να είναι εύκολα κατανοητά, να δίνουν την εντύπωση ότι αναπαριστούν πιθανές και ρεαλιστικές καταστάσεις, και να σχετίζονται με τις μετακινήσεις που κάνουν τώρα.

Παράδειγμα Πειράματος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

Παράδειγμα πειράματος δεδηλωμένης προτίμησης (stated preferences experiment)

- Κατάταξη εναλλακτικών λύσεων

κατάταξη — πακέτο

1 **(Α) Κλειστός αυτοκινητόδρομος 2+2**
Χρόνος διαδρομής: 2 ώρες
Κόστος διοδίου: € 13,00

2 **(Β) Σιδηρόδρομος Υψηλής Ταχύτητας**
Χρόνος διαδρομής: 1 ώρα & 40 λεπτά
Κόμιστρο: € 18,00

3 **(Γ) Σιδηρόδρομος Υψηλής Ταχύτητας**
Χρόνος διαδρομής: 2 ώρες
Κόμιστρο: € 25,00

4 **(Δ) Κλειστός αυτοκινητόδρομος 2+2**
Χρόνος διαδρομής: 3 ώρες
Κόστος διοδίου: € 15,00

Η κατάταξη θεωρείται ισοδύναμη με μια σειρά σεναρίων από ζεύγη εναλλακτικών επιλογών. Τα ζεύγη αυτά, είναι όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί των «πακέτων» που παρουσιάζονται στον συμμετέχοντα στο πείραμα δεδηλωμένης προτίμησης. Η σειρά κατάταξης καθορίζει την επιλογή που θα έκανε ο μετακινούμενος αν είχε να επιλέξει μεταξύ των δύο πακέτων που αναπαριστούν κάθε ζεύγος εναλλακτικών επιλογών.

Ζεύγος εναλλακτικών επιλογών	επιλογή
(Α) – (Β)	(Α)
(Α) – (Γ)	(Α)
(Α) – (Δ)	(Α)
(Β) – (Γ)	(Β)
(Β) - (Δ)	(Β)
(Γ) – (Δ)	(Γ)

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Μέθοδος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

Ιδιότητες/χαρακτηριστικά των ερευνών δεδηλωμένων προτιμήσεων

- Οι μετακινούμενοι δηλώνουν τις προτιμήσεις τους είτε :
  - Επιλέγουν από ένα ζεύγος ή ομάδα εναλλακτικών επιλογών («πακέτων») που τους παρουσιάζεται.
  - Κατατάσσουν τα «πακέτα» με την σειρά της ελκυστικότητας που έχουν
  - Βαθμολογούν κάθε «πακέτο» σε μια κλίμακα που δείχνει πόσο ισχυρή είναι η προτίμηση που έχουν.

Παράδειγμα Πειράματος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

Μήπως ξεχάσαμε κάτι?

Πόσοι ταξιδεύουν μαζί ?

Κόστος με τρένο = αριθμός μετακινούμενων X κόμιστρο

Κόστος με αυτοκίνητο = σταθερό = Κόστος διοδίου

+ **Κόστος καυσίμου ?**

Ποιος είναι ο σκοπός ταξιδιού ?

πόσο ***ακριβός*** είναι ο χρόνος του μετακινούμενου?

ποιος πληρώνει για το ταξίδι??

Ποια είναι η αξιοπιστία του χρόνου διαδρομής ?

Τα τρένα έχουν καθυστερήσεις?

Ποια η συχνότητα των δρομολογίων του τρένου?

Πόσο εύκολο είναι να πάω στον σιδηροδρομικό σταθμό?

πόσο χρόνο παίρνει? Πόσο κοστίζει?

Παράδειγμα Πειράματος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

Παράδειγμα πειράματος δεδηλωμένης προτίμησης
- Επιλογή από ζεύγος εναλλακτικών επιλογών

σενάριο 1	**Κλειστός αυτοκινητόδρομος 2+2** Χρόνος διαδρομής: 2 ώρες Κόστος διοδίου: € 13,00	**Σιδηρόδρομος Υψηλής Ταχύτητας** Χρόνος διαδρομής: 1 ώρα & 40 λεπτά Κόμιστρο: € 18,00
σενάριο 2	**Κλειστός αυτοκινητόδρομος 2+2** Χρόνος διαδρομής: 3 ώρες Κόστος διοδίου: € 15,00	**Σιδηρόδρομος Υψηλής Ταχύτητας** Χρόνος διαδρομής: 2 ώρες Κόμιστρο: € 25,00
σενάριο 3	**Κλειστός αυτοκινητόδρομος 2+2** Χρόνος διαδρομής: 3 ώρες Κόστος διοδίου: € 18,00	**Σιδηρόδρομος Υψηλής Ταχύτητας** Χρόνος διαδρομής: 1 ώρα & 40 λεπτά Κόμιστρο: € 32,00

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Μέθοδος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

Σχεδιασμός πειράματος δεδηλωμένων προτιμήσεων

Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών των εναλλακτικών επιλογών που παρουσιάζονται στους συμμετέχοντες στο πείραμα και των τιμών που θα έχουν αυτά τα χαρακτηριστικά στα διάφορα «πακέτα» που θα παρουσιάζονται.
- Σχεδιασμός της παρουσίασης των εναλλακτικών σεναρίων
- Προσδιορισμός της μορφής των προτιμήσεων όπως θα εκφράζονται από τους συμμετέχοντες στο πείραμα.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Μέθοδος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών των εναλλακτικών επιλογών και των τιμών τους

- Τα χαρακτηριστικά των επιλογών που συμπεριλαμβάνονται στην διαμόρφωση των «πακέτων» που παρουσιάζονται στους συμμετέχοντες στο πείραμα, θα πρέπει να περιλαμβάνουν τα πλέον σημαντικά που καθορίζουν την επιλογή, καθώς και εκείνα που οι τιμές τους θα επηρεασθούν από τις παρεμβάσεις που πρόκειται να υλοποιηθούν. Για παράδειγμα, ο χρόνος και το κόστος είναι τα πλέον σημαντικά χαρακτηριστικά, αλλά αν διερευνάμε τις επιπτώσεις της αύξησης ή μείωσης της συχνότητας ενός μέσου, το χαρακτηριστικό αυτό θα πρέπει να συμπεριληφθεί.
- Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται έτσι ώστε τα «πακέτα» να αναπαριστούν ρεαλιστικές εναλλακτικές επιλογές. Για παράδειγμα, μια επιλογή που προσφέρει υψηλή ποιότητα, υψηλή συχνότητα και χαμηλό κόστος μπορεί να θεωρηθεί μη ρεαλιστική και συνεπώς να μειώσει την σοβαρότητα με την αντιμετωπίζουν το πείραμα οι συμμετέχοντες.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Μέθοδος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

- Στα εναλλακτικά σενάρια που παρουσιάζονται στους συμμετέχοντες στο πείραμα θα πρέπει να περιλαμβάνονται όσον το δυνατό περισσότεροι συνδυασμοί χαρακτηριστικών και των διαφορετικών τιμών τους.
- Για παράδειγμα εάν αναλύουμε ένα ΜΜΜ με τρία χαρακτηριστικά (κόμιστρο, συχνότητα και χρόνο διαδρομής) και κάθε χαρακτηριστικό έχει δύο επίπεδα τιμών (υψηλό και χαμηλό), δημιουργούμε $2^3 = 8$ εναλλακτικές επιλογές

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΔΥΟ ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΙΜΩΝ

επιλογή	ΚΟΜΙΣΤΡΟ	ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΔΡ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ
1	Χαμηλό	Γρήγορο	Αραιή
2	Χαμηλό	Γρήγορο	Συχνή
3	Χαμηλό	Αργό	Αραιή
4	Χαμηλό	Αργό	Συχνή
5	Υψηλό	Γρήγορο	Αραιή
6	Υψηλό	Γρήγορο	Συχνή
7	Υψηλό	Αργό	Αραιή
8	Υψηλό	Αργό	Συχνή

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Μέθοδος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών των εναλλακτικών επιλογών και των τιμών τους

- Θα πρέπει να προσδιορίσουμε ποιες εναλλακτικές επιλογές θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στο πείραμα, εξετάζοντας όλες τις εναλλακτικές επιλογές που έχουν διαφορετικές κατηγορίες μετακινούμενων. Π.χ. διαφορετικά επίπεδα εξυπηρέτησης ενός μέσου ή/και ανταγωνισμός με άλλα μέσα?
  Παράδειγμα:
  Σιδηροδρομική σύνδεση Αθήνας – Θεσ/νίκης με τρένα υψηλής ταχύτητας – Θα πρέπει να εξετασθεί ο ανταγωνισμός
  - με συμβατικά τρένα σε δείγμα υφιστάμενων χρηστών σιδηρόδρομου
  - με λεωφορεία σε δείγμα υφιστάμενων χρηστών λεωφορείου,
  - με αεροπλάνα, εφόσον το κόστος και ο συνολικός χρόνος διαδρομής το κάνουν το νέο μέσο ανταγωνιστικό
  - με το ΙΧ σε δείγμα υφιστάμενων χρηστών ΙΧ

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Μέθοδος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

- Έστω ότι το υφιστάμενο επίπεδο εξυπηρέτησης με ΜΜΜ είναι :
  χρόνος διαδρομής 28 mins, συχνότητα 2 οχ./ώρα
  και το κόμιστρο είναι 0,60 ΕΥΡΩ
- Πρόκειται να βελτιώσουμε το παρεχόμενο επίπεδο εξυπηρέτησης και θέλουμε να βρούμε πόσο μπορούμε να αυξήσουμε το κόμιστρο.
- Θα πρέπει να μεταβάλουμε τα χαρακτηριστικά του συστήματος αρκετά έτσι ώστε να προκαλέσει αλλαγές στις προτιμήσεις, αλλά όχι τόσο ώστε να κάνει τις εναλλακτικές επιλογές μη ρεαλιστικές γεγονός που θα μείωνε την αξιοπιστία του πειράματος

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΔΥΟ ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΙΜΩΝ

επιλογή	ΚΟΜΙΣΤΡΟ (ΕΥΡΩ)	ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΔΡ (mins)	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (οχ/ώρα)
1	0,60	20	2
2	0,60	20	4
3	0,60	28	2
4	0,60	28	4
5	0,95	20	2
6	0,95	20	4
7	0,95	28	2
8	0,95	28	4

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Μέθοδος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών των εναλλακτικών επιλογών και των τιμών τους

- Ο σχεδιασμός του πειράματος θα πρέπει να είναι **«ορθογωνικός»** δηλ. οι τιμές των διαφόρων χαρακτηριστικών θα πρέπει να μεταβάλλονται ανεξάρτητα μεταξύ τους. Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι οι επιπτώσεις κάθε χαρακτηριστικού στις προτιμήσεις προσδιορίζονται πιο εύκολα. Για παράδειγμα αν σε όλα τα εναλλακτικά «πακέτα» ο χρόνος διαδρομής αυξάνεται με τον ίδιο περίπου ρυθμό που μειώνεται το κόστος διαδρομής τότε δεν είναι εύκολο να προσδιορίσουμε αν οι αλλαγές στις προτιμήσεις προέρχονται από τις μεταβολές στον χρόνο μετακίνησης ή στο κόστος μετακίνησης, και πιο συγκεκριμένα ποιος είναι ο βαθμός επιρροής του χρόνου και ποιος του κόστους στις προτιμήσεις των μετακινούμενων.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Μέθοδος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

Παράδειγμα:

Αξιολόγηση σεναρίων πειράματος δεδηλωμένων προτιμήσεων

Για τον προσδιορισμό της αξίας του χρόνου που απαιτείται για τον υπολογισμό του ύψους του διοδίου σε νέο αυτοκινητόδρομο, σχεδιάζεται πείραμα δεδηλωμένων προτιμήσεων. Προτείνονται 2 ομάδες σεναρίων, τα σενάρια 1-8 και τα σενάρια 9 – 16.

Η μία από αυτές τις ομάδες δεν μπορεί να οδηγήσει σε ένα αξιόπιστο μοντέλο επιλογής.

Ποια ομάδα σεναρίων θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί?

σενάριο	Νέος Αυτοκινητόδρομος		Υπάρχουσα εθνική οδός	
	χρόνος διαδρομής	κόστος διοδίου	χρόνος διαδρομής	κόστος διοδίου
1	50	8	155	1
2	65	8	170	1,5
3	65	7	150	1
4	70	6,5	150	1,5
5	60	6,5	135	2
6	55	6	110	3
7	65	6	105	4
8	60	6	90	5

σενάριο	Νέος Αυτοκινητόδρομος		Υπάρχουσα εθνική οδός	
	χρόνος διαδρομής	κόστος διοδίου	χρόνος διαδρομής	κόστος διοδίου
9	60	8	180	1
10	55	8	160	2
11	80	4	180	1,5
12	70	6	160	3
13	50	8	110	1
14	60	7	115	1
15	70	5	110	2,5
16	60	8	90	5

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Μέθοδος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

Το μοντέλο επιλογής θα έχει την μορφή δυαδικού Logit.

$$P_a = \frac{e^{V_a}}{e^{V_a}+V_b} \quad \Rightarrow \quad P_a = \frac{1}{1+e^{V_b - V_a}} \qquad P_b = 1 - P_a$$

P_a, P_b η πιθανότητα επιλογής του νέου αυτοκινητόδρομου (α) και της υφιστάμενης εθνικής οδού (b) αντίστοιχα,

$$V_a = \beta_0 + \beta_1.\mathrm{T}_a + \beta_2.C_a$$
$$V_b = \beta_1.\mathrm{T}_b + \beta_2.C_b$$

Οι συναρτήσεις ωφέλειας των δύο εναλλακτικών οδών, όπου T και C χρόνος και το κόστος διοδίου.

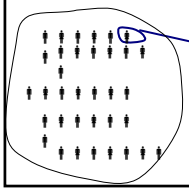
$$\Rightarrow \quad P_a = \frac{1}{1+e^{-\beta_0+\beta_1.(\mathrm{T}_\beta - \mathrm{T}_\alpha)+\beta_2.(C_\beta - C_\alpha)}}$$

Επομένως οι επεξηγηματικές μεταβλητές του μοντέλου είναι η διαφορά του χρόνου διαδρομής και του κόστους.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Αθροιστικές επιλογές και προβλέψεις

Αθροιστικές επιλογές και προβλέψεις

- Ο σκοπός της φάσης του καταμερισμού στα μέσα και γενικότερα της ανάλυσης ενός προβλήματος διακριτών επιλογών είναι να είναι να υπολογίσει τον αριθμό των μετακινούμενων που κάνουν συγκεκριμένες επιλογές, να υπολογίσει δηλαδή τις αθροιστικές επιλογές στην περιοχή μελέτης.
- Τα πλέον αξιόπιστα μοντέλα που αναπαριστούν την συμπεριφορά των μετακινούμενων είναι τα εξατομικευμένα μοντέλα, ή μοντέλα διακριτών επιλογών. Ο στόχος της ανάλυσης είναι επομένως η πρόβλεψη των αθροιστικών επιλογών στην περιοχή μελέτης από :
  - Ένα εξατομικευμένο μοντέλο, *P(i | Xn)*
  - που βασίζεται στα χαρακτηριστικά *Xn* του κάθε μετακινούμενου και του ιδιαίτερου προβλήματος επιλογής που αντιμετωπίζει
  - Έχοντας όμως μόνο περιορισμένη πληροφορία σχετικά με τις τιμές των επεξηγηματικών μεταβλητών.

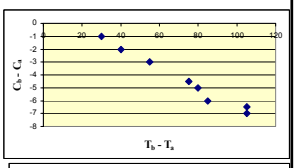


ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Μέθοδος Δεδηλωμένων Προτιμήσεων

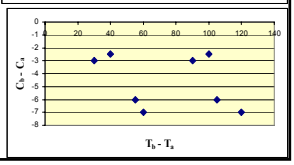
Απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη ενός αξιόπιστου μοντέλου είναι οι επεξηγηματικές μεταβλητές να μην είναι συγγραμικές. Εάν είναι, τότε δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθεί η επιρροή της κάθε μεταβλητής στην διαμόρφωση των αποφάσεων που παίρνουν οι μετακινούμενοι. Η συγγραμικότητα μπορεί να ελεγχθεί με υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης. Παράλληλα όμως, και μια γραφική απεικόνιση των στοιχείων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να γίνει μια προκαταρκτική αξιολόγηση των στοιχείων.

Η γραφική απεικόνιση δείχνει ότι με τις τιμές που χρησιμοποιήθηκαν στα σενάρια 1-8, οι επεξηγηματικές μεταβλητές είναι συγγραμικές. Επομένως τα σενάρια 1-8 δεν θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν στην έρευνα δεδηλωμένων προτιμήσεων.

σενάριο	$T_b - T_a$	$C_b - C_a$
1	105	-7
2	105	-6,5
3	85	-6
4	80	-5
5	75	-4,5
6	55	-3
7	40	-2
8	30	-1



σενάριο	$T_b - T_a$	$C_b - C_a$
9	120	-7
10	105	-6
11	100	-2,5
12	90	-3
13	60	-7
14	55	-6
15	40	-2,5
16	30	-3



ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Αθροιστικές επιλογές και προβλέψεις

Προβλέψεις αθροιστικών επιλογών

Το ποσοστό ***PR(i)*** του πληθυσμού που κάνει την επιλογή ***i*** υπολογίζεται από την σχέση :

$$PR(i) = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} P(i \mid X_n)$$

Όπου

N είναι το μέγεθος του πληθυσμού, δηλ. όλοι οι μετακινούμενοι στην περιοχή μελέτης,

n συμβολίζει τον κάθε μετακινούμενο, και $P(i|X_n)$ είναι η πιθανότητα ο μετακινούμενος n να επιλέξει το i .

Η σχέση δεν μπορεί να εφαρμοσθεί στην πράξη δεδομένου ότι, απαιτεί τα χαρακτηριστικά* **κάθε** μετακινούμενου και των επιλογών πού έχει. (***η άθροιση γίνεται για N μετακινούμενους δηλ. για όλους τους μετακινούμενους στην περιοχή μελέτης***).

* τα χαρακτηριστικά είναι οι μεταβλητές που περιλαμβάνονται στην συνάρτηση της ωφέλειας

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Αθροιστικές επιλογές και προβλέψεις

Αθροιστικές επιλογές και προβλέψεις

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Αθροιστικές επιλογές και προβλέψεις

Προβλέψεις αθροιστικών επιλογών

Μέθοδοι υπολογισμού των αθροιστικών επιλογών στην περιοχή μελέτης, δηλ. του ποσοστού του πληθυσμού των μετακινούμενων που θα κάνει κάθε επιλογή, είναι :

- Η απλουστευτική μέθοδος (Naive method)
- Μέθοδος κατηγοριοποίησης της αγοράς (market segmentation)
- Μέθοδος απαρίθμησης δείγματος (artificial sample enumeration)

Η απλουστευτική μέθοδος

Η απλουστευτική μέθοδος χρησιμοποιεί τους μέσους όρους των χαρακτηριστικών των μετακινούμενων και των επιλογών για να υπολογίσει το ποσοστό (την πιθανότητα) των μετακινούμενων που κάνει κάθε επιλογή.

$$P(i) = \frac{e^{\overline{V}_i}}{e^{\overline{V}_i} + e^{\overline{V}_j}}$$

$\overline{V}_i$ η μέση ωφέλεια από την επιλογή i

$$\overline{V}_i = \beta_0 + \beta_1 \overline{IVTT} + \beta_2 \overline{CST} + \beta_3 \overline{INC} + \ldots$$

όπου

$\overline{IVTT}$ Ο μέσος χρόνος εντός του οχήματος

$\overline{CST}$ Το μέσο κόστος μετακίνησης

$\overline{INC}$ Το μέσο εισόδημα στον πληθυσμό

Παράδειγμα εφαρμογής της απλουστευτικής μεθόδου

$$\Pr(IX) = \frac{1}{1 + e^{-1.0 - 0.1(T_{MMM} - T_{IX})}}$$

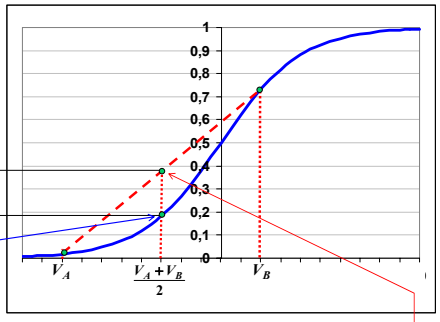
T_{MMM} - T_{IX}	αριθμός μετακινούμενων	V_{MMM}-V_{IX}	Pr(IX)
10	200	-2.0	0.881
-5	200	-0.5	0.622
Μέσος όρος 2,5		-1,3	0,777

$\overline{\Pr(IX)}$ = 0,751

Η απλουστευτική μέθοδος

- Όταν εφαρμόζεται η απλουστευτική μέθόδος οι μέσες τιμές των επεξηγηματικών μεταβλητών αντικαθιστώνται στην συνάρτηση ωφέλειας. Οι μέσες τιμές των συναρτήσεων ωφέλειας που προκύπτουν με αυτό τον τρόπο, αντικαθιστώνται στις εξισώσεις των μοντέλων logit για να εκτιμηθεί το μερίδιο της κάθε επιλογής i (δηλ. το ποσοστό Pi των μετακινούμενων που κάνουν κάθε επιλογή i).
- Το μερίδιο της κάθε επιλογής που υπολογίζεται με αυτή την μέθοδο δεν είναι το ίδιο με αυτό που προκύπτει σαν ο μέσος όρος των αντίστοιχων πιθανοτήτων στο σύνολο των μετακινούμενων.

Επειδή το μοντέλο είναι μη γραμμικό, η χρήση της απλουστευτικής μεθόδου για την πρόβλεψη αθροιστικών επιλογών, εισάγει σφάλματα εκτίμησης



Εάν εξετάσουμε την περίπτωση δύο μετακινούμενων A και B, η αθροιστική πιθανότητα για το γκρουπ των δύο μετακινούμενων θα είναι [$P(V_A)+P(V_B)$] / 2. Όμως η απλουστευτική μέθοδος υπολογίζει αυτή την πιθανότητα σαν: P[$(V_A+V_B)/2$].

Παράδειγμα εφαρμογής της απλουστευτικής μεθόδου

Με βάση στοιχεία κυκλοφοριακής έρευνας, βαθμονομήθηκε μοντέλο επιλογής μέσου, τύπου logit, όπου οι συναρτήσεις ωφέλειας του IX και MMM δίνονται από τις σχέσεις:

V_{IX} = 1.0 - 0.1T_{IX}

V_{MMM} = - 0.1T_{MMM}

όπου T: ο χρόνος διαδρομής με το αντίστοιχο μέσο

Να υπολογισθούν τα μερίδια του IX και του MMM, σε περιοχή με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά

Αριθμός μετακινούμενων	T_{MMM} - T_{Λ}
200	10
200	-5

Η μέθοδος κατηγοριοποίησης της αγοράς

- Στην μέθοδο κατηγοριοποίησης / τμηματοποίησης της αγοράς, το σύνολο των μετακινούμενων που αναλύεται, χωρίζεται σε τμήματα (κατηγορίες) με σχετικά ομοιόμορφα χαρακτηριστικά και στην συνέχεια κάθε κατηγορία αναλύεται ξεχωριστά.
- Οι μέσες τιμές των χαρακτηριστικών κάθε κατηγορίας εισάγονται στο μοντέλο επιλογής που υπολογίζει τις πιθανότητες επιλογής για κάθε κατηγορία. Στην συνέχεια υπολογίζεται ο σταθμισμένος μέσος όρος όλων των κατηγοριών όπου η βαρύτητα κάθε κατηγορίας καθορίζεται από το μέγεθος της.
- Το ποσοστό των μετακινούμενων που κάνει την επιλογή i, υπολογίζεται από την σχέση:

$$PR(i) = \frac{1}{N} \sum_{c=1}^{C} P(i \mid X_c).N_c$$

όπου

c συμβολίζει την κατηγορία με ομοιόμορφα χαρακτηριστικά,

Nc είναι ο αριθμός των μετακινούμενων στην κατηγορία c

Xc ο μέση τιμή του χαρακτηριστικών μέσα την κατηγορία c

- Η ακρίβεια της μεθόδου εξαρτάται από τον αριθμό των κατηγοριών, και τα κριτήρια βάσει των οποίων έγινε η κατηγοριοποίηση.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Αθροιστικές επιλογές και προβλέψεις

Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου κατηγοριοποίησης της αγοράς

Με βάση στοιχεία κυκλοφοριακής έρευνας, βαθμονομήθηκε μοντέλο επιλογής μέσου, τύπου logit, όπου οι συναρτήσεις ωφέλειας του ΙΧ και ΜΜΜ δίνονται από τις σχέσεις:

$V_{IX} = 0.5 - 0.1T_{IX} + 0{,}5AA$

$V_{MMM} = - 0.1T_{MMM}$

όπου **T**: ο χρόνος διαδρομής με το αντίστοιχο μέσο

AA: η ιδιοκτησία ΙΧ

Να υπολογισθούν τα μερίδια του ΙΧ και του ΜΜΜ, σε περιοχή με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον πίνακα

Αριθμός μετακινούμενων (Nc)	χρόνος διαδρομής με ΜΜΜ - χρόνος διαδρομής με ΙΧ (Δtt)	Ιδιοκτησία ΙΧ (AA)
60	20	1
20	-5	1
20	0	1
20	-5	1
20	-10	1
70	-12	1
40	30	2
20	25	2
10	20	2
10	15	2
15	10	2
35	-20	2

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Αθροιστικές επιλογές και προβλέψεις

Η μέθοδος απαρίθμησης του τεχνητού δείγματος

Στην μέθοδο απαρίθμησης του τεχνητού δείγματος,

- με βάση τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού που αναλύεται, δημιουργείται ένα τεχνητό δείγμα τα χαρακτηριστικά του οποίου ακολουθούν την ίδια κατανομή με αυτή που ακολουθούν τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού.
- Το δείγμα αυτό συνδέεται με τα χαρακτηριστικά της χωρικής κατανομής των μετακινήσεων στην περιοχή μελέτης, και έτσι σε κάθε μέλος του δείγματος αντιστοιχεί και μια μετακίνηση με τα χαρακτηριστικά της.
- Το μοντέλο επιλογής εφαρμόζεται σε κάθε μέλος του τεχνητού δείγματος και υπολογίζεται η πιθανότητα κάθε μέλος του τεχνητού δείγματος να κάνει μια επιλογή.
- Το ποσοστό του πληθυσμού που θα κάνει μια συγκεκριμένη επιλογή υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των πιθανοτήτων που υπολογίσθηκαν για όλα τα μέλη του τεχνητού δείγματος

Η μέθοδος απαρίθμησης του τεχνητού δείγματος δίνει τα πλέον αξιόπιστα αποτελέσματα. Απαιτεί όμως μεγάλο αριθμό στοιχείων, εξειδικευμένο λογισμικό και γνώση στατιστικών μεθόδων και οικονομετρίας για την δημιουργία του τεχνητού δείγματος

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Αθροιστικές επιλογές και προβλέψεις

Η πιθανότητα επιλογής του ΙΧ υπολογίζεται από την σχέση

$$\Pr(IX) = \frac{1}{1 + e^{-0.5 - 0.1(T_{MMM} - T_{IX}) - 0.5AA}} \Rightarrow$$

$$\Pr(IX) = \frac{1}{1 + e^{-0.5 - 0.1\Delta tt - 0.5AA}}$$

Για κάθε μια από τις κατηγόριες όπως ορίζεται από τα χαρακτηριστικά των μετακινούμενων (δηλ. στο συγκεκριμένο παράδειγμα από την ιδιοκτησία ΙΧ) και τα χαρακτηριστικά των επιλογών (δηλ. από τον χρόνο μετακίνησης με κάθε μέσο) υπολογίζεται ο η πιθανότητα χρήσης (δηλ. το μερίδιο που παίρνει το κάθε μέσο) ΙΧ και ΜΜΜ. Τα μερίδια σταθμίζονται με βάση των αριθμό των μετακινούμενων σε κάθε κατηγορία και στην συνέχεια υπολογίζεται ο σταθμισμένος μέσος όρος των μεριδίων στην περιοχή μελέτης

ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΙΑΚΡ. ΕΠΙΛΟΓΩΝ : Αθροιστικές επιλογές και προβλέψεις

	Αριθμός μετακινούμενων (Nc)	χρόνος διαδρομής με ΜΜΜ - χρόνος διαδρομής με ΙΧ (Δtt)	Ιδιοκτησία ΙΧ (AA)	V_{MMM}-V_{IX}	Pr(IX)		Χρήστες ΙΧ
	60	20	1	-3,0	0,953		57
	20	-5	1	-0,5	0,622		12
	20	0	1	-1,0	0,731		15
	20	-5	1	-0,5	0,622		12
	20	-10	1	0,0	0,500		10
	70	-12	1	0,2	0,450		32
	40	30	2	-4,5	0,989		40
	20	25	2	-4,0	0,982		20
	10	20	2	-3,5	0,971		10
	10	15	2	-3,0	0,953		10
	15	10	2	-2,5	0,924		14
	35	-20	2	0,5	0,378		13
ΣΥΝΟΛΟ	**340**						**244**

⇒ με εφαρμογή της μεθόδου κατηγοριοποίησης της αγοράς προκύπτει ότι το ποσοστό χρήσης ΙΧ = 244/340 = 71,7%

Εφαρμογή της απλουστευτικής μεθόδου απαιτεί τον υπολογισμό της μέσης* διαφοράς των χρόνων διαδρομής και της μέσης* ιδιοκτησίας ΙΧ στην περιοχή μελέτης. Ο μέση διαφορά των χρόνων διαδρομής είναι 4,29 λεπτά και η μέση ιδιοκτησία ΙΧ είναι 1,38. Αντικαθιστώντας στο μοντέλο logit, το ποσοστό χρήσης ΙΧ υπολογίζεται σε 83,5%, δηλ. μια υπερεκτίμηση κατά ~12% του ποσοστού που προκύπτει με εφαρμογή της μεθόδου κατηγοριοποίησης της αγοράς.

* σταθμισμένος μέσος όρος

7 καταμερισμός στο δίκτυο

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : ορισμός του προβλήματος

Καταμερισμός στο δίκτυο - ορισμός του προβλήματος

με δεδομένα :

1. Αναπαράσταση του οδικού δικτύου με ένα χάρτη κόμβων - συνδέσμων
2. Συναρτήσεις χρόνου διαδρομής για κάθε σύνδεσμο του δικτύου
3. Πίνακα Προέλευσης – Προορισμού

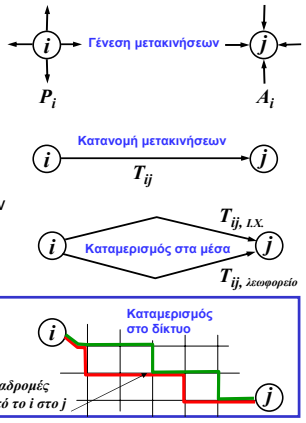
να υπολογισθούν :

1. Οι κυκλοφοριακοί φόρτοι και
2. οι χρόνοι διαδρομής

σε κάθε δρόμο του δικτύου

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : εισαγωγή

Καταμερισμός στα δίκτυο



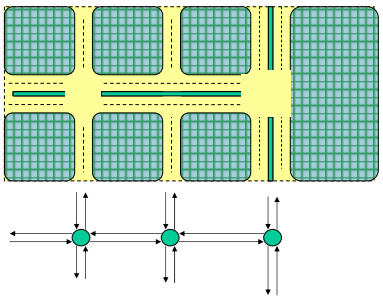
Η διαδικασία με την οποία, από τον πινάκα Π-Π των μετακινήσεων που γίνονται με ΙΧ εκτιμώνται:

- Οι διαδρομές που θα ακολουθήσουν οι μετακινούμενοι μεταξύ κάθε ζεύγους Π-Π
- Οι κυκλοφοριακοί φόρτοι σε κάθε δρόμο του οδικού δικτύου
- Οι χρόνοι διαδρομής σε κάθε δρόμο του οδικού δικτύου

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : ορισμός του προβλήματος

1. Αναπαράσταση του δικτύου με χάρτη κόμβων συνδέσμων

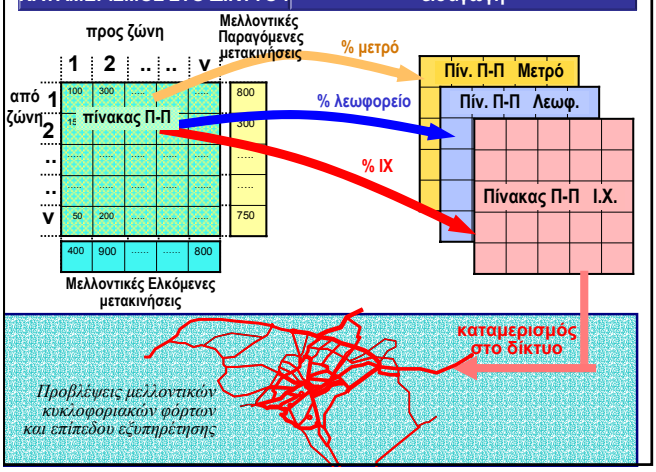
Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας του καταμερισμού στο δίκτυο, περιλαμβάνει την δημιουργία ενός «χάρτη κόμβων - συνδέσμων» που περιγράφει το δίκτυο.



Ο κόμβος αντιστοιχεί σε μια πραγματική ή ιδεατή διασταύρωση

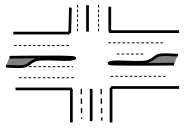
Ο σύνδεσμος αντιστοιχεί σε ένα οδικό τμήμα μεταξύ δύο κόμβων που εξυπηρετεί μια φορά κίνησης οχημάτων. Έτσι ένα αμφίδρομο οδικό τμήμα αναπαριστάται από δύο συνδέσμους με αντίθετες κατευθύνσεις.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : εισαγωγή



ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : ορισμός του προβλήματος

Κωδικοποίηση Διασταυρώσεων



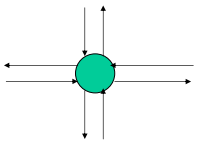
Η κωδικοποίηση μιας διασταύρωσης εξαρτάται από :

- Το επίπεδο λεπτομέρειας της ανάλυσης
- Την διαθεσιμότητα στοιχείων που έχουμε για να αναπτύξουμε, βαθμονομήσουμε και εφαρμόσουμε ένα μοντέλο.

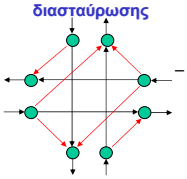
Στην λεπτομερή αναπαράσταση :

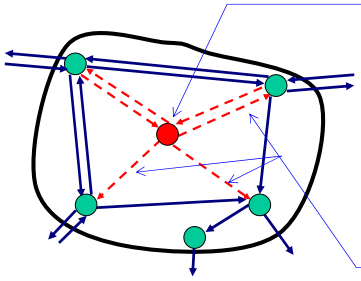
- Γίνεται μια σαφής αναπαράσταση όλων των κατευθύνσεων που εξυπηρετούνται από την διασταύρωση.
- Στρέφουσες κινήσεις αναπαρίστανται με «εσωτερικούς συνδέσμους» που χαρακτηρίζονται από την ικανότητα εξυπηρέτησης φόρτου και τις καθυστερήσεις που προκαλούν

απλή αναπαράσταση διασταύρωσης



Λεπτομερής αναπαράσταση διασταύρωσης



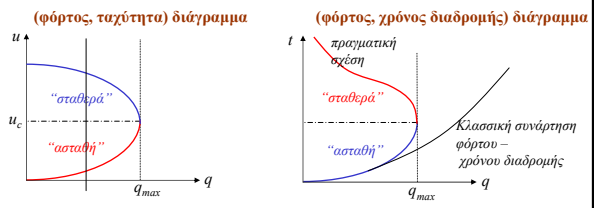


Κεντροειδές

Το ιδεατό σημείο προέλευσης ή προορισμού των μετακινήσεων που παράγονται ή έλκονται από μια ζώνη

Τα κεντροειδή συνδέονται με του υπόλοιπο δίκτυο μέσω ενός ή περισσότερων ιδεατών συνδέσμων που ονομάζονται **σύνδεσμοι κεντροειδών**

Διαγράμματα που προκύπτουν από τις θεμελιώδεις σχέσεις της κυκλοφοριακής ροής



- **Διαδρομή μεταξύ δύο κόμβων:** είναι μια διαδοχική σειρά συνδέσμων η οποία συνδέει τους δύο κόμβους.
- **Δένδρο διαδρομών** : αναφέρεται σε ένα κεντροειδές προέλευσης και δίνει όλες τις διαδρομές που το συνδέουν με τα υπόλοιπα κεντροειδή βάσει ενός κριτηρίου που έχει επιλεγεί. Για παράδειγμα αν το κριτήριο είναι ο συντομότερος χρόνος διαδρομής, το δένδρο αποτελείται από όλες τις συντομότερες διαδρομές που συνδέουν τον υπό ανάλυση κόμβο με του υπόλοιπους κόμβους του δικτύου.

Συναρτήσεις φόρτου – χρόνου διαδρομής

Μια από τις πλέον συνήθεις συναρτήσεις χρόνου διαδρομής – φόρτου είναι η συνάρτηση που του Bureau of Public Roads – Federal Highway Administration (ΗΠΑ)

$$t(x) = t_0\left[1+\alpha\left(\frac{x}{c}\right)^{\beta}\right]$$

όπου

t(x) = χρόνος διαδρομής όταν ο φόρτος είναι x

t_0 = χρόνος υπό συνθήκες ελεύθερης ροής

x = φόρτος (οχ/ώρα)

c = χωρητικότητα (οχ/ώρα)

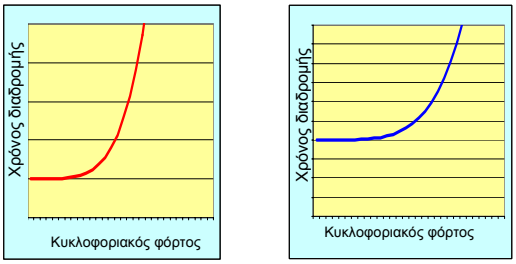
α, β = παράμετροι (από βαθμονόμηση)

Συνήθεις τιμές για τις παραμέτρους είναι α=0,15 και β=4,

c είναι η πρακτική χωρητικότητα = ¾ x φόρτο κορεσμού

t_0 ο χρόνος σε συνθήκες πρακτικής χωρητικότητας x 0,87

2. Συναρτήσεις χρόνου διαδρομής – φόρτου



Ο χρόνος διαδρομής είναι αύξουσα συνάρτηση του κυκλοφοριακού φόρτου – δυο τυπικά παραδείγματα

3. Πίνακας Προέλευσης – Προορισμού

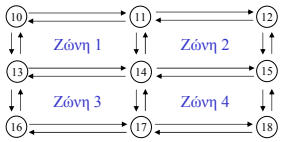
		ΖΩΝΗ ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΥ (προς ζώνη)						
		1	2	3	4	5	.....	N
ΖΩΝΗ (από ζώνη)	1	1000	1450				.....	
	2	2500	2000				.....	
	3	7000	1000				.....	
	4	4000	3000				.....	
	5	3000	6000				.....	
	.....						.....	
	N						.....	

Ο πίνακας Π-Π είναι συνήθως ο πίνακας της ώρας αιχμής για κυκλοφοριακά συμφορημένες αστικές περιοχές, και ίσως άλλοι πίνακες για περιόδους εκτός αιχμής ή άλλες περιόδους αιχμής (π.χ. επιστροφή μετακινούμενων από περιοχές αναψυχής το απόγευμα της Κυριακής).

24ωροι πίνακες χρησιμοποιούνται για τον καταμερισμό της κυκλοφορίας σε μη κυκλοφοριακά συμφορημένα δίκτυα. Η μετατροπή του 24ωρου πίνακα σε ωριαίους πίνακες είναι σπάνια ικανοποιητική δεδομένου ότι οι 24ωροι πίνακες είναι συνήθως συμμετρικοί ενώ οι ωριαίοι σπανίως είναι.

Οι πίνακες που έχουν υπολογισθεί σε προηγούμενα στάδια (δηλ. της γένεσης και της κατανομής των μετακινήσεων) μπορεί να εκφράζουν μετακινήσεις προσώπων, οπότε χρησιμοποιώντας στοιχεία πληρότητας οχημάτων θα πρέπει να μετατραπούν σε ταξίδια οχημάτων, δεδομένου ότι οι σχέσεις φόρτου-ταχύτητας εκφράζονται σε οχήματα.

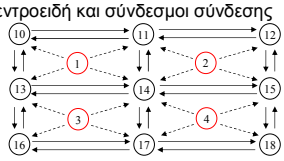
ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : ορισμός του προβλήματος



Φόρτοι από ζώνη σε ζώνη

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
Zone 1	0	90	120	80
Zone 2	100	0	60	130
Zone 3	120	180	0	50
Zone 4	40	70	150	0

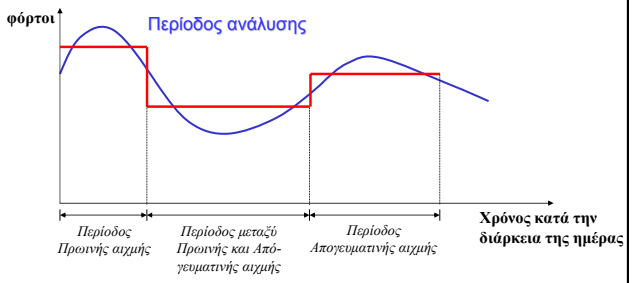
Κεντροειδή και σύνδεσμοι σύνδεσης



Φόρτοι από κόμβο σε κόμβο

	1	2	3	4
1	0	90	120	80
2	100	0	60	130
3	120	180	0	50
4	40	70	150	0

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα καταμερισμού



Στα Στατικά μοντέλα καταμερισμού

- Κατά την διάρκεια της περιόδου ανάλυσης, οι φόρτοι θεωρούνται ομοιόμορφα κατανεμημένοι για να μπορούμε να εφαρμόσουμε ανάλυση σταθερής κατάστασης
- Η διάρκεια της περιόδου ανάλυσης είναι μεγαλύτερη από την διάρκεια μιας μετακίνησης
- Τυπικές περίοδοι ανάλυσης: πρωινή αιχμή, απογευματινή αιχμή, η περίοδος μεταξύ πρωινής και απογευματινής αιχμής, το 24ωρο.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : ορισμός του προβλήματος

Μοντέλα καταμερισμού – κύρια χαρακτηριστικά

Τα μοντέλα καταμερισμού:

- αναλύουν οδικά δίκτυα
- κατανέμουν την ζήτηση για μετακίνηση ανάμεσα σε κάθε ζεύγος Π – Π στις εναλλακτικές διαδρομές που ενώνουν το υπόψη ζεύγος
- υπολογίζουν κυκλοφοριακούς φόρτους και χρόνους διαδρομής στους συνδέσμους του δικτύου

Ανάλογα με το πώς αναλύουν την χρονική διάσταση της ζήτησης, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

Στατικά

αγνοούν την χρονική διάσταση της ζήτησης για μετακίνηση

Δυναμικά

Λαμβάνουν υπόψη τη χρονική μεταβλητότητα της ζήτησης για μετακίνηση

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα καταμερισμού

Στατικά μοντέλα καταμερισμού της κυκλοφορίας

Ντετερμινιστικά

Οι οδηγοί έχουν:

- *πλήρη γνώση των κυκλοφοριακών συνθηκών*
- *Οικονομικά ορθολογική συμπεριφορά*

Στοχαστικά

Οι οδηγοί έχουν:

- *ελλιπή γνώση των κυκλοφοριακών συνθηκών*
- *ιδιαίτερες προτιμήσεις και περιορισμούς επιλογής που οδηγούν σε μη οικονομικά ορθολογική συμπεριφορά*
- *μεταβλητότητα ως προς τον τρόπο αντίληψης των κυκλοφοριακών συνθηκών.*

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : ορισμός του προβλήματος

Στατικά Μοντέλα καταμερισμού στο δίκτυο

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά ντετερμινιστικά μοντέλα

Στατικά Ντετερμινιστικά μοντέλα

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά ντετερμινιστικά μοντέλα

Η επίλυση του προβλήματος καταμερισμού

για την επίλυση του προβλήματος του καταμερισμού στο δίκτυο απαιτείται ο καθορισμός του

κανόνα επιλογής διαδρομής

που χρησιμοποιούν οι οδηγοί

Παραδοχή κανόνα: Κάθε οδηγός προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει τον χρόνο (κόστος) διαδρομής του

Δεδομένης της ζήτησης για μετακίνηση μεταξύ ενός ζεύγους Π - Π,

Ερώτημα: Πως θα κατανεμηθούν οι οδηγοί στις διαδρομές που ενώνουν το συγκεκριμένο ζεύγος Π-Π?

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή διαδρομής είναι ό χρόνος, το κόστος (καύσιμο κ.α.), η απόσταση, η κυκλοφοριακή συμφόρηση, ο τύπος της οδού (αυτοκινητόδρομος, δευτερεύουσα κλπ), το τοπίο, η σήμανση, η ασφάλεια, η αξιοπιστία του χρόνου, η συνήθεια που έχουν οι μετακινούμενοι να χρησιμοποιούν μια διαδρομή κλπ. Στην πράξη δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν όλοι αυτοί οι παράγοντες και συνήθως χρησιμοποιούνται προσεγγίσεις. Σε αστικές περιοχές ο κύριος παράγοντας που καθορίζει την επιλογή διαδρομής είναι συνήθως ο χρόνος. Ο συνδυασμός χρόνου και μήκους διαδρομής έχει επίσης αποδειχθεί ότι αποτελεί μια κατάλληλη προσέγγιση του γενικευμένου κόστους

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος συντομότερης διαδρομής

το πρόβλημα της συντομότερης διαδρομής - ορισμός -

Δεδομένα :

- Οδικό δίκτυο που αναπαρίσταται με χάρτη κόμβων συνδέσμων
- Καθορισμός δύο κόμβων που αποτελούν το ζεύγος Π-Π που αναλύεται.
- Κάθε σύνδεσμος του δικτύου χαρακτηρίζεται από ένα συγκεκριμένο μήκος/ χρόνο διαδρομής / κόστος.

Στόχος:

- Να προσδιορισθεί η συντομότερη διαδρομή (δηλ. η διαδρομή με το μικρότερο συνολικό μήκος/ χρόνο διαδρομής / κόστος) από τον κόμβο προέλευσης στον κόμβο προορισμού.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά ντετερμινιστικά μοντέλα

Κατηγορίες στατικών ντετερμινιστικών μοντέλων καταμερισμού

Τα μοντέλα καταμερισμού χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με το αν θεωρούν ότι ο χρόνος διαδρομής σε ένα σύνδεσμο του δικτύου είναι συνάρτηση του κυκλοφοριακού φόρτου.

Καταμερισμός « ΌΛΑ η ΤΙΠΟΤΑ »

που θεωρεί ότι ο χρόνος διαδρομής σε ένα σύνδεσμο είναι σταθερός και ανεξάρτητος του φόρτου που χρησιμοποιεί τον σύνδεσμο.

Καταμερισμός « ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ »

που λαμβάνει υπόψη του την κυκλοφοριακή συμφόρηση και θεωρεί ότι ο χρόνος διαδρομής σε ένα σύνδεσμο εξαρτάται από τον φόρτο που χρησιμοποιεί τον σύνδεσμο.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος συντομότερης διαδρομής

Συντομότερη διαδρομή: ο Αλγόριθμός του Dijkstra

- Βρίσκει την συντομότερη διαδρομή από έναν κόμβο προέλευσης των μετακινήσεων προς όλους τους άλλους κόμβους.
- Παραδοχές
  - Κανένας σύνδεσμος δεν μπορεί να έχει αρνητικό κόστος (χρόνο, μήκος)
- Είναι μια επαναληπτική διαδικασία
- Για κάθε κόμβο i υπολογίζεται ένας δείκτης (l_i), που είναι το ελάχιστο κόστος (ελάχιστος χρόνος) από τον κόμβο προέλευσης μέχρι τον υπόψη κόμβο i, στην τρέχουσα επανάληψη (δηλ. η καλύτερη διαδρομή που έχει βρεθεί μέχρι αυτή την επανάληψη, που συνδέει το κόμβο προέλευσης με τον κόμβο i).
- Για κάθε κόμβο i ορίζεται ένας δείκτης p_i που είναι ο αμέσως «προηγούμενος κόμβος» επάνω στην συντομότερη διαδρομή όπως έχει καθορισθεί στην τρέχουσα επανάληψη.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά ντετερμινιστικά μοντέλα

Καταμερισμός «Όλα ή τίποτα»

Παραδοχές:

1. Οι μετακινούμενοι θέλουν να χρησιμοποιήσουν **την συντομότερη διαδρομή** που συνδέει το σημείο προέλευσης τους με το σημείο προορισμού τους
2. ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΔΕΝ ΣΥΝΕΠΑΓΕΤΑΙ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

Μέθοδος

1. Προσδιορισμός των συντομότερων διαδρομών από κάθε σημείο Προέλευσης προς όλους του προορισμούς
2. Φόρτιση όλων των μετακινήσεων μεταξύ ενός σημείου προέλευσης και ενός σημείου προορισμού στους συνδέσμους που αποτελούν την συντομότερη διαδρομή
3. Για κάθε σύνδεσμο: άθροιση όλων των φόρτων που προκύπτουν από κάθε ζεύγος Π - Π

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος συντομότερης διαδρομής

Συντομότερη διαδρομή: ο Αλγόριθμός του Dijkstra

- Οι δείκτες/κόμβοι είναι :
  - Μόνιμοι: όταν έχουμε βρει την συντομότερη διαδρομή από τον κόμβο προέλευσης μέχρι τον υπό εξέταση κόμβο.
  - Προσωρινοί: όταν κάνουμε μια πρόβλεψη, αλλά δεν είμαστε σίγουροι
- Μια λίστα (LIST) διατηρείται και ενημερώνεται σε κάθε επανάληψη.
- Η λίστα περιέχει τους κόμβους που θα πρέπει να εξετασθούν στις επόμενες επαναλήψεις (προσωρινοί κόμβοι).

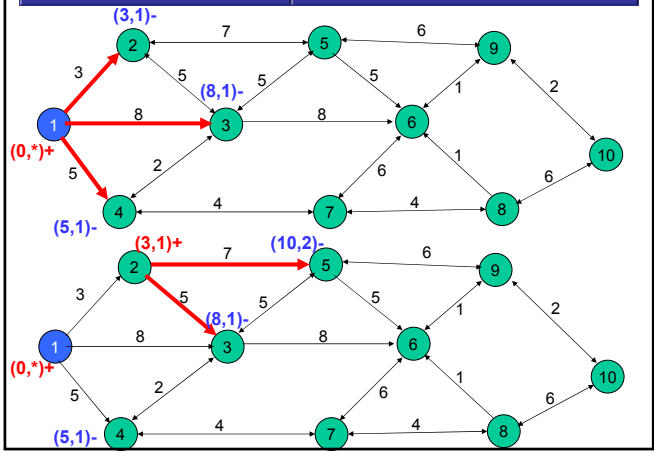
ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος συντομότερης διαδρομής

Συντομότερη διαδρομή: ο Αλγόριθμός του Dijkstra

➔ Βήμα 0: Έναρξη
- Ο «υπό ανάλυση» κόμβος είναι ο κόμβος προέλευσης
- έστω l_i=0 για τον κόμβο προέλευσης,
- Έστω $l_i = \infty$ για όλους τους άλλους κόμβους
- Ο κόμβος προέλευσης μπαίνει στην λίστα : LIST={o}

➔ Βήμα 1: Τεστ βελτιστοποίησης
- Εάν η λίστα είναι άδεια ο αλγόριθμος τερματίζει. Οι δείκτες αναπαριστούν το ελάχιστο κόστος διαδρομής από τον κόμβο προέλευσης προς τους αντίστοιχους κόμβους.
- Εάν η λίστα δεν είναι άδεια, συνέχισε στο βήμα 2.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος συντομότερης διαδρομής



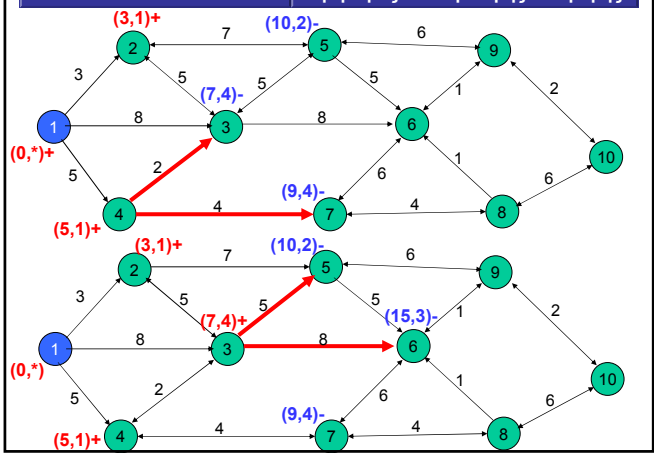
ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος συντομότερης διαδρομής

➔ Βήμα 2: Επιλογή ο Αλγόριθμός του Dijkstra
- Επέλεξε από την λίστα τον κόμβο με τον μικρότερο δείκτη l_i
- Κάνε αυτόν τον κόμβο μόνιμο
- Θεώρησε αυτόν τον κόμβο ως τον «υπό ανάλυση κόμβο» και διέγραψε τον από την λίστα LIST

➔ Βήμα 3: Ενημέρωση
- Έλεγξε κάθε κόμβο ο οποίος συνδέεται με ένα σύνδεσμο με τον «υπό ανάλυση κόμβο»
- Εάν ο κόμβος j συνδέεται με ένα σύνδεσμο με τον κόμβο i και $l_j>l_i+c_{ij}$ (c_{ij} είναι το κόστος/χρόνος/μήκος του συνδέσμου (i,j))
  - Ενημέρωσε τον δείκτη l_j του κόμβου j: $l_j=l_i+c_{ij}$ (δηλ. είναι συντομότερο να προσεγγίσουμε το j από τον κόμβο i)
  - Ενημέρωσε τον δείκτη p_j του κόμβου j: $p_j=i$ (δηλ. ο κόμβος που είναι προηγούμενος κόμβος του j στην συντομότερη διαδρομή είναι ο κόμβος i)
  - Βάλε τον κόμβο j στην λίστα LIST

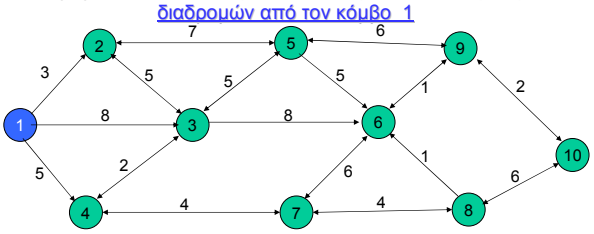
➔ Πήγαινε στο βήμα 1

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος συντομότερης διαδρομής

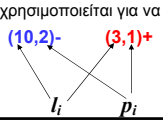


ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος συντομότερης διαδρομής

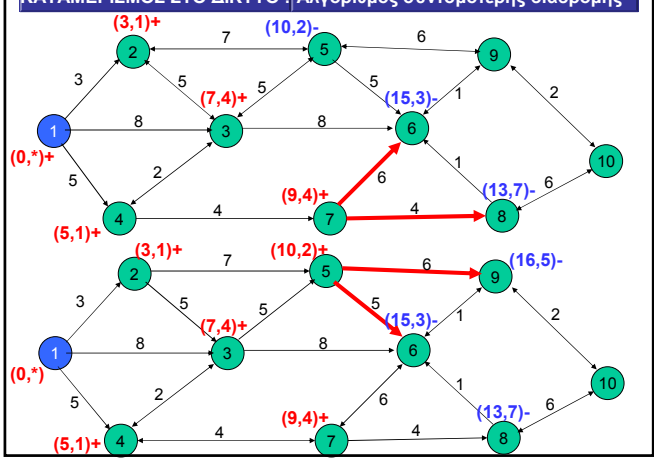
Άσκηση: να υπολογισθεί το δένδρο των συντομότερων διαδρομών από τον κόμβο 1



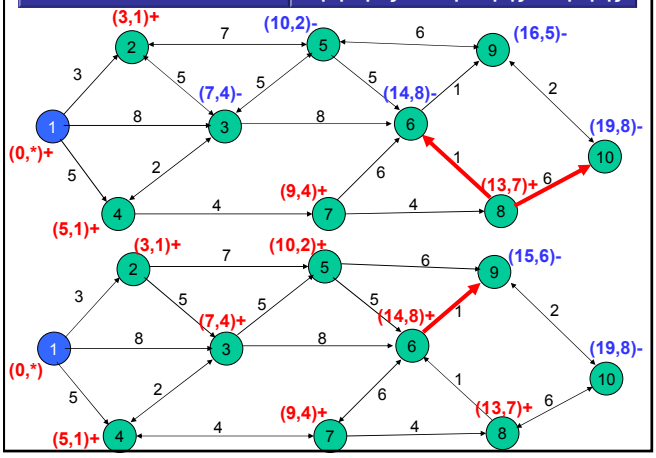
Στο παράδειγμα που ακολουθεί, οι δείκτες που υπολογίζονται σε κάθε επανάληψη του αλγόριθμου Dijkstra, αναγράφονται δίπλα στον σχετικό κόμβο. Ο πρώτος μέσα στην παρένθεση είναι η τιμή του δείκτη l_i και ο δεύτερος δείκτης συμβολίζει τον δείκτη p_i. Το σύμβολο **+** χρησιμοποιείται για να δείξει ότι ο κόμβος είναι σταθερός και το σύμβολο **–** ότι ο κόμβος είναι προσωρινός.



ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος συντομότερης διαδρομής



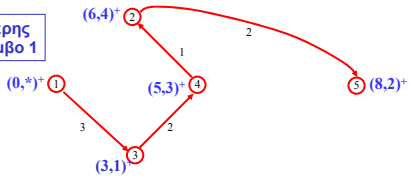
ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος συντομότερης διαδρομής



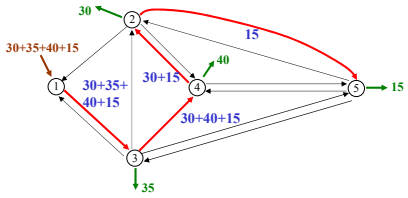
Στατικά Ντετερμινιστικά μοντέλα : Καταμερισμός Όλα ή Τίποτα

Καταμερισμός φόρτων από κόμβο 1

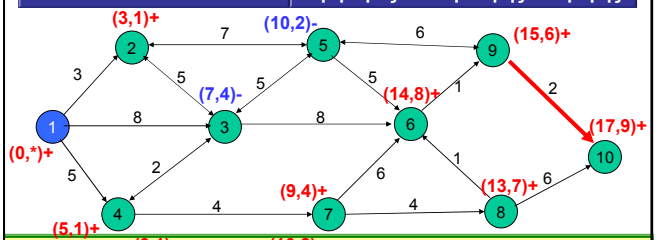
Δένδρο συντομότερης Διαδρομής από κόμβο 1

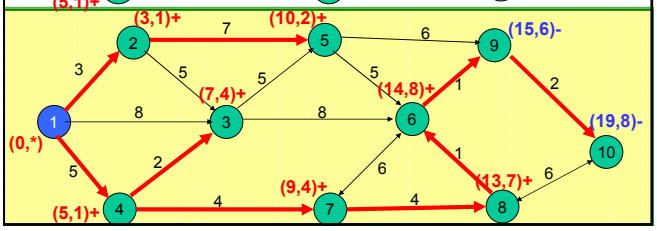


Φόρτιση του δικτύου με τις μετακινήσεις που έχουν Προέλευση τον κόμβο 1



ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος συντομότερης διαδρομής

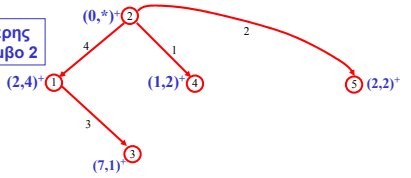




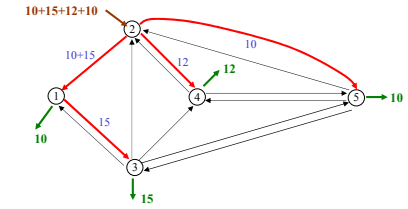
Στατικά Ντετερμινιστικά μοντέλα : Καταμερισμός Όλα ή Τίποτα

Καταμερισμός φόρτων από κόμβο 2

Δένδρο συντομότερης Διαδρομής από κόμβο 2

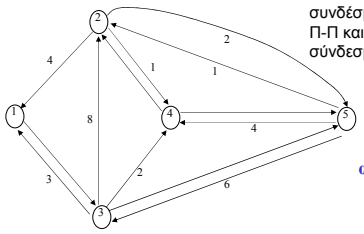


Φόρτιση του δικτύου με τις μετακινήσεις που έχουν Προέλευση τον κόμβο 2



Στατικά Ντετερμινιστικά μοντέλα : Καταμερισμός Όλα ή Τίποτα

Παράδειγμα καταμερισμού «όλα ή τίποτα»



Να υπολογισθούν οι φόρτοι στους συνδέσμους του δικτύου. Δίδεται ο πίνακας Π-Π και οι χρόνοι ελεύθερης ροής σε κάθε σύνδεσμο του δικτύου.

Πίνακας Π - Π

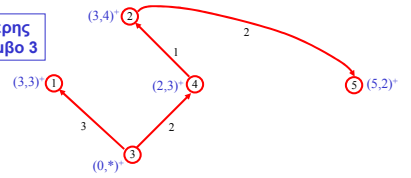
προς

από	1	2	3	4	5
1	–	30	35	40	15
2	10	–	15	12	10
3	50	40	–	35	20
4	25	30	35	–	40
5	45	30	35	40	–

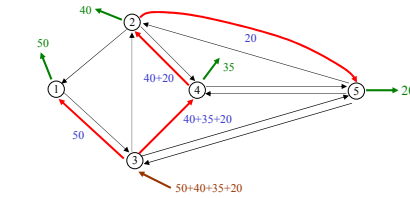
Στατικά Ντετερμινιστικά μοντέλα : Καταμερισμός Όλα ή Τίποτα

Καταμερισμός φόρτων από κόμβο 3

Δένδρο συντομότερης Διαδρομής από κόμβο 3



Φόρτιση του δικτύου με τις μετακινήσεις που έχουν Προέλευση τον κόμβο 3

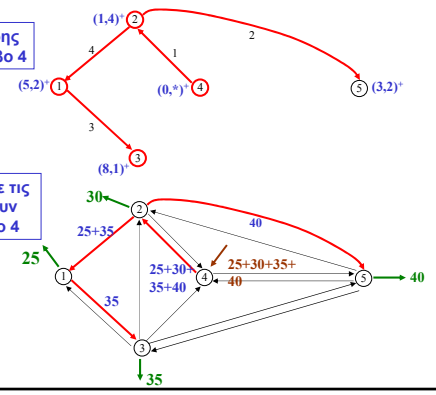


Στατικά Ντετερμινιστικά μοντέλα : Καταμερισμός Όλα ή Τίποτα

Καταμερισμός φόρτων από κόμβο 4

Δένδρο συντομότερης Διαδρομής από κόμβο 4

Φόρτιση του δικτύου με τις μετακινήσεις που έχουν Προέλευση τον κόμβο 4



ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα ισορροπίας

Προσομοίωση της διαδικασίας καταμερισμού των μετακινήσεων στο δίκτυο

Αν θέλουμε να προσομοιώσουμε την διαδικασία καταμερισμού της ζήτησης, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι κατ΄ αρχάς όλοι οι μετακινούμενοι θα επιλέξουν την συντομότερη διαδρομή , αυτό όμως θα επιφέρει αύξηση της κυκλοφορίας ……

Όλοι επιλέγουν την συντομότερη διαδρομή 1

Αύξηση της κυκλοφορίας, κορεσμός => διαδρομή 1 δεν είναι συντομότερη

Μερικοί θα αλλάξουν διαδρομή και θα επιλέξουν την διαδρομή 2

Αύξηση της κυκλοφορίας, κορεσμός διαδρομής 2

Μερικοί θα αλλάξουν διαδρομή και θα επιλέξουν την διαδρομή 3

Αύξηση της κυκλοφορίας, κορεσμός διαδρομής 3

……

……

……

……

Αλλαγή σε άλλη διαδρομή ΔΕΝ συνεπάγεται μείωση του χρόνου διαδρομής

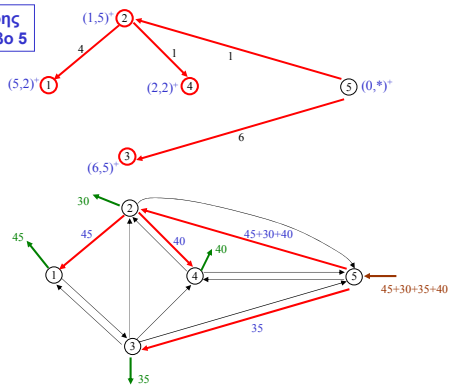
κατάσταση ισορροπίας

Στατικά Ντετερμινιστικά μοντέλα : Καταμερισμός Όλα ή Τίποτα

Καταμερισμός φόρτων από κόμβο 5

Δένδρο συντομότερης Διαδρομής από κόμβο 5

Φόρτιση του δικτύου με τις μετακινήσεις που έχουν Προέλευση τον κόμβο 5



ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα ισορροπίας

Η αρχή του Wardrop (1952)

Ο τρόπος που καταμερίζεται η κυκλοφορία σε ένα οδικό δίκτυο διατυπώθηκε για πρώτη φορά το 1952 από τον Wardrop, που εισήγαγε την έννοια της ισορροπίας, που αποτελεί ορόσημο στην θεωρεία προτυποποίησης των συγκοινωνιακών συστημάτων.

Σύμφωνα με την αρχή της συνθήκης ισορροπίας, η κυκλοφορία κατανέμεται σε ένα δίκτυο έτσι ώστε :

‘ **οι χρόνοι ταξιδιού σε όλες τις διαδρομές που χρησιμοποιούνται είναι ίσοι** και μικρότεροι από τον χρόνο που θα έκανε ένα όχημα εάν ταξίδευε κατά μήκος μίας διαδρομής που δεν χρησιμοποιείται ……

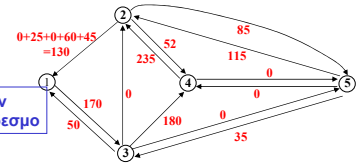
….. δεδομένου ότι μπορούμε να υποθέσουμε ότι η κυκλοφορία θα καταλήξει σε μια κατάσταση ισορροπίας στην οποία κανένας μετακινούμενος δεν μπορεί να ελαττώσει τον χρόνο διαδρομής του επιλέγοντας μια νέα διαδρομή ’

«συνθήκη ισορροπίας των χρηστών του δικτύου»

Στατικά Ντετερμινιστικά μοντέλα : Καταμερισμός Όλα ή Τίποτα

Αποτελέσματα του καταμερισμού Όλα ή Τιποτα

Άθροιση όλων των φόρτων σε κάθε σύνδεσμο



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

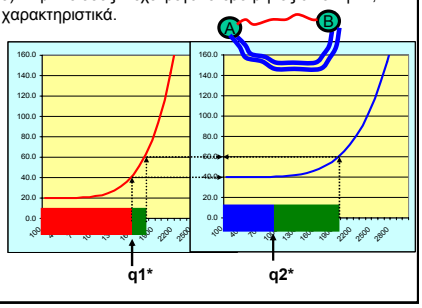
- ***Ο καταμερισμός Όλα ή Τίποτα*** δεν λαμβάνει υπόψη του την κυκλοφοριακή συμφόρηση
- Για να λάβουμε υπόψη την κυκλοφοριακή συμφόρηση θα πρέπει ο χρόνος διαδρομής να εξαρτάται από τον φόρτο
- Πως λαμβάνουμε υπόψη την κυκλοφορική συμφόρηση?

  ⇒ ***Καταμερισμός ισορροπίας***

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα ισορροπίας

Χαρακτηριστικά οδών, εξέλιξη κυκλοφοριακών συνθηκών και επιλογή διαδρομής – ενά απλό παράδειγμα:

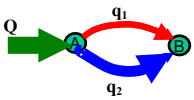
- Ας υποθέσουμε ότι δύο πόλεις Α και Β ενώνονται με δύο δυο οδούς που έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Η κόκκινη οδός 1 έχει μικρότερο μήκος αλλά πτωχά γεωμετρικά χαρακτηριστικά (έχει χαμηλότερη χωρητικότητα και εντονότερο ρυθμό αύξησης της κυκλοφοριακής συμφόρησης όπως απεικονίζεται και από την καμπύλη χρόνου διαδρομής – φόρτου). Η μπλέ οδός 2 έχει μεγαλύτερο μήκος από την 1, αλλά καλύτερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά.
- Για χαμηλά επίπεδα φόρτου όταν επικρατούν συνθήκες ελεύθερης ροής, η οδός 1 είναι πιο ελκυστική, επομένως για χαμηλά επίπεδα φόρτου όλες οι μετακινήσεις θα γίνονται μέσω της οδού 1. Καθώς αυξάνεται όμως ο φόρτος ο χρόνος κατά μήκος της οδού 1 αυξάνεται και προσεγγίζει τον χρόνο ελεύθερης ροής στην οδό 2.

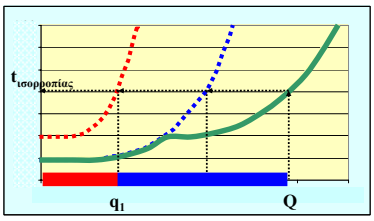


ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα ισορροπίας

Σύνθετη συνάρτηση χρόνου διαδρομής – συνολικών μετακινήσεων του οδικού δικτύου.

Πως όμως μπορούμε να υπολογίσουμε τους φόρτους ισορροπίας σε ένα τέτοιο απλό παράδειγμα?



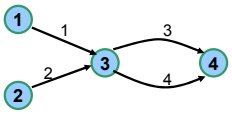


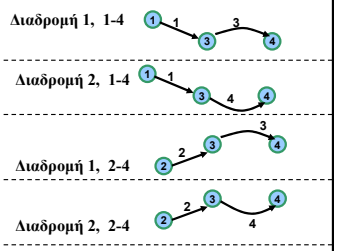
$\Rightarrow$ $q_2 = Q - q_1$

Απεικονίζοντας τις συναρτήσεις φόρτου – χρόνου διαδρομής στο ίδιο διάγραμμα έχουμε την δυνατότητα να κατασκευάσουμε μια σύνθετη συνάρτηση χρόνου διαδρομής – συνολικών μετακινήσεων μεταξύ A και B , (πράσινη γραμμή) που κατασκευάζεται αθροίζοντας οριζόντια τις δύο επιμέρους καμπύλες. Με αυτό τον τρόπο για κάθε τιμή του χρόνου διαδρομής, οι μετακινήσεις μεταξύ του A και του B είναι το άθροισμα των μετακινήσεων που χρησιμοποιούν τις επιμέρους διαδρομές. Έτσι όταν αυτή η καμπύλη κατασκευάζεται από τις συνολικές μετακινήσεις είναι δυνατόν να υπολογίσουμε γραφικά τον φόρτο κάθε διαδρομής

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα ισορροπίας

Καταμερισμός ισορροπίας - σχέσεις μεταξύ χρόνων/φόρτων στους συνδέσμους και χρόνων/φόρτων κατά μήκος διαδρομών





$$\sum_k f_k^{24} = f_1^{24} + f_2^{24} = q_{24}$$

$$x_3 = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} . \delta_{3,k}^{rs} = f_1^{14} \delta_{3,1}^{14} + f_2^{14} \delta_{3,2}^{14} + f_1^{24} \delta_{3,1}^{24} + f_2^{24} \delta_{3,2}^{24}$$

$$c_1^{14} = \sum_a t_a . \delta_{a,1}^{14} = t_1 . \delta_{1,1}^{14} + t_2 . \delta_{2,1}^{14} + t_3 . \delta_{3,1}^{14} + t_4 . \delta_{4,1}^{14}$$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα ισορροπίας

Καταμερισμός ισορροπίας - σχέσεις μεταξύ χρόνων/φόρτων στους συνδέσμους και χρόνων/φόρτων κατά μήκος διαδρομών

Διαδρομή μεταξύ δύο κόμβων είναι μια διαδοχική σειρά συνδέσμων που συνδέει τους δύο κόμβους. Ο χρόνος διαδρομής κατά μήκος μιας διαδρομής είναι επομένως το άθροισμα των χρόνων διαδρομής όλων των συνδέσμων που αποτελούν την συγκεκριμένη διαδρομή.

Ο χρόνος c_k^{rs} κατά μήκος μια διαδρομής k που συνδέει το ζεύγος Π-Π r-s, υπολογίζεται από τους χρόνους διαδρομής των συνδέσμων του δικτύου, χρησιμοποιώντας την σχέση:

$$c_k^{rs} = \sum_a t_a . \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall\, k,r,s$$

t_a ο χρόνος διαδρομής στον σύνδεσμο α, και

$$\delta_{a,k}^{rs} = \begin{cases} 1 \text{ εάν ο σύνδεσμος α αποτελεί τμήμα της διαδρομής k} \\ 0 \text{ σε όλες τις άλλες περιπτώσεις} \end{cases}$$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα ισορροπίας

Καταμερισμός ισορροπίας - σχέσεις μεταξύ χρόνων/φόρτων στους συνδέσμους και χρόνων/φόρτων κατά μήκος διαδρομών

Εάν στην κατάσταση ισορροπίας ορίσουμε ως $\mathcal{K}_{rs}$ το σύνολο των διαδρομών που χρησιμοποιούνται από τα οχήματα με ζώνη προέλευσης την r και ζώνη προορισμού την s, και $\mathcal{U}_{rs}$ το σύνολο των διαδρομών που συνδέουν την ζώνη r με την ζώνη s αλλά δεν χρησιμοποιούνται από τα οχήματα που κινούνται από την ζώνη r στην ζώνη s, τότε ισχύουν οι σχέσεις:

$$c_n^{rs} = c_m^{rs} < c_u^{rs} \quad \forall \quad n,m \in \mathcal{K}_{rs} \text{ και } u \in \mathcal{U}_{rs}$$

όπου:

$$c_k^{rs} = \sum_a t_a(x_a) . \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall\, k,r,s$$

υπό τις συνθήκες

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall\, r,s \qquad f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall\, k,r,s$$

$$x_a = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} . \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall\, a$$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα ισορροπίας

Καταμερισμός ισορροπίας - σχέσεις μεταξύ χρόνων/φόρτων στους συνδέσμους και χρόνων/φόρτων κατά μήκος διαδρομών

Αντίστοιχα, ένας σύνδεσμος μπορεί να αποτελεί τμήμα πολλών διαφορετικών διαδρομών. Ο αριθμός των οχημάτων x_a που διέρχονται από ένα συγκεκριμένο σύνδεσμο, a, είναι ίσος με το άθροισμα των οχημάτων που ακολουθούν κάθε μια από εκείνες τις διαδρομές, τμήμα των οποίων αποτελεί ο σύνδεσμος a. Επομένως χρησιμοποιώντας τον δείκτη $\delta_{a,k}^{rs}$, μπορούμε να εκφράσουμε τον φόρτο ενός συνδέσμου με την ακόλουθη σχέση:

$$x_a = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} . \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall\, a$$

x_a ο φόρτος στην σύνδεσμο, a

f_k^{rs} ο φόρτος της διαδρομής k, δηλ, ο αριθμός των οχημάτων που ακολουθούν την διαδρομή k που συνδέει το ζεύγος Π-Π r-s. Επομένως

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall\, r,s$$

όπου q_{rs} ο αριθμός των οχημάτων που κινούνται από τη ζώνη r στη ζώνη s.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα ισορροπίας

Καταμερισμός ισορροπίας - σχέσεις μεταξύ χρόνων/φόρτων στους συνδέσμους και χρόνων/φόρτων κατά μήκος διαδρομών

Επομένως για να υπολογίσουμε τους φόρτους της κατάστασης ισορροπίας, σε σχετικά απλές μορφές δικτύων (*όπου είναι δυνατό να προσδιορίσουμε όλες τις διαδρομές που συνδέουν το κάθε ζεύγος Π-Π,*) κατ' αρχάς εκφράζουμε τους χρόνους διαδρομής σαν συνάρτηση των φόρτων των συνδέσμων :

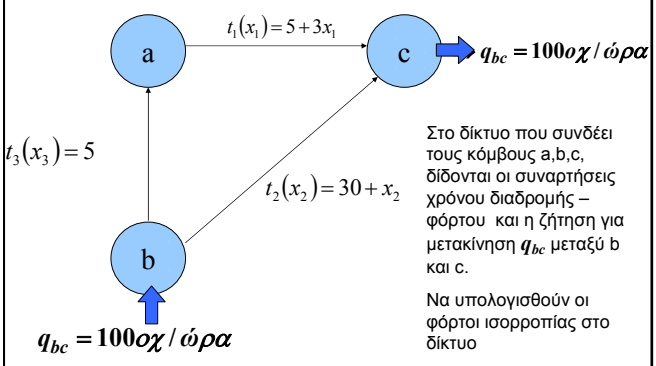
$$c_k^{rs} = \sum_a t_a(x_a) . \delta_{a,k}^{rs} \quad \forall\, k,r,s$$

Στην συνέχεια αναπτύσσουμε ένα σύστημα εξισώσεων που εκφράζουν

a. τήν συνθήκη ισορροπίας του δικτύου, δηλ. ότι οι χρόνοι διαδρομές σε όλες τις διαδρομές που χρησιμοποιούνται είναι ίσοι, και

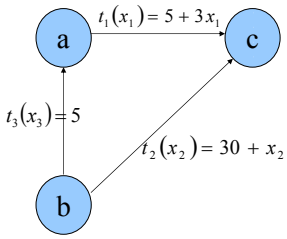
b. την συνθήκη διατήρησης του φόρτου στους κόμβους, δηλ. ότι το σύνολο των οχημάτων που εισέρχονται σε ένα κόμβου είναι ίσο με το σύνολο των οχημάτων που εξέρχονται από τον κόμβο.

Παράδειγμα: Καταμερισμός ισορροπίας



Στο δίκτυο που συνδέει τους κόμβους a,b,c, δίδονται οι συναρτήσεις χρόνου διαδρομής – φόρτου και η ζήτηση για μετακίνηση q_{bc} μεταξύ b και c.

Να υπολογισθούν οι φόρτοι ισορροπίας στο δίκτυο



Στην κατάσταση ισορροπίας οι χρόνοι σε όλες τις διαδρομές που χρησιμοποιούνται είναι ίσοι

$$\left.\begin{array}{l} C_1^{bc} = C_2^{bc} \\ t_2(x_2) = t_1(x_1) + t_3(x_3) \\ x_1 = x_3 \\ x_2 + x_3 = q_{bc} = 100 \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad 30 + x_2 = 5 + 3x_1 + 5 \quad \Rightarrow \quad 30 + x_2 = 10 + 3.(100 - x_2) \Rightarrow \quad 4x_2 = 280 \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad x_1 = x_3 = 30 \qquad x_2 = 70$$

$$\Rightarrow \quad t_2(x_2) = t_1(x_1) + t_3(x_3) = 100$$

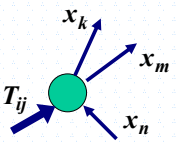
Για γενικές μορφές δικτύων και μη γραμμικές σχέσεις χρόνου διαδρομής – φόρτου, είναι πολύ δύσκολο να επιλυθεί το πρόβλημα. Ειδικοί αλγόριθμοι θα πρέπει να εφαρμοσθούν.

Για την επίλυση του προβλήματος θα πρέπει να λάβουμε υπόψη:

1) στην κατάσταση ισορροπίας οι χρόνοι μετακίνησης στις εναλλακτικές διαδρομές που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να είναι ίσοι

2) σε κάθε κόμβο θα πρέπει να ισχύει η **συνθήκη διατήρησης των φόρτων**, δηλ. ο αριθμός των οχημάτων που εισέρχονται σε ένα κόμβο θα πρέπει να είναι ίσος με τον αριθμό των οχημάτων που εξέρχονται από τον κόμβο.

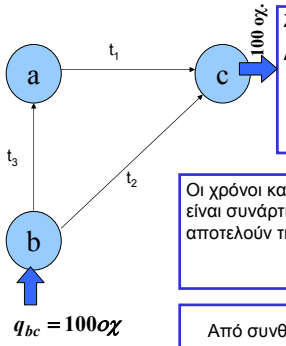
$$T_{ij} + x_n = x_k + x_m$$



Αλγόριθμοι επίλυσης του καταμερισμού ισορροπίας

Αναλυτική επίλυση του προβλήματος του καταμερισμού ισορροπίας, λύνοντας ένα σύστημα εξισώσεων που εκφράζουν τις συνθήκες ισορροπίας και διατήρησης του φόρτου, δεν είναι εφικτή για δίκτυα με μεγάλο αριθμό κόμβων και συνδέσμων. Οι μέθοδοι επίλυσης του προβλήματος χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Προσεγγιστικές μέθοδοι, που δεν συγκλίνουν απαραίτητα στην κατάσταση ισορροπίας, και περιλαμβάνουν τους αλγόριθμους
  - καταμερισμού με περιορισμό χωρητικότητας
  - τμηματικής φόρτισης του δικτύου
- Μέθοδοι μαθηματικής επίλυσης, που συγκλίνουν προς την κατάσταση ισορροπίας εκ των οποίων αυτή που εφαρμόζεται ευρέως είναι
  - η μέθοδος του ισοδύναμου προγράμματος βελτιστοποίησης.



Ζεύγος Π – Π : [b , c]

Δύο διαδρομές :

(1) : σύνδεσμος 2

(2) : σύνδεσμος 3, σύνδεσμος 1

Οι χρόνοι κατά μήκος των διαδρομών που επιλέγονται, είναι συνάρτηση των χρόνων των συνδέσμων που αποτελούν την διαδρομής:

$$C_1^{bc} = t_2, \; C_2^{bc} = t_1 + t_3$$

Από συνθήκες διατήρησης του φόρτου:

$$x_1 = x_3$$

$$x_2 + x_3 = q_{bc} = 100$$

Αλγόριθμός καταμερισμού με περιορισμό χωρητικότητας (αρχική προσέγγιση)

- Βήμα 1 : Εφαρμογή καταμερισμού «όλα ή τίποτα» με βάση τους χρόνους ελεύθερης ροής. Ο καταμερισμός έχει σαν αποτέλεσμα το σύνολο των φόρτων σε όλους τους συνδέσμους του δικτύου
- Βήμα 2 : Ενημέρωση των χρόνων διαδρομής όλων των συνδέσμων με βάση τους φόρτους που υπολογίσθηκαν στο προηγούμενο στάδιο. Update travel times on links based on the flows
- Βήμα 3 : Καταμερισμός όλων των μετακινήσεων στο δίκτυο χρησιμοποιώντας τους χρόνους διαδρομής που ενημερώθηκαν στο βήμα 2. Ο καταμερισμός υπολογίζει ένα νέο σύνολο φόρτων
- Βήμα 4 : Εάν οι φόρτοι είναι παρόμοιοι με τους φόρτους της προηγούμενης επανάληψης, ο καταμερισμός έχει φθάσει στην κατάσταση ισορροπίας. Εάν όχι πήγαινε στο βήμα 2.

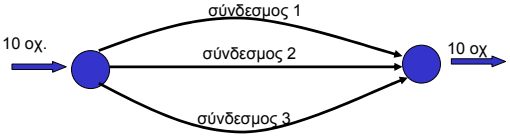
ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγορ. περιορισμού χωρητικότητας

Αλγόριθμός καταμερισμού με περιορισμό χωρητικότητας

- Ο αλγόριθμος που περιγράφηκε συνήθως δεν συγκλίνει σε μια κατάσταση ισορροπίας. Οι φόρτοι που υπολογίζονται σε κάθε επανάληψη μετακινούνται μεταξύ εναλλακτικών διαδρομών εμφανίζοντας μια περιοδικότητα.
- Για να ξεπεράσουμε αυτό το πρόβλημα ο αλγόριθμος τροποποιείται έτσι ώστε αντί να χρησιμοποιούμε σε κάθε επανάληψη τους χρόνους διαδρομής που υπολογίσθηκαν στην προηγούμενη επανάληψη, χρησιμοποιείται ένας σταθμισμένος μέσος όρος των χρόνων που υπολογίσθηκαν στις δύο προηγούμενες επαναλήψεις.
- Τα βάρη που χρησιμοποιούνται είναι 0,75 και 0,25 όπως περιγράφεται στον τροποποιημένο αλγόριθμο που παρουσιάζεται στην συνέχεια
- Σύγκλιση σε κατάσταση ισορροπίας δεν εγγυάται και ο αλγόριθμος τερματίζει μετά από προκαθορισμένο αριθμό επαναλήψεων.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγορ. περιορισμού χωρητικότητας

Παράδειγμα: εφαρμογή της μεθόδου καταμερισμού με περιορισμό χωρητικότητας



$$t_1 = 10(1+0.15(\frac{x_1}{2})^4)$$

$$t_2 = 20(1+0.15(\frac{x_2}{4})^4)$$

$$t_3 = 25(1+0.15(\frac{x_3}{3})^4)$$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγορ. περιορισμού χωρητικότητας

Αλγόριθμός καταμερισμού με περιορισμό χωρητικότητας

➔ Βήμα 0: Έναρξη
- Εφαρμογή της μεθόδου καταμερισμού «Όλα ή Τίποτα» με βάση τους χρόνους διαδρομής $t_a^0 = t_a(0)$ για κάθε σύνδεσμο a. Ο καταμερισμός έχει σαν αποτέλεσμα τους φόρτους σε όλους τους συνδέσμους $\{x_a^0\}$.
- Έναρξη αρίθμησης επαναλήψεων, $n=1$

➔ Βήμα 1: Ενημέρωση :
- $\tau_a^n = t_a(x_a^{n-1})$ για κάθε σύνδεσμο a.

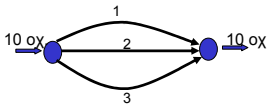
➔ Βήμα 2: Ομαλοποίηση :
- $t_a^n = 0{,}75 . t_a^{n-1} + 0{,}25 . \tau_a^n$ για κάθε σύνδεσμο a.

➔ Βήμα 3: Φόρτιση δικτύου :
- Καταμερισμός όλων των μετακινήσεων με την μέθοδο «Όλα η τίποτα» με βάση τους χρόνους διαδρομής των συνδέσμων $\{t_a^n\}$. Ο καταμερισμός έχει σαν αποτέλεσμα τους φόρτους σε όλους τους συνδέσμους $\{x_a^n\}$.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγορ. περιορισμού χωρητικότητας

$$t_1 = 10(1+0.15(\frac{x_1}{2})^4) \quad t_2 = 20(1+0.15(\frac{x_2}{4})^4) \quad t_3 = 25(1+0.15(\frac{x_3}{3})^4)$$

$$\left.\begin{array}{l} t_1^0(0) = 10 \\ t_2^0(0) = 20 \\ t_3^0(0) = 25 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} x_1^0 = 10 \\ x_2^0 = 0 \\ x_3^0 = 0 \end{array}\right.$$



$$\left.\begin{array}{l} \tau_1^1(10) = 948 \\ \tau_2^1(0) = 20 \\ \tau_3^1(0) = 25 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} t_1^1 = 0{,}75 * 10 + 0{,}25 * 948 = 244 \\ t_2^1 = 0{,}75 * 20 + 0{,}25 * 20 = 20 \\ t_3^1 = 0{,}75 * 25 + 0{,}25 * 25 = 25 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} x_1^1 = 0 \\ x_2^1 = 10 \\ x_3^1 = 0 \end{array}\right.$$

$$\left.\begin{array}{l} \tau_1^2(0) = 10 \\ \tau_2^2(10) = 137 \\ \tau_3^2(0) = 25 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} t_1^2 = 0{,}75 * 244 + 0{,}25 * 10 = 185{,}8 \\ t_2^2 = 0{,}75 * 20 + 0{,}25 * 137 = 49{,}3 \\ t_3^2 = 0{,}75 * 25 + 0{,}25* = 25 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} x_1^2 = 0 \\ x_2^2 = 0 \\ x_3^2 = 10 \end{array}\right.$$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγορ. περιορισμού χωρητικότητας

Αλγόριθμός καταμερισμού με περιορισμό χωρητικότητας

➔ Βήμα 4: Κανόνας τερματισμού
- Εάν $n = N$ (N είναι ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων) πήγαινε το βήμα 5. Αλλιώς $n = n+1$ και και πήγαινε στο βήμα 1.

➔ Βήμα 5: Υπολογισμός μέσων όρων.
- $$x_a^* = \frac{1}{4}\sum_{\kappa=0}^{3} x_a^{n-\kappa} \quad \forall a$$

$\{x_a^*\}$ είναι οι φόρτοι των συνδέσμων στην κατάσταση ισορροπίας.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγορ. περιορισμού χωρητικότητας

$$t_1 = 10(1+0.15(\frac{x_1}{2})^4) \quad t_2 = 20(1+0.15(\frac{x_2}{4})^4) \quad t_3 = 25(1+0.15(\frac{x_3}{3})^4)$$

$$\left.\begin{array}{l} \tau_1^3(0) = 10 \\ \tau_2^3(0) = 20 \\ \tau_3^3(10) = 488 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} t_1^3 = 0{,}75 * 185{,}8 + 0{,}25 * 10 = 141{,}8 \\ t_2^3 = 0{,}75 * 49{,}3 + 0{,}25 * 20 = 41{,}97 \\ t_3^3 = 0{,}75 * 25 + 0{,}25 * 488 = 140{,}7 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} x_1^3 = 0 \\ x_2^3 = 10 \\ x_3^3 = 0 \end{array}\right.$$

$$\left.\begin{array}{l} \tau_1^4(0) = 10 \\ \tau_2^4(10) = 137{,}2 \\ \tau_3^4(0) = 25 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} t_1^4 = 0{,}75 * 141{,}8 + 0{,}25 * 10 = 108{,}9 \\ t_2^4 = 0{,}75 * 41{,}97 + 0{,}25 * 137 = 65{,}8 \\ t_3^4 = 0{,}75 * 140{,}7 + 0{,}25 * 25 = 111{,}8 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} x_1^4 = 0 \\ x_2^4 = 10 \\ x_3^4 = 0 \end{array}\right.$$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγορ. περιορισμού χωρητικότητας

Εφαρμογή του αλγόριθμου περιορισμού χωρητικότητας : επανάληψη 0 – 5

$t_1^0 =$	10		$t_2^0 =$	20		$t_3^0 =$	25
$x_1^0 =$	10		$x_2^0 =$	0		$x_3^0 =$	0
$\tau_1^1 =$	947,5		$\tau_2^1 =$	20		$\tau_3^1 =$	25
$t_1^1 =$	244,4		$t_2^1 =$	20		$t_3^1 =$	25
$x_1^1 =$	0		$x_2^1 =$	10		$x_3^1 =$	0
$\tau_1^2 =$	10		$\tau_2^2 =$	137,2		$\tau_3^2 =$	25
$t_1^2 =$	185,8		$t_2^2 =$	49,3		$t_3^2 =$	25
$x_1^2 =$	0		$x_2^2 =$	0		$x_3^2 =$	10
$\tau_1^3 =$	10		$\tau_2^3 =$	20		$\tau_3^3 =$	488
$t_1^3 =$	141,8		$t_2^3 =$	41,97		$t_3^3 =$	140,7
$x_1^3 =$	0		$x_2^3 =$	10		$x_3^3 =$	0
$\tau_1^4 =$	10		$\tau_2^4 =$	137,2		$\tau_3^4 =$	25
$t_1^4 =$	108,9		$t_2^4 =$	65,78		$t_3^4 =$	111,8
$x_1^4 =$	0		$x_2^4 =$	10		$x_3^4 =$	0
$\tau_1^5 =$	10		$\tau_2^5 =$	137,2		$\tau_3^5 =$	25
$t_1^5 =$	84,16		$t_2^5 =$	83,63		$t_3^5 =$	90,1
$x_1^5 =$	0		$x_2^5 =$	10		$x_3^5 =$	0

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος τμηματικής φόρτισης

Αλγόριθμός καταμερισμού με τμηματική φόρτιση

➔ Βήμα 0: προκαταρτικά

- Διαίρεσε τον αριθμό των μετακινήσεων μεταξύ κάθε ζεύγους Π-Π σε N ίσα μερίδια $(T_{ij}^n = T_{ij}/N)$
- $n = 1$ και $x_a^0 = 0 \ \forall \alpha$.

➔ Βήμα 1: Ενημέρωση

- $t_a^n = t_a(x_a^{n-1}) \ \forall \alpha$.

➔ Βήμα 2: Τμηματική φόρτιση

- Εφαρμογή καταμερισμού «όλα ή τίποτα» με βάση τους χρόνους t_a^n αλλά χρησιμοποιώντας τις μετακινήσεις T_{ij}^n για κάθε ζεύγος Π – Π i,j. Ο καταμερισμός αυτός υπολογίζει τους φόρτους { w_a^n }

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγορ. περιορισμού χωρητικότητας

Εφαρμογή του αλγόριθμου περιορισμού χωρητικότητας : επανάληψη 6 – 10

$\tau_1^6 =$	10		$\tau_2^6 =$	137,2		$\tau_3^6 =$	25
$t_1^6 =$	65,62		$t_2^6 =$	97,02		$t_3^6 =$	73,83
$x_1^6 =$	10		$x_2^6 =$	0		$x_3^6 =$	0
$\tau_1^7 =$	947,5		$\tau_2^7 =$	20		$\tau_3^7 =$	25
$t_1^7 =$	286,1		$t_2^7 =$	77,76		$t_3^7 =$	61,62
$x_1^7 =$	0		$x_2^7 =$	0		$x_3^7 =$	10
$\tau_1^8 =$	10		$\tau_2^8 =$	20		$\tau_2^8 =$	488
$t_1^8 =$	217,1		$t_2^8 =$	63,32		$t_3^8 =$	168,2
$x_1^8 =$	0		$x_2^8 =$	10		$x_3^8 =$	0
$\tau_1^9 =$	10		$\tau_2^9 =$	137,2		$\tau_3^9 =$	25
$t_1^9 =$	165,3		$t_2^9 =$	81,79		$t_3^9 =$	132,4
$x_1^9 =$	0		$x_2^9 =$	10		$x_3^9 =$	0
$\tau_1^{10} =$	10		$\tau_2^{10} =$	137,2		$\tau_3^{10} =$	25
$t_1^{10} =$	126,5		$t_2^{10} =$	95,64		$t_3^{10} =$	105,6
$x_1^{10} =$	0		$x_2^{10} =$	10		$x_3^{10} =$	0

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος τμηματικής φόρτισης

Αλγόριθμός καταμερισμού με τμηματική φόρτιση

➔ Βήμα 3: Άθροιση του φόρτου

- $x_a^n = x_a^{n-1} + w_a^n \quad \forall \alpha$.

➔ Βήμα 4: Κανόνας τερματισμού

- Εάν $n=N$, ο αλγόριθμος τερματίζει, και οι φόρτοι ισορροπίας είναι οι τελευταίοι φόρτοι x_a^n που υπολογίσθηκαν, αλλιώς $n=n+1$ και πήγαινε στο βήμα 1.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγορ. περιορισμού χωρητικότητας

Για εφαρμογή του αλγορίθμου για 10 επαναλήψεις, δηλ. n=10

$$x_a^* = \frac{1}{4}\sum_{\kappa=0}^{3} x_a^{n-\kappa} \quad \forall a \quad \Rightarrow x_a^* = \frac{1}{4}\sum_{i=7}^{10} x_a^i \quad \Rightarrow$$

$$x_1^* = \frac{0+0+0+0}{4} = 0 \quad \Rightarrow \quad t_1^* = 10$$

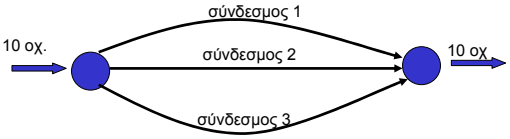
$$x_2^* = \frac{0+10+10+10}{4} = 7{,}5 \quad \Rightarrow \quad t_2^* = 57{,}1$$

$$x_3^* = \frac{10+0+0+0}{4} = 2{,}5 \quad \Rightarrow \quad t_2^* = 26{,}8$$

Μετά από 10 επαναλήψεις οι φόρτοι δεν συγκλίνουν προς μια κατάσταση ισορροπίας

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος τμηματικής φόρτισης

Παράδειγμα: εφαρμογή της μεθόδου καταμερισμού με τμηματική φόρτιση



$$t_1 = 10(1 + 0.15(\frac{x_1}{2})^4)$$

$$t_2 = 20(1 + 0.15(\frac{x_2}{4})^4)$$

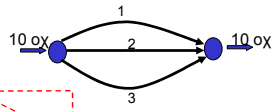
$$t_3 = 25(1 + 0.15(\frac{x_3}{3})^4)$$

Θεωρούμε ότι N=10, επομένως σε κάθε τμηματική φόρτιση χρησιμοποιείται το 10% της συνολικής ζήτησης: 10x10%=1

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος τμηματικής φόρτισης

$$t_1 = 10(1+0.15(\frac{x_1}{2})^4) \quad t_2 = 20(1+0.15(\frac{x_2}{4})^4) \quad t_3 = 25(1+0.15(\frac{x_3}{3})^4)$$

$$\left.\begin{array}{l} x_1^0 = 0 \\ x_2^0 = 0 \\ x_3^0 = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow$$



$$\left.\begin{array}{l} t_1^1(0) = 10 \\ t_2^1(0) = 20 \\ t_3^1(0) = 25 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} w_1^1 = 1 \\ w_2^1 = 0 \\ w_3^1 = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} x_1^1 = 0+1 = 1 \\ x_2^1 = 0+0 = 0 \\ x_3^1 = 0+0 = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\left.\begin{array}{l} t_1^2(1) = 10{,}09 \\ t_2^2(0) = 20 \\ t_3^2(0) = 25 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} w_1^2 = 1 \\ w_2^2 = 0 \\ w_3^2 = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} x_1^2 = 1+1 = 2 \\ x_2^2 = 0+0 = 0 \\ x_3^2 = 0+0 = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow$$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος τμηματικής φόρτισης

Εφαρμογή του αλγόριθμου τμηματικής φόρτισης : επανάληψη 6 – 10

t_1^6 =	34		t_2^6 =	20,188		t_3^6 =	25
w_1^6 =	0		w_2^6 =	1		w_3^6 =	0
x_1^6 =	4		x_2^6 =	3		x_3^6 =	0
t_1^7 =	34		t_2^7 =	20,949		t_3^7 =	25
w_1^7 =	0		w_2^7 =	1		w_3^7 =	0
x_1^7 =	4		x_2^7 =	4		x_3^7 =	0
t_1^8 =	34		t_2^8 =	23		w_2^8 =	25
w_1^8 =	0		w_2^8 =	1		t_3^8 =	0
x_1^8 =	4		x_2^8 =	5		x_3^8 =	0
t_1^9 =	34		t_2^9 =	27,324		t_3^9 =	25
w_1^9 =	0		w_2^9 =	0		w_3^9 =	1
x_1^9 =	4		x_2^9 =	5		x_3^9 =	1
t_1^{10} =	34		t_2^{10} =	27,324		t_3^{10} =	25,05

Δεν υπάρχει σύγκλιση προς την κατάσταση ισορροπίας

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος τμηματικής φόρτισης

$$t_1 = 10(1+0.15(\frac{x_1}{2})^4) \quad t_2 = 20(1+0.15(\frac{x_2}{4})^4) \quad t_3 = 25(1+0.15(\frac{x_3}{3})^4)$$

$$\left.\begin{array}{l} t_1^3(2) = 11{,}25 \\ t_2^3(0) = 20 \\ t_3^3(0) = 25 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} w_1^3 = 1 \\ w_2^3 = 0 \\ w_3^3 = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} x_1^3 = 2+1 = 3 \\ x_2^3 = 0+0 = 0 \\ x_3^3 = 0+0 = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\left.\begin{array}{l} t_1^4(10) = 17{,}59 \\ t_2^4(0) = 20 \\ t_3^4(0) = 25 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} w_1^4 = 1 \\ w_2^4 = 0 \\ w_3^4 = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} x_1^4 = 1+3 = 4 \\ x_2^4 = 0+0 = 0 \\ x_3^4 = 0+0 = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow$$

. . . . . .

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα ισορροπίας

Προτυποποίηση του καταμερισμού ισορροπίας σαν ένα ισοδύναμο πρόβλημα βελτιστοποίησης

Το ισοδύναμο πρόβλημα βελτιστοποίησης

(Beckman *et al.* 1956)

$$\min z(\mathrm{x}) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega)d\omega$$

a : σύνδεσμος του δικτύου

t_a : συνάρτηση χρόνου διαδρομής του συνδέσμου i

ω : η μεταβλητή του προβλήματος βελτιστοποίησης (δηλ. ο κυκλοφοριακός φόρτος του συνδέσμου)

x_a : η βέλτιστη τιμή της μεταβλητής (δηλ. ο κυκλοφοριακός φόρτος ισορροπίας στον σύνδεσμο a)

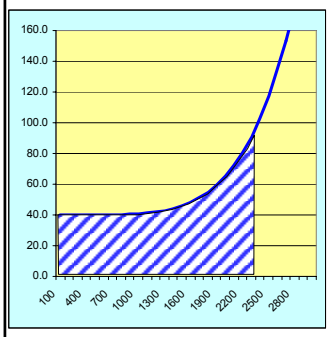
ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος τμηματικής φόρτισης

Εφαρμογή του αλγόριθμου τμηματικής φόρτισης : επανάληψη 0 – 5

t_1^0 =	10		t_2^0 =	20		t_3^0 =	25
x_1^0 =	1		x_2^0 =	0		x_3^0 =	0
t_1^1 =	10,09		t_2^1 =	20		t_3^1 =	25
w_1^1 =	1		w_2^1 =	0		w_3^1 =	0
x_1^1 =	2		x_2^1 =	0		x_3^1 =	0
t_1^2 =	11,5		t_2^2 =	20		t_3^2 =	25
w_1^2 =	1		w_2^2 =	0		w_3^2 =	0
x_1^2 =	3		x_2^2 =	0		x_3^2 =	0
t_1^3 =	17,59		t_2^3 =	20		t_3^3 =	25
w_1^3 =	1		w_2^3 =	0		w_3^3 =	0
x_1^3 =	4		x_2^3 =	0		x_3^3 =	0
t_1^4 =	34		t_2^4 =	20		t_3^4 =	25
w_1^4 =	0		w_2^4 =	1		w_3^4 =	0
x_1^4 =	4		x_2^4 =	1		x_3^4 =	0
t_1^5 =	34		t_2^5 =	20		t_3^5 =	25
w_1^5 =	0		w_2^5 =	1		w_3^5 =	0
x_1^5 =	4		x_2^5 =	2		x_3^5 =	0

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Ισοδύναμο πρόβλημα βελτιστοποίησης

Προτυποποίηση του καταμερισμού ισορροπίας σαν ένα ισοδύναμο πρόβλημα βελτιστοποίησης



$$\min z(\mathrm{x}) = \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega)d\omega$$

Αυτό το πρόβλημα ισοδυναμεί με την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των εμβαδών κάτω από τις καμπύλες των συναρτήσεων χρόνου – φόρτου για όλους τους συνδέσμους του δικτύου

Υπό τους περιορισμούς

$$\sum_k f_k^{rs} = q_{rs} \quad \forall\, r,s$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall\, k,r,s$$

$$x_a = \sum_r \sum_s \sum_k f_k^{rs} . \delta_{a,k}^{rs} \qquad \forall\, a$$

Όπως ορίσθηκαν από τις σχέσεις μεταξύ φόρτων στους συνδέσμους (x_a) και φόρτων κατά μήκος των διαδρομών (f_k^{rs}).

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Ισοδύναμο πρόβλημα βελτιστοποίησης

Αλγόριθμός επίλυσης του ισοδύναμου προγράμματος βελτιστοποίησης

➔ Βήμα 0: Έναρξη

- Εφαρμογή της μεθόδου καταμερισμού «Όλα ή Τίποτα» με βάση τους χρόνους διαδρομής $t_a^0 = t_a(0)$ για κάθε σύνδεσμο a. Ο καταμερισμός έχει σαν αποτέλεσμα τους φόρτους σε όλους τους συνδέσμους $\{x_a^1\}$.
- Έναρξη αρίθμησης επαναλήψεων, $n=1$

➔ Βήμα 1: Ενημέρωση :

- $t_a^n = t_a(x_a^n)$ για κάθε σύνδεσμο a.

➔ Βήμα 2: Προσδιορισμός κατεύθυνσης που ελαχιστοποιεί την συνάρτηση βελτιστοποίησης

- Εφαρμογή της μεθόδου καταμερισμού «Όλα ή Τίποτα» με βάση τους χρόνους διαδρομής t_a^n. Ο καταμερισμός έχει σαν αποτέλεσμα τους «*βοηθητικούς*» φόρτους σε όλους τους συνδέσμους $\{y_a^1\}$.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Ισοδύναμο πρόβλημα βελτιστοποίησης

- Έχει πειραματικά αποδειχθεί ότι μια καλή προσέγγιση του λ που έχει συνήθως ικανοποιητικά αποτελέσματα δίδεται από τις σχέσεις

$$\lambda_n = \frac{1}{n} \quad \text{ή} \quad \lambda_n = 2^{-n}$$

- Με την χρήση μιας από αυτές τις τιμές του συντελεστή λ, ο αλγόριθμος επίλυσης του ισοδύναμου προγράμματος βελτιστοποίησης απλοποιείται ουσιαστικά.
- Στο παράδειγμα που ακολουθεί χρησιμοποιούμε την τιμή $\lambda_n = \frac{1}{n}$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Ισοδύναμο πρόβλημα βελτιστοποίησης

Αλγόριθμός επίλυσης του ισοδύναμου προγράμματος βελτιστοποίησης

➔ Βήμα 3: Υπολογισμός του βήματος προσέγγισης κατά την βέλτιστη κατεύθυνση.

- Εύρεση της τιμής του λ που επιλύει το πρόβλημα

$$\min_{0\le\lambda\le1} \sum_a \int_0^{x_a^n+\lambda(y_a^n-x_a^n)} t_a(\omega)d\omega$$

➔ Βήμα 4: Προσέγγιση

- $x_a^{n+1} = x_a^n + \lambda_n (y_a^n - x_a^n), \quad \forall a.$

➔ Βήμα 5: Τέστ σύγκλισης.

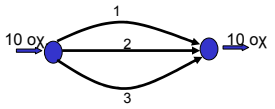
- Εάν το κριτήριο σύγκλισης ικανοποιείται, ο αλγόριθμος τερματίζει και οι φόρτοι ισορροπίας είναι οι τελευταίοι φόρτοι που υπολογίσθηκαν $\{x_a^{n+1}\}$, αλλιώς $n=n+1$ και πήγαινε στο βήμα 1.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Ισοδύναμο πρόβλημα βελτιστοποίησης

Παράδειγμα εφαρμογής του αλγόριθμου επίλυσης του ισοδύναμου προγράμματος βελτιστοποίησης με λ=1/ν

$$t_1 = 10(1+0.15(\tfrac{x_1}{2})^4) \quad t_2 = 20(1+0.15(\tfrac{x_2}{4})^4) \quad t_3 = 25(1+0.15(\tfrac{x_3}{3})^4)$$

$$\left.\begin{array}{l} t_1^0(0)=10 \\ t_2^0(0)=20 \\ t_3^0(0)=25 \end{array}\right\} \Rightarrow \left.\begin{array}{l} x_1^1=10 \\ x_2^1=0 \\ x_3^1=0 \end{array}\right\} \Rightarrow$$



$$\left.\begin{array}{l} t_1^1(10)=947{,}5 \\ t_2^1(0)=20 \\ t_3^1(0)=25 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} y_1^1=0 \\ y_2^1=10 \\ y_3^1=0 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} x_1^2=10+(1/1)*(0-10)=0 \\ x_2^2=0+(1/1)*(10-0)=10 \\ x_3^2=0+(1/1)*(0-0)=0 \end{array}\right. \Rightarrow$$

$$\left.\begin{array}{l} t_1^2(0)=10 \\ t_2^2(10)=137{,}2 \\ t_3^2(0)=25 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} y_1^2=10 \\ y_2^2=0 \\ y_3^2=0 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} x_1^3=0+(1/2)*(10-0)=5 \\ x_2^3=10+(1/2)*(0-10)=5 \\ x_3^3=0+(1/2)*(0-0)=0 \end{array}\right. \Rightarrow$$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Ισοδύναμο πρόβλημα βελτιστοποίησης

Επίλυση του καταμερισμού σαν ισοδύναμο πρόγραμμα βελτιστοποίησης

- Οι μέθοδοι καταμερισμού με περιορισμό χωρητικότητας και τμηματικού καταμερισμού δίνουν λύσεις που προσεγγίζουν την κατάσταση ισορροπίας. Πολλές φορές τα αποτελέσματα δεν είναι όμως ικανοποιητικά, αλλά αποτελούσαν τις πλέον καθιερωμένες μεθόδους μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 70 οπότε επιλύθηκε μαθηματικά το πρόβλημα του ισοδύναμου προγράμματος βελτιστοποίησης και αναπτύχθηκαν τα πρώτα προγράμματα Η/Υ.
- Η προτυποποίηση του προβλήματος σαν ένα ισοδύναμο πρόβλημα βελτιστοποίησης εγγυάται την επίλυση του προβλήματος του καταμερισμού ισορροπίας. Αποτελεί όμως ένα πολύ πιο δύσκολο πρόβλημα.
- Ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα στον αλγόριθμο που περιγράφηκε είναι ο προσδιορισμός των τιμών της παραμέτρου λ με επίλυση του προγράμματος ελαχιστοποίησης:

$$\min_{0\le\lambda\le1} \sum_a \int_0^{x_a^n+\lambda(y_a^n-x_a^n)} t_a(\omega)d\omega$$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Αλγόριθμος τμηματικής φόρτισης

$$t_1 = 10(1+0.15(\tfrac{x_1}{2})^4) \quad t_2 = 20(1+0.15(\tfrac{x_2}{4})^4) \quad t_3 = 25(1+0.15(\tfrac{x_3}{3})^4)$$

$$\left.\begin{array}{l} t_1^3(5)=68{,}6 \\ t_2^3(5)=27{,}3 \\ t_3^3(0)=25 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} y_1^3=0 \\ y_2^3=0 \\ y_3^3=10 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} x_1^4=5+(1/3)*(0-5)=3{,}33 \\ x_2^4=5+(1/3)*(0-5)=3{,}33 \\ x_3^4=0+(1/3)*(10-0)=3{,}33 \end{array}\right. \Rightarrow$$

$$\left.\begin{array}{l} t_1^4(3{,}33)=21{,}57 \\ t_2^4(3{,}33)=21{,}44 \\ t_3^4(3{,}33)=30{,}72 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} y_1^4=0 \\ y_2^4=10 \\ y_3^4=0 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} x_1^5=3{,}33+(1/4)*(0-3{,}33)=2{,}5 \\ x_2^5=3{,}33+(1/4)*(10-3{,}33)=5 \\ x_3^5=3{,}33+(1/4)*(0-3{,}33)=2{,}5 \end{array}\right.$$

$$\left.\begin{array}{l} t_1^5(2{,}5)=13{,}66 \\ t_2^5(5)=27{,}32 \\ t_3^5(2{,}5)=26{,}81 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} y_1^5=10 \\ y_2^5=0 \\ y_3^5=0 \end{array}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{array}{l} x_1^6=2{,}5+(1/5)*(10-2{,}5)=4 \\ x_2^6=5+(1/5)*(0-5)=4 \\ x_3^6=2{,}5+(1/5)*(0-2{,}5)=2 \end{array}\right. =$$

. . . . . .

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Ισοδύναμο πρόβλημα βελτιστοποίησης

Εφαρμογή του αλγόριθμου του ισοδύναμου προβλήματος βελτιστοποίησης :

επανάληψη 0 – 7

Επανάληψη (n)	λ	σύνδεσμος 1		σύνδεσμος 2		σύνδεσμος 3	
0	0,000	$t_1^n =$	10	$t_2^n =$	20	$t_3^n =$	25
0	0,000	$x_1^n =$	10	$x_2^n =$	0	$x_3^n =$	0
1	1,000	$t_1^n =$	947,5	$t_2^n =$	20	$t_3^n =$	25
1	1,000	$y_1^n =$	0	$y_2^n =$	10	$y_3^n =$	0
1	1,000	$x_1^{n+1} =$	0	$x_2^{n+1} =$	10	$x_3^{n+1} =$	0
2	0,500	$t_1^n =$	10	$t_2^n =$	137,188	$t_3^n =$	25
2	0,500	$y_1^n =$	10	$y_2^n =$	0	$y_3^n =$	0
2	0,500	$x_1^{n+1} =$	5	$x_2^{n+1} =$	5	$x_3^{n+1} =$	0
3	0,333	$t_1^n =$	68,59	$t_2^n =$	27,3242	$t_3^n =$	25
3	0,333	$y_1^n =$	0	$y_2^n =$	0	$y_3^n =$	10
3	0,333	$x_1^{n+1} =$	3,333	$x_2^{n+1} =$	3,33333	$x_3^{n+1} =$	3,3333
4	0,250	$t_1^n =$	21,57	$t_2^n =$	21,4468	$t_3^n =$	30,716
4	0,250	$y_1^n =$	0	$y_2^n =$	10	$y_3^n =$	0
4	0,250	$x_1^{n+1} =$	2,5	$x_2^{n+1} =$	5	$x_3^{n+1} =$	2,5
5	0,200	$t_1^n =$	13,66	$t_2^n =$	27,3242	$t_3^n =$	26,808
5	0,200	$y_1^n =$	10	$y_2^n =$	0	$y_3^n =$	0
5	0,200	$x_1^{n+1} =$	4	$x_2^{n+1} =$	4	$x_3^{n+1} =$	2
6	0,167	$t_1^n =$	34	$t_2^n =$	23	$t_3^n =$	25,741
6	0,167	$y_1^n =$	0	$y_2^n =$	10	$y_3^n =$	0
6	0,167	$x_1^{n+1} =$	3,333	$x_2^{n+1} =$	5	$x_3^{n+1} =$	1,6667
7	0,143	$t_1^n =$	21,57	$t_2^n =$	27,3242	$t_3^n =$	25,357
7	0,143	$y_1^n =$	10	$y_2^n =$	0	$y_3^n =$	0
7	0,143	$x_1^{n+1} =$	4,286	$x_2^{n+1} =$	4,28571	$x_3^{n+1} =$	1,4286

Η κατασκευή περισσότερων δρόμων δεν είναι συνεπάγεται πάντα μείωση του χρόνου μετακίνησης

το παράδοξο του Braess

Το παράδοξο του Braess αποδεικνύει θεωρητικά πώς κάτω από ορισμένες συνθήκες η κατασκευή νέων οδικών τμημάτων μπορεί τελικά να οδηγήσει σε αύξηση του συνολικού χρόνου μετακίνησης.

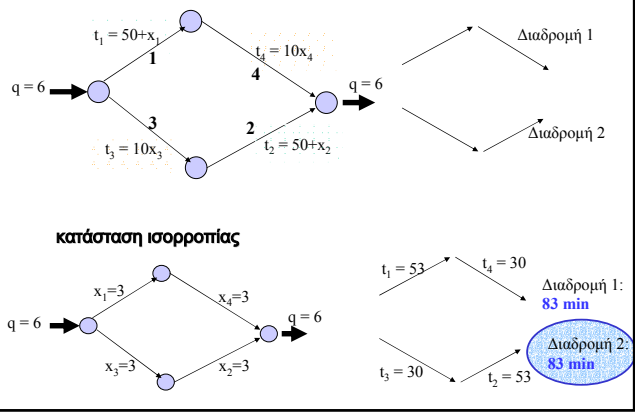
ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Ισοδύναμο πρόβλημα βελτιστοποίησης

Εφαρμογή του αλγόριθμου του ισοδύναμου προβλήματος βελτιστοποίησης :

επανάληψη 8 – 14

Επανάληψη (n)	λ	σύνδεσμος 1		σύνδεσμος 2		σύνδεσμος 3	
8	0,125	$t_1^n =$	41,63	$t_2^n =$	23,9534	$t_3^n =$	25,193
8	0,125	$y_1^n =$	0	$y_2^n =$	10	$y_3^n =$	0
8	0,125	$x_1^{n+1} =$	3,75	$x_2^{n+1} =$	5	$x_3^{n+1} =$	1,25
9	0,111	$t_1^n =$	28,54	$t_2^n =$	27,3242	$t_3^n =$	25,113
9	0,111	$y_1^n =$	0	$y_2^n =$	0	$y_3^n =$	10
9	0,111	$x_1^{n+1} =$	3,333	$x_2^{n+1} =$	4,44444	$x_3^{n+1} =$	2,2222
10	0,100	$t_1^n =$	21,57	$t_2^n =$	24,5725	$t_3^n =$	26,129
10	0,100	$y_1^n =$	10	$y_2^n =$	0	$y_3^n =$	0
10	0,100	$x_1^{n+1} =$	4	$x_2^{n+1} =$	4	$x_3^{n+1} =$	2
11	0,091	$t_1^n =$	34	$t_2^n =$	23	$t_3^n =$	25,741
11	0,091	$y_1^n =$	0	$y_2^n =$	10	$y_3^n =$	0
11	0,091	$x_1^{n+1} =$	3,636	$x_2^{n+1} =$	4,54545	$x_3^{n+1} =$	1,8182
12	0,083	$t_1^n =$	26,39	$t_2^n =$	25,0025	$t_3^n =$	25,506
12	0,083	$y_1^n =$	0	$y_2^n =$	10	$y_3^n =$	0
12	0,083	$x_1^{n+1} =$	3,333	$x_2^{n+1} =$	5	$x_3^{n+1} =$	1,6667
13	0,077	$t_1^n =$	21,57	$t_2^n =$	27,3242	$t_3^n =$	25,357
13	0,077	$y_1^n =$	10	$y_2^n =$	0	$y_3^n =$	0
13	0,077	$x_1^{n+1} =$	3,846	$x_2^{n+1} =$	4,61538	$x_3^{n+1} =$	1,5385
14	0,071	$t_1^n =$	30,52	$t_2^n =$	25,3176	$t_3^n =$	25,259
14	0,071	$y_1^n =$	0	$y_2^n =$	0	$y_3^n =$	10
14	0,071	$x_1^{n+1} =$	3,571	$x_2^{n+1} =$	4,28571	$x_3^{n+1} =$	2,1429

Το παράδοξο του Braess



ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Ισοδύναμο πρόβλημα βελτιστοποίησης

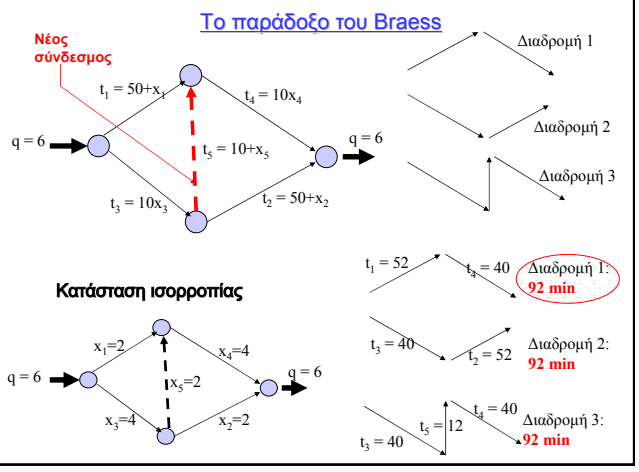
Εφαρμογή του αλγόριθμου του ισοδύναμου προβλήματος βελτιστοποίησης :

επανάληψη 8 – 14

Κατάσταση ισορροπίας

Επανάληψη (n)	λ	σύνδεσμος 1		σύνδεσμος 2		σύνδεσμος 3	
15	0,067	$t_1^n =$	25,25	$t_2^n =$	23,9534	$t_3^n =$	25,976
15	0,067	$y_1^n =$	0	$y_2^n =$	10	$y_3^n =$	0
15	0,067	$x_1^{n+1} =$	3,333	$x_2^{n+1} =$	4,66667	$x_3^{n+1} =$	2
16	0,063	$t_1^n =$	21,57	$t_2^n =$	25,5579	$t_3^n =$	25,741
16	0,063	$y_1^n =$	10	$y_2^n =$	0	$y_3^n =$	0
16	0,063	$x_1^{n+1} =$	3,75	$x_2^{n+1} =$	4,375	$x_3^{n+1} =$	1,875
17	0,059	$t_1^n =$	28,54	$t_2^n =$	24,2933	$t_3^n =$	25,572
17	0,059	$y_1^n =$	0	$y_2^n =$	10	$y_3^n =$	0
17	0,059	$x_1^{n+1} =$	3,529	$x_2^{n+1} =$	4,70588	$x_3^{n+1} =$	1,7647
18	0,056	$t_1^n =$	24,55	$t_2^n =$	25,7471	$t_3^n =$	25,449
18	0,056	$y_1^n =$	10	$y_2^n =$	0	$y_3^n =$	0
18	0,056	$x_1^{n+1} =$	3,889	$x_2^{n+1} =$	4,44444	$x_3^{n+1} =$	1,6667
19	0,053	$t_1^n =$	31,44	$t_2^n =$	24,5725	$t_3^n =$	25,357
19	0,053	$y_1^n =$	0	$y_2^n =$	10	$y_3^n =$	0
19	0,053	$x_1^{n+1} =$	3,684	$x_2^{n+1} =$	4,73684	$x_3^{n+1} =$	1,5789
20	0,050	$t_1^n =$	27,27	$t_2^n =$	25,8998	$t_3^n =$	25,288
20	0,050	$y_1^n =$	0	$y_2^n =$	0	$y_3^n =$	10
20	0,050	$x_1^{n+1} =$	3,5	$x_2^{n+1} =$	4,5	$x_3^{n+1} =$	2
21	0,048	$t_1^n =$	24,07	$t_2^n =$	24,8054	$t_3^n =$	25,741
21	0,048	$y_1^n =$	10	$y_2^n =$	0	$y_3^n =$	0
21	0,048	$x_1^{n+1} =$	3,81	$x_2^{n+1} =$	4,28571	$x_3^{n+1} =$	1,9048

Το παράδοξο του Braess



ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα ισορροπίας

Κριτική θεώρηση των στατικών ντετερμινιστικών μοντέλων καταμερισμού

Πλεονεκτήματα:

- αλγόριθμοι επίλυσης
  υψηλή υπολογιστική απόδοση
- δυνατότητα επίλυσης μεγάλων δικτύων

Μειονεκτήματα: αφορούν τις παραδοχές της αρχής ισορροπίας των χρηστών που αποτελεί την βάση της τυποποίησης των στατικών μοντέλων

- πλήρης γνώση κυκλοφοριακών συνθηκών
  οι οδηγοί γνωρίζουν τους χρόνους διαδρομής κατά μήκος όλων των διαδρομών που ενώνουν τα σημεία αρχής και τέλους του ταξιδιού τους
- οικονομικά ορθολογική συμπεριφορά
  οι οδηγοί επιλέγουν την διαδρομή τους με βάση αυστηρά κριτήρια οικονομικού ορθολογισμού δηλ. ελαχιστοποίηση του χρόνου (κόστους) διαδρομής

Η αρχή της στοχαστικής ισορροπίας

ελλιπής γνώση κυκλοφοριακών συνθηκών → Κάθε χρήστης αντιλαμβάνεται διαφορετικά τον χρόνο που απαιτείται για να διανυθεί ένας σύνδεσμος του δικτύου

Μη οικονομικά ορθολογική συμπεριφορά → Πλέον του χρόνου (κόστους) διαδρομής και άλλοι παράγοντες μπορεί να επηρεάζουν την επιλογή της διαδρομής

Κάθε οδηγός προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει τον αντιληπτό χρόνο (κόστος) διαδρομής

Αρχή στοχαστικής ισορροπίας χρηστών (Daganzo & Sheffi, 1977)

Στην κατάσταση στοχαστικής ισορροπίας του δικτύου, κανένας χρήστης δεν πιστεύει ότι μπορεί να ελαττώσει τον χρόνο διαδρομής του με μια αλλαγή της διαδρομής του

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά στοχαστικά μοντέλα

Στοχαστικός στατικός καταμερισμός στο δίκτυο

Στοχαστική & κλασσική συνθήκη ισορροπίας

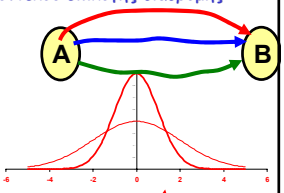
Ο αντιληπτός χρόνος διαδρομής μπορεί να τυποποιηθεί σαν μια τυχαία μεταβλητή κατανεμημένη σε όλο τον πληθυσμό των οδηγών, με μέση τιμή ίση με τον πραγματικό χρόνο διαδρομής → Η στοχαστική συνθήκη ισορροπίας αποτελεί γενίκευση της κλασσικής αρχής του Wardrop

Εάν η αντίληψη του χρόνου διαδρομής είναι ακριβής ⇒ φόρτοι στοχαστικής ισορροπίας = φόρτοι ντετερμινιστικής ισορροπίας

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά στοχαστικά μοντέλα

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ εφαρμογής στοχαστικού μοντέλου επιλογής διαδρομής

	Αντιληπτός χρόνος		Πραγματικός χρόνος
	Οδηγός 1	Οδηγός 2	
Διαδρομή 1	25	20	21
Διαδρομή 2	20	25	22
Διαδρομή 3	25	25	23



Αντιληπτός χρόνος = Πραγματικός χρόνος + Σφάλμα αντίληψης, ανάλυσης, πληροφόρησης

Λόγω ελλιπούς γνώσης των κυκλοφοριακών συνθηκών, οι μετακινούμενοι κάνουν υποθέσεις σχετικά με τον χρόνο διαδρομής κατά μήκος των εναλλακτικών διαδρομών που οδηγούν στον προορισμό τους. Ο χρόνος διαδρομής όπως τον αντιλαμβάνεται ο κάθε οδηγός είναι διαφορετικός από τον πραγματικό χρόνο διαδρομής όπως τον μετρά ο αναλυτής. Έτσι ένα ντετερμινιστικό μοντέλο θα υπολόγιζε ότι και οι δύο οδηγοί θα χρησιμοποιήσουν την συντομότερη διαδρομή 1. Όμως ο πρώτος οδηγός αντιλαμβάνεται την διαδρομή 2 ως την συντομότερη μεταξύ των τριών.

Αντιληπτός χρόνος διαδρομής

Ο αντιληπτός χρόνος διαδρομής αναπαριστά τον χρόνο διαδρομής όπως τον αντιλαμβάνονται οι οδηγοί. Ο αντιληπτός χρόνος μπορεί να τυποποιηθεί σαν μια τυχαία μεταβλητή κατανεμημένη σε όλο τον πληθυσμό των οδηγών, με μέση τιμή ίση με τον πραγματικό χρόνο διαδρομής

$$T_a = tt_a(q_a) + \varepsilon_a$$

a : σύνδεσμος του δικτύου

T_a : αντιληπτός χρόνος (κόστος) διαδρομής του συνδέσμου a *(τυχαία μεταβλητή)*

q_a : ο φόρτος του συνδέσμου a

$tt_a(q_a)$: ο πραγματικός χρόνου διαδρομής του συνδέσμου a (που είναι συνάρτηση του φόρτου), $E[T_a] = tt_a(q_a)$

ε : τυχαία μεταβλητή που περιλαμβάνει τα σφάλματα αντίληψης, (*που οφείλονται κυρίως στο γεγονός ότι οι οδηγοί δεν έχουν πληροφορία/ γνώση των κυκλοφοριακών συνθηκών σε όλο το δίκτυο*) και άλλους μη δυνάμενους να προσδιορισθούν παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή του οδηγού.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά ντετερμινιστικά μοντέλα

Κατηγορίες στατικών στοχαστικών μοντέλων καταμερισμού

Όπως και στην περίπτωση των ντετερμινιστικών μοντέλων καταμερισμού, τα στατικά στοχαστικά μοντέλα χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με το αν θεωρούν ότι ο χρόνος διαδρομής σε ένα σύνδεσμο του δικτύου είναι συνάρτηση του κυκλοφοριακού φόρτου.

Καταμερισμός

« Στοχαστικής φόρτισης δικτύου »

που θεωρεί ότι ο χρόνος διαδρομής σε ένα σύνδεσμο είναι ανεξάρτητος του φόρτου που χρησιμοποιεί τον σύνδεσμο

Μέθοδος Burrel

Μέθοδος Dial.

Καταμερισμός

« Στοχαστικής ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ »

που λαμβάνει υπόψη του την κυκλοφοριακή συμφόρηση και θεωρεί ότι ο χρόνος διαδρομής σε ένα σύνδεσμο εξαρτάται από τον φόρτο που χρησιμοποιεί τον σύνδεσμο.

Μέθοδος ισοδύναμου προβλήματος βελτιστοποίησης

Παράδειγμα εφαρμογής του αλγόριθμου του Burrel

- Από τα δεδομένα του προβλήματος προκύπτει ότι οι φόρτοι μπορούν να υπολογισθούν με εφαρμογή του αλγόριθμου Burrel.
- Για τον υπολογισμό των φόρτων σε κάθε σύνδεσμο του δικτύου θα πρέπει να προσδιορισθεί η διαδρομή που ο κάθε μετακινούμενος αντιλαμβάνεται ως η συντομότερη και την οποία επομένως θα επιλέξει.
- Για τον προσδιορισμό του αντιληπτού χρόνου κάθε διαδρομής, προσδιορίζεται κατ΄ αρχάς ο χρόνος διαδρομής του κάθε συνδέσμου όπως τον αντιλαμβάνεται ο κάθε μετακινούμενος.
- Δεδομένου ότι ο αντιληπτός χρόνος του κάθε συνδέσμου ακολουθεί ομοιόμορφη κατανομή που ορίζεται από την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή του, μια τυχαία τιμή του αντιληπτού χρόνου διαδρομής του συνδέσμου i, υπολογίζεται από την σχέση:

$$t_i^{\text{αντιληπτ ός}} = t_i^{\min} + RND \times (t_i^{\max} - t_i^{\min})$$

Όπου ***RND*** ένας τυχαίος αριθμός στο διάστημα [0,1]

Αλγόριθμος του Burrel

- Βασικές παραδοχές
  - Κάθε οδηγός επιλέγει την διαδρομή με το μικρότερο κόστος
  - Κάθε οδηγός αντιλαμβάνεται το κόστος διαφορετικά
  - Το αντιληπτό κόστος σε κάθε σύνδεσμο του δικτύου ακολουθεί μια κατανομή της οποίας η μέση τιμή είναι το πραγματικό κόστος που μετράται κάτω από κανονικές συνθήκες
  - Οι κατανομές κόστους των συνδέσμων είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους
- Ο αλγόριθμος Burrel είναι στην ουσία ένα αλγόριθμος προσομοίωσης
  - Για κάθε μετακίνηση ενός συγκεκριμένου ζεύγους Π-Π επιλέγονται από τις κατανομές κόστους συγκεκριμένες τιμές που αντιπροσωπεύουν το κόστος κάθε συνδέσμου. Στην συνέχεια η μετακίνηση ακολουθεί την συντομότερη διαδρομή
  - Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις μετακινήσεις στο δίκτυο
  - Συνήθως χρησιμοποιείται η κανονική, ή η ορθογωνική (ομοιόμορφη) κατανομή

Παράδειγμα εφαρμογής του αλγόριθμου του Burrel

Έστω ότι οι τυχαίοι αριθμοί RND είναι διαθέσιμοι, και χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του αντιληπτού χρόνου διαδρομής για έναν μετακινούμενο, εφαρμόζοντας την σχέση

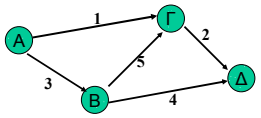
$$t_i^{\text{αντιληπτ ός}} = t_i^{\min} + RND \times (t_i^{\max} - t_i^{\min})$$

Σύνδεσμος	Ορθογωνική κατανομή χρόνου			Τυχαίος αριθμός	Αντιληπτός χρόνος συνδέσμου	Χαρακτηριστικά Διαδρομής			
						Διαδρομή	Ελάχιστος χρόνος	Μέγιστος χρόνος	Αντιληπτός χρόνος
(1)	(2)		(3)	(4)	(5) = (2) + (4)*[(3)-(2)]	(6)	(7) = Σ (2)	(8) = Σ (3)	(9) = Σ (5)
1	10	-	13	0,30376	10,91	ΑΓΔ	16	21	17,06
2	6	-	8	0,07187	6,14				
3	6	-	8	0,33467	6,67	ΑΒΔ	15	21	15,74
4	9	-	13	0,01803	9,07				
5	2	-	7	0,05334	2,27	ΑΒΓΔ	14	23	15,08

Επομένως ο συγκεκριμένος μετακινούμενος αντιλαμβάνεται ότι ο χρόνος μετακίνησης μέσω της διαδρομής ΑΓΔ είναι 17', μέσω της διαδρομής ΑΒΔ 15,7' και μέσω της διαδρομή ΑΒΓΔ ότι είναι 15'. Επομένως επιλέγει την διαδρομή ΑΒΓΔ.

Παράδειγμα εφαρμογής του αλγόριθμου του Burrel

Ο αντιληπτός χρόνος διαδρομής σε κάθε σύνδεσμο του δικτύου ακολουθεί ορθογωνική/ομοιόμορφη κατανομή.



Το φάσμα τιμών του αντιληπτού χρόνου δίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Σύνδεσμος (i)	Ελάχιστος αντιληπτός χρόνος t_i^{min}	Μέγιστος αντιληπτός χρόνος t_i^{max}
1	10	13
2	6	8
3	6	8
4	9	13
5	2	7

Να υπολογισθεί πως θα καταμερισθούν στο δίκτυο 6 μετακινήσεις από τον κόμβο Α στον κόμβο Β

Παράδειγμα εφαρμογής του αλγόριθμου του Burrel

Η διαδικασία προσδιορισμού της διαδρομής με τον μικρότερο αντιληπτό χρόνο επαναλαμβάνεται για όλους τους μετακινούμενους

Σύνδεσμος	προσομοίωση μετακίνησης 1				προσομοίωση μετακίνησης 2				προσομοίωση μετακίνησης 3			
	Τυχαίος αριθμός	Αντιληπτός χρόνος συνδέσμου	Αντιληπτός χρόνος διαδρομής		Τυχαίος αριθμός	Αντιληπτός χρόνος συνδέσμου	Αντιληπτός χρόνος διαδρομής		Τυχαίος αριθμός	Αντιληπτός χρόνος συνδέσμου	Αντιληπτός χρόνος διαδρομής	
(1)	(4)	(5) = (2) + (4)*[(3)-(2)]	(6)	(9) = Σ (5)	(4)	(5) = (2) + (4)*[(3)-(2)]	(6)	(9) = Σ (5)	(4)	(5) = (2) + (4)*[(3)-(2)]	(6)	(9) = Σ (5)
1	0,3877	11,16	ΑΓΔ	17,81	0,4267	11,28	ΑΓΔ	18,50	0,5801	11,74	ΑΓΔ	19,27
2	0,3247	6,65			0,6080	7,22			0,7660	7,53		
3	0,4042	6,81	ΑΒΔ	17,30	0,9130	7,83	ΑΒΔ	20,55	0,2460	6,49	ΑΒΔ	16,21
4	0,3723	10,49			0,9322	12,73			0,1800	9,72		
5	0,2276	3,14	ΑΒΓΔ	16,60	0,6163	5,08	ΑΒΓΔ	20,12	0,1821	2,91	ΑΒΓΔ	16,93

Παράδειγμα εφαρμογής του αλγόριθμου του Burrel

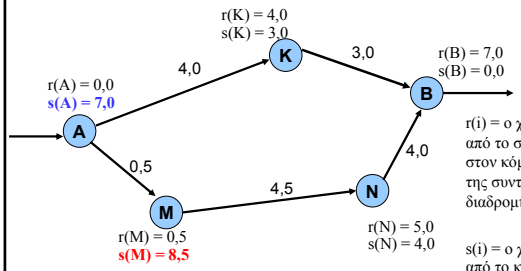
	προσομοίωση μετακίνησης 4				προσομοίωση μετακίνησης 5				προσομοίωση μετακίνησης 6			
Σύνδεσμος	Τυχαίος αριθμός	Αντιληπτός χρόνος συνδέσμου	Αντιληπτός χρόνος διαδρομής		Τυχαίος αριθμός	Αντιληπτός χρόνος συνδέσμου	Αντιληπτός χρόνος διαδρομής		Τυχαίος αριθμός	Αντιληπτός χρόνος συνδέσμου	Αντιληπτός χρόνος διαδρομής	
(1)	(4)	(5) = (2) + (4)*[(3)-(2)]	(6)	(9) = Σ(5)	(4)	(5) = (2) + (4)*[(3)-(2)]	(6)	(9) = Σ(5)	(4)	(5) = (2) + (4)*[(3)-(2)]	(6)	(9) = Σ(5)
1	0,1112	10,33	ΑΓΔ	16,95	0,7012	12,10	ΑΓΔ	19,87	0,9520	12,86	ΑΓΔ	20,07
2	0,3063	6,61			0,8834	7,77			0,6081	7,22		
3	0,7585	7,52	ΑΒΔ	17,51	0,4474	6,89	ΑΒΔ	16,46	0,6154	7,23	ΑΒΔ	16,82
4	0,2491	10,00			0,1415	9,57			0,1484	9,59		
5	0,4125	4,06	ΑΒΓΔ	18,19	0,1364	2,68	ΑΒΓΔ	17,34	0,2104	3,05	ΑΒΓΔ	17,50

Η μέθοδος του Dial – λογικές διαδρομές

Μια διαδρομή θεωρείται λογική μόνο εφόσον προχωρεί διαδοχικά

α) πλησιάζοντας τον κόμβο προορισμού και ταυτόχρονα

β) απομακρύνεται από τον κόμβο προέλευσης



r(i) = ο χρόνος διαδρομής από το σημείο προέλευσης στον κόμβο i, κατά μήκος της συντομότερης διαδρομής

s(i) = ο χρόνος διαδρομής από το κόμβο i, στο σημείο προορισμού κατά μήκος της συντομότερης διαδρομής

Οι οδηγοί που θα ακολουθούσαν στην διαδρομή A-M-N-B, φθάνοντας στο M θα είχαν απομακρυνθεί από τον προορισμό τους : **s(M) > s(A)**

Παράδειγμα εφαρμογής του αλγόριθμου του Burrel

Αθροίζοντας σε κάθε σύνδεσμο τους φόρτους που προέρχονται από κάθε μετακίνηση προκύπτει ο φόρτος σε κάθε σύνδεσμο του δικτύου

Μετα-κινούμε νος	Συντομότερη διαδρομή	φόρτος	Φόρτος στον σύνδεσμο				
			1	*2*	*3*	*4*	*5*
1	ΑΒΓΔ	1		1	1		1
2	ΑΓΔ	1	1	1			
3	ΑΒΔ	1			1	1	
4	ΑΓΔ	1	1	1			
5	ΑΒΔ	1			1	1	
6	ΑΒΔ	1			1	1	
σύνολο			**2**	**3**	**4**	**3**	**1**

Η μέθοδος του Dial

- Για τον καταμερισμό των μετακινήσεων εφαρμόζεται η θεωρεία των διακριτών επιλογών και χρησιμοποιείται ένα μοντέλο τύπου Logit

$$P_k^{ij} = \frac{e^{-\theta . c_k^{ij}}}{\sum_m e^{-\theta . c_k^{ij}}} \qquad \forall\, k, i, j$$

P_k^{ij} η πιθανότητα επιλογής της διαδρομής κ που συνδέει το ζεύγος Π-Π i-j

c_k^{ij} το κόστος της μετακίνησης μέσω της διαδρομής κ που συνδέει το ζεύγος Π-Π i-j

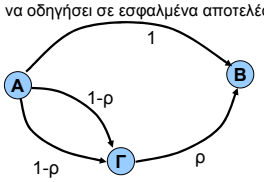
Ο μέθοδος χρησιμοποιεί αλγόριθμο που καταμερίζει τους φόρτους διαδοχικά από κόμβο σε κόμβο χωρίς να χρειάζεται απαρίθμηση όλων των διαδρομών. Επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση μεγάλων δικτύων.

Η μέθοδος του Dial

- Βασικές παραδοχές
  - Κάθε οδηγός αντιλαμβάνεται το κόστος διαφορετικά
  - Το αντιληπτό κόστος σε κάθε εναλλακτική διαδρομή ακολουθεί μια κατανομή τύπου Gumbel (δηλ., η κατανομή που χρησιμοποιείται στα μοντέλα διακριτών επιλογών τύπου Logit)
  - Ο καταμερισμός των μετακινήσεων μεταξύ δύο σημείων γίνεται με βάση την πιθανότητα επιλογής που εξαρτάται από τα κόστη των εναλλακτικών διαδρομών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν.
  - Ο αριθμός των διαδρομών που ενώνουν ένα ζεύγος σημείων μπορεί να είναι πολύ μεγάλος – εξαρτάται από τον αριθμό των κόμβων, των συνδέσμων και την γεωμετρία του δικτύου.
  - Κατά την διαδικασία επιλογής της διαδρομής οι μετακινούμενοι λαμβάνουν υπόψη μόνο ένα υποσύνολο όλων των δυνατών διαδρομών. Οι διαδρομές που λαμβάνονται υπόψη ονομάζονται λογικές διαδρομές
  - Η έννοια των λογικών διαδρομών απλοποιεί την διαδικασία υπολογισμού του καταμερισμού των φόρτων και εξασφαλίζει ότι εντελώς παράλογες διαδρομές, πχ. κυκλικές διαδρομές δεν λαμβάνονται υπόψη.

Κριτική θεώρηση των μεθόδων καταμερισμού που χρησιμοποιούν το μοντέλο Logit

Η εφαρμογή του μοντέλου Logit θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή δεδομένου ότι λόγω των περιοριστικών παραδοχών στις οποίες βασίζεται μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα αποτελέσματα

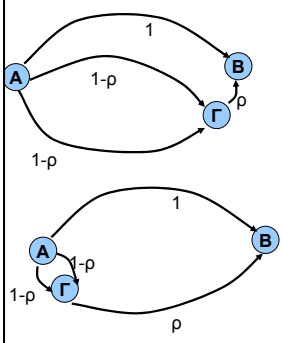


Παράδειγμα :

Στο δίκτυο υπάρχουν 3 διαδρομές που συνδέουν το ζεύγος A-B. Ο χρόνος διαδρομής σε κάθε μια από αυτές είναι ίσος με 1 μονάδα χρόνου. Οι δύο κάτω διαδρομές αλληλεπικαλύπτονται σε ένα ποσοστό του μήκους τους, ρ. (0 < ρ < 1)

Υπολογίστε το ποσοστό των μετακινούμενων που χρησιμοποιεί την κάθε διαδρομή χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο Logit

Κριτική θεώρηση των μεθόδων καταμερισμού που χρησιμοποιούν το μοντέλο Logit



Όταν το ρ είναι πολύ μικρό είναι λογικό οι μετακινούμενοι να αντιλαμβάνονται ότι υπάρχουν 3 διαφορετικές εναλλακτικές διαδρομές, επομένως αφού οι χρόνοι διαδρομής είναι ίσοι, είναι λογικό η πιθανότητα να χρησιμοποιηθεί η κάθε διαδρομή είναι 33,33%

Όταν το ρ είναι πολύ μεγάλο είναι πιο πιθανό ότι μετακινούμενοι να αντιλαμβάνονται ότι υπάρχουν 2 διαφορετικές εναλλακτικές διαδρομές, και η πιθανότητα να χρησιμοποιηθεί η κάθε μια είναι 50%. Σε αυτή την περίπτωση όμως το logit με βάση την κωδικοποίηση του δικτύου θεωρεί 3 διαδρομές με ίσους χρόνους διαδρομής και επομένως υπολογίζει ότι η πιθανότητα να χρησιμοποιηθεί κάθε μια από αυτές είναι 33,33%. Επομένως στο τμήμα ΓΒ κυκλοφορεί το 66,66% των συνολικών μετακινούμενων.

Που οφείλεται το σφάλμα που εισάγει το Logit?

Το ισοδύναμο πρόβλημα βελτιστοποίησης
του στοχαστικού καταμερισμού ισορροπίας

(Fisk *1980*)

$$\min z(\mathbf{x}) = -\sum_{rs} q_{rs}.E\left[\min_k\{C_k^{rs}\} \mid \mathbf{c}^{rs}(\mathbf{x})\right] + \sum_a x_a.tt_a(x_a) - \sum_a \int_0^{x_a} tt_a(\omega)d\omega$$

α : σύνδεσμος του δικτύου

tt_α : συνάρτηση χρόνου διαδρομής του συνδέσμου i

ω : η μεταβλητή του προβλήματος βελτιστοποίησης (δηλ. ο κυκλοφοριακός φόρτος του συνδέσμου)

x_a : η βέλτιστη τιμή της μεταβλητής (δηλ. ο κυκλοφοριακός φόρτος ισορροπίας στον σύνδεσμο a)

q_{rs} : Οι μετακινήσεις του ζεύγους Π-Π r-s

C_k^{rs} : το κόστος διαδρομής από το r στο s κατά μήκος της διαδρομής k.

Κριτική θεώρηση των μεθόδων καταμερισμού που χρησιμοποιούν το μοντέλο Logit

- Μια βασική παραδοχή του μοντέλου Logit είναι ότι οι εναλλακτικές επιλογές που αξιολογεί είναι στατιστικά ανεξάρτητες. Στο παράδειγμα όμως που αναλύουμε υπάρχει μεγάλη αλληλοεπικάλυψη των δύο κάτω διαδρομών. Επομένως δεν είναι στατιστικά ανεξάρτητες και επομένως δεν μπορεί να εφαρμοσθεί το μοντέλο Logit
- Η ιδιότητα αυτή του logit σημαίνει ότι τα αποτελέσματα που δίνει ο αλγόριθμος του Dial επηρεάζονται από την τοπολογία του δικτύου.
- Όταν η συνθήκη στατιστικής ανεξαρτησίας των εναλλακτικών διαδρομών ισχύει, τότε ένα σωστά βαθμονομημένο μοντέλο logit που βασίζεται σε στοιχεία από ικανοποιητικό δείγμα, δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα.
- Με κατάλληλη κωδικοποίηση του δικτύου και την εφαρμογή της αρχής των λογικών διαδρομών, είναι δυνατόν υπό ορισμένες προϋποθέσεις να αποτρέψουμε την δημιουργία στατιστικά εξαρτημένων διαδρομών.

Επίλυση του στοχαστικού καταμερισμού ισορροπίας

- Ο αλγόριθμος επίλυσης είναι μια επαναληπτική διαδικασία. Σε κάθε επανάληψη καταμερίζεται ο φόρτος χρησιμοποιώντας τους αλγόριθμους στοχαστικής φόρτισης του δικτύου (π.χ. ο αλγόριθμος Dial, όπου οι χρόνοι διαδρομής θεωρούνται σταθεροί και ανεξάρτητοι από τους φόρτους). Η επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης γίνεται με εφαρμογή της μεθόδου των διαδοχικών μέσων όρων.
- Ο αλγόριθμος ακολουθεί την διαδικασία που χρησιμοποιείται για την επίλυση του ισοδύναμου προγράμματος βελτιστοποίησης του ντετερμινιστικού καταμερισμού ισορροπίας.

Κριτική θεώρηση των μεθόδων καταμερισμού που χρησιμοποιούν το μοντέλο Logit

- Φαινόμενα υπερφόρτωσης συγκεκριμένων συνδέσμων όπως αυτό που παρουσιάσαμε προηγουμένως, είναι πιο έντονα στην περίπτωση που ο χρόνος διαδρομής θεωρείται ανεξάρτητος του φόρτου. Σε αντίθετη περίπτωση, υπερφόρτιση ενός συνδέσμου θα οδηγήσει σε μεγάλη αύξηση του χρόνου διαδρομής που θα οδηγήσει σε μείωση του φόρτου.
- Επομένως εφαρμογή της μεθόδου του Dial λαμβάνοντας υπόψη ότι χρόνος διαδρομής είναι συνάρτηση του φόρτου μειώνει τα φαινόμενα μη λογικής υπερφόρτωσης συγκεκριμένων συνδέσμων.
- Για την επίλυση του προβλήματος της στοχαστικής ισορροπίας σε οδικά δίκτυα και όταν ο χρόνος διαδρομής θεωρείται συνάρτηση του χρόνου, χρησιμοποιείται η τυποποίηση του ισοδύναμου προβλήματος βελτιστοποίησης.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Ισοδύναμο πρόβλημα βελτιστοποίησης

Αλγόριθμός επίλυσης του ισοδύναμου προγράμματος βελτιστοποίησης

➔ Βήμα 0: Έναρξη
- Εφαρμογή της στοχαστικής φόρτισης του δικτύου (π.χ. Dial) με βάση τους χρόνους διαδρομής $t_a^0=t_a(0)$ για κάθε σύνδεσμο a. Ο καταμερισμός έχει σαν αποτέλεσμα τους φόρτους σε όλους τους συνδέσμους $\{x_a^1\}$.
- Έναρξη αρίθμησης επαναλήψεων, $n=1$

➔ Βήμα 1: Ενημέρωση :
- $t_a^n = t_a(x_a^n)$ για κάθε σύνδεσμο a.

➔ Βήμα 2: Προσδιορισμός κατεύθυνσης που ελαχιστοποιεί την συνάρτηση βελτιστοποίησης
- Εφαρμογή της στοχαστικής φόρτισης του δικτύου με βάση τους χρόνους διαδρομής t_a^n . Ο καταμερισμός έχει σαν αποτέλεσμα τους «*βοηθητικούς*» φόρτους σε όλους τους συνδέσμους $\{y_a^1\}$.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Ισοδύναμο πρόβλημα βελτιστοποίησης

Αλγόριθμός επίλυσης του ισοδύναμου προγράμματος βελτιστοποίησης

➔ Βήμα 3: Υπολογισμός μέσων όρων.

- $x_a^{n+1} = x_a^n + (1/n).(y_a^n - x_a^n)$, $\forall a$.

➔ Βήμα 4: Τέστ σύγκλισης.

- Εάν το κριτήριο σύγκλισης ικανοποιείται (π.χ. μικρή διαφορά μεταξύ των τιμών που προκύπτουν από διαδοχικές επαναλήψεις), ο αλγόριθμος τερματίζει και οι φόρτοι ισορροπίας είναι οι τελευταίοι φόρτοι που υπολογίσθηκαν $\{x_a^{n+1}\}$, αλλιώς $n=n+1$ και πήγαινε στο βήμα 1.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα ισορροπίας

Παράδειγμα: προσδιορισμός ύψους διοδίου

Από τα δεδομένα του προβλήματος προκύπτει ότι η γενική σχέση χρόνου διαδρομής – φόρτου εκφράζεται ως εξής:

$$T_i(x_i) = To_i + a_i.x_i$$

Επομένως

$$T_1(x_1) = 60 + 0{,}02.x_1 \qquad To_1 = 60 \qquad a_1 = 0{,}02$$

$$T_2(x_2) = 90 + 0{,}04.x_2 \qquad To_2 = 90 \qquad a_2 = 0{,}04$$

Δεδομένου ότι εφαρμόζεται χρέωση για την χρήση του νέας σύνδεσης, οι μετακινούμενοι θα πρέπει να σταθμίσουν τα οφέλη και κόστη κάθε διαδρομής και θα επιλέξουν την πιο συμφέρουσα.

Το κριτήριο που θα χρησιμοποιήσουν θα είναι η ελαχιστοποίηση του γενικευμένου κόστους.

Εφαρμογές ντετερμινιστικών και στοχαστικών μοντέλων καταμερισμού

- Τα μοντέλα στοχαστικού και ντετερμινιστικού καταμερισμού ισορροπίας χρησιμοποιούνται ευρέως για τις προβλέψεις κυκλοφοριακών φόρτων.
- Τα στοχαστικά μοντέλα παρέχουν πιο ρεαλιστική αναπαράσταση του προβλήματος, αλλά υπάρχουν θεωρητικά προβλήματα που απαιτούν περαιτέρω έρευνα
- Τα αποτελέσματα των στοχαστικών και ντετερμινιστικών μοντέλων συγκλίνουν σε κυκλοφοριακά υπερφορτισμένα δίκτυα.
- Η μέθοδος του στοχαστικού καταμερισμού στο δίκτυο χρησιμοποιήθηκε στις μελέτες πρόβλεψης των μετακινήσεων στο εθνικό οδικό δίκτυο της χώρας που εκπονήθηκαν το 1993 και το 2002.

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα ισορροπίας

Παράδειγμα: προσδιορισμός ύψους διοδίου

Έστω Β η αξία του χρόνου , Β = 7 ΕΥΡΩ/ωρα,

Ci το γενικευμένο κόστος μέσω της διαδρομής i

Δ το ύψος του διοδίου που θα εφαρμοσθεί

Q ο συνολικός φόρτος σε οχ/ωρα = 1000 οχ/ωρα

Το γενικευμένο κόστος για κάθε διαδρομή εκφράζεται με τις ακόλουθες σχέσεις:

$$C_1(x_1) = B.(To_1 + a_1.x_1) + \Delta$$

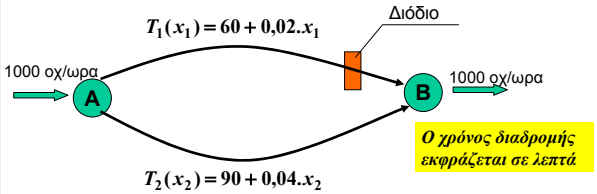
$$C_2(x_2) = B.(To_2 + a_2.x_2)$$

Στην κατάσταση ισορροπίας το κόστος διαδρομής θα είναι το ίδιο οποιαδήποτε διαδρομή και αν ακολουθήσει ο μετακινούμενος:

$$C_1(x_1) = C_2(x_2)$$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα ισορροπίας

Παράδειγμα: προσδιορισμός ύψους διοδίου



Οι πόλεις Α και Β συνδέονται μέσω της οδού 2 για την οποία η συνάρτηση του χρόνου διαδρομής δίδεται στο σχήμα.

Η νέα σύνδεση μέσω της οδού 1 προβλέπεται να κατασκευασθεί με σύμβαση παραχώρησης.

Να υπολογισθεί το ύψος του διοδίου που μεγιστοποιεί τα έσοδα από τα διόδια, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η περίοδος παραχώρησης.

Η αξία του χρόνου είναι 7 ΕΥΡΩ/ώρα

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα ισορροπίας

Παράδειγμα: προσδιορισμός ύψους διοδίου

$$\Rightarrow \left.\begin{array}{l} C_1(x_1) = C_2(x_2) \\ C_1(x_1) = B.(To_1 + a_1.x_1) + \Delta \\ C_2(x_2) = B.(To_2 + a_2.x_2) \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\left.\begin{array}{l} B.(To_1 + a_1.x_1) + \Delta = B.(To_2 + a_2.x_2) \\ \text{Από την συνθήκη διατήρησης του φόρτου στους κόμβους Α και Β προκύπτει:} \\ Q = x_1 + x_2 \quad \Rightarrow \quad x_1 = Q - x_2 \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad B.(To_1 + a_1.x_1) + \Delta = B.(To_2 + a_2.(Q - x_1))$$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα ισορροπίας

Παράδειγμα: προσδιορισμός ύψους διοδίου

Εάν επιλύσουμε την σχέση:

$$B.(To_1 + a_1.x_1) + \Delta = B.(To_2 + a_2.(Q - x_1))$$

ως προς x_1, μπορούμε να υπολογίσουμε τον φόρτο ισορροπίας σαν συνάρτηση του ύψους του διοδίου Δ. $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \quad B.To_1 + B.a_1.x_1 + \Delta = B.To_2 + B.a_2.Q - B.a_2.x_1 \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad x_1.(B.a_1 + B.a_2) = B.(To_2 - To_1) + B.a_2.Q - \Delta \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad x_1 = \frac{B.(To_2 - To_1) + B.a_2.Q - \Delta}{(B.a_1 + B.a_2)}$$

Τα έσοδα, E, όταν ο μέσος ωριαίος φόρτος ισούται με Q, υπολογίζονται με την σχέση:

$$\Rightarrow \quad E = x_1.\Delta$$

$\Rightarrow$

ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ : Στατικά μοντέλα ισορροπίας

Παράδειγμα: προσδιορισμός ύψους διοδίου

$$\Rightarrow \quad E = x_1.\Delta = \frac{B.(To_2 - To_1) + B.a_2.Q - \Delta}{(B.a_1 + B.a_2)}.\Delta$$

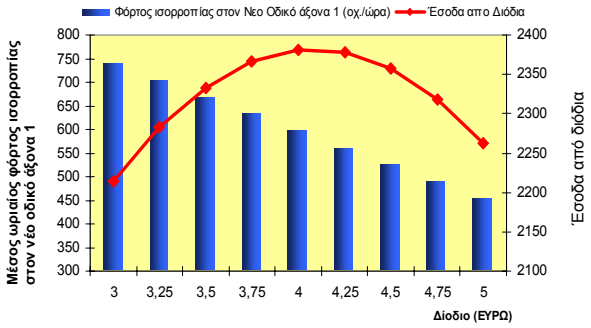
Επομένως τα έσοδα έχουν εκφρασθεί σαν συνάρτηση του ύψους του διοδίου. Η τιμή του Δ που μηδενίζει την παράγωγο του E, είναι το διόδιο για τον οποίο μεγιστοποιούνται τα έσοδα:

$$\frac{dE}{d\Delta} = 0$$

$$\Rightarrow \quad \frac{B.(To_2 - To_1) + B.a_2.Q - 2\Delta}{(B.a_1 + B.a_2)} = 0$$

$$\Rightarrow \quad \Delta = \frac{B.(To_2 - To_1) + B.a_2.Q}{2}$$

Το πρόβλημα μπορεί να λυθεί και με υπολογισμό των εσόδων για διαφορετικά επίπεδα διοδίου, και εντοπισμό εκείνης της τιμής που μεγιστοποιεί τα έσοδα.



Οικονομία των μεταφορών
-
Οικονομικά στοιχεία

5ο εξάμηνο

Πέτρος Βυθούλκας
επικ. καθηγητής

Γενικές πληροφορίες για το μάθημα

- Δυστυχώς έχουμε μόνο 5 διαλέξεις που δεν επαρκούν για ανάλυση των θεμάτων σε μεγαλύτερο βάθος.
  - έμφαση στην θεωρεία και στις βασικές έννοιες, ώστε να είναι δυνατή η μεγαλύτερη εμβάθυνση σε συγκεκριμένα θέματα.
  - Σημειώσεις από το web site του ΕΣΤΕ.
  - Τα slides αποτελούν draft των σημειώσεων.
  - 100% βαθμολογίας από γραπτές εξετάσεις – χωρίς σημειώσεις.
  - Θα λύνετε τις ασκήσεις στο Β1 με δική μου βοήθεια.
  - Είναι ένα εύκολο μάθημα.
  - Αρκετά διαφορετικό από τα περισσότερα μαθήματα που έχετε διδαχθεί.

*

Γενικές πληροφορίες για το μάθημα

Γενικές πληροφορίες για το μάθημα

- Χρήσιμο για την επαγγελματική σας εξέλιξη – σε έρευνα αποφοίτων της σχολής σημαντικό % δήλωσε ότι θα ήταν χρήσιμο να είχαν εμβαθύνει περισσότερο σε θέματα οικονομίας και διοίκησης.
- Μερικές φορές θα χρησιμοποιούμε έννοιες και παραδείγματα που δεν είναι σχετικά με την επιστήμη του μηχανικού – είναι όμως πιο εύκολα για την κατανόηση – λίγο υπομονή.
- Θα μιλήσουμε για θέματα για τα οποία υπάρχουν εντελώς διαφορετικές απόψεις – Επενδύσεις σε οδικά έργα ή ΜΜΜ, διαφορετικές οικονομικές θεωρίες.
- Για τα θέματα που θα αναλύσουμε, στην πράξη απόλυτα βέλτιστη λύση δεν υπάρχει – είναι τόσο πολλές οι συνιστώσες των αυτών των συστημάτων που δεν είναι δυνατόν να τα προτυποποιήσουμε και να τα επιλύσουμε.
- Γιατί είναι χρήσιμο? Για να διαμορφώνουμε και αξιολογούμε την πολιτική των μεταφορών, δηλ. τις κατευθύνσεις προς τις οποίες θα πρέπει να προσανατολίζεται ο σχεδιασμός των μεταφορών.

Οικονομία των μεταφορών :

- **Στοιχεία γενικής οικονομικής θεωρίας και οικονομίας των μεταφορών**
- **Εκτενές αντικείμενο – θα καλύψουμε ένα ευρύ (αλλά όχι όλο το) φάσμα των θεμάτων που αφορούν την οικονομία των μεταφορών αλλά όχι σε μεγάλο βάθος**
- **Εφαρμογή κυρίως σε Συγκοινωνιακά αλλά και περιβαλλοντικά θέματα**

Γιατί ??

Οικονομικά στοιχεία:

- **Μέθοδοι Αξιολόγησης Συγκοινωνιακών Έργων και Συστημάτων**
- **Εφαρμόσιμες στα έργα υποδομής γενικά, όχι μόνο στα συγκοινωνιακά**
- **Μέθοδοι χρηματοδότησης υποδομής**

Βιβλιογραφία

Προδιαγραφές Μελετών Σκοπιμότητας Οδικών Έργων. Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. / Γ.Γ.Δ.Ε. / Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας.

Οδηγός για την ανάλυση Κόστους-Ωφέλειας των μεγάλων έργων. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γενική Διεύθυνση XVI, Περιφερειακή Πολιτική και Συνοχή.

Προφυλλίδης Β. (1993). **Οικονομική των Μεταφορών**. Εκδόσεις Γιαχούδη.

Button K.J. (1996). ***Transport Economics.*** Edward Elgar Publishing Ltd.

Notes on the Economic Evaluation of Transport Projects. Transport Economics, Policy and Poverty Thematic Group. The World Bank, Washington DC.

Small K.A. (1992). **Urban Transportation Economics**. Harwood Academic Publishers.

Cole S. (1998). **Applied Transport Economics.** Kogan Page Ltd.

Journal of Transport Economics and Policy.

1 Εισαγωγή στην οικονομία των μεταφορών

Βασικές συνιστώσες της οικονομικής ανάλυσης στις μεταφορές

- Ζήτηση, Προσφορά και αλληλεπίδραση προσφοράς και ζήτησης
- Εξωτερικές αλληλεπιδράσεις, κοινωνικό κόστος και κοινωνικό όφελος
- Αποδοτική Κατανομή των πόρων
- Η Αξιολόγηση των έργων - χρηματοοικονομική και κοινωνικοοικονομική
- Χρηματοδότηση έργων - Νέες μέθοδοι χρηματοδότησης
- Τιμολόγηση – χρέωση για χρήση οδικού δικτύου
- Το κανονιστικό πλαίσιο λειτουργίας
- Ανταγωνισμός και ιδιωτικοποίηση των μέσων μαζικής μεταφοράς

Οικονομία των μεταφορών

- Η οικονομία των μεταφορών είναι διεπιστημονική σπουδή θεμάτων που συνδέουν την επιστήμη του συγκοινωνιολόγου μηχανικού με τις οικονομικές επιστήμες.
- Η οικονομία των μεταφορών διαφέρει από άλλους κλάδους των οικονομικών επιστημών δεδομένου ότι οι παραδοχές που γίνονται σε άλλους κλάδους δεν ισχύουν

Σε άλλους κλάδους δεν λαμβάνεται υπόψη η	Αλλά στις μεταφορές
χωρική διάσταση	Άνθρωποι και εμπορεύματα κινούνται σε δίκτυα με συγκεκριμένες ταχύτητες και χωρητικότητες
Χρονική διάσταση	Η ζήτηση παρουσιάζει έντονες αιχμές. Η αγορά εισιτηρίου αρκετό χρόνο πριν την πραγματοποίηση του ταξιδιού μπορεί να συνεπάγεται πολύ χαμηλότερο κόμιστρο

- Τα μεταφορικά δίκτυα μπορεί να είναι ή να μην είναι ανταγωνιστικά
- Ένα ταξίδι μπορεί να απαιτεί υπηρεσίες από διαφορετικές εταιρείες, οργανισμούς, και διαφορετικά μέσα

Ζήτηση και Προσφορά

Ένα παλιό αστείο για τους οικονομολόγους

Αν θέλεις έναν καλό οικονομολόγο αυτό που χρειάζεσαι είναι ένας

παπαγάλος

που θα τον μάθεις να λέει ΠΡΟΣΦΟΡΑ και ΖΗΤΗΣΗ για απάντηση σε οποιαδήποτε ερώτηση.

Είναι άδικο, αλλά ……

Η θεωρεία της προσφοράς και της ζήτησης αποτελεί τον πυρήνα της οικονομικής επιστήμης

Αποτελεί το πρότυπο (μοντέλο) που χρησιμοποιούν οι οικονομολόγοι για αναλύσουν σχεδόν όλα τα προβλήματα που μελετούν, ακόμα και όταν αυτή η θεωρεία δεν είναι άμεσα εφαρμόσιμη.

Οικονομία των μεταφορών

Αντικείμενο των οικονομικών επιστήμών :

ο προσδιορισμός της αποδοτικής κατανομής των πόρων σε ένα σύστημα.

Αντικείμενο της οικονομίας των μεταφορών :

Ο προσδιορισμός της αποδοτικής κατανομής των πόρων έτσι ώστε να υλοποιηθούν οι στόχοι του σχεδιασμού των μεταφορών και να μεγιστοποιηθεί το κοινωνικό όφελος.

Αντικείμενο του σχεδιασμού των μεταφορών είναι:

ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του μεταφορικού συστήματος που θα προσφέρει το βέλτιστο επίπεδο εξυπηρέτησης στους μετακινούμενους.

Ζήτηση και Προσφορά

- Η θεωρεία της προσφοράς και ζήτησης χρησιμοποιείται για την ανάλυση των ανταγωνιστικών αγορών
- Οι ανταγωνιστικές αγορές λειτουργούν μέσω του μηχανισμού της αλληλεπίδρασης της προσφοράς με την ζήτηση.
- Ο Alfred Marshall παρομοίασε την προσφορά και ζήτηση με τις δύο λεπίδες ενός ψαλιδιού. Απαιτούνται και οι δύο.
- Θα αναλύσουμε κατ΄ αρχάς την ζήτηση και την προσφορά ξεχωριστά και στην συνέχεια την αλληλεπίδραση τους – την ισορροπία της προσφοράς και της ζήτησης.

2 η ζήτηση

η Ζήτηση για κατανάλωση αγαθών και η έννοια της Ωφέλειας

- Η αγορά και κατανάλωση μιας μονάδας ποσότητας ενός αγαθού από ένα πρόσωπο (καταναλωτή), εξαρτάται από
  - ➔ την **τιμή** που θα πρέπει να πληρώσει το πρόσωπο αυτό για την αγορά του αγαθού,
  - ➔ την **ωφέλεια** που θα έχει το πρόσωπο από την κατανάλωση του συγκεκριμένου αγαθού.

  όπου τόσο το πρόσωπο όσο και το αγαθό έχουν **συγκεκριμένα χαρακτηριστικά**.
- Η ωφέλεια εκφράζει την ικανοποίηση που έχει το πρόσωπο από την κατανάλωση του αγαθού/χρησιμοποίηση της υπηρεσίας.
- Ανάλογα με την ωφέλεια που θα απολαμβάνει ο καταναλωτής στην **συγκεκριμένη περίσταση,** είναι και διατεθειμένος/ έχει την πρόθεση / επιθυμεί (willing to pay) να πληρώσει και μια συγκεκριμένη τιμή για την αγορά του συγκεκριμένου αγαθού.

Ορισμοί :

Ζήτηση

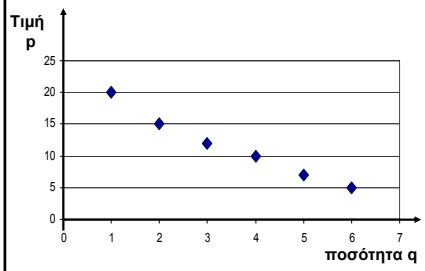
- Ο όρος ζήτηση μπορεί να έχει περισσότερες από μία έννοιες, αλλά στην μικροοικονομία έχει έναν μοναδικό ορισμό:

Ορισμός:
Η ζήτηση είναι η **σχέση** μεταξύ της τιμής και της ποσότητας ενός αγαθού (προϊόντος / υπηρεσίας) που θέλουν να καταναλώσουν οι καταναλωτές κάτω από κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες. Για κάθε τιμή, η σχέση της ζήτησης μας δίδει την ποσότητα που θέλουν να αγοράσουν οι καταναλωτές στην αντίστοιχη τιμή. Η ποσότητα που θέλουν να αγοράσουν ονομάζεται η ζητούμενη ποσότητα

Εξ ορισμού επομένως

Η ζήτηση είναι σχέση όχι ποσότητα

(Ατομικές) Καμπύλες Ζήτησης



τιμή	Ποσότητα
20,0	1
15,0	2
12,5	3
10,0	4
7,5	5
5	6

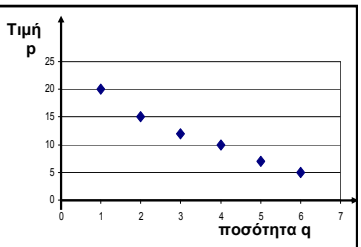
Η καμπύλη της ζήτησης εκφράζει την ποσότητα που θα καταναλωθεί όταν είναι δεδομένη η τιμή του αγαθού.

Ορισμοί :

Ζήτηση

- Ο όρος ζήτηση αναφέρεται στην επιθυμία και την δυνατότητα που έχουν οι καταναλωτές (δηλ. οι μετακινούμενοι όταν αναλύουμε την οικονομία των μεταφορών) να αγοράσουν ένα προϊόν/ μια υπηρεσία που διατίθεται στην αγορά.
- Ο όρος ζήτηση δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται για να εκφράσουμε ποσότητα, διότι η ποσότητα αυτή μπορεί να αλλάξει όταν αλλάξει η τιμή.
- Η βασική παραδοχή: Υπάρχει μια συστηματική σχέση μεταξύ της τιμής και της ποσότητας που οι καταναλωτές επιθυμούν και έχουν την δυνατότητα (δηλ. είναι οικονομικά εφικτό για αυτούς) να αγοράσουν.
- Η κοινή λογική λέει ότι υπάρχει μια αντίστροφη σχέση μεταξύ της ζητούμενης ποσότητας και της τιμής. Μια αύξηση της τιμής θα οδηγήσει σε μείωση της ζητούμενης πόσοτητας.

Καμπύλες Ζήτησης και οριακής ωφέλειας



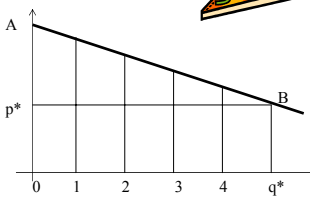
- Αν θεωρήσουμε ότι η ωφέλεια μπορεί να εκφρασθεί σε μονάδες χρήματος, τότε :

  Για να αγοράσει ένας καταναλωτής ποσότητα q+1 όταν έχει ήδη καταναλώσει q, θα πρέπει η τιμή του προϊόντος να είναι τέτοια ώστε η μεταβολή της ωφέλειας U από την κατανάλωση q στην q+1 να είναι ίση με την τιμή του αγαθού. $dU/dq = p$

  ➡ Επομένως η οριακή ωφέλεια $MU = dU/dq$ είναι η τιμή του προϊόντος.
- **Η καμπύλη της ζήτησης είναι η καμπύλη της οριακής ωφέλειας.**

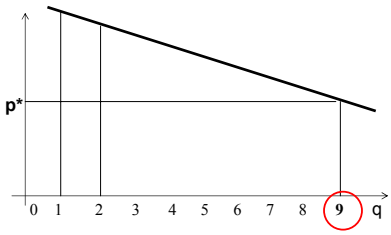
(Ατομικές) Καμπύλες Ζήτησης

- Κατιούσα κλίση : είναι αποτέλεσμα της φθίνουσας οριακής ωφέλειας (*diminishing marginal utility)* κάθε επιπλέον μονάδας που μπορεί να καταναλωθεί
- Όσον και αν μας αρέσει να καταναλώνουμε ένα αγαθό,



μετά από κάποια ποσότητα που έχουμε καταναλώσει, η επιθυμία να καταναλώσουμε περισσότερο μειώνεται.

Η Ζήτηση της Αγοράς



➔ Υπολογίζοντας το οριζόντιο άθροισμα των ατομικών καμπυλών ζήτησης

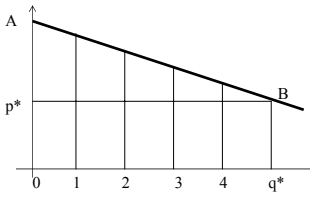
- Η ζήτηση της αγοράς επομένως μετράει το συνολικό πλεόνασμα του καταναλωτή για όλη την αγορά.

Υπενθύμιση: Ο όρος ζήτηση χρησιμοποιείται για να περιγράψει την ποσότητα σε σχέση με την τιμή, όχι ένα συγκεκριμένο νούμερο – το οποίο είναι η ποσότητα που ζητάει η αγορά.

Φθίνουσα οριακή ωφέλεια

- Η αρχή της φθίνουσας οριακής ωφέλειας: Μετά από κάποιο σημείο, ο καταναλωτής είναι ευχαριστημένος με την ποσότητα που έχει καταναλώσει και δεν αποδίδει αξία στην επιπλέον ποσότητα που θα μπορούσε να καταναλώσει.

Η κατιούσα κλίση είναι αποτέλεσμα του ότι όσο μεγαλύτερη ποσότητα καταναλώνουμε για ένα αγαθό τόσο μικρότερη η ωφέλεια

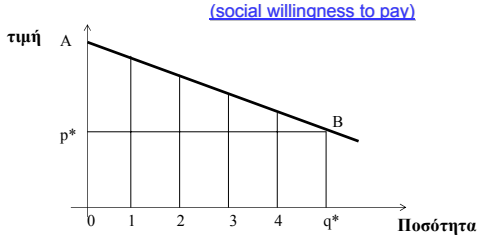


που έχουμε αν καταναλώσουμε λίγο περισσότερο,

και επομένως τόσο μικρότερη και η **τιμή που επιθυμούμε / έχουμε πρόθεση να πληρώσουμε** (willingness to pay) για την κατανάλωση της επιπλέον ποσότητας.

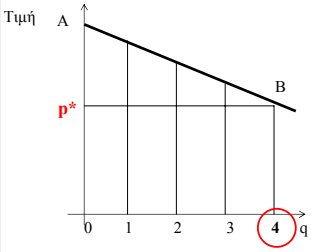
Η επιθυμία / πρόθεση του κοινωνικού συνόλου (της αγοράς) να πληρώσει

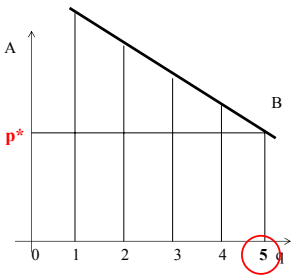
(social willingness to pay)



- Η αθροιστική συνάρτηση της ζήτησης μας δείχνει ποια αξία αποδίδουν οι καταναλωτές σε ένα προϊόν ή μία υπηρεσία.
- Μερικοί επιθυμούν να πληρώσουν οποιαδήποτε τιμή, ενώ άλλοι πολύ λιγότερο
- Αυτές είναι οι μορφές των καμπυλών ζήτησης που εξετάζουμε.

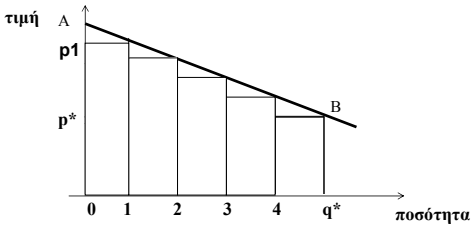
Η Ζήτηση της Αγοράς (Market Demand)





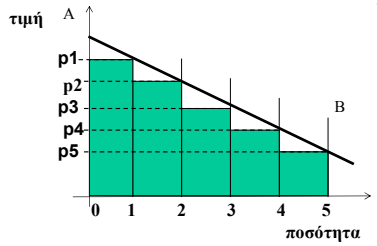
- Εάν τα δύο παραπάνω διαγράμματα δείχνουν την ζήτηση δύο καταναλωτών ή (ομάδων καταναλωτών), πως υπολογίζεται η καμπύλη ζήτησης της αγοράς?

Τα συνολικά ακαθάριστα οφέλη των καταναλωτών



- Κάθε καταναλωτής συγκρίνει τα οφέλη που έχει από την κατανάλωση μιας επιπλέον μονάδας με την τιμή. Αγοράζει μόνο αν τα οφέλη από την επιπλέον μονάδα είναι τουλάχιστον ίσα με την τιμή του προϊόντος.
- Τα οφέλη που απολαμβάνει ο καταναλωτής σχετίζονται με την πρόθεση του να πληρώσει για να καταναλώσει.

Τα συνολικά ακαθάριστα οφέλη των καταναλωτών



Όταν η τιμή του προϊόντος είναι p1 τότε ένας καταναλωτής αγοράζει μια μονάδα

Ποια είναι η αξία της ωφέλειας που έχει? **p1**

Και το συνολικό κοινωνικό όφελος = **p1 x 1**

Όταν η τιμή του προϊόντος είναι p2 τότε δυο καταναλωτές αγοράζουν από μία μονάδα (ή ένας καταναλωτής αγοράζει δυο μονάδες)

Ποια είναι η αξία της ωφέλειας που έχει ο δεύτερος καταναλωτής? **p2**

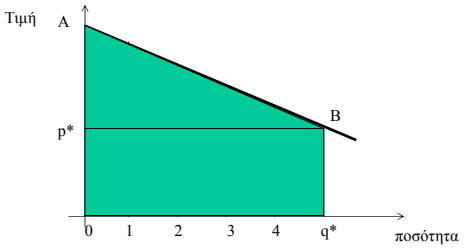
Και το συνολικό κοινωνικό όφελος? **p1 x 1 + p2 x 1**

Αντίστοιχα όταν η τιμή είναι p5 το συνολικό κοινωνικό όφελος θα είναι : **p1 x 1 + p2 x 1 + p3 x 1 + p4 x 1 + p5 x 1**

Παράγοντες που επηρεάζουν την ζήτηση

- Η τιμή του αγαθού
- Άλλα χαρακτηριστικά του αγαθού
- Το εισόδημα του καταναλωτή
- Η τιμή και άλλα χαρακτηριστικά εναλλακτικών επιλογών που έχει ο καταναλωτής (υποκατάστατα)
- Οι προτιμήσεις των καταναλωτών, (π.χ. χρόνος διαδρομής είναι περισσότερο σημαντικός από το κόστος)
- Η ζήτηση για συμπληρωματικά αγαθά (π.χ. α) η ζήτηση για ελαστικά για τζιπ, από τη ζήτηση για τζιπ β) η ζήτηση για στάθμευση στο κέντρο της πόλης, από την ζήτηση για μετακίνηση στο κέντρο της πόλης με ΙΧ))

Τα συνολικά ακαθάριστα οφέλη των καταναλωτών

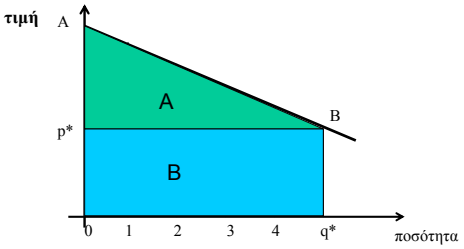


- *Τα συνολικά ακαθάριστα κέρδη (οφέλη) των καταναλωτών* = το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη = το Άθροισμα για όλους τους καταναλωτές, των τιμών που επιθυμεί / έχει πρόθεση να πληρώσει ο κάθε ένας για να καταναλώσει το αγαθό.

Ζήτηση – πρακτικά θέματα

- Η τιμή του αγαθού θα πρέπει πάντα να προσαρμόζεται στις μεταβολές του τιμάριθμου. Δεδομένου ότι συχνά χρησιμοποιούνται ιστορικά στοιχεία, οι τρέχουσες τιμές θα πρέπει να προσαρμόζονται, (χρησιμοποιώντας τον δείκτη τιμών καταναλωτή) σε σταθερές τιμές για ένα έτος βάσης . Πάντα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται πραγματικές τιμές όχι τρέχουσες.
- Η σχέση τη ζήτησης μπορεί να αναπαριστάται :
  - ➔ Γραφικά – καμπύλη ζήτησης
  - ➔ Αριθμητικά – ζεύγη τιμών και ποσότητας που ζητείται
  - ➔ Μαθηματική σχέση που προκύπτει από στατιστική ανάλυση των διαθέσιμων στοιχείων
- Απλές μορφές της σχέσης της ζήτησης
  - ➔ Γραμμική
  - ➔ Αρνητική εκθετική -> λογαριθμική

Τα καθαρά οφέλη ή πλεόνασμα του καταναλωτή



- Η τιμή που πληρώνουν οι καταναλωτές όταν η ζήτηση είναι q*, είναι p* Επομένως η συνολική πληρωμή είναι το εμβαδόν B, για να έχουν συνολικό όφελος (A+B).
- *Καθαρά οφέλη* = (A+B) - B = A = πλεόνασμα του καταναλωτή = οφέλη που απολαμβάνουν - τιμή που πληρώνουν

Ζήτηση και σχεδιασμός μεταφορών

- Η εκτίμηση της ζήτησης απαιτείται στον σχεδιασμό των μεταφορικών συστημάτων. Αποτελεί όμως ένα πολύ πιο δύσκολο πρόβλημα από την εκτίμηση της ζήτησης για άλλα προϊόντα ή υπηρεσίες. Η δυσκολία αυτή οφείλεται:
  - ➔ σε επιπτώσεις του δικτύου μεταφορών όπου η περιορισμένη χωρητικότητα αυξάνει τα κόστη καθώς αυξάνεται η ζήτηση.
  - ➔ οι επιλογές που έχουν να κάνουν οι μετακινούμενοι είναι συνήθως ανάμεσα σε μη όμοια προϊόντα.
- Η ζήτηση για μετακίνηση αφορά διακριτές επιλογές (π.χ. να χρησιμοποιήσω λεωφορείο ή αυτοκίνητο, να πραγματοποιήσω μια μετακίνηση ή όχι) οδήγησαν στην ανάπτυξη ενός κλάδου των οικονομικών επιστημών και της οικονομετρίας που ονομάζεται θεωρία των διακριτών επιλογών. Η θεωρία των διακριτών επιλογών διερευνήθηκε σε βάθος από τον Daniel McFadden ο οποίος βραβεύτηκε με το Νόμπελ Οικονομικών επιστημών το 2000.
- Η θεωρεία των διακριτών επιλογών αποτελεί αντικείμενο τόσο της οικονομίας όσο και του σχεδιασμού των μεταφορών. Θα διδαχθεί στο μάθημα Σχεδιασμός/Συστήματα Μεταφορών του 8ου εξαμήνου

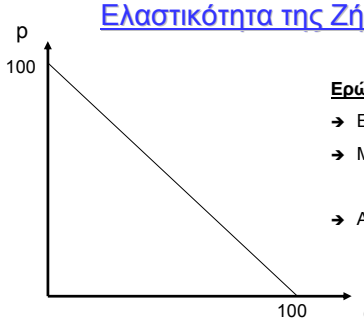
Ελαστικότητα της Ζήτησης

- Η ελαστικότητα της ζήτησης είναι ένα μέτρο του πόσο ανταποκρίνεται η αγορά σε μεταβολές της τιμής και του εισοδήματος.
- Η κλίση της καμπύλης της ζήτησης = Δp/Δq.
- Η ελαστικότητα, ε, της ζήτησης ως προς την τιμή ορίζεται σαν ο λόγος :

$$\varepsilon = \frac{\text{Ποσοστιαία μεταβολή της ποσότητας που ζητείται}}{\text{Ποσοστιαία μεταβολή της τιμής}}$$

$$\varepsilon = \frac{\frac{\Delta q}{q}}{\frac{\Delta p}{p}} \Rightarrow \boxed{\varepsilon = \frac{\Delta q}{\Delta p} \cdot \frac{p}{q}}$$

Ελαστικότητα της Ζήτησης



Ερώτημα:

- Ελαστική ?
- Μοναδιαίας ελαστικότητας ?

ή

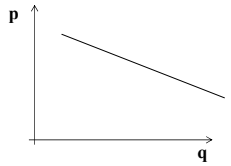
- Ανελαστική ζήτηση ?

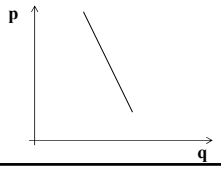
Ελαστικότητα της Ζήτησης

Συνήθως χρησιμοποιούμε την **απόλυτη τιμή** του λόγου των μεταβολών

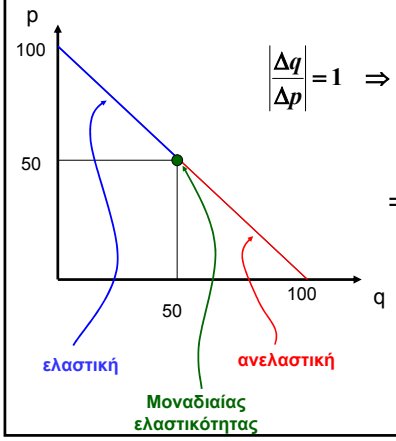
Εξ ορισμού:

- Ελαστική ζήτηση : |ε| > 1 => Εάν η τιμή p, αυξηθεί κατά 1%, η ζήτηση θα μειωθεί κατά περισσότερο από 1%.
- Μοναδιαία ελαστικότητα : ε=1 => Εάν η τιμή p, αυξηθεί κατά 1%, η ζήτηση θα μειωθεί κατά 1%.
- Ανελαστική ζήτηση : |ε| < 1 => Εάν η τιμή p, αυξηθεί κατά 1%, η ζήτηση θα μειωθεί κατά λιγότερο από 1%.





Ελαστικότητα της Ζήτησης

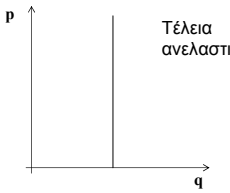


$$\left|\frac{\Delta q}{\Delta p}\right| = 1 \Rightarrow \text{ελαστική}$$?????

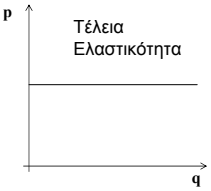
$$|\varepsilon| = \left|\frac{\Delta q}{\Delta p} \cdot \frac{p}{q}\right|$$

$$\Rightarrow \varepsilon = |1| \cdot \left|\frac{p}{q}\right|$$

Ελαστικότητα της Ζήτησης



Τέλεια ανελαστική → Η ζήτηση δεν επηρεάζεται καθόλου από μεταβολές της τιμής



Τέλεια Ελαστικότητα

← Μια μικρή αλλαγή στην τιμή προκαλεί μηδενισμό της ζήτησης

Ελαστικότητα της Ζήτησης

Απλό πρόβλημα:

Έχει ανακοινωθεί ότι σύντομα η τιμή του κόμιστρου στα μέσα μαζικής μεταφοράς στο λεκανοπέδιο θα αυξηθεί ?

Κάτω από ποια υπόθεση ως προς την ελαστικότητα της ζήτησης αναμένεται ότι θα έχουμε αύξηση των εσόδων του ΟΑΣΑ?

Για να έχουμε αύξηση των εσόδων, θα πρέπει

η ποσοστιαία μείωση της ζήτησης λόγω αύξησης της τιμής του κομίστρου να είναι μικρότερη από την ποσοστιαία αύξηση της τιμής του κομίστρου.

⇒ επομένως η ζήτηση θα πρέπει να είναι ανελαστική

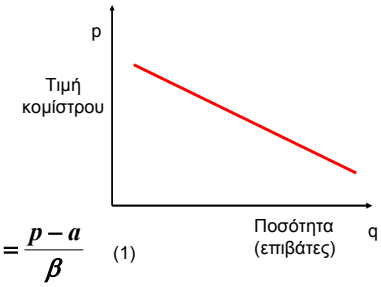
Ελαστικότητα : μερικές μαθηματικές σχέσεις

Σημειακή ελαστικότητα (point elasticity)

- η ελαστικότητα σε ένα σημείο της καμπύλης
  ε = dq/dp * (p/q)
- Για γραμμική σχέση της ζήτησης
  p=α+β.q => q = (p-α)/β επομένως dq/dp = 1/β
- Σημειακή ελαστικότητα για γραμμική σχέση ζήτησης
  ε =(1/β) *p/q = (1/β)*(α+βq)/q =(α/βq) + 1

Παράδειγμα - υπολογισμοί

Έχουμε γραμμική συνάρτηση ζήτησης



$$p = a + \beta.q \quad \Rightarrow \quad q = \frac{p-a}{\beta} \qquad (1)$$

Και γνωρίζουμε την ελαστικότητα της ζήτησης που μπορεί να εκφρασθεί με βάση την (1) :

$$\varepsilon = \frac{\partial q}{\partial p}.\frac{p}{q} \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = \frac{1}{\beta}.\frac{\alpha + \beta.q}{q} = \frac{a}{\beta.q} + 1 \qquad (2)$$

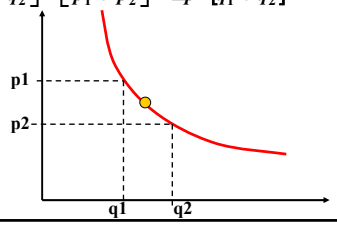
Ελαστικότητα : μερικές μαθηματικές σχέσεις

Γραμμική Ελαστικότητα τόξου ή ελαστικότητα μέσου σημείου τόξου(mid point arc elasticity)

Όταν δίνονται δύο σημεία επί της καμπύλης της ζήτησης, υπολογίζεται κατά προσέγγιση η ελαστικότητα στο μέσο σημείο του τόξου που συνδέει τα δύο σημεία για τα οποία υπάρχουν δεδομένα

$$\varepsilon = \left[\frac{\Delta q}{\frac{q_1+q_2}{2}}\right] \div \left[\frac{\Delta p}{\frac{p_1+p_2}{2}}\right] = \left[\frac{\Delta q}{q_1+q_2}\right] \div \left[\frac{\Delta p}{p_1+p_2}\right] = \frac{\Delta q}{\Delta p}.\frac{[p_1+p_2]}{[q_1+q_2]}$$

$$\varepsilon = \frac{[q_2-q_1]}{[p_2-p_1]}.\frac{[p_1+p_2]}{[q_1+q_2]}$$



Παράδειγμα - υπολογισμοί

Από τα δεδομένα του προβλήματος:

q = 20000, p=1,2 , ε = -0,3

(1) $p = a + \beta.q \quad \Rightarrow \quad 1{,}2 = a + \beta.20000$

(2) $\varepsilon = \frac{a}{\beta.q} + 1 \quad \Rightarrow \quad -0{,}3 = \frac{a}{\beta.20000} + 1$

α = 5,2

β = -0,0002

Ένα απλό παράδειγμα:

ελαστικότητα της ζήτησης και η συνολική επιθυμία των μετακινούμενων να πληρώσουν για χρήση ένας μέσου σταθερής τροχιάς

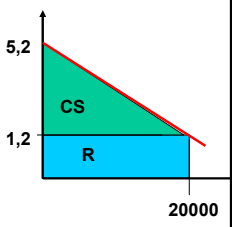
Μέσο σταθερής τροχιάς συνδέει με το κέντρο της πόλης

- Δεδομένα:
  - Πρόβλεψη μεταφορικού έργου : 20,000 επιβάτες / ημέρα

  με τις υποθέσεις :
  - κόμιστρο 1,20 ΕΥΡΩ
  - η ελαστικότητας της ζήτησης ως προς την τιμή = -0,3
  - Γραμμική συνάρτηση ζήτησης
- Ζητείται να υπολογισθεί
  - η συνολική τιμή που οι μετακινούμενοι επιθυμούν να πληρώσουν για την χρήση του μέσου και το πλεόνασμα του καταναλωτή.
  - Οι μεταβολές σε αυτά τα μεγέθη όταν το κόμιστρο είναι 1,0 ΕΥΡΩ

Παράδειγμα - υπολογισμοί

- Η συνάρτηση της ζήτησης:
  p = 5,2 – 0,0002 x q
- Έσοδα: 1,2 x 20,000 = 24,000 ΕΥΡΩ/ημέρα
- Το πλεόνασμα του καταναλωτή (CS) :
  CS = (α – p) x (q/2) = (5,2-1,2) x 10000 =>
  CS = 40000
- Τα έσοδα (R) :
  R = p x q = 1,2 x 20000 = 24000
- Η Συνολική τιμή που οι μετακινούμενοι επιθυμούν να πληρώσουν για χρήση του συστήματος
  TWP = CS + R = 40000 + 24000 = 64000



Παράδειγμα - υπολογισμοί

Μεταβολή του κόμιστρου στα 1,00 ΕΥΡΩ

➔ Υπολογισμός του αριθμού των μετακινήσεων
α) Από την καμπύλη της ζήτησης :
1,0 = 5.2 – 0,0002q, => q = 21,000:
όταν το κόμιστρο είναι 1,0 ΕΥΡΩ εξυπηρετούνται **21000** μετακιν.
β) Χρησιμοποιώντας την ελαστικότητα της ζήτησης:
η μεταβολή του κόμιστρου : (1 – 1,2)/ 1,2 = -16.7%
επομένως ο αριθμός των μετακινήσεων θα μεταβληθεί κατά
(-0.3)*(-16.7%) = 5.001% δηλαδή σε **21002** μετακινήσεις
(ασήμαντη διαφορά)

➔ Μεταβολή εσόδων ΔR = 1*21,000 - 1.2*20,000 = 21,000 - 24,000 =>
ΔR = -3,000.

➔ Μεταβολή Πλεονάσματος καταναλωτή ΔCS :
ΔCS = (1/2)*(0,2)*(20000+21000) = 4100 *(εμβαδόν τραπεζίου)*

➔ Μεταβολή της συνολικής τιμής που επιθυμούν οι μετακινούμενοι επιθυμούν να πληρώσουν, Δ TWtP :
Δ TWtP = ΔR + ΔCS = -3000 + 4100 = 1100 ΕΥΡΩ / ημέρα

Λογαριθμο – γραμμική μορφή της συνάρτησης της ζήτησης

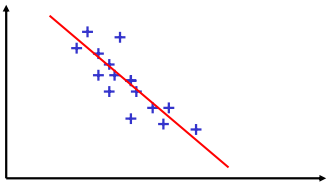
Ένας εύκολος τρόπος να εκτιμήσουμε τους συντελεστές είναι να λογαριθμήσουμε και να καταλήξουμε έτσι σε μια γραμμική συνάρτηση

$$\ln q = \ln a + \beta.\ \ln(p) + \gamma.\ \ln(h) \ \ldots\ldots$$

- Χρήση της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης δεν συνίσταται γιατί λόγω της λογαρίθμισης παραβιάζονται προϋποθέσεις της θεωρίας των ελαχίστων τετραγώνων, (ετεροσκεδαστικότητα).
- Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της μεγιστοποίησης της πιθανότητας.

Εκτίμηση των γραμμικών συναρτήσεων ζήτησης

- Συχνά δεν γνωρίζουμε την συνάρτηση της ζήτησης.
- Μια συνήθης μέθοδος που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των συντελεστών της συνάρτησης είναι η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης



- Δεν θα πρέπει να περιοριζόμαστε σε απλές μορφές, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο της πολλαπλής παλινδρόμησης

Παράδειγμα

Χρησιμοποιούμε το παράδειγμα του μέσου σταθερής τροχιάς αλλά θεωρούμε εκθετική συνάρτηση της ζήτησης:

$$q = \alpha.p^{\beta}$$

- Η ελαστικότητα της ζήτησης είναι -0,3, επομένως ο συντελεστής β = -0,3, =>
εφόσον p = 1,2 και q = 20000 :
$20000 = \alpha*(1,2)^{-0,3}$ => α = 21124.
- Εάν p = 1,0 => $q = 21124*(1)^{-0,3} = 21124$.
  – Το γραμμικό μοντέλο μας δίνει 21000
- Έσοδα, πλεόνασμα καταναλωτή, και συνολική τιμή που οι μετακινούμενοι επιθυμούν να πληρώσουν, υπολογίζονται αντίστοιχα. Οι τιμές τους είναι κοντά αλλά όχι ίσες με αυτές που προκύπτουν από την γραμμική συνάρτηση.

Λογαριθμο – γραμμική μορφή της συνάρτησης της ζήτησης

Πλέον της γραμμικής μια συνήθης μορφή της συνάρτησης της ζήτησης είναι :

$$q = \alpha\ .\ (p)^{\beta}.\ (h)^{\gamma} \ \ldots\ldots$$

όπου α έχει θετικό πρόσημο,
β έχει αρνητικό πρόσημο
γ μπορεί να έχει θετικό η αρνητικό πρόσημο

- Εάν $q = \alpha\ .\ (p)^{\beta}$ η ελαστικότητα υπολογίζεται σαν:

$$\varepsilon = (dq/dp).(p/q) = a.\beta.p^{(\beta-1)}.(p/q) = \beta*(a.p^{\beta}/a.p^{\beta}) = \beta$$

το ενδιαφέρον χαρακτηριστικό αυτής της μορφής της συνάρτησης της ζήτησης είναι ότι ελαστικότητα είναι σταθερή σε όλα τα σημεία της καμπύλης. Η μορφή αυτή θα πρέπει να χρησιμοποιείται όταν θεωρούμε ότι η ελαστικότητα παραμένει σταθερά

Μακροπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη ελαστικότητα της ζήτησης

- Η ζήτηση δεν ανταποκρίνεται αμέσως στις μεταβολές των τιμών. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της ζήτησης, οι επιπτώσεις μιας μεταβολής της τιμής (στη ποσότητας που ζητείται) είναι δυνατόν να φαίνονται κατ΄ αρχάς αμελητέες, και να εμφανισθούν μετά από αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι οι καταναλωτές χρειάζονται χρόνο για να μεταβάλλουν την οργάνωση των δραστηριοτήτων τους που συνεπάγεται μια μεταβολή στις επιλογές τους
- Μπορούμε να διακρίνουμε επομένως μια βραχυπρόθεσμη και μια μακροπρόθεσμη ελαστικότητα της ζήτησης.
- Για την εκτίμηση της μακροπρόθεσμης και βραχυπρόθεσμης ελαστικότητας της ζήτησης χρησιμοποιούμε χρονοσειρές δεδομένων και ιδιαίτερες μορφές μοντέλων.

Μακροπρόθεσμη και βραχυπρόθεσμη ελαστικότητα της ζήτησης

Μια συνηθισμένη μορφή ενός μοντέλου είναι η ακόλουθη λογαριθμο- γραμμική :

$$Q_t = a + \beta_1 . Q_{t-1} + \beta_2 . P_t + s_i$$

Όπου

Q_t ο φυσικός λογάριθμος της ποσότητας (π.χ. ο λογάριθμος των μετακινήσεων) την χρονική περίοδο t

Q_{t-1} ο φυσικός λογάριθμος της ποσότητας την χρονική περίοδο t-1

P_t ο φυσικός λογάριθμος της τιμής την χρονική περίοδο t

Η βραχυπρόθεσμη ελαστικότητα της ζήτησης ισούται με τον συντελεστή $\beta 2$, και η μακροπρόθεσμη ελαστικότητα της ζήτησης με $\beta 2/(1-\beta 1)$

Σταυροειδής/διασταυρούμενη ελαστικότητα

ΟΥΤΕ ΣΩΣΤΟ ΟΥΤΕ ΛΑΘΟΣ :

ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Λεωφορείο και ταξί για την πρόσβαση στο αεροδρόμιο

Αύξηση του κομίστρου του ταξί, θα προκαλέσει μείωση του αριθμού των μετακινήσεων με ταξί

Κάποιοι από αυτούς που δεν θα χρησιμοποιούν πλέον το ταξί θα χρησιμοποιήσουν το λεωφορείο επομένως θα υπάρξει **αύξηση** του αριθμού των μετακινήσεων με λεωφορείο.

θετικές τιμές της σταυροειδούς ελαστικότητας για ανταγωνιστικά/υποκατάστατα

ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

χώροι στάθμευσης σε Α/Δ, και χρήση ΙΧ

Αύξηση του κόστους χρήσης του ΙΧ, θα προκαλέσει μείωση του αριθμού των μετακινήσεων με ΙΧ.

Δεδομένου ότι μικρότερος αριθμός μετακινήσεων θα γίνεται με ΙΧ, αναμένεται ότι και ο αριθμός των επιβατών που χρησιμοποιούν τους χώρους στάθμευσης θα είναι **μικρότερος**.

αρνητικές τιμές της σταυροειδούς ελαστικότητας για συμπληρωματικά

Σταυροειδής/διασταυρούμενη ελαστικότητα
(cross elasticity)

- Η άμεση ελαστικότητα τιμής που αναλύσαμε, εκφράζει την ποσοστιαία μεταβολή της ποσότητα (ενός προϊόντος) που ζητείται, σαν συνάρτηση της ποσοστιαίας μεταβολής της τιμής αυτού του προϊόντος – για κανονικά αγαθά η άμεση ελαστικότητα παίρνει αρνητικές τιμές
- Η σταυροειδής ή διασταυρούμενη ελαστικότητα ως προς την τιμή εκφράζει την ποσοστιαία μεταβολή της ποσότητας (ενός προϊόντος) που ζητείται, σαν συνάρτηση της ποσοστιαίας μεταβολής της τιμής ενός **άλλου προϊόντος.**

$$\varepsilon_{x/z} = \frac{\text{Ποσοστιαία μεταβολή της ποσότητας του προϊόντος x που ζητείται}}{\text{Ποσοστιαία μεταβολή της τιμής του προϊόντος z}}$$

Σταυροειδής/διασταυρούμενη ελαστικότητα

Ένα απλό πρόβλημα:

Αν θεωρήσουμε ότι

- η σταυροειδής ελαστικότητα της ζήτησης για μετακίνηση με ΜΜΜ ως προς το κόστος μετακίνησης με ΙΧ είναι 0,2
- το 90% του κόστους μετακίνησης με ΙΧ οφείλεται στο κόστος του καυσίμου
- Η τιμή του καυσίμου αυξήθηκε κατά 40%

Να υπολογισθεί η ποσοστιαία μεταβολή των εσόδων του φορέα διαχείρισης των ΜΜΜ

Η ποσοστιαία αύξηση του κόστους χρήσης του ΙΧ είναι

$$90\% \times 140\% + 10\% \times 100\% - 100\% = 36\%$$

% μεταβολή εσόδων = % μεταβολή μετακινήσεων με ΜΜΜ =

= 0,2 x 36% = 7,2%

Σταυροειδής/διασταυρούμενη ελαστικότητα

$$\varepsilon_{x/z} = \frac{\frac{\Delta q_x}{q_x}}{\frac{\Delta p_z}{p_z}} \Rightarrow \boxed{\varepsilon_{x/z} = \frac{\Delta q_x}{\Delta p_z} . \frac{p_z}{q_x}}$$

Απλό ερώτημα:

Όπως και η άμεση ελαστικότητα, η σταυροειδής ελαστικότητα αναμένεται να παίρνει επίσης αρνητικές τιμές. ΣΩΣΤΟ Ή ΛΑΘΟΣ ?

ΟΥΤΕ ΣΩΣΤΟ ΟΥΤΕ ΛΑΘΟΣ :

ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Λεωφορείο και ταξί για την πρόσβαση στο αεροδρόμιο

ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

χώροι στάθμευσης σε Α/Δ, και χρήση ΙΧ

Ελαστικότητα ως προς το εισόδημα
(income elasticity)

- Η ελαστικότητα ως προς το εισόδημα είναι ένα μέτρο του πόσο ανταποκρίνεται η αγορά σε μεταβολές της του εισοδήματος των καταναλωτών
- Η ελαστικότητα ε_y της ζήτησης ως προς το εισόδημα, ορίζεται σαν ο λόγος :

$$\varepsilon_y = \frac{\text{Ποσοστιαία μεταβολή της ποσότητας που ζητείται}}{\text{Ποσοστιαία μεταβολή του εισοδήματος}}$$

$$\varepsilon_y = \frac{\frac{\Delta q}{q}}{\frac{\Delta y}{y}} \Rightarrow \boxed{\varepsilon = \frac{\Delta q}{\Delta y} . \frac{y}{q}}$$

Ελαστικότητα ως προς το εισόδημα

(income elasticity)

➔ Η ελαστικότητα ως προς το εισόδημα αναμένεται να έχει θετικές ή αρνητικές τιμές?

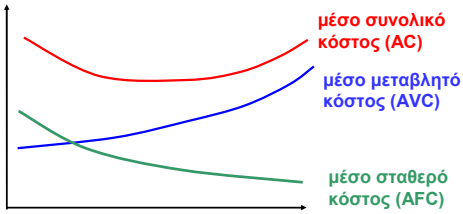
Ανάλογα με το προϊόν

Χρήση ΙΧ	Χρήση ΜΜΜ
Θετική	Αρνητική
Ένα αγαθό για το οποίο, η ποσότητα που ζητείται αυξάνει καθώς αυξάνει το εισόδημα ονομάζεται **κανονικό**	Ένα αγαθό για το οποίο, η ποσότητα που ζητείται μειώνεται καθώς αυξάνει το εισόδημα ονομάζεται **υποδεέστερο**

Ένα αγαθό του οποίου η ελαστικότητα ως προς το εισόδημα είναι > 1 ονομάζεται αγαθό **πολυτελείας**. Το ΙΧ αυτοκίνητο πριν από μερικές δεκαετίες ήταν προϊόν πολυτελείας

3 Προσφορά και κόστος

Μέσο κόστος

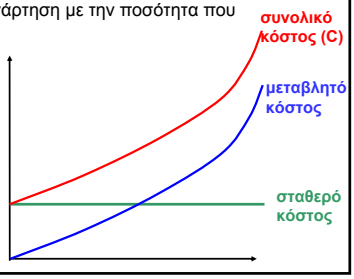


- Το μέσο σταθερό κόστος μειώνεται, διότι το συνολικό σταθερό κόστος κατανέμεται σε περισσότερη ποσότητα προϊόντος ή υπηρεσιών
- Το μέσο μεταβλητό κόστος αυξάνεται, δεδομένου ότι μια συγκεκριμένη επένδυση (συνολικό σταθερό κόστος) αντιστοιχεί σε ένα παραγωγικό σύστημα με συγκεκριμένη ικανότητα παραγωγής. Επομένως το κόστος αυξάνεται αναλογικά περισσότερο, όταν η ποσότητα πλησιάζει και στην συνέχεια ξεπερνά την ικανότητα του συστήματος

Κατηγορίες κόστους

- Κατηγορίες κόστους:
  - Σταθερό κόστος **(FC)** : είναι το σύνολο **επενδύσεων** που απαιτούνται δηλ., των δαπανών για τους σταθερούς συντελεστές του παραγωγικού συστήματος, και **δεν μεταβάλλεται** σαν συνάρτηση της ποσότητας που παράγεται (δηλ. της μεταφορικής υπηρεσίας)
  - Μεταβλητό κόστος **(VC)** : το σύνολο των δαπανών που η τιμή τους μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την ποσότητα που παράγεται.
  - Συνολικό κόστος (TC) :

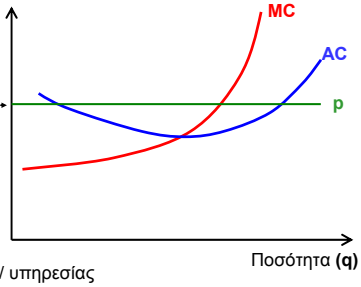
    TC = FC + VC
- Παράδειγμα το κόστος χρήσης του ΙΧ:
  - Σταθερά κόστη: κόστος αγοράς, ασφάλεια,
  - Μεταβλητά κόστη: καύσιμα, συντήρηση



Οριακό κόστος και μεγιστοποίηση του κέρδους

Το οριακό κόστος ορίζεται ως **μεταβολή του συνολικού κόστους** (όχι του μέσου συνολικού) που είναι αποτέλεσμα της μεταβολής της ποσότητας που παράγεται κατά μία μονάδα.

$$MC = \frac{\Delta TC}{\Delta q}$$



p είναι η **τιμή** του προϊόντος / υπηρεσίας

Σε ποίο σημείο της καμπύλης του **μέσου κόστους (AC),** η καμπύλη αυτή τέμνεται από την καμπύλη του **οριακού κόστους (MC) ?**

Μέσο κόστος

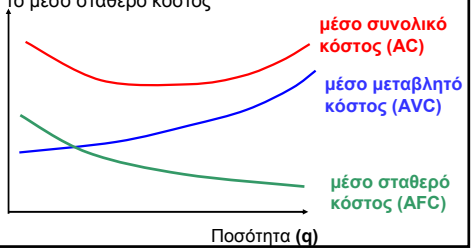
- Τα κόστη είναι συνήθως πιο εύκολα να αναλυθούν όταν εκφράζονται σαν μέσοι όροι, δεδομένου ότι έτσι μπορούν εύκολα να συγκριθούν με την τιμή που προσδιορίζει και την ποσότητα που ζητείται.
- Το μέσο συνολικό κόστος υπολογίζεται από το συνολικό κόστος διαιρούμενο με την συνολική ποσότητα που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο κόστος. Αντίστοιχα υπολογίζονται το μέσο μεταβλητό και το μέσο σταθερό κόστος

AC = TC/q

AVC = VC/q

AFC = FC / q

AC = ACV + AFC

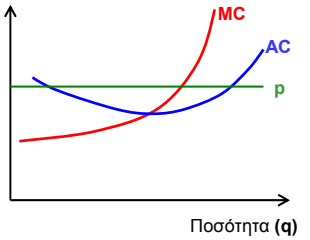


Οριακό κόστος και μεγιστοποίηση του κέρδους

Απάντηση:

Στο χαμηλότερο σημείο της καμπύλης του μέσου κόστους

Μπορεί αυτό να αποδειχθεί μαθηματικά?



$$MC = \frac{\partial TC}{\partial q} = \frac{\partial (q.AC)}{\partial q} = AC + q.\frac{\partial AC}{\partial q}$$

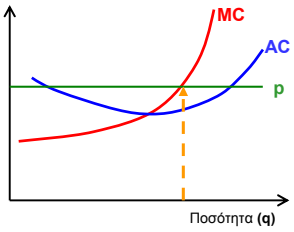
Στο σημείο τομής των δύο καμπυλών $MC = AC$

$$AC + q.\frac{\partial AC}{\partial q} = AC \Rightarrow \frac{\partial AC}{\partial q} = 0$$

Οριακό κόστος και μεγιστοποίηση του κέρδους

Ερώτημα:

Μπορούμε από το διάγραμμα να εντοπίσουμε την ποσότητα που θα πρέπει να παράγεται για να έχει η επιχείρηση το μέγιστο κέρδος?



Μπορεί αυτό να αποδειχθεί μαθηματικά?

$$F = p.q - TC$$

$$\max F \Rightarrow \frac{\partial F}{\partial q} = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial q}.q + p.\frac{\partial q}{\partial q} - \frac{\partial TC}{\partial q} = 0 \Rightarrow \frac{\partial p}{\partial q}.q + p - MC = 0$$

Η τιμή δεν μεταβάλλεται με την ποσότητα $\Rightarrow \frac{\partial p}{\partial q} = 0$

$$\Rightarrow \quad p = MC$$

Επομένως για να μεγιστοποιείται το κέρδος, η ποσότητα που θα πρέπει να παράγεται/πωλείται είναι εκείνη για την οποία το οριακό κόστος ισούται με την τιμή του προϊόντος

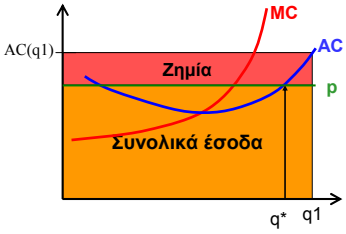
Οριακό κόστος και μεγιστοποίηση του κέρδους

Ερώτημα:

Μπορούμε από το διάγραμμα να εντοπίσουμε την μέγιστη ποσότητα που θα πρέπει να παράγεται για να είναι η επιχείρηση οικονομικά βιώσιμη?

Συνθήκη οικονομικής βιωσιμότητας

q* : AC(q*) = p



για ποσότητα q1 > q*, εμφανίζεται ζημία

ζημία = q1.p – q1.AC(q1)

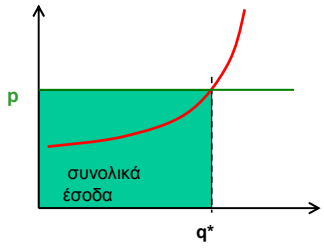
Οριακό κόστος και μεγιστοποίηση του κέρδους

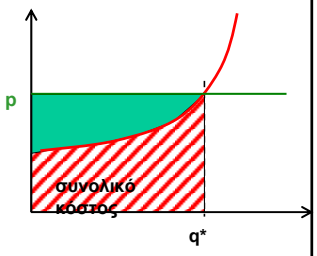
Συνολικά Έσοδα

(TR) = p. q

Συνολικό Κόστος

$$TC = \int_o^q MC.dq$$





Ευκαιριακό κόστος

Τι είναι κόστος ενός προϊόντος / μιας υπηρεσίας?

Γενικά μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το κόστος αντιπροσωπεύει την χρηματική αξία – τα χρήματα που πρέπει να καταβάλουμε για να αποκτήσουμε το προϊόν / να χρησιμοποιήσουμε την υπηρεσία

Ορισμός:

Ευκαιριακό κόστος ενός προϊόντος ή υπηρεσίας είναι τα προϊόντα ή υπηρεσίες (ή η χρηματική αξία αυτών) που θα μπορούσαν να παραχθούν με τους ιδίους πόρους, εάν αυτοί οι πόροι είχαν χρησιμοποιηθεί με διαφορετικό τρόπο.

Οριακό κόστος και μεγιστοποίηση του κέρδους

Κόστος παραγωγής της q+1 μονάδας ποσότητας

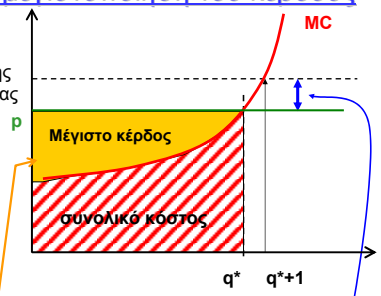
Συνολικά Έσοδα

(TR) = p. q

Συνολικό Κόστος

$$TC = \int_o^q MC.dq$$

Κέρδος F = TR - TC



Το οριακό κόστος της q+1 μονάδας ποσότητας είναι μεγαλύτερο από την τιμή πώλησης επομένως από την παραγωγή και στην συνέχεια πώληση της q+1 μονάδας, ο παραγωγός ζημιώνεται.

(Ευκαιριακό κόστος ένα απλό παράδειγμα)

Ο ιδιοκτήτης λειτουργεί την μικρή επιχείρηση και παίρνει όσα χρήματα χρειάζεται από το ταμείο.

Ποιο είναι το κόστος της εργασίας ?

Είναι αξία των άλλων ευκαιριών που έχει ο ιδιοκτήτης και θα μπορούσε να εκμεταλλευθεί αν δεν εργαζόταν στην επιχείρηση του.

Θα μπορούσε να εργασθεί κάπου αλλού και να κερδίζει 1000 ΕΥΡΩ, και παράλληλα να προσλάβει κάποιον που θα του στοιχίζει 900 ΕΥΡΩ οπότε θα είχε πρόσθετο κέρδος 100 ΕΥΡΩ.

Για να υπολογίσει τα καθαρά του οφέλη στην σημερινή κατάσταση που λειτουργεί την επιχείρηση του θα πρέπει να λάβει υπόψη του ότι το κόστος της εργασίας του είναι 1000 ΕΥΡΩ.

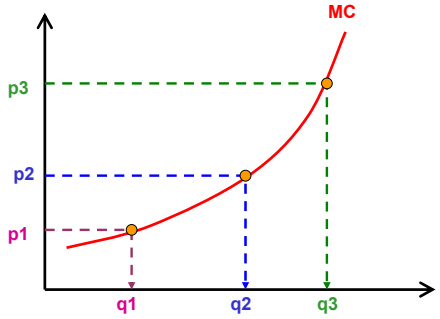
Οριακό κόστος και οικονομίες κλίμακας

A) Εάν MC < AC, το AC μειώνεται καθώς αυξάνεται η παραγωγή
1. οικονομίες κλίμακας
2. τιμολόγηση με p = MC θα δώσει έσοδα που δεν καλύπτουν το κόστος

B) Εάν MC = AC, το AC παραμένει σταθερό καθώς αυξάνεται η παραγωγή
1. με P = MC, κανονικά κέρδη

C) Εάν MC > AC, AC αυξάνεται καθώς αυξάνεται η παραγωγή
1. δεν έχουμε οικονομίες κλίμακας
2. with P = MC, υπερβάλλοντα κέρδη

Προσφορά

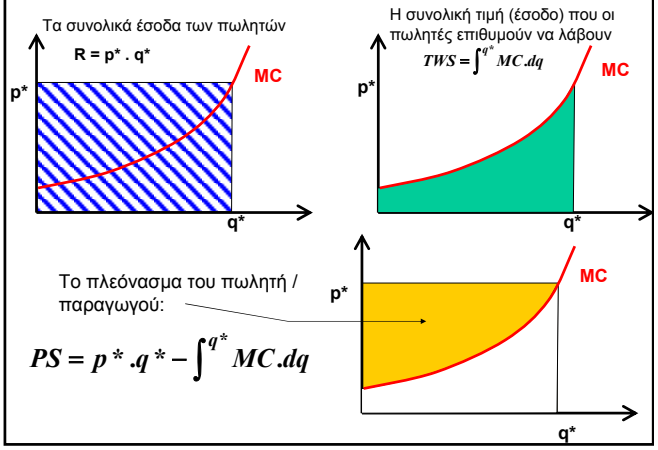


Προσφορά

- Αντίστοιχα με τον ορισμό της ζήτησης, στην Μικροοικονομία, η προφορά είναι η **σχέση** μεταξύ της τιμής ενός αγαθού και της ποσότητας που επιθυμούν να πωλήσουν οι επιχειρήσεις που προσφέρουν το προϊόν / υπηρεσία.
- Όσο αυξάνεται η τιμή του προϊόντος / της υπηρεσίας, τόσο ισχυρότερο είναι το κίνητρο για αύξηση της παραγωγής
- Η πρόσφορά είναι αύξουσα συνάρτηση της τιμής του προϊόντος.
- Αντίστοιχα με την περίπτωση των ατομικών καμπυλών ζήτησης έχουμε και ατομικές καμπύλες προσφοράς
- Ερώτημα:

Για μια συγκεκριμένη τιμή πόση είναι η ποσότητα που επιθυμεί η επιχείρηση να πωλήσει?

Το πλεόνασμα του παραγωγού



Προσφορά

Για μια συγκεκριμένη τιμή πόση είναι η ποσότητα που επιθυμεί η επιχείρηση να πωλήσει?

Απάντηση:
Τόση ποσότητα ώστε το **οριακό κόστος να είναι ίσο με την τιμή** του προϊόντος / υπηρεσίας

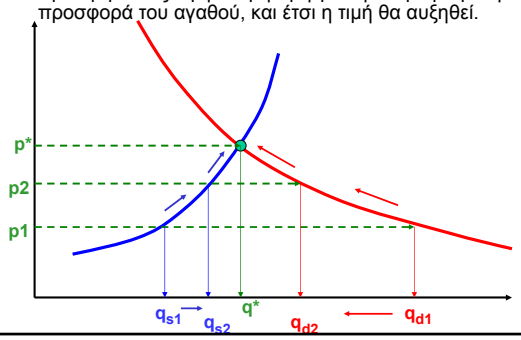
Ορισμός της προσφοράς:
η προφορά είναι η σχέση μεταξύ της τιμής ενός αγαθού και της ποσότητας που επιθυμούν να παράγουν/πωλήσουν οι επιχειρήσεις που προσφέρουν το προϊόν / υπηρεσία.

Η καμπύλη της προφοράς είναι η καμπύλη του οριακού κόστους.

4 Ισορροπία προσφοράς και ζήτησης

Γιατί χρησιμοποιείται ο όρος Ισορροπία?

- Εάν η τιμή δεν είναι αρκετά υψηλή, για να είναι η ποσότητα του προσφερόμενου προϊόντος ίση με την ποσότητα που ζητείται, οι καταναλωτές θα ανταγωνίζονται μεταξύ τους, προσφέροντας υψηλότερη τιμή για την περιορισμένη προσφορά του αγαθού, και έτσι η τιμή θα αυξηθεί.

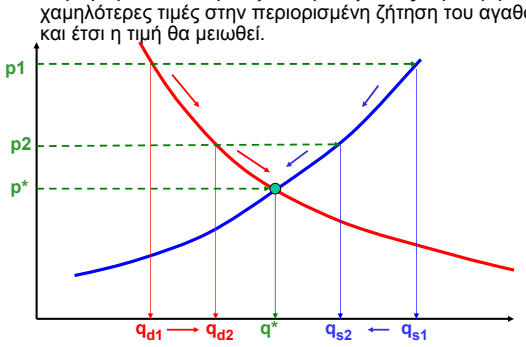


Ισορροπία Προσφοράς και Ζήτησης

- Στην οικονομική θεωρία η αλληλεπίδραση της προσφοράς και της ζήτησης έχει σαν αποτέλεσμα μια κατάσταση ισορροπίας
- Μπορούμε να θεωρήσουμε την ζήτηση σαν μια δύναμη που τείνει να αυξήσει την τιμή ενός αγαθού
- Μπορούμε να θεωρήσουμε την προσφορά σαν μια δύναμη που τείνει να μειώσει την τιμή του
- Όταν οι δυο δυνάμεις **εξισορροπηθούν**, η τιμή δεν θα αυξηθεί ούτε θα ελαττωθεί, αλλά θα παραμείνει σταθερά.
- Αυτή η σταθερή τιμή στην αγορά ονομάζεται η τιμή ισορροπίας
- Η κατάσταση ισορροπίας δημιουργείται όταν η τιμή είναι τέτοια ώστε η ποσότητα που ζητιέται να είναι ίση με την ποσότητα που παράγεται.

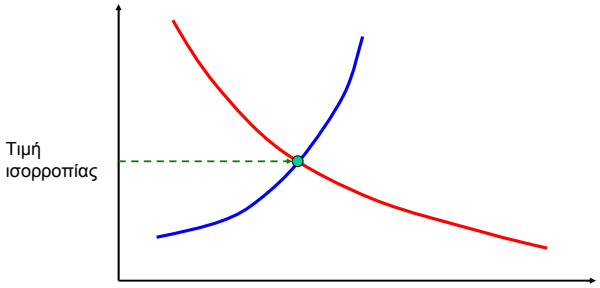
Γιατί χρησιμοποιείται όρος Ισορροπία?

- Εάν η τιμή είναι αρκετά υψηλή, για να είναι η ποσότητα που ζητείται ίση με την ποσότητα που προσφέρεται, οι παραγωγοί θα ανταγωνίζονται μεταξύ τους, προσφέροντας χαμηλότερες τιμές στην περιορισμένη ζήτηση του αγαθού, και έτσι η τιμή θα μειωθεί.

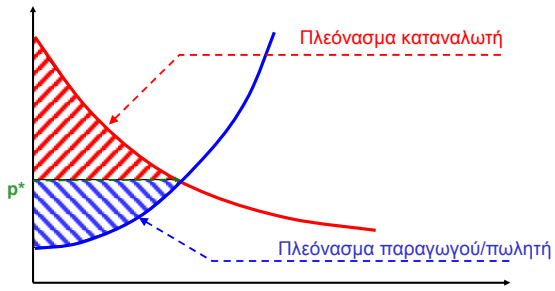


Ισορροπία Προσφοράς και Ζήτησης

- Εάν θέσουμε τη καμπύλη της προσφοράς και της ζήτησης στο ίδιο διάγραμμα, μπορούμε εύκολα να απεικονίσουμε την τιμή ισορροπίας – είναι το σημείο στο οποίο οι δύο καμπύλες τέμνονται.



Κοινωνικό πλεόνασμα



Κοινωνικό πλεόνασμα =

πλεόνασμα καταναλωτή + πλεόνασμα παραγωγού

Ένα παράδειγμα εφαρμογής της οικονομίας των μεταφορών στην προτυποποίηση του καταμερισμού των μετακινήσεων

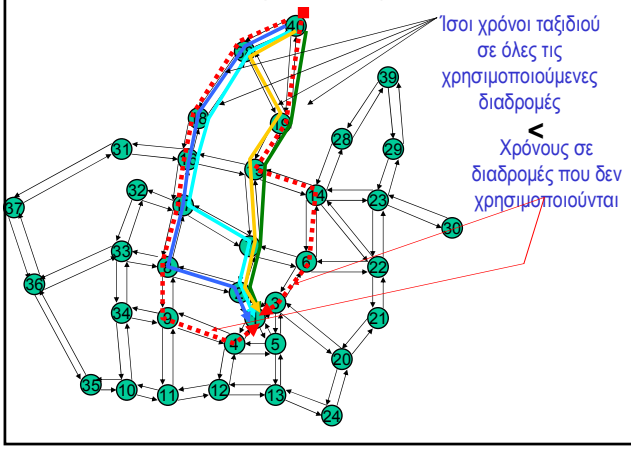
Τι είναι Καταμερισμός στα δίκτυο

(αποτελεί αντικείμενο του μαθήματος Σχεδιασμός των Μεταφορών του 8ου εξαμήνου)

Η διαδικασία με την οποία, από τον πινάκα Προέλευσης - Προορισμού των μετακινήσεων που γίνονται με ΙΧ εκτιμώνται:

- Οι διαδρομές που θα ακολουθήσουν οι μετακινούμενοι μεταξύ κάθε ζεύγους Π-Π
- Οι κυκλοφοριακοί φόρτοι σε κάθε δρόμο του οδικού δικτύου
- Οι χρόνοι διαδρομής σε κάθε δρόμο του οδικού δικτύου

παράδειγμα : καταμερισμός των μετακινήσεων στο δίκτυο



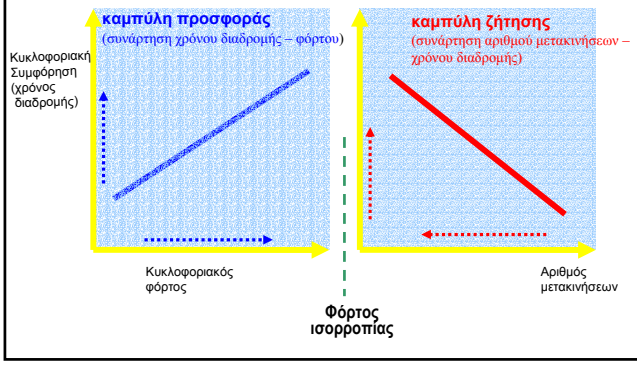
παράδειγμα : καταμερισμός των μετακινήσεων στο δίκτυο

Προσομοίωση της διαδικασίας καταμερισμού των μετακινήσεων στο δίκτυο

Αν θέλουμε να προσομοιώσουμε την διαδικασία καταμερισμού της ζήτησης, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι κατ΄ αρχάς όλοι οι μετακινούμενοι θα επιλέξουν την συντομότερη διαδρομή , αυτό όμως θα επιφέρει αύξηση της κυκλοφορίας ……

παράδειγμα : καταμερισμός των μετακινήσεων στο δίκτυο

Αλληλεπίδραση κυκλοφοριακής συμφόρησης και αποφάσεων μετακίνησης



παράδειγμα : καταμερισμός των μετακινήσεων στο δίκτυο

Η αρχή του Wardrop (1952)

Ο τρόπος που καταμερίζεται η κυκλοφορία σε ένα οδικό δίκτυο διατυπώθηκε για πρώτη φορά το 1952 από τον Wardrop, που εισήγαγε την έννοια της ισορροπίας, που αποτελεί ορόσημο στην θεωρεία προτυποποίησης των συγκοινωνιακών συστημάτων.

Σύμφωνα με την αρχή της συνθήκης ισορροπίας, η κυκλοφορία κατανέμεται σε ένά δίκτυο έτσι ώστε :

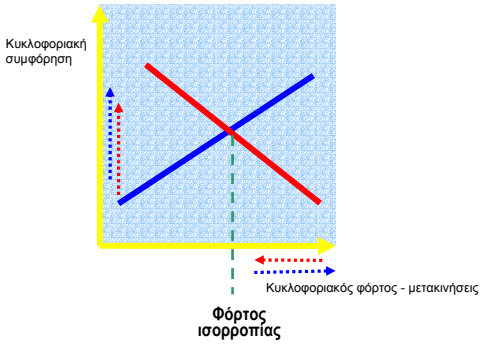
‘ **οι χρόνοι ταξιδιού σε όλες τις διαδρομές που χρησιμοποιούνται είναι ίσοι** και είναι μικρότεροι από τον χρόνο που θα έκανε ένα όχημα εάν ταξίδευε κατά μήκος μίας διαδρομής που δεν χρησιμοποιείται ……

….. δεδομένου ότι μπορούμε να υποθέσουμε ότι η κυκλοφορία θα καταλήξει σε μια κατάσταση ισορροπίας στην οποία κανένας μετακινούμενος δεν μπορεί να ελαττώσει τον χρόνο διαδρομής του επιλέγοντας μια νέα διαδρομή ’

«συνθήκη ισορροπίας των χρηστών του δικτύου»

παράδειγμα : καταμερισμός των μετακινήσεων στο δίκτυο

Αλληλεπίδραση κυκλοφοριακής συμφόρησης και αποφάσεων μετακίνησης



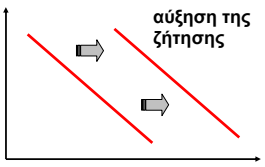
Ανταγωνισμός & Ισορροπία

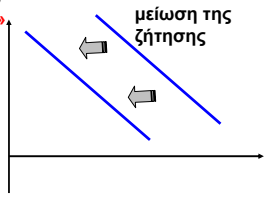
- Η τιμή συνεχώς ανεβαίνει ή κατεβαίνει, εκτός εάν η ποσότητα που παράγεται είναι ίση με την ποσότητα που ζητείται.
- Η τιμή ισορροπίας είναι η τιμή προς την οποία ωθεί ο ανταγωνισμός
- Στην κατάσταση ισορροπίας δεν υπάρχει ανταγωνισμός ούτε για την αγορά ούτε για την πώληση, γιατί ο καθένας μπορεί να αγοράσει ή πωλήσει όση ποσότητα επιθυμεί για την συγκεκριμένη τιμή.
- Οποτεδήποτε η αγορά δεν είναι σε κατάσταση ισορροπίας, θα εμφανισθεί ανταγωνισμός που θα ωθήσει προς την κατάσταση ισορροπίας.

Μετατοπίσεις της ζήτησης

Μερικοί παράγοντες που προκαλούν μετατοπίσεις της καμπύλης της ζήτησης

1. Μεταβολή του εισοδήματος του μέσου καταναλωτή
   - Εάν αύξηση του εισοδήματος οδηγεί σε αύξηση της ζήτησης, τότε το αγαθό ονομάζεται **«κανονικό»**
   - Εάν αύξηση του εισοδήματος προκαλεί μείωση της ζήτησης του αγαθού, τότε το αγαθό αυτό ονομάζεται **«υποδεέστερο»**
2. Μεταβολή του πληθυσμού
3. Μεταβολή στις τιμές άλλων αγαθών
   - Υποκατάστατων / ανταγωνιστικών
   - συμπληρωματικών
4. Μεταβολές στις προτιμήσεις των καταναλωτών.





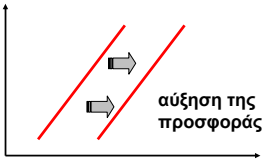
Οι δυνάμεις που αντιτίθενται στον ανταγωνισμό

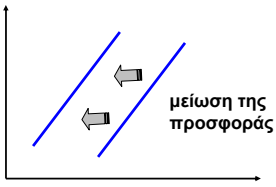
- Υπάρχει ένας παραγωγός/πωλητής ή ένας αγοραστής, επομένως δεν υπάρχει ανταγωνισμός
- Οι παραγωγοί ή οι αγοραστές συμφωνούν μεταξύ τους να μην ανταγωνισθούν
- Η νομοθεσία δεν επιτρέπει τον ανταγωνισμό που προκύπτει προσφέροντας χαμηλότερη ή υψηλότερη τιμή
- Οι παραγωγοί και καταναλωτές δεν μπορούν να ανταγωνισθούν με το να προσφέρουν άλλη τιμή – π.χ. **δεν γνωρίζουν** ποιος άλλος αγοράζει ή πωλεί το προϊόν, ή δεν είναι σίγουροι για την ποιότητα του προϊόντος ή της υπηρεσίας – έλλειψη πληροφορίας.

Μετατοπίσεις της προσφοράς

Μερικοί παράγοντες που προκαλούν μετατοπίσεις της καμπύλης της ζήτησης

1. Μεταβολή στο κόστος των συντελεστών παραγωγής
   - Εργατικό δυναμικό
   - Πρώτες ύλες
2. Μεταβολές στην τεχνολογία
3. Μεταβολή σε φυσικές καταστάσεις
   - Βροχοπτώσεις
   - Περιβαλλοντικές συνθήκες



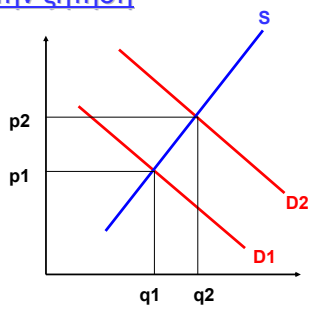


Μεταβολές στην ζήτηση και στην προσφορά

- Για να μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την έννοια της ισορροπίας της προσφοράς και ζήτησης, θα πρέπει να διερευνήσουμε πως μπορεί να μεταβληθεί η προσφορά και η ζήτηση και τι συμβαίνει όταν μεταβάλλονται.
- Υπενθυμίζουμε ότι η ζήτηση και η προσφορά είναι σχέσεις και επομένως μια μεταβολή σε παράγοντες που δεν σχετίζονται με την τιμή έχει σαν αποτέλεσμα μια μετατόπιση των καμπυλών προς τα δεξιά ή τα αριστερά.

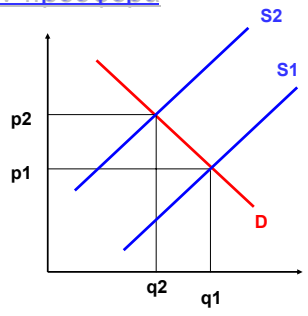
Μεταβολές στην ζήτηση

Αύξηση της ζήτησης, από D1 σε D2, (π.χ. λόγω αύξησης του εισοδήματος), όταν δεν συνοδεύεται από αύξηση της προσφοράς, θα οδηγήσει σε υψηλότερες τιμές ισορροπίας



Μεταβολές στην προσφορά

Μείωση της προσφοράς από S1 σε S2, θα οδηγήσει σε υψηλότερες τιμές ισορροπίας



Φόροι και επιπτώσεις στις καμπύλες προσφοράς και ζήτησης

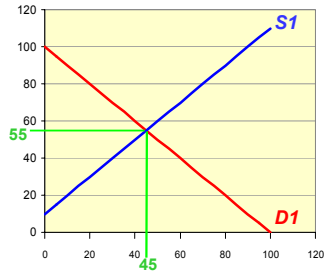
Πριν από την επιβολή φόρου

Στην κατάσταση ισορροπίας προσφοράς και ζήτησης

Η ποσότητα που καταναλώνεται είναι 45

και

η τιμή είναι 45



D1 : η καμπύλη της ζήτησης

S1 : η καμπύλη της προσφοράς

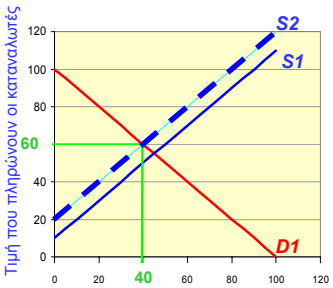
Φόροι και επιδοτήσεις: επιπτώσεις στις καμπύλες προσφοράς και ζήτησης

Φόροι και επιπτώσεις στις καμπύλες προσφοράς και ζήτησης

Μετά την επιβολή φόρου αξίας 10 μονάδων τιμής

Α) Ανάλυση της τιμής που πληρώνουν οι καταναλωτές

Δεδομένου ότι η τιμή είναι το χαρακτηριστικό που ενδιαφέρει τον καταναλωτή, η καμπύλη ζήτησης παραμένει αμετάβλητη (***D1***)



Για την καμπύλη της προσφοράς όμως, αυτό δεν ισχύει. Το χαρακτηριστικό που επηρεάζει την προσφορά είναι η τιμή που λαμβάνει ο πωλητής /παραγωγός, η οποία είναι κατά δέκα μονάδες χαμηλότερη από την τιμή που πληρώνουν οι καταναλωτές. Η νέα καμπύλη προσφοράς είναι η S2 και στην νέα κατάσταση ισορροπίας η ποσότητα που καταναλώνεται είναι 40, η τιμή που πληρώνουν οι καταναλωτές είναι 60, και η τιμή που λαμβάνουν οι πωλητές 60-10 = 50.

Φόροι και επιπτώσεις στις καμπύλες προσφοράς και ζήτησης

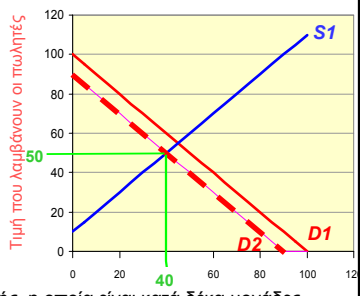
- Κατά την ανάλυση των επιπτώσεων της επιβολής φόρου, ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στον καθορισμό της τιμής του προϊόντος/υπηρεσίας
- Διακρίνουμε δύο τιμές
  1. Την τιμή που πληρώνουν οι καταναλώτες
  2. Την τιμή που λαμβάνουν οι πωλητές/παραγωγοί (από την πώληση) του προϊόντος

  η διαφορά των δύο τιμών ισούται με το φόρο.
- Ο φόρος μπορεί να είναι
  - ➔ σταθερός για κάθε μονάδα ποσότητας του αγαθού που παράγεται και καταναλώνεται
  - ➔ Μεταβλητός, όπως ο ΦΠΑ που αυξάνεται με την τιμή του προϊόντος

Φόροι και επιπτώσεις στις καμπύλες προσφοράς και ζήτησης

Β) Ανάλυση της τιμής που λαμβάνουν οι πωλητές / παραγωγοί

Δεδομένου ότι η τιμή είναι το χαρακτηριστικό που ενδιαφέρει τον πωλητή, η καμπύλη προσφοράς παραμένει αμετάβλητη (***S1***)

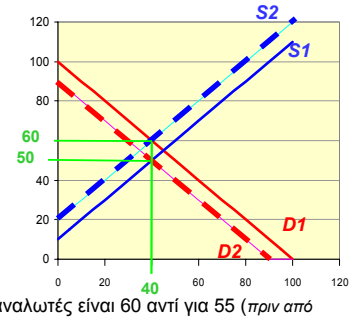


Για την καμπύλη της ζήτησης όμως, αυτό δεν ισχύει. Το χαρακτηριστικό που επηρεάζει την ζήτηση είναι η τιμή που πληρώνει ο καταναλωτής, η οποία είναι κατά δέκα μονάδες υψηλότερη από την τιμή που λαμβάνουν οι πωλητές. Η νέα καμπύλη ζήτησης είναι η D2 και στην νέα κατάσταση ισορροπίας η ποσότητα που καταναλώνεται είναι 40, και η τιμή που λαμβάνουν οι πωλητές είναι 50. Η τιμή που πληρώνουν οι καταναλωτές είναι 50+10 = 60.

Φόροι και επιπτώσεις στις καμπύλες προσφοράς και ζήτησης

Επομένως οποιαδήποτε τιμή (*δηλ. αυτή που πληρώνουν οι καταναλωτές ή αυτή που λαμβάνουν οι πωλητές*) και αν χρησιμοποιήσουμε το αποτέλεσμα είναι το ίδιο.

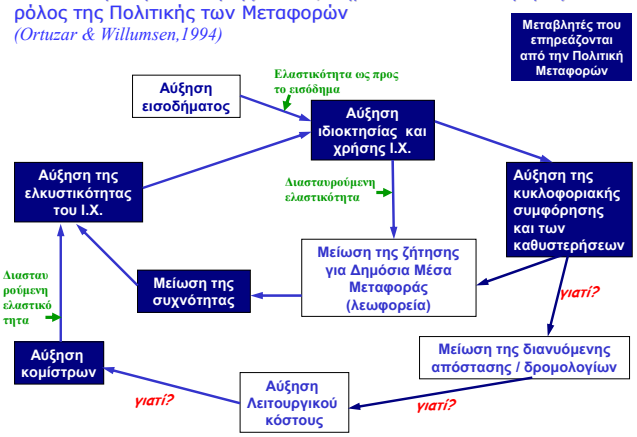
Στην κατάσταση ισορροπίας, που διαμορφώνεται μετά τη επιβολή του φόρου:



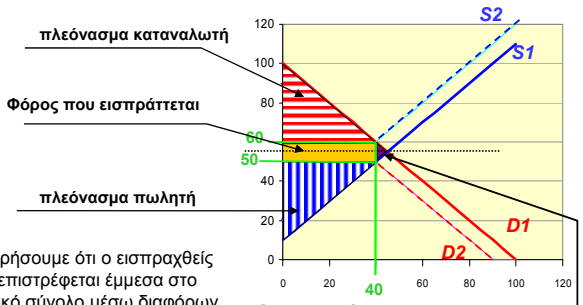
- Η ποσότητα από 45 μειώνεται σε 40
- Η τιμή που πληρώνουν οι καταναλωτές είναι 60 αντί για 55 (*πριν από την επιβολή του φόρου)*
- Η τιμή που λαμβάνουν οι πωλητές είναι 50 αντί για 55 *(πριν από την επιβολή του φόρου)*

Παράδειγμα: Ελαστικότητα, φόροι, επιδοτήσεις και Ο φαύλος κύκλος των επιλογών μετακίνησης - Ι.Χ., Δημόσια Μέσα Μεταφοράς και ο ρόλος της Πολιτικής των Μεταφορών

(Ortuzar & Willumsen,1994)



Φόροι και επιπτώσεις στο κοινωνικό πλεόνασμα.

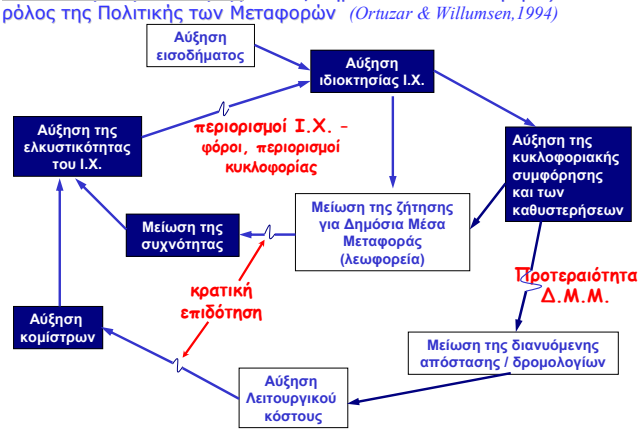


Αν θεωρήσουμε ότι ο εισπραχθείς φόρος επιστρέφεται έμμεσα στο κοινωνικό σύνολο μέσω διαφόρων κοινωνικών παροχών, τότε ο φόρος αποτελεί μέρος του κοινωνικού πλεονάσματος.

Όμως η επιβολή φόρου προκαλεί μείωση του κοινωνικού πλεονάσματος

Η μείωση ονομάζεται καθαρή απώλεια κοινωνικού πλεονάσματος λόγω φόρου

Παράδειγμα: Ελαστικότητα, φόροι, επιδοτήσεις και Ο φαύλος κύκλος των επιλογών μετακίνησης - Ι.Χ., Δημόσια Μέσα Μεταφοράς και ο ρόλος της Πολιτικής των Μεταφορών *(Ortuzar & Willumsen,1994)*



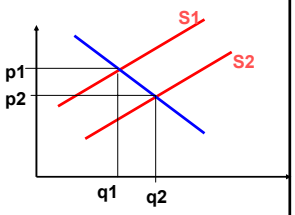
Επιδοτήσεις

Η επιδότηση είναι μια πληρωμή από την πολιτεία

Α) προς μια επιχείρηση (ή προς ένα πρόσωπο) συνήθως υπό τον όρο ότι το πρόσωπο ή η επιχείρηση θα παράγει κάποιο έργο,

ή

Β) για να αυξήσει το εισόδημα ενός πρόσωπου χαμηλού εισοδήματος



Η επιχορήγηση μετατοπίζει την προσφορά προς τα δεξιά. Η κάθετη απόσταση είναι το ποσό της επιχορήγησης. Η ζήτηση παραμένει η ίδια.

Με την επιδότηση ανά μοναδιαία ποσότητα του προϊόντος, η τιμή ισορροπίας μειώνεται, αν και όχι τόσο όσο το μέγεθος της επιδότησης, και αυξάνεται η ποσότητα του προϊόντος που παράγεται και καταναλώνεται

5 η αποδοτική κατανομή των πόρων

Οικονομική αποδοτικότητα: αποδοτική κατανομή των πόρων

- Η αποδοτική κατανομή των πόρων αποτελεί θεμελιώδες πρόβλημα σε κάθε σύγχρονη οικονομία.
- Το πρόβλημα της αποδοτικής κατανομής των πόρων μπορεί να εκφρασθεί με 4 βασικά ερωτήματα
  - ➔ Τι θα πρέπει να παράγουμε
  - ➔ Με τι μεθόδους
  - ➔ Ποιους πόρους θα χρησιμοποιήσουμε
  - ➔ Για ποιους να παράγουμε
- Θα απαντήσουμε στα ερωτήματα αυτά έμμεσα
  - ➔ Αναλύοντας πώς θα πρέπει να είναι ένα οικονομικά αποδοτικό πλάνο/σχέδιο.
  - ➔ Συγκρίνοντας την κατάσταση της οικονομικής αποδοτικότητας με την ισορροπία της αγοράς (που αναλύσαμε νωρίτερα)

➔ Θα χρησιμοποιήσουμε ένα απλό θεωρητικό παράδειγμα

Οικονομία των μεταφορών

Αντικείμενο των οικονομικών επιστήμων :

ο προσδιορισμός της αποδοτικής κατανομής των πόρων σε ένα σύστημα.

Αντικείμενο του σχεδιασμού των μεταφορών είναι:

ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του μεταφορικού συστήματος που θα προσφέρει το βέλτιστο επίπεδο εξυπηρέτησης στους μετακινούμενους.

Αντικείμενο της οικονομίας των μεταφορών :

*Ο προσδιορισμός της **αποδοτικής κατανομής των πόρων** έτσι ώστε να υλοποιηθούν οι στόχοι του σχεδιασμού των μεταφορών και να μεγιστοποιηθεί το κοινωνικό όφελος.*

αποδοτική κατανομή των πόρων

Πρόβλημα *(βασίζεται σε παράδειγμα του McCain)*:

- ➔ Θεωρούμε μια φανταστική πόλη που την ονομάζουμε «*Αντίπολη*»
- ➔ Ο **Ο**ργανισμός **Σ**χεδιασμού και **Ο**ικονομίας **Μ**εταφορών της **Α**ντίπολης (ΟΣΟΜΑ) διαχειρίζεται τους πόρους που διατίθενται για συγκοινωνιακά έργα στην *Αντίπολη*.
- ➔ Ο ΟΣΟΜΑ έχει την δυνατότητα να κατασκευάσει **μόνο** οδικά έργα ή σιδηροδρομικά έργα. Τα οδικά έργα εκφράζονται σε χλμ. ελεύθερης λεωφόρου ταχείας κυκλοφορίας, και τα σιδηροδρομικά σε χλμ. σιδηροδρομικής γραμμής του προαστιακού δικτύου της πόλης.
- ➔ Μπορούμε επομένως να θεωρήσουμε ότι οι πόροι που διατίθενται στον ΟΣΟΜΑ είναι χλμ λεωφόρου και χλμ σιδ. γραμμής.
- ➔ Ο ΟΣΟΜΑ είναι υπεύθυνος για την κατανομή των πόρων, δηλ. πόσα χλμ λεωφόρου και πόσα χλμ σιδ. γραμμής θα κατασκευασθούν. Δεν μπορεί να ανταλλάξει τους πόρους (που του διατίθενται) με χρήματα που θα μπορούσε να επενδύσει σε άλλα έργα.
- ➔ Για τον προσδιορισμό της αποδοτικής κατανομής των πόρων, οι λειτουργικές δαπάνες των συστημάτων δεν λαμβάνονται υπόψη, και δεν έχουμε οικονομίες κλίμακας.

Η ανεπάρκεια των πόρων & Οικονομική αποδοτικότητα

(economic efficiency)

Πρόβλημα:

Δεν υπάρχουν οι επαρκείς πόροι για να παράγουμε όλα τα αγαθά (προϊόντα και υπηρεσίες) πού όλοι θα ήθελαν να έχουν

Ερώτημα:

Τι πόροι θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να παράγουμε
- ➔ ποια αγαθά
- ➔ ποιες υπηρεσίες

Οι πόροι θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να ικανοποιηθούν οι πιο επείγοντες ανάγκες και για να παραχθούν τα αγαθά και οι υπηρεσίες με την μεγαλύτερη ανταποδοτικότητα

Στόχος:

οι πόροι να κατανεμηθούν με την κατά το δυνατό υψηλότερη αποδοτικότητα

αποδοτική κατανομή των πόρων

- ➔ Ο πίνακας δείχνει τον αριθμό των χλμ λεωφόρων που μπορούν να κατασκευασθούν, όταν δίδεται το μήκος της σιδηροδρομικής γραμμής που θα κατασκευασθεί.
- ➔ Όσο περισσότερα χλμ σιδηροδρομικής γραμμής κατασκευάζονται τόσο λιγότερα χλμ λεωφόρων κατασκευάζονται
  - – Για να κατασκευάσουμε περισσότερους δρόμους θα χρησιμοποιήσουμε περισσότερους πόρους και επομένως λιγότεροι πόροι θα είναι διαθέσιμοι για την κατασκευή του προαστιακού σιδηροδρομικού δικτύου
  - – Αυτό μπορεί να εκφρασθεί με το όριο δυνατότητας παραγωγής (production possibility frontier)

Μήκος σιδηροδρομικού δικτύου (χλμ)	Μήκος οδικού δικτύου (χλμ)
0,0	70,0
5,0	68,6
10,0	66,0
15,0	62,1
20,0	57,0
25,0	50,6
30,0	43,0
35,0	34,1
40,0	24,0
45,0	12,6
50,0	0,0

Το όριο της δυνατότητας παραγωγής

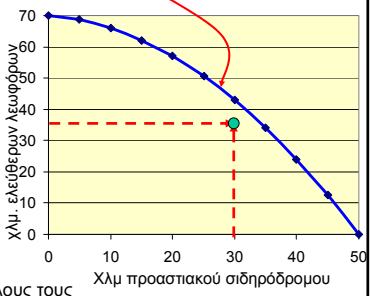
(Production possibility frontier)

Το όριο της δυνατότητας παραγωγής προσδιορίζει το ανώτατο όριο παραγωγής ενός αγαθού όταν είναι δεδομένη η ποσότητα παραγωγής του άλλου αγαθού.

Στην Αντίπολη μπορούμε να κατασκευάσουμε οποιαδήποτε συνδυασμό μήκους λεωφόρων και σιδηροδρ. γραμμής που ορίζει ένα σημείο επί της καμπύλης ή κάτω από την καμπύλη.

Θα μπορούσαμε να κατασκευάσουμε 30 χλμ γραμμής και 35 χλμ δρόμου?

Θα αποτελούσε αυτό μια οικονομικά αποδοτική κατανομή των πόρων?



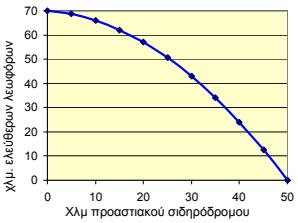
ΟΧΙ – διότι δεν χρησιμοποιούμε όλους τους διαθέσιμους πόρους με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

αποδοτική κατανομή των πόρων

Ερώτημα:

Από όλους του δυνατούς συνδυασμούς που βρίσκονται επί του ορίου δυνατότητας παραγωγής ποιο είναι το καλύτερο?

Δηλ. το 1ο από τα 4 θεμελιώδη ερωτήματα: Τι θα παράγουμε ή στο συγκεκριμένο παράδειγμα τι θα πρέπει να κατασκευάσουμε?



Δεδομένου ότι μελετάμε την οικονομία των μεταφορών, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι θα κάνουμε μια ανάλυση του κόστους και των ωφελειών που θα έχουμε, και έχουμε δύο ερωτήσεις να απαντήσουμε :

1. Ποιο είναι το μήκος του οδικού δικτύου που θα κατασκευάσουμε?

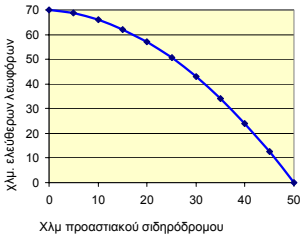
2. Ποιο είναι το μήκος του σιδηροδρομικού δικτύου που θα κατασκευάσουμε?

Επειδή η οικονομία των μεταφορών στην Αντίπολη είναι πολύ απλή όταν αποφασίσουμε ποίο είναι το μήκος του σιδηροδρομικού δικτύου που θα κατασκευάσουμε, μπορούμε αμέσως να προσδιορίσουμε και το μήκος οδικού δικτύου.

αποδοτική κατανομή των πόρων

Όλα τα σημεία επί του ορίου της δυνατότητας παραγωγής, αποτελούν αποδοτικούς συνδυασμούς κατά τον ορισμό της αποδοτικότητας κατά Pareto

Ένα σύστημα είναι αποδοτικό κατά Pareto, όταν οποιαδήποτε μεταβολή που έχει σαν αποτέλεσμα την βελτίωση μιας συνιστώσας (π.χ. ενός χρήστη) του συστήματος έχει σαν αποτέλεσμα μια άλλη συνιστώσα του συστήματος να βρεθεί σε δυσμενέστερη θέση.

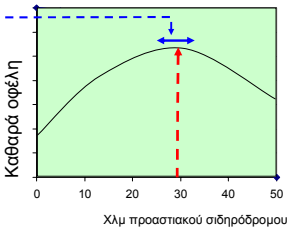


Επομένως το ελάχιστο που επιδιώκουμε είναι η προτεινόμενη κατανομή να δίνει ένα σημείο επί της καμπύλης.

Ένα παράδειγμα από την θεωρεία του σχεδιασμού των μεταφορών

Η κατανομή των κυκλοφοριακών φόρτων σε ένα οδικό δίκτυο

Από μια καθαρά οικονομική άποψη αναμένουμε ότι τα συνολικά καθαρά οφέλη κατ΄ αρχάς θα αυξάνονται μέχρι ένα εύρος τιμών που δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερα σημαντικές μεταβολές και στην συνέχεια θα μειώνονται.



Ερωτήματα:

Για ποιο μήκος του σιδηροδρομικού δικτύου έχουμε τα μεγαλύτερα οφέλη?

Πως προσδιορίζονται τα κόστη και οι ωφέλειες?

Πώς μπορούμε να τα μετρήσουμε?

Αποδοτικότητα Pareto και το παράδειγμα του καταμερισμού ισορροπίας στα οδικά δίκτυα

Σύμφωνα με την αρχή του Wardrop

«….**οι χρόνοι ταξιδιού σε όλες τις διαδρομές που χρησιμοποιούνται είναι ίσοι** και μικρότεροι από τον χρόνο που θα έκανε ένα όχημα εάν ταξίδευε κατά μήκος μίας διαδρομής που δεν χρησιμοποιείται ……»

Αν από την κατάσταση ισορροπίας σε ένα οδικό δίκτυο, ένας μετακινούμενος αλλάξει την διαδρομή R1 που ακολουθεί και επιλέξει την διαδρομή R2, τότε:

Ο χρόνος κατά μήκος της R1 θα μειωθεί (λόγω χαμηλότερου φόρτου) ενώ ο χρόνος κατά μήκος της διαδρομής R2 θα αυξηθεί (λόγω αύξησης του φόρτου)

Επομένως με την μεταβολή θα θέσει σε δυσμενέστερη κατάσταση τον εαυτό του και τους άλλους οδηγούς που χρησιμοποιούν την διαδρομή R2. Η κατάσταση ισορροπίας στα οδικά δίκτυα είναι μπορεί επομένως να θεωρηθεί αποδοτική κατά Pareto.

Ευκαιριακό κόστος

Ευκαιριακό κόστος ενός προϊόντος ή υπηρεσίας είναι τα προϊόντα ή υπηρεσίες που θα μπορούσαν να παραχθούν με τους ιδίους πόρους, εάν αυτοί οι πόροι είχαν χρησιμοποιηθεί με διαφορετικό τρόπο.

Ποιες είναι οι ευκαιρίες που μπορεί να εκμεταλλευθεί ο ΟΣΟΜΑ?

Να κατασκευάσει σιδηροδρομικό δίκτυο

Να κατασκευάσει οδικό δίκτυο

Ποιο είναι το ευκαιριακό κόστος κατασκευής 20 χλμ σιδηροδρομικού δικτύου?

Μήκος σιδηροδρ. δικτύου (χλμ)	Μήκος οδικού δικτύου (χλμ)
0,0	70,0
5,0	68,6
10,0	66,0
15,0	62,1
20,0	57,0
25,0	50,6
30,0	43,0
35,0	34,1
40,0	24,0
45,0	12,6
50,0	0,0

= Με το μήκος του οδικού δικτύου που δεν μπορεί να κατασκευάσει επειδή κατασκεύασε 20 χλμ σιδ. Γραμμής = 70 – 57 = 13 χλμ δρόμου

Ευκαιριακό κόστος

Το κόστος κατασκευής ενός συγκεκριμένου μήκους l χλμ σιδηροδρομικής γραμμής

είναι ίσο

με το μήκος του οδικού δικτύου που δεν μπορεί να κατασκευάσει επειδή κατασκεύασε l χλμ σιδηροδρομικής γραμμής

Μήκος σιδηροδρομικού δικτύου (χλμ)	Μήκος οδικού δικτύου (χλμ)	Κόστος σιδηροδρομικής γραμμής εκφρασμένη σε χλμ . οδικού δικτύου
0,0	70,0	0,0
5,0	68,6	70,0 - 68,6 = 1,4
10,0	66,0	70,0 – 66,0 = 4,0
15,0	62,1	70,0 – 62,1 = 7,9
20,0	57,0	70,0 – 57,0 = 13,0
25,0	50,6	70,0 – 50,6 = 19,4
30,0	43,0	70,0 – 43,0 = 27,0
35,0	34,1	70,0 – 34,1 = 35,9
40,0	24,0	70,0 – 24,0 = 51,0
45,0	12,6	70,0 – 12,6 = 57,4
50,0	0,0	70,0 – 0,0 = 70,0

Ο πίνακας του οριακού κόστος

$$MC = \frac{\Delta C}{\Delta q}$$

$C(5)$ = 70,0 – 68,6 = 1,4 χλμ οδού

$C(10)$ = 70,0 – 66,0 = 4,0 χλμ οδού

Κατά **προσέγγιση** το οριακό κόστος κατασκευής **για μήκη μεταξύ 5 και 10** χλμ. σιδηρ. δικτύου =

$$MC = \frac{\Delta C}{\Delta q} = \frac{C(10) - C(5)}{10 - 5} = \frac{4{,}0 - 1{,}4}{10 - 5} = 0{,}525$$

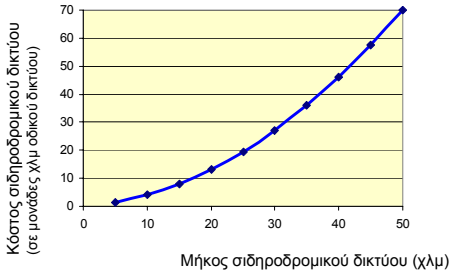
Μήκος σιδηροδρ. δικτύου (χλμ)	Μήκος οδικού δικτύου (χλμ)	Οριακό κόστος σιδηρ. δικτύου εκφραζόμενο σε χλμ. οδικού δικτύου
0,0	70,0	
5,0	68,6	(70,0-68,6)/5 =**0,28**
10,0	66,0	(68,6-66,0)/5 =**0,52**
15,0	62,1	(66,0-62,1)/5 =**0,78**
20,0	57,0	(62,1-57,0)/5 =**1,02**
25,0	50,6	**1,28**
30,0	43,0	**1,52**
35,0	34,1	**1,78**
40,0	24,0	**2,02**
45,0	12,6	**2,28**
50,0	0,0	**2,52**

Επομένως όταν έχουμε κατασκευάσει ήδη τα 5 πρώτα χλμ. σιδ γραμμής, μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα επιπλέον χλμ αντί να κατασκευάσουμε 0,525 χλμ οδού.

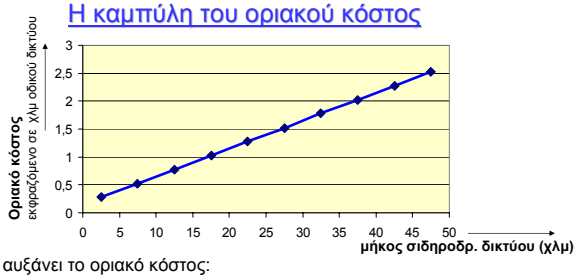
Συνολικό κόστος

Όσο περισσότερα χλμ σιδηροδρομικού δικτύου κατασκευάζονται, τόσο λιγότερα χλμ οδικού δικτύου κατασκευάζονται, και τόσο υψηλότερο το ευκαιριακό κόστος.

Το κόστος κατασκευής αυξάνεται καθώς αυξάνεται το μήκος του σιδηροδρομικού δικτύου



Η καμπύλη του οριακού κόστος



- Γιατί αυξάνει το οριακό κόστος:

  α) σε ένα σύστημα όπου έχει μια συγκεκριμένη ικανότητα, όσο η παραγωγή πλησιάζει την ικανότητα, τόσο περισσότεροι πόροι απαιτούνται για την παραχθεί επιπλέον ποσότητα.

  β) παραδοχή: δεν υπάρχουν οικονομίες κλίμακας

Μια απλουστευτική ερμηνεία για το παράδειγμα: Όσο μεγαλύτερο το μήκος, τόσο αυξάνεται η απαίτηση για περισσότερα και πιο δύσκολα τεχνικά έργα, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι πιο έντονες, απαιτούνται απαλλοτριώσεις σε περιοχές ήδη ανεπτυγμένες κλπ.

Οριακό κόστος

- Το οριακό κόστος είναι το κόστος κατασκευής μιας επιπλέον μονάδας μήκους σιδηροδρομικής γραμμής.
- Το συνολικό κόστος κατασκευής των 5 πρώτων χλμ σιδηροδρομικής γραμμής ισούται με

  $C(5)$ = 70,0 – 68,6 = 1,4 χλμ οδικού δικτύου.
- Το συνολικό κόστος κατασκευής των 10 πρώτων χλμ σιδηροδρομικής γραμμής ισούται με

  $C(10)$ = 70 – 66,0 = 4,0 χλμ οδικού δικτύου
- Από τον ορισμό τους το οριακό κόστος MC του σιδηροδρομικού δικτύου, υπολογίζεται με την σχέση

$$MC = \frac{\Delta C}{\Delta q}$$

Μήκος σιδηροδρομικού δικτύου (χλμ)	Μήκος οδικού δικτύου (χλμ)
0,0	70,0
5,0	68,6
10,0	66,0
15,0	62,1
20,0	57,0
25,0	50,6
30,0	43,0
35,0	34,1
40,0	24,0
45,0	12,6
50,0	0,0

όπου ΔC η μεταβολή του κόστους,

Δq η μεταβολή στην ποσότητα δηλ. στο μήκος που κατασκευάζεται

Τα οφέλη και εκδηλωμένες προτιμήσεις

- ο στόχος είναι να μεγιστοποιήσουμε τα καθαρά οφέλη, δηλ. την διαφορά των ακαθάριστων ωφελειών από τα κόστη.
- Τα ακαθάριστα οφέλη από την κατασκευή της σιδηροδρομικής γραμμής θα πρέπει επομένως να εκφράζονται και αυτά σε μονάδες συμβατές με τις μονάδες κόστους, δηλ. σε χλμ οδικού δικτύου.
- Τα οφέλη αξιολογούνται υποκειμενικά από τους χρήστες ενός συστήματος. Πως μπορούμε όμως να έχουμε μια αντικειμενική αξιολόγηση των ωφελειών?
- Η βασική παραδοχή που γίνεται είναι ότι οι καταναλωτές (πχ. οι μετακινούμενοι) έχουν ορθολογική συμπεριφορά. Συγκρίνουν τα κόστη με τα οφέλη που έχουν από κάθε επιλογή τους και κάνουν εκείνη την επιλογή που δίδει τα μέγιστα καθαρά οφέλη

Τα οφέλη και εκδηλωμένες προτιμήσεις

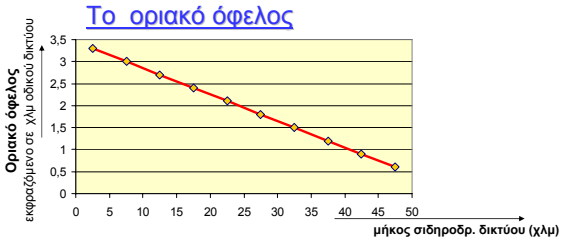
η αρχή των εκδηλωμένων προτιμήσεων

Αν παρατηρήσουμε τις επιλογές που κάνουν οι καταναλωτές, τότε

- θεωρώντας ότι συμπεριφέρονται ορθολογικά,
- μπορούμε να συμπεράνουμε ότι μια συγκεκριμένη επιλογή δίνει περισσότερα καθαρά οφέλη από μια άλλη.

Π.χ. αν εξετάσουμε την συμπεριφορά ενός μετακινούμενου που χρησιμοποιεί ΙΧ για να μετακινηθεί από το σημείο Α στο σημείο Β την χρονική στιγμή t, τότε μπορούμε να συμπεράνουμε ότι για την συγκεκριμένη μετακίνηση το καθαρό όφελος από την χρήση του ΙΧ είναι μεγαλύτερο από αυτό που προκύπτει από την χρήση ενός άλλου μέσου.

Το οριακό όφελος



Παρατηρούμε ότι η καμπύλη του οριακού οφέλους έχει κατιούσα κλίση. Όσο περισσότερα χλμ σιδ γραμμής κατασκευάζονται τόσο λιγότερο το οριακό όφελος από την κατασκευή μιας επιπλέον μονάδας μήκους – δηλ. τόσο λιγότερο το όφελος που θα προσφέρει μια επιπλέον μονάδα μήκους

Γιατί?

- Οι μετακινούμενοι, έχουν όφελος και από την χρήση του οδικού δικτύου,
- για ορισμένες μετακινήσεις το όφελος από την χρήση του ΙΧ είναι υψηλότερο, το όφελος αυτό χάνεται όταν κατασκευάζεται επιπλέον χλμ σιδ. γραμμής αντί για οδικό δίκτυο
- Η αρχή της φθίνουσας οριακής ωφέλειας.

Τα οφέλη και εκδηλωμένες προτιμήσεις

Στο θεωρητικό παράδειγμα που αναλύουμε,

Ερώτημα:
ποια είναι η τιμή που θα πλήρωνε ο ΟΣΟΜΑ για την κατασκευή ενός συγκεκριμένου μήκους, g χλμ, σιδηροδρ. γραμμής ?

Δεδομένα

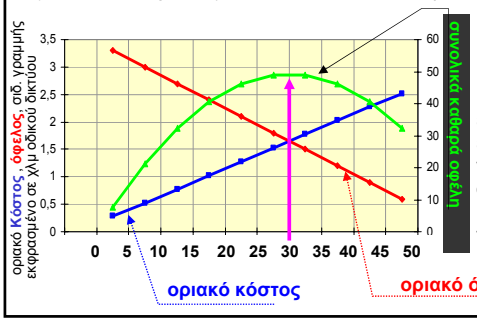
- ΟΣΟΜΑ δεν μπορεί να πληρώσει σε χρήματα,
- Οι μόνοι πόροι που έχει είναι χλμ σιδ γραμμής και χλμ οδού
- Επομένως θα μπορούσε να ανταλλάξει χλμ οδικού δικτύου με χλμ. σιδηροδρομικού δικτύου

Θα μπορούσε να πληρώσει (δηλ. να ανταλλάξει με) h χλμ οδικού δικτύου που δίνουν τα ίδια ακριβώς οφέλη με g χλμ, σιδηροδρομικής γραμμής.

Το βέλτιστο σχέδιο μεταφορών στην Αντίπολη

Δεδομένου ότι έχουμε υπολογίσει τα κόστη και οφέλη σε ίδιες μονάδες, μπορούμε να υπολογίσουμε τα καθαρά οφέλη

Μπορούμε επίσης να συγκρίνουμε τα οριακά κόστη και οφέλη και να εξετάσουμε πως σχετίζονται με τα καθαρά οφέλη



Παρατηρούμε ότι

Μεγιστοποίηση των καθαρών ωφελειών επιτυγχάνεται για εκείνο το μήκος σιδ. γραμμής για το οποίο, το οριακό κόστος ισούται με το οριακό όφελος

Το οριακό όφελος

Υπόθεση:

ο ΟΣΟΜΑ γνωρίζει πώς να εκτιμήσει τα οφέλη από την κατασκευή της σιδηροδρομικής γραμμής και μπορεί να εκφράσει αυτά τα οφέλη σε χλμ οδικού δικτύου.

Όπως και στην περίπτωση του κόστους, το συνολικό όφελος δεν δίνει μια πλήρη εικόνα των μεταβολών που δημιουργούν οι διάφορες αποφάσεις

Επομένως θα πρέπει να υπολογίσουμε το οριακό όφελος MB

$$MB = \frac{\Delta B}{\Delta q}$$

όπου ΔC η μεταβολή της ωφέλειας,
Δq η μεταβολή στην ποσότητα δηλ. στο μήκος που κατασκευάζεται

Μήκος σιδηρο δρ. δικτύου (χλμ)	Όφελος εκφρασμένο σε χλμ οδικού δικτύου	Οριακό όφελος (προσέγγιση - σε χλμ οδικού δικτύου)
0,0	0,0	(16,5-0,0)/5 =3,3
5,0	16,5	(31,5-16,5)/5 =3,0
10,0	31,5	(45,0-31,5)/5 =2,7
15,0	45,0	(62,1-57,0)/5 =2,4
20,0	57,0	2,1
25,0	67,5	1,8
30,0	76,5	1,5
35,0	84,0	1,2
40,0	90,0	0,9
45,0	94,5	0,6
50,0	97,5	

βέλτιστη ποσότητα και αποδοτική κατανομή των πόρων

Κανόνας: Πότε επιτυγχάνεται η βέλτιστη κατανομή των πόρων

Η ποσότητα για την οποία το οριακό όφελος είναι ίσο με το οριακό κόστος αποδίδει τα μέγιστα καθαρά οφέλη. Αυτή είναι η βέλτιστη ποσότητα που θα πρέπει να παραχθεί.

Όταν

1. οι επιχειρήσεις που παράγουν τα προϊόντα/παρέχουν υπηρεσίες λειτουργούν αποδοτικά,

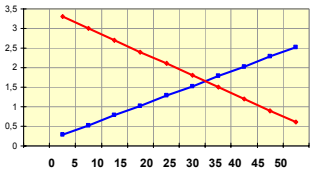
   και

2. υπάρχουν οι απαιτούμενοι πόροι για την παραγωγή της βέλτιστης ποσότητας,

τότε επιτυγχάνεται αποδοτική κατανομή των πόρων σε ένα σύστημα.

ο κανόνας της αποδοτικής κατανομής των πόρων

- Το συμπέρασμα βασίσθηκε σε ένα υποθετικό παράδειγμα. Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει οικονομία που να έχει προσεγγίσει αυτή την κατάσταση της αποδοτικής κατανομής των πόρων.
- Όμως τα συμπεράσματα μπορούν να αποτελέσουν την βάση σύγκρισης μιας οικονομίας με το βέλτιστο σχέδιο καταμερισμού των πόρων



➔ Με μια απλουστευτική προσέγγιση:

Καθαρό όφελος (NB) = Συνολικό Όφελος (B) – Συνολικό κόστος (C)

NB(q) = B(q) – C(q) όπου q η ποσότητα που παράγεται

Μεγιστοποίηση του καθαρού οφέλους έχουμε όταν $\frac{dNB(q)}{dq} = 0 \Rightarrow$

$$\frac{dB(q)}{dq} - \frac{dC(q)}{dq} = 0 \Rightarrow \frac{dB(q)}{dq} = \frac{dC(q)}{dq} \Rightarrow MC = MB$$

Οικονομική θεωρία και μεταφορές/μετακινήσεις: η αντιστοιχία

οι καταναλωτές	είναι	οι μετακινούμενοι
το προϊόν ή υπηρεσία	είναι	η μετακίνηση
οι παραγωγοί / πωλητές	είναι	οι εταιρείες παροχής μεταφορικού έργου *π.χ. αεροπορικές, σιδηροδρομικές κλπ* και η υποδομή δηλ. οι δρόμοι
η ζήτηση για κατανάλωση	είναι	η ζήτηση για μετακίνηση
η ποσότητα που ζητείται	είναι	ο αριθμός των μετακινήσεων, ο κυκλοφοριακός φόρτος
η τιμή	είναι	είναι το κόμιστρο, ο χρόνος διαδρομής, το γενικευμένο κόστος

Ισορροπία και αποδοτική κατανομή των πόρων

- Αν ξαναθυμηθούμε τι συμβαίνει σε μια ανταγωνιστική αγορά
  - ➔ η καμπύλη της ζήτησης ταυτίζεται με την καμπύλη της οριακής ωφέλειας
  - ➔ η καμπύλη της προσφοράς ταυτίζεται με την καμπύλη οριακού κόστους
    - ➡ Επομένως η συνθήκη ισορροπίας της αγοράς (*προσφοράς και ζήτησης*) :

      ποσότητα που προσφέρεται = ποσότητα που ζητείται

      Είναι ουσιαστικά η συνθήκη

      Οριακό κόστος = οριακό όφελος

      ➡ Οι συνθήκες που απαιτούνται για την αποδοτική κατανομή των πόρων και οι συνθήκες για ισορροπία της αγοράς ταυτίζονται

γενικευμένο κόστος μετακίνησης

Το κόστος μιας μετακίνησης μπορεί να εκφράζεται σε μονάδες απόστασης, χρόνου ή κόστους. Συνήθως χρησιμοποιείται ένα μέγεθος που συνδυάζει όλα αυτά τα ***χαρακτηριστικά του ταξιδιού που σχετίζονται με την επιβάρυνση*** *(disutility) που δέχεται ο μετακινούμενος. Το μέγεθος αυτό συνήθως αναφέρεται ως* ***γενικευμένο κόστος μετακίνησης*** *Το γενικευμένο κόστος μετακίνησης εκφράζεται συνήθως σαν γραμμική συνάρτηση των χαρακτηριστικών της μετακίνησης.*

$$c_{ij} = a_1.t_{ij}^v + a_2.t_{ij}^w + a_3.t_{ij}^t + a_4.t_{ij}^n + a_5.F_{ij} + a_6.\phi_j + \delta$$

- t_{ij}^v ο χρόνος εντός του οχήματος
- t_{ij}^w ο χρόνος πρόσβασης (προς και από στάση)
- t_{ij}^t ο χρόνος αναμονής στην στάση
- t_{ij}^n ο χρόνος μετεπιβίβασης
- F_{ij} το χρηματικό κόστος (κόμιστρο, καύσιμο, διόδιο)
- ϕ_j το κόστος στο τερματικό σταθμό (π.χ. παρκινγκ)
- δ επιβάρυνση που σχετίζεται με το μέσο (π.χ. άνεση)

Εξαιρέσεις

- Οι αγορές μπορεί να μην λειτουργούν σε συνθήκες τέλειου ανταγωνισμού. Οι τιμές μπορεί να καθορίζονται από την προσφορά ή την ζήτηση .
- Οι καταναλωτές μπορεί να μην πληρώνουν για αγαθά, υπηρεσίες και πόρους που χρησιμοποιούν.
- Εκτός από την αποδοτικότητα, άλλοι στόχοι μπορεί να τίθενται. Για παράδειγμα η ισότητα. Στόχος της οικονομικής αποδοτικότητας είναι η μεγιστοποίηση του κοινωνικού πλεονάσματος. Αυτό όμως μπορεί να επιτυγχάνεται με μεγιστοποίηση των ωφελειών προς προνομιούχα κοινωνικά στρώματα, και επιβάρυνση των μη προνομιούχων.

6 Εξωτερικές αλληλεπιδράσεις

η αποτυχία των νόμων της αγοράς

Εξαιρέσεις και η αποτυχία των νόμων της αγοράς στον τομέα των μεταφορών

1. *Ο ανταγωνισμός είναι αρκετά ισχυρός έτσι ώστε να ωθήσει την τιμή στο επίπεδο προσφοράς και ζήτησης*
   Στον τομέα των μεταφορών, έχουμε τέλειο ανταγωνισμό?

Υπάρχουν **πολλοί καταναλωτές** και λίγοι πωλητές π.χ. στις αερομεταφορές/θαλάσσιες μεταφορές υπάρχουν **λίγες εταιρείες παροχής μεταφορικού έργου** - δεν υπάρχει ελευθερία εισόδου/εξόδου από την αγορά, λόγω της μεγάλης επένδυσης που απαιτείται. Επομένως, οι τιμές δεν αντανακλούν μια αποδοτική κατανομή των πόρων. Όμως οι απόψεις διίστανται, καθώς ακόμα και σε αγορές με λίγους πωλητές μπορούν να δημιουργηθούν συνθήκες ανταγωνισμού.

Το **προϊόν δεν είναι ομοιογενές** – το ταξίδι με διαφορετικά μέσα/διαφορετικές διαδρομές έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Στις οδικές μεταφορές με ΙΧ αυτοκίνητο, και ιδιαίτερα σε αστικά δίκτυα οι οδηγοί έχουν πολλές εναλλακτικές διαδρομές. Όμως οι οδηγοί έχουν **ελλιπή πληροφορία** όσον αφορά τις κυκλοφοριακές συνθήκες σε όλο το δίκτυο και επομένως μπορεί να μην χρησιμοποιούν διαδρομές που έχουν χαμηλότερα επίπεδα κυκλοφοριακής συμφόρησης (μη αποδοτική εκμετάλλευση της κυκλοφοριακής ικανότητας του δικτύου).

Το θεμελιώδες θεώρημα της Μικροοικονομίας

1. Μια **αποδοτική** κατανομή των πόρων είναι η κατανομή που ικανοποιεί την συνθήκη: οριακό όφελος = οριακό κόστος
2. Για κάθε καταναλωτή η καμπύλη του οριακού οφέλους είναι η καμπύλή της ζήτησης
3. Για κάθε εταιρεία, η καμπύλη του οριακού κόστους είναι η καμπύλη της προσφοράς
4. Επομένως όταν ποσότητα που προσφέρεται είναι ίση με την ποσότητα που ζητείται, τότε έχουμε αποδοτική κατανομή των πόρων

Το θεμελιώδες θεώρημα της Μικροοικονομίας

Εξαιρέσεις και η αποτυχία των νόμων της αγοράς στον τομέα των μεταφορών

2. *Ο καθένας πληρώνει για όλα τα προϊόντα, υπηρεσίες και πόρους που χρησιμοποιεί σε τιμές ισορροπίας*
3. *Οι τιμές ισορροπίας είναι επαρκείς για να καλύψουν όλα τα κόστη.*

Ο οδηγός ΙΧ πληρώνει για τους πόρους που καταναλώνει?

- καύσιμα, και συντήρηση ΙΧ
- ιδιοκτησία ΙΧ, ασφάλεια

} → **Ιδιωτικά κόστη που επιβαρύνουν τον οδηγό**

- άλλα κόστη προς τρίτους?
  δεν πληρώνει για την ρύπανση που προκαλεί και τη καθυστέρηση σε άλλους χρήστες του δρόμου
- κατασκευή και συντήρηση οδικού δικτύου?
  πληρώνει άλλα όχι αναλογικά με την χρήση και την φθορά που προκαλεί

} → **ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΚΟΣΤΗ**

Εξαιρέσεις και η αποτυχία των νόμων της αγοράς

- Το θεμελιώδες θεώρημα της Μικροοικονομικής Θεωρίας βασίζεται σε ορισμένες παραδοχές. Εάν αυτές δεν ισχύουν τότε η κατάσταση ισορροπίας της αγοράς δεν συνεπάγεται και αποδοτική κατανομή των πόρων
- Οι βασικές υποθέσεις που γίνονται είναι

1. *Ο ανταγωνισμός είναι αρκετά ισχυρός έτσι ώστε να ωθήσει την τιμή στο επίπεδο προσφοράς και ζήτησης*
2. *Ο καθένας πληρώνει για όλα τα προϊόντα, υπηρεσίες (και τους πόρους που χρησιμοποιεί) σε τιμές ισορροπίας*
3. *Οι τιμές ισορροπίας είναι επαρκείς για να καλύψουν όλα τα κόστη.*

Εξωτερικές αλληλεπιδράσεις - εξωτερικά κόστη

Εξωτερικές αλληλεπιδράσεις λαμβάνουν χώρα όταν οι ενέργειες ενός καταναλωτή ή μιας επιχείρησης έχουν επιπτώσεις στην ευημερία ενός άλλου καταναλωτή ή μιας επιχείρησης, με τον οποίο/την οποία δεν υπάρχει επιχειρηματική σχέση.

απλά καθημερινά παραδείγματα:

Ατμοσφαιρική ρύπανση που δημιουργείται από την μονάδα παραγωγής των αγαθών μιας επιχείρησης έχει βλαπτικές συνέπειες στους κατοίκους της περιοχής όπου βρίσκεται η μονάδα παραγωγής.
Σε αυτό το παράδειγμα έχουμε **Αρνητική εξωτερική αλληλεπίδραση** ή **εξωτερικό κόστος.**

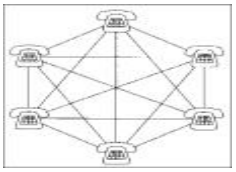
Όταν ο πολίτης επιφορτίζεται με κάποια κόστη χωρίς να αποζημιώνεται τότε τα κόστη αυτά θεωρούνται εξωτερικά κόστη

Εξωτερικές αλληλεπιδράσεις – εξωτερικά οφέλη

απλά καθημερινά παραδείγματα:

Ο ιδιοκτήτης μιας κατοικίας που διατηρεί ένα ωραίο κήπο δημιουργεί και οφέλη για τους περίοικους που απολαμβάνουν το ωραίο περιβάλλον.
Σε αυτό το παράδειγμα έχουμε **θετική εξωτερική αλληλεπίδραση** ή **εξωτερικό όφελος.**
Όταν οι πολίτες έχουν κάποια οφέλη χωρίς όμως να πληρώνουν για αυτά, τότε τα οφέλη αυτά θωρούνται εξωτερικά οφέλη.

Ένας συνδρομητής σε ένα τηλεφωνικό δίκτυο δημιουργεί οφέλη σε άλλους συνδρομητές που μπορεί να θέλουν να του τηλεφωνήσουν.
Σε αυτό το παράδειγμα έχουμε **εξωτερική αλληλεπίδραση δικτύου**



Κοινωνικά κόστη και οφέλη

	εξωτερικό	Ιδιωτικό	Κοινωνικό
Όφελος	ο επωφελούμενος δεν πληρώνει	ο επωφελούμενος πληρώνει	εξωτερικό + Ιδιωτικό
κόστος	αυτός που επιβαρύνεται δεν αποζημιώνεται	αυτός που επιβαρύνεται αποζημιώνεται	εξωτερικό + Ιδιωτικό

Κοινωνικά κόστη και οφέλη

- Οι καταναλωτές και επιχειρήσεις δεν λαμβάνουν υπόψη το εξωτερικό κόστος κατά την λήψη των αποφάσεων
  ➡ επομένως η κατανομή των πόρων όπως ορίζεται από την ισορροπία της αγοράς δεν λαμβάνει υπόψη τα εξωτερικά κόστη και οφέλη
- Τα κόστη και/η τα οφέλη που λαμβάνουν υπόψη οι καταναλωτές και οι επιχειρήσεις, διότι τα πληρώνουν και/η απολαμβάνουν τις ωφέλειες, ονομάζονται ιδιωτικά κόστη και οφέλη
- Το κοινωνικό κόστος είναι το άθροισμα του ιδιωτικού κόστους και του εξωτερικού κόστους

  κοινωνικό κόστος = ιδιωτικό κόστος + εξωτερικό κόστος
- Το κοινωνικό όφελος είναι το άθροισμα του ιδιωτικού οφέλους και του εξωτερικού οφέλους

  κοινωνικό όφελος = ιδιωτικό όφελος + εξωτερικό όφελος

Κοινωνικά βέλτιστη κατανομή των πόρων

- Από τον ορισμό της (κατά την οικονομική θεωρία), η βέλτιστη κατανομή των πόρων οδηγεί σε μια κατάσταση κοινωνικής βελτιστοποίησης
- Πως συμβαίνει αυτό? Με το μεγιστοποιηθούν τα καθαρά οφέλη για κάθε μέλος του κοινωνικού συνόλου που απολαμβάνει τα οφέλη και πληρώνει το κόστος.
- Κάτω από συνθήκες τέλειου ανταγωνισμού αυτό δεν είναι πρόβλημα. Ο καθένας μεγιστοποιεί το ιδιωτικό του όφελος, αλλά επειδή πληρώνει για τα οφέλη που απολαμβάνει, και επιφορτίζεται μόνο με τα αντίστοιχα κόστη, το αποτέλεσμα της μεγιστοποίηση του ιδιωτικού οφέλους είναι η μεγιστοποίηση των καθαρών κοινωνικών ωφελειών.
- Όταν όμως δημιουργούνται εξωτερικά κόστη και οφέλη, το συμπέρασμα αυτό δεν ισχύει. Ο καθένας θα προσπαθήσει να μεγιστοποιήσει τα ιδιωτικά του καθαρά οφέλη, παραβλέποντας τα εξωτερικά κόστη και οφέλη γεγονός που δεν οδηγεί πλέον σε μεγιστοποίηση των καθαρών κοινωνικών ωφελειών.

Κοινωνικά κόστη και οφέλη

- Τα **κοινωνικό κόστος** είναι το άθροισμα από όλα τα κόστη που επιφορτίζονται στα μέλη του κοινωνικού συνόλου ανεξάρτητα από το εάν τα κόστη αυτά επιβαρύνουν το πρόσωπο εκείνο που αποφάσισε ότι τα κόστη αυτά θα δημιουργηθούν.
- Το **κοινωνικό όφελος** είναι το άθροισμα από όλα τα οφέλη που απολαμβάνουν τα μέλη του κοινωνικού συνόλου ανεξάρτητα από το εάν οι επωφελούμενοι αποφασίσουν εάν και πόσο από αυτά τα οφέλη θα παραχθούν.

Κοινωνικά βέλτιστη κατανομή των πόρων

- Η κοινωνικά βέλτιστη κατανομή των πόρων ακολουθεί την αρχή της ισότητας
- Όμως έχουμε δύο είδη οριακού κόστους και οφέλους
  - ➔ το οριακό κοινωνικό κόστος (MSC)
  - ➔ Το οριακό κοινωνικό όφελος (MSB)
  - ➔ Το οριακό ιδιωτικό κόστος (MPC)
  - ➔ Το οριακό ιδιωτικό όφελος (MPB)

➔ Ο κανόνας για την κοινωνικά βέλτιστη κατανομή των πόρων

MSB = MSC

και το πρόβλημα είναι ότι κάθε ένας που ενδιαφέρεται για τα προσωπικά του συμφέροντα λειτουργεί με βάση τον κανόνα

MPB = MPC

Εξωτερικές αλληλεπιδράσεις – εξωτερικά κόστη και οφέλη στον τομέα των μεταφορών

Τα μεταφορικά συστήματα προσφέρουν οφέλη σε αυτούς που τα χρησιμοποιούν: τους δίνουν την δυνατότητα να πραγματοποιήσουν μια μετακίνηση για να εκπληρώσουν κάποιο σκοπό.
Όμως μπορεί να έχουν και βλαπτικές συνέπειες τόσο στους χρήστες όσο και σε αυτούς που δεν τα χρησιμοποιούν και δεν απολαμβάνουν τα οφέλη λόγω μετακίνησης.

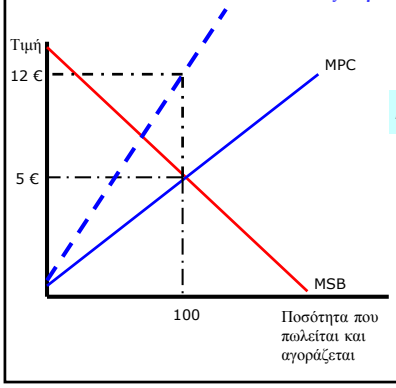
Οι κυριότερες εξωτερικές αλληλεπιδράσεις που κατέχουν σημαντική θέση στην οικονομία των μεταφορών είναι:

- η ατμοσφαιρική ρύπανση
- η μείωση της ασφάλειας
- η κυκλοφοριακή συμφόρηση

Η συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι μια άλλη εξωτερική αλληλεπίδραση που όμως είναι πιο δύσκολο να εκφρασθεί σε μονάδες χρήματος

Εξωτερικά κόστη

MSC = MPC + Εξωτερικό κόστος

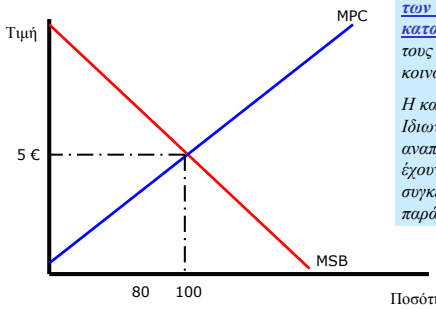


Το πραγματικό οριακό κόστος είναι επομένως το οριακό κοινωνικό κόστος :

MSC = MPC + εξωτερικό κόστος

επομένως το επίπεδο παραγωγής των 100 μονάδων αναπαριστά ένα είδος αποτυχίας της αγοράς – η τιμή δεν αντανακλά με ακρίβεια το πραγματικό κόστος παραγωγής (δεδομένου ότι αγνοεί το κόστος προς την κοινωνία).

Εξωτερικά κόστη

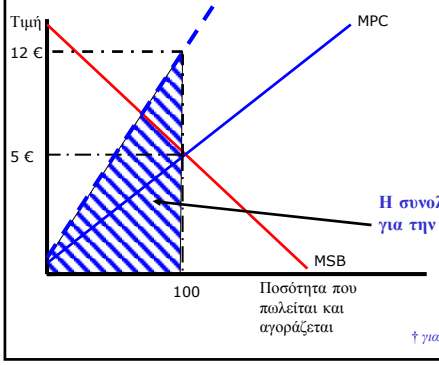


*Η καμπύλη του οριακού κοινωνικού οφέλους (**MSB**) αναπαριστά το **άθροισμα των ωφελειών που έχουν οι καταναλωτές στο σύνολο** τους – τα ιδιωτικά και κοινωνικά οφέλη.*

*Η καμπύλη του Οριακού Ιδιωτικού κόστους (**MPC**) αναπαριστά το κόστος που έχουν οι παραγωγοί, για κάθε συγκεκριμένη ποσότητα που παράγουν.*

Εξωτερικά κόστη

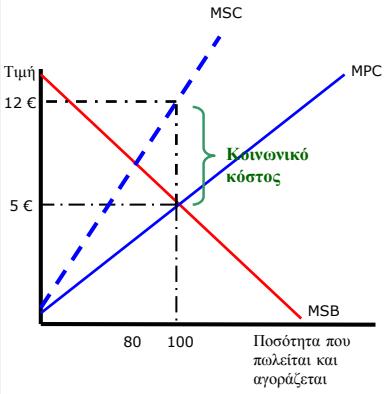
MSC = MPC + Εξωτερικό κόστος



Η συνολική αξία του κόστους για την κοινωνία† *(Κεφ. 3).*

† για την συγκεκριμένη ποσότητα

Εξωτερικά κόστη



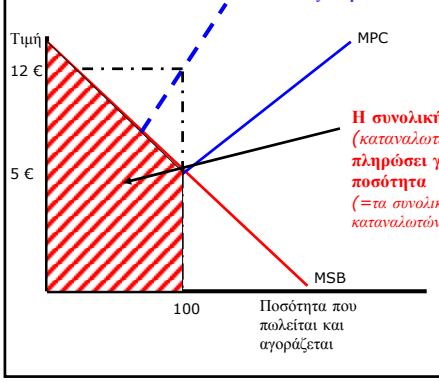
*Το οριακό ιδιωτικό κόστος MPC **δεν λαμβάνει υπόψη το κόστος για την κοινωνία** από την παραγωγή μιας συγκεκριμένης ποσότητας.*

Όταν η ποσότητα είναι 100, το ιδιωτικό κόστος του παραγωγού είναι €5 για μια επιπλέον μονάδα, αλλά το κόστος για το κοινωνικό σύνολο είναι υψηλότερο από αυτό (€12).

*Η διαφορά μεταξύ της τιμής του MSB και του MSC αναπαριστά την **απώλεια ευημερίας** (welfare loss) που έχει η κοινωνία όταν παράγονται 100 μονάδες.*

Εξωτερικά κόστη

MSC = MPC + Εξωτερικό κόστος

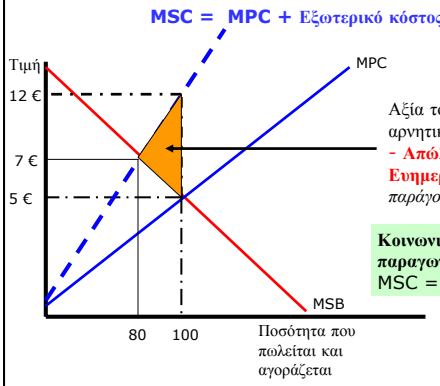


Η συνολική αξία που η κοινωνία *(καταναλωτές)* **επιθυμεί να πληρώσει για την συγκεκριμένη ποσότητα**

(=τα συνολικά ακαθάριστα οφέλη των καταναλωτών- Κεφ. 2)

Απώλεια κοινωνικής ευημερίας: το κοινωνικό κόστος της αρνητικής εξωτερικής αλληλεπίδρασης

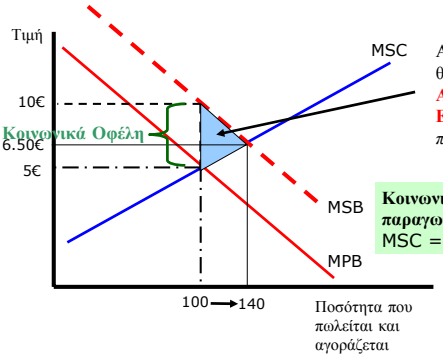
MSC = MPC + Εξωτερικό κόστος



Αξία του εξωτερικής αρνητικής αλληλεπίδρασης - **Απώλεια Κοινωνικής Ευημερίας** *(διότι παράγουμε 100 αντί για 80)*

Κοινωνικά αποδοτική ποσότητα παραγωγής έχουμε όταν MSC = MSB

Εξωτερικά οφέλη



Αξία του εξωτερικής θετικής αλληλεπίδρασης - **Απώλεια Κοινωνικής Ευημερίας** *(διότι παράγουμε 100 αντί 140)*

Κοινωνικά αποδοτική ποσότητα παραγωγής έχουμε όταν MSC = MSB

Εξωτερικές αλληλεπιδράσεις – εξωτερικά κόστη και οφέλη στον τομέα των μεταφορών

Εξωτερικό κόστος:
Οδική κυκλοφορία
Εκπομπές καυσαερίων, Ηχητική ρύπανση, κυκλοφοριακή συμφόρηση, μείωση ασφάλειας

Εξωτερικό όφελος: Λεωφορεία μεταφοράς εργαζόμενων – μείωση κυκλοφοριακού φόρτου και μείωση ζήτησης για άλλα ΜΜΜ την ώρα αιχμής

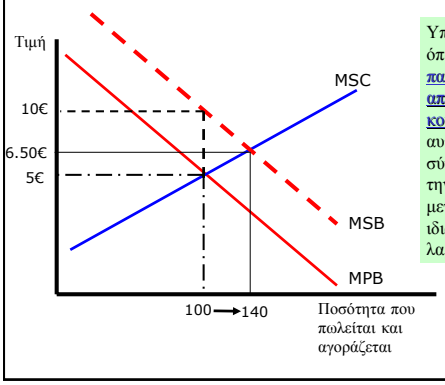
Εξωτερική αλληλεπίδραση δικτύου:
Συστήματα πλοήγησης όπου αύξηση του αριθμού των χρηστών οδηγεί σε πληρέστερη καταγραφή των κυκλοφοριακών συνθηκών.

Εξωτερικές αλληλεπιδράσεις – εξωτερικά κόστη και οφέλη στον τομέα των μεταφορών

- Οι εξωτερικές αλληλεπιδράσεις αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον οικονομικό σχεδιασμό των μεταφορικών συστημάτων.
- Όταν δεν λαμβάνονται υπόψη μπορεί να οδηγήσουν σε **μη οικονομική αποδοτικότητα** (inefficiency) των μεταφορικών συστημάτων.
- Επειδή εκείνοι που προκαλούν τα εξωτερικά κόστη δεν έχουν κανένα ενδιαφέρον/κίνητρο να λάβουν υπόψη τις συνέπειες των επιλογών σε άλλους, έχουμε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ενός μη οικονομικά αποδοτικού συστήματος.

Θα υπάρχει μεγάλη δραστηριότητα σε τομείς που προκαλούν εξωτερικά κόστη (π.χ. ατμοσφαιρική ρύπανση) και μη επαρκής δραστηριότητα σε τομείς που προκαλούν θετικές εξωτερικές αλληλεπιδράσεις.

Εξωτερικά οφέλη



Υπάρχει μία κατάσταση όπου η **ποσότητα που παράγεται είναι λιγότερη από αυτή πού είναι κοινωνικά επιθυμητή**. Σε αυτή την περίπτωση το σύνολο των ωφελειών για την κοινωνία είναι μεγαλύτερο από το ιδιωτικό όφελος, αλλά δεν λαμβάνεται υπόψη.

Εξωτερικές αλληλεπιδράσεις – εξωτερικά κόστη και οφέλη και διορθωτικές παρεμβάσεις

Εξωτερική αλληλεπίδραση	Διορθωτική παρέμβαση
Αρνητική: Εξωτερικό κόστος	Αύξηση της τιμής για να αντιπροσωπεύει το κοινωνικό κόστος: Φόρος για κατανάλωση/παραγωγή (π.χ. οδική χρέωση) έχει σαν αποτέλεσμα μείωση της κυκλοφορίας στο επίπεδο εκείνο που συνεπάγεται οικονομική αποδοτικότητα του συστήματος
Θετική: Εξωτερικό όφελος	Μείωση της τιμής για να αντιπροσωπεύει και τα κοινωνικά οφέλη: Επιδότηση π.χ. χαμηλότερο κόμιστρο στα ΜΜΜ, έχει σαν αποτέλεσμα αύξηση της ζήτησης για χρήση των ΜΜΜ με όλες τις ωφέλειες για το περιβάλλον.

Χρέωση για εξάλειψη του εξωτερικού κόστους

Η τιμή της πρόσθετης χρέωσης θα πρέπει να προκαλεί μετατόπιση της καμπύλης MPC που να μηδενίζει την απώλεια της κοινωνικής ευημερίας

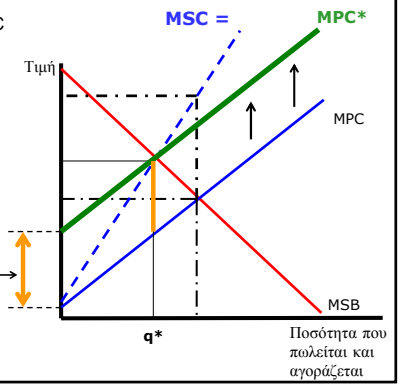
Τιμή της χρέωσης =

MSC(q*) – MPC(q*)

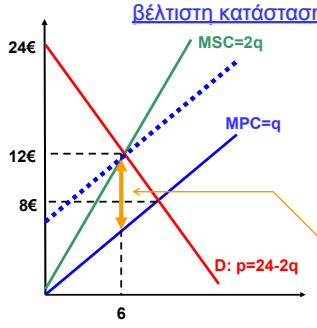
Για εκείνη την ποσότητα q* όπου

MSB(q*) = MSC(q*)

πρόσθετη χρέωση



Παράδειγμα: Χρέωση για χρήση οδικού δικτύου και κοινωνικά βέλτιστη κατάσταση ισορροπίας



Η κοινωνικά βέλτιστη κατάσταση ισορροπίας ορίζεται η κατάσταση όπου MSC=MSB ή MSC ≡ D† :

24 - 2q = 2q => q = 6 και p = 12€

Ο φόρος που απαιτείται είναι η διαφορά των καμπυλών MPC και MSC στο σημείο όπου q = 6 :

Φόρος = MSC(6) – MPC(6) = 2x6 – 6 = 6€

† Η καμπύλη της ζήτησης D είναι η καμπύλη του οριακού κοινωνικού οφέλους MSB

Παράδειγμα: Χρέωση για χρήση οδικού δικτύου και κοινωνικά βέλτιστη κατάσταση ισορροπίας

Θεωρείστε την αγορά της χρήσης αυτοκινητοδρόμων. Υπάρχουν κόστη λειτουργίας και συντήρησης, και ζήτηση για χρήση του αυτοκινητόδρομου. Επιπλέον υπάρχουν και (εξωτερικά) κοινωνικά κόστη (εκπομπές καυσαερίων, ασφάλεια κλπ).

Να υποθέσετε ότι:

- η συνάρτηση της ζήτηση δίδεται από την σχέση : q = 12 – 0,5 p
- Το οριακό ιδιωτικό κόστος είναι : p = q.
- Το οριακό κοινωνικό κόστος είναι διπλάσιο του ιδιωτικού οριακού κόστους

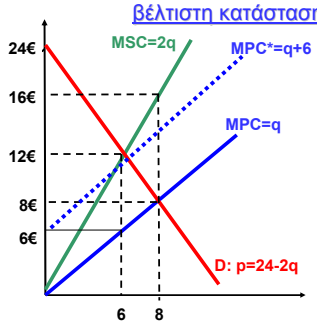
Ζητούμενα

1) Ποια είναι η αρχική κατάσταση ισορροπίας και πιο το κοινωνικό πλεόνασμα?

2) Ποια είναι η κοινωνικά βέλτιστη κατάσταση ισορροπίας? Σε αυτή την κατάσταση τι φόρος θα πρέπει να επιβληθεί για να εξαλείψει τα κοινωνικά κόστη

3) Εάν εφαρμοσθεί ένας φόρος 6 ΕΥΡΩ πιο θα είναι το καθαρό κοινωνικό όφελος?

Παράδειγμα: Χρέωση για χρήση οδικού δικτύου και κοινωνικά βέλτιστη κατάσταση ισορροπίας



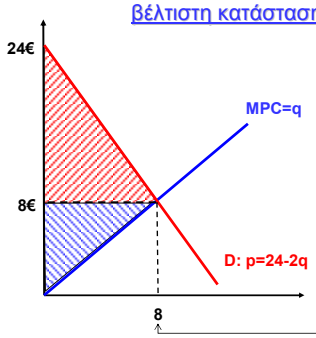
Με την επιβολή φόρου 6€ η καμπύλη MPC μετατοπίζεται κατά 6 € δηλ. MPC* = q+6

MPC* διασταυρώνει την καμπύλη ζήτησης στο σημείο: 24-2q = q+6 =>

q=6 και p=12

Στην νέα κατάσταση ισορροπίας p =12 και q=6

Παράδειγμα: Χρέωση για χρήση οδικού δικτύου και κοινωνικά βέλτιστη κατάσταση ισορροπίας



Η συνάρτηση της ζήτησης:

q = 12 – 0,5 p =>

p = 24 – 2q

Η συνάρτηση της προσφοράς:

p = q

Στην κατάσταση ισορροπίας οι δύο καμπύλες συναντώνται

24 – 2q = q => q = 8

και p = 8

Στην κατάσταση ισορροπίας έχουμε:

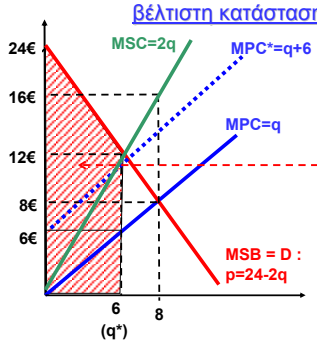
Πλεόνασμα καταναλωτή (CS) : (1/2).(8).(24-8) = 64 €

Πλεόνασμα παραγωγού (PS) : (1/2) . (8) . (8) = 32 €

Κοινωνικό πλεόνασμα:

64 + 32 = 96€

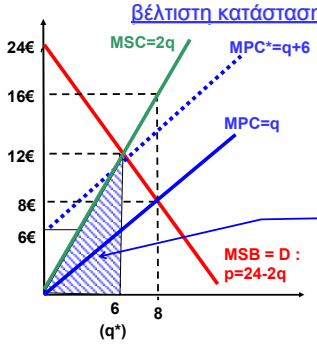
Παράδειγμα: Χρέωση για χρήση οδικού δικτύου και κοινωνικά βέλτιστη κατάσταση ισορροπίας



Το συνολικό όφελος για την κοινωνία όταν <u>επιβάλλεται</u> χρέωση:

$$TSB(q^*) = \int_0^{q^*} MSB(q).dq$$

Παράδειγμα: Χρέωση για χρήση οδικού δικτύου και κοινωνικά βέλτιστη κατάσταση ισορροπίας



Το συνολικό κοινωνικό κόστος όταν επιβάλλεται χρέωση:

$$TSC(q^*) = \int_0^{q^*} MSC(q).dq$$

Παράδειγμα: Χρέωση για χρήση οδικού δικτύου και κοινωνικά βέλτιστη κατάσταση ισορροπίας

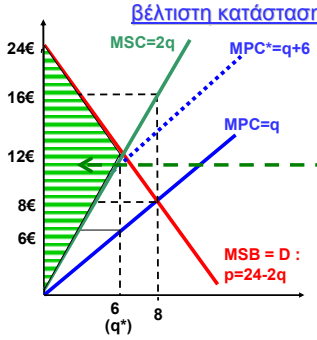
Τα καθαρά κοινωνικά οφέλη από την επιβολή της χρέωσης είναι

NSB = SS(q*) - SS(q_0) = 72 – 64 = 8 €

Επομένως το σύστημα χρέωσης έχει θετικά αποτελέσματα για το κοινωνικό σύνολο.

Πως επηρεάζει η κλίση της καμπύλης της ζήτησης τα καθαρά κοινωνικά οφέλη από την επιβολή χρέωσης?

Παράδειγμα: Χρέωση για χρήση οδικού δικτύου και κοινωνικά βέλτιστη κατάσταση ισορροπίας



Το κοινωνικό πλεόνασμα όταν επιβάλλεται χρέωση:

$$SS(q^*) = TSB(q^*) - TSC(q^*) =$$
$$= \int_0^{q^*} MSB(q).dq - \int_0^{q^*} MSC(q).dq$$

Το κοινωνικό πλεόνασμα όταν επιβάλλεται χρέωση:

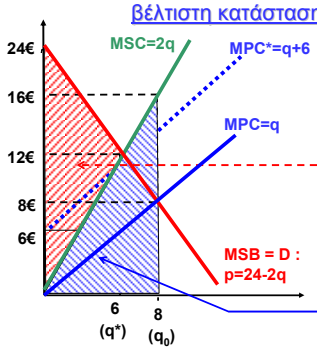
SS(q*) = (1/2).(24).(6) = 72 €

SS(q*)=72€

Χρέωση για χρήση οδικού δικτύου και κοινωνικά βέλτιστη κατάσταση ισορροπίας : γενικά σχόλια

- Μπορεί όμως το κόστος της αρχικής επένδυσης για την υλοποίηση ενός συστήματος χρέωσης και στην συνέχεια το κόστος λειτουργίας του να είναι μεγαλύτερο από το καθαρά οφέλη !!!!!
- Η εφαρμογή σε αστικά δίκτυα απαιτεί εξοπλισμό υψηλής τεχνολογίας, με κόστος που μπορεί και να υπερβαίνει ακόμα και τα έσοδα από ένα τέτοιο σύστημα.
- Η χρέωση για χρήση της οδικής υποδομής αποτελεί ένα αρκετά πολύπλοκο πρόβλημα και τα αποτελέσματα του απλού παραδείγματος δεν μπορούν να γενικευθούν. Αυτό γίνεται πολύ συχνά και μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις.
- Πλέον της μακροσκοπικής θεώρησης που προσφέρει η θεωρεία της οικονομίας των μεταφορών, οι επιπτώσεις ενός τέτοιου συστήματος θα πρέπει να αξιολογούνται μέσα από ένα συστηματικό πλαίσιο ανάλυσης που προσφέρουν τα μοντέλα σχεδιασμού των μεταφορών. Θέματα ισότητας και κοινωνικού αποκλεισμού αποτελούν επίσης πολύ σημαντικές διαστάσεις του προβλήματος, που απαιτούν εις βάθος διερεύνηση.

Παράδειγμα: Χρέωση για χρήση οδικού δικτύου και κοινωνικά βέλτιστη κατάσταση ισορροπίας



Το συνολικό όφελος για την κοινωνία όταν δεν επιβάλλεται χρέωση:

$$TSB(q_0) = \int_0^{q_0} MSB(q).dq$$

Το συνολικό κοινωνικό κόστος όταν δεν επιβάλλεται χρέωση:

$$TSC(q_0) = \int_0^{q_0} MSC(q).dq$$

Το κοινωνικό πλεόνασμα όταν δεν επιβάλλεται χρέωση:

SS(q_0) = TSB(q_0) – TSC(q_0) = (1/2).(8).(24+8) - (1/2).(8).(16) =>

SS(q_0)=64€

Παράδειγμα: γενικευμένο κόστος, οριακό κόστος και ταχύτητα

Σε λεωφόρο ταχείας κυκλοφορίας η σχέση ταχύτητας – κυκλοφοριακού φόρτου δίνεται από την σχέση:

V = V(q) = 120 – 0,022 q

Όπου V η ταχύτατα σε χλμ/ώρα και q ο ωριαίος φόρτος οχημάτων σε κάθε λωρίδα.

Να θεωρήσετε ότι α) το λειτουργικό κόστος του οχήματος είναι 0,17 € / χλμ, β) η μέση πληρότητα του οχήματος είναι 1,3 άτομα, και γ) η αξία του χρόνου του κάθε επιβάτη είναι 10€

Ζητούνται

1) να δώσετε τη σχέση υπολογισμού το μέσου κόστους ενός ΙΧ ανά χλμ σαν συνάρτηση του φόρτου q.

2) Να δώσετε την σχέση του οριακού κόστους, δηλ. της μεταβολής του συνολικού κόστους για όλα τα οχήματα, όταν ένα πρόσθετο όχημα εισέρχεται στην λεωφόρο

3) Ποιο είναι το κόστος που επιβάλλεται στους άλλους οδηγούς από ένα πρόσθετο όχημα, εκφραζόμενο σαν συνάρτηση του q?

Παράδειγμα: γενικευμένο κόστος, οριακό κόστος και ταχύτητα

α) από τα δεδομένα του συγκεκριμένου προβλήματος, το μέσο κόστος / χλμ ενός οχήματος, AC, ισούται με το άθροισμα του λειτουργικού κόστους, και του κόστους του χρόνου ταξιδιού

AC = **0,17** + (1,3 . 10).[**1 / (120 – 0,022q)**] = 0,17 + 13/(120-0,022q)

Λειτουργικό κόστος οχήματος ανά χλμ

Πληρότητα οχήματος

Αξία χρόνου για κάθε μετακινούμενο

Χρόνος ταξιδιού για ένα χλμ

Παράδειγμα: γενικευμένο κόστος, οριακό κόστος και ταχύτητα

Σχόλια και γενίκευση του παραδείγματος (συνέχεια):

- Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι το μόνο εξωτερικό κόστος. Μια πιο πλήρης περιγραφή θα περιλαμβάνει π.χ. και το κόστος της ρύπανσης λόγω της κυκλοφορίας των οχημάτων όποτε θα πρέπει να δίδεται η συνάρτηση εκπομπής ρύπων ανά όχημα, και το κόστος των εκπεμπόμενων ρύπων.
- Το κόστος των εκπεμπόμενων ρύπων δεν περιλαμβάνεται στο ιδιωτικό κόστος, γιατί ο οδηγός δεν το λαμβάνει υπόψη του όταν αποφασίζει αν θα κάνει το ταξίδι ή όχι. Όμως το συνολικό κόστος (από όλα τα οχήματα) των ατμοσφαιρικών ρύπων θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στο υπολογισμό του συνολικού και του οριακού κοινωνικού κόστους.
- Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία, η ποσότητα των ρύπων που εκπέμπει ένα όχημα που κινείται είναι συνάρτηση της ταχύτητας του.

Παράδειγμα: γενικευμένο κόστος, οριακό κόστος και ταχύτητα

β) το οριακό κόστος αναπαριστά την μεταβολή του συνολικού κόστους όλων των οχημάτων προς την μεταβολή του φόρτου

MC = dTC / dq

όπου TC είναι το συνολικό κόστος:

TC = AC . q = 0,17q + 13q/(120-0,022q)

γ) το κόστος που επιβάλλεται στα άλλα οχήματα από ένα πρόσθετο όχημα είναι το εξωτερικό κόστος δηλ. η διαφορά μεταξύ του οριακού κόστους και του κόστους του πρόσθετου οχήματος (*δηλ. το κόστους με το οποίο επιβαρύνεται το πρόσθετο όχημα πού ισούται με το μέσο κόστος).*

ExC = MC – AC

το κόστος που επιβάλλεται σε κάθε άλλο όχημα

MExC = ExC / q

Οι σχέσεις φόρτου – χρόνου διαδρομής είναι μη γραμμικές και επομένως για τον υπολογισμό του οριακού κόστους απαιτείται η γνώση των βασικών σχέσεων από την θεωρεία των παραγώγων

Παράδειγμα: γενικευμένο κόστος, οριακό κόστος και ταχύτητα

Σχόλια και γενίκευση του παραδείγματος – e(συνέχεια):

Έστω

L το μήκος του οδικού τμήματος

D(c) η συνάρτηση της ζήτησης, που εκφράζει των αριθμό των οχημάτων D που χρησιμοποιούν τον δρόμο σαν συνάρτηση του κόστους ταξιδιού. Επισημαίνεται ότι το κόστος ταξιδιού είναι ουσιαστικά το AC για όλο το μήκος του ταξιδιού και επομένως θα δίδεται από την σχέση:

AC(q) = L * [0,17 + 13/(120-0,022*q)]

E(V) η συνάρτηση που εκφράζει την ποσότητα των εκπεμπόμενων ρύπων από κάθε όχημα σε gr/km.

Φ το κόστος των ρύπων σε €/gr.

Η εκπομπή ρύπων από κάθε όχημα για όλο το μήκος του οδικού τμήματος είναι L*E(V). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η η ταχύτητα είναι συνάρτηση του κυκλοφοριακού φόρτου, το κόστος της ποσότητας των ρύπων που εκπέμπεται από ένα όχημα που διανύει το τμήμα L μπορεί να εκφρασθεί σαν συνάρτηση του κυκλοφοριακού φόρτου EE(q) = Φ*L*E(V(q))

Παράδειγμα: γενικευμένο κόστος, οριακό κόστος και ταχύτητα

Σχόλια και γενίκευση του παραδείγματος:

- Κάθε πρόσθετο όχημα που χρησιμοποιεί την λεωφόρο αυξάνει την κυκλοφοριακή συμφόρηση *(όπως αναπαρίσταται και από την σχέση της ταχύτητας που είναι φθίνουσα συνάρτηση του φόρτου*), και επομένως δημιουργεί ένα εξωτερικό κόστος προς την υπόλοιπη κυκλοφορία.
- Επομένως όταν δεν επιβάλλεται χρέωση, το σύστημα δεν είναι οικονομικά αποδοτικό.
- Για να είναι οικονομικά αποδοτικό το σύστημα θα πρέπει να επιβάλλεται χρέωση ίση με το εξωτερικό κόστος , δηλ. ίση με την διαφορά

χρέωση διοδίων = MSC – MPC

Στο πρόβλημα που αναλύσαμε, το οριακό κοινωνικό κόστος (MSC) είναι το οριακό κόστος για το σύνολο της κυκλοφορίας και το οριακό ιδιωτικό κόστος (MPC) ταυτίζεται με το μέσο κόστος μετακίνησης ενός ΙΧ. Επομένως

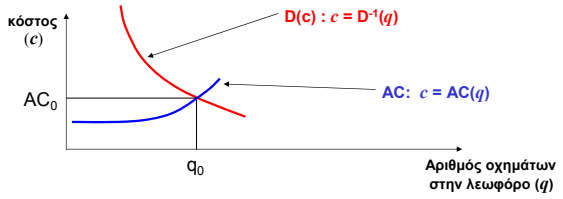
χρέωση διοδίων = ExC = MC – AC,

όπου οι τιμές των MC και AC ορίζονται για εκείνη την τιμή του φόρτου όπου η καμπύλη AC τέμνει την καμπύλη της ζήτησης. Επισημαίνεται ότι α) η καμπύλη της ζήτησης δεν έχει δοθεί στο συγκεκριμένο παράδειγμα, και β) οι σχέσεις που δίνονται αφορούν μοναδιαία μεγέθη (δηλ. 1 χλμ). Για αυτό τον λόγο δεν ζητούνται οι φόρτοι στην κατάσταση ισορροπίας, αλλά μόνο οι σχέσεις του κόστους που προκύπτουν με αντικατάσταση στις παραπάνω εξισώσεις.

Παράδειγμα: γενικευμένο κόστος, οριακό κόστος και ταχύτητα

Σχόλια και γενίκευση του παραδείγματος (συνέχεια):

Όταν δεν επιβάλλεται χρέωση, ο φόρτος ισορροπίας είναι q_0 και το ιδιωτικό κόστος μετακίνησης είναι AC_0



Παράδειγμα: γενικευμένο κόστος, οριακό κόστος και ταχύτητα

Σχόλια και γενίκευση του παραδείγματος (συνέχεια):

Το συνολικό κοινωνικό κόστος είναι:

$TC(q) = q * (AC(q) + EE(q))$

Και το οριακό κοινωνικό κόστος είναι: $MC(q) = dTC(q) / dq$

Οικονομικά αποδοτική κατανομή της κυκλοφορίας επιτυγχάνεται όταν το οριακό κοινωνικό κόστος ισούται με το οριακό κοινωνικό όφελος.

Η τιμή του φόρτου q για την οποία έχουμε ένα οικονομικά αποδοτικό σύστημα, είναι επομένως εκείνη για την οποία:

$D^{-1}(q) = MC(q)$

δεδομένου ότι η καμπύλη της ζήτησης είναι η καμπύλη του κοινωνικού οριακού οφέλους.

Για να επιτύχουμε αυτό τον κυκλοφοριακό φόρτο θα πρέπει να μετατοπισθεί η καμπύλη του οριακού ιδιωτικού κόστους έτσι ώστε να τέμνει την καμπύλη της ζήτησης στο σημείο τομής της καμπύλης του κοινωνικού οριακού κόστους με την καμπύλη της ζήτησης. Αυτό επιτυγχάνεται με την επιβολή χρέωσης ίσης με το εξωτερικό κόστος.

Παράδειγμα: γενικευμένο κόστος, οριακό κόστος και ταχύτητα

Σχόλια και γενίκευση του παραδείγματος (συνέχεια):

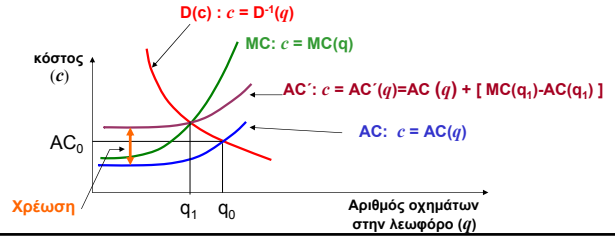
Η τιμή του οικονομικά αποδοτικού φόρτου q_1 υπολογίζεται από την σχέση:

$q_1 : \; D^{-1}(q_1) = MC(q_1)$

Το εξωτερικό κόστος όταν ο φόρτος ισούται με q_1 δίδεται από την σχέση:

$ExC(q_1) = MC(q_1) – AC(q_1)$

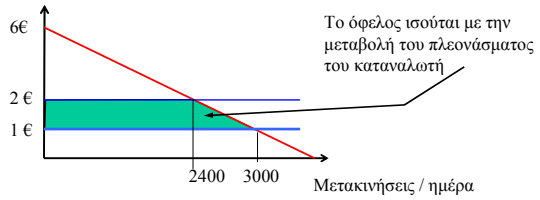
που ισούται με την χρέωση που θα πρέπει να επιβληθεί, οπότε το μέσο κόστος ταξιδιού θα γίνει: $AC'(q) = AC(q) + [MC(q_1) – AC(q_1)]$



Παράδειγμα: οφέλη από έργο αναβάθμισης

Ένα έργο αναβάθμισης επαρχιακού δρόμου μειώνει το γενικευμένο κόστος από 2 € σε 1€ ανά μετακίνηση.
Δίδονται η καμπύλες ζήτησης και μέσου κόστους στο παρακάτω σχήμα

Να υπολογισθούν τα οφέλη από το έργο αναβάθμισης



7 Μέθοδοι ανάλυσης κοινωνικο-οικονομικής σκοπιμότητας έργων

Το αντικείμενο των μεθόδων αξιολόγησης έργων:

- Να αναλύσει και εκτιμήσει ποσοτικά τις ωφέλειες και τις δαπάνες που δημιουργούνται από την υλοποίηση του εξεταζόμενου έργου
- να υπολογίσει εάν συμφέρει ή όχι η υλοποίηση του
- να προσδιορίσει την πλέον συμφέρουσα λύση

- Οι ωφέλειες και οι δαπάνες και το εάν ένα έργο είναι συμφέρον ή όχι, εξαρτάται από τους στόχους που έχουν τεθεί και υπό τους οποίους αναλύουμε το έργο
- Η πολιτεία έχει στόχο να αυξήσει την κοινωνική ευημερία, και επομένως τα κοινωνικά και χρηματικά οφέλη που συνεπάγεται το έργο θα πρέπει να αιτιολογούν το ύψος της επένδυσης.
- Ο ιδιώτης επενδυτής έχει στόχο να μεγιστοποιήσει το κέρδος του. Τα κοινωνικά οφέλη δεν επηρεάζουν το κέρδος του και επομένως δεν τα λαμβάνει υπόψη. Συγκρίνει το κόστος κατασκευής και λειτουργίας με τα χρηματικά έσοδα για να κρίνει εάν το έργο σκόπιμο ή όχι

Ο ορισμός του έργου

Ένα σύνολο αλληλοσχετιζόμενων δαπανών, ενεργειών / δραστηριοτήτων και πολιτικών που σχεδιάζονται για την επίτευξη των στόχων που έχει μια χώρα για την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. (Nash)

Ο όρος έργο μπορεί να αναφέρεται :

- στην κατασκευή νέας ή αναβάθμιση υπάρχουσας υποδομής μεταφορών
- στην εφαρμογή μέτρων διαχείρισης ενός μεταφορικού συστήματος, πχ. η τιμολογιακή πολιτική ή ένα νέο έργο διαχείρισης της κυκλοφορίας (κυκλοφοριακές ρυθμίσεις)
- σε μια ολοκληρωμένη στρατηγική μεταφορών.

Το αντικείμενο των μεθόδων αξιολόγησης έργων:

Τεχνική αξιολόγησης έργων

- Οι τεχνικές αξιολόγησης βασίζονται στην έννοια της αποδοτικότητας. Η έννοια της αποδοτικότητας κατά Pareto: *Ένα σύστημα είναι αποδοτικό κατά Pareto εάν οποιαδήποτε μεταβολή στο σύστημα θα έχει σαν αποτέλεσμα, έστω και μια συνιστώσα του συστήματος να τεθεί σε δυσμενέστερη θέση.*
- Ο ορισμός της αποδοτικότητας κατά Pareto είναι πολύ περιοριστικός, δεδομένου ότι οποιαδήποτε αλλαγή σε ένα σύστημα θα έχει θετικές συνέπειες για κάποιους και αρνητικές για κάποιους άλλους
- Μια πιο ελαστική αξιολόγηση της αποδοτικότητας είναι μέσω της Δυνητικής Βελτιστοποίησης κατά Pareto (Potential Pareto Improvement). Σύμφωνα με αυτή την αρχή μέρος από τα οφέλη ενός έργου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αποζημιώσουν εκείνους που ετέθησαν σε δυσμενέστερη κατάσταση. Εάν τα οφέλη επαρκούν για την πληρωμή των αποζημιώσεων, το έργο θεωρείται αποδοτικό (αποδοτικό κατά Kaldor-Hicks).
- Η αρχή Δυνητικής Βελτιστοποίησης κατά Pareto αποτελεί την βάση των μεθόδων αξιολόγησης των έργων.
- Εάν τα συνολικά οφέλη από ένα έργο είναι μεγαλύτερα από τα συνολικά κόστη, τότε η υλοποίηση του έργου συνεπάγεται ένα καθαρό όφελος για τη κοινωνία στο σύνολο της σύνολο και επομένως το έργο είναι σκόπιμο.

ένα απλό παράδειγμα «χρηματο-οικονομικής» αξιολόγησης και η έννοια της διαχρονικής αξίας του χρήματος

Επένδυση Α: Αγορά ακινήτου Α	Επένδυση Β: Αγορά ακινήτου Β
Ημερομηνία αγοράς :1-1-2006	Ημερομηνία αγοράς :1-1-2006
Συνολικό κόστος: 200.000€	Συνολικό κόστος: 250.000€
Έσοδα 2006 : 5400 € καθαρά φόρων	Έσοδα 2006 : 6000 € καθαρά φόρων
Ετήσια έσοδα αποδίδονται στο τέλος κάθε έτους	Ετήσια έσοδα αποδίδονται στο τέλος κάθε έτους
Κάθε έτος τα έσοδα αυξάνονται κατά 3%	Κάθε έτος τα έσοδα αυξάνονται κατά 3%

Ποια επένδυση είναι πιο συμφέρουσα?

	ΕΠΕΝΔΥΣΗ Α			ΕΠΕΝΔΥΣΗ Β		
Ετος	Κόστος αγοράς & συντηρησης	Εσοδα μετά φόρο	Εσοδα - Κοστος	Κόστος αγοράς & συντηρησης	Εσοδα μετά φόρο	Εσοδα - Κοστος
2005	200.000		-200.000	250.000		-250.000
2006		5.400	5.400		6.000	6.000
2007		5.562	5.562		6.180	6.180
2008		5.729	5.729		6.365	6.365
2009		5.901	5.901		6.556	6.556
2010	8.000	6.078	-1.922	8.000	6.753	-1.247
2011		6.260	6.260		6.956	6.956
2012		6.448	6.448		7.164	7.164
2013		6.641	6.641		7.379	7.379
2014		6.841	6.841		7.601	7.601
2015	20.000	7.046	-12.954	20.000	7.829	-12.171
2016		7.257	7.257		8.063	8.063
2017		7.475	7.475		8.305	8.305
2018		7.699	7.699		8.555	8.555
2019		7.930	7.930		8.811	8.811
2020		8.168	8.168		9.076	9.076
	228.000	100.434	-127.566	278.000	111.593	-166.407
Υπολειμματική αξία → 2020		230.000			280.000	
ΣΥΝΟΛΟ	228.000	330.434	102.434	278.000	391.593	113.593

Η διαχρονική μεταβολή της αξίας: μέθοδος της **μελλοντικής αξίας**

Κανόνας επιλογής

➔ Επιλέγουμε εκείνη την λύση που μεγιστοποιεί τα καθαρά κέρδη

- Χρησιμοποιούμε αυτόν τον κανόνα, με τιμές που έχουν προσαρμοσθεί στον χρόνο
- Εξακολουθούμε να επιλέγουμε την λύση με την μεγαλύτερη αξία
- Επιλέγουμε την αγορά με βάση την μελλοντική αξία των δύο εναλλακτικών λύσεων.

	ΕΠΕΝΔΥΣΗ Α			ΕΠΕΝΔΥΣΗ Β		
Ετος	Κόστος αγοράς & συντηρησης	Εσοδα μετά φόρο	Εσοδα - Κοστος	Κόστος αγοράς & συντηρησης	Εσοδα μετά φόρο	Εσοδα - Κοστος
2005	200.000		-200.000	250.000		-250.000
2006		5.400	5.400		6.000	6.000
2007		5.562	5.562		6.180	6.180
2008		5.729	5.729		6.365	6.365
2009		5.901	5.901		6.556	6.556
2010	8.000	6.078	-1.922	8.000	6.753	-1.247
2011						956
2012						164
2013						379
2014						601
2015						171
2016						063
2017						305
2018		7.699	7.699		8.555	8.555
2019		7.930	7.930		8.811	8.811
2020		8.168	8.168		9.076	9.076
	228.000	100.434	-127.566	278.000	111.593	-166.407
2020		230.000			280.000	
ΣΥΝΟΛΟ	228.000	330.434	102.434	278.000	391.593	113.593

Η επένδυση Β είναι προτιμότερη (?)

Η διαχρονική μεταβολή της αξίας: μέθοδος της **παρούσας αξίας**

- Το ίδιο πρόβλημα αλλά το εξετάζουμε αντίστροφα
  - ➔ Πόσα χρήματα θα πρέπει να τοποθετήσεις σε τραπεζικό λογαριασμό με επιτόκιο i = 3% για ένα χρόνο, έτσι ώστε να πάρεις 105.000 € μετά από ένα χρόνο?
  - ➔ Μελλοντική αξία FV :

    FV= PV **x** (1+i) , όπου PV η παρούσα αξία

    ⇒ PV=FV/(1+i); PV=105.000/(1+3%)=101.942 €
  - ➔ Εφόσον απαιτείται μεγαλύτερο ποσό να κατατεθεί στην τράπεζα, θα αγοράζαμε το οικόπεδο που έχει το χαμηλότερο αρχικό κόστος επένδυσης 100,000 € .

Η διαχρονική μεταβολή της αξίας: μέθοδος της μελλοντικής αξίας

Εξετάζουμε ένα απλό παράδειγμα:

➔ Αγορά ενός οικοπέδου τώρα: 100.000 €
- Θα αξίζει 105.000 € σε ένα χρόνο (σίγουρα)
- Θα πρέπει να λάβουμε υπόψη και το ευκαιριακό κόστος

➔ Εναλλακτική λύση
- Τοποθέτηση των 100.000 € σε τράπεζα που προσφέρει επιτόκιο 3% : επομένως 100.000 **x** (1+3%) = 103.000 €

➔ Θα αγοράζατε το οικόπεδο?

Η διαχρονική μεταβολή της αξίας: μέθοδος της παρούσας αξίας

Ας ανάγουμε όλα σε παρούσες αξίες

- Η παρούσα επένδυση 100.000€ για αγορά οικοπέδου αναπαρίσταται σαν – 100.000€ †
- Η παρούσα αξία του ποσού των 105.000 € που λαμβάνουμε μετά από ένα χρόνο είναι +105.000/(1,03) = 101.942 €
- Επομένως η καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value) του οφέλους

  NPV= -100.000 € + 101.942 € = $1.942 €
- Αφού NPV είναι θετική, θα πρέπει να αγοράσουμε το οικόπεδο – έχει θετικά καθαρά κέρδη.

† χρησιμοποιούμε αρνητικό πρόσημο διότι το ποσό αυτό το δίδουμε, δηλ. αποτελεί έξοδο.

Η διαχρονική μεταβολή της αξίας:

Γιατί ένας επενδυτής προτιμάει

να εισπράξει	να πληρώσει
ένα χρηματικό πόσο	ένα χρηματικό ποσό
σήμερα	μετά από ένα χρόνο
από ότι μετά από ένα χρόνο?	από ότι σήμερα?

- Το ποσό μπορεί να επενδυθεί για ένα χρόνο και να αποφέρει κέρδη
- Η αγοραστική δύναμη του χρήματος θα είναι χαμηλότερη μετά από ένα χρόνο, λόγω πληθωρισμού.

	ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ Α			ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ Β		
Ετος	Κόστος αγοράς & συντηρησης	Εσοδα μετά φόρο	Εσοδα - Κοστος	Κόστος αγοράς & συντηρησης	Εσοδα μετά φόρο	Εσοδα - Κοστος
2005	200.000		-200.000	250.000		-250.000
2006		5.243	5.243		5.825	5.825
2007		5.243	5.243		5.825	5.825
2008		5.243	5.243		5.825	5.825
2009		5.243	5.243		5.825	5.825
2010	6.9					1.076
2011						5.825
2012						5.825
2013						5.825
2014						5.825
2015	14.8					9.057
2016		5.243	5.243		5.825	5.825
2017		5.243	5.243		5.825	5.825
2018		5.243	5.243		5.825	5.825
2019		5.243	5.243		5.825	5.825
2020		5.243	5.243		5.825	5.825
	221.783	78.641	-143.142	271.783	87.37	-184.404
2020		147.628			179.721	
ΣΥΝΟΛΟ	221.783	304.910	83.127	271.783	354.479	82.696

Η επένδυση Α είναι προτιμότερη

Τιμές του επιτοκίου αναγωγής

- Υπάρχουν διαφορετικές απόψεις για το ποιες τιμές είναι οι πλέον κατάλληλες για την αξιολόγηση των επενδύσεων

Επιτόκιο **αγοράς και το διεθνές** επιτόκιο

Σύμφωνα με την αρχή της ίσης αντιμετώπισης δημοσίων και ιδιωτικών επενδύσεων θα πρέπει να χρησιμοποιείται το ίδιο επιτόκιο σε δημόσιες και ιδιωτικές επενδύσεις ⇒ **θεωρείται** Νεοφιλελεύθερη πολιτική

Επηρεάζεται από εσωτερικό πληθωρισμό και σκοπιμότητες εσωτερικής οικονομικής πολιτικής.

Για τις δημόσιες επενδύσεις,

Κοινωνικό επιτόκιο διαχρονικής προτίμησης, όπου η κοινωνική προσφορά έχει ιδιαίτερη βαρύτητα

Κοινωνική πολιτική

Δύσκολο να εκτιμηθεί

Επιτόκιο που αναπαριστά το **ευκαιριακό κόστος** κεφαλαίου

Θεωρητικά βέλτιστη οικονομική αποδοτικότητα

Προϋποθέτει συνθήκες τέλειου ανταγωνισμού και άριστης οικονομικής ανάπτυξης

Επομένως αν δεν λάβουμε υπόψη την μεταβολή της διαχρονικής αξίας του κόστους και των ωφελειών μπορεί να οδηγηθούμε σε λάθος αποφάσεις.

Στο παράδειγμα που παρουσιάσθηκε, η βέλτιστη επένδυση είναι η Α. Όμως αν δεν λάβουμε υπόψη την διαχρονική μεταβολή της αξίας του χρήματος, θα είχαμε επιλέξει την επένδυση Β.

Επομένως κατά την αξιολόγηση των έργων θα πρέπει να ορίσουμε:

- την διάρκεια της εκμετάλλευσης του έργου – αλλά και την διάρκεια υλοποίησης
- την υπολειμματική αξία του έργου, δηλ. την αξία του στο τέλος της περιόδου εκμετάλλευσης
- το επιτόκιο που θα χρησιμοποιήσουμε για να ανάγουμε σε παρούσες ή μελλοντικές αξίες

Έστω ότι το επιτόκιο αναγωγής είναι 3% ⇒

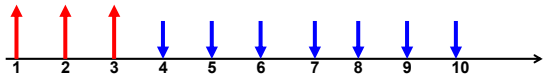
	ΕΠΕΝΔΥΣΗ Α			ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ Α		
Ετος	Κόστος αγοράς & συντηρησης	Εσοδα μετά φόρο	Εσοδα - Κοστος	Κόστος αγοράς & συντηρησης	Εσοδα μετά φόρο	Εσοδα - Κοστος
2005	200.000		-200.000	200.000		-200.000
2006		5.400	5.400		5.243	5.243
2007		5.562	5.562		5.243	5.243
2008		5.729	5.729		5.243	5.243
2009		5.901	5.901		5.243	5.243
2010	8.000	6.078	-1.922	6.901	5.243	-1.658
2011		6.260	6.260		5.243	5.243
2012		6.448	6.448		5.243	5.243
2013		6.641	6.641		5.243	5.243
2014		6.841	6.841		5.243	5.243
2015	20.000	7.046	-12.954	14.882	5.243	-9.639
2016		7.257	7.257		5.243	5.243
2017		7.475	7.475		5.243	5.243
2018		7.699	7.699		5.243	5.243
2019		7.930	7.930		5.243	5.243
2020		8.168	8.168		5.243	5.243
	228.000	100.434	-127.566	221.783	78.641	-143.142
2020		230.000			147.628	
ΣΥΝΟΛΟ	228.000	330.434	102.434	221.783	304.910	83.127

Τεχνική αξιολόγησης έργων: η ανάλυση κόστους - ωφελειών

- Για τον έλεγχο της οικονομικής αποδοτικότητας ενός έργου απαιτείται να αποτιμηθούν τα κόστη και τα οφέλη από το έργο εκφρασμένα σε μονάδες χρήματος.
- Όλες οι επενδύσεις απαιτούν πόρους (**ταμειακές εκροές**) στην φάση υλοποίησης του έργου.
- Στην φάση της παραγωγικής λειτουργίας, δηλ. στο μέλλον, οι επενδύσεις αποκομίζουν έσοδα (**ταμειακές εισροές**).
- Το έργο είναι οικονομικά αποδοτικό εάν τα οφέλη μετρούμενα σε χρήμα είναι μεγαλύτερα από τα κόστη. Το πιο αποδοτικό έργο είναι εκείνο για το οποίο η διαφορά είναι η μεγαλύτερη ή ο λόγος των ωφελειών προς τα κόστη είναι μεγαλύτερος.

Ανάλυση κόστους οφέλους

- Τα **κόστη** και τα **οφέλη** κατανέμονται σε πολλά χρόνια, και επομένως απαιτείται μια μέθοδος που να λαμβάνει υπόψη τις επιπτώσεις της χρονικής κατανομής των διαφόρων συνιστωσών του κόστους και των ωφελειών.
- Οι **εκροές** και **εισροές** είναι διαχρονικές, δηλ. συμβαίνουν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, και επομένως δεν μπορούν να αθροιστούν λόγω της διαφορετικής αξίας του χρήματος



Πραγματικό και ονομαστικό επιτόκιο

- Ονομαστικό επιτόκιο : η τρέχουσα τιμή του επιτοκίου
  - χρησιμοποιείται όταν επεξεργαζόμαστε τρέχοντα στοιχεία και ιστορικά στοιχεία (σε τρέχουσες τιμές).
- Πραγματικό επιτόκιο: 'σταθερό' επιτόκιο, χρησιμοποιείται όταν τα στοιχεία που επεξεργαζόμαστε προσαρμόζονται σε σταθερές τιμές για ένα έτος βάση
  - Το πραγματικό επιτόκιο υπολογίζεται από το ονομαστικό λαμβάνοντας υπόψη τον πληθωρισμό πχ. Χρησιμοποιώντας τον δείκτη τιμών καταναλωτή.
- Στην αξιολόγηση επενδύσεων :
  - Εάν τα στοιχεία κόστους και οφέλους δίδονται σε πραγματικές τιμές, χρησιμοποίησε το πραγματικό επιτόκιο.
  - Εάν σε ονομαστικές/τρέχουσες τιμές, χρησιμοποίησε το ονομαστικό επιτόκιο.
  - Και οι δύο μέθοδοι θα δώσουν τα ίδια αποτελέσματα.

Ανάλυση κόστους οφέλους

- Το συνολικό κόστος είναι :

  το διαχρονικό άθροισμα των δαπανών
- Τα συνολικά οφέλη είναι :

  το διαχρονικό άθροισμα των ωφελειών

⇒

⇒
- για να είναι συγκρίσιμα τα μεγέθη θα πρέπει να πρέπει αναφέρονται σε κάποια κοινή χρονική στιγμή, δηλ. το έτος βάσης
- Ως έτος βάσης συνήθως επιλέγεται η 1/1 του έτους έναρξης κατασκευής

Πραγματικό επιτόκιο

- Τα επιτόκια της αγοράς είναι ονομαστικά, και αντανακλούν (περιλαμβάνουν) τον πληθωρισμό.
- Πως υπολογίζουμε το πραγματικό από το ονομαστικό επιτόκιο?

  έστω:

  r = Πραγματικό επιτόκιο

  i = το ονομαστικό επιτόκιο

  m = ο πληθωρισμός

  – Απλή μέθοδος: r ~ i-m <-> r+m~i

  – Μεγαλύτερη ακρίβεια : r=(i-m)/(1+m)

  γιατί?

Προεξόφληση και ανατοκισμός

Για να αθροιστούν οι διαχρονικές εισροές και εκροές ενός έργου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο εναλλακτικές μέθοδοι

Μέθοδος της προεξόφλησης	Μέθοδος του ανατοκισμού
Μετατροπή των μελλοντικών αξιών, FV, σε σημερινές (παρούσες, PV) με βάση κάποιο επιτόκιο, i.	Αναγωγή των σημερινών αξιών, PV, σε μελλοντικές, FV, με βάση κάποιο επιτόκιο, i
$PV = FV / (1 + i)^t$	**$FV = PV . (1 + i)^t$**
Προεξοφλητικό επιτόκιο	**Επιτόκιο ανατοκισμού**

t είναι η χρονική περίοδος προεξόφλησης ή ανατοκισμού σε έτη, όταν το επιτόκιο είναι το ετήσιο επιτόκιο.

Ο όρος **επιτόκιο αναγωγής** μπορεί να χρησιμοποιηθεί γενικά.

- Για αναγωγή σε παρούσες τιμές το επιτόκιο αναγωγής είναι το προεξοφλητκό επιτόκιο
- Για αναγωγή σε μελλοντικές τιμές, το επιτόκιο αναγωγής είναι το επιτόκιο ανατοκισμού.

Πραγματικό επιτόκιο αναγωγής

- Έστω C το κεφάλαιο σε (τρέχουσες) τιμές του έτους N
- Με με ονομαστικό επιτόκιο i% μετά από ένα χρόνο, η αξία σε τρέχουσες τιμές, δηλ. του έτους N+1, FVn θα είναι

  FVn = C.(1+i)
- Όμως λόγω του πληθωρισμού m%, η αγοραστική αξία του FVn (σε τιμές του έτους N), δηλ. η πραγματική τιμή, FVr, θα είναι

  FVr = FVn / (1 + m)
- Έστω r το πραγματικό επιτόκιο. Τότε μπορούμε να υπολογίσουμε το πραγματική τιμή FVr:

  FVr = C.(1+r)
- Επομένως FVr = C.(1+i)/(1+m) = C.(1+r) ⇒ 1+ r = (1+i)/(1+m) ⇒

  r = (i-m) / (1+m)

Παράδειγμα: εάν i=10%, m=4%

– Απλή προσέγγιση : r=6%, Ακριβής: r=5.77%

κριτήρια αξιολόγησης: Η Καθαρή Παρούσα Αξία

- Η Καθαρή Παρούσα Αξία, ΚΠΑ, (Net Present Value, NPV) είναι ένα από τα πιο συνηθισμένα κριτήρια αξιολόγησης επενδύσεων.
- Βασίζεται στον κανόνα σύμφωνα με τον οποίο επιλέγεται εκείνη η λύση που αποφέρει τα περισσότερα καθαρά οφέλη, λαμβάνοντας υπόψη και την διαχρονική μεταβολή της αξίας του χρήματος.
- Προκύπτει εάν προεξοφλήσουμε σήμερα (*παρούσα αξία*) για κάθε έτος ξεχωριστά την διαφορά μεταξύ των μελλοντικών εσόδων (εισροών) και εξόδων (εκροών) για ολόκληρο τον υπολογιζόμενο χρονικό ορίζοντα (ή διάρκεια ζωής του έργου) με βάση ένα συντελεστή προεξόφλησης (δηλ. το επιτόκιο αναγωγής).

κριτήρια αξιολόγησης: Εσωτερικός Συντελεστής Ανταπόδοτικότητας, ΕΣΑ, (internal rate of return, IRR)

- Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης ή ανταποδοτικότητας, ΕΣΑ, είναι το υπολογιζόμενο επιτόκιο με το οποίο η παρούσα αξία των ταμειακών εισροών ισούται με την παρούσα αξία των ταμειακών εκροών.
- Ο ΕΣΑ είναι το επιτόκιο που εξισώνει την συνολική παρούσα αξία των εσόδων και εξόδων, δηλ. εξισώνει την ΚΠΑ με μηδέν.

$$\varepsilon \quad : \sum_{\tau=1}^{N} \frac{\left[\text{Ταμειακές εισροές}(\tau) - \text{Ταμειακές εκροές}(\tau)\right]}{(1+\varepsilon)^{\tau}} = 0$$

- Εάν το ε είναι υψηλότερο από το επιτόκιο προεξόφλησης, i που ισχύει στην αγορά ($\varepsilon > i$) το σχέδιο επένδυσης που αξιολογείται κρίνεται αποδεκτό.
- Εάν το ε είναι χαμηλότερο από το επιτόκιο προεξόφλησης, i που ισχύει στην αγορά ($\varepsilon < i$) το σχέδιο επένδυσης που αξιολογείται απορρίπτεται.

κριτήρια αξιολόγησης: Η Καθαρή Παρούσα Αξία

Υπολογισμός των εισροών και εκροών για κάθε έτος

Επιλογή κατάλληλου επιτοκίου προεξόφλησης

Υπολογισμός της παρούσας αξίας της καθαρής ταμειακής ροής (διαφοράς μεταξύ εισροών και εκροών)

Η καθαρή παρούσα αξία υπολογίζεται από την σχέση

$$\text{ΚΠΑ} = \sum_{\tau=1}^{N} \frac{\left[\text{Ταμειακές εισροές}(\tau) - \text{Ταμειακές εκροές}(\tau)\right]}{(1+i)^{\tau}}$$

Όπου :

i = το προεξοφλητικό επιτόκιο (επιτόκιο αναγωγής)

τ = ο χρόνος ή περίοδος προεξόφλησης

N = ο χρονικός ορίζοντας ανάλυσης.

κριτήρια αξιολόγησης: Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης, ΕΣΑ, (internal rate of return, IRR)

- Εάν υπάρχουν εναλλακτικά σενάρια επενδύσεων, επιλέγεται εκείνο που έχει το υψηλότερο ε, υπό τον όρο ότι $\varepsilon > i$.
- Εάν το ε είναι χαμηλότερο από το επιτόκιο προεξόφλησης, i που ισχύει στην αγορά ($\varepsilon < i$) το σχέδιο επένδυσης που αξιολογείται απορρίπτεται.

κριτήρια αξιολόγησης: Η Καθαρή Παρούσα Αξία

$$\text{ΚΠΑ} = \sum_{\tau=1}^{N} \frac{\left[\text{Ταμειακές εισροές}(\tau) - \text{Ταμειακές εκροές}(\tau)\right]}{(1+i)^{\tau}} =$$

$$\text{ΚΠΑ} = \sum_{\tau=1}^{N} \frac{\text{Ταμειακές εισροές}(\tau)}{(1+i)^{\tau}} - \sum_{\tau=1}^{N} \frac{\text{Ταμειακές εκροές}(\tau)}{(1+i)^{\tau}}$$

α) αν ΚΠΑ είναι θετική δηλ. η αποδοτικότητα είναι μεγαλύτερη από το επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση είναι αποδεκτή

β) αν ΚΠΑ είναι αρνητική δηλ. η αποδοτικότητα είναι μικρότερη από το επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση απορρίπτεται

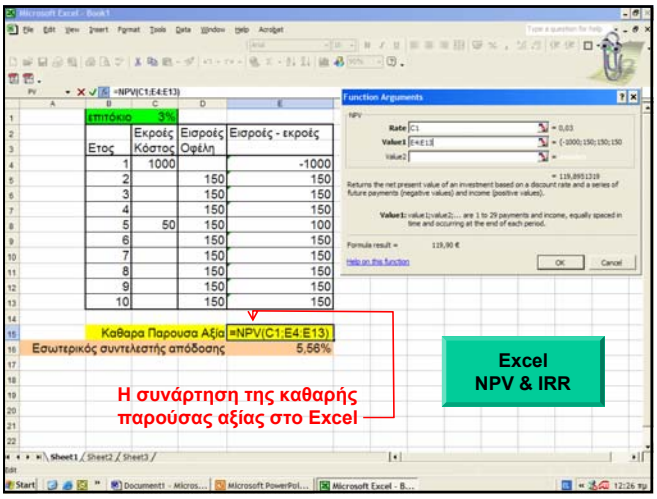
γ) αν ΚΠΑ είναι μηδέν δηλ. η αποδοτικότητα είναι ίση με το επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση γίνεται αποδεκτή αν δεν υπάρχει καλύτερη εναλλακτική λύση.

κριτήρια αξιολόγησης: Λόγος Συνολικού Οφέλους / συνολικού Κόστους

- Ένα άλλο κριτήριο αξιολόγησης είναι ο λόγος του οφέλους προς το κόστος

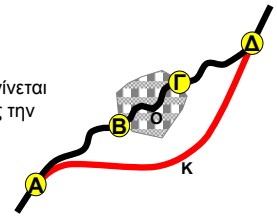
$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{\tau}^{N} \text{Ταμειακές εισροές}(\tau)/(1+i)^{\tau}}{\sum_{\tau}^{N} \text{Ταμειακές εκροές}(\tau)/(1+i)^{\tau}}$$

Αντίστοιχα, για τιμές του λόγου > 1, η επένδυση θεωρείται αποδοτική, ενώ για τιμές <1 απορρίπτεται



Αξιολόγηση έργου παράκαμψης οικισμού

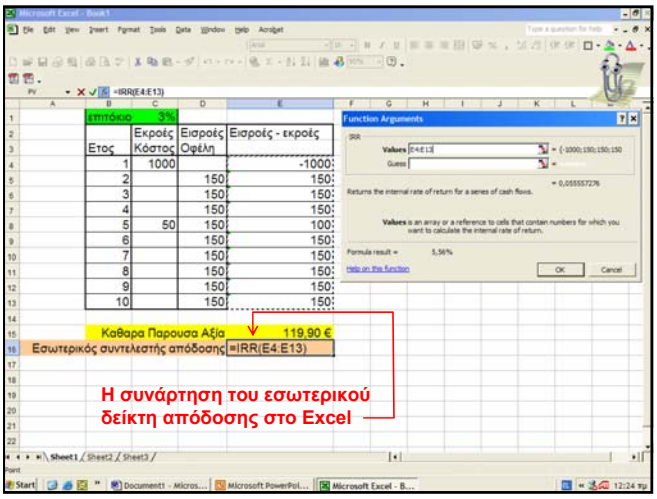
Εναλλακτικές λύσεις:



ΕΛ0 : η μηδενική λύση, δηλ, να μην κατασκευασθεί η παράκαμψη. Η κυκλοφορία θα εξακολουθεί να γίνεται μέσω του οικισμού, ακολουθώντας την διαδρομή ΑΒΓΔ

ΕΛ1 : η εναλλακτική λύση 1, σύμφωνα με την οποία θα κατασκευασθεί η παράκαμψη ΑκΔ.
Η κυκλοφορία από και προς τον οικισμό θα χρησιμοποιεί τον υφιστάμενο δρόμο. Η διαμπερής κυκλοφορία θα γίνεται μέσω της παράκαμψης εφόσον το γενικευμένο κόστος μετακίνησης μέσω της παράκαμψης είναι χαμηλότερο από ότι μέσω του υφιστάμενου δρόμου.

Για τον υπολογισμό των ωφελειών και του κόστους το οδικό δίκτυο χωρίζεται σε τμήματα με ομοιόμορφα χαρακτηριστικά, π.χ. ΑΒ, ΒΓ, ΓΔ, ΑΔ



Υπολογισμός Ωφελειών :

1. Μεταβολές στους χρόνους μετακίνησης

Εναλλακτική λύση		ΕΛ0			ΕΛ1			
Οδικό τμήμα		ΑΒ	ΒΓ	ΓΔ	ΑΔ	ΑΒ	ΒΓ	ΓΔ
Φόρτοι	ΙΧ	Q_{IX}^{AB}	$Q_{IX}^{BΓ}$	$Q_{IX}^{ΓΔ}$	$q_{IX}^{AΔ}$	q_{IX}^{AB}	$q_{IX}^{BΓ}$	$q_{IX}^{ΓΔ}$
	Β.Ο	Q_{BO}^{AB}	$Q_{BO}^{BΓ}$	$Q_{BO}^{ΓΔ}$	$q_{BO}^{AΔ}$	q_{BO}^{AB}	$q_{BO}^{BΓ}$	$q_{BO}^{ΓΔ}$

Εναλλακτική λύση		ΕΛ0			ΕΛ1			
Οδικό τμήμα		ΑΒ	ΒΓ	ΓΔ	ΑΔ	ΑΒ	ΒΓ	ΓΔ
Χρόνοι διαδρομής	ΙΧ	T_{IX}^{AB}	$T_{IX}^{BΓ}$	$T_{IX}^{ΓΔ}$	$t_{IX}^{AΔ}$	t_{IX}^{AB}	$t_{IX}^{BΓ}$	$t_{IX}^{ΓΔ}$
	Β.Ο	T_{BO}^{AB}	$T_{BO}^{BΓ}$	$T_{BO}^{ΓΔ}$	$t_{BO}^{AΔ}$	t_{BO}^{AB}	$t_{BO}^{BΓ}$	$t_{BO}^{ΓΔ}$

Οι χρόνοι διαδρομής θα πρέπει να υπολογίζονται σαν συνάρτηση των χαρακτηριστικών της διαδρομής και του φόρτου

Q_i^j Ο φόρτος οχημάτων κατηγορίας i στο τμήμα j για την εναλ. λύση ΕΛ0

q_i^j Ο φόρτος οχημάτων κατηγορίας i στο τμήμα j για την εναλ. λύση ΕΛ1

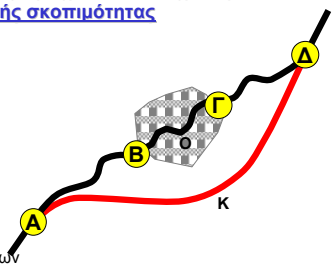
T_i^j Ο χρόνος διαδρομής ενός οχήματος κατηγορίας i στο τμήμα j για την λύση ΕΛ0

t_i^j Ο χρόνος διαδρομής ενός οχήματος κατηγορίας i στο τμήμα j για την λύση ΕΛ1

Αξιολόγηση έργου :

Γενικές κατευθύνσεις μέσα από μια απλουστευτική προσέγγιση στο παράδειγμα της μελέτης σκοπιμότητας της παράκαμψης ενός οικισμού – **ανάλυση κοινωνικοοικονομικής σκοπιμότητας**

Θεωρούμε:



Ωφέλειες :
- Μείωση ατυχημάτων
- Εξοικονόμηση χρόνου
- Λειτουργικό κόστος οχημάτων

Κόστη :
- Κόστος μελετών, απαλλοτριώσεων
- Κόστος κατασκευής
- Κόστος συντήρησης
- Κόστος λειτουργίας

Αντίστοιχα από την κυκλοφοριακή μελέτη δίδονται τα ακόλουθα μεγέθη

$P_{i,k}^j$ = το **ποσοστό των οχημάτων** κατηγορίας i, που κινούνται στο τμήμα j με σκοπό μετακίνησης k (*σκοποί: προς/από εργασία, στα πλαίσια της εργασίας, αγορές, αναψυχή, κλπ*), για την περίπτωση της **ΕΛ0**

$p_{i,k}^j$ = το αντίστοιχο ποσοστό για την περίπτωση της **ΕΛ1**

$O_{i,k}^j$ = Η **μέση πληρότητα** των οχημάτων κατηγορίας i, που κινούνται στο τμήμα j με σκοπό μετακίνησης k (*σκοποί: προς/από εργασία, στα πλαίσια της εργασίας, αγορές, αναψυχή, κλπ*), για την περίπτωση της **ΕΛ0**

$o_{i,k}^j$ = Η αντίστοιχη μέση πληρότητα για την περίπτωση της **ΕΛ1**

Με βάση τα παραπάνω μεγέθη υπολογίζεται το συνολικό κόστος του χρόνου διαδρομής για **ΕΛ0** και **ΕΛ1.**

$$TC_{ΕΛ0} = \sum_k \sum_i \sum_j Q_i^j \times P_{i,k}^j \times O_{i,k}^j \times T_i^j \times VOT_{i,k}$$

$$TC_{ΕΛ1} = \sum_k \sum_i \sum_j q_i^j \times p_{i,k}^j \times o_{i,k}^j \times t_i^j \times VOT_{i,k}$$

Όπου $VOT_{i,k}$ η αξία του χρόνου ενός μετακινούμενου με όχημα κατηγορίας i και με σκοπό μετακίνησης k.

Υπολογισμός Ωφελειών :

2. Μεταβολές λειτουργικού κόστους οχημάτων

- Το λειτουργικό κόστος ανά χλμ εξαρτάται από την ταχύτητα κίνησης.
- Από τις προβλέψεις των κυκλοφοριακών φόρτων και τις διατομές των οδικών τμημάτων είναι δυνατόν να υπολογίσουμε την ταχύτητα κίνησης των οχημάτων και συνεπώς το λειτουργικό κόστος. Έτσι μπορούμε να ορίσουμε τις ακόλουθες μεταβλητές :

VC_i^j = το **λειτουργικό κόστος/χλμ** ενός οχήματος κατηγορίας i που κινείται στο τμήμα j για την εναλ. λύση ΕΛ0

vc_i^j = το λειτουργικό κόστος/χλμ ενός οχήματος κατηγορίας i που κινείται στο τμήμα j για την εναλ. λύση ΕΛ1

L_j = το **μήκος** του τμήματος j

Τα συνολικά λειτουργικά κόστη για τις λύσεις ΕΛ0 και ΕΛ1 υπολογίζονται :

$$VOC_{ΕΛ0} = \sum_i \sum_j Q_i^j \times L^j \times VC_i^j \qquad VOC_{ΕΛ1} = \sum_i \sum_j q_i^j \times L^j \times vc_i^j$$

Υπολογισμός Κόστους το έτος τ :

εναλ. λύση	Συνολικό κόστος	Κόστος μελετών, απαλλοτριώσεων	Κόστος κατασκευής	Κόστος λειτουργίας κ& συντήρησης
ΕΛ1	$C_{ΕΛ1}(\tau) =$	$(SC_{ΕΛ1}(\tau)$ +	$CC_{ΕΛ1}(\tau)$ +	$OMC_{ΕΛ1}(\tau))$
ΕΛ0	$C_{ΕΛ0}(\tau) =$	0 +	0 +	$OMC_{ΕΛ0}(\tau))$

Κόστη : $\Delta C(\tau) = C_{ΕΛ1}(\tau) - C_{ΕΛ0}(\tau)$

Υπολογισμός Ωφελειών :

3. Μεταβολές στον αριθμό των ατυχημάτων

- Η πιθανότητα να συμβεί ένα ατύχημα καθορίζεται από τα γεωμετρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της οδού, και το ιστορικό ατυχημάτων.
- Τα ατυχήματα μπορούν να χωρισθούν σε κατηγορίες ανάλογα με την σοβαρότητα τους. Κάθε κατηγορία ατυχήματος έχει και διαφορετικό κόστος
- Από ανάλυση στοιχείων ατυχημάτων μπορούμε να ορίσουμε τα ακόλουθα μεγέθη:

AR_m^j = η **πιθανότητα να συμβεί ατύχημα** κατηγορίας m στο τμήμα j για την εναλ. λύση ΕΛ0. (εκφράζεται συνήθως σε ατυχήματα / οχ.χλμ)

ar_m^j = η πιθανότητα να συμβεί ατύχημα κατηγορίας m στο τμήμα j για την εναλ. λύση ΕΛ1.

AC_m = το **κόστος ενός ατυχήματος** κατηγορίας m

Τα συνολικά κόστη ατυχημάτων για τις λύσεις ΕΛ0 και ΕΛ1 υπολογίζονται :

$$TAC_{ΕΛ0} = \sum_i \sum_j \sum_m Q_i^j \times L^j \times AR_m^j \times AC_m$$

$$TAC_{ΕΛ1} = \sum_i \sum_j \sum_m q_i^j \times L^j \times ar_m^j \times AC_m$$

Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας:

$$ΚΠΑ = \sum_{\tau=1}^{\nu} \frac{(\Delta B(\tau) - \Delta C(\tau))}{(1+i)^\tau}$$

$$\left.\begin{aligned} ΚΠΑ(ΕΛ1) &= \sum_{\tau=1}^{\nu} \frac{(B_{ΕΛ1}(\tau) - C_{ΕΛ1}(\tau))}{(1+i)^\tau} \\ ΚΠΑ(ΕΛ0) &= \sum_{\tau=1}^{\nu} \frac{(B_{ΕΛ0}(\tau) - C_{ΕΛ0}(\tau))}{(1+i)^\tau} \end{aligned}\right\} ΚΠΑ = ΚΠΑ(ΕΛ1) - ΚΠΑ(ΕΛ0)$$

Υπολογισμός Ωφελειών το έτος τ :

εναλ. λύση	Συνολικό όφελος	Κόστος χρόνου διαδρομής	Λειτουργικό κόστος	Κόστος Ατυχημάτων
ΕΛ1	$B_{ΕΛ1}(\tau) =$	$-(TC_{ΕΛ1}(\tau)$ +	$VOC_{ΕΛ1}(\tau)$ +	$TAC_{ΕΛ1}(\tau))$
ΕΛ0	$B_{ΕΛ0}(\tau) =$	$-(TC_{ΕΛ0}(\tau)$ +	$VOC_{ΕΛ0}(\tau)$ +	$TAC_{ΕΛ0}(\tau))$

Οφέλη: $\Delta B(\tau) = B_{ΕΛ1}(\tau) - B_{ΕΛ0}(\tau)$

Όταν εξετάζουμε την κάθε λύση μεμονωμένα, τα οφέλη (με την καθιερωμένη έννοια) είναι αρνητικά και ισούνται με : – (κόστος χρόνου + λειτουργικό κόστος + κόστος ατυχημ.)

Συγκρίνοντας όμως τις δύο εναλλακτικές λύσεις έχουμε θετικά οφέλη εφόσον, τα κόστη των οχημάτων στην ΕΛ1 είναι χαμηλότερα από τα αντίστοιχα στην ΕΛ0.

→ = - (όφελος από ΕΛ0) → = - (όφελος από ΕΛ1)

	ΕΛ0 (επιτόκιο 3%)			ΕΛ1 (επιτόκιο 3%)			ΕΛ1 - ΕΛ0 (επιτόκιο 3%)		
Έτος	Κόστος κατασκ/ λειτουργ/ συντηρ/ (2)	Κόστος χρόνου/ λειτουργ/ ατυχημ/ (3)	Καθαρά οφέλη (4)= -(3)-(2)	Κόστος κατασκ/ λειτουργ/ συντηρ/ (5)	Κόστος χρόνου/ λειτουργ/ ατυχημ/ (6)	Καθαρά οφέλη (7)= -(6)-(5)	Κόστος 1 - Κοστος 0 (8)=(5)-(2)	Οφέλη = - (Κοστ. Οχ. 1 - Κοστ. Οχ. 0) (9)=-[(6)-(3)]	Καθαρά οφέλη (10)=(9)-(8)
(1)									
1	0		0	1000		-1000	1000		-1000
2		300	-300		150	-150	0	150	150
3	50	300	-350		150	-150	-50	150	200
4		300	-300		150	-150	0	150	150
5		300	-300	50	150	-200	50	150	100
6		300	-300		150	-150	0	150	150
7	50	300	-350		150	-150	-50	150	200
8		300	-300		150	-150	0	150	150
9		300	-300		150	-150	0	150	150
10		300	-300		150	-150	0	150	150
Καθαρά Παρούσα Αξία			-2.354,21 €	ΚΠΑ		-2.147,90 €	Καθαρά Παρούσα Αξία		206,31 €
							Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης		7,38%

-2.147,90 € - -2.354,21 € = 206,31 €

Παράδειγμα – σύγκριση έργων με διαφορετική διάρκεια ζωής

- Θεωρείστε 2 έργα υποδομών
  - Ίσης ικανότητας εξυπηρέτησης αλλά με διαφορετική διάρκεια ζωής
    (1) 70 χρόνια και (2) 35 χρόνια
  - Κόστος Επένδυσης (1) = 100 εκ. €,
  - Κόστος Επένδυσης (2) = 50 εκ. €
  - Καθαρά ετήσια οφέλη (1) = 6.5 εκ. €,
  - Καθαρά ετήσια οφέλη (2) = 4.2 εκ. €
- Το επιτόκιο αναγωγής είναι 5%
- Πως μπορούμε να συγκρίνουμε?
  - Μπορούμε να υπολογίσουμε την ΚΠΑ για το καθένα ?

Περιγραφή των έργων κάθε εναλλακτικής λύσης:

1. Για τον προϋπολογισμό των επιμέρους έργων θα δίδονται:
   - Κόστος χρήσης μηχανημάτων και μεταφορικών μέσων σε τιμές χωρίς φόρους (π.χ. καυσίμου) και ΦΠΑ
   - Κόστος αγοράς ή κατασκευής υλικών σε τιμές αγοράς χωρίς φόρους
   - Κόστος εργατικών και προσωπικού διεύθυνσης
   - Κόστος εργασιών που αφορούν ανακατασκευές/τροποποιήσεις υφιστάμενων δικτύων, ΟΚΩ κλπ
   - Κόστος επίβλεψης – Διεύθυνσης έργων
   - Κόστος πρόσκτησης ή ενοικίασης δανειοθαλάμων, αποθεσιοθαλάμων κλπ
   - Εκτάσεις που α) θα απαλλοτριωθούν για κατασκευή του έργου (ανά κατηγορία χρήσης β) θα απαλλοτριωθούν ή ενοικιασθούν σαν δανειοθάλαμοι, αποθεσιοθάλαμοι, και γ) που θα απαιτηθούν σαν εργοταξιακοί χώροι
   - Ποσοτικά στοιχεία εγκαταστάσεων που θα κατεδαφιστούν κατά κατηγορία και αριθμό θιγομένων

Παράδειγμα – σύγκριση έργων με διαφορετική διάρκεια ζωής

- Υποθέτουμε ότι μετά από τα πρώτα 35 χρόνια μπορούμε να κατασκευάσουμε πάλι το έργο (2).
  - ΚΠΑ(1)=-100+(6.5/1.05)+..+6.5/1.05^{70}=25.73
  - ΚΠΑ(2α)=-50+(4.2/1.05)+..+4.2/1.05^{35}=18.77
  - ΚΠΑ(2α + 2β)=18.77+(18.77/1.05^{35})=22.17
  - Τα δύο έργα γίνονται συγκρίσιμα – Το έργο 1 είναι καλύτερο

Περιγραφή των έργων κάθε εναλλακτικής λύσης:

2. Κόστος των ενεργειών που απαιτούνται πριν από την κατασκευή
   - Κόστος μελετών και ερευνών (κυκλοφοριακών, γεωλογικών, εδαφοτεχνικών) – συνήθως λαμβάνεται σαν ένα ποσοστό του κόστους κατασκευής
   - Δαπάνες διοίκησης – συμβούλων
   - Κόστος απαλλοτριώσεων – μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την λύση
3. Από τα τεύχη της μελέτης, το κόστος κατασκευής, με την ακόλουθη ανάλυση:
   - Χωματουργικά υποδιαιρούμενα στις επιμέρους εργασίες: α) Εκσκαφές, β) δάνεια, αποθέσεις, γ) επιχώματα, δ) λοιπές εργασίες.
   - Τεχνικά έργα υποδιαιρούμενα στις επιμέρους εργασίες: α) άνω διαβάσεις, β) κάτω διαβάσεις, γ) γέφυρες, κοιλαδογέφυρες, δ) σήραγγες και σκεπαστά τμήματα Cut&Cover ε) έργα ελέγχου ομβρίων, στ) έργα ελέγχου υπογείων υδάτων.
   - Οδοστρωσία – Ασφαλτικά
   - Σήμανση – εξοπλισμός οδού
   - Έργα πρασίνου
   - Λοιπά έργα αποκατάστασης τοπικού δικτύου ή άλλων δικτύων

Παρουσίαση εναλλακτικών λύσεων :

(από προδιαγραφές Μελετών Σκοπιμότητας ΥΠΕΧΩΔΕ)

Η παρουσίαση κάθε εναλλακτικής λύσης περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

1. Τίτλος και κωδικός αριθμός
2. Σχέδιο όπου παρουσιάζονται οι εναλλακτικές λύσεις
3. Καταγραφή των κύριων χαρακτηριστικών της εναλλακτικής λύσης
   - Τεχνικά χαρακτηριστικά: κλίσεις, ακτίνες, διατομή κλπ
   - Τεχνικά έργα (γέφυρες, σήραγγες κλπ)
   - Λειτουργικά χαρακτηριστικά: ταχύτητα μελέτης, V85
   - Χρονική περίοδος εκτέλεσης της κατασκευής: χρόνος 0 είναι η αρχή εκτέλεσης όλης της κατασκευής
   - Ο ετήσιος μέσος ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος (ΕΜΗΚ) για τις κατηγορίες α) κανονικής *(κατά τις τάσεις)* κυκλοφορίας β) Προσελκυόμενης κυκλοφορίας (από άλλους δρόμους ή/και μεταφορικά μέσα) και γ) παραγώγου κυκλοφορίας *(δημιουργούμενης, δηλ. νέες μετακινήσεις που προκύπτουν από την μείωση του γενικευμένου κόστους κάτω από το όριο που έκανε αυτές τις μετακινήσεις απαγορευτικές)*
4. Κόστος κατασκευής, απαλλοτριώσεων, κλπ
5. Σύνοψη των εκτιμώμενων περιβαλλοντικών επιπτώσεων
6. Η εκτιμώμενη σκοπιμότητα της επένδυσης

Περιγραφή των έργων κάθε εναλλακτικής λύσης:

4. Για την εκτίμηση των δαπανών συντήρησης και λειτουργίας, να λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθες κατηγορίες δαπανών:
   - Επισκόπηση – έλεγχος και Διοικητικές δαπάνες
   - Περιοδική συντήρηση, ελαφρά και βαριά
   - Έκτακτη συντήρηση
   - Δαπάνες ηλεκτροφωτισμού
   - Ειδικές δαπάνες
   - Αστυνόμευση

- Απαραίτητα στοιχεία για εκτίμηση κόστους κατασκευής και συντήρησης
- Εκτίμηση ποσοτήτων κατασκευής και συντήρησης

μεθοδολογία της οικονομικής ανάλυσης

(από προδιαγραφές Μελετών Σκοπιμότητας ΥΠΕΧΩΔΕ)

1. Επιλογή βασικών οικονομικών δεδομένων
2. Χρηματικό και οικονομικό κόστος
3. Εκτίμηση κόστους των έργων
4. Υπολογισμός λειτουργικού κόστους οχημάτων
5. Υπολογισμός κόστους ατυχημάτων
6. Αξία εξοικονόμησης χρόνου
7. Εκτίμηση ωφελειών κάθε εναλλακτικής λύσης
8. Υπολογισμός αποτελεσματικότητας κάθε εναλλακτικής λύσης
9. Ανάλυση κινδύνων – Ανάλυση ευαισθησίας

1. Επιλογή βασικών οικονομικών δεδομένων

1.3 Επιτόκιο αναγωγής

Η οικονομική ισοδυναμία ενός μεγέθους A_n που εκδηλώνεται την χρονική στιγμή t=n με ένα μέγεθος A_0 που εκδηλώνεται την χρονική στιγμή t=0, εκφράζεται με την σχέση:

$$A_0 = A_n \cdot \frac{1}{(1+e)^n}$$

e είναι το επιτόκιο αναγωγής. Στις χρηματοοικονομικές αναλύσεις, το e έχει την έννοια του προεξοφλητικού επιτοκίου. Στις οικονομικές αναλύσεις το e εκφράζει τον ρυθμό απομείωσης της οικονομικής αξίας του θεωρούμενου μεγέθους συναρτήσει του χρόνου.

Η επιλογή του θα πρέπει να αιτιολογείται από τον μελετητή (αν και συνήθως η τιμή του προσδιορίζεται στην σύμβαση ανάθεσης).

Θα ελέγχεται η ευαισθησία των αποτελεσμάτων της οικονομικής αξιολόγησης για τρεις τιμές του επιτοκίου: την πιθανή μέγιστη, την πλέον πιθανή, και την πιθανή ελάχιστη.

1. Επιλογή βασικών οικονομικών δεδομένων

1.1 Χρονικός ορίζοντας οικονομικής ανάλυσης –οικονομικής ζωής του έργου

- Οι χρονικές περίοδοι ομαδοποιούνται στις κατηγορίες
  - α) περίοδος μελέτης – απαλλοτριώσεων
  - β) περίοδος κατασκευής
  - γ) περίοδος λειτουργίας
- Η συνολική χρονική περίοδος υποδιαιρείται σε ισόχρονα χρονικά διαστήματα (έτη ή εξάμηνα) που χρησιμοποιούνται ως χρονικές μονάδες
- Η χρονική μονάδα να περιγράφεται με σαφήνεια
- Απαιτείται για το διάγραμμα εισροών - εκροών
- Θα πρέπει να ορισθεί αν οι εισροές εκροές λαμβάνονται στην αρχή ή τέλος της χρονικής μονάδας

2. Χρηματικό και οικονομικό κόστος

- Κόστη και οφέλη θα πρέπει να αποτιμώνται σε οικονομικές τιμές και όχι σε τιμές αγοράς (λογιστικές/χρηματικές). Οι οικονομικές τιμές δεν περιλαμβάνουν τιμολογιακές παραμορφώσεις π.χ. φόροι, δασμοί, ΦΠΑ κλπ, και υπολογίζονται από τις τιμές της αγοράς αφού αφαιρεθούν οι μεταβιβαστικές πληρωμές, φόροι κλπ.
- Διευκρινίζονται οι ακόλουθες έννοιες για τον προσδιορισμό των οικονομικών τιμών από τις χρηματικές τιμές
  - ⇨Μεταβιβαστικές πληρωμές: αντιπροσωπεύουν απλή μεταβίβαση χρηματικών πόρων και όχι χρήση-ανάλωση-απώλεια πόρων, π.χ. φόροι, δασμοί, επιδοτήσεις, επιχορηγήσεις. Οι απαλλοτριώσεις θεωρητικά είναι μεταβιβαστικές πληρωμές, συνήθως όμως θεωρούνται ως οικονομικά μεγέθη που αντιπροσωπεύουν την ανάλωση πόρου που είναι η στέρηση δυνατότητας άλλων χρήσεων της περιοχής που θα καταλάβει το έργο.

1. Επιλογή βασικών οικονομικών δεδομένων

1.2 Τρέχουσες και σταθερές τιμές

Θα πρέπει να γίνει επιλογή μεταξύ τρεχουσών ή σταθερών τιμών, για να ορισθεί αν οι αναλύσεις γίνονται με συνεκτίμηση του πληθωρισμού ή όχι

2. Χρηματικό και οικονομικό κόστος

⇨Εργοδοτικές εισφορές: είναι οι κρατήσεις για την ασφάλιση των εργαζομένων, που θεωρούνται ως μελλοντική αποζημίωση σε περιόδους όπου παρουσιάζεται έλλειψη προσφοράς εργασίας. Επομένως υπολογίζονται ως μέρος του κόστους εργασίας και περιλαμβάνονται ως κόστος στην οικονομική αναλύση.

⇨Φόροι, δασμοί : είναι καθαρά μεταβιβαστικές πληρωμές και γι αυτό θα πρέπει να αφαιρούνται από τις τιμές αγοράς.

- Οι Φόροι αφαιρούνται από όλες τις δαπάνες χρήσης (λειτουργικό κόστος) του έργου
- Από τις δαπάνες κατασκευής αφαιρούνται όλοι οι φόροι εισοδήματος του κατασκευαστή
- Ο ΦΠΑ δεν μετέχει στις τιμές
- Φόροι εισοδήματος εργαζομένων δεν αφαιρούνται, γιατί θεωρούνται ότι αντισταθμίζουν τις δαπάνες για την διασφάλιση αποδεκτού περιβάλλοντος εκτέλεσης και λειτουργίας του έργου από την Κρατική Αρχή

2. Χρηματικό και οικονομικό κόστος

- Δαπάνες επισκευής και συντήρησης : υπολογίζονται στο οικονομικό κόστος σύμφωνα με τα προηγούμενα.
- Ιστορικές Δαπάνες: είναι δαπάνες που έγιναν στο παρελθόν, όπως γενικές μελέτες και διοικητικές δαπάνες, που δεν συμπεριλαμβάνονται συνήθως γιατί αφορούν δαπάνες εντοπισμού επενδύσεων και επομένως θεωρούνται γενικές δραστηριότητες. Όμως εξειδικευμένες δαπάνες για το συγκεκριμένο έργο, όπως μελέτες, έρευνες θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται.

3. Εκτίμηση κόστους των έργων

Βασικές δαπάνες για την κατασκευή, συντήρηση και λειτουργία

- Για κάθε εναλλακτική λύση θα εκτιμώνται οι ποσότητες κατασκευής και συντήρησης
- Τα κόστη υπολογίζονται από τις ποσότητες και τιμές μονάδας
- Θα πρέπει να διακρίνονται:
  - το κόστος εργασιών και ερευνών που αφορούν μελετητικές δραστηριότητες
  - Το κόστος διεύθυνσης-διοίκησης και επίβλεψης
  - Το κόστος συντήρησης
  - Το κόστος λειτουργίας, π.χ. ηλεκτροφωτισμός, - δεν περιλαμβάνει το οικονομικό κόστος χρήσης του έργου (από τους χρήστες, δηλ. το λειτουργικό κόστος οχημάτων)

3. Εκτίμηση κόστους των έργων

Άλλες δαπάνες

- Αφορούν πρόσθετα κόστη που προκαλούνται από τις κατασκευαστικές δραστηριότητες, και από την ύπαρξη και λειτουργία του οδικού έργου. Ενδεικτικά αναφέρονται:
  - Δυσλειτουργία (π.χ. καθυστερήσεις) του υφιστάμενου οδικού, σιδηροδρομικού δικτύου
  - Τυχόν αναγκαία επιβολή περιοριστικών μέτρων χρήσεων γης.

4. Υπολογισμός λειτουργικού κόστους οχημάτων

- Το λειτουργικό κόστος οχημάτων εκφράζεται σαν κόστος ανά χλμ. Είναι γενικά υψηλότερο για χαμηλές και για υψηλές ταχύτητες.
- Το κόστος διαφέρει ανά κατηγορία οχήματος
- Ο μελετητής θα πρέπει να ορίσει τις τυπικές κατηγορίες οχημάτων, και την σύνθεση της κυκλοφορίας, δηλ. τα ποσοστά κάθε κατηγορίας
- Με χρήση κατάλληλου συγκοινωνιακού μοντέλου, γίνονται προβλέψεις των μελλοντικών φόρτων ανά κατηγορία οχήματος και για κάθε διαδρομή που ενώνει κάθε ζεύγος Προέλευσης – Προορισμού των μετακινήσεων.
- Υπολογίζονται έτσι τα οχηματοχιλιόμετρα που διανύονται από κάθε κατηγορία οχήματος
- Πολλαπλασιάζοντας με το αντίστοιχο λειτουργικό κόστος, υπολογίζεται το συνολικό λειτουργικό κόστος οχημάτων

4. Υπολογισμός λειτουργικού κόστους οχημάτων

- Δεδομένου ότι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά δεν είναι ομοιόμορφα για όλο το μήκος του δρόμου (διαφορετικές ταχύτητες λειτουργίας, διαφορετικές κλίσεις, κλπ, που επηρεάζουν την κατανάλωση καυσίμου) το έργο διαιρείται σε υποτμήματα με ομοιόμορφα χαρακτηριστικά και συγκεκριμένο λειτουργικό κόστος οχήματος
- Με βάση τα ανωτέρω υπολογίζεται ο αριθμός των οχηματοχιλιομέτρων ανά τμήμα και κατηγορία οχήματος
- Πολλαπλασιάζοντας με το αντίστοιχο λειτουργικό κόστος, και αθροίζοντας για όλα τα υποτμήματα και κατηγορίες οχημάτων υπολογίζουμε το συνολικό λειτουργικό κόστος
- Οι τιμές του λειτουργικού κόστους ανά κατηγορία οχήματος αποτελούν αντικείμενο εξειδικευμένης μελέτης

5. Υπολογισμός κόστους ατυχημάτων

- Υπολογίζεται από τον προβλεπόμενο αριθμό ατυχημάτων και το κόστος του ατυχήματος
- Με βάση ιστορικά στοιχεία εκτιμώνται οι δείκτες ατυχημάτων, δηλ. ο αριθμός των ατυχημάτων ανά οχηματοχιλιόμετρο.
- Το κόστος των ατυχημάτων αποτελεί ένα ιδιαίτερα δύσκολο πρόβλημα, και αποτελεί αντικείμενο εξειδικευμένης κοινωνικο-οικονομικής ανάλυσης.
- Είναι δυνατόν να προβλέπονται διαφορετικές κατηγορίες ατυχημάτων, ανάλογα με την σφοδρότητα τους, και αντίστοιχα θα υπολογίζεται το κόστος για κάθε κατηγορία ατυχήματος.

6. Αξία εξοικονόμησης χρόνου

- Η αξία του χρόνου μπορεί να αναπαριστά την αξία του χρόνου εργασίας του μετακινούμενου ή την επιθυμία που έχει ένας μετακινούμενος να πληρώσει για να εξοικονομήσει χρόνο διαδρομής. Η αξία του χρόνου εκφράζεται για κάθε μετακινούμενο σε ΕΥΡΩ/ωρα
- Εξετάζεται στο μάθημα Σχεδιασμός Μεταφορών (8ο εξ.)
- Συνήθως χρησιμοποιούνται διαφορετικές τιμές της αξίας του χρόνου ανάλογα με τον σκοπό της μετακίνησης.
- Ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δίνεται στην αξία του χρόνου των εμπορευματικών μετακινήσεων. Η αξία του χρόνου μεταβάλλεται ανάλογα με το εμπόρευμα.
- Ο υπολογισμός της αξίας του χρόνου αποτελεί αντικείμενο εξειδικευμένης μελέτης.

7. Εκτίμηση ωφελειών κάθε εναλλακτικής λύσης

7.2 Ωφέλειες από μείωση του χρόνου μετακίνησης

Η ωφέλεια από την μείωση του χρόνου διαδρομής υπολογίζεται για κάθε χρόνο λειτουργίας από την σχέση:

$$\Omega T = \sum_j \left[\left(T_{j,0} - T_{j,1}\right).QN_j + \left(T_{j,0} - T_{j,1}\right).\left(QI_j + 0{,}5.QG_j\right) \right].V_j$$

Όπου

$T_{j,A}$ είναι ο χρόνος διαδρομής για το σύνολο της διανυόμενης απόστασης, για ένα μετακινούμενο ή αγαθό που ανήκει στην κατηγορία j, και A είναι η εναλλακτική λύση.

V_j είναι η αξία του χρόνου για ένα μετακινούμενο της κατηγορίας j (η κατηγορία αφορά συνήθως τον σκοπό της μετακίνησης, ή την κατηγορία του εμπορεύματος)

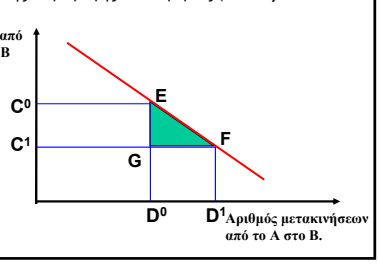
7. Εκτίμηση ωφελειών κάθε εναλλακτικής λύσης

- Κάθε εναλλακτική λύση συγκρίνεται με την βασική μηδενική λύση (υφιστάμενη κατάσταση)
- Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στον υπολογισμό των ωφελειών για την παράγωγη κυκλοφορία. Η παράγωγη κυκλοφορία συνεισφέρει στο πλεόνασμα του καταναλωτή όπως φαίνεται στο σχήμα.
- Η ωφέλεια (πλεόνασμα καταναλωτή) όταν το κόστος ταξιδιού μειώνεται από C^0 σε C^1 είναι η C^0EFC^1. Η συνεισφορά της παράγωγής κυκλοφορίας (D^1-D^0) είναι **EFG** που ισούται με :

0,5 x (D^1-D^0) x (C^0-C^1)

Ενώ η ωφέλεια από την μείωση του κόστους για την κανονική κυκλοφορία D^0 είναι:

D^0 x (C^0-C^1)



7. Εκτίμηση ωφελειών κάθε εναλλακτικής λύσης

7.3 Ωφέλειες από την μείωση των ατυχημάτων

Η ωφέλεια από την μείωση των ατυχημάτων υπολογίζονται για κάθε χρόνο λειτουργίας από την σχέση:

$$\Omega A = \sum_m \left(RT_{m,0} - RT_{m,1}\right).C_{Am}$$

Όπου

$RT_{m,0}$ είναι ο αριθμός των ατυχημάτων στο υφιστάμενο οδικό δίκτυο ανά κατηγορία ατυχήματος m.

$RT_{m,1}$ είναι ο αριθμός των ατυχημάτων στο οδικό δίκτυο όπως θα διαμορφωθεί βάσει της εναλλακτικής λύσης που εξετάζεται, ανά κατηγορία ατυχήματος m.

C_{Am} το μέσο κόστος για ατυχήματα κατηγορίας m.

7. Εκτίμηση ωφελειών κάθε εναλλακτικής λύσης

7.1 Ωφέλειες από μείωση του λειτουργικού κόστους

- Η κυκλοφοριακή μελέτη διαχωρίζει την προβλεπόμενη κυκλοφορία σε

α) κανονική (σύμφωνα με τάσεις) QN

β) προσελκυόμενη QI, που εκτρέπεται από άλλες οδούς η μεταφορικά μέσα

γ) παράγωγη κυκλοφορία QG, που αφορά νέα κίνηση που δεν υπήρχε προηγουμένως

Η ωφέλεια σε λειτουργικό κόστος υπολογίζεται για κάθε έτος λειτουργίας από την σχέση:

$$\Omega A = \sum_i \left[\left(\Delta O_{i,0} - \Delta O_{i,1}\right).QN_i + \left(\Delta O_{i,0} - \Delta O_{i,1}\right).\left(QI_i + 0{,}5.QG_i\right) \right]$$

Όπου $\Delta O_{i,A}$ είναι το λειτουργικό κόστος για το σύνολο της διανυόμενης απόστασης, για ένα όχημα κατηγορίας i, και A είναι η εναλλακτική λύση. A=0 για την μηδενική λύση.

8. Υπολογισμός αποτελεσματικότητας κάθε εναλλακτικής λύσης

- Η αποτελεσματικότητας της επένδυσης για κάθε εναλλακτική λύση εκτιμάται με σύγκριση των ωφελειών και του κόστους του έργου όπως εξελίσσονται κατά την διάρκεια της χρονικής περιόδου αξιολόγησης.
- Υπολογίζονται οι διάφοροι δείκτες αποτελεσματικότητας όπως «Καθαρή Παρούσα Αξία» και «Δείκτης Εσωτερικής Απόδοσης»
- Οι συγκρίσεις γίνονται ως προς την μηδενική λύση
- Ως χρονική μονάδα χρησιμοποιείται συνήθως το έτος

8. Υπολογισμός αποτελεσματικότητας κάθε εναλλακτικής λύσης

Χρησιμοποιώντας τα ακόλουθα μεγέθη:

- K_n οικονομικό κόστος της επένδυσης στο έτος n
- Σ_n οικονομικό κόστος συντήρησης και λειτουργίας στο έτος n
- Y_m υπολειμματική αξία των έργων
- Ω_n ωφέλειες στο έτος n
- m συνολικός αριθμός ετών χρονικής αξιολόγησης
- $KΠA$ καθαρή παρούσα αξία υπολογιζόμενη στο έτος βάση
- τ η περίοδος αποπληρωμής της επένδυσης
- B/C ο λόγος ωφελειών προς κόστος

υπολογίζονται οι διάφοροι δείκτες αποδοτικότητας της επένδυσης

8. Υπολογισμός αποτελεσματικότητας κάθε εναλλακτικής λύσης

- Θα προτείνεται η λύση που συγκεντρώνει τα περισσότερα πλεονεκτήματα βάσει των τιμών που προκύπτουν για τους δείκτες/κριτήρια.
- τα αποτελέσματα της αξιολόγησης θα πρέπει να συγκρίνονται με τους δείκτες που έχουν προκύψει από αντίστοιχες αναλύσεις για παρόμοια έργα.
- Ο εσωτερικός δείκτης ανταποδοτικότητας (irr) θα πρέπει να συγκρίνεται με τις τιμές του επιτοκίου αναγωγής και τυχόν τιμές του irr που θεωρούνται ως οι κατώτερες αποδεκτές.

8. Υπολογισμός αποτελεσματικότητας κάθε εναλλακτικής λύσης

Α) η περίοδος αποπληρωμής της επένδυσης, τ, είναι το έτος για το οποίο ισχύει:

$$\sum_{n=0}^{\tau} \frac{K_n}{(1+e)^n} = \sum_{n=0}^{\tau} \frac{(\Omega_n - \Sigma_n)}{(1+e)^n}$$

Β) η Καθαρή Παρούσα Αξία: :

$$KΠA = -\sum_{n=0}^{m} \frac{K_n}{(1+e)^n} + \frac{Y_m}{(1+e)^m} + \sum_{n=0}^{m} \frac{(\Omega_n - \Sigma_n)}{(1+e)^n}$$

9. Ανάλυση κινδύνων – Ανάλυση ευαισθησίας

Θα πρέπει να εκτιμώνται οι κίνδυνοι του έργου και της επένδυσης

Κατηγορίες κινδύνων

- Κίνδυνοι που αφορούν την φυσική υπόσταση του έργου και μπορεί να εμφανισθούν κατά την κατασκευή ή/και κατά την λειτουργία. Συνεπάγονται πρόσθετο κόστος ή/και αναστολή της λειτουργίας και επομένως απώλεια ωφελειών
- Κίνδυνοι που αφορούν τους χρήστες (πχ. Ατυχήματα)
- Κίνδυνοι τρομοκρατικών ενεργειών
- Κίνδυνοι που αφορούν την απόδοση της επένδυσης και μπορεί να εκδηλώνονται με:
  - a) Απότομη και σταθεροποιούμενη μείωση της ζήτησης (π.χ. από ανάπτυξη ανταγωνιστικού μεταφορικού συστήματος)
  - b) Μη υλοποίηση προβλεπόμενων σχεδίων ανάπτυξης πόλων έλξης και παραγωγής μεταφορικού έργου
  - c) Μείωση δυνατότητας χρήσης του έργου λόγω νεωτερων και αυστηρότερων κανόνων περιβαλλοντικής προστασίας
  - d) Ανατροπή της δυνατότητας χρηματοδότησης
  - e) Γενικότερες οικονομικές διαταραχές, πχ. Πολιτική ασταθεια, εμπόλεμη κατάσταση, οικονομική ύφεση

8. Υπολογισμός αποτελεσματικότητας κάθε εναλλακτικής λύσης

Γ) η ο λόγος ωφελειών – κόστους :

$$B/C = \frac{\sum_{n=0}^{m} \frac{(\Omega_n - \Sigma_n)}{(1+e)^n}}{\sum_{n=0}^{m} \left[\frac{K_n}{(1+e)^n} \right] - \frac{Y_m}{(1+e)^m}}$$

Δ) ο Δείκτης Εσωτερικής Ανταποδοτικότητας :

Είναι το επιτόκιο αναγωγής e για το οποίο B/C=1 ή ΚΠΑ=0

9. Ανάλυση κινδύνων – Ανάλυση ευαισθησίας

- Ορισμένοι κίνδυνοι μπορούν να εισάγονται στην οικονομική ανάλυση σαν πρόσθετο κόστος
- Θα πρέπει να γίνονται προτάσεις μείωσης των κινδύνων

Ανάλυση ευαισθησίας

- Η μελέτη θα πρέπει να περιλαμβάνει καταγραφή των παραδοχών και εκτίμηση της διακύμανσης τους
- Θα πρέπει να καταρτίζονται διάφορα σενάρια με συνδυασμούς τιμών των διαφόρων μεγεθών που παρουσιάζουν διακύμανση και κρισίμων μεγεθών που προσδιορίσθηκαν στην ανάλυση κινδύνων
- Τα αποτελέσματα θα πρέπει να υπολογίζονται για διαφορετικούς συνδυασμούς υποθέσεων και να περιλαμβάνουν :
  - α) την πλέον αισιόδοξη εξέλιξη της κυκλοφορίας
  - β) την πλέον πιθανή εξέλιξη της κυκλοφορίας
  - γ) την πλέον απαισιόδοξη εξέλιξη της κυκλοφορίας

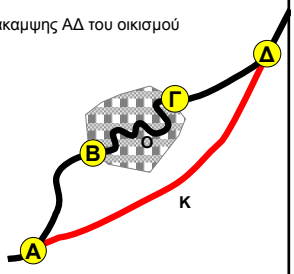
Παράδειγμα:
Αξιολόγηση έργου παράκαμψης οικισμού

Αντικείμενο :

- Μελέτη σκοπιμότητας της κατασκευής της παράκαμψης ΑΔ του οικισμού

Δεδομένα :

- Μήκος ΑΒΓΔ υπάρχοντος δρόμου = 4χλμ
- Μήκος εξεταζόμενης παράκαμψης ΑΔ = 3,4 χλμ
- Διατομή υπάρχουσας οδού
  - Εντός οικισμού = 6,5 μ
  - Εκτός οικισμού 7μ/8μ
- Διατομή παράκαμψης 11μ/12μ
- Από αναγνωριστική μελέτη η συγκεκριμένη χάραξη αποτελεί την μοναδική εφικτή λύση
- Θα απαιτηθεί : 1 χρόνος για ολοκλήρωση μελετών (π.χ. 2006), 3 χρόνια για κατασκευή (2007, 2008, 2009), θα δοθεί στην κυκλοφορία το 2010.



Δεδομένα – Χαρακτηριστικά μετακινήσεων

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΝΑ ΣΚΟΠΟ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ	
Κατηγορία οχήματος	**Σκοπός μετακίνησης**
Ι.Χ.	30% : από και προς εργασία 30% : στα πλαίσια της εργασίας 40% : άλλοι σκοποί
Λεωφορεία	40% : από και προς εργασία 60% : άλλοι σκοποί

ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ		
Κατηγορία οχήματος	**Πληρότητα**	**Σκοπός μετακίνησης**
Ι.Χ.	1,2	Από & προς εργασία,
	1,3	στα πλαίσια εργασίας
	1,8	Άλλοι σκοποί
Φορτηγά	1	
Λεωφορεία	18,0	

γενικά :

- Το έργο δεν θα επηρεάσει την κατανομή της κυκλοφορίας γιατί δεν υπάρχει εναλλακτική σύνδεση
- Δεν υπάρχει σιδηροδρομική σύνδεση – Οι προβλέψεις έγιναν με ανάλυση της διαχρονικής εξέλιξης των φόρτων
- Προβλέπεται ότι η κυκλοφορία επιβατικών ΙΧ και των βαρέων οχημάτων (λεωφορεία και φορτηγά) αυξάνεται με ρυθμό 1,5% ετησίως.
- Η διάρκεια ζωής του έργου είναι 20 έτη, μετά την οποία η υπολειμματική αξία του έργου θεωρείται μηδενική
- κόστος μελετών, ερευνών, απαλλοτριώσεων είναι 500.000 €
- το συνολικό κόστος κατασκευής είναι 3.600.000 € και κατανέμεται ισόποσα στα τρία έτη κατασκευής.
- το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι 50.000 € κάθε έτος. Στο 7ο και 15ο έτος το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι 100.000 €
- Το επιτόκιο αναγωγής είναι 8%

Δεδομένα – Χαρακτηριστικά μετακινήσεων *(συνέχεια)*

ΑΞΙΑ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ	
Σκοπός μετακίνησης	Αξία (€/hr)
ΙΧ στα πλαίσια εργασίας	8,0 €
Προς και από εργασία	5,0 €
Άλλοι σκοποί μετακίνησης	3,5 €
Φορτηγά οχήματα	14,0 €

ΚΟΣΤΟΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ	
Συμβάν	**Κόστος**
Θανατηφόρο ατύχημα	2.500.000 €
Ατύχημα με τραυματισμό	55.000 €
Ατύχημα με υλικές ζημιές μόνο	5.000 €

Δεδομένα – Κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά

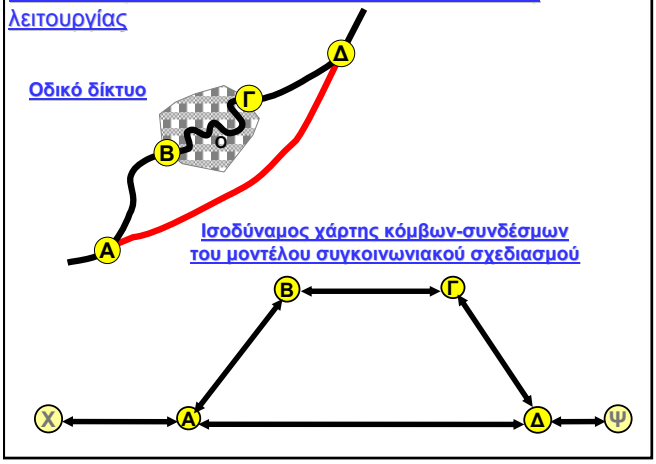
ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΙ ΔΙΑΝΥΣΗΣ					
Εναλλακτική λύση	**Οδικό τμήμα**	**Ταχύτητα (χλμ/ώρα)**		**Χρόνος διάνυσης (sec)**	
		Ι.Χ.	**Β.Ο.**	**Ι.Χ.**	**Β.Ο.**
ΕΛ0	**ΑΒ/ΓΔ**	75	70	96	102,9
	ΒΓ	20	20	360	360
ΕΛ1	**ΑΔ**	100	80	122,4	153
	ΑΒ/ΓΔ	75	70	96	102,9
	ΒΓ	30	30	240	240

Δεδομένα – Λειτουργικά Χαρακτηριστικά οχημάτων

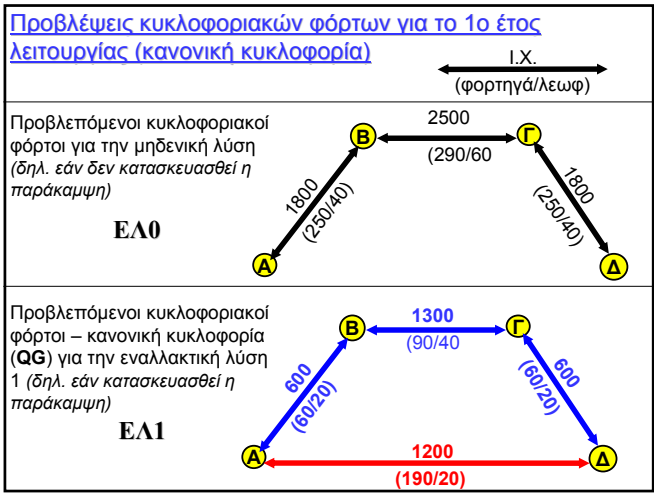
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΑΝΑ ΕΙΔΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ		
Οδικό τμήμα	**Είδος οχήματος**	**Κατανάλωση καυσίμου (lt/km)**
ΑΔ	ΙΧ	0,095
	ΒΟ	0,275
ΑΒ, ΓΔ	ΙΧ	0,075
	ΒΟ	0,25
ΒΓ	ΙΧ	0,1
	ΒΟ	0,3

Το κόστος της βενζίνης προ φόρων θεωρείται ότι θα είναι 0,65 €/lt και του πετρελαίου κίνησης 0,60 €/lt

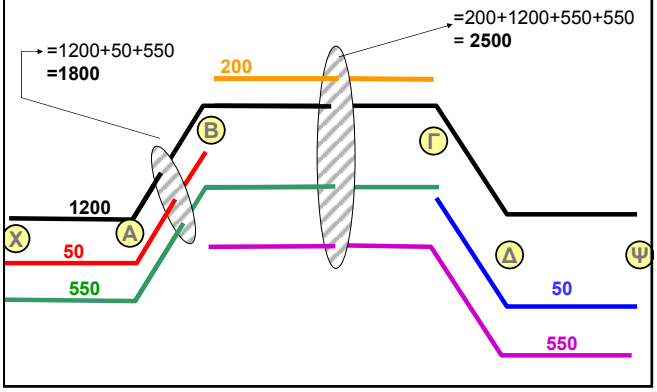
Προβλέψεις κυκλοφοριακών φόρτων για το 1ο έτος λειτουργίας



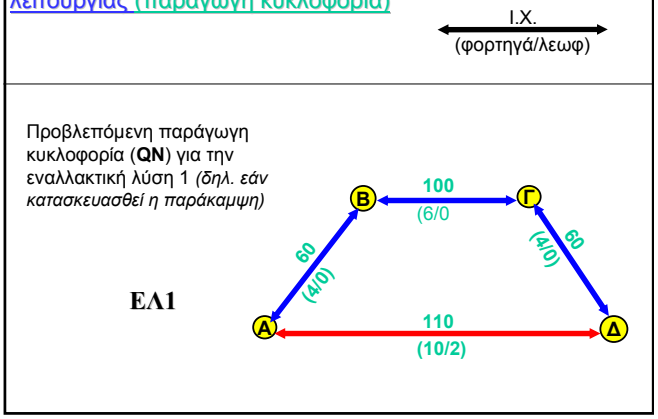
Προβλέψεις κυκλοφοριακών φόρτων για το 1ο έτος λειτουργίας (κανονική κυκλοφορία)



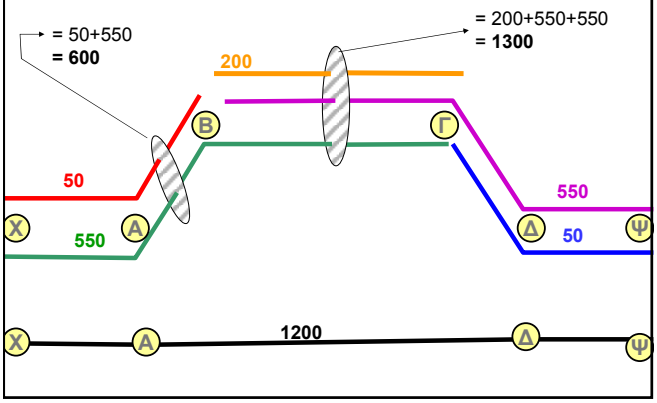
Διαφορετικές συνιστώσες του φόρτου Ι.Χ. για την ΕΛ0



Προβλέψεις κυκλοφοριακών φόρτων για το 1ο έτος λειτουργίας (παράγωγη κυκλοφορία)



Διαφορετικές συνιστώσες του φόρτου Ι.Χ. για την ΕΛ1



Προβλέψεις κυκλοφοριακού φόρτων για το 1ο έτος λειτουργίας

Εναλλακτική λύση	Τμήμα	Φόρτος	ΕΜΗΚ (ΙΧ)	ΕΜΗΚ (Φορτηγά)	ΕΜΗΚ (Λεωφ)
ΕΛ0	ΑΒ,ΓΔ	ΣQ	1800	250	30
	ΒΓ	ΣQ	2500	280	40
ΕΛ1	ΑΒ, ΓΔ	QN	600	60	10
		QG	60	4	0
	ΒΓ	QN	1300	90	20
		QG	100	6	0
	ΑΔ	QN	1200	190	20
		QG	110	10	2

ΣQ : η συνολική κυκλοφορία (στην ΕΛ0 είναι κανονική (δεν υπάρχει παράγωγη)

QN : η κανονική κυκλοφορία

QG : η παράγωγη κυκλοφορία

Ανάλυση Ωφελειών

- (Α) **ΙΧ**
  - (Α.1) *Εξοικονόμηση χρόνου ταξιδιού* — Κανονική κυκλοφ. $ΩΤ_{ΙΧ,Ν}$; Παράγωγη κυκλοφ. $ΩΤ_{ΙΧ,G}$
  - (Α.2) *Λειτουργικό κόστος οχημάτων* — Κανονική $ΩΛ_{ΙΧ,Ν}$; Παράγωγη $ΩΛ_{ΙΧ,G}$
- (Β) **Λεωφορεία**
  - (Β.1) *Εξοικονόμηση χρόνου ταξιδιού* — Κανονική $ΩΤ_{Λ,Ν}$; Παράγωγη $ΩΤ_{Λ,G}$
  - (Β.2) *Λειτουργικό κόστος οχημάτων* — Κανονική $ΩΛ_{Λ,Ν}$; Παράγωγη $ΩΛ_{Λ,G}$
- (Γ) **Φορτηγά**
  - (Γ.1) *Εξοικονόμηση χρόνου ταξιδιού* — Κανονική $ΩΤ_{Φ,Ν}$; Παράγωγη $ΩΤ_{Φ,G}$
  - (Γ.2) *Λειτουργικό κόστος οχημάτων* — Κανονική $ΩΛ_{Φ,Ν}$; Παράγωγη $ΩΛ_{Φ,G}$
- (Δ) **Μείωση ατυχημάτων** ΩΑ

Υπολογισμός φόρτων (ΕΜΗΚ) ανά σκοπό μετακίνησης

Εναλ. λύση	Τμήμα	Φόρτος	Συνολικό ΕΜΗΚ (ΙΧ)	% ΙΧ ανά σκοπό μετακίνησης			ΕΜΗΚ (ΙΧ)		
				προς/από εργασία	στα πλαισια εργασίας	άλλοι σκοποί	προς/ από εργασία	στα πλαισια εργασίας	άλλοι σκοποί
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8) = (4)*(5)	(9)= (4)*(6)	(10) = (4)*(7)
ΕΛ0	ΑΒ,ΓΔ	ΣQ	1800	30%	30%	40%	540	540	720
	ΒΓ	ΣQ	2500	30%	30%	40%	750	750	1000
ΕΛ1	ΑΒ, ΓΔ	QN	600	30%	30%	40%	180	180	240
		QG	60	30%	30%	40%	18	18	24
	ΒΓ	QN	1300	30%	30%	40%	390	390	520
		QG	100	30%	30%	40%	30	30	40
	ΑΔ	QN	1200	30%	30%	40%	360	360	480
		QG	110	30%	30%	40%	33	33	44

Ανάλυση Κόστους

- (Ε) **Κόστος μελετών, ερευνών, απαλλοτριώσεων**
- (ΣΤ) **Κόστος κατασκευής**
- (Ζ) **Κόστος λειτουργίας και συντήρησης**

Υπολογισμός αριθμού μετακινούμενων με ΙΧ ανά σκοπό μετακίνησης

Εναλ. λύση	Τμήμα	Φόρτος	Συνολικό ΕΜΗΚ (ΙΧ)	ΕΜΗΚ (ΙΧ)			Αριθμός μετακινούμενων με ΙΧ (ετήσιος μέσος ημερήσιος)		
				προς/από εργασία	στα πλαισια εργασίας	άλλοι σκοποί	προς/ από εργασία	στα πλαισια εργασίας	άλλοι σκοποί
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8) = (5)*1,2	(9) = (6)*1,3	(10) = (7)*1,8
ΕΛ0	ΑΒ,ΓΔ	ΣQ	1800	540	540	720	648	702	1296
	ΒΓ	ΣQ	2500	750	750	1000	900	975	1800
ΕΛ1	ΑΒ, ΓΔ	QN	600	180	180	240	216	234	432
		QG	60	18	18	24	21,6	23,4	43
	ΒΓ	QN	1300	390	390	520	468	507	936
		QG	100	30	30	40	36	39	72
	ΑΔ	QN	1200	360	360	480	432	468	864
		QG	110	33	33	44	39,6	42,9	79

Πληρότητα ΙΧ με σκοπό από/προς εργασία = 1,2 μετακινούμενοι / όχημα
Πληρότητα ΙΧ με σκοπό στα πλαίσια της εργασίας = 1,3 μετακιν/όχημα
Πληρότητα ΙΧ με άλλο σκοπό μετακίνησης = 1,8 μετακιν/όχημα

Ανάλυση ωφελειών

Α.1) Εξοικονόμηση χρόνου - Επιβατικά Ι.Χ. οχήματα

- Η ωφέλεια από την εξοικονόμηση του χρόνου ταξιδιού εκφράζεται σε χρήμα, πολλαπλασιάζοντας τον χρόνο επί την χρηματική αξία του χρόνου
- Η τιμή της αξίας του χρόνου εξαρτάται από τον σκοπό της μετακίνησης

ΕΜΗΚ (ΙΧ) (Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία – σύνολο ΙΧ οχημάτων)

Κυκλοφορία οχημάτων προς/από εργασία	*Κυκλοφορία οχημάτων στα πλαίσια εργασίας*	*Κυκλοφορία οχημάτων άλλοι σκοποί*
x *πληρότητα οχημάτων προς/από εργασία*	x *Πληρότητα οχημάτων στα πλαίσια εργασίας*	x *Πληρότητα οχημάτων άλλοι σκοποί*
x *Χρόνος μετακίνησης*	x *Χρόνος μετακίνησης*	x *Χρόνος μετακίνησης*
x *Αξία του χρόνου προς/από εργασία*	x *Αξία του χρόνου στα πλαίσια εργασίας*	x *Αξία του χρόνου άλλοι σκοποί*
= **συνολικό κόστος χρόνου** μετακινούμενων από/προς εργασία	= **συνολικό κόστος χρόνου** μετακινούμενων στα πλαίσια εργασίας	= **συνολικό κόστος χρόνου** μετακινούμενων για άλλους σκοπούς

Υπολογισμός συνολικού χρόνου ταξιδιού για τους μετακινούμενους με ΙΧ, ανά σκοπό μετακίνησης.

Εναλ. λύση	Τμήμα	Φόρτος	Αριθμός μετακινούμενων με ΙΧ (ετήσιος μέσος ημερήσιος)			Χρόνοι διάνυσης τμημάτων (sec)	Συνολικός χρόνος μετακινούμενων με ΙΧ (Συνολικός ετήσιος σε hr)		
			προς/ από εργασία	στα πλαισια εργασίας	άλλοι σκοποί		προς/ από εργασία	στα πλαίσια εργασίας	άλλοι σκοποί
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8) = =(4)*(7)* 365/3600	(9) = = (5)*(7)* 365/3600	(10) = =(6)*(7)* 365/3600
ΕΛ0	ΑΒ,ΓΔ	ΣQ	648	702	1296	96	6.307	6.833	12.614
	ΒΓ	ΣQ	900	975	1800	360	32.850	35.588	65.700
ΕΛ1	ΑΒ, ΓΔ	QN	216	234	432	96	2.102	2.278	4.205
		QG	21,6	23,4	43	96	210	228	420
	ΒΓ	QN	468	507	936	240	11.388	12.337	22.776
		QG	36	39	72	240	876	949	1.752
	ΑΔ	QN	432	468	864	122,4	5.361	5.808	10.722
		QG	39,6	42,9	79	122,4	491	532	983

Υπολογισμός ωφέλειας λόγω μείωσης του χρόνου μετακίνησης.

Α.1.α) κανονική κυκλοφορία

Σκοπός μετακίνησης	Αξία χρόνου
Προς / από εργασία	5,0 €
Στα πλαίσια εργασίας	8,0 €
Άλλοι σκοποί	3,5 €

Εναλ. λύση	Τμή-μα	Συνολικός χρόνος μετακινούμενων με ΙΧ (ετήσιος σε hr)			Αξία συνολικού χρόνου μετακινήσεων με ΙΧ (ετήσιο σύνολο σε €)			Αξία συνολικού χρόνου μετακινήσεων με ΙΧ (ετήσιο σύνολο σε €)		
		προς/ από εργασία	στα πλαίσια εργασίας	άλλοι σκοποί	προς/ από εργασία	στα πλαίσια εργασίας	άλλοι σκοποί	όλοι οι σκοποί μετακίνησης		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=(3)*5	(7)=(4)*8	(8)=(5)*3,5	(9)	(10)	(11)
ΕΛ0	ΑΒ,ΓΔ	6.307	6.833	12.614	31.536	54.662	44.150	ΑΒ+ΓΔ	260.698	939.598
	ΒΓ	32.850	35.588	65.700	164.250	284.700	229.950	ΒΓ	678.900	
ΕΛ1	ΑΒ, ΓΔ	2.102	2.278	4.205	10.512	18.221	14.717	ΑΒ+ ΓΔ	86.899	433.048
	ΒΓ	11.388	12.337	22.776	56.940	98.696	79.716	ΒΓ	235.352	
	ΑΔ	5.361	5.808	10.722	26.806	46.463	37.528	ΑΔ	110.796	

Συνολική ωφέλεια εξοικονόμησης χρόνου της **κανονικής κυκλοφορίας**

για το 1ο έτος λειτουργίας : $ΩΤ_{IX,N}$ = 939.598 – 433.048 = 506.550 €

$ΩΤ_{IX,N}$ = 506.550 €

Υπολογισμός μετακινούμενων με λεωφορεία ανά σκοπό μετακίνησης

Ενλ. λύση	Τμήμα	Φόρ-τος	Συνολικό ΕΜΗΚ (Λεω-φορεία)	Συνολικός Ετήσιος Αριθμός Μετακινούμενων με Λεωφορεία	% μετακινούμενων με Λεωφορείων ανά σκοπό μετακίνησης		Συνολικός Ετήσιος Αριθμός Μετακινούμενων με Λεωφορεία	
					προς / από εργασία	άλλοι σκοποί	προς/ από εργασία	άλλοι σκοποί
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=365*(4)*18	(6)	(7)	(8)=(5)*(6)	(9)=(5)*(7)
ΕΛ0	ΑΒ, ΓΔ	ΣΟ	30	197.100	40%	60%	78.840	118.260
	ΒΓ	ΣΟ	40	262.800	40%	60%	105.120	157.680
ΕΛ1	ΑΒ, ΓΔ	QN	10	65.700	40%	60%	26.280	39.420
		QG	0	0	40%	60%	0	0
	ΒΓ	QN	20	131.400	40%	60%	52.560	78.840
		QG	0	0	40%	60%	0	0
	ΑΔ	QN	20	131.400	40%	60%	52.560	78.840
		QG	2	13.140	0%	100%	0	13.140

Πληρότητα λεωφορείου 18 επιβάτες/όχημα

Υπολογισμός ωφέλειας λόγω μείωσης του χρόνου μετακίνησης.

Α.1.β) Παράγωγη κυκλοφορία

Εναλ. λύση	Τμήμα	Φόρ-τος	Αριθμός μετακινούμενων με ΙΧ (ετήσιος μέσος ημερήσιος)			Χρόνοι διάνυσης τμημάτων (sec)
			προς/ από εργασία	στα πλαισια εργασίας	άλλοι σκοποί	
ΕΛ0	ΑΒ,ΓΔ	ΣΟ				96
	ΒΓ	ΣΟ				360
ΕΛ1	ΑΒ,ΓΔ	QG	21,6	23,4	43	96
	ΒΓ	QG	36	39	72	240
	ΑΔ	QG	39,6	42,9	79	122,4

Συνολική ωφέλεια εξοικονόμησης χρόνου της **παράγωγης κυκλοφορίας**

Σκοπός	Συνολική ωφέλεια χρόνου	Αξία χρόνου	
Προς/από εργασία	0,5 *{ [21,6*(96-96) + 36*(360-240) + 39,6*(96+96+360 – 122,4)] * (365/3600) }	5	5.407,1 €
Στα πλαίσια εργασίας	0,5 *{ [23,4*(96-96) + 39*(360-240) + 42,9*(96+96+360 – 122,4)] * (365/3600) }	8	9.373,3 €
Άλλοι σκοποί	0,5 *{ [43*(96-96) + 72*(360-240) + 79*(96+96+360 – 122,4)] * (365/3600) }	3,5	7.569,9 €

$ΩΤ_{IX,G}$ = 22.349,4 €

Υπολογισμός ωφέλειας λόγω μείωσης του χρόνου μετακίνησης.

Β.1.α) κανονική κυκλοφορία

Σκοπός μετακίνησης	Αξία χρόνου
Προς / από εργασία	5,0 €
Άλλοι σκοποί	3,5 €

Εναλ. λύση	Τμήμα	Φόρ-τος	Συνολικός – Ετήσιος Αριθμός μετακινούμενων με Λεωφορεία		Χρόνοι διάνυσης τμημάτων (sec)	Συνολικός χρόνος μετακινούμενων με Λεωφορρεία (ετήσιος σε hr)	
			προς/από εργασία	άλλοι σκοποί		Προς /από εργασία	άλλοι σκοποί
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)=(4)*(6) /3600	(8) = (5) *(6) /3600
ΕΛ0	ΑΒ, ΓΔ	ΣΟ	78.840	118.260	102,9	2.254	3.380
	ΒΓ	ΣΟ	105.120	157.680	360	10.512	15.768
ΕΛ1	ΑΒ, ΓΔ	QN	26.280	39.420	102,9	751	1.127
	ΒΓ	QN	52.560	78.840	240	3.504	5.256
	ΑΔ	QN	52.560	78.840	153	2.234	3.351

Συνολική ωφέλεια εξοικονόμησης χρόνου της **κανονικής κυκλοφορίας** για 1ο έτος λειτουργίας $ΩΤ_{Λ,N}$:

= [(2.254+2.254+10.512) – (751+751 +3.504+2.234)] * 5,0 + [(3.380+3.380+15.768) – (1.127+1.127+5.256+3.351)] * 3,5 =>

$ΩΤ_{Λ,N}$ = 79.733,5 €

Ανάλυση ωφελειών

Β.1) Εξοικονόμηση χρόνου - Λεωφορεία

ΕΜΗΚ (Λεωφορεία)

(Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία – σύνολο Λεωφορείων)

↓

x *Κυκλοφοριακός φόρτος Λεωφορείων*

x *Πληρότητα Λεωφορείων*

= **συνολικό αριθμός μετακινούμενων με λεωφορείο**

% από/προς εργασία | *% για άλλους σκοπούς*

Μετακινούμενοι από/προς εργασία

x

x *Χρόνος μετακίνησης*

Αξία του χρόνου από/προς εργασία

= **συνολικό κόστος χρόνου** μετακινούμενων από/προς εργασία

Μετακινούμενοι για άλλους σκοπούς

x

x *Χρόνος μετακίνησης*

Αξία του χρόνου άλλοι σκοποί

= **συνολικό κόστος χρόνου** μετακινούμενων για άλλους σκοπούς

Υπολογισμός ωφέλειας λόγω μείωσης του χρόνου μετακίνησης.

Β.1.β) Παράγωγη κυκλοφορία

Εναλ. λύση	Τμήμα	Φόρ-τος	Συνολικός – Ετήσιος Αριθμός μετακινούμενων με Λεωφορεία		Χρόνοι διάνυσης τμημάτων (sec)
			προς/από εργασία	άλλοι σκοποί	
ΕΛ0	ΑΒ, ΓΔ	ΣΟ	78.840	118.260	102,9
	ΒΓ	ΣΟ	105.120	157.680	360
ΕΛ1	ΑΔ	QN	52.560	78.840	153
		QG	0	13.140	153

Σκοπός	Συνολική ωφέλεια χρόνου	Αξία χρόνου	συνολική αξία
Άλλοι σκοποί	0,5 *{ [13.140*(102,9+102,9+360 – 153)] /3600}	3,5	2.636,8 €

$ΩΤ_{Λ,G}$ = 2,636,8 €

Ανάλυση ωφελειών

Γ.1) Εξοικονόμηση χρόνου ταξιδιού - Φορτηγά

Εναλ. Λύση	Τμήμα	Φόρτος	ΕΜΗΚ (Φορτηγά)	Χρόνος διάνυσης	Συνολικός χρόνος ταξιδιού Φορτηγών (ετήσιος σε hr)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) =(4)*(5)*365/3600
ΕΛ0	ΑΒ,ΓΔ	ΣQ	30	102,9	313
	ΒΓ	ΣQ	40	360	1.460
ΕΛ1	ΑΒ, ΓΔ	QN	10	102,9	104
		QG	0	102,9	0
	ΒΓ	QN	20	240	487
		QG	0	240	0
	ΑΔ	QN	20	153	310
		QG	2	153	31

Αξία εξοικονόμησης χρόνου

αξία χρόνου για φορτηγά οχήματα = 14€

Γ.1.α) Κανονική κυκλοφορία: [(313+313+1.460) – (104+104+487+310)]*14 =>

$ΩΤ_{Φ,N}$ = 15.125,6 €

Γ.1.β) Παράγωγη κυκλοφορία: 0,5 * { 2*[(102,9+102,9+360) – 153] }*(365/3600)*14 =>

$ΩΤ_{Φ,G}$ = 585,9 €

Ανάλυση ωφελειών

Γ.2) Μεταβολή Λειτουργικού κόστους Φορτηγών

Εναλ λύση	Τμήμα	Φόρτος	ΕΜΗΚ (Φορτηγά)	μήκος τμήματος	Μέση κατανάλωση	συνολική καταναλωση (lt/ετος)
ΕΛ0	ΑΒ,ΓΔ	ΣQ	250	1	0,250	22.813
	ΒΓ	ΣQ	280	2	0,300	61.320
ΕΛ1	ΑΒ, ΓΔ	QN	60	1	0,250	5.475
		QG	4	1	0,250	365
	ΒΓ	QN	90	2	0,300	19.710
		QG	6	2	0,300	1.314
	ΑΔ	QN	190	3,4	0,275	64.842
		QG	10	3,4	0,275	3.413

Γ.2.α) Κανονική κυκλοφορία:
0,60 * [(22.813+22.813+61.320) - (5.475+5.475+19.710+64.842)] =>

$ΩΔ_{Φ,N}$ = 6.865,7 €

Γ.2.β) Παράγωγη κυκλοφορία:
0,5 * { 0,60 * 365 * [4* 1*(0,250-250)*2 + 6*2*(0,300-0,300) + 10*(1*0,250+1*0,250+2*0,300 – 3,4*0,275)] } =>

$ΩΔ_{Φ,G}$ = 187,7 €

Ανάλυση ωφελειών

Α.2) Μεταβολή Λειτουργικού κόστους ΙΧ επιβατικών οχημάτων

Εναλλακτική λύση	Τμήμα	Φόρτος	ΕΜΗΚ (ΙΧ)	μήκος τμήματος	μεση καταναλωση	συνολική καταναλωση (lt/ετος)
ΕΛ0	ΑΒ,ΓΔ	ΣQ	1800	1	0,075	49.275
	ΒΓ	ΣQ	2500	2	0,100	182.500
ΕΛ1	ΑΒ, ΓΔ	QN	600	1	0,075	16.425
		QG	60	1	0,075	1.643
	ΒΓ	QN	1300	2	0,100	94.900
		QG	100	2	0,100	7.300
	ΑΔ	QN	1200	3,4	0,095	141.474
		QG	110	3,4	0,095	12.968

Α.2.α) Κανονική κυκλοφορία:
0,65 * [(49.275+49.275+182.500) - (16.425+16.425+94.900 + 141.474)] =>

$ΩΔ_{ΙΧ,N}$= 7.686,9 €

Α.2.β) Παράγωγη κυκλοφορία:
0,5 * { 0,65 * 365 / 3600 * [2*60*1*(0,075-0,075) + 100*2*(0,100-0,100) + 110*(2*0,100+(1+1)*0,075 – 3,4*0,095)] } =>

$ΩΔ_{ΙΧ,G}$= 352,3 €

Δ) Υπολογισμός Ωφελειών από την μείωση των ατυχημάτων

ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ (συμβάντα ανά 10^8 οχηματοχιλιόμετρα)				
Εναλλακτική λύση	Οδικό τμήμα	συμβάν		
		Θάνατος	Τραυματισμός	Υλικές Ζημιές
ΕΛ0	ΑΒ/ΓΔ	4,5	45	100
	ΒΓ	3	75	250
ΕΛ1	ΑΒ/ΓΔ	4,5	45	100
	ΒΓ	3	75	250
	ΑΔ	1,1	10	25

Ανάλυση ωφελειών

Β.2) Μεταβολή Λειτουργικού κόστους Λεωφορείων

Εναλ λύση	Τμήμα	Φόρτος	ΕΜΗΚ (Λεωφορεία)	μήκος τμήματος	μέση κατανάλωση	συνολική κατανάλωση (lt/ετος)
ΕΛ0	ΑΒ,ΓΔ	ΣQ	30	1	0,250	2.738
	ΒΓ	ΣQ	40	2	0,300	8.760
ΕΛ1	ΑΒ, ΓΔ	QN	10	1	0,250	913
		QG	0	1	0,250	0
	ΒΓ	QN	20	2	0,300	4.380
		QG	0	2	0,300	0
	ΑΔ	QN	20	3,4	0,275	6.826
		QG	2	3,4	0,275	745

Β.2.α) Κανονική κυκλοφορία:
0,60 * [(2.738+2.738+8.760) - (1.004+1.004+ 3.650+7.446)] =>

$ΩΔ_{Λ,N}$=722,7 €

Β.2.β) Παράγωγη κυκλοφορία:
0,5 * { 0,60 * 365 / 3600 * [2*[(1+1)*0,250 + 2*0,300] – 2*3,4*0,275] } =>

$ΩΔ_{Λ,G}$=36,1 €

ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΦΟΡΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ 1ο έτος λειτουργίας

Εναλ. λύση	Τμήμα	Φόρτος	ΕΜΗΚ (ΙΧ)	ΕΜΗΚ (Φορτηγά)	ΕΜΗΚ (Λεωφ)	Συνολική ΕΜΗΚ
ΕΛ0	ΑΒ,ΓΔ	ΣQ	1800	250	30	2080
	ΒΓ	ΣQ	2500	280	40	2820
ΕΛ1	ΑΒ, ΓΔ	QN	600	60	10	734
		QG	60	4	0	
	ΒΓ	QN	1300	90	20	1516
		QG	100	6	0	
	ΑΔ	QN	1200	190	20	1532
		QG	110	10	2	

ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ για το 1ο έτος λειτουργίας

Εναλ. λύση	Τμήμα	Συνολ ΕΜΗΚ	μήκος τμήματος	οχημχλμ / έτος	Θάνατοι / έτος	Τραυματισμοί / έτος	Υλικές Ζημιές / έτος
ΕΛ0	ΑΒ+ΓΔ	2080	2	1.518.400	0,068	0,683	1,518
	ΒΓ	2820	2	2.058.600	0,062	1,544	5,147
ΕΛ1	ΑΒ+ ΓΔ	734	2	535.820	0,024	0,241	0,536
	ΒΓ	1516	2	1.106.680	0,033	0,830	2,767
	ΑΔ	1532	3,4	1.901.212	0,021	0,190	0,475

Υπολογισμός ΚΟΣΤΟΥΣ

Από τα δεδομένα του προβλήματος:

Ε) κόστος μελετών, ερευνών, απαλλοτριώσεων (ΚΜ) :

= 500.000 1ο έτος

ΣΤ) κόστος κατασκευής:

το συνολικό κόστος κατασκευής είναι 3.600.000 € και κατανέμεται στα τρία έτη κατασκευής

Ζ) κόστος λειτουργίας και συντήρησης (ΚΛ):

50.000 € κάθε έτος, στο έτος 7ο και 15ο έτος το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι 100.000 €

Υπολογισμός κόστους Ατυχημάτων για το 1ο έτος λειτουργίας

Συμβάν	Κόστος
Θανατηφόρο ατύχημα	2.500.000 €
Ατύχημα με τραυματισμό	55.000 €
Ατύχημα με υλικές ζημιές μόνο	5.000 €

Εναλ λύση	Τμήμα	Θανατη-φόρα ατύχηματα / έτος	Τραυμα-τισμοί / έτος	Υλικές Ζημιές / έτος	Κόστος Θανατη-φόρων ατυχημάτων	Κόστος Τραυμα-τισμών	Κόστος Υλικών Ζημιών	Συν-ολικό κόστος
ΕΛ0	ΑΒ+ΓΔ	0,068	0,683	1,518	170.820	37.580	7.692	481.037
	ΒΓ	0,062	1,544	5,147	154.395	84.917	25.733	
ΕΛ1	ΑΒ+ ΓΔ	0,024	0,241	0,536	60.280	13.262	2.679	283.822
	ΒΓ	0,033	0,830	2,767	83.001	47.651	13.834	
	ΑΔ	0,021	0,190	0,475	52.283	10.457	2.377	

Δ) Η ωφέλεια από την μείωση των ατυχημάτων υπολογίζεται σαν η διαφορά 481.037 – 283.822 =>

ΩΑ = 197.215 €

έτος	ΚΟΣΤΗ			ΩΦΕΛΕΙΕΣ			ΚΑΘΑΡΗ ΩΦΕΛΕΙΑ	ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ ΚΑΘΑΡΩΝ ΩΦΕΛΕΙΩΝ
	Μελέτες / Έρευνες / Απαλ-λοτριώσεις (€)	Κατα-σκευή (€)	Συντή-ρηση / Λειτουρ-γία (€)	εξοικονομηση χρόνου (€)	μειωση λειτουρ-γικού κόστους (€)	μειωση ατυχη-μάτων (€)		
1	500.000						-500.000	-462.963
2		1.200.000					-1.200.000	-1.028.807
3		1.200.000					-1.200.000	-952.599
4		1.200.000					-1.200.000	-882.036
5			50.000	626.981	15.844	197.215	790.041	537.688
6			50.000	636.386	16.082	200.173	802.641	505.800
7			50.000	645.932	16.323	203.176	815.431	475.796
8			50.000	655.621	16.568	206.224	828.412	447.565
9			50.000	665.455	16.817	209.317	841.589	421.004
10			50.000	675.437	17.069	212.457	854.962	396.013
11			100.000	685.568	17.325	215.644	518.537	351.056
12			50.000	695.852	17.585	218.878	882.315	350.379
13			50.000	706.290	17.849	222.161	896.300	329.568

$=790.041/(1+8\%)^5$

Υπολογισμός Συνολικών Ωφελειών

Τα συνολικά οφέλη το 1ο έτος λειτουργίας υπολογίζονται αθροίζοντας τα επιμέρους οφέλη:

Εξοικονόμησης χρόνου	
$ΩΤ_{ΙΧ,Ν}$	506.550,0 €
$ΩΤ_{ΙΧ,G}$	22.349,4 €
$ΩΤ_{Λ,Ν}$	79.733,5 €
$ΩΤ_{Λ,G}$	2.636,8 €
$ΩΤ_{Φ,Ν}$	15.125,6 €
$ΩΤ_{Φ,G}$	585,9 €
ΣΥΝΟΛΟ	626.981 €

Μείωσης Λειτουργικού κόστους οχημάτων	
$ΩΔ_{ΙΧ,Ν}$	7.686,9 €
$ΩΔ_{ΙΧ,G}$	352,3 €
$ΩΔ_{Λ,Ν}$	722,7 €
$ΩΔ_{Λ,G}$	36,1 €
$ΩΔ_{Φ,Ν}$	6.865,7 €
$ΩΔ_{Φ,G}$	187,7 €
ΣΥΝΟΛΟ	15.844 €

Μείωσης Ατυχημάτων ΩΑ = 197.215 €

έτος	ΚΟΣΤΗ			ΩΦΕΛΕΙΕΣ			ΚΑΘΑΡΗ ΩΦΕΛΕΙΑ	ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ ΚΑΘΑΡΩΝ ΩΦΕΛΕΙΩΝ
	Μελέτες / Έρευνες / Απαλ-λοτριώσεις (€)	Κατασκευή (€)	Συντήρηση / Λειτουργία (€)	εξοικονομηση χρόνου (€)	μειωση λειτουρ-γικού κόστους (€)	μειωση ατυχη-μάτων (€)		
14			50.000	716.884	18.116	225.494	910.494	309.988
15			50.000	727.637	18.388	228.876	924.902	291.568
16			50.000	738.552	18.664	232.309	939.525	274.238
17			50.000	749.630	18.944	235.794	954.368	257.936
18			50.000	760.874	19.228	239.331	969.433	242.600
19			100.000	772.288	19.516	242.921	634.725	216.587
20			50.000	783.872	19.809	246.565	1.000.246	214.601
21			50.000	795.630	20.106	250.263	1.016.000	201.834
22			50.000	807.564	20.408	254.017	1.031.990	189.825
23			50.000	819.678	20.714	257.827	1.048.219	178.528
24			50.000	831.973	21.025	261.695	1.064.693	167.901
							ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΑΞΙΑ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ	3.034.072

Παράδειγμα: απόσβεση εξοπλισμού και επιπτώσεις φορολόγησης

Για την εκτέλεση έργου διάρκειας 3 ετών, απαιτείται να χρησιμοποιηθούν εξειδικευμένα όργανα μετρήσεων. Τα χαρακτηριστικά των διαφορετικών τύπων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν δίδονται στον πίνακα:

	Τύπος Α	Τύπος Β	Τύπος Γ
Τιμή αγοράς	7.000 €	30.000 €	40.000 €
Χρόνος ρύθμισης οργάνου	10΄	7΄	9΄
Χρόνος μέτρησης	6΄	2΄	1΄
Ετήσιο κόστος συντήρησης/επισκευών	800€	1.200 €	1.400 €

- Πριν από μια μέτρηση το όργανο θα πρέπει να έχει ρυθμισθεί. Το όργανο δεν χρειάζεται να ρυθμισθεί πάλι πριν την επόμενη μέτρηση εκτός εάν μετακινηθεί.
- Για τον χειρισμό του οργάνου/μετρήσεις απαιτείται ένας μηχανικός με αμοιβή 35 €/ώρα και ένας βοηθός με αμοιβή 10 €/ώρα

Παράδειγμα: απόσβεση εξοπλισμού και επιπτώσεις φορολόγησης

- Η απόσβεση αντιπροσωπεύει την μείωση της αξίας του εξοπλισμού. Η απόσβεση θεωρείται έξοδο της εταιρείας *(δεδομένου ότι ο εξοπλισμός αποτελεί περιουσιακό στοιχείο της εταιρείας και η αξία του μειώνεται)* και επομένως θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό του φόρου.
- Όπως ήδη αναφέραμε, δεν δίνεται πληροφορία για τα οφέλη αλλά μόνο για τα κόστη. Όμως ο υπολογισμός του φόρου γίνεται στα κέρδη της εταιρείας.
- Από τα στοιχεία που έχουμε τα οφέλη είναι αρνητικά (= - κόστος) και επομένως και ο φόρος που υπολογίζεται έχει αρνητικό πρόσημο. Αυτό σημαίνει ότι ο υπολογιζόμενος αρνητικός φόρος αντιπροσωπεύει την μείωση του πραγματικού φόρου (επί των κερδών) που θα έχει η εταιρεία λόγω των εξόδων (δηλ. κόστος εργασίας και απόσβεση εξοπλισμού).

Παράδειγμα: απόσβεση εξοπλισμού και επιπτώσεις φορολόγησης

- Το επιτόκιο αναγωγής είναι 15%,
- η υπολειμματική αξία μετά τα 3 χρόνια είναι 0, και η απόσβεση του κόστους αγοράς θεωρείται ομοιόμορφα κατανεμημένη κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου.
- ο συντελεστής φορολόγησης είναι 40%

Ζητούμενα:

➔ Ποιος τύπος οργάνου είναι ο πιο οικονομικά συμφέρον για ένα έργο διάρκειας 3 ετών όπου απαιτούνται 5000 μετρήσεις κάθε έτος, θεωρώντας ότι κατά μέσο όρο, το όργανο θα πρέπει να μετακινείται κάθε 50 μετρήσεις?

Παράδειγμα: απόσβεση εξοπλισμού και επιπτώσεις φορολόγησης

Τύπος Α

Έτος	Αγορά (€)	Χρόνος ρύθμι-σης (mins)	Χρόνος μέτρη-σης (mins)	Κόστος Εργασίας (€)	Κόστος Συντή-ρησης (€)	Εισόδημα (€)	Απόσβεση αρχικής Δαπάνης (€)	Φορο-λογητέο Εισόδημα (€)	Φόρος (€)	Εισόδημα μετά Φόρο (€)	Καθαρή Παρούσα Αξία (€)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (4)* (35+10)/ 60	(6)	(7) = (5) + (6)	(8) = 8000/3	(9) = (7) + (8)	(10) = (9)*40%	(11) = (9)+ (10)	(12)=11/ $(1+i)^n$
0	-8.000					-8.000		-8.000	0	-8.000	-8.000
1	0	1000	30000	23.250	800	-24.050	-2.667	-26.717	-10.687	-13.363	-11.620
2	0	1000	30000	23.250	800	-24.050	-2.667	-26.717	-10.687	-13.363	-10.105
3	0	1000	30000	23.250	800	-24.050	-2.667	-26.717	-10.687	-13.363	-8.787
											-38.511

(3) : Χρόνος ρύθμισης = 10΄ x (5000/50)

(4) : Χρόνος μέτρησης = 6' x 5000

(8) : η αρχική δαπάνη 8.000 € κατανέμεται ομοιόμορφα κατά την διάρκεια των τριών χρόνων. Για κάθε έτος η απόσβεση ισούται με το κόστος αγοράς/3

Παράδειγμα: απόσβεση εξοπλισμού και επιπτώσεις φορολόγησης

- Δεν δίδονται εκτιμήσεις των ετήσιων ωφελειών που προκύπτουν από την χρήση των διαφορετικών τύπων οργάνων. Όμως προφανώς υπάρχουν οφέλη (π.χ. εξοικονόμηση χρόνου σχέση με άλλα όργανα), αλλά η ανάλυση θα πρέπει να βασίζεται στα στοιχεία που δίδονται και που όλα αφορούν κόστη.
- Κάθε όργανο θα έχει αρνητική Καθαρή Παρούσα Αξία (δεδομένου ότι μόνο τα κόστη λαμβάνονται υπόψη) και θα πρέπει να επιλέξετε εκείνο τον τύπο που έχει την υψηλότερη ΚΠΑ.
- Εάν εφαρμόζουμε τους κανόνες κόστους – οφέλους κατά γράμμα, τότε στις περιπτώσεις που δεν ορίζονται σαφώς τα οφέλη από την αγορά, δεν θα μπορούσαμε να προτείνουμε οποιαδήποτε αγορά/ επένδυση.
- Προφανώς τα οφέλη από τις μετρήσεις που είναι απαραίτητες για το έργο είναι θετικά και μεγαλύτερα από το κόστος του εξοπλισμού

Τύπος Β

Έτος	Αγορά (€)	Χρόνος ρύθμι-σης (mins)	Χρόνος μέτρη-σης (mins)	Κόστος Εργασίας (€)	Κόστος Συντή-ρησης (€)	Εισόδημα (€)	Από-σβεση αρχικής Δαπάνης (€)	Φορο-λογητέο Εισόδημα (€)	Φόρος (€)	Εισόδημα μετά Φόρο (€)	Καθαρή Παρούσα Αξία (€)
0	-30.000					-30.000		-30.000	0	-30.000	-30.000
1	0	700	10000	8.025	1.200	-9.225	-10.000	-19.225	-7.690	-1.535	-1.335
2	0	700	10000	8.025	1.200	-9.225	-10.000	-19.225	-7.690	-1.535	-1.161
3	0	700	10000	8.025	1.200	-9.225	-10.000	-19.225	-7.690	-1.535	-1.009
											-33.505

Τύπος Γ

Έτος	Αγορά (€)	Χρόνος ρύθμι-σης (mins)	Χρόνος μέτρη-σης (mins)	Κόστος Εργασίας (€)	Κόστος Συντή-ρησης (€)	Εισόδημα (€)	Από-σβεση αρχικής Δαπάνης (€)	Φορο-λογητέο Εισόδημα (€)	Φόρος (€)	Εισόδημα μετά Φόρο (€)	Καθαρή Παρούσα Αξία (€)
0	-40.000					-40.000		-40.000	0	-40.000	-40.000
1	0	900	5000	4.425	1.400	-5.825	-13.333	-19.158	-7.663	1.838	1.599
2	0	900	5000	4.425	1.400	-5.825	-13.333	-19.158	-7.663	1.838	1.390
3	0	900	5000	4.425	1.400	-5.825	-13.333	-19.158	-7.663	1.838	1.209
											-35.803

Παράδειγμα:
απόσβεση εξοπλισμού και επιπτώσεις φορολόγησης

Ο τύπος Β έχει την υψηλότερη Καθαρή Παρούσα Αξία και επομένως επιλέγεται.

Μια εταιρεία έχει συνήθως δύο επιλογές αν χρειάζεται νέο εξοπλισμό:

A. να αγοράσει τον εξοπλισμό και να αφαιρεί την απόσβεση και τον τόκο δανεισμού (για το κεφάλαιο που δανείσθηκε για να αγοράσει τον εξοπλισμό), όταν υπολογίζει τον φόρο.
B. Να ενοικιάσει τον εξοπλισμό, οπότε μόνο τα έξοδα ενοικίασης μπορούν να αφαιρεθούν κατά τον υπολογισμό του φόρου (επειδή ο εξοπλισμός δεν αποτελεί περιουσιακό τους στοιχείο δεν μπορούν να τον υπολογίσουν απόσβεση της επένδυσης όταν εκτιμάται ο φόρος).

8 Νέες μέθοδοι χρηματοδότησης έργων υποδομής

Οι Συμπράξεις Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα, αποτελούν μια μέθοδο υποκατάστασης της κρατικής χρηματοδότησης.

- Κάτω από κατάλληλες προϋποθέσεις, ο ιδιωτικός τομέας μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη. Σε αυτό το πλαίσιο μετά τα μέσα της δεκαετίας του 1980, υπήρξε έντονο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη μεθόδων προώθησης της χρήσης ιδιωτικών κεφαλαίων για την κατασκευή έργων υποδομής, που ονομάζονται συχνά έργα παραχώρησης.
- Η χρηματοδότηση έργων με ιδιωτικά κεφάλαια είναι διαδομένη τόσο σε αναπτυγμένες, όσο και σε αναπτυσσόμενες χώρες.
- Χρησιμοποιείται συνήθως σε έργα μεταφορών (αυτοκινητόδρομοι με διόδια, σιδηροδρομικές γραμμές), ενέργειας (σταθμοί παραγωγής ενέργειας, δίκτυα διανομής φυσικού αερίου), υγείας (νοσοκομεία), παιδείας (σχολεία, φοιτητικές εστίες), και άλλα δημόσια κτίρια.
- Κατά την διάρκεια του 19ου και αρχές του 20ου αιώνα, μεγάλα έργα, όπως η Διώρυγα του Σουέζ, και ο Υπερσιβηρικός Σιδηρόδρομος χρηματοδοτήθηκαν από ιδιωτικές εταιρείες που ήταν υπεύθυνες για την κατασκευή, λειτουργία και εκμετάλλευση τους.

Ο παραδοσιακός τρόπος χρηματοδότησης των έργων υποδομής

- Παραδοσιακά τα έργα υποδομής και δημόσιες υπηρεσίες αποτελούν αντικείμενο του Δημόσιου τομέα που είναι υπεύθυνος για την ανάπτυξη, σχεδιασμό, χρηματοδότηση, κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση των έργων
- Το κόστος της επένδυσης, της λειτουργίας και της συντήρησης αποτελούν Δημόσιες Δαπάνες και δεν είναι απαραίτητο να ανακτούνται (π.χ. μέσω χρέωσης) από αυτούς που τελικά χρησιμοποιούν την υποδομή.

Έργα παραχώρησης - η μέθοδος BOOT

- Κατά την διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών, σημαντικός αριθμός έργων υποδομής έχουν υλοποιηθεί με την μέθοδο παραχώρησης που είναι διεθνώς γνωστή με τον όρο BOOT.
- Το κράτος παραχωρεί στον ιδιώτη το δικαίωμα να
  - Κατασκευάσει (**B**uild)
  - Κατέχει (**O**wn)
  - Λειτουργεί (**O**perate)
  - Μεταβιβάσει (**T**ransfer)

  } **BOOT**

  ένα έργο.
- Ο ιδιώτης επενδυτής (παραχωρησιούχος), χρησιμοποιεί δικά του κεφάλαια και δάνεια για να καλύψει το κόστος κατασκευής (είναι δυνατόν να υπάρχει και συμμετοχή του δημοσίου).
- Η χρονική περίοδος που το έργο παραχωρείται για εκμετάλλευση, ονομάζεται περίοδος παραχώρησης.
- Κατά την περίοδο παραχώρησης, ο παραχωρησιούχος λειτουργεί το έργο και εισπράττει έσοδα για να αποπληρώσει τα δάνεια και να εξασφαλίσει την επιθυμητή ανταποδοτικότητα της επένδυσης που έκανε

Συμπράξεις Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα

Όμως τα διαθέσιμα κεφάλαια από τον κρατικό προϋπολογισμό είναι συχνά περιορισμένα και έτσι ο δημόσιος τομέας δεν έχει την δυνατότητα να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις για σύγχρονα έργα υποδομών που θα ικανοποιούν τις ανάγκες των πολιτών.

οι κυβερνήσεις έχουν την υποχρέωση να ικανοποιούν τις βασικές ανάγκες των πολιτών και επομένως να παρέχουν τις απαιτούμενες υποδομές

παράλληλα, υπάρχουν διαθέσιμα κεφάλαια στο τραπεζικό σύστημα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση της υποδομής.

ΣΥΜΠΡΑΞΕΙΣ ΔΗΜΟΣΙΟΥ ΚΑΙ ΙΔΙΩΤΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ (ΣΔΙΤ)

- Κατασκευή (**B**uild)
  - Αφορά την παραχώρηση (από το Δημόσιο προς τον Παραχωρησιούχο) του δικαιώματος σχεδιασμού, κατασκευής και χρηματοδότησης του έργου.
  - Ο παραχωρησιούχος αναθέτει σε εταιρεία κατασκευής την μελέτη και κατασκευή του έργου.
  - Συχνά ο παραχωρησιούχος είναι Κ/Ξ κατασκευαστικών εταιρειών που αναλαμβάνουν την κατασκευή του έργου.
  - Οι εταιρείες που χρηματοδοτούν το έργο (τράπεζες) επιθυμούν ο η εταιρεία κατασκευής και/η το Δημόσιο να αναλαμβάνουν όσο το δυνατόν περισσότερους από τους κινδύνους που σχετίζονται με την κατασκευή.
  - Η επίβλεψη του έργου γίνεται από τον Ανεξάρτητο Μηχανικό – εταιρεία συμβούλων που είναι αποδεκτή από το Δημόσιο και τον Παραχωρησιούχο
- Κατοχή/Ιδιοκτησία (**O**wn)
  - Η σύμβαση παραχώρησης μεταξύ του Δημοσίου και του Παραχωρησιούχου καθορίζει το ιδιοκτησιακό καθεστώς.
  - Ο παραχωρησιούχος λαμβάνει τα έσοδα του έργου, αναλαμβάνει κινδύνους σχετικά με την λειτουργία και την οικονομική βιωσιμότητα και είναι επίσης υπεύθυνος για την ασφάλεια και παροχή του απαιτούμενου επιπέδου εξυπηρέτησης

- Λειτουργία (**O**perate)
  - Μια εταιρεία λειτουργίας είναι υπεύθυνη για την λειτουργία και συντήρηση του έργου, έτσι ώστε να μεγιστοποιούνται τα κέρδη και ελαχιστοποιούνται τα κόστη του παραχωρησιούχου.
  - Μπορεί να είναι μια ξεχωριστή εταιρεία, ή η εταιρεία παραχώρησης.
- Μεταβίβαση (**T**ransfer)
  - Αλλαγή της ιδιοκτησίας των περιουσιακών στοιχείων από τον ιδιώτη στο Δημόσιο γίνεται στο τέλος της περιόδου παραχώρησης.
  - Η σύμβαση παραχώρησης προβλέπει τους όρους της μεταβίβασης, δηλ. την κατάσταση στην οποία θα παραδώσει το έργο. Συχνά προ το τέλος της περιόδου παραχώρησης, προβλέπεται βαριά συντήρηση του έργου από τον παραχωρησιούχο.

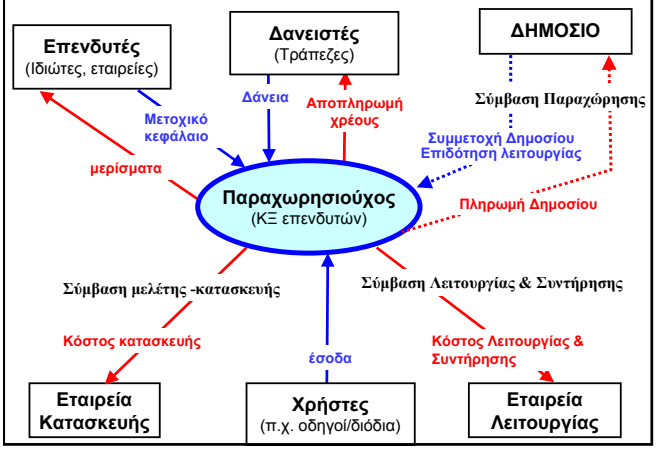
Επενδύσεις σε Υποδομές - Επενδυτές

- Εμπορικές Τράπεζες
- Χρηματοδοτικοί Οργανισμοί (EIB, World Bank)
- Επενδυτικές Εταιρείες Υποδομών (equity investors)
- Κατασκευαστικές εταιρείες (Promoters)

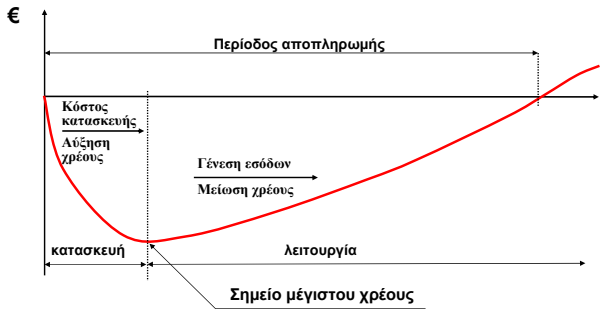
Επενδύσεις σε Υποδομές – Κριτήρια

- Χρηματοοικονομική Απόδοση (Return on equity, IRR,ΚΠΑ)
- Χρόνος Αποπληρωμής Δανείων (payback period)
- Αναλαμβανόμενος Κίνδυνος

Η δομή ενός έργου παραχώρησης



Τυπική χρηματοδότηση Έργου

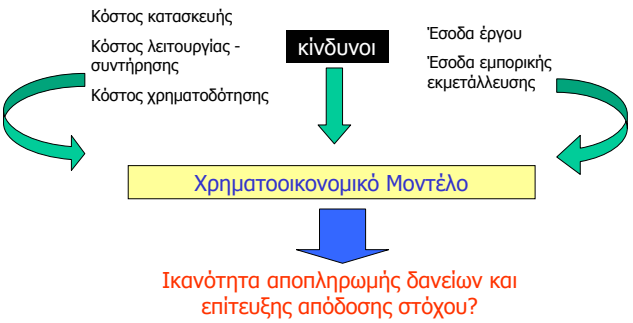


Τα παραπάνω αποτυπώνονται στο χρηματοοικονομικό μοντέλο του έργου

Η δομή ενός έργου παραχώρησης

- Η εταιρεία παραχώρησης είναι συνήθως μια κοινοπραξία επενδυτών που χρησιμοποιούν ίδια κεφάλαια (που αποτελούν το μετοχικό κεφάλαιο της εταιρείας) και δάνεια από τράπεζες για να καλύψουν το κόστος κατασκευής του έργου.
- Η εταιρεία παραχώρησης, μέσω της σύμβασης μελέτης – κατασκευής αναθέτει την κατασκευή του έργου στην εταιρεία κατασκευής.
- Μετά την κατασκευή του έργου, η εταιρεία παραχώρησης, αναθέτει την λειτουργία και συντήρηση του έργου στην εταιρεία λειτουργίας και συντήρησης.
- Τα έσοδα του έργου (πχ. διόδια) χρησιμοποιούνται για την αποπληρωμή των δανείων, το κόστος της λειτουργίας και συντήρησης, και την πληρωμή μερισμάτων στους επενδυτές.
- Ανάλογα με το κόστος υλοποίησης και τα προβλεπόμενα έσοδα είναι δυνατόν το Δημόσιο α) να πρέπει να καλύψει ένα μέρος του κόστους κατασκευής ή/και λειτουργίας ή β) να λαμβάνει μέρος των εσόδων του έργου.
- Η σύμβαση παραχώρησης καθορίζει την διάρκεια της περιόδου παραχώρησης του έργου. Η διάρκεια αυτή μπορεί να είναι σταθερή ή μεταβλητή και άμεσα εξαρτώμενη από τα κέρδη της εταιρείας παραχώρησης, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στους όρους του διαγωνισμού και της σύμβασης παραχώρησης. π.χ. το έργο θα επιστραφεί στο Δημόσιο εκείνη την χρονική στιγμή για την οποία η ΚΠΑ ή ο Εσωτερικός Συντελεστής Ανταποδοτικότητας της επένδυσης του παραχωρησιούχου θα πάρει την συγκεκριμένη τιμή που προβλέπει η σύμβαση παραχώρησης.

Χρηματοοικονομικό Μοντέλο – Βασικό εργαλείο απόφασης επένδυσης



Ικανότητα αποπληρωμής δανείων και επίτευξης απόδοσης στόχου?

Κρίσιμα στοιχεία στην λήψη απόφασης χρηματοδότησης

- Κόστος Κατασκευής
- Χρόνος ολοκλήρωσης κατασκευής
- Έσοδα του έργου
- Κόστος Συντήρηση του έργου
- Κόστος Λειτουργίας του έργου
- Εκτίμηση Κινδύνου

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της επένδυσης αποτελούν και τα πιο κρίσιμα συστατικά της απόφασης

Οι ουσιαστικές διαφορές στην Αξιολόγηση έργων από τον Δημόσιο και τον Ιδιωτικό Τομέα

Δημόσιο - Κοινωνικοοικονομική αξιολόγηση

- **στόχος:** η μεγιστοποίηση της κοινωνικής ευημερίας.
- λαμβάνει υπόψη τα κοινωνικά οφέλη δηλ. τα οφέλη των χρηστών όπως, εξοικονόμηση χρόνου, μείωση λειτουργικού κόστους, μείωση ατυχημάτων, κ.α.
- τα οφέλη αυτά θα πρέπει να αντισταθμίζουν τα κόστη, και να επιτυγχάνουν τους στόχους ανταποδοτικότητας.
- τα έσοδα που έχει το Δημόσιο από τις πληρωμές των χρηστών (π.χ. διόδια) αποτελούν και έξοδα των χρηστών. Άρα αλληλοαναιρούνται και δεν λαμβάνονται υπόψη στην αξιολόγηση των έργων.

Ιδιώτης Επενδυτής – Χρηματοοικονομική Αξιολόγηση

- **στόχος:** η μεγιστοποίηση του κέρδους.
- λαμβάνει υπόψη μόνο τα χρηματικά οφέλη που θα έχει από την επένδυση. Δεν λαμβάνει υπόψη του τα κοινωνικά οφέλη, όμως ένας δρόμος που παρέχει υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης είναι πιο ελκυστικός και αποφέρει μεγαλύτερα έσοδα.
- τα οφέλη είναι τα καθαρά έσοδα
- πληρωμές των χρηστών του έργου (π.χ. διόδια) αποτελούν τα κύρια έσοδα που λαμβάνονται στην αξιολόγηση της επένδυσης για το συγκεκριμένο έργο παραχώρησης.

Οδηγίες για τις εξετάσεις στο αντικείμενο της οικονομίας των μεταφορών – οικονομικά στοιχεία

- Κατά την διάρκεια των εξετάσεων δεν θα χρησιμοποιήσετε τις σημειώσεις ή άλλα βοηθήματα.
- Τα θέματα θα περιλαμβάνουν θεωρεία και ασκήσεις και θα απαιτούν γνώση και κατανόηση των εννοιών και προβλημάτων που αποτελούν αντικείμενο της οικονομίας των μεταφορών-οικονομικά στοιχεία. Δεν απαιτείται απομνημόνευση λεπτομερειών π.χ. *Περιγραφή των έργων κάθε εναλλακτικής λύσης – Κεφ. 7.*
- Για την επίλυση των προβλημάτων, θα πρέπει να έχετε απλή αριθμομηχανή και όργανα σχεδίασης για απλά διαγράμματα. Δεν επιτρέπεται η χρήση προγραμματιζόμενων αριθμομηχανών, palmtops κλπ.

καλή επιτυχία