

Βιώσιμη αστική κινητικότητα και αστικά σιδηροδρομικά συστήματα



ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΓΑΛΑΝΗΣ

Επίκουρος Καθηγητής

ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ & Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής ΤΕ

atgalanis@teicm.gr

ΤΕΕ Κεντρικής & Δυτικής Θεσσαλίας

Επιστημονική Ημερίδα

«Ο Σιδηρόδρομος στη Θεσσαλία: Έργα σε εξέλιξη και νέες προοπτικές»

Λάρισα, 9 Φεβρουαρίου 2019

Εισαγωγή



- Περιεχόμενα
 - ❖ Βιώσιμη αστική κινητικότητα
 - ❖ Μητροπολιτικός σιδηρόδρομος (Μετρό)
 - ❖ Τροχιόδρομος (Τραμ)
 - ❖ Μονόραβδος σιδηρόδρομος (Monorail)

- Βιβλιογραφία
 - ❖ Χρίστος Πυργίδης, Συστήματα Σιδηροδρομικών Μεταφορών, Υποδομή, Τροχαίο Υλικό, Εκμετάλλευση, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2015

Βιώσιμη Κινητικότητα



- **Βιωσιμότητα**

- ❖ Η κάλυψη των αναγκών του παρόντος χωρίς την πρόκληση κινδύνου για την κάλυψη των αναγκών μελλοντικών γενιών.

- **Κινητικότητα**

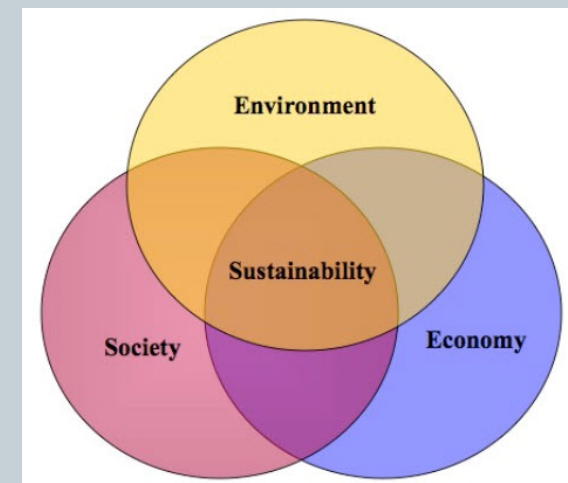
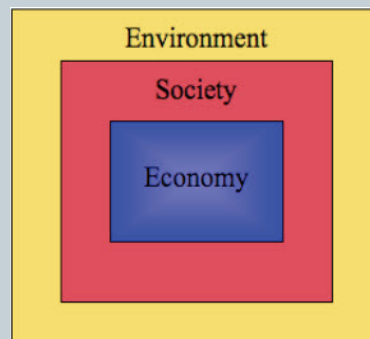
- ❖ Η δυνατότητα της ελεύθερης μετακίνησης πολιτών και εμπορευμάτων και προσέγγισης ενός προορισμού σε ικανοποιητικό χρόνο και κόστος.

- **Βιώσιμη κινητικότητα**

- ❖ Η δυνατότητα αύξησης της κινητικότητας με ισοστάθμιση του περιβαλλοντικού, κοινωνικού και οικονομικού κόστους που προκαλεί ένα σύστημα ή μέσο μεταφοράς.

- **Συνιστώσες της βιώσιμης κινητικότητας:**

- ❖ Περιβάλλον
- ❖ Κοινωνία
- ❖ Οικονομία



Βιώσιμο Σύστημα Μεταφορών



- **Βιώσιμο σύστημα μεταφορών**
- ❖ Καλύπτει τις ανάγκες προσβασιμότητας και κινητικότητας σε ατομικό, κοινωνικό και εταιρικό επίπεδο.
- ❖ Προστατεύει τον άνθρωπο και το περιβάλλον.
- ❖ Προωθεί την ισότητα μεταξύ της παρούσας και των μελλοντικών γενεών.
- ❖ Προσφέρει εναλλακτικές επιλογές μεταξύ των μέσων μεταφοράς.
- ❖ Υποστηρίζει μια ανταγωνιστική οικονομία και μια ισορροπημένη περιφερειακή ανάπτυξη.
- ❖ Μειώνει τις εκπομπές ρύπων και αποβλήτων εντός των ορίων απορρόφησης του πλανήτη.
- ❖ Χρησιμοποιεί ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- ❖ Ελαχιστοποιεί την κατανάλωση αστικού χώρου και την πρόκληση θορύβου.

Βιώσιμα Μέσα Μετακίνησης

- Βιώσιμα αστικά μέσα μετακίνησης
- ❖ Περπάτημα
- ❖ Ποδήλατο
- ❖ Δημόσια Συγκοινωνία
- ❖ Συνδυασμένες Μετακινήσεις



Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος (Μετρό)



- Το μετρό ή μητροπολιτικός σιδηρόδρομος ανήκει στα σιδηροδρομικά συστήματα αστικών μεταφορών.
- Κινείται ηλεκτρικά, μέσω χαλύβδινων τροχών (σε ορισμένα δίκτυα χρησιμοποιούνται τροχοί με ελαστικά επίσωτρα), σε διάδρομο κυκλοφορίας που στο μεγαλύτερο ποσοστό του μήκους του είναι υπόγειος.
- Χαρακτηρίζεται, σε σχέση με τα άλλα αστικά μέσα μεταφοράς, από:
 - ❖ Υψηλή συχνότητα δρομολογίων
 - ❖ Μεγάλη μεταφορική ικανότητα
 - ❖ Κίνηση σε υπόγειο αποκλειστικό διάδρομο κυκλοφορίας
 - ❖ Μεγάλο κόστος κατασκευής

Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος (Μετρό)



Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος (Μετρό)



- Χαρακτηριστικά
- ❖ Αυτόματο / Με οδηγό
- ❖ Μεταφορική ικανότητα: 45.000 επιβάτες/ώρα/κατεύθυνση
- ❖ Μέση ταχύτητα: 30-40 χλμ/ώρα
- ❖ Μέση απόσταση στάσεων: 500-1000μ
- ❖ Χρόνος υλοποίησης: Μεγάλος
- ❖ Σύνθετο έργο – Πολλές ειδικότητες
- ❖ Κόστος: 70-150 εκ. ευρώ/χλμ (υποδομή και τροχαίο υλικό)

Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος (Μετρό)



- Ταξινόμηση συστημάτων μετρό με βάση τη μεταφορική τους ικανότητα
- Ελαφρύ μετρό
- Βαρύ μετρό

	Ελαφρύ μετρό	Βαρύ μετρό
Απόσταση μεταξύ στάσεων	400-800 m	500-1000 m
Μέση ταχύτητα εκμετάλλευσης	25-35 km/hr	30-40 km/hr
Ένταξη στο έδαφος	Επιφανειακή & υπόγεια	Κατά κανόνα υπόγεια
Μέγιστη μεταφορική ικανότητα	35.000 άτομα / ώρα / κατεύθυνση	45.000 άτομα / ώρα / κατεύθυνση
Σύνθεση συρμών	2-4 οχήματα	4-10 οχήματα
Μήκος συρμού	60-90 m	70-150 m
Πλάτος οχήματος	2,10-2,65 m	2,60-3,20 m
Σύστημα οδήγησης	Με μηχανοδηγό ή αυτόματο	Συνήθως με μηχανοδηγό ή αυτόματο

Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος (Μετρό)



- Ταξινόμηση συστημάτων μετρό με βάση το βαθμό αυτοματοποίησης της λειτουργίας τους
- Τα συστήματα μετρό με βάση το βαθμό αυτοματοποίησης της λειτουργίας τους (Grade of Automation), ταξινομούνται σε τέσσερις (4) κατηγορίες:
 - ❖ **GoA1:** Λειτουργία με μηχανοδηγό
 - ❖ **GoA2:** Ημιαυτόματη λειτουργία – STO (Semi-automatic Train Operation)
 - ❖ **GoA3:** Λειτουργία χωρίς μηχανοδηγό – DTO (Driverless Train Operation)
 - ❖ **GoA4:** Πλήρως αυτόματη λειτουργία – UTO (Unattended Train Operation)

Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος (Μετρό)



Grade of Automation	Type of train operation	Setting train in motion	Stopping train	Door closure	Operation in event of disruption
 GoA 1	ATP with driver	Driver	Driver	Driver	Driver
 GoA 2	ATP and ATO with driver (STO)	Automatic	Automatic	Driver	Driver
 GoA 3	Driverless (DTO)	Automatic	Automatic	Train attendant	Train attendant
 GoA 4	UTO	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic

Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος (Μετρό)



- Ταξινόμηση συστημάτων μετρό με βάση το υλικό κατασκευής των τροχών
- Ως προς το υλικό κατασκευής των τροχών, οι συρμοί μετρό διακρίνονται σε εκείνους που χρησιμοποιούν χαλύβδινους τροχούς και τροχούς με ελαστικά επίσωτρα.
- Άλλες κατηγορίες ταξινόμησης
- Ως προς την ένταξή τους, σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους, τα συστήματα μετρό διακρίνονται σε: υπόγεια, επιφανειακά και υπέργεια.
- Ως προς τη διάταξη του δικτύου, διακρίνονται στα εξής:
 - Ακτινική διάταξη
 - Γραμμική διάταξη με ή χωρίς ακτινικούς κλάδους
 - Διάταξη κανάβου

Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος (Μετρό)



- Προϋποθέσεις κατασκευής ενός δικτύου μετρό
- Το μετρό επιλέγεται συνήθως ως μέσο μεταφοράς σε πόλεις με πληθυσμό μεγαλύτερο από ένα εκατομμύριο κατοίκους και όταν:
 - ❖ Υπάρχει μεγάλη ζήτηση για μετακινήσεις (>10.000 άτομα/ώρα/κατεύθυνση) και το υπέδαφος και οι χρηματικοί πόροι επιτρέπουν τη λύση του μετρό.
 - ❖ Υπάρχει σε μια πόλη ή περιοχή ιδιαίτερο πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
 - ❖ Τα υπόλοιπα συστήματα μαζικών μεταφορών λειτουργούν σε σημείο κορεσμού και αδυνατούν να εξυπηρετήσουν τη ζήτηση.
 - ❖ Υπάρχουν χώροι διαθέσιμοι στις άκρες του συστήματος για την εγκατάσταση τερματικών εγκαταστάσεων του ίδιου του συστήματος και για τη δημιουργία χώρων στάθμευσης και τερματικών εγκαταστάσεων λεωφορείων.

Μητροπολιτικός Σιδηρόδρομος (Μετρό)



- Μέθοδοι κατασκευής σηράγγων
 - Εκσκαφή
 - Διάτρηση
 - Διάτρηση και ανατίναξη
- Τεχνικές διάτρησης σηράγγων
 - Tunnel Boring Machine (TBM)
 - Μέθοδος NATM (New Austrian Tunneling Method)
- Τεχνικές εκσκαφής σηράγγων
 - Τεχνική ανοικτού ορύγματος (Cut & cover)
 - Τεχνική εκσκαφής και επανεπίχωσης (Cover & cut)

Τροχιόδρομος (Τραμ)



- Ο σύγχρονος τροχιόδρομος (τραμ) είναι ένα ηλεκτροκινούμενο τρένο με χαλύβδινους τροχούς που κινείται σχεδόν αποκλειστικά επιφανειακά κατά μήκος αστικών ή προαστιακών οδικών αρτηριών.
- Το τραμ είναι εξελιγμένη τεχνολογικά και λειτουργικά μορφή του παλιού συμβατικού τραμ (streetcar) που μονοπώλησε στις πρώτες δεκαετίες του 1900 τις αστικές μαζικές μεταφορές στις περισσότερες πόλεις της Ευρώπης και της Αμερικής.
- Το τραμ κυκλοφορεί είτε σε ανάμιξη με την υπόλοιπη οδική κυκλοφορία, είτε σε πεζόδρομο κατάλληλα διαμορφωμένο, είτε τέλος σε ξεχωριστή (προστατευμένη) λωρίδα, που τοποθετείται στο ένα άκρο, στα δυο απέναντι άκρα, ή στη μέση του οδοστρώματος.

Τροχιόδρομος (Τραμ)



- Το τραμ χρησιμοποιεί συνήθως δυο τροχιοσειρές μιας κατεύθυνσης κυκλοφορίας (διπλή γραμμή) που υλοποιούνται, είτε με αυλακωτές σιδηροτροχιές εγκιβωτισμένες στο οδόστρωμα, είτε με συμβατικές σιδηροτροχιές.



Τροχιόδρομος (Τραμ)



- Χαρακτηριστικά
- ❖ Κινείται σχεδόν αποκλειστικά επιφανειακά
- ❖ Ηλεκτροκίνηση με εναέρια καλώδια / χωρίς καλώδια
- ❖ Μεταφορική ικανότητα: 10.000-15.000 επιβάτες/ώρα/κατεύθυνση (αρθρωτό όχημα)
- ❖ Μήκος διαδρομής: 5-20 χλμ
- ❖ Μέση ταχύτητα: 15-25 χλμ/ώρα
- ❖ Μέση απόσταση στάσεων: 500μ
- ❖ Χρόνος υλοποίησης: 3 χρόνια (20-25 χλμ)
- ❖ Κόστος υλοποίησης: 20-25 εκ. ευρώ/χλμ (υποδομή και τροχαίο υλικό)

Τροχιόδρομος (Τραμ)



- Ταξινόμηση με βάση την τυπολογία του διαδρόμου κυκλοφορίας
- ❖ Εντελώς αποκλεισμένος διάδρομος (κατηγορία A)
- ❖ Αποκλειστικός προστατευμένος διάδρομος (κατηγορία B)
- ❖ Αποκλειστικός διάδρομος τραμ (κατηγορία C)
- ❖ Αποκλειστικός διαχωρισμένος διάδρομος (κατηγορία D)
- ❖ Κοινός διάδρομος (κατηγορία E)

- Ταξινόμηση με βάση τη λειτουργικότητα
- ❖ Αστικά τραμ
- ❖ Τραμ μεγάλων αποστάσεων (tram-trains)
- ❖ Τουριστικά τραμ ή τραμ πολιτιστικής κληρονομιάς
- ❖ Μεταφοράς εμπορευμάτων

Τροχιόδρομος (Τραμ)



(Α) Εντελώς αποκλειστικός
διάδρομος



(Β) Αποκλειστικός
προστατευόμενος διάδρομος



(C) Αποκλειστικός διάδρομος
τραμ



(D) Αποκλειστικός
διαχωρισμένος
διάδρομος



(Ε) Κοινός
διάδρομος

Τροχιόδρομος (Τραμ)



- Προϋποθέσεις εφαρμογής
- ❖ Όταν έχουμε μικρή σχετικά ζήτηση για μετακινήσεις ($\leq 10000-15000$ άτομα/ώρα/κατεύθυνση).
- ❖ Όταν επιζητείται αναβάθμιση μιας περιοχής και γενικότερα όταν θέλουμε να διατηρήσουμε τις δραστηριότητες της εν λόγω περιοχής.
- ❖ Όταν έχουμε σε μια πόλη ή περιοχή ιδιαίτερο πρόβλημα ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- ❖ Όταν έχουμε μεγάλη ζήτηση για μετακινήσεις (> 10000 άτομα/ώρα/κατεύθυνση) και το υπέδαφος ή η έλλειψη χρηματικών πόρων δεν επιτρέπει υπόγεια λύση.
- ❖ Όταν θέλουμε να περιορίσουμε/αποκλείσουμε τη χρήση των ΙΧ στο κέντρο μιας πόλης.

Τροχιόδρομος (Τραμ)



- Σημαντικές παράμετροι σχεδιασμού
- *Πολιτική αποθάρρυνσης χρήσης ΙΧ*
- Το τραμ είναι η μόνη λύση αστικού μαζικού μέσου μεταφοράς που έχει αποτέλεσμα τη δραστική απομάκρυνση των ΙΧ από τις περιοχές διέλευσής του.
- *Εξασφάλιση χώρου αμαξοστασίου*
- Το αμαξοστάσιο είναι η καρδιά του συστήματος. Η εφικτότητα κατασκευής του πρέπει να εξασφαλισθεί πριν ξεκινήσει το έργο.
- *Εξασφάλιση υψηλών μέσων ταχυτήτων*
- Προτεραιότητα στις σηματοδοτούμενες διασταυρώσεις και μεγάλο ποσοστό μήκους προστατευμένων διαδρόμων.
- *Επιβατικοί φόρτοι*
- Καθορίζουν τη βιωσιμότητα του έργου. Ο υπολογισμός τους ενέχει πάντοτε αβεβαιότητα.

Τροχιόδρομος (Τραμ)



- Προϋποθέσεις για εξασφάλιση εφικτότητας εναλλακτικών οδεύσεων
- ❖ Είναι δυνατή γεωμετρικά η ένταξή τους στην υπό εξυπηρέτηση περιοχή;
- ❖ Εξασφαλίζουν ένα ικανοποιητικό επίπεδο εξυπηρέτησης για τους χρήστες;
- ❖ Οι επιπτώσεις στην υπόλοιπη κυκλοφορία (οδικά οχήματα, πεζοί), μπορούν να αντιμετωπισθούν αποτελεσματικά με μικρό σχετικά κόστος;
- ❖ Στη ζώνη όδευσης και στην ευρύτερη περιοχή δημιουργούνται περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορούν να αποτελέσουν ανασταλτικό παράγοντα για την υλοποίηση του έργου;
- ❖ Υπάρχει δυνατότητα να εξασφαλισθεί ο απαραίτητος χώρος για την κατασκευή και αποτελεσματική λειτουργία χώρων συντήρησης, επισκευής και απόθεσης τροχαίου υλικού για το συγκεκριμένο δίκτυο τροchioδρομικής εξυπηρέτησης;
- ❖ Το κόστος του έργου, όπως προκύπτει από μια πρώτη εκτίμηση, κυμαίνεται σε ανάλογα οικονομικά μεγέθη, σύμφωνα με την ισχύουσα διεθνή πρακτική;

Μονόραβδος σιδηρόδρομος (Monorail)



- Ο μονόραβδος ή μονοτρόχιος σιδηρόδρομος (monorail) είναι ένα ελαφρύ σιδηροδρομικό σύστημα μεταφοράς επιβατών.
- Το μέσο μεταφοράς (αρθρωτός συρμός) συντίθεται από ένα, μικρό συνήθως αριθμό οχημάτων (2-6) και κινείται μέσω ενός συστήματος ελαστικών ως επί το πλείστον τροχών, σε υπερυψωμένη διατομή.
- Η οδός μεταφοράς υλοποιείται με μια δοκό, η οποία αναλαμβάνει τα φορτία κυκλοφορίας και καθοδηγεί και στηρίζει τα οχήματα (δοκός καθοδήγησης).
- Το σύστημα εξυπηρετεί συνήθως μικρές σχετικά αποστάσεις (~10 χλμ), αναπτύσσει μέγιστες ταχύτητες πορείας 60-90 χλμ/ώρα και εμπορικές ταχύτητες 20-40 χλμ/ώρα.
- Προσφέρεται σε μετακινήσεις μέσα σε χώρους ψυχαγωγίας και για αστικές μετακινήσεις (σε πόλεις με έντονο κυκλοφοριακό πρόβλημα).

Μονόραβδος σιδηρόδρομος (Monorail)



Μονόραβδος σιδηρόδρομος (Monorail)



- Χαρακτηριστικά (1/2)
- ❖ Αριθμός γραμμών: Διπλή δοκός
- ❖ Μήκος: 1,5-12 χλμ
- ❖ Επιδομή: Μονή δοκός ορθογωνικής διατομής από χάλυβα ή σκυρόδεμα με την επάνω οριζόντια πλευρά της να προεξέχει εκατέρωθεν των δυο κατακόρυφων πλευρών της.
- ❖ Ελάχιστη ακτίνα οριζοντιογραφίας: 45/70μ
- ❖ Ένταξη στο έδαφος: Υπερυψωμένη διατομή
- ❖ Τύπος συρμού: Ειδικών προδιαγραφών
- ❖ V_{max} : 60-90 χλμ/ώρα
- ❖ Κατά μήκος κλίση: 0-10%

Μονόραβδος σιδηρόδρομος (Monorail)



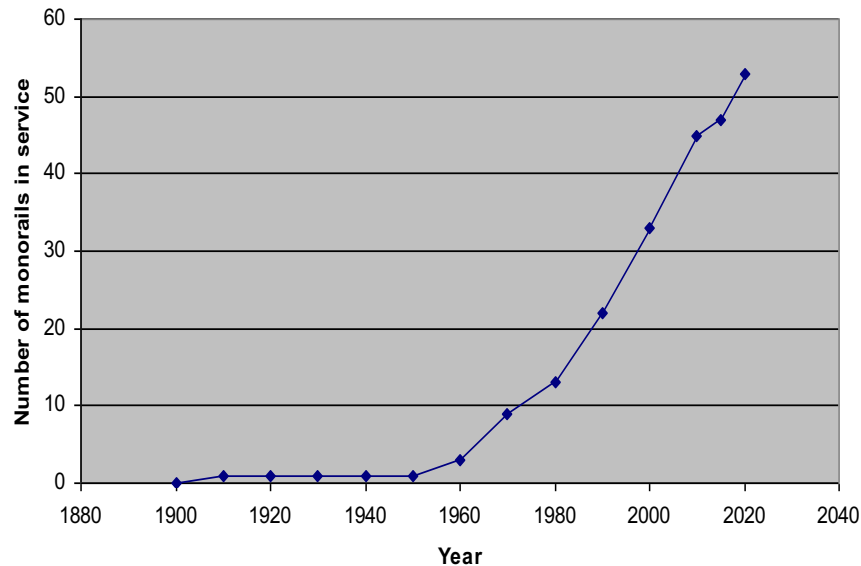
- Χαρακτηριστικά (2/2)
- ❖ Σύνθεση συρμών: 2-6 και σπάνια 8 οχήματα
- ❖ Απόσταση μεταξύ στάσεων: 800-1500μ
- ❖ Μέση εμπορική ταχύτητα συρμών: 15-40 χλμ/ώρα
- ❖ Συχνότητα εξυπηρέτησης: 3'-15'
- ❖ Επιβατικό έργο: Μέση μεταφορική ικανότητα 2000/4800/12500 (20.000) επιβάτες/ώρα/κατεύθυνση
- ❖ Κόστος υλοποίησης (υποδομή και τροχαίο υλικό): 30-90 εκ. ευρώ/χλμ γραμμής (μικρά/συμβατικά/μεγάλα)

Μονόραβδος σιδηρόδρομος (Monorail)

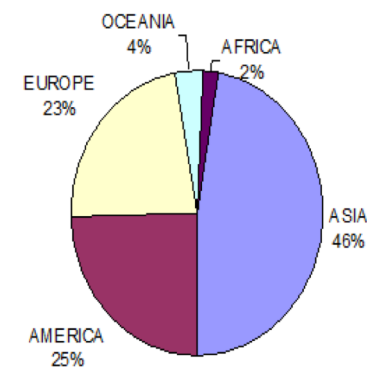
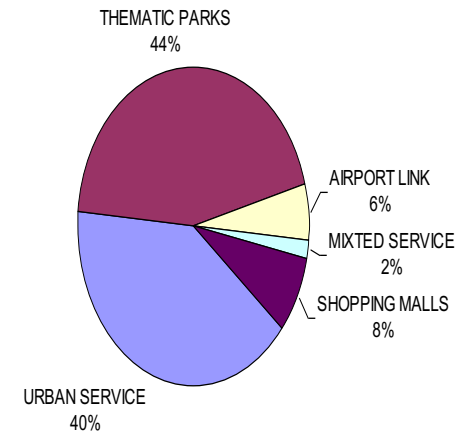


- Προϋποθέσεις για την κατασκευή ενός νέου δικτύου monorail
- ❖ Όταν επιζητείται ένα μέσο μεταφοράς για να εξυπηρετήσει μετακινήσεις μέσα σε χώρους ψυχαγωγίας.
- ❖ Για τη μεταφορά επιβατών σε μικρές αποστάσεις και σε περιοχές με έντονο, ως προς τη θέα, ενδιαφέρον.
- ❖ Για τη σύνδεση αστικών περιοχών ίδιας υψομετρικής διαφοράς που η επικοινωνία τους διακόπτεται από κάποιο κώλυμα (πχ υδάτινο).
- ❖ Όταν έχουμε, σε μια ευαίσθητη περιβαλλοντικά περιοχή, σχετικά μεγάλη ζήτηση για μετακινήσεις και δεν υπάρχει δυνατότητα ένταξης επιφανειακού σιδηροδρομικού συστήματος.
- ❖ Αστικές μετακινήσεις/συνδέσεις αστικών κέντρων – αεροδρομίων (ΑΣΙΑ).

Μονόραβδος σιδηρόδρομος (Monorail)



- ❖ 53 συστήματα monorail σε λειτουργία στον κόσμο (46 επικαθήμενα)
- ❖ 10 συστήματα monorail υπό κατασκευή
- ❖ Συνολικό μήκος περίπου 400χλμ



Ερωτήσεις



Daegu Monorail