

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ**

*Γ. Βέης, Χ. Βραδής, Α. Γιώτης, Ε. Ζαχαρής, Ρ. Κορακίτης, Χ. Λιαπάκης,
Β. Μπαλής, Χ. Μπιλλήρης, Β. Νάκος, Δ. Παραδείσης, Β. Ψαριανός*

1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας
Λάρισα, 4 - 7 Οκτωβρίου 1995

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

*Γ. Βέης, Χ. Βραδής, Α. Γιώτης, Ε. Ζαχαρής, Ρ. Κορακίτης, Χ. Λιαπάκης,
Β. Μπαλής, Χ. Μπιλλήρης, Β. Νάκος, Δ. Παραδείσης, Β. Ψαριανός*

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου
Οδοποιία
Χαρτογραφία
Ανώτερη Γεωδαισία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Περιγράφεται ένα σύστημα ολοκληρωμένης καταγραφής και απόδοσης πληροφοριών οδικού δικτύου, ικανού να στηρίξει αποφάσεις για βελτιωτικές επεμβάσεις στο δίκτυο. Το σύστημα καταγραφής συνδυάζει τον συνεχή γεωδαιτικό εντοπισμό ενός οχήματος μέσω του δορυφορικού συστήματος GPS και την καταγραφή εικόνων του περιβάλλοντος χώρου σε ταινίες video. Η επεξεργασία και η συσχέτιση των δεδομένων αυτών επιτρέπει τον προσδιορισμό των γεωμετρικών στοιχείων του δρόμου (π.χ. γραμμή άξονα, ακτίνες καμπυλότητας, πλάτη λωρίδων, κλίσεις, επικλίσεις κλπ), καθώς επίσης και των θεματικών οντοτήτων του δρόμου (π.χ. εξοπλισμός ασφαλείας, σήμανση, τεχνικά έργα κλπ). Το σύνολο των πληροφοριών αποθηκεύεται και διαχειρίζεται από ένα περιβάλλον Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών, που αναπτύχθηκε ειδικά για τον σκοπό αυτό. Το σύστημα επιτρέπει στον χρήστη να ανακτά πληροφορία εύκολα και με διάφορους τρόπους (χάρτες, διαγράμματα, πίνακες, εικόνες κλπ).

1. Εισαγωγή

Η ύπαρξη μίας πλήρους καταγραφής του οδικού δικτύου της χώρας είναι ένα βασικό πληροφοριακό υλικό όχι μόνο για τις αναπτυξιακές και περιβαλλοντικές μελέτες αλλά και για τις μελέτες που αφορούν την οδική ασφάλεια και τις βελτιώσεις στον σχεδιασμό των μελλοντικών οδών.

Μια τέτοια καταγραφή (ουσιαστικά μια ειδική τοπογραφική αποτύπωση) επειδή είναι επίπονη, χρονοβόρα και σχετικά πολυδάπανη, σπάνια αντιμετωπίζεται από τις αρμόδιες υπηρεσίες και συνήθως ως καταγραφή θεωρείται η ίδια η μελέτη, η οποία όμως πολλές φορές κατά την εκτέλεση αλλάζει σημαντικά από αυτή.

Σήμερα οι διάφορες τεχνικές και η υψηλή τεχνολογία που έχουν αναπτυχθεί, επιτρέπουν μια γρήγορη, άνετη, οικονομική και αξιόπιστη ολοκληρωμένη καταγραφή ενός οδικού δικτύου, με κατάλληλο και προσεκτικά σχεδιασμένο συνδυασμό των νέων αυτών τεχνολογιών.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί στο Ε. Μ. Πολυτεχνείο τέτοιες τεχνολογίες που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε άλλες παραπλήσιες εφαρμογές, τα αποτελέσματα των οποίων έχουν δημοσιευθεί σε διπλωματικές εργασίες και διδακτορικές διατριβές. Έτσι μια ομάδα που αποτελείται από τέσσερα Εργαστήρια του Πολυτεχνείου (Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Χαρτογραφία, Οδοποιία, Ανώτερη Γεωδαισία) ανέπτυξε ένα σύστημα για μια ολοκληρωμένη καταγραφή οδικού δικτύου, χρησιμοποιώντας την τεχνογνωσία και εμπειρία που έχουν αναπτύξει τα Εργαστήρια αυτά. Το σύστημα αυτό μπόρεσε να αναπτυχθεί και να υλοποιηθεί με χρηματοδότηση από τη Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. (Διεύθυνση Δ3, Τμήμα Β), με παράλληλη εκπόνηση διδακτορικής διατριβής. Η ομάδα του Ε.Μ.Π., εκτός από την ανάπτυξη του συστήματος, έχει αναλάβει να πραγματοποιήσει και μία πιλοτική καταγραφή σε ένα μήκος 1000 χιλιομέτρων του Εθνικού Οδικού Δικτύου.

Αντίστοιχα συστήματα έχουν αναπτυχθεί και σε άλλες χώρες, κυρίως της Ευρώπης και της Αμερικής, με μεγαλύτερη ή μικρότερη επιτυχία. Το σύστημα του Ε.Μ.Π. δεν έχει αντιγράψει κάποιο άλλο σύστημα. Έχει στηριχθεί στην τεχνογνωσία που το ίδιο έχει αναπτύξει, χρησιμοποιώντας και συνδυάζοντας υπάρχοντα στο εμπόριο προϊόντα ή σχεδιάζοντας και κατασκευάζοντας νέα, σε συνδυασμό πάντα με τις καλύτερες κάθε φορά μεθόδους για την επεξεργασία των δεδομένων.

Το σύστημα ολοκληρωμένης καταγραφής οδικού δικτύου συνδυάζει:

- τον συνεχή εντοπισμό και προσανατολισμό στο χώρο ενός οχήματος που οδηγείται κατά μήκος της προς καταγραφή οδού (και κατά τις δύο κατευθύνσεις), χρησιμοποιώντας το δορυφορικό σύστημα GPS,
- την καταγραφή από το όχημα σε συσκευή video της οδού και του γύρω χώρου,
- την αναγωγή από τη διπλή καταγραφή της τροχιάς του οχήματος, σε συνεχή γραμμή του άξονα της οδού στο χώρο,
- τον υπολογισμό των κλίσεων και των ακτίνων καμπυλότητας του άξονα της οδού στον τριδιάστατο χώρο,
- τον προσδιορισμό ως προς το όχημα (και επομένως και ως προς τον χώρο) της θέσης των θεματικών οντοτήτων που αφορούν την οδό (σήμανση, τεχνικά έργα, ηλεκτροφωτισμός, διασταύρωση κλπ.), με την επεξεργασία των εικόνων video,

- τη δημιουργία ψηφιακών αρχείων με όλα τα στοιχεία από την καταγραφή και την επεξεργασία,
- τη δημιουργία ενός συστήματος για τη διαχείριση και απόδοση του πληροφοριακού υλικού.

Έγινε προσπάθεια στο σχεδιασμό του όλου συστήματος να χρησιμοποιηθεί κατά το δυνατόν συμβατικός εξοπλισμός και απλές τεχνικές, χωρίς φυσικά να υποβαθμίζεται η ποιότητα και η αξιοπιστία του αποτελέσματος.

2. Δορυφορικός γεωδαιτικός εντοπισμός

Το σύστημα εντοπισμού θέσης, που εντάσσεται μέσα στο ολοκληρωμένο σύστημα της ψηφιακής καταγραφής οδικού δικτύου, βασίζεται σε μεθόδους της δορυφορικής γεωδαισίας με χρήση του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού Θέσης (GPS - Global Positioning System).

Η χρήση του συστήματος εφαρμόζεται με δύο τρόπους: σχετικό στατικό εντοπισμό θέσης για τον προσδιορισμό σταθερών σημείων κατά μήκος της οδού και σχετικό κινηματικό εντοπισμό θέσης για τον προσδιορισμό της θέσης του οχήματος σε διπλή διαδρομή.

2.1. Σχετικός στατικός εντοπισμός

Ο σχετικός στατικός εντοπισμός θέσης καλύπτει τον προσδιορισμό της θέσης ενός ή περισσότερων ακίνητων δεκτών GPS, ως προς ένα βασικό δέκτη (αναφοράς), που βρίσκεται σε σημείο γνωστών συντεταγμένων, όταν όλοι παρατηρούν ταυτόχρονα τους ίδιους δορυφόρους.

Η ακρίβεια της σχετικής θέσης, από ανάλυση μετρήσεων φάσης του φέροντος κύματος των δορυφόρων GPS, για την συγκεκριμένη εφαρμογή είναι της τάξης μερικών εκατοστών. Αν ο δέκτης αναφοράς βρίσκεται (ή εξαρτηθεί) από ένα σημείο γνωστών συντεταγμένων στο σύστημα ITRF ή το ΕΓΣΑ '87, το όλο δίκτυο θα υπολογισθεί σ' αυτά τα συστήματα αναφοράς.

Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζονται οι απαραίτητες θέσεις σταθερών σημείων κατά μήκος των οδικών αρτηριών (1 σημείο κάθε 10 km περίπου), που χρησιμεύουν ως σταθμοί αναφοράς σε επόμενα βήματα του έργου, αλλά και ως σημεία αναφοράς με γνωστές συντεταγμένες για άλλες, μελλοντικές εργασίες στο οδικό δίκτυο.

2.2. Σχετικός κινηματικός εντοπισμός

Η μέθοδος του σχετικού κινηματικού εντοπισμού θέσης καλύπτει τον προσδιορισμό της θέσης ενός ή περισσότερων κινούμενων δεκτών GPS, ως προς ένα βασικό δέκτη αναφοράς, που παραμένει ακίνητος σε ένα σημείο με γνωστές συντεταγμένες, όταν όλοι οι δέκτες παρατηρούν ταυτόχρονα τους ίδιους δορυφόρους.

Με την υπόθεση (όπως και στην προηγούμενη περίπτωση), ότι ένα μεγάλο μέρος των σφαλμάτων, που επηρεάζουν την ακρίβεια του εντοπισμού (τροχιές δορυφόρων, ατμόσφαιρα, χρονόμετρα δορυφόρων, κλπ.) είναι κοινά σε όλους τους δέκτες που

παρατηρούν ταυτόχρονα, η ακρίβεια της σχετικής θέσης ενός κινούμενου ως προς τον ακίνητο δέκτη και για αποστάσεις μέχρι 40 - 50 km είναι της τάξης του ενός μέτρου. Θα πρέπει να τονισθεί εδώ ότι η ακρίβεια αυτή αφορά σε μια ακτίνα 50 χιλιομέτρων γύρω από τον σταθερό σταθμό. Η σχετική όμως ακρίβεια των διαδοχικών και γειτονικών θέσεων του κινητού είναι της τάξης των 10 εκατοστών.

Με τον τρόπο αυτό, όλη η πορεία του κινούμενου οχήματος που φέρει τον δέκτη GPS θα καταγραφεί στο ίδιο σύστημα αναφοράς (ITRF ή/και ΕΓΣΑ '87) στο οποίο είναι δοσμένες οι συντεταγμένες του σταθερού σταθμού αναφοράς.

Στις εργασίες υπαίθρου χρησιμοποιούνται συνήθως δύο δέκτες. Ένας ως σταθμός αναφοράς σε γνωστή θέση και ένας κινούμενος στο όχημα, που καταγράφει κάθε 1 sec τις μετρήσεις των ψευδοαποστάσεων και του φαινομένου doppler στη φέρουσα συχνότητα του σήματος του GPS.

Από τις μετρήσεις του σταθμού αναφοράς, την γνωστή του θέση και σε συνδυασμό με τις μετρήσεις του κινητού δέκτη υπολογίζεται από τις ψευδοαποστάσεις η θέση και από το φαινόμενο doppler ο προσανατολισμός του οχήματος στον χώρο (σχ. 1).

Ας σημειωθεί τέλος ότι επελέγη ο σχετικός κινηματικός εντοπισμός θέσης και όχι ο διαφορικός κινηματικός εντοπισμός (real time), που απαιτεί την συνεχή μετάδοση διορθώσεων προς τον κινούμενο δέκτη, επειδή λόγω της φύσεως της εργασίας δεν χρειάζεται υπολογισμός συντεταγμένων (πλοήγηση) σε πραγματικό χρόνο και, κυρίως, επειδή η ύπαρξη ενός συστήματος επικοινωνίας μεταξύ των δεκτών θα δυσκόλευε πολύ τις εργασίες υπαίθρου.

Η επεξεργασία των διαδοχικών θέσεων (ανά δευτερόλεπτο) δίνει την τροχιά του οχήματος και σε συνδυασμό με τον προσανατολισμό του, μετά από κατάλληλες αναγωγές, τη θέση και το μήκος του άξονα της οδού, καθώς και τις καμπυλότητες κατά την οριζοντιογραφία και την μηκοτομή.

2.3. Μέτρηση κλίσεων

Κατά την κίνηση του οχήματος, παράλληλα με την καταγραφή από το GPS, γίνεται και συνεχής καταγραφή ενδείξεων κλίσης κατά τον διαμήκη και τον εγκάρσιο άξονα του οχήματος με ακρίβεια 1%, με την βοήθεια ενός ψηφιακού κλισιμέτρου. Οι τιμές αυτές, αφού διορθωθούν από την επίδραση των επιταχύνσεων, δίνουν την κατά μήκος και την εγκάρσια κλίση του οδοστρώματος.

3. Οπτικός Εντοπισμός

Ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών θεματικών οντοτήτων του οδικού δικτύου (πλάτη δρόμων, αριθμός λωρίδων, κλπ.) καθώς και του περιβάλλοντος χώρου (σήμανση, στηθαία, δίκτυα κοινής ωφέλειας, κλπ.) επιτυγχάνεται με μετρήσεις σε εικόνες video, που λαμβάνονται παράλληλα και σύγχρονα με την καταγραφή των μετρήσεων GPS προς τους δορυφόρους, από ένα κατάλληλα εξοπλισμένο όχημα. Η μεθοδολογία στηρίζεται στην συσχέτιση των εικόνων με τη θέση του οχήματος μέσω του χρόνου του συστήματος GPS.

3.1. Αρχές σχεδιασμού του οπτικού συστήματος

Οι κυριότερες προδιαγραφές που πρέπει να ικανοποιούνται στην καταγραφή video είναι :

- Κάλυψη ενός οπτικού πεδίου αρκετού για την απεικόνιση και καταγραφή των απαραίτητων στοιχείων. Μετά από εκτενείς δοκιμές, συνεκτιμώντας τα τεχνικά και οικονομικά στοιχεία του εξοπλισμού που διατίθεται στην αγορά, προκρίθηκε η λύση της κάλυψης του πεδίου, σε πληρότητα περίπου 50%, από τρεις μηχανές λήψης (videocameras) εμπρός, δεξιά και αριστερά, με τρόπο ώστε να διευκολύνεται η επεξεργασία των μετρήσεων και τα υπάρχοντα κενά να μην υποβαθμίζουν την πληροφορία.
- Ευκρίνεια της εικόνας αρκετή για την αναγνώριση των απαραίτητων στοιχείων από ικανή απόσταση. Το σύστημα που υλοποιήθηκε επιτρέπει την αναγνώριση γραμμάτων ύψους 10 εκατοστών από απόσταση 15 μέτρων, με ταχύτητα κίνησης 70 χιλιομέτρων ανά ώρα.
- Καταγραφή και αναγνώριση της 'ταυτότητας' κάθε εικόνας (frame) την στιγμή της λήψης, ώστε να μπορεί να υπολογιστεί εκ των υστέρων ο ακριβής χρόνος λήψης της και επομένως η αντίστοιχη θέση του οχήματος. Αυτό επιτεύχθηκε με την χρήση ειδικού σήματος (Time Code), που επιτρέπει ακρίβεια χρονικού προσδιορισμού της λήψης 1/25 sec (αντίστοιχο με ακρίβεια περίπου 0.5 m στις συνήθεις ταχύτητες καταγραφής).

Επειδή η συνολική οπτική καταγραφή μοιράζεται σε τρεις μηχανές λήψης, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στον ακριβή συγχρονισμό των εικόνων και την δυνατότητα ασφαλούς και αυτόματης αναγνώρισης του χρόνου λήψης. Για τον σκοπό αυτό, κάθε μηχανή λήψης καταγράφει σε τακτά διαστήματα (π.χ. κάθε δύο δευτερόλεπτα) και σε ένα μόνο frame ένα ειδικό οπτικό σήμα από φωτοδίοδο (LED), συγχρονισμένο με τον χρόνο GPS. Επιπλέον, οι τρεις εικόνες συνδυάζονται, μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, σε μία σύνθετη εικόνα (εικ. 1), η οποία καταγράφεται χωριστά και αποτελεί την βασική πηγή επεξεργασίας των οπτικών πληροφοριών.

3.2. Διαδικασία μετρήσεων και υπολογισμών

Οι μετρήσεις στις εικόνες video γίνονται εκ των υστέρων, μέσω ειδικών προγραμμάτων που έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό. Στηρίζονται στον έλεγχο των λειτουργιών της συσκευής video από ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος είναι εφοδιασμένος με ειδική κάρτα λήψης εικόνων (frame grabber) και στη 'σκόπευση' των σημείων λεπτομερειών στην οθόνη του υπολογιστή.

Για τον προσδιορισμό των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων των σημείων αυτών απαιτούνται τουλάχιστον δύο μετρήσεις για κάθε σημείο, ενώ συνήθως γίνονται πλεονάζουσες παρατηρήσεις και οι συντεταγμένες των σημείων υπολογίζονται με την εφαρμογή της MET. Οι συντεταγμένες αυτές αναφέρονται στο ίδιο σύστημα αναφοράς με τη θέση του οχήματος από το σύστημα GPS (ITRF ή ΕΓΣΑ '87).

3.3. Ακρίβεια εντοπισμού

Η ακρίβεια της μεθόδου είναι συσχετισμένη με την ακρίβεια εντοπισμού του αυτοκινήτου και η τάξη μεγέθους της, σε απόλυτες συντεταγμένες, είναι 1 ως 2 μέτρα.

4. Σύστημα καταγραφής των μετρήσεων

Σύμφωνα με την γενική μεθοδολογία, που αναπτύχθηκε ήδη, έγινε ο σχεδιασμός και η υλοποίηση του κινητού συστήματος καταγραφής των μετρήσεων. Το σύστημα αυτό αποτελείται από τρία κύρια μέρη :

1. Δέκτη GPS, για τις μετρήσεις γεωδαιτικού εντοπισμού.
2. Κλισίμετρο, για την μέτρηση της κλίσης του οδοστρώματος.
3. Μονάδες εικονοληψίας (video), για την αποτύπωση γεωμετρικών και βοηθητικών στοιχείων του δρόμου.

Επιπλέον, ο εξοπλισμός συμπληρώνεται από βοηθητικά κυκλώματα ελέγχου και συγχρονισμού, καθώς και από ηλεκτρονικούς υπολογιστές για την οδήγηση των συσκευών και την καταγραφή των μετρήσεων. Η γενική συγκρότηση του συστήματος μετρήσεων φαίνεται στο σχήμα 2.

Το σύστημα των μετρήσεων είναι εγκατεστημένο σε ένα αυτοκίνητο mini-van (τύπου FORD Transit), το οποίο διετεθή από το Εργ. Λιμενικών Έργων του Ε.Μ.Π. (εικ. 2). Στο εσωτερικό του αυτοκινήτου διαμορφώθηκε η τράπεζα εργασίας, που περιλαμβάνει τους δέκτες GPS, την συσκευή εγγραφής video, τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, τα συστήματα τροφοδοσίας και μέρος των κυκλωμάτων ελέγχου (εικ. 3).

Στην οροφή του αυτοκινήτου τοποθετήθηκε σταθερή πλατφόρμα, η οποία φέρει το ειδικά κατασκευασμένο 'κιβώτιο' μετρήσεων. Στο 'κιβώτιο' έχουν τοποθετηθεί τρεις μηχανές λήψης προσανατολισμένες η μία κατά τον άξονα της κίνησης (κύρια μηχανή) και οι δύο άλλες κάθετα προς αυτήν, καλύπτοντας την αριστερή και την δεξιά πλευρά του δρόμου. Επίσης εκεί είναι τοποθετημένες κατάλληλα οι κεραιές των δεκτών GPS και τα απαραίτητα κυκλώματα τροφοδοσίας, ελέγχου και συγχρονισμού. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα εγκατάστασης κλισιμέτρου. Ας σημειωθεί ότι, στην παρούσα φάση, το κλισίμετρο είναι τοποθετημένο σταθερά στον πίσω άξονα του αυτοκινήτου, ώστε να μην επηρεάζεται από τις κλίσεις του αμαξώματος.

Τα χαρακτηριστικά και η συμπεριφορά των συσκευών μελετήθηκαν και ελέγχθηκαν πειραματικά, τόσο στο εργαστήριο όσο και σε πραγματικές μετρήσεις στον ευρύτερο χώρο της Πολυτεχνειούπολης, με πολύ καλά αποτελέσματα.

5. Επεξεργασία και ανάλυση στοιχείων

5.1. Προσδιορισμός γεωμετρικών στοιχείων της οδού

Τα γεωμετρικά στοιχεία μελέτης της οδού, που προκύπτουν από τα δεδομένα καταγραφής του συστήματος, κατατάσσονται σε δύο ομάδες:

- χιλιομετρική θέση (ΧΘ) κατά μήκος του άξονα της οδού και στοιχεία μελέτης γραμμής αναφοράς οδού (άξονας συμμετρίας οδοστρώματος, οριογραμμή οδοστρώματος, κλπ.) τόσο όσον αφορά τον τύπο τους, δηλ. ευθυγραμμίες, τόξα συναρμογής, κυκλικά τόξα, όσο και τις παραμέτρους τους (μήκη ακτίνων, ΧΘ αρχής και τέλους, κατά μήκος κλίση, κλπ.),
- στοιχεία μελέτης διατομής (αριθμός και πλάτη λωρίδων κυκλοφορίας, πλάτος νησίδας, πλάτος λωρίδας έκτακτης ανάγκης ή πολλαπλών χρήσεων, επικλίσεις, ερείσματα, κλπ.).

Η πρώτη ομάδα στοιχείων μελέτης, εκτός της παραμέτρου της κατά μήκος κλίσης (που δίνεται επίσης άμεσα από το κλισίμετρο αλλά όχι με ικανοποιητική ακρίβεια), προκύπτει μετά από κατάλληλη μαθηματική επεξεργασία των στοιχείων θέσης και προσανατολισμού, που δίνει το σύστημα GPS του οχήματος, μετά τις σχετικές αναγωγές για την γραμμή αναφοράς. Η επεξεργασία αυτή περιλαμβάνει δύο βασικά στάδια. Στο πρώτο γίνεται αναγνώριση του τύπου των γεωμετρικών στοιχείων, δηλαδή για το αν πρόκειται για κλωθοειδή, ευθυγραμμία, κυκλικό τόξο, κεκλιμένη ευθυγραμμία ή τόξο στρογγύλευσης μηκοτομής, καθώς και προσδιορισμός της ΧΘ της αρχής και του τέλους του κάθε στοιχείου (σχ. 3). Στο δεύτερο στάδιο προσδιορίζονται οι χαρακτηριστικές παράμετροι του κάθε ενός στοιχείου μελέτης, που αναγνωρίστηκε στο πρώτο στάδιο, δηλαδή οι τιμές των ακτίνων των οριζόντιων κυκλικών τόξων και των κατακόρυφων κοίλων ή κυρτών τόξων στρογγύλευσης, καθώς και η παράμετρος Α της κλωθοειδούς (σχ. 4).

Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με προσαρμογή (curve fitting) στο διακεκριμένο γωνιακό διάγραμμα (διάγραμμα γωνίας διεύθυνσης) ή απ' ευθείας στο διάγραμμα καμπυλότητας, π.χ. του άξονα της οδού, των χαρακτηριστικών καμπυλών, που αντιστοιχούν σε κάθε ένα από τα προσαναφερθέντα στοιχεία μελέτης. Τα διαγράμματα αυτά προκύπτουν άμεσα ή έμμεσα από τα στοιχεία θέσης και προσανατολισμού του κινηματικού GPS του οχήματος. Ο λόγος που χρησιμοποιούνται τα διαγράμματα αυτά και όχι άμεσα οι τιμές θέσης του GPS είναι ότι οι καμπύλες του γωνιακού διαγράμματος ή του διαγράμματος καμπυλότητας, σε αντίθεση με την αναλυτική μορφή των καμπυλών των στοιχείων μελέτης μιας οδού, είναι καμπύλες απλές (ευθείες ή παραβολές δευτέρου βαθμού), που μπορούν εύκολα και με απόλυτη ακρίβεια να προσαρμοστούν σε διακεκριμένα διαγράμματα τιμών.

Η προσαρμογή των καμπυλών είτε στο γωνιακό είτε στο διάγραμμα καμπυλότητας γίνεται με εφαρμογή της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων, η οποία ενδείκνυται στην περίπτωση αυτοματοποιημένων διαδικασιών υπολογισμού. Εξίσου όμως ικανοποιητικά αποτελέσματα μπορούν να ληφθούν και με γραφική προσαρμογή των καμπυλών, εφόσον η εφαρμογή αυτοματοποιημένων μεθόδων δεν είναι πρόσφορη.

Η δεύτερη ομάδα στοιχείων μελέτης προκύπτει κυρίως από την εμπρόσθια μηχανή λήψης, εκτός από την επίκλιση, η οποία δίνεται άμεσα από το ψηφιακό κλισίμετρο, που είναι προσαρμοσμένο στον οπίσθιο άξονα, μετά την αφαίρεση της επίδρασης των εππαχύνσεων.

5.2. Προσδιορισμός της θέσης των θεματικών οντοτήτων

Με τον καθορισμό της γραμμής αναφοράς ενός οδικού τμήματος, έχει οριστεί πλέον το 'επικαμπύλιο' σύστημα αναφοράς, που θα χρησιμοποιηθεί στη βάση δεδομένων του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) για τον εντοπισμό της θέσης κάθε πληροφοριακού στοιχείου που αφορά τον εξοπλισμό της οδού (οριζόντια και κατακόρυφη σήμανση, ηλεκτροφωτισμός, τεχνικά έργα, εγκαταστάσεις παθητικής προστασίας κλπ.). Ο προσδιορισμός της θέσης του εξοπλισμού της οδού μπορεί να προκύπτει άμεσα από τα καταγραφικά δεδομένα των μηχανών λήψης, όπως π.χ. η αρχή και το πέρας ενός πλευρικού μεταλλικού στηθαιού ή η θέση μιας πινακιδογέφυρας, με απλή αναφορά στην ΧΘ, που καταγράφει συνεχώς το GPS του οχήματος (εικ. 1). Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις απαιτείται ένας πιο σύνθετος υπολογισμός της θέσης ενός στοιχείου του εξοπλισμού της οδού, που προκύπτει με τον προσδιορισμό της απόλυτης θέσης από δύο τουλάχιστον διαδοχικές θέσεις του οχήματος, εφαρμόζοντας την μέθοδο της εμπροσθοτομίας με λήψη δεδομένων από τις αντίστοιχες εικόνες.

Επισημαίνεται ότι τα πληροφοριακά δεδομένα, που καταγράφονται από το σύστημα, δίνουν την δυνατότητα πολλαπλών προσδιορισμών ορισμένων στοιχείων της οδού. Ένα τέτοιο στοιχείο είναι π.χ. η ΧΘ της αρχής και του τέλους ενός τεχνικού έργου, η οποία μπορεί να προκύψει τόσο άμεσα, από την πλευρική μηχανή λήψης με ανάγνωση των δεδομένων θέσης κατά την στιγμή διέλευσης του κατακόρυφου νημάτος της από την αρχή ή το τέλος του τεχνικού, όσο και έμμεσα, μέσω εμπροσθοτομίας.

5.3. Ακρίβειες

Οι ακρίβειες υπολογισμού των στοιχείων μελέτης της οδού και της θέσης του εξοπλισμού της οδού και των τεχνικών της από το αναπτυχθέν σύστημα είναι απόλυτα ικανοποιητικές για τις απαιτήσεις μιας τράπεζας δεδομένων οδών. Όπως αποδείχτηκε με τις μέχρι τώρα μετρήσεις, το σφάλμα υπολογισμού των ακτίνων καμπυλότητας είναι μικρότερο του 5% και των επικλίσεων μικρότερο του 1%, ενώ η απόλυτη θέση του άξονα της οδού, των τεχνικών έργων και του εξοπλισμού της οδού προσδιορίζεται με ακρίβεια καλύτερη από 2 μέτρα.

6. Σύστημα διαχείρισης καταγραφών και δεδομένων

Οι συλλεγόμενες πληροφορίες της καταγραφής του οδικού δικτύου εμπεριέχουν ένα διπλό χαρακτήρα. Αφενός αντιπροσωπεύουν τη χωρική κατανομή της θέσης του άξονα των οδικών τμημάτων (γραφικά δεδομένα), αφετέρου πλαισιώνουν τη θέση του άξονα με ιδιότητες, όπως ευθυγραμμία, χιλιομετρική θέση, πινακίδες σήμανσης, φωτισμός, διασταυρώσεις, κατά μήκος κλίση κλπ., που αποτελούν ποιοτικού ή ποσοτικού χαρακτήρα πληροφορίες, ανηγμένες κατά μήκος του οδικού δικτύου. Οι πληροφορίες καταγράφονται, επεξεργάζονται, διαχειρίζονται και αποδίδονται σε ψηφιακή μορφή με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή.

6.1. Σχεδιασμός συστήματος διαχείρισης ψηφιακών αρχείων

Το καταλληλότερο ψηφιακό περιβάλλον για την αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων της καταγραφής του οδικού δικτύου προϋποθέτει την αξιοποίηση της τεχνολογίας των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ). Η τεχνολογία των ΣΓΠ παρέχει προϊόντα - πακέτα λογισμικού - κατάλληλα να συνδυάζουν τα χωρικά δεδομένα και να τα συσχετίζουν με τα περιγραφικά τους χαρακτηριστικά. Το σύστημα διαχείρισης των ψηφιακών αρχείων της καταγραφής του οδικού δικτύου στην ουσία απαιτεί την ανάπτυξη ενός ειδικού ΣΓΠ, προσαρμοσμένου στις εξειδικευμένες ανάγκες των χρηστών που θα το αξιοποιούν. Οι ανάγκες αυτές σε γενικευμένη μορφή είναι:

- Το σύστημα να μπορεί να υλοποιείται σε διαφορετικής δυναμικότητας υπολογιστικά περιβάλλοντα (προσωπικοί υπολογιστές - σταθμοί εργασίας).
- Οι χρήστες να μην είναι απαραίτητα εξειδικευμένοι γνώστες της τεχνολογίας των ΣΓΠ
- Να αναπτυχθεί ένα σύστημα ανοικτό στη ενημέρωση, τροποποίηση και επέκταση.
- Το πληροφοριακό περιεχόμενο να υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων για βελτίωση της χάραξης ή της σήμανσης ή άλλων χαρακτηριστικών του οδικού δικτύου..

Για την ικανοποίηση των αναγκών αυτών σχεδιάστηκε ένα σύνθετο στη δομή του σύστημα που να επιτρέπει όμως τη φιλική αλληλεπίδρασή του με το χρήστη. Το σύστημα χρησιμοποιεί σαν γραφικό κέλυφος το σχεδιαστικό πακέτο λογισμικού AutoCAD, τα περιγραφικά δεδομένα είναι οργανωμένα σε αρχεία ενός σχεσιακού μοντέλου βάσης

δεδομένων (DbaseIII Plus) και το λογισμικό επικοινωνίας χρήστη - υπολογιστή υλοποιήθηκε σε περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών με αντικειμενοστραφή κώδικα (Visual Basic). Η επικοινωνία των ανεξαρτήτων μονάδων λογισμικού του συστήματος εξασφαλίζεται με τη βοήθεια του λειτουργικού περιβάλλοντος των WINDOWS.

6.2. Μοντέλο δεδομένων

Για την αναπαράσταση του άξονα της οδού δημιουργήθηκε μια αντιστοιχία μεταξύ γεωμετρικών στοιχείων του άξονα και των γεωμετρικών οντοτήτων - αντικειμένων του AutoCAD. Στο γραφικό αρχείο αποθηκεύεται η οριζοντιογραφία του άξονα της οδού σαν μια ακολουθία γεωμετρικών στοιχείων: ευθυγραμμιών, κλωθοειδών και κυκλικών τόξων. Η διαδικασία δημιουργίας των γραφικών αντικειμένων στο περιβάλλον του σχεδιαστικού πακέτου δεν προϋποθέτει να είναι γνωστά όλα τα βασικά γεωμετρικά μεγέθη των ευθυγραμμιών και των καμπύλων τόξων. Η αντιστοιχία των γραφικών αντικειμένων στη ψηφιακή βάση με τα γεωμετρικά στοιχεία του άξονα, από τα οποία αποτελείται μια οδική χάραξη, καθώς και τα απαιτούμενα γεωμετρικά μεγέθη για να κατασκευασθούν σε ψηφιακή μορφή παρουσιάζεται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Γραφικές οντότητες ψηφιακής βάσης δεδομένων του άξονα.

Γεωμετρικό στοιχείο οδού	Γραφικό αντικείμενο του AutoCAD	Απαιτούμενη γεωμετρική πληροφορία για να σχεδιαστεί στο AutoCAD
Ευθεία	Line	Συν/νες αρχής-τέλους (X1,Y1-X2,Y2)
Κυκλικό τόξο	Arc	Συν/νες αρχής-τέλους, ακτίνα καμπυλότητας (X1,Y1-X2-Y2-R)
Κλωθοειδής	Polyline	Λίστα συν/νων (X1,Y1-X2,Y2-...-Xn,Yn)

Εκτός της κλωθοειδούς, τα δύο άλλα γεωμετρικά στοιχεία δημιουργούνται αυτούσια από το περιβάλλον του σχεδιαστικού πακέτου και αποθηκεύονται σαν γραφικά αντικείμενα. Επειδή όμως η κλωθοειδής καμπύλη δεν υποστηρίζεται άμεσα από το AutoCAD σαν γραφική οντότητα, αντιμετωπίστηκε σαν αντικείμενο polyline, με ιδιότητες τα βασικά γεωμετρικά μεγέθη της κλωθοειδούς: L, A και R (L: συνολικό μήκος, A: παράμετρος κλωθοειδούς και R: ακτίνα καμπυλότητας στη 'θέση' L, αντίστοιχα). Από τα βασικά γεωμετρικά μεγέθη υπολογίζονται συντεταγμένες ενδιαμέσων σημείων της κλωθοειδούς και με βάση τα σημεία αυτά ορίζεται η οντότητα polyline. Για βελτίωση της ακρίβειας και σχεδιαστικής ποιότητας, η οντότητα polyline εξομαλύνεται με τη βοήθεια συναρτήσεων splines.

Στην γραφική βάση δεδομένων κάθε γεωμετρικό αντικείμενο, εκτός των βασικών ιδιοτήτων που του έχουν ορισθεί (χρώμα, όνομα layer, κλπ.), έχει προσαρτημένες πρόσθετες

πληροφορίες: για την ΧΘ αρχής και το ανάπτυγμά του. Οι πληροφορίες αυτές είναι απαραίτητες για να παρεμβάλλεται η ΧΘ ενδιάμεσων σημείων του αντικειμένου. Οι περιγραφικές πληροφορίες οργανώνονται σε αρχεία ανάλογα με το είδος τους. Σε κάθε ένα από τα αρχεία αυτά καταχωρείται η ΧΘ στην οποία αναφέρεται το χαρακτηριστικό, αν αυτό είναι σημειακού χαρακτήρα, ή ΧΘ αρχής και τέλους αν είναι γραμμικού χαρακτήρα.

Η σύνδεση μεταξύ γεωμετρικής και περιγραφικής πληροφορίας γίνεται μέσω της ΧΘ, δεδομένου ότι η ΧΘ είναι η βασική παράμετρος για τον ορισμό της θέσης κατά μήκος του άξονα της οδού. Έτσι, κάθε φορά που ο χρήστης αναζητά πληροφορίες για συγκεκριμένο σημείο για το οποίο ξέρει τις συντεταγμένες του, υπολογίζεται η ΧΘ της προβολής του σημείου αυτού επάνω στον άξονα της οδού και στην συνέχεια γίνεται η αναζήτηση και η ανάγνωση από τα αντίστοιχα αρχεία της περιγραφικής πληροφορίας.

Οι περιγραφικές πληροφορίες αναλυτικά περιλαμβάνουν τις ενότητες: των χαρακτηριστικών του άξονα, της σήμανσης, των διασταυρώσεων, των τεχνικών έργων, του εξοπλισμού ασφαλείας, των σταθμών εξυπηρέτησης, του είδους του περιβάλλοντος χώρου και των διοδίων.

6.3. Απόδοση δεδομένων

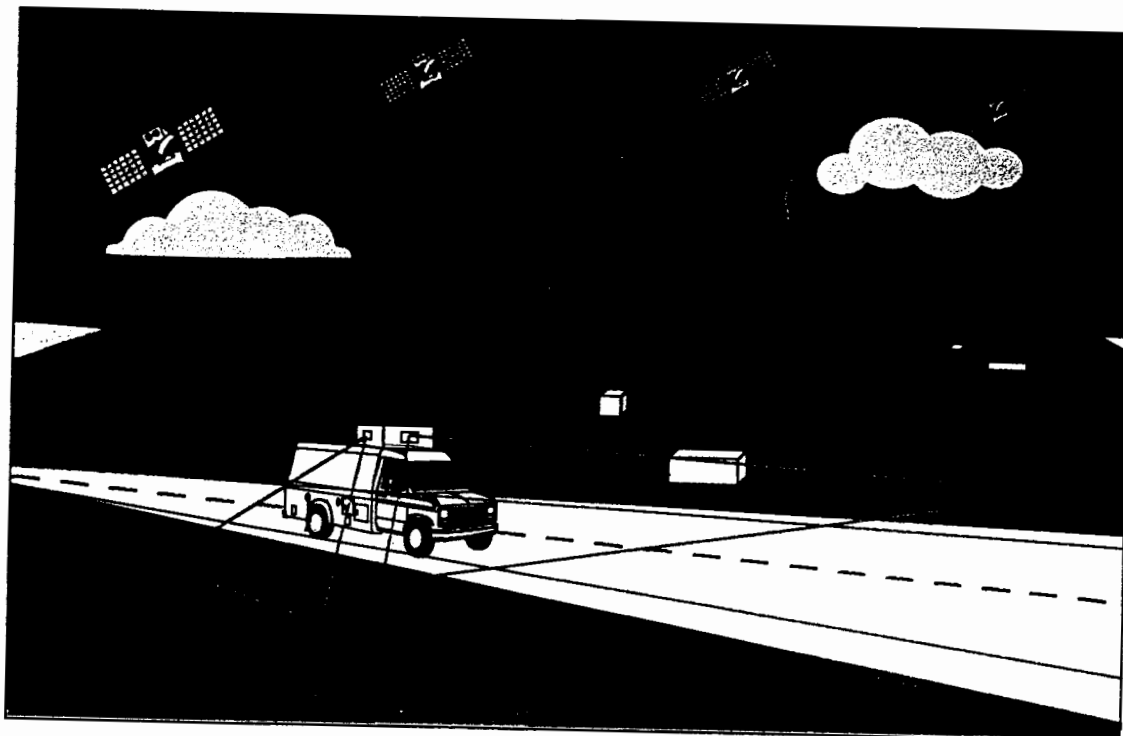
Η ανάκτηση της πληροφορίας από το σύστημα και η απόδοση των δεδομένων καθοδηγείται από το λογισμικό επικοινωνίας χρήστη - υπολογιστή (Graphical User Interface - GUI). Το λογισμικό αυτό διαχειρίζεται την επικοινωνία του χρήστη με το σχεδιαστικό πακέτο, τη βάση δεδομένων και επεξεργάζεται τα δεδομένα για να απαντήσει τις ερωτήσεις (queries) που συνθέτει ο χρήστης. Η απάντηση που δίνεται στο χρήστη του συστήματος συνδυάζει πολλαπλές γραφικές ή μη γραφικές μορφές απόδοσης. Για παράδειγμα, ο χρήστης μπορεί να ανακτήσει την πληροφορία μέσω χαρτών (οριζοντιογραφία), διαγραμμάτων (μηκοτομή, διαγράμματα επικλίσεων κλπ.), εικόνων (σήμανση), πινάκων ή συνδυασμό όλων αυτών των μέσων. Οι πληροφορίες εμφανίζονται σε ανεξάρτητα τμήματα της οθόνης (παράθυρα), τα οποία ο χρήστης μπορεί να ενεργοποιεί-απενεργοποιεί, σμικρύνει-μεγεθύνει, ανάλογα με την επιθυμία του. Στο σχήμα 5 παρουσιάζεται, σε διαγραμματική μορφή, ένα μέρος της πληροφορίας που ο χρήστης ανακτά από το σύστημα.

7. Συμπεράσματα

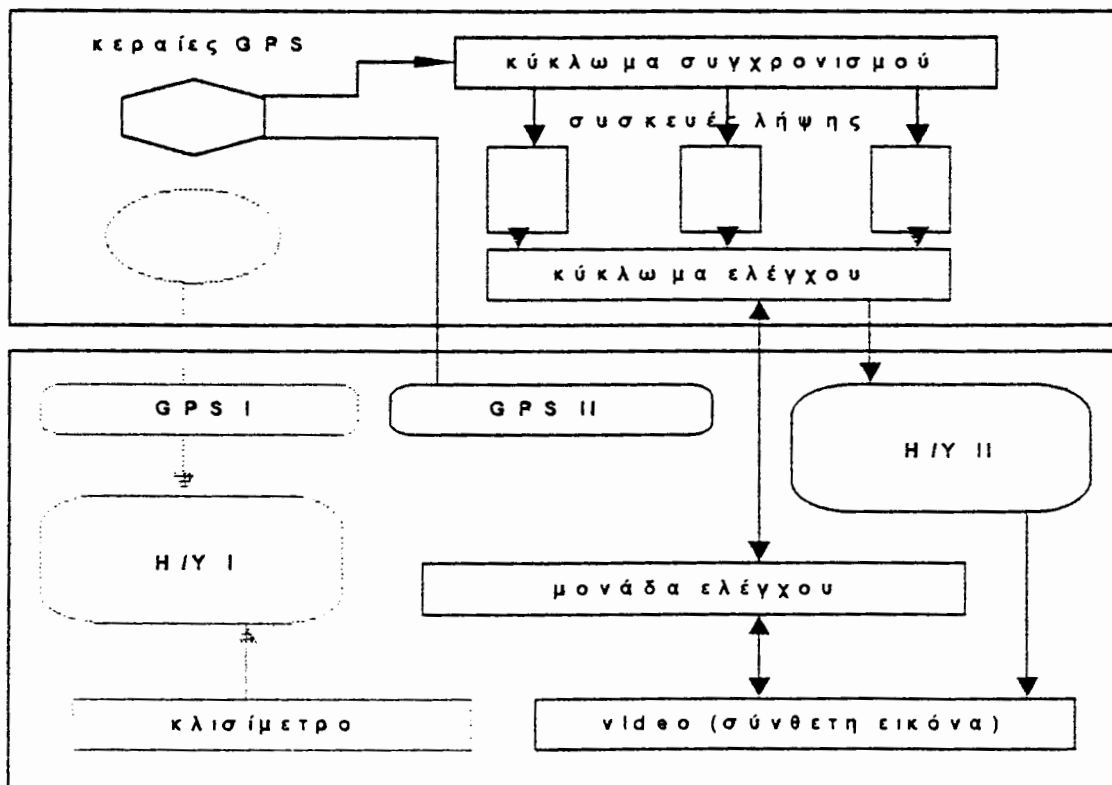
Σήμερα (Οκτώβριος '95), το σύστημα βρίσκεται ουσιαστικά στο στάδιο της ολοκληρωμένης ανάπτυξης και μόνο μικρές βελτιώσεις προβλέπεται να γίνουν.

Ένας πλήρης πειραματικός έλεγχος του όλου συστήματος διαπίστωσε ότι οι απαιτήσεις, που τέθηκαν από την αρχή σε συνεργασία με τις αρμόδιες υπηρεσίες του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., ικανοποιούνται. Όσο αφορά την πιλοτική εφαρμογή, ολοκληρώθηκε η καταγραφή ενός τμήματος περίπου 100 χιλιομέτρων και η αναγνώριση και εγκατάσταση των σταθμών αναφοράς για άλλα 400 χιλιόμετρα.

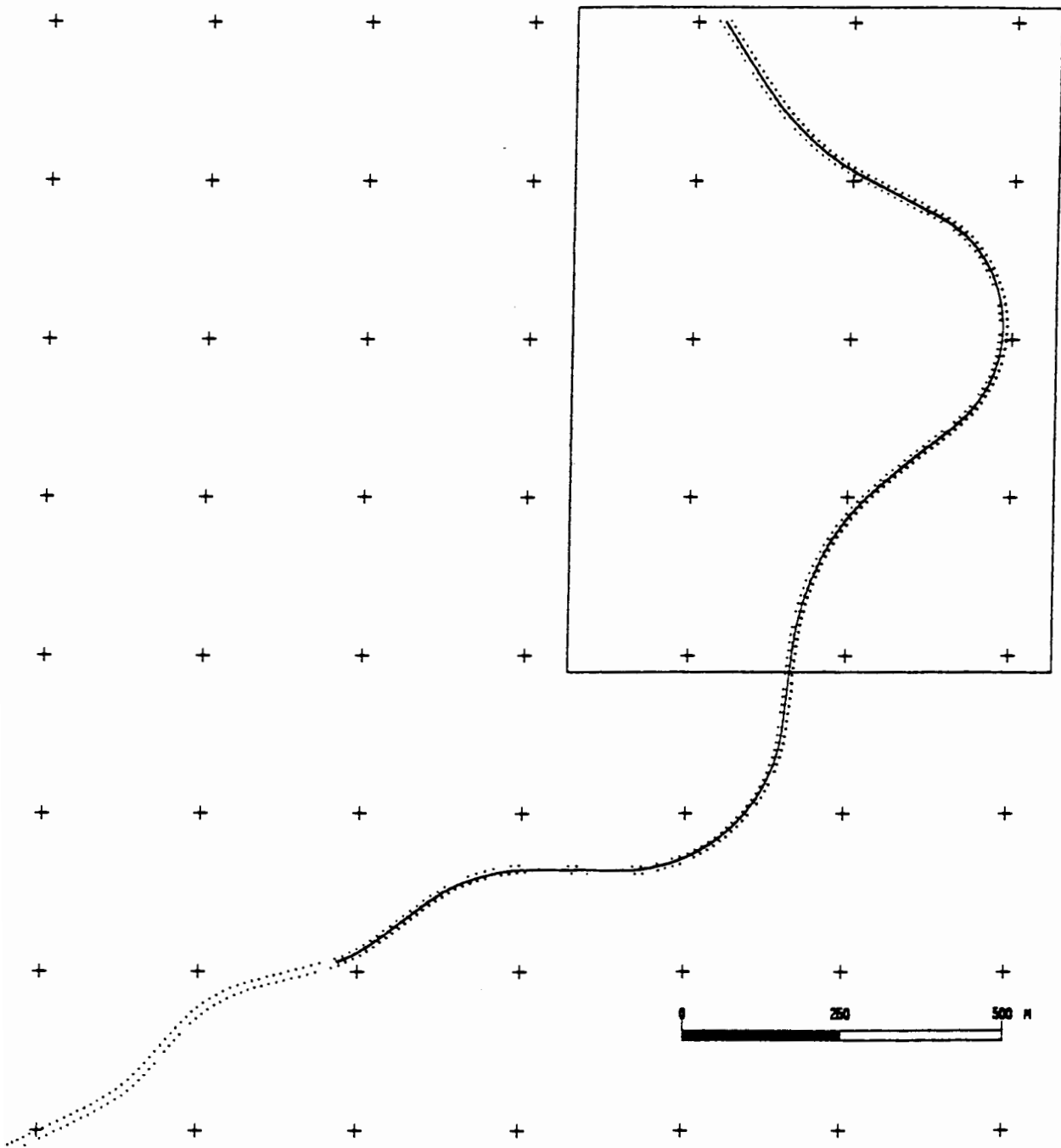
Με την ολοκλήρωση του πιλοτικού προγράμματος καταγραφής των 1000 χιλιομέτρων, την κριτική που πρέπει να ακολουθήσει και τις ενδεχόμενες βελτιώσεις ή και συμπληρώσεις στο σύστημα που αναπτύχθηκε από το Ε.Μ.Π., πιστεύεται ότι θα είναι δυνατόν να γίνει γρήγορα, οικονομικά και αξιόπιστα η καταγραφή του συνόλου του κύριου οδικού δικτύου της χώρας με τη χρήση της μεθόδου αυτής.



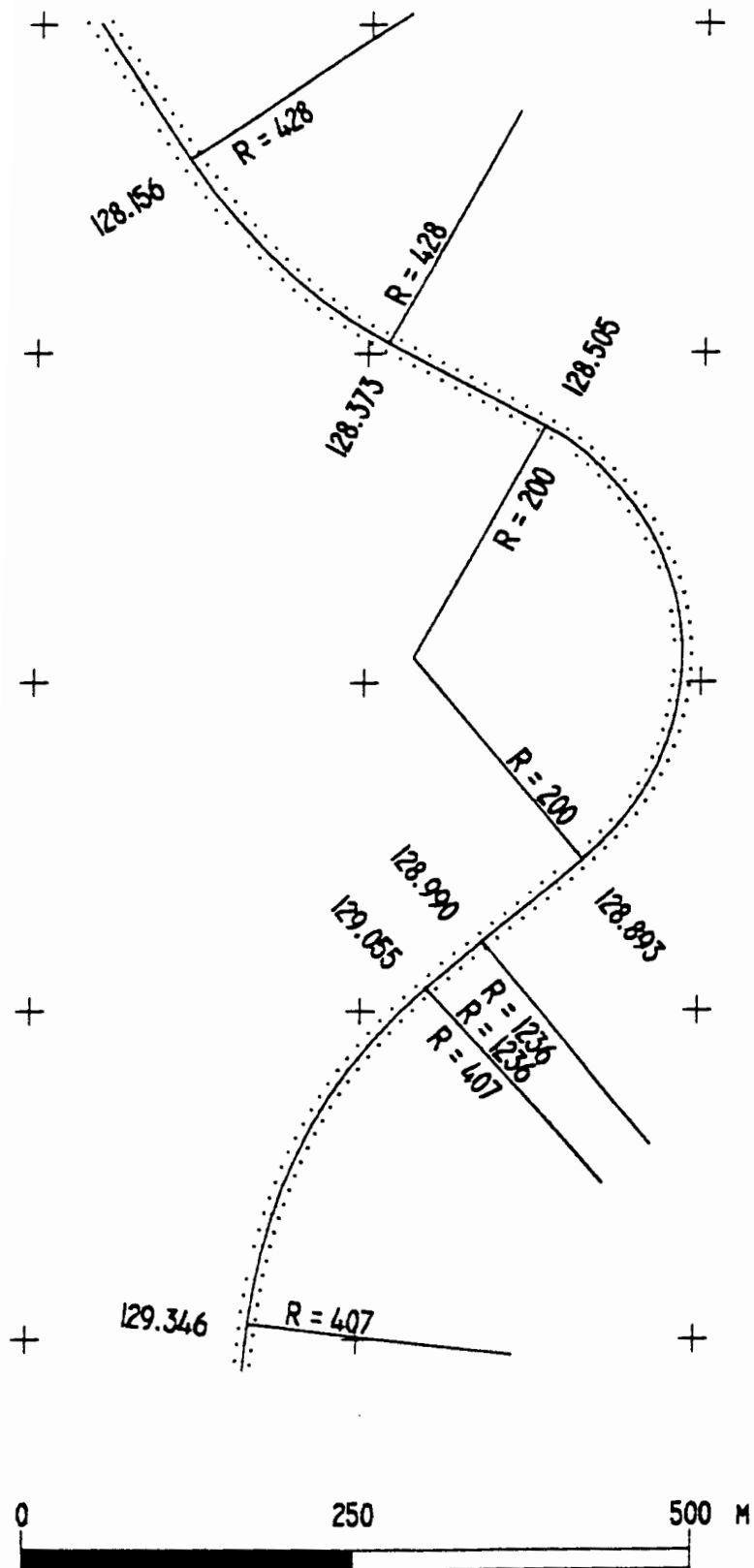
Σχήμα 1. Αρχή εντοπισμού.



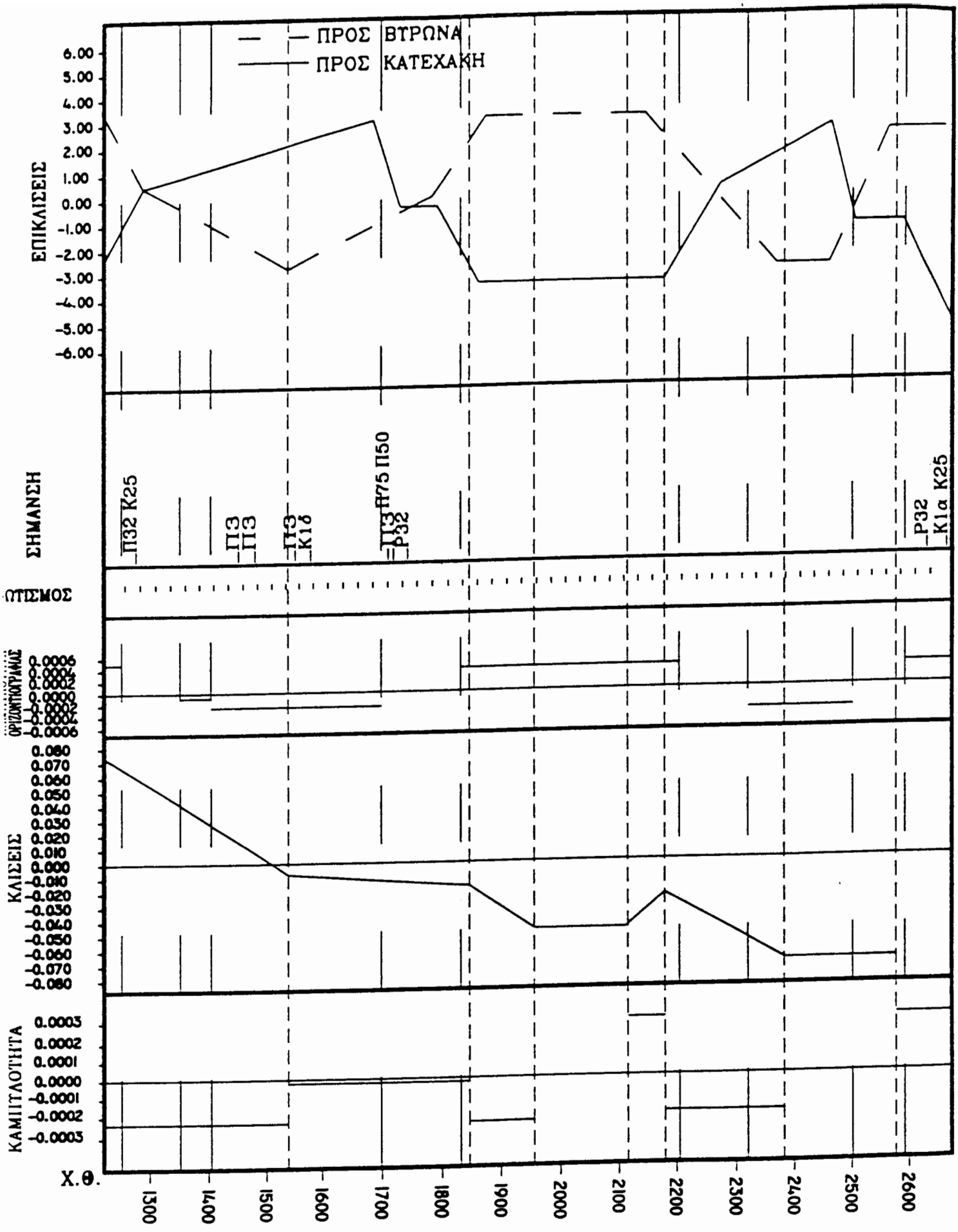
Σχήμα 2. Διάρθρωση του συστήματος μετρήσεων.



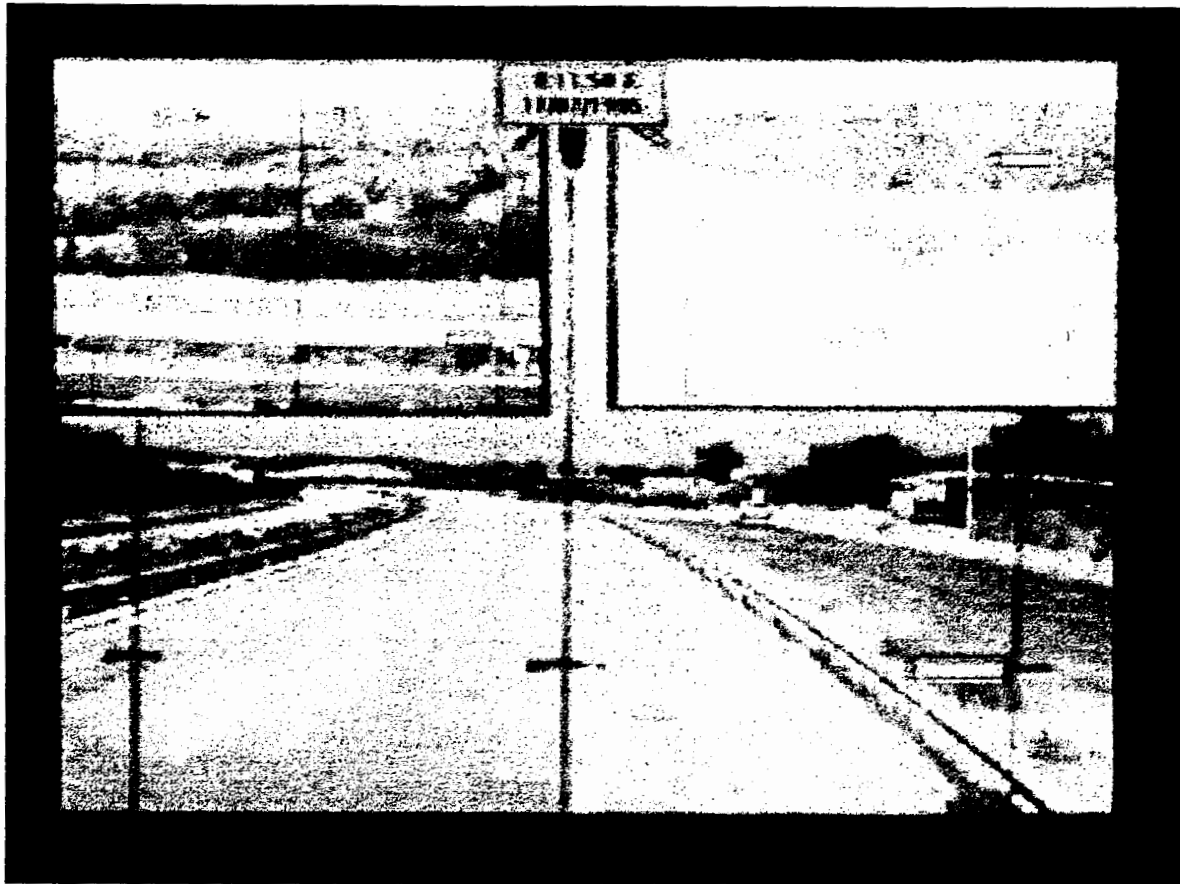
Σχήμα 3. Τροχιά του οχήματος σε δύο κατευθύνσεις και προσαρμογή του άξονα.



Σχήμα 4. Προσαρμογή ακτίνων καμπυλότητας στον άξονα της οδού.



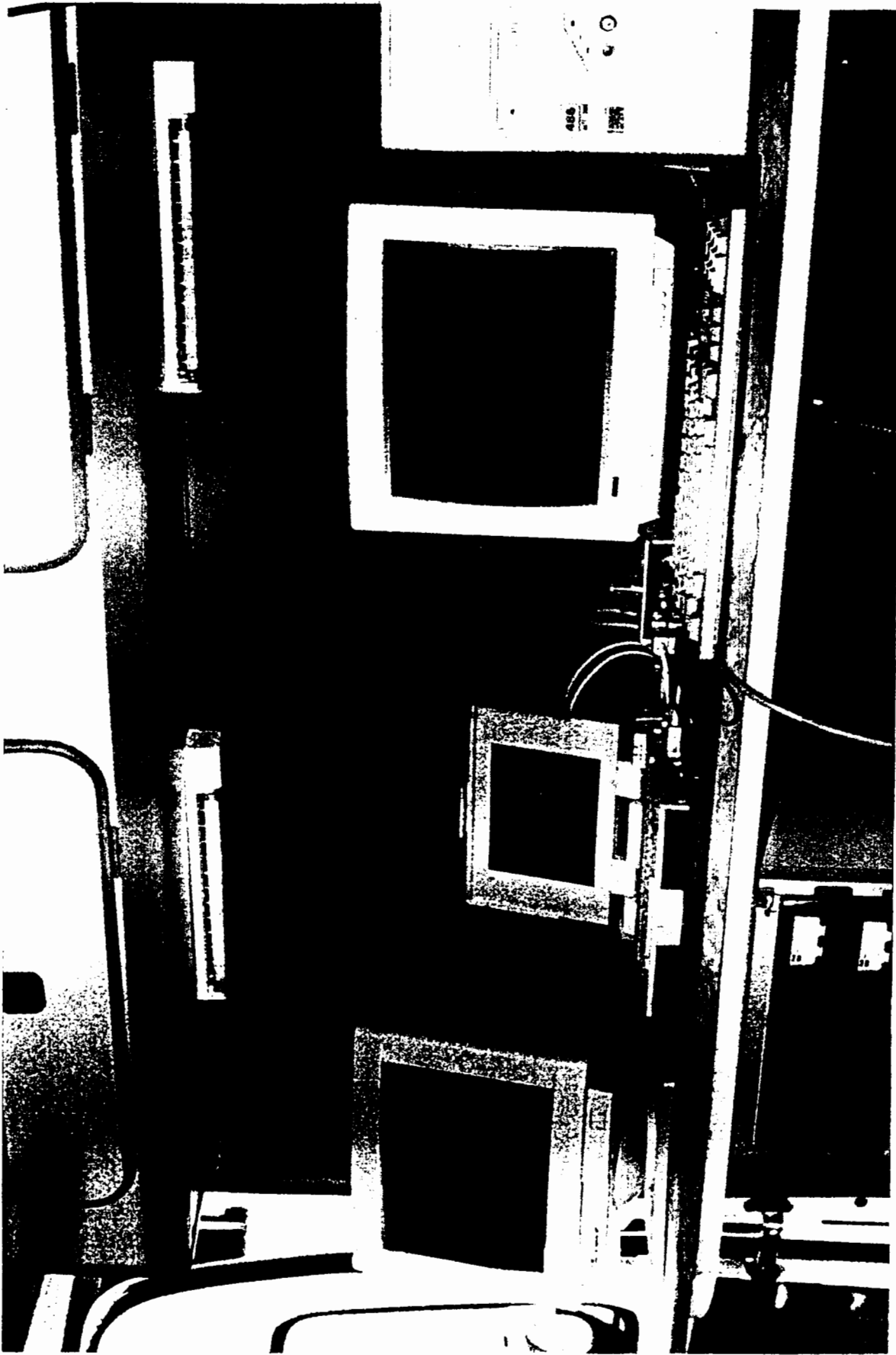
Σχήμα 5. Διαγραμματική απόδοση πληροφορικών του συστήματος.



Εικόνα 1. Σύνθετη εικόνα από τις τρεις μηχανές λήψης.



Εικόνα 2. Το όχημα με το 'κιβώτιο' μετρήσεων.



Εικόνα 3. Εσωτερικό του οχήματος.