

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΑ ΣΤΗ ΛΕΥΚΩΣΙΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

*Γεώργιος Τσέγας¹, Φώτιος Μπάρμπας¹, Νικόλαος Μουσιόπουλος¹,
Ελευθέριος Χουρδάκης¹, Χρύσανθος Σαββίδης²*

¹Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124 Θεσσαλονίκη

²Τμήμα Επιθεώρησης Εργασίας, Υπουργείο Εργασίας, Πρόνοιας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων,
1304 Λευκωσία

Περίληψη

- Στόχοι του έργου
- Εφαρμογή Λευκωσίας
- Το σύστημα διαχείρισης ποιότητας αέρα
- Ενσωμάτωση δεδομένων επιπέδου οδού
- Βελτιώσεις στον υπολογιστικό πυρήνα
- Συμπεράσματα

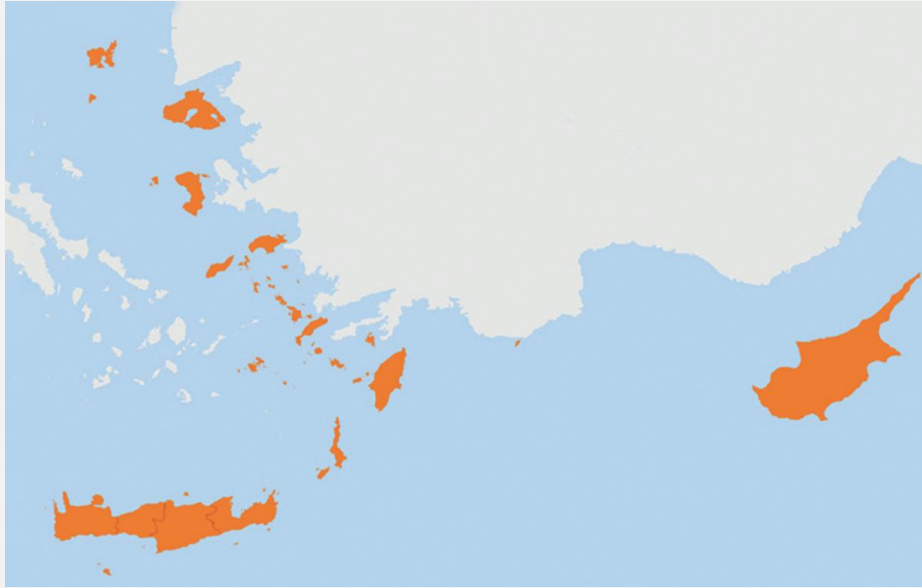
ΔΕΣΜΟΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

**Step2Smart: Διασυνοριακή Συνεργασία
Νησιωτικών Αστικών Περιοχών για τη Βελτίωση
των Περιβαλλοντικών Συνθηκών μέσω Χρήσης
Συστημάτων Ευφών Μεταφορών**

Η Πράξη συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης - Ε.Τ.Π.Α.) μέσα στο πλαίσιο του Προγράμματος Συνεργασίας (ΠΣ) Interreg V-A «Ελλάδα – Κύπρος 2014-2020» και από Εθνικούς πόρους της Ελλάδας και της Κύπρου.



Step2Smart: Στόχοι και μεθοδολογία



Ο βασικός στόχος της Πράξης είναι η δημιουργία Διαλειτουργικού Συστήματος Ανοιχτής Αρχιτεκτονικής για την προώθηση της βιώσιμης διαχείρισης των αστικών μεταφορών και τη μέτρηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, χρησιμοποιώντας Συστήματα Ευφύων Μεταφορών (ΣΕΜ).

Μεθοδολογία

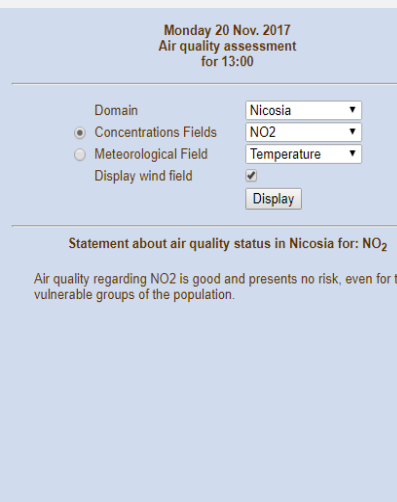
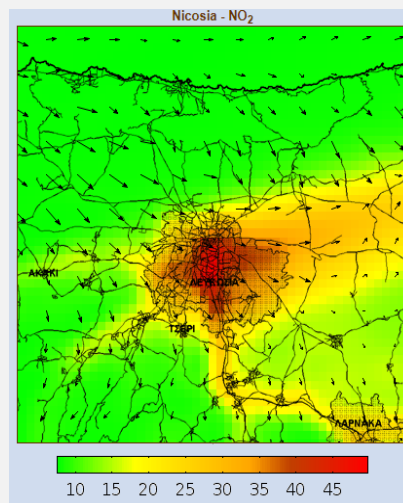
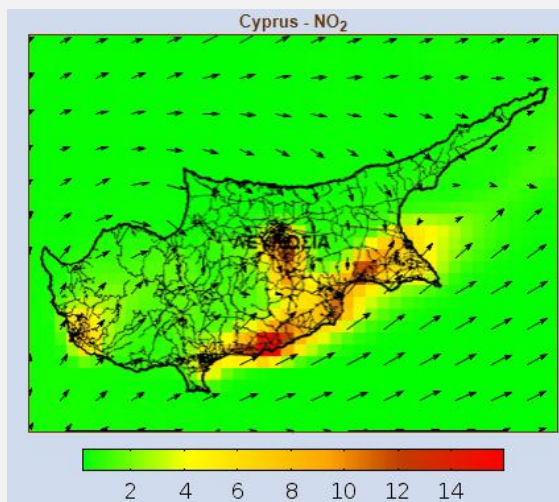
❑ Αξιοποίηση υφιστάμενων συστημάτων μέτρησης κυκλοφορίας (Πράξη ΔΙΑΥΛΟΣ & ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ - www.traffic4cyprus.org.cy & www.dianlos.org.cy) και του υφιστάμενου Συστήματος Διαχείρισης Ποιότητας Αέρα (ΣΔΠΑ)

❑ Αναβάθμιση/διασύνδεση και επέκταση των παραπάνω συστημάτων και πιλοτική εφαρμογή σε 3 επιλεγμένες πόλεις (Λευκωσία, Χανιά, Κως)

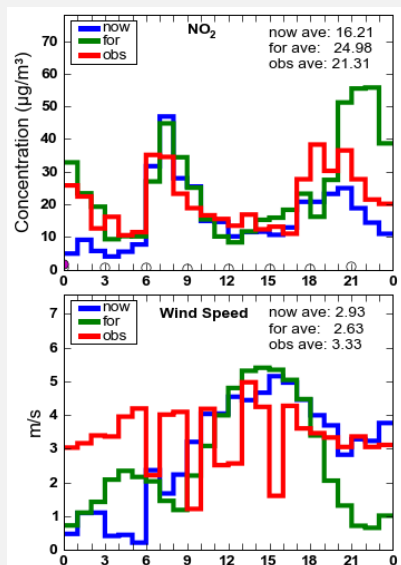
❑ Δημιουργία πληρέστερης εικόνας της κυκλοφορίας και της σχετιζόμενης με αυτήν ατμοσφαιρικής ρύπανσης κατά μήκος των κύριων οδικών αξόνων και των επιλεγμένων πόλεων στο σύνολό τους



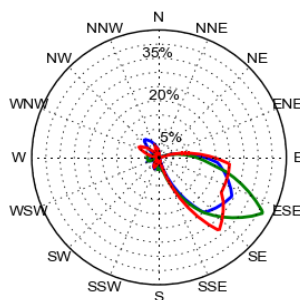
Step2Smart: Η Εφαρμογή στη Λευκωσία



- Επιχειρησιακή εφαρμογή λύσεων ST (traffic control, on-board sensors, VMS, congestion limiting)
- Πιλοτική εφαρμογή 8 μηνών
- 2 σημεία εφαρμογής
- Αποτίμηση τοπικών επιδράσεων στην ποιότητα αέρα με παροχή επιχειρησιακής ανάδρασης
- Βελτίωση υπολογιστικού πυρήνα



Statistical Index	Nowcasting	Forecasting
BIAS	-5.11	3.66
Ave. Norm. BIAS	-0.24	0.17
Fract. BIAS	-0.27	0.16
RMSE	8.87	12.35
NMSE	0.23	0.29
CC	0.70	0.59
IA	0.77	0.67



- επικύρωση στη βάση τοπικών μετρήσεων
- Αφομοίωση δεδομένων

An EZM-based operational Air Quality Management System

<http://www.airquality.gov.cy/>

Εφαρμογή Λευκωσίας: Ενημέρωση του Κοινού



Mobile App “Air Quality Cyprus”



<http://www.airquality.gov.cy>

Δημόσια Προσβάσιμη Πληροφορία

Εργαλεία: Δίκτυο Παρακολούθησης Ποιότητας Αέρα



Εργαλεία: Νέες Τεχνολογίες Αισθητήρων

Πηγή: SmartAQNet project



Standard
(gravimetric)

Professional
(mostly optical)

Consumer
(mostly optical)

Low-Cost
(optical)

accurate ←
stable ←
expensive ←
low temporal resolution ←
delayed ←
large ←
static ←

→ noisy
→ unstable
→ cheap
→ high temporal resolution
→ low latency
→ small
→ mobile



Εργαλεία: Νέοι Σταθμοί Κυκλοφορίας

- Εγκατάσταση δύο νέων σταθμών μέτρησης ποιότητας αέρα κυκλοφορίας
- Λεωφ. Γρίβα Διγενή πλησίον διασταύρωσης Αγίου Προκοπίου
- Διγενή Ακρίτα (Προεκ. Γρίβα Διγενη) πλησίον διασταύρωσης Αρχ. Μακαρίου
- Συνεχείς μετρήσεις NO_x και $\text{A}\Sigma_{2,5}$
- Ασύρματη τηλεμετρία

Στόχοι:

- Παρακολούθηση επίδρασης παρεμβάσεων στην ποιότητα αέρα, σε **πραγματικό χρόνο**
- Εξαγωγή **στατιστικών συσχετίσεων** ρύπανσης – φόρτων συναρτήσεως χρόνου, ημέρας
- Εξαγωγή «προσαύξησης δρόμου» για αφομοίωση από το **μοντέλο ποιότητας αέρα**



Εργαλεία: Νέοι Σταθμοί Κυκλοφορίας

- Κλιματιζόμενοι κλωβοί διαστάσεων 1,5 2,2 2,35 m
- ΑΣ_{2,5}: ES-642 Dust Monitor, Met One Instruments Inc. (forward scatter laser nephelometer)
- NO_x: Serinus 40, Ecotech (Chemiluminescence)
- Datalogger with GSM transmission
- Eaton 9130 UPS



Εργαλεία: Επιχειρησιακό Κυκλοφοριακό Σύστημα



Ministry of
Transport, Communications and Works

English

Ελλάδα - Κύπρος 2007 - 2013

Home Interactive Map Traffic Information Route Planning Information About Public Transport Parking Spaces Bike Network

Search on Map

e.g. Andrea Kalvou 28 2107 Aglantzia



Traffic data is represented with the use of colours on map and is calculated every five minutes. The data is collected from traffic detectors situated in the primary network of Nicosia and the motorways.

Hwy Limasol-Pafos

roadworks Until 07-11-19 at 23:45.

Τις περιόδους 22/7/2019 - 4/8/2019 και 26/8/2019 - 7/11/2019, καθημερινά συμπεριλαμβανομένων και Σαββατοκύριακων και αργιών, θα εκτελούνται εργασίες αποχέτευσης ομβρίων υδάτων καθώς και εργασίες κατασκευής δύο νέων ανοιγμάτων σε διάφορα τμήματα της κεντρικής νησίδας του αυτοκινητόδρομου Λεμεσού - Πάφου από τον κόμβο Επισκοπής μέχρι τη γέφυρα Πέτρας του Ρωμιού εξαιρουμένης της σήραγγας. Στα τμήματα που θα εκτελούνται οι εργασίες, οι λωρίδες ταχείας κυκλοφορίας, μήκους 350μ. περίπου και στις δύο κατευθύνσεις, θα είναι κλειστές καθ' όλο το εικοσιτετράωρο και η τροχαία κίνηση θα διοχετεύεται στις λωρίδες βραδείας κυκλοφορίας

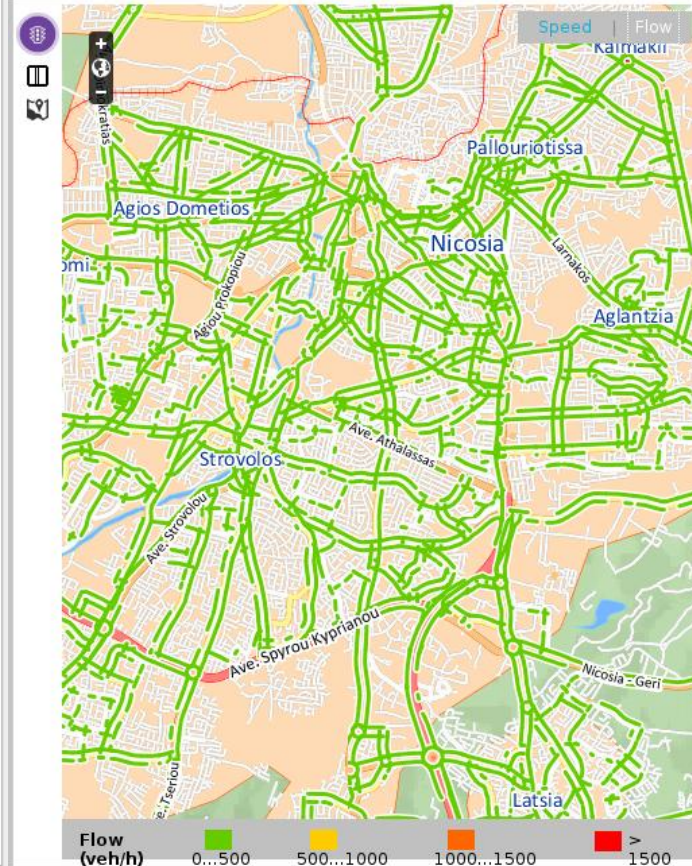
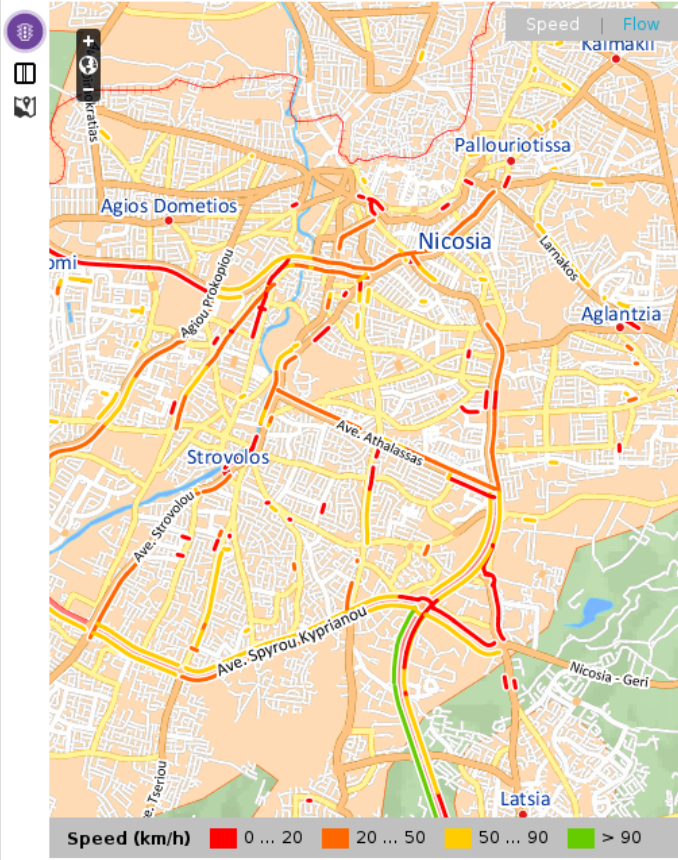
Hwy Limasol-Pafos

roadworks Until 07-11-19 at 23:45.

Τις περιόδους 22/7/2019 - 4/8/2019 και 26/8/2019 - 7/11/2019, καθημερινά συμπεριλαμβανομένων και Σαββατοκύριακων και αργιών, θα εκτελούνται εργασίες αποχέτευσης ομβρίων υδάτων καθώς και εργασίες κατασκευής δύο νέων ανοιγμάτων σε διάφορα τμήματα της κεντρικής νησίδας του αυτοκινητόδρομου Λεμεσού - Πάφου από τον κόμβο Επισκοπής μέχρι τη γέφυρα Πέτρας του Ρωμιού εξαιρουμένης της σήραγγας. Στα τμήματα που θα εκτελούνται οι εργασίες, οι λωρίδες ταχείας κυκλοφορίας, μήκους 350μ. περίπου και στις δύο κατευθύνσεις, θα είναι κλειστές καθ' όλο το εικοσιτετράωρο και η τροχαία κίνηση θα διοχετεύεται στις λωρίδες βραδείας κυκλοφορίας

roadworks Until 14-10-19 at 23:45.

Την περίοδο 18/3/2019 - 14/10/2019, ο συνδεδημένος δρόμος μεταξύ κυκλικών κόμβων ΚΟΤ και Λεωφόρου Σπύρου Κυπριανού στη Γεροσκήπου θα παραμείνει κλειστός για διεξαγωγή εργασιών ανακατασκευής του. Κατά τη διάρκεια των εργασιών, οι οδηγοί προτρέπονται να χρησιμοποιούν τις οδούς Θεάς Αφροδίτης, Γερμανίας και Αγαπήνωρος.



Current Road Traffic
Conditions & Events
www.traffic4cyprus.org.cy

www.diaavlos.org.cy

www.traffic4cyprus.org.cy

Εργαλεία: Το Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας Αέρα

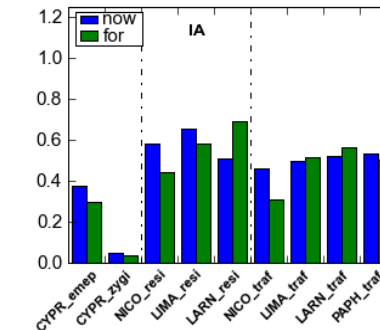
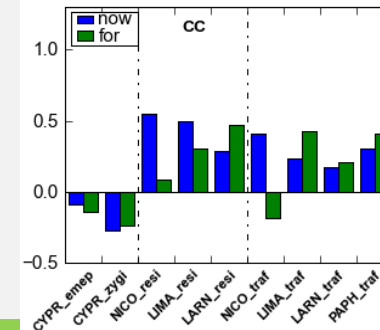
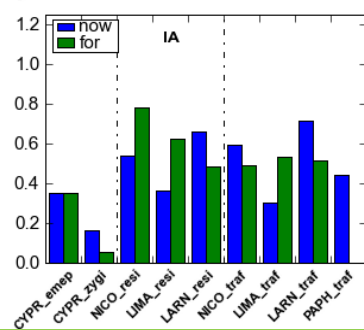
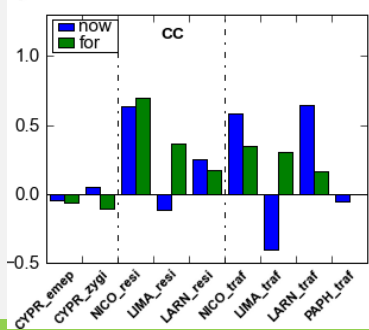
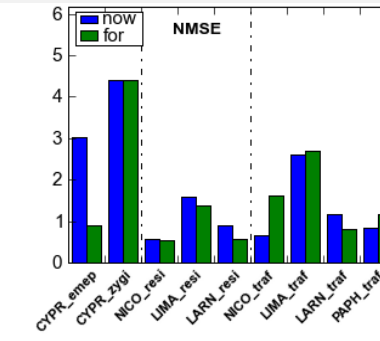
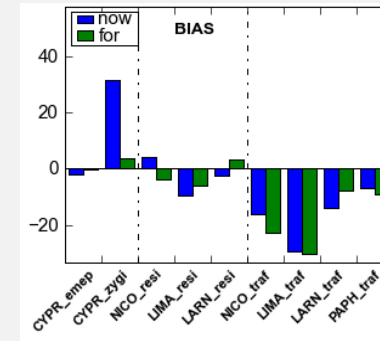
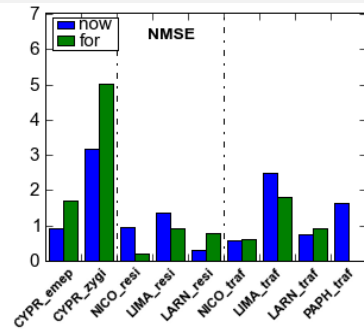
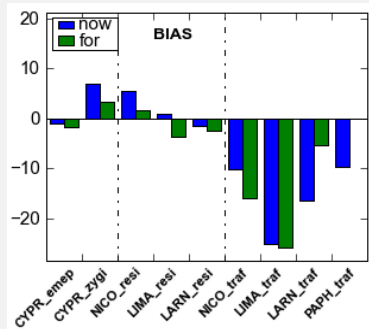
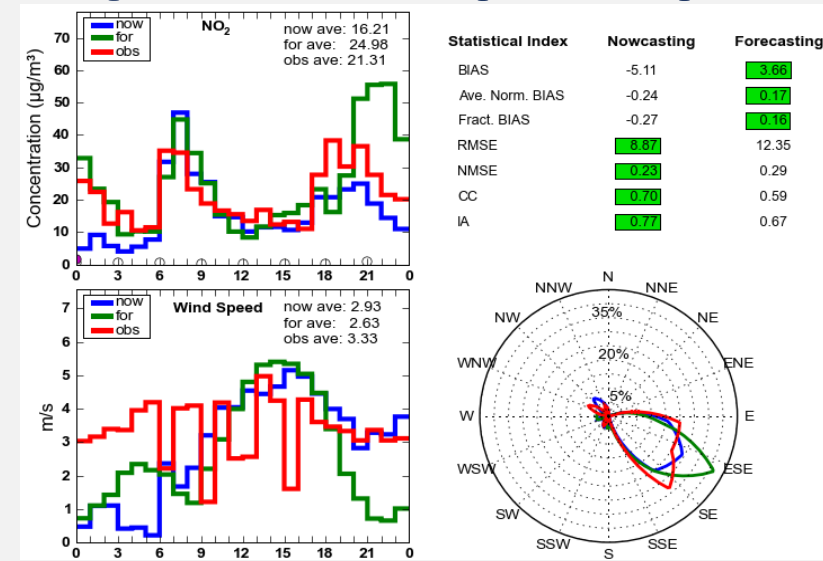
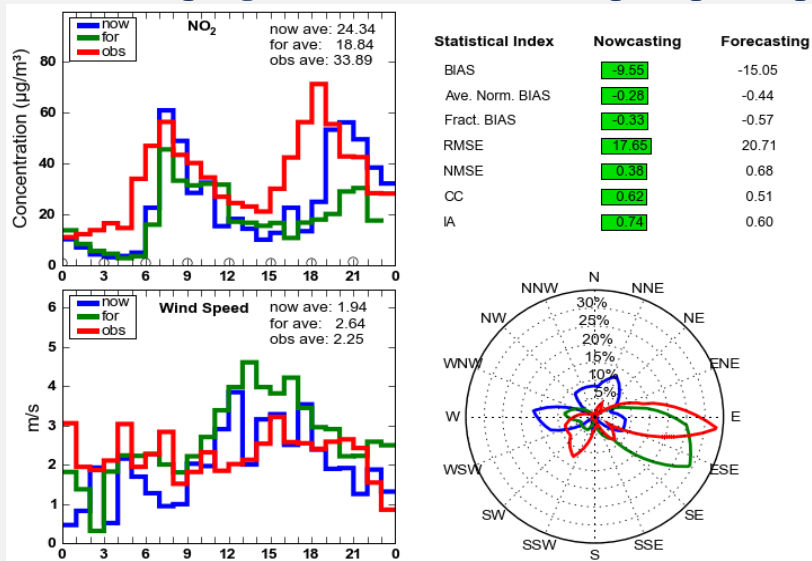
Βασική Λειτουργικότητα

- Αποτίμηση ποιότητας αέρα σε πραγματικό χρόνο (Nowcasting)
- Διεξαγωγή πρόγνωσης για την επόμενη ημέρα (Forecasting)
- Κατάστρωση και αποτίμηση προσαρμοσμένων σεναρίων (Scenario Analysis)
- Επιχειρησιακός έλεγχος και επικύρωση (Validation)
- Αφομοίωση ιστορικών δεδομένων μετρήσεων και πεδία ανάλυσης (Reanalysis)
- Προσομοίωση τυπικών μετεωρολογικών καταστάσεων
- Χρονοσειρές και πεδία συγκεντρώσεων (EC 2008/50)

Υπολογιστικός Πυρήνας

- MEMO v7, τριδιάστατο μη-υδροστατικό μοντέλο μεσοκλίμακας, εμφώλευση με 6 περιοχές, οριζόντια ανάλυση 500m, αυτόματη άντληση δεδομένων από το μοντέλο GFS
- MARSaero v5, Ουλεριανό μοντέλο διασποράς και χημικού μετασχηματισμού, χημικός μηχανισμός EMEP, υπομοντέλα δευτερογενών αιωρούμενων σωματιδίων (SIA, SOA), modal aerosols, οριζόντια ανάλυση 500m, αυτόματη άντληση δεδομένων από το σύστημα Copernicus-CAMS operational ensemble.

Εργαλεία: Χρήση Μετρήσεων για Επικύρωση



Πιλότος Λευκωσίας: Τεχνικές Προκλήσεις / Ευκαιρίες

Αποτίμηση

- Εκτίμηση επιδράσεων της παρέμβασης σε τοπική κλίμακα (πριν-μετά την υλοποίηση)
 - Κατάλληλοι στατιστικοί δείκτες → error bars?
 - Αποτίμηση συσχετίσεων συγκεντρώσεων-κυκλ. φόρτου (ανάλυση 10 min)

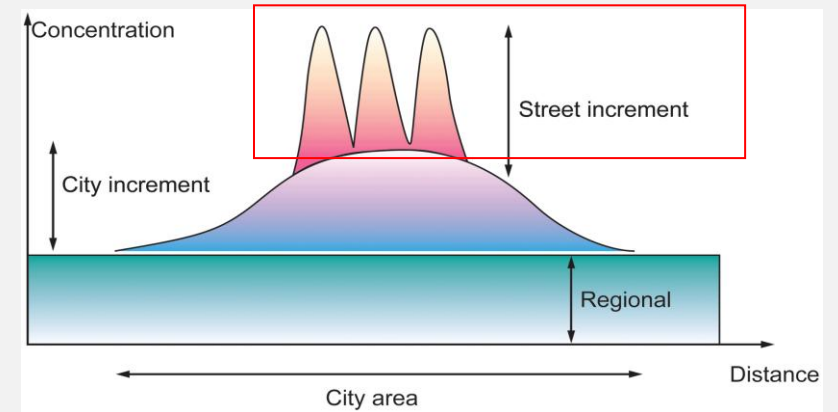
Υπολογιστικός Πυρήνας

- Η χωρική ανάλυση των 500 m είναι οριακά επαρκής, χρήση τοπικών προσαυξήσεων
- Πώς να αξιοποιηθούν καλύτερα οι συνεχείς μετρήσεις;
- Αξιοποίηση της εμπειρίας και της παροχής νέων δεδομένων για βελτίωση των επιχειρησιακών προγνώσεων

Εργαλεία: Αποτίμηση της Οδικής Συνεισφοράς

$$SI = [\sin(\theta) + 1] \cdot (X_1 \cdot UC + X_2 \cdot \frac{H}{W \cdot L} \cdot \frac{em}{ws})$$

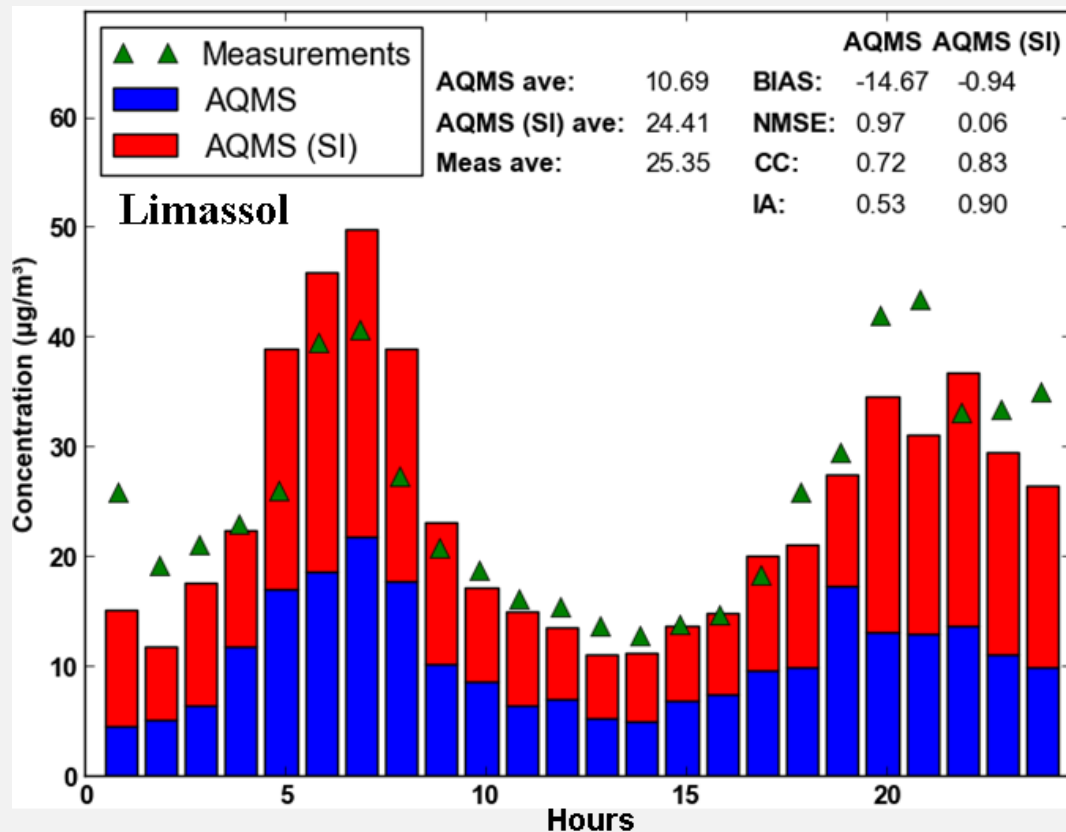
- SI: Προσαύξηση κλίμακας δρόμου ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- theta: Αζιμουθιακή γωνία προσανατολισμού
- UC: Συγκέντρωση αστικού υποβάθρου ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- L: Μήκος οδικού τμήματος (m)
- H: Μέσο ύψος κτηρίων (m)
- W: Πλάτος οδικού τμήματος (m)
- ws: Ταχύτητα ανέμου (m/s)
- em: Εκπομπές κυκλοφορίας ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{s}$)
- X_1, X_2 : Ημιεμπειρικοί Συντελεστές



- ✓ Επιλογή σταθμών κλίμακας δρόμου-υποβάθρου
- ✓ Γραμμική Παλινδρόμηση
- ✓ Επιχειρησιακός υπολογισμός μετεωρολογίας
- ✓ Υπολογισμός εκπομπών (COPERT sl)
- ✓ Εφαρμογή ημιεμπειρικής σχέσης

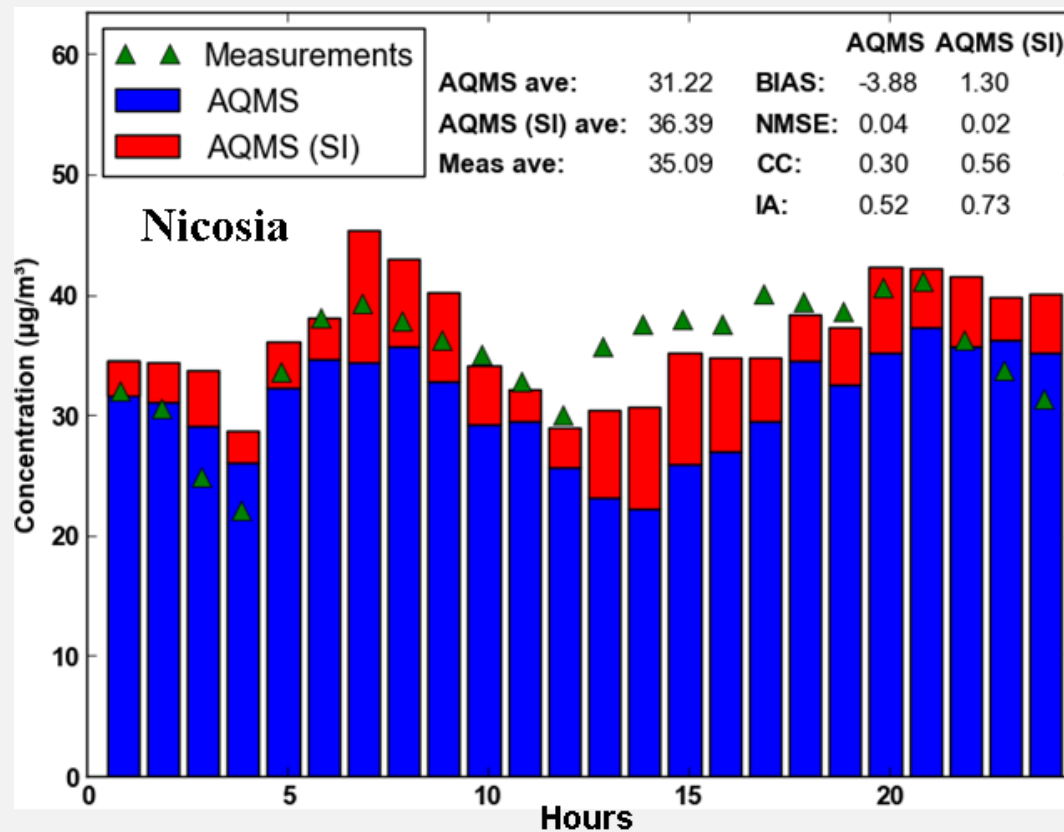
Εργαλεία: Αποτίμηση της Οδικής Συνεισφοράς

NO₂



Εμφανής βελτίωση!

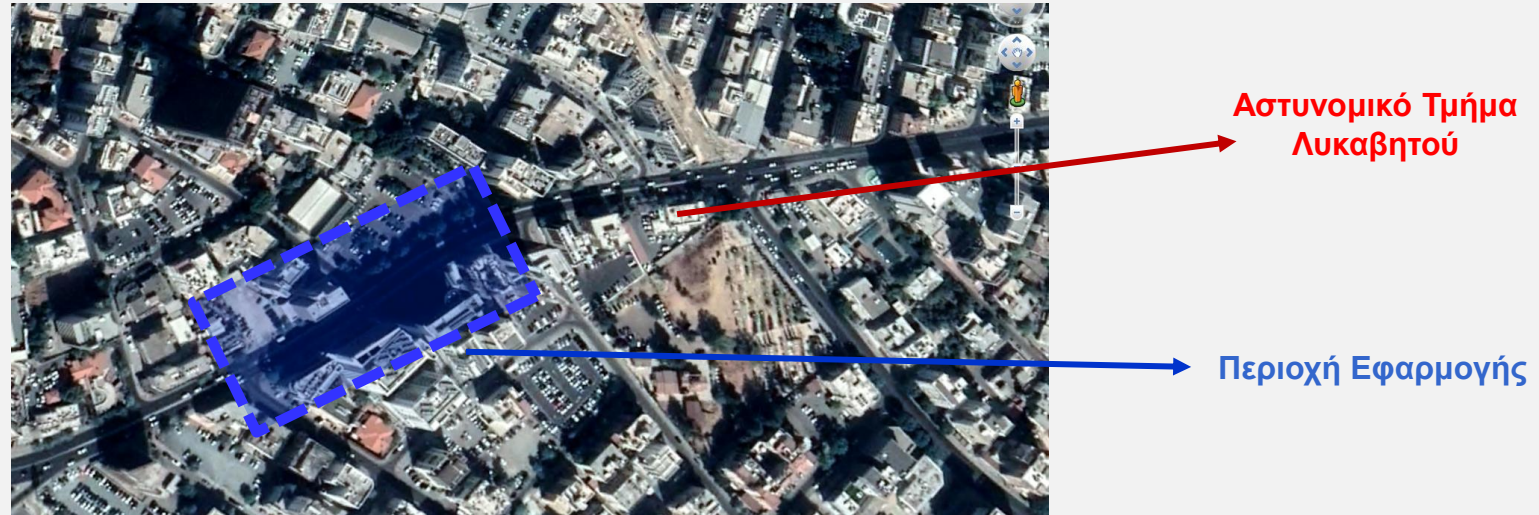
PM₁₀



Μέσο ημερήσιο προφίλ περιόδου 2 μηνών

Εφαρμογή στη Λευκωσία: Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά

- Η πιλοτική περιοχή εφαρμογής βρίσκεται στην οδό Γρίβα Διγενή, κοντά στο Αστυνομικό Τμήμα Λυκαβητού.



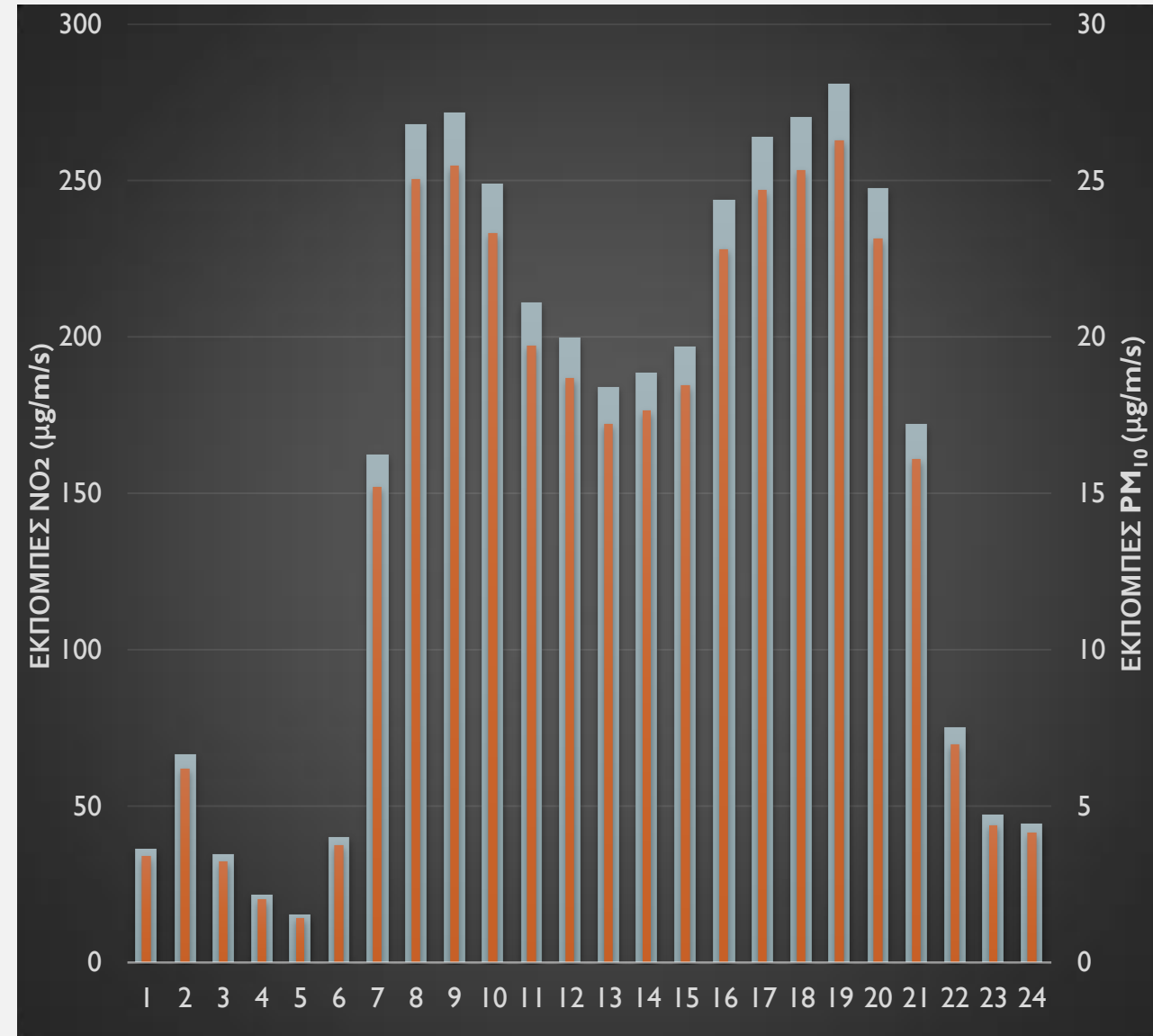
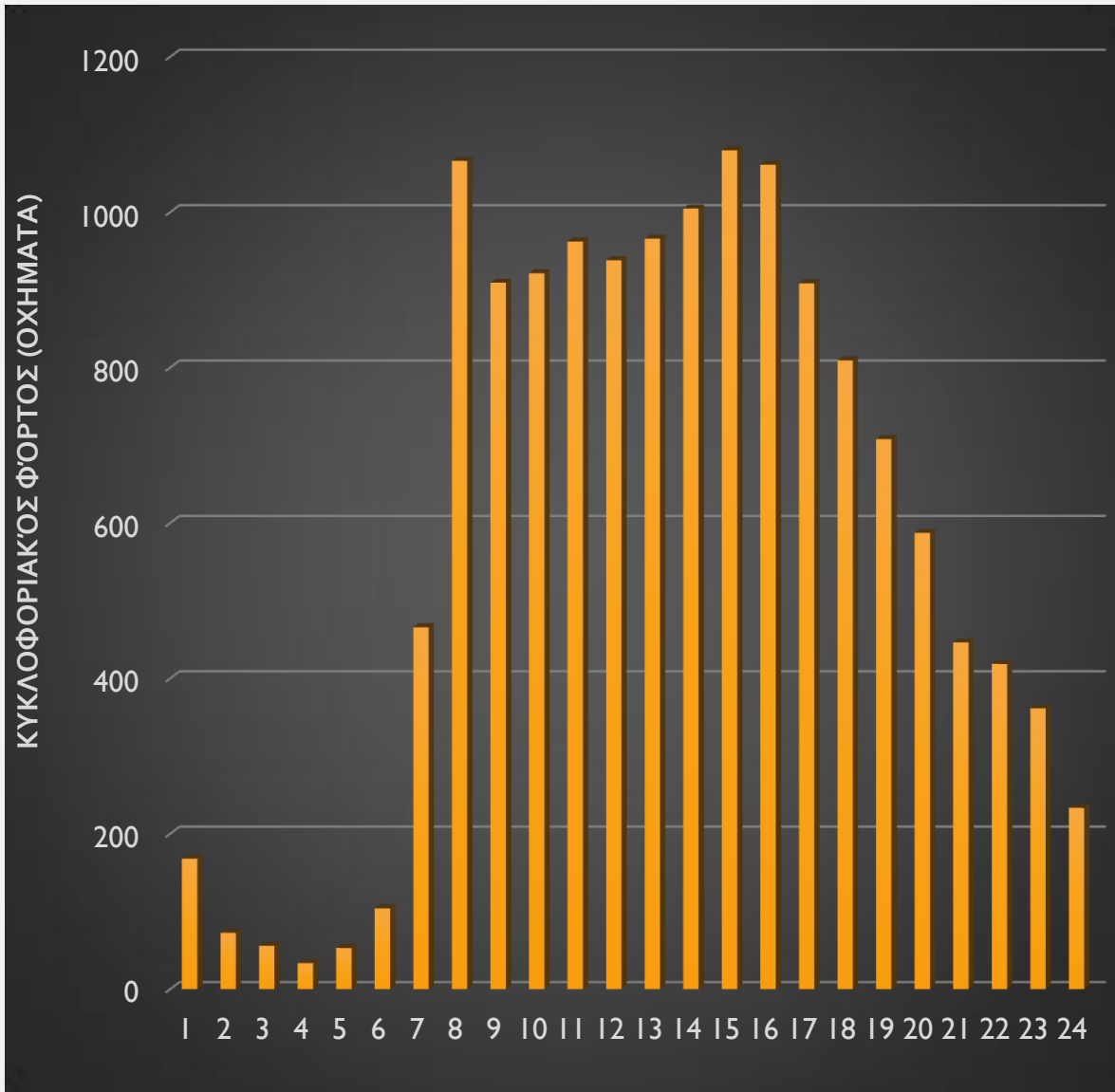
- Το μέσο ύψος των κτιρίων κατά μήκος του δρόμου ανέρχεται σε περίπου 20 μέτρα, το πλάτος του δρόμου υπολογίστηκε σε περίπου 25 μέτρα, ενώ το μήκος του δρόμου από το σημείο του «αποδέκτη» προς την κοντινότερη ανατολική και δυτική διασταύρωση είναι 120 και 55 μέτρα, αντίστοιχα.
- Παράλληλα, ο προσανατολισμός του συγκεκριμένου δρόμου απέχει από τον άξονα βορρά-νότου περίπου 65 μοίρες.

Εφαρμογή στη Λευκωσία: Δεδομένα Εισόδου

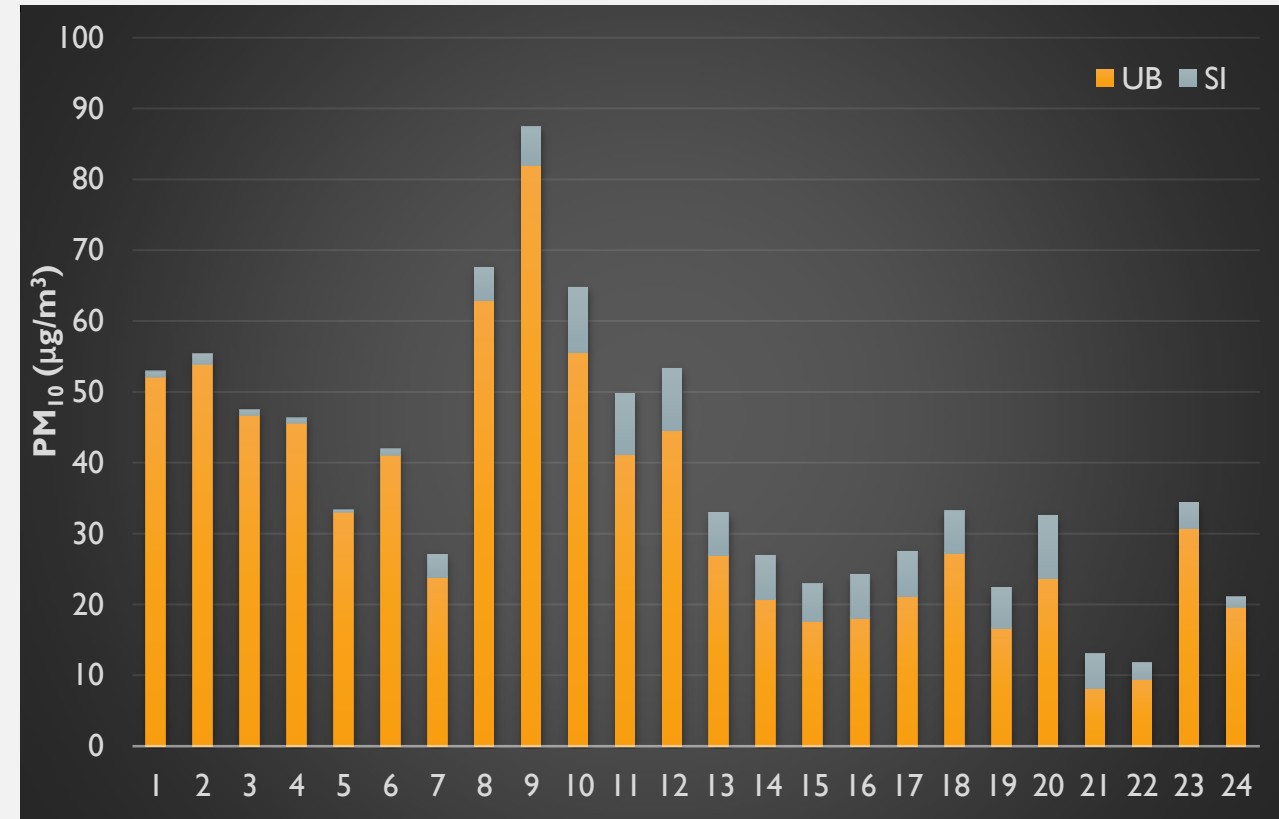
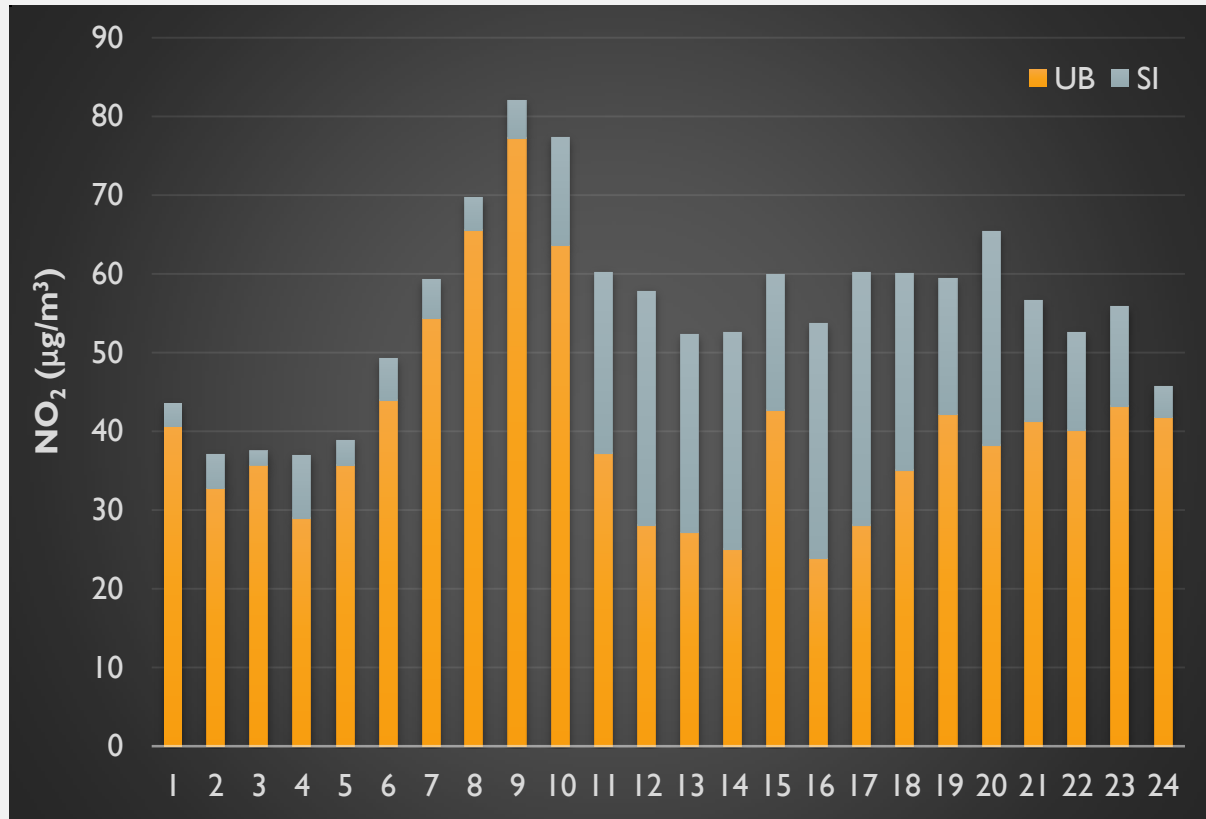
Για την εφαρμογή του υπολογιστικού εργαλείου σε κλίμακα δρόμου απαιτούνται τα ακόλουθα δεδομένα εισόδου:

- Η σύνθεση του στόλου οχημάτων στην Κύπρο, που προήλθε από τη χρήση της σχετικής βάσης δεδομένων του έργου FLEETS.
- Μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου στο σημείο ενδιαφέροντος.
- Οι συντελεστές εκπομπών για τον τελικό υπολογισμό των εκπομπών, που προήλθαν από την τελευταία έκδοση της μεθοδολογίας COPERT.
- Μετεωρολογικά δεδομένα, τα οποία προήλθαν από παρατηρημένες χρονικές περιόδους στο σταθμούς μέτρησης αστικού υποβάθρου του ΤΕΕ.
- Συγκεντρώσεις αστικού υποβάθρου που προήλθαν από μετρούμενες συγκεντρώσεις των ρύπων ενδιαφέροντος στους ίδιους σταθμούς.

Εφαρμογή στη Λευκωσία: Κυκλοφοριακός Φόρτος

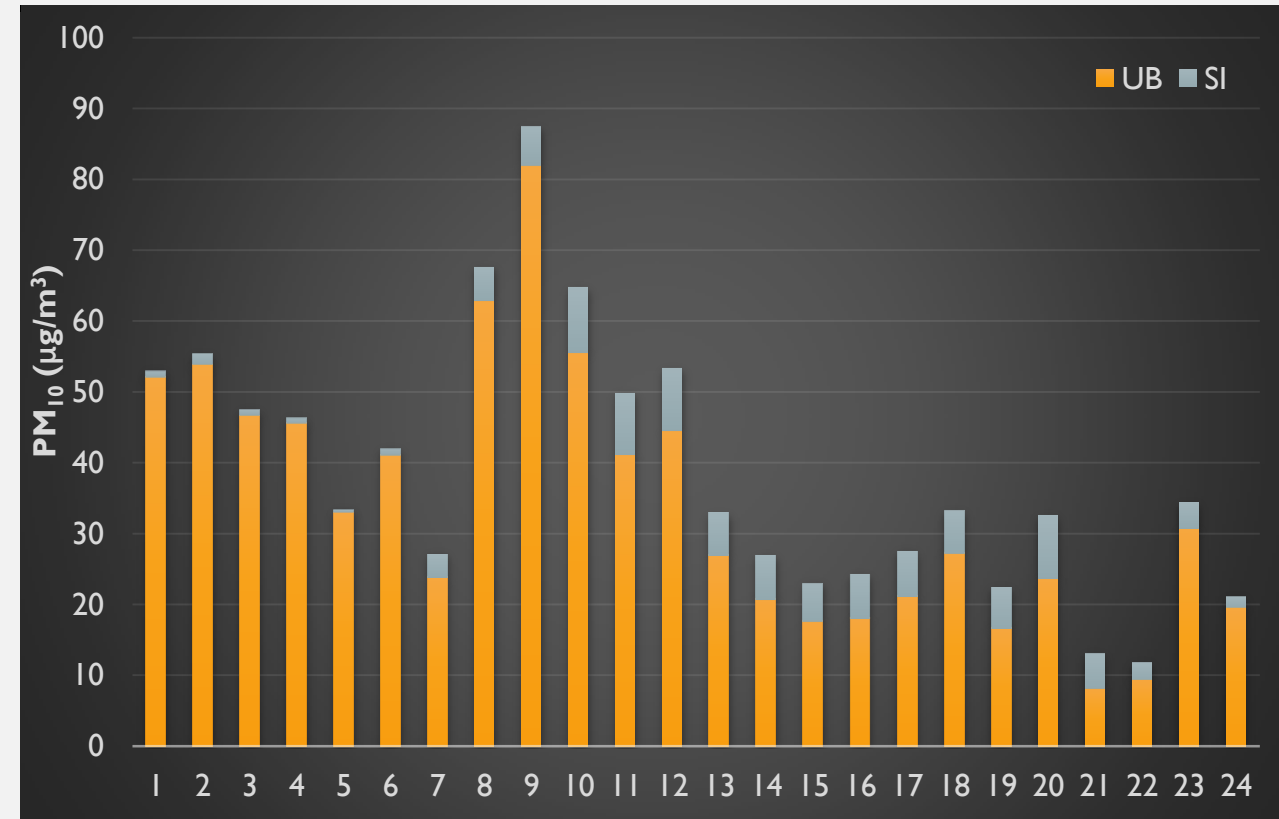
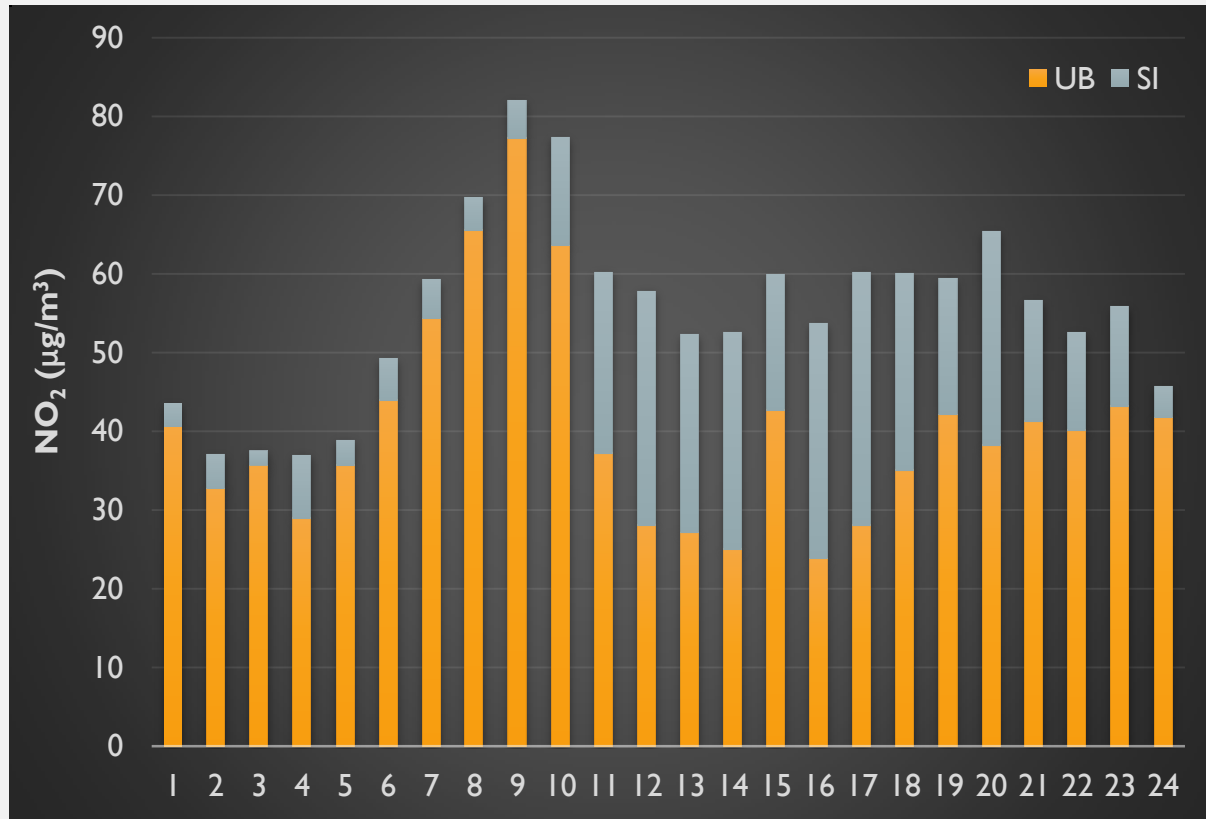


Εφαρμογή στη Λευκωσία: Αποτελέσματα Εφαρμογής



- Η προσαύξηση δρόμου έχει σημαντική συνεισφορά, ειδικά για το NO_2
- Προσομοιώνεται μια σημαντική εξάρτηση των συγκεντρώσεων από παράγοντες πλην εκπομπών


Εφαρμογή στη Λευκωσία: Πρώτα Συμπεράσματα



- Οι μετρήσεις σε επίπεδο δρόμου δυνητικά εξαρτώνται σημαντικά από παράγοντες πλην εκπομπών
- Η χρήση της μεθοδολογίας S.I. μπορεί να λειτουργήσει συμπληρωματικά των μετρήσεων

Αναβάθμιση Υπολογιστικού Πυρήνα

Άρθρωμα Αφομοίωσης Δεδομένων

1. Μεταφορά δεδομένων (JSON → Online, CSV → Offline)
 2. Έλεγχος χρονισμού και χρονοσήμανσης, απόρριψη ετεροχρονισμένων δεδομένων
 3. Έλεγχος εγκυρότητας: εύρη τιμών, παράγωγοι, χωρικές συσχετίσεις
 4. Κατάταξη (classification) και κανονικοποίηση (normalization)
 5. Υπολογισμός διορθωτικών όρων
 6. Χωρική γενίκευση
 7. Εισαγωγή διορθωτικών όρων στις δυναμικές εξισώσεις και επίλυση
 8. Εξαγωγή δυναμικής διόρθωσης για χρήση στις επόμενες επαναλήψεις
- 

Συμπεράσματα

- ❑ Σκοπός της πιλοτικής εφαρμογής είναι η περιβαλλοντική αποτίμηση των υλοποιούμενων δράσεων Ευφυούς Κυκλοφορίας στην πόλη της Λευκωσίας και η παροχή ανάδρασης στην επιχειρησιακή λειτουργία του συστήματος
- ❑ Σταθμοί μέτρησης ποιότητας αέρα εγκαταστάθηκαν σε δύο αντιπροσωπευτικά σημεία αιχμής.
- ❑ Υλοποιήθηκαν βελτιώσεις στο Σύστημα Διαχείρισης Ποιότητας Αέρα, παρέχοντας λειτουργικότητες
 - εισαγωγής δυναμικών εκπομπών στις προσομοιώσεις μεσοκλίμακας
 - βελτιωμένης ακρίβειας μέσω αφομοίωσης δεδομένων επιπέδου κυκλοφορίας contributions
- ❑ Παραμετροποιημένες μέθοδοι χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά για να εκτιμήσουν σε πραγματικό χρόνο την τοπική προσαύξηση συγκεντρώσεων
- ❑ Αναμένονται περαιτέρω συμπεράσματα, τόσο για την παρέμβαση καθεαυτή όσο και για τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες αποτίμησης



Ευχαριστούμε ιδιαίτερα



Χρύσανθο Σαββίδη, Ιωάννη Χριστοφίδη (ΤΕΕ)

Αριστοτέλη Σάββα (ΤΔΕ)

Ευαγγελία Φράγκου (ΑΠΘ)

Ελένη ΤοχQUI (UCY)

Παναγιώτη Ξανθόπουλο (ΜΟΥ S.A.)

Δ. Χανίων

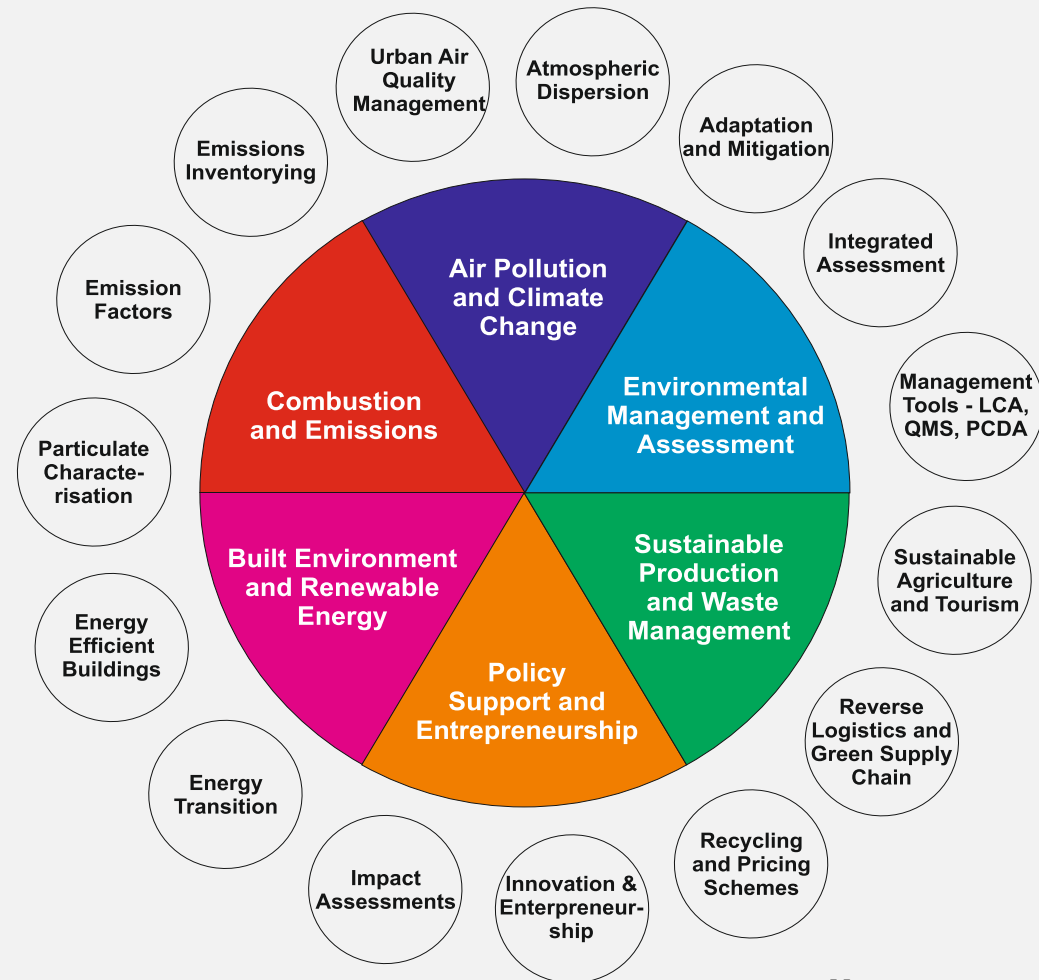
τους εταίρους για το ζήλο και την προσήλωση στους στόχους της προσπάθειας!



Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Κύριες Ερευνητικές Περιοχές:

- Ατμοσφαιρική Ρύπανση
- Διαχείριση Απορριμμάτων
- Ενεργειακά Συστήματα & Τεχνολογίες



<http://aix.meng.auth.gr>