

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VIII: ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΑΕΡΙΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

## **1. Εισαγωγή**

### **1.1 Σκοπός**

Με βάση τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του Νέου Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με καύσιμο φυσικό αέριο της εταιρείας ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ Α.Ε. στον Αγ. Νικόλαο Βοιωτίας βασικός εκπεμπόμενος αέριος ρύπος κατά τη φάση λειτουργίας του Σταθμού είναι τα οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ).

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η εκτίμηση των συγκεντρώσεων οξειδίων του αζώτου στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον από τη λειτουργία του Σταθμού, αλλά και οι αθροιστικές-συνεργιστικές επιπτώσεις λαμβάνοντας υπόψη και τις εκπομπές  $\text{NO}_x$  από τη λειτουργία όλων των υφιστάμενων εγκαταστάσεων της ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ στην περιοχή.

### **1.2 Διασπορά αερίων ρύπων**

Για τον υπολογισμό της κίνησης και της χωροχρονικής κατανομής της ατμοσφαιρικής ρύπανσης έχουν κατά καιρούς δημιουργηθεί και προταθεί διαφορετικά μοντέλα διασποράς, τα οποία χρησιμοποιούν μια σειρά από εξισώσεις και αλγορίθμους μέσω των οποίων προσομοιώνουν τους φυσικούς μηχανισμούς κίνησης των αερίων ρύπων και τις πιθανές χημικές αντιδράσεις αυτών. Παράλληλα λαμβάνουν υπόψη στους υπολογισμούς τις μετεωρολογικές συνθήκες, την κατάσταση ευστάθειας της ατμόσφαιρας, την τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής, το είδος της πηγής εκπομπής και των ρύπων καθώς και άλλες παραμέτρους. Ο βασικός στόχος των μοντέλων διασποράς είναι εν τέλει ο υπολογισμός της συγκέντρωσης ενός ρύπου σε κάθε σημείο του χώρου ανά πάσα χρονική στιγμή.

Πεδία εφαρμογής των μοντέλων διασποράς αποτελούν μεταξύ άλλων τα εξής:

- Η εκτίμηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον από βιομηχανικές εγκαταστάσεις (υπολογισμός συγκεντρώσεων και σύγκριση με θεσμοθετημένα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας) στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής τους αδειοδότησης.
- Η πρόβλεψη πιθανών επεισοδίων ρύπανσης και η παροχή πληροφόρησης και συστάσεων προς το κοινό.
- Η διαχείριση έκτακτων καταστάσεων αέριας ρύπανσης.

- Η αξιολόγηση μέτρων και πολιτικών περιορισμού της αέριας ρύπανσης από τους αρμόδιους φορείς.

Σε γενικές γραμμές τα μοντέλα διασποράς που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον από βιομηχανικές εγκαταστάσεις διακρίνονται σε δύο κατηγορίες βάσει του επιπέδου ανάλυσης τους:

- Κατηγορία 1: Μοντέλα που πραγματοποιούν απλές και γρήγορες εκτιμήσεις για συγκεκριμένες μετεωρολογικές συνθήκες (ένταση και διεύθυνση ανέμου, συνθήκες ευστάθειας της ατμόσφαιρας κλπ) που αντιστοιχούν στις δυσμενέστερες περιπτώσεις διασποράς. Τα μοντέλα αυτά εμπίπτουν στην κατηγορία εν γένει των απλοποιημένων μοντέλων (screening models), τα οποία χρησιμοποιούνται για αρχικές προσεγγιστικές εκτιμήσεις οι οποίες δίνουν μια «αίσθηση» του μεγέθους των επιπτώσεων της πηγής για συγκεκριμένες ταχύτητες ανέμου και συνθήκες της ατμόσφαιρας. Ένα τέτοιο απλοποιημένο μοντέλο είναι το Γκαουσιανό μοντέλο πλουμίου SCREEN3 της Αμερικάνικης Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (U.S. EPA). Το βασικό πλεονέκτημα των μοντέλων αυτών είναι ότι απαιτούν μικρό αριθμό δεδομένων εισόδου και είναι απλά στη χρήση. Η ακρίβεια τους όμως είναι περιορισμένη, ειδικά σε περιπτώσεις σύνθετης τοπογραφίας.
- Κατηγορία 2: Μοντέλα που προσομοιώνουν αναλυτικά τη διασπορά των αερίων ρύπων και χρησιμοποιούν ωριαία μετεωρολογικά δεδομένα τουλάχιστον ενός έτους. Τα μοντέλα αυτά πραγματοποιούν αναλυτικούς υπολογισμούς της διασποράς για τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής για ένα ή περισσότερα έτη χρησιμοποιώντας εξελιγμένους αλγορίθμους και λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη και την επίδραση της τοπογραφίας και τις χρήσεις γης της περιοχής. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα δύο μοντέλα ατμοσφαιρικής διασποράς που προτείνονται από την Αμερικάνικη Υπηρεσία Περιβάλλοντος (U.S. EPA), δηλαδή:
  - Μοντέλο AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD): Πρόκειται για ένα μοντέλο μόνιμης κατάστασης τύπου Gauss (Gaussian plume model), το οποίο χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση της διασποράς αερίων ρύπων (π.χ. SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, σωματίδια, κλπ) σε τοπικό επίπεδο και κύρια σε αποστάσεις μέχρι 50 km από την πηγή εκπομπής.

- Μοντέλο CALPUFF: Πρόκειται για ένα αριθμητικό μοντέλο πακέτων μεταφοράς μάζας κατά Lagrange το οποίο χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση της χρονικά και τοπικά μεταβαλλόμενης διασποράς πρωτογενών αλλά και δευτερογενών αερίων ρύπων (π.χ.  $O_3$ ) σε αποστάσεις ακόμη και μεγαλύτερες των 50km από την πηγή εκπομπής.

Η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου διασποράς εξαρτάται από το πεδίο και τον σκοπό εφαρμογής του, τον τύπο και τα χαρακτηριστικά των πηγών εκπομπής (σημειακές, επιφανειακές ή γραμμικές), τη διάρκεια των εκπομπών (συνεχείς εκπομπές, εκπομπές σε έκτακτες περιπτώσεις), τον τύπο των αερίων ρύπων (πρωτογενείς ή δευτερογενείς), την τοπογραφία (απλό ή σύνθετο ανάγλυφο) και τις χρήσεις γης της ευρύτερης περιοχής (αστικές ή αγροτικές περιοχές), το μέγεθος της περιοχής μελέτης (διασπορά σε τοπικό ή περιφερειακό επίπεδο), τον επιθυμητό βαθμό λεπτομέρειας και ακρίβειας αποτελεσμάτων, και άλλους παράγοντες.

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης για την εκτίμηση των επιπτώσεων της λειτουργίας του Έργου στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον της περιοχής χρησιμοποιείται η πλέον πρόσφατη έκδοση του μοντέλου AERMOD (v. 18081), το οποίο έχει αναπτυχθεί από κοινού από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία των ΗΠΑ και την Επιτροπή Βελτίωσης Κανονιστικών Μοντέλων της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (Environmental Protection Agency Regulatory Model Improvement Committee-AERMIC). Σύμφωνα με απόφαση της Ομοσπονδιακής κυβέρνησης των ΗΠΑ από τις 9 Νοεμβρίου 2006, αποτελεί το βασικό εργαλείο που πρέπει να χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των επιπτώσεων στην ποιότητα της ατμόσφαιρας στο πλαίσιο της περιβαλλοντικής αδειοδότησης βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

### **1.3 Περιγραφή μοντέλου διασποράς AERMOD**

Το AERMOD είναι ένα μοντέλο πλουμίου μόνιμης κατάστασης (steady-state plume model), τύπου Gauss, το οποίο σε αντίθεση με τα περισσότερα μοντέλα διασποράς δε χρησιμοποιεί τις κατηγορίες ευστάθειας του Pasquill προκειμένου να χαρακτηρίσει την τυρβώδη διάχυση, αλλά βασίζεται στη σύγχρονη θεωρία του πλανητικού οριακού στρώματος (Planetary Boundary Layer - PBL). Είναι δυνατόν να προσομοιώσει ένα εύρος πηγών (σημειακές, επιφανειακές και γραμμικές, αστικές και μη αστικές, κλπ.) σε τοπικό επίπεδο



(ακτίνα μέχρι 50km γύρω από την πηγή) λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη και την επίδραση των γειτονικών κτιρίων και φυσικών εμποδίων και της γεωμορφολογίας της περιοχής μελέτης.

Το πλανητικό οριακό στρώμα, γνωστό και ως ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα (atmospheric boundary layer - ABL), αποτελεί το κατώτατο τμήμα της ατμόσφαιρας, οι ιδιότητες του οποίου καθορίζονται σε σημαντικό βαθμό από τις επιδράσεις της επιφάνειας της γης. Πάνω από το πλανητικό οριακό στρώμα βρίσκεται η ελεύθερη ατμόσφαιρα. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αποτελεί η τυρβώδης φύση του, ενώ το μέγιστο ύψος του διαφοροποιείται κατά τη διάρκεια το 24-ώρου και είναι δυνατόν να φτάσει τα 3km σε ξηρές περιοχές και τα 1-2km σε υγρές. Το πλανητικό οριακό στρώμα, όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 1** αποτελείται από:

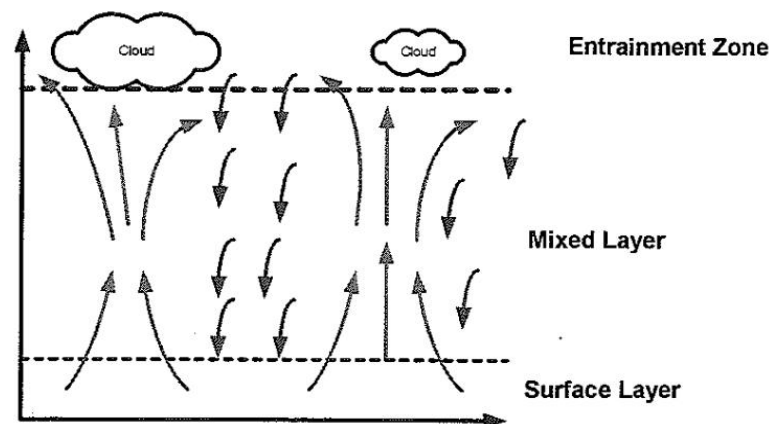
- το οριακό στρώμα επιφάνειας (surface boundary layer - 10% περίπου του συνολικού ύψους),
- το στρώμα ανάμιξης (well-mixed layer - 60% περίπου του συνολικού ύψους)
- και τη ζώνη παράσυρσης (entrainment zone – 30% περίπου του συνολικού ύψους).

Διακρίνονται δύο βασικοί τύποι πλανητικού οριακού στρώματος:

- το ευσταθές οριακό στρώμα (stable boundary layer -SBL), το οποίο παρατηρείται όταν η τύρβη δημιουργείται αποκλειστικά λόγω της ταχύτητας του ανέμου (atmospheric turbulence). Συναντάται συνήθως τις νυκτερινές ώρες, αλλά ορισμένες φορές και το πρωί, σε περιοχές που η θερμοκρασία του εδάφους είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα.
- το συναγωγικό οριακό στρώμα (convective boundary layer - CBL), το οποίο παρατηρείται όταν μεταφέρεται θερμότητα από την επιφάνεια της γης προς την ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να προκαλείται θερμική αστάθεια που οδηγεί σε δημιουργία επιπρόσθετης τύρβης (thermal turbulence) και αντίστοιχα σε μεγαλύτερη ανάμιξη και καλύτερη διασπορά των ρύπων.

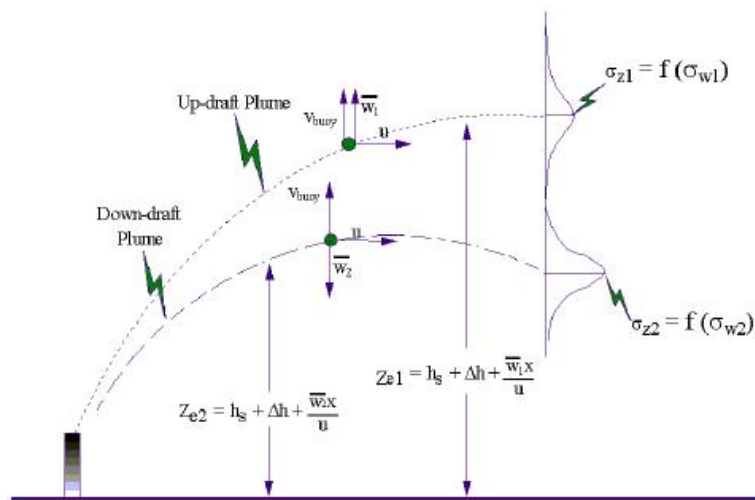
Το AERMOD, με τη συνδρομή των κατάλληλων λογισμικών προεπεξεργασίας (meteorological preprocessors), υπολογίζει τα κατακόρυφα προφίλ των απαιτούμενων μετεωρολογικών παραμέτρων (ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου, θερμοκρασία αέρα, βαθμίδα θερμοκρασίας, κλπ) καθώς και τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν το πλανητικό

οριακό στρώμα (ροή αισθητής θερμότητας, ταχύτητα τριβής, μήκος Monin Obukhov, ύψος μηχανικής και συναγωγικής ανάμιξης, κλπ). Η κατακόρυφη ανομοιογένεια του πλανητικού οριακού στρώματος λαμβάνεται υπόψη μέσω της μετατροπής των παραμέτρων του σε «ενεργές» παραμέτρους ενός ισοδύναμου ομογενούς οριακού στρώματος.



**Σχήμα 1.** Σχηματικό διάγραμμα του πλανητικού οριακού στρώματος.

Στην περίπτωση ευσταθούς οριακού στρώματος (SBL) το μοντέλο θεωρεί ότι η διασπορά των συγκεντρώσεων ακολουθεί κατανομή κατά Gauss τόσο στον κατακόρυφο, όσο και στον οριζόντιο άξονα. Αντίθετα στο συναγωγικό οριακό στρώμα (CBL), ενώ η οριζόντια κατανομή των συγκεντρώσεων θεωρείται ότι ακολουθεί κατανομή κατά Gauss, η κατακόρυφη κατανομή περιγράφεται μέσω της υπέρθεσης δύο συναρτήσεων πυκνότητας πιθανότητας κατά Gauss, μιας για την κίνηση του πλουμίου προς τα πάνω και μία για την κίνηση του πλουμίου προς τα κάτω (Willis and Deardorff, 1991, Briggs 1993) (**Σχήμα 2**).



**Σχήμα 2:** Διασπορά πλουμίου στο συναγωγικό οριακό στρώμα (CBL) σύμφωνα με AERMOD.

Η γενική μορφή των εξισώσεων υπολογισμού των συγκεντρώσεων τόσο για το ευσταθές όσο και για το συναγωγικό οριακό στρώμα είναι της μορφής

$$C\{x, y, z\} = (Q/u) p_y\{y; x\} p_z\{z; x\} \quad (\text{Εξ. 1})$$

όπου  $Q$  είναι ο ρυθμός εκπομπής ρύπων,  $u$  η ταχύτητα ανέμου και  $p_y$ ,  $p_z$  οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας που περιγράφουν την κατανομή της συγκέντρωσης στους άξονες  $y$  και  $z$  αντίστοιχα ανάλογα με την ευστάθεια της ατμόσφαιρας.

Το μοντέλο, με τη χρήση μιας σχετικά απλής μεθοδολογίας, ενσωματώνει επίσης τις πλέον πρόσφατες αντιλήψεις σχετικά με τη ροή και τη διασπορά σε σύνθετη τοπογραφία. Η προσέγγιση που ακολουθείται είναι αρκετά ρεαλιστική, αντιμετωπίζει την περιοχή μελέτης ενιαία και συνεχόμενα, χωρίς να είναι απαραίτητη η διάκριση της σε τμήματα με απλή και σύνθετη γεωμορφολογία (Cimorelli et al. 2004).

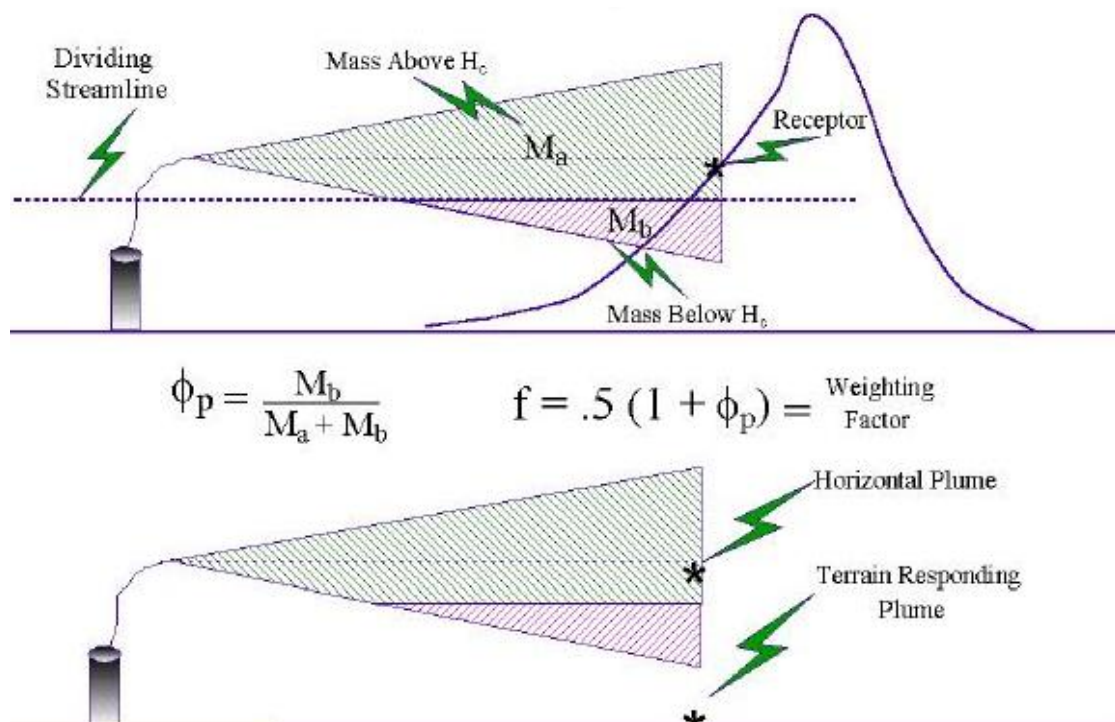
Σε γενικές γραμμές, σε συνθήκες ατμοσφαιρικής ευστάθειας, στο πλούμιο αναπτύσσονται δύο στρώματα, ένα στη βάση του που παραμένει οριζόντιο κι ένα υψηλότερο που κινείται ανοδικά. Σε ουδέτερες συνθήκες και σε συνθήκες ατμοσφαιρικής αστάθειας, το κατώτερο στρώμα εξαφανίζεται και το πλούμιο τείνει να ανυψωθεί (Sheppard, 1956, Snyder et al. 1985). Το AERMOD υποθέτει ότι οι συγκεντρώσεις των ρύπων σε ένα σημείο κυμαίνονται μεταξύ των δύο ακραίων καταστάσεων: οριζόντια κίνηση πλουμίου που τείνει να κινηθεί

γύρω από το λόφο (Horizontal) και ανοδική κίνηση πλουμίου παράλληλα με την επιφάνεια του εδάφους (Terrain Responding). Η συγκέντρωση υπολογίζεται ως ο σταθμισμένος μέσος όρος μεταξύ των δύο αυτών καταστάσεων (Σχήμα 3).

Ο συντελεστής βαρύτητας για τις δύο καταστάσεις καθορίζεται από την κατάσταση ευστάθειας της ατμόσφαιρας, την ταχύτητα του ανέμου και το σχετικό ύψος του πλουμίου ως προς την επιφάνεια του εδάφους.

Το AERMOD έχει τη δυνατότητα να λάβει υπόψη την επίδραση του οριακού στρώματος που σχηματίζεται σε αστικές περιοχές (urban boundary layer) κατά τη διάρκεια των νυκτερινών ωρών. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται όταν ψυχρές αέριες μάζες κινούνται πάνω από αστικές περιοχές, όπου η επιφάνεια του εδάφους ψύχεται με χαμηλότερους ρυθμούς συγκριτικά με την ύπαιθρο, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η τυρβώδης διάχυση στο ευσταθές οριακό στρώμα.

Τέλος το μοντέλο έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιεί υπολογισμούς σχετικά με την υγρή και ξηρή εναπόθεση των αέριων ρυπαντών και την καθίζηση λόγω βαρύτητας των σωματιδίων και των σταγονιδίων στο έδαφος.



**Σχήμα 3:** Σχηματικό διάγραμμα της προσέγγισης της σύνθετης τοπογραφίας από το μοντέλο.

#### 1.4 Μοντελοποίηση διασποράς εκπομπών NO<sub>x</sub>

Τα οξείδια του αζώτου αποτελούνται κυρίως από μονοξείδιο (NO) και διοξείδιό του αζώτου (NO<sub>2</sub>). Οι υψηλές συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα συνδέονται με τον σχηματισμό του φωτοχημικού νέφους, τη δημιουργία «όξινης βροχής», αρνητικές επιπτώσεις στην βλάστηση, αναπνευστικά προβλήματα στον πληθυσμό, κ.α. (ΥΠΕΚΑ, 2018).

Για τον λόγο αυτό σε εθνικό επίπεδο με την ΚΥΑ ΗΠ 14122/549/Ε103, ΦΕΚ 488Β/30.3.11 έχουν θεσπιστεί όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας για τις συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub> κατά αντιστοιχία με τα όρια ποιότητας ατμόσφαιρας που έχουν καθιερωθεί στην Ευρωπαϊκή Ένωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2008/50/ΕΚ. Τα όρια αυτά αναφέρονται τόσο στην προστασία της ανθρώπινης υγείας όσο και των οικοσυστημάτων και παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα.

**Πίνακας 1:** Θεσμοθετημένα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας για NO<sub>2</sub>

Παράμετρος	Οριακή Τιμή
<b>Προστασία ανθρώπινης υγείας</b>	
99,80 <sup>ο</sup> εκατοστημόριο ωριαίων συγκεντρώσεων (18 επιτρεπόμενες υπερβάσεις σε ετήσια βάση)	200 µg/m <sup>3</sup>
Όριο συναγερμού (μετρούμενη τιμή επί τρεις συνεχόμενες ώρες)	400 µg/m <sup>3</sup>
Ετήσιος μέσος όρος	40 µg/m <sup>3</sup>
<b>Προστασία βλάστησης</b>	
Ετήσιος μέσος όρος	30 µg/m <sup>3</sup>

Τέσσερις μηχανισμοί έχουν αναγνωριστεί ότι είναι, κυρίως, υπεύθυνοι για την παραγωγή οξειδίων του αζώτου στις διεργασίες καύσης. Οι διεργασίες αυτές περιλαμβάνουν τον σχηματισμό (Κούτμος κ.α., 2015):

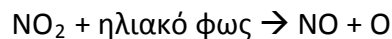
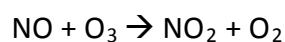
- του θερμικού NO<sub>x</sub>, το οποίο παράγεται από την οξείδωση του ατμοσφαιρικού αζώτου με το οξυγόνο
- του «άμεσα» παραγόμενου NO<sub>x</sub>, το οποίο οφείλεται στην πολύ γρήγορη αντίδραση μεταξύ του αζώτου, του οξυγόνου και των ριζικών υδρογονανθράκων του καυσίμου

- του μηχανισμού παραγωγής εκ του νιτρώδους οξειδίου  $N_2O$  κάτω από συνθήκες υψηλής πίεσης
- του εκ του καυσίμου παραγόμενου  $NO_x$ , λόγω της παρουσίας αζώτου στο καύσιμο

Ο τελευταίος μηχανισμός δεν έχει εφαρμογή στην περίπτωση αερίων καυσίμων όπως το φυσικό αέριο, ενώ αντίθετα στην περίπτωση της καύσης άνθρακα, πετρελαίου ή και ορισμένων βιοκαυσίμων, η παραγωγή  $NO_x$  αυτού του τύπου μπορεί να αποτελεί και πάνω από το 50% του ολικού παραγόμενου  $NO_x$ .

Εν γένει οι εκπομπές  $NO_x$  από βιομηχανικές διεργασίες καύσης αποτελούνται κατά 80-95% από  $NO$  (ανάλογα με τον τύπο του εξοπλισμού και το χρησιμοποιούμενο καύσιμο) και κατά 5-20% από  $NO_2$  (Carruthers et al. 2017). Στη συνέχεια και μετά την έξοδο των αερίων από την καμινάδα, το μονοξείδιο του αζώτου αντιδρά με τον ατμοσφαιρικό αέρα σχηματίζοντας επιπλέον  $NO_2$  με αποτέλεσμα ο μετρούμενος λόγος  $NO_2/NO_x$  σε σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης να είναι μεγαλύτερος. Για παράδειγμα σύμφωνα με την επεξεργασία μετρήσεων από σταθμούς βιομηχανικού υποβάθρου σε όλη την Ευρώπη ο μέσος ετήσιος συντελεστής  $NO_2/NO_x$  κυμαίνεται από 0,50 έως 0,70 (Guerreiro, et al., 2010).

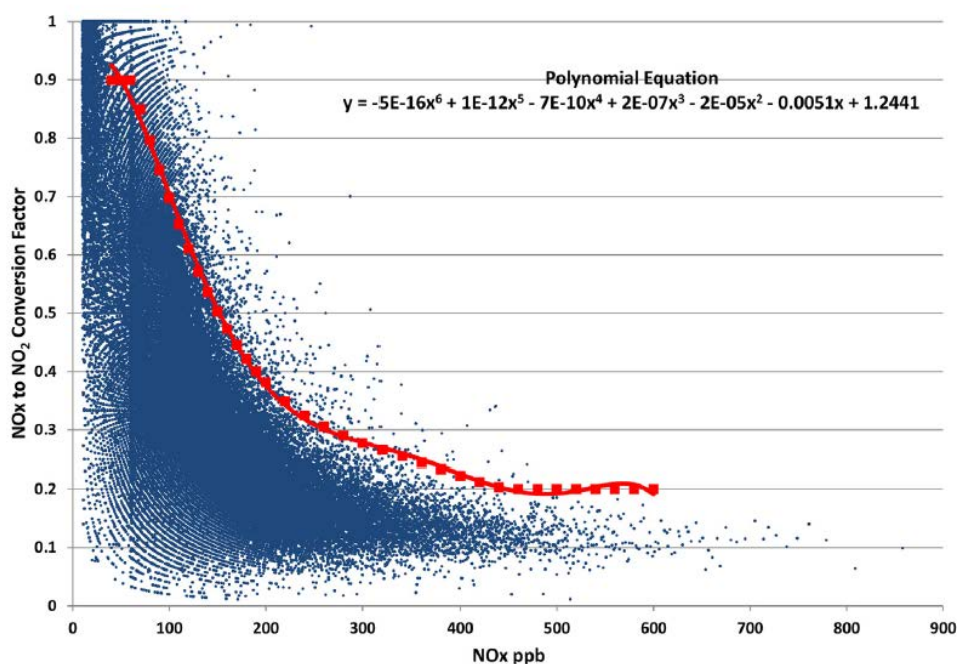
Κατά τη διάρκεια των πρώτων σταδίων διάχυσης του πλουμίου από την καμινάδα σε αποστάσεις από 1 έως 10 km και για χρονικό διάστημα από 10 έως 300 λεπτά οι βασικές χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι οι ακόλουθες (Carruthers et al. 2017):



Ως εκ τούτου η αντίδραση του μονοξειδίου του αζώτου με το όζον είναι η βασική αντίδραση σχηματισμού  $NO_2$ , ιδιαίτερα σε μη αστικές περιοχές. Αν και η χημική αντίδραση είναι στιγμιαία, ο ρυθμός σχηματισμού  $NO_2$  περιορίζεται από τη συγκέντρωση του όζοντος στον ατμοσφαιρικό αέρα και το ρυθμό που το πλούμιο διεισδύει στον αέρα. Σύμφωνα με διάφορες ερευνητικές εργασίες ο λόγος  $NO_2/NO_x$  κυμαίνεται από 0,2 σε απόσταση έως 2,5 km μέχρι 0,8 σε αποστάσεις της τάξης των 10km από μονάδες ηλεκτροπαραγωγής (Janssen et al., 1991), ενώ αντίστοιχα σύμφωνα με μετρήσεις κοντά σε αυτοκινητόδρομους κυμαίνεται από 0,3 έως 0,8 με τον λόγο να αυξάνει όσο μεγαλώνει η απόσταση από την πηγή και μειώνονται οι συνολικές συγκεντρώσεις  $NO_x$  (Wang et al., 2001).

Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από πρόσφατη μελέτη (Podrez, 2015) η οποία ανέλυσε τα ωριαία δεδομένα μετρήσεων  $\text{NO}_2$  και  $\text{NO}_x$  από 530 σταθμούς μέτρησης της αέριας ρύπανσης στις ΗΠΑ καθώς και από 21 σταθμούς στις ΗΠΑ και στον Καναδά κοντά σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις για την περίοδο 2001-2010. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης ο λόγος  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  εξαρτάται άμεσα από τις συνολικά μετρούμενες συγκεντρώσεις  $\text{NO}_x$  και εμφανίζει σαφή τάση μείωσης όσο αυξάνονται οι συνολικές συγκεντρώσεις  $\text{NO}_x$  (Σχήμα 4).

Για παράδειγμα για συγκεντρώσεις  $\text{NO}_x$  μεγαλύτερες από  $350 \text{ ppb}_v$  ο μετρούμενος λόγος  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  κυμαίνεται μεταξύ 0,1 και 0,2, δηλαδή τιμές αντίστοιχες με τον λόγο  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  στα απαέρια κατά την έξοδό τους από την καμινάδα. Αντίθετα σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις  $\text{NO}_x$  της τάξης των  $150 \text{ ppb}_v$  οι μετρούμενοι λόγοι εμφανίζουν μεγαλύτερη διακύμανση καθώς μπορεί να οφείλονται τόσο σε πηγές χωρίς σημαντικές εκπομπές  $\text{NO}_x$  (χαμηλός λόγος) όσο και σε πηγές με σημαντικές εκπομπές σε μεγαλύτερη απόσταση (υψηλός λόγος). Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης των μετρήσεων διαμορφώθηκε η εμπειρική εξίσωση του Σχήματος 4 για τη συσχέτιση του λόγου  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  με τις συνολικές συγκεντρώσεις  $\text{NO}_x$ . Η εξίσωση αυτή αποτέλεσε τη βάση για τη διαμόρφωση της μεθοδολογίας ARM2 που ενσωματώθηκε στο AERMOD και σύμφωνα με την οποία ο συντελεστής μετατροπής των  $\text{NO}_x$  σε  $\text{NO}_2$  λαμβάνει τιμές από 0,2 έως 0,9 ανάλογα με τις υπολογιζόμενες από το μοντέλο ωριαίες συγκεντρώσεις  $\text{NO}_x$ .





**Σχήμα 4:** Λόγος  $\text{NO}_x/\text{NO}_2$  σύμφωνα με τα αποτελέσματα ωριαίων μετρήσεων  $\text{NO}_x$  και  $\text{NO}_2$  σε σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης των Η.Π.Α για την περίοδο 2001-2010. Με μπλε χρώμα οι μετρήσεις και με κόκκινο η εμπειρική σχέση στην οποία βασίζεται η μέθοδος ARM2 του AERMOD (Πηγή: Podrez, 2015)

Πέρα από τη μέθοδο ARM2 το AERMOD ενσωματώνει τρεις ακόμη μεθοδολογίες υπολογισμού του  $\text{NO}_2$  που σχηματίζεται δευτερογενώς:

- τη χρήση ενός σταθερού λόγου  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$  που είτε θεωρεί πλήρη μετατροπή  $\text{NO}_x$  σε  $\text{NO}_2$  είτε βασίζεται στην αναλογία των ετήσιων συγκεντρώσεων  $\text{NO}_2$  και  $\text{NO}_x$  όπως προκύπτουν από μετρήσεις σταθμών στην περιοχή μελέτης (Chu and Meyer, 1991)
- τη μέθοδο PVMRM (plume volume molar ratio method), στην οποία το ποσοστό του  $\text{NO}_x$  που μετατρέπεται σε  $\text{NO}_2$  εξαρτάται από την ποσότητα  $\text{O}_3$  που εισέρχεται στο πλούμιο (Hanrahan, 1999)
- τη μέθοδο OLM (ozone limiting method), στην οποία το ποσοστό του  $\text{NO}_x$  που μετατρέπεται σε  $\text{NO}_2$  εξαρτάται από τις συγκεντρώσεις  $\text{O}_3$  της περιοχής μελέτης (Cole and Summerhays, 1979).

Οι δύο τελευταίες μέθοδοι απαιτούν ωριαία δεδομένα συγκεντρώσεων όζοντος στην περιοχή μελέτης, επομένως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθώς δεν υπάρχουν διαθέσιμα τέτοια δεδομένα. Ταυτόχρονα η χρήση ενός συντελεστή μετατροπής των  $\text{NO}_x$  σε  $\text{NO}_2$  της τάξης του 0,5-0,7 στο μοντέλο διασποράς θα έχει ως αποτέλεσμα την υπερεκτίμηση των ωριαίων συγκεντρώσεων  $\text{NO}_2$  ειδικά κοντά στην καμινάδα (American Petroleum Institute, 2013), καθώς σε αποστάσεις μικρότερες των 2,5km και σε χρονικό διάστημα της μιας ώρας οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην ατμόσφαιρα έχουν μικρή επίδραση στις συγκεντρώσεις των πρωτογενών αερίων ρυπαντών. Με βάση τα παραπάνω ως καταλληλότερη μέθοδος για την παρούσα μελέτη κρίνεται η μέθοδος ARM2.

Η μέθοδος ARM2 έχει αξιολογηθεί συγκριτικά με τις άλλες τρεις μεθόδους (πλήρη μετατροπή, OLM και PVMRM) βάσει πραγματικών δεδομένων μετρήσεων από 4 σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις ΗΠΑ (Podrez, 2015). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα (**Πίνακας 2**) η παραδοχή πλήρους μετατροπής των  $\text{NO}_x$  σε  $\text{NO}_2$  υπερεκτιμά τις συγκεντρώσεις 4-5 φορές συγκριτικά με τις πραγματικές μετρήσεις ενώ οι υπόλοιπες



μέθοδοι δίνουν παρεμφερή μεταξύ τους αποτελέσματα, αν και πιο συντηρητικά από τις μετρήσεις.

**Πίνακας 2:** Σύγκριση αποτελεσμάτων διασποράς αερίων ρύπων με AERMOD και 4 μεθόδους εκτίμησης NO<sub>2</sub> συγκριτικά με πραγματικά δεδομένα μετρήσεων σε 4 σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις ΗΠΑ (Πηγή: Podrez, 2015).

Test data set	Observed NO <sub>x</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	Observed NO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> full conversion (μg/m <sup>3</sup> )	PVMRM NO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	OLM NO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	ARM2 NO <sub>2</sub> (μg/m <sup>3</sup> )
Empire Abo North	532.5	128.9	436.8	184.2	149.3	165.4
Empire Abo South	462.3	79.9	446.2	264.7	163.9	164.9
Palaau	650.9	93.5	465.1	138.7	166.3	147.7
Wainwright	393.6	82.0	528.1	177.0	169.4	217.7

## 2. Μοντελοποίηση διασποράς αερίων ρύπων Νέου Σταθμού Ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο φυσικό αέριο

### 2.1 Μεθοδολογία

Στο πλαίσιο της μελέτης υπολογίζονται με το μοντέλο AERMOD οι ωριαίες συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub> στην περιοχή μελέτης αρχικά λόγω της λειτουργίας του προτεινόμενου Έργου και εν συνεχεία λαμβάνοντας υπόψη και τις υφιστάμενες πηγές εκπομπής όλων των μονάδων της ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ. Διαμορφώνονται έτσι 3 σενάρια:

- Σενάριο 1: Υφιστάμενες πηγές εκπομπής
- Σενάριο 2: Νέος Ανεξάρτητος Σταθμός Ηλεκτροπαραγωγής
- Σενάριο 3: Υφιστάμενες πηγές εκπομπής & Νέος Ανεξάρτητος Σταθμός Ηλεκτροπαραγωγής

Με βάση τις υπολογιζόμενες ωριαίες συγκεντρώσεις για κάθε σενάριο υπολογίζονται οι στατιστικοί δείκτες για σύγκριση με τα θεσμοθετημένα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας για NO<sub>2</sub>.

Δεδομένου ότι στην ελληνική νομοθεσία δεν υπάρχουν καθορισμένες προδιαγραφές για την εκπόνηση μελετών διασποράς αερίων ρύπων στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης ακολουθήθηκαν σε γενικές γραμμές οι κατευθυντήριες οδηγίες της EPA (EPA, 2017) σχετικά με τη μεθοδολογία μοντελοποίησης, τα δεδομένα εισόδου (μετεωρολογικά

δεδομένα, χαρακτηριστικά πηγών, κλπ.) και τις παραμέτρους (μηχανισμοί εναπόθεσης & καθίζησης, κλπ).

Τα απαιτούμενα δεδομένα του μοντέλου διασποράς περιλαμβάνουν: τοπογραφία & αποδέκτες στην περιοχή μελέτης, μετεωρολογικά δεδομένα σε ωριαίο χρονικό βήμα, τεχνικά χαρακτηριστικά σημειακών πηγών εκπομπής και διάφορες παραδοχές σχετικά με τις φυσικές και χημικές διεργασίες.

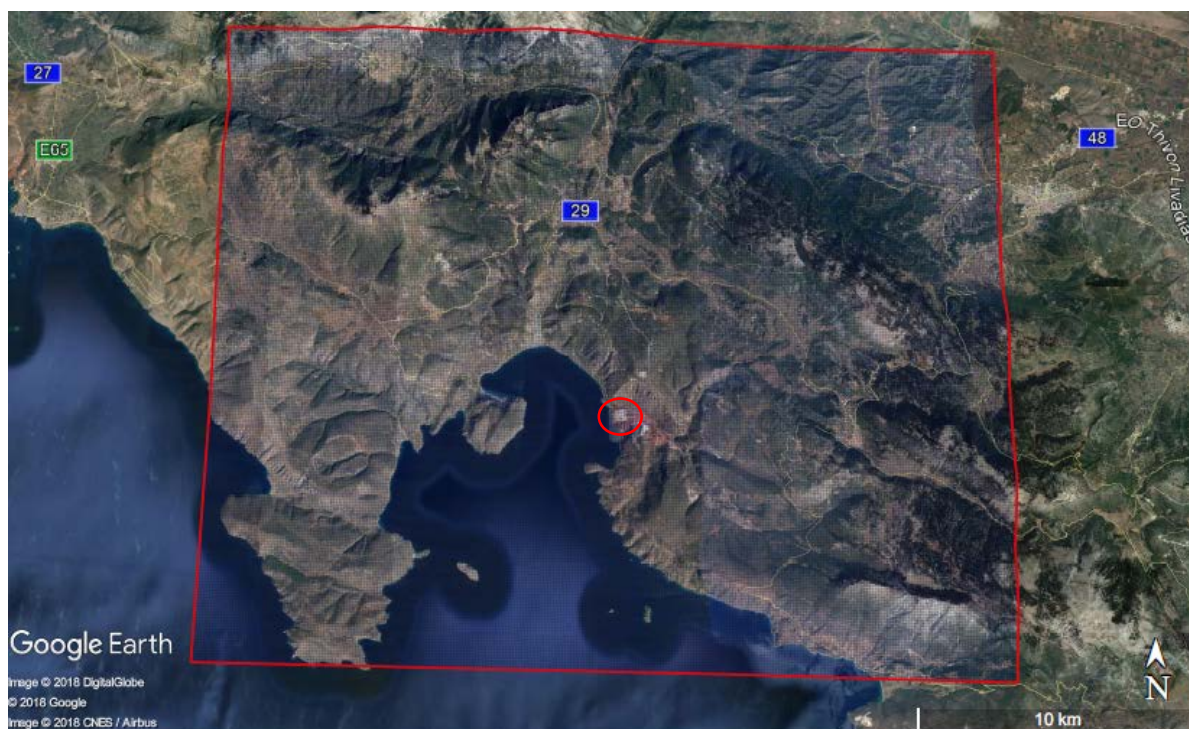
## **2.2 Περιοχή μελέτης**

Η περιοχή μελέτης οριοθετείται από μια ακτίνα που εκτιμάται ότι επηρεάζεται από τη λειτουργία των εξεταζόμενων εγκαταστάσεων υπό τις δυσμενέστερες συνθήκες ταχύτητας, διεύθυνσης ανέμου καθώς και ευστάθειας της ατμόσφαιρας. Λαμβάνοντας υπόψη κάποιους προκαταρκτικούς υπολογισμούς με το AERMOD, το μέγεθος των μονάδων, τη θέση των γειτονικών οικισμών και την τοπογραφία της ευρύτερης περιοχής, η περιοχή μελέτης ορίζεται με κέντρο τον νέο σταθμό ηλεκτροπαραγωγής και διαστάσεις 30km x 24 km. Ορίζεται πλέγμα οριζόντιων διαστάσεων 100 m x 100 m, στο οποίο υπολογίζονται από το μοντέλο διασποράς οι συγκεντρώσεις των αερίων ρύπων σε ύψος 1,7 m από το έδαφος, που αντιστοιχεί στο ύψος ενός μέσου ανθρώπου. Οι συνολικοί αποδέκτες (δηλαδή τα σημεία του πλέγματος στα οποία υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις αερίων ρύπων) είναι 72.541 (**Σχήμα 5**).

Τα υψομετρικά δεδομένα για την περιοχή μελέτης (**Σχήματα 6-7**) ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων SRTM3 (Shuttle Radar Topography Mission data) της National Aeronautics and Space Administration (NASA) και της USGS (U.S. Geological Survey<sup>1</sup>) σε μορφή ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Digital Terrain Map) και με οριζόντια ανάλυση 3" (~ 90m).

---

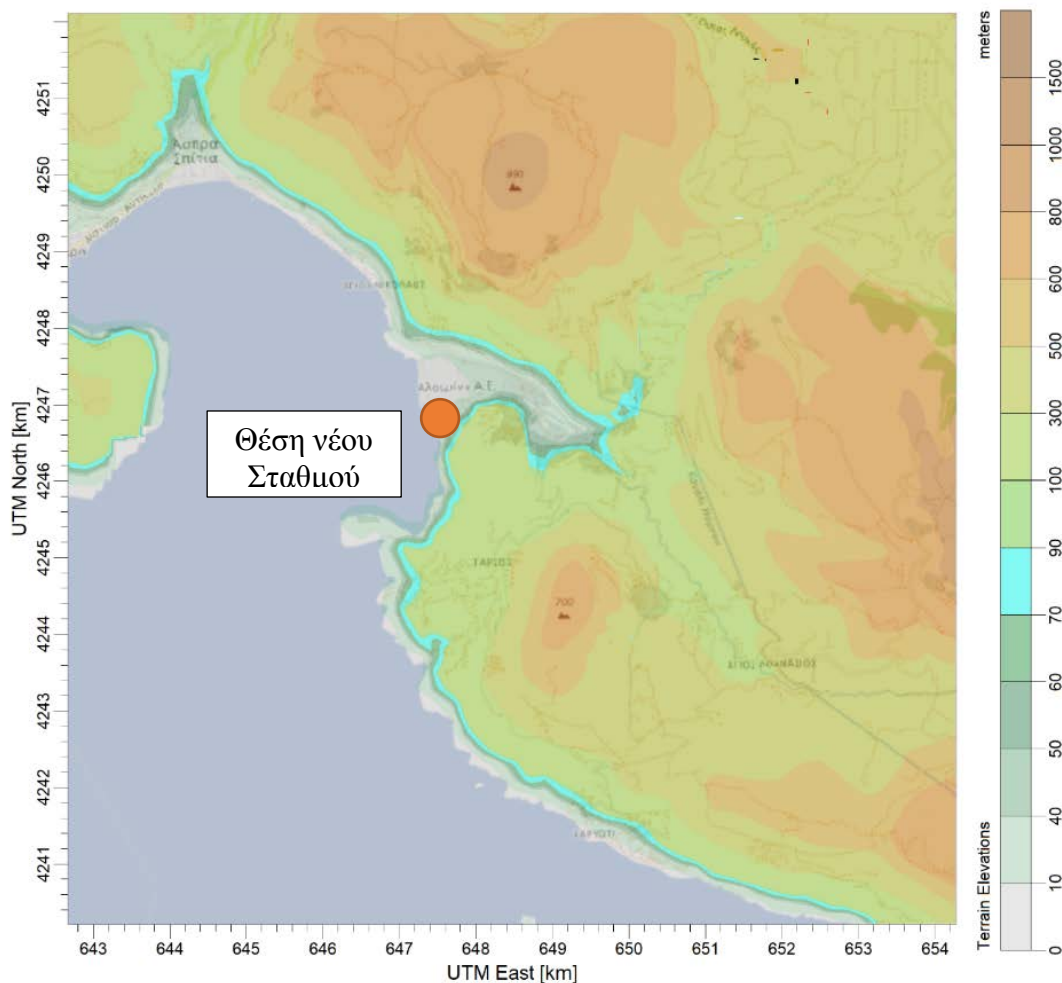
<sup>1</sup> Γεωλογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής



**Σχήμα 5:** Γεωγραφική περιοχή ανάλυσης για την εκτίμηση των επιπτώσεων του Σταθμού. Η προτεινόμενη θέση σημειώνεται με κόκκινο κύκλο, και με κόκκινο πλαίσιο τα όρια της περιοχής μελέτης.



**Σχήμα 6:** Τρισδιάστατο ανάγλυφο τμήματος της περιοχής μελέτης.



**Σχήμα 7:** Τοπογραφία τμήματος της περιοχής μελέτης

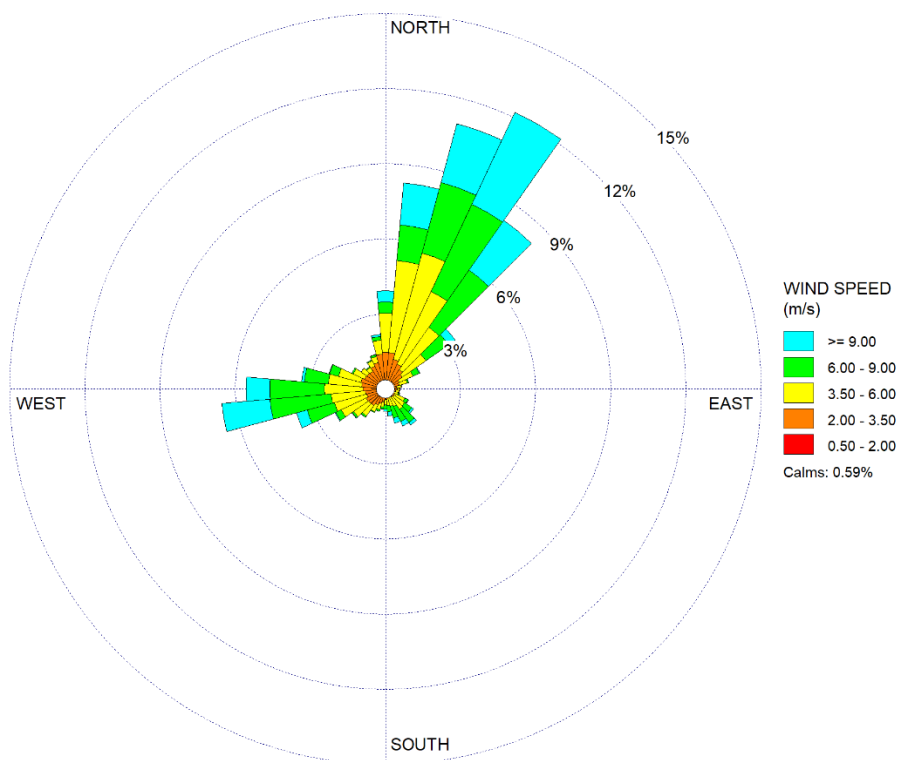
### 2.3 Μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης

Το AERMOD τροφοδοτείται με μετεωρολογικό αρχείο, χαρακτηριστικό της περιοχής μελέτης, που περιέχει αναλυτικές μετεωρολογικές πληροφορίες σε ωριαία βάση και για διάρκεια τουλάχιστον ενός έτους. Οι πληροφορίες αυτές περιλαμβάνουν κατεύθυνση και ταχύτητα του ανέμου, μέση θερμοκρασία ατμόσφαιρας, βροχόπτωση, νεφοκάλυψη, βαρομετρική πίεση, υγρασία κλπ., οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των κατακόρυφων προφίλ των απαιτούμενων μετεωρολογικών παραμέτρων (ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου, θερμοκρασία αέρα, βαθμίδα θερμοκρασίας, κλπ.) καθώς και των παραμέτρων του πλανητικού οριακού στρώματος.

Στην περιοχή του Έργου είναι εγκατεστημένοι και λειτουργούν ο Μετεωρολογικός Σταθμός (Μ.Σ.) στον Όσιο Λουκά της ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ, ο Μετεωρολογικός Σταθμός (Μ.Σ.) «Μεδεών» στη βόρεια περίφραξη των εγκαταστάσεων και ο Μ.Σ. της Αντίκυρας του Εθνικού

Αστεροσκοπείου Αθηνών. Οι μετεωρολογικές παράμετροι που καταγράφονται από τους ως άνω σταθμούς δεν καλύπτουν στο σύνολό τους τις παραμέτρους απαιτούνται από το AERMOD (π.χ. νεφοκάλυψη). Για τον λόγο αυτό στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης και βάσει των κατευθυντήριων οδηγιών της EPA χρησιμοποιήθηκαν ωριαία δεδομένα μετεωρολογικών παραμέτρων επιφανείας και ανώτερης ατμόσφαιρας που προέρχονται από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων του αριθμητικού προγνωστικού μοντέλου WRF για τα έτη 2013-2017. Η χρήση δεδομένων προγνωστικών μετεωρολογικών μοντέλων στο πλαίσιο της χρήσης λογισμικών διασποράς αέριας ρύπανσης αποτελεί συνήθη πρακτική, συστήνεται από την EPA και αναφέρεται ευρέως στη σχετική βιβλιογραφία και τα εγχειρίδια (π.χ στο «Good Practice Guide for Atmospheric Dispersion Modeling, 2004», του National Institute of Water and Atmospheric Research, για το Υπουργείο Περιβάλλοντος της Ν. Ζηλανδίας).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του αριθμητικού υπολογιστικού μοντέλου WRF (**Σχήμα 8**) για την πλέον πρόσφατη 5-ετία, οι επικρατούντες άνεμοι στην περιοχή είναι κυρίως βόρειας (Β) και βορειοανατολικής (ΒΑ) διεύθυνσεως και δευτερευόντως δυτικής (Δ) με ταχύτητες στα 10 μ. από το έδαφος της τάξης των 3,5 – 9m/s, ενώ λιγότερο από 1% των ετήσιων ωρών οι ταχύτητες είναι μικρότερες από 0,5m/s (νηνεμία).



## Σχήμα 7: Ανεμολογικό διάγραμμα βάσει αποτελεσμάτων μοντέλου WRF για 2013-2017

### 2.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά πηγών εκπομπής

Βασικά δεδομένα εισόδου στα μοντέλα διασποράς αποτελούν τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των πηγών εκπομπής που μοντελοποιούνται. Πιο συγκεκριμένα απαιτούνται στοιχεία όπως τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των σημείων εκπομπής (π.χ. θέση, ύψος και διάμετρος καμινάδας), η ταχύτητα και θερμοκρασία εξόδου αερίων και δεδομένα εκπομπών με τη μορφή μαζικής ροής στη μονάδα του χρόνου.

Τα δεδομένα του νέου Σταθμού παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 που ακολουθεί και αφορούν λειτουργία σε πλήρες φορτίο.

**Πίνακας 3:** Στοιχεία εκπομπών Σταθμού

Εκπομπές NO <sub>x</sub> στη καμινάδα εκφρασμένες ως NO <sub>2</sub>	112,9kg/h
Διάμετρος καμινάδας	9,2m
Ύψος καμινάδας	50m
Θερμοκρασία καυσαερίων	95 °C
Ταχύτητα καυσαερίων	20m/s

Οι υφιστάμενες πηγές εκπομπής NO<sub>x</sub> περιλαμβάνουν:

- Ανεξάρτητο Σταθμό Ηλεκτροπαραγωγής ισχύος 444,48MW<sub>e</sub> με καύσιμο φυσικό αέριο της ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ
- τους δύο αεριοστρόβιλους του Σταθμού Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης με καύσιμο φυσικό αέριο ισχύος 334MW<sub>e</sub> της ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ
- τους κλιβάνους και δύο μικρούς λέβητες του εργοστασίου αλουμίνας – αλουμινίου της ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ

Για τις παραπάνω εγκαταστάσεις τα τεχνικά χαρακτηριστικά προέρχονται από το περιβαλλοντικό αρχείο που τηρούν οι φορείς λειτουργίας του έργου. Ειδικά για την ποσότητα NO<sub>x</sub> που εκπέμπεται από τις υφιστάμενες πηγές ισχύουν τα εξής:



- για τους κλιβάνους και τους λέβητες του εργοστασίου αλουμίνας - αλουμινίου οι ετήσιες εκπομπές οξειδίων του αζώτου υπολογίζονται βάσει της κατανάλωσης των καυσίμων και με χρήση βιβλιογραφικών συντελεστών εκπομπής (5.363g/kg μαζούτ, 2.102gr/kg φυσικού αερίου και 2.384gr/Kg ντίζελ - Οδηγός Ενεργειακών Επενδύσεων ΥΠΑΝ 2005).
- για τον υφιστάμενο Ανεξάρτητο Σταθμό Ηλεκτροπαραγωγής και τον Σταθμό Συμπαραγωγής οι ετήσιες εκπομπές οξειδίων του αζώτου υπολογίζονται βάσει μετρήσεων στα απαέρια στις καμινάδες, της συγκέντρωσης των οξειδίων του αζώτου, των ωρών λειτουργίας και της συνολικής κατανάλωσης φυσικού αερίου.

Τα δεδομένα λειτουργίας των εγκαταστάσεων (π.χ. συνολική ετήσια κατανάλωση καυσίμων, ώρες λειτουργίας, κλπ) για την εκτίμηση του ρυθμού εκπομπής σε kg/h προέρχονται από τα πραγματικά ιστορικά δεδομένα της περιόδου 2013-2017 προσαρμοσμένα σε πιθανή αύξηση της παραγωγής, ενώ για τον νέο Σταθμό θεωρείται λειτουργία όλο το έτος σε πλήρες φορτίο.

Αναλυτικά τα δεδομένα των υφιστάμενων εγκαταστάσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4 που ακολουθεί.

**Πίνακας 4:** Στοιχεία εκπομπών υφιστάμενων εγκαταστάσεων.

ID	Περιγραφή	Ύψος	Διάμετρος	Ταχύτητα Εξόδου	Θερμοκρασία Εξόδου	Εκπομπές NO <sub>x</sub>	Ώρες Λειτουργίας	Ρυθμός εκπομπής NO <sub>x</sub>
		[m]	[m]	[m/s]	[C]	[tn/year]	[hr/yr]	[kg/h]
AL1	Περιστροφικός Κλίβανος Ασβέστη	30.0	1.40	15.90	260.00	65.00	8760	7.4201
AL2A	Περιστροφικό Κλίβανος No 1	42.0	2.10	13.70	230.00	0.00	8760	0.0000
AL2B	Περιστροφικό Κλίβανος No 2	42.0	2.10	12.10	170.00	12.41	8760	1.4161
AL2C	Κλίβανος Ρευστοστερεάς No 1	60.0	1.60	17.40	140.00	38.61	8760	4.4077
AL2D	Κλίβανος Ρευστοστερεάς No 2	56.0	1.90	17.40	190.00	45.67	8760	5.2130
AL3	Κλίβανος έψησης	30.0	2.20	9.40	150.00	41.44	8760	4.7306



ID	Περιγραφή	Ύψος	Διάμετρος	Ταχύτητα Εξόδου	Θερμοκρασία Εξόδου	Εκπομπές NO <sub>x</sub>	Ώρες Λειτουργίας	Ρυθμός εκπομπής NO <sub>x</sub>
		[m]	[m]	[m/s]	[C]	[tn/year]	[hr/yr]	[kg/h]
	ανοδίων							
AL4	Ελαιόθερμο	46.0	0.60	2.60	180.00	0.82	8760	0.0936
AL5	Κλίβανοι Χυτηρίου	28.0	1.05	8.40	800.00	7.53	8760	0.8592
AL5AB	Κλίβανοι Χυτηρίου	27.3	1.20	8.40	950.00	3.76	8760	0.4296
AL7_1	Σταθμός Συμπαγωγής	40.0	5.60	12.23	168.00	249.00	8760	28.4247
AL8	Λέβητας διπλού καυσίμου	40.0	1.70	42.32	170.00	0.06	8760	0.0074
AL9	Υφιστάμενος ΑΣΗ	50.0	7.00	10.87	85.00	408.00	6000	68.0000

## 2.5 Λοιπές παραδοχές

Εν γένει στους υπολογισμούς του μοντέλου διασποράς υιοθετούνται οι κατευθυντήριες οδηγίες της Αμερικάνικης Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (EPA, 2017). Οι οδηγίες καθορίζουν τις παραμέτρους του μοντέλου διασποράς και τις παραδοχές που υιοθετούνται για τις ανάγκες της μελέτης και την εξαγωγή των συμπερασμάτων.

Οι βασικές παραδοχές συνοψίζονται στα εξής:

- Η περίοδος των υπολογισμών είναι 5ετής και αναφέρεται στην περίοδο όλου του ημερολογιακού έτους (01.01 – 31.12) δηλαδή 8760 ώρες για κάθε έτος με ωριαίο βήμα για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων.
- Όλες οι εγκαταστάσεις θεωρείται ότι λειτουργούν 8760 ώρες το έτος και οι ρυθμοί εκπομπής NO<sub>x</sub> αντιστοιχούν σε συνθήκες πλήρους φορτίου (νέος σταθμός) και σε συνθήκες μέσου φορτίου (λοιπές υφιστάμενες εγκαταστάσεις)
- Οι φυσικοί μηχανισμοί απομάκρυνσης ρύπων από το πλούμιο (κυρίως λόγω κατακρήμνισης) δεν λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς, γεγονός το οποίο οδηγεί εν γένει σε υψηλότερες υπολογιζόμενες συγκεντρώσεις συγκριτικά με την περίπτωση που οι μηχανισμοί αυτοί ληφθούν υπόψη στους υπολογισμούς.
- Το AERMOD υποθέτει ότι το πεδίο ανέμου είναι ομοιογενές σε ολόκληρη την περιοχή μοντελοποίησης και η διασπορά πραγματοποιείται σε κάθε ωριαίο χρονικό βήμα άμεσα.
- Για την εκτίμηση των ωριαίων συγκεντρώσεων NO<sub>2</sub> υιοθετείται η μέθοδος ARM2 του Podrez (2015) και εναλλακτικά η χρήση σταθερής αναλογίας NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> ίση με 0,5

## 3. Αποτελέσματα

Βάσει των δεδομένων εισόδου και των παραδοχών που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, το AERMOD υπολογίζει τις ωριαίες συγκεντρώσεις των ρύπων σε κάθε κόμβο του πλέγματος (αποδέκτη) για την αντίστοιχη με τα μετεωρολογικά δεδομένα 5ετή περίοδο. Ουσιαστικά το μοντέλο διασποράς υπολογίζει τις συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub> στην περιοχή μελέτης από τη λειτουργία των εξεταζόμενων εγκαταστάσεων για 43.800

διαφορετικούς συνδυασμούς μετεωρολογικών συνθηκών (ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου, ευστάθειας ατμόσφαιρας, κλπ).

Για την αξιολόγηση των επιπτώσεων οι υπολογιζόμενες ωριαίες συγκεντρώσεις 5ετίας σε κάθε σημείο του πλέγματος (αποδέκτη) χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ακόλουθων στατιστικών μεγεθών κατά αναλογία με τα θεσμοθετημένα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας, ήτοι:

- 99,80<sup>ο</sup> εκατοστημόριο ωριαίων τιμών – Σύγκριση με οριακή τιμή: 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Μέγιστος μέσος όρος τριών συνεχόμενων ωρών – Σύγκριση με όριο συναγερμού: 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις – Σύγκριση με οριακή τιμή: 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  για την προστασία της ανθρώπινης υγείας και 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  για την προστασία της βλάστησης

Θα πρέπει να τονιστεί ότι ο μέσος όρος τριών συνεχόμενων ωρών δεν είναι άμεσα συγκρίσιμος με το όριο συναγερμού καθώς αυτό αφορά υπέρβαση τις οριακής τιμής για 3 συνεχόμενες ώρες. Ως εκ τούτου μέσος όρος τριών συνεχόμενων ωρών μεγαλύτερος από το 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  δεν σημαίνει απαραίτητα και υπέρβαση της οριακής τιμής για το ίδιο χρονικό διάστημα.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη μορφή ισορρυπαντικών χαρτών στο Παράρτημα για κάθε όριο, για τα 3 εξεταζόμενα σενάρια (Υφιστάμενες πηγές, νέος Σταθμός Ηλεκτροπαραγωγής και συνεργιστικές επιπτώσεις υφιστάμενων πηγών και νέος Σταθμός Ηλεκτροπαραγωγής) και για τις 2 μεθόδους εκτίμησης των  $\text{NO}_2$  (ARM2 και σταθερός λόγος). Επίσης παρουσιάζονται στους Πίνακες 5-7 οι εκτιμώμενες συγκεντρώσεις εντός των ορίων των γειτονικών οικισμών και στην περιοχή του Οσίου Λουκά από τη λειτουργία του νέου Σταθμού και λαμβάνοντας υπόψη και τις υφιστάμενες πηγές εκπομπής.

Σύμφωνα με τους χάρτες η περιοχή η οποία κυρίως επηρεάζεται τόσο από τη λειτουργία των υφιστάμενων πηγών εκπομπής όσο και από τον νέο Σταθμό είναι η περιοχή μεγαλύτερου υψομέτρου που βρίσκεται νότια των εγκαταστάσεων και σε απόσταση μικρότερη του 1,5 km από την προτεινόμενη θέση, καθώς σε όλες τις περιόδους αναφοράς (1h, 3h και ετήσια) οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σημειώνονται εντός της περιοχής αυτής.

Για περίοδο αναφοράς ενός έτους οι επιπτώσεις από την λειτουργία του νέου Σταθμού και από τη συνέργεια των υφιστάμενων πηγών εκπομπής είναι μικρές, αφού ακόμα και στην παραπάνω περιοχή οι μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub> είναι χαμηλότερες των θεσμοθετημένων ορίων τόσο για την ανθρώπινη υγεία (40μg/m<sup>3</sup>), όσο και για την προστασία της χλωρίδας και των οικοσυστημάτων (30μg/m<sup>3</sup>). Η μέγιστη στην περιοχή μέση ετήσια συγκέντρωση NO<sub>2</sub> από την ταυτόχρονη λειτουργία των υφιστάμενων πηγών και του νέου Σταθμού είναι 20,2μg/m<sup>3</sup> σύμφωνα με την μέθοδο ARM2, Podrez 2015. Στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης οι υπολογιζόμενες συγκεντρώσεις είναι σημαντικά χαμηλότερες και ειδικότερα στους οικισμούς δεν υπερβαίνουν το 2,1% του ορίου των 40 μg/m<sup>3</sup>.

**Πίνακας 5:** Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub> εντός οικισμών λόγω της λειτουργίας του νέου Σταθμού και των υφιστάμενων εγκαταστάσεων

Οικισμός	Μόνιμος Πληθυσμός Απογραφή 2011	Θέση σε σχέση με νέο Σταθμό	Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις (μg/m <sup>3</sup> )		Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις (ως ποσοστό ορίου 40 μg/m <sup>3</sup> )	
			NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> 50%	ARM2, Podrez 2015	NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> 50%	ARM2, Podrez 2015
Άγιος Νικόλαος	25	1,5 km ΒΔ	0,2	0,3	0,5%	0,8%
Άσπρα Σπίτια	1.578	4,5 km ΒΔ	0,1	0,2	0,3%	0,5%
Αντικύρα,η	1.448	5,3 km ΒΔ	0,04	0,1	0,1%	0,2%
Άγιος Ισίδωρος	89	6 km Δ	0,1	0,1	0,2%	0,4%
Μονή Οσίου Λουκά	3	6,5 km ΒΑ	0,1	0,3	0,4%	0,7%
Στείρι	686	5,7 km ΒΑ	0,1	0,2	0,3%	0,5%
Βάλτος	15	7,5 km Δ	0,03	0,1	0,1%	0,1%
Ποταμοί	21	8 km Δ	0,03	0,1	0,1%	0,1%
Στενός	8	7 km Δ	0,03	0,1	0,1%	0,1%
Κυριάκι	2.185	7,8 km Α	0,1	0,2	0,3%	0,5%
Ταρσός	17	1,8 km Ν	0,5	0,8	1,3%	2,1%
Ελικώνας	31	13 km Α	0,1	0,1	0,2%	0,3%
Δίστομο	1.589	8 km Β	0,1	0,1	0,2%	0,4%

Για περίοδο αναφοράς τριών ωρών οι συνεργιστικές επιπτώσεις είναι επίσης μικρές καθώς στους οικισμούς οι μέγιστες συγκεντρώσεις 3ώρου των NO<sub>2</sub> σε ετήσια βάση, που αντιστοιχούν στη δυσμενέστερες συνθήκες διασποράς, ανέρχονται σε 21,8% της οριακής τιμής στον οικισμό Ταρσός, ενώ στους υπόλοιπους δεν υπερβαίνουν το 10% σύμφωνα με την μέθοδο ARM2. Πλησίον της εγκατάστασης η μέγιστη υπολογιζόμενη μέγιστη τιμή 3ώρου ανέρχεται σε 223,4 μg/m<sup>3</sup> σύμφωνα με την μέθοδο ARM2 η οποία είναι σημαντικά μικρότερη από το όριο συναγερμού των 400μg/m<sup>3</sup>. Με βάση τη μέθοδο σταθερής αναλογίας σε μια πολύ μικρή περιοχή σε απόσταση 250-300m νότια του Σταθμού

υπολογίζονται από το μοντέλο μέγιστες τιμές 3ώρου που υπερβαίνουν τα 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Εντούτοις θα πρέπει να τονιστεί ότι αυτό αφενός δεν σημαίνει απαραίτητα υπέρβαση του ορίου συναγερμού (δηλαδή τιμές > 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  επί τρεις συνεχόμενες ώρες), και αφετέρου η χρήση ενός συντελεστή μετατροπής των NO<sub>x</sub> σε NO<sub>2</sub> της τάξης του 0,5 στο μοντέλο διασποράς έχει ως αποτέλεσμα την υπερεκτίμηση των συγκεντρώσεων NO<sub>2</sub> κοντά στην καμινάδα (American Petroleum Institute, 2013).

**Πίνακας 6:** Μέγιστες συγκεντρώσεις 3ώρου NO<sub>2</sub> εντός οικισμών λόγω της λειτουργίας του νέου Σταθμού και των υφιστάμενων εγκαταστάσεων

Οικισμός	Μόνιμος Πληθυσμός Απογραφή 2011	Θέση σε σχέση με νέο Σταθμό	Μέγιστες συγκεντρώσεις 3ώρου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Μέγιστες συγκεντρώσεις 3ώρου (ως ποσοστό ορίου 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
			NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> 50%	ARM2, Podrez 2015	NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> 50%	ARM2, Podrez 2015
Άγιος Νικόλαος	25	1,5 km ΒΔ	11,4	20,4	2,8%	5,1%
Άσπρα Σπίτια	1.578	4,5 km ΒΔ	8,6	15,5	2,2%	3,9%
Αντίκυρα,η	1.448	5,3 km ΒΔ	4,7	8,4	1,2%	2,1%
Άγιος Ισίδωρος	89	6 km Δ	21,1	36,7	5,3%	9,2%
Μονή Οσίου Λουκά	3	6,5 km ΒΑ	16,3	29,4	4,1%	7,4%
Στείρι	686	5,7 km ΒΑ	18,4	33,0	4,6%	8,3%
Βάλτος	15	7,5 km Δ	3,3	6,0	0,8%	1,5%
Ποταμοί	21	8 km Δ	3,7	6,6	0,9%	1,6%
Στενός	8	7 km Δ	3,7	6,7	0,9%	1,7%
Κυριάκι	2.185	7,8 km Α	6,4	11,5	1,6%	2,9%
Ταρσός	17	1,8 km Ν	71,8	87,4	18,0%	21,8%
Ελικώνας	31	13 km Α	2,3	4,1	0,6%	1,0%
Δίστομο	1.589	8 km Β	21,1	36,7	5,3%	9,2%

Για περίοδο αναφοράς μιας ώρας το 99,80<sup>ο</sup> εκατοστημόριο των υπολογιζόμενων συγκεντρώσεων NO<sub>2</sub> εντός του οικισμού Ταρσός είναι 92,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , δηλαδή δύο φορές μικρότερο από την οριακή τιμή των 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ενώ στους υπόλοιπους οικισμούς δεν υπερβαίνει τα 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου με την μέθοδο ARM2 μόνο σε έναν αποδέκτη σε απόσταση 200m νότια από την καμινάδα σημειώνεται υπέρβαση της οριακής τιμής, γεγονός το οποίο οφείλεται στο ότι ο συγκεκριμένος αποδέκτης βρίσκεται σε πολύ μικρή απόσταση και σε μεγαλύτερο υψόμετρο από τη βάση της καμινάδας. Με βάση τη μέθοδο σταθερής αναλογίας στην περιοχή νότια του Σταθμού και σε απόσταση μικρότερη του 1,5km υπολογίζονται από το μοντέλο υψηλές ωριαίες συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub>, οι οποίες όμως οφείλονται στο γεγονός ότι η χρήση ενός συντελεστή

μετατροπής των NO<sub>x</sub> σε NO<sub>2</sub> της τάξης του 0,5 στο μοντέλο διασποράς έχει ως αποτέλεσμα την υπερεκτίμηση των ωριαίων συγκεντρώσεων NO<sub>2</sub> σε περιοχές κοντά στην πηγή εκπομπής (American Petroleum Institute, 2013).

**Πίνακας 7:** 99,80<sup>ο</sup> εκατοστημόριο ωριαίων συγκεντρώσεων NO<sub>2</sub> εντός οικισμών λόγω της λειτουργίας του νέου Σταθμού και των υφιστάμενων εγκαταστάσεων

Οικισμός	Μόνιμος Πληθυσμός Απογραφή 2011	Θέση σε σχέση με νέο Σταθμό	99,80 <sup>ο</sup> εκατοστημόριο ωριαίων συγκεντρώσεων (μg/m <sup>3</sup> )		99,80 <sup>ο</sup> εκατοστημόριο ωριαίων συγκεντρώσεων (ως ποσοστό ορίου 200 μg/m <sup>3</sup> )	
			NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> 50%	ARM2, Podrez 2015	NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> 50%	ARM2, Podrez 2015
Άγιος Νικόλαος	25	1,5 km ΒΔ	8,7	15,6	4,3%	7,8%
Άσπρα Σπίτια	1.578	4,5 km ΒΔ	5,8	10,5	2,9%	5,2%
Αντικύρα,η	1.448	5,3 km ΒΔ	3,3	5,9	1,6%	3,0%
Άγιος Ισίδωρος	89	6 km Δ	7,1	12,7	3,5%	6,4%
Μονή Οσίου Λουκά	3	6,5 km ΒΑ	9,3	16,7	4,6%	8,4%
Στείρι	686	5,7 km ΒΑ	10,0	17,9	5,0%	9,0%
Βάλτος	15	7,5 km Δ	2,5	4,5	1,2%	2,2%
Ποταμοί	21	8 km Δ	2,5	4,4	1,2%	2,2%
Στενός	8	7 km Δ	2,6	4,7	1,3%	2,4%
Κυριάκι	2.185	7,8 km Α	3,9	7,1	2,0%	3,5%
Ταρσός	17	1,8 km Ν	57,9	92,4	29,0%	46,2%
Ελικώνας	31	13 km Α	2,0	3,6	1,0%	1,8%
Δίστομο	1.589	8 km Β	7,1	12,7	3,5%	6,4%

#### 4. Σύνοψη - Συμπεράσματα

Η εκτίμηση των επιπτώσεων της λειτουργίας του Έργου στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον της περιοχής, έγινε με τη χρήση κατάλληλου, ευρέως εφαρμοζόμενου διεθνώς, λογισμικού διασποράς αέριας ρύπανσης και ακολουθώντας τις κατευθυντήριες οδηγίες της ΕΡΑ και στοιχεία της πλέον πρόσφατης διεθνούς βιβλιογραφίας.

Εξετάσθηκε η διασπορά των εκπομπών NO<sub>x</sub> θεωρώντας συνεχή λειτουργία του Σταθμού σε συνθήκες πλήρους φορτίου για 8760 ώρες, συνυπολογίζοντας τις υφιστάμενες πηγές εκπομπής από όλες τις εγκαταστάσεις της ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΣ στην περιοχή και λαμβάνοντας υπόψη το ανάγλυφο της περιοχής και μετεωρολογικά δεδομένα πέντε ετών. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, προέκυψαν ισορρυπαντικοί χάρτες, στους οποίους αποτυπώνονται τα επίπεδα συγκέντρωσης των ως άνω αέριων ρύπων σε κάθε σημείο της

περιοχής μελέτης. Τα αποτελέσματα αφορούν χρονικά διαστήματα 1h, 3h και 1y, ώστε να είναι συγκρίσιμα με τα θεσμοθετημένα ανώτατα όρια συγκεντρώσεων για αυτές τις περιόδους αναφοράς.

Όπως προκύπτει από την ανάλυση των αποτελεσμάτων, οι συγκεντρώσεις NO<sub>2</sub> εντός των οικισμών λόγω της λειτουργίας του Σταθμού και λαμβάνοντας υπόψη και τη συνέργεια των υφιστάμενων πηγών εκπομπής είναι ιδιαίτερα περιορισμένες και πολύ χαμηλότερες των αντίστοιχων θεσμοθετημένων ορίων, ακόμα και υπό ιδιαίτερα δυσμενείς μετεωρολογικές καταστάσεις και για μικρά χρονικά διαστήματα της μίας και των τριών ωρών. Οι αντίστοιχες συγκεντρώσεις για περίοδο αναφοράς ενός έτους είναι αμελητέες, ακόμα και πολύ κοντά στον Σταθμό, ενώ παράλληλα, είναι σημαντικά χαμηλότερες και σε σχέση με το θεσμοθετημένο ετήσιο όριο προστασίας της χλωρίδας και των οικοσυστημάτων.

## 5. Βιβλιογραφία

American Petroleum Institute, 2017. Ambient Ratio Method Version 2 (ARM2) for use with AERMOD for 1-hr NO<sub>2</sub> Modeling. Development and Evaluation Report.

Briggs, G. A.. Plume dispersion in the convective boundary layer, Part II: Analysis of CONDORS field experiment data, *Journal Applied Meteorology*, 32, 1388-1425, 1993.

Carruthers D. J., Stocker J. R., Ellis A., Seaton M. D. & Smith S.E. (2017) Evaluation of an explicit NO<sub>x</sub> chemistry method in AERMOD, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 67:6, 702-712, DOI: 10.1080/10962247.2017.1280096

Chu, S., Meyer, E., 1991. Use of ambient ratios to estimate impact of NO<sub>x</sub> sources on annual NO<sub>2</sub> concentration. In: Annual Meeting of the Air and Waste Management Association, Vancouver, British Columbia

Cimorelli Alan J., Steven G. Perry<sup>1</sup>, Akula Venkatram, Jeffrey C. Weil,, AERMOD: DESCRIPTION OF MODEL FORMULATION, Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, Robert J. Paine, Robert B. Wilson, Warren D. Peters, Roger W. Brode, James O. Paumier, Office of Air Quality Planning and Standards, Emissions, Monitoring, and Analysis Division, September 2004.

Cole, H.S., and J.E. Summerhays. 1979. A review of techniques available for estimating short-term NO<sub>2</sub> concentrations. *J. Air Pollut. Control Assoc.* 29(8):812–7. doi:10.1080/00022470.1979.10470866

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 40 CFR Part 51 [EPA–HQ–OAR–2015–0310; FRL 9956–23– OAR]. Revisions to the Guideline on Air Quality Models: Enhancements to the AERMOD Dispersion Modeling System and Incorporation of Approaches To Address Ozone and Fine Particulate Matter. *Federal Register / Vol. 82, No. 10 / Tuesday, January 17, 2017 / Rules and Regulations.*

Guerreiro, C., J. Horálek, F. de Leeuw, C. Hak, C. Nagl, P. Kurfürst, and J. Ostatnická. 2010. Status and trends of NO<sub>2</sub> ambient concentrations in Europe. The European Topic Centre on Air and Climate Change (ETC/ACC) Technical paper 2010/19.



[https://www.researchgate.net/publication/260600537\\_Status\\_and\\_trends\\_of\\_NO2\\_ambient\\_concentrations\\_in\\_Europe](https://www.researchgate.net/publication/260600537_Status_and_trends_of_NO2_ambient_concentrations_in_Europe).

Hanrahan, P.L. 1999. The plume volume molar ratio method for determining NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> ratios in modeling— Part I: Methodology. J. Air Waste Manage. Assoc. 49 (11):1324–31. doi:10.1080/10473289.1999.10463960

Janssen, L.M.J.M., Van Haren, P.F., Van Duuren, H., 1991. Measurements and modeling of reactions of nitrogen oxides in power-plant plumes at night. Atmos. Environ. 25A, 829e840.

Podrez, M., 2015, An update to the ambient ratio method for 1-h NO<sub>2</sub> air quality standards dispersion modeling. Atm. Env., 103, 163-170. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.12.021>

Sheppard, P. A.. Airflow over mountains, Quart.J.Roy.Meteor.Sc. , 82, 528-529, 1956.

Snyder, W. H., R. S. Thompson, R. E. Eskridge, R. E. Lawson, I. P. Castro, J. T. Lee, J. C. R. Hunt, and Y. Ogawa: The structure of the strongly stratified flow over hills: Dividing streamline concept. J. Fluid. Mech., 152, 249-288, 1985.

Wang, Y.J., A. DenBleyker, E. McDonald-Buller, D. Allen and K. Zhang, 2011. Modeling the chemical evolution of nitrogen oxides near roadways. Atmos. Env., 45, 43-52.

Willis, G. E. and J. W. Deardorff. A laboratory study of dispersion in the middle of the convectively mixed layer, Atmos. Environ., 15, 109-117, 1981.

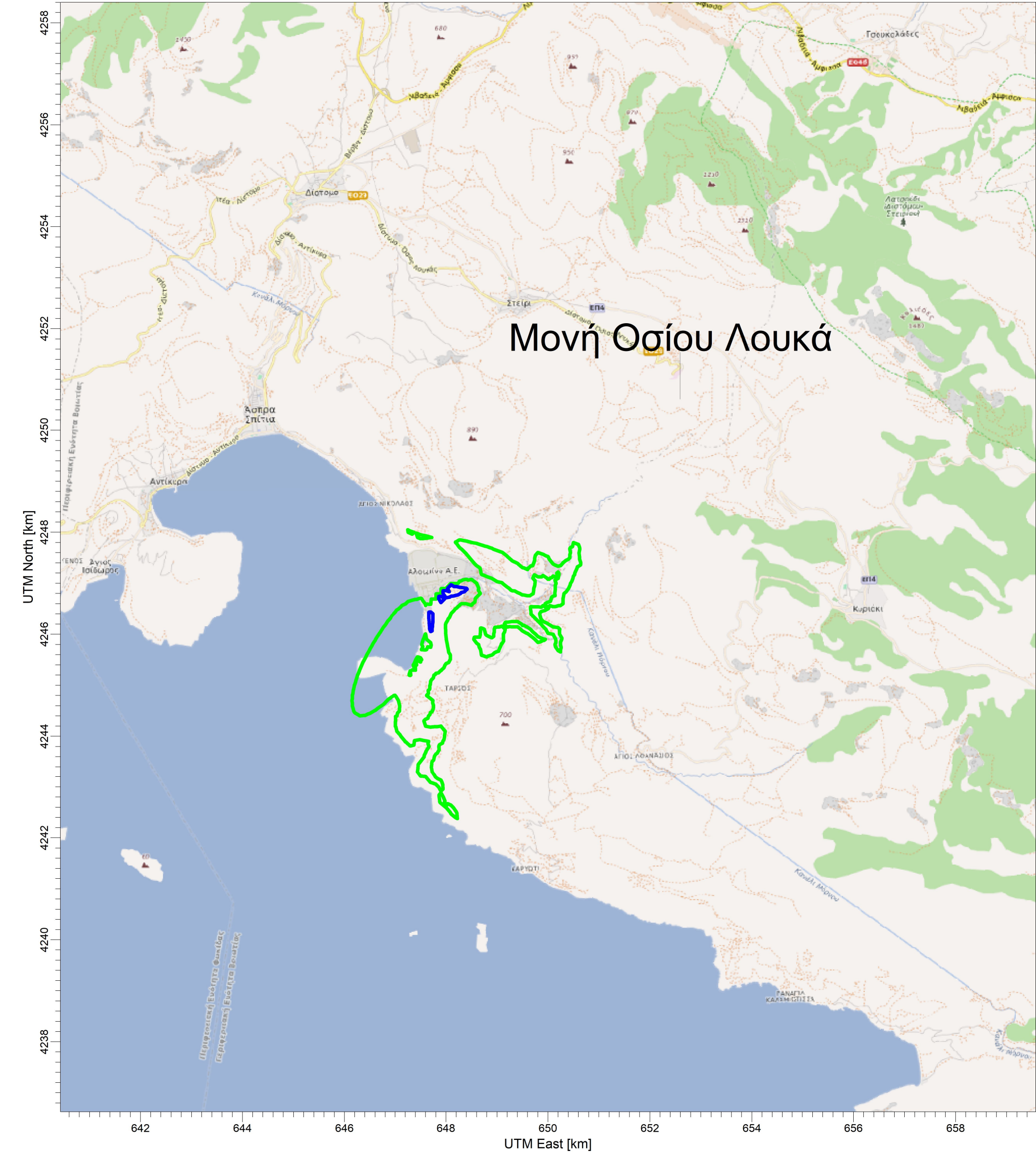
Κούτμος, Π., Δόγκας, Ε., Πατεράκης, Γ., Σούφλας, Κ., 2015. Εισαγωγή στις βασικές αρχές της θεωρίας και της τεχνολογίας της καύσης. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/1160>

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΚΑ), ΓΕΝ. Δ/ΝΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ, Δ/ΝΣΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ & ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΤΜΗΜΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, 2018. Ετήσια έκθεση ποιότητας της ατμόσφαιρας 2017.

## 6. Παράρτημα – Ισορροπαντικοί Χάρτες

Κωδικοποίηση	Περιγραφή
<b>Χάρτης 1</b>	Υφιστάμενες Πηγές Εκπομπής Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις NO <sub>2</sub> (ARM2 Podrez, 2015)
<b>Χάρτης 2</b>	Υφιστάμενες Πηγές Εκπομπής Μέγιστες συγκεντρώσεις 3ώρου NO <sub>2</sub> (ARM2 Podrez, 2015)
<b>Χάρτης 3</b>	Υφιστάμενες Πηγές Εκπομπής 99,80 <sup>ο</sup> εκατοστημόριο ωριαίων συγκεντρώσεων NO <sub>2</sub> (ARM2 Podrez, 2015)
<b>Χάρτης 4</b>	Νέος ΑΣΗ Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις NO <sub>2</sub> (ARM2 Podrez, 2015)
<b>Χάρτης 5</b>	Νέος ΑΣΗ Μέγιστες συγκεντρώσεις 3ώρου NO <sub>2</sub> (ARM2 Podrez, 2015)
<b>Χάρτης 6</b>	Νέος ΑΣΗ 99,80 <sup>ο</sup> εκατοστημόριο ωριαίων συγκεντρώσεων NO <sub>2</sub> (ARM2 Podrez, 2015)
<b>Χάρτης 7</b>	Υφιστάμενες Πηγές Εκπομπής και νέος ΑΣΗ Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις NO <sub>2</sub> (ARM2 Podrez, 2015)
<b>Χάρτης 8</b>	Υφιστάμενες Πηγές Εκπομπής και νέος ΑΣΗ Μέγιστες συγκεντρώσεις 3ώρου NO <sub>2</sub> (ARM2 Podrez, 2015)
<b>Χάρτης 9</b>	Υφιστάμενες Πηγές Εκπομπής και νέος ΑΣΗ 99,80 <sup>ο</sup> εκατοστημόριο ωριαίων συγκεντρώσεων NO <sub>2</sub> (ARM2 Podrez, 2015)
<b>Χάρτης 10</b>	Υφιστάμενες Πηγές Εκπομπής Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις NO <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> = 50%)
<b>Χάρτης 11</b>	Υφιστάμενες Πηγές Εκπομπής Μέγιστες συγκεντρώσεις 3ώρου NO <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> = 50%)
<b>Χάρτης 12</b>	Υφιστάμενες Πηγές Εκπομπής 99,80 <sup>ο</sup> εκατοστημόριο ωριαίων

Κωδικοποίηση	Περιγραφή
	συγκεντρώσεων NO <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> = 50%)
<b>Χάρτης 13</b>	Νέος ΑΣΗ Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις NO <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> = 50%)
<b>Χάρτης 14</b>	Νέος ΑΣΗ Μέγιστες συγκεντρώσεις 3ώρου NO <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> = 50%)
<b>Χάρτης 15</b>	Νέος ΑΣΗ 99,80ο εκατοστημόριο ωριαίων συγκεντρώσεων NO <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> = 50%)
<b>Χάρτης 16</b>	Υφιστάμενες Πηγές Εκπομπής και νέος ΑΣΗ Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις NO <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> = 50%)
<b>Χάρτης 17</b>	Υφιστάμενες Πηγές Εκπομπής και νέος ΑΣΗ Μέγιστες συγκεντρώσεις 3ώρου NO <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> = 50%)
<b>Χάρτης 18</b>	Υφιστάμενες Πηγές Εκπομπής και νέος ΑΣΗ 99,80 <sup>ο</sup> εκατοστημόριο ωριαίων συγκεντρώσεων NO <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> = 50%)



1 RANK ANNUAL CONCENTRATION (NO2-S1-ARM2-PODREZ) ug/m\*\*3  
Max = 15.6 [ug/m\*\*3] at (X = 648100.00, Y = 4246900.00)



		SCALE: 1:75,000	
		0  2 km	
		DATE: 05/10/2018	Χάρτης 1



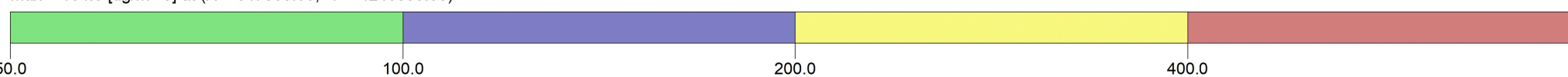
**Υφιστάμενες Πηγές Εκπομπής**  
**Μέγιστες συγκεντρώσεις 3ώρου (ARM2 Podrez, 2015)**



1 RANK 3 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (NO2-S1-ARM2-PODREZ)

 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

Max = 164.6 [ug/m\*\*3] at (X = 647800.00, Y = 4246500.00)



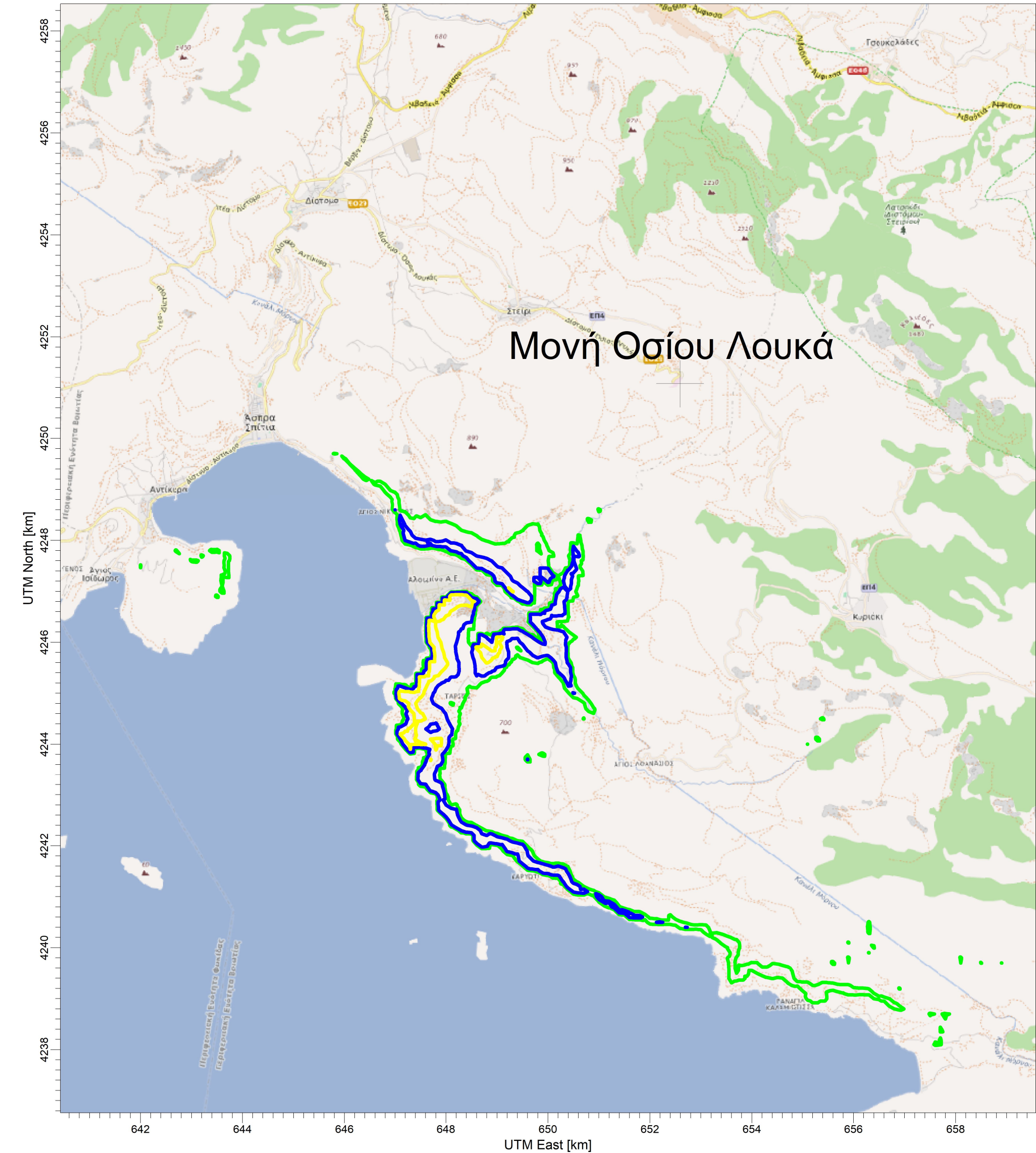
SCALE: 1:75,000

0  2 km

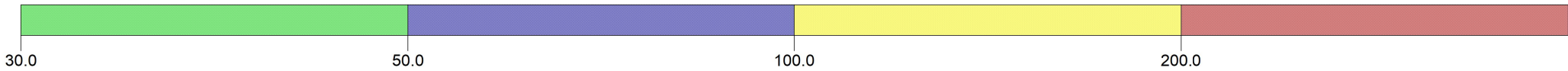
DATE:

## Χάρτης 2





18 RANK 1 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (NO2-S1-ARM2-PODREZ) ug/m\*\*3  
Max = 151.7 [ug/m\*\*3] at (X = 647700.00, Y = 4246300.00)

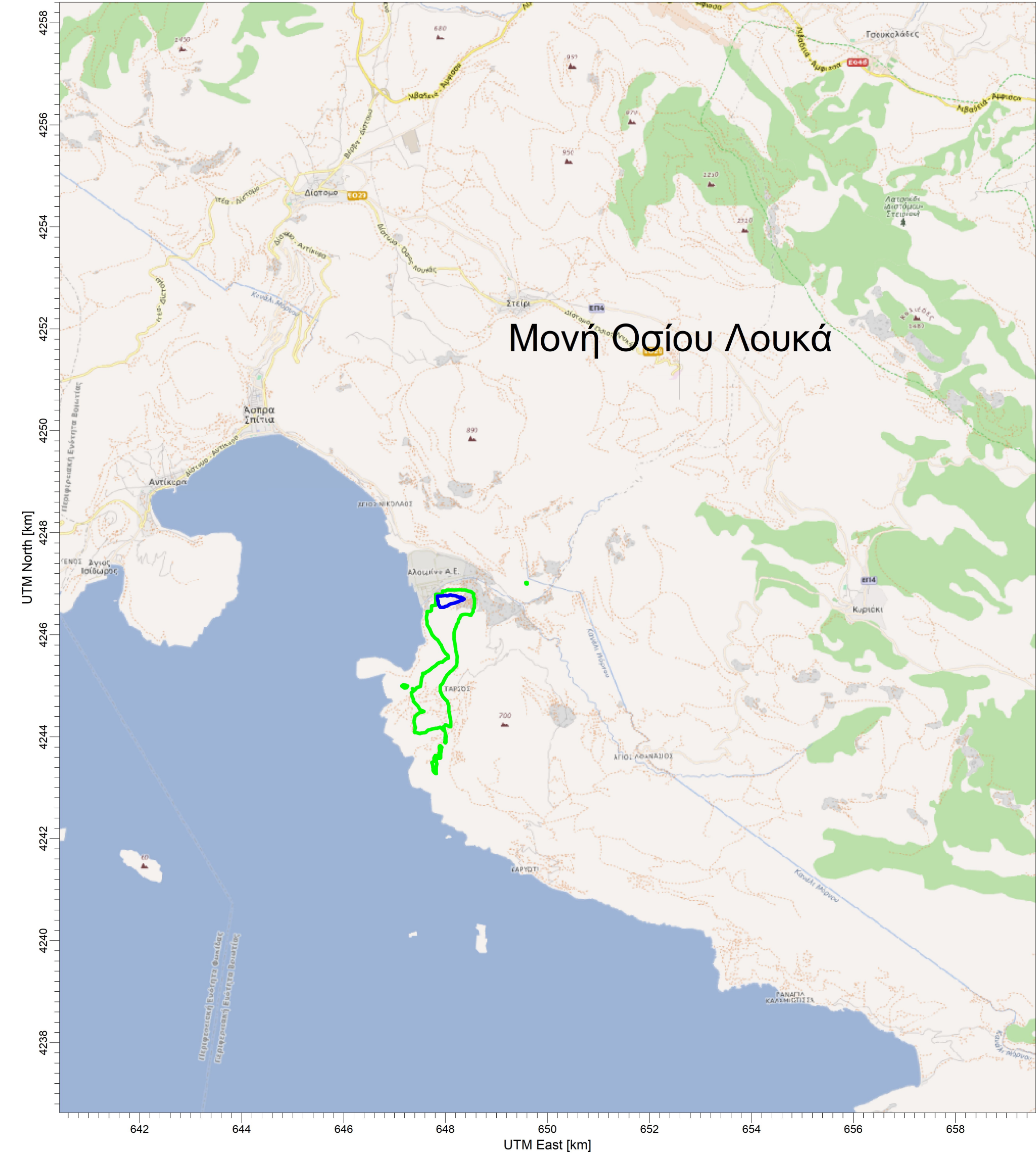


SCALE: 1:75,000  
0 2 km

DATE:  
05/10/2018

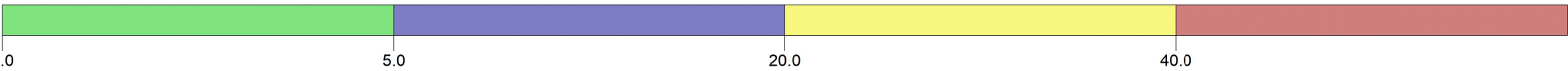
Χάρτης 3





Μονή Οσίου Λουκά

1 RANK ANNUAL CONCENTRATION (NO2-S2-ARM2-PODREZ) ug/m\*\*3  
Max = 12.9 [ug/m\*\*3] at (X = 648000.00, Y = 4246700.00)

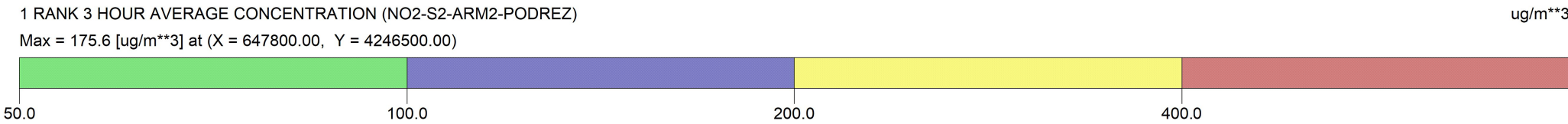
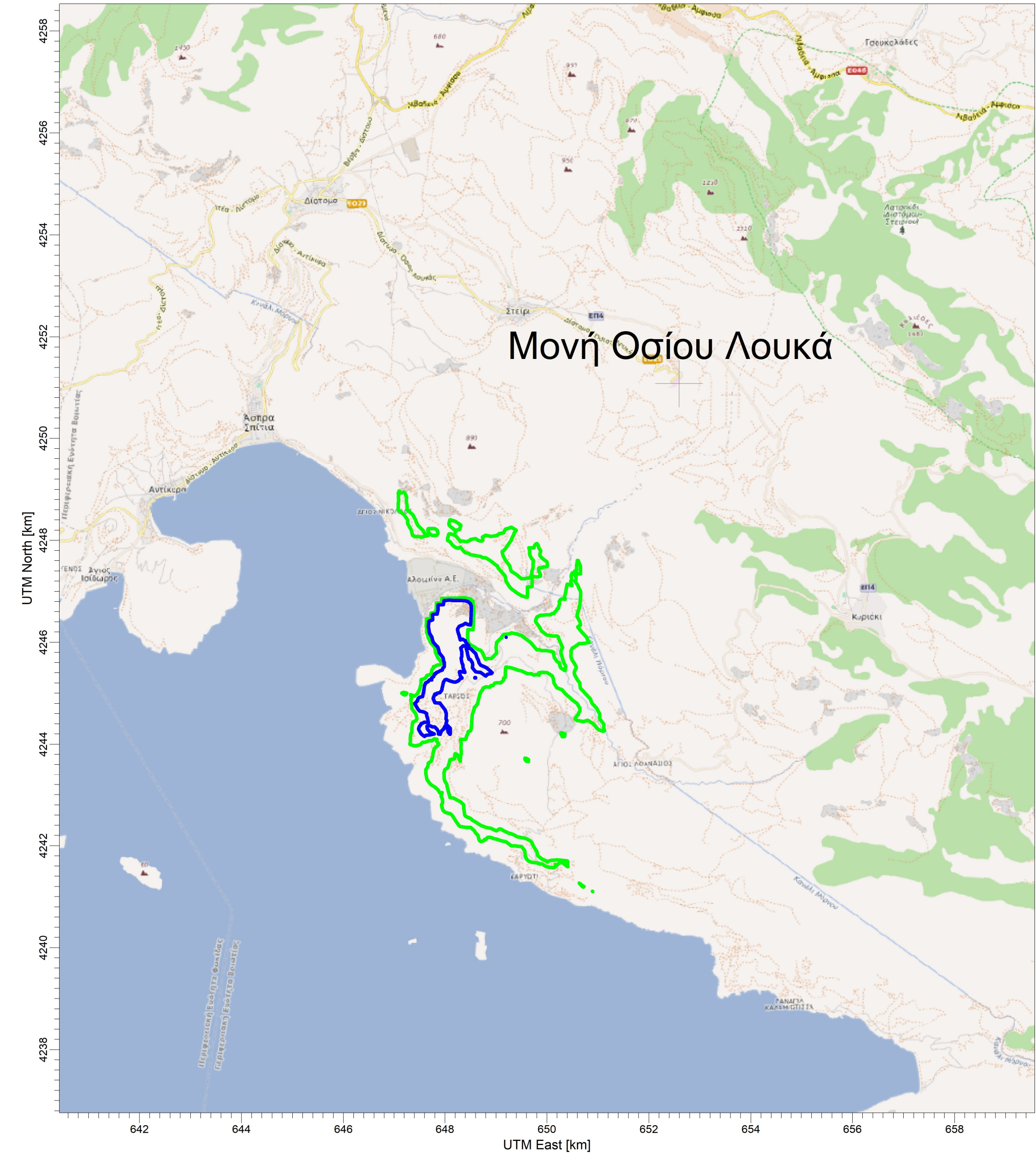


SCALE: 1:75,000  
0 2 km

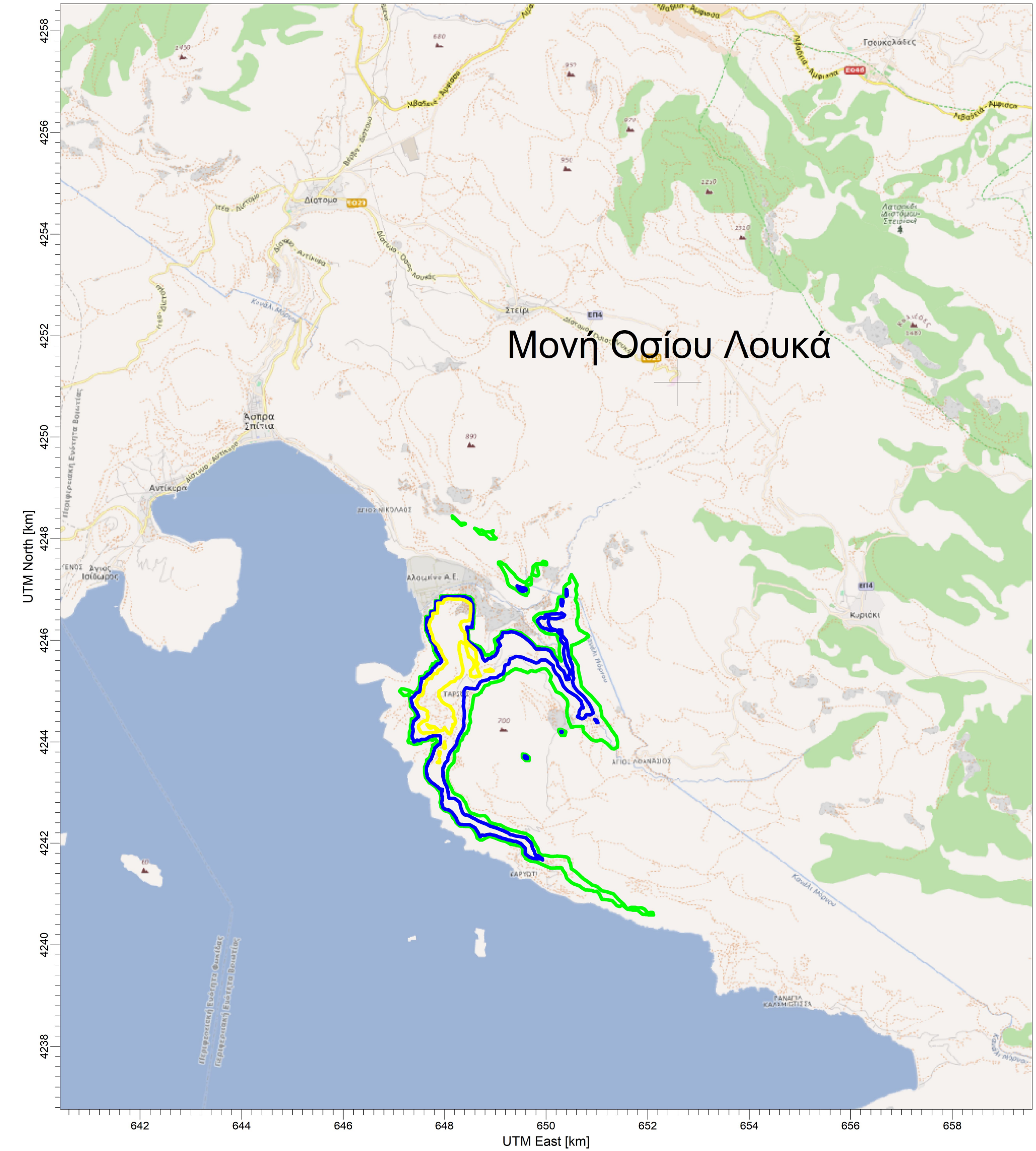
DATE:  
05/10/2018

Χάρτης 4









18 RANK 1 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (NO2-S2-ARM2-PODREZ) ug/m\*\*3  
Max = 156.5 [ug/m\*\*3] at (X = 647800.00, Y = 4246400.00)

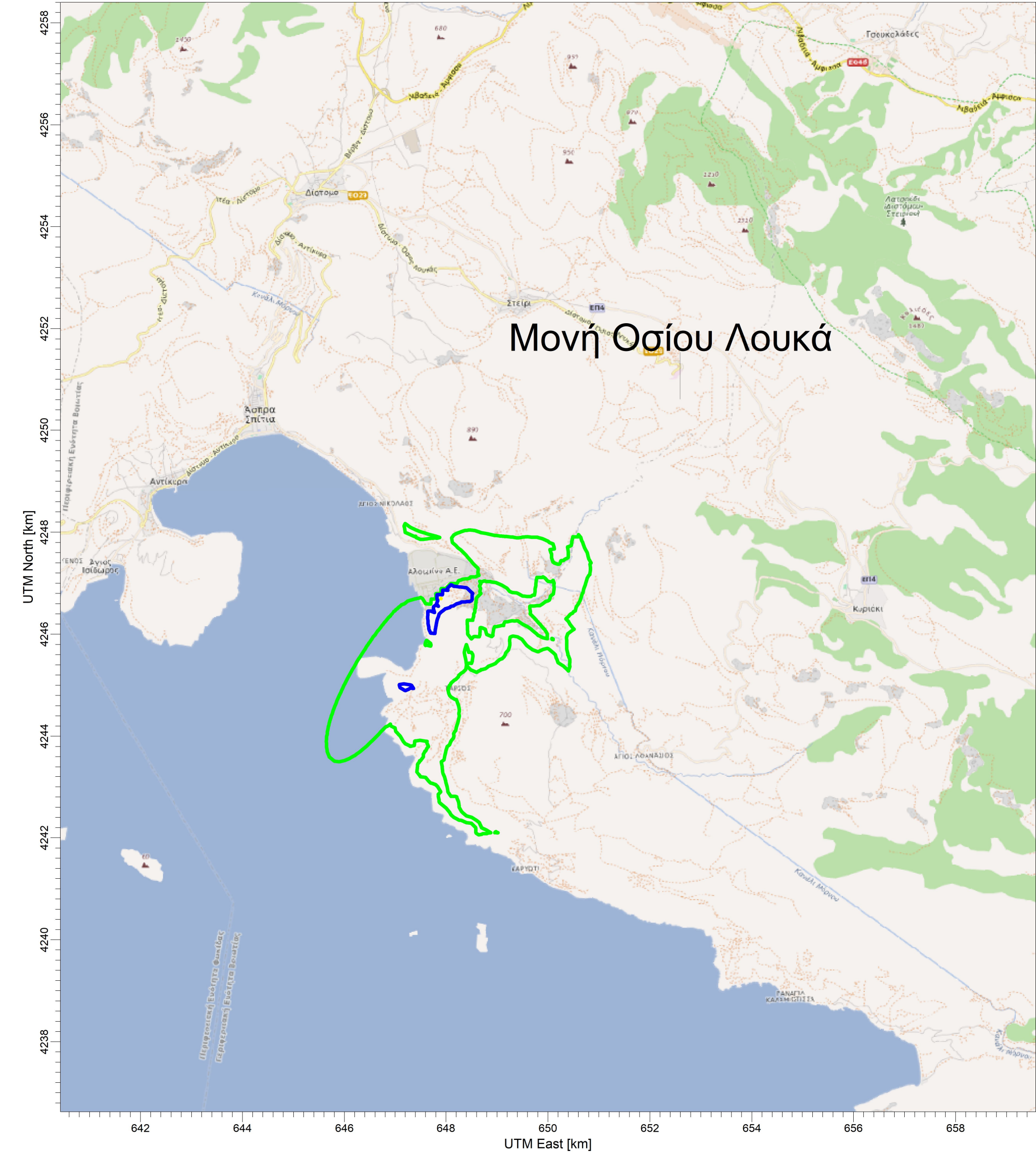


SCALE: 1:75,000  
0 2 km

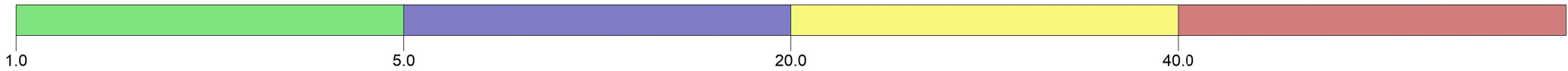
DATE:  
05/10/2018

Χάρτης 6





1 RANK ANNUAL CONCENTRATION (NO2-S3-ARM2-PODREZ) ug/m\*\*3  
Max = 20.2 [ug/m\*\*3] at (X = 647900.00, Y = 4246700.00)

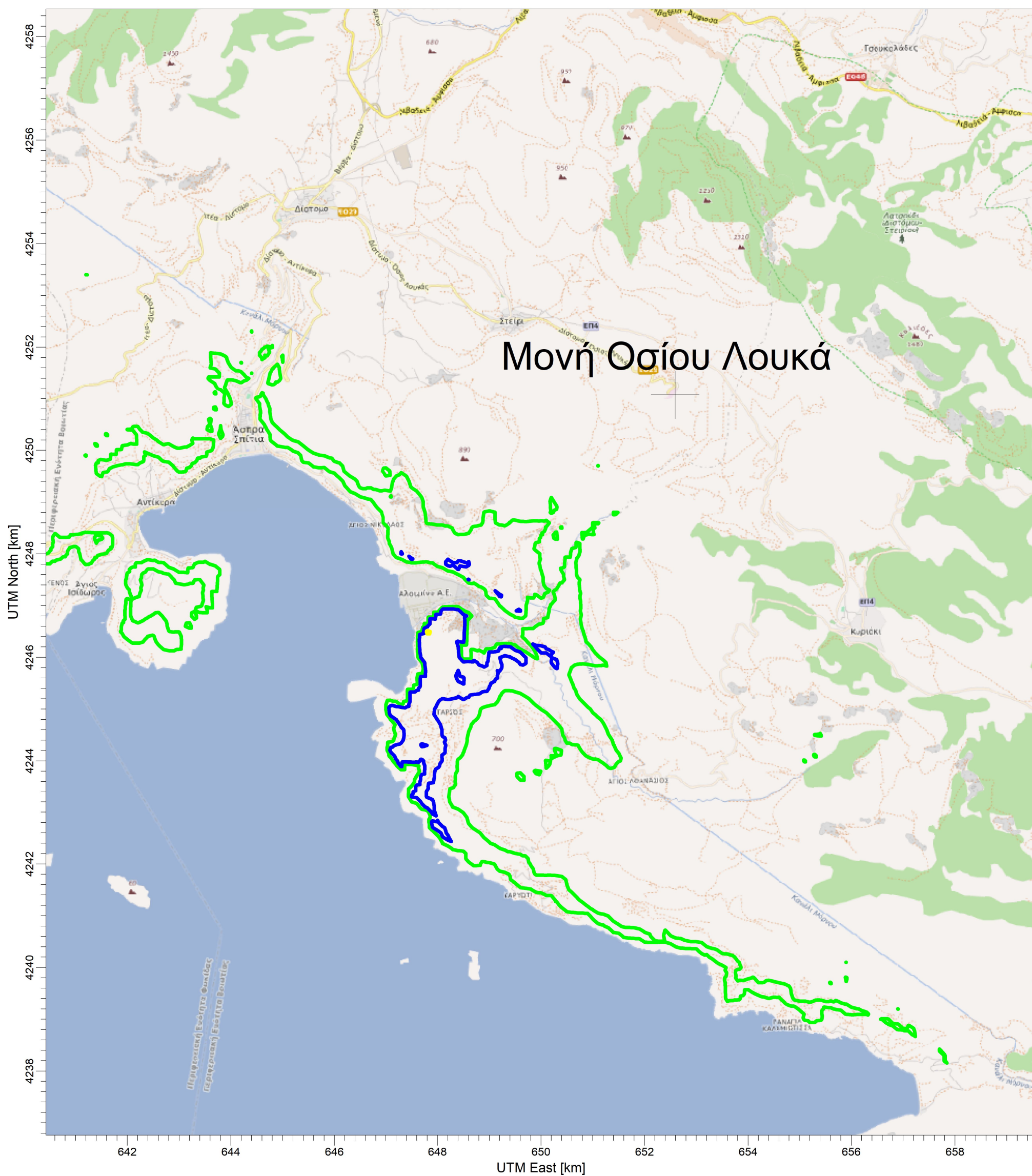


SCALE: 1:75,000  
0 2 km

DATE:  
05/10/2018

Χάρτης 7

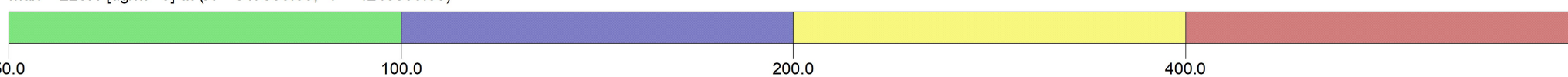




1 RANK 3 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (NO2-S3-ARM2-PODREZ)

 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

Max = 223.4 [ug/m\*\*3] at (X = 647800.00, Y = 4246500.00)



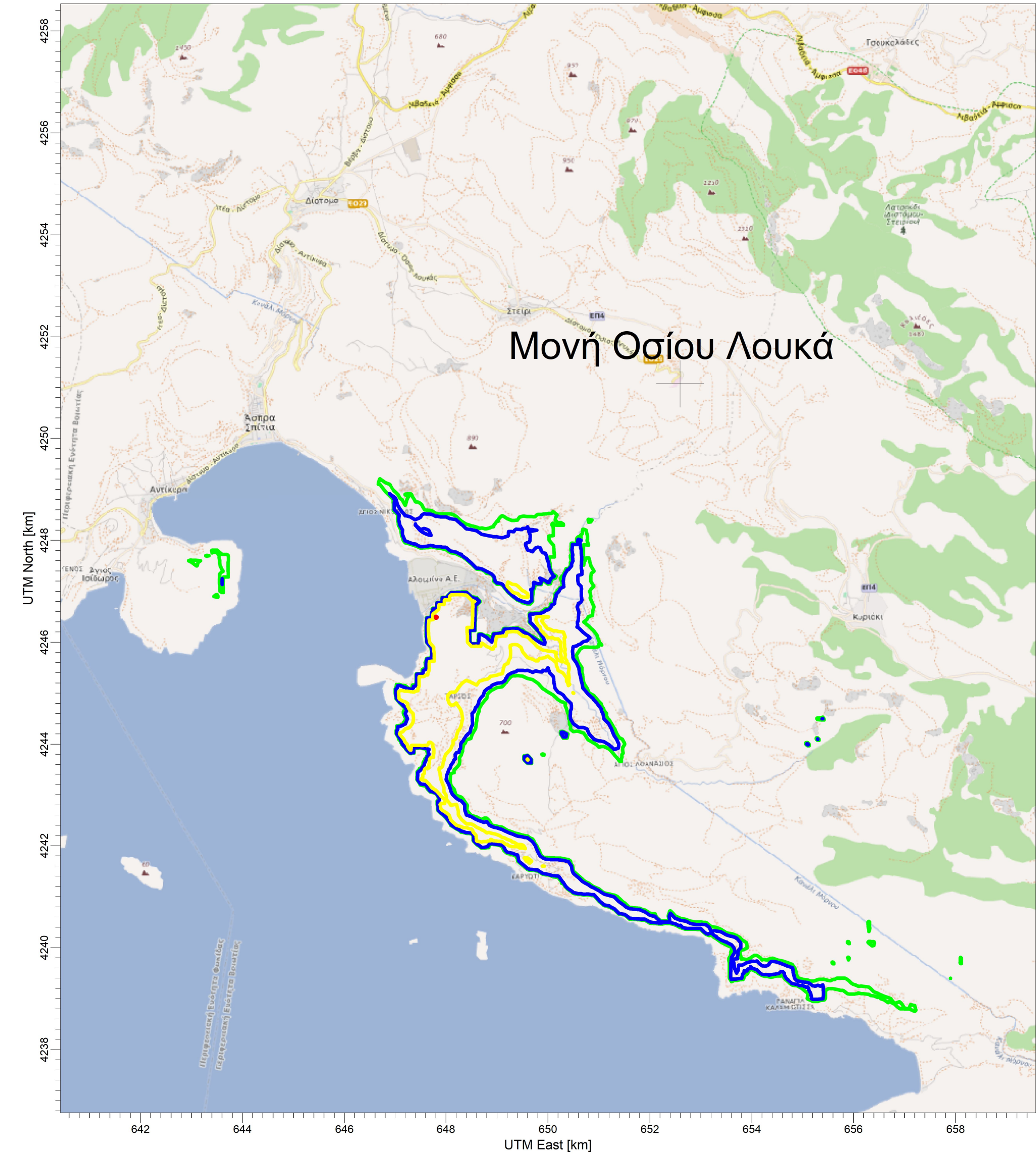
SCALE: 1:75,000

A horizontal scale bar with a black segment from 0 to 1 km and a white segment from 1 to 2 km. The total length represents 2 km.

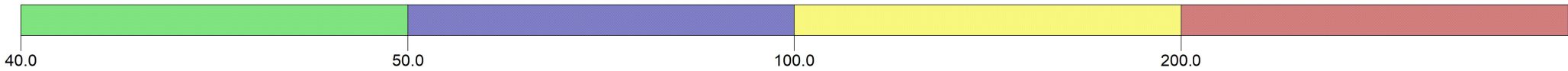
DATE:

## Χάρτης 8





18 RANK 1 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (NO2-S3-ARM2-PODREZ) ug/m\*\*3  
Max = 210.9 [ug/m\*\*3] at (X = 647800.00, Y = 4246500.00)

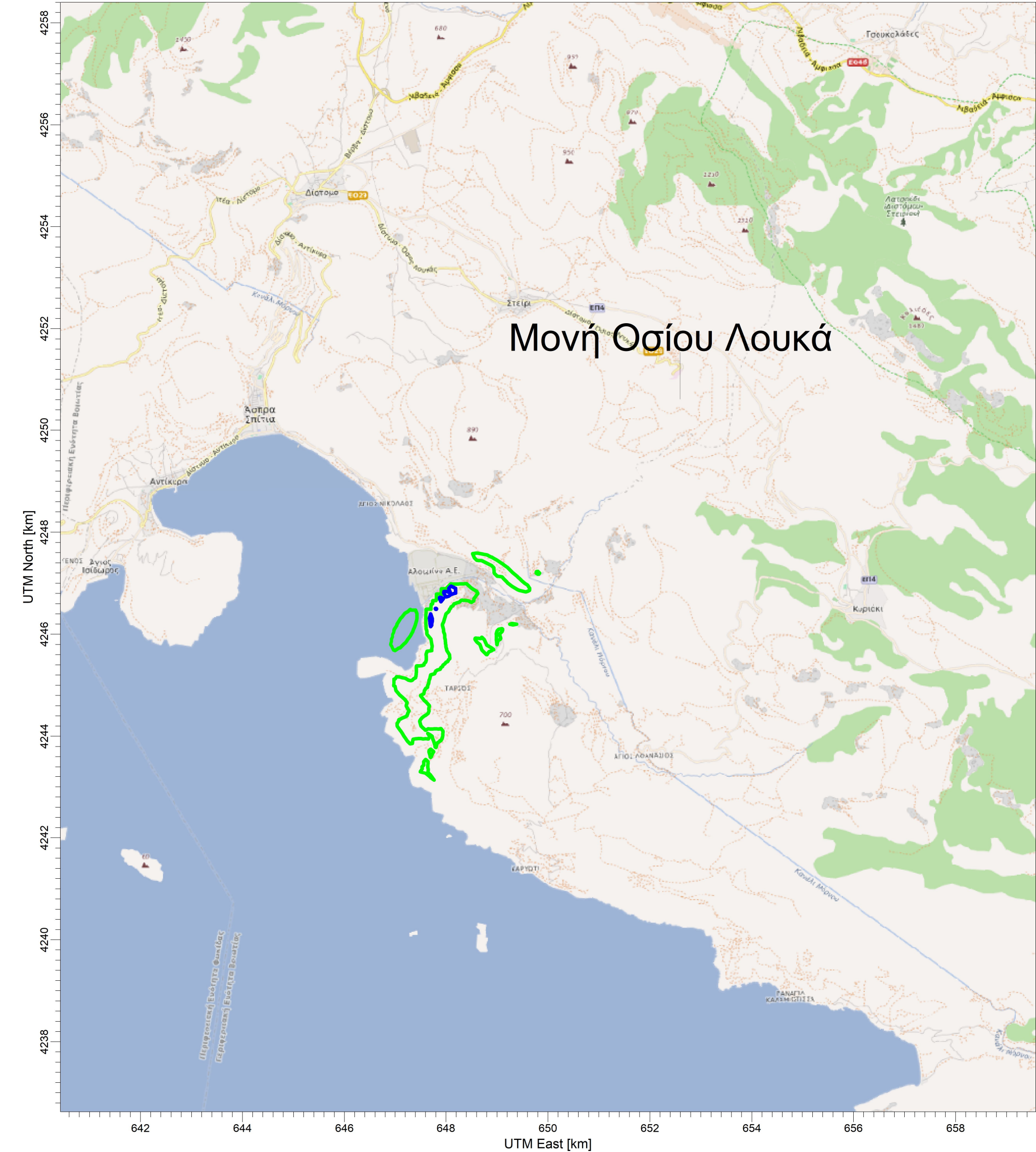


SCALE: 1:75,000  
0 2 km

DATE:  
05/10/2018

Χάρτης 9





Μονή Οσίου Λουκά

1 RANK ANNUAL CONCENTRATION (NO2-S1)

ug/m\*\*3

Max = 9.0 [ug/m\*\*3] at (X = 648100.00, Y = 4246900.00)



SCALE: 1:75,000

0 2 km

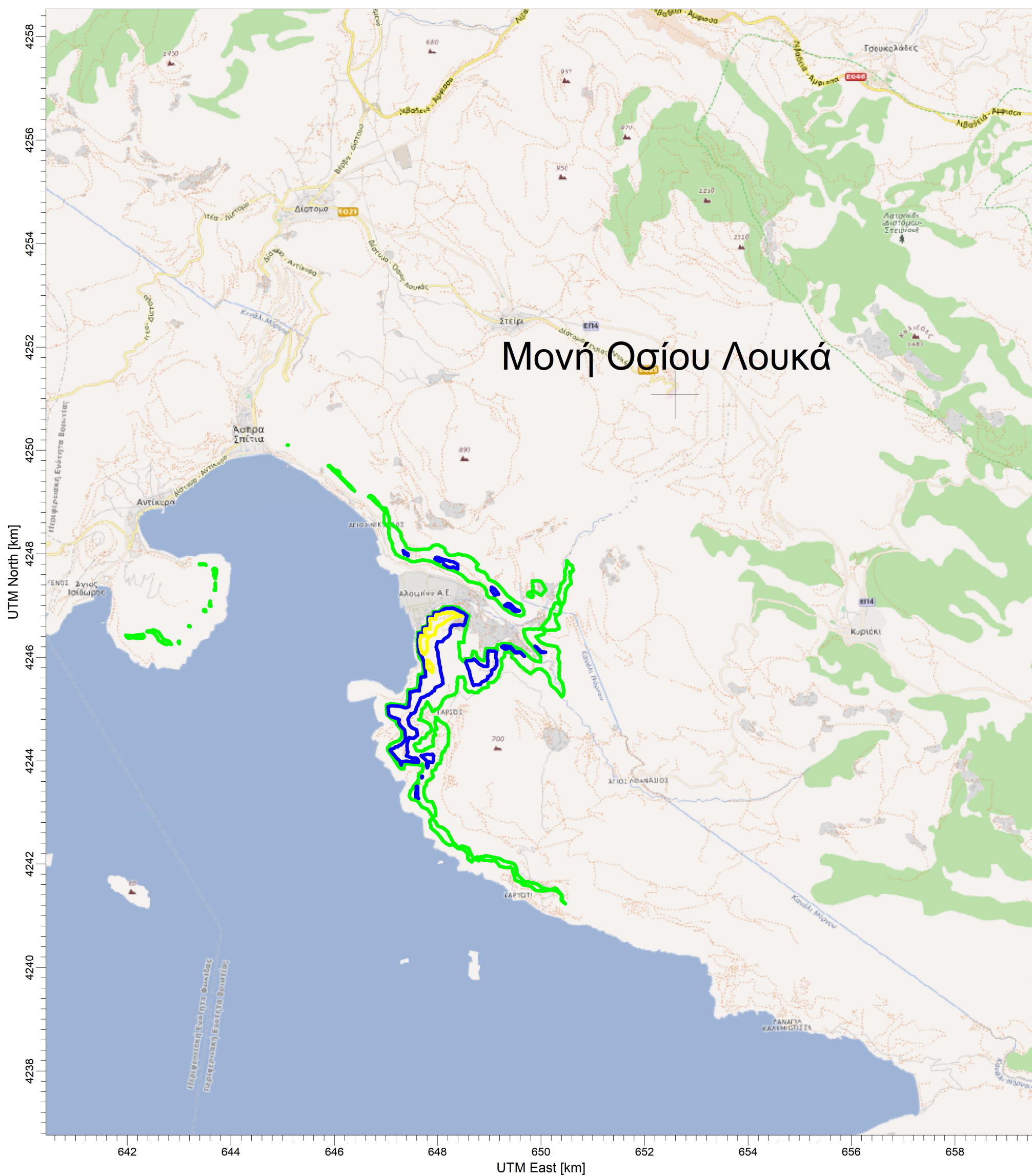
DATE:

05/10/2018

Χάρτης 10



**Υφιστάμενες Πηγές Εκπομπής**  
**Μέγιστες συγκεντρώσεις 3ώρου (NOx = 50% NO2)**



1 RANK 3 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (NO2-S1)

 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

Max = 387.6 [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] at (X = 647800.00, Y = 4246500.00)



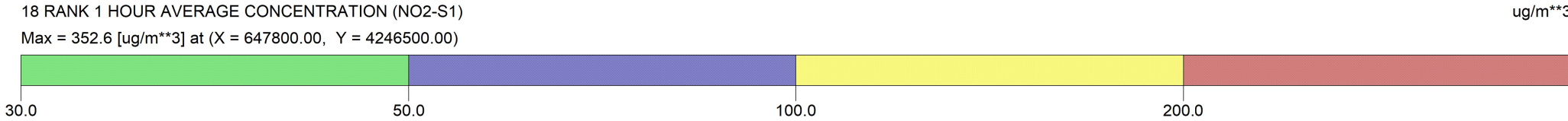
SCALE: 1:75,000

A horizontal number line with tick marks at 0, 1, and 2 km. The segment between 0 and 1 is filled with black, while the segment between 1 and 2 is white with a black outline.

DATE:

## Χάρτης 11





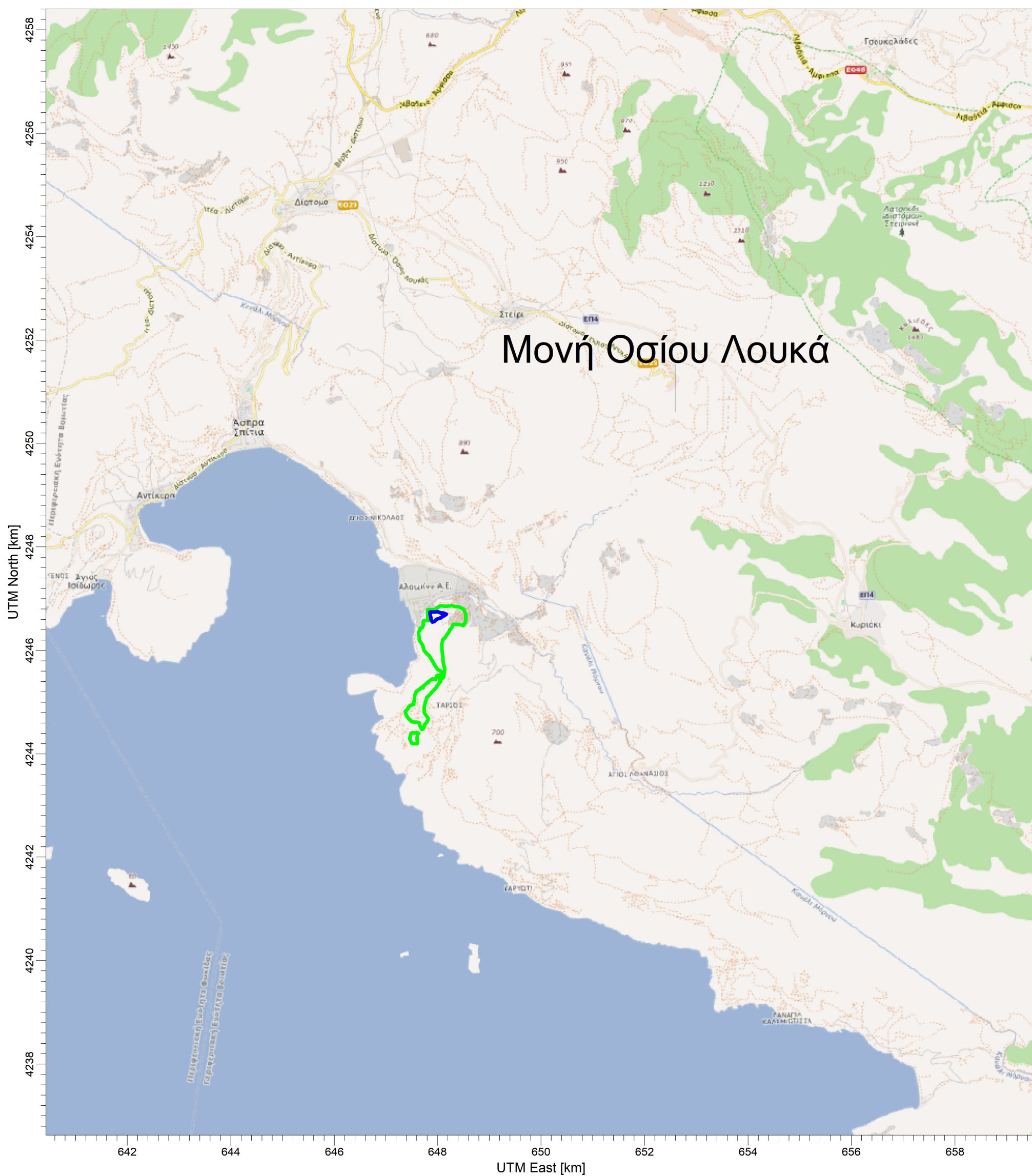
SCALE: 1:75,000  
0 2 km

DATE:  
05/10/2018

Χάρτης 12



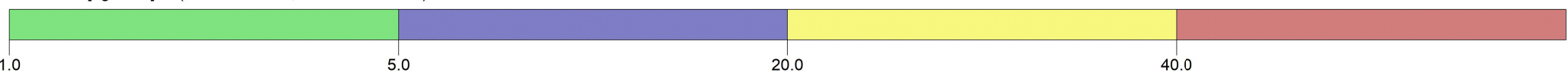
**Νέος ΑΣΗ**  
**Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις ( $\text{NO}_x = 50\% \text{NO}_2$ )**



1 RANK ANNUAL CONCENTRATION (NO2-S2)

 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

Max = 8.9 [ug/m\*\*3] at (X = 647900.00, Y = 4246700.00)



SCALE: 1:75,000

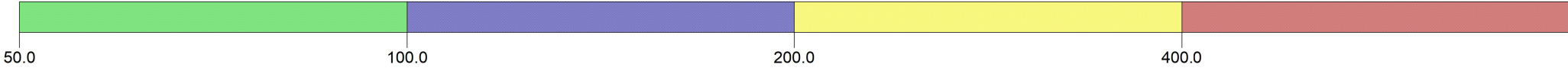
DATE:

### Χάρτης 13





1 RANK 3 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (NO2-S2) ug/m\*\*3  
Max = 389.4 [ug/m\*\*3] at (X = 647800.00, Y = 4246500.00)

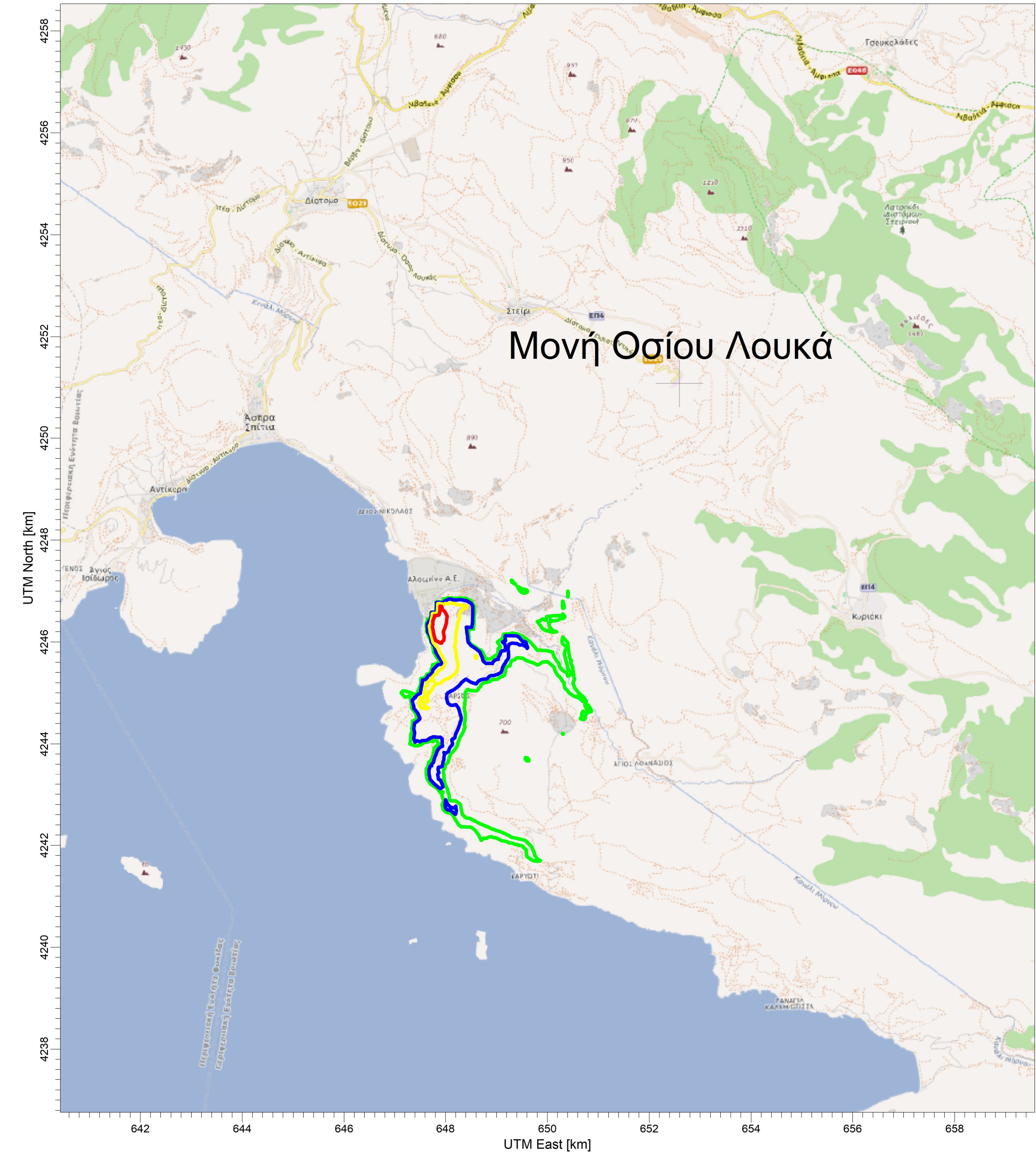


SCALE: 1:75,000  
0 2 km

DATE:  
05/10/2018

Χάρτης 14





Μονή Οσίου Λουκά

18 RANK 1 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (NO2-S2) ug/m\*\*3  
Max = 337.6 [ug/m\*\*3] at (X = 647800.00, Y = 4246400.00)

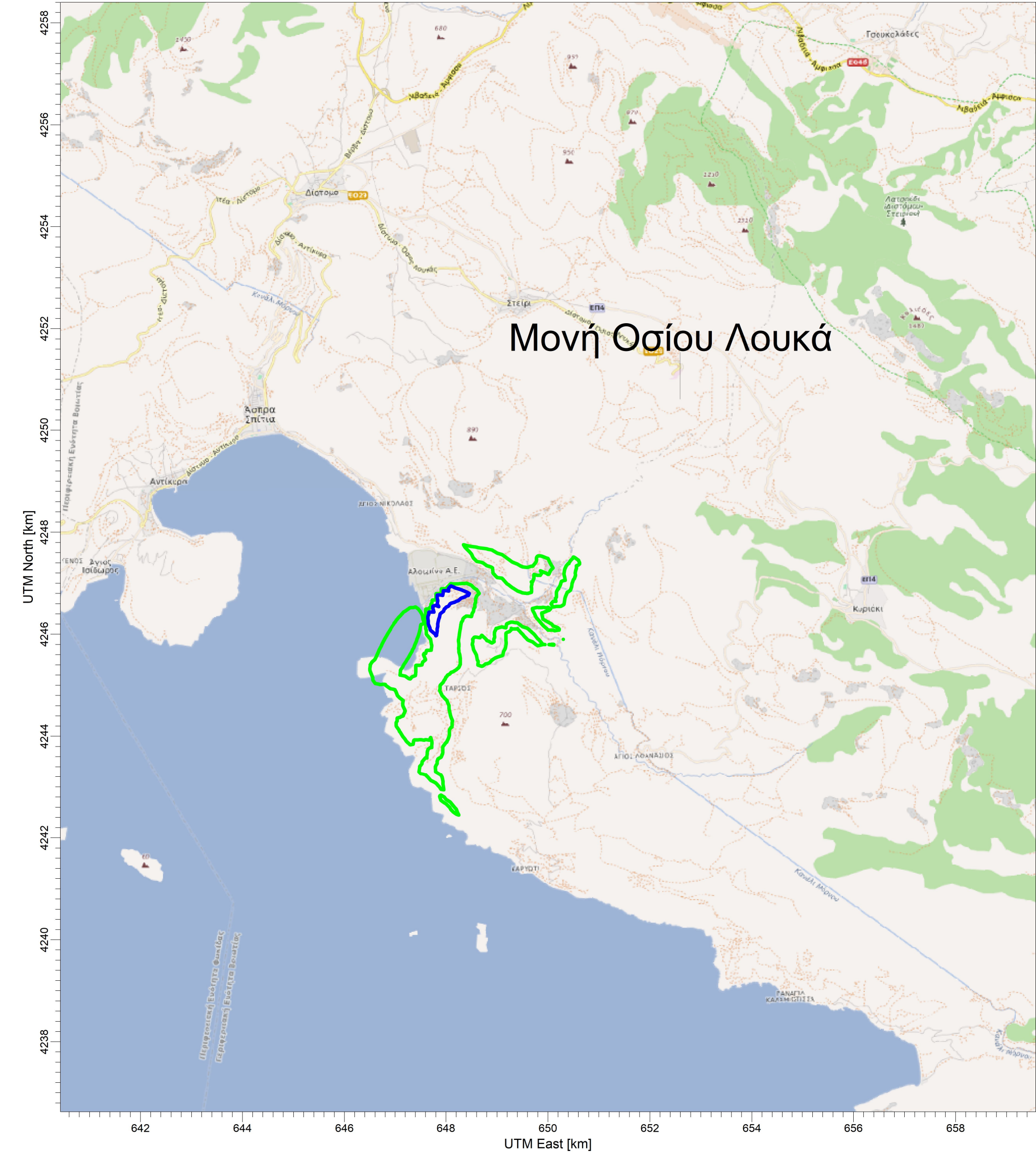


SCALE: 1:75,000  
0 2 km

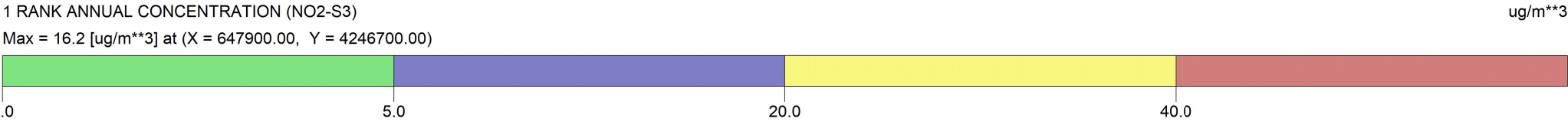
DATE:  
05/10/2018


Χάρτης 15



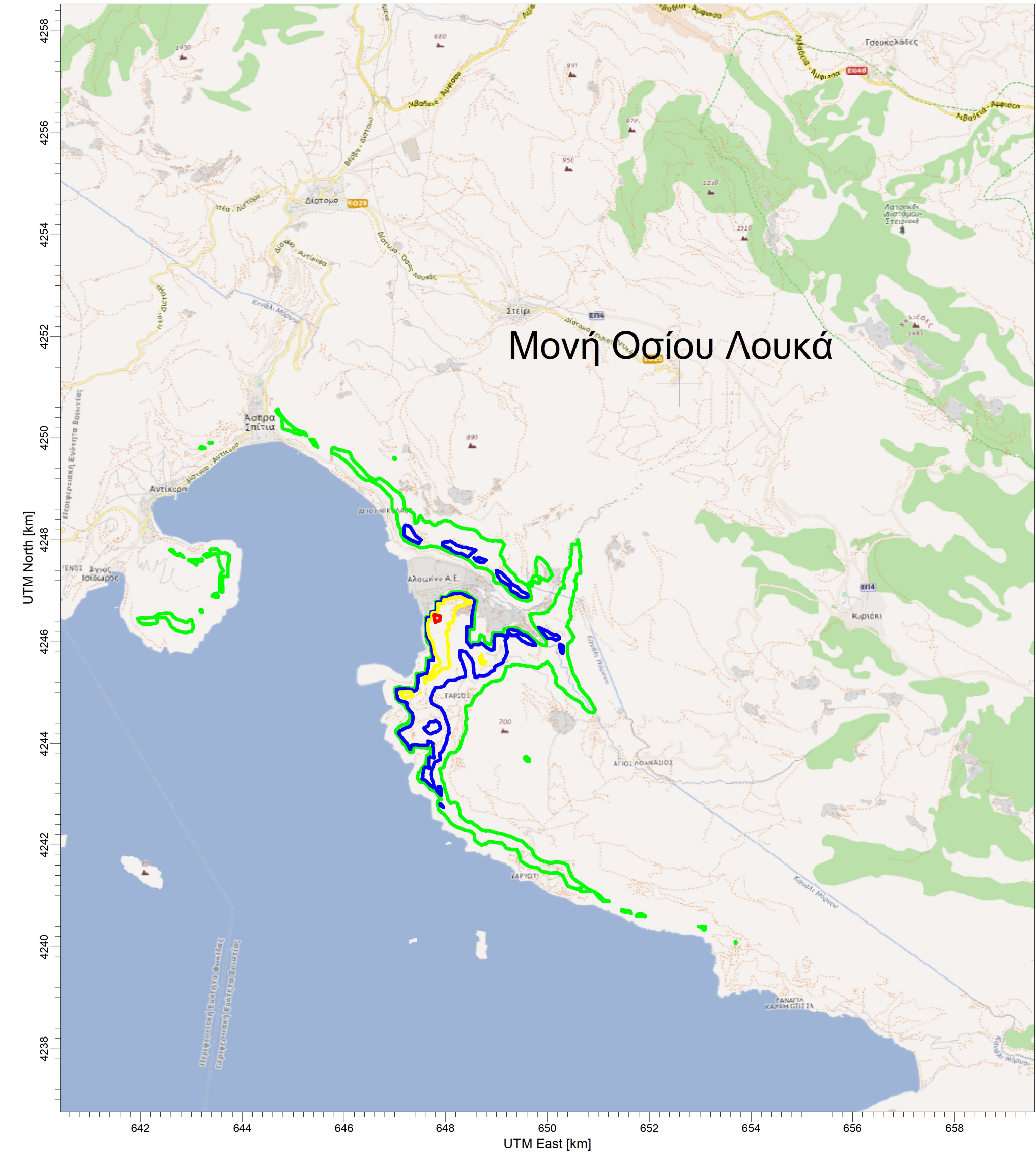


Μονή Οσίου Λουκά

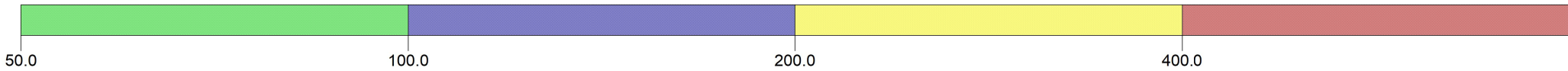


		<div>SCALE: 1:75,000</div> <div>0  2 km</div>			
DATE: 05/10/2018		Χάρτης 16			





1 RANK 3 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (NO2-S3) ug/m\*\*3  
Max = 528.4 [ug/m\*\*3] at (X = 647800.00, Y = 4246500.00)

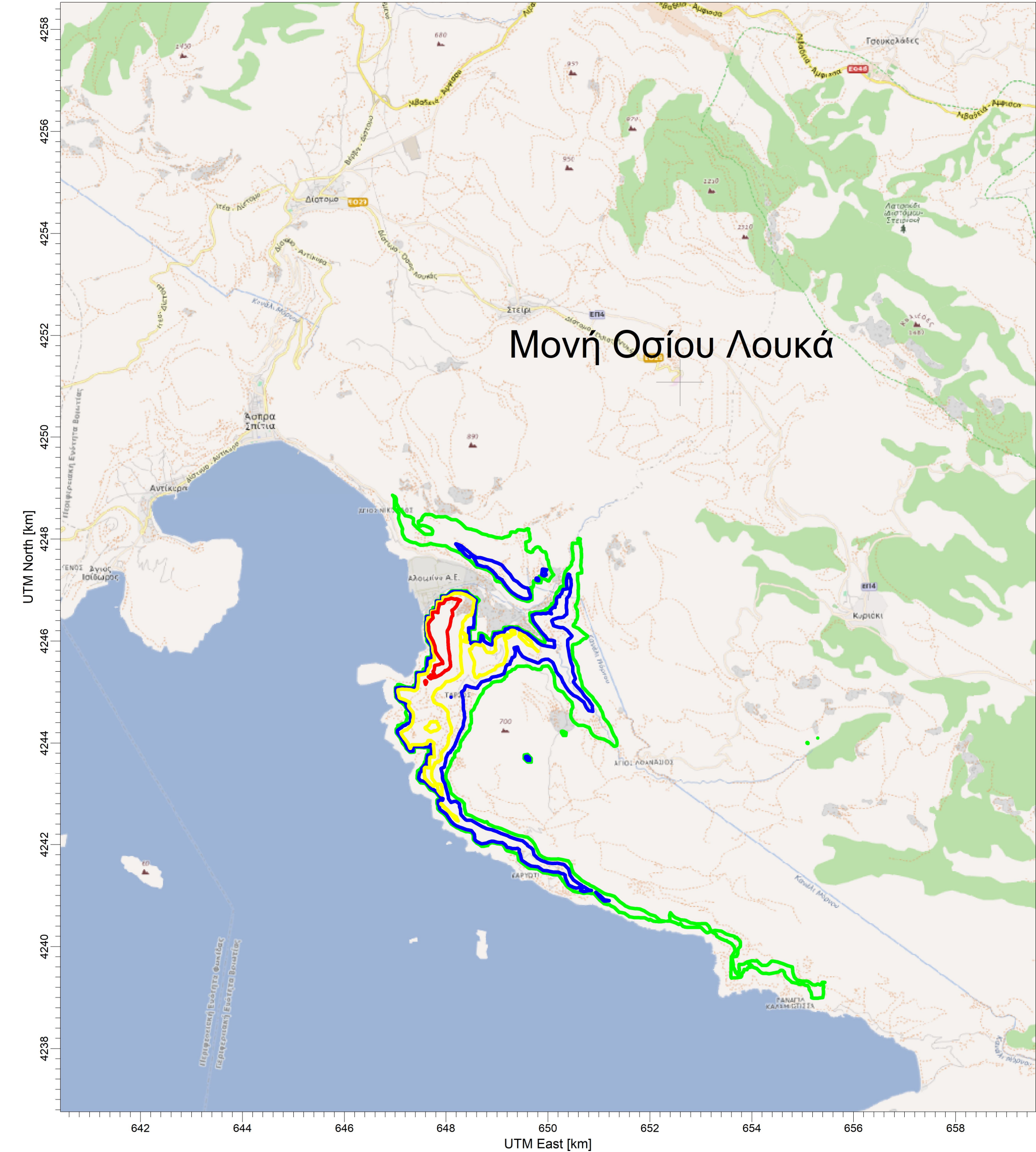


SCALE: 1:75,000  
0 2 km

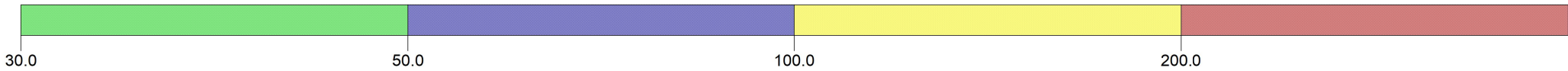
DATE:  
05/10/2018

Χάρτης 17





18 RANK 1 HOUR AVERAGE CONCENTRATION (NO2-S3) ug/m\*\*3  
Max = 527.1 [ug/m\*\*3] at (X = 647800.00, Y = 4246500.00)



SCALE: 1:75,000  
0 2 km

DATE:  
05/10/2018

Χάρτης 18