

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΕΔΙΟΥ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ ΣΕ
ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ**

ΤΟΥ

ΛΕΩΝΙΔΑ ΣΑΜΠΑΤΑΚΟΥ



© 2013 Λεωνίδας Σαμπατάκος

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων): Καθηγητής Ερρίκος Σταπουντζής

Δεύτερος Εξεταστής: Καθηγητής Αναστάσιος Σταματέλλος

Τρίτος Εξεταστής: Καθηγητής Αναστάσιος Σταμάτης

Άπαντες: Καθηγητές του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητή κ. Ερρίκο Σταπουντζή, για το πολύ ενδιαφέρον θέμα που μου ανέθεσε και την από πολλές απόψεις πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου.

Επίσης, ευχαριστώ και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητές κκ. Αναστάσιο Σταματέλλο και Αναστάσιο Σταμάτη για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες παρατηρήσεις τους κατά την παρουσίασή της.

Οφείλω ευχαριστίες στην Καθηγήτρια κ. Αλέκα Μονεμβασίτου και στον Καθηγητή κ. Γεώργιο Πουλάκο της Αρχιτεκτονικής Σχολής του ΕΜΠ για τις συμβουλές τους σχετικά με τα σχεδιαστικά λογισμικά και την ακουστική, αντίστοιχα.

Ακόμα ευχαριστώ το φίλο μου τον Μηνά, τον φυσικό, που ακόμα και από την Κρήτη ήταν πάντα πρόθυμος να βοηθήσει.

Επίσης, ευχαριστώ ιδιαίτερα τον αρχιτέκτονα αδελφό μου Δημήτρη, που παρά τον φόρτο των μεταπτυχιακών του σπουδών και την μεγάλη γεωγραφική απόσταση, ήταν συνεχώς διαθέσιμος και αποτελεσματικός να βοηθήσει σε θέματα AutoCad.

Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Γιάννη και Βούλα Σαμπατάκου για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Αφιερώνω αυτή την εργασία στις δύο γιαγιάδες μου Κωνσταντίνα και Πηνελόπη (με μέσον όρο ηλικίας 86,5 ετών).

Λεωνίδας

ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΕΔΙΟΥ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ

Λεωνίδα Σαμπατάκος

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2013

Επιβλέπων Καθηγητής: Ερρίκος Σταπουντζής

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετάται ο βιομηχανικός θόρυβος του εργοστασίου τσιμέντων ΑΓΕΤ- LAFARCE στο Βόλο και οι επιπτώσεις του στο γειτονικό του περιβάλλον. Λόγω μη δυνατότητας πρόσβασης στις πηγές θορύβου εντός του εργοστασίου επελέγη μια «εναλλακτική μέθοδος» καθορισμού τους με βάση επιτόπιες ηχομετρήσεις, λογισμικό πρόβλεψης θορύβου και διαδικασία trial and error.

Μετά από επιβεβαίωση της ορθότητας της επιλεγείσης «μεθόδου», το λογισμικό υπολόγισε με βάση αυτές τις πηγές και τα υπόλοιπα εισαχθέντα δεδομένα, το θόρυβο στην εξεταζόμενη περιοχή και παρείχε ανάλογους χάρτες θορύβου. Από αυτούς όχι μόνο παρήχθησαν στοιχεία ηχορύπανσης της ευρύτερης περιοχής, αλλά και συγκρίθηκαν τα υπολογιστικά αποτελέσματα με άλλες επιπρόσθετες επιτόπιες ηχομετρήσεις που έγιναν σε περιοχές ενδιαφέροντος ως προς τη «συνισταμένη» ηχητική όχληση. Η ανάλυση που ακολούθησε έδωσε ενδιαφέροντα συμπεράσματα, τόσο για το γενικό προφίλ της ηχορύπανσης στην περιοχή από όλες τις πιθανές πηγές θορύβου, όσο και για την ορθότητα της γενικής μεθοδολογίας της εργασίας. Περιέχονται τέλος σχόλια για πιθανά μέτρα βελτίωσης του προβλήματος.

Abstract

This study deals with the industrial noise of the AGET-LAFARCE cement factory in Volos/Greece and its impact on the neighboring environment. Due to the inability to access the sources of noise within the plant an 'alternative method' has been chosen for the determination of the noise sources, based on on-site sound measurements, noise prediction software and application of a typical trial and error procedure.

After confirmation of the correctness of the chosen "method", the software, based on these sources and on other necessary input data, calculated the noise in that area and provided noise maps. It has been possible from these results not only to receive concrete noise pollution data for the region, but also to compare these computational results with additional in-situ measurements in areas of interest in view of the total nuisance including also other noise sources. The analysis that followed gave interesting results, both for the general profile of noise in the area, and for the correctness of the general methodology of the present thesis. Finally, comments on possible measures improving the current situation of noise pollution have been included.

Πίνακας Περιεχομένων

	Σελίδα
Κεφάλαιο 1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	9
1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ	9
1.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ	9
1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	9
1.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	11
1.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	12
Κεφάλαιο 2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	13
2.1 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ	13
2.2 Ο ΗΧΟΣ	13
2.2.1 Η ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	14
2.2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	16
2.2.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ-ΗΧΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ	24
2.2.4 ΚΥΡΙΑ ΗΧΗΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	32
2.2.5 ΗΧΗΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	42
2.2.6 ΗΧΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ	44
2.2.7 ΗΧΟΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΣ	45
2.2.7.1 Πώς ακούει ο άνθρωπος	45
2.2.7.2 Τι ακούει ο άνθρωπος	48
2.3. ΘΟΡΥΒΟΣ	49
2.3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ	50
2.3.2 ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗ	52
2.3.3 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗΣ	53
2.3.4 ΟΡΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΤΟ ΘΟΡΥΒΟ	54
2.3.5 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	54

Κεφάλαιο 3	55
ΤΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΑΓΕΤ-LAFARGE ΣΤΟ ΒΟΛΟΣΑΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ	
3.1 ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	55
3.2 Lafarge-ΑΓΕΤ	56
Κεφάλαιο 4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ	60
4.1 ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ	60
4.1.1 ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΤΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ	60
4.1.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΘΟΡΥΒΟΥ ΤΗΣ ΑΓΕΤ	60
4.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ (NOISE PREDICTION SOFTWARE)	64
4.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ	66
4.3.1 Εύρεση τοπογραφικών δεδομένων περιοχής και δημιουργία σχετικού ψηφιακού αρχείου	66
4.3.2 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ AUTOCAD ΠΡΙΝ ΤΟ SOUNDPLAN	74
4.3.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	80
4.3.3.1 ΗΧΟΜΕΤΡΑ	80
4.3.3.2 Επιλογή Ηχομέτρου για τις μετρήσεις	85
4.3.3.3 Διεξαγωγή μετρήσεων	87
4.3.3.4 Λογισμικό/συνάρτηση υπολογισμού του $LeqA$	100
4.3.4 SOUNDPLAN	103
4.3.4.1 Δημιουργία τοπογραφικού και κτηριακού μοντέλου	103
4.3.4.2 Ορισμός πηγών	120

4.3.4.3	Εκτέλεση λογισμικού για τελική χαρτογράφηση	126
---------	---	-----

Κεφάλαιο 5	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	134
-------------------	---	-----

5.1	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	136
-----	------------	-----

5.2	ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗΣ	137
-----	---	-----

5.3	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	138
-----	------------	-----

Κεφάλαιο 6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ/ΠΗΓΕΣ	139
-------------------	---------------------------	-----

Κεφάλαιο 7	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	144
-------------------	------------------	-----

1. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ–ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ–ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Το αντικείμενο της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι γενικά ο βιομηχανικός θόρυβος. Ειδικότερα η εξέταση μιας συγκεκριμένης πηγής βιομηχανικού θορύβου και οι επιπτώσεις της στο γειτονικό της περιβάλλον.

1.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ

Ο Βόλος, η 6^η μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας, παρουσιάζει από πλευράς οικονομικής ανάπτυξης πέραν του γνωστού τουριστικού δυναμικού του (Πήλιο, παραλίες, χιονοδρομικό, εγγύτητα στις Σποράδες νήσους) και αξιόλογη βιομηχανική δραστηριότητα. Ίσως ακριβώς σ' αυτόν τον θεωρητικά αντιφατικό του συνδυασμό οφείλεται και η οικονομική του «επιτυχία».

Η μεγαλύτερη εκτός βιομηχανικής ζώνης Βόλου επιχείρηση είναι το εργοστάσιο τσιμέντων ΑΓΕΤ- LAFARCE (που βρίσκεται 4 χλμ. ανατολικά του Βόλου στην επαρχιακή οδό Βόλου–Αγριάς). Το γεγονός ότι βρίσκεται εκτός της βιομηχανικής περιοχής, σε συνδυασμό με τον τυπικά θορυβογόνο χαρακτήρα μιας τέτοιας μονάδας και η γειτνίαση του με κατοικημένες περιοχές προσδίδει στη μελέτη περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων θορύβου ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Ένα θεμελιώδες πρόβλημα της μελέτης του θορύβου είναι ο όσο το δυνατόν πιο ακριβής ορισμός των ιδιοτήτων των πηγών. Πέραν του ακριβούς γεωγραφικού προσδιορισμού τους, που εν γένει είναι εφικτός, το πλήθος, το είδος και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους αποτελούν για το μελετητή τη μεγαλύτερη πρόκλησή του κατά το αρχικό στάδιο της εργασίας του.

Στην παρούσα περίπτωση κρίθηκε αδύνατη η προσέγγιση των διαφόρων πηγών εντός του εργοστασίου γεγονός που έκανε απαραίτητη την εύρεση μιας κατά το δυνατόν ισοδύναμης λύσης. Εξ άλλου η πυκνή διάταξη, η αλληλοκάλυψη και οι μη σταθερές εντάσεις των πηγών θορύβου μιας τέτοιας βιομηχανίας ούτως ή αλλιώς θα δημιουργούσαν προβλήματα στην απομόνωση τους, τον χαρακτηρισμό τους (γραμμικών, σημειακών, επιφανειακών) και στη μέτρησή τους. Από την άλλη δεν υπάρχουν στατιστικά δεδομένα τυπικών μοντέλων θορύβου τσιμεντοβιομηχανικού εργοστασίου από τα οποία θα μπορούσε κανείς να αντλήσει πληροφορίες όπως είναι π.χ. ιδιαίτερα διαδεδομένο στις μελέτες κυκλοφοριακού θορύβου. Εκεί με βάση τοπικά στοιχεία (είδος δρόμου, κυκλοφοριακό φορτίο, ποιότητα οδοστρώματος, τοπογραφική θέση, οικιστικό περιβάλλον κλπ.) υπάρχει η δυνατότητα να αντληθούν όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την έναρξη της μελέτης. Το γεγονός-πρόβλημα αυτό οδήγησε στην επιλογή της παρακάτω «εναλλακτικής μεθόδου»:

Αφού προσδιορίστηκε γεωγραφικά και με όσο μεγαλύτερη ακρίβεια γινόταν η θέση και τα όρια του εργοστασίου, επελέγησαν περιμετρικά του 14 σημεία σε μια ακτίνα από 100 έως 500 μέτρα από το κέντρο του εργοστασίου. Καταβλήθηκε ιδιαίτερη προσπάθεια να συμπεριληφθούν όσο το δυνατό κοντινότερες θέσεις και οι υπόλοιπες να είναι όσο γίνεται συμμετρικά κατανομημένες, όπου το επέτρεπε η πρόσβαση.

Στις εικόνες 51-54 διακρίνονται με κίτρινες σημάνσεις (pins) οι θέσεις αυτές, πάνω στην απεικόνιση της περιοχής από το Google Earth (G.E).

Στα σημεία αυτά διεξήχθησαν 5λεπτες μετρήσεις θορύβου με ηχόμετρο ακριβείας τύπου I (Class I).

Στη συνέχεια, με βάση τις μετρήσεις αυτών των πιο κοντινών σημείων και με χρήση λογισμικού χαρτογράφησης θορύβου, έγινε

μια πρώτη εκτίμηση, του πλήθους, του είδους, των θέσεων και της ηχητικής έντασης των πηγών.

Με δεδομένες πλέον αυτές τις πηγές, το λογισμικό υπολόγισε το θόρυβο στην εξεταζόμενη περιοχή συμπεριλαμβανομένων και των πιο πάνω 14 σημείων και λαμβάνοντας υπ' όψιν όλα τα τοπογραφικά, γεωγραφικά και κτιριακά στοιχεία που ήδη είχαν εισαχθεί σ' αυτό.

Με βάση τις αποκλίσεις που προέκυψαν για τα 14 αυτά σημεία ανάμεσα στα αποτελέσματα του λογισμικού και στις μετρήσεις, επανεκτιμήθηκαν όλα τα χαρακτηριστικά των πηγών. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε όσες φορές χρειάστηκε (trial and error procedure) μέχρι ελαχιστοποίησης των αποκλίσεων. Αυτό επιτεύχθηκε με ακρίβεια $\leq \pm 1$ dB σε 11 από τις 14 πηγές.

Ο τελικός αυτός ορισμός των πηγών χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση θορύβου (noise mapping).

Πέρα των 14 αυτών σημείων έγιναν μετρήσεις και σε άλλα 26 σημεία ανάμεσα στα οποία και μερικά πιο απομακρυσμένα, αλλά με ενδιαφέρον από άποψη πιθανής επιβάρυνσης του γειτονικού οικιστικού ή μη περιβάλλοντος.

Στο τέλος τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης συσχετίστηκαν με τις μετρήσεις των 26 παραπάνω σημείων, με σκοπό την εξαγωγή των συμπερασμάτων του τελευταίου κεφαλαίου της εργασίας.

1.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα χαρτογράφησης θορύβου έδειξαν ότι η μέγιστη επιβάρυνση από το εργοστάσιο υφίσταται στη νότια και βόρεια γειτονική περιοχή του, ιδίως δε σε αποστάσεις έως 300 μ. όπου έχουμε ένταση της τάξεως μέχρι και 70 dB. Ευτυχώς νότια μεν υπάρχει μόνο θάλασσα, βόρεια δε βρίσκεται το εργοτάξιο της νέας περιφερειακής οδού Βόλου η οποία επίσης θα παράγει αυτή καθ' αυτή το δικό της θόρυβο και ευτυχώς κανένας οικισμός. Δυτικά,

όπου έχουμε πυκνό αστικό ιστό και θα μπορούσαν να υπάρχουν σοβαρές επιπτώσεις, ευτυχώς παρεμβάλλεται με ιδανική σχεδόν μορφολογία από βορρά προς νότο ο λόφος Γορίτσα, ύψους 170 μ., με αποτέλεσμα κανένα σημείο κατοικημένης αστικής περιοχής να μην ξεπερνά την ένταση των 40 dB, δηλαδή τον αναμενόμενο συνήθη θόρυβο μιας πόλης. Ανατολικά του εργοστασίου η μορφολογία του εδάφους (έλλειψη βουνού και μεγάλο τμήμα θάλασσας) ευνοεί δυστυχώς τη διάδοση των ηχητικών κυμάτων με αποτέλεσμα ακόμα και σε απόσταση 1 χλμ. από το εργοστάσιο να καταγράφονται επίπεδα θορύβου της τάξης περίπου των 50dB. Βέβαια η περιοχή δεν μπορεί να χαρακτηριστεί περιοχή κατοικίας-οικιστική, αλλά έχει χαρακτήρα μικτό (παραθεριστική-αγροτική), έτσι ώστε να μην ξεπερνούνται τα όρια που θέτουν οι σχετικοί για τέτοιες περιοχές κανονισμοί.

Από τεχνικής άποψης εδείχθη ότι τα αποτελέσματα του λογισμικού στα περισσότερα από τα 26 σημεία ενδιαφέροντος επιβεβαίωσαν στην πλειοψηφία τους τις σχετικές μετρήσεις θορύβου στα σημεία αυτά.

1.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Φάνηκε ότι το εργοστάσιο ΑΓΕΤ-LAFARGE του Βόλου, παρά του ότι έχει πηγές θορύβου που φτάνουν τα 121 dB, λόγω της συγκεκριμένης θέσης του ουδόλως επιβαρύνει την πόλη του Βόλου στα Δυτικά, ενώ στα Ανατολικά έχουμε μεν μια σαφώς αυξημένη στάθμη θορύβου που όμως δεν ξεπερνά τα ανεκτά όρια.

Ως προς τη μεθοδολογία και την τεχνική εκτέλεση της παρούσης εργασίας αποδείχτηκε ότι ο έμμεσος τρόπος καθορισμού των μη προσβάσιμων πηγών θορύβου εντός του εργοστασίου ήταν επιτυχής, αφού υπήρξε τελικά συμφωνία (ή μικρή απόκλιση) ανάμεσα στα αποτελέσματα του λογισμικού και στις αρχικές επιτόπιες ηχομετρήσεις σε μεγάλο ποσοστό.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ – ΗΧΟΣ – ΘΟΡΥΒΟΣ

2.1 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ

Η ακουστική (*acoustics*) είναι ο κλάδος της φυσικής που μελετά τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά του ήχου, καθώς επίσης και τις εφαρμογές του. Μεταξύ των άλλων μελετά την παραγωγή, τη μετάδοση και τη λήψη του ήχου στα διάφορα υλικά μέσα, καθώς επίσης και τις τεχνικές ελέγχου και επεξεργασίας για την εκμετάλλευση του ήχου σε εξειδικευμένες εφαρμογές. Τα πεδία ενασχόλησης της ακουστικής (οι υποδιαιρέσεις της) είναι πολλά:

- Ακουστική δομικών κατασκευών και ελέγχου κραδασμών (οι αντιδράσεις μιας δομικής κατασκευής κατά την έκθεσή της σε ισχυρά ηχητικά κύματα στην πάροδο του χρόνου)
- Μουσική Ακουστική (η παραγωγή του ήχου μέσα από διάφορα μουσικά όργανα)
- Ακουστική μετρήσεων και οργάνων (ο κλάδος που ερευνά την λειτουργικότητα διαφόρων συσκευών που αναλύουν ένα ηχητικό κύμα όπως ντεσιμπελόμετρο, φασματογράφος, FFT)
- Αεροακουστική ή Ατμοσφαιρική Ακουστική (μελέτη των θορύβων που παράγονται από αεροδυναμικά φαινόμενα)
- Αρχιτεκτονική Ακουστική (διαμόρφωση ενός χώρου ως προς την διάχυση των ήχων στο εσωτερικό του, γενικότερα ως προς την ακουστική του συμπεριφορά)
- Βιοακουστική – Βιοϊατρική Ακουστική (εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στην ιατρική όπως ο υπέρηχος καθώς επίσης και ο τρόπος επικοινωνίας μεταξύ των έμβιων όντων)
- Ηλεκτρακουστική (παραγωγή ήχου με ηλεκτρικές συσκευές ή ηλεκτρικά μουσικά όργανα)
- Ψυχοακουστική (η επίδραση του ήχου στον άνθρωπο, φαινόμενα ηχητικής σκιάσεως και Masking Effect).
- Περιβαλλοντική Ακουστική (η επίδραση του ήχου στο φυσικό περιβάλλον)

2.2 Ο ΗΧΟΣ

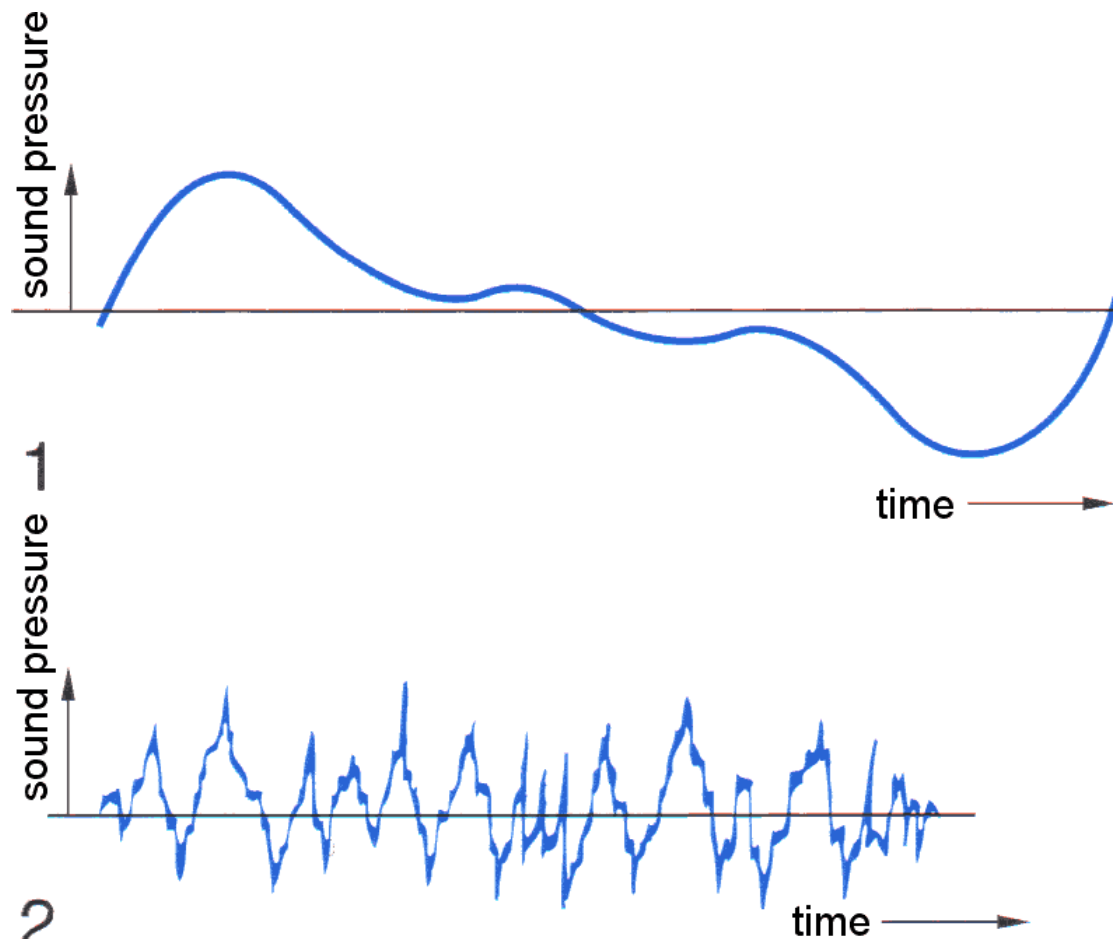
Ο **ήχος** είναι αποτέλεσμα μεταβολών πίεσης σε κάποιο μέσο διάδοσης όπως ο αέρας, οι οποίες προκαλούνται από δονήσεις ή αναταραχές.

Πιο συγκεκριμένα μια πιο επίσημη διατύπωση εμπεριέχεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ 263.1 (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης) της ορολογίας της ακουστικής, σύμφωνα με την οποία ως ήχος ορίζεται *η μηχανική διαταραχή που διαδίδεται με ορισμένη ταχύτητα μέσα σε ένα μέσο που μπορεί να αναπτύξει εσωτερικές δυνάμεις (π.χ. ελαστικότητας, εσωτερικής τριβής) κι έχει τέτοιο χαρακτήρα,*

ώστε μπορεί να διεγείρει το αισθητήριο της ακοής και να προκαλέσει ακουστικό αίσθημα.

Το ακουστικό αίσθημα που προκαλείται όταν το αισθητήριο της ακοής διεγείρεται από μια μηχανική διαταραχή ορίζεται:

- Ως απλός ήχος, απλός τόνος, καθαρός τόνος (ο ήχος που παράγεται από αρμονική διαταραχή) [Εικόνα 1].
- Ως σύνθετος ήχος (κάθε ήχος που δεν είναι απλός ήχος) [Εικόνα 1]



2
Εικόνα 1

2.2.1 Η ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Η διαταραχή, η οποία δημιουργεί τον ήχο, μεταδίδεται από την πηγή στον δέκτη που είναι ένα αισθητήριο όργανο (ανθρώπινο ή μηχανικό). Το μέσον μεταφοράς μπορεί να είναι στερεό ή ρευστό.

Για την περιγραφή ενός ηχητικού πεδίου, ως μεταβλητές συνήθως λαμβάνονται για τα μεν ρευστά η πίεση, επειδή είναι πιο εύκολο να μετρηθεί και για τα στερεά η επιτάχυνση και η ταχύτητα.

Τα μεγέθη που εκφράζουν την ηχητική διαταραχή, δηλαδή το ηχητικό πεδίο, συνήθως αναλύονται σε ημιτονοειδείς συνιστώσες.

Στα ρευστά, μία μικρή συμπίεση, προκαλεί μία μικρή αύξηση της πυκνότητας (που ακολουθείται από μία μικρή μείωση τη πυκνότητας), μία μετατόπιση των σωματιδίων και ενδεχομένως μία μεταβολή της θερμοκρασίας.

Όλες αυτές οι μεταβλητές εκφράζονται με δύο όρους: Της μόνιμης κατάστασης και της διαταραχής, η οποία γενικά είναι μικρή σε σχέση με τη μόνιμη κατάσταση:

$$p_{total} = p_0 + p(\vec{r}, t)$$

$$\vec{v}_{total} = \vec{v}_0 + \vec{v}(\vec{r}, t)$$

$$T_{total} = T_0 + T(\vec{r}, t)$$

$$\rho_{total} = \rho_0 + \rho(\vec{r}, t)$$

όπου:

$p_{total}, \vec{v}_{total}, T_{total}$ και ρ_{total} οι ολικές τιμές της πίεσης, του διανύσματος της ταχύτητας των σωματιδίων, της θερμοκρασίας και της πυκνότητας,

$p_0, \rho_0, T_0, \vec{v}_0$ είναι οι αντίστοιχες τιμές μόνιμης κατάστασης και $p(\vec{r}, t), \vec{v}(\vec{r}, t), \rho(\vec{r}, t), T(\vec{r}, t)$ οι αντίστοιχες τιμές της διαταραχής ως συνάρτηση του διανύσματος θέσης και του χρόνου.

Το ιξώδες των ρευστών συνήθως είναι αρκετά χαμηλό και δεν παίζει ρόλο στην απόσβεση της μετάδοσης της ηχητικής διαταραχής. Ιδιαίτερη σημασία αποκτά, τόσο στα ρευστά όσο και στα στερεά, η ύπαρξη στάσιμων κυμάτων.

Όταν οι μεταβολές είναι μικρές, για την μελέτη των ηχητικών κυμάτων είναι δυνατή η απλοποίηση των εξισώσεων, θεωρώντας ότι τα φαινόμενα είναι γραμμικά (γραμμική ακουστική). Σε περιπτώσεις όμως ισχυρών πεδίων, τυρβώδους ροής (π.χ. στην περίπτωση διάτρητου πλαισίου και σε εκείνη διέλευσης του κύματος από δίοδο μικρής διατομής) δεν ισχύει πλέον η γραμμικότητα.

Οι μεταβολές της πίεσης ενός αερίου, που προκαλούνται από ένα ηχητικό σήμα, γενικά είναι τόσο γρήγορες, ώστε να μην γίνονται ανταλλαγές θερμότητας μεταξύ του αερίου και των γειτονικών στοιχείων. Κατά συνέπεια, ένα ηχητικό κύμα προκαλεί αδιαβατικές μεταβολές της θερμοκρασίας. Επομένως, η θερμοκρασία μπορεί να θεωρηθεί ως χαρακτηριστικό μέγεθος του ηχητικού κύματος.

Οι βασικοί νόμοι, οι οποίοι διέπουν τη μετάδοση του κύματος, είναι δυνατό να εκφραστούν με ένα αριθμό γενικών διαφορικών εξισώσεων:

Η διατήρηση της ορμής εκφράζεται από την σχέση,

$$\nabla p = -\rho_0 \frac{\partial \vec{v}}{\partial t}$$

όπου:

p η πίεση, \vec{v} η ταχύτητα των σωματιδίων, t ο χρόνος και ρ_0 η πυκνότητα του αερίου μόνιμης κατάστασης.

Η διατήρηση της μάζας οδηγεί στην σχέση,

$$\rho_0 \operatorname{div}(\vec{v}) = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

όπου:

ρ η πυκνότητα του αερίου, που είναι συνάρτηση του χρόνου.

Στις παραπάνω σχέσεις, έχει θεωρηθεί ότι οι μεταβολές της πίεσης και της πυκνότητας, που οφείλονται στο ηχητικό κύμα, είναι μικρές σε σχέση με τις τιμές της μόνιμης κατάστασης.

Αν ληφθεί υπόψη και η σχέση η οποία διέπει τη μεταβολή τη πίεσης, ως συνάρτηση των μεταβολών της θερμοκρασίας, σε συνδυασμό και με τις παραπάνω εξισώσεις, προκύπτει η εξίσωση

$$c^2 \Delta p = \frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2}$$

όπου:

$$c^2 = k \frac{p_0}{\rho}$$

και,

k ο συντελεστής αδιαβατικής μεταβολής ($k = 1,4$ για τον αέρα).

Η διαφορική αυτή εξίσωση διέπει την μετάδοση του ηχητικού σήματος σε οποιαδήποτε γεωμετρική δομή και για το λόγο αυτό είναι πολύ σημαντική για όλα τα ηχητικά φαινόμενα. Ονομάζεται **κυματική εξίσωση**. Διέπει όχι μόνο τις μεταβολές της πίεσης αλλά και εκείνες της πυκνότητας καθώς και της θερμοκρασίας.

2.2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

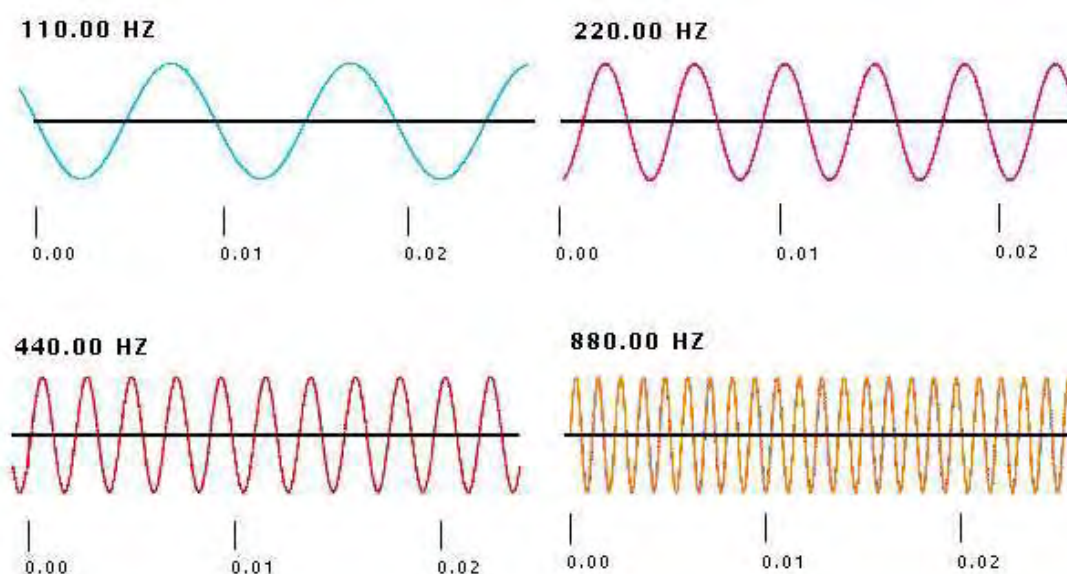
Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ενός ήχου μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, αυτά τα οποία είναι ανεξάρτητα από την προσωπική αντίληψη του ακροατή και αποκαλούνται αντικειμενικά και αυτά που είναι άμεσα συνδεδεμένα με τον ακροατή και λέγονται υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου. Αντικειμενικά χαρακτηριστικά ή αλλιώς φυσικά μεγέθη του ήχου είναι η **συχνότητα**, η **ταχύτητα**, το

μήκος κύματος και η **ένταση** και υποκειμενικά η **ακουστότητα**, το **ύψος** και η **χροιά**.

Πιο συγκεκριμένα:

Συχνότητα (Frequency)

Ο αριθμός των μεταβολών της πίεσης ανά δευτερόλεπτο καλείται συχνότητα του ήχου (Hz) [εικόνα 2].



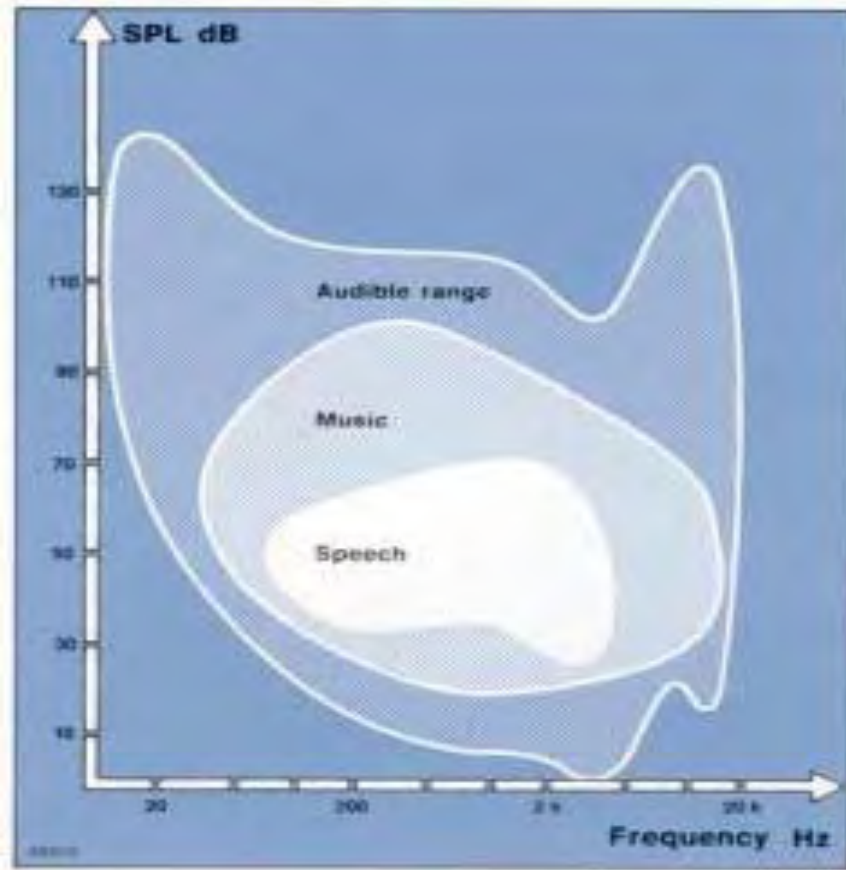
Εικόνα 2

Υποκειμενικό χαρακτηριστικό του ήχου, αντίστοιχο της συχνότητας, είναι το ύψος του. Ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται την αύξηση της συχνότητας του ηχητικού κύματος ως αύξηση του τονικού ύψους του ήχου. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα, τόσο οξύτερος είναι και ο ήχος. Οι χαμηλές συχνότητες γίνονται αντιληπτές ως βαθύς ήχος.

Το ωτολογικά φυσιολογικό άτομο αντιλαμβάνεται συχνότητες από 16 Hz έως 20.000 Hz [Εικόνα 3]. Ως ωτολογικά φυσιολογικό άτομο ορίζεται κάθε υγιές άτομο του οποίου τα αυτιά δεν εμφανίζουν κανένα σύμπτωμα αρρώστιας, οι ακουστικοί του πόροι είναι απαλλαγμένοι από κυψελίδα και δεν έχει προΐστορία επιβλαβούς έκθεσης σε θόρυβο. Η περιοχή αυτή ονομάζεται ακουστικό φάσμα συχνοτήτων.

Τέλος, δονήσεις συχνότητας μικρότερης των 16 Hz ονομάζονται υπόηχοι (infrasounds), ενώ δονήσεις συχνότητας άνω των 20 kHz ονομάζονται υπέρηχοι (ultrasounds) Οι υπόηχοι και οι υπέρηχοι, αν και δεν γίνονται αντιληπτοί από τον άνθρωπο, μπορεί να έχουν βλαπτική επίδραση στην υγεία του.

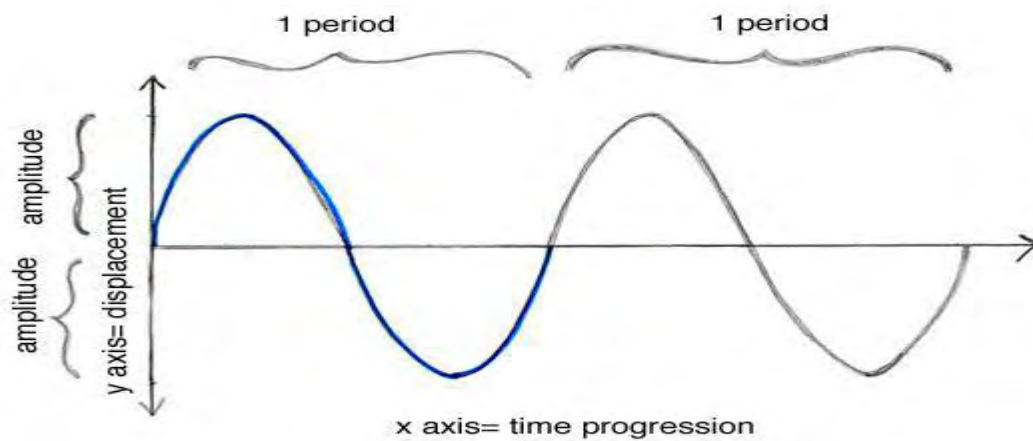
Διευκρινίζεται ωστόσο ότι οι περισσότεροι ήχοι δεν έχουν μια μόνο συχνότητα αλλά αποτελούνται από ένα φάσμα συχνοτήτων.



Εικόνα 3

Τέλος περιόδου ενός κύματος (T) ονομάζεται ο αντίστροφος λόγος της συχνότητας [Εικόνα 4].

$$T = 1/f = 2 \cdot \pi / \omega$$



Εικόνα 4

Η ταχύτητα του ήχου

Οι μεταβολές της πίεσης διαδίδονται μέσα σε κάθε ελαστικό μέσο, π.χ. στον αέρα, από την πηγή παραγωγής του ήχου έως τα αυτιά του ακροατή.

$$c = \sqrt{kRT}$$

Οι ήχοι κινούνται με διαφορετική ταχύτητα στα διάφορα υλικά μέσα. Οι ήχοι κινούνται γρήγορα στα στερεά, αργά στα αέρια και με ενδιάμεσες ταχύτητες στα υγρά. Δείχνουν δηλαδή διάθεση να κινηθούν γρηγορότερα στα πυκνότερα υλικά.

Π.χ.

- $c_{\text{aluminium}} = 5100 \text{ m/s}$
- $c_{\text{steel}} = 4900 \text{ m/s}$
- $c_{\text{concrete}} = 4000 \text{ m/s}$
- $c_{\text{masonry}} = 2000 \text{ m/s}$
- $c_{\text{water}} = 1450 \text{ m/s}$

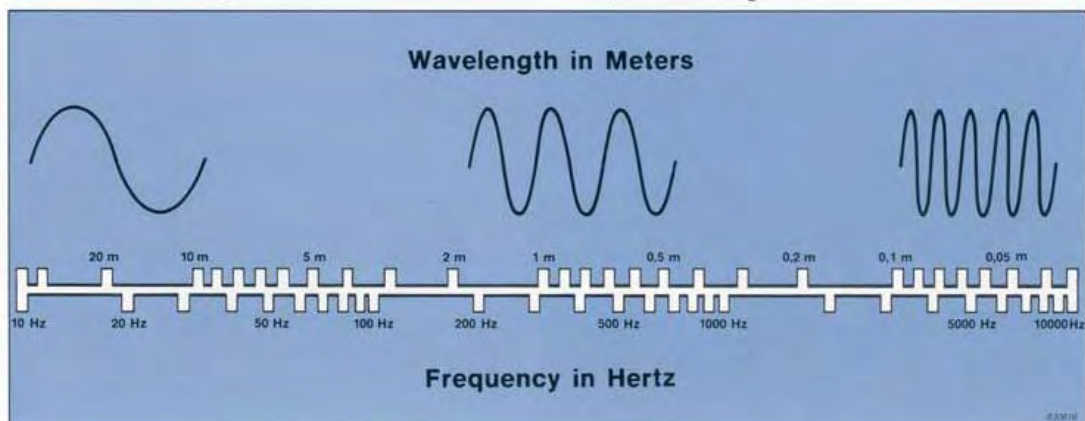
ενώ στον αέρα με 343 m/s σε 20°C .

Όπως φαίνεται από την παραπάνω σχέση ο ήχος ταξιδεύει πιο γρήγορα στα θερμά παρά στα ψυχρά σώματα. Έτσι στον αέρα και σε θερμοκρασία 0°C έχει ταχύτητα 331 m/s , ενώ στους 100°C 391 m/s .

Μήκος κύματος (wavelength)

Μήκος κύματος (λ) ονομάζουμε την απόσταση που διανύει το κύμα στον χρόνο μιας περιόδου ταλάντωσης της πηγής [Εικόνα 5].

Υπολογίζεται από τον τύπο $\lambda = c/f$, όπου c η ταχύτητα του κύματος σε m/s και f η συχνότητά του σε Hz . Το μήκος κύματος μετριέται σε μέτρα (m).



Εικόνα 5

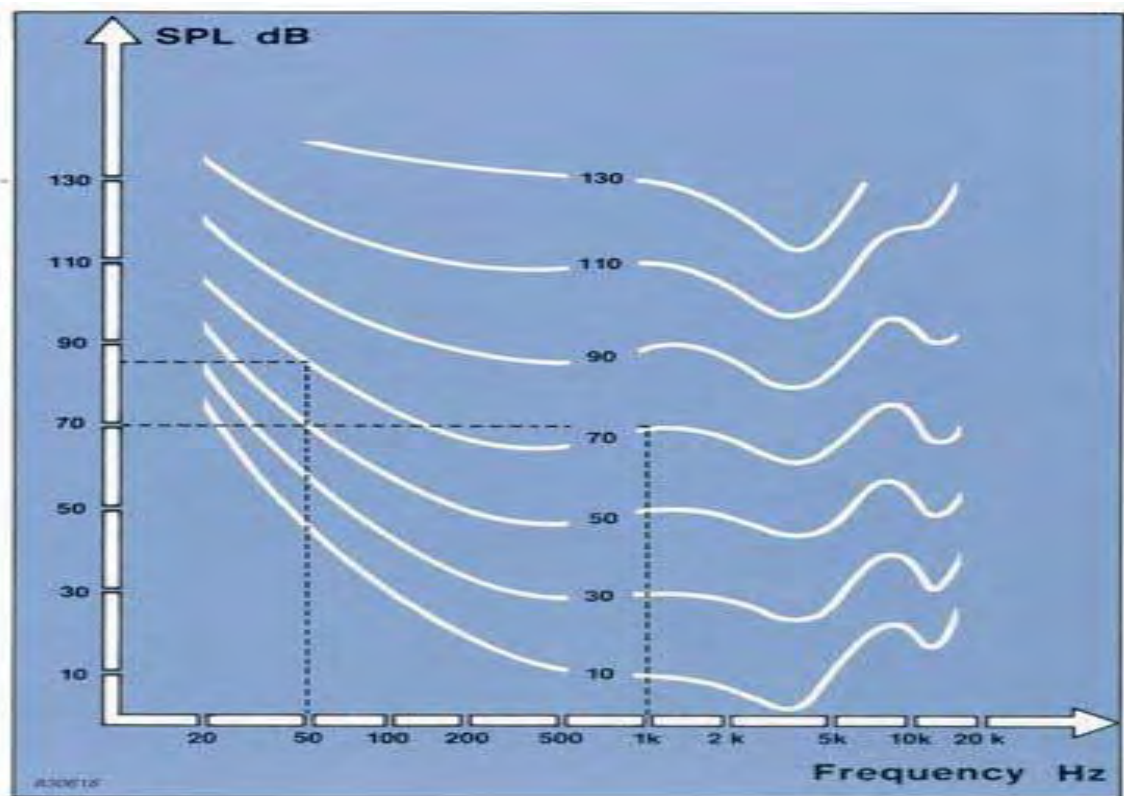
Ένταση (Intensity)

Η ένταση του ηχητικού κύματος ορίζεται ως η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου που μεταδίδεται από το κύμα ανά μονάδα επιφανείας κάθετης στη φορά διάδοσης του κύματος. Μονάδα μέτρησης της έντασης είναι το W/m^2 . Παρόλα αυτά η ένταση του ήχου τις περισσότερες φορές εκφράζεται ως προς μια τιμή αναφοράς σε λογαριθμική κλίμακα και μετριέται σε decibels (dB).

Ακουστότητα (Loudness)

Το πλάτος του ηχητικού κύματος αντιστοιχεί σε αυτό που ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται ως ακουστότητα. Το αυτί ανταποκρίνεται σε ένα πολύ μεγάλο φάσμα πλατών ηχητικών κυμάτων. Η αναλογία ανάμεσα στο κατώφλι του πόνου του αυτιού και στο κατώφλι της αίσθησης ενός ήχου, είναι της τάξεως των 120dB. Η διακριτική ικανότητα του αυτιού όσον αφορά την ακουστότητα εκτείνεται από τα 3dB για ήχους κοντά στο κατώφλι της ακοής ως το εντυπωσιακό 0,5dB για ηχηρούς ήχους. Είναι ενδεικτικό ότι ο άνθρωπος δεν έχει καταφέρει να κατασκευάσει ηλεκτρομηχανικά συστήματα συλλογής ηχητικών σημάτων με τέτοιες επιδόσεις στην διακριτικότητα. Μονάδα μέτρησης της ακουστότητας είναι το phon. Τόνος συχνότητας 1kHz έχει ακουστότητα τόσα phons, όσο και η στάθμη ηχητικής πίεσης σε dB. Η αίσθηση της ακουστότητας επηρεάζεται και από την συχνότητα του λαμβανομένου ηχητικού κύματος.

Οι Fletcher και Munson κατασκεύασαν μία δέσμη από καμπύλες ελάχιστης ακουστότητας [Εικόνα 6] (οι οποίες περιγράφουν την στάθμη ηχητικής πίεσης που πρέπει να έχει ένας ήχος για να είναι μόλις ακουστός σε συνάρτηση με την συχνότητά του), όπου φαίνεται πως η ευαισθησία της ακοής μεταβάλλεται όχι μόνο με την συχνότητα, αλλά και με την ένταση (loudness). Όσο μικρότερη είναι η ένταση, τόσο μικρότερη η ευαισθησία της ακοής και τόσο μεγαλύτερη στάθμη απαιτείται για να γίνει ακουστή μία συγκεκριμένη συχνότητα.



Εικόνα 6

Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα, ένας τόνος 50 Hz πρέπει να έχει ένταση 15 dB υψηλότερη από έναν αντίστοιχο του 1 kHz στα 70 dB ώστε να έχει την ίδια ακουστότητα. Τούτο διότι κοντά στο κάτω φράγμα του φάσματος των ακουστικών συχνοτήτων, το αυτί είναι λιγότερο ευαίσθητο σε απαλούς ήχους, αντίθετα με το κατώτερο όριο πόνου και την ικανότητα διάκρισης ηχηρών ήχων που δεν επηρεάζονται σημαντικά. Στις υψηλές συχνότητες η αλλαγή στην ευαισθησία είναι πιο απότομη, με την αίσθηση να διακόπτεται εξ ολοκλήρου στην περιοχή των 20 kHz. Η ανθρώπινη ικανότητα διάκρισης της ακουστότητας των ήχων περιορίζεται για ήχους διάρκειας μικρότερης των 200 msec. Κάτω από αυτό το όριο η αντίληψη της ακουστότητας επηρεάζεται από τη διάρκεια. Μικρότερη διάρκεια σημαίνει και μικρότερη ακουστότητα. Ηχητικά σήματα διάρκειας μεγαλύτερης των 200 msec δεν επηρεάζουν την διακριτική ικανότητα του ανθρώπου για την ακουστότητα, αν εξαιρέσουμε το γεγονός ότι ο άνθρωπος τείνει να αγνοεί ηχητικά σήματα μεγάλης διάρκειας αμετάβλητου τόνου.

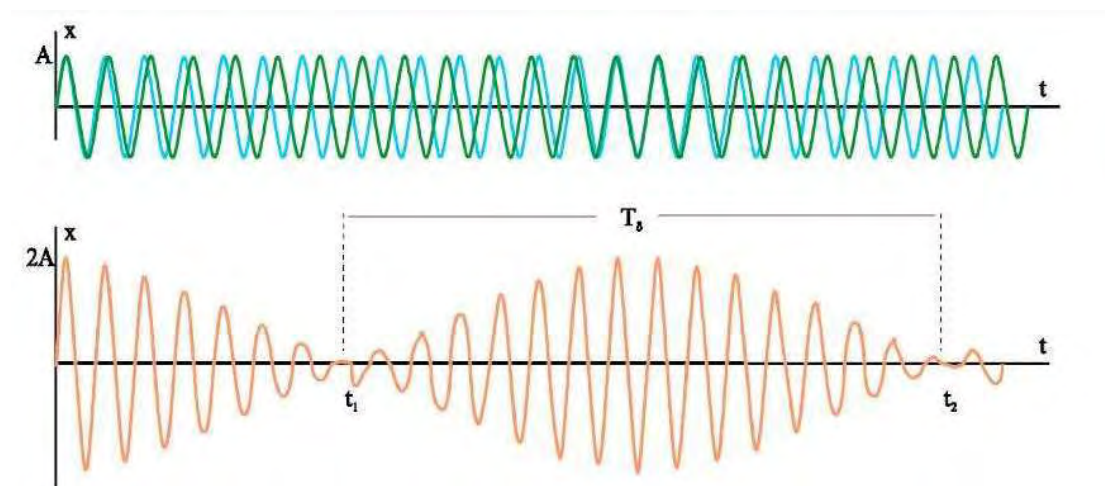
Ύψος (Pitch)

Το ύψος είναι η υποκειμενική απόκριση του αυτιού, στη συχνότητα και μας επιτρέπει να κατατάξουμε τους ήχους σε οξείς, μέσους και βαρείς. Το ύψος μεταβάλλεται μη γραμμικά με τη συχνότητα, δηλαδή ίσες μεταβολές στη συχνότητα δεν προκαλούν ίδιες μεταβολές στην «αίσθηση» του ύψους.

Επίσης καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει και η στάθμη του ήχου. Αν η στάθμη ενός τόνου 180Hz αυξηθεί χωρίς αλλαγή της συχνότητας, η αίσθηση του ύψους χαμηλώνει. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα ισχυρό για συχνότητες μικρότερες των 300Hz. Αντίθετα, στην περιοχή από 500 έως 3000 Hz η στάθμη δεν επηρεάζει ιδιαίτερα το ύψος. Τέλος, στην περιοχή άνω των 4000 Hz η αίσθηση του ύψους για την ίδια συχνότητα αυξάνει με τη στάθμη.

Μονάδα μέτρησης του ύψους είναι το Mel. Ήχος συχνότητας 1kHz και στάθμης 60dB έχει ύψος 1000 Mel.

Ο άνθρωπος έχει περιορισμένη διακριτική ικανότητα συχνοτήτων. Εάν οι κεντρικές συχνότητες f_1 και f_2 δύο ήχων είναι πολύ κοντινές, ο διαχωρισμός τους είναι δύσκολος έως αδύνατος. Αυτό συμβαίνει διότι οι περιοχές της βασικής μεμβράνης που διεγείρονται είναι πολύ κοντά. Ο εγκέφαλος «αναγνωρίζει» ήχο με συχνότητα $(f_1+f_2)/2$ και πλάτους που μεταβάλλεται με συχνότητα $(f_1-f_2)/2$. Το παρακάτω διάγραμμα [Εικόνα 7] που προκύπτει ονομάζεται διακρότημα.



Εικόνα 7

Εδώ φαίνεται ότι από τη σύνθεση δύο ταλαντώσεων που οι συχνότητές τους διαφέρουν πολύ λίγο (πράσινη και μπλε γραμμή) προκύπτει ιδιόμορφη περιοδική κίνηση (κόκκινη γραμμή) που παρουσιάζει διακροτήματα.

Όπως και με την αντίληψη της ακουστότητας, έτσι και η αντίληψη του ύψους γίνεται δυσκολότερη όταν η διάρκεια του ηχητικού σήματος είναι μικρότερη από 200 msec και αδύνατη για σήματα διάρκειας μικρότερα από 50 msec.

Τέλος, η αντίληψη του τονικού ύψους επηρεάζεται και από το φασματικό περιεχόμενο του ηχητικού σήματος. Όσο το φασματικό περιεχόμενο παρεκκλίνει από το αρμονικό μοντέλο, η αίσθηση του τόνου μειώνεται.

Χροιά (Timbre)

Χροιά είναι το υποκειμενικό χαρακτηριστικό του ήχου που κάνει δυνατό το διαχωρισμό δύο τόνων της ίδιας έντασης και θεμελιώδους συχνότητας.

Χρησιμοποιείται κυρίως για τον χαρακτηρισμό ήχων μουσικών οργάνων και της ανθρώπινης φωνής. Π. χ. φλάουτο και όμποε ακούγονται διαφορετικά αν και παίζουν την ίδια νότα. (Η διαφοροποίηση της χροιάς οφείλεται κυρίως στη διαφορά του πλήθους και της σχετικής στάθμης των αρμονικών ως προς τη στάθμη της θεμελιώδους συχνότητας.) Ο αντίστοιχος φυσικός όρος για τη χροιά είναι το φάσμα. Η φύση της χροιάς γίνεται καλύτερα κατανοητή λαμβάνοντας υπ' όψι τα εξής:

Υπάρχουν τέσσερα είδη ήχων

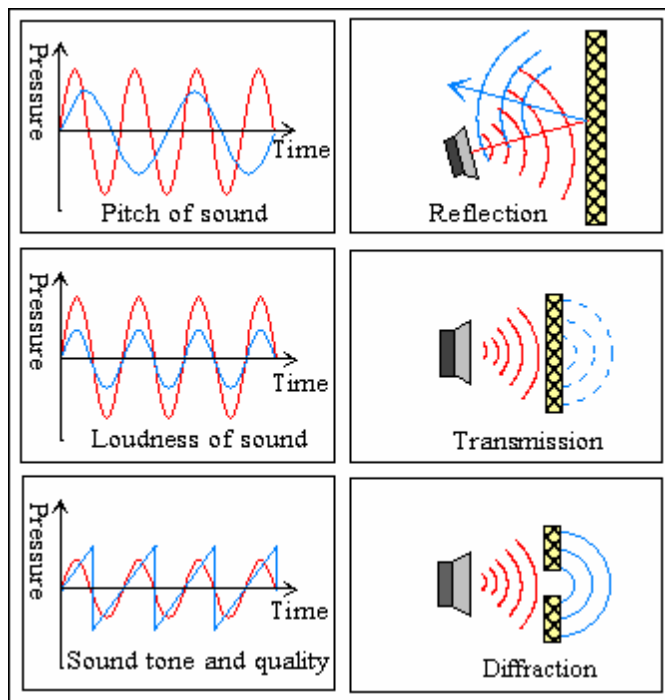
- ο απλός που μεταβάλλεται ημιτονοειδώς με το χρόνο,
- ο σύνθετος, που αποτελείται από δύο ή περισσότερους απλούς,
- ο θόρυβος που αποτελείται από τυχαία μεταβολή των συχνοτήτων του,
- ο κρότος που είναι μια απότομη ηχητική μεταβολή.



Εικόνα 8: Γραφικές παραστάσεις τυχαίων ήχων

Με μαθηματικό τρόπο μπορούμε να αναλύσουμε τον κάθε σύνθετο ήχο στους επιμέρους απλούς που τον συνθέτουν. Τα χαρακτηριστικά που θα πάρουμε θα είναι η ένταση και η συχνότητα των υνιστούντων ήχων. Η ανάλυση αυτή ονομάζεται ανάλυση κατά Fourier. Από τους ήχους αυτούς, αυτόν με τη χαμηλότερη συχνότητα ονομάζουμε πρώτο αρμονικό ή θεμελιώδη. Ο τρίτος πχ. αρμονικός θα έχει τριπλάσια συχνότητα από τον θεμελιώδη. Η χροιά εξαρτάται από το πλήθος των απλών ήχων που αποτελούν τον ήχο που ακούμε καθώς το αυτί μας πραγματοποιεί μια ιδιότυπη "ανάλυση κατά Fourier". Όταν πρωτακούμε έναν ήχο, το αποτέλεσμα της ανάλυσης είναι η χροιά, το χρώμα, η ποιότητα του ήχου.

2.2.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ-ΗΧΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ



Εικόνα 8

Ανάκλαση (Reflection)

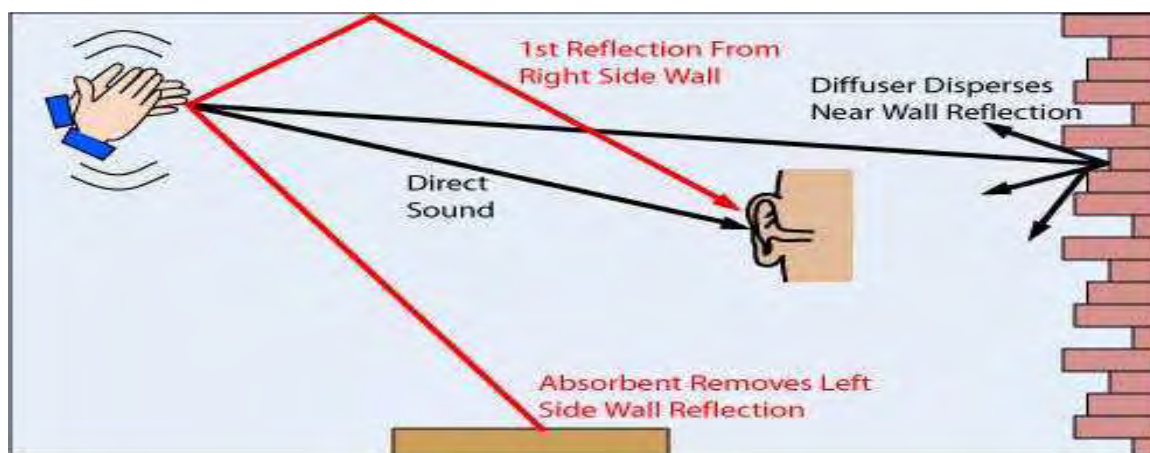
Όταν ένα ξένο σώμα διαφορετικής ύλης από αυτή του μέσου παρεμβάλλεται στην κατεύθυνση των ηχητικών κυμάτων, τότε αυτά υφίστανται ανάκλαση.

Η ανάκλαση, αλλά και τα υπόλοιπα φαινόμενα (δρα παρακάτω: απορρόφηση, διάθλαση, περίθλαση), εξαρτώνται από τη συχνότητα του ήχου, τη γωνία πρόσκρουσης (ισχύει όπως και στην οπτική, ότι η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης), αλλά και το υλικό του μέσου διάδοσης. Ένα φαινόμενο παράγωγο της ανάκλασης είναι η αντήχηση ή μετήχηση. Παρουσιάζεται στους κλειστούς χώρους και είναι η βαθμιαία εξασθένηση του ήχου (λόγω απορρόφησης, δες παρακάτω) μετά την παύση του, η οποία δημιουργεί το εφέ του φυσικού βάθους (reverb). Μέσα στο γενικότερο πλαίσιο της ανάκλασης εντάσσεται και η ηχώ, η οποία είναι η διακριτή επανάληψη ενός ήχου, δηλ. ένα ακριβές αντίγραφο του αρχικού ήχου. Για παράδειγμα όταν ένας ακροατής βρίσκεται σε έναν χώρο και δέχεται το απ'ευθείας κύμα, δέχεται και διαδοχικά τις διάφορες ανακλάσεις σε διαφορές χρόνου, που εξαρτώνται από τις διαφορές δρόμου των διαφόρων ηχητικών κυμάτων. Λόγω του ότι το αυτί έχει μια ορισμένη αδράνεια, οι ακουστικές εντυπώσεις δε χάνονται αμέσως, αλλά έχουν κάποια χρονική διάρκεια. Αν ένα

ανακλώμενο κύμα έχει αρκετή ένταση όσο και αρκετή καθυστέρηση σε σχέση με το απ'ευθείας, είναι τότε δυνατό να διαχωριστεί ως επανάληψη του απ'ευθείας και αυτό λέγεται ηχώ. Για χρονικές διαφορές μικρότερες από 0,035s που αντιστοιχεί σε διαφορά δρόμου 12m, δε δημιουργείται ηχώ, απλώς τα ηχητικά κύματα λειτουργούν προσθετικά, αυξάνοντας την ακουστική εντύπωση. Για χρονικές όμως διαφορές μεγαλύτερες από 0,05s για ήχους μικρής διάρκειας ή από 0,01s για ήχους μεγαλύτερης διάρκειας (που σε διαφορές δρόμου είναι 17m και 34m αντίστοιχα), εμφανίζεται η ηχώ. Ως στοιχείο σύγκρισης, αναφέρεται ότι μια μέση συλλαβή διαρκεί 0,1s και το διάστημα μεταξύ δυο λέξεων είναι περίπου 0,2s.

Όσον αφορά στην ανάκλαση [Εικόνα 9] τώρα, μπορεί να είναι:

- επίπεδη (στην πιο απλή μορφή της),
- παραβολική, όπου τα ηχητικά κύματα προσκρούουν σε επιφάνεια με παραβολικό σχήμα κι αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τα ηχητικά κύματα που παράγονται να αναπηδούν κατευθειάν προς τα έξω, από τους ανακλαστήρες. Αυτό έχει ιδιαίτερη χρήση σε υπαίθριες ορχήστρες με την κατασκευή των παραβολικών οστράκων, και
- ελλειπτική. Η κλειστή και από τα δύο άκρα έλλειψη έχει ως αποτέλεσμα τα ηχητικά κύματα που γεννιούνται σε μια εστία να ανακλώνται από οποιοδήποτε σημείο και να συγκλίνουν προς την άλλη εστία. Το φαινόμενο αυτό είναι ένας από τους παράγοντες που επενεργούν στις λεγόμενες Whispering Galleries, δηλ. τεράστιες αίθουσες στις οποίες ένας ψίθυρος που προφέρεται στη μια άκρη μπορεί να ακουστεί πολύ στην άλλη, αν και μόλις ακούγεται οπουδήποτε αλλού μέσα στην έλλειψη.



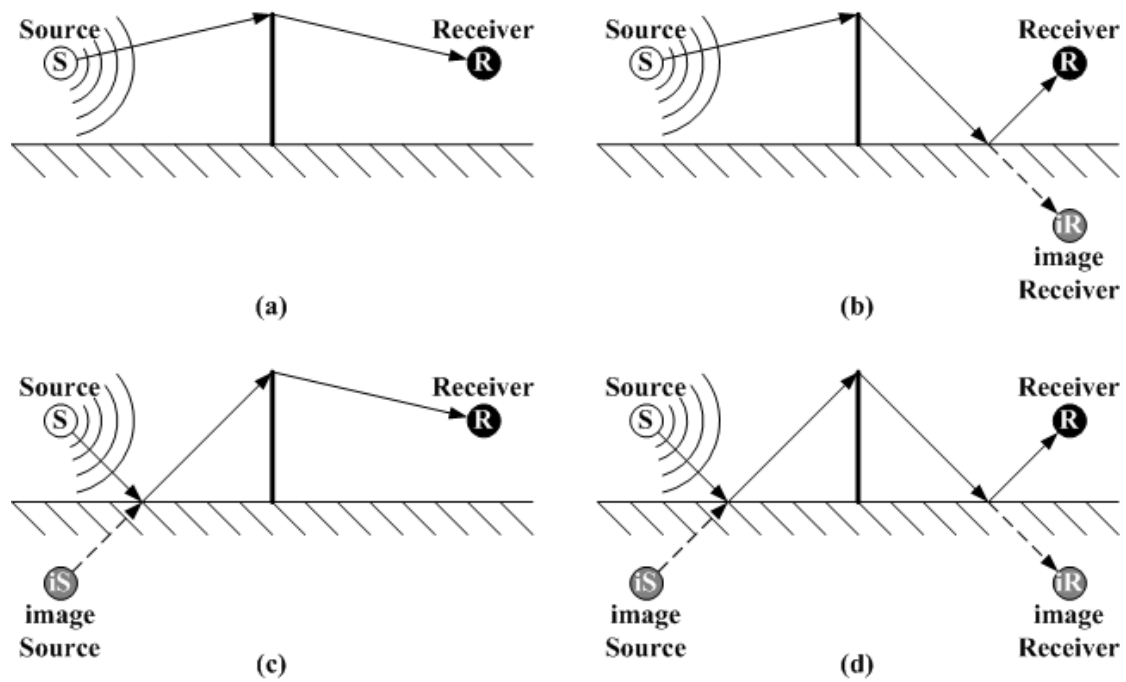
Εικόνα 9: Σχηματική παράσταση της ανάκλασης.

Το παραπάνω παράδειγμα δείχνει ότι αν σταθούμε μπροστά από έναν τοίχο και κτυπήσουμε παλαμάκια, τα κύματα που θα φτάσουν στον τοίχο θα αναγκαστούν να αλλάξουν κατεύθυνση. Αν το εμπόδιο βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη από 17 μέτρα, τότε παρατηρούμε πως ο κρότος που δημιουργήσαμε επαναλαμβάνεται (ηχώ). Αν όμως το εμπόδιο βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη από 17 μέτρα, τότε ο ήχος απλώς δυναμώνει (αντήηση, όπου τα ηχητικά κύματα ανακλώνται και επιστρέφουν ενισχυμένα όταν συναντήσουν ένα πολύ κοντινό εμπόδιο).

Περίθλαση (Diffraction)

Περίθλαση δημιουργείται όταν το ηχητικό κύμα παρακάμπτει ένα εμπόδιο, δημιουργώντας μια νέα σειρά κυμάτων, τα οποία εκπέμπονται από το εμπόδιο σα να ήταν αυτό η πηγή του ήχου. Έτσι τα ηχητικά κύματα που ανακλώνται αλλάζουν γωνία κατεύθυνσης [Εικόνα 10]. Τα κύματα λοιπόν που περνούν γύρω από το εμπόδιο ή που το διαπερνούν (εξαιτίας, λόγου χάριν, κάποιου ανοίγματος στο σώμα) έχουν τη δυνατότητα να κυρτώνονται και γεμίζουν τον χώρο πέραν του εμποδίου.

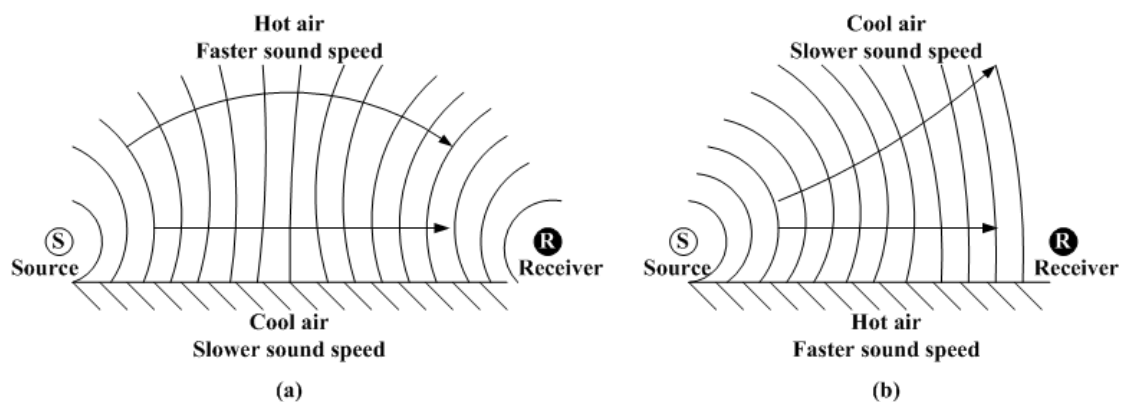
Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος από τις διαστάσεις του εμποδίου, τόσο εντονότερη είναι η περίθλαση. Επειδή η ένταση του ήχου ακριβώς πίσω από το εμπόδιο είναι πολύ μικρή, θεωρείται ότι παράγεται μια ηχητική σκιά από το εμπόδιο, δηλ. δημιουργείται «ζώνη σιγής». Την έκταση του φαινομένου αυτού, μειώνει η περίθλαση. Όταν το εμπόδιο έχει μικρότερες ή σχεδόν ίδιες διαστάσεις με το μήκος κύματος του προσπίπτοντα ήχου, τότε αλλάζει κατεύθυνση και περνά πάνω ή γύρω από το εμπόδιο. Στην αντίθετη περίπτωση, αν το εμπόδιο έχει πολύ μεγαλύτερες διαστάσεις με κενό κάπου στη μέση μικρών διαστάσεων, τότε λόγω της περίθλασης, περνάει μέσα από κενό και συνεχίζει να διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις, πίσω από το κενό, με ελαττωμένη όμως ένταση, γιατί ένα μεγάλο μέρος της, ανακλάστηκε πίσω από το εμπόδιο.



Εικόνα 10 Διάφορες διαδρομές περιθλασης ανάλογα με το μήκος κύματος.

Διάθλαση (Refraction)

Όταν η υπόσταση του υλικού μέσου αλλάζει σταδιακά, τότε τα κύματα μπορεί να αλλάξουν κατεύθυνση επειδή μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά του μέσου διάδοσης, που επιφέρει αλλαγές στην ταχύτητα διάδοσης. Το φαινόμενο αυτό λέγεται διάθλαση και παρατηρείται, για παράδειγμα, όταν ο ήχος ταξιδεύει σε στρώματα αέρα με διαφορετική θερμοκρασία [εικόνα 11]. Όσον αφορά στον αέρα, όπου η ταχύτητα του ήχου στον θερμό αέρα είναι μεγαλύτερη από ότι στον ψυχρό, παρατηρείται το φαινόμενο της παρακάτω εικόνας.



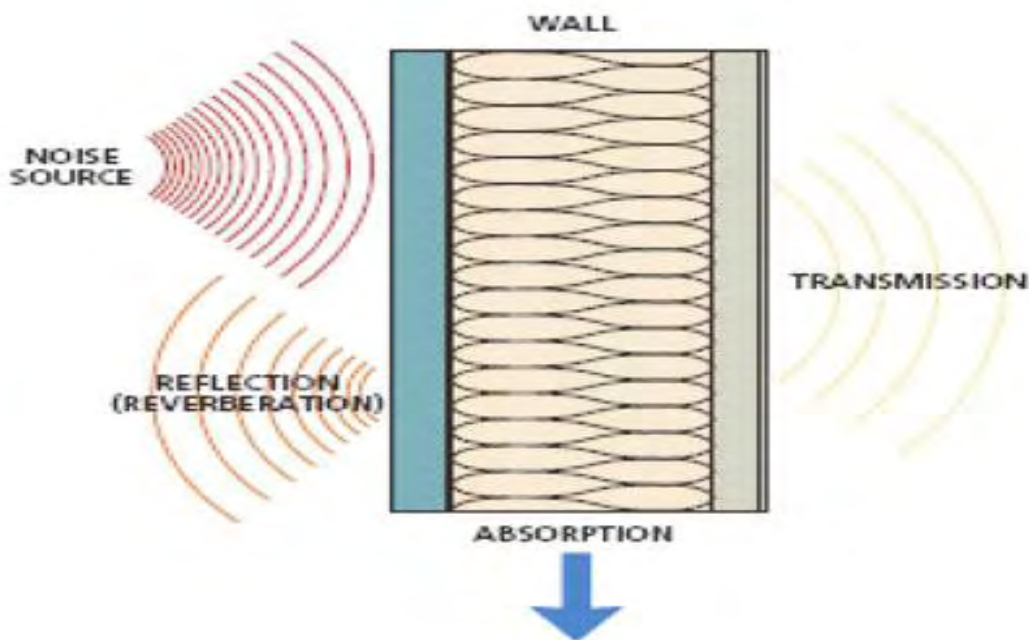
Εικόνα 11: Διάθλαση σε στρώματα αέρα με διαφορετική θερμοκρασία.

Παρεμβολή (Interjection)

Όταν ηχητικά κύματα παραγόμενα από δυο διαφορετικές πηγές διαδίδονται στο ίδιο μέσο, τότε η διατάραξη που επιδέχεται κάθε μάζα προκύπτει από το άθροισμα των μετατοπίσεων που θα επιδεχόταν από κάθε κύμα ξεχωριστά.

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται παρεμβολή. Η παρεμβολή μπορεί να είναι καταστρεπτική όταν τα ηχητικά κύματα ακυρώνουν πλήρως τη μετατόπιση που θα σημειωνόταν σε σημείο του μέσου.

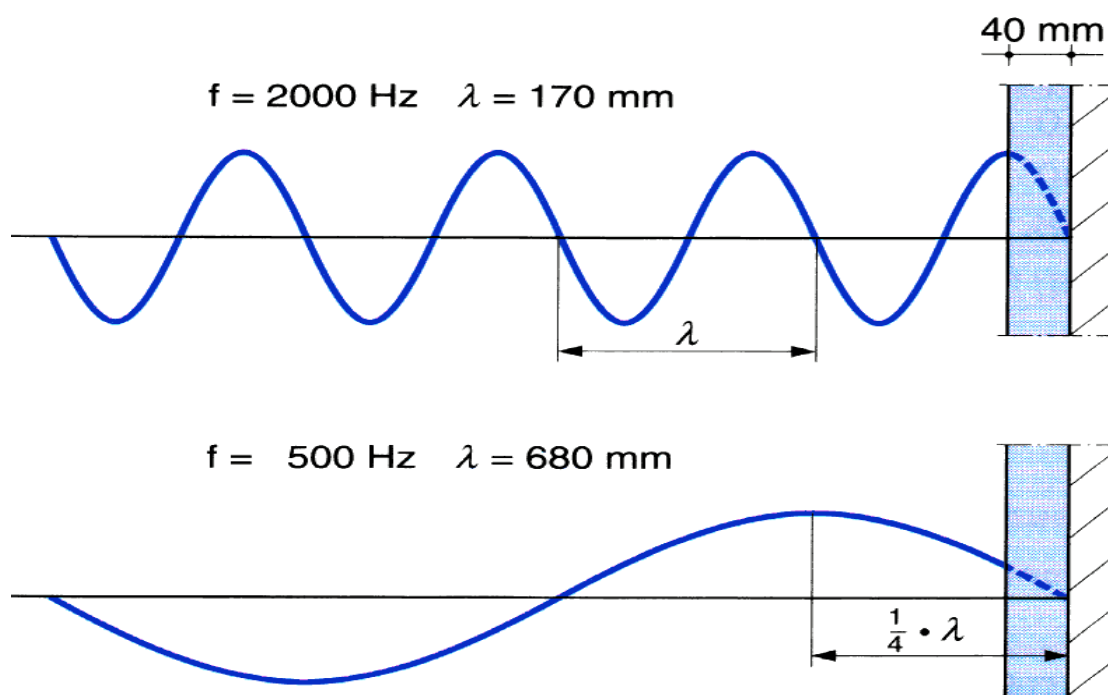
Απορρόφηση (absorption and transmission)



Εικόνα 12

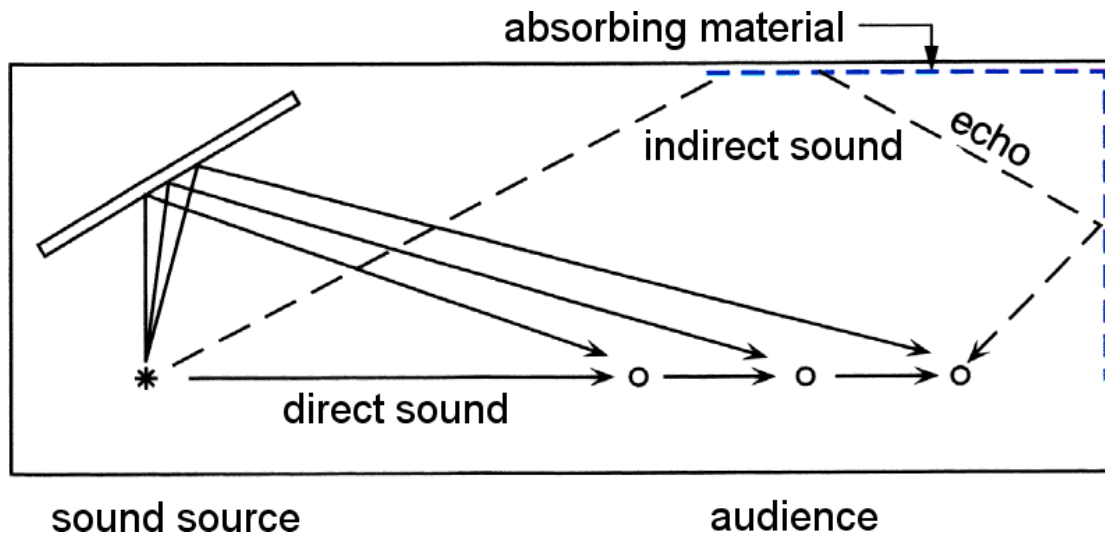
Οι πρώτες καταγεγραμμένες τουλάχιστον απόπειρες για την αύξηση της ηχητικής απορροφητικότητας ενός χώρου μέσω μείωσης ανακλάσεων έγινε από τον Ουάλλας Σαμπίν (Wallace Sabin) το 1895 όταν του ανατέθηκε η διόρθωση της άθλιας ακουστικής μιας αίθουσας διαλέξεων του Μουσείου Τέχνης Φογκ στο Χάρβαρντ. Οι αρχικές μετρήσεις έγιναν απλά με τη χρήση ενός χρονομέτρου και το αυτί του, μετρώντας την αργή εξασθένιση του ήχου από τις ανακλάσεις στους τοίχους. Προσπάθησε να προσδώσει τέτοια ακρίβεια στις μετρήσεις του, που για να εξουδετερώσει την απορροφητική επίδραση των ρούχων του, διεξήγαγε το πείραμα κλεισμένος μέσα σε ένα κουτί, από το οποίο εξείχε μόνο το κεφάλι

του. Στη συνέχεια, άρχισε να φέρνει σταδιακά μαξιλάρια από τα καθίσματα του γειτονικού θεάτρου Σάντερς, ώσπου τα έφερε όλα και επιπλέον κάλυψε τα θεωρεία και την εξέδρα. Ως σταθερή πηγή ήχου, χρησιμοποίησε τη νότα από ένα μόνο σωλήνα εκκλησιαστικού οργάνου. Τα αποτελέσματα ήταν πολύ ενθαρρυντικά, αφού ύστερα από πολλαπλές μετρήσεις κατάφερε να μειώσει το χρόνο αντήχησης της αίθουσας από 8-9 sec στα 5,33 sec και κατόπιν διαδοχικών καλύψεων της αίθουσας μειώθηκε στα 1,14 sec και όλα αυτά, με μονάδα απορρόφησης ένα μαξιλάρι του θεάτρου Σάντερς. Από το παραπάνω πείραμα προκύπτει ότι η απορροφητικότητα των επιφανειών και των αντικειμένων που υπάρχουν σε έναν χώρο και ο όγκος του, επηρεάζουν το βάθος του χώρου αυτού. Επίσης, ισχύει ότι «η απορροφητική ικανότητα των υλικών μεταβάλλεται με τη συχνότητα» [Εικόνα 13].



Εικόνα 13

Αυτό σημαίνει ότι ένα υλικό έχει διαφορετική απορρόφηση στις χαμηλές από ότι στις υψηλές, γι' αυτό και υπάρχουν ειδικά υλικά ανά περίπτωση.



Εικόνα 14: Συνδυασμός ηχητικών φαινομένων

Εδώ είναι απαραίτητο να αναφερθούν οι έννοιες χρόνος αντήχησης και συντονισμός. Ο χρόνος αντήχησης ενός χώρου είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να εξασθενήσει η ένταση του ήχου, μετά την παύση του, κατά 60dB και δίνεται από τον τύπο:

$$RT_{60} = \frac{4 \ln 10^6 V}{c Sa} \approx 0.1611 \text{ m}^{-1} \frac{V}{Sa}$$

Ή απλούστερα:

$$T = (0,16 \cdot V) / (S \cdot a) \text{ όπου:}$$

V ο όγκος του χώρου

S η συνολική επιφάνεια σε m²

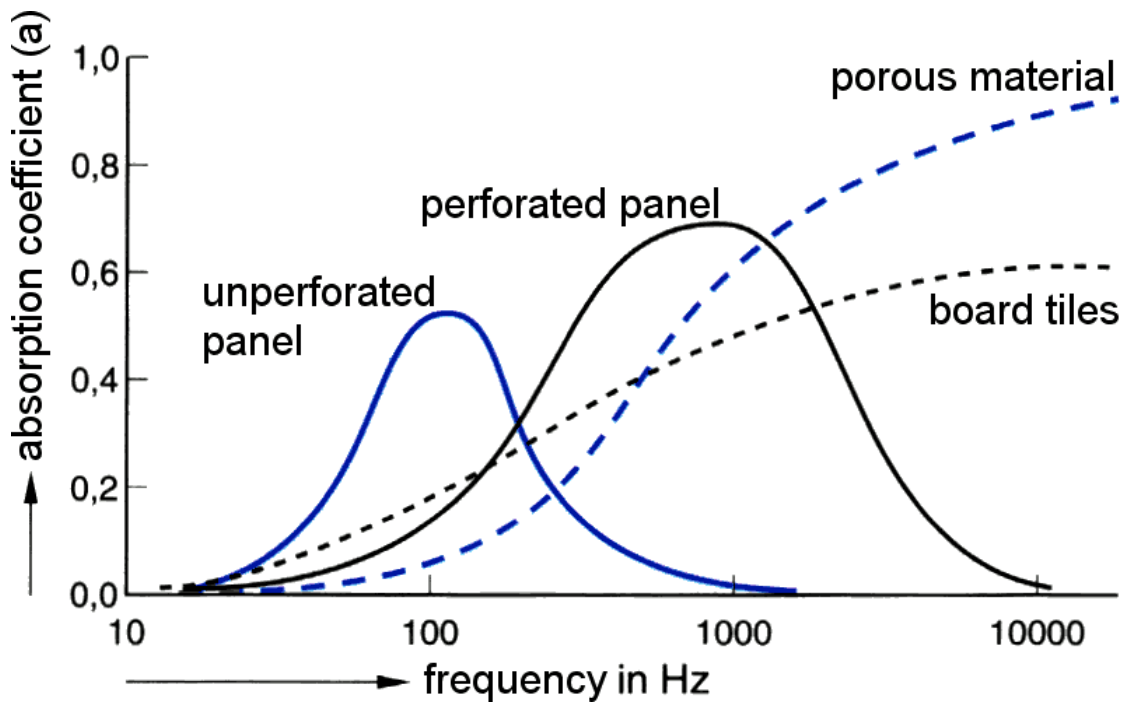
a ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης

t ο χρόνος αντήχησης σε sec

Ο παραπάνω τύπος ισχύει για τιμές του a < 0,2. Για τιμές του a > 0,2 ο t δίνεται από τον τύπο:

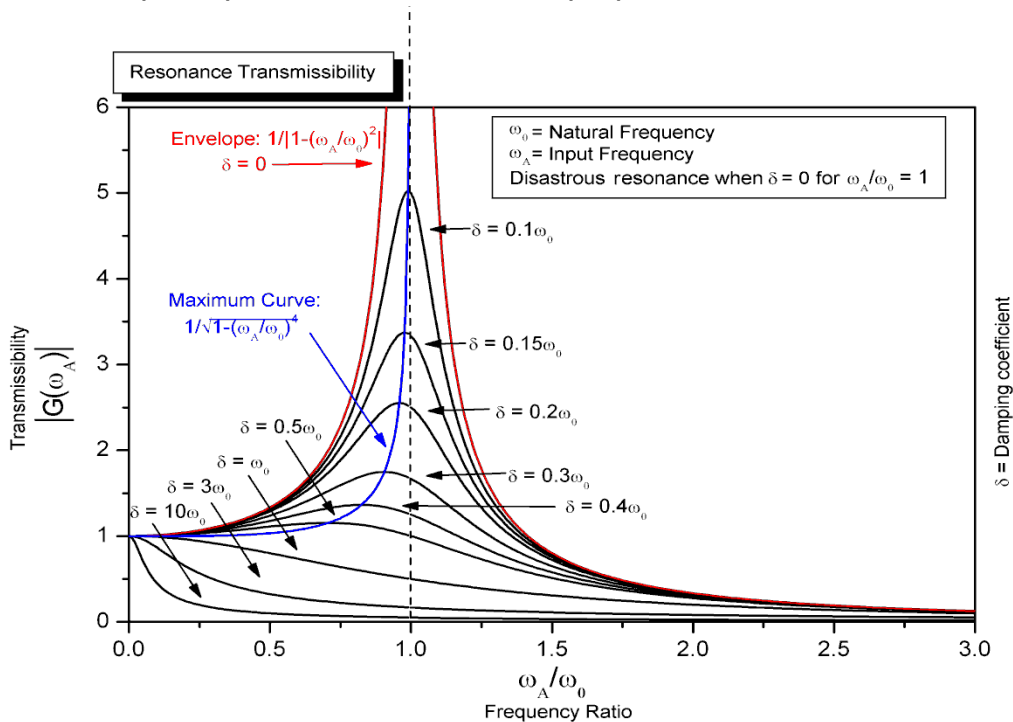
$$t = (0,16 \cdot V) / (-S \cdot \ln(1-a))$$

Όταν το ηχητικό κύμα εισχωρήσει σε απορροφητικό υλικό [Εικόνα 15], ανακλάται και σκορπίζεται σε μυριάδες θύλακες αέρα, μέχρι να χαθεί ένα μεγάλο μέρος της ενέργειάς του, μετατρέποντας την ηχητική ενέργεια σε θερμότητα, της η οποίας η αύξηση υπό κανονικές συνθήκες είναι τόσο μικρή, που θεωρείται αμελητέα.



Εικόνα 15

Ένα άλλο φαινόμενο είναι ο συντονισμός.



Εικόνα 16

Ο συντονισμός [Εικόνα 16] δημιουργείται όταν ένα ηχητικό κύμα προσπέσει σε ένα σώμα του οποίου η ιδιοσυχνότητα ταλάντωσης είναι ίδια με τη συχνότητα του ηχητικού κύματος. Τότε το σώμα αρχίζει να δονείται δημιουργώντας νέα ηχητικά κύματα. Οι

συντονισμοί παρατηρούνται και σε μουσικά όργανα και σε ηχητικά συστήματα, αλλά αποτελούν πλέον ελεγχόμενο φαινόμενο σε χώρους ακροάσεων ή ηχογραφήσεων.

2.2.4 ΚΥΡΙΑ ΗΧΗΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

Ηχητική ένταση

Ηχητική ένταση (sound intensity) σε ένα ορισμένο σημείο σε μία δεδομένη χρονική στιγμή είναι η πυκνότητα της ισχύος δια μέσου μιας στοιχειώδους επιφάνειας γύρω από το σημείο αυτό και κάθετης προς το διάνυσμα της ταχύτητας των σωματιδίων στο σημείο αυτό [Εικόνα 17] (δηλαδή ο λόγος της ισχύος προς το εμβαδόν της επιφάνειας). Για την πυκνότητα της ισχύος που μεταδίδεται προς άλλες κατευθύνσεις, λαμβάνεται η αντίστοιχη προβολή.

Αποδεικνύεται ότι, ως συνάρτηση του διανύσματος θέσης \vec{r} και του χρόνου t , δίνεται από τη σχέση :

$$\vec{I}(\vec{r}, t) = p(\vec{r}, t) \cdot \vec{v}(\vec{r}, t)$$

όπου: p η πίεση, \vec{v} το διάνυσμα της ταχύτητας των σωματιδίων.

Η ένταση του ηχητικού πεδίου είναι μία διανυσματική ποσότητα, η οποία προσδιορίζεται ως το γινόμενο της ηχητικής πίεσης και της συνιστώσας της ταχύτητας των σωματιδίων στην κατεύθυνση του διανύσματος της έντασης. Είναι ένα μέτρο του ρυθμού με τον οποίο η ισχύς μεταδίδεται σε έναν μέσον δια του ηχητικού κύματος δια μίας επιφάνειας κάθετης προς το διάνυσμα της έντασης.

Στην ειδική περίπτωση ενός περιοδικού κύματος (και ακόμη ειδικότερα ημιτονοειδούς) η μετάδοση της ισχύς (και επομένως η ένταση) είναι επίσης περιοδική (ή αντίστοιχα ημιτονοειδής). Στην απλή αυτή περίπτωση κυμάτων, χρησιμοποιείται συνήθως η μέση τιμή του γινομένου και η μέση τετραγωνική τιμή (ως προς τον χρόνο).

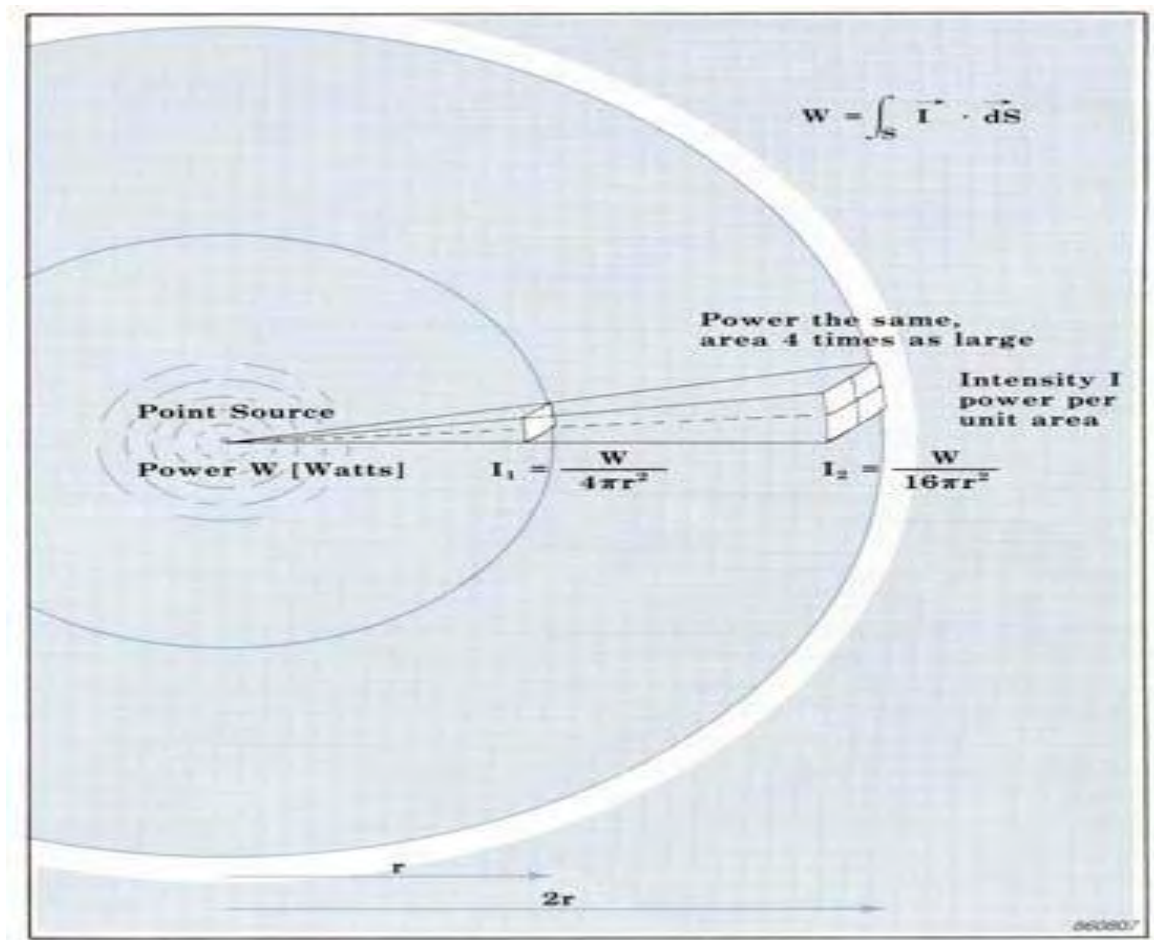
Οι ηχητικές πηγές οι οποίες εκπέμπουν σε ελεύθερο πεδίο, για αποστάσεις αρκετά μεγάλες (δηλαδή μεγαλύτερες από το δεκαπλάσιο του μεγαλύτερου μήκους κύματος του ήχου), το κύμα τους μπορεί να θεωρηθεί ως επίπεδο. Στην περίπτωση αυτή, είναι απόλυτα γνωστή η κατεύθυνσή του διανύσματος. Επομένως, εξετάζεται μόνο

η αριθμητική τιμή του. Η τετραγωνική μέση (ως προς τον χρόνο) τιμή της ηχητικής έντασης του ήχου δίνεται από την σχέση :

$$I = \overline{p \cdot v} = \frac{\overline{p^2}}{\rho_0 c}$$

όπου: $\overline{p \cdot v}$, $\overline{p^2}$ είναι οι αντίστοιχα τετραγωνικές μέσες τιμές, ρ_0 η πυκνότητα του αέρα και c η ταχύτητα του ήχου στον αέρα.

Η μονάδα μέτρησης της ηχητικής έντασης είναι το $[w/m^2]$.



Εικόνα 17: Ηχητική ένταση σημειακής πηγής

Για τη μέτρηση της όμως, συνήθως χρησιμοποιείται ο λόγος I/I_0 όπου I_0 είναι μία ένταση αναφοράς, η οποία αντιστοιχεί περίπου στην ελάχιστη ένταση που γίνεται αντιληπτή από την ανθρώπινη ακοή και η τιμή της είναι $I_0 = 10^{-12} w/m^2$.

Για την μέτρηση των ηχητικών εντάσεων χρησιμοποιείται το αδιάστατο μέγεθος

$$L_I = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

το οποίο ονομάζεται **Στάθμη Ηχητικής Έντασης** και η μονάδα μέτρησής της είναι το [dB].

Ηχητική ισχύς

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η μετάδοση ηχητικού σήματος συνεπάγεται και μετάδοση ηχητικής ισχύος. Η πυκνότητα ροής της ισχύος αυτής εκφράζεται από την ένταση. Σύμφωνα με τον ορισμό της ηχητικής έντασης, ηχητική ισχύς μιας πηγής είναι το επιφανειακό ολοκλήρωμα:

$$W = \int_S \vec{I} \cdot \vec{n} \cdot dS$$

σε οποιαδήποτε κλειστή επιφάνεια η οποία περιβάλλει την πηγή, όπου \vec{n} το μοναδιαίο κάθετο διάνυσμα προς το στοιχείο dS της επιφάνειας.

Εάν η ηχητική πηγή εκπέμπει σφαιρικά κύματα (ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις), λαμβάνεται μία σφαιρική επιφάνεια S , οπότε η ηχητική ισχύς δίνεται από την σχέση:

$$W = 4\pi r^2 I$$

Η μονάδα μέτρησης της ηχητικής ισχύος είναι το watt [w].

Για την μέτρηση της, όμως, συνήθως χρησιμοποιείται ο λόγος:

$$W / W_0$$

όπου: W_0 είναι η ισχύς αναφοράς, η οποία αντιστοιχεί στη I_0 και η τιμή της είναι:

$$W_0 = 10^{-12} \text{ w}$$

Όπως και για την μέτρηση των ηχητικών εντάσεων, χρησιμοποιείται το αδιάστατο μέγεθος:

$$L_w = 10 \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

το οποίο ονομάζεται **Στάθμη Ηχητικής Ισχύος** και η μονάδα μέτρησής της είναι το [dB].

Ηχητική πίεση

Από τις εξισώσεις που αναπτύχθηκαν στις δύο προηγούμενες παραγράφους μπορούμε να φτάσουμε στο συμπέρασμα ότι:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{p_1^2}{p_2^2}$$

Για τον ορισμό του αδιάστατου μεγέθους της **Στάθμης Ηχητικής Πίεσης** χρησιμοποιείται το τετράγωνο της μέσης τετραγωνικής τιμής της:

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{p_1^2}{p_0^2} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{p_1}{p_0} \right)$$

όπου: p_0 είναι μία πίεση αναφοράς

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N / m}^2 = 20 \mu\text{Pa}$$

Μονάδα μέτρησής της είναι το [dB].

Σχέσεις υπολογισμού των L_p , L_w και L_I

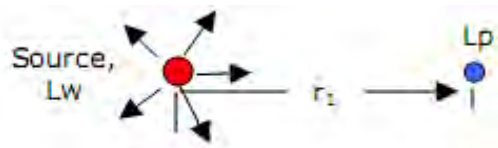
Δύο αρκετά χρήσιμες σχέσεις που αφορούν τα μεγέθη L_p , L_w και L_I , η απόδειξη των οποίων δεν εξυπηρετεί ιδιαίτερα τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής, είναι οι παρακάτω:

$$L_I = L_p + 26 - 10 \log_{10} (\rho_0 c)$$

και

$$L_w = L_p + 20 \log_{10} r + 11$$

Η πρώτη σχέση επιτρέπει τον υπολογισμό της στάθμης της ηχητικής έντασης γνωρίζοντας απλά την στάθμη της ηχητικής πίεσης, ενώ με χρήση της δεύτερης εξίσωσης προκύπτει η τιμή της στάθμης της ηχητικής ισχύος της πηγής γνωρίζοντας την στάθμη της ηχητικής πίεσης σε μία απόσταση r από την πηγή.



Εικόνα 18: Η στάθμη της ηχητικής πίεσης σε απόσταση r_1 από την πηγή

Μερικές εξίσου χρήσιμες σχέσεις είναι οι εξής:

$$L_w = 10 \log_{10} W + 120$$

&

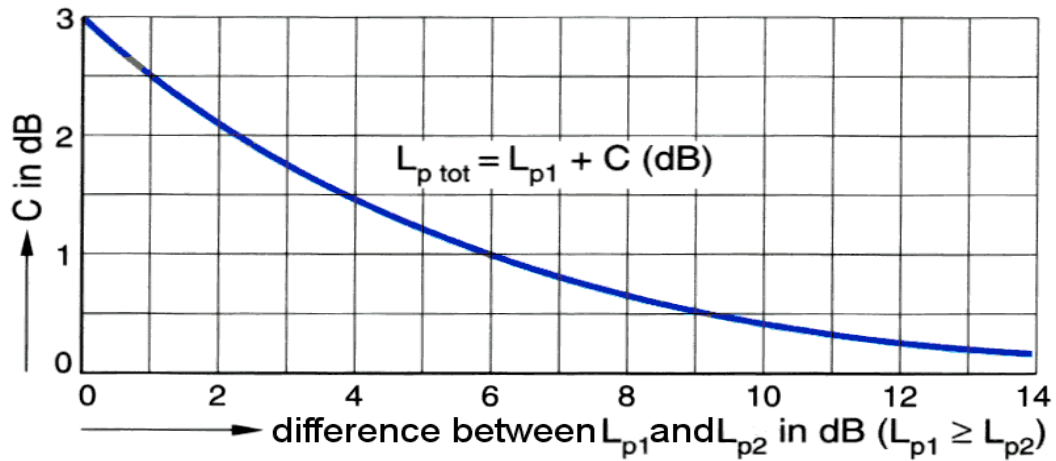
$$L_I = 10 \log_{10} I + 120$$

Τέλος, στην περίπτωση που υπάρχουν παραπάνω από μία πηγή θορύβου στον χώρο, για να υπολογίσουμε την τιμή της συνολικής ηχητικής πίεσης χρησιμοποιούμε τον παρακάτω τύπο:

$$L_{pt} = 10 \log_{10} \left(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} \dots \dots \dots + 10^{L_N/10} \right)$$

όπου: N είναι ο αριθμός των ανεξάρτητων πηγών θορύβου.
 Η συγκεκριμένη σχέση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη γιατί μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον υπολογισμό της στάθμης του θορύβου φόντου (background noise level).

Το L_{pt} του άθροισματος δύο ηχητικών πηγών υπολογίζεται γραφικά με χρήση του παρακάτω διαγράμματος [Εικόνα 19] (όπου L_{p1} είναι η πηγή με τη μεγαλύτερη στάθμη ηχητικής πίεσης). Ο υπολογισμός του L_{pt} για περισσότερες από δύο πηγές γίνεται γενικεύοντας την παραπάνω διαδικασία χωρίζοντας τις πηγές σε ομάδες των δύο, και λαμβάνοντας το εκάστοτε άθροισμα σαν μια νέα πηγή.



Εικόνα 19: Adding sound pressure levels

Εναλλακτικά ο συντελεστής προσαύξησης C λαμβάνεται από σχετικούς πίνακες, όπως:

Sound Power Level Difference between two Sound Sources (dB)	Added Decibel to the Highest Sound Power Level (dB)
0	3
1	2.5
2	2
3	2
4	1.5
5	1
6	1
7	1
8	0.5

Sound Power Level Difference between two Sound Sources (dB)	Added Decibel to the Highest Sound Power Level (dB)
9	0.5
10	0.5
> 10	0

Εικόνα 20

Μέση ενεργειακή ισοδύναμη ηχοστάθμη

Επειδή η στάθμη της ηχητικής πίεσης δεν είναι, γενικά σταθερή κατά την διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος, είναι απαραίτητη η γνώση της στατιστικής κατανομής της στάθμης κατά τη διάρκεια του διαστήματος αυτού.

Ακριβέστερα έχει ορισθεί το μέγεθος:

Μέση ενεργειακή ισοδύναμη ηχοστάθμη [L_{eq}],

το οποίο ορίζεται ως η σταθερή στάθμη ηχητικής πίεσης που θα παραγόταν από την πηγή του θορύβου, εάν η συνολική ακουστική ενέργεια του ηχητικού γεγονότος ήταν ισοκατανεμημένη στην χρονική διάρκεια T της μέτρησης.

Το διάστημα αυτό μπορεί να είναι, π.χ. 1 λεπτό, 1 ώρα, 8 ώρες, διάρκεια νύχτας, διάρκεια μέρας, 24 ώρες.

Το L_{eq} δίδεται από τη σχέση:

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \frac{p_{eq}^2}{p_0^2} = 10 \log_{10} \frac{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p \cdot p dt}{p_0^2} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1L} dt \right)$$

Ο υπολογισμός του είναι εξαιρετικά δυσχερής όμως υπάρχουν μετρητικά όργανα (ηχώμετρα), τα οποία υπολογίζουν απευθείας την τιμή του L_{eq} κατά το διάστημα της μέτρησης.

Το μέγεθος αυτό μπορεί να οριστεί και μετρηθεί είτε σε ζώνες συχνοτήτων είτε συνολικά σε dB(A).

Η μέση ενεργειακή ισοδύναμη ηχοστάθμη είναι ένα μέγεθος το οποίο δίνει μια σαφή εικόνα για την στάθμη του θορύβου και μετριέται εύκολα με απλές συσκευές. Επίσης, οι μετρήσεις αυτές έχουν αρκετά καλή επαναληψιμότητα. Για τους λόγους αυτούς χρησιμοποιείται πολύ στην πράξη, όπως π.χ. στις μετρήσεις και εκτιμήσεις μέσης στάθμης σε ένα χώρο, του κυκλοφοριακού θορύβου, του περιβαλλοντικού θορύβου, του αεροδυναμικού θορύβου κ.α. Αξιοσημείωτο είναι ότι πολλές προδιαγραφές ποιότητας, ευρωπαϊκές αλλά και αμερικάνικες, ορίζουν το ανώτατο όριο θορύβου βάση της μέσης ενεργειακής ισοδύναμης ηχοστάθμης.

Decibel [dB]

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η βασική μονάδα μέτρησης του ήχου είναι το decibel (dB). Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των decibel (dB) σε σχέση με το Pascal (Pa) και το W/m^2 , που είναι άλλες μονάδες μέτρησης του ήχου, φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 21.

Sound Pressure (Pa)	Sound Intensity (W/m^2)	Decibels (dB)	Noise in the Environment
63.2	10	130	Threshold of pain
20	1	120	Near a jet aircraft at take-off
6.32	0.1	110	Riveting machine
2.0	0.10	100	Pneumatic hammer
0.632	0.001	90	Diesel truck at 50 ft (15 m)
0.2	0.0001	80	Shouting at 3 ft (1 m)
0.0632	1×10^{-5}	70	Busy office
0.02	1×10^{-6}	60	Conversational speech at 3 ft (1 m)
0.00632	1×10^{-7}	50	Quiet urban area during daytime
0.002	1×10^{-8}	40	Quiet urban area at night
0.000632	1×10^{-9}	30	Quiet suburban area at night
0.0002	1×10^{-10}	20	Quiet countryside
0.000632	1×10^{-11}	10	Human breathing
0.00002	1×10^{-12}	0	Threshold of audibility

Loudness or noise can be measured in various units. The decibel scale provides a convenient way to express this. Note that the quietest sound we can hear is one ten-trillionth (1×10^{-13}) as loud as the most intense noise we experience.

Εικόνα 21

Είναι φανερό ότι η τιμή της ηχητικής πίεσης, εκφρασμένη σε (Pa), είναι αρκετά μεγάλη, με αποτέλεσμα να καθιστά δύσκολη οποιαδήποτε μαθηματική επεξεργασία της, ενώ όταν είναι εκφρασμένη (dB) είναι σαφώς πιο βολική και μπορεί να επεξεργαστεί πιο εύκολα.

Η κλίμακα των decibel είναι λογαριθμική και έτσι δεν υπάρχει καμία γραμμική συσχέτιση μεταξύ της έντασης του θορύβου και της αντίληψής του από τον άνθρωπο. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται καθαρά πώς αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος τις αλλαγές στην ένταση του ήχου.

Αύξηση της έντασης του ήχου κατά	Επίπεδο αντίληψης της διαφοράς
+ 3 (dB)	Οριακά το αντιλαμβανόμαστε
+ 5 (dB)	Το αντιλαμβανόμαστε αρκετά
+ 10 (dB)	Διπλάσια δυνατό
+ 15 (dB)	Το αντιλαμβανόμαστε πάρα πολύ
+ 20 (dB)	Τετραπλάσια δυνατό

Εικόνα 22: Επίπεδο αντιληπτικότητας των εναλλαγών της στάθμης του θορύβου

Μετατροπή Pa σε dB

Με χρήση της εξίσωσης του L_p

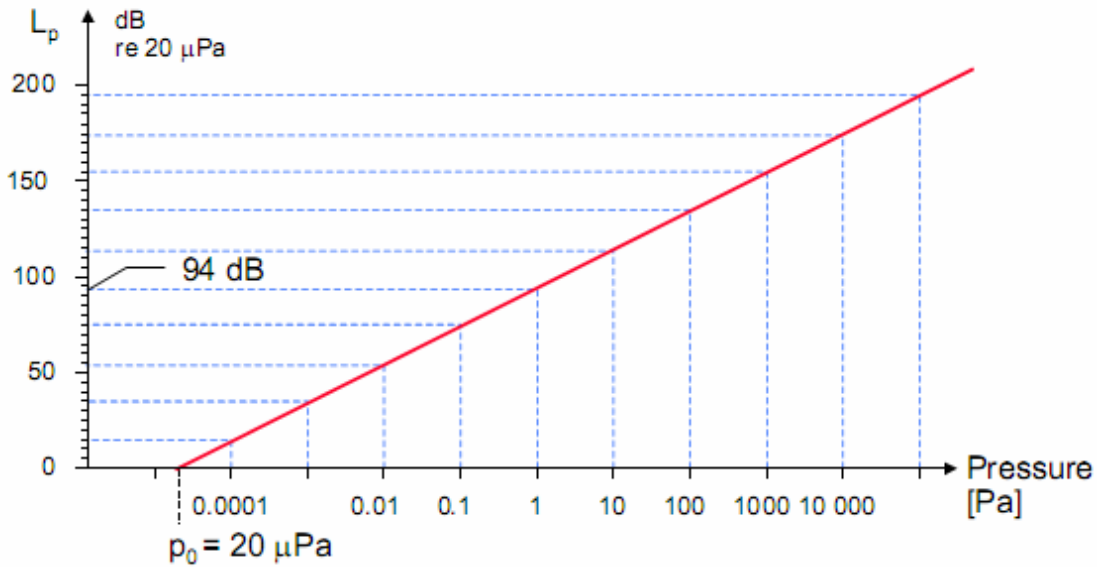
Η εξίσωση της L_p , στάθμη ηχητικής πίεσης, είναι η παρακάτω,

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \frac{p}{p_0}$$

στην οποία αντικαθιστώντας το p_0 με 20μPa και το p με την τιμή της ζητούμενης ηχητικής πίεσης σε (Pa), βρίσκουμε την αντίστοιχη τιμή σε decibel.

Με χρήση διαγραμμάτων

Υπάρχουν κατάλληλα διαγράμματα [Εικόνα 23] με τα οποία μας γίνεται η μετατροπή απευθείας χωρίς μαθηματικούς υπολογισμούς. Ένα από αυτά φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 23: Διάγραμμα μετατροπής Pa σε dB, με πίεση αναφοράς, $\rho_0=20\mu\text{Pa}$.

Με πίνακες

Τέλος, η μετατροπή μπορεί να γίνει με την χρήση κατάλληλων πινάκων [Εικόνα 24]. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι συγκεκριμένοι πίνακες λειτουργούν εξίσου καλά και για θετικές αλλά και για αρνητικές μεταβολές της ηχητικής πίεσης σε (dB). Εάν το κλάσμα της πίεσης (p/ρ_0) είναι μικρότερο της μονάδας οι τιμές είναι αρνητικές, ενώ αν είναι μεγαλύτερο της μονάδας οι τιμές είναι θετικές. Ένας τέτοιος πίνακας φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Pressure Ratio	- db +	Pressure Ratio	Pressure Ratio	- db +	Pressure Ratio
1.00	0.0	1.000	0.501	6	1.995
0.989	0.1	1.012	0.447	7	2.239
0.977	0.2	1.023	0.398	7	2.512
0.966	0.3	1.035	0.355	9	2.818
0.955	0.4	1.047	0.316	10	3.162
0.944	0.5	1.059	0.251	12	3.981
0.933	0.6	1.072	0.200	14	5.012
0.923	0.7	1.084	1.158	16	6.310
0.912	0.8	1.096	0.126	18	7.943
0.902	0.9	1.109	0.100	20	10.000
0.891	1.0	1.122	0.0316	30	31.62
0.841	1.5	1.189	0.0100	40	100
0.794	2.0	1.259	0.0032	50	316.2
0.708	3.0	1.413	10^{-3}	60	10^3
0.631	4.0	1.585	10^{-4}	80	10^4
0.562	5.0	1.778	10^{-5}	100	10^5

Εικόνα 24: Πίνακας μετατροπής της ηχητικής πίεσης dB με χρήση του λόγου πίεσης.

2.2.5 ΗΧΗΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

Τύποι ηχητικών πηγών

Υπάρχουν τρία είδη ηχητικών πηγών, η σημειακή, η γραμμική και η επίπεδη ηχητική πηγή.

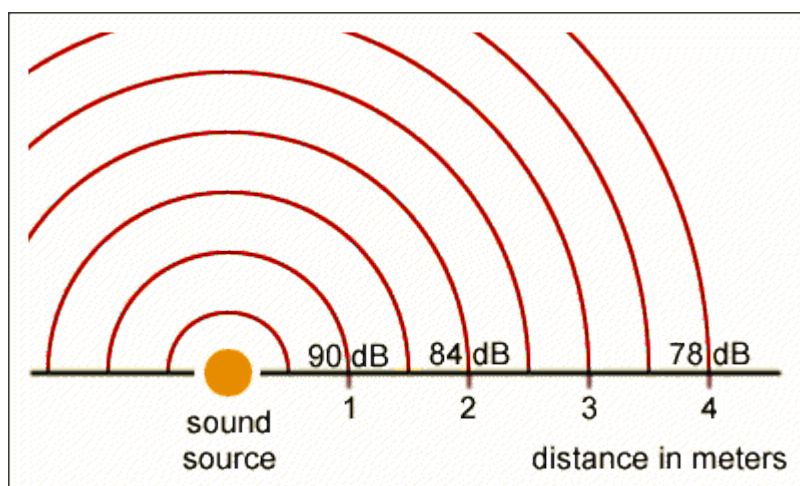
Σημειακή πηγή (Point Source)

Πρόκειται για μία σφαιρική πηγή [Εικόνα 25], μικρών διαστάσεων, η οποία εκπέμπει ομοιόμορφα την ακουστική ισχύ προς όλες τις κατευθύνσεις.

Η τιμή της στάθμης της ηχητικής πίεσης δίνεται από την εξίσωση :

$$L_p = L_w - 20 \log_{10} r - 11 \text{ (dB)}$$

Από την εξίσωση εύκολα προκύπτει ότι διπλασιασμός της απόστασης από την πηγή οδηγεί σε μείωση της στάθμης της ηχητικής πίεσης κατά 6 (dB).



Εικόνα 25

Γραμμική πηγή (Line source)

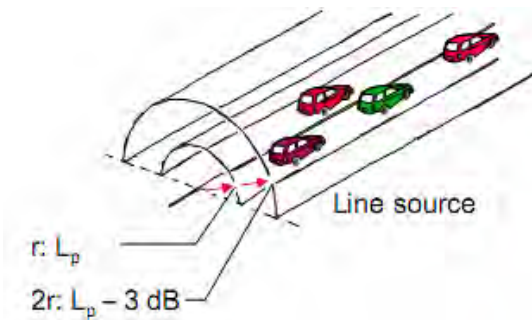
Πρόκειται για μία πηγή [Εικόνα 26], της οποίας οι δύο διαστάσεις της είναι πολύ μικρές ως προς την τρίτη της διάσταση, την απόσταση από το σημείο μέτρησης και ως προς τα μήκη κύματος του ήχου που εκπέμπει. Κλασσικό παράδειγμα γραμμικής πηγής είναι ένας αυτοκινητόδρομος πυκνής κυκλοφορίας.

Η μετάδοση του ήχου από την πηγή είναι κυλινδρική και η τιμή της στάθμης της ηχητικής πίεσης δίνεται από την εξίσωση :

$$L_p = L_{W0} - 10 \log_{10} r - 8 \text{ (dB)}$$

όπου L_{W0} : Η στάθμη ισχύος ανά μονάδα μήκους

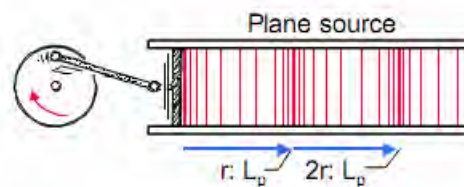
Από την εξίσωση εύκολα προκύπτει ότι διπλασιασμός της απόστασης από την πηγή οδηγεί σε μείωση της στάθμης της ηχητικής πίεσης κατά 3 (dB).



Εικόνα 26

Επιφανειακή πηγή (Plane source)

Μία επιφανειακή πηγή [Εικόνα 27] μπορεί να παρομοιαστεί με το σύστημα της παρακάτω εικόνας, όπου το πιστόνι συμπιέζει τον αέρα μέσα στον σωλήνα με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα επίπεδο κύμα. Υποθέτοντας ότι δεν υπάρχουν απώλειες από τα τοιχώματα του σωλήνα, δηλαδή χωρίς απώλειες στην ακουστική ενέργεια του κύματος, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η στάθμη της ηχητικής πίεσης του θορύβου που εκπέμπεται από μία επιφανειακή πηγή είναι ανεξάρτητη της απόστασης και παραμένει σταθερή κατά την διάδοσή του για μία μεγάλη επιφάνεια γύρω από την πηγή .



Εικόνα 27: Επιφανειακή πηγή

2.2.6 ΗΧΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

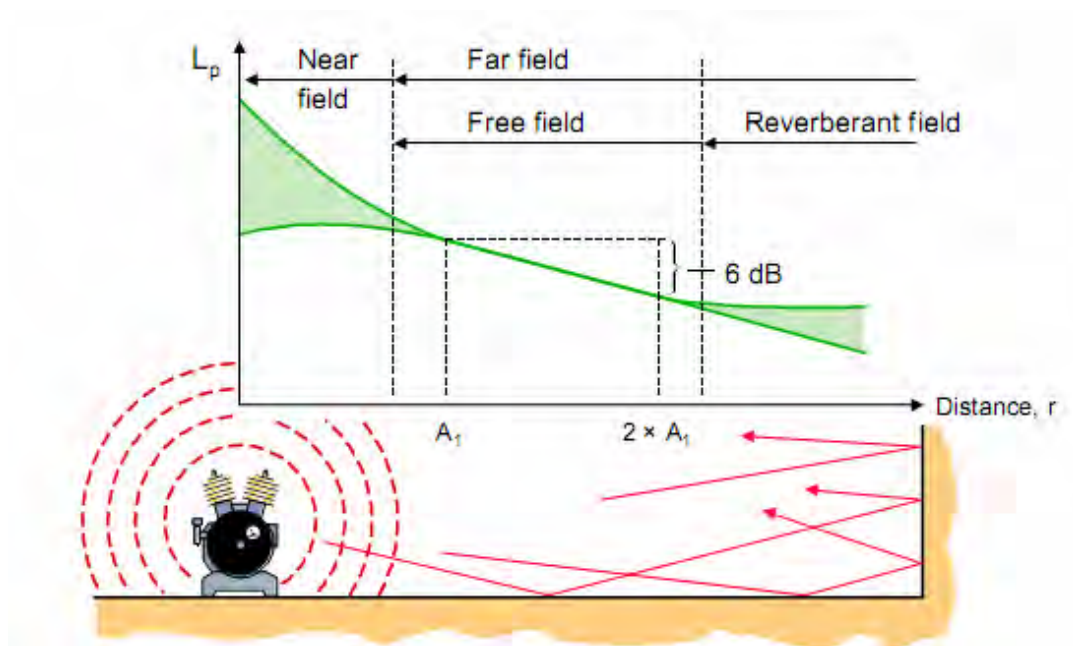
Είναι εν γένει δύσκολο να προβλέψουμε την θέση του ηχομέτρου από την ηχητική πηγή, της οποίας θέλουμε να μετρήσουμε τον θόρυβο που παράγει. Ένας πρακτικός κανόνας που εφαρμόζεται για αυτές τις περιπτώσεις είναι να χωρίζεται η περιοχή γύρω από την ηχητική πηγή σε τέσσερα πεδία [Εικόνα 28]:

Κοντινό πεδίο (Near field)

Μακρινό πεδίο (Far field)

Ελεύθερο πεδίο (Free field)

Αντηχητικό πεδίο (Reverberant field)



Εικόνα 28: Τα τέσσερα πεδία γύρω από την ηχητική πηγή

Το **κοντινό πεδίο (near field)** δημιουργείται στην περιοχή πολύ κοντά στην μηχανή, όπου η τιμή της στάθμης της ηχητικής πίεσης για μεταβολές της απόστασης r μέσα στο πεδίο μειώνεται ελάχιστα. Το μήκος του πεδίου είναι μικρότερο από το μήκος κύματος της χαμηλότερης συχνότητας του ήχου που παράγεται από την μηχανή, ή μικρότερο από την διπλάσια τιμή της μεγαλύτερης διαμέτρου της μηχανής. Γενικά καλό είναι να αποφεύγονται οι μετρήσεις μέσα στο πεδίο αυτό.

Το **μακρινό πεδίο (far field)**, χωρίζεται σε τρία πεδία, το ελεύθερο, το αντηχητικό και το ημιαντηχητικό πεδίο.

Στο **ελεύθερο πεδίο (free field)** ο ήχος μεταδίδεται σαν από σημειακή πηγή σε εξωτερικό χώρο, δηλαδή δεν υπάρχει κάποια επιφάνεια ώστε να έχουμε ανάκλαση του ήχου κατά την διάδοσή του. Άρα διπλασιασμός της απόστασης από την πηγή συνεπάγεται μείωση της στάθμης της ηχητικής πίεσης κατά 6 (dB).

Στο **αντηχητικό πεδίο (reverberant field)** κυριαρχούν ανακλάσεις του ήχου πάνω στον τοίχο του δωματίου ή και σε άλλα αντικείμενα, οι οποίες μπορεί να έχουν την ίδια ένταση με τον θόρυβο που παράγει η μηχανή.

Στο **ημιαντηχητικό πεδίο**, το οποίο υπάρχει σε μεγάλο κλειστό χώρο και οι επιφάνειες έχουν μέτρια ηχοανακλαστικότητα .

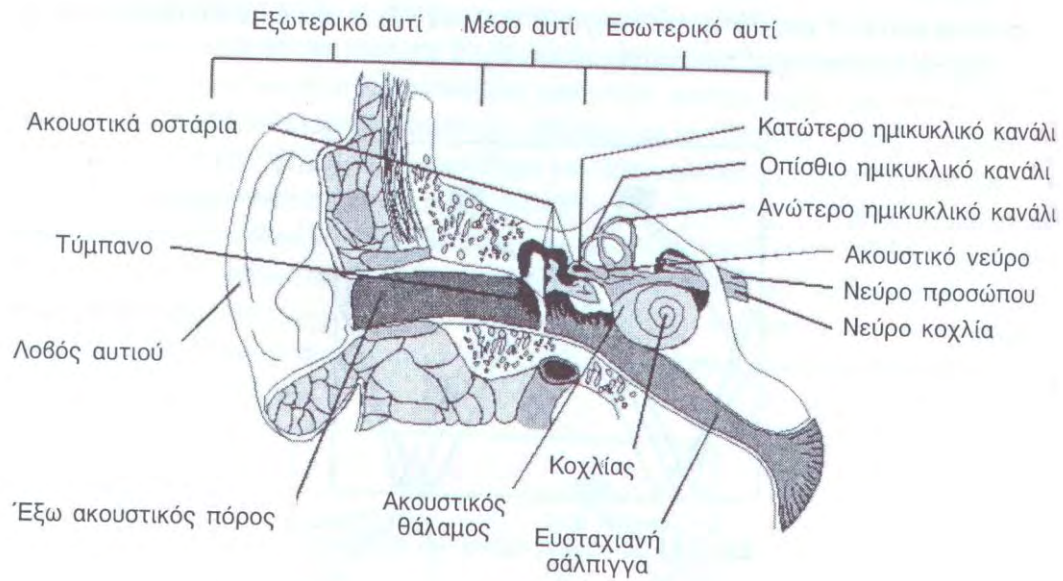
2.2.7 ΗΧΟΣ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΣ

2.2.7.1 Πώς ακούει ο άνθρωπος

Ακουστικό σύστημα-Πώς λειτουργεί το ανθρώπινο αυτί-Φυσιολογία

Το ακουστικό σύστημα έχει (εξελικτικά) διαμορφωθεί έτσι ώστε να αναλύει ήχους. Η ακοή έχει μεγάλη σημασία όχι μόνο για την αναγνώριση σημάτων από το περιβάλλον, αλλά και για την επικοινωνία και ιδιαίτερα για τη γλώσσα στον άνθρωπο. Το αυτί δέχεται τα ηχητικά κύματα, τα οποία μετατρέπει-με πολύ σύνθετους μηχανισμούς- σε νευρικό ερέθισμα. Στη συνέχεια, μέσω του ακουστικού νεύρου, μεταβιβάζεται στον εγκέφαλο.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα [Εικόνα 29], το αυτί χωρίζεται σε τρία μέρη: το εξωτερικό, το μέσο και το εσωτερικό.



Εικόνα 29

Αναλυτικά:

ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΑΥΤΙ:

Περιλαμβάνει το τμήμα εκείνο(το πτερύγιο) που βρίσκεται εξωτερικά του κρανίου κι έναν αγωγό που οδηγεί στο τύμπανο και που ονομάζεται έξω ακουστικός πόρος. Το τύμπανο είναι φτιαγμένο από ένα υλικό παρόμοιο μιας περγαμηνής και αποτελεί τον πρώτο σταθμό στη μετάδοση του ήχου και τη μετατροπή του σε νευρικό ερέθισμα.

Ονομάζεται δε έτσι, γιατί λειτουργεί όπως ακριβώς η μεμβράνη ενός τύμπανου που πάλλεται, ανάλογα με τη δύναμη του κτυπήματος. Οι κινήσεις αυτές του τύμπανου μεταβιβάζονται στο μέσο αυτί, το οποίο περιλαμβάνει τρία μικρά οστά, που ονομάζονται: σφύρα, άκμων και αναβολέας, γιατί μοιάζουν με τα αντίστοιχα αντικείμενα.

Τα τρία αυτά οστά συνδέονται μεταξύ τους και μετακινούνται ανάλογα με τις κινήσεις του τύμπανου. Έτσι μεταβιβάζουν τις παλμικές κινήσεις του τύμπανου σε μια άλλη, πιο λεπτή μεμβράνη, που ονομάζεται ωοειδής θυρίδα. Μέσα απ' αυτή τη διαδρομή επιτυγχάνεται και η μείωση της έντασης του θορύβου.

Αυτή η μείωση της έντασης-εξασθένησης που επέρχεται σε κάθε σταθμό της διαδρομής, είναι αναγκαία, γιατί όσο προχωράει στο εσωτερικό του αυτιού, τόσο πιο ευαίσθητοι και ευάλωτοι γίνονται οι μηχανισμοί του. Έτσι, ένα ισχυρό ηχητικό κύμα, χωρίς αυτή τη

μείωση, θα προκαλούσε τη ρήξη ή την εξάρθρωση αυτών των ευαίσθητων μηχανισμών του αυτιού.

ΤΟ ΜΕΣΟ ΑΥΤΙ:

Διαθέτει κι ένα άλλο κανάλι, που ονομάζεται ευσταχιανή σάλπιγγα και το οποίο επικοινωνεί με το πίσω μέρος της στοματικής κοιλότητας. Αυτή η δεύτερη επικοινωνία του αυτιού με το εξωτερικό περιβάλλον εξασφαλίζει την εξισορρόπηση της πίεσης ανάμεσα στην εσωτερική και την εξωτερική πλευρά της μεμβράνης του τύμπανου. Γι' αυτό, όταν υποστούμε απότομες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης (αεροπλάνο, ορειβάσια κ.ά) έχουμε την αίσθηση ότι το αυτί 'πάει να σπάσει' και ανακουφιζόμαστε καταπίνοντας, αυξάνοντας δηλαδή την πίεση της ευσταχιανής σάλπιγγας εσωτερικά του τύμπανου και εξισορροπώντας έτσι την αύξηση της εξωτερικής πίεσης στην ίδια μεμβράνη.

Η ΩΟΕΙΔΗΣ ΘΥΡΙΔΑ:

Βρίσκεται στο τέλος του μέσου αυτιού, και συνδέεται-επικοινωνεί με το εσωτερικό αυτί, το οποίο είναι μια ιδιαίτερα πολύπλοκη σειρά κοιλοτήτων:

I) Οι τρεις ημικύκλιοι σωλήνες που αποτελούν τη μία απ' αυτές τις κοιλοότητες και οι οποίοι είναι τα όργανα που εξασφαλίζουν τη διατήρηση της ισορροπίας, σε συνεργασία με τον εγκέφαλο, προς τον οποίο αποστέλλουν συγκεκριμένα ερεθίσματα.

II) Ο κοχλίας αποτελεί την άλλη κοιλότητα του εσωτερικού αυτιού και καλύπτεται εσωτερικά από νευρικές ίνες, που είναι σαν πολύ μικρές βλεφαρίδες (τρίχες των τριχωτών κυττάρων, του οργάνου του Corti), που διαβρέχονται από ένα υγρό (περίλεμφος).

Η διαταραχή της κινητικής κατάστασης αυτού του υγρού, κάτω από την επίδραση των ηχητικών κυμάτων που μεταδίδονται από το τυμπανοοσταριώδες σύστημα, έχει σαν αποτέλεσμα, την ταλάντωση του κοχλιακού πόρου (ωοειδής θυρίδα) και τον επακόλουθο μηχανικό ερεθισμό των τριχών των αισθητηρίων ακουστικών κυττάρων του οργάνου του Corti.

Αυτός ο μηχανικός ερεθισμός των τριχών μετατρέπεται από τα τριχωτά κύτταρα σε νευρικό ερέθισμα, που μεταβιβάζεται μέσα από το κοχλιακό νεύρο στο κροταφικό λοβό του εγκεφάλου, αμφοτερόπλευρα, όπου βρίσκεται και το κέντρο της ακοής.

Καταλήγοντας, ένας ήχος που φτάνει στο αυτί μεταβιβάζεται και στη συνέχεια μετατρέπεται σε νευρικό ερέθισμα και ερμηνεύεται κατάλληλα, από το αντίστοιχο κέντρο της ακοής στον εγκέφαλο.

2.2.7.2 **Τι ακούει ο άνθρωπος**

Όπως έχει ήδη ορισθεί, ήχος είναι οποιαδήποτε μεταβολή της πίεσης που μπορεί να γίνει ακουστή από το ανθρώπινο αυτί. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι η ζώνη συχνοτήτων που αντιλαμβάνεται ένας υγιής, νέος άνθρωπος εκτείνεται από 16 Hz έως 20 KHz. Σε όρους ηχητικής πίεσης οι ακουστοί ήχοι περιλαμβάνονται από το κατώφλι ακοής των 0 dB έως το όριο του πόνου που υπερβαίνει τα 120 dB.

Το ανθρώπινο αυτί δεν είναι εξίσου ευαίσθητο σε όλες τις συχνότητες.

Μεγαλύτερη ευαισθησία παρουσιάζει σε ήχους μεταξύ 2 και 5 KHz ενώ είναι λιγότερο ευαίσθητο σε χαμηλότερες και υψηλότερες συχνότητες. Το γεγονός αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία κατά τη μέτρηση του θορύβου, δεδομένου ότι δύο ήχοι ίσης έντασης αλλά διαφορετικών συχνοτήτων κρίνονται υποκειμενικά ως ήχοι διαφορετικής ακουστότητας.

Η ακουστότητα ενός ήχου είναι μέγεθος που σχετίζεται άμεσα με το μέτρο του υποκειμενικού αισθήματος της έντασης του ήχου που αντιλαμβάνεται ο φυσιολογικός ακροατής.

Η διαφοροποίηση της ευαισθησίας ανάλογα με τη συχνότητα, είναι πιο έντονη τις χαμηλές στάθμες ηχητικής πίεσης σε σύγκριση με τις υψηλές. Οι παλμικοί θόρυβοι δημιουργούν ακόμα ένα πρόβλημα κατά την αξιολόγηση της ακουστότητας. Ως παλμικός θόρυβος ορίζεται ο μεταβλητός θόρυβος που αποτελείται από μία ή περισσότερες εξάρσεις ηχητικής ενέργειας (ηχητικούς παλμούς) κάθε μία με διάρκεια μικρότερη από ένα δευτερόλεπτο.

Λόγω της μικρής διάρκειας των παλμικών ήχων (λιγότερο του 1 δευτερολέπτου) το αυτί παρουσιάζει μειωμένη ευαισθησία στην αντίληψη της ακουστότητάς τους. Οι ερευνητές συμφωνούν γενικά στο εξής: η υποκειμενικά αντιληπτή ακουστότητα ήχων βραχύτερης διάρκειας των 70 msec είναι μικρότερη από εκείνη που παράγουν ήχοι της ίδιας στάθμης ηχητικής πίεσης αλλά μεγαλύτερης διάρκειας.

2.3. ΘΟΡΥΒΟΣ

Θόρυβο λέμε τον ανεπιθύμητο ανθρωποδημιούργητο ήχο ο οποίος είναι αποτέλεσμα της σημερινής μηχανοποιημένης κοινωνίας μας.

Πιο συγκεκριμένα μια πιο επίσημη διατύπωση εμπεριέχεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ 263.1 (Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης) της ορολογίας της ακουστικής, σύμφωνα με την οποία:

Ως θόρυβος ορίζεται:

- κάθε ακανόνιστος απεριοδικός σύνθετος ήχος του οποίου η στιγμιαία τιμή αυξομειώνεται, γενικά, με τυχαίο τρόπο
- κάθε δυσάρεστος ή ανεπιθύμητος ήχος

Θόρυβος συνήθως είναι κατά μίαν έννοια ήχος που δεν φέρει καμία πληροφορία και που η έντασή του συνήθως μεταβάλλεται τυχαία στο χρόνο. Η λέξη θόρυβος συνήθως χρησιμοποιείται με την έννοια του ήχου που είναι ανεπιθύμητος από τον ακροατή. Παρεμβάλλεται με τους επιθυμητούς ήχους και είναι πιθανόν να είναι επιβλαβής ψυχολογικά. Ο θόρυβος δεν έχει κάποιο συγκεκριμένο φυσικό χαρακτηριστικό που να του δίνει την δυνατότητα να διαχωριστεί από τον επιθυμητό ήχο. Κανένα όργανο δεν μπορεί να κάνει διαχωρισμό μεταξύ θορύβου και ήχου. Μόνο η ανθρώπινη αντίδραση.

Εδώ θα πρέπει να διαχωρισθεί σαφώς η έννοια του ακουστικού θορύβου, όπως ορίστηκε παραπάνω από τον ηλεκτρικό θόρυβο, όπως λέγεται και κάθε ανεπιθύμητη ηλεκτρική διαταραχή μέσα σε μια γραμμή μετάδοσης ή σε μια ηλεκτρική διάταξη.

Ο θόρυβος ταξινομείται γενικά σε τρεις κατηγορίες:

- στο θόρυβο περιβάλλοντος (ambient noise), δηλαδή αυτόν που προέρχεται από το φυσικό ή το ανθρωπογενές περιβάλλον από διάφορες πηγές κοντά ή σε απόσταση από τον δέκτη,
- στο θόρυβο φόντου (background noise), δηλαδή το θόρυβο από πολλές πηγές διαφορετικές από την πηγή ενδιαφέροντος του δέκτη και
- στον τυχαίο (random noise), δηλαδή το θόρυβο που δεν μπορεί να προβλεφθεί χρονικά.

Κάποιοι κοινοί τύποι περιβαλλοντικού θορύβου είναι οι εξής:

Ανθρωπογενείς:

- Από μεταφορές: π.χ.: αεροσκάφη, τρένα, οχήματα
- Από βιομηχανικά κτίρια: π.χ.: εργοστάσια, μηχανήματα
- Από εμπορικά κτίρια: π.χ.: κτίρια γραφείων, συστήματα κλιματισμού, εστιατόρια, μπαράκια
- Από εργοτάξια: π.χ.: διανοίξεις οδών, εκσκαφές, κατεδαφίσεις, ανακαινίσεις
- Από κατοικίες: π.χ.: μουσικά όργανα, τηλεόραση, κατοικίδια
- Από δημόσιους χώρους: π.χ.: λαϊκές αγορές, παιδικές χαρές, δρόμοι
- Από προϊόντα: π.χ.: συναγερμοί κτηρίων και αυτοκινήτων, κόρνες

Φυσικοί θόρυβοι:

- Από τη φύση: π.χ.: βροντές, εκρήξεις ηφαιστειών, τυφώνες

Πιο συγκεκριμένα οι *ηχητικές πηγές* που προκαλούν τον θόρυβο μπορούν γενικά να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες:

Εκτονώσεις αερίων

Κρουστικά φαινόμενα

Μεταβατικά φαινόμενα μηχανικής ή ηλεκτρικής φύσεως (π.χ. κεραυνός)

Στερεά που δονούνται

Στήλες αέρα που δονούνται (π.χ. ηχητικοί σωλήνες)

Αντικείμενα που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες σε ρευστά (π.χ. έλικα αεροπλάνου)

2.3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

Ο ακουστικός θόρυβος διαχωρίζεται κατ' αρχήν σε δύο κατηγορίες:

- στο **θόρυβο περιβάλλοντος** (ambient noise), ο οποίος ορίζεται ως ο θόρυβος που εκπέμπεται από συγκεκριμένες

πηγές που δεν ενδιαφέρουν κατά τη στιγμή της μέτρησης ή της παρατήρησης, όπως για παράδειγμα ο θόρυβος ενός κλιματιστικού σε μια αίθουσα διδασκαλίας κατά τη διάρκεια του μαθήματος και

- στο **θόρυβο βάθους** (background noise), ο οποίος ορίζεται ως ο θόρυβος που εκπέμπεται από όλες τις πηγές που βρίσκονται στο περιβάλλον και δεν έχουν ενδιαφέρον.

Επίσης ο θόρυβος κατηγοριοποιείται και ανάλογα με τον τρόπο που μεταβάλλεται, δηλαδή με βάση την κυματομορφή του. Έτσι έχουμε:

- τον **σταθερό θόρυβο** ο οποίος παρουσιάζει αμελητέες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της μέτρησης ή της παρατήρησης και
- το **μεταβλητό θόρυβο** ο οποίος δεν είναι σταθερός, αλλά δεν μεταβάλλεται ραγδαία και τον κυμαινόμενο θόρυβο, η στάθμη του οποίου αλλάζει συνεχώς και σε σημαντικό βαθμό κατά τη διάρκεια της μέτρησης ή της παρατήρησης. Αυτός ο θόρυβος έχει τις εξής τρεις υποκατηγορίες:
 - ο **Κυμαινόμενος θόρυβος**, που είναι ο μεταβλητός θόρυβος που η στάθμη του αλλάζει συνεχώς και σε σημαντικό βαθμό κατά τη διάρκεια της παρατήρησης
 - ο **Διακοπτόμενος θόρυβος**, που είναι ο μεταβλητός θόρυβος που παρουσιάζει απότομες πτώσεις της στάθμης, στην τιμή της στάθμης θορύβου βάθους, αρκετές φορές κατά τη διάρκεια της παρατήρησης. Ο χρόνος στον οποίο η στάθμη παραμένει σε μια σταθερή τιμή διαφορετική από την τιμή της στάθμης θορύβου περιβάλλοντος είναι της τάξεως του 1 sec ή περισσότερο
 - ο **Παλμικός θόρυβος**, που είναι ο μεταβλητός θόρυβος που αποτελείται από μια ή περισσότερες εξάρσεις ηχητικής ενέργειας (ηχητικοί παλμοί) με διάρκεια μικρότερη από 1 sec η καθεμιά.

Κατά μία άλλη έννοια κατηγοριοποιείται ο θόρυβος με κριτήριο το μέσο διάδοσης ως εξής:

Αερόφερτος θόρυβος, που είναι ο θόρυβος για τον οποίο η πηγή, η διάδοση και η λήψη είναι μέσα στον αέρα.

Στερεόφερτος θόρυβος, που είναι ο θόρυβος για τον οποίο η πηγή, η διάδοση και η λήψη είναι μέσα στο στερεό μέσο.

Με βάση την φασματική του σύνθεση, ακριβέστερα με βάση το φάσμα ηχητικής ισχύος ο θόρυβος ταξινομείται ως εξής:

Απλός θόρυβος, που είναι ο θόρυβος του οποίου το γραμμικό φάσμα αποτελείται από μια φασματική γραμμή. Ουσιαστικά αποτελείται από μία συχνότητα.

Σύνθετος θόρυβος, που πρόκειται για επαλληλία γραμμικού και συνεχούς φάσματος, ο οποίος διακρίνεται σε περιοδικό σύνθετο θόρυβο και σε μη περιοδικό σύνθετο θόρυβο, όπου ο **περιοδικός σύνθετος θόρυβος** έχει γραμμικό φάσμα με πολλές φασματικές γραμμές που εμφανίζονται με περιοδικό τρόπο, ενώ ο **μη περιοδικός σύνθετος θόρυβος** έχει συνεχές φάσμα μη υποκείμενο σε οποιαδήποτε μορφή περιοδικότητας. Διακρίνεται σε ροζ και λευκό θόρυβο. Ο **λευκός θόρυβος** παρουσιάζει φάσμα με σταθερή L_{pV} ενώ ο **ροζ θόρυβος** παρουσιάζει φάσμα L_{pV} που ελαττώνεται με τη συχνότητα κατά 3dB/οκτάβα. Όπου L_{pV} συμβολίζει τη φασματική στάθμη ηχητικής ισχύος.

2.3.2 ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗ

Ο θόρυβος οδηγεί δυστυχώς συχνά σε ηχορρύπανση, στις επιπτώσεις της οποίας όλοι είμαστε εκτεθειμένοι.

Οι παρακάτω κύριες πηγές ηχορρύπανσης είναι ουσιαστικά υποκατηγορία των πηγών θορύβου:

- Η κυκλοφορία κάθε είδους μέσων μεταφοράς
- Οι βιομηχανικές και βιοτεχνικές εγκαταστάσεις
- Οι εγκαταστάσεις αναψυχής και διασκέδασης
- Η χρήση οικιακών συσκευών

Έτσι ενώ η ηχορρύπανση σχετίζεται με τον θόρυβο, ορίζεται ακριβέστερα σαν εισβολή ανεπιθύμητων, ανεξέλεγκτων και απρόβλεπτων ήχων, όχι απαραίτητα δυνατών, στις ζωές των ανθρώπων, με φυσιολογικές ευαισθησίες, οι οποίες εμποδίζουν τις καθημερινές δραστηριότητες, όπως εργασία, ομιλία και ανάπαυση, αλλά και ελαττώνουν την ακουστική ικανότητα προκαλώντας επιτάχυνση ή και όξυνση ψυχικών διαταραχών.

Εκτός από τις παραπάνω διαταραχές, η ηχορύπανση επηρεάζει αρνητικά την εργατική απόδοση του ατόμου, αλλά και τις κοινωνικές του συναναστροφές, με γενικότερες συνέπειες τόσο στη εθνική οικονομία, όσο και στη ποιότητα των κοινωνικών δομών. Σύμφωνα με στοιχεία της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας, σε κοινοτικό επίπεδο, η ηχορύπανση μειώνει την παραγωγικότητα και τις δυνατότητες εκμάθησης, αυξάνει τις ημέρες απουσίας από την εργασία και συμβάλλει στην αύξηση της χρήσης ηρεμιστικών ουσιών εφ' όσων προκαλεί άγχος (stress) και επηρεάζει δυσμενώς τη ψυχική και σωματική μας ευεξία, η οποία θεωρείται στοιχείο Υγείας από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ. - W.H.O.).

Στη χώρα μας το πρόβλημα της ηχορύπανσης είναι έντονο για πολλούς λόγους, οι κυριότεροι των οποίων είναι η έλλειψη χωροταξικού σχεδιασμού, η έλλειψη καθορισμού χρήσεων γης και ενδεχομένως η μη πιστή εφαρμογή της υπάρχουσας νομοθεσίας προστασίας περιβάλλοντος και εργαζομένων από τον θόρυβο.

Ο θόρυβος, εκτός από τις αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, έχει συντελέσει και στην περιβαλλοντική παρακμή των αστικών κέντρων και την οικονομική υποβάθμιση πολλών περιοχών. Σε αντίθεση με τα περισσότερα αστικά κέντρα ανεπτυγμένων κρατών, όπου οι αξίες ακινήτων στα κέντρα είναι πολύ μεγαλύτερες από τις αξίες ακινήτων στα προάστια. Έτσι στην Αθήνα παρατηρείται το παράδοξο φαινόμενο να έχουμε αξίες ακινήτων στο κέντρο πολύ χαμηλότερες από τις αξίες ακινήτων στα προάστια. Εξήγηση του φαινομένου αυτού αποτελεί η έλλειψη περιβαλλοντικής προστασίας των ελληνικών αστικών κέντρων, η οποία δεν αφήνει στους ανθρώπους άλλη επιλογή από τη φυγή προς τα προάστια. Το οικονομικό κόστος της υποβάθμισης των αστικών κέντρων στους ιδιοκτήτες ακινήτων αλλά και στο ίδιο το κράτος είναι ανυπολόγιστο και αναμφισβήτητο. Εάν επιπλέον εξεταστεί το κόστος και οι επιπτώσεις της περιβαλλοντικής υποβάθμισης στον τουρισμό, τη δυσμενή επίδραση σε αρχαιολογικούς χώρους και μνημεία, την ανθρώπινη υγεία και ποιότητα ζωής, συμπεραίνουμε πως είναι αδύνατο να αγνοηθεί το πρόβλημα.

Οι εργοδότες είναι αναγκασμένοι να αποζημιώνουν τους εργαζομένους που έχουν υποστεί ακουστικές ή ψυχολογικές βλάβες εξ αιτίας του επαγγέλματος τους και για να αποφύγουν αυτές τις

δαπάνες φροντίζουν να λύσουν το πρόβλημα του θορύβου στον εργασιακό χώρο.

Όλα τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι πρέπει να ληφθούν μέτρα σε όλα τα επίπεδα για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

2.3.4 ΟΡΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΤΟ ΘΟΡΥΒΟ

Η νομοθεσία καθορίζει τα 50 dB(A) σαν ανώτατο όριο σε αστικές περιοχές και για εγκαταστάσεις που ευρίσκονται σε επαφή με κατοικημένα κτίσματα τα 45 dB(A), μετρούμενα εντός του κατοικημένου κτίσματος με πόρτες και παράθυρα ανοικτά.

Όσον αφορά το θόρυβο στο χώρο εργασίας, οι ειδικοί συμφωνούν στον προσδιορισμό μιας ζώνης-περιοχής ασφάλειας, για την ένταση του θορύβου, στην οποία, είναι δυνατό να εκτίθεται ο εργαζόμενος και η οποία κυμαίνεται, ανάλογα με τη φύση της εργασίας, από 60 έως 80 dB(A). Οι θόρυβοι πάνω από 60 dB (A) εμποδίζουν την ικανότητα συγκέντρωσης του εργαζόμενου και άρα, είναι ακατάλληλοι για χώρους εργασίας που απαιτείται -κύρια- πνευματική εργασία.

Το Π.Δ. 85/1991 σε συμφωνία με την Ευρωπαϊκή Οδηγία, προβλέπει κύρια τη μείωση του θορύβου στην πηγή έτσι ώστε η ημερήσια ατομική ηχοέκθεση του εργαζόμενου να μην υπερβαίνει τα 90 dB(A). Γι'αυτό όταν η ηχοέκθεση του εργαζόμενου είναι ενδεχόμενο να υπερβαίνει τα 85 dB(A) πρέπει ο εργοδότης να θέτει στη διάθεση των εργαζομένων Μέσα Ατομικής Προστασίας της Ακοής (ΜΑΠ).

2.3.5 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η αντιμετώπιση του προβλήματος είναι ο κατά το δυνατόν περιορισμός των πηγών, αλλά και της έντασης της ηχορύπανσης ώστε να μειωθούν οι επιπτώσεις δεδομένου ότι οι απαιτήσεις της σύγχρονης εποχής μας έχουν αναγκάσει να ζούμε υπό το καθεστώς της.

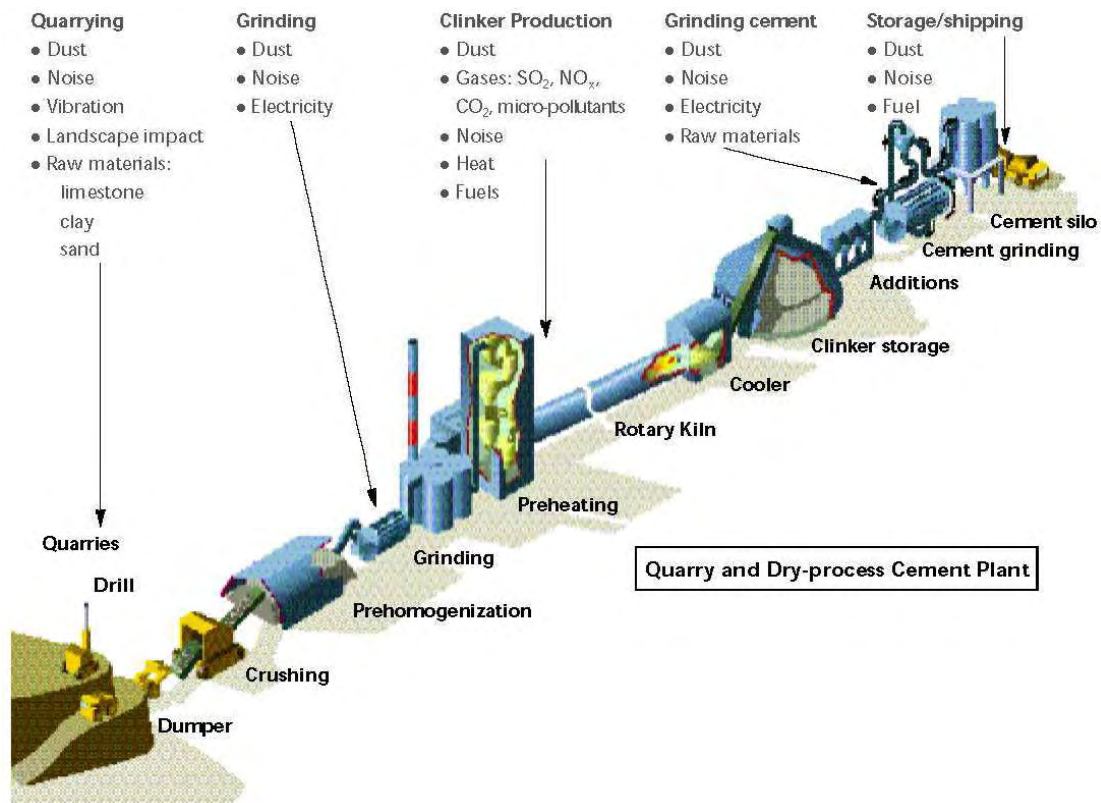
Για να είναι όμως τα μέτρα αυτά αποτελεσματικά θα πρέπει να είναι γνωστές τόσο οι πηγές ηχορύπανσης όσο και οι επιπτώσεις των, πράγμα που προϋποθέτει ακριβείς μελέτες χαρτογράφησης θορύβου, από την οποία μπορούν να προκύψουν και τα απαραίτητα τεχνικά μέτρα.

3. ΤΟ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΑΓΕΤ- LAFARGE ΣΤΟ ΒΟΛΟ ΣΑΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ

3.1 ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Τσιμέντο

Το τσιμέντο ως κύριο συστατικό του σκυροδέματος, παίζει ουσιαστικό ρόλο στην οικιστική ανάπτυξη και την καθημερινή ζωή, καθώς χρησιμοποιείται για να κατασκευαστούν όλα τα κτήρια, τα λιμάνια, οι δρόμοι κλπ. Αποτελεί το απαραίτητο υλικό για ασφαλείς κατοικίες και αξιόπιστες σύγχρονες υποδομές.



Εικόνα 30: Βασική διαδικασία παραγωγής τσιμέντου

Εξόρυξη και προετοιμασία πρώτων υλών

Από τα λατομεία ασβεστολίθου και αργίλου, μετά από γεωλογικές έρευνες και χημικές αναλύσεις, εξορύσσονται οι πρώτες ύλες σεσυγκεκριμένες ποσότητες και αναλογίες. Στη συνέχεια συνθλίβονται και μεταφέρονται στο εργοστάσιο.

Άλεση πρώτων υλών και έψηση

Τα υλικά αλέθονται σε μια πολύ λεπτή πούδρα, ένα μίγμα φαρίνας όπως αποκαλείται. Το μίγμα υλικών προθερμαίνεται και στη συνέχεια οδηγείται στην κάμινο, η οποία θερμαίνεται με φλόγα που μπορεί να φθάσει τους 2.000°C. Το μίγμα ψήνεται σε θερμοκρασία 1.500°C. Σε αυτή τη θερμοκρασία και μετά από χημικές αντιδράσεις προκύπτει το κλίνκερ, η βάση για την παρασκευή κάθε είδους τσιμέντου. Στην πλειοψηφία του το τσιμέντο μεταφέρεται με πλοία.

Άλεση τσιμέντου και διανομή

Το κλίνκερ αλέθεται μαζί με γύψο και προκύπτει το τσιμέντο. Σε αυτό το στάδιο μπορούν να προστεθούν μαζί με το γύψο διάφορα άλλα υλικά, που λέγονται πρόσθετα. Χρησιμοποιώντας τα πρόσθετα σε διαφορετικές αναλογίες έχουμε συγκεκριμένους τύπους τσιμέντου. Τέλος, όλοι οι τύποι τσιμέντου αποθηκεύονται σε σιλό μέχρι να αποσταλούν χύδην ή σε σάκκους στους πελάτες.

3.2 Lafarge-ΑΓΕΤ

Η Lafarge είναι μια εταιρεία με μακρά επιχειρηματική δραστηριότητα από το 1833.

Πρωτοπόρος στον κλάδο των οικοδομικών υλικών, διαθέτει ένα παγκοσμίως γνωστό κέντρο έρευνας και ανάπτυξης δομικών υλικών.

Η ΑΓΕΤ

Η ΑΓΕΤ Ηρακλής ιδρύθηκε το 1911 και είναι μέλος του ομίλου Lafarge από το 2001.

Με ηγετική θέση στην ελληνική αγορά τσιμέντου και ενεργή παρουσία με τρία εργοστάσια και έξι κέντρα διανομής, καλύπτει εμπορικά όλη την ηπειρωτική και τη νησιωτική Ελλάδα σε χύδην και σακευμένο τσιμέντο.

ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΟ ΒΟΛΟΥ



[Εικόνα 31]

Το εργοστάσιο Βόλου [Εικόνα 31] είναι το μεγαλύτερο εργοστάσιο της εταιρείας και μία από τις πιο σημαντικές μονάδες της Lafarge, με δυναμικότητα πάνω από 4,5 εκατ. Τόνους/έτος. Με ιστορία από το 1924, το εργοστάσιο βρίσκεται 4 χλμ. από την πόλη του Βόλου.

Ημερομηνίες σταθμοί στη λειτουργία του εργοστασίου:

1924: Ιδρύεται εργοστάσιο τσιμέντου με την επωνυμία ΟΛΥΜΠΟΣ, με ετήσια παραγωγική δυνατότητα τους 15.000 τόνους.

1929: Συγχωνεύεται με την εταιρία ΑΓΕΤ Ηρακλής.

1952: Εγκαθίσταται η δεύτερη περιστροφική κάμιнос και αυξάνεται η ετήσια παραγωγική δυνατότητα του εργοστασίου.

1971: Το εργοστάσιο αποκτά νέα ολοκληρωμένη γραμμή παραγωγής και η παραγωγική του δυνατότητα ανέρχεται σε 2 εκατ. τόνους ετησίως.

1976: Το εργοστάσιο διπλασιάζει τη δυναμικότητά του, καθώς εγκαθιστά νέα γραμμή παραγωγής.

2008: Ξεκινάει η παραγωγή του Basis™, τσιμέντου υψηλής αντοχής και στη συνέχεια του Athlos™, τσιμέντου τοιχοποιίας και γενικών οικοδομικών χρήσεων.

2009: Εγκαινιάζονται τα πρώτα έργα του προγράμματος ναβάθμισης του εργοστασίου 2007 – 15, όπως η λειτουργία υβριδικού φίλτρου στη μονάδα παραγωγής K1, καθώς και η χρήση φυσικού αερίου στην προθέρμανση των μονάδων.



[Εικόνα 32]: Περιστρεφόμενος φούρνος (kiln)

Η γειτνίασή του με τον αστικό ιστό επιβάλλει στο εργοστάσιο να επιδεικνύει ιδιαίτερη ευαισθησία στην προστασία του περιβάλλοντος και σεβασμό στην τοπική κοινωνία. Οι αυτοματοποιημένες διαδικασίες, ο ποιοτικός έλεγχος και η ευελιξία της παραγωγής είναι τα μέσα που βοηθούν το εργοστάσιο να παράγει διάφορους τύπους χύδην και σακευμένου τσιμέντου, όπως είναι τα προϊόντα Basis™, τσιμέντο υψηλής αντοχής και Athlos™, τσιμέντο τοιχοποιίας και γενικών οικοδομικών χρήσεων.

Το τσιμέντο που παράγεται στο εργοστάσιο του Βόλου χρησιμοποιείται σε κατασκευές σχεδόν σε όλη την Ελλάδα. Μεταφέρεται οδικώς στην ευρύτερη περιοχή του εργοστασίου στη Μαγνησία, αλλά και στη Στερεά και Κεντρική Ελλάδα. Με πλοία, το εργοστάσιο τροφοδοτεί απευθείας τα νησιά και προμηθεύει το κέντρο διανομής στη Θεσσαλονίκη για όλη τη Βόρειο Ελλάδα, καθώς και άλλα κέντρα διανομής της εταιρείας όπως Ηγουμενίτσας ή Ηρακλείου.

4. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ

Όπως αναφέρθηκε και στον εισαγωγικό Κεφάλαιο 1, όπου περιγράφεται περιληπτικά η παρούσα εργασία, το αντικείμενο της είναι η χαρτογράφηση του θορύβου του ανωτέρω εργοστασίου.

Ως «χαρτογράφηση θορύβου» ορίζεται η παρουσίαση δεδομένων σχετικά με την ηχητική κατάσταση μιας περιοχής βάσει συγκεκριμένων δεικτών θορύβου κυρίως σε μορφή χάρτη όπου εμφανίζονται οι στάθμες θορύβου σε κάθε σημείο της εξεταζόμενης περιοχής.

4.1 ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ

4.1.1 ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΤΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ

Τα βασικά θορυβογόνα μηχανήματα ενός τέτοιου είναι:

- Κλίβανος – περιστρεφόμενος φούρνος
- Σπαστήρες
- Ομογενοποιητές
- Μύλοι άλεσης
- Προθερμαντήρες
- Ψύκτης κλίνκερ
- Τμήμα συμπιεστών
- Ταινιόδρομοι
- Μεταφορικά μέσα (ιδίως αυτά που έχουν σχέση με τα λατομικά προϊόντα)

4.1.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΘΟΡΥΒΟΥ ΤΗΣ ΑΓΕΤ

Ο πλήρης καθορισμός των πηγών θορύβου περιλαμβάνει:

- τον αριθμό τους
- την ακριβή τρισδιάστατη θέση τους
- το είδος τους (γραμμικές, σημειακές, επιφανειακές)
- την ένταση τους.

Όπως ήδη αναφέρθηκε στην εισαγωγή δεν υπήρξε δυνατότητα πρόσβασης σε αυτά τα μηχανήματα εντός του εργοστασίου.

Ακόμα όμως κι αν υπήρχε πρόσβαση αυτή καθ' εαυτή η ένταση κάθε πηγής θα ήταν πρακτικά αδύνατο να απομονωθεί.

Έπρεπε λοιπόν να αναζητηθεί εναλλακτική λύση.

Δεδομένα για τις πηγές θα μπορούσαν θεωρητικά να αντληθούν από τις προδιαγραφές των μηχανημάτων του εργοστασίου. Προφανώς τέτοια στοιχεία δεν ήταν δυνατό να ζητηθούν από την ΑΓΕΤ. Ούτε κατέστη δυνατό να βρεθούν σε σχετική αναζήτηση στο διαδίκτυο πιστοποιημένα στοιχεία θορύβου μηχανημάτων τσιμεντοβιομηχανίας. Αλλά και αν ακόμα υπήρχαν ακριβή στοιχεία για συγκεκριμένα μηχανήματα παραγωγής τσιμέντου, δεν είναι δυνατόν χωρίς τη συνεργασία της ΑΓΕΤ ούτε να ορισθεί ο τύπος, το πλήθος και η θέση αυτών, πολύ περισσότερο δε το εάν έχουν ήδη ληφθεί κάποια μέτρα ηχοπροστασίας γύρω από τα μηχανήματα, όπως π.χ ηχομονωτικά περιβλήματα, αναχώματα, πετάσματα ή άλλα μέτρα που μειώνουν τα επίπεδα του περιβαλλοντικού θορύβου, πράγμα που συνηθίζεται.

Αυτό το οποίο προέκυψε από μια αναζήτηση στο διαδίκτυο για υπάρχουσες σχετικές πληροφορίες ήταν το εξής:

Βρέθηκαν οι εξής τρεις υπάρχουσες μελέτες θορύβου εργοστασίου τσιμέντου που δίδουν αποτελέσματα μέτρησης θορύβου συγκεκριμένων μηχανημάτων:

A) ENVIRONMENTAL AND SOCIAL IMPACT ASSESSMENT PROJECT ON "GIZILDASH –CEMENT" FACTORY (Aserbaidshjan)

http://www.agaportal.de/pdf/nachhaltigkeit/eia/eia_aserbaidshjan_zement.pdf

B) *Assessment of Work Zone Noise Levels at a Cement Factory in Tanga, Tanzania*

<http://www.ajol.info/index.php/ejesm/article/view/77954>

Γ) Acoustic impact evaluation and mitigation of cement production plants (Ιταλία)

<http://www.ciriac.it/ft/File/Pubblicazioni/pdf/1137.pdf>

Στις μελέτες αυτές μετριοούνται τα επίπεδα θορύβου των μηχανημάτων τριών διαφορετικών εργοστασίων τσιμέντου χωρίς να χρησιμοποιείται λογισμικό πρόβλεψης θορύβου και χαρτογράφηση, αλλά με απλές κοντινές μετρήσεις. Ας σημειωθεί ότι καμία από τις παραπάνω μελέτες δεν «πείθει» για την πραγματική απομόνωση των πηγών ούτε σαν διαδικασία, ούτε σαν αποτέλεσμα αφού π.χ.

Ο φούρνος (kiln) έχει τιμές:

- 115dB (στην μελέτη A)
- 85.18dB (στη μελέτη B)
- 97 (στη μελέτη Γ)

Ο μύλος των πρώτων υλών έχει τιμές:

- 110dB (στην μελέτη A)
- 93,92 (στη μελέτη B).
- 81,9 (στη μελέτη Γ)

Ο μύλος άλεσης του τσιμέντου (powder) έχει τιμές:

- 110dB (στην μελέτη A)
- 95.63dB (στη μελέτη B).
- 107,83dB (στη μελέτη Γ)

Είναι προφανές ότι δεν μπορούν να ληφθούν ασφαλείς τιμές για κανένα μηχάνημα.

Μοιάζει δε το εργοστάσιο στο Αζερμπαϊτζαν ή να έχει παλιά θορυβώδη η/και φθαρμένα μηχανήματα η/και να μην έχει καμία μόνωση. Στο ιταλικό εργοστάσιο (Γ) ο μύλος πρώτων υλών έχει πολύ χαμηλή τιμή (81,9 dB), αλλά ο μύλος άλεσης του τσιμέντου (powder) έχει πολύ υψηλή 107,83 dB.

Βρέθηκαν ακόμα οι εξής δύο υπάρχουσες μελέτες θορύβου εργοστασίου τσιμεντου με χρήση λογισμικό πρόβλεψης θορύβου και χαρτογράφηση που δεν δίδουν αποτελέσματα μέτρησης θορύβου συγκεκριμένων μηχανημάτων:

Δ) THE APPLICATION OF THE NOISE MAPPING TECHNIQUE IN THE COMPLEX INDUSTRIAL ENVIRONMENT (Κροατία)

http://bib.irb.hr/datoteka/202620.B2_4.pdf

Ε) INDUSTRIAL NOISE MODELLING AND MAPPING - THE CASE OF A CEMENT FACTORY (Σερβία)

<http://facta.junis.ni.ac.rs/walep/walep2008/walep2008-02.pdf>

Στη μελέτη Δ οι ιδιότητες των πηγών προσεγγίζονται με βάση μετρήσεις σε 8 σημεία εντός του εργοστασίου που το καθένα αντιπροσωπεύει (κατά τον συγγραφέα...) 8 αντίστοιχες διεργασίες. Δίδονται αποτελέσματα 67-112 dB.

Στη μελέτη Ε τέλος αναφέρεται ότι:

«The technological process of cement production implies the use of a very large number of rotating equipment (pumps, motors, fans, etc.) as well as a large number of conveyor belts. Also, most of the potential sources of noise are located indoors, inside the buildings, where the dominant noise emission is on the facade elements - windows and doors. The technological process of cement production is represented by all types of noise sources:

- *point sources (pumps, motors, fans, etc),*
- *line sources (conveyor belts, etc), and*
- *area sources (windows and doors on buildings where the noise sources are located).*

*Since the Holcim cement factory (Serbia) had no data about the emissions of potential noise sources, it was up to the procedure **to define the activities of potential noise sources at exactly the defined distance from the noise source. Noise level data at these points were used in the process of further defining the emission noise sources.** The noise sources with very significant acoustic emissions were recorded in the process of measuring noise emissions. The noise levels of some of the emission quantity of noise sources (sound power level) is determined using the module of the LIMA software package that allows us to determine the level of sound power for the selected noise sources based on the noise level at the defined points in the vicinity of the potential noise sources.»*

Με βάση όλα τα παραπάνω δεδομένα και το γεγονός ότι δεν υπήρξε δυνατότητα χρήσης του λογισμικού LIMA (δες Κεφάλαιο 4.2) όπως προτείνεται στη μελέτη Ε, επελέγη η εξής παραλλαγή της μελέτης Ε:

Δηλαδή με βάση τις μετρήσεις ορισμένων κοντινών σημείων (calibrating points) έγινε μια πρώτη εκτίμηση, του πλήθους, του είδους, των θέσεων και της ηχητικής έντασης των πηγών και με δεδομένες πλέον αυτές τις πηγές, το λογισμικό υπολόγισε το θόρυβο

στην εξεταζόμενη περιοχή συμπεριλαμβανομένων και των σημείων αυτών.

Με βάση τις αποκλίσεις που προέκυψαν γι' αυτά τα σημεία ανάμεσα στα αποτελέσματα του λογισμικού και στις μετρήσεις επανεκτιμήθηκαν όλα τα χαρακτηριστικά των πηγών. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε όσες φορές χρειάστηκε (trial and error procedure) μέχρι ελαχιστοποίησης των αποκλίσεων.

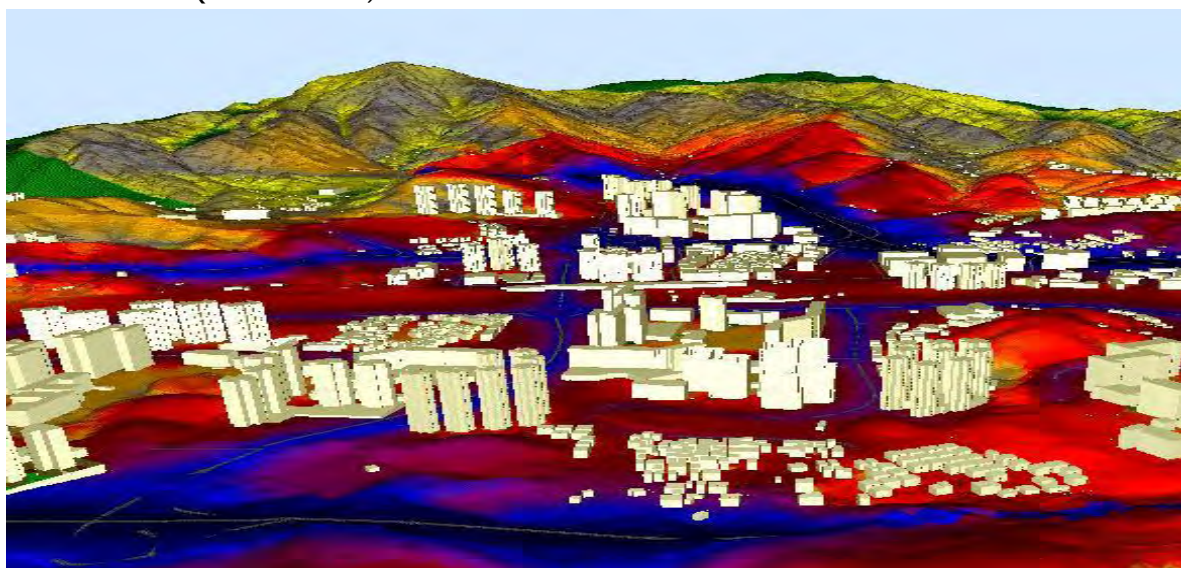
Έτσι ορίστηκαν οι πηγές κατά θέση, είδος και ένταση, όπως φαίνεται στο Κεφάλαιο 4.3.4.2.

4.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ (NOISE PREDICTION SOFTWARE)

Κυκλοφορούν αρκετά ειδικευμένα σχετικά λογισμιά, τα περισσότερα των οποίων έχουν μεγάλο κόστος κτήσης ή δανεισμού.

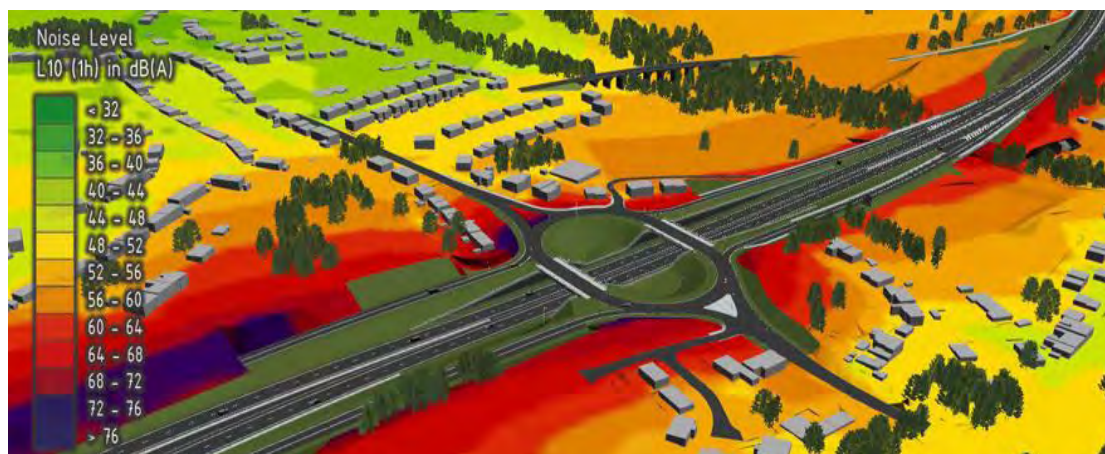
Στην αρχή έγινε προσπάθεια χρήσης του λογισμικού Custic που ήταν διαθέσιμο από τη Σχολή χωρίς κόστος, αλλά ο δυνατότητές του κριθηκαν πολύ περιορισμένες, τόσο στην εισαγωγή των πάσης φύσης δεδομένων, όσο και στον υπολογισμό και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Πολύ περισσότερο, δεν ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογή της παραπάνω έμμεσης μεθόδου προσδιορισμού των πηγών με τη διαδικασία trial and error.

Από τα πιο διαδεδομένα και αξιόλογα είναι τα γερμανικά CadnaA της DataKustik (Εικόνα 33)



Εικόνα 33

και το SoundPlan της Braunstein + Berndt GmbH (Εικόνα 34)



Εικόνα 34

Το λογισμικά αυτά είναι κατάλληλα για το σχεδιασμό χαρτών περιβαλλοντικού θορύβου με κύρια χαρακτηριστικά:

Τη λεπτομερή ανάλυση αποτελεσμάτων.

Τη δυνατότητα δημιουργίας καθε είδους αντικειμένου στο interface του λογισμικού.

Τη χρήση των τελευταίων διεθνών standards και ISO.

Τη δυνατότητα 3d απεικόνισης όλων των στοιχείων προσθέτοντας και το στοιχείο της κίνησης μέσω «virtual background” και η παρουσίαση και αποθήκευσή του σε μορφή video.

Τελικά μετά από έρευνα αγοράς έγινε δυνατό να ενοικιαστεί το SoundPlan από μελετητικό γραφείο για μικρό χρονικό διάστημα με ανεκτό κόστος.

4.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ

4.3.1 Εύρεση τοπογραφικών δεδομένων περιοχής και δημιουργία σχετικού ψηφιακού αρχείου

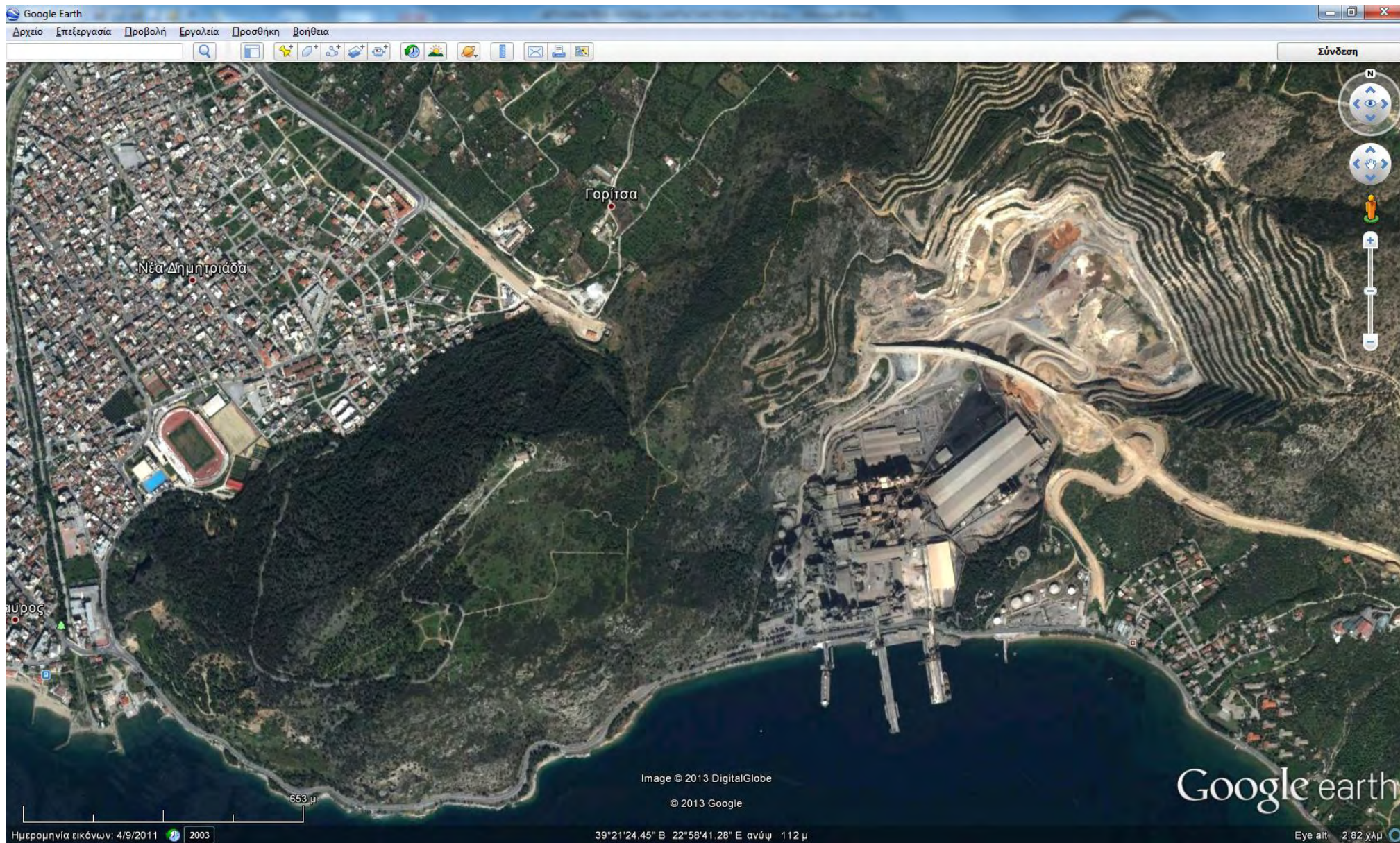
Η υπο εξέταση περιοχή εκκίνεται ανατολικά του Βόλου και η μελέτη ηχοπύπανσης απαιτεί να καλυφθεί μία έκταση διαστάσεων περίπου 3000 m στον x άξονα (Ανατολή-Δύση) και 2000 m στον y (Βορράς-Νότος), όπως φαίνεται στην εικόνα 35.

Είναι προφανές ότι ένα τέτοιο τοπογραφικό σε ψηφιακή μορφή δεν διατίθεται.

Με τη βοήθεια του υπεργολάβου που κατασκευάζει την περιφερειακή οδό Βόλου (ΔΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ) βρέθηκε ένα αξιόλογο τοπογραφικό υψηλής ποιότητας, που όμως κάλυπτε ένα μόνο τμήμα από την απαιτούμενη περιοχή, βασικά αυτό που αφορούσε τα οδικά έργα.

Εννοείται ότι αν υπήρχε πρόσβαση στο ΕΓΣΑ (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς) το πρόβλημα θα λυνόταν με τον καλύτερο τρόπο.

Έτσι αναζητήθηκε μια άλλη λύση που βρέθηκε στη χρήση του Google Earth (GE, an open source software). Εκεί υπάρχει η δυνατότητα να απομονωθεί το τμήμα που ενδιαφέρει μαζί με τα τοπογραφικά του στοιχεία, δηλαδή βασικά το τρισδιάστατο ανάγλυφο της περιοχής και η εικόνα της (DTM: digital terrain model).



Εικόνα 35: Η υπο εξέταση περιοχή

Βασική προϋπόθεση στην πρώτη φάση εκκίνησης του SoundPlan (ορισμός πηγών και δεκτών/receivers) είναι τόσο η εισαγωγή αρχείου AutoCad (.dwg ή .dxf) με όλα τα τοπογραφικά στοιχεία της υπό έλεγχο περιοχής, όσο και των στοιχείων απεικόνισης της ίδιας περιοχής σε αρχείο bitmap το οποίο θα πρέπει να «παντρευτεί» 100% με το DTM. Έτσι επιτυγχάνεται να αποτυπώνονται σωστά και «αναγνωρίσιμα» τα «ηχητικά δεδομένα», τόσο κατά τη διαδικασία εισαγωγής τους όσο και στα αποτελέσματα (να αγνωρίζεται εύκολα σε ποιες γεωγραφικές περιοχές ισχύουν ποιες στάθμες θορύβου).

Απαιτείτο λοιπόν ένα βασικό ενδιάμεσο «βήμα» ώστε από το GE να δημιουργηθεί ψηφιακό αρχείο με όλα τα στοιχεία ώστε να εισαχθεί στο AutoCad και στη συνέχεια στο SoundPlan.

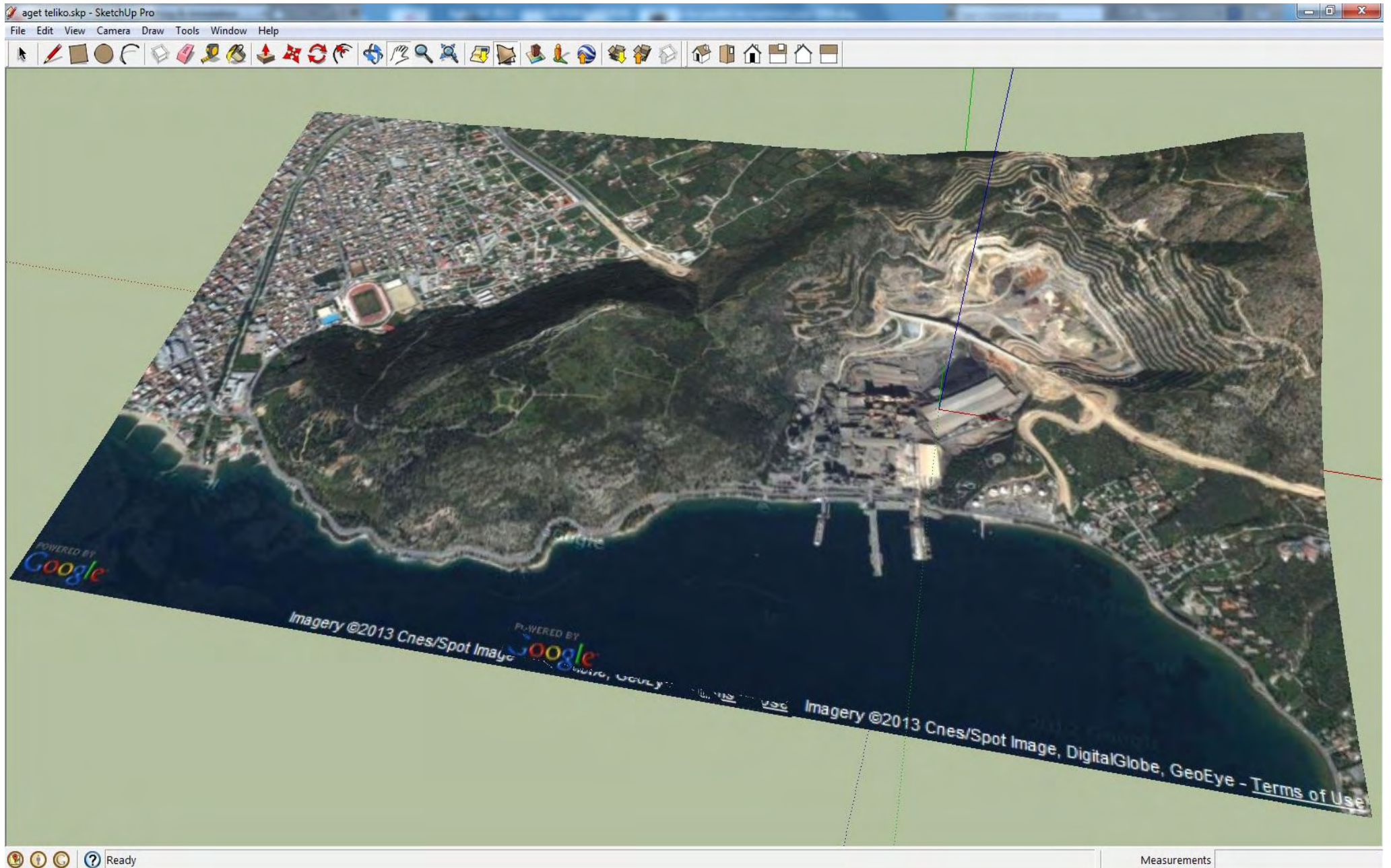
Παρά τις πολλές δοκιμές με διάφορες trial versions των λογισμικών (που προτάθηκαν από άτομα του αντίστοιχου τμήματος σχεδιασμού της Αρχιτεκτονικής Σχολής του ΕΜΠ), όπως το ZSurf των Windows που μετατρέπει εικόνες σε 3D NURBS surface (engraving images) σε IGES format ή μέσω του Autodesk 3dsMax ή το ZBrush and Autodesk Mudbox και ιδίως το Plex.Earth της Plexscape, κανένα από αυτά δεν έφερε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Τη λύση τελικά έδωσε το SketchUp Pro8 της Google (trial version).

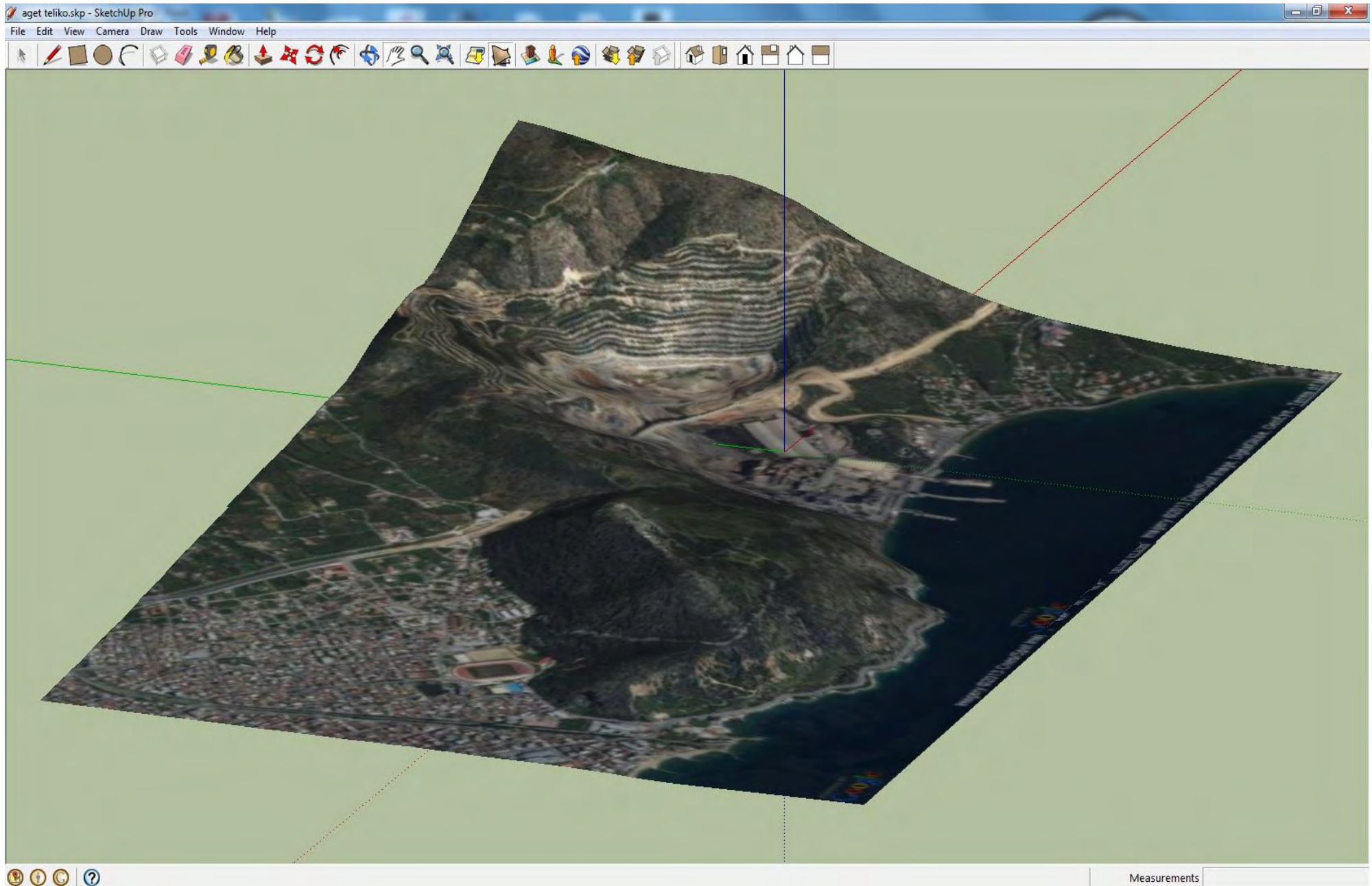
Το βασικό πλεονέκτημά του είναι ότι, προφανώς επειδή είναι της Google, παρέχει τη δυνατότητα σε συνεργασία με το GE να δημιουργηθεί μέσω ειδικής επεξεργασίας, δηλαδή με «τομές» δέσμης ιδεατών επιπέδων, να παραχθεί ο συνδυασμός του ανάγλυφου από το GE με ισοϋψείς καμπύλες. Αυτό επετεύχθη με την εντολή *intersect faces* και με δημιουργία δέσμης επιπέδων ανά 3 m υψομέτρου, που αντιστοιχούν στις ισοϋψείς των επομένων σχεδίων (Δείγμα ενδιάμεσης εργασίας με τομή με 2 επίπεδα φαίνεται στην εικόνα 37a).

Η δυσκολία ήταν όμως ότι το SketchUp εισάγει μόνο συγκεκριμένο μέγεθος περιοχής από το GE που δεν κάλυπτε όλη την απαιτούμενη έκταση της μελέτης (2000 m X 1000 m). Εκεί χρησιμοποιήθηκε ένα επινοηθέν τέχνασμα που βοήθησε μεν να ξεπεραστεί το πρόβλημα, αλλά ήταν πολύ επίπονο, διότι ελήφθησαν δύο επί μέρους αρχεία και συνεννόησαν με πολλή δυσκολία ώστε να επιτευχθεί η σχεδόν απόλυτα σωστή ένωσή τους.

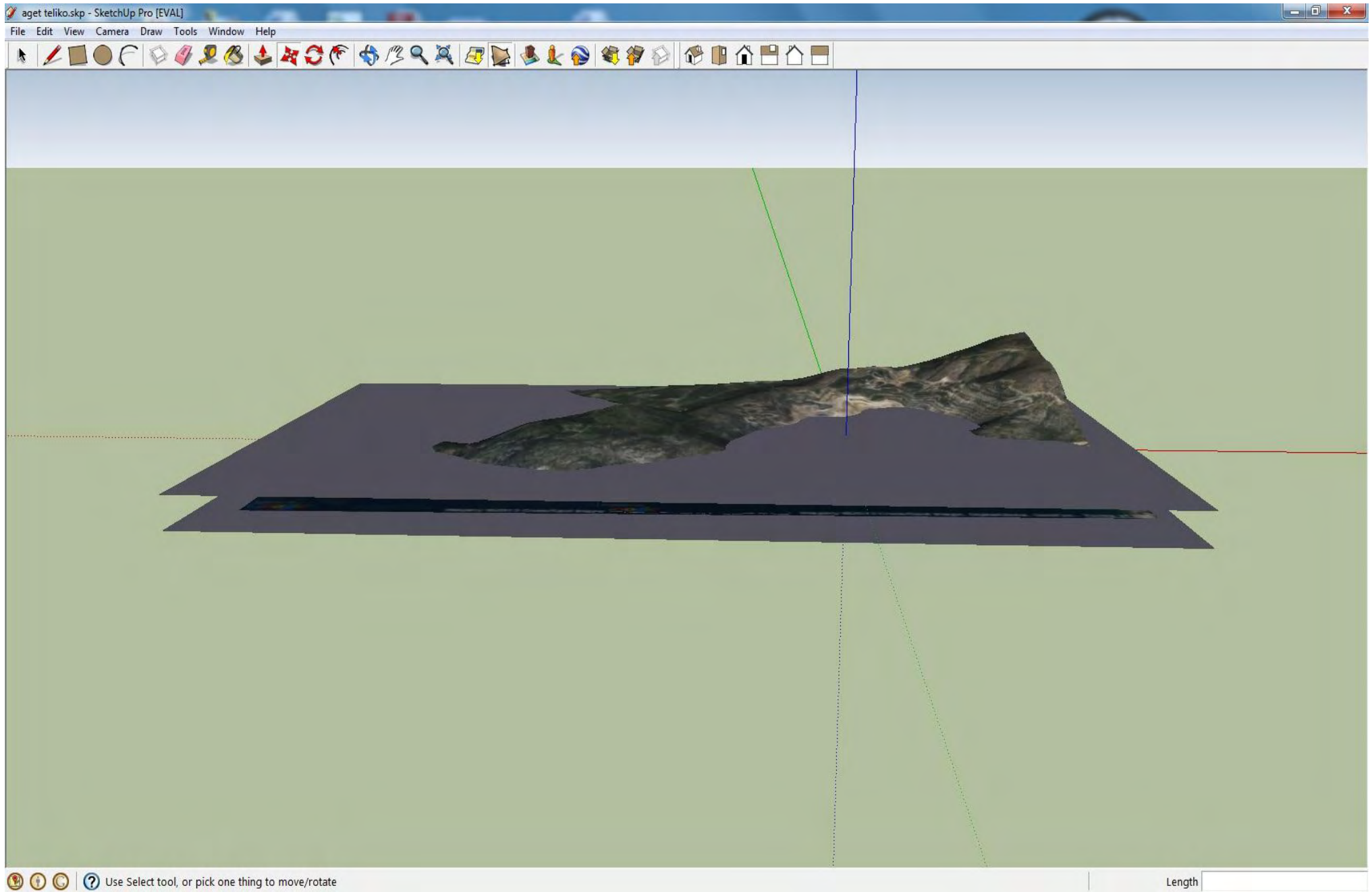
Έτσι δημιουργήθηκαν αρχεία .skp, μέρος των οποίων φαίνονται στις επόμενες εικόνες 36-39.



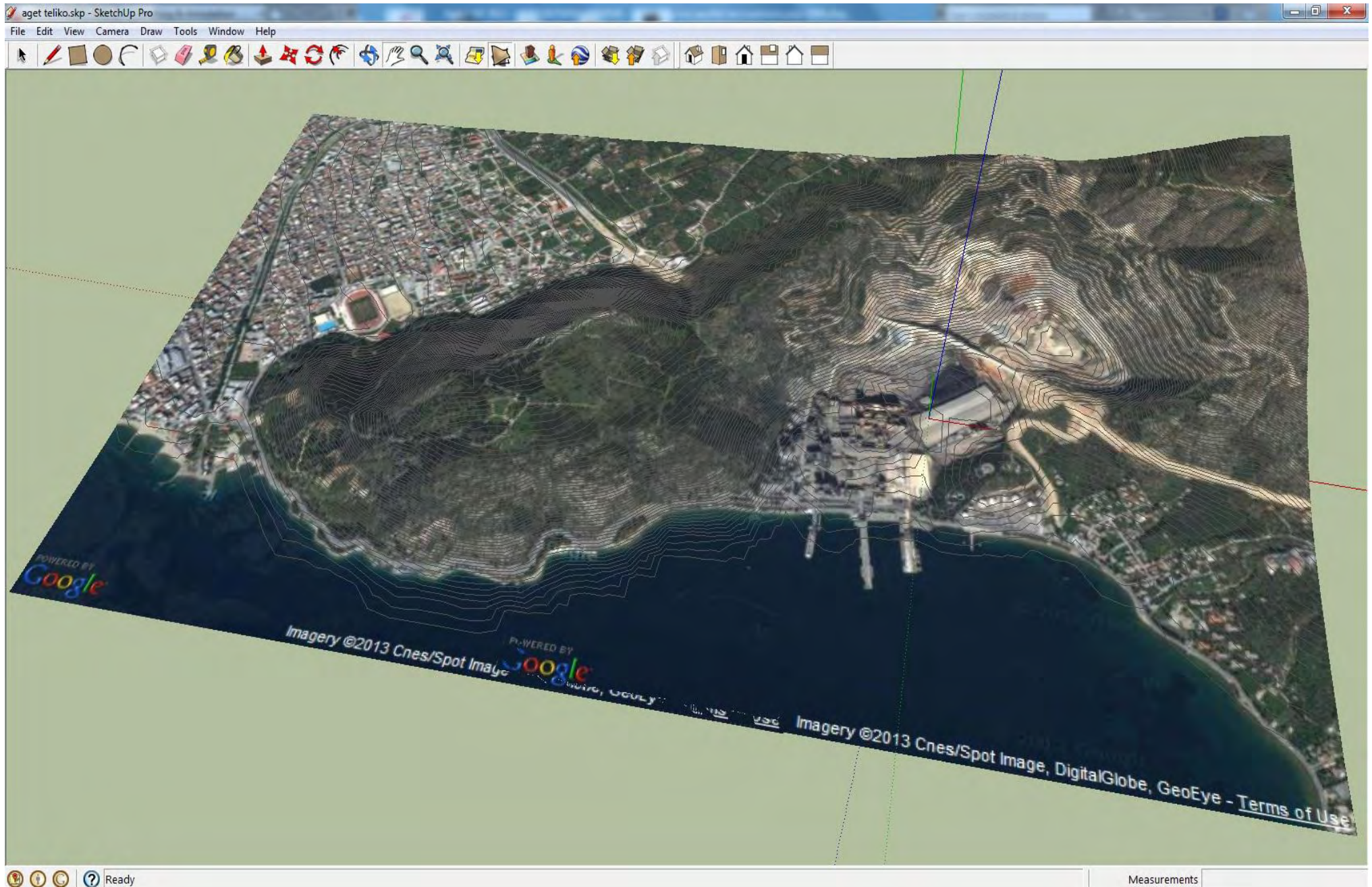
Εικόνα 36: Αρχική εισαγωγή του ψηφιακού αναγλύφου DTM από το GE στο SketchUp χωρίς ισοΰψεις



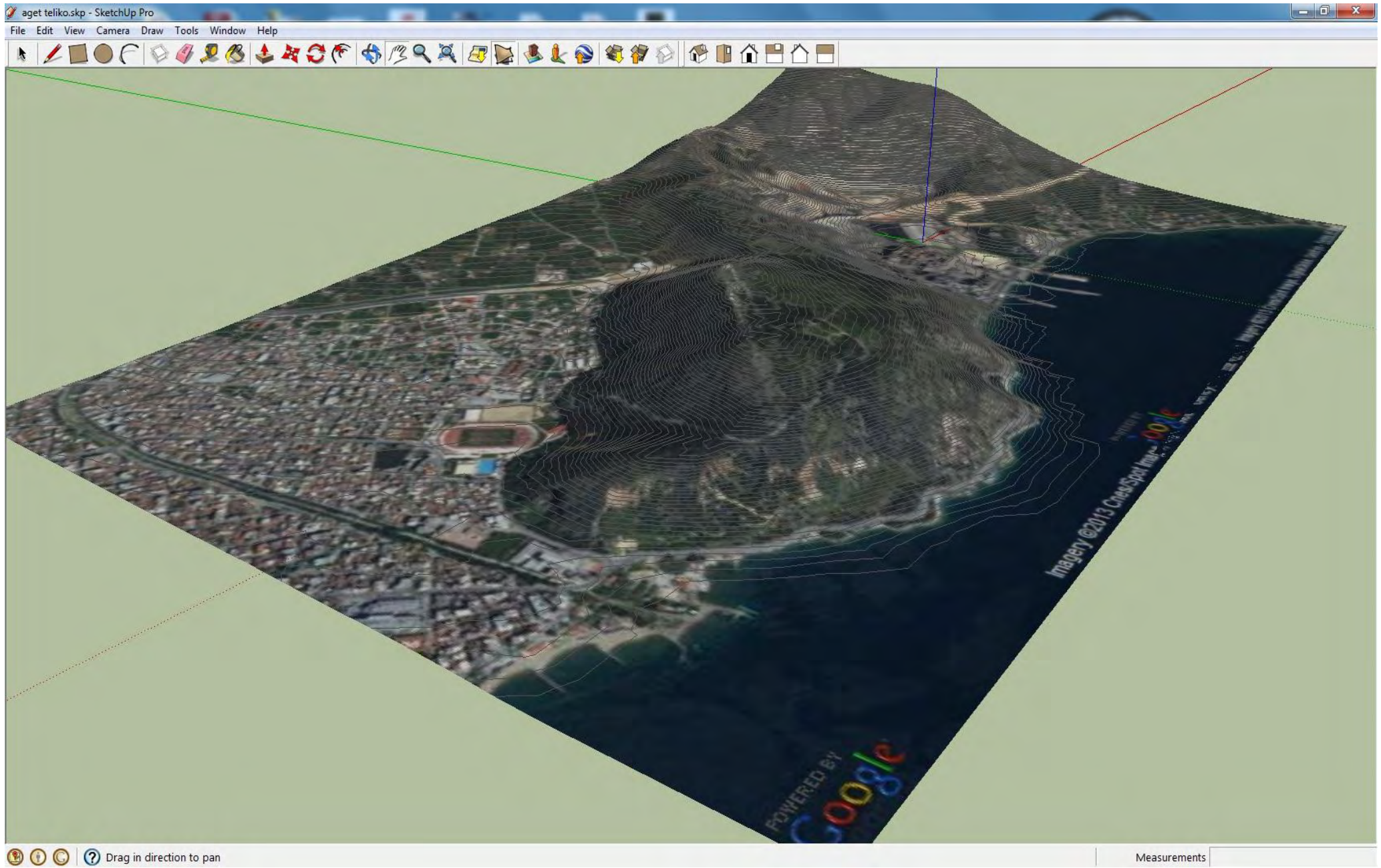
Εικόνα 37: Το ίδιο ανάγλυφο από διαφορετική οπτική γωνία (χωρίς ισοΰψεις)



Εικόνα 37α: Δείγμα ενδιάμεσης εργασίας με τομή με 2 επίπεδα



Εικόνα 38: Μετά τη δημιουργία και εισαγωγή των ισοψών



Εικόνα 39: Το ίδιο από άλλη οπτική γωνία (με ισοΰψεις)

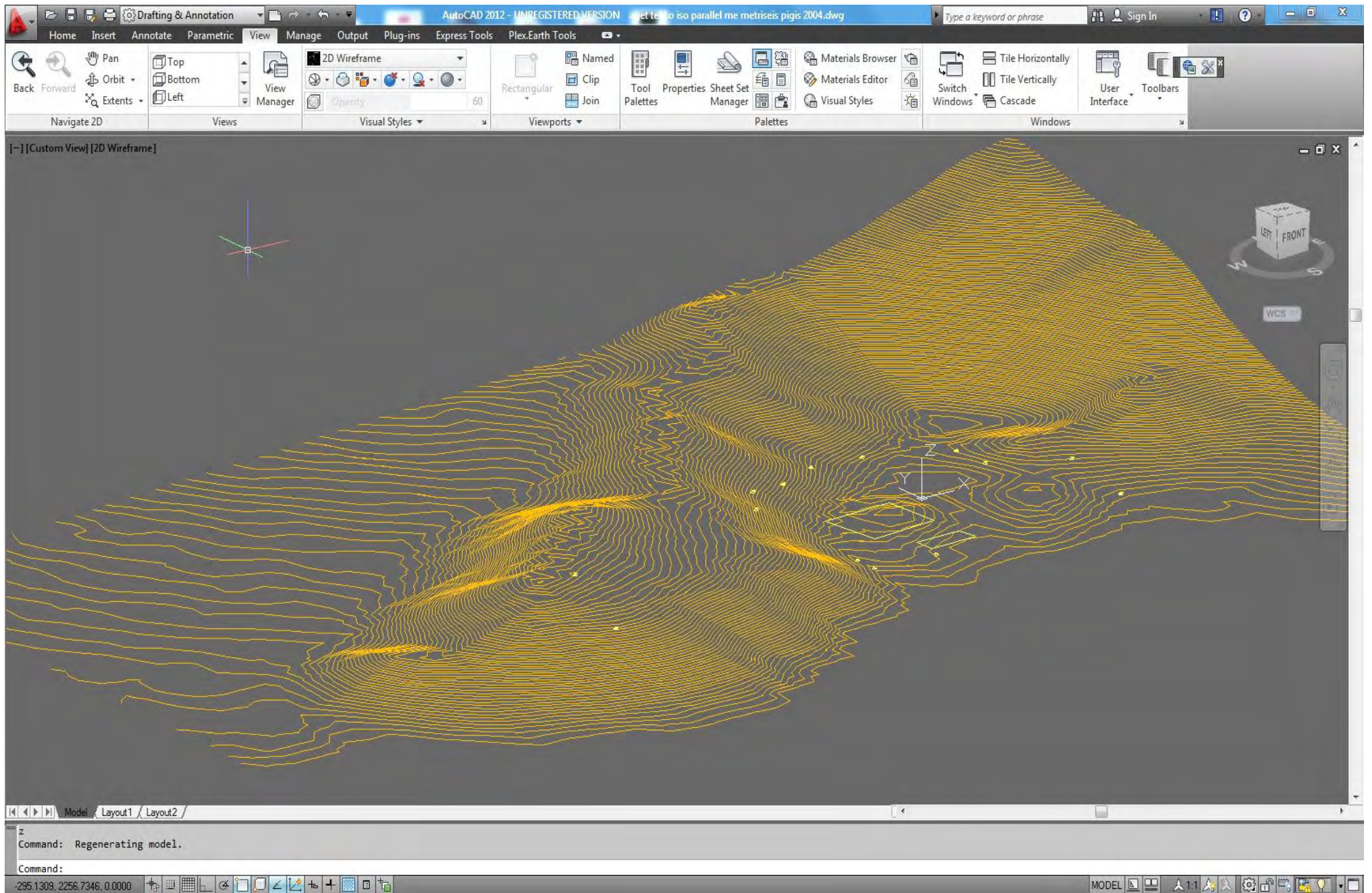
4.3.2 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ AUTOCAD ΠΡΙΝ ΤΟ SOUNDPLAN

Τα αρχεία αυτά εισήχθησαν στο AutoCad (από τη Σχολή) από τα διάφορα στάδια επεξεργασίας του οποίου προέρχονται οι παρακάτω εικόνες 40-44.

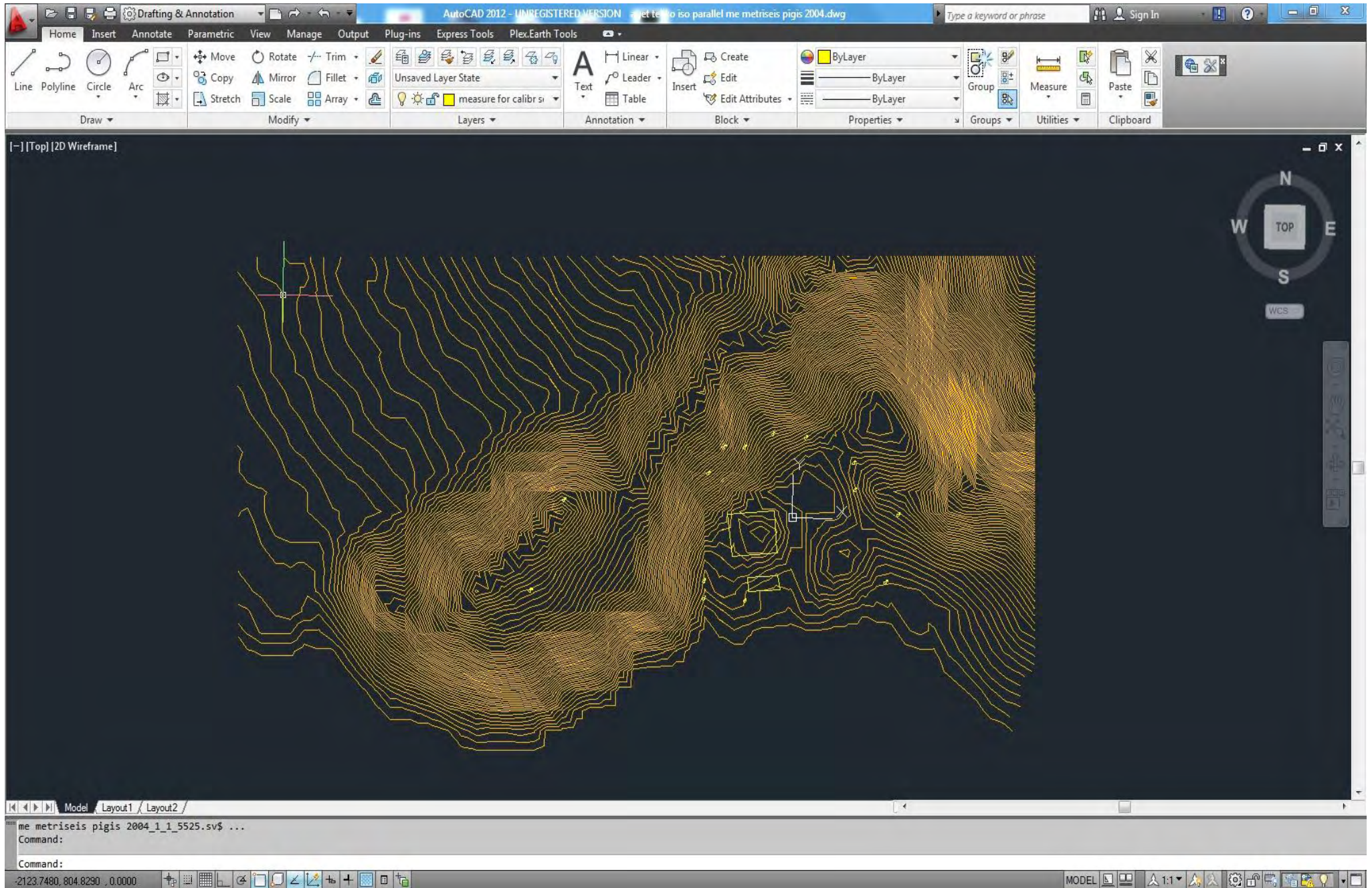
Στη φάση αυτή παρουσιάστηκε ιδιαίτερη δυσκολία διότι τα διάφορα layers του SketchUp δεν μεταφέρονται αυτόματα στο AutoCad. Για το λόγο αυτό τα δύο επί μέρους bitmap του SketchUp που συμπληρώνουν την πλήρη περιοχή αποθηκεύτηκαν σε ξεχωριστό layer και εισήχθησαν στο AutoCad με επινόηση άλλων διαδικασιών («κεντράρισμα» με βάση χαρακτηριστικές ισοϋψείς, όπως εκείνη στο εκκλησάκι στην κορυφή του λόφου Γορίτσα), δεδομένης και της προαναφερθείσης δυσκολίας σχετικά με τις δύο επί μέρους εικόνες.

Στις επόμενες σελίδες (εικόνες 40-44) εμφανίζονται 5 snapshots από τα στάδια επεξεργασίας στο AutoCad, όπου οι εικόνες 40-42 είναι πριν την εισαγωγή του bitmap, ενώ οι 43-44 μετά.

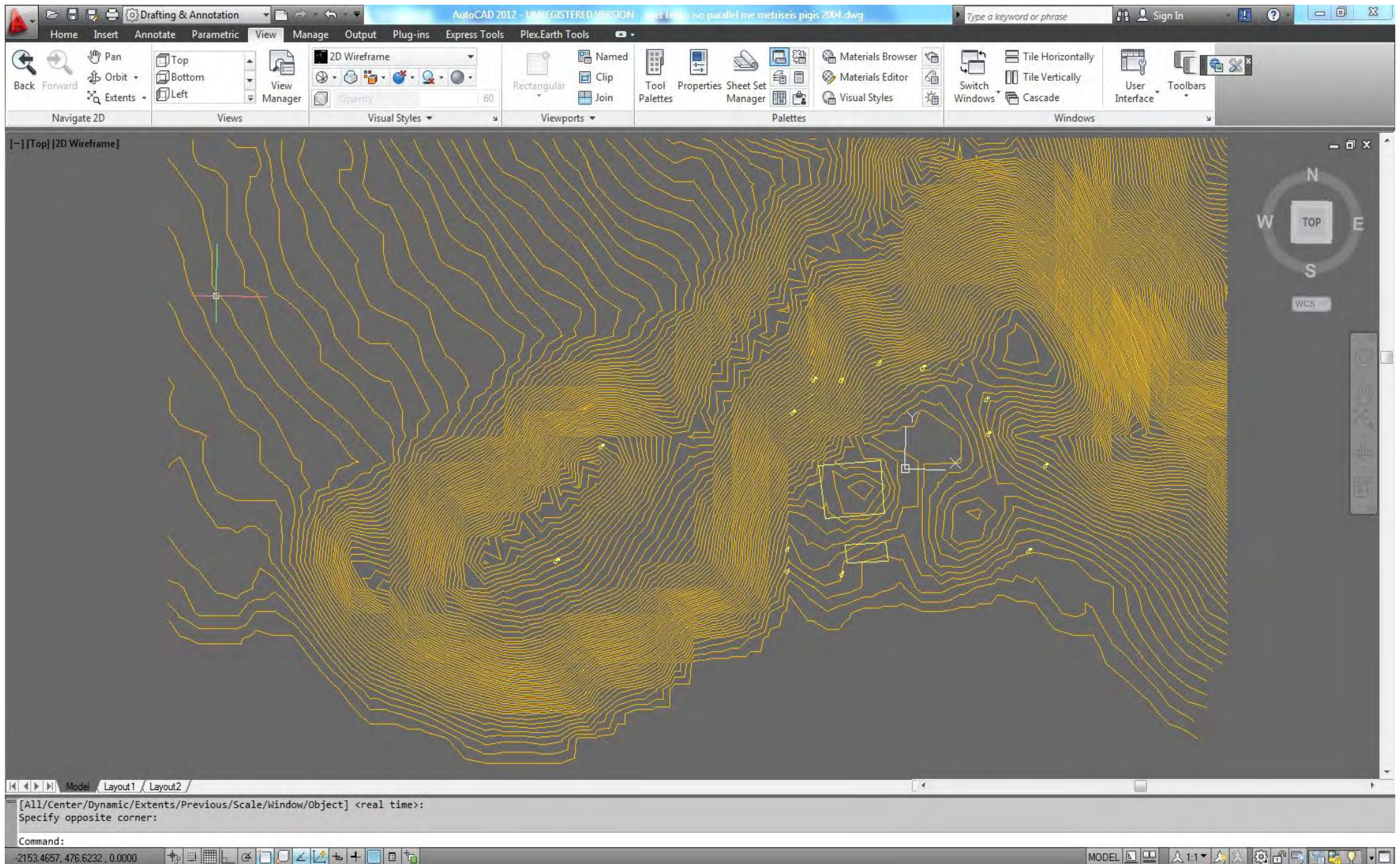
Στη συνέχεια προστέθηκαν τα σημεία όπου έγιναν οι μετρήσεις βαθμονόμησης των πηγών. Ακόμα σημειώθηκαν προσεγγιστικά οι θέσεις των μεγαλύτερων πηγών θορύβου του εργοστασίου για την αρχική εκτίμησή τους από το SoundPlan.



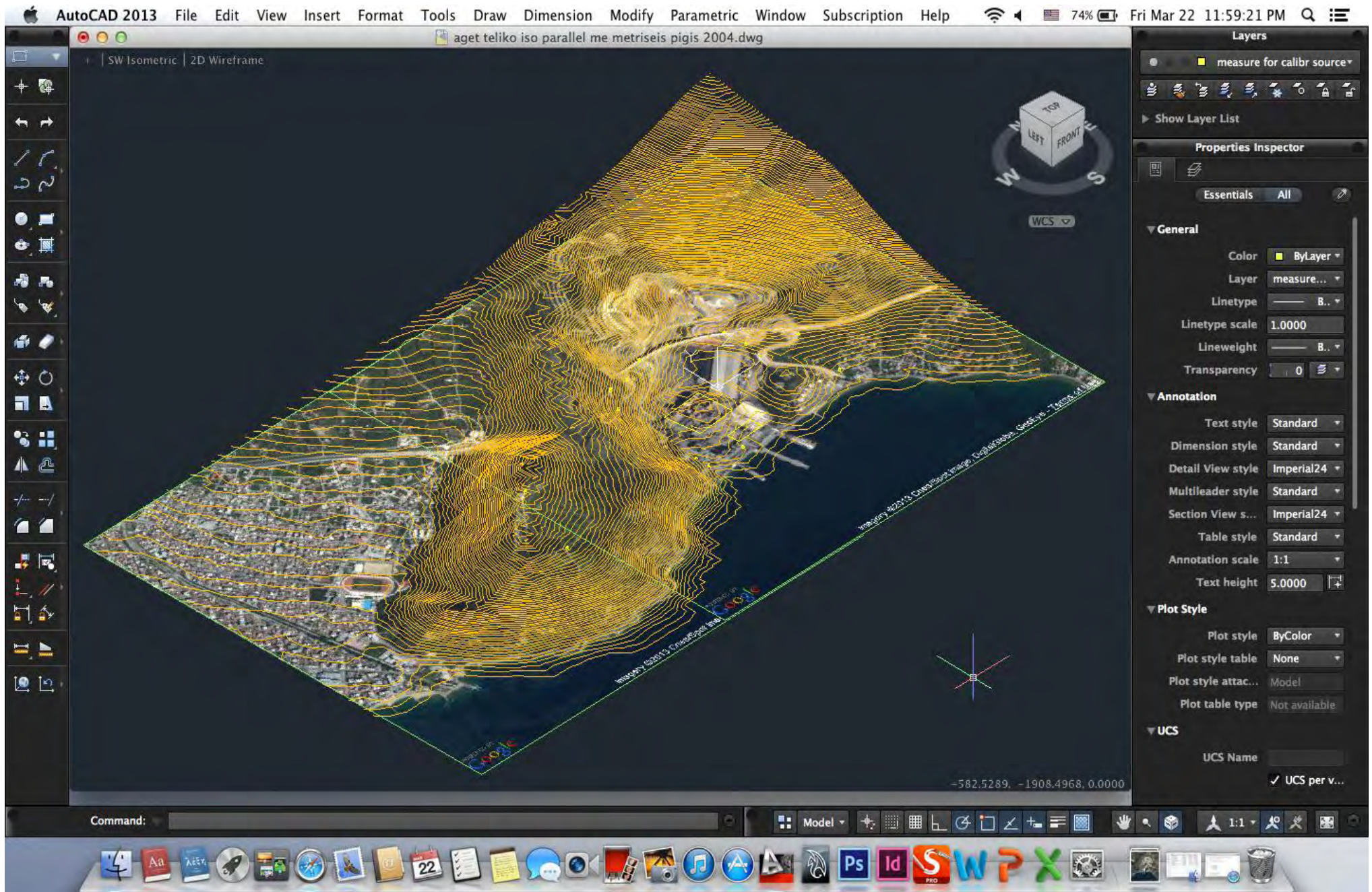
Εικόνα 40: Προοπτικό ισοϋψών χωρίς bitmap



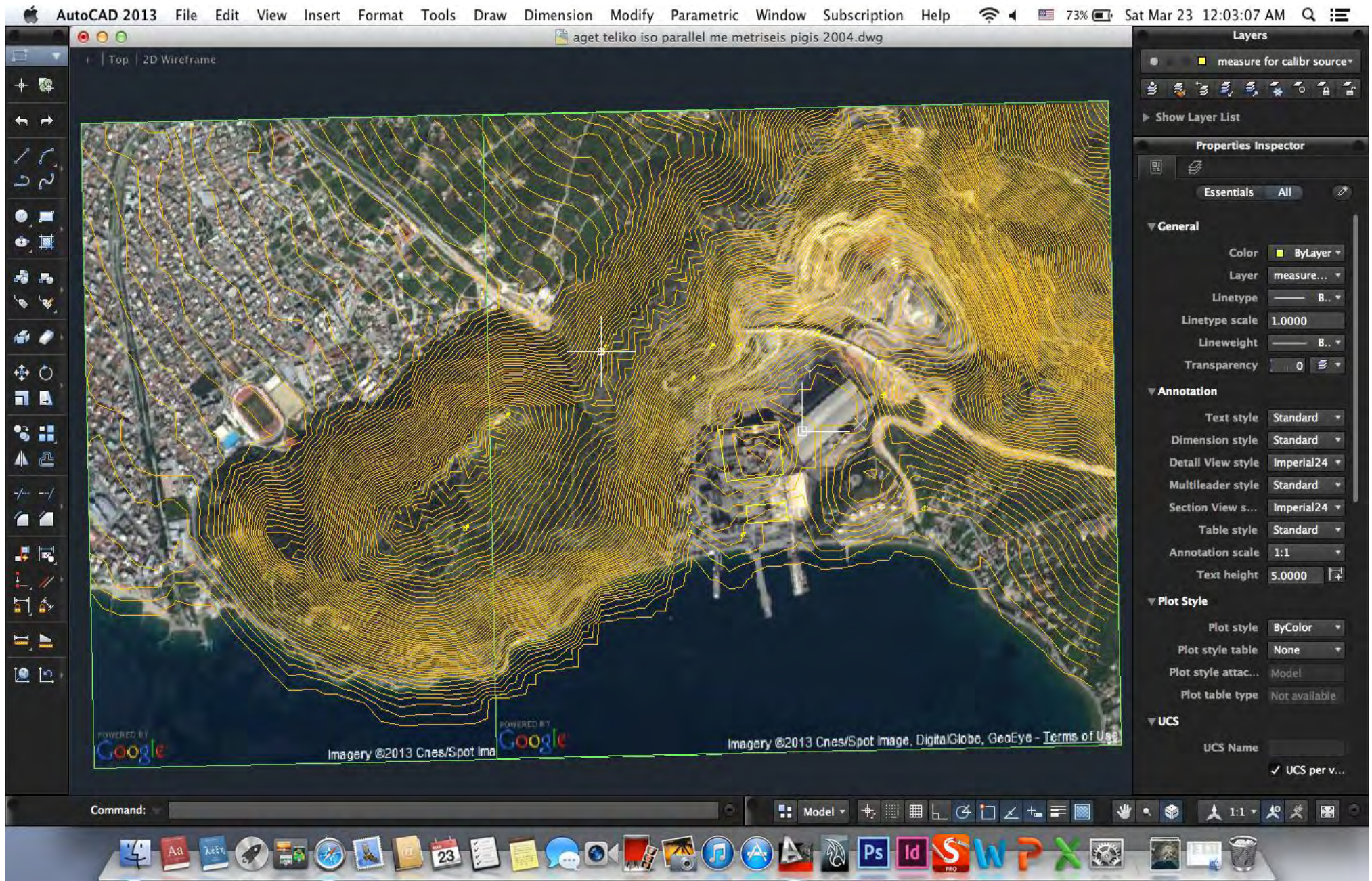
Εικόνα 41: Κάτοψη ισοϋψών χωρίς bitmap



Εικόνα 42: Κάτοψη ισοϋψών χωρίς bitmap σε μεγαλύτερη κλίμακα



Εικόνα 43: Προοπτικό με ισοϋψείς και bitmap



Εικόνα 44: Κάτοψη ισοϋψών με bitmap

4.3.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

4.3.3.1 Ηχώμετρα

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΗΧΟΜΕΤΡΩΝ

Οι μετρήσεις θορύβου πραγματοποιούνται με ένα ειδικό όργανο μέτρησης, το ηχώμετρο.

Το ηχώμετρο, που ονομάζεται και μετρητής της στάθμης του ήχου (sound level meter), είναι ένα όργανο που μετατρέπει τις εναλλαγές της πίεσεως του ηχητικού πεδίου σε μεταβολές τάσεως οι οποίες με τη βοήθεια ενός ενδεικτικού οργάνου δίδονται απευθείας σε dB.

Είναι σχεδιασμένο να ανταποκρίνεται στον ήχο κατά τον ίδιο, κατά προσέγγιση, τρόπο όπως το ανθρώπινο αυτί και να παρέχει αντικειμενικά και επαναλαμβανόμενα αποτελέσματα μετρήσεων της στάθμης ηχητικής πίεσης L_p , η οποία αποτελεί το αποτέλεσμα μέτρησης των μεταβολών της πίεσης του αέρα.

Η στιγμιαία τιμή της στάθμης ηχητικής πίεσης ορίζεται από τη σχέση του κεφαλαίου 2.2.4 παραπάνω, όπου p_0 είναι η στάθμη αναφοράς (ίση προς 2×10^{-5} Pa). Προφανώς, στην περίπτωση ηχητικής μέτρησης περιβαλλοντικού (βιομηχανικού) θορύβου, η συνεχής διακύμανση της στιγμιαίας τιμής της ηχητικής πίεσης σε συνάρτηση με το χρόνο ελαχιστοποιεί την πρακτική σημασία της παραπάνω μέτρησης.

Για το λόγο αυτό έχει ορισθεί το μέγεθος «ισοδύναμη στάθμη θορύβου (L_{eq})», το οποίο ορίζεται ως η μέση ενεργειακή ισοδύναμη ηχοστάθμη που θα παραγόταν από την πηγή του θορύβου, εάν η συνολική ακουστική ενέργεια του ηχητικού γεγονότος ήταν ισοκατανεμημένη στη χρονική διάρκεια T της μέτρησης, δηλαδή:

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \frac{p_{eq}^2}{p_0^2} = 10 \log_{10} \frac{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p \cdot p dt}{p_0^2} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1L} dt \right)$$

Παράλληλα, στην πράξη κρίνεται χρήσιμη η ανάλυση του θορύβου με άλλα στατιστικής φύσης κριτήρια, όπως π.χ. η εύρεση της

μέγιστης τιμής της στιγμιαίας στάθμης ηχητικής πίεσης (L_{max}) για τη διάρκεια της μέτρησης, της μέσης τιμής, κ.λ.π.

Λειτουργία ηχόμετρου [Εικόνα 45]

Κάθε ηχόμετρο αποτελείται, κατά βάση, από τα ίδια επί μέρους τμήματα:

- Μικρόφωνο
- Μονάδα επεξεργασίας (Κύκλωμα ενίσχυσης, φίλτρα, επεξεργαστής)
- Μονάδα απεικόνισης αποτελεσμάτων μετρήσεων

Το μικρόφωνο μετατρέπει το ηχητικό σήμα σε ισοδύναμο ηλεκτρικό. Καταλληλότερος τύπου μικροφώνου είναι το μικρόφωνο πυκνωτικού τύπου, το οποίο συνδυάζει την ακρίβεια με την σταθερότητα και την αξιοπιστία. Πριν αρχίσει η επεξεργασία του, το ηλεκτρικό σήμα που παράγεται από το μικρόφωνο, ενισχύεται από έναν προενισχυτή.

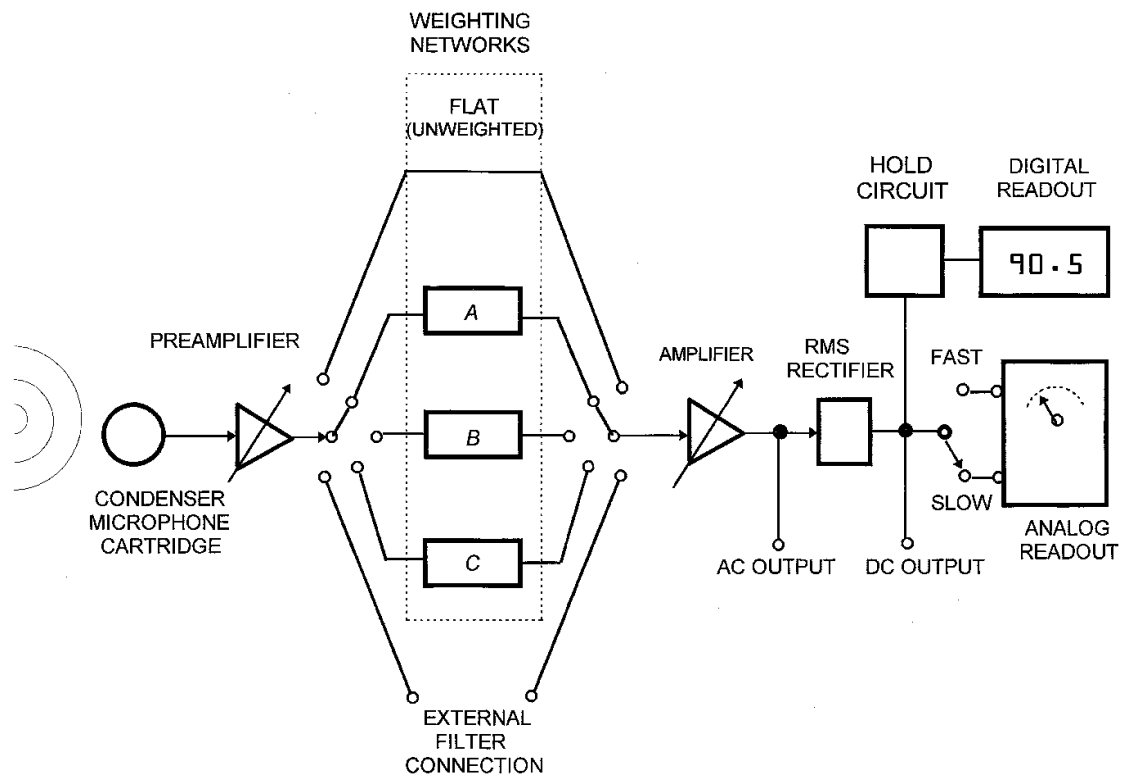
Το σήμα είναι δυνατόν να υποστεί διαφόρων τύπων επεξεργασία. Συνήθως, διέρχεται από κατάλληλο σταθμιστικό κύκλωμα, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η ιδιαίτερα περίπλοκη απόκριση του ανθρώπινου αυτιού κατά συχνότητα του ακουστού ηχητικού φάσματος. Έτσι τα ηχόμετρα έχουν ενσωματωμένα και φίλτρα αξιολογήσεως, όπως το φίλτρο A που είναι το πιο κοινό, άρα δίνουν ενδείξεις της ηχοστάθμης σε dB(A).

Για την ανάλυση του θορύβου υπάρχουν σειρές φίλτρων εύρους συχνοτήτων οκτάβας (1/1 octave filter), ενός τρίτου της οκτάβας (1/3 octave filter) ή και μικρότερου τα οποία συνδέονται με το ηχόμετρο δημιουργώντας έτσι έναν αναλυτή φάσματος ή ένα σύνθετο όργανο με το οποίο μπορεί να μετρηθεί η στάθμη του θορύβου στις διάφορες περιοχές συχνοτήτων.

Με τη μέτρηση της ηχητικής στάθμης και την ανάλυση συχνοτήτων προσδιορίζονται σημαντικά στοιχεία του ηχητικού πεδίου. Με τις πληροφορίες που συλλέγουμε μπορούμε να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα, όπως :

- Αναγνώριση της βασικής πηγής θορύβου
- Βελτίωση της επιλογής των υλικών ή των μεθόδων που χρησιμοποιούμε για τον έλεγχο του θορύβου, αλλά και το σχεδιασμό μιας μηχανής

- Αξιολόγηση και σύγκριση των μετρήσεων του θορύβου μεταξύ τους
- Έλεγχο της συμβατότητας με τους διεθνείς κανονισμούς και τα διεθνή πρότυπα
- Υπολογισμό της ηχητικής δύναμης της πηγής, κ.α.



[Εικόνα 45]: Διάγραμμα λειτουργίας ενός ηχομέτρου

Κατηγορίες ηχομέτρων

Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός ηχομέτρου, που καθορίζουν την απόδοση του αλλά και την ποιότητα των μετρήσεων είναι :

- Η απόκριση συχνοτήτων (frequency response), που αφορά το εύρος των συχνοτήτων που μπορεί να αναλύσει το ηχομέτρο.
- Το δυναμικό του εύρος (dynamic range), είναι ο λόγος ανάμεσα στην στάθμη του θορύβου που μετράμε και της στάθμης του εσωτερικού θορύβου του ηχομέτρου.
- Ο χρόνος απόκρισης (response time), είναι ο χρόνος που χρειάζεται το ηχομέτρο για να ανταποκριθεί στον εισερχόμενο θόρυβο. Οι επιλογές είναι, F (Fast, χρόνος απόκρισης 200msec) ή S (Slow, χρόνος απόκρισης 1 sec).

Ανάλογα με την ακρίβεια τους τα ηχόμετρα διακρίνονται σε τρεις κύριους τύπους:

- Τύπου I (κατηγορία υψηλής ακρίβειας και τιμής),
- Τύπου II (μέτριας ακρίβειας με αρκετή απόκλιση σε υψηλές συνήθως συχνότητες),
- Τύπου εκτίμησης (survey)

Βαθμονόμηση (Calibration)

Βασική προϋπόθεση για έγκυρες ηχητικές μετρήσεις αποτελεί η σωστή βαθμονόμηση του ηχομέτρου πριν από κάθε χρήση. Αυτό γίνεται συνήθως με τη βοήθεια ενός φορητού ακουστικού βαθμονομητή, ο οποίος εκπέμπει συγκεκριμένη ηχητική στάθμη σε συγκεκριμένη συχνότητα (π.χ. 94dB στο 1kHz) και τοποθετείται απευθείας στο μικρόφωνο.

Σταθμιστικά κυκλώματα (φίλτρα) A, B, C και D

Η ακουστότητα είναι η υποκειμενική εκδοχή της έντασης και η διαφοροποίηση έντασης – ακουστότητας δίνεται από τις καμπύλες ίσης ακουστότητας Fletcher – Munson.

Ένας θόρυβος θα μπορούσε να προσδιοριστεί με τη μέτρηση της έντασης σε κάθε οκτάβα, αλλά αυτός ο τρόπος μέτρησης θα μπορούσε να εφαρμοστεί κυρίως στις περιπτώσεις όπου ο έλεγχος των πηγών γίνεται με χρήση ηχομονωτικών, τα οποία στις περισσότερες περιπτώσεις είναι αποτελεσματικά σε μια συγκεκριμένη περιοχή συχνοτήτων, οπότε ο αναλυτικός προσδιορισμός των εντάσεων του θορύβου της πηγής σε κάθε οκτάβα είναι απαραίτητος για την επιλογή του σωστού μέσου.

Προκειμένου όμως να εκφραστεί η διαφορετική ευαισθησία της ανθρώπινης ακοής στις διάφορες συχνότητες αλλά και τις διαφορετικές στάθμες, προτάθηκαν καμπύλες διόρθωσης, με συντελεστές βαρύτητας, των τιμών της στάθμης ηχητικής πίεσης σε ζώνες οκτάβας ή σε ζώνες τρίτου οκτάβας. Οι τιμές των συντελεστών αυτών δίνονται σε dB και προστίθενται αλγεβρικά στις τιμές της στάθμης της αντίστοιχης συχνότητας. Για τους συντελεστές αυτούς

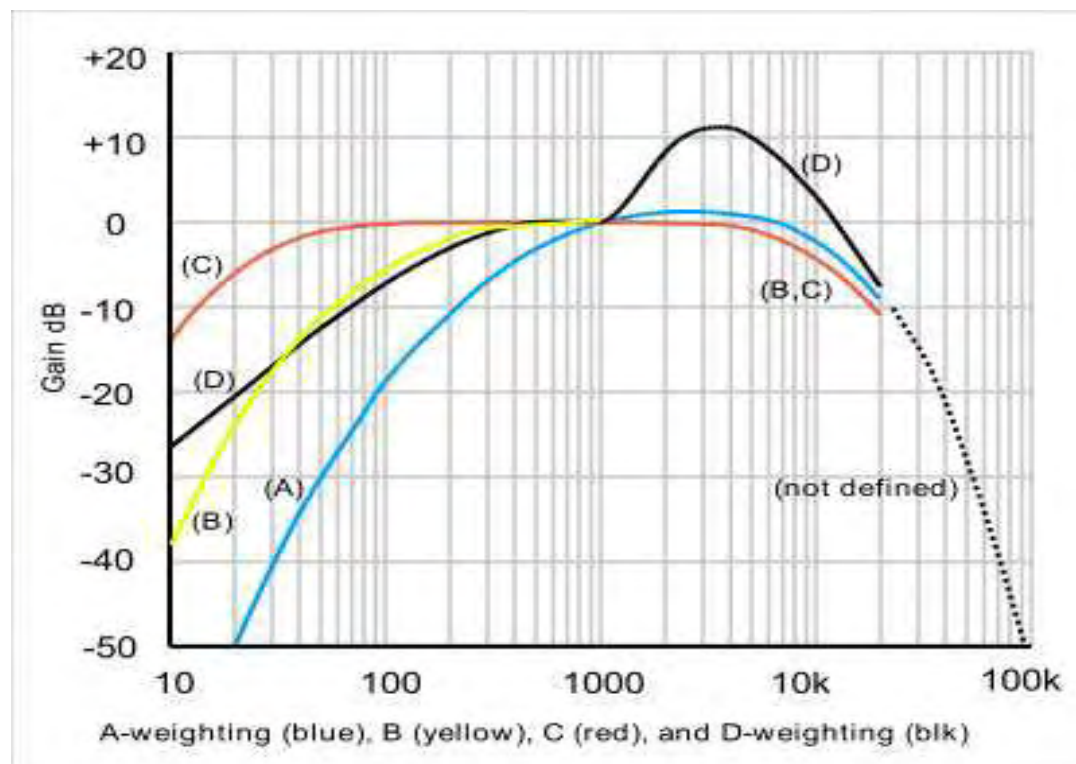
κατασκευάστηκαν τα αντίστοιχα φίλτρα με τα οποία είναι εξοπλισμένο κάθε ηχόμετρο.

Σταθμιστικό κύκλωμα A: Το σταθμιστικό κύκλωμα A φιλτράρει αρκετά αυστηρά τις πολύ χαμηλές συχνότητες προσομοιώνοντας περισσότερο από τα υπόλοιπα φίλτρα την ευαισθησία της ανθρώπινης ακοής. Για αυτό το λόγο, χρησιμοποιείται διεθνώς για τη μέτρηση του θορύβου στο εργασιακό περιβάλλον.

Σταθμιστικό κύκλωμα B: Το σταθμιστικό κύκλωμα B φιλτράρει μέτρια τις πολύ χαμηλές συχνότητες με τιμές ηχοστάθμης 55-85dB.

Σταθμιστικό κύκλωμα C: Το σταθμιστικό κύκλωμα C δε φιλτράρει σχεδόν καθόλου τις χαμηλές συχνότητες, αντιστοιχώντας σε καμπύλες ακουστότητας των 70 και 100dB περίπου, στο 1kHz με τιμές ηχοστάθμης 85-140dB.

Σταθμιστικό κύκλωμα D: Χρησιμοποιείται σε ειδικές περιπτώσεις, όπως στη μέτρηση του θορύβου από αεροσκάφη.



Εικόνα 46: φασματικές καμπύλες στάθμισης τύπου A, B, C και D

Το τελικό αποτέλεσμα της στάθμης του ήχου, αλλά και για τις στάθμες από τις επιμέρους ζώνες συχνοτήτων, δίνεται σε dB(P), όπου P είναι το αντίστοιχο γράμμα της καμπύλης διόρθωσης που χρησιμοποιήθηκε.

Σήμερα, έχει καθιερωθεί η χρήση του φίλτρου (A), ανεξάρτητα από τη στάθμη ακουστότητας. Στην παρούσα διπλωματική τα αποτελέσματα των μετρήσεων πραγματοποιήθηκαν με χρήση του φίλτρου (A).

4.3.3.2 Επιλογή Ηχομέτρου για τις μετρήσεις

Κατ' αρχήν έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί το υπάρχον ηχώμετρο της Σχολής, τύπου Lutron 4011, της παρακάτω εικόνας 47:



[Εικόνα 47]

Με αυτό έγιναν οι πρώτες έξι μετρήσεις που φαίνονται με κόκκινα σημεία (A-Z) στην εικόνα του γεωγραφικού αποτυπώματός των μετρήσεων των εικόνων 51-54.

Όμως το ηχώμετρο αυτό [Εικόνα 47] δεν είχε φασματική ανάλυση, δεν έκανε ηχομέτρηση σε σταθερό χρόνο, δεν είχε καταγραφική δυνατότητα για απόδοση στοιχείων σε ψηφιακό αρχείο και δεν υπολόγιζε το $L_{eq}(A)$.

Έτσι μετά από σχετική έρευνα αγοράς και με βάση τη σχέση ποιότητας τιμής επελέγη το Pulsar Model 93 [Εικόνα 48], που ενοικιάστηκε για 24 ώρες (το prospect του επισυνάπτεται στο παράρτημα στο τέλος της εργασίας).

Βασικό του πλεονέκτημα είναι ότι έχει, κατά βάση, όλα όσα έλειπαν από το Lutron, ιδίως το ότι έχει εγκατεστημένα φίλτρα, για τη διαίρεση σε ζώνες συχνότητας, οκτάβας (1/1) και ένα τρίτο οκτάβας (1/3), αλλά και τα κατάλληλα φίλτρα διόρθωσης, τα οποία επιτρέπουν τη διόρθωση των τιμών των μετρήσεων με βάση τις καμπύλες συντελεστών βαρύτητας της στάθμης της ηχητικής πίεσης, A, C και Z. Ακόμα η εγκατάσταση του ανάλογου λογισμικού επιτρέπει τη φασματική ανάλυση του θορύβου.



[Εικόνα 48]: Ηχώμετρο Pulsar 93

4.3.3.3 Διεξαγωγή μετρήσεων [Εικόνα 49]



[Εικόνα 49]

Οι μετρήσεις έγιναν στα σημεία των εικόνων (σε διαφορετικές κλίμακες) των επόμενων σελίδων 51-54, όπου οι έξι μετρήσεις με το Lutron είναι σημειωμένες με κόκκινο και οι 40 με το Pulsar με κίτρινο στις εικόνες 51-54.

Χρησιμοποιήθηκε τρίποδο για καλύτερη σταθερότητα και επελέγη 5λεπτη μέτρηση.

Το ηχώμετρο παραδόθηκε calibrated από την εταιρία που ενοικιάστηκε.

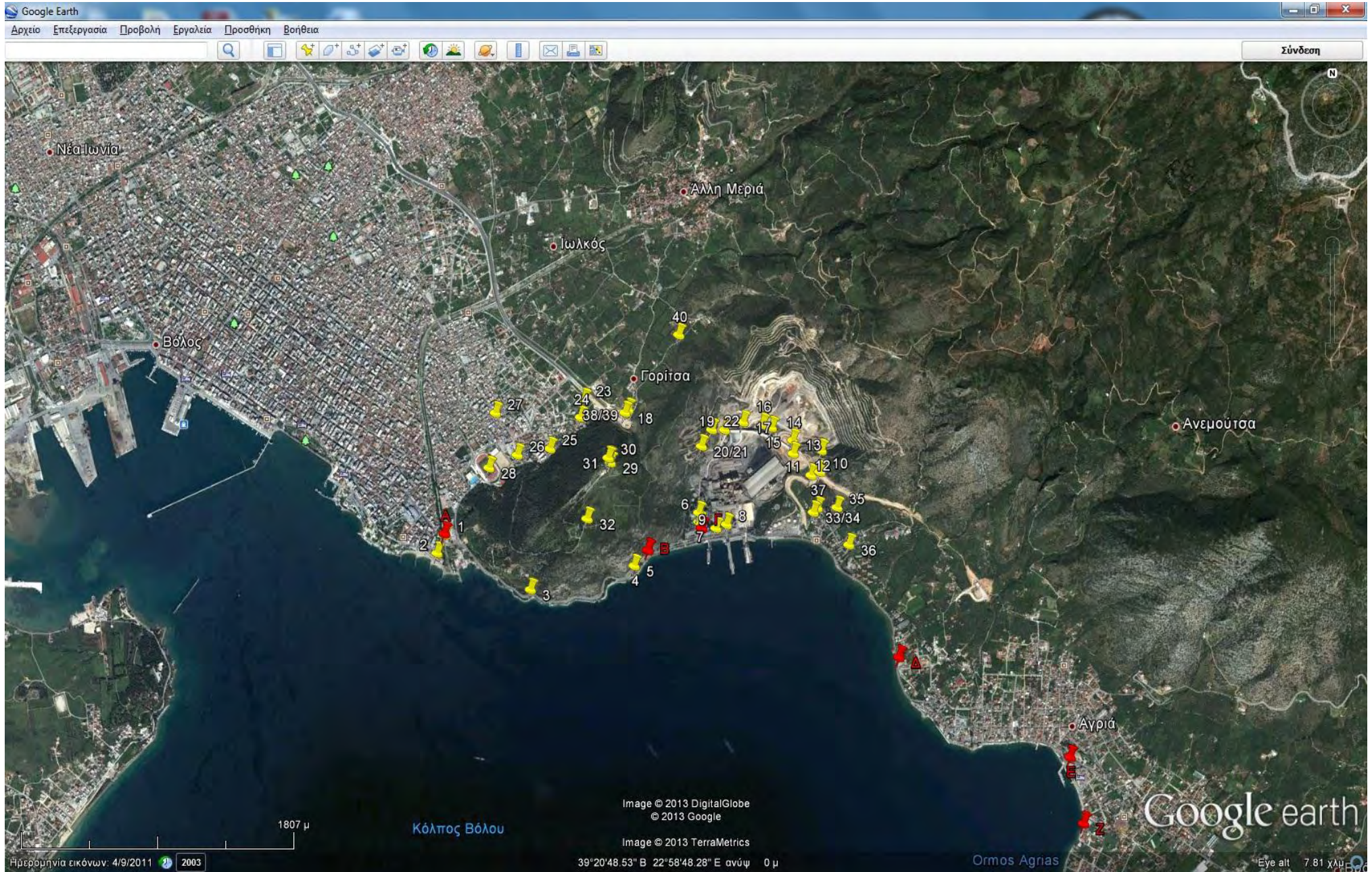
Για κάθε μέτρηση σημειώθηκε το ακριβές γεωγραφικό της στίγμα με τη βοήθεια GPS Becker (δες εικόνα 50) που παρήχε ακρίβεια 5 δεκαδικών της μοίρας, ώστε να είναι ακριβής η εισαγωγή των θέσεων τους, τόσο στο GE όσο και στο τοπογραφικό του SoundPlan.



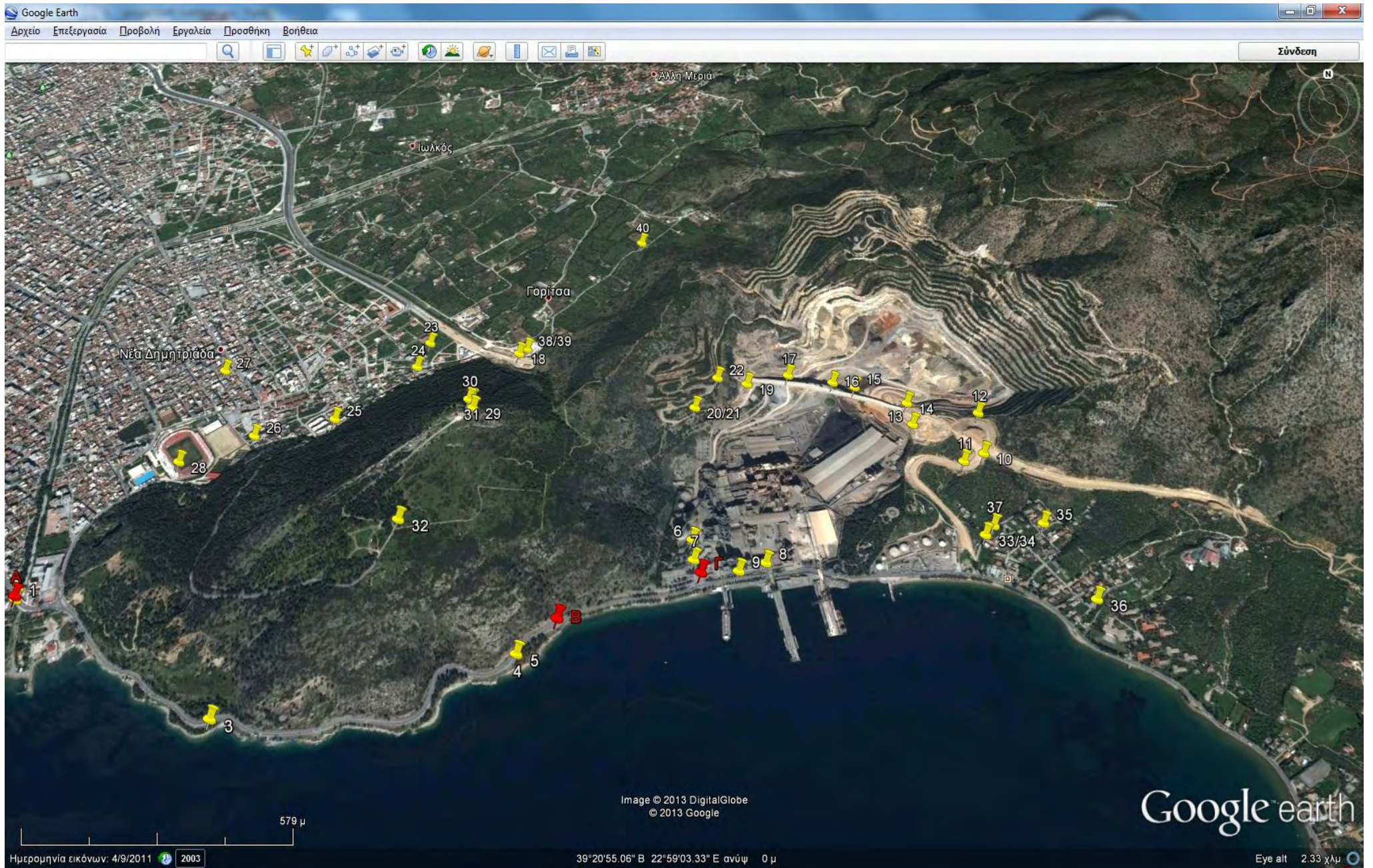
Εικόνα 50: Όργανο GPS που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις για το ακριβές γεωγραφικό στίγμα

Καταβλήθηκε μεγάλη προσπάθεια να γίνουν μετρήσεις όσο πιο κοντά γινόταν στο εργοστάσιο, αλλά τα μέτρα ασφαλείας του σε συνδυασμό με τις κάμερές του δεν το επέτρεψαν πάντα και οδήγησαν στη διακοπή μίας εξ αυτών.

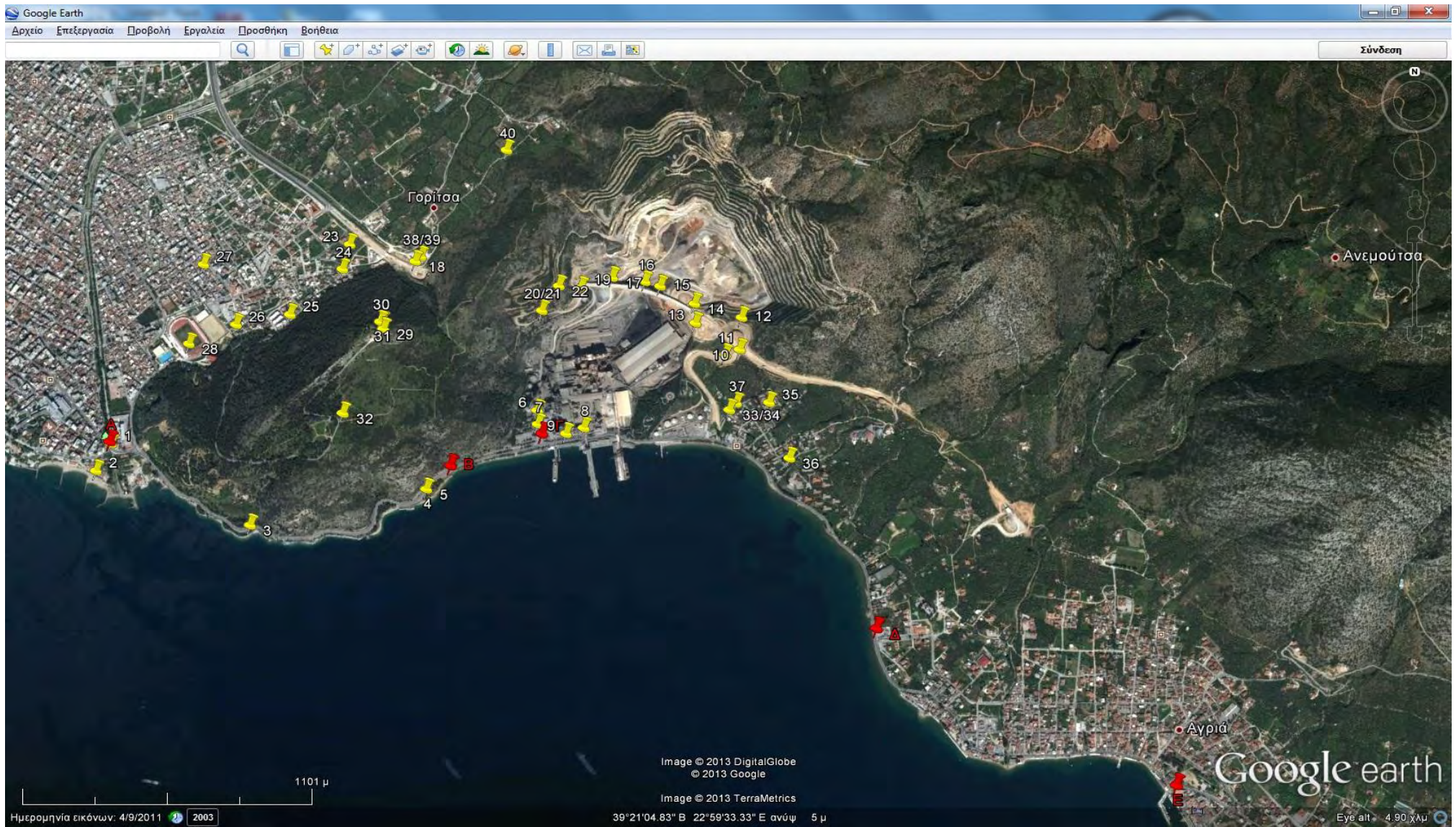
Έγινε ακόμα προσπάθεια να κατανεμηθούν περιμετρικά της πηγής σε κοντινά και σε πιο απομακρυσμένα σημεία, όπως και να αποφεύγονται οι θόρυβοι φόντου ή άλλες οχλήσεις της πόλης ώστε να απομονώνονται, κατά το δυνατόν, αυτοί της πηγής.



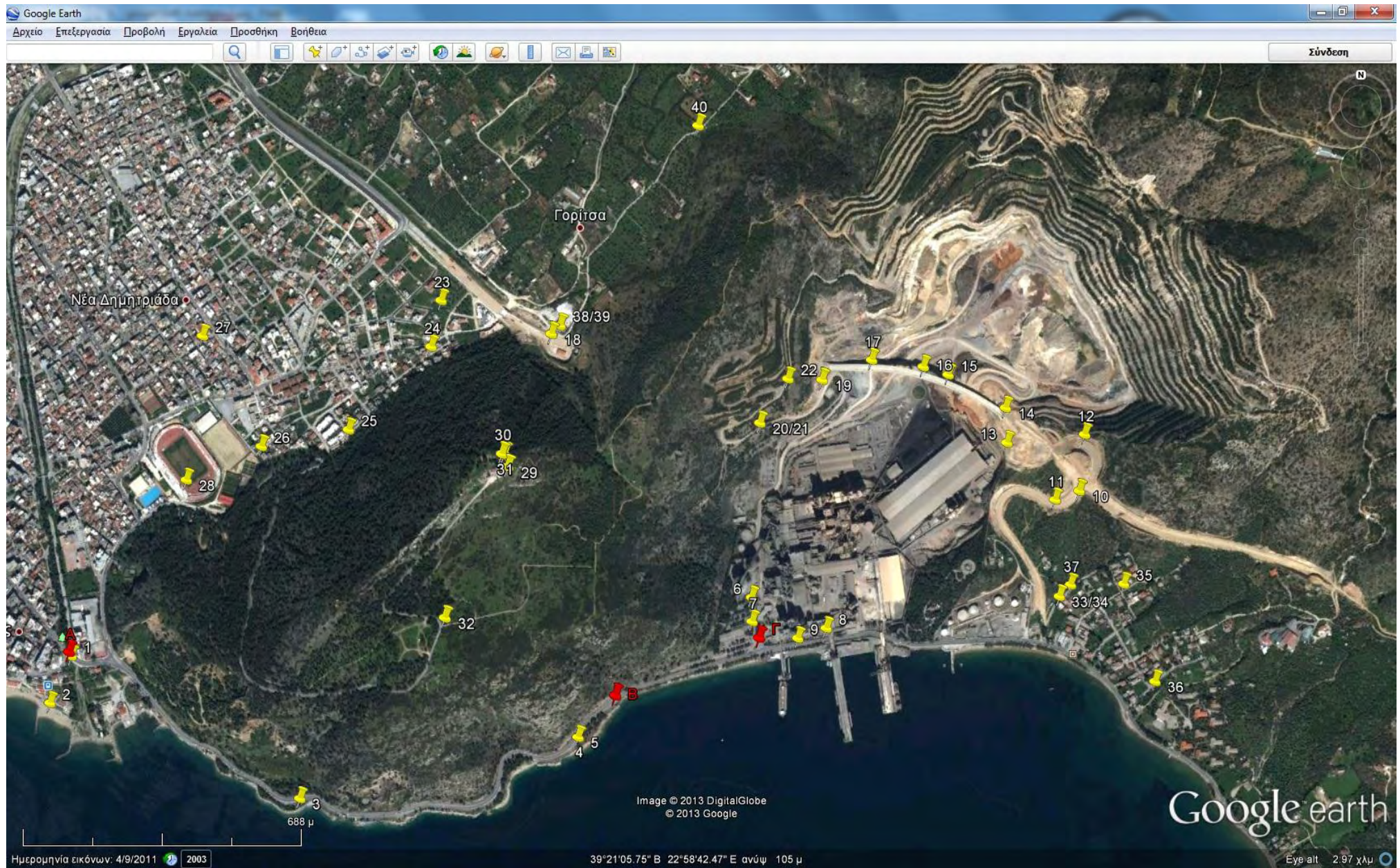
Εικόνα 51: Σημεία μέτρησης view 1



Εικόνα 52: Σημεία μέτρησης προοπτικό view 2



Εικόνα 53: Σημεία μέτρησης σε προοπτικό view 3



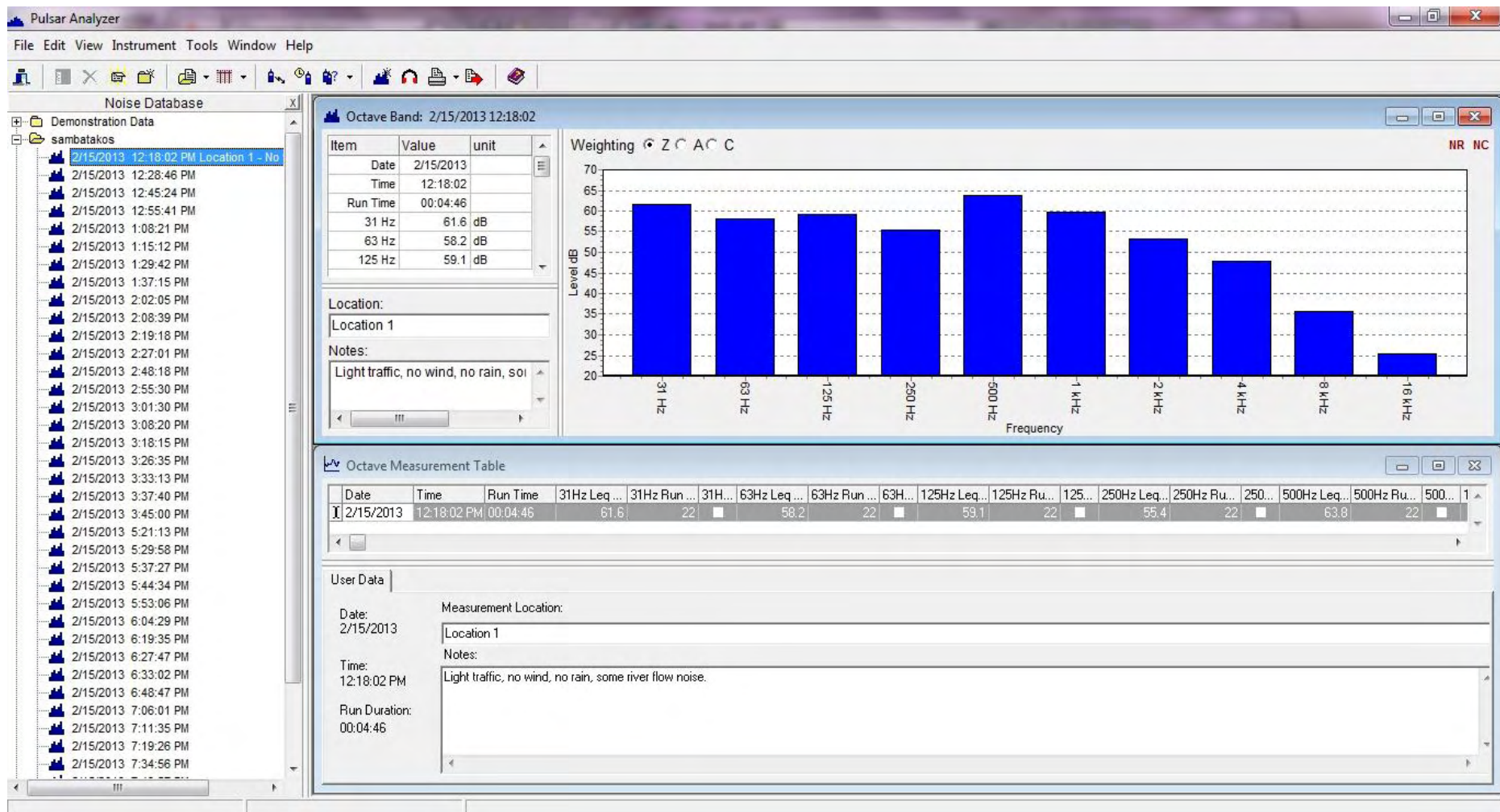
Εικόνα 54: Σημεία μέτρησης view 4

Οι μετρήσεις εισήχθησαν μετά στο λογισμικό του Pulsar και φαίνονται στο τέλος της εργασίας στο αντίστοιχο παράρτημα σε μορφή report.

Στην επόμενη σελίδα (94) [Εικόνα 56] φαίνεται ένα δείγμα αποτελεσμάτων του λογισμικού Pulsar.



[Εικόνα 55]



[Εικόνα 56]: Δείγμα παρουσίασης μετρήσεων με το λογισμικό Pulsar Analyser



[Εικόνα 57]

Κατά τις μετρήσεις [Εικόνα 57] υπήρξαν τα εξής προβλήματα:

- 1) Οι μετρήσεις:
 - a. No 4 (λάθος χειρισμός ηχομέτρου, διακοπή 5λεπτης καταγραφής)
 - b. No 9 (επέμβαση ανθρώπων ασφαλείας της ΑΓΕΤ και διακοπή της μέτρησης)
θεωρούνται "failed" και δεν λήφθηκαν υπ' όψιν.

- 2) Οι μετρήσεις:
 - a. No 1 (έντονη κίνηση, τέρμα λεωφορείων Άναβρου, ροή ποταμού)
 - b. No 2 (μηχάνημα ταβέρνας, κυματισμός θάλασσας)
 - c. No 3 και 5 (κίνηση επαρχιακής οδού, κυματισμός θάλασσας)
 - d. No 8 (έντονη κίνηση επαρχιακής οδού)
 - e. No 24 (γάβγισμα σκύλου σε κοντινή απόσταση)
 - f. No 27 (έντονος θόρυβος από μηχανή μεγάλου κυβισμού)

- g. No 33 (μηχανάκι)
- h. No 38 και 39 («μυστήριος» θόρυβος από άγνωστο μηχανήμα, βελάσματα, αγροτικό αυτοκίνητο)



[Εικόνα 58]: Όχληση από μηχανήματα έργων

3) Η μέτρηση No 28 έγινε στις πάνω κερκίδες του σταδίου του Ολυμπιακού Βόλου. Υπήρξαν μεν κάποιες παρεμβολές, οι οποίες όμως δεν δικαιολογούν την υψηλή (σχετικά με τις υπόλοιπες μετρήσεις στην ίδια περιοχή) στάθμη που μετρήθηκε. Δε βρέθηκε άλλη εξήγηση, παρά μόνο το ότι έγινε σε μεγάλο υψόμετρο από το έδαφος (15 μ), ενώ οι άλλες της περιοχής ήταν στο 1,5 μ από το έδαφος και πιθανώς η ιδιαιτερότητα στην ακουστική του γηπέδου, ιδίως στην περιοχή του πετάλου του.

4) Οι υπόλοιπες δεν είχαν ιδιαίτερα προβλήματα.

Έτσι οι της ομάδας 1 δεν ελήφθησαν καθόλου υπ' όψιν.

Οι των ομάδων 2 και 3 δε χρησιμοποιήθηκαν προφανώς για βαθμονόμηση. Εξ' άλλου φάνηκε στην αξιολόγηση των

αποτελεσμάτων της χαρτογράφησης θορύβου ότι οι παρατηρηθείσες «παρεμβολές» επιβεβαιώνονται και από τις αποκλίσεις των τιμών μεταξύ μετρηθεισών και υπολογισθεισών, δες σχετικά στο Κεφάλαιο 5 αποτελεσμάτων.

Εννοείται ότι από την ομάδα 4 επελέγησαν οι 14 πιο κατάλληλες για βαθμονόμηση.

Σημειώσεις:

Στο παράρτημα συμπεριελήφθησαν για λόγους πληρότητας και οι πρόχειρες χειρόγραφες σημειώσεις κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Αν υπήρχε η οικονομική δυνατότητα χρήσης του ηχομέτρου για αρκετές μερες θα μπορούσαν να επαναληφθούν αρκετές μετρήσεις για πιθανή αποφυγή των παραπάνω προβλημάτων.

Πέραν αυτού θα μπορούσαν να επεκταθούν οι μετρήσεις και σε νυκτερινές (π.χ. μεταμεσονύκτιες ώρες), ώστε πάλι να ελαχιστοποιηθούν οι παρεμβολές (ιδίως η οδική κίνηση).

Το σοβαρότερο πρόβλημα έγκειτο στην προσπάθεια να γίνουν μετρήσεις όσο πιο κοντά γίνεται στις πηγές θορύβου των μηχανημάτων του εργοστασίου, χωρίς όμως να γίνει έντονα αντιληπτή η διενέργεια μετρήσεων, ιδίως μετά την επέμβαση του προσωπικού ασφαλείας του, στο αρχικό δυστυχώς στάδιο των μετρήσεων (μέτρηση Νο 9).

Έτσι επινοήθηκαν «εναλλακτικές προσεγγίσεις», δες τις παρακάτω εικόνες 59-61.



[Εικόνα 59]



[Εικόνα 60]



[Εικόνα 61]

4.3.3.4 **Λογισμικό/συνάρτηση υπολογισμού του L_{eqA}**

Δυστυχώς το ηχόμετρο που νοικιάστηκε είχε λανθασμένο τρόπο υπολογισμού του L_{eqA} , πράγμα που διαπιστώθηκε μετά την επιστροφή του στην εταιρία.

Έτσι δημιουργήθηκε ειδικό λογισμικό σε excel με τη σωστή συνάρτηση υπολογισμού:

$$L_{eq}(A) = 10 \log_{10} \left[\sum 10^{(Leq(A)+CFA)/10} \right]$$

Στην οποία οι συντελεστές CFA ελήφθησαν από τον πίνακα:

Octave band center frequency, Hz	A-scale CFA	C-scale CFC
31.5	-39.4	-3.0
63	-26.2	-0.8
125	-16.1	-0.2
250	-8.9	0.0
500	-3.2	0.0
1,000	0.0	0.0
2,000	+1.2	-0.2
4,000	+1.0	-0.8
8,000	-1.1	-3.0
16,000	-6.6	-8.5

Τιμές των συντελεστών στάθμισης CFA και CFC για κάθε κεντρική συχνότητα

Στο excel αυτό [Εικόνα 62] εισήχθησαν οι μετρήσεις των διαφόρων μπάντων συχνοτήτων από το ηχόμετρο και υπολογίσθηκε τελικά το σωστό L_{eqA} , δηλαδή αποκόποντας τις συχνότητες 31,5 Hz και 16 kHz και σταθμίζοντας τις υπόλοιπες 8 μπάντες με βάση την παραπάνω σχέση, όπως φαίνεται στην τελευταία στήλη "dB(A) corrected" του excel.

Αυτές οι τιμές χρησιμοποιήθηκαν στην περαιτέρω διαδικασία.

SAMBATAKOS MEASUREMENT DATA											
	Date	Time	63Hz Leq dB	125Hz Leq dB	250Hz Leq dB	500Hz Leq dB	1kHz Leq dB	2kHz Leq dB	4kHz Leq dB	8kHz Leq dB	dB(A) corrected
1	15/02/2013	12:18	58,20	59,10	55,40	63,80	59,70	53,10	47,80	35,80	64,0
2	15/02/2013	12:28	61,10	54,60	46,90	42,80	40,20	40,10	33,50	28,70	47,2
3	15/02/2013	12:45	66,80	63,60	59,70	57,00	61,50	59,50	35,90	41,30	64,8
5	15/02/2013	12:55	70,60	63,00	66,30	52,50	54,50	54,30	45,70	42,30	61,4
6	15/02/2013	13:08	67,50	67,50	66,00	61,80	59,80	55,20	56,30	43,90	65,2
7	15/02/2013	13:15	73,30	67,20	70,20	62,40	58,70	54,10	50,40	42,80	65,6
8	15/02/2013	13:29	78,80	72,90	74,10	72,10	76,20	72,20	61,50	52,60	78,8
9	15/02/2013	13:37	82,30	83,60	81,10	86,90	78,90	73,70	62,50	56,80	85,8
10	15/02/2013	14:02	62,00	62,90	58,60	55,40	46,30	42,70	29,30	38,90	55,9
11	15/02/2013	14:08	63,80	56,80	52,00	51,80	48,00	41,80	29,40	20,50	52,9
12	15/02/2013	14:19	70,40	53,30	51,00	49,10	49,60	45,60	42,50	32,30	54,0
13	15/02/2013	14:27	77,60	67,20	55,30	51,80	49,50	46,30	48,10	28,00	57,9
14	15/02/2013	14:48	63,50	60,00	61,60	58,80	52,50	46,40	41,70	28,60	59,3
15	15/02/2013	14:55	84,90	72,40	65,50	62,80	62,90	58,10	51,70	37,40	67,5
16	15/02/2013	15:01	65,80	64,60	67,30	60,10	62,90	55,60	47,20	33,00	65,7
17	15/02/2013	15:08	65,50	64,30	65,40	62,90	60,10	57,20	48,90	30,40	65,1
18	15/02/2013	15:18	49,60	42,20	37,60	37,30	35,00	26,60	22,30	16,30	39,1
19	15/02/2013	15:26	71,90	69,80	67,20	65,20	63,30	60,90	58,10	46,40	68,5
20	15/02/2013	15:33	72,60	68,10	null	null	null	null	null	null	#VALUE!
21	15/02/2013	15:37	68,20	67,30	69,70	67,10	64,00	56,60	60,00	48,10	69,2
22	15/02/2013	15:45	69,60	66,90	63,80	63,50	61,40	57,00	53,50	39,50	65,9
23	15/02/2013	17:21	45,90	42,30	36,00	28,10	33,10	23,40	32,40	21,10	37,7
24	15/02/2013	17:29	48,70	42,50	41,00	31,50	33,80	41,50	40,20	32,30	45,8
25	15/02/2013	17:37	40,90	32,80	30,80	36,00	35,00	29,30	28,70	31,10	39,3
26	15/02/2013	17:44	47,50	35,70	30,60	26,60	27,40	25,60	24,40	17,00	33,0
27	15/02/2013	17:53	53,60	52,70	61,90	46,90	47,90	42,80	32,90	25,90	55,0
28	15/02/2013	18:04	60,90	49,40	48,10	43,60	39,60	33,80	26,50	17,70	45,8
29	15/02/2013	18:19	62,50	56,00	53,50	52,30	46,80	42,60	24,40	20,60	53,0

30	15/02/2013	18:27	52,30	51,00	45,70	41,30	35,80	32,20	27,60	15,60	43,4
31	15/02/2013	18:33	60,30	53,40	54,00	51,00	42,10	33,60	26,20	15,60	50,9
32	15/02/2013	18:48	55,00	45,60	39,10	39,10	38,40	29,00	17,60	20,00	41,7
33	15/02/2013	19:06	58,50	50,10	48,10	56,80	48,00	41,40	33,90	22,10	55,3
34	15/02/2013	19:11	57,50	50,10	48,60	43,80	48,80	42,30	27,30	17,30	50,9
35	15/02/2013	19:19	52,90	47,40	43,10	42,60	40,80	37,50	21,80	20,40	45,2
36	15/02/2013	19:34	51,20	44,90	43,20	41,50	45,20	32,50	27,30	17,50	46,7
37	15/02/2013	19:43	55,50	46,00	46,00	43,90	47,30	39,60	29,50	23,00	49,3
38	15/02/2013	20:21	49,70	39,50	36,30	36,60	39,50	40,80	31,10	31,10	44,8
39	15/02/2013	20:26	50,90	41,00	38,30	45,90	40,60	29,60	28,50	17,70	45,4
40	15/02/2013	20:39	49,60	38,10	27,60	30,10	28,90	23,80	23,80	22,20	34,0

Εικόνα 62: Excel με τις μετρήσεις και το διορθωμένο υπολογισμό του L_{eqA}

4.3.4 SOUNDPLAN

4.3.4.1 **Δημιουργία τοπογραφικού και κτηριακού μοντέλου**

Στο λογισμικό χαρτογράφησης θορύβου SoundPlan (που ενοικιάστηκε για λίγες μέρες από σχετική εταιρία ακουστικής) εισήχθησαν:

Όλα τα δεδομένα από το AutoCad, δηλαδή το τελικό DTM (digital terrain model) με τις ισοϋψείς και τα bitmap και εν γένει όλα τα layers ένα-ένα, διότι μόνο αυτή η δυνατότητα υπάρχει.

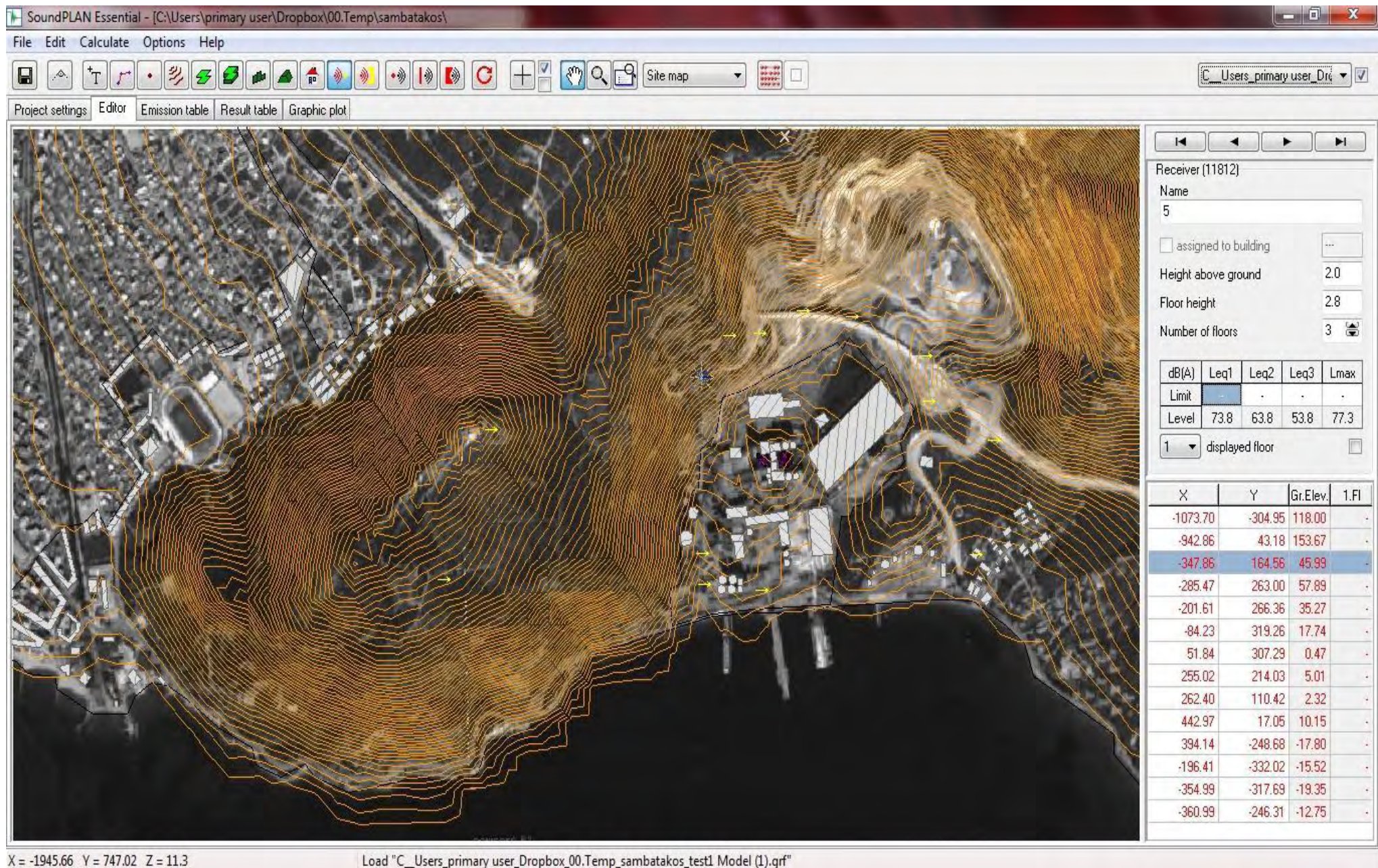
Τα σημεία μέτρησης που αποτελούσαν ξεχωριστό layer στο Autocad ορίστηκαν ως receivers, που στις εικόνες των επομένων σελίδων 63-78 φαίνονται με μικρά έγχρωμα (κόκκινα ή κιτρινα) ηχόμετρα μαζί με τον αύξοντα αριθμό τους.

Προστέθηκαν σχεδιαστικά:

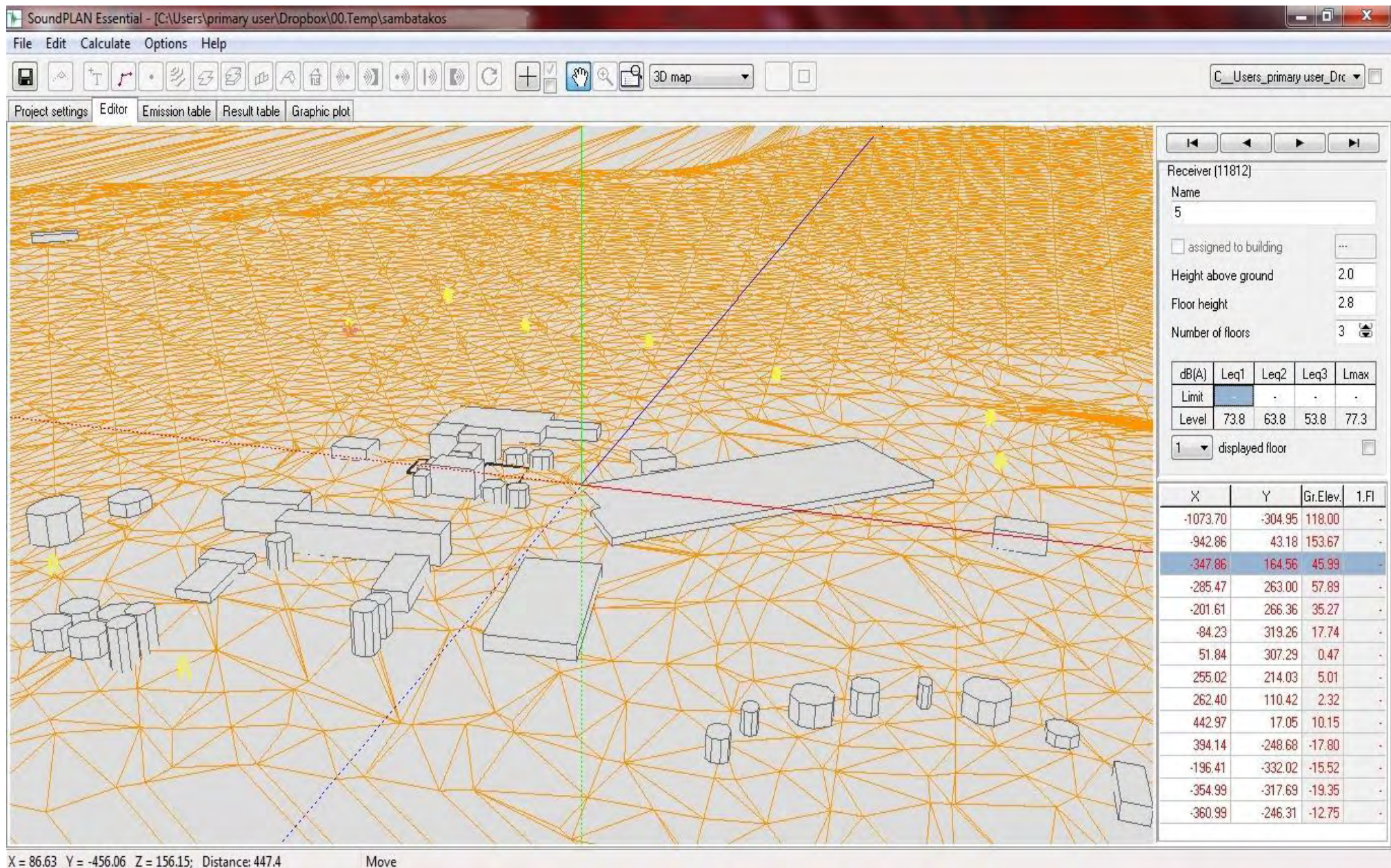
- τα κτήρια του εργοστασίου σε κλίμακα 1:1 με τη βοήθεια του bitmap που «φαινόταν» από κάτω
- η πρώτη σειρά κτηρίων της κατοικημένης περιοχής δυτικά, προϋπόθεση για να χρησιμοποιηθεί η εντολή «mitigation area» του SoundPlan, δηλαδή να αναπαραχθεί αυτόματα ο αντίστοιχος ιστός της πόλης
- αρκετά κτήρια και λοιπές κατασκευές (σιλό) ανατολικά

Έτσι δημιουργήθηκε ένα 3d μοντέλο της πόλης.

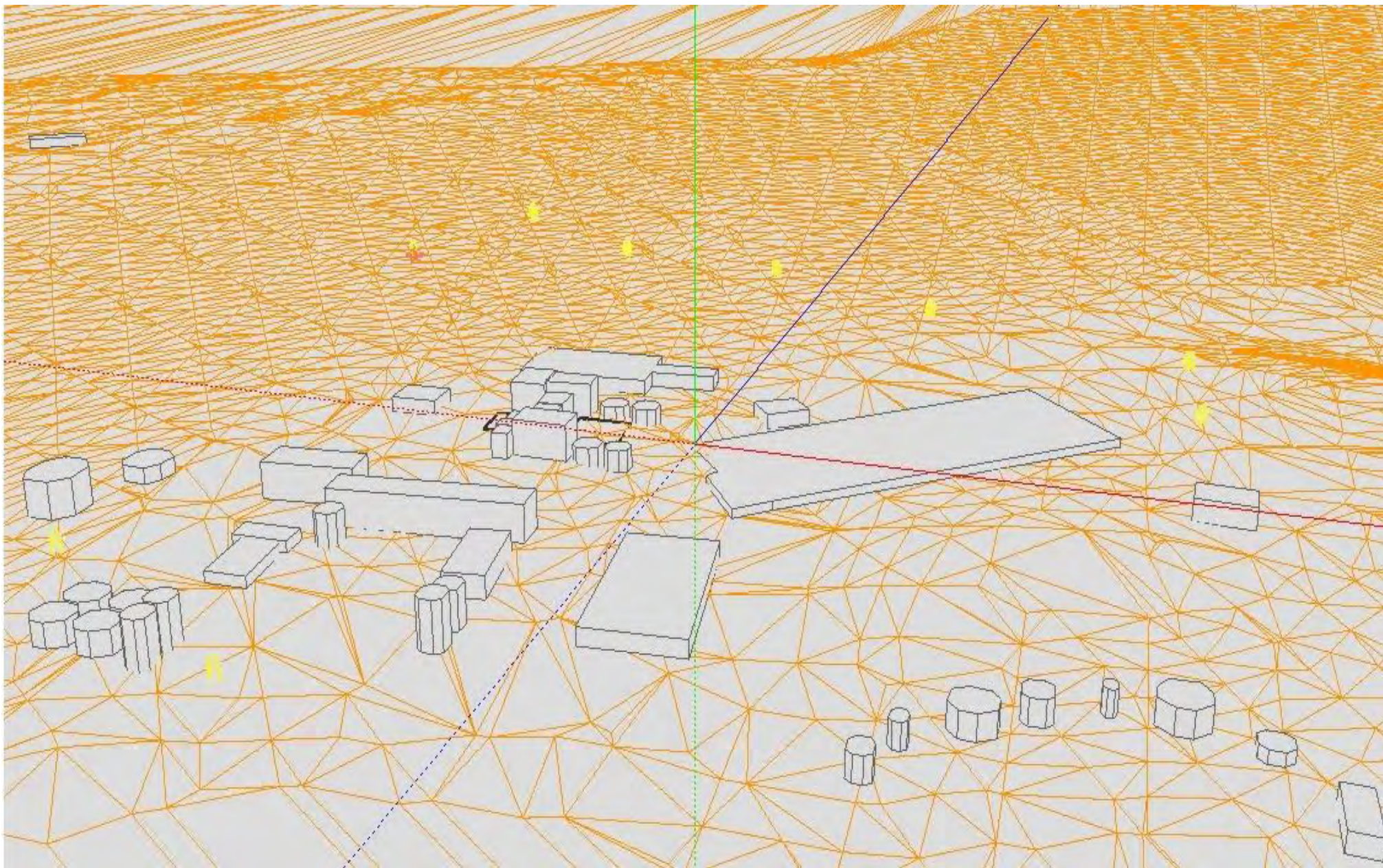
Στα snapshots των παρακάτω σελίδων [εικόνες 63-78] φαίνονται μερικά χαρακτηριστικά «βήματα» στη διάρκεια αυτής της φάσης της εργασίας με το SoundPlan.



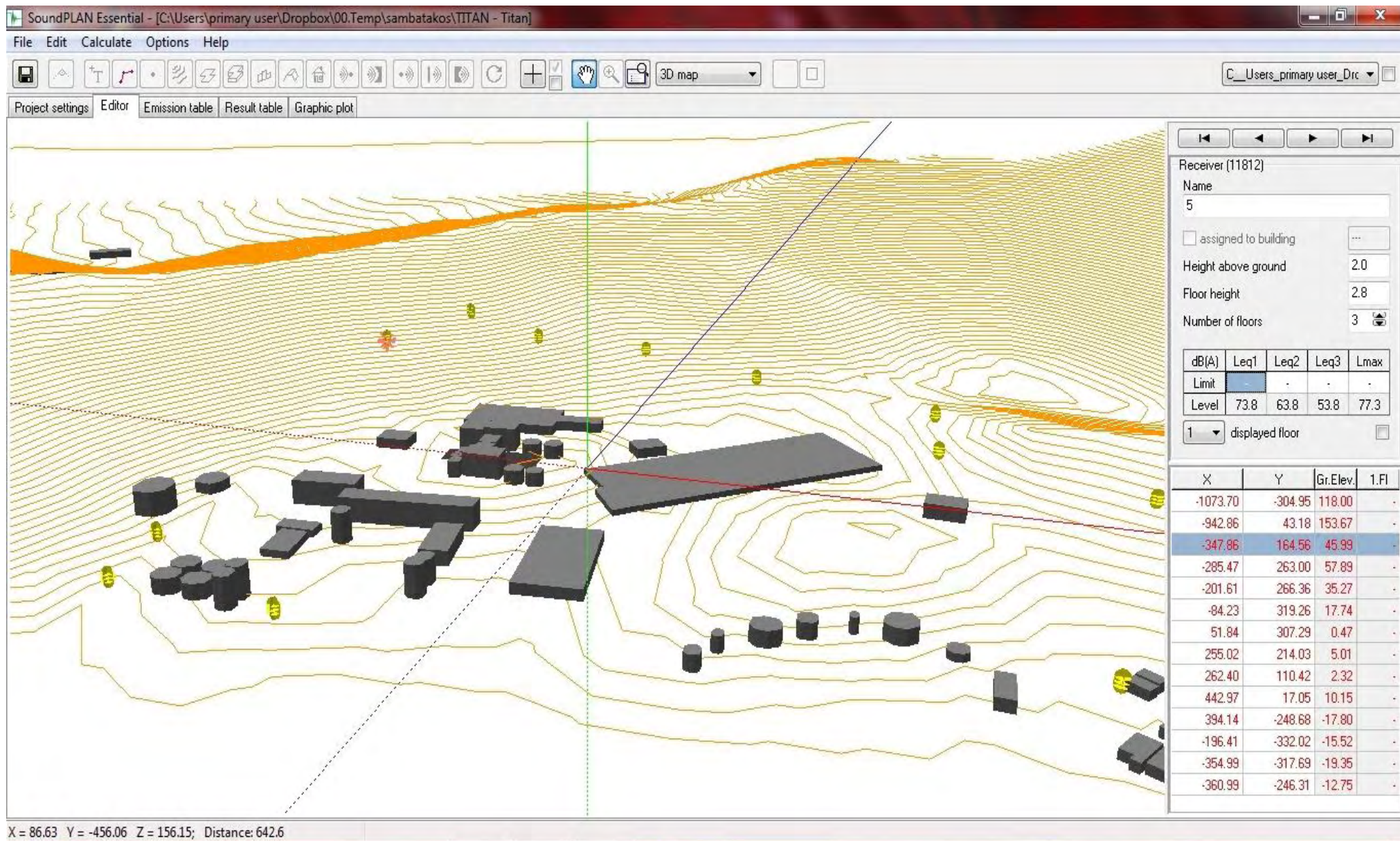
Εικόνα 63: SoundPlan με ισούψεις και σχεδιασμένα κτήρια εργοστασίου



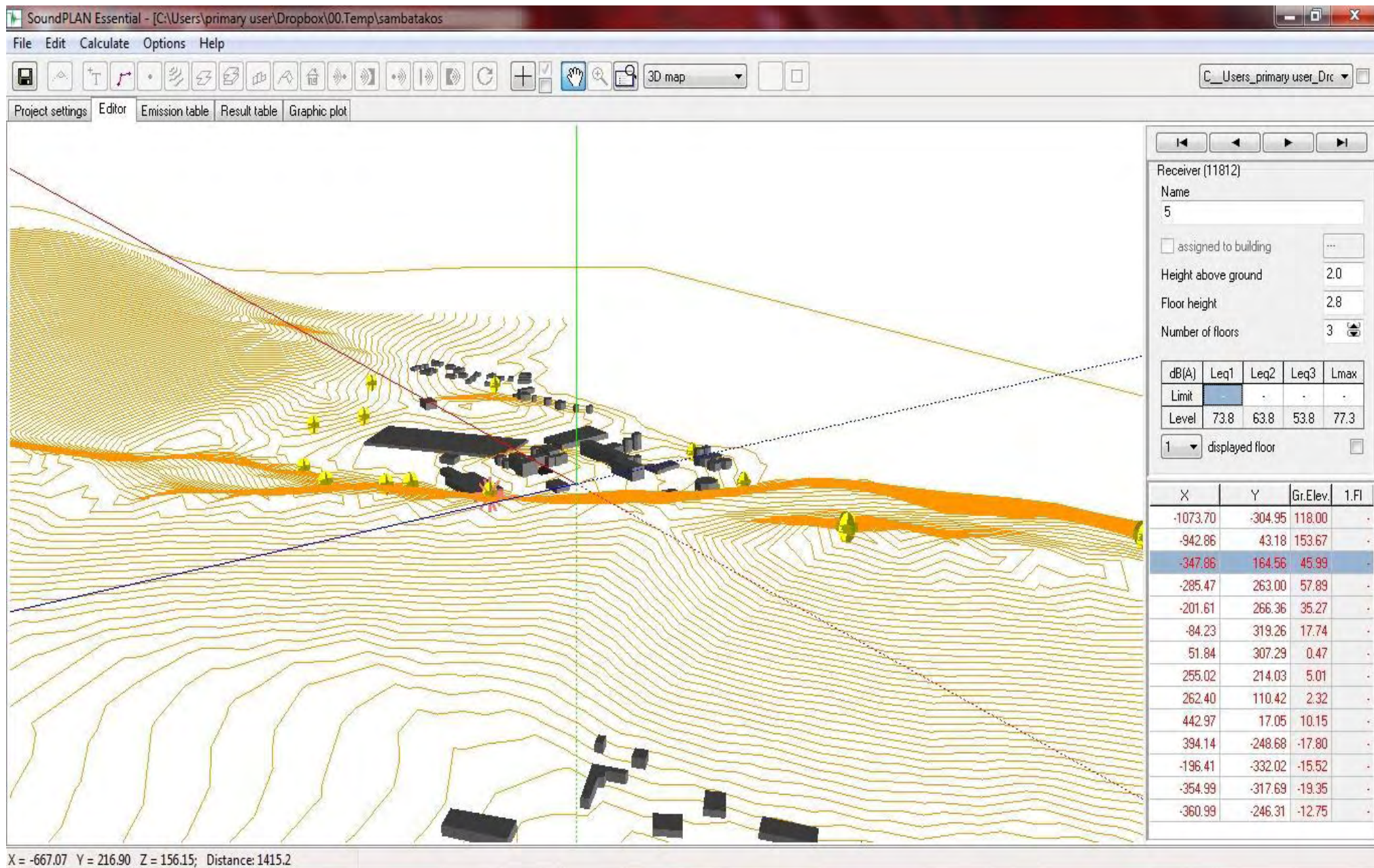
Εικόνα 64: Snapshot από SoundPLAN με πλέγμα εδάφους και σχεδιασμένα κτήρια εργοστασίου



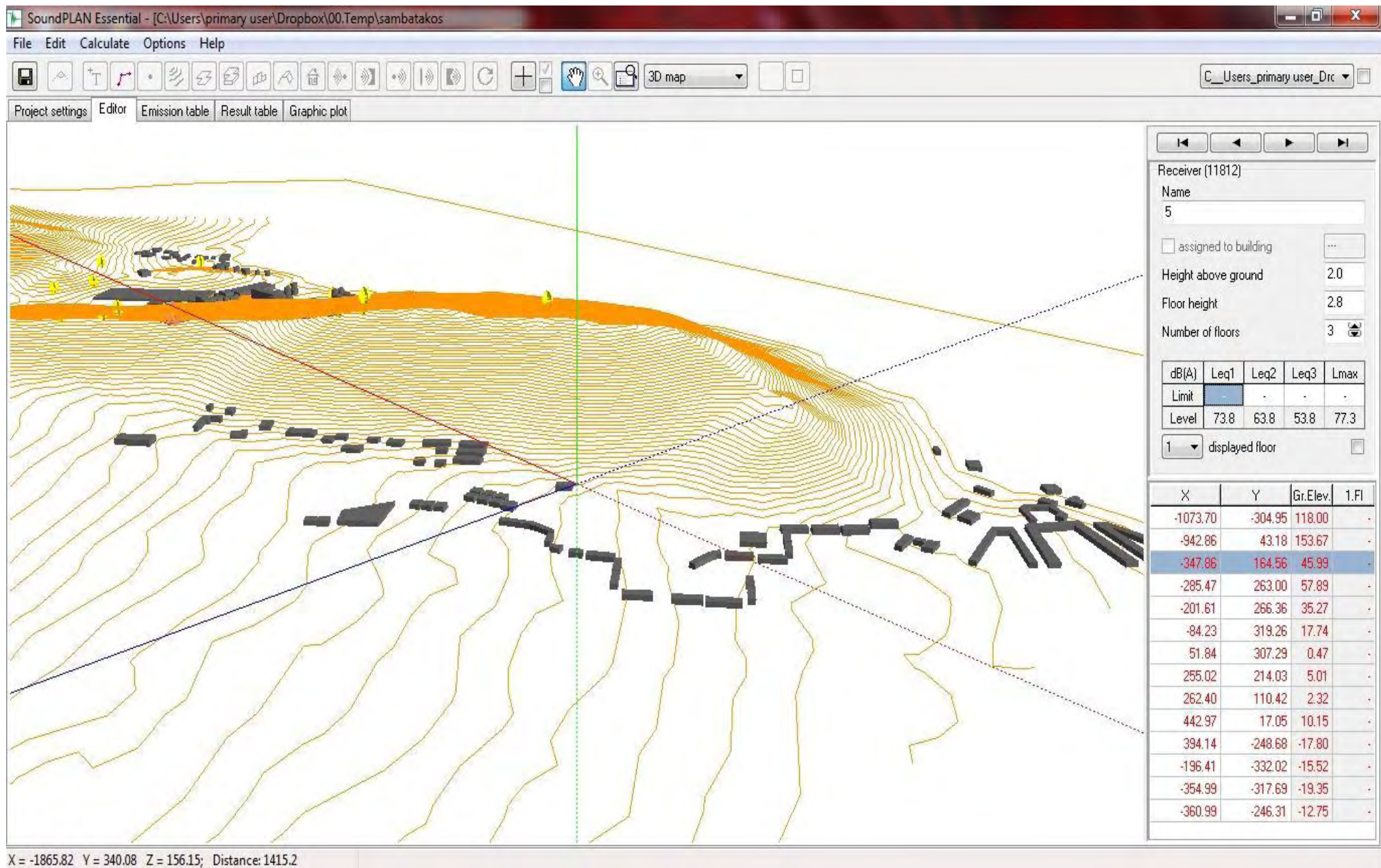
Εικόνα 65: Προοπτικό SoundPlan με πλέγμα εδάφους και σχεδιασμένα κτήρια εργοστασίου



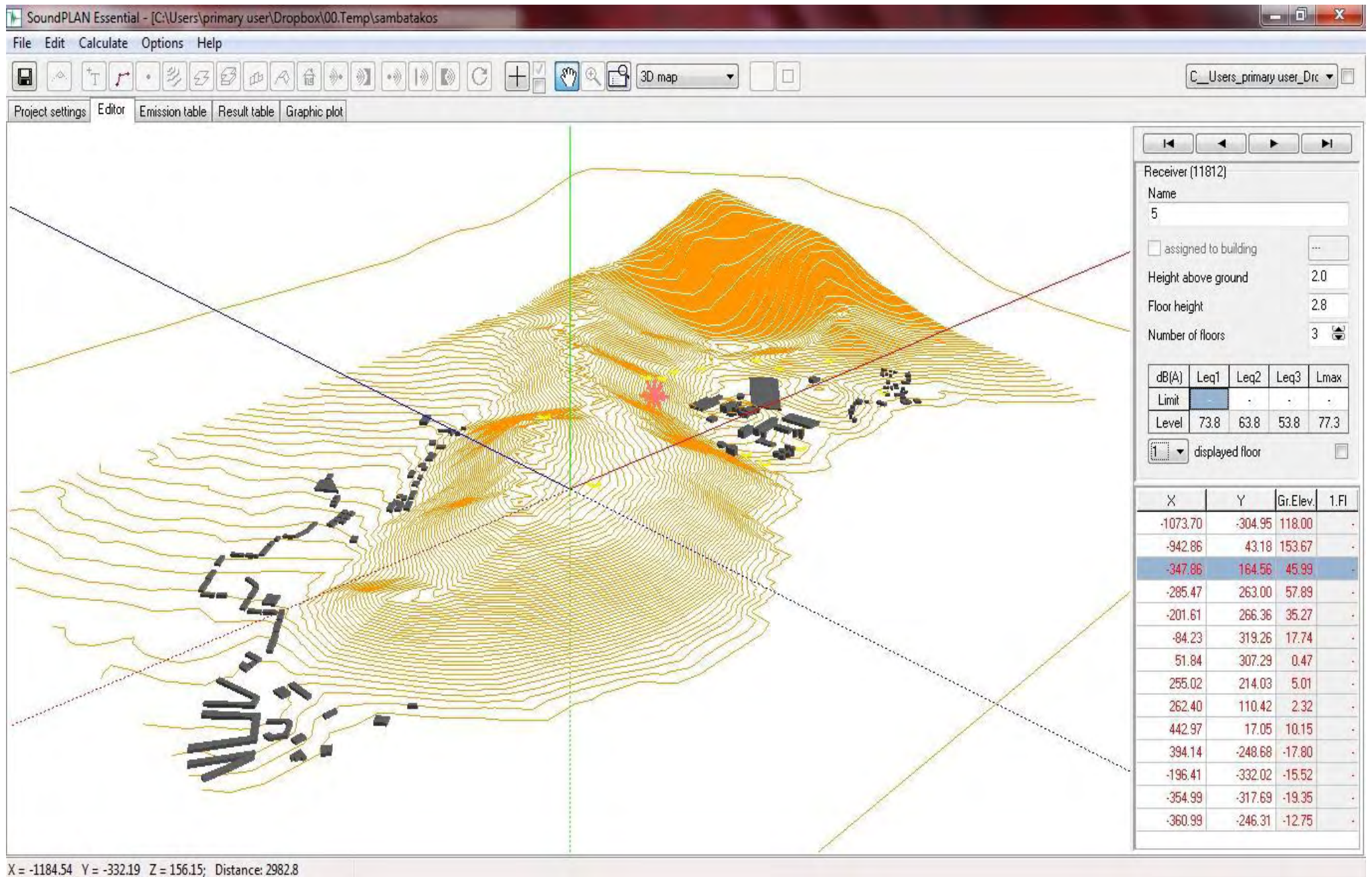
Εικόνα 66: Προοπτικό SoundPlan με ισοϋψείς και σχεδιασμένα κτήρια εργοστασίου



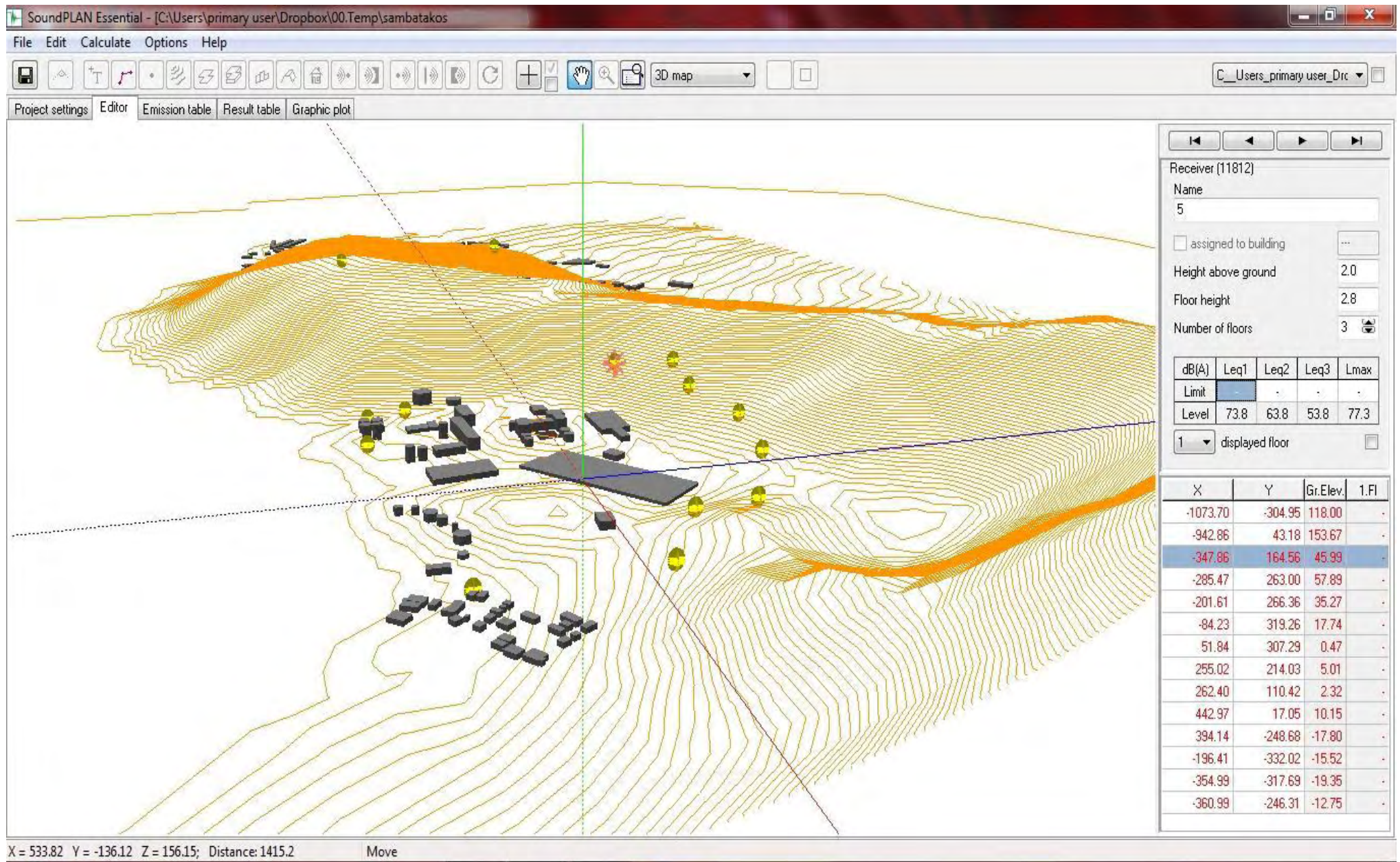
Εικόνα 67: Προοπτικό SoundPlan με ισοϋψείς και σχεδιασμένα κτήρια εργοστασίου και ορισμένα πόλεως από άλλη οπτική γωνία



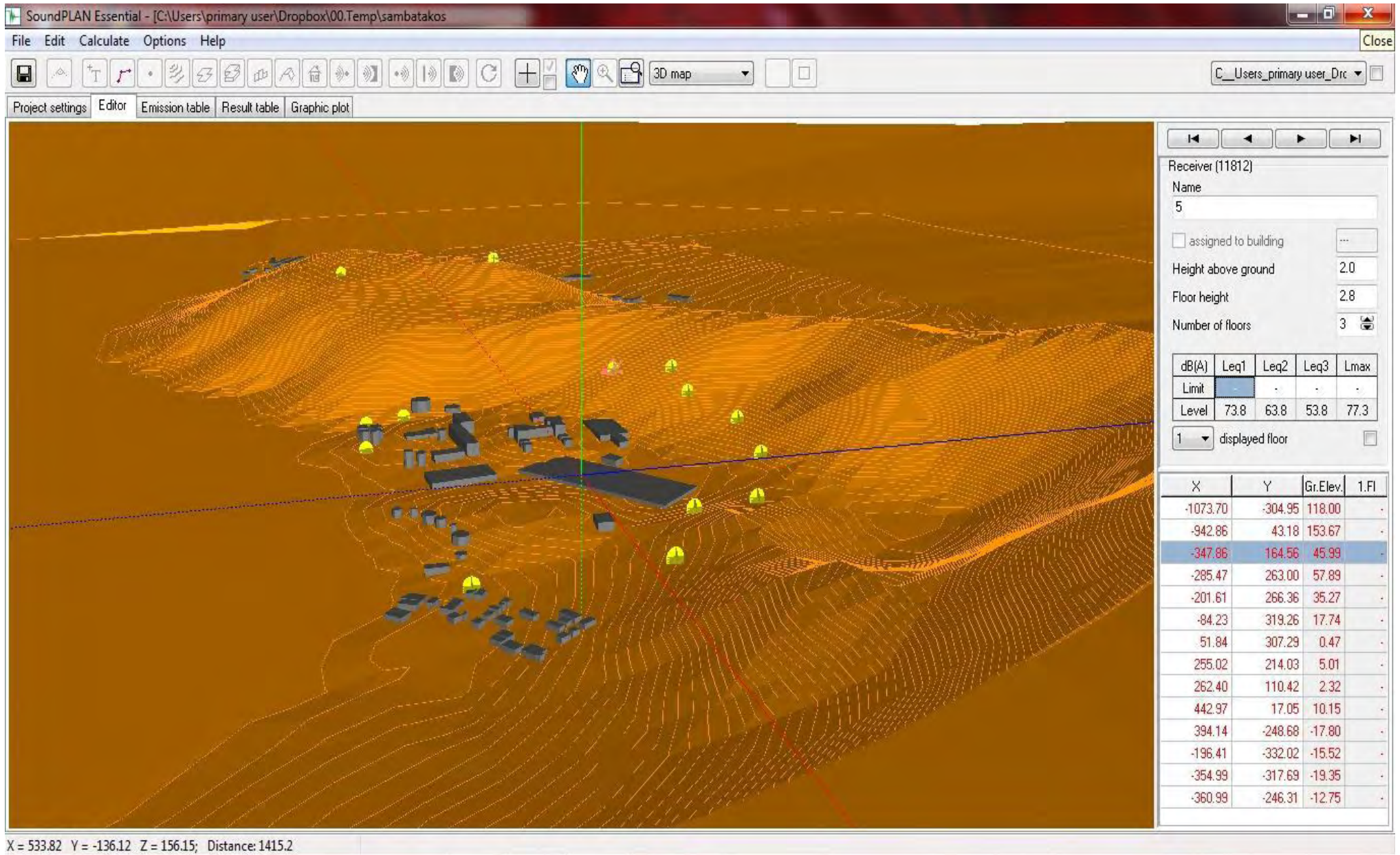
Εικόνα 68: Προοπτικό SoundPlan με ισοϋψείς και σχεδιασμένα κτήρια εργοστασίου και υπόλοιπα πόλεως από άλλη οπτική γωνία



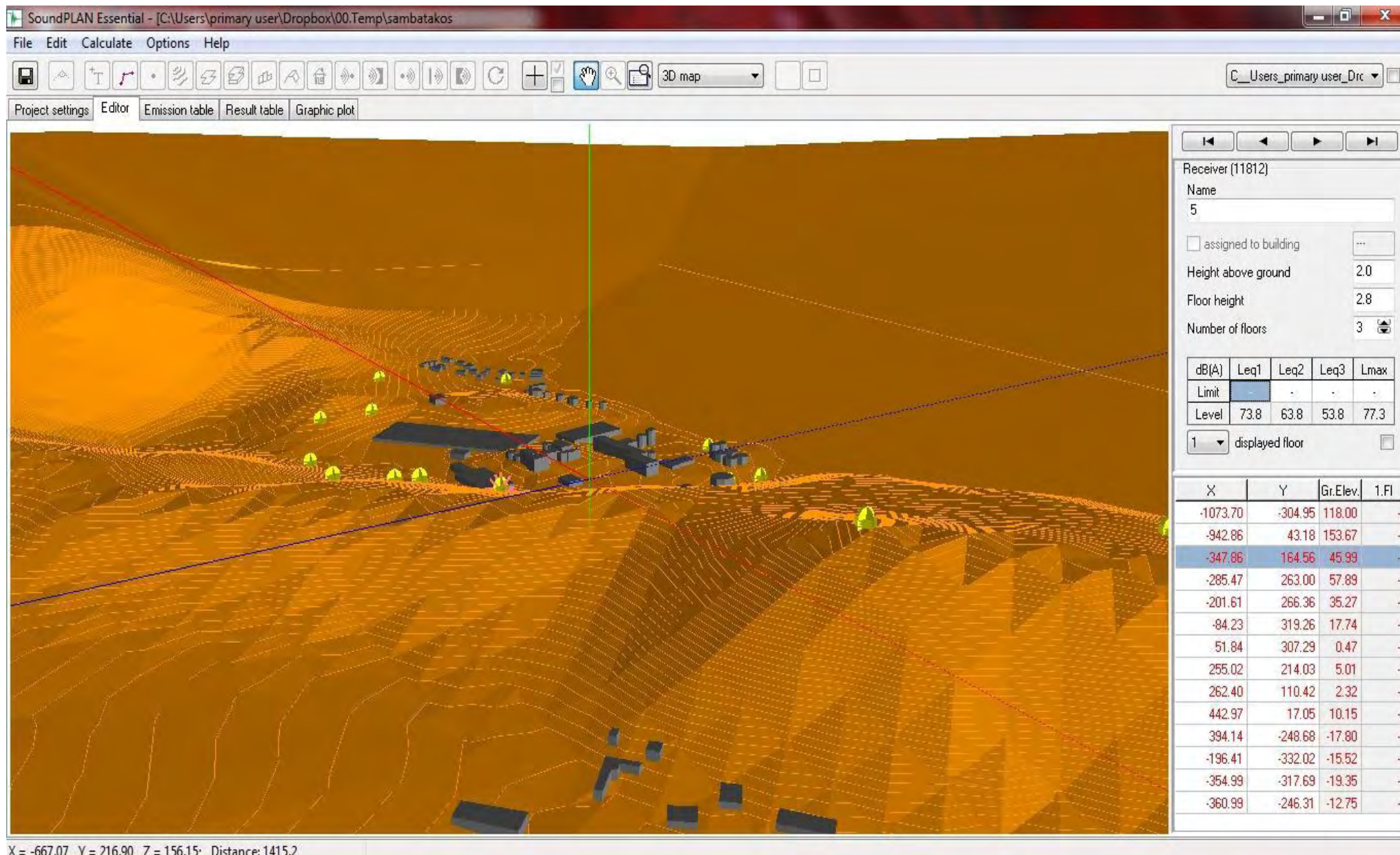
Εικόνα 69: Προοπτικό SoundPlan με ισοϋψείς και σχεδιασμένα κτήρια εργοστασίου και πόλεως από άλλη οπτική γωνία



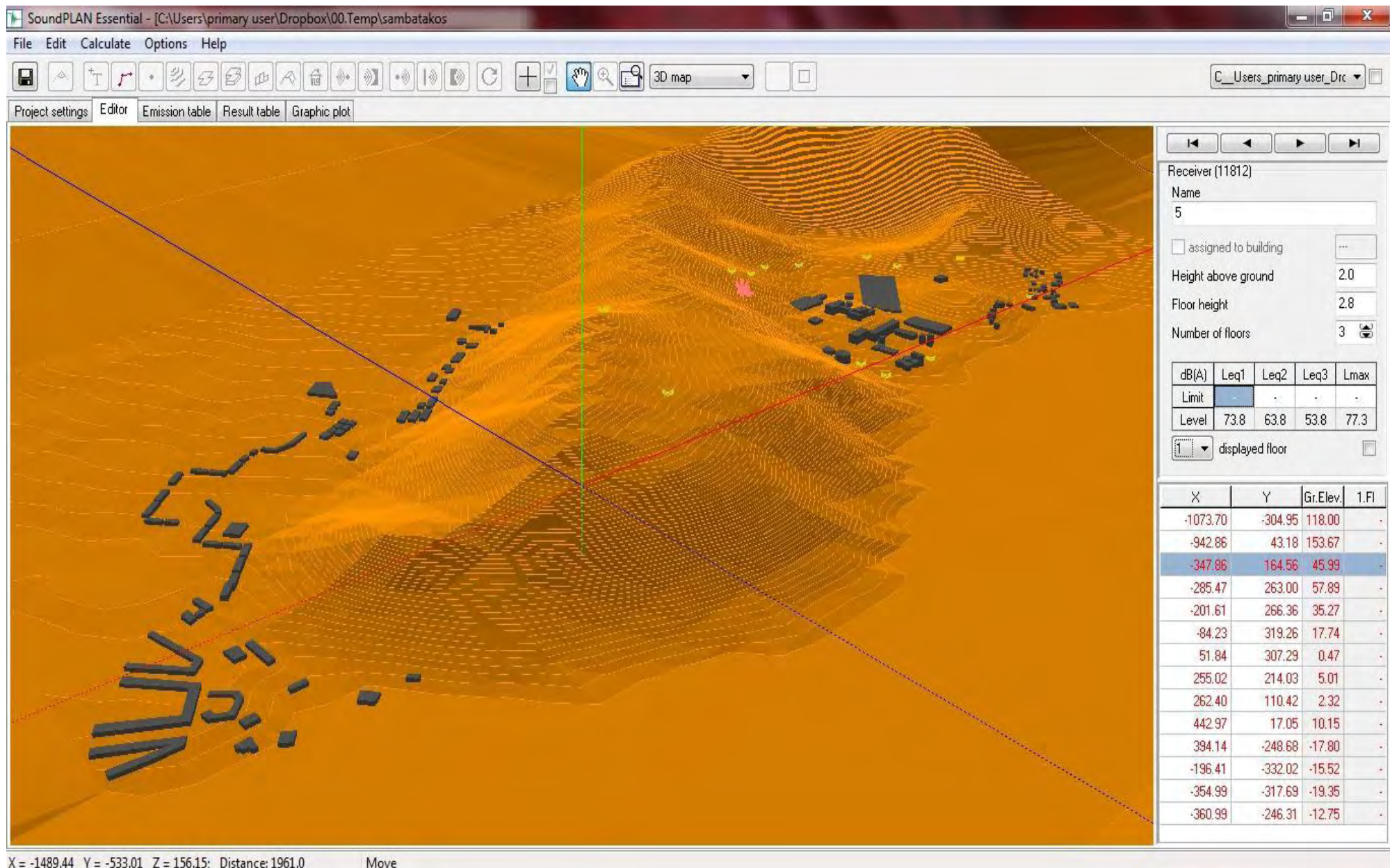
Εικόνα 70: Προοπτικό SoundPlan με ισοϋψείς και σχεδιασμένα κτήρια εργοστασίου και ορισμένα πόλεως από άλλη οπτική γωνία



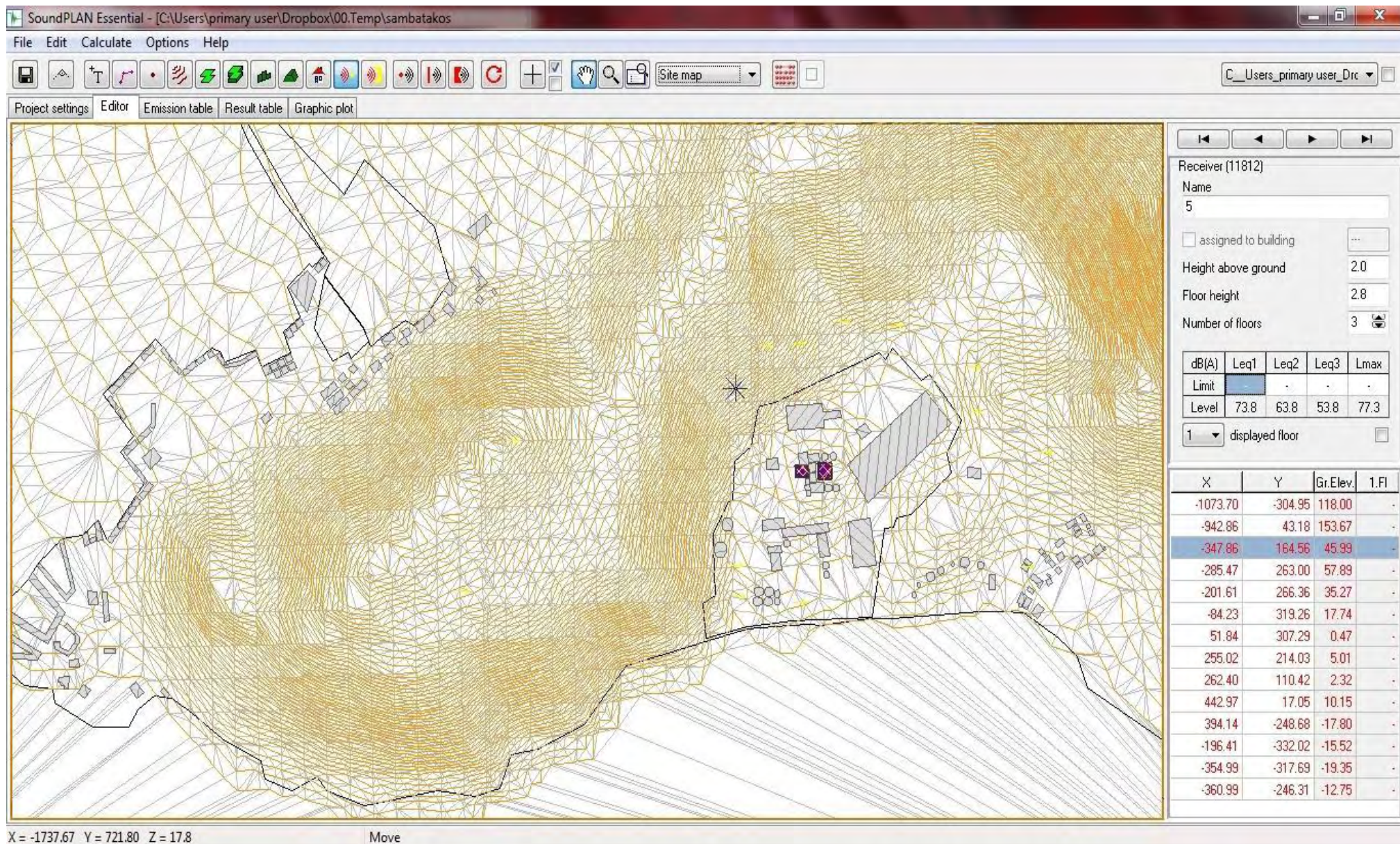
Εικόνα 71: Προοπτικό SoundPlan με ισοϋψείς, ανάγλυφο, σχεδιασμένα κτήρια εργοστασίου και ορισμένα πόλεως από άλλη οπτική γωνία



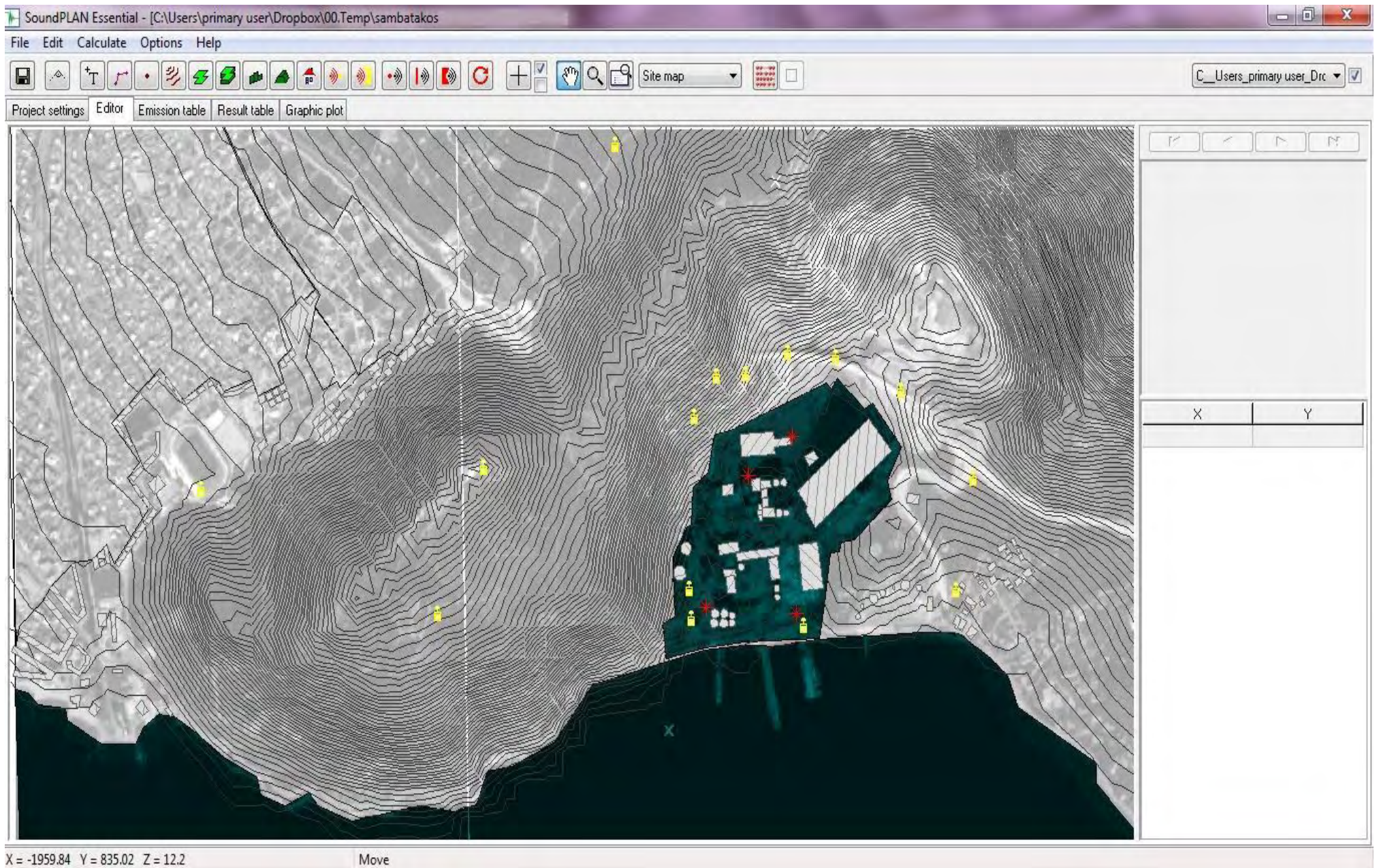
Εικόνα 72 Προοπτικό SoundPlan με ισοϋψείς, ανάγλυφο, σχεδιασμένα κτήρια εργοστασίου και ορισμένα πόλεως από άλλη οπτική γωνία



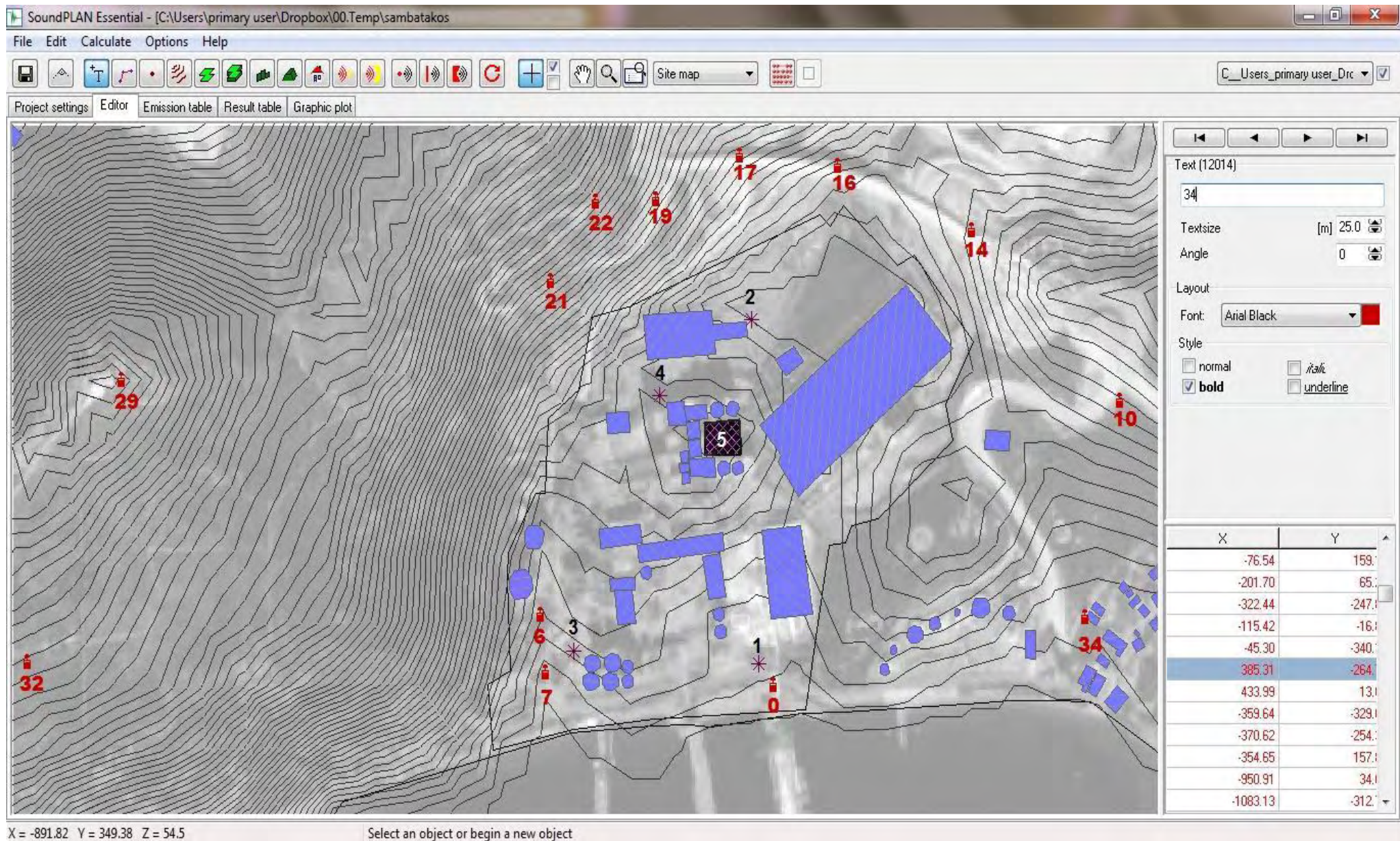
Εικόνα 73 Προοπτικό SoundPlan με ισοϋψείς, ανάγλυφο, σχεδιασμένα κτήρια εργοστασίου και πόλεως (άλλη όψη)



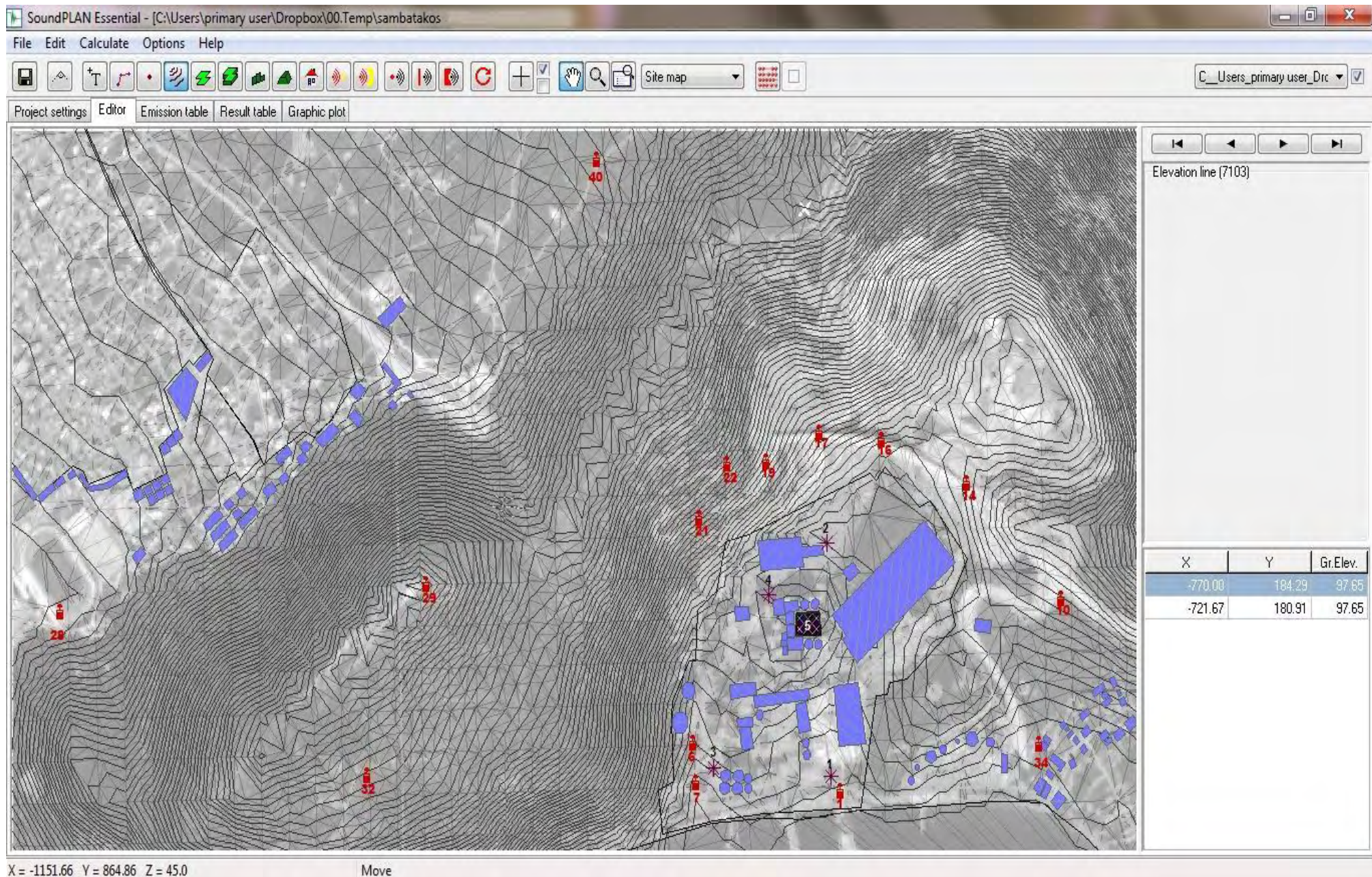
Εικόνα 74 Κάτοψη SoundPlan με ισοϋψείς, πλέγμα ανάγλυφου, σχεδιασμένα κτήρια εργοστασίου και πόλεως και περιοχές (βιομηχανική και οικιστική/μέσω «mitigation»)



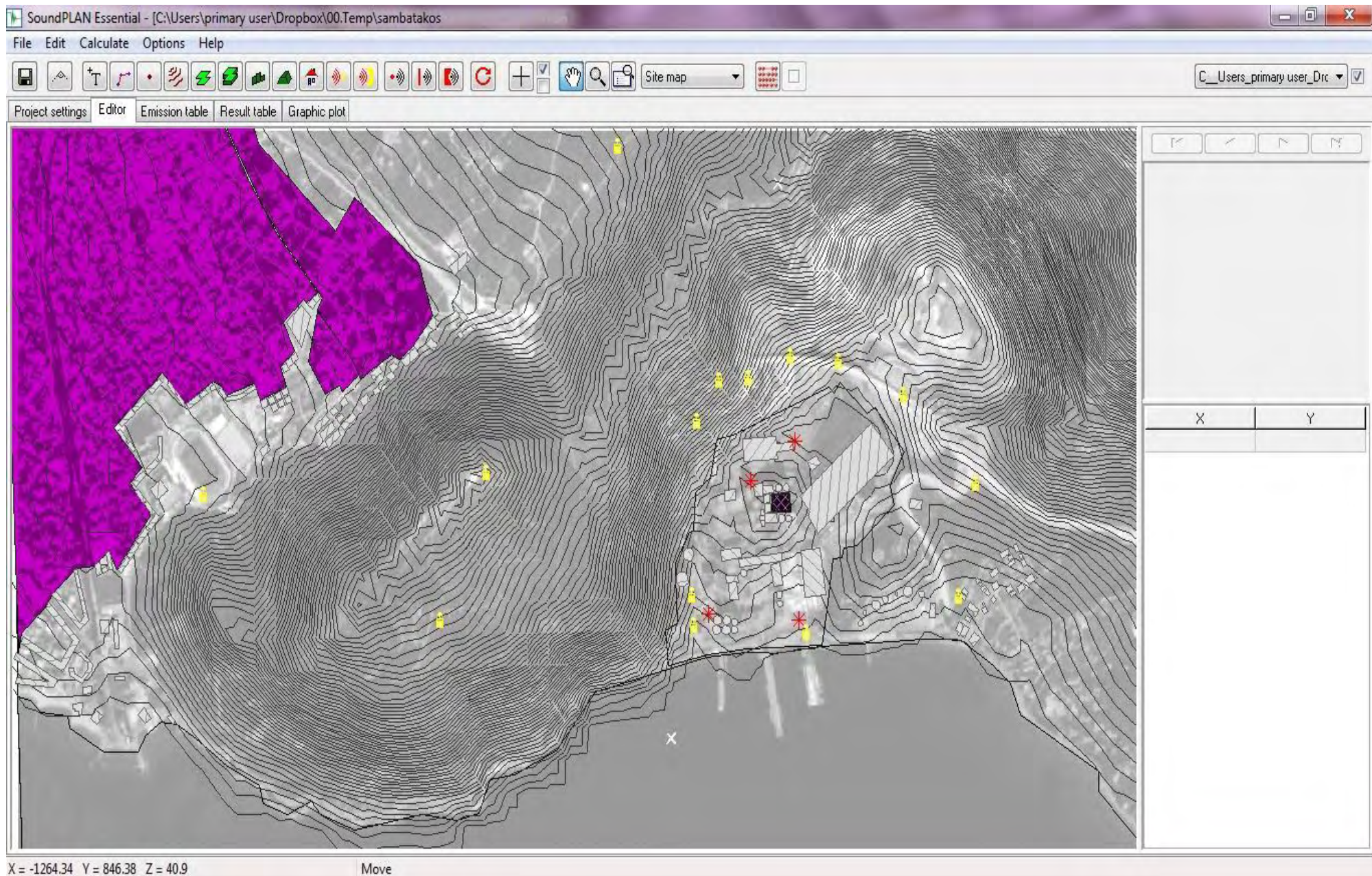
Εικόνα 75 Προοπτικό SoundPlan με ισοϋψείς και ανάγλυφο σχεδιασμένα κτήρια εργοστασίου και ορισμένα πόλεως από άλλη οπτική γωνία, όπου με σκούρο πράσινο σημειώνονται οι περιοχές με συντελεστή ανάκλασης 1



Εικόνα 76 Κάτοψη SoundPLAN με ισουψείς, bitmap από πίσω, σχεδιασμένα κτήρια εργοστασίου, πηγές και σημεία βαθμονόμησης



Εικόνα 77 Κάτοψη SoundPlan με ισουψείς, πλέγμα ανάγλυφου, bitmap από πίσω, σχεδιασμένα κτήρια εργοστασίου και πόλης, πηγές και σημεία βαθμονόμησης



Εικόνα 78: Κάτοψη SoundPlan με ισοϋψείς, bitmap, πλέγμα ανάγλυφου, κτήρια εργοστασίου και έγχρωμη (μωβ) οικιστική περιοχή μέσω εντολής «mitigation»

4.3.4.2 Ορισμός πηγών

Στη συνέχεια έγινε η προσομοίωση των πηγών, όπως περιληπτικά περιγράφηκε στην αρχή της εργασίας.

Δηλαδή με βάση τις μετρήσεις των 14 πιο κοντινών σημείων έγινε μια πρώτη εκτίμηση του πλήθους, του είδους, των θέσεων και της ηχητικής έντασης των πηγών. Με δεδομένες πλέον αυτές τις πηγές, το λογισμικό υπολόγισε το θόρυβο στα 14 πιο πάνω σημεία.

Με βάση τις αποκλίσεις που προέκυψαν για τα 14 αυτά σημεία ανάμεσα στα αποτελέσματα του λογισμικού και στις μετρήσεις, επανεκτιμήθηκαν όλα τα χαρακτηριστικά των πηγών.

Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε όσες φορές χρειάστηκε (**trial and error procedure**) μέχρι ελαχιστοποίησης των αποκλίσεων.

Στη διαδικασία αυτή βοήθησε ένα «εργαλείο» του SoundPlan που δείχνει τη συνεισφορά της κάθε πηγής σε κάθε σημείο βαθμονόμησης.

Τα αποτελέσματα αυτά ("source contribution") φαίνονται στον παρακάτω πίνακα [εικόνα 79] που δείχνει πόση ηχητική ένταση σε dB δέχονται τα 14 σημεία βαθμονόμησης από κάθε πηγή χωριστά:

Level	16	GF	65.3	29	GF	52.6
Source name	1		37.4	1		44.1
Leq1	2		64.1	2		48.1
dB(A)	4		58.5	4		48.6
0 GF 81.4	3		24.9	3		39.8
1 81.4	5		50.0	5		38.9
2 36.1	17	GF	66.0	32	GF	46.9
4 43.7	1		46.2	1		42.7
3 30.7	2		64.3	2		43.4
5 38.5	4		60.5	4		38.7
6 GF 65.9	3		33.1	3		27.7
1 53.6	5		51.9	5		25.5
2 35.0	19	GF	68.2	34	GF	49.0
4 60.5	1		49.1	1		43.4
3 64.0	2		64.5	2		35.9
5 32.5	4		65.6	4		37.5
7 GF 66.2	3		42.5	3		33.8
1 36.0	5		51.6	5		46.6
2 34.1	21	GF	68.8	40	GF	34.4
4 49.1	1		47.9	1		20.6
3 66.1	2		61.9	2		30.4
5 31.8	4		67.7	4		30.9
10 GF 56.1	3		47.7	3		17.5
1 48.7	5		45.6	5		23.6
2 40.2	22	GF	66.6			
4 53.4	1		47.0			
3 32.8	2		62.5			
5 50.0	4		64.2			
14 GF 61.8	3		45.8			
1 44.4	5		49.4			
2 59.6						
4 56.5						
3 29.2						
5 51.3						

[εικόνα 79]: Πίνακας "source contribution"

Έτσι επιτεύχθηκε ακρίβεια $\leq \pm 1$ dB σε 11 από τις 14 πηγές (78,6%).

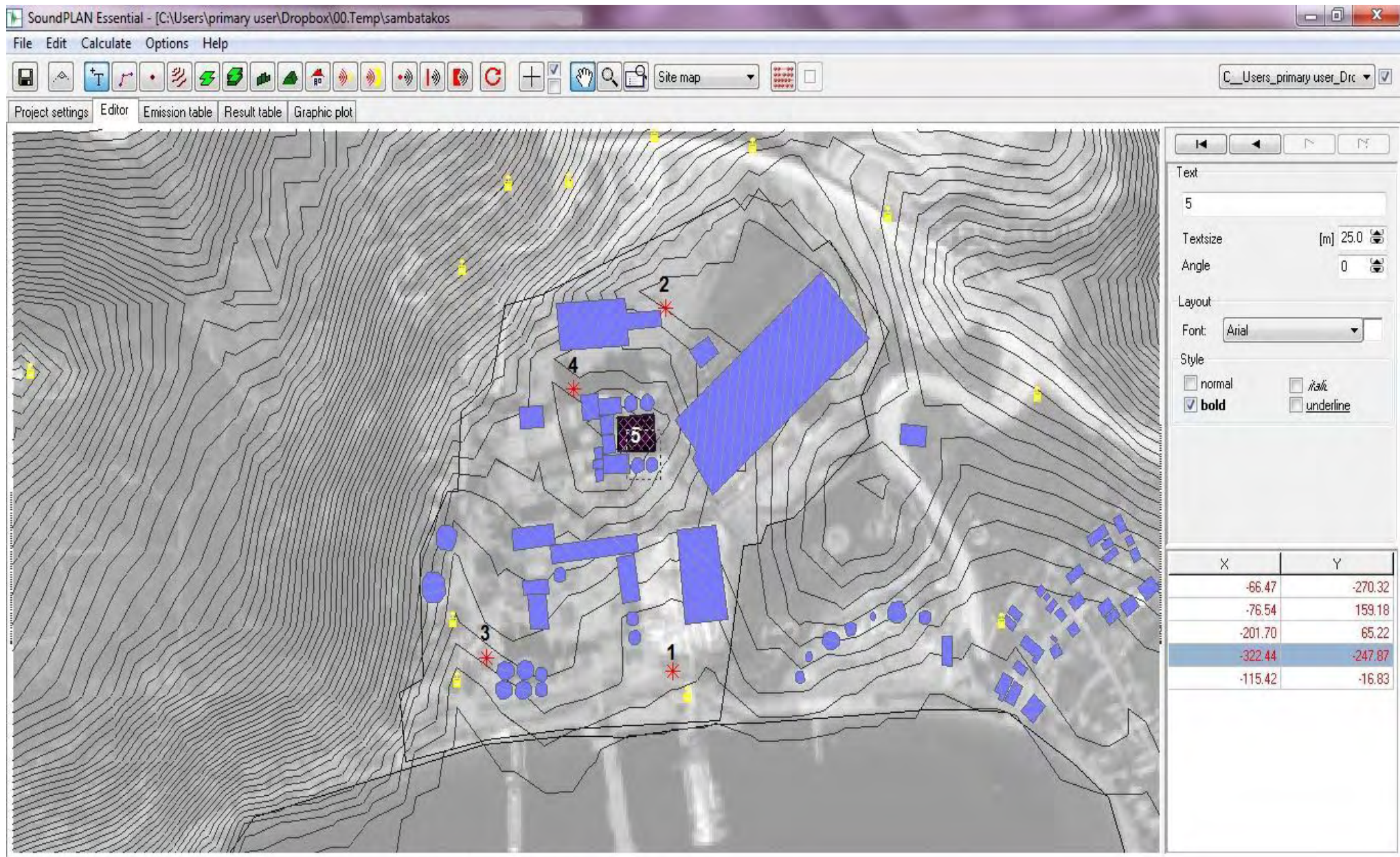
Τελικά ορίστηκαν οι πηγές κατά θέση, είδος και ένταση, όπως φαίνονται στις επόμενες τρεις εικόνες 81-83 και στον παρακάτω πίνακα [εικόνα 80] από το SoundPlan:

Source name	Level				Corrections				
	Leq1 dB (A)	Leq2 dB (A)	Leq3 dB (A)	Lmax dB (A)	Reference dB (A)	Kwall dB (A)	CI	CT	
5	80.0	-1000.0	-1000.0	-1000.0	0.0	Meter	3.0	0.0	0.0
1	118.0	-1000.0	-1000.0	-1000.0	0.0	Unit	0.0	0.0	0.0
2	119.0	-1000.0	-1000.0	-1000.0	0.0	Unit	3.0	0.0	0.0
3	108.5	-1000.0	-1000.0	-1000.0	0.0	Unit	3.0	0.0	0.0
4	121.0	-1000.0	-1000.0	-1000.0	0.0	Unit	3.0	0.0	0.0

[εικόνα 80]

Δηλαδή:

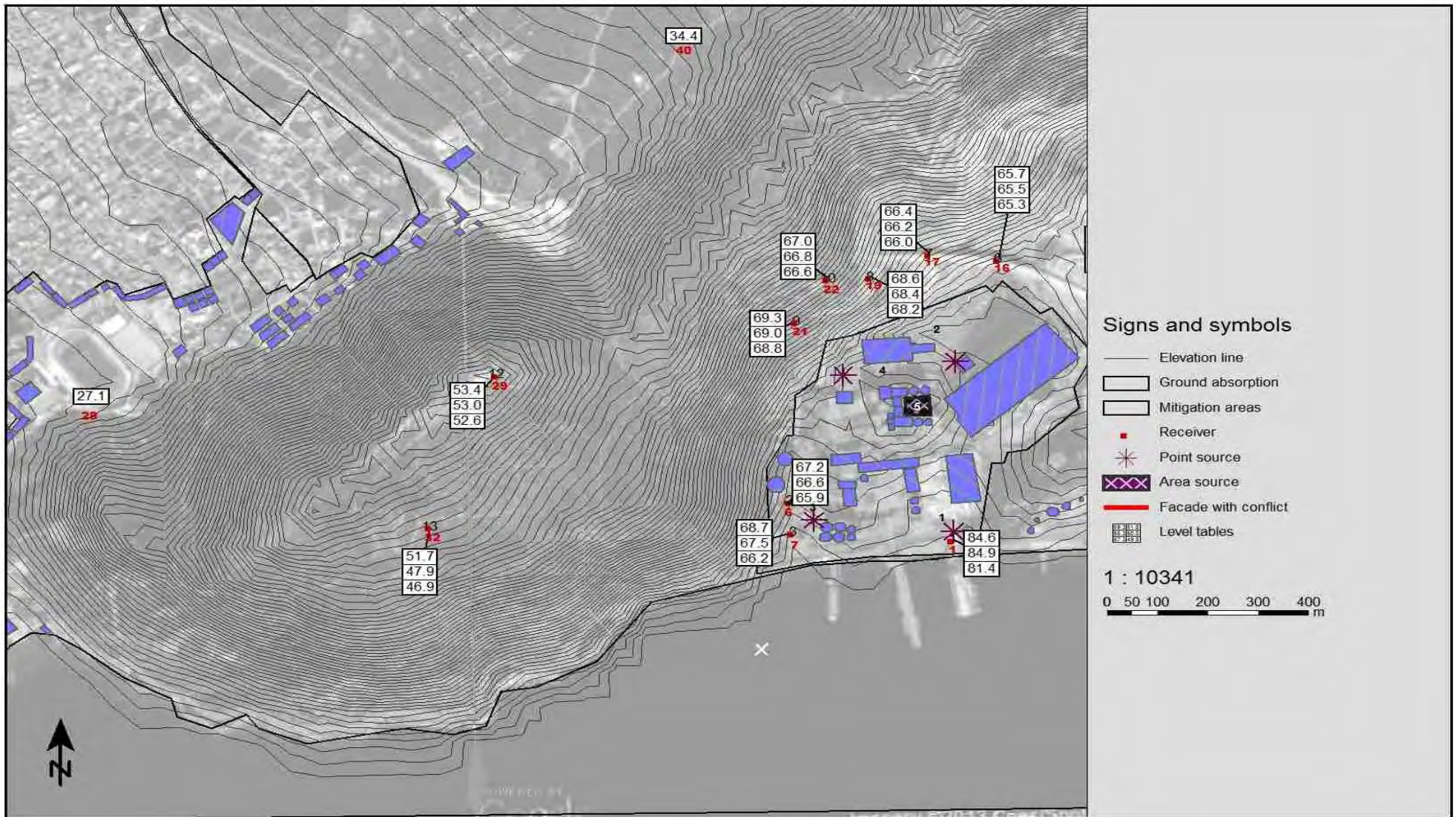
- Πηγή 1, σημειακή, έντασης 118 dB(A)
- Πηγή 2, σημειακή, έντασης 119 dB(A)
- Πηγή 3, σημειακή, έντασης 108.5 dB(A)
- Πηγή 4, σημειακή, έντασης 121 dB(A)
- Πηγή 5, επιφανειακή, έντασης 80 dB(A)



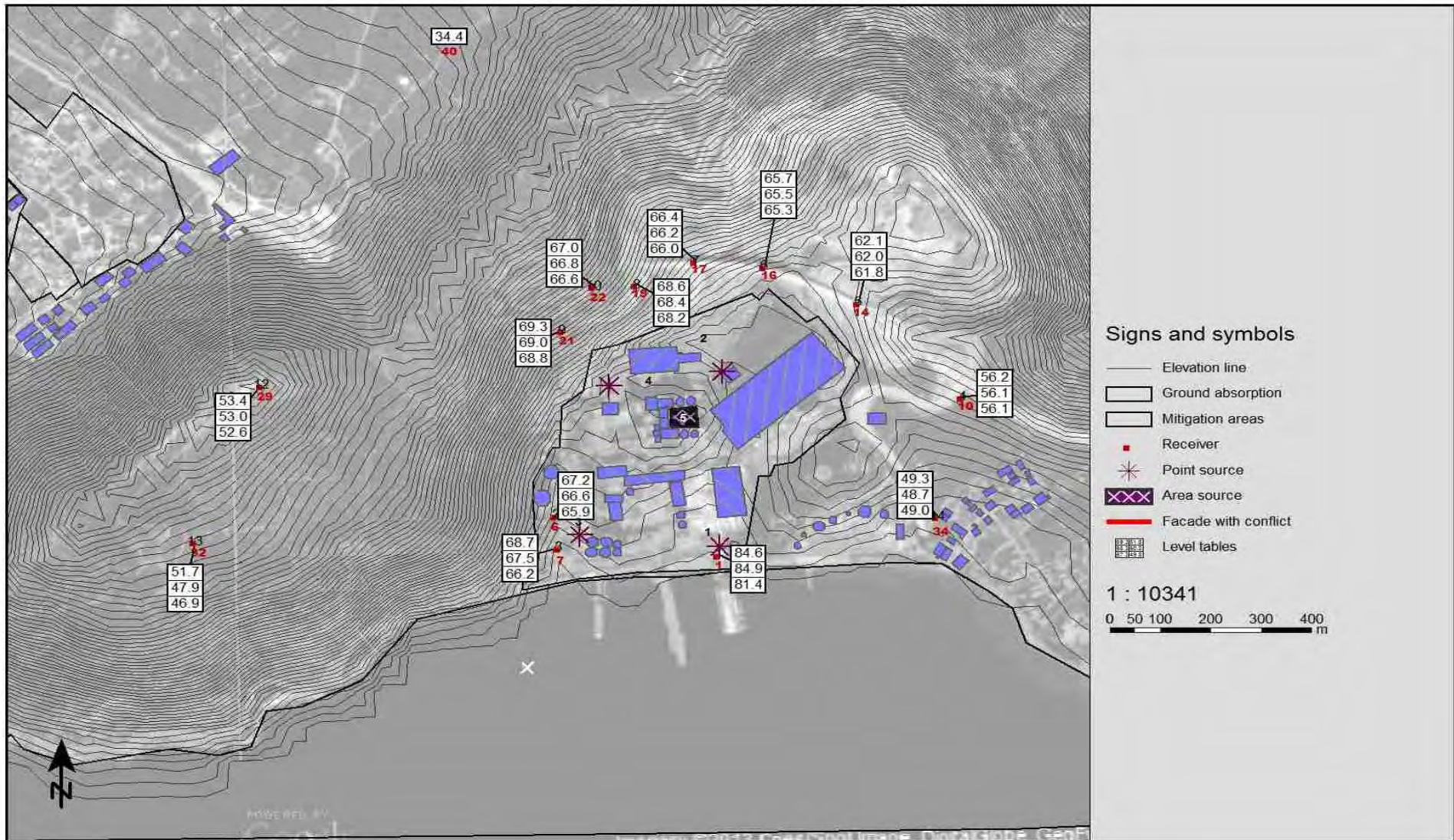
X = 608.33 Y = 264.83 Z = 36.8

Select an object or begin a new object

Εικόνα 81: Κάτοψη περιοχής εργοστασίου με τις 5 πηγές (1-5)



Εικόνα 82: Κάτοψη περιοχής εργοστασίου με τα αποτελέσματα της επιτυχούς επιλογής πηγών όπως αποδεικνύεται από τις τιμές στα σημεία βαθμονόμησης

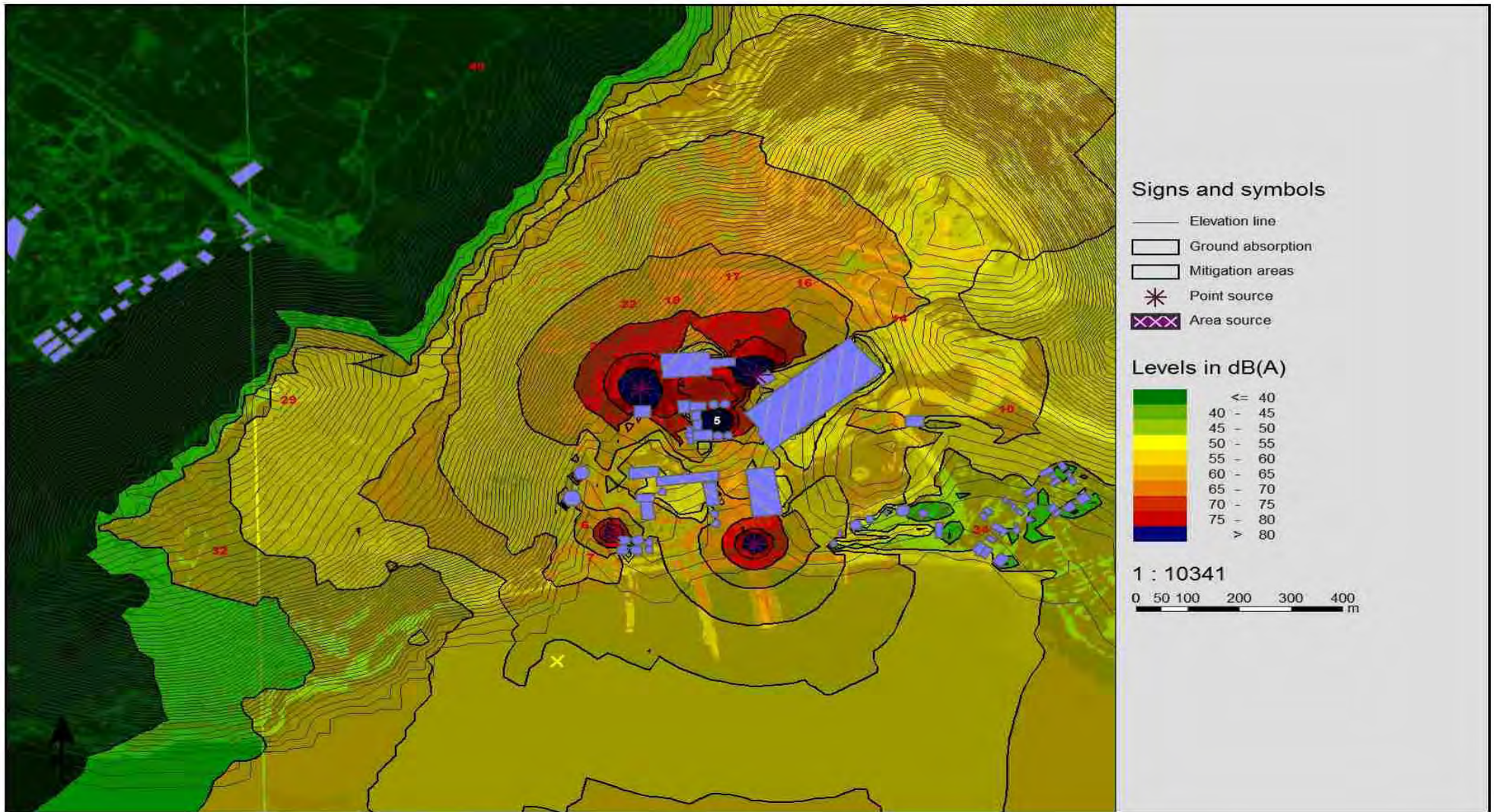


Εικόνα 83: Κάτοψη ευρύτερης περιοχής με τα αποτελέσματα της επιτυχούς επιλογής πηγών όπως αποδεικνύεται από τις τιμές στα σημεία βαθμονόμησης (σε άλλη κλίμακα)

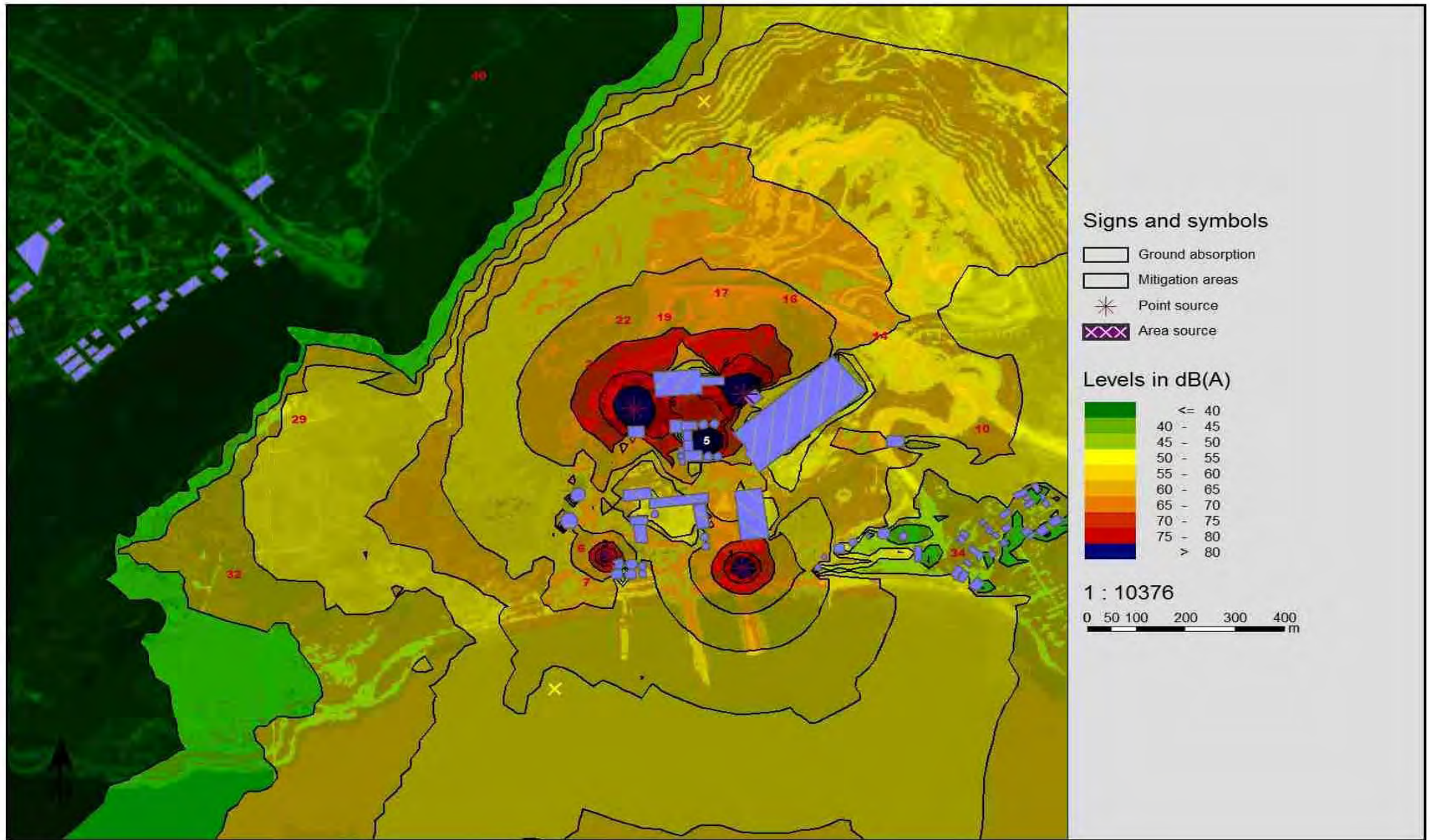
Ο ανωτέρω τελικός αυτός ορισμός των πηγών χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση θορύβου (noise mapping).

4.3.4.3 Εκτέλεση λογισμικού για τελική χαρτογράφηση

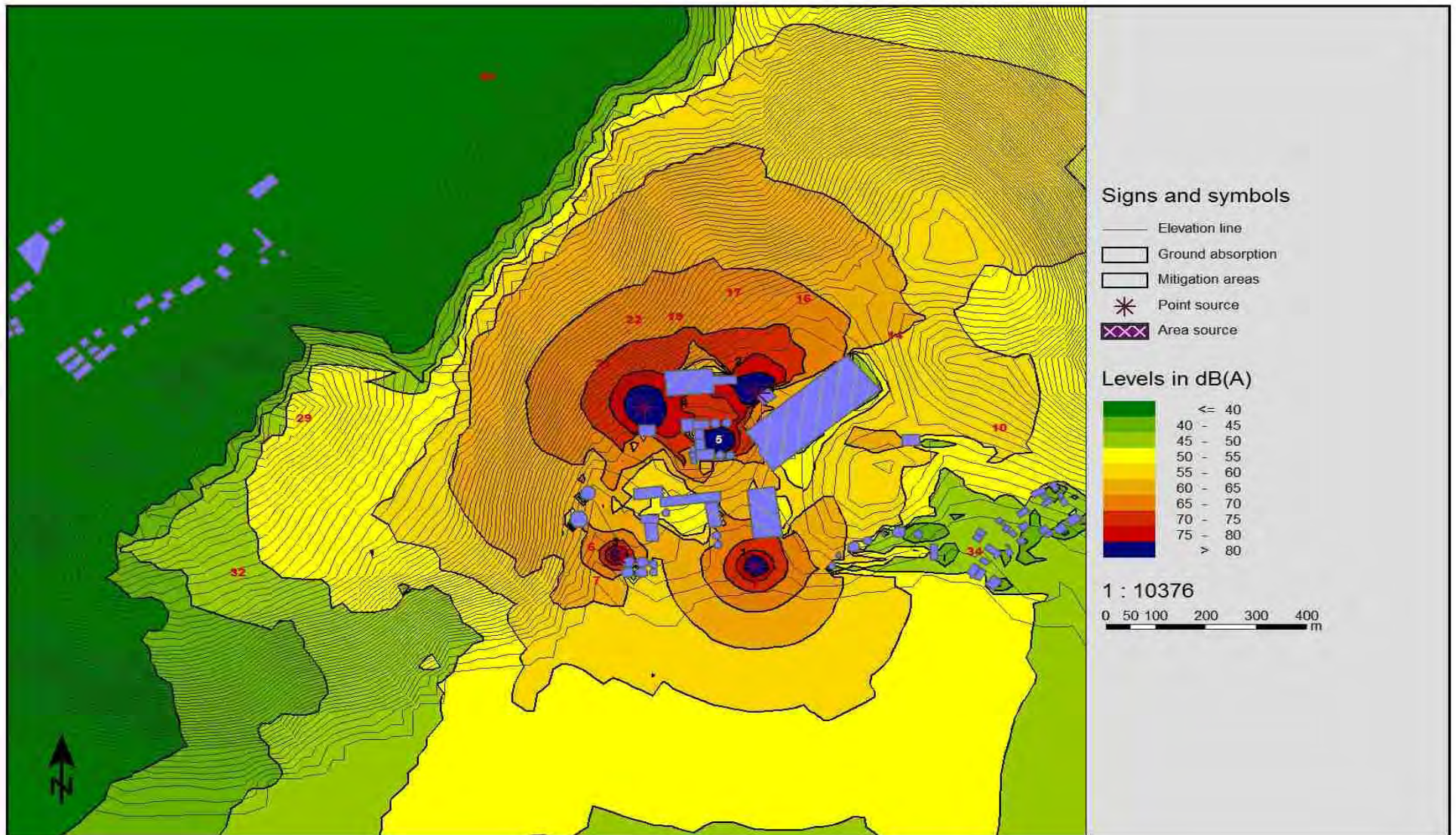
Η εργασία αυτή χρειάστηκε αρκετές ώρες, τα αναλυτικά αποτελέσματα της οποίας φαίνονται παραστατικά στις επόμενες εικόνες 84-90.



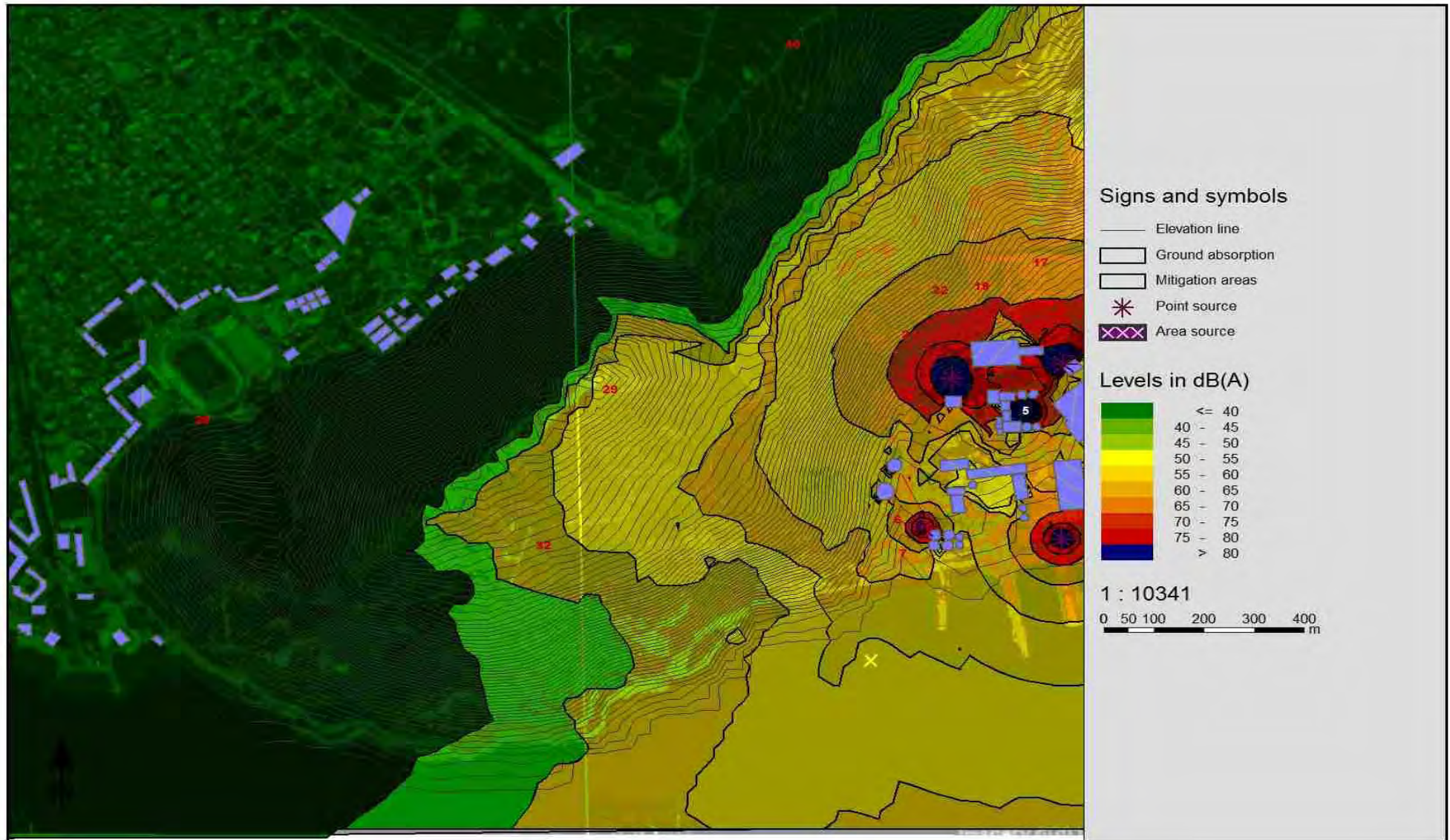
Εικόνα 84: Κάτοψη ευρύτερης περιοχής με τα αποτελέσματα χαρτογράφησης θορύβου (με ισοϋψείς και bitmap περιοχής)



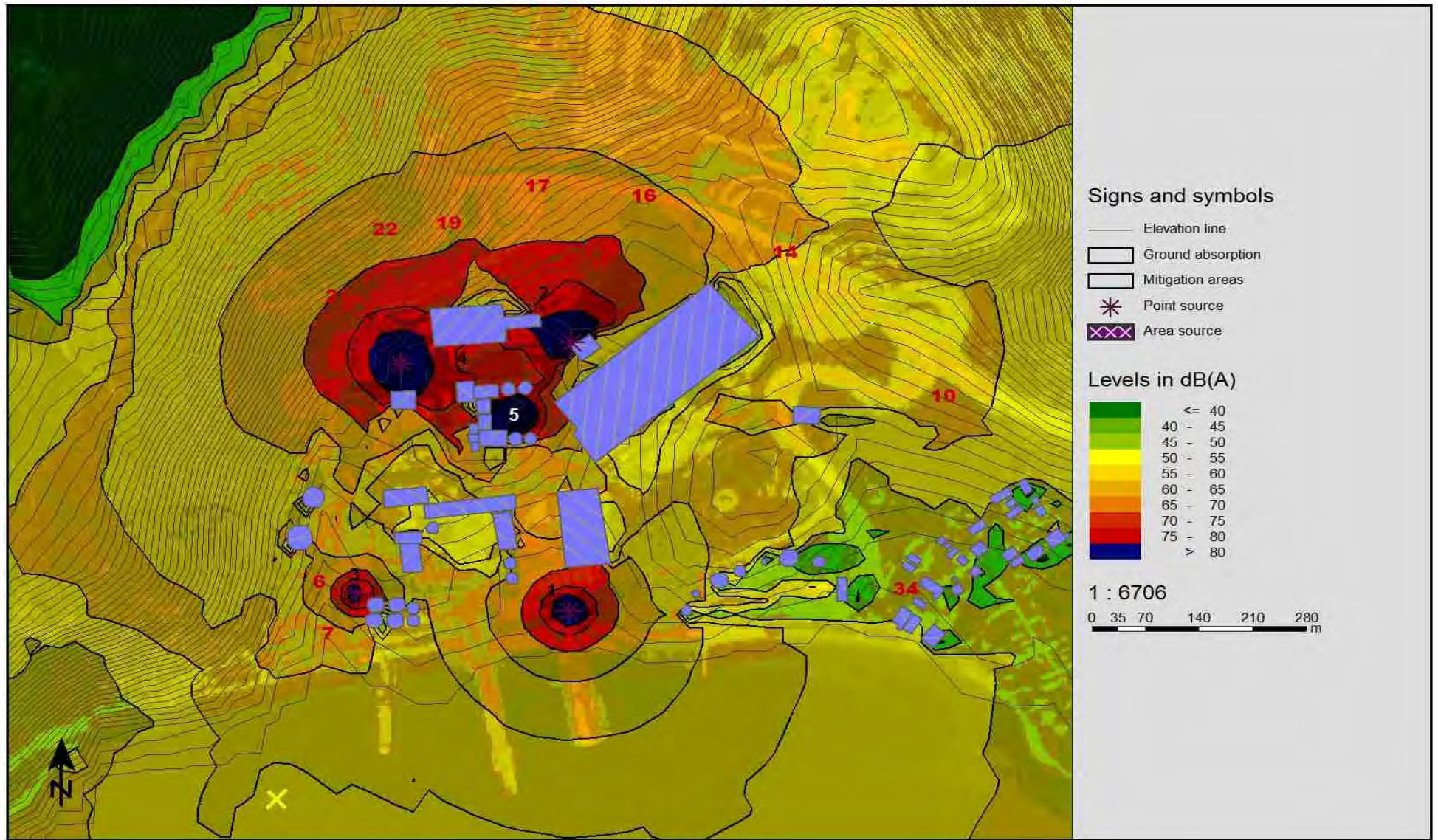
Εικόνα 85: Κάτοψη ευρύτερης περιοχής με αποτελέσματα χαρτογράφησης θορύβου (χωρίς ισοϋψείς, αλλά με bitmap περιοχής)



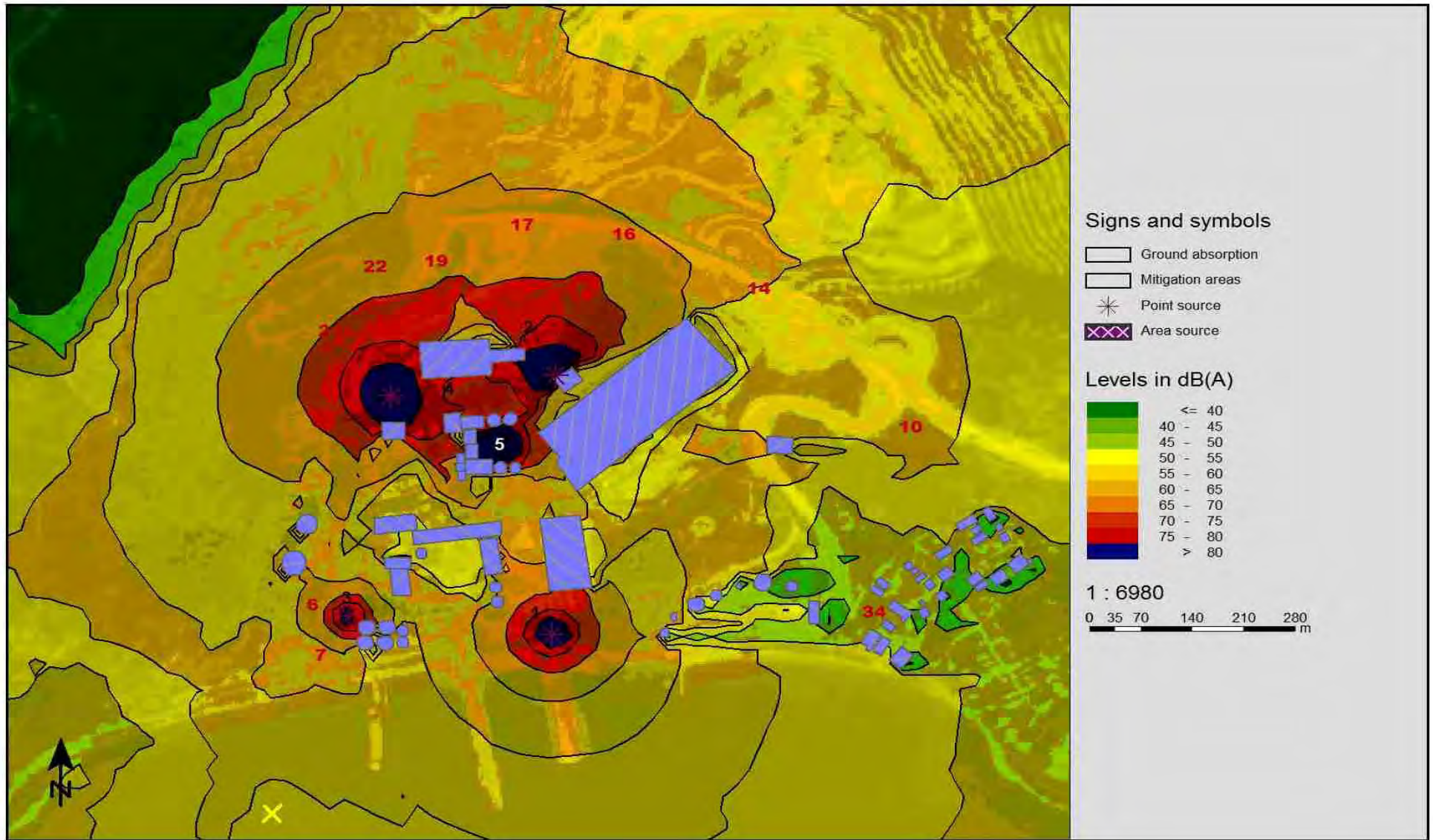
Εικόνα 86: Κάτοψη ευρύτερης περιοχής με αποτελέσματα χαρτογράφησης θορύβου (με ισοϋψείς, αλλά χωρίς bitmap περιοχής)



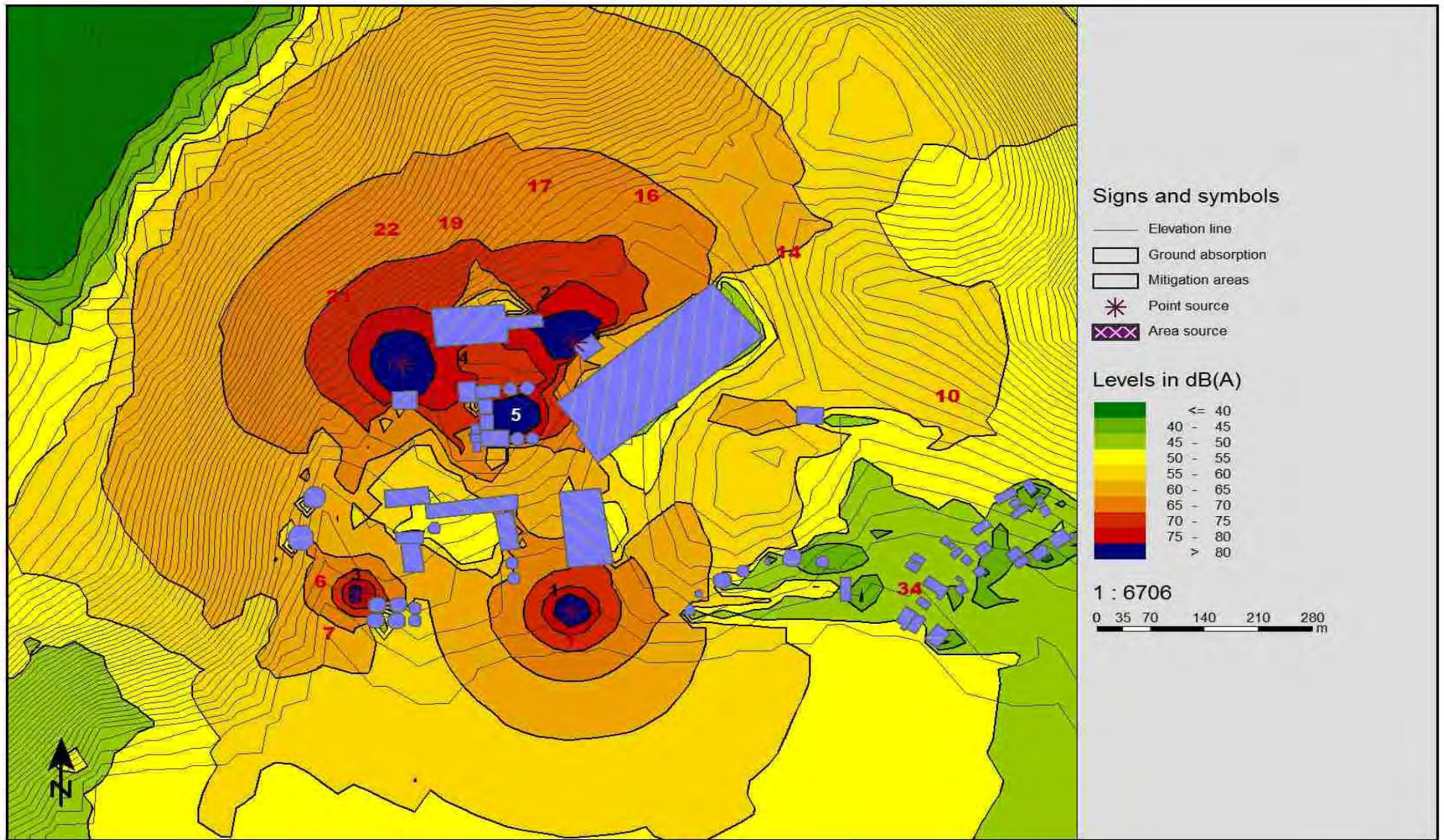
Εικόνα 87: Κάτοψη ευρύτερης δυτικής περιοχής με αποτελέσματα χαρτογράφησης θορύβου (με ισοϋψείς και bitmap περιοχής)



Εικόνα 88: Κάτοψη εργοστασίου+ανατολικής περιοχής με αποτελέσματα χαρτογράφησης (με ισοϋψείς και bitmap περιοχής)



Εικόνα 89: Κάτοψη εργοστασίου/ανατολικής περιοχής με αποτελέσματα χαρτογράφησης θορ. (χωρίς ισοϋψείς, αλλά με bitmap)



Εικόνα 90: Κάτοψη εργοστασίου/ανατολικής με αποτελέσματα χαρτογρ. θορύβου (με ισοϋψείς, αλλά χωρίς bitmap περιοχής)

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούν να σχολιασθούν από δύο απόψεις:

A) Ως προς την επιτυχία της επιλεχθείσας μεθόδου υπολογισμού

και

B) Ως προς την καθ' ευτού ηχητική περιβαλλοντική επιβάρυνση της περιοχής από το εργοστάσιο.

Ως προς το A:

Κατ' αρχήν, ήδη στη φάση της επιλογής των πηγών υπήρξε ισχυρή ένδειξη ορθότητας της μεθόδου, λόγω της επιβεβαίωσης των μετρημένων σταθμών θορύβου σε μεγάλο ποσοστό (78,6%) για τα «βαθμονομικά σημεία».

Η 2^η επιβεβαίωση προέκυψε από το γεγονός ότι οι στάθμες θορύβου των μη βαθμονομικών σημείων μέτρησης επιβεβαιώνονται από αυτές που υπολόγισε το SoundPlan για τις ίδιες θέσεις ως εξής:

Αν ληφθούν υπ' όψιν μόνο τα 13 σημεία μέτρησης της ομάδας 4 (δες Κεφάλαιο 4.3.3.3), στα οποία κατά τη μέτρηση δεν υπήρξαν «παρεμβολές», τότε η επιτυχία είναι 100%, αφού όλα αυτά τα σημεία «πέφτουν μέσα» στα όρια των ζωνών ανά 5dB που παρέχει το SoundPlan.

Μόνο αν ληφθούν υπ' όψιν και τα 10 σημεία μέτρησης της ομάδας 2 (δες Κεφάλαιο 4.3.3.3, σελίδα 87), στα οποία κατά τη μέτρηση υπήρξαν «παρεμβολές», μειώνεται το ποσοστό επιτυχίας στο 57%.

Τελικά βέβαια και αυτό το αποτέλεσμα είναι θετικό, γιατί αποτελεί υπολογιστική επιβεβαίωση της δισαιθητικής αναγνώρισης των μετρήσεων αυτών τη στιγμή που ελήφθησαν σαν «μη αξιόπιστες».

Ως προς το B:

Τα **αποτελέσματα** χαρτογράφησης θορύβου έδειξαν τα εξής:

Περιοχή βόρεια του εργοστασίου:

Εδώ υπάρχει η μέγιστη επιβάρυνση, ιδίως δε σε αποστάσεις έως 300 μ. όπου έχουμε ένταση της τάξεως μέχρι και 75 dB.

Περιοχή νότια του εργοστασίου:

Και εδώ υπάρχει πολύ μεγάλη επιβάρυνση της τάξεως μέχρι και 70 dB.

Δυτικά δεν έχουμε καθόλου επιπτώσεις (στάθμες σαφώς κάτω των 40 dB).

Ανατολικά, στις γειτονικές περιοχές, μέχρι τα πρώτα 500 μ, υπάρχουν στάθμες της τάξης των 40-50 dB σε «εκτεθειμένες» θέσεις (που δεν καλύπτονται/προστατεύονται από ψηλά κτήρια), αλλά και πιο μακριά αναμένονται στάθμες μεγαλύτερες των δυτικών περιοχών, διότι η γεωμορφολογία «δε βοηθάει», μη παρέχοντας σχεδόν καμία «κάλυψη».

Πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι στα όρια του εργοστασίου δεν ξεπερνιούνται τα όρια που θέτουν, οι σχετικοί για τέτοιες περιοχές κανονισμοί, ιδίως του Π.Δ. 1180/81, το οποίο προβλέπει τα εξής:

http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/293-81.1113378960319.pdf

Τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια θορύβου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Περιοχή	Ανώτατο όριο θορύβου dB(A)
Νομοθετημένες βιομηχανικές περιοχές	70
Περιοχές στις οποίες επικρατεί το βιομηχανικό στοιχείο	65
Περιοχές στις οποίες επικρατεί εξ ίσου το βιομηχανικό και το αστικό στοιχείο	55
Περιοχές στις οποίες επικρατεί το αστικό στοιχείο	50

Σημειώνεται ότι το επιτρεπόμενο όριο μετράται στο όριο του γηπέδου στο οποίο λειτουργεί το εργοτάξιο. Για τις εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε επαφή με κατοικημένα κτήρια, το ανώτατο όριο καθορίζεται σε 45 dB(A), ανεξαρτήτως της περιοχής που βρίσκεται η εγκατάσταση, μετρούμενο εντός του κατοικημένου κτίσματος με ανοιχτή πόρτα και παράθυρα.

Μετρήθηκαν βέβαια στάθμες μέχρι 78,8 dB $L_{eq}(A)$ στα όρια του εργοστασίου (μετρητικό σημείο 8), αλλά λόγω σοβαρής επιβάρυνσης από κυκλοφορακό θόρυβο από την άμεσα γειτνιάζουσα επαρχιακή οδό, δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα χωρίς μέτρηση με αποκλεισμό του κυκλοφοριακού θορύβου.

Είναι προφανές ότι θα ήταν εξαιρετικά ενδιαφέρον να γίνουν μετρήσεις με το εργοστάσιο off, τα αποτελέσματα των οποίων θα βοηθούσαν στη διάκριση της συνεισφοράς του θορύβου φόντου στο συνολικό μετρούμενο αποτέλεσμα.

5.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Ευτυχώς νότια μεν υπάρχει μόνο θάλασσα, βόρεια δε βρίσκεται το εργοτάξιο της νέας περιφερειακής οδού Βόλου (η οποία επίσης θα παράγει, αυτή καθ' εαυτή, το δικό της θόρυβο) και ευτυχώς κανένας οικισμός. Έτσι δεν υπάρχουν επιπτώσεις σε ανθρώπους.

Δυτικά, όπου έχουμε πυκνό αστικό ιστό και θα μπορούσαν να υπάρχουν σοβαρές επιπτώσεις, ευτυχώς παρεμβάλλεται, με ιδανική σχεδόν μορφολογία από βορρά προς νότο, ο λόφος Γορίτσα, ύψους 170 μ., με αποτέλεσμα κανένα σημείο κατοικημένης αστικής περιοχής να μην ξεπερνά την ένταση των 40 dB, δηλαδή τον αναμενόμενο συνήθη θόρυβο μιας πόλης.

Ανατολικά του εργοστασίου η μορφολογία του εδάφους (έλλειψη βουνού και μεγάλο τμήμα θάλασσας) ευνοεί, δυστυχώς, τη διάδοση των ηχητικών κυμάτων, με αποτέλεσμα ακόμα και σε απόσταση 1 χλμ. από το εργοστάσιο να καταγράφονται επίπεδα θορύβου της τάξης περίπου των 40-50dB.

5.2 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗΣ

Οι γνωστές μέθοδοι αντιμετώπισης ηχορύπανσης (π.χ. με ηχοπετάσματα, όπως στην προστασία από κυκλοφοριακό θόρυβο) θα μπορούσε να εφαρμοστεί μόνο για τα άμεσα γειτονικά κτήρια του εργοστασίου, στα ανατολικά, με αμφίβολο όμως αποτέλεσμα, επειδή αρκετές πηγές θορύβου είναι αρκετά ψηλότερα από το έδαφος και θα χρειαζόντουσαν τεράστιες κατασκευές. Ακόμα όμως και αν μπορούσαν να τοποθετηθούν τέτοια, επειδή θα ήταν σε αρκετή απόσταση από τις πηγές, η αποτελεσματικότητά τους θα ήταν μικρή, αφού πρακτικά δεν θα επηρέαζαν σοβαρά την αξάπλωση των ηχητικών κυμάτων.

Η μόνη εφικτή λύση σε τέτοια εργοστάσια είναι ο εγκλωβισμός των πηγών (encapsulation/enclosure), πράγμα που ίσως έχει εφαρμοστεί ήδη από την εταιρία, αλλά δεν μπόρεσε να ελεγχθεί στην παρούσα εργασία.

Τα κτήρια της ανατολικής πλευράς μάλλον θα έπρεπε να λάβουν σχετικά μέτρα ηχομόνωσης, όπως δένδροφυτεύσεις, μονωτικά τζάμια κλπ.

5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Φάνηκε ότι το εργοστάσιο ΑΓΕΤ-LAFARGE του Βόλου, παρά του ότι έχει πηγές θορύβου που φτάνουν τα 121 dB, λόγω της συγκεκριμένης θέσης του, ουδόλως επιβαρύνει την πόλη του Βόλου στα Δυτικά, ενώ στα Ανατολικά έχουμε μεν μια σαφώς αυξημένη στάθμη θορύβου, που όμως δεν ξεπερνά τα ανεκτά όρια.

Ως προς τη μεθοδολογία και την τεχνική εκτέλεση της παρούσης εργασίας αποδείχτηκε ότι ο έμμεσος τρόπος καθορισμού των μη προσβάσιμων πηγών θορύβου εντός του εργοστασίου ήταν επιτυχής, αφού υπήρξε τελικά συμφωνία (ή μικρή απόκλιση) ανάμεσα στα αποτελέσματα του λογισμικού και στις αρχικές επιτόπιες ηχομετρήσεις σε μεγάλο ποσοστό.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ/ΠΗΓΕΣ

- 1) Acoustics-Architecture-Engineering the environment, Charles M. Salter Associates Inc
- 2) Acoustics. Basic Physics, Theory & Methods - Paul Filippi, Aime Bergassoli, Dominique Habault, Jean Pierre Lefebvre (Academic Press, 1999)(T)(319s)(Isbn0122561902)
- 3) Advanced Air and Noise Pollution Control - L. Wang CH 12 -13
- 4) Comprehensive Model for Sound Propagation – Including, Atmospheric Refraction, Client: Nordic Noise Group, 30th December, (Comprehensive model for sound propagation-atmosphere refraction_rivista-Delta_2004-99)
- 5) Industrial Noise Control and Acoustics - Randall F. Barron
- 6) Introduction To Shock & Vibration **Brüel & Kjær**
- 7) Measuring Sound **Brüel & Kjær**
- 8) Measuring Vibration **Brüel & Kjær**
- 9) Sound Intensity **Brüel & Kjær**
- 10) **Vibration Measurement And Analysis Brüel & Kjær**
- 11) **Application Notes Brüel & Kjær**
- 12) Acoustics A.C. van der Linden, A. Zeegers (TU Delft From the book "Bouwfysica", ThiemeMeulenhoff 2006)
- 13) Ο θόρυβος στην εργασία, φύση, κίνδυνοι, προστασία, Υπουργείο Απασχόλησης και Κοινωνικής προστασίας, Γεν Δ. Συνθηκών και Υγιεινής της εργασίας, ΕΛΙΝΥΑΕ
- 14) CadnaA at a glance
- 15) Acoustics - An Introduction (Heinrich Kuttruff)
- 16) Acoustics And Psychoacoustics - Third Edition (David M. Howard)

- 17) Basic Environmental Engineering (2009) - (Malestrom)
- 18) Concise environmental engineering (Malestrom), Edition 1.0 30th April 2006
- 19) Engineering Acoustics from Wikibooks, the open content textbooks collection (http://en.wikibooks.org/wiki/Engineering_Acoustics)
- 20) Foundations of Engineering Acoustics, Frank Fahy, Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton, Southampton, UK
- 21) Fundamentals of Acoustics Michel Bruneau
- 22) Fundamentals of Acoustics 4th ed - L. Kinsler
- 23) Industrial Noise Control and Acoustics Randall F. Barron Marcel Dekker, Inc. New York
- 24) Master Handbook Of Acoustics (F. Alton Everest) 5th edition
- 25) Psychoacoustics - Facts And Models - Third Edition (Hugo Fastl)
- 26) Rossing T.D. - Springer handbook of acoustics, (T. Rossing)
- 27) The Science And Applications Of Acoustics - Second Edition (Daniel R. Raichel).pdf
- 28) “Πρακτικά 1ου Συνεδρίου του Ελληνικού Ινστιτούτου Ακουστικής (Ελ.Ιν.Α.)”, Πάτρα 2002
- 29) ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ ΚΑΙ ΗΧΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ, Μ. Βιτωράκης, Γ. Δεληγιάννης
- 30) ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΗΧΟΡΥΠΑΝΣΗΣ, ΜΑΣΙΩΤΗΣ ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΣ ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
- 31) ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ, Αθανασιάδης Παναγιώτης ΑΠΘ
- 32) Transport Noise Vibration 06, Murphy, E., Rice, H.J. and Meskell, C., Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Parsons Building, Trinity College, Dublin 2, Ireland
- 33) ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΜΕΣΩ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ, Μπίκας Μανώλης, Μηχανικός Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος
- 34) ΜΕΛΕΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ Ο.Κ.Θ. & ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΣΧΕΔΙΩΝ ΔΡΑΣΗΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΤΤΙΚΗ ΟΔΟ, Δρ. Κωνσταντίνος ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, Επικ. Καθ. Πολ. Σχολής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
- 35) ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ, ΣΤΙΣ ΚΑΤΟΙΚΗΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΕΡΙΕ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ, Δρ. Κωνσταντίνος ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ, Επικ. Καθ. Πολ. Σχολής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
- 36) ΘΟΡΥΒΟΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΚΑΠΡΙΤΗ
- 37) avarts_acoustics_lesson01 Φλώρος Ανδρέας

Web site: www.ionio.gr/~floros

- 38) Το πρόβλημα της Αστικής Ηχορύπανσης – Η σημασία των Τεχνικών Πρόληψης στην Πηγή, κατά την Διάδοση, στον Αποδέκτη και ο ρόλος του Καταναλωτή και Οι επιπτώσεις της ηχορύπανσης στα αστικά κέντρα – Αναγκαία μέτρα και παρεμβάσεις, ΤΕΕ, Αθήνα, 14 Ιανουαρίου, 2008
- 39) Volos Plant brochure 09 (aget.gr)
- 40) Acoustics (Leo L. Beranek)
- 41) Acoustics And Hearing (Peter Damaske)
- 42) Engineering Acoustics - An Introduction to Noise Control (2009) (Malestrom)

Ιστότοποι διαδικτύου

www.acoustic1.co.uk/equipment/environment/docs/gb_dBTRAIT32_4.0_manual_03.pdf

[List of geographic information systems software - Wikipedia, the free encyclopedia](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_geographic_information_systems_software)

http://en.wikipedia.org/wiki/Geographic_information_system

[Open Source Geospatial Foundation - Wikipedia, the free encyclopedia](http://en.wikipedia.org/wiki/Open_Source_Geospatial_Foundation)

http://en.wikipedia.org/wiki/Open_Source_Geospatial_Foundation

A collaborative project of Australian government and the building and design industry

www.yourhome.gov.au/technical/fs27.html

[amds.gr](http://www.amds.gr) Ελληνική νομοθεσία περί θορύβου

<http://www.amds.gr/info4.aspx>

www.acoustical.gr/site/flyer_cadna.pdf

www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/noise_basic.html

Δραστηριότητες του ΕΛΙΝΑ στην πρόβλεψη και αντιμετώπιση του κυκλοφοριακού θορύβου

library.tee.gr/digital/m2301/m2301_skarlatos.pdf

[www.geology.upatras.gr/files/shmioseis/12816E/Environment Notes.pdf](http://www.geology.upatras.gr/files/shmioseis/12816E/Environment%20Notes.pdf)

[SketchUp Tips and Tricks: Creating Contour Lines from Google Earth Terrain - YouTube](#)

<http://www.youtube.com/watch?v=y4J9sWEZR6E>

<http://www.youtube.com/watch?v=tk-Mc2uWHfl>

[AutoCAD - Google Earth: Import terrain and create contour lines](#)

<http://www.youtube.com/watch?v=NGCkHF08DyE>

[Μετρητής ήχου PCE-353 LEQ | Μετρητικός εξοπλισμός ε2](#)

<http://www.e2architects.eu/measuring/soundmeters/353leq.html>

[Quantifier Models 93 & 94 Sound Level Meters by Pulsar Instruments](#)

http://www.pulsarinstruments.com/products/product/models_93_94/

http://www.keison.co.uk/pulsar_93_94_soundlevelmeters.shtml

www.muellerenvironmental.com/documents/100-054.pdf

[Acoustic Glossary - Frequency Weighting](#)

<http://www.acoustic-glossary.co.uk/frequency-weighting.htm>

[Ιστορία < Όλα για το τσιμέντο < Τσιμέντο : Lafarge - Όμιλος ΑΓΕΤ Ηρακλής](#)

http://www.lafarge.gr/wps/portal/gr/el/2_2_3-History

www.lafarge.gr/Volos_Plant_brochure_09.pdf

<http://www.plexscape.com/>

Custic software

<http://www.canarina.com/noisepollution.htm>

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Χειρόγραφες μετρήσεις με παρατηρήσεις

Measurement reports from Pulsar software

Prospect Pulsar Model 93

-- K: κυκλός. B:
 - Θ: θάλασσα
 + A: ΑΝΕΜΟΣ

Αρ. Συμ	Πηληνεαφή	Συνορατήρ	Ε (22,9...)	αβφ	Παρατηρήσει	
		39, 3	- - - -	22, 9	- - - -	
1	Αρ. Παραθεωτήν 1952, 53, 54		5 0 9 9		6 4 1 9	min 32 Ποζάνη ξευρακι κίμων
2	Παραλία Αγ. Παρνακίου 55		4 9 9 8		6 3 5 6	Μυκάλη πτω από τη ταβερνή Εταυρος Καρατζή
3	Πάρκινγκ στο δρόμο της ΑΓΕΤ		4 7 9 5		7 0 7 5	Κίμων δρόμου, ελαφρύς κωμαζι
5/4	4 fail Πάρκινγκ Ρυγών Α2605 56, 57		4 9 9 8		7 8 7 2	Κίμων δρόμου Εταυρος Καρατζή φαινίται ΑΓΕΤ
						K+, Θ-, A--, B: φ
6/8	Πάρκινγκ Προσωπικού στο Βάθος 58, 59		5 2 2 5		8 3 6 7	K--, Θφ, Aφ, Bφ
7/8	Πάρκινγκ πιο έξω		5 1 7 3		8 3 6 9	Top A 81,9 K--, Θφ, Aφ, Bφ
8/7	Πάνω στον Πύργο		5 1 5 9 5 1 4 9		8 5 8 1	Διορθω- μέρες K+, Θφ, Aφ, Bφ
9/8	Περίδρομο απέναντι στα βιά		5 1 3 8		8 5 0 0	FAIL
10/8	Έργα δρόμου 60		5 4 5 3		9 2 9 5	Καθαρή μέτρηση χωρίς καθίστα επί δρόμου K- Θφ
11/10	Έργα πιο κοντά στον Πύργο		5 4 3 4 5 4 4 0		9 2 2 9 9 2 1 3	Aφ, Bφ " Διέλευση φθ 2-3 δευτερά"
12/11	Πριν τη γέφυρα (Μπαζα, αερογυαλά)		5 5 7 2		9 3 0 4	↑ προσηλός στα 2:3 για ώρα θέρους από οπισθεν 2x στα 3:30 αδυναμία
13/12	Από πάνω από ΑΓΕΤ κοντά στη γέφυρα 63 65 64		5 5 5 5		9 0 9 1	Κοντά στο 4kHz
14/13	Αρχή γέφυρα Ακμή 66, 67 68, 69		5 6 2 9		9 0 8 7	Caterpillar προς το 2:30 μέτρηση
15/14	Μέση Γέφυρας 70		5 7 0 0		8 3 2 7	Caterpillar + αλλαγή Αερογυαλά από τον κεντρικό αεριστήρα
16/15	2/3 "		5 7 1 7		8 2 5 6	Σχεδόν no ext. no isf obstructio
17/16	4/5 γέφυρα 71		5 7 3 0		8 7 0 6	Σχεδόν "
18/17	Έξοδοι βύρρατος της Βόρως		5 7 8 1		7 8 0 5	αφ. 87
19/18	Θάλασσα (Επιθεωρητήριο 72 πάνω από ΑΓΕΤ) 73		5 6 8 7		8 5 6 4	uv. 53
20/19	4 fail Θάλασσα με τη το επιθεωρητήριο 73		5 5 9 6		8 3 8 8	uv. 62
22/21	Λίγο πιο ψηλά 74		5 6 8 8		8 4 6 6	84μ

Αρ.	Περιγραφή	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ								Παρατηρήσεις	
		39, 3 Υψ.μ.					29, 9				
23 22	Πίσω από βουνό Γοπίτσα πίσω από γήπεδο	57m	5	8	5	4	7	4	9	1	Καθ, ΘΑ, ΑΦ, ΒΑ Γαίμαχα σκόλου, από ζιζιγία πουλιών, λουτσίνι
24 23	Πίσω από βουνό Πιο από κήπων Κάτω	55	5	7	5	6	7	4	6	5	Γαίμαχα σκόλου σε κουζίνα από κάτω Πέρασε φτερούγα κάτω από ψεύς μέγας C, Z
25 24	Πίσω από βουνό Πιο Κάτω	57	5	5	8	2	7	2	3	1	Καθ, ΘΑ, ΑΦ, ΒΑ Φωνές ανθρώπων σε απόσταση 30μ, από φωνή χαμηλό ζιζιγία πουλιών
26 25	Βόρεια άκρο ακμή μέγας γυμνασίου	37	5	5	4	7	6	9	7	8	4kHz γέλια σε μεγάλη απόσταση
27 26	2-3 βόρεια Πιο από βουνό	38	5	7	8	1	6	8	1	0	31,75Hz έντονος από θόρυβος από μηχανή
27 28	Μέσα στο γήπεδο από τον εξωτερικό	34μ	5	4	7	6	6	7	6	0	Λίγο θόρυβος από ωχρότητα και αντανάκλαση *
29 28	Εκκλινάκι Γοπίτσα	183μ	5	5	0	4	7	7	0	0	Με φέρα αρκετό στο 2kHz ωχρότητα
29 30	Πίσω από εκκλινάκι με κάλυψη φιλμ σίκις 184μ		5	5	3	0	7	6	8	5	Πολύ λίγο φέρα
30 31	Πίσω από εκκλινάκι χωρίς κάλυψη από 184 μικία		5	5	3	1	7	6	9	1	"
32	Κατεστραμμένο από εκκλινάκι στη διακλάση αρχαιολογικού χώρου ώρα: 18:48 εκκλινάκι 18:48	142	5	1	9	6	7	5	2	3	Από βόρεια ^{χωρίς} σε μέγιστη απόσταση θόρυβος
*	Σημειώσα μέτρηση κάτω από 3 ^η ^{κοινών τμήσ} μέγαρα										LA = 81 dB χωρίς κίνηση
33	Ανατολική ΑΡΕΤ σε βόρεια τμήσ από ώρα ύπνου: 19:06	7μ	5	2	2	7	9	2	4	8	500Hz μηχανή
34	2 ^η ίδια	"	"	"	"	"	"	"	"	"	Πολύ καλή από τον τόνο χωρίς μηχανή
35		12μ	5	2	5	4	9	4	3	0	Μηχανή όχι τόσο δυνατή στο Α
36	Πιο ανατολική σε οροφή	9μ	5	2	2	2	9	5	2	2	Λίγη κίνηση από το Α

37	39,3 5252	22,99279	8μ	nitwani (αντιστάτης) (10 σταθ)
38	57949	78 2829	75	(10m kimm) μηχανάκι 60 2

39) 2^η ίδια 2^η δωρ δοφίρω

→ μεγαλύτερος θόρυβος από 709 ή μηχανήματα για 250 Hz και για 500 Hz
 Αρκετός για 4 kHz

40 Γορίζα 6211 ~~8215~~ 93μ

Μηχανάκι 600 31,5 Hz

Σε τάρτα πολύ υψηλή απόσταση 9 κίβεται αέρας. Κάθε τα 4229 πολύ υαυχία

BE