



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Διερεύνηση Ορατότητας Πύργου Ελέγχου Αεροδρομίων



Σαρρή Αριάδνη

Επιβλέποντες:

Φ. Μερτζάνης Ε.Δ.Π. Ε.Μ.Π.

Γ. Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2024

Ευχαριστίες

Με το πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η οποία συνεπάγεται και το πέρας των σπουδών μου και την απόκτηση του πτυχίου μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με βοήθησαν και συντέλεσαν, άμεσα ή έμμεσα, στην ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντά μου κ. Φώτη Μερτζάνη, πρώην Επιστημονικό Συνεργάτη του Ε.Μ.Π., για την βοήθειά και υποστήριξή του καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Χωρίς την συνεισφορά και την καθοδήγησή του δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής.

Επίσης θα ήθελα ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντά μου, κ. Γιώργο Γιαννή, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., ο οποίος με τίμησε με την εμπιστοσύνη του και μου έδωσε πολύτιμες συμβουλές στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Ένα ευχαριστώ οφείλω και στην κ. Παρασκευή Ψαράκη-Καλουπτσίδη, Ομότιμη Καθηγήτρια της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την βοήθειά και τις συμβουλές της.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας και συγκεκριμένα την κ. Ελένη Πουλημένου για τις πληροφορίες που μου πρόσφερε σχετικά με το θέμα της παρούσας εργασίας.

Κλείνοντας, ευχαριστώ θερμά του γονείς μου Κατερίνα και Χάρη, τον αδερφό μου Όμηρο καθώς και τον Παναγιώτη μου για την υποστήριξή τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και συνολικά για την αμέριστη συμπαράστασή τους καθώς επίσης και τους φίλους μου για τη συντροφιά τους στα χρόνια της φοιτητικής μου ζωής.

Σαρρή Αριάδνη

Μάρτιος 2024

Σύνοψη

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία διερευνάται η ορατότητα του πύργου ελέγχου ενός αεροδρομίου. Αντικείμενο αποτελεί η δημιουργία μιας μεθόδου μέσω της οποίας ο μελετητής θα έχει τη δυνατότητα να ελέγχει και να εξετάζει την ορατότητα ενός πύργου ελέγχου στο χώρο του αεροδρομίου και στο κοντινό ανάγλυφο της περιοχής γύρω από αυτό. Αρχικά ορίζεται και αναλύεται ο ρόλος του πύργου ελέγχου και οι κανονισμοί του EASA και ICAO που αφορούν στην εύρυθμη και ασφαλή λειτουργία των αερομεταφορών ώστε να γίνει κατανοητό το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής. Στην συνέχεια σχεδιάστηκε λογισμικό σε περιβάλλον Ηλεκτρονικού Υπολογιστή για την διευκόλυνση και επιτάχυνση της διαδικασίας των υπολογισμών καθώς και για την αναλυτικότερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Δημιουργήθηκαν επίσης τα υπόβαθρα προς μελέτη για δύο ελληνικά αεροδρόμια και στην συνέχεια εξετάστηκε η ορατότητα του πύργου ελέγχου σε διάφορα σενάρια. Βάσει των αποτελεσμάτων που προέκυψαν μετά την εφαρμογή της μεθόδου της παρούσας εργασίας ο μελετητής έχει τη δυνατότητα να αξιολογήσει και να κρίνει ως προς την επάρκεια ορατότητας του πύργου ελέγχου που εξετάζεται και να εντοπίσει κρίσιμες περιοχές από άποψη ορατότητας.

Λέξεις-Κλειδιά:

Πύργος ελέγχου, Οπτικό Πεδίο Ελεγκτών Εναέριας Κυκλοφορίας, Ορατότητα, Εμπόδια ορατότητας, Κανονισμοί, Επιλογή ύψους και θέσης

Abstract

This Diploma Thesis examines the visibility of the control tower of an airport. The main objective is to create a method that allows the engineer to inspect and examine the visibility of an airport control tower at the airport complex and the surrounding area. First the roles of the control tower are defined and analyzed as well as the regulations from EASA and ICAO that concern safe and correct airport functions, so that the main objective is understood. Furthermore, appropriate software has been developed in a PC environment to simplify and accelerate the calculation process and to provide a clear view of the results. The digital framework was also created to examine two Greek airports and the visibility of their control towers was checked for different scenarios. After the implementation of this method and through the consequent results the engineer is able to assess and judge the adequacy of the visibility of the control tower that is being examined and to determine the areas that cannot be seen and are therefore critical.

Keywords:

Control tower, Visibility, Air Traffic Controller's Field of View, Visibility obstacles, Regulations, Determination of Height, and Placement

Περίληψη

Ο **στόχος** αυτής της διπλωματικής εργασίας ήταν να δημιουργηθεί μία μέθοδος με την οποία θα μπορεί να γίνει προσδιορισμός της ορατότητας ενός πύργου ελέγχου. Συμπληρωματικοί στόχοι αποτέλεσαν α. η διερεύνηση της ορατότητας του πύργου ελέγχου στο χώρο του αεροδρομίου, δηλαδή στο διάδρομο, στο πεδίο ελιγμών, στις θέσεις στάθμευσης και στην περιοχή γύρω από το αεροδρόμιο που ορίζεται από τις εναέριες επιφάνειες προσγείωσης και απογείωσης, και β. ο εντοπισμός των κρίσιμων θέσεων, εκείνων στις οποίες ο πύργος ελέγχου δεν έχει ορατότητα.

Για το βασικό σκοπό της εργασίας απαιτήθηκε η **δημιουργία λογισμικού προγράμματος** που έχει ως δεδομένα εισόδου τη θέση του πύργου ελέγχου και την περιοχή προς έλεγχο. Ζητούμενα αποτελέσματα ήταν α. το σχέδιο ορατότητας της περιοχής προς έλεγχο, με βάση το οποίο θα μπορούσε να ποσοτικοποιηθεί η ορατότητα καθώς και β. η εκτίμηση του βέλτιστου ύψους του πύργου ελέγχου. Οπότε, οι εργασίες που έπρεπε να γίνουν ήταν η ψηφιακή απεικόνιση του εδάφους στην περιοχή ελέγχου και η εισαγωγή των συντεταγμένων του πύργου ελέγχου και τέλος ο έλεγχος ορατότητας.

Όσον αφορά στην **ψηφιακή απεικόνιση**, αρχικά έγινε αναπαράσταση του εδάφους σε τρισδιάστατο σχέδιο με ισοϋψείς και στη συνέχεια η τριγωνοποίησή και μετατροπή του σε προοπτικό σχέδιο με τη μέθοδο Delaunay. Η μέθοδος αυτή δημιουργεί ομοιόμορφα τρίγωνα με κοινές πλευρές και σημεία που αποτελούν ένα ανάγλυφο. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα σχεδιαστικά προγράμματα AutoCAD, ArcGIS, MicroStation και η εφαρμογή του MicroStation το InRoads.

Το **λογισμικό πρόγραμμα** που δημιουργήθηκε ονομάστηκε Control Tower (CT.FOR) και περιλαμβάνει το ILL και το I2L. Το λογισμικό αυτό λαμβάνει ως αρχεία δεδομένων τις συντεταγμένες του πύργου ελέγχου, την τριγωνοποιημένη επιφάνεια που ελέγχεται και ο χρήστης μπορεί επίσης να προσδιορίσει ένα ύψος αντικειμένου και ένα τρίγωνο στόχο. Το ύψος αντικειμένου αφορά ένα επιπλέον ύψος στόχευσης πάνω από το κέντρο βάρους (K.B.) του κάθε τριγώνου ενώ επιλέγοντας ένα τρίγωνο στόχο φαίνεται η ορατότητα στο τρίγωνο αυτό με την εμφάνιση ευθείας στόχευσης. Έχοντας αυτά υπολογίζεται το K.B. των τριγώνων και δημιουργούνται ευθείες από τον πύργο ελέγχου προς κάθε K.B. των τριγώνων της επιφάνειας ελέγχου. Ο έλεγχος ορατότητας γίνεται με τον έλεγχο τομής ευθείας και επίπεδα τριγώνων. Εάν μία ευθεία τέμνει άλλο τρίγωνο πριν φθάσει στο τρίγωνο στόχο τότε δεν έχει ορατότητα στον στόχο και αντιθέτως έχει ορατότητα όταν δεν τέμνει άλλο τρίγωνο πριν τον στόχο. Έτσι τα ορατά και μη ορατά τρίγωνα χρωματίζονται πράσινα και κόκκινα αντίστοιχα και εξάγεται ένα σχέδιο ορατότητας.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε στους αερολιμένες Ιωαννίνων και Σάμου. Η επιλογή του αερολιμένα των Ιωαννίνων έγινε καθώς βρίσκεται σε ορεινή περιοχή και επικρατούν συχνές νεφώσεις. Επομένως, η οπτική ορατότητα του Π.Ε. θεωρήθηκε ότι πρέπει να ελεγχθεί. Ο αερολιμένας της Σάμου επιλέχθηκε λόγω του δυστυχήματος του 1989 ώστε να ελεγχθεί εάν η πορεία πτήσης του αεροσκάφους ήταν σωστή και κατά πόσο ο Π.Ε. έβλεπε το αεροσκάφος.

Στην περίπτωση του **αερολιμένα των Ιωαννίνων** το μοντέλο εδάφους δημιουργήθηκε από τοπογραφικούς χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.) και προστέθηκαν σε αυτό τα κτίρια και ο διάδρομος του αεροδρομίου. Η ακτίνα της περιοχής αυτής ήταν περίπου 15 χλμ. όπως και το μήκος των επιφανειών προσγείωσης-απογείωσης. Για τον έλεγχο χωρίστηκαν οι επιφάνειες σε διαφορετικά σχέδια ένα με τα κτίρια του αεροδρομίου μόνο (α), ένα με τον διάδρομο μόνο (β), ένα με τα κτίρια και το διάδρομο (γ) και ένα συγκεντρωτικό όλης της περιοχής ελέγχου (δ). Θεωρήθηκαν 3 σενάρια μελέτης. Στο σενάριο 1 (Σ1) έγινε έλεγχος για μηδενικό ύψος αντικειμένου, στο σενάριο 2 (Σ2) για ύψος αντικειμένου ίσο με 1 μ. και στο 3 (Σ3) για ύψος αντικειμένου 8 μ. μόνο την νότια περιοχή. Τα 8 μ. υποδηλώνουν το μέγιστο ύψος δόμησης και η πόλη των Ιωαννίνων βρίσκεται νότια από το αεροδρόμιο. Οι παραδοχές της μελέτης ήταν πως το βέλτιστο ύψος θα ήταν αυτό για το οποίο θα πρόκυπτε ποσοστό ορατότητας μεγαλύτερο του 90% και το αρχικό ύψος του Π.Ε. ήταν 10μ.

Στην περίπτωση του **αερολιμένα της Σάμου** το μοντέλο εδάφους έγινε με χρήση ψηφιακών μοντέλων εδάφους από την ιστοσελίδα land.copernicus.eu. Δημιουργήθηκαν οι επιφάνειες ελέγχου όμοια με την περίπτωση των Ιωαννίνων και θεωρήθηκαν τα ίδια σενάρια 1 και 2 ενώ στο 3 σενάριο επιλέχθηκε ύψος αντικειμένου 50 μ. το οποίο θα ήταν το ύψος πτήσης του αεροσκάφους εάν δεν είχε συντρίβει. Έγιναν επίσης και οι ίδιες παραδοχές όπως και στην περίπτωση των Ιωαννίνων.

Τα **αποτελέσματα** εμφανίζονται συνοπτικά παρακάτω ενώ τα σχέδια που δημιουργήθηκαν παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4.

		Σ1		Σ2		Σ3
		ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ	ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΥΨΟΣ (m)	ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ	ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΥΨΟΣ (m)	ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ
ΙΩΑ	ΔΙΑ (α)	53%	111	92%	10	-
	ΚΤΙ (β)	36%	1980	40%	1397	-
	ΚΤ+ΔΙΑ (γ)	42%	135	83%	15	-
	ΣΥΝ. ΠΕΡ (δ)	8%	-	12%	-	23%
ΣΑΜ	ΔΙΑ (α)	81%	13	98%	10	-
	ΚΤΙ (β)	80%	13	92%	10	-
	ΚΤ+ΔΙΑ (γ)	83%	14	98%	10	-
	ΑΝ. ΠΕΡ(δ)	5%	-	9%	-	-
	ΔΥΤ. ΠΕΡ(δ)	4%	-	6%	-	15%

Συμπεραίνεται πως ο πύργος ελέγχου των Ιωαννίνων έχει επαρκή ορατότητα στον διάδρομο θα μπορούσε όμως να βελτιωθεί. Τα σχέδια των κτιρίων μόνο χρησιμεύουν κυρίως για τον εντοπισμό θέσεων που θα μπορούσαν να τοποθετηθούν ηλεκτρονικά μέσα παρακολούθησης όπως κάμερες καθώς θα υπάρχουν πάντα τυφλά σημεία. Τα σχέδια που έχουν διάδρομο και κτίρια μαζί δείχνουν μία κρίσιμη περιοχή ορατότητας σε τμήμα θέσεων στάθμευσης των αεροσκαφών. Προκύπτει ότι εάν στο μέλλον αυξηθεί το ύψος του Π.Ε. στα 15 μ. τότε η ορατότητα θα είναι πολύ καλύτερη. Επίσης καταλήγουμε στο ότι τα σχέδια αυτά ήταν πιο αντιπροσωπευτικά όσον αφορά στο οικοπέδο του αεροδρομίου καθώς συσχετίζουν τα κτίρια με τον διάδρομο. Στην ευρύτερη περιοχή φαίνεται πως η ορατότητα είναι μειωμένη στα νότια και δυτικά του

αεροδρομίου επομένως θα πρέπει αυτές οι περιοχές να αποφεύγονται από αεροσκάφη εν πτήση. Παράλληλα, συμπεραίνουμε ότι το καλύτερο σενάριο για τον έλεγχο του οικοπέδου του αεροδρομίου ήταν το Σ2 με ύψος αντικειμένου 1 μ. ενώ για το Σ3 έδωσε πιο σαφή αποτελέσματα σχετικά με την καλύτερη πορεία πτήσης των αεροσκαφών.

Στη Σάμο παρατηρήθηκε σχεδόν πλήρης ορατότητα στο διάδρομο, ενώ όμοια με πριν εντοπίστηκαν οι θέσεις που θα μπορούσαν να τοποθετηθούν κάμερες για πλήρη ορατότητα του πύργου. Επίσης και σε αυτό το αεροδρόμιο φαίνεται ένα μικρό τμήμα του χώρου στάθμευσης να μην είναι ορατό στον πύργο ελέγχου. Το ύψος θα μπορούσε να αυξηθεί στα 14 μ. όμως επειδή στο Σ2 ήταν το ίδιο με το αρχικό δεν θεωρείται απαραίτητη αλλαγή. Γενικότερα ο πύργος ελέγχου δεν έχει ορατότητα στα βόρεια του αεροδρομίου και φάνηκε ότι η περιοχή πτήσης του αεροσκάφους της Ολυμπιακής ήταν μη ορατή. Ο πιλότος θα έπρεπε να είχε προτιμήσει να προσεγγίσει από τη θάλασσα και να αποφύγει το βουνό. Όσον αφορά στα σενάρια ισχύει το ίδιο με την περίπτωση των Ιωαννίνων.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	i
Σύνοψη	ii
Abstract	iii
Περίληψη.....	iv
1.Εισαγωγή.....	1
1.1 Γενική Ανασκόπηση	1
1.2 Στόχοι και αντικειμενικός σκοπός	4
1.3 Δομή της διπλωματικής εργασίας.....	5
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο	7
2.1 Ο Πύργος Ελέγχου	7
2.2 Επιφάνειες χωρίς εμπόδια	7
2.3 Είδη πτήσεων.....	9
2.4 Γεωμετρία.....	10
2.5 Αεροπορικά ατυχήματα.....	12
2.5.1 Σάμος (Ελλάδα), 1989	12
2.5.2 Τόκιο (Ιαπωνία), 2024	13
2.5.2 Τενερίφη (Ισπανία), 1977.....	14
3. Ορατότητα πύργου ελέγχου - Μεθοδολογία	15
3.1 Στόχοι και βήματα προγράμματος.....	15
3.2 Ψηφιοποίηση εδάφους.....	16
3.2.1 Τριγωνισμός Delauny	16
3.2.2 Μεθοδολογία τριγωνισμού	17
3.3 Πρόγραμμα CT.FOR (Control Tower).....	21
4. Μελέτη Εφαρμογής	24
4.1 Αερολιμένας Ιωαννίνων	24
4.1.1 Μελέτη εφαρμογής κρατικού αερολιμένα Ιωαννίνων.....	24
4.1.2 Μοντέλο εδάφους.....	27
4.1.3 Έλεγχος ορατότητας πύργου ελέγχου	31
4.2 Αερολιμένας Σάμου.....	41
4.2.1 Μελέτη εφαρμογής κρατικού αερολιμένα Σάμου	41
4.2.2 Μοντέλο εδάφους.....	43
4.2.3 Έλεγχος ορατότητας πύργου ελέγχου	46
5. Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	58
5.1 Βασικά συμπεράσματα αξιολόγησης	58

5.1.1 Μελέτη εφαρμογής αεροδρομίου Ιωαννίνων	58
5.1.2 Μελέτη εφαρμογής αεροδρομίου Σάμου.....	60
5.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	63
Βιβλιογραφία.....	64
Παράρτημα.....	65

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1. Διαφορετικές τάξεις περιοχών ελέγχου. Τα ύψη είναι σε πόδια (ft).	3
Εικόνα 2. Απεικόνιση επιφανειών εμποδίων διαδρόμου αεροδρομίου σύμφωνα με τον EASA.....	8
Εικόνα 3. Χάρτης με τοποθεσία αεροπορικού δυστυχήματος Σάμου	13
Εικόνα 4. Παραδείγματα τριγωνισμού (α) με και (β) χωρίς μέθοδο Delaunay	17
Εικόνα 5. Απεικόνιση ανάγλυφου σε τρισδιάστατο σχέδιο ισοϋψών καμπυλών	17
Εικόνα 6. Παράθυρο εντολής Import Surface της εφαρμογής InRoads	18
Εικόνα 7. Περιβάλλον επεξεργασίας επιφανειών της εφαρμογής InRoads.....	18
Εικόνα 8. Παράθυρο εντολής Export Surface της εφαρμογής InRoads	19
Εικόνα 9. Παράθυρο εντολής Triangulate Surface της εφαρμογής InRoads.....	19
Εικόνα 10. Μοντέλο εδάφους ανεπτυγμένο με τη μέθοδο του τριγωνισμού.....	20
Εικόνα 11. Παράθυρο εντολής Export Surface για τη δημιουργία αρχείου .tri.....	20
Εικόνα 12. Αρχείο .tri με δεδομένα τριγώνων ανάγλυφου	21
Εικόνα 13. Παράθυρο εντολών για την επιλογή τριγώνου στόχευσης και ύψος αντικειμένου.....	22
Εικόνα 14. Αρχικό σχέδιο ανάγλυφου (α) και σχέδιο εξόδου από το πρόγραμμα CT (β). Με κόκκινο σημείο είναι επισημασμένος ο πύργος ελέγχου.....	23
Εικόνα 15. Θέση κρατικού αερολιμένα Ιωαννίνων	25
Εικόνα 16. Αεροσταθμός κρατικού αερολιμένα Ιωαννίνων	25
Εικόνα 17. Αεροφωτογραφία κρατικού αερολιμένα Ιωαννίνων μέσω Apple Maps. Σε μαύρο κύκλο επισημαίνεται ο πύργος ελέγχου.....	26
Εικόνα 18. Σχέδιο ισοϋψών με χάρτες Ιωαννίνων σε υπόβαθρο.....	27
Εικόνα 19. Σχέδιο διαδρόμου αεροδρομίου Ιωαννίνων με τα σημεία ενδιαφέροντος (πορτοκαλί χρώμα).....	28
Εικόνα 20. Στιγμιότυπο από το αρχικό αρχείο με τις συντεταγμένες των σημείων. .	28
Εικόνα 21. Εξαγόμενο αρχείο .dat με συντεταγμένες σημείων (X,Y,Z) ύστερα από διαγραφή κειμένου.	29
Εικόνα 22. Σχέδιο ισοϋψών σε τρισδιάστατη προβολή με το σχέδιο του διαδρόμου προσγείωσης-απογείωσης.	29
Εικόνα 23. Κτίρια αεροδρομίου Ιωαννίνων στο σχέδιο των ισοϋψών και διαδρόμου.	30
Εικόνα 24. Σχέδια επιφανειών προς έλεγχο.....	30
Εικόνα 25. Μοντέλο εδάφους περιοχής Ιωαννίνων	31

Εικόνα 26. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στο διάδρομο του αεροδρομίου των Ιωαννίνων. Με πράσινο είναι τα ορατά τρίγωνα με κόκκινο είναι τα μη ορατά τρίγωνα.	32
Εικόνα 27. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στα κτίρια του αεροδρομίου των Ιωαννίνων	33
Εικόνα 28. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στα κτίρια και το διάδρομο του αεροδρομίου των Ιωαννίνων	34
Εικόνα 29. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στην ευρύτερη περιοχή ελέγχου των Ιωαννίνων.	35
Εικόνα 30. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στο διάδρομο του αεροδρομίου των Ιωαννίνων για ύψος αντικειμένου 1 μ.	36
Εικόνα 31. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στα κτίρια του αεροδρομίου των Ιωαννίνων για ύψος αντικειμένου 1 μ.	37
Εικόνα 32. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στο διάδρομο και στα κτίρια του αεροδρομίου των Ιωαννίνων για ύψος αντικειμένου 1 μ.	38
Εικόνα 33. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου ελέγχου στη συνολική περιοχή ελέγχου των Ιωαννίνων για ύψος αντικειμένου 1 μ.	39
Εικόνα 34. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στη νότια περιοχή ελέγχου των Ιωαννίνων με ύψος αντικειμένου 8 μ.	40
Εικόνα 35. Θέση κρατικού αερολιμένα Σάμου.....	41
Εικόνα 36. Αεροσταθμός κρατικού αερολιμένα Σάμου.....	42
Εικόνα 37. Αεροφωτογραφία κρατικού αερολιμένα Σάμου από Apple Maps. Σε μαύρο κύκλο επισημαίνεται ο πύργος ελέγχου.....	42
Εικόνα 38. Σχέδιο ισοϋψών Σάμου και τμήματος τουρκικού εδάφους.....	43
Εικόνα 39. Σχέδιο κτιρίων αερολιμένα Σάμου.	44
Εικόνα 40. Μοντέλα εδάφους Σάμου.	45
Εικόνα 41. Σχέδια διαφορετικών επιφανειών ελέγχου Σάμου α) κτίρια αεροδρομίου, β) διάδρομος και γ) διάδρομος με κτίρια αεροδρομίου.	46
Εικόνα 42. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στο διάδρομο του αεροδρομίου της Σάμου.....	47
Εικόνα 43. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στα κτίρια του αεροδρομίου της Σάμου.....	48
Εικόνα 44. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στα κτίρια και το διάδρομο του αεροδρομίου της Σάμου	49
Εικόνα 45. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στην ανατολική περιοχή ελέγχου του αεροδρομίου της Σάμου	50
Εικόνα 46. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στη δυτική περιοχή ελέγχου του αεροδρομίου της Σάμου.	51
Εικόνα 47. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στο διάδρομο του αεροδρομίου της Σάμου για ύψος αντικειμένου 1 μ.....	52
Εικόνα 48. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στα κτίρια του αεροδρομίου της Σάμου για ύψος αντικειμένου 1 μ.....	53
Εικόνα 49. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στο διάδρομο και στα κτίρια του αεροδρομίου της Σάμου για ύψος αντικειμένου 1 μ.	54
Εικόνα 50. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στην ανατολική περιοχή ελέγχου της Σάμου για ύψος αντικειμένου 1 μ.....	55

Εικόνα 51. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στη δυτική περιοχή ελέγχου της Σάμου για ύψος αντικειμένου 1 μ.....	56
Εικόνα 52. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου ελέγχου στη δυτική περιοχή ελέγχου για ύψος αντικειμένου 50 μ.....	57

1.Εισαγωγή

1.1 Γενική Ανασκόπηση

Η ανάπτυξη των αερομεταφορών τα τελευταία χρόνια είναι σημαντική, με αεροδρόμια που εξελίσσονται διαρκώς. Η αεροπορική κίνηση επιβατών παρά την πτώση της λόγω της πανδημίας επανέρχεται σταδιακά στους ρυθμούς του 2019, αφού πρόκειται για έναν ασφαλή και ταχύ τρόπο μεταφοράς. Σε αντίθεση με τους επιβάτες η κίνηση εμπορευμάτων σημείωσε σημαντική άνοδο κατά τη διάρκεια της πανδημίας λόγω της ανάπτυξης του ηλεκτρονικού εμπορίου. Από την αυξανόμενη αυτή ζήτηση για αερομεταφορές προκύπτουν ανάγκες για καλύτερες υποδομές και συνεχή μελέτη για την αναβάθμιση των αερολιμένων με περισσότερες απαιτήσεις σε διεθνές επίπεδο.

Τα αεροδρόμια αποτελούν σύνθετα έργα, μεγάλης κλίμακας για τα οποία απαιτείται εκτενής σχεδιασμός και μελέτη τόσο πριν την κατασκευή όσο και κατά τη διάρκεια λειτουργίας. Κατά το σχεδιασμό πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία του αεροδρομίου καθώς και τα αποτελέσματα ενός τέτοιου έργου υποδομής στον περιβάλλοντα χώρο και στην ανάπτυξη της περιοχής.

Η μεγάλη αεροπορική κίνηση διεθνώς επιβάλλει ταυτόχρονα, συντονισμό εκτός των ορίων των τοπικών συστημάτων Εναέριας Κυκλοφορίας και έναν διεθνή τρόπο επικοινωνίας. Πλέον εφαρμόζονται κανονισμοί και διεθνή πρότυπα ασφαλείας και λειτουργίας που έχουν τεθεί από διεθνείς φορείς και οργανώσεις όπως η Διεθνής Οργάνωση Πολιτικής Αεροπορίας (International Civil Aviation Authority-ICAO), η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας (Federal Aviation Administration-FAA) και ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός Ασφάλειας της Αεροπορίας (European Union Aviation Safety Agency-EASA). Στον ελλαδικό εναέριο χώρο η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ) του υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών είναι υπεύθυνη για την οργάνωση, ανάπτυξη και τήρηση των κανονισμών του συστήματος αερομεταφορών της χώρας. Παρέχει υπηρεσίες αεροναυτιλίας όπως διαχείριση εναέριας κυκλοφορίας, τηλεπικοινωνίες και υποστήριξη συστημάτων αεροναυτιλίας και μεριμνά για την ανάπτυξη και τον εκσυγχρονισμό των αερολιμένων της χώρας μέσω έργων, κατασκευών και μελετών.

Τα αεροδρόμια αποτελούνται από την εναέρια υποδομή που αφορά τον γεωμετρικό σχεδιασμό του πεδίου ελιγμών έτσι ώστε να εξασφαλίζεται αποτελεσματική λειτουργία, ευελιξία και δυνατότητα για μελλοντική ανάπτυξη και την επίγεια υποδομή που αποτελείται από τα κτίρια και τις εγκαταστάσεις του αεροδρομίου. Σημαντικό ρόλο στη λειτουργία ενός αεροδρομίου έχει ο πύργος ελέγχου όπου υπάρχει το σύστημα Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας.

Ο **πύργος ελέγχου** αφορά ένα κτίριο από το σύμπλεγμα του αεροδρομίου σε κοντινή απόσταση από το διάδρομο και συνήθως μεγαλύτερου ύψους από τα υπόλοιπα κτίρια, το οποίο στεγάζει το σύστημα ελέγχου των ελεγκτών εναέριας κυκλοφορίας και έχει ως σκοπό την οργανωμένη εποπτεία του χώρου. Το ύψος του πύργου καθορίζεται ανάλογα με το μέγεθος και τις ανάγκες του αερολιμένα διότι πρέπει να παρέχεται πλήρη ορατότητα του χώρου των τροχοδρόμων και του διαδρόμου ή διαδρόμων προσγείωσης και απογείωσης. Ο Έλεγχος της Εναέριας Κυκλοφορίας (Air Traffic

Control-ATC) είναι μία υπηρεσία που αποτελείται από ελεγκτές στο έδαφος οι οποίοι κατευθύνουν τα αεροσκάφη προς το έδαφος μέσω μίας συγκεκριμένης περιοχής του ελεγχόμενου εναέριου χώρου και μπορούν να παρέχουν συμβουλευτικές υπηρεσίες σε μη ελεγχόμενο εναέριο χώρο.

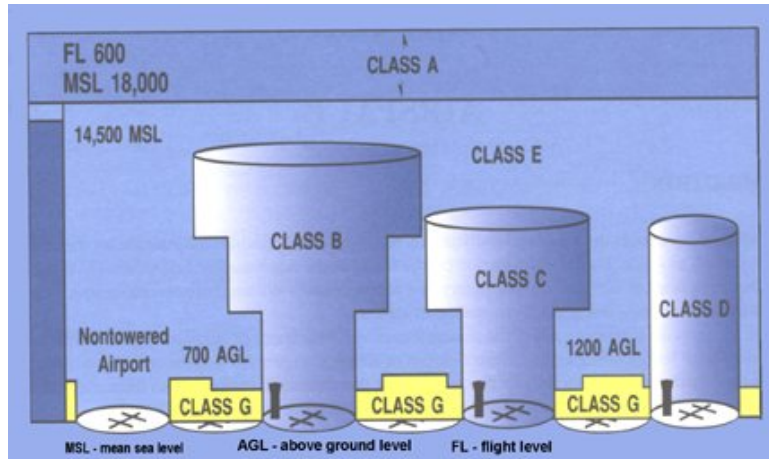
Ο κύριος σκοπός των ελεγκτών εναέριας κυκλοφορίας στον πύργο ελέγχου είναι να αποτρέπουν εμπλοκές, να οργανώνουν και να διευκολύνουν την ροή των αεροσκαφών καθώς και να παρέχουν πληροφορίες και υποστήριξη στους πιλότους. Από τον πύργο ελέγχου πραγματοποιείται α) η παρακολούθηση των αεροσκαφών που εισέρχονται στον εναέριο χώρο για τον οποίο είναι αρμόδιοι οι ελεγκτές, και β) η επικοινωνία με τους πιλότους μέσω ραδιοφώνου. Για να αποφευχθούν οι εμπλοκές ακολουθούνται κανόνες διαχωρισμού των αεροσκαφών ώστε να τηρούνται πάντοτε οι απαραίτητες αποστάσεις ασφαλείας μεταξύ τους.

Κάθε αεροδρόμιο ή κέντρο ελέγχου είναι υπεύθυνο για μία καθορισμένη γεωγραφική περιοχή. Καθώς ένα αεροσκάφος βρίσκεται στον αέρα διασχίζει διάφορες περιοχές και η ευθύνη για την παρακολούθηση του μεταφέρεται αντίστοιχα σε κάθε κέντρο ελέγχου. Μόλις το αεροσκάφος φθάσει στην περιοχή προορισμού όπου θα προσγειωθεί η παρακολούθηση περνάει στον πύργο ελέγχου του αεροδρομίου. Σε αυτήν τη φάση περίπου 8 χλμ. πριν το αεροδρόμιο το αεροσκάφος αναλαμβάνεται από τους ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας του αεροδρομίου προορισμού και καθοδηγείται σε μία σειρά τοποθεσιών με σκοπό την ασφαλή προσγείωση. Για να επιτευχθεί απόλυτη ασφάλεια, διατηρώντας τις απαιτούμενες αποστάσεις διαχωρισμού και για να υπάρχει μία ομαλή ροή αεροσκαφών στο αεροδρόμιο οι πιλότοι πρέπει να ακολουθούν πιστά τις οδηγίες των ελεγκτών.

Στη συνέχεια, μετά την προσγείωση του αεροσκάφους, οι ελεγκτές κατευθύνουν το αεροσκάφος στο πεδίο ελιγμών ώστε να φθάσει στη θέση στάθμευσης. Ταυτόχρονα άλλα αεροσκάφη οδηγούνται προς το διάδρομο για απογείωση. Σε μικρά αεροδρόμια με καλές συνθήκες ορατότητας η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει οπτικά από τον πύργο ελέγχου. Σε μεγαλύτερα αεροδρόμια μπορεί να απαιτηθούν συστήματα ανίχνευσης κίνησης (ραντάρ) όπως υπάρχουν για τον εναέριο χώρο. Επομένως ένα μέρος των καθηκόντων των ελεγκτών εναέριας κυκλοφορίας αφορά τις κινήσεις των αεροσκαφών στους τροχόδρομους και κοντά στις πύλες, διαδικασία που μπορεί να γίνει αρκετά απαιτητική σε κομβικά αεροδρόμια όπου οι ελεγκτές καλούνται να οργανώσουν 'κύματα' αφίξεων και αναχωρήσεων. Σε τέτοιου είδους αεροδρόμια είναι ευνοϊκότερο να μειωθεί στο ελάχιστο ο απαιτούμενος χρονικός και χωρικός διαχωρισμός των αφίξεων/αναχωρήσεων με κίνδυνο όμως να υπάρξουν καθυστερήσεις από τον μεγάλο αριθμό αεροσκαφών.

Ακόμη ο εναέριος χώρος διαιρείται σε τρεις τύπους: απολύτως ελεγχόμενος, ελεγχόμενος και μη ελεγχόμενος (στο μη ελεγχόμενο χώρο το σύστημα ATC-Air Traffic Control δεν παρέχει καμία υπηρεσία διαχωρισμού στο αεροσκάφος).

Σε απολύτως ελεγχόμενο εναέριο χώρο, υπάρχει κλάση B (Terminal Control Airspace) και αποτελεί τον εναέριο χώρο της τερματικής περιοχής γύρω από τα υπερφορτωμένα αεροδρόμια. Έχει το σχήμα αναποδογυρισμένης τούρτας γάμου και συνήθως είναι τοποθετημένος στο κέντρο ενός μεγάλου αεροδρομίου. Ο εναέριος χώρος πάνω από ένα αεροδρόμιο μεσαίου μεγέθους που δεν είναι κοντά σε ένα μεγάλο αεροδρόμιο ανήκει συνήθως σε κλάση C. Οι κλάσεις D,E αναφέρονται σε εναέριους χώρους γύρω από μικρότερα αεροδρόμια με ή χωρίς πύργο ελέγχου.



Εικόνα 1. Διαφορετικές τάξεις περιοχών ελέγχου. Τα ύψη είναι σε πόδια (ft).

Η βελτιστοποίηση της ορατότητας του πύργου ελέγχου του αεροδρομίου αντιπροσωπεύει μια κομβική πτυχή του ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας και της ασφάλειας της αεροπορίας. Οι αρχιτεκτονικές και τεχνολογικές εκτιμήσεις που είναι εγγενείς στο σχεδιασμό του πύργου ελέγχου αποτελούν κρίσιμα στοιχεία στη διευκόλυνση της συνετής διαχείρισης των κινήσεων των αεροσκαφών εντός των περιοχών του αεροδρομίου και του παρακείμενου εναέριου χώρου.

Οι **βασικές επιστημονικές αρχές καθώς και οι παράγοντες** που σχετίζονται με την ορατότητα του πύργου ελέγχου του αεροδρομίου περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Ο σχεδιασμός του πύργου ελέγχου: Οι πύργοι ελέγχου σχεδιάζονται συνήθως με μεγάλα παράθυρα και με ανεμπόδιστη θέα στον επίγειο χώρο του αεροδρομίου, του διαδρόμου και των τροχοδρόμων. Για τον λόγο αυτό βρίσκονται σε μεγαλύτερο ύψος από τα υπόλοιπα κτίρια του αεροδρομίου.
- Θέση: Η θέση ή τοποθεσία του πύργου ελέγχου επιλέγεται με σκοπό να μεγιστοποιήσει την ορατότητα σε κρίσιμες περιοχές. Πρέπει να επιλέγετε μία θέση από όπου θα παρέχεται επαρκής ορατότητα στους διαδρόμους, τροχοδρόμους, τους χώρους στάθμευσης αεροσκαφών και να ελαχιστοποιούνται τα τυφλά σημεία.
- Παράθυρα: Τα παράθυρα των πύργων ελέγχου είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να αποφεύγονται οι αντανακλάσεις και η αντηλιά. Συνήθως είναι κεκλιμένα για να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις στην ορατότητα του πύργου ελέγχου από τις καιρικές συνθήκες όπως βροχή και χιόνι.
- Συστήματα φωτισμού: Οι πύργοι ελέγχου είναι εξοπλισμένοι με διάφορα συστήματα φωτισμού για να ενισχύσουν την ορατότητα σε συνθήκες χαμηλής φωτεινότητας. Μερικά από αυτά είναι φώτα ακμών διαδρόμου, φώτα και σήμανση προσέγγισης, φώτα τροχοδρόμων κ.ά. Αυτά τα συστήματα

εξυπηρετούν τους ελεγκτές στην ασφαλή καθοδήγηση των αεροσκαφών ειδικά κατά τη νύχτα ή σε περιόδους με δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

- Καιρικές συνθήκες: Οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν σημαντικά την ορατότητα του πύργου ελέγχου. Σε περιπτώσεις ομίχλης, έντονης βροχής και χιονιού οι ελεγκτές βασίζονται στην τεχνολογία όπως σε ραντάρ, κάμερες ή ειδικά συστήματα φωτισμού για να διατηρούν ορατότητα.
- Τεχνολογία επιτήρησης: Οι σύγχρονοι πύργοι ελέγχου ενσωματώνουν ειδικά συστήματα επιτήρησης, συμπεριλαμβανομένου και του ραντάρ και συστήματα ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast), τα οποία παρέχουν τη ορατότητα στους ελεγκτές με δεδομένα των αεροσκαφών σε πραγματικό χρόνο ακόμη και σε δυσχερείς καιρικές συνθήκες.
- Επικοινωνία: Η αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ των ελεγκτών και των πιλότων είναι απαραίτητη ώστε να μπορούν να έχουν συνεχώς, και οι δύο πλευρές επίγνωση της κατάστασης. Οι ραδιοεπικοινωνίες και άλλα συστήματα επικοινωνιών είναι αναπόσπαστο κομμάτι για τους ελεγκτές ώστε να μπορέσουν να δώσουν οδηγίες ακόμη και όταν η ορατότητα είναι περιορισμένη.
- Ανθρώπινος παράγοντας: Το προσωπικό του πύργου ελέγχου περνάει από ειδική εκπαίδευση ώστε να είναι σε θέση να μπορέσει να αντιμετωπίσει καταστάσεις και με μειωμένη ορατότητα. Ακολουθούνται συγκεκριμένες διαδικασίες ώστε να παρέχεται ασφάλεια κατά τη διαχείριση της κίνησης των αεροσκαφών σε δυσμενείς συνθήκες.
- Συστήματα ασφαλείας-Εφεδρικά συστήματα: Συνιστάται οι πύργοι ελέγχου να έχουν εφεδρικά συστήματα για ρεύμα και επικοινωνία ώστε να εξασφαλίζεται πως όλες οι λειτουργίες θα συνεχίσουν σε περίπτωση διακοπής ρεύματος ή αστοχίας του συστήματος.
- Κανονισμοί ασφαλείας: Για να εξασφαλιστούν τα απαιτούμενα επίπεδα ασφαλείας ο πύργος ελέγχου ακολουθεί διάφορους κανονισμούς από τις επικρατούσες αεροπορικές αρχές. Αυτοί οι κανονισμοί σχετίζονται με τον σχεδιασμό του πύργου, τον εξοπλισμό και τις διαδικασίες με σκοπό να παρέχεται ορατότητα υπό οποιεσδήποτε συνθήκες.

Αυτές οι επιστημονικές αρχές υπογραμμίζουν τη σημασία της ορατότητας του πύργου ελέγχου των αεροδρομίων για τον επιτυχή συντονισμό των κινήσεων των αεροσκαφών, την τήρηση των πρωτοκόλλων ασφαλείας και τη βελτίωση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας στα αεροδρόμια. Οι συνεχείς τεχνολογικές εξελίξεις συντελούν στη βελτίωση των μέτρων ενίσχυσης της ορατότητας σε διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες.

1.2 Στόχοι και αντικειμενικός σκοπός

Η παρούσα διπλωματική διερευνά την ορατότητα ενός πύργου ελέγχου αεροδρομίου με εστίαση στο ανάγλυφο της περιοχής και στο χώρο γύρω από το αεροδρόμιο. Συγκεκριμένα επιδιώκεται η δημιουργία μιας μεθόδου κατά την οποία θα μπορούν να προσδιοριστούν τα τμήματα στην περιοχή ελέγχου στα οποία ο πύργος ελέγχου δεν έχει ορατότητα.

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας δημιουργήθηκε υπολογιστικό πρόγραμμα με την ονομασία CT (Control Tower) το οποίο προσδιορίζει τις κρίσιμες περιοχές από άποψη ορατότητας. Η μελέτη εφαρμογής της μεθόδου πραγματοποιήθηκε για τους κρατικούς αερολιμένες Ιωαννίνων και Σάμου.

Παράλληλα παρουσιάζονται τα είδη πραγματοποίησης πτήσεων καθώς και οι κανονισμοί και τα πρότυπα που έχουν να κάνουν με τις απαιτούμενες, ελεύθερες από εμπόδια, επιφάνειες ώστε να μην παρεμποδίζεται η ορατότητα. Ο εν λόγω έλεγχος γίνεται σύμφωνα με την ICAO και τον EASA, με τα οποία συμμορφώνεται το ελληνικό κράτος.

Συμπερασματικά, για τον έλεγχο της ορατότητας δημιουργείται μια μεθοδολογία σε αρχικό στάδιο, που θα επιτρέπει στον ερευνητή-μηχανικό εκτός από τον έλεγχο, να μεγιστοποιεί την ορατότητα του πύργου ελέγχου όχι μόνο στο χώρο του αεροδρομίου αλλά και σε μία ακτίνα 15 χλμ. από τον πύργο. Η μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί είτε για ήδη υπάρχοντα αεροδρόμια στα οποία ίσως να υπάρχει προβληματισμός ως προς την ορατότητα του πύργου ελέγχου, είτε σε στάδιο μελέτης νέου αεροδρομίου όπου θα απαιτηθεί η επιλογή της κατάλληλης θέσης και ύψος του πύργου ελέγχου.

Σημειώνεται ότι η παρούσα εργασία αφορά την οπτική ορατότητα του πύργου ελέγχου χωρίς όμως να λαμβάνονται υπόψη διαφορετικές καιρικές συνθήκες. Στον έλεγχο ορατότητας εξετάζονται μόνο φυσικά, επίγεια εμπόδια ορατότητας όπως λόφοι και κτίρια, σε καλές καιρικές συνθήκες.

1.3 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Παρακάτω παρουσιάζεται η δομή της διπλωματικής εργασίας με μία συνοπτική περιγραφή του κάθε κεφαλαίου.

Κεφάλαιο 1

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στο αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αναλύεται ο σκοπός και οι στόχοι της εργασίας και γίνεται παρουσίαση της δομής της εργασίας, καθώς και των κεφαλαίων που τη συναρτούν.

Κεφάλαιο 2

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά το θεωρητικό υπόβαθρο και την βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με το θέμα. Αναλύεται ο ρόλος και ο σκοπός του πύργου ελέγχου καθώς και οι κανονισμοί σχετικά με τις επιφάνειες γύρω από το διάδρομο του αεροδρομίου που πρέπει να εξασφαλίζεται πλήρης ορατότητα, να μην υπάρχουν δηλαδή εμπόδια. Επίσης γίνεται λόγος για τα είδη πτήσεων, τον ρόλο του πύργου ελέγχου ανάλογα με τον τρόπο πτήσης και περιλαμβάνονται έννοιες και ορισμοί απαραίτητοι για την κατανόηση του αντικειμένου. Γίνεται επιπροσθέτως μια σύντομη αναφορά σε όρους της γεωμετρίας οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του προγράμματος υπολογισμού. Τέλος αναφέρονται αεροπορικά ατυχήματα που έχουν ως μία αιτία την ελλιπή ορατότητα του πύργου ελέγχου.

Κεφάλαιο 3

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ο τρόπος ανάπτυξης και λειτουργίας του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο ορατότητας. Παράλληλα παρατίθενται τα στάδια και η διαδικασία για τη δημιουργία των δεδομένων εισόδου στο πρόγραμμα.

Κεφάλαιο 4

Η μελέτη εφαρμογής στους κρατικούς αερολιμένες Ιωαννίνων και Σάμου παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 4. Παρατίθενται τα αποτελέσματα σχεδίων και άλλων αρχείων που προκύπτουν μέσω της μεθοδολογίας του κεφαλαίου 3.

Κεφάλαιο 5

Στο πέμπτο κεφάλαιο εξάγονται τα συμπεράσματα και η συνοπτική εικόνα των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας. Στη συνέχεια διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο αντικείμενο της ορατότητας πύργου ελέγχου.

Βιβλιογραφία

Στη συνέχεια αναφέρεται η πλήρης βιβλιογραφία, που χρησιμοποιήθηκε για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Παράρτημα

Τέλος, το παράρτημα περιλαμβάνει τον κώδικα του προγράμματος, που αναπτύσσεται στην παρούσα διπλωματική εργασία, σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN.

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Ο Πύργος Ελέγχου

Για να πραγματοποιεί με επιτυχία το σκοπό του το σύστημα Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας απαιτείται επαρκής και συνεχή ορατότητα από τον πύργο ελέγχου στις δραστηριότητες των αεροσκαφών εν πτήση και στο έδαφος, στις κινήσεις οχημάτων και προσωπικού στο πεδίο ελιγμού όπως και στις περιοχές που γειτνιάζουν το αεροδρόμιο. Η ορατότητα με οπτικά μέσα μπορεί να εξασφαλιστεί διατηρώντας την περιοχή ελέγχου καθαρή από εμπόδια όπως αναλύεται σε επόμενη παράγραφο. Σε περιόδους με καιρικά φαινόμενα που καθιστούν δύσκολή την οπτική επιτήρηση αλλά και για μεγαλύτερη ακρίβεια σε συνθήκες καλής ορατότητας χρησιμοποιούνται ειδικά βοηθητικά συστήματα.

Στον πύργο ελέγχου υπάρχει εξοπλισμός για την αποτελεσματικότερη καθοδήγηση των αεροσκαφών και την βελτίωση της ορατότητας των ελεγκτών. Αρχικά υπάρχει ραδιοφωνικό σύστημα το οποίο καθιστά δυνατή την επικοινωνία μεταξύ πύργου και αεροσκάφους, επιτήρησης αεροδρομίου ή/και υπηρεσίας πληροφοριών. Παράλληλα υπάρχει τηλέφωνο και απευθείας γραμμές για την επικοινωνία με όλες τις αρχές ελέγχου που απαιτούνται για το συντονισμό και τις ανάγκες του αεροδρομίου. Ο πύργος ελέγχου είναι εφοδιασμένος με αρκετές οθόνες, από τις οποίες οι πιο σημαντικές είναι η οθόνη ραντάρ του τερματικού εναέριου χώρου, οι οθόνες καιρικών συνθηκών και η οθόνη του ραντάρ εδάφους του αεροδρομίου. Η τελευταία είναι ιδιαίτερα σημαντική όταν υπάρχει ομίχλη. Οι ηλεκτρονικές ενδείξεις των συνθηκών στα δάπεδα στάθμευσης είναι επίσης σημαντικές, ειδικά σε αεροδρόμια όπου φυσικά εμπόδια δεν επιτρέπουν την οπτική επαφή του πύργου ελέγχου με τις περιοχές αυτές. Άλλα βοηθήματα του ελεγκτή είναι οι ενδείξεις με βάση το σύστημα ATFM για την κατάσταση της εναέριας κυκλοφορίας και την κίνηση από και προς το αεροδρόμιο. Ο χειρισμός του φωτισμού σήμανσης που εξυπηρετεί το πεδίο ελιγμών, φωτισμού προσέγγισης και κυκλοφορίας μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί από το πύργο ελέγχου.

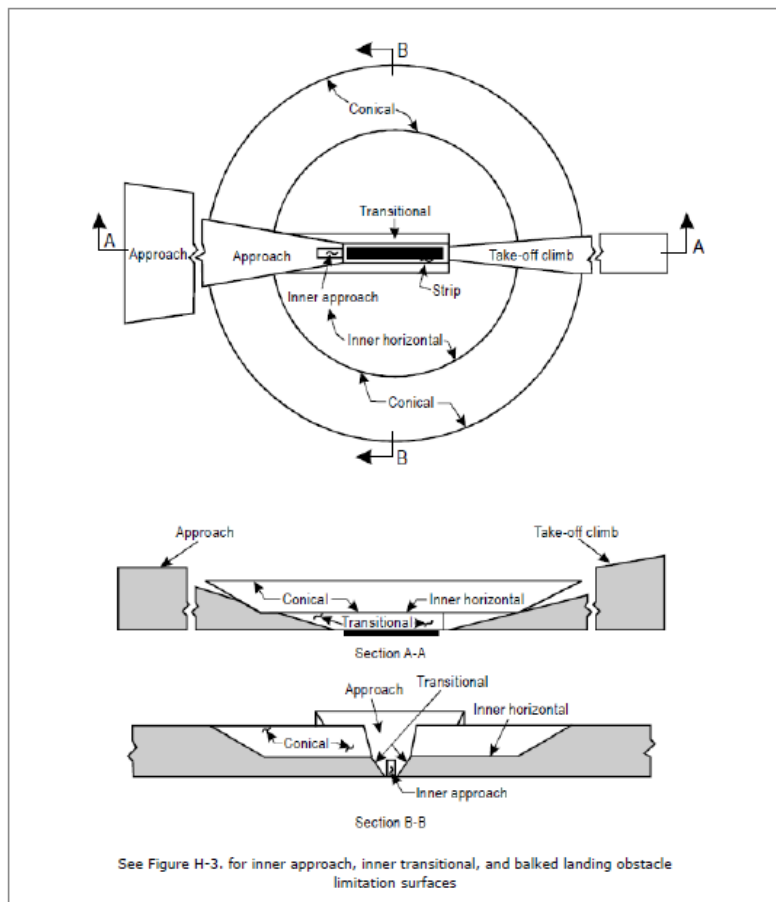
2.2 Επιφάνειες χωρίς εμπόδια

Για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια των πτήσεων στον εναέριο χώρο έχουν καθιερωθεί μια σειρά από επιφάνειες περιορισμού εμποδίων (obstacle imitation surfaces) από τον ICAO και την FAA. Οι επιφάνειες αυτές ορίζουν τα όρια στα οποία δεν πρέπει να εμφανίζονται εμπόδια για ενέργειες όπως η απογείωση και η προσγείωση καθώς επίσης και αποτυχημένες (ματαιωθείσες) προσεγγίσεις. Αντικείμενα τα οποία διεισδύουν στις επιφάνειες αυτές αποτελούν εμπόδια για την αεροναυτιλία και χρειάζεται να αφαιρεθούν. Τα αντικείμενα αυτά μπορεί να είναι οτιδήποτε σταθερό ή κινητό όπως είναι όγκοι εδάφους (λόφοι, βουνά), κτίρια, κατασκευές όπως κεραίες, ανεμογεννήτριες, δρόμοι κ.ά.

Πιο συγκεκριμένα οι επιφάνειες εμποδίων είναι οι εξής: κωνική επιφάνεια, εσωτερική οριζόντια επιφάνεια, επιφάνεια προσγείωσης, μεταβατική επιφάνεια, επιφάνεια

απογείωσης, η εσωτερική επιφάνεια προσέγγισης και η εσωτερική μεταβατική επιφάνεια καθώς και η επιφάνεια αποτυχημένης προσγείωσης. Οι επιφάνειες με τον μεγαλύτερο μήκος είναι εκείνες της απογείωσης και προσγείωσης και αναλόγως τον τύπο του διαδρόμου φτάνουν μέχρι και τα 15 χλμ από την άκρη του διαδρόμου.

Στις επιφάνειες του διαδρόμου και κάποιες περιοχές ασφαλείας δεν πρέπει να υπάρχουν μόνιμα αντικείμενα εκτός από εξοπλισμό και εγκαταστάσεις απαιτούμενες για την πλοήγηση των αεροσκαφών. Στη λωρίδα του διάδρομου ιδιαίτερα, αντικείμενα που υπάρχουν και ενδέχεται να θέσουν σε κίνδυνο τα αεροσκάφη θεωρούνται εμπόδια και πρέπει να απομακρυνθούν. Για παράδειγμα δεν επιτρέπονται κινούμενα οχήματα την ώρα που διάδρομος χρησιμοποιείται για προσγείωση ή απογείωση.



Εικόνα 2. Απεικόνιση επιφανειών εμποδίων διαδρόμου αεροδρομίου σύμφωνα με τον EASA.

Ταυτόχρονα, σύμφωνα με τον EASA, σε περιοχές εκτός των ορίων των παραπάνω επιφανειών αλλά εντός των ορίων που αντιστοιχούν στην επίβλεψη του εκάστοτε πύργου ελέγχου, αντικείμενα με ύψος από 150 μέτρα και άνω από το έδαφος αποτελούν εμπόδια εκτός εάν προκύψει το αντίθετο ύστερα από ειδική μελέτη εκτίμησης ασφάλειας. Ο πύργος ελέγχου πρέπει να έχει καλή ορατότητα σε όλες αυτές τις περιοχές και ιδιαίτερα στη μεταβατική επιφάνεια.

2.3 Είδη πτήσεων

Υπάρχουν δύο είδη πτήσεων στον εναέριο χώρο, εκείνες με κανόνες οπτικής πτήσεως (Visual Flight Rules-VFR) και εκείνες με κανόνες ενόργανης πτήσεως (Instrumental Flight Rules-IFR). Αναλόγως τις καιρικές συνθήκες ο πιλότος ενός αεροσκάφους μπορεί να επιλέξει ποιο είδος κανόνων θα ακολουθήσει. Για μεγαλύτερη ασφάλεια όμως κατά την κίνηση των αεροσκαφών είναι προτιμότερη η πτήση με κανόνες ενόργανης πτήσεως IFR.

Κανόνες οπτικής πτήσεως

Σε αυτή την περίπτωση ο πιλότος του αεροσκάφους ελέγχει ο ίδιος το αεροσκάφος και το κατευθύνει όταν υπάρχει οπτική επαφή με το έδαφος και ο καιρός επιτρέπει επαρκή ορατότητα στον πιλότο. Σε συνθήκες ομίχλης ή σε ύψος με σύννεφα δεν επιτρέπεται τέτοιου είδους πτήση. Ειδικές απαιτήσεις που αφορούν την ελάχιστη απαιτούμενη ορατότητα και απόσταση από σύννεφα για πτήσεις VFR καθορίζονται από κανονισμούς ώστε να μην τεθεί ζήτημα ασφαλείας. Ο πιλότος είναι υπεύθυνος να διατηρεί το αεροσκάφος σε ζώνη με την απαιτούμενη ορατότητα και με τις απαιτούμενες αποστάσεις ασφαλείας από άλλα αεροσκάφη με οπτικό έλεγχο της περιοχής. Οι πτήσεις VFR δεν απαιτούν οδηγίες από τους ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας εκτός εάν ζητηθεί από τον πιλότο και ο φόρτος εργασίας των ελεγκτών το επιτρέπει. Σε αυτήν την περίπτωση όμως δεν υπάρχει βοήθεια στο διαχωρισμό με άλλα αεροσκάφη. Οι συνθήκες στις οποίες μπορεί να πραγματοποιηθεί μια πτήση VFR ονομάζονται Μετεωρολογικές συνθήκες όψης (Visual Meteorological Conditions - VMC). Σε κάθε τοποθεσία ανάλογα με το εάν ο εναέριος χώρος είναι ελεγχόμενος ή μη και το ύψος πτήσης, οι μετεωρολογικές απαιτήσεις ώστε να επιτραπεί μία πτήση VFR διαφέρουν. Υπάρχουν χώρες όπου επιτρέπονται τέτοιου είδους πτήσεις κατά τις νυκτερινές ώρες αλλά με αυστηρότερες απαιτήσεις και την προϋπόθεση πρόσθετης εκπαίδευσης του πιλότου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε περίπτωση που ένας πιλότος δεν είναι εξειδικευμένος για πτήση δια οργάνων βρεθεί ξαφνικά σε συνθήκες μη επαρκούς ορατότητας δημιουργείται σοβαρή πρόκληση. Σε μια τέτοια περίπτωση και κάτω από ειδικές συνθήκες, είναι δυνατό να ζητηθεί έγκριση για Ειδική VFR πτήση (Special VFR-SVFR). Επιπλέον, υπάρχουν χώρες, όπως ο Καναδάς και το Ισραήλ, που εφαρμόζουν Ελεγχόμενες VFR πτήσεις (Controlled VFR - CVFR) οι οποίες αποτελούν ουσιαστικά πτήσεις εξ' όψεως που όμως απαιτούν διαχωρισμό και μια ελάχιστη καθοδήγηση από τον πύργο ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας.

Κατά τη διάρκεια μιας πτήσης VFR παρέχονται βοηθήματα για τους πιλότους όπως χάρτες οι οποίοι διαθέτουν πλήθος οπτικών αναφορών για αυτοκινητόδρομους, γραμμές υψηλής τάσης, καθώς και διάφορα άλλα στοιχεία για τον καθορισμό του ύψους πτήσης. Στην Ελλάδα, επίσημη πηγή χαρτών και στοιχείων απαραίτητων για το σχεδιασμό και την πραγματοποίηση μια πτήσης VFR, και όχι μόνο, αποτελεί η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας.

Κανόνες ενόργανης πτήσεως

Υπό τους κανόνες ενόργανης πτήσεως ο πιλότος έχει την άδεια να πραγματοποιήσει πτήση σε συνθήκες νέφους και ομίχλης ή περιπτώσεις μηδενικής ορατότητας. Ο πιλότος καθοδηγείται μόνο κάνοντας χρήση οργάνων πλοήγησης του πιλοτήριου και λαμβάνοντας πληροφορίες μέσω ραδιοβοηθημάτων, συστήματος GPS και άλλων συστημάτων ναυσιπλοΐας και επικοινωνίας. Σε αντίθεση με πτήσεις VFR οι ενόργανες πτήσεις πραγματοποιούνται μέσα σε ελεγχόμενο εναέριο χώρο και απαιτούν σχέδιο πτήσης για το οποίο έχουν λάβει άδεια. Ο πιλότος δεν έχει τη δυνατότητα να ελέγξει πλήρως το αεροσκάφος καθώς το ύψος πτήσης είναι καθορισμένο, ακολουθείται μία προκαθορισμένη τροχιά και καθοηγούνται από τους ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας και από τα τερματικά ή εν πτήση βοηθήματα ναυσιπλοΐας.

Οι πτήσεις VFR έχουν ως μέγιστο ύψος πτήσης τα 300 μέτρα πάνω από το έδαφος και δεν υπάρχει απαίτηση στην ορατότητα. Οι καιρικές συνθήκες οι οποίες δεν επιτρέπουν την πραγματοποίηση μιας VFR πτήσης, ονομάζονται Ενόργανες Μετεωρολογικές συνθήκες (Instrument Meteorological Conditions - IMC). Επίσης ισχύουν κανονικά οι απαιτήσεις ορατότητας στην απογείωση και προσγείωση αναλόγως το αεροδρόμιο, τις ικανότητες των χειριστών, τα συστήματα ραδιοβοηθημάτων, τον εξοπλισμό του αεροσκάφους κ.α. Ο διαχωρισμός των αεροσκαφών σε πτήσεις IFR γίνεται με την βοήθεια των ελεγκτών εναέριας κυκλοφορίας καθώς δίνουν οδηγίες για την αποφυγή συγκρούσεων, για την πορεία και για τα ύψη των αεροσκαφών.

Σήμερα όλες οι πτήσεις των αεροπορικών εταιρειών και αρκετές των εμπορικών και γενικής αεροπορίας είναι IFR ακόμα και σε καλές καιρικές συνθήκες διότι εξασφαλίζεται η συμμετοχή των ελεγκτών στην παρακολούθηση της πορείας του αεροσκάφους καθ' όλη τη διάρκεια της πτήσης. Οι πιλότοι που πραγματοποιούν πτήσεις IFR πρέπει να έχουν λάβει ειδική εκπαίδευση την οποία οφείλουν να ανανεώνουν ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

2.4 Γεωμετρία

Στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία έχουν χρησιμοποιηθεί έννοιες και τύποι της γεωμετρίας οι οποίοι αναλύονται συνοπτικά παρακάτω.

Κέντρο βάρους

Το κέντρο βάρους ενός σώματος αντιπροσωπεύει το σημείο στο οποίο η συνολική μάζα του σώματος θεωρείται συγκεντρωμένη, ενώ παραμένει αμετακίνητη υπό την επίδραση της βαρύτητας. Σε ένα ομογενές σώμα, το κέντρο βάρους συμπίπτει με το γεωμετρικό του κέντρο, αλλά σε ανώμαλα σχήματα ή ανομοιογενή υλικά, η θέση του κέντρου βάρους μπορεί να είναι διαφορετική. Για έναν ομογενή και ομοιόμορφο σταθερό όγκο, το κέντρο βάρους βρίσκεται στο κέντρο του όγκου. Ωστόσο, αν το σώμα έχει ανομοιογενή κατανομή μάζας, τότε η θέση του κέντρου βάρους μπορεί να παραμετροποιηθεί ανάλογα με την κατανομή της μάζας. Συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία υπολογίστηκε η θέση του σημείου του κέντρου βάρους ενός τριγώνου, όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

Για ένα τρίγωνο με σημεία A (x_a, y_a, z_a), B (x_b, y_b, z_b) και C(x_c, y_c, z_c) οι συντεταγμένες του σημείου του κέντρου βάρους του υπολογίζονται ως εξής:

$$x = \frac{x_a + x_b + x_c}{3} \quad (1)$$

$$y = \frac{y_a + y_b + y_c}{3} \quad (2)$$

$$z = \frac{z_a + z_b + z_c}{3} \quad (3)$$

Ο καθορισμός του κέντρου βάρους είναι σημαντικός σε πολλούς τομείς, όπως στη μηχανική, τη φυσική, την αεροναυπηγική και την αρχιτεκτονική. Στη μηχανική, για παράδειγμα, η ισορροπία ενός σώματος εξαρτάται από τη θέση του κέντρου βάρους.

Τομή ευθείας με επίπεδο

Στη γεωμετρία, η τομή μιας ευθείας με ένα επίπεδο είναι ένα σημείο ή μια γραμμή όπου η ευθεία αυτή τέμνει το επίπεδο. Η γεωμετρική έννοια αυτή είναι βασική και ευρέως χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς των μαθηματικών και της φυσικής. Όταν μια ευθεία τέμνει ένα επίπεδο, δημιουργείται μια γραμμή τομής. Αν η ευθεία είναι πλάγια προς το επίπεδο, η τομή θα είναι μια ευθεία. Σε περίπτωση που η ευθεία είναι κάθετη προς το επίπεδο, η τομή θα είναι ένα σημείο. Το σημείο τομής της ευθείας με ένα επίπεδο προκύπτει εξισώνοντας τις δύο εξισώσεις ευθείας και επιπέδου.

Έστω ότι μία ευθεία έχει αρχή στο σημείο 0 (x_0, y_0, z_0) και πέρας στο σημείο 1 (x_1, y_1, z_1). Η εξίσωση της ευθείας είναι η παρακάτω με x, y και z να αποτελούν τις συντεταγμένες οποιουδήποτε σημείου είναι πάνω στην ευθεία.

$$\text{Εξίσωση ευθείας: } \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} = \frac{y - y_0}{y_1 - y_0} = \frac{z - z_0}{z_1 - z_0} \quad (4)$$

Έστω ότι υπάρχει και ένα επίπεδο που ορίζεται από τρία σημεία A (x_a, y_a, z_a), B (x_b, y_b, z_b) και C (x_c, y_c, z_c). Η εξίσωση του επιπέδου είναι η ακόλουθη με x, y και z να αντιπροσωπεύει οποιοδήποτε σημείο πάνω στο επίπεδο αυτό.

$$\text{Εξίσωση επιπέδου: } ax + by + cz + d = 0 \quad (5)$$

$$\text{Όπου } a = (y_b - y_a) * (z_c - z_a) - (y_c - y_a) * (z_b - z_a) \quad (6)$$

$$b = (z_b - z_a) * (x_c - x_a) - (z_c - z_a) * (x_b - x_a) \quad (7)$$

$$c = (x_b - x_a) * (y_c - y_a) - (x_c - x_a) * (y_b - y_a) \quad (8)$$

$$d = -(a * x_a + b * y_a + c * z_a) \quad (9)$$

Θεωρώντας ότι η ευθεία και το επίπεδο έχουν ένα κοινό σημείο (x, y, z) για μία τιμή της μεταβλητής t προκύπτει η τομή ευθείας και επιπέδου. Η τιμή της μεταβλητής t προκύπτει είτε με δοκιμές είτε ως εξής:

$$\text{Εξίσωση ευθείας: } \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} = \frac{y - y_0}{y_1 - y_0} = \frac{z - z_0}{z_1 - z_0} = t \quad (10)$$

Άρα $x = x_0 + (x_1 - x_0) * t$, $y = y_0 + (y_1 - y_0) * t$ και $z = z_0 + (z_1 - z_0) * t$

Οπότε αντικαθιστώντας τα x , y , z στην εξίσωση επιπέδου $ax + by + cz + d = 0$ προκύπτει η τιμή του t .

$$t = -\frac{(d + a * x_0 + b * y_0 + c * z_0)}{a * (x_1 - x_0) + b * (y_1 - y_0) + c * (z_1 - z_0)} \quad (11)$$

Στη συνέχεια μπορούν να βρεθούν οι τιμές των x , y , z του σημείου όπου η ευθεία τέμνει το επίπεδο.

Η έννοια της τομής επιπέδου με ευθεία χρησιμοποιείται ευρέως σε προβλήματα γεωμετρίας, όπως ορισμός γωνιών, αποστάσεων, και άλλων γεωμετρικών σχημάτων. Επίσης, συχνά χρησιμοποιείται στη φυσική, ειδικά στην οπτική γεωμετρία, όπου μελετώνται οι διασταυρώσεις φωτεινών ακτινών με επιφάνειες.

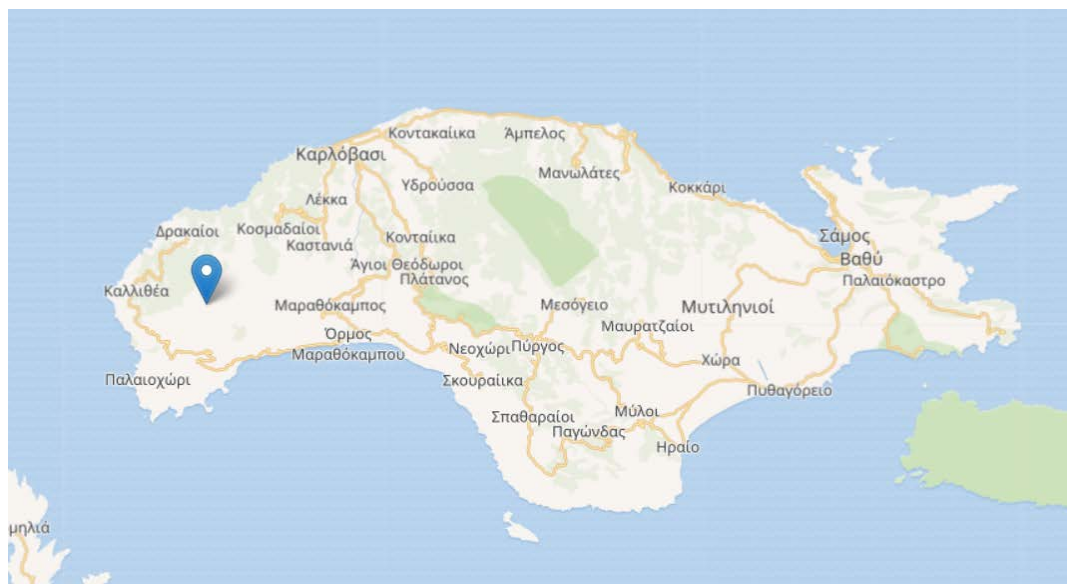
2.5 Αεροπορικά ατυχήματα

2.5.1 Σάμος (Ελλάδα), 1989

Στις 3 Αυγούστου του 1989 η πτήση ΟΑ545 με το αεροπλάνο της Ολυμπιακής Αεροπορίας 'Νήσος Μήλος' συνετρίβη στο όρος Κερκετέας στα βορειοδυτικά της Σάμου με 34 νεκρούς. Το αεροπλάνο ερχόταν από το αεροδρόμιο 'Μακεδονία' της Θεσσαλονίκης με κατεύθυνση την Κω και ενδιάμεσο σταθμό το αεροδρόμιο της Σάμου. Η άφιξη στη Σάμο ήταν προγραμματισμένη για τις 17:30 όμως χάθηκε από το ραντάρ στις 16:45. Για άγνωστο λόγο οι πιλότοι επέλεξαν να πραγματοποιήσουν την προσγείωση εξ όψεως αγνοώντας τα όργανα πτήσεως σε ώρα με πυκνές νεφώσεις. Το αεροσκάφος ήταν τύπου 'SHORTS 330-200' με 31 επιβάτες και 3 μέλη του πληρώματος.

Αποδείχθηκε πως η αιτία του δυστυχήματος ήταν ο λάθος χειρισμός του κυβερνήτη ο οποίος δεν πρόλαβε να κερδίσει ύψος και δεν είχε αναφέρει κάποια μηχανική βλάβη. Η προσέγγιση στο αεροδρόμιο θα έπρεπε να γίνει στα 6.000 πόδια και όχι στα 3.000 (914,4 μ.) που πετούσε το 'Νήσος Μήλος'. Πιθανότατα ένα κενό αέρος κοντά στην κορυφή της Κέρκης επηρέασε την πτήση με αποτέλεσμα να πετάξει χαμηλότερα και τελικά να προσκρούσει στο βουνό. Η κορυφή του βουνού ήταν στα 1420 μέτρα, ενώ το αεροσκάφος προσέκρουσε σε υψόμετρο 1370 μ. Αυτό σήμαινε ότι αν βρισκόταν 50 μ. πιο ψηλά, η σύγκρουση με τις απόκρημνες πλευρές του όρους Κέρκη θα είχε αποφευχθεί. Έξι λεπτά πριν από την πρόσκρουση, κατά την τελευταία επαφή του πληρώματος με τον πύργο ελέγχου, ο κυβερνήτης ανακοίνωσε ότι 'είχε πάρει όλα τα στοιχεία για τον καιρό που επικρατούσε στο αεροδρόμιο και έκανε προσέγγιση όψεως στο διάδρομο 09'. Χωρίς να περιμένει οδηγίες από τον πύργο ελέγχου, χειριζόταν το πηδάλιο με μοναδικά βοηθήματα το ραντάρ του αεροπλάνου και τα όργανα ύψους και αποκλίσεων από τη νοητή γραμμή του διαδρόμου προσγείωσης. Επέλεξε να περάσει πάνω από το βουνό αντί να παρακάμψει το βουνό, κάνοντας έναν μικρό κύκλο. Αργότερα, έγινε γνωστό ότι λίγα δευτερόλεπτα πριν από το δυστύχημα ο πιλότος είχε

εκπέμψει σήμα κινδύνου, το οποίο έλαβε ένας γαλλικός δορυφόρος. Πιθανότατα είδε την κορυφή του βουνού την τελευταία στιγμή, όταν πια δεν μπορούσε να αποφύγει το μοιραίο.



Εικόνα 3. Χάρτης με τοποθεσία αεροπορικού δυστυχήματος Σάμου

Ήταν το πλέον πολύνεκρο δυστύχημα με τέτοιου είδους πτητικό μέσο που έχει καταγραφεί ποτέ, αλλά και το τελευταίο αεροπορικό δυστύχημα της Ολυμπιακής.

2.5.2 Τόκιο (Ιαπωνία), 2024

Στις 2 Ιανουαρίου 2024 στο αεροδρόμιο του Τόκιο το αεροσκάφος Airbus A350 της αεροπορικής εταιρίας ‘Japan Airlines’ της πτήσης JAL516 συγκρούστηκε στο διάδρομο προσγείωσης με ένα μικρότερο αεροσκάφος της ιαπωνικής ακτοφυλακής. Από τη σύγκρουση προκλήθηκε έκρηξη και το Airbus πήρε φωτιά με αποτέλεσμα να καταστραφεί ολοσχερώς. Οι 379 επιβάτες και μέλη του πληρώματος του Airbus πρόλαβαν να απομακρυνθούν από το αεροσκάφος έγκαιρα ενώ 5 επιβαίνοντες του μικρότερου αεροσκάφους σκοτώθηκαν με τον πιλότο να καταφέρνει να διασωθεί. Το αεροσκάφος των Ιαπωνικών Αερογραμμών προερχόταν από το Σαπόρο στη βόρεια Ιαπωνία ενώ το αεροσκάφος της ακτοφυλακής ετοιμαζόταν να πραγματοποιήσει πτήση προς την αεροπορική βάση Νιγκάτα για την παράδοση βοθημάτων στην πληγείσα από σεισμό περιοχή της χερσονήσου Νότο στον νομό Ισικάουα.

Μετά από έρευνες για τα αίτια της σύγκρουσης φαίνεται ότι το αεροσκάφος της ακτοφυλακής είχε μπει λανθασμένα στο διάδρομο. Οι απομαγνητοφωνήσεις των οδηγιών του πύργου ελέγχου που δόθηκαν στη δημοσιότητα από τις αρχές δείχνουν ότι το επιβατικό αεροσκάφος είχε λάβει άδεια προσγείωσης, αλλά εκείνο της ακτοφυλακής είχε κληθεί να τροχοδρομήσει μέχρι ένα σημείο αναμονής κοντά στο διάδρομο προσγείωσης-απογείωσης. Επομένως δεν υπήρχε ένδειξη ότι το αεροσκάφος της ακτοφυλακής είχε λάβει άδεια απογείωσης. Είναι αρκετά πιθανό ότι το αεροσκάφος αυτό δεν ήταν εξοπλισμένο με σύγχρονο αναμεταδότη ADS-B, που χρησιμοποιείται

για τη μετάδοση πολύ ακριβών πληροφοριών σχετικά με τη θέση του στους ελεγκτές εδάφους. Για το λόγο αυτό υπάρχει πιθανότητα ο πύργος ελέγχου να μην γνώριζε την πραγματική θέση του σύμφωνα με την επιτήρηση μέσω ραντάρ και να απαιτήθηκε να ελεγχθεί η θέση του εξ' όψεως.

Το Χανέντα, ένα από τα δύο διεθνή αεροδρόμια της ιαπωνικής πρωτεύουσας και ένα από τα πιο πολυσύχναστα αεροδρόμια στον κόσμο, έκλεισε προσωρινά. Παρόλο τον μικρό αριθμό θυμάτων το δυστύχημα αυτό προκαλεί ανησυχία καθώς η παγκόσμια, συνεχώς αυξανόμενη αεροπορική κίνηση πρέπει απαραίτητως να συνδυαστεί με την ασφαλή καθοδήγηση και συντονισμό από τους ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας.

2.5.2 Τενερίφη (Ισπανία), 1977

Στις 27 Μαρτίου 1977 στο αεροδρόμιο 'Los Rodeos' της Τενερίφης το αεροσκάφος της αεροπορικής εταιρίας 'KLM' τύπου Boeing 747 συγκρούστηκε στον διάδρομο κατά την απογείωση του με αεροσκάφος της 'Pan Am' ίδιου τύπου. Η σύγκρουση αυτή επέφερε τον θάνατο σε 583 ανθρώπους αφού προκλήθηκε πυρκαγιά, κάνοντας την το πλέον πολύνεκρο δυστύχημα των αερομεταφορών. Η σύγκρουση συνέβη όταν το αεροσκάφος της 'KLM' ξεκίνησε την απογείωση του, ενώ το αεροσκάφος της 'Pan Am' βρισκόταν επίσης στον ίδιο διάδρομο με σκοπό να στρίψει στον τροχόδρομο. Φαίνεται πως το αεροσκάφος της 'Pan Am' είχε εντολή να κινηθεί στην έξοδο 3 αλλά, παράλα αυτά, κατευθυνόταν προς την έξοδο 4 ενώ το πλήρωμα του αεροσκάφους της 'KLM' είχε λανθασμένα την εντύπωση πως έχει άδεια για απογείωση.

Στο αεροδρόμιο επικρατούσαν πυκνές νεφώσεις που καταστύσαν δύσκολη την ορατότητα των πιλότων αλλά και των ελεγκτών εναέριας κυκλοφορίας. Παράλληλα στο αεροδρόμιο υπήρχε μεγάλος αριθμός αεροσκαφών λόγω της διακοπής της λειτουργίας του αεροδρομίου 'Gran Canaria' εξαιτίας βομβιστικής επίθεσης. Ο μόνος διαθέσιμος τρόπος επικοινωνίας ήταν μέσω ραδιοεπικοινωνίας με πολλές παρεμβολές που οδήγησαν σε παρεξηγήσεις μεταξύ πιλότων και ελεγκτών. Η αεροπορική τραγωδία της Τενερίφης έδωσε έναυσμα προκειμένου να ληφθούν μέτρα για την αποφυγή παρόμοιων περιστατικών. Ο ICAO καθιέρωσε την τυποποιημένη φρασεολογία μεταξύ πύργου ελέγχου και πιλότων, ώστε να αποφεύγονται οι όποιες παρανοήσεις και αποδυνάμωσε την απόλυτη εξουσία του κυβερνήτη του αεροσκάφους, που ίσχυε έως τότε. Έκτοτε ο κυβερνήτης οφείλει να λάβει υπόψη τις παρατηρήσεις των μελών του πληρώματος προτού πάρει κάποια σημαντική απόφαση και τα μέλη ενθαρρύνονται επίσης να εκφράσουν τυχόν αντιρρήσεις τους σχετικά με θέματα ασφαλείας της πτήσης προς εκείνον.

3. Ορατότητα πύργου ελέγχου - Μεθοδολογία

Όπως παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια είναι σημαντικό οι ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας να έχουν πλήρη ορατότητα στην περιοχή του αεροδρομίου από τον πύργο ελέγχου. Επομένως απαιτείται μία μέθοδος κατά την οποία οι μελετητές και οι αρμόδιες αρχές θα μπορούν να χρησιμοποιούν ώστε να ελέγχουν την επάρκεια ορατότητας του πύργου ελέγχου αεροδρομίου. Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία των δεδομένων καθώς και του προγράμματος, σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran, για την εύρεση του ποσοστού ορατότητας του πύργου ελέγχου.

3.1 Στόχοι και βήματα προγράμματος

Για το σκοπό της παρούσας εργασίας απαιτήθηκε η δημιουργία ενός προγράμματος που θα μπορεί να εξάγει από μια δεδομένη επιφάνεια με ένα δεδομένο πύργο ελέγχου το ποσοστό της επιφάνειας αυτής στην οποία έχει ορατότητα ο πύργος. Στην παρούσα ενότητα περιγράφεται η διαδικασία δημιουργίας προγράμματος, σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN, που αποδίδει τις κρίσιμες περιοχές από άποψη ορατότητας του πύργου ελέγχου. Σε συνδυασμό με το σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD εξάγεται ένα αρχείο σχεδίου που εμφανίζει αναλυτικά την περιοχή ελέγχου και προβάλλει στο χρήστη τις περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει ορατότητα. Παρακάτω αναλύονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν.

Προσδιορισμός δεδομένων

Για τη δημιουργία του προγράμματος κατά το οποίο θα γίνει μία συσχέτιση πύργου ελέγχου και της περιοχής γύρω του πρέπει να προσδιοριστούν κάποια σχετικά δεδομένα. Αρχικά απαιτείται να είναι γνωστή η θέση του πύργου ελέγχου, δηλαδή οι συντεταγμένες του. Επίσης θα πρέπει να είναι διαθέσιμη η περιοχή ελέγχου με το υπόβαθρο του εδάφους όπως και ο διάδρομος και τα κτίρια του αεροδρομίου.

Καθορισμός ζητούμενων αποτελεσμάτων

Όπως έχει αναφερθεί ήδη στόχος είναι να εξεταστεί κατά πόσο ο πύργος ελέγχου έχει ορατότητα στην περιοχή ελέγχου. Επομένως, μετά από ανάγνωση και επεξεργασία των δεδομένων, απαιτείται το αποτέλεσμα της μεθοδολογίας να είναι ένα αρχείο σχεδίου που θα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να προσδιορίσει εύκολα τις περιοχές εκείνες οι οποίες δεν είναι ορατές. Η αναγνώριση των περιοχών αυτών θα βοηθήσει το χρήστη να καθορίσει εάν ο πύργος έχει την απαιτούμενη ορατότητα και πιο συγκεκριμένα εάν η θέση και το ύψος του είναι τα βέλτιστα.

Καταμερισμός εργασιών

Σε πρώτο στάδιο θα πρέπει να γίνει προσομοίωση και ψηφιακή απεικόνιση του εδάφους και των κυριότερων στοιχείων που περιλαμβάνονται στο χώρο του αεροδρομίου, δηλαδή τα κτίρια και ο διάδρομος προσγείωσης και απογείωσης. Στη συνέχεια θα πρέπει να εισαχθεί σε αυτά η θέση του πύργου ελέγχου και να εξεταστεί

ποια σημεία της προσομοιωμένης περιοχής είναι ορατά ή όχι σε αυτόν. Παρακάτω αναλύεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε καθώς και η δημιουργία του προγράμματος που απαιτήθηκε για την επίτευξη του στόχου της παρούσας εργασίας.

3.2 Ψηφιοποίηση εδάφους

Η ψηφιακή απεικόνιση του εδάφους αλλά και των επιφανειών (κτιρίων αεροδρομίου, διάδρομος) που βρίσκονται στον περιβάλλοντα χώρο του πύργου ελέγχου είναι αναγκαία για τον έλεγχο της ορατότητας. Επομένως απαιτείται η αναπαράσταση του εδάφους με τη μορφή ενός ανάγλυφου, δηλαδή μιας δισδιάστατης επιφάνειας που αναπαριστά τον τρισδιάστατο χώρο όπου κάθε κατακόρυφη ευθεία την τέμνει σε ένα το πολύ σημείο της. Τα ανάγλυφα απεικονίζονται είτε μέσω ισοϋψών όπως στους τοπογραφικούς χάρτες είτε μέσω προοπτικού σχεδίου.

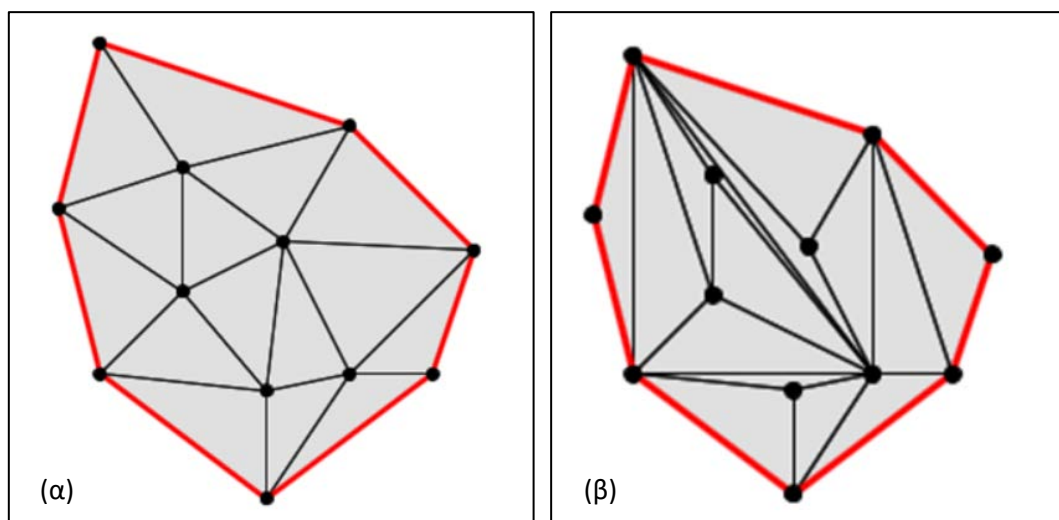
Για να εξαχθεί το ανάγλυφο της περιοχή ελέγχου είναι απαραίτητο να γίνει ψηφιοποίηση του εδάφους του οποίου εξετάζεται. Ζητούμενο είναι, λοιπόν, η αναπαράσταση της επιφάνειας σε τρισδιάστατη μορφή. Τα σχέδια στην παρούσα εργασία έγιναν με χρήση του λογισμικού AutoCAD και ArchGIS και επεξεργάστηκαν και με το λογισμικό MicroStation και InRoads. Επίσης προκειμένου να καταστεί πιο εύκολη η χρήση των μαθηματικών σχέσεων της γεωμετρίας δημιουργήθηκε προοπτικό σχέδιο για κάθε επιφάνεια ύστερα από τη δημιουργία ισοϋψών. Αυτό πραγματοποιήθηκε με τη διαδικασία του τριγωνισμού και συγκεκριμένα η μοντελοποίηση βασίστηκε στη μέθοδο του τριγωνισμού Delaunay.

3.2.1 Τριγωνισμός Delaunay

Ο τριγωνισμός ενός συνόλου σημείων είναι μια επίπεδη υποδιαίρεση στην οποία οι φραγμένες έδρες είναι τρίγωνα του τρισδιάστατου χώρου και οι κορυφές είναι τα δεδομένα σημεία του συνόλου, τα οποία έχουν συγκεκριμένο υψόμετρο. Στην περίπτωση τομής δύο τριγώνων, τότε αυτή αντιστοιχεί είτε σε μία κοινή τους πλευρά είτε σε μια κοινή κορυφή τους. Σημειώνεται ότι, η εκτίμηση του υψομέτρου οποιουδήποτε σημείου των διαμορφωμένων τριγώνων υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή. Ως εκ τούτου όσο πιο απομακρυσμένα είναι τα γνωστά σημεία μεταξύ τους τόσο πιο μεγάλα προκύπτουν τα τρίγωνα και ο τριγωνισμός θεωρείται λιγότερο ακριβής. Έτσι, ο ζητούμενος τριγωνισμός είναι εκείνος που αποτρέπει το σχηματισμό μακρόστενων και οξύληκτων τριγώνων και συνεπώς εκείνος που μεγιστοποιεί την ελάχιστη γωνία του. Αυτός είναι ο τριγωνισμός Delaunay.

Χαρακτηριστικά Τριγωνισμού Delaunay

Σύμφωνα με τον τριγωνισμό Delaunay ενός συνόλου σημείων, το κάθε τρίγωνο ορίζεται από τρία δεδομένα σημεία εφόσον ο περιγεγραμμένος κύκλος του είναι κενός, δεν περιέχει δηλαδή άλλα σημεία στο εσωτερικό του. Παράλληλα οι πλευρές των τριγώνων ορίζονται από δύο σημεία όταν αυτά περιέχονται στην περιφέρεια ενός επίσης κενού κύκλου, δηλαδή όταν αυτά τα δύο σημεία αποτελούν χορδή ενός κύκλου μέσα στον οποίο δεν εμπεριέχεται κανένα άλλο σημείο.

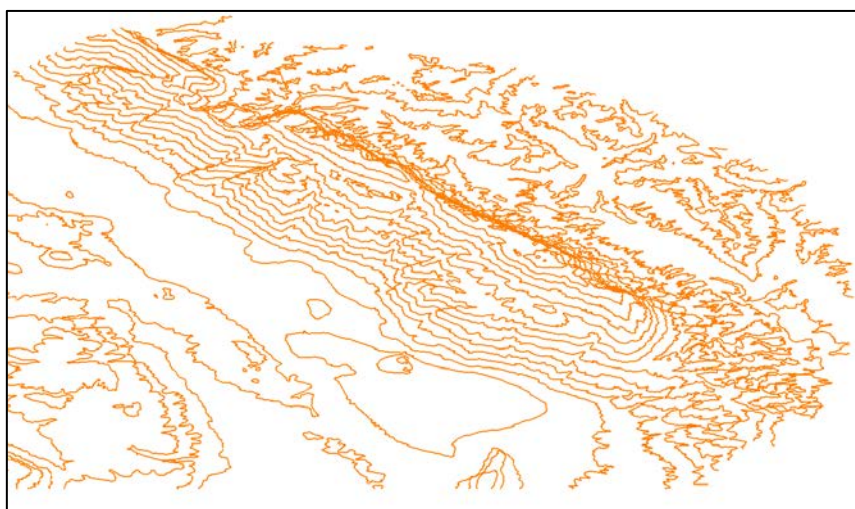


Εικόνα 4. Παραδείγματα τριγωνισμού (α) με και (β) χωρίς μέθοδο Delaunay

Εφαρμογή τριγωνισμού Delaunay

Γενικότερα η απεικόνιση του εδάφους με τη χρήση ισοϋψών καμπύλων (τοπογραφικοί χάρτες) δίνει αρκετές πληροφορίες για το ανάγλυφο της περιοχής και μπορεί κανείς να κατανοήσει το περιβάλλον το οποίο απεικονίζεται. Όμως για τη μοντελοποίηση του ανάγλυφου, και για να μπορούν να εφαρμοστούν οι παραπάνω αναφερθείσες μαθηματικές σχέσεις, εφαρμόζεται τριγωνισμός σε δεδομένο σύνολο σημείων που ορίζουν τις ισοϋψείς μιας περιοχής ή κτιρίων. Επομένως ένα σχέδιο με ορισμένα σημεία (ισοϋψείς, κτίρια, διάδρομος προσγείωσης-απογείωσης) μετατρέπεται σε σχέδιο με τρίγωνα μέσω της εφαρμογής BentleyInRoads που διατίθεται από το λογισμικό Microstation. Η εφαρμογή αυτή δημιουργεί μία επιφάνεια αποτελούμενη από τρίγωνα των οποίων οι κορυφές είναι σημεία του αρχικού σχεδίου και έχουν συντεταγμένες (x, y, z). Έτσι προκύπτει η επιφάνεια προς έλεγχο, δηλαδή το μοντέλο εδάφους.

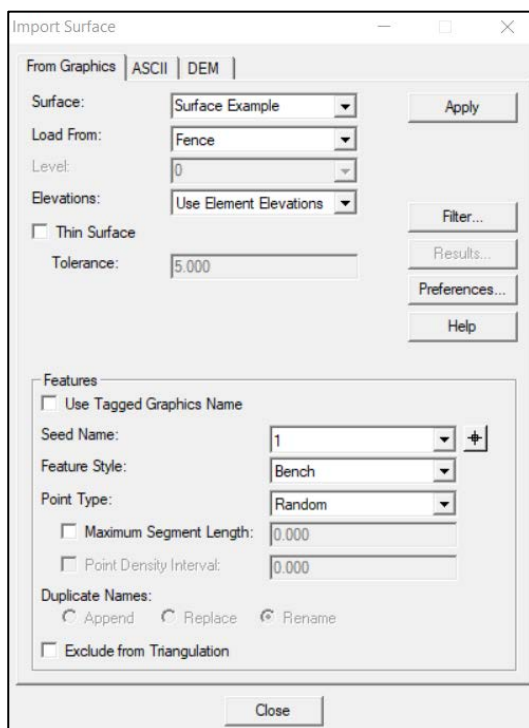
3.2.2 Μεθοδολογία τριγωνισμού



Εικόνα 5. Απεικόνιση ανάγλυφου σε τρισδιάστατο σχέδιο ισοϋψών καμπυλών

Επί παραδείγματι, έστω ότι το ανάγλυφο που πρόκειται να τριγωνοποιηθεί είναι το παραπάνω (Εικόνα 5). Με την εισαγωγή του στο InRoads σε μορφή .dwg μπορεί να δημιουργηθεί μία επιφάνεια με όλα τα γραφικά στοιχεία του σχεδίου. Η ακολουθία εντολών είναι η εξής: *File>Import>Surface>Load from:Fence*.

Ανάλογα με την επιφάνεια ενδιαφέροντος τα στοιχεία μπορούν να εισαχθούν σε διάφορους τύπους όπως ισοϋψείς (*Contour Features*) είτε τυχαία (*Random Features*). Η επιφάνεια που δημιουργήθηκε από τις ισοϋψείς εμφανίζεται στο παράθυρο της εφαρμογής με όλα τα στοιχεία της αναλυτικά.

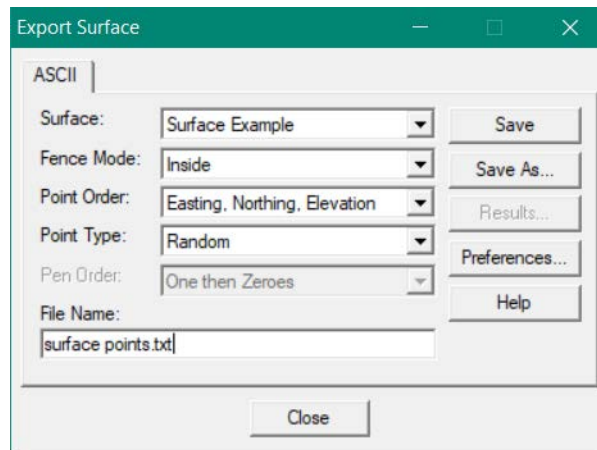


Εικόνα 6. Παράθυρο εντολής *Import Surface* της εφαρμογής *InRoads*

Data Type	Active	Features	Deleted	Total	Blocks	Min Northing	Min Easting	Min Elevation	Max Northing
Breakline Features	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
Contour Features	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
Exterior Features	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
Inferred Breaklines	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
Interior Features	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
Random Features	57961	1	0	57961	1	0.000	0.000	0.000	0.000
Range Points	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
Triangles	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000

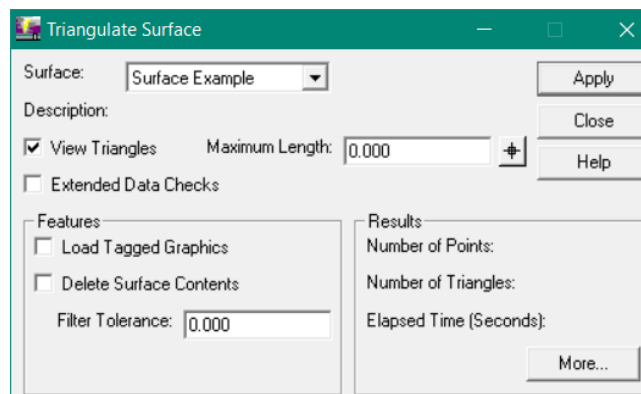
Εικόνα 7. Περιβάλλον επεξεργασίας επιφανειών της εφαρμογής *InRoads*

Για τη σωστή λειτουργία του λογισμικού που χρησιμοποιείται στη συνέχεια τα στοιχεία του σχεδίου εισάγονται ως τυχαία σε αυτό το στάδιο. Στη συνέχεια εξάγεται αρχείο δεδομένων που περιέχει όλα τα σημεία του σχεδίου αυτού. Η διαδικασία είναι η εξής: *File>Export>Surface>Save as*



Εικόνα 8. Παράθυρο εντολής *Export Surface* της εφαρμογής *InRoads*

Τα σημεία αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον τριγωνισμό δημιουργώντας ένα νέο σχέδιο που περιέχει μόνο αυτά τα σημεία. Από το νέο αυτό σχέδιο δημιουργείται με παρόμοιο τρόπο (βλ. σελίδα 18) η επιφάνεια ενδιαφέροντος. Ο τριγωνισμός θα πραγματοποιηθεί με τις ακόλουθες εντολές: *Surface>Triangulate Surface*.

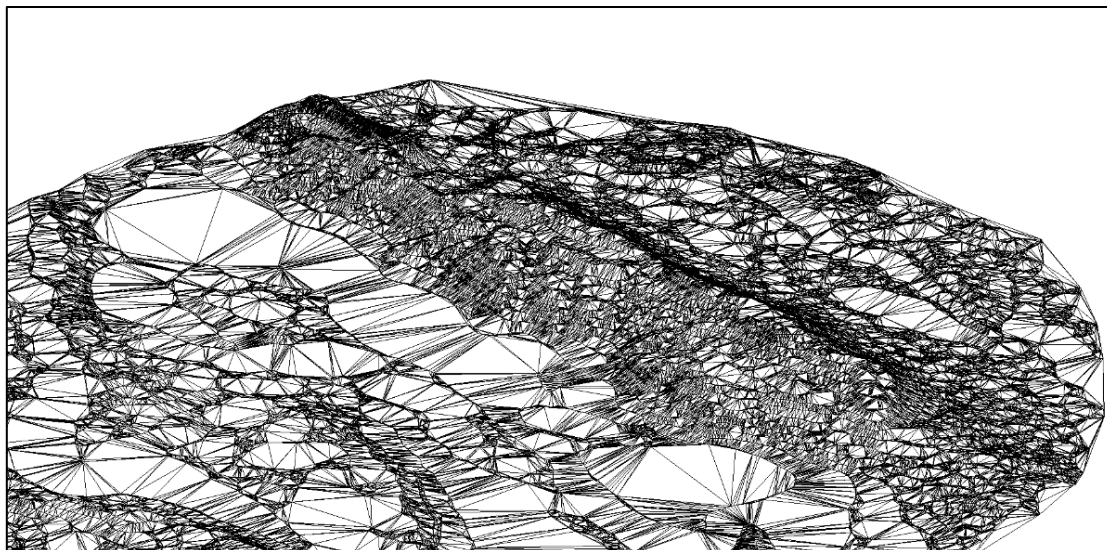


Εικόνα 9. Παράθυρο εντολής *Triangulate Surface* της εφαρμογής *InRoads*

Σε αυτό το σημείο, μπορεί να επιλεγθεί και το μέγιστο μήκος πλευράς τριγώνου ώστε να μην προκύψουν πολύ μεγάλα ή μακρόστενα τρίγωνα. Με τις εντολές *Surface>View Surface>Triangles* εμφανίζονται τα τρίγωνα και πάνω στο σχέδιο. Η διαδικασία αυτή απαιτεί μερικές δοκιμές ώστε να προκύψουν ομοιόμορφα τρίγωνα. Στο παράθυρο με τα στοιχεία της επιφάνειας εμφανίζεται και ο συγκεκριμένος αριθμός τριγώνων που δημιουργήθηκαν. Το σχέδιο αυτό μπορεί να αποθηκευτεί στη συνέχεια σε μορφή .dwg ώστε να μπορεί να αναγνωστεί και να επεξεργαστεί από το σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD.

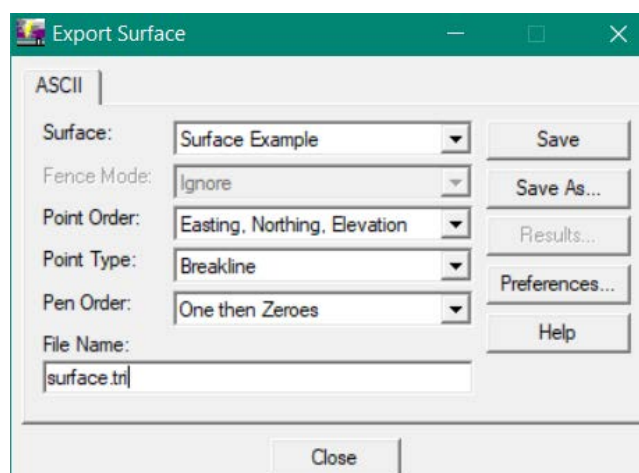
Η ταυτότητα των τριγώνων αυτών είναι σημαντική για τη συνέχεια. Για να προκύψει ένα αρχείο με τα δεδομένα του κάθε τριγώνου, δηλαδή τις συντεταγμένες (X,Y,Z) των

τριών κορυφών χρειάζεται να εισαχθούν εκ νέου στην επιφάνεια τα τρίγωνα. Αυτό γίνεται με τις εντολές *File>Import>Surface> Point Type: Breakline*.



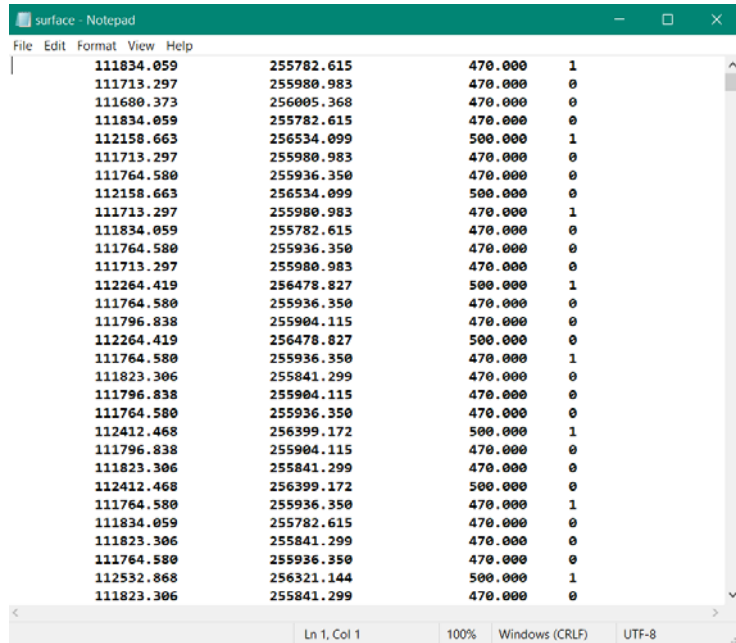
Εικόνα 10. Μοντέλο εδάφους ανεπτυγμένο με τη μέθοδο του τριγωνισμού

Ύστερα, εξάγεται ένα αρχείο δεδομένων όπως και παραπάνω μόνο που σε αυτό το στάδιο επιλέγονται τα στοιχεία τύπου *Breakline* και αποθηκεύονται σε αρχείο με κατάληξη *.tri*.



Εικόνα 11. Παράθυρο εντολής Export Surface για τη δημιουργία αρχείου .tri

Παρακάτω παρουσιάζεται η μορφή του ζητούμενου αρχείου. Η τέταρτη στήλη υποδηλώνει τα διαφορετικά σημεία για κάθε τρίγωνο. Κάθε φορά που εμφανίζεται ο αριθμός 1 αλλάζει και το τρίγωνο για το οποίο δίνονται οι συντεταγμένες.



111834.059	255782.615	470.000	1
111713.297	255980.983	470.000	0
111680.373	256005.368	470.000	0
111834.059	255782.615	470.000	0
112158.663	256534.099	500.000	1
111713.297	255980.983	470.000	0
111764.580	255936.350	470.000	0
112158.663	256534.099	500.000	0
111713.297	255980.983	470.000	1
111834.059	255782.615	470.000	0
111764.580	255936.350	470.000	0
111713.297	255980.983	470.000	0
112264.419	256478.827	500.000	1
111764.580	255936.350	470.000	0
111796.838	255904.115	470.000	0
112264.419	256478.827	500.000	0
111764.580	255936.350	470.000	1
111823.306	255841.299	470.000	0
111796.838	255904.115	470.000	0
111764.580	255936.350	470.000	0
112412.468	256399.172	500.000	1
111796.838	255904.115	470.000	0
111823.306	255841.299	470.000	0
112412.468	256399.172	500.000	0
111764.580	255936.350	470.000	1
111834.059	255782.615	470.000	0
111823.306	255841.299	470.000	0
111764.580	255936.350	470.000	0
112532.868	256321.144	500.000	1
111823.306	255841.299	470.000	0

Εικόνα 12. Αρχείο .tri με δεδομένα τριγώνων ανάγλυφου

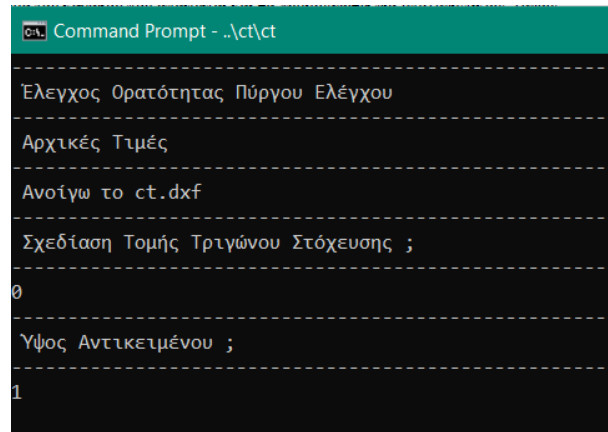
3.3 Πρόγραμμα CT.FOR (Control Tower)

Το πρόγραμμα CT.FOR είναι ένα μοντέλο υπολογισμού που περιλαμβάνει το ILT.FOR και το I2L.FOR και δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ελέγξει την ορατότητα ενός πύργου ελέγχου. Εισάγοντας μία επιφάνεια ελέγχου στο πρόγραμμα, αυτό, μετά από τους απαιτούμενους υπολογισμούς, εξάγει την επιφάνεια με τρόπο τέτοιο όπου ο χρήστης μπορεί εύκολα να διακρίνει τις μη ορατές.

Για τη λειτουργία του προγράμματος απαιτούνται δύο αρχεία δεδομένων που αποτελούν τα δεδομένα ‘εισόδου’ του προγράμματος. Πρώτον ένα αρχείο κειμένου μορφής (.txt) με τις συντεταγμένες του πύργου ελέγχου ως ένα σημείο ‘ct.xyz’ και δεύτερον ένα αρχείο της τριγωνοποιημένης επιφάνειας ελέγχου ‘ct.tri’ που μπορεί να δημιουργηθεί όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 3.2. Τα αρχεία αυτά πρέπει να έχουν συγκεκριμένες ονομασίες ώστε να διαβάζονται από το πρόγραμμα.

Ταυτόχρονα μέσα από το πρόγραμμα ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα συγκεκριμένο τρίγωνο στόχο το οποίο θα εμφανιστεί στο εξαγόμενο σχέδιο με την ευθεία που προκύπτει από τον πύργο ελέγχου.

Ακολούθως έχει την επιλογή να θέσει ένα ύψος αντικειμένου. Το ύψος αντικειμένου αφορά τη στόχευση σε ένα ύψος πάνω από το κέντρο βάρους του κάθε τριγώνου. Δηλαδή γίνεται στόχευση σε ένα ακόμη σημείο που έχει ίδια X και Y με το κέντρο βάρους του τριγώνου αλλά το ύψος του Z έχει αυξηθεί κατά το ύψος αντικειμένου. Έτσι μπορούν να συμπεριληφθούν στη διαδικασία και τυχόν εμπόδια.



```

C:\ct\ct
-----
Ελεγχος Ορατότητας Πύργου Ελέγχου
-----
Αρχικές Τιμές
-----
Ανοίγω το ct.dxf
-----
Σχεδίαση Τομής Τριγώνου Στόχευσης ;
θ
-----
Υψος Αντικειμένου ;
1

```

Εικόνα 13. Παράθυρο εντολών για την επιλογή τριγώνου στόχευσης και ύψος αντικειμένου

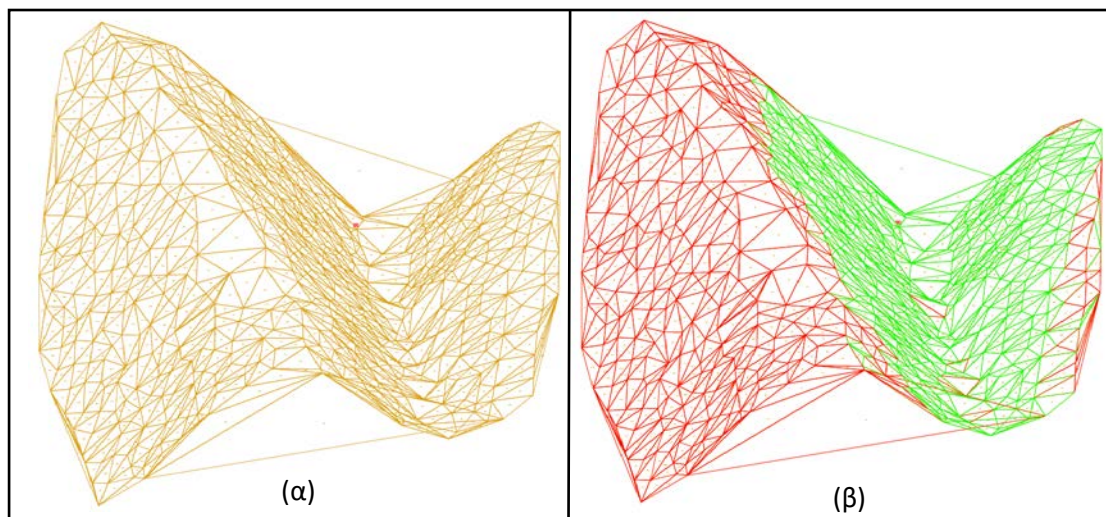
Ύστερα από την ανάγνωση των δεδομένων γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων του αρχείου *ct.tri* ώστε να βρεθεί το κέντρο βάρους του κάθε τριγώνου που αποτελεί το ανάγλυφο. Ο **έλεγχος ορατότητας** γίνεται στοχεύοντας από το σημείο του πύργου ελέγχου προς στο κέντρο βάρους του κάθε τριγώνου του ανάγλυφου. Δηλαδή δημιουργείται μία ευθεία με αρχικό σημείο τον πύργο ελέγχου και τελικό το κέντρο βάρους του κάθε τριγώνου.

Στη συνέχεια με χρήση της γεωμετρικής μεθόδου τομής ευθείας και επιπέδου το πρόγραμμα σε συνδυασμό με τον κώδικα του ILT.FOR ελέγχει πόσα τρίγωνα τέμνει η ευθεία πριν φτάσει στο τρίγωνο στόχο. Εάν η ευθεία αυτή δεν τέμνει άλλο τρίγωνο παρά μόνο το τρίγωνο στόχευσης τότε θεωρείται ότι ο πύργος ελέγχου έχει ορατότητα στην περιοχή αυτή (στο τρίγωνο αυτό) και γίνεται πράσινη. Εάν η ευθεία περάσει μέσα από άλλο τρίγωνο τότε το τρίγωνο στόχος γίνεται κόκκινο και θεωρείται ότι ο πύργος ελέγχου δεν έχει ορατότητα σε αυτό.

Ομοίως στην περίπτωση που ο χρήστης δώσει ένα ύψος αντικειμένου το πρόγραμμα στοχεύει από τον πύργο ελέγχου στο κέντρο βάρους των τριγώνων αλλά αυξάνοντας το ύψος του κατά το ύψος αντικειμένου. Έτσι τα τρίγωνα χρωματίζονται κόκκινα ή πράσινα αναλόγως με το εάν ο πύργος ελέγχου βλέπει στο ύψος αντικειμένου.

Επαναλαμβάνεται η διαδικασία αυτή μέχρι να γίνει ο έλεγχος σε κάθε τρίγωνο της επιφάνειας ελέγχου. Αξίζει να σημειωθεί πως η τομή ευθείας-επιπέδου μπορεί να είναι σε σημείο εντός ή εκτός του τριγώνου που ορίζει το επίπεδό του. Για τον λόγο αυτό το πρόγραμμα εμφανίζει ύπαρξη τομής μόνο εάν η τομή είναι εντός του επιπέδου του τριγώνου.

Στη συνέχεια, κατά την εκτέλεση του προγράμματος δημιουργείται ένα νέο αρχείο το οποίο αποτελεί το αρχείο 'εξόδου' του προγράμματος. Το αρχείο αυτό είναι μορφής .dwg και ανοίγει με το σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD με χρήση του κώδικα I2L.FOR. Πρόκειται για την ψηφιοποιημένη επιφάνεια με το κάθε τρίγωνο χρωματισμένο ανάλογα με την ορατότητα του πύργου ελέγχου σε αυτό.



*Εικόνα 14. Αρχικό σχέδιο ανάγλυφου (α) και σχέδιο εξόδου από το πρόγραμμα CT (β).
Με κόκκινο σημείο είναι επισημασμένος ο πύργος ελέγχου.*

Σημειώνεται ότι το μοντέλο μπορεί να βγάλει αποτελέσματα σε επιφάνειες με τον περιορισμό των 300.000 τριγώνων άρα και τα αρχεία ct.tri δεν μπορούν να περιέχουν πάνω από 900.000 γραμμές. Οι εντολές καθώς και όλο το πρόγραμμα, όπως αυτό συντάχθηκε, παρατίθενται στο Παράρτημα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

4. Μελέτη Εφαρμογής

Η εφαρμογή της μεθόδου για τον έλεγχο ορατότητας του πύργου ελέγχου αεροδρομίων πραγματοποιήθηκε σε δύο ελληνικά, πολιτικά αεροδρόμια τα οποία κρίθηκαν προβληματικά από άποψη ορατότητας. Αρχικά, ο κρατικός αερολιμένας Ιωαννίνων και ύστερα ο κρατικός αερολιμένας Σάμου. Τα δύο αυτά αεροδρόμια είναι υπό τη διαχείριση της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας και εξυπηρετούν κυρίως πτήσεις εσωτερικού με μερικούς διεθνείς προορισμούς.

Ο αερολιμένας των Ιωαννίνων επιλέχθηκε καθώς πρόκειται για περιοχή ορεινή με αρκετές βουνοκορφές γύρω από το αεροδρόμιο που φτάνουν μέχρι και τα 1700 μ. υψόμετρο στα ανατολικά. Στην περιοχή επικρατούν συχνά νεφώσεις και βροχές με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία η απομάκρυνση όσο το δυνατό περισσότερων εμποδίων ορατότητας για τον πύργο ελέγχου.

Στη Σάμο οι ορεινοί όγκοι δεν φθάνουν σε τόσο μεγάλα υψόμετρα (μέχρι 1400 μ.) όπως στα Ιωάννινα και η μία πλευρά του διαδρόμου καταλήγει στη θάλασσα, συνεπώς δεν υπάρχουν τόσα εμπόδια ορατότητας. Όμως λόγω του σοβαρού δυστυχήματος του 1989 επιλέχθηκε για να γίνει έλεγχος ορατότητας.

4.1 Αερολιμένας Ιωαννίνων

4.1.1 Μελέτη εφαρμογής κρατικού αερολιμένα Ιωαννίνων

Τα Ιωάννινα βρίσκονται στο βορειοδυτικό τμήμα της ηπειρωτικής Ελλάδας. Η πόλη των Ιωαννίνων, είναι η πρωτεύουσα του Δήμου Ιωαννιτών και η μεγαλύτερη πόλη της περιφέρειας Ηπείρου. Έχει πληθυσμό 64.896 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2021 και έκταση 403 τ.χλμ. Τα Ιωάννινα είναι μία πόλη που βρίσκεται σε κομβικό σημείο σύνδεσης δύο κύριων οδικών αρτηριών της χώρας: της Εγνατίας και της Ιόνιας, προσφέροντας ένα γρήγορο και άνετο ταξίδι σε προορισμούς εντός και εκτός Ηπείρου.

Ο κρατικός αερολιμένας Ιωαννίνων ‘Βασιλεύς Πύρρος’ (ΚΑΙΩΠ) βρίσκεται σε απόσταση 5 χιλιομέτρων από το κέντρο της πόλης των Ιωαννίνων προς το Βορρά. Ο κωδικός ανάγνωσης για τη Διεθνή Ένωση Αερομεταφορών (International Air Transport Association – IATA) είναι IOA, για τον ICAO είναι LGIO και για την ΥΠΑ είναι ΚΑΙΩΠ.

Ιδρύθηκε το 1932 και το 2019 ολοκληρώθηκε η ανακατασκευή του όταν απέκτησε τη σημερινή του μορφή. Βρίσκεται σε υψόμετρο 476 μ., έχει γεωγραφικό πλάτος 39°41’50’’ Βόρειο και γεωγραφικό μήκος 20°49’19’’ Ανατολικό. Ο διάδρομος έχει μήκος περί τα 2400 μ. με πλάτος 45 μ. και διεύθυνση 14/32 . Στον τερματικό σταθμό 1.500 τ.μ., οι κτιριακές εγκαταστάσεις καλύπτουν περί τα 5.300 τ.μ. και ο πύργος ελέγχου βρίσκεται σε απόσταση 300 μ. περίπου από το κεντρικό κτίριο του επιβατικού αεροσταθμού ύστερα από την ανακατασκευή του.

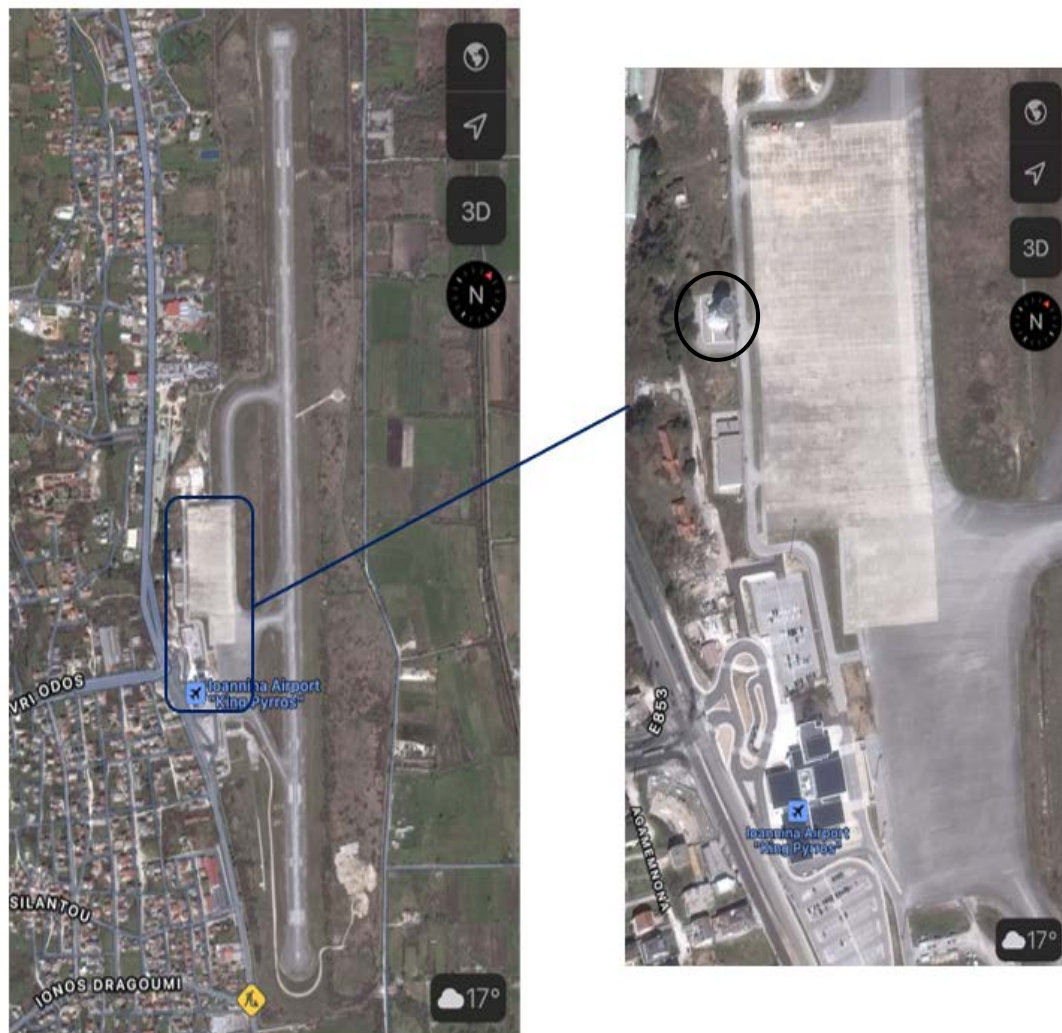


Εικόνα 15. Θέση κρατικού αερολιμένα Ιωαννίνων



Εικόνα 16. Αεροσταθμός κρατικού αερολιμένα Ιωαννίνων

Ο πύργος ελέγχου έχει ύψος περίπου 10 μ. Ο αερολιμένας διαθέτει έναν πυροσβεστικό σταθμό ο οποίος εξασφαλίζει κατηγορία πυρασφάλειας 6 (VI), θέσεις στάθμευσης αεροσκαφών Γενικής Αεροπορίας και χώρο στάθμευσης για αεροσκάφη αερολεσχών.



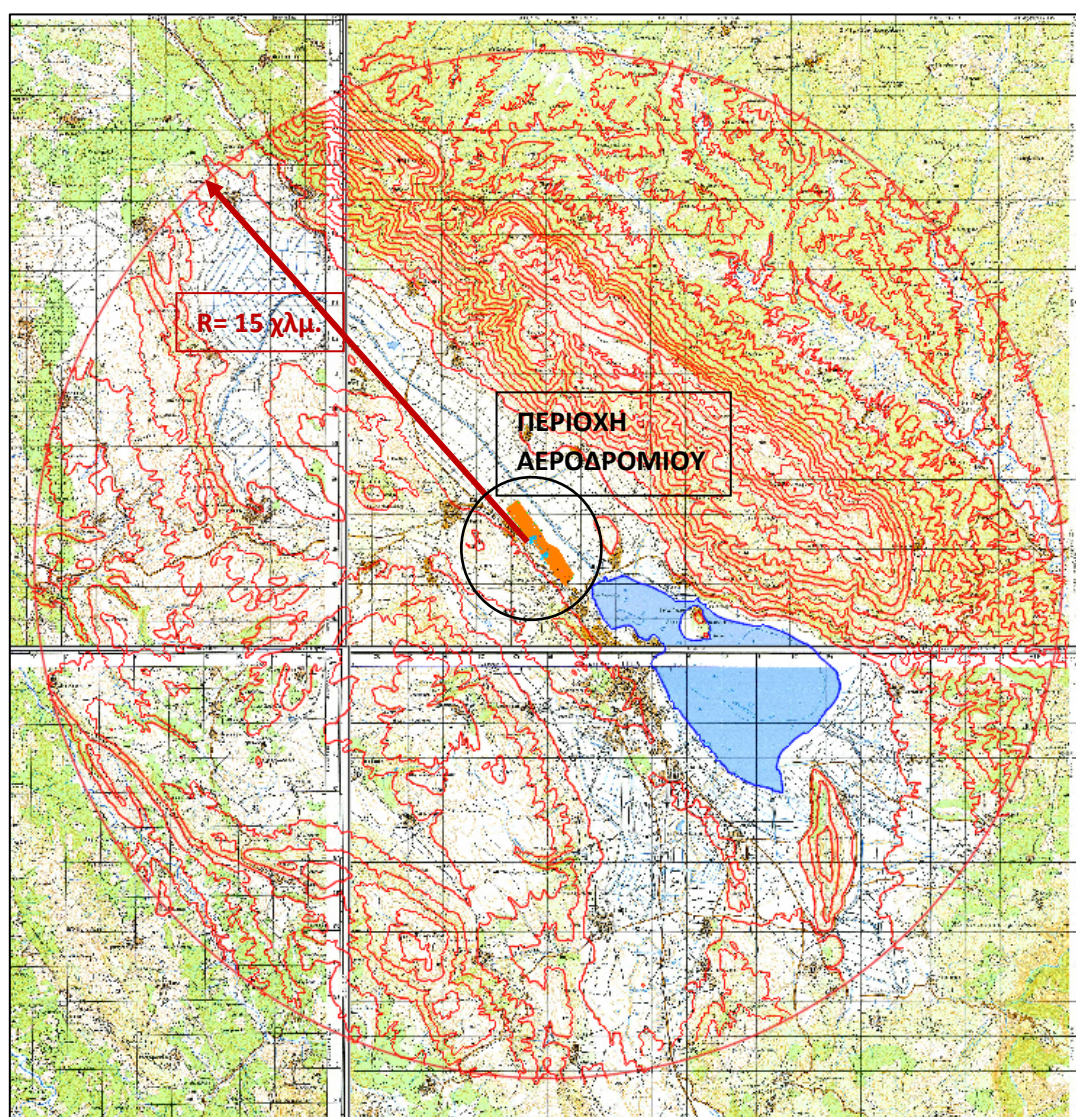
Εικόνα 17. Αεροφωτογραφία κρατικού αερολιμένα Ιωαννίνων μέσω Apple Maps. Σε μαύρο κύκλο επισημαίνεται ο πύργος ελέγχου.

Το αεροδρόμιο των Ιωαννίνων είναι το εικοστό έκτο πιο πολυσύχναστο ελληνικό αεροδρόμιο από άποψη επιβατικής κίνησης. Το 2022 πραγματοποιήθηκαν 1147 κινήσεις αεροσκαφών (συμπεριλαμβανομένων και των εμπορικών cargo) εκ των οποίων οι 278 αφορούσαν πτήσεις εξωτερικού και εξυπηρετήθηκαν συνολικά 73.665 επιβάτες.

4.1.2 Μοντέλο εδάφους

Για τον έλεγχο ορατότητας στην ευρύτερη περιοχή του αεροδρομίου απαιτήθηκε να δημιουργηθεί **μοντέλο εδάφους**. Το μοντέλο εδάφους σχεδιάστηκε αρχικά στο σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD με χρήση τοπογραφικών χαρτών από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ) όπου δημιουργήθηκε τρισδιάστατο σχέδιο με τις ισοϋψείς ανά 100 μ. υψόμετρο, σε ακτίνα 15 χλμ. από τον πύργο ελέγχου του αεροδρομίου.

Σε αυτό εισήχθη σχέδιο του διαδρόμου προσγείωσης-απογείωσης. Το σχέδιο αυτό διατέθηκε για το σκοπό της παρούσας εργασίας από την ΥΠΑ. Από το αρχικό σχέδιο του διαδρόμου της ΥΠΑ δημιουργήθηκε νέο με απομονωμένα τα σημεία γύρω από το διάδρομο όπου υπήρχε και TEXT με τα υψόμετρα των σημείων.



Εικόνα 18. Σχέδιο ισοϋψών με χάρτες Ιωαννίνων σε υπόβαθρο.



Εικόνα 19. Σχέδιο διαδρόμου αεροδρομίου Ιωαννίνων με τα σημεία ενδιαφέροντος (πορτοκαλί χρώμα).

Επειδή υπάρχει μια μικρή διαφορά στις συντεταγμένες των σημείων του σχεδίου και του TEXT που αναγράφει το υψόμετρο του εκάστοτε σημείου εξήχθη αρχείο μέσω του AutoCAD που εμφανίζει τα σημεία αναγράφοντας '10' ως X και ύστερα την τιμή για X, '20' ως Y και ύστερα την τιμή για Y και ύστερα '1' και την τιμή για Z καθώς και μερικές άλλες πληροφορίες από το σχέδιο. Μετά από επεξεργασία το τελικό αρχείο .dat που προκύπτει έχει μόνο οι τιμές για τις συντεταγμένες των σημείων. Με χρήση αυτού του αρχείου μπορεί να δημιουργηθεί ξεχωριστό σχέδιο που περιέχει μόνο σημεία και να ενταχθεί στο σχέδιο των ισοϋψών.

```

AcDbText
10 X
103586.321459
20 Y
258761.090931
30
0.0
40
0.65
1 Z
477.08
41
0.573846
7
MONOTXT
    
```

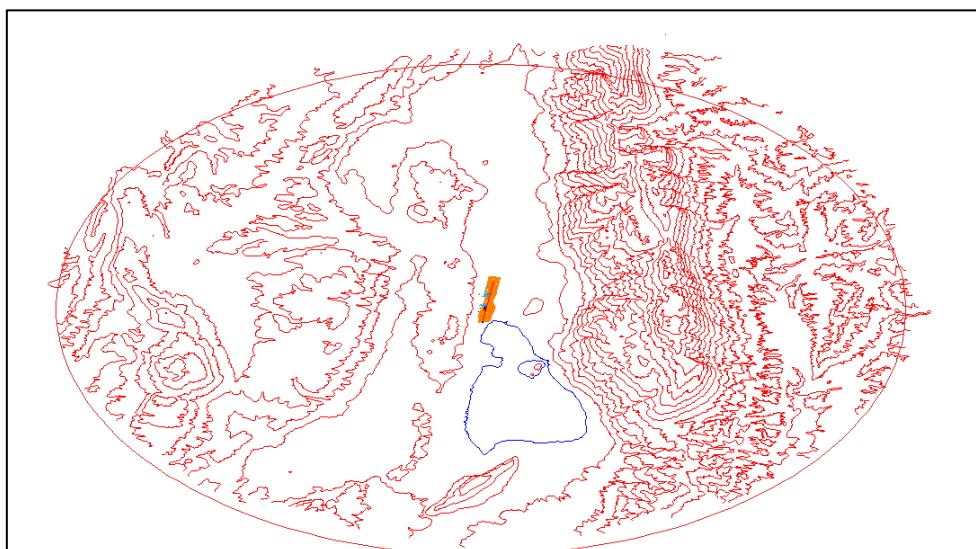
Εικόνα 20. Στιγμιότυπο από το αρχικό αρχείο με τις συντεταγμένες των σημείων.

```

xyz - Notepad
File Edit Format View Help
102477.108 260606.701 472.23
102476.918 260459.611 471.61
102476.388 260589.991 472.30
102374.328 260397.721 471.22
102370.638 260394.941 471.30
102369.828 260394.181 470.76
102367.688 260392.551 470.53
102469.518 260287.631 472.41
102467.428 260284.451 473.19
102441.768 260312.121 472.25
102439.878 260309.251 473.13
102401.408 260366.341 471.14
102399.148 260364.191 472.00
102432.338 260383.201 471.61
102454.858 260362.171 472.08
102471.438 260290.971 472.93
102465.028 260280.971 473.25
102464.038 260279.211 472.67
102443.508 260314.981 472.87
102436.548 260305.971 473.23
102435.618 260304.901 472.91
102433.478 260302.931 472.74
102425.458 260343.571 472.53
102420.958 260339.681 471.83
102418.728 260337.761 472.56
102415.318 260333.931 472.76
102414.418 260332.771 472.15
102412.608 260331.211 472.22
102407.058 260329.451 471.70

```

Εικόνα 21. Εξαγόμενο αρχείο .dat με συντεταγμένες σημείων (X,Y,Z) ύστερα από διαγραφή κειμένου.



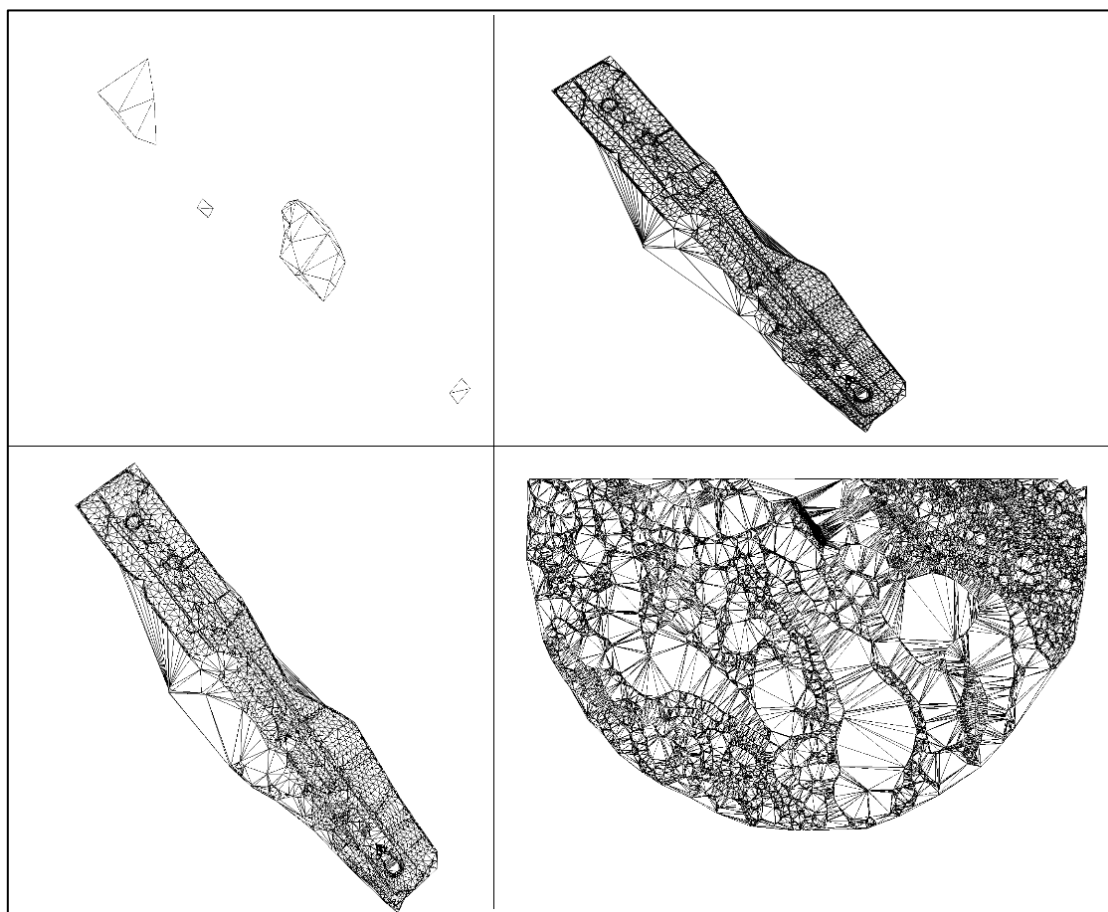
Εικόνα 22. Σχέδιο ισοϋψών σε τρισδιάστατη προβολή με το σχέδιο του διαδρόμου προσγείωσης-απογείωσης.

Στη συνέχεια σχεδιάστηκαν στο ίδιο σχέδιο τα κτίρια του αεροδρομίου ως τρισδιάστατα αντικείμενα με χρήση εικόνων του Apple Maps σαν υπόβαθρα. Το αρχείο του σχεδίου αυτού εισήχθη στην εφαρμογή InRoads του MicroStation, έγινε τριγωνισμός σύμφωνα με το Κεφάλαιο 3 και εξήχθη νέο σχέδιο το οποίο απεικονίζει το ανάγλυφο της περιοχής με την τριγωνοποιημένη επιφάνεια.

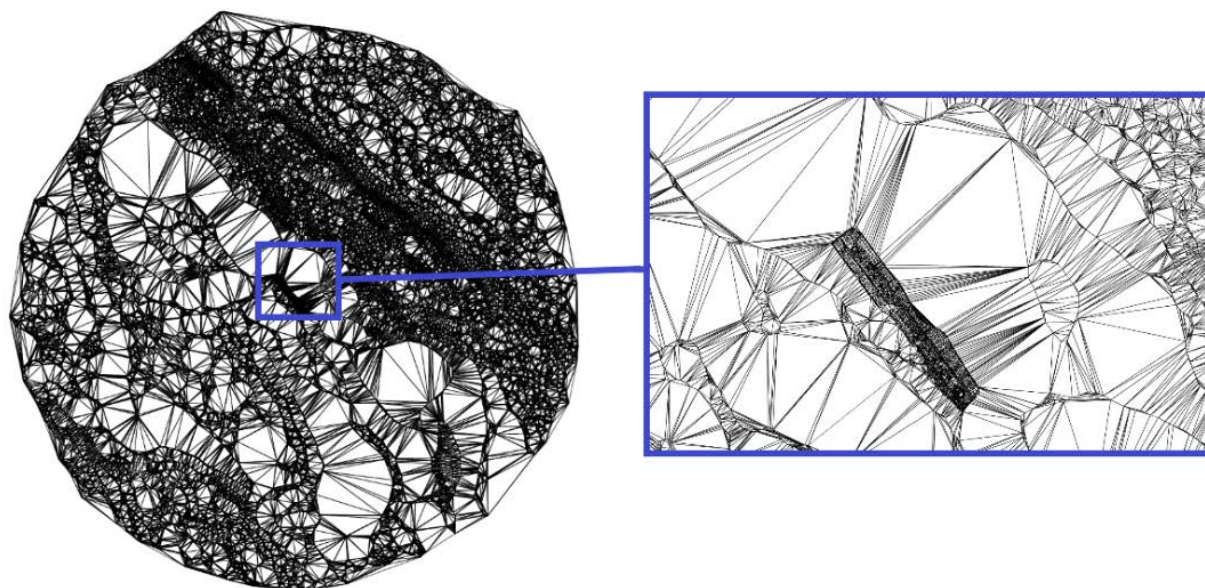


Εικόνα 23. Κτίρια αεροδρομίου Ιωαννίνων στο σχέδιο των ισοϋψών και διαδρόμου.

Παράλληλα δημιουργήθηκαν τέσσερα ακόμα αρχεία τριγωνοποιημένων επιφανειών για περαιτέρω ανάλυση. Αναλυτικότερα δημιουργήθηκαν τριγωνοποιημένες επιφάνειες με τα κτίρια μόνο, το διάδρομο μόνο, το διάδρομο και τα κτίρια του αεροδρομίου χωρίς το έδαφος καθώς και τη νότια πλευρά της περιοχής έλεγχου.



Εικόνα 24. Σχέδια επιφανειών προς έλεγχο.



Εικόνα 25. Μοντέλο εδάφους περιοχής Ιωαννίνων

4.1.3 Έλεγχος ορατότητας πύργου ελέγχου

Οι τριγωνοποιημένες επιφάνειες αποθηκεύτηκαν σε αρχεία .tri με τη μέθοδο που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο ώστε να μπορούν να εισαχθούν στο πρόγραμμα CT.FOR.

Ο έλεγχος ορατότητας πραγματοποιήθηκε προοδευτικά, από το μικρότερο σε μέγεθος σχέδιο μέχρι το μεγαλύτερο. Επίσης θεωρήθηκαν διαφορετικές περιπτώσεις/σενάρια προς έλεγχο τα οποία περιγράφονται παρακάτω. Τα διαφορετικά σενάρια έχουν ως κύρια διαφορά το ύψος αντικειμένου που δίνεται στο πρόγραμμα. Επίσης στα σενάρια 1 και 2 βρέθηκε και το ύψος του πύργου ελέγχου για το οποίο τα μη ορατά τρίγωνα δεν είναι παραπάνω από το 10% των συνολικών. Το βέλτιστο ύψος αυτό δε βρέθηκε για τα σχέδια με τις ισοϋψείς καθώς δε θεωρείται απαραίτητο. Στα σχέδια των αποτελεσμάτων ο πύργος ελέγχου αρχικά έχει 10 μ. ύψος με συντεταγμένες (103006.4, 259317.92, 485) και είναι επισημασμένος με ένα κόκκινο σημείο. Στα σενάρια 1δ, 2δ και 3 εμφανίζονται και οι επιφάνειες εμποδίων που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2.

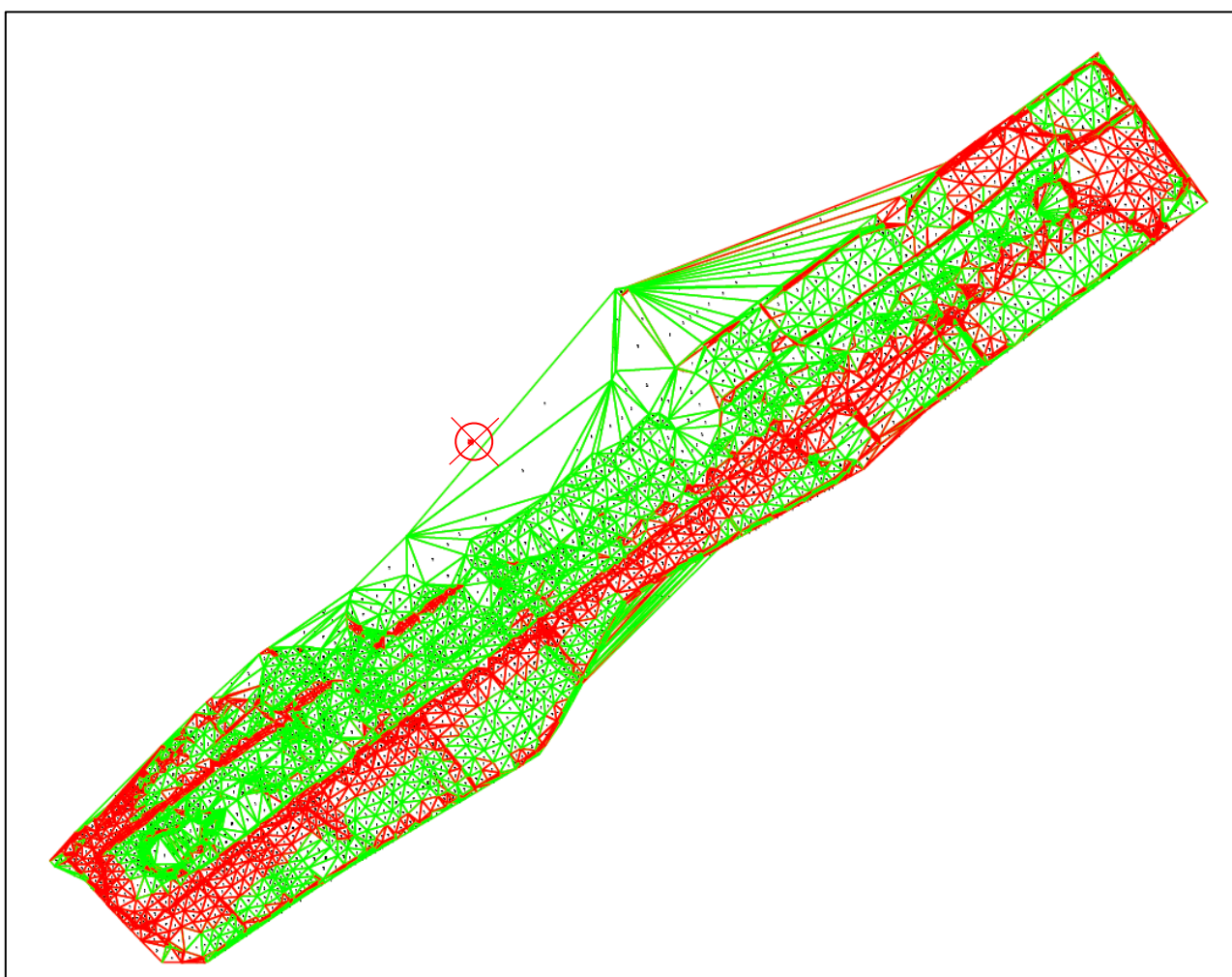
Σενάριο 1

Κατά το πρώτο σενάριο ο έλεγχος γίνεται στις επιφάνειες για μηδενικό ύψος αντικειμένου. Δηλαδή εξετάζεται η ορατότητα του πύργου ελέγχου στις επιφάνειες ως έχουν. Σε αυτό το στάδιο παρότι βρέθηκε το βέλτιστο ύψος του πύργου ελέγχου δε θεωρείται σημαντικό καθώς προκύπτουν αρκετά μεγάλα και μη ρεαλιστικά ύψη. Πρόκειται για απλή εφαρμογή του προγράμματος χωρίς καμία επέμβαση με μοναδικό σκοπό να δοθεί μια πρώτη εικόνα στο χρήστη σχετικά με την ορατότητα του πύργου ελέγχου.

Παρακάτω εμφανίζονται τα αποτελέσματα.

1α) Διάδρομος αεροδρομίου

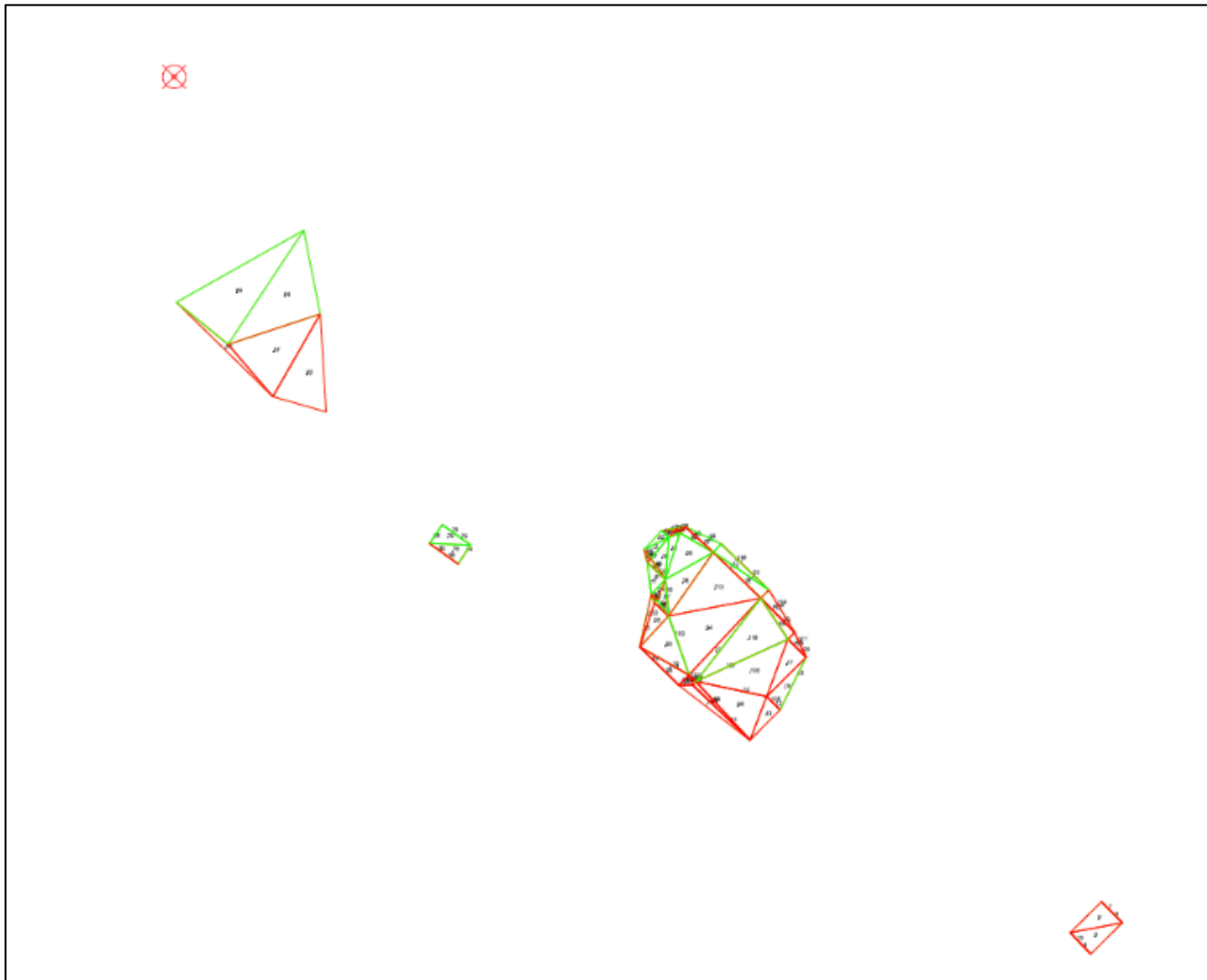
ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	8062
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	4258
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	3804
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	53%
ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΥΨΟΣ ΠΥΡΓΟΥ	111 μ.



Εικόνα 26. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στο διάδρομο του αεροδρομίου των Ιωαννίνων. Με πράσινο είναι τα ορατά τρίγωνα με κόκκινο είναι τα μη ορατά τρίγωνα.

1β) Κτίρια αεροδρομίου

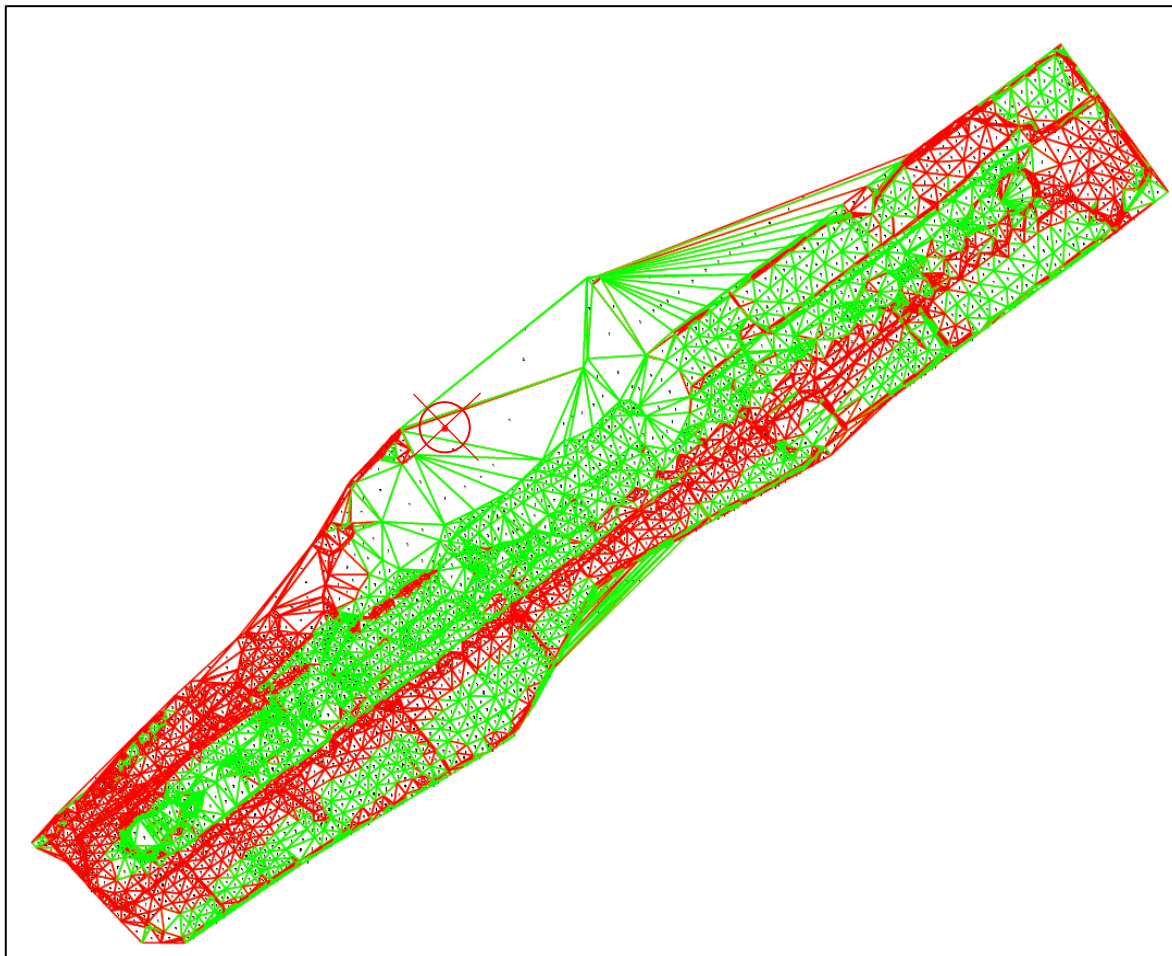
ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	120
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	43
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	77
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	36%
ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΥΨΟΣ ΠΥΡΓΟΥ	1980 μ.



Εικόνα 27. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στα κτίρια του αεροδρομίου των Ιωαννίνων

1γ) Διάδρομος και κτίρια αεροδρομίου

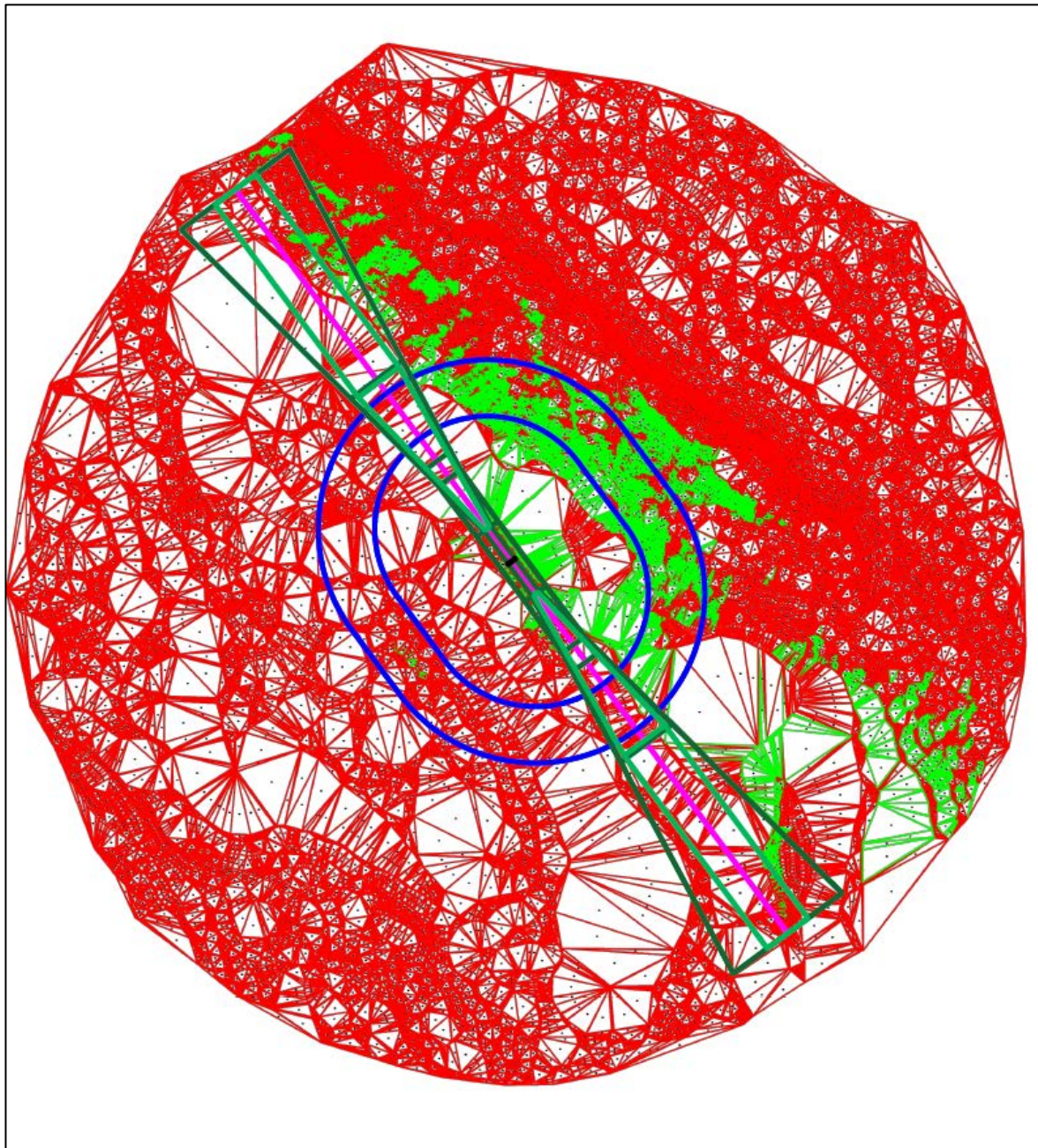
ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	8341
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	3946
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	4395
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	42%
ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΥΨΟΣ ΠΥΡΓΟΥ	135 μ.



Εικόνα 28. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στα κτίρια και το διάδρομο του αεροδρομίου των Ιωαννίνων

1δ) Συνολική περιοχή ελέγχου

ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	123001
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	10037
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	112965
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	8%



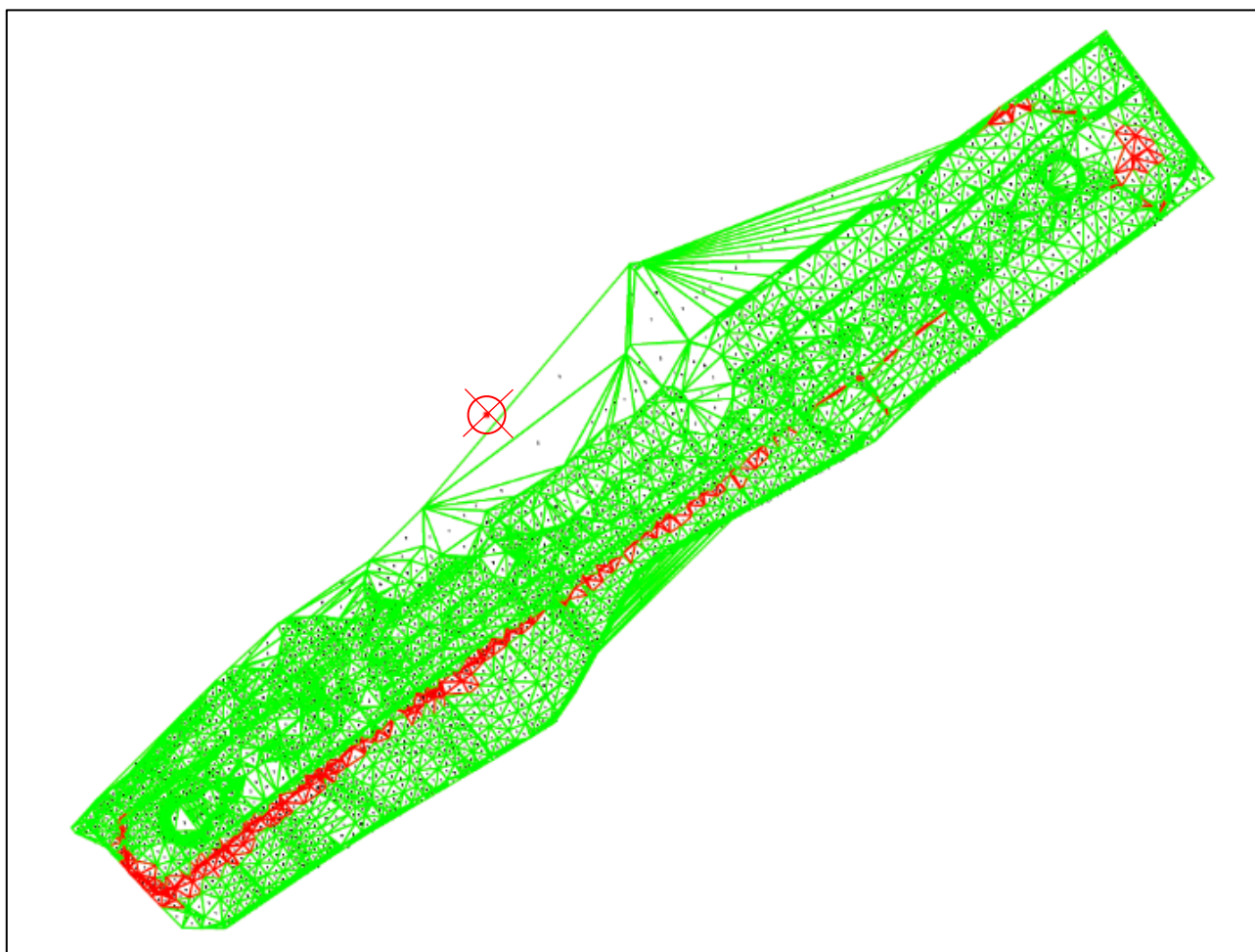
Εικόνα 29. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στην ευρύτερη περιοχή ελέγχου των Ιωαννίνων.

Σενάριο 2

Σε επόμενο στάδιο διερευνήθηκε η ορατότητα του πύργου ελέγχου σε εμπόδια ύψους 1 μέτρου από το κέντρο βάρους των τριγώνων της επιφάνειας. Το ύψος αυτό επιλέχθηκε καθώς τα πιο συνήθη εμπόδια ορατότητας ξεκινούν από το 1 μέτρο και πάνω (π.χ. εξοπλισμός πλοήγησης, άνθρωποι, οχήματα κ.α.). Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ούτως ώστε να βρεθεί το ύψος εκείνο του πύργου ελέγχου που τα μη ορατά τρίγωνα φτάνουν έως και το 10% των συνολικών τριγώνων. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται παρακάτω.

2α) Διάδρομος αεροδρομίου

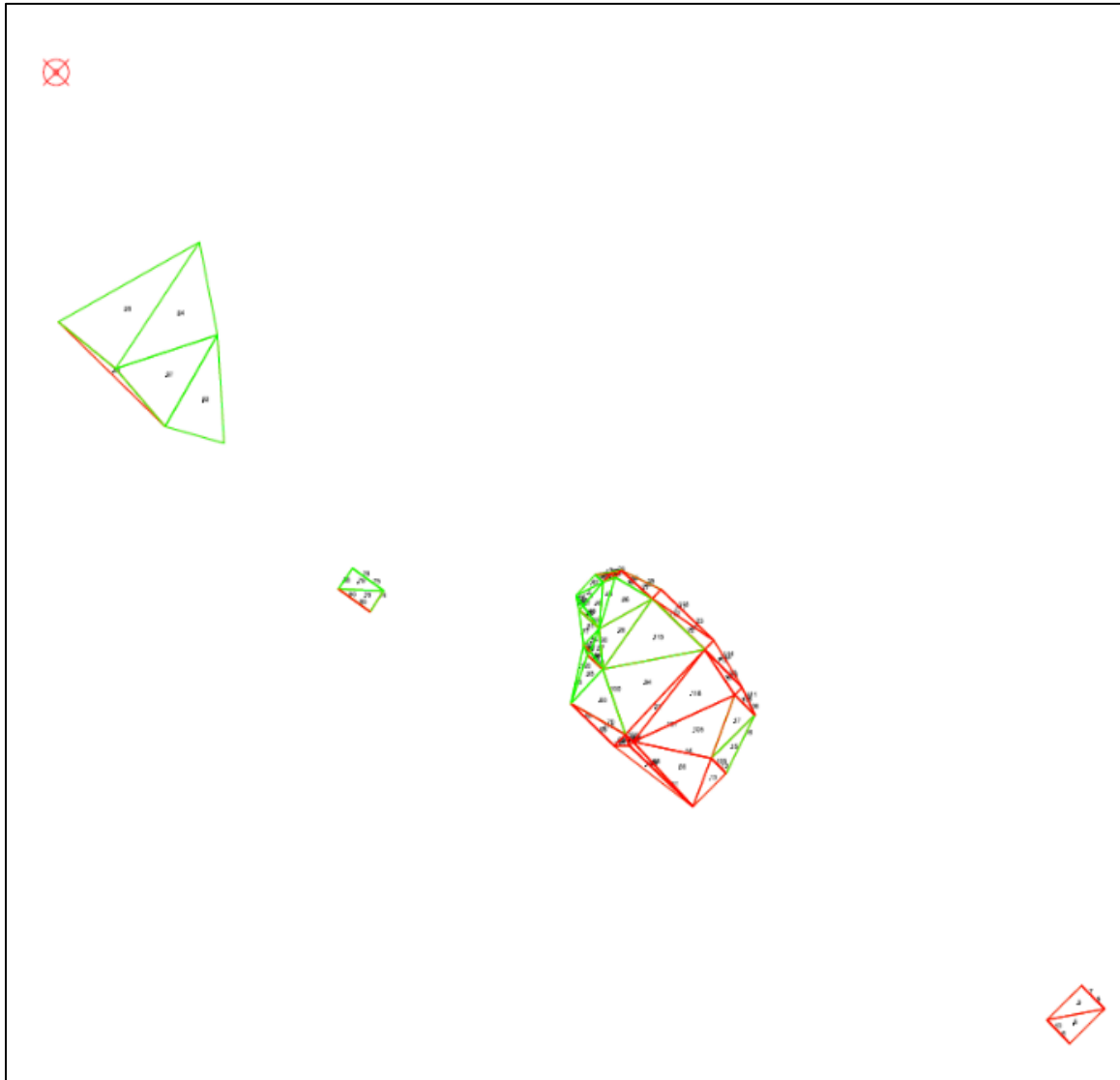
ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	8062
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	7416
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	646
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	92 %
ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΥΨΟΣ ΠΥΡΓΟΥ	10 μ.



Εικόνα 30. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στο διάδρομο του αεροδρομίου των Ιωαννίνων για ύψος αντικειμένου 1 μ.

2β) Κτίρια αεροδρομίου

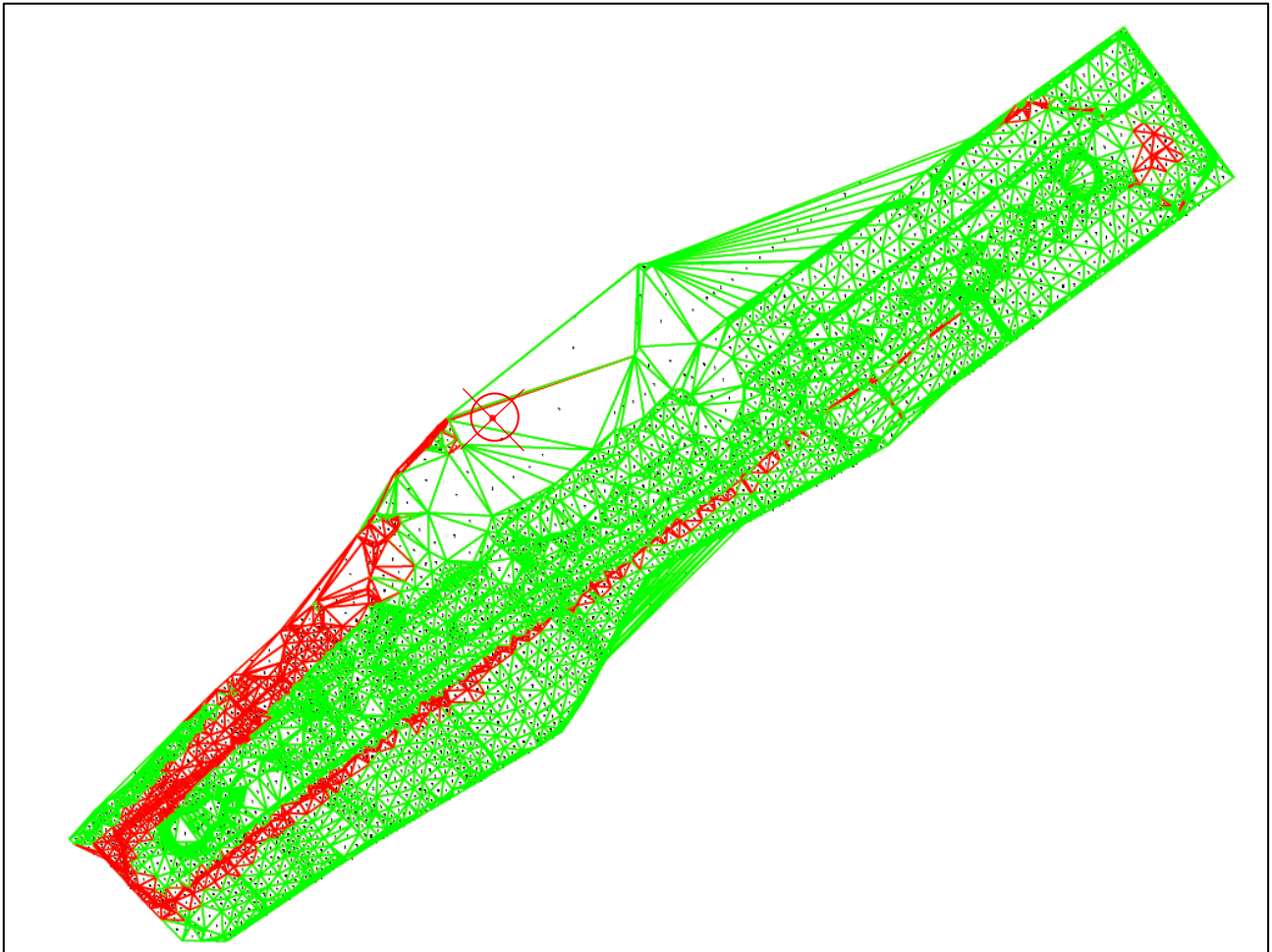
ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	120
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	48
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	72
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	40 %
ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΥΨΟΣ ΠΥΡΓΟΥ	1397μ.



Εικόνα 31. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στα κτίρια του αεροδρομίου των Ιωαννίνων για ύψος αντικειμένου 1 μ.

2γ) Διάδρομος και κτίρια αεροδρομίου

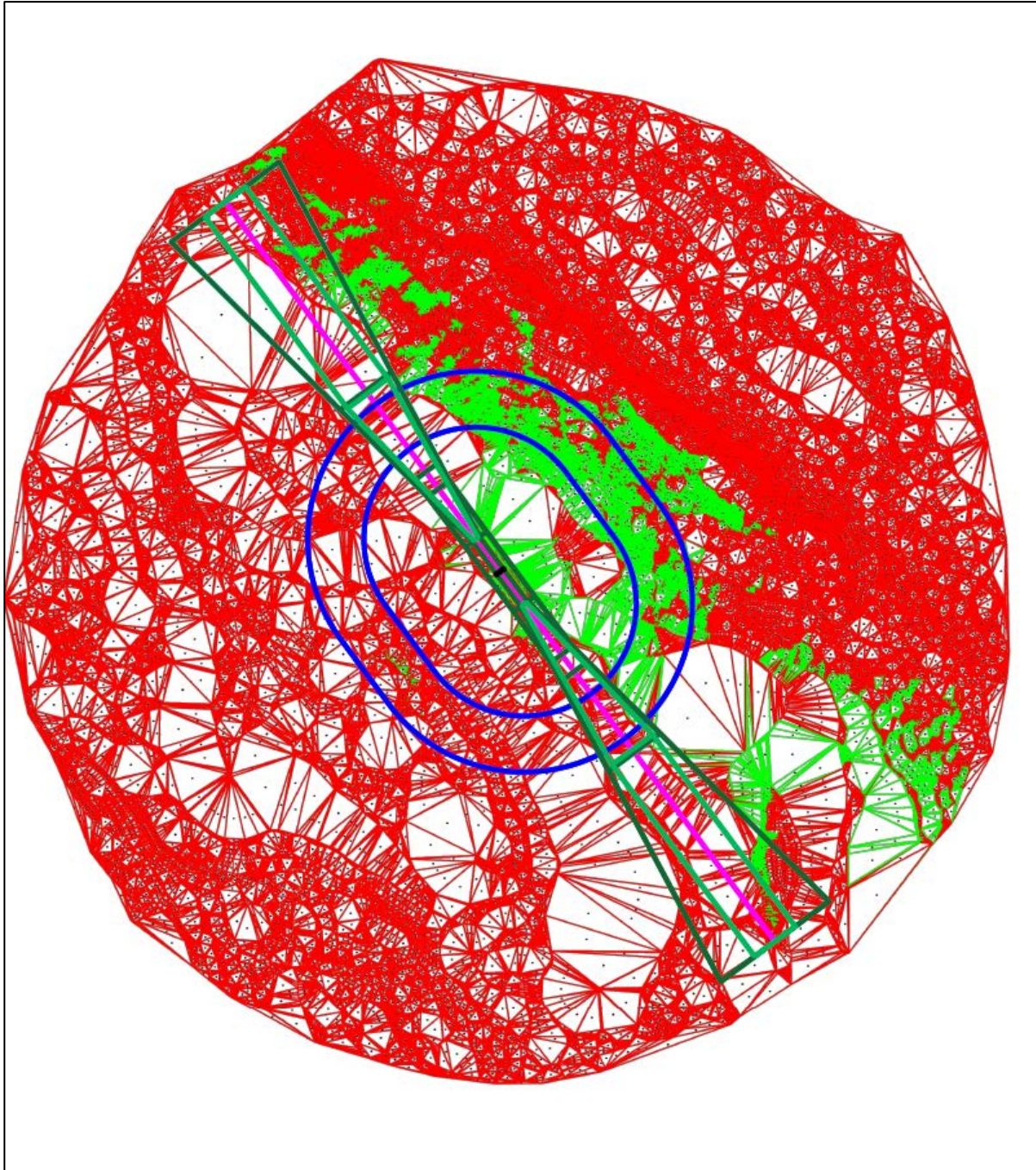
ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	8341
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	6928
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	1416
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	83%
ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΥΨΟΣ ΠΥΡΓΟΥ	15μ.



Εικόνα 32. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στο διάδρομο και στα κτίρια του αεροδρομίου των Ιωαννίνων για ύψος αντικειμένου 1 μ.

2δ) Συνολική περιοχή ελέγχου

ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	123001
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	14811
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	108190
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	12%



Εικόνα 33. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου ελέγχου στη συνολική περιοχή ελέγχου των Ιωαννίνων για ύψος αντικειμένου 1 μ.

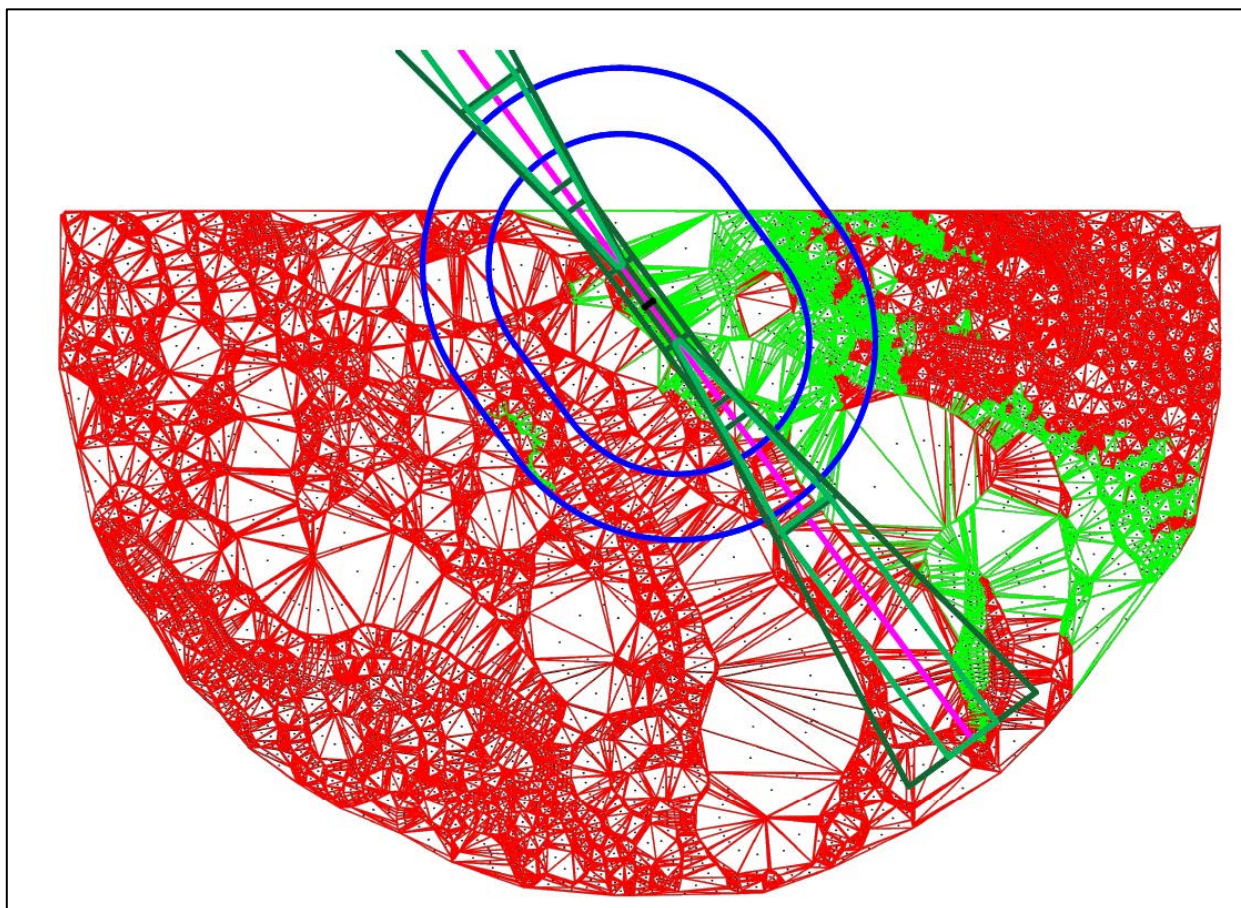
Σενάριο 3

Τέλος, έγινε έλεγχος σε ύψος αντικειμένου 8 μέτρα με εστίαση στην περιοχή κοντά στο οικοπέδο του αεροδρομίου και νότιως του πύργου όπου βρίσκεται η πόλη. Τα 8 μέτρα υποδηλώνουν το μέγιστο ύψος δόμησης της περιοχής που δεν έχει νόημα να θεωρηθεί σε περιοχές εκτός σχεδίου πόλεως. Ταυτόχρονα παρατηρείται πως νότιο-ανατολικά του αεροδρομίου πραγματοποιούνται οι πορείες πτήσης των αεροσκαφών από το αεροδρόμιο Ελευθέριος Βενιζέλος. Επομένως ο έλεγχος για το σενάριο αυτό έγινε για ένα τμήμα νότια από τον πύργο ελέγχου.

Τα αποτελέσματα εμφανίζονται παρακάτω.

3) Νότια περιοχή ελέγχου

ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	55706
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	13926
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	41780
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	23%



Εικόνα 34. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στη νότια περιοχή ελέγχου των Ιωαννίνων με ύψος αντικειμένου 8 μ.

4.2 Αερολιμένας Σάμου

4.2.1 Μελέτη εφαρμογής κρατικού αερολιμένα Σάμου

Το νησί της Σάμου βρίσκεται στο ανατολικό Αιγαίο, και απέχει 10 μίλια από το νησί της Ικαρίας ενώ χωρίζεται από τη μικρασιατική ακτή με διάυλο πλάτους μόλις 1300μ. Ανήκει στον ομώνυμο νομό και έχει πληθυσμό 32.642 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2021. Έχει έκταση 480 τ.χλμ. και η περίμετρος της ακτογραμμής φθάνει τα 86 ναυτικά μίλια.



Εικόνα 35. Θέση κρατικού αερολιμένα Σάμου

Ο κρατικός αερολιμένας Σάμου ‘Αρίσταρχος ο Σάμιος’ (ΚΑΣΠ) βρίσκεται σε απόσταση 14 χιλιομέτρων από την πόλη της Σάμου. Ο κωδικός ανάγνωσης για τη Διεθνή Ένωση Αερομεταφορών (IATA) είναι SMI, για τον ICAO είναι LGSM και για την ΥΠΑ είναι ΚΑΣΠ. Ιδρύθηκε το 1963 και το 2019 ολοκληρώθηκαν έργα αναβάθμισης.



Εικόνα 36. Αεροσταθμός κρατικού αερολιμένα Σάμου

Βρίσκεται σε υψόμετρο 6 μ., έχει γεωγραφικό πλάτος 37° 41' 21'' Ανατολικό και γεωγραφικό μήκος 26° 54' 44'' Ανατολικό. Ο διάδρομος έχει μήκος περί τα 2100 μ. με πλάτος 60 μ. και διεύθυνση 09/27. Οι κτιριακές εγκαταστάσεις καλύπτουν περί τα 7700 τ.μ. και ο πύργος ελέγχου βρίσκεται στο κεντρικό κτίριο του επιβατικού αεροσταθμού. Ο πύργος ελέγχου έχει ύψος περίπου 10 μ. Ο αερολιμένας διαθέτει έναν πυροσβεστικό σταθμό ο οποίος εξασφαλίζει κατηγορία πυρασφάλειας 7 (VII) και θέσεις στάθμευσης αεροσκαφών Γενικής Αεροπορίας.



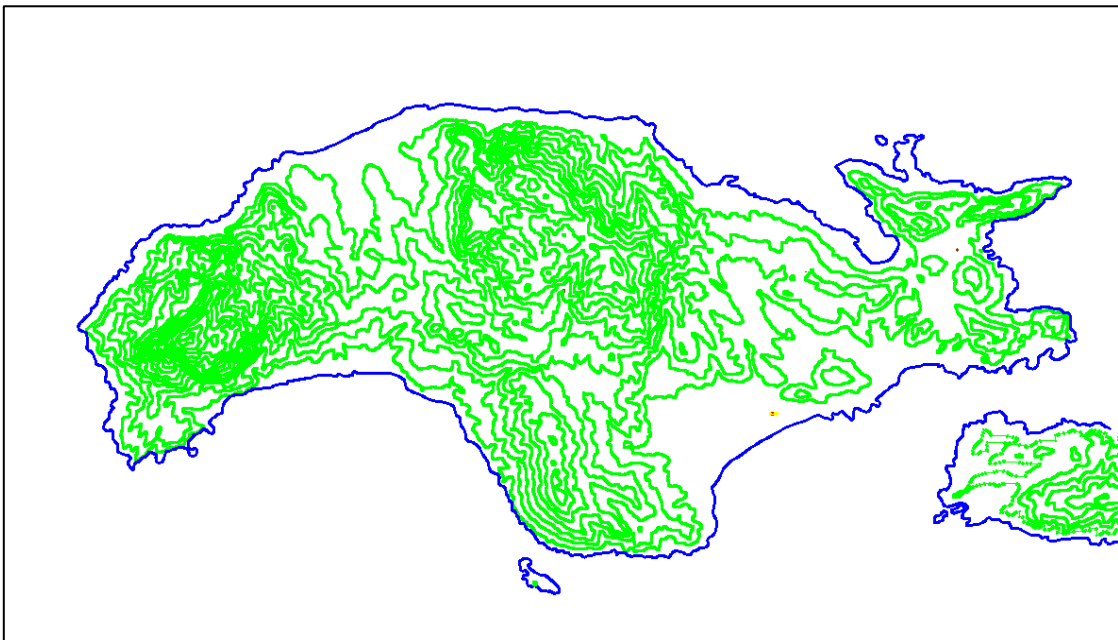
Εικόνα 37. Αεροφωτογραφία κρατικού αερολιμένα Σάμου από Apple Maps. Σε μαύρο κύκλο επισημαίνεται ο πύργος ελέγχου.

Το 2022 πραγματοποιήθηκαν 6222 κινήσεις αεροσκαφών (συμπεριλαμβανομένων και των εμπορικών cargo) εκ των οποίων οι 1949 αφορούσαν πτήσεις εξωτερικού και εξυπηρετήθηκαν συνολικά 453.264 επιβάτες.

4.2.2 Μοντέλο εδάφους

Για το σχεδιασμό του μοντέλου εδάφους του νησιού της Σάμου μπορεί να ακολουθηθεί η ίδια διαδικασία με αυτήν για την περιοχή των Ιωαννίνων. Για να επιτευχθεί το ίδιο αποτέλεσμα σε λιγότερο χρόνο δοκιμάστηκε και η εξής διαδικασία:

- Από τη ιστοσελίδα land.copernicus.eu στην ενότητα ‘Imagery and reference data’ και EU-DEM v1.1, αποθηκεύτηκε το αρχείο E50N10 το οποίο είναι αρχείο ψηφιδωτής μορφής (raster) και έχει πληροφορίες για μέρος του ελληνικού εδάφους συμπεριλαμβανόμενου και της νήσου Σάμου. Στην ιστοσελίδα υπάρχει χάρτης με τις ονομασίες των αρχείων και τις περιοχές που καλύπτει.
- Το αρχείο αυτό εισήχθη στο πρόγραμμα ArcMap 10.3 (ArcGIS) και έγινε εξαγωγή αρχείου μορφής .shp με τις isoΰψεις ανά 100 μ. για τη Σάμο. Πιο αναλυτικά, έγινε περικοπή του αρχείου ώστε να είναι εμφανής μόνο η περιοχή ενδιαφέροντος και ύστερα μέσω του ‘Arc tool box’ του προγράμματος και τις επιλογές Spatial Analyst Tools/ Surface/ Contour και διαλέγοντας υψομετρική διαφορά isoΰψων 100 μ. εξήχθη το αρχείο των isoΰψων του νησιού και μικρής περιοχής τουρκικού εδάφους σε μορφή .shp (vector).
- Για να είναι δυνατή η επεξεργασία του αρχείου αυτού χρειάστηκε επίσης να γίνει η μετατροπή του σε .dwg μέσω του ArcMap.
- Στη συνέχεια το αρχείο ήταν δυνατό να επεξεργαστεί μέσω του AutoCAD και να προστεθεί η πληροφορία της υψομετρίας, η οποία έλειπε. Το αρχείο των isoΰψων έτσι γίνεται τρισδιάστατο.

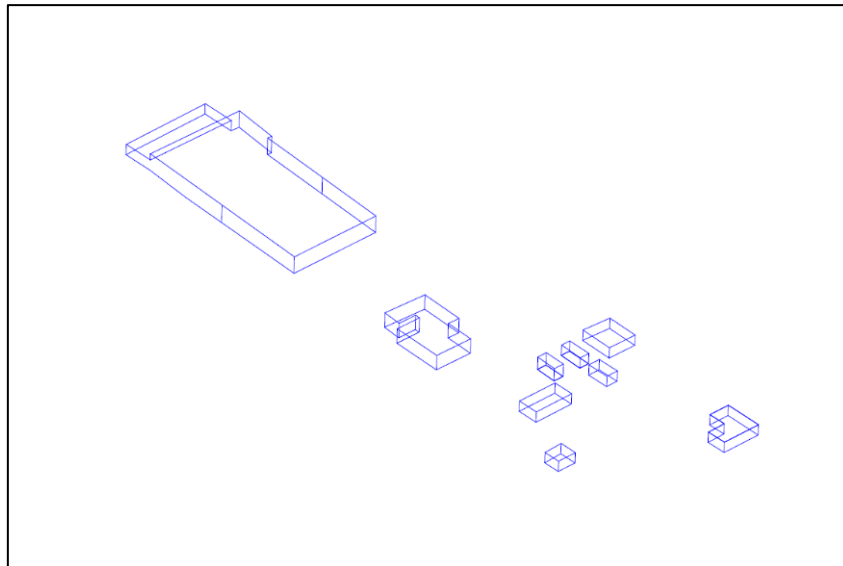


Εικόνα 38. Σχέδιο isoΰψων Σάμου και τμήματος τουρκικού εδάφους.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαδικασία αυτή παρότι είναι πιο γρήγορη δεν αποδίδει ισοϋψείς που συμπίπτουν ακριβώς με αυτές των χαρτών. Παρόλα αυτά για το σκοπό της παρούσας εργασίας είναι αποδεκτές. Επίσης σε αντίθεση με το σχέδιο που δημιουργήθηκε για την περιοχή των Ιωαννίνων οι ισοϋψείς έχουν πιο πυκνά σημεία. Αυτή η πληροφορία είναι σημαντική για τη συνέχεια όπου θα γίνει τριγωνοποίηση της επιφάνειας και όπως θα φανεί και παρακάτω θα δημιουργηθούν περισσότερα τρίγωνα.

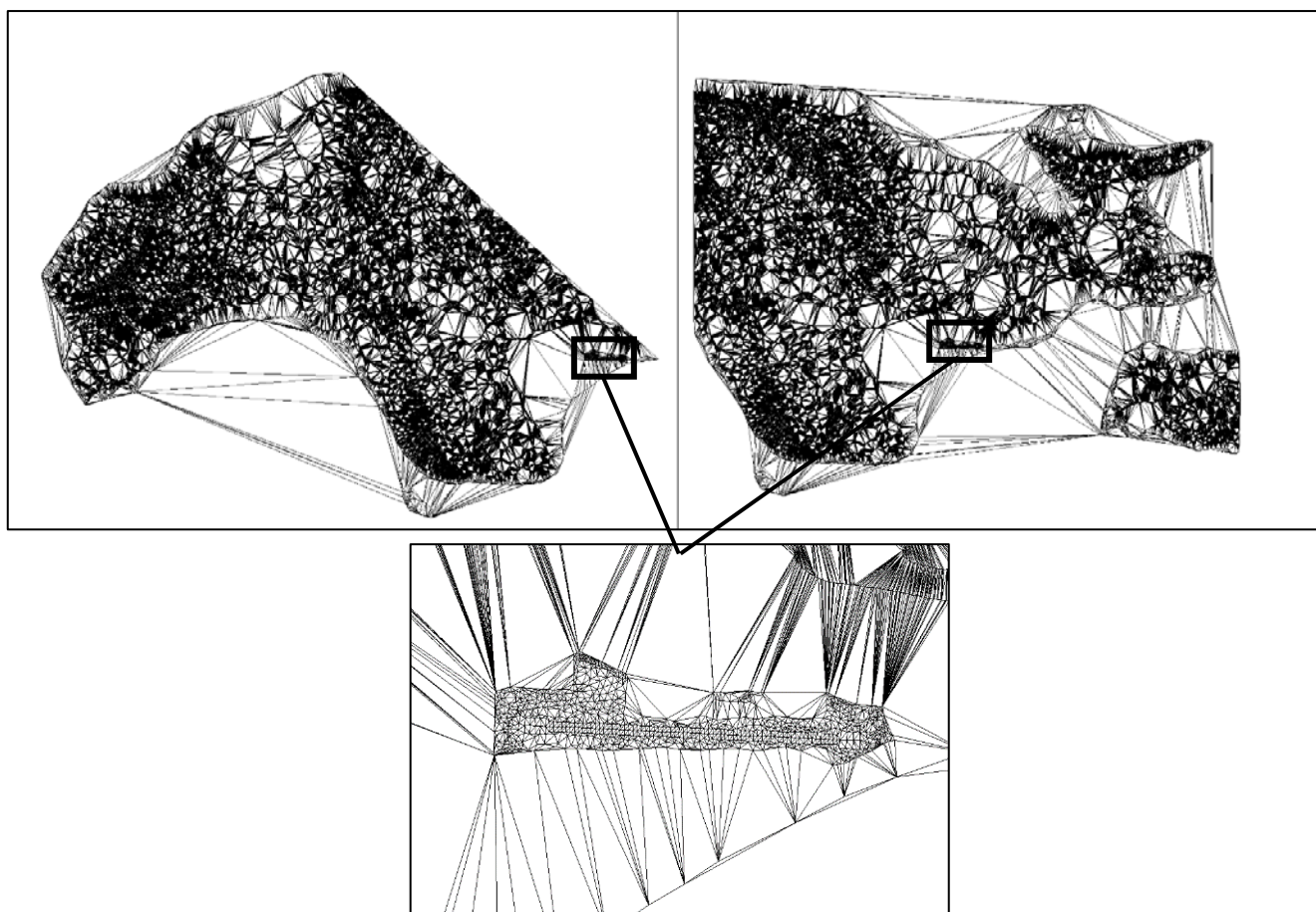
Προστέθηκαν, στη συνέχεια, τα σημεία του διαδρόμου προσγείωσης-απογείωσης, τα οποία προήλθαν από το σχέδιο του διαδρόμου από την ΥΠΑ. Όμοια με την περίπτωση του σχεδίου του αερολιμένα των Ιωαννίνων πραγματοποιήθηκε διόρθωση στις συντεταγμένες των σημείων της περιοχής του διαδρόμου.

Σχεδιάστηκαν στο ίδιο σχέδιο τα κτίρια του αεροδρομίου με την ίδια διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε για τα κτίρια του αεροδρομίου των Ιωαννίνων ώστε να δημιουργηθεί το ενιαίο σχέδιο με το ανάγλυφο της περιοχής από την εφαρμογή InRoads του MicroStation.



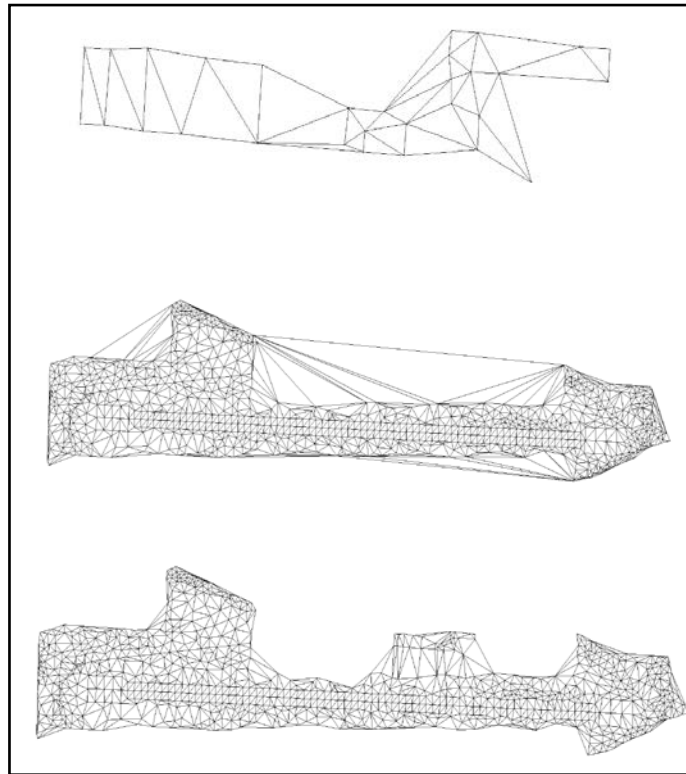
Εικόνα 39. Σχέδιο κτιρίων αερολιμένα Σάμου.

Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία για την εξαγωγή των τριγωνοποιημένων επιφανειών προς έλεγχο. Παρακάτω εμφανίζονται οι διάφορες τριγωνοποιημένες επιφάνειες. Αξίζει να σημειωθεί πως οι ισοϋψείς της Σάμου αποτελούνται από πιο πυκνά σημεία σε σχέση με τις αντίστοιχες των Ιωαννίνων. Έτσι προκύπτουν περισσότερα τρίγωνα κατά την τριγωνοποίηση τα οποία δε θα επιτρέψουν στο πρόγραμμα CT.FOR να τρέξει. Για τον λόγο αυτό απαιτήθηκε να χωριστεί το ολοκληρωτικό σχέδιο σε δύο ξεχωριστά.



Εικόνα 40. Μοντέλα εδάφους Σάμου.

Παρακάτω εμφανίζονται τα υπόλοιπα σχέδια προς επεξεργασία.



Εικόνα 41. Σχέδια διαφορετικών επιφανειών ελέγχου Σάμου α) κτίρια αεροδρομίου, β) διάδρομος και γ) διάδρομος με κτίρια αεροδρομίου.

4.2.3 Έλεγχος ορατότητας πύργου ελέγχου

Στη συνέχεια οι τριγωνοποιημένες επιφάνειες αποθηκεύτηκαν σε αρχεία .tri με τη μέθοδο που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο ώστε να μπορούν να εισαχθούν στο πρόγραμμα CT.FOR.

Ο έλεγχος ορατότητας πραγματοποιήθηκε προοδευτικά, από το μικρότερο σε μέγεθος σχέδιο μέχρι το μεγαλύτερο. Επίσης θεωρήθηκαν διαφορετικές περιπτώσεις/σενάρια προς έλεγχο, για τα οποία βρέθηκε το βέλτιστο ύψος του πύργου ελέγχου, όπως και για τη μελέτη στα Ιωάννινα. Λόγω του αεροπορικού δυστυχήματος στο όρος Κέρκης δίνεται προσοχή στην ορατότητα σε εκείνη την περιοχή και εκεί που παρατηρούνται πορείες πτήσης αεροσκαφών. Ο πύργος ελέγχου σε αυτή τη περίπτωση έχει αρχικά ύψος 10 μ. με συντεταγμένες (756868.72, 4175224.42, 15) και εμφανίζεται στα σχέδια με κόκκινο σημείο. Στα σενάρια 1δ, 2δ και 3 εμφανίζονται και οι επιφάνειες εμποδίων που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2.

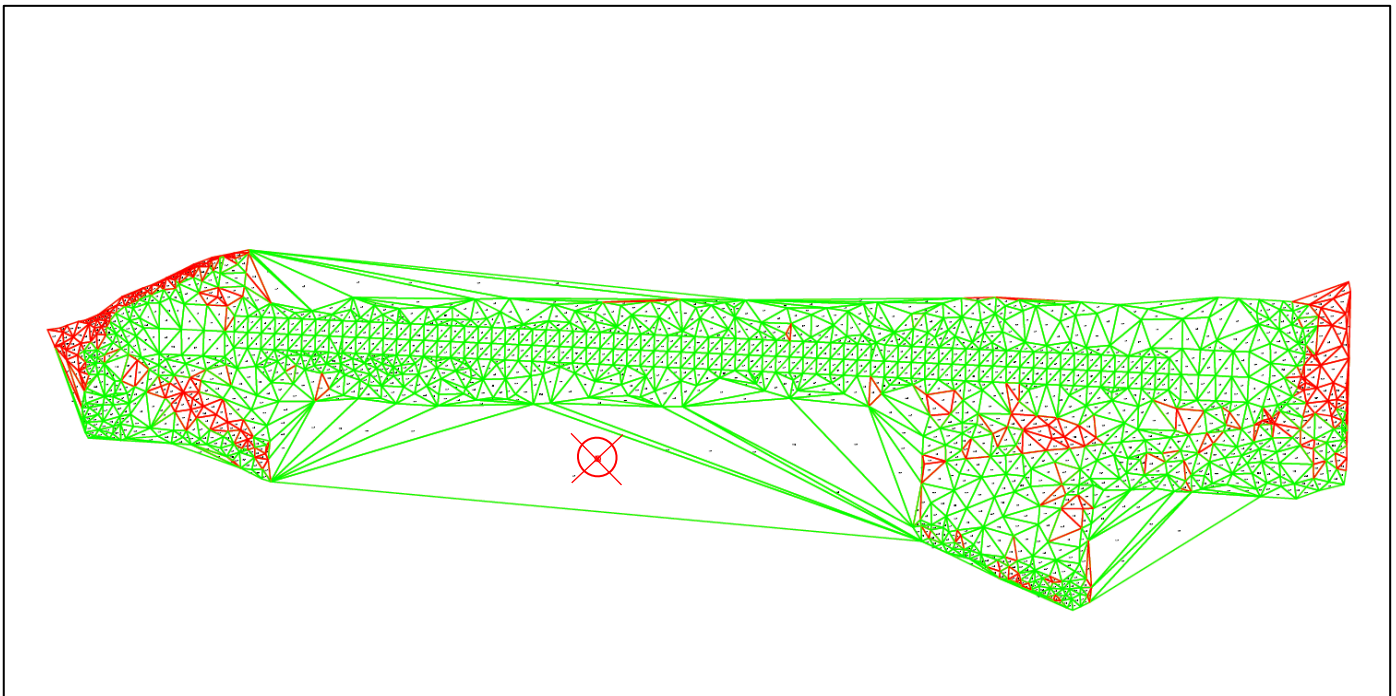
Σενάριο 1

Κατά το πρώτο σενάριο ο έλεγχος γίνεται στις επιφάνειες για μηδενικό ύψος αντικειμένου. Δηλαδή εξετάζεται η ορατότητα του πύργου ελέγχου στις επιφάνειες ως έχουν.

Παρακάτω εμφανίζονται τα αποτελέσματα.

1α) Διάδρομος αεροδρομίου

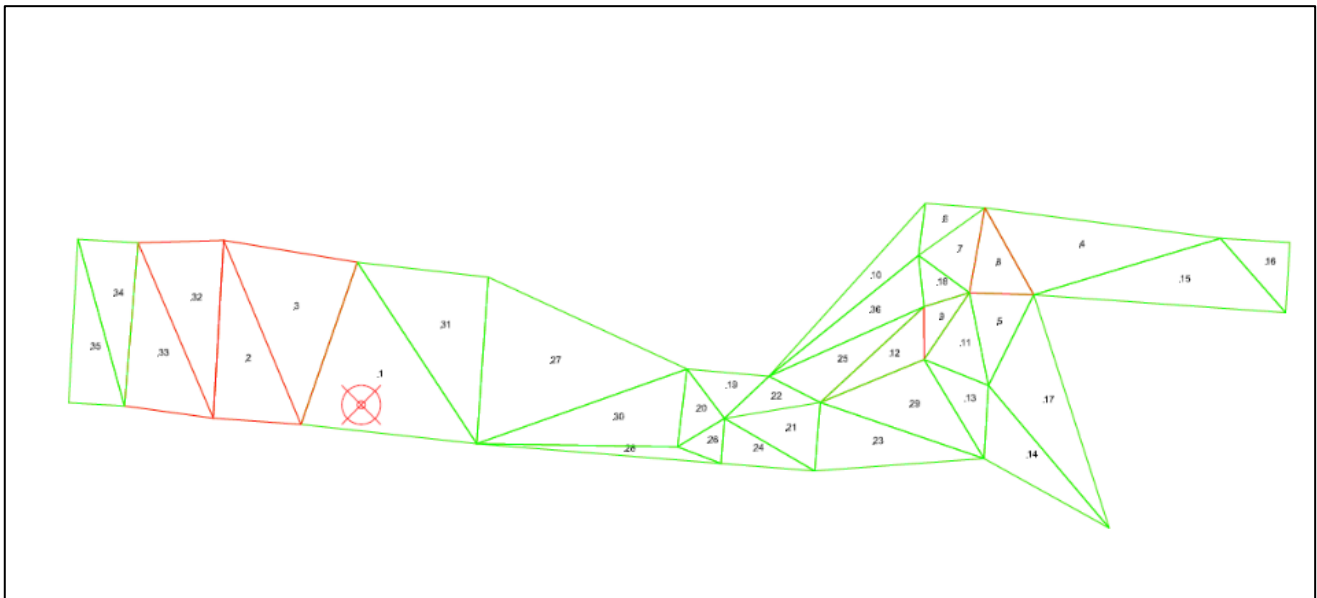
ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	1859
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	1509
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	350
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	81%
ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΥΨΟΣ ΠΥΡΓΟΥ	13μ.



Εικόνα 42. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στο διάδρομο του αεροδρομίου της Σάμου.

1β) Κτίρια αεροδρομίου

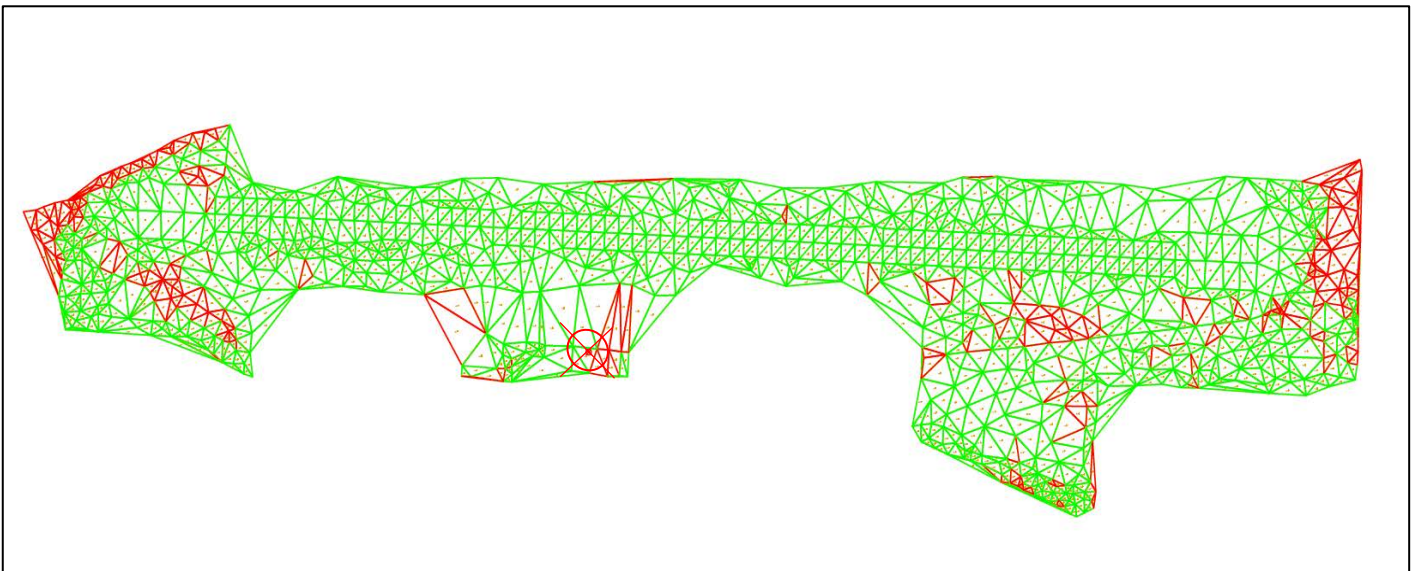
ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	36
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	29
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	7
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	80%
ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΥΨΟΣ ΠΥΡΓΟΥ	13μ.



Εικόνα 43. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στα κτίρια του αεροδρομίου της Σάμου

1γ) Διάδρομος και κτίρια αεροδρομίου

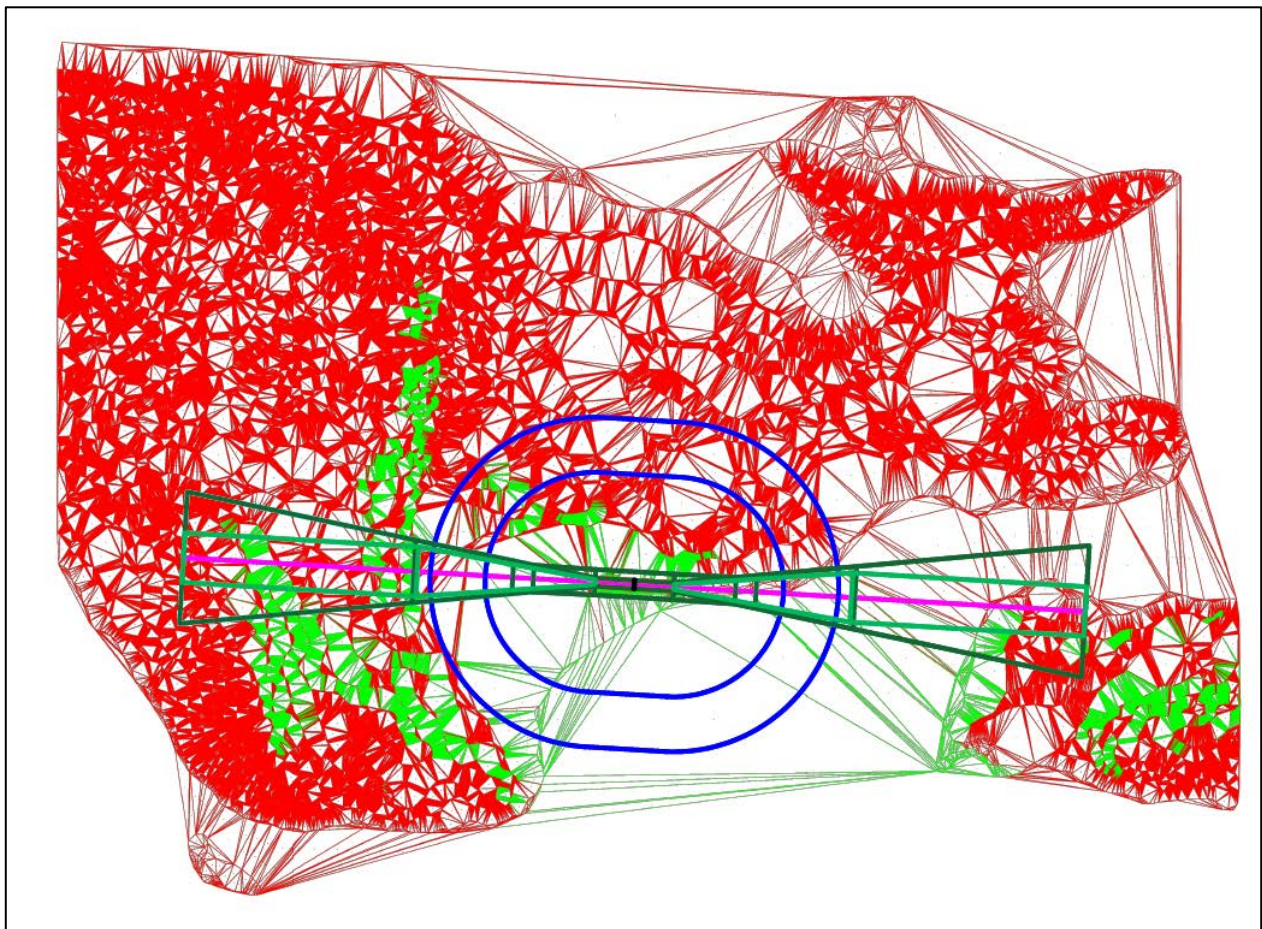
ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	1723
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	1423
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	300
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	83%
ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΥΨΟΣ ΠΥΡΓΟΥ	14 μ.



Εικόνα 44. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στα κτίρια και το διάδρομο του αεροδρομίου της Σάμου

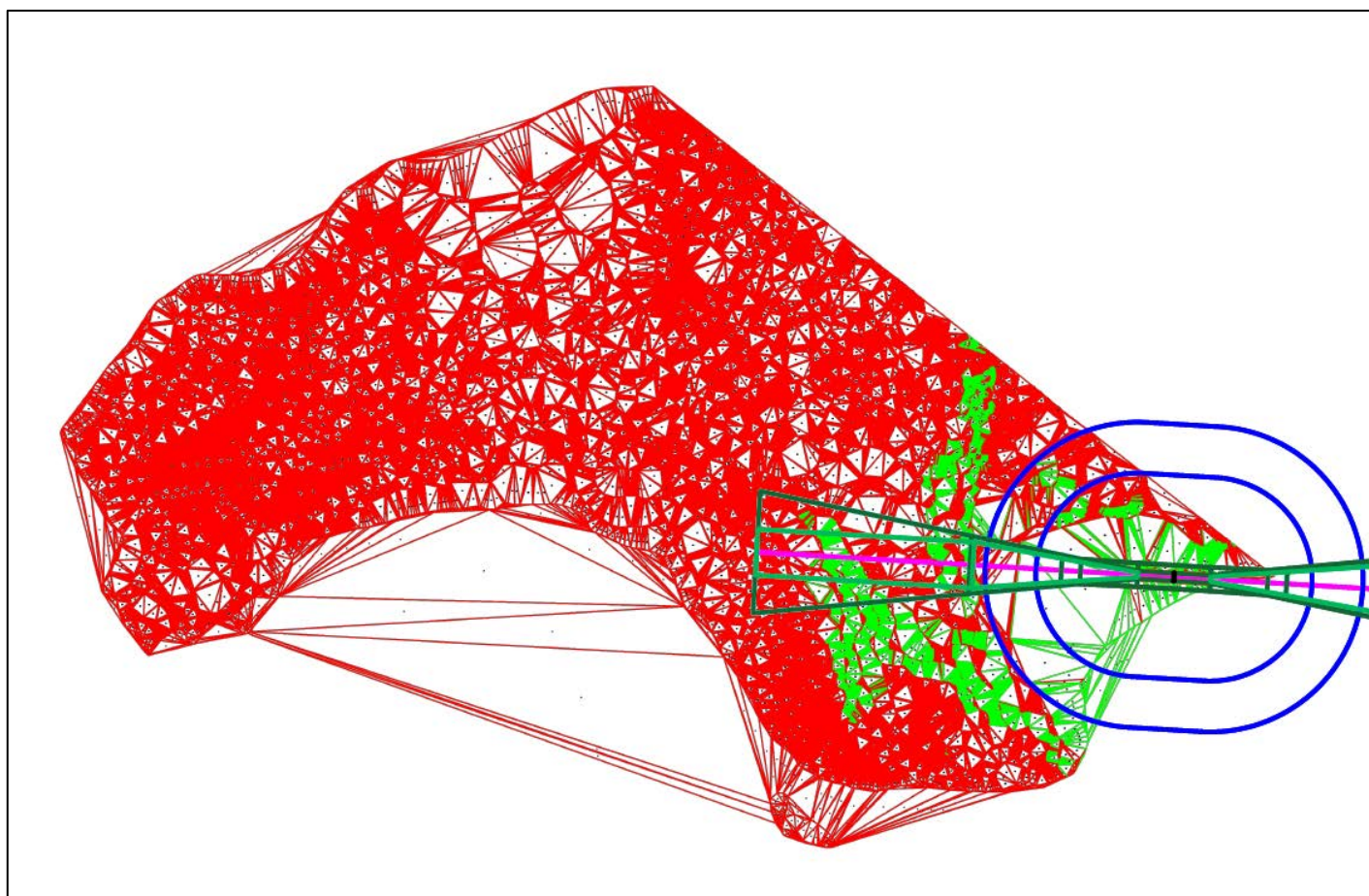
1δ) Συνολική περιοχή ελέγχου

ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΛΕΓΧΟΥ	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	221083
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	11863
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	209220
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	5%



Εικόνα 45. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στην ανατολική περιοχή ελέγχου του αεροδρομίου της Σάμου

ΔΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΛΕΓΧΟΥ	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	221424
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	8720
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	212704
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	4%



Εικόνα 46. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στη δυτική περιοχή ελέγχου του αεροδρομίου της Σάμου.

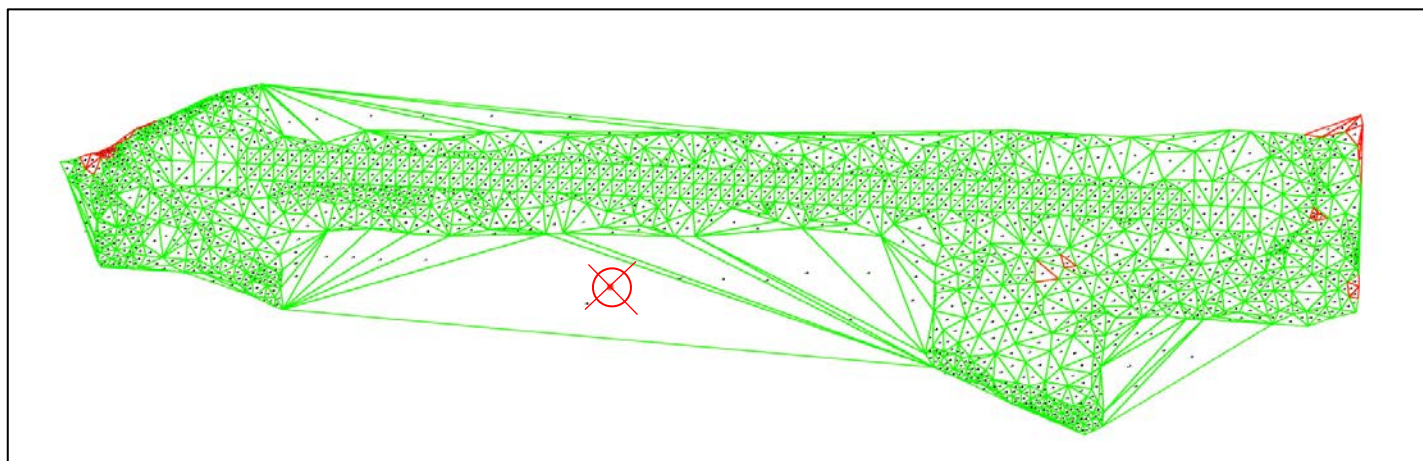
Σενάριο 2

Σε επόμενο στάδιο διερευνήθηκε η ορατότητα του πύργου ελέγχου σε εμπόδια ύψους 1 μέτρου από το κέντρο βάρους των τριγώνων της επιφάνειας. Το ύψος αυτό επιλέχθηκε καθώς τα πιο συνήθη εμπόδια ορατότητας ξεκινούν από το 1 μέτρο και πάνω (π.χ. εξοπλισμός πλοήγησης, άνθρωποι, οχήματα κ.α.). Ομοίως βρέθηκε το βέλτιστο ύψος του πύργου για ποσοστό ορατότητας όχι χαμηλότερο από το 90%.

Τα αποτελέσματα εμφανίζονται παρακάτω.

2α) Διάδρομος αεροδρομίου

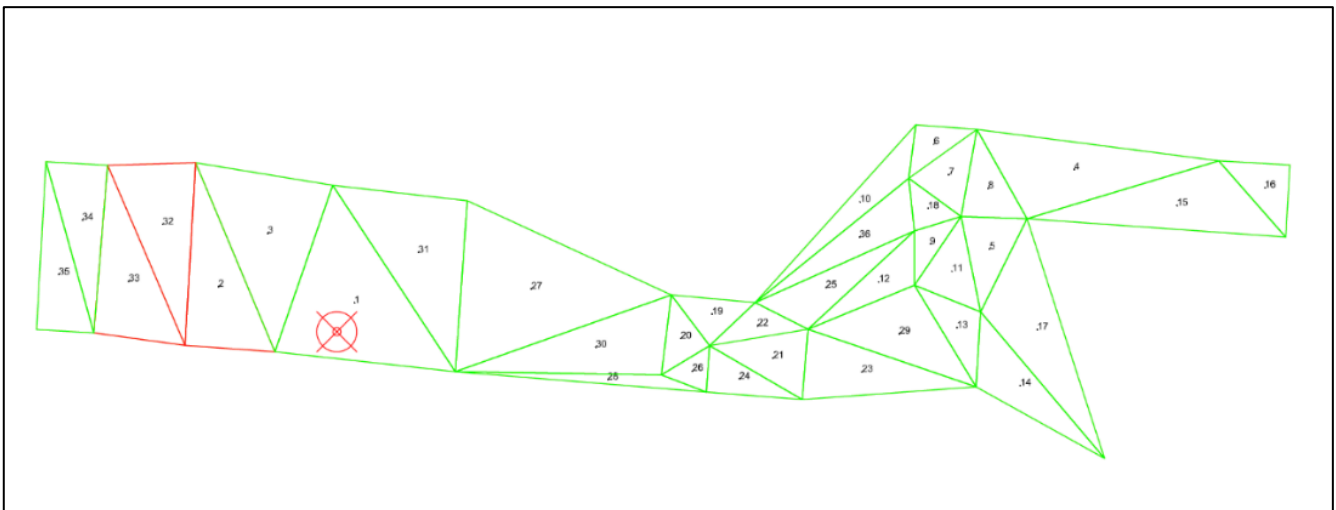
ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	1859
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	1828
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	31
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	98%
ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΥΨΟΣ ΠΥΡΓΟΥ	10 μ.



Εικόνα 47. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στο διάδρομο του αεροδρομίου της Σάμου για ύψος αντικείμενου 1 μ.

2β) Κτίρια αεροδρομίου

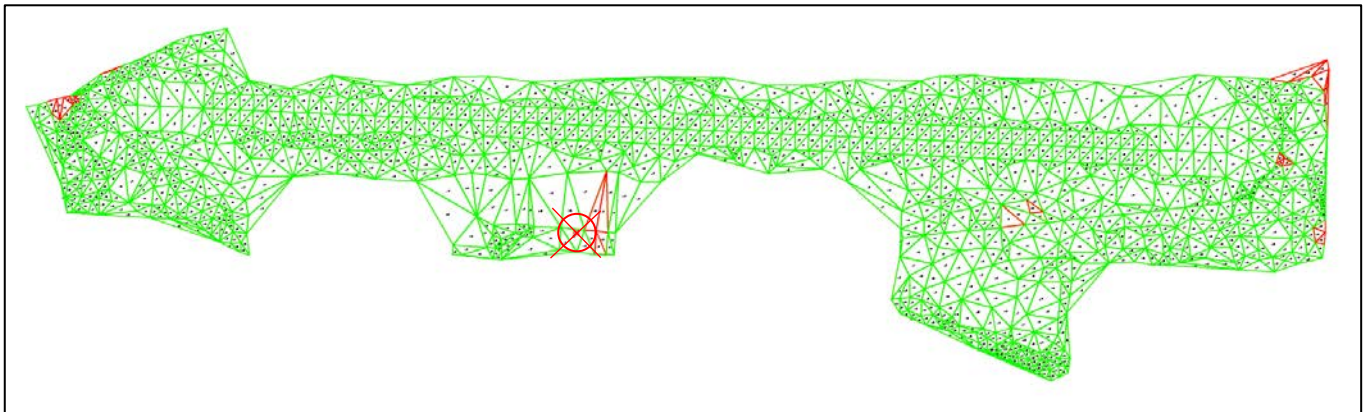
ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	36
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	33
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	3
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	92%
ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΥΨΟΣ ΠΥΡΓΟΥ	10 μ.



Εικόνα 48. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στα κτίρια του αεροδρομίου της Σάμου για ύψος αντικειμένου 1 μ.

2γ) Διάδρομος και κτίρια αεροδρομίου

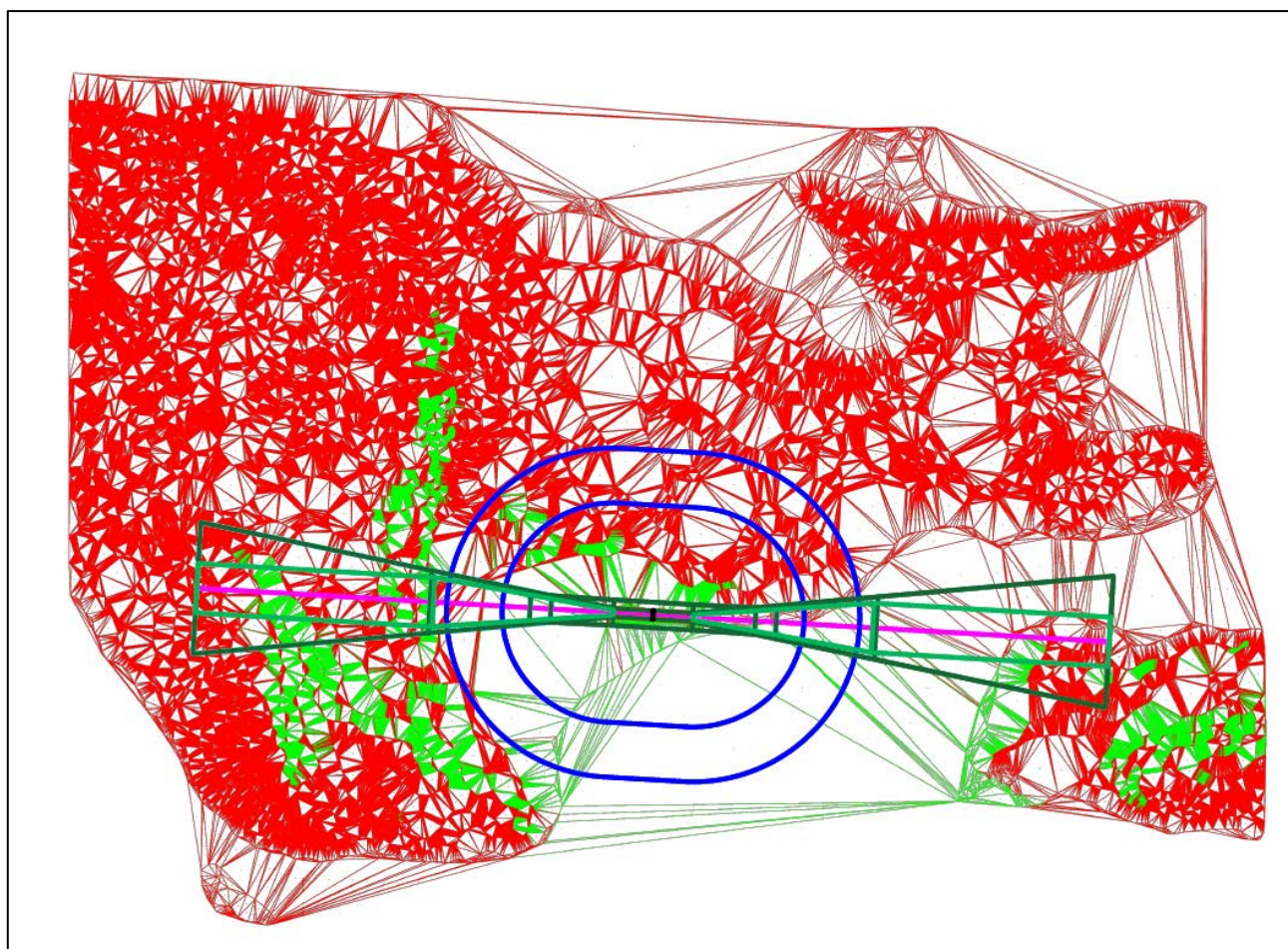
ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	1723
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	1691
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	32
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	98%
ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΥΨΟΣ ΠΥΡΓΟΥ	10 μ.



Εικόνα 49. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στο διάδρομο και στα κτίρια του αεροδρομίου της Σάμου για ύψος αντικειμένου 1 μ.

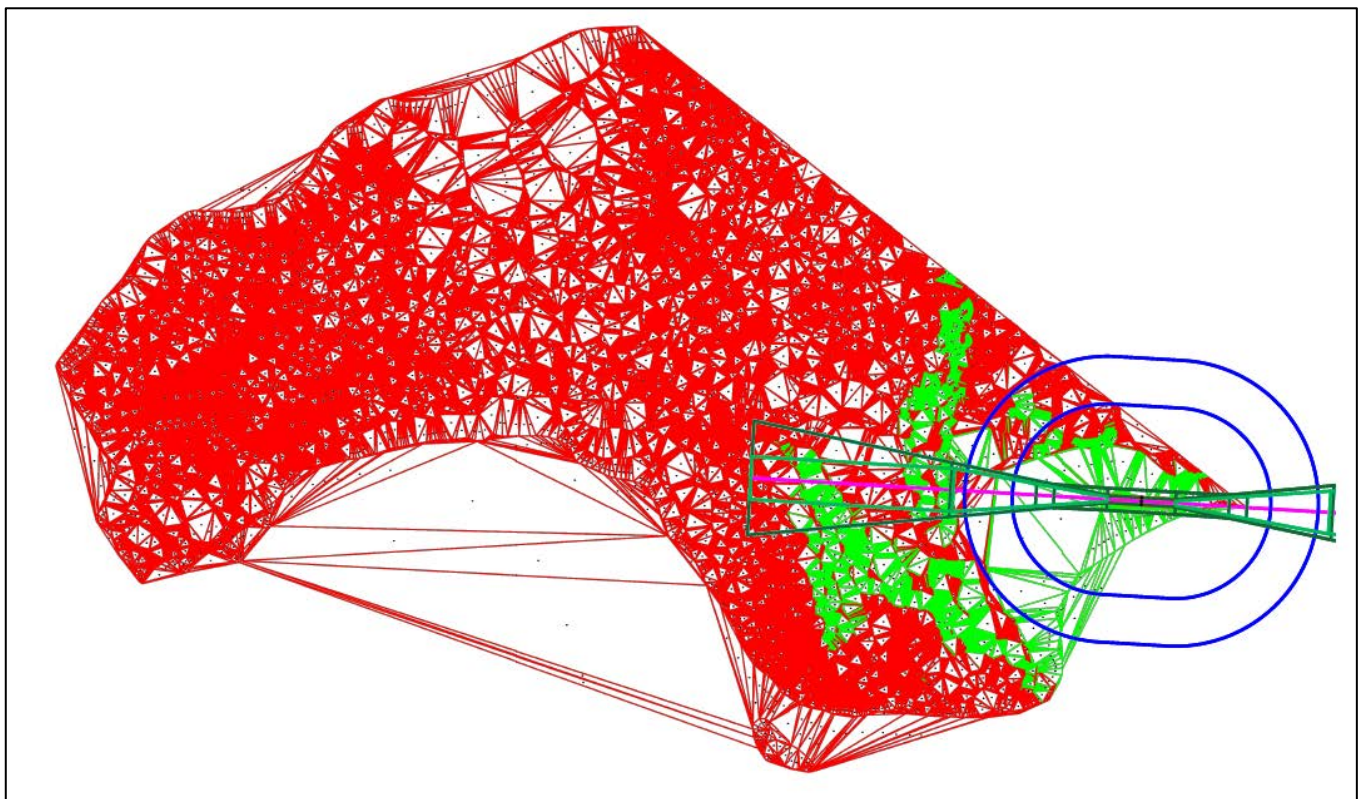
2δ) Συνολική περιοχή ελέγχου

ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΛΕΓΧΟΥ	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	221083
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	19626
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	201457
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	9%



Εικόνα 50. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στην ανατολική περιοχή ελέγχου της Σάμου για ύψος αντικειμένου 1 μ.

ΔΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΛΕΓΧΟΥ	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	221424
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	14246
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	207178
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	6%



Εικόνα 51. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου στη δυτική περιοχή ελέγχου της Σάμου για ύψος αντικειμένου 1 μ.

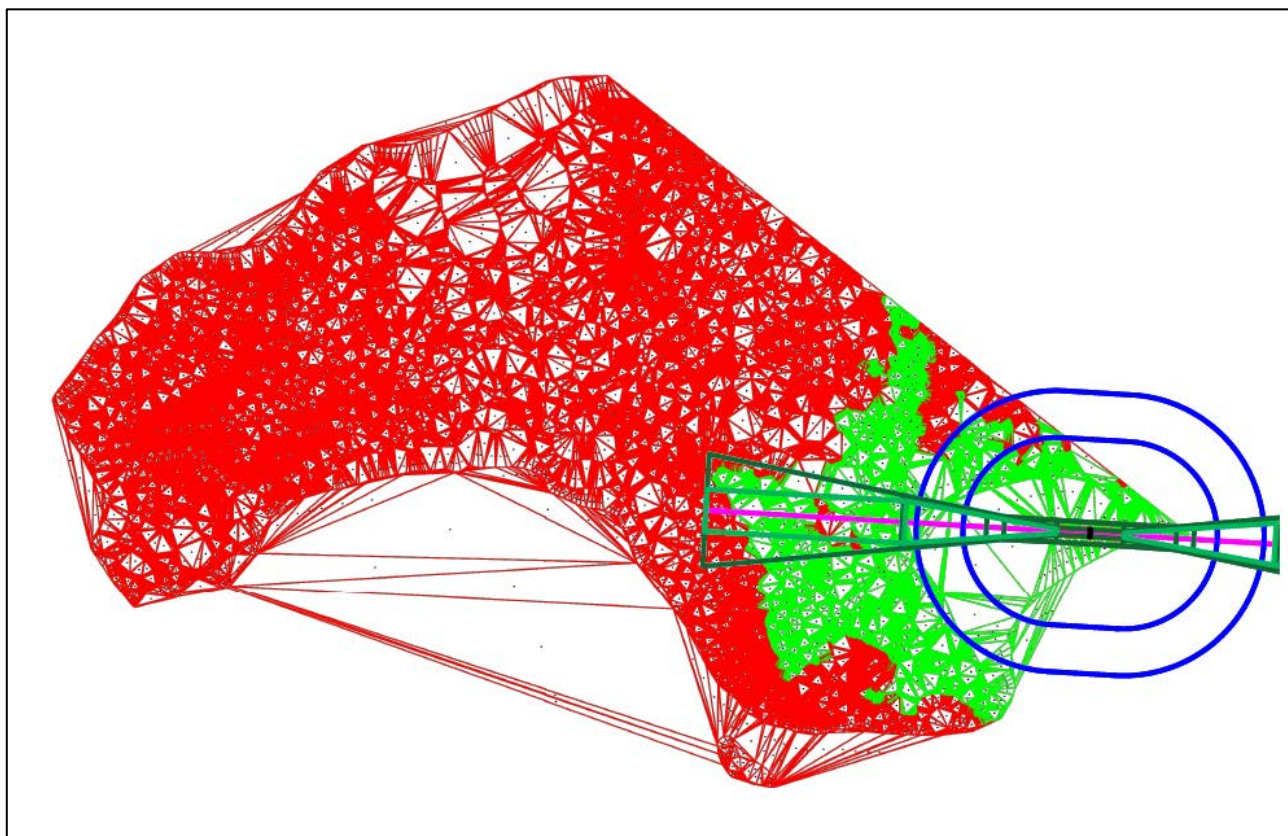
Σενάριο 3

Τέλος, έγινε έλεγχος σε ύψος αντικειμένου 50 μέτρα αλλά μόνο την περιοχή που περιλαμβάνει το σημείο του δυστυχήματος του 1989 (δυτική Σάμο). Τα 50 μέτρα επιλέχθηκαν ώστε να εξεταστεί εάν η προβλεπόμενη πορεία πτήσης του αεροσκάφους θα ήταν ορατή στον πύργο ελέγχου.

Τα αποτελέσματα εμφανίζονται παρακάτω.

3) *Δυτική περιοχή ελέγχου*

ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΡΙΓΩΝΩΝ	221424
ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	32598
ΜΗ ΟΡΑΤΑ ΤΡΙΓΩΝΑ	188826
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	15%



Εικόνα 52. Σχέδιο εξόδου με ορατότητα πύργου ελέγχου στη δυτική περιοχή ελέγχου για ύψος αντικειμένου 50 μ.

5. Συμπεράσματα – Προτάσεις

Γίνεται κατανοητό ότι η λειτουργία ενός αεροδρομίου είναι κάτι σύνθετο και απαιτείται συνεχής επιτήρηση. Για τον λόγο αυτό, όσον αφορά την κίνηση των αεροσκαφών, ο πύργος ελέγχου σε ένα αεροδρόμιο αποτελεί κρίσιμο στοιχείο του συστήματος ελέγχου κίνησης. Εξυπηρετεί πολλούς σημαντικούς σκοπούς για την ασφάλη και αποτελεσματική λειτουργία των αεροπορικών δραστηριοτήτων. Επομένως είναι σημαντικό να παρέχεται σε αυτόν επαρκή ορατότητα κυρίως στις περιοχές όπου πραγματοποιούνται κινήσεις αεροσκαφών και δευτερευόντως στην ευρύτερη περιοχή γύρω από το αεροδρόμιο.

Βασικός σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας ήταν να δημιουργηθεί μία μέθοδος που όταν ακολουθείται θα αποδίδει τις περιοχές εκείνες που δεν είναι ορατές στον πύργο ελέγχου. Για την υλοποίηση αυτής της μεθόδου απαιτήθηκε η δημιουργία κατάλληλου λογισμικού σε περιβάλλον ηλεκτρονικού υπολογιστή, το οποίο θα έχει τη δυνατότητα να εξάγει ένα εύκολα κατανοητό και αξιόπιστο αποτέλεσμα. Χρειάστηκε να γίνει συλλογή των απαραίτητων στοιχείων που αφορούν τις περιοχές ελέγχου ως προς την ορατότητα του πύργου σε αυτές και έγινε μία προσπάθεια συσχέτισης τους με την θέση του πύργου. Ωστόσο, η αξιολόγηση της ορατότητας παραμένει ευθύνη του μελετητή ο οποίος θα είναι σε θέση να χρησιμοποιεί αυτή τη μέθοδο ως εργαλείο για να πετύχει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

5.1 Βασικά συμπεράσματα αξιολόγησης

5.1.1 Μελέτη εφαρμογής αεροδρομίου Ιωαννίνων

Παρακάτω αναλύονται τα συμπεράσματα ανά περιοχή ελέγχου.

➤ Διάδρομος

Όπως είναι εμφανές και από τα αποτελέσματα του Σεναρίου 1, ο πύργος ελέγχου έχει ορατότητα σε αρκετές περιοχές του διαδρόμου προσγείωσης-απογείωσης και μειωμένη σε ορύγματα και περιοχές γύρω από τη λωρίδα του διαδρόμου. Παρόλα αυτά το ποσοστό ορατότητας δεν είναι αρκετά υψηλό ώστε να αποπνέει απόλυτη ασφάλεια. Πρέπει κανείς να συνυπολογίζει τον παράγοντα των καιρικών συνθηκών της περιοχής ο οποίος πολύ συχνά μειώνει το ποσοστό ορατότητας. Επομένως θα ήταν προτιμότερο το ποσοστό ορατότητας του πύργου στο διάδρομο, χωρίς εμπόδια να ξεπερνά το 80%. Ταυτόχρονα όμως είναι εμφανές ότι το βέλτιστο ύψος του πύργου προκύπτει αρκετά υψηλό και μη ρεαλιστικό. Συμπερασματικά, το σενάριο αυτό αναδεικνύει μία έλλειψη στην ορατότητα του πύργου ελέγχου στο διάδρομο αλλά μόνο στην περίπτωση που θα απαιτηθεί μέγιστη ασφάλεια έχοντας ως συνέπεια μια αντιοικονομική κατασκευή.

Στο σενάριο 2 παρατηρείται αρκετά καλύτερη ορατότητα στο διάδρομο. Γίνεται κατανοητό ότι το ύψος που έχει ήδη ο πύργος είναι ικανοποιητικό αφού η ορατότητα ξεπερνάει το 90% με ύψος αντικειμένου 1 μ.

Άρα για την περίπτωση αυτή, του διαδρόμου των Ιωαννίνων, επειδή δεν είναι εφικτός ένας πύργος με το ύψος που προκύπτει από το σενάριο 1, μία καλύτερη μέθοδος

προσέγγισης θα ήταν η στόχευση στο ύψος του εμποδίου που μπορεί να προκύψει και να εξεταστεί η ορατότητα σε αυτά. Ύστερα από τον έλεγχο εξάγεται το συμπέρασμα ότι ο πύργος έχει επαρκή ορατότητα στο διάδρομο προσγείωσης-απογείωσης.

➤ **Κτίρια αεροδρομίου**

Όσον αφορά τα κτίρια του αεροδρομίου η ορατότητα του πύργου ελέγχου είναι περιορισμένη. Η ορατότητα στο σενάριο 1 είναι κάτω του 40% ενώ στο σενάριο 2 είναι ακριβώς 40%. Επίσης το βέλτιστο ύψος εξακολουθεί να είναι μη ρεαλιστικό και στο σενάριο 2. Προκύπτει λοιπόν το λογικό συμπέρασμα ότι είναι αδύνατον να έχει πλήρη ορατότητα ο πύργος ελέγχου σε όλες τις όψεις των κτιρίων του αεροδρομίου ακόμα και εάν άλλαζε θέση.

Οι δοκιμές αυτές είναι σημαντικές ώστε να καθοριστούν οι περιοχές εκείνες στις οποίες θα απαιτηθούν κάποια βοηθήματα ορατότητας για τους ελεγκτές, όπως κάμερες ασφαλείας. Εξάλλου οι περιοχές των κτιρίων, που δεν είναι ορατές, δεν προορίζονται για κίνηση αεροσκαφών παρά μόνο οχημάτων και ανθρώπων του αεροδρομίου.

Ο έλεγχος ορατότητας στις κτιριακές εγκαταστάσεις του αεροδρομίου δεν είναι πρωτεύων αλλά σημαντικός για τον καθορισμό των περιοχών που απαιτούν βοηθήματα ορατότητας ώστε να έχουν γνώση οι ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας της κατάστασης.

➤ **Διάδρομος και κτίρια αεροδρομίου**

Συνδυάζοντας σε επόμενο στάδιο το σχέδιο του διαδρόμου με αυτό των κτιρίων, όπως ήταν αναμενόμενο, η συνολική εικόνα δε διαφέρει αρκετά από αυτή του διαδρόμου μόνο αφού ο διάδρομος αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του σχεδίου. Στο σενάριο 1 παρατηρείται ότι η ορατότητα έχει μειωθεί λόγω της ύπαρξης κτιρίων. Συγκεκριμένα στην περιοχή νότια των κτιρίων, παρατηρείται ότι υπάρχει και ένα τμήμα (τρίγωνο 3461, 270 και 3453) του χώρου στάθμευσης των αεροσκαφών το οποίο δεν είναι ορατό. Το βέλτιστο ύψος του πύργου σε αυτήν την περίπτωση όμοια με αυτό του σεναρίου 1 για το διάδρομο και τα κτίρια ξεχωριστά είναι αρκετά υψηλό για να μπορεί να υλοποιηθεί στην πράξη.

Στο σενάριο 2 ενώ η ορατότητα έχει αυξηθεί αρκετά δεν έχει φτάσει στο ιδανικό ποσοστό του 90% και άνω. Παράλληλα το ίδιο τμήμα του χώρου στάθμευσης αεροσκαφών που δεν φαινόταν στο σενάριο 1, εξακολουθεί να μην είναι ορατό. Οι δοκιμές για αυτή τη περίπτωση έδειξαν ότι εάν αυξηθεί το ύψος του πύργου ελέγχου κατά 5 μ. τότε η ορατότητα θα ήταν ικανοποιητική.

Μετά από το έλεγχο και των δύο σεναρίων ο πύργος ελέγχου έχει αρκετή ορατότητα στο διάδρομο με την ύπαρξη κτιρίων πλην από ένα μικρό τμήμα του χώρου στάθμευσης των αεροσκαφών. Για τον λόγο αυτό θα ήταν ευνοϊκό σε μελλοντική ανακατασκευή του πύργου να μεγαλώσει το ύψος του στα 15 μ. Επειδή όμως δεν πρόκειται για τμήμα τόσο μεγάλο που να μπορεί να καλυφθεί εξ ολοκλήρου ένα αεροσκάφος προς το παρόν θα ήταν αρκετά βοηθητική η τοποθέτηση κάμερας ασφαλείας σε περίπτωση που δεν υπάρχει ήδη.

➤ **Ευρύτερη περιοχή**

Στο συγκεντρωτικό σχέδιο με όλα τα στοιχεία της περιοχής ελέγχου παρατηρείται μικρή ορατότητα, όπως είναι και αναμενόμενο λόγω του ανισόπεδου εδάφους της περιοχής. Στη περιοχή γύρω από το αεροδρόμιο όπου υπάρχουν οι επιφάνειες εμποδίων και ειδικότερα στη μεταβατική ζώνη θα πρέπει να υπάρχει ορατότητα. Στο σενάριο 1 η ορατότητα είναι στο 8% ενώ στο σενάριο 2 αυξάνεται ελάχιστα στο 12 % χωρίς μεγάλες διαφορές στις ορατές περιοχές. Φαίνεται πως νότια και δυτικά του αεροδρομίου και εκεί που βρίσκεται η πόλη των Ιωαννίνων ο πύργος έχει ελάχιστη ορατότητα. Η καλύτερη ορατότητα είναι νότιο-ανατολικά από τη μεριά της λίμνης και προς στη δυτική πλευρά του βουνού.

Στο σενάριο 3 όπως και στα προηγούμενα το γενικό ποσοστό ορατότητας δεν είναι υψηλό. Όμως στην περιοχή γύρω από το αεροδρόμιο, εκεί όπου βρίσκεται μέρος της πόλης των Ιωαννίνων και μερικά χιλιόμετρα νότιο-ανατολικά διακρίνονται αρκετές πράσινες περιοχές. Το αποτέλεσμα αυτό είναι επιθυμητό καθώς αυτή τη πορεία ακολουθούν τα αεροσκάφη κατά την προσέγγισή τους στο αεροδρόμιο αλλά και μερικά κατά την απογείωση τους. Η μεταβατική ζώνη έχει αρκετά ορατά σημεία οπότε η ορατότητα σε αυτήν θεωρείται επαρκής. Παρόλα αυτά το ανάγλυφο της περιοχής είναι αρκετά ανώμαλο και το αεροδρόμιο περικυκλώνεται από ψηλά βουνά που δεν επιτρέπουν την ορατότητα πέρα από αυτά. Επίσης, το νότιο μέρος της πόλης των Ιωαννίνων δεν είναι ορατό. Για τον λόγο αυτό αεροσκάφη και ελικόπτερα είναι προτιμότερο να αποφεύγουν εκείνη την περιοχή εάν δεν υπάρχει συγκεκριμένος λόγος για την πτήση και να προτιμούν πορεία πάνω από τη λίμνη.

5.1.2 Μελέτη εφαρμογής αεροδρομίου Σάμου

➤ **Διάδρομος**

Ύστερα από την επεξεργασία του σχεδίου του διαδρόμου της Σάμου γίνεται κατανοητό ότι η ορατότητα του πύργου ελέγχου είναι αρκετά υψηλότερη από αυτή των Ιωαννίνων. Ήδη από το σενάριο 1 φαίνεται το ποσοστό ορατότητας να προσεγγίζει το ικανοποιητικό (81%) και το βέλτιστο ύψος να απέχει μόλις 3 μέτρα από το αυτό του υπάρχοντος πύργου. Στην περίπτωση αυτή φαίνεται να μην είναι αναγκαία κάποια άμεση βελτίωση στην ορατότητα, πέρα από την προσθήκη ύψους στον πύργο ελέγχου. Το έργο αυτό μπορεί να εφαρμοστεί μελλοντικά και μονάχα στην περίπτωση που ο προϋπολογισμός το επιτρέπει.

Συνεπώς, είναι επόμενο στο σενάριο 2 η εικόνα να είναι ακόμα καλύτερη. Παρατηρείται 98% ορατότητα του πύργου ελέγχου στο διάδρομο για ύψος αντικειμένου 1 μ. Επομένως είναι ασφαλές να θεωρηθεί πως οτιδήποτε εισέλθει στο διάδρομο θα είναι ορατό από τον πύργο ελέγχου.

Συμπερασματικά, όσον αφορά το διάδρομο μόνο, ο πύργος ελέγχου έχει σχεδόν πλήρη ορατότητα. Είναι στην κρίση μηχανικών σε επόμενη ανακατασκευή εάν θα επιθυμήσουν να αυξήσουν το ύψος χωρίς μια τέτοια επέμβαση να θεωρείται αναγκαία με τα έως τώρα δεδομένα.

➤ **Κτίρια αεροδρομίου**

Ο χώρος των ελεγκτών εναέριας κυκλοφορίας στο αεροδρόμιο της Σάμου βρίσκεται ουσιαστικά πάνω από το κεντρικό κτίριο των επιβατών. Αναμένεται έτσι να μην υπάρχουν πολλά ‘τυφλά’ σημεία όπως στο αεροδρόμιο των Ιωαννίνων. Στο σενάριο 1 η ορατότητα φτάνει το 80%, ποσοστό αρκετά ικανοποιητικό, ενώ το βέλτιστο ύψος βρέθηκε ότι είναι στα 13 μ.

Στο σενάριο 2 το ποσοστό ορατότητας αυξάνεται στο 92%. Η αύξηση αυτή είναι ικανοποιητική και δεν χρειάζεται να αυξηθεί το ύψος αφού φαίνεται να είναι ήδη το βέλτιστο.

Όπως και στα Ιωάννινα οι ‘κόκκινες’ περιοχές στα κτίρια δεν είναι προβληματικές αφού δεν αφορούν χώρους κίνησης αεροσκαφών. Οπότε ακόμη και εάν υπήρχε κατάληξη σε μικρότερο ποσοστό ορατότητας πιθανότατα να μην αποτελούσε πρόβλημα. Παρόλα αυτά δεν παύει να είναι χρήσιμος αυτός ο έλεγχος για την παροχή πληροφοριών σχετικά με την τοποθέτηση βοηθημάτων ορατότητας και την εξέταση τυχόν ‘τυφλών’ σημείων κοντά στο χώρο στάθμευσης των αεροσκαφών.

➤ **Διάδρομος και κτίρια αεροδρομίου**

Έχοντας εξάγει τα παραπάνω αποτελέσματα για το διάδρομο και τα κτίρια του αεροδρομίου της Σάμου, αναμένεται η ορατότητα στο συνδυασμό τους να είναι αντίστοιχη. Στο σενάριο 1 παρατηρείται ορατότητα 83%, αρκετά κοντά σε αυτές των σεναρίων 1 για τις προαναφερθείσες κατηγορίες σχεδίων. Υπάρχουν όμως περιοχές στο χώρο στάθμευσης και σε τμήματα των τροχοδρόμων που δεν είναι ορατές λόγω των κτιρίων. Άρα στο επόμενο σενάριο πρέπει να εξεταστεί εάν βελτιώνεται η εικόνα ή εάν θα απαιτηθούν κάποιες αλλαγές είτε στη διαρρύθμιση των κτιριακών εγκαταστάσεων είτε στο ύψος του πύργου. Για το σενάριο αυτό το ικανοποιητικό ύψος προκύπτει πως είναι στα 14 μ.

Στο σενάριο 2 η ορατότητα αυξάνεται στο 98%. Γίνεται κατανοητό πως η ορατότητα είναι και σε αυτή τη περίπτωση σχεδόν πλήρης. Εξακολουθεί όμως να μην είναι ορατό ένα τμήμα μπροστά από τα κτίρια που αποτελεί τμήμα του χώρου στάθμευσης.

Εκεί για την αποφυγή της αλλαγής του πύργου ελέγχου θα μπορούσε να γίνει πιο λεπτομερής έλεγχος ώστε να διαπιστωθεί εάν ένα μικρούς μεγέθους αεροσκάφος είναι ορατό. Εάν όχι τότε η προσθήκη καμερών ή άλλων συστημάτων ορατότητας θα ήταν αρκετά βοηθητική, ενώ μελλοντικά θα μπορούσε να εξεταστεί και κάποια κατασκευαστική αλλαγή.

➤ **Ευρύτερη περιοχή**

Στο συγκεντρωτικό σχέδιο με το ανάγλυφο του νησιού της Σάμου και ενός κοντινού τμήματος τουρκικού εδάφους δεν αναμένεται μεγάλη ορατότητα αφού υπάρχουν βουνά και λόφοι. Στη περιοχή γύρω από το αεροδρόμιο όπου υπάρχουν οι επιφάνειες εμποδίων και ειδικότερα στη μεταβατική ζώνη θα πρέπει να υπάρχει ορατότητα. Από το σενάριο 1 φαίνεται πως η μεταβατική ζώνη βρίσκεται στα ορατά σημεία αλλά γενικώς αυτά είναι περιορισμένα αφού ο πύργος ελέγχου έχει ορατότητα 5% στα

ανατολικά και 4% στα δυτικά. Στο σενάριο 2 η ορατότητα αυξάνεται ελάχιστα από το 5% στο 9% και από το 4% στο 6%, στα ανατολικά και στα δυτικά αντίστοιχα.

Η γενικότερη εικόνα από τα δύο πρώτα σενάρια είναι ότι δυτικά και νότια του αεροδρομίου υπάρχει η μεγαλύτερη ορατότητα. Επομένως οι ελιγμοί των αεροσκαφών και των ελικοπτέρων όταν πλησιάζουν το αεροδρόμιο θα ήταν προτιμότερο να γίνονται σε εκείνες τις περιοχές. Η μεταβατική ζώνη είναι ορατή και στα δύο σενάρια οπότε η ορατότητα του πύργου σε προσγειώσεις και απογειώσεις των αεροσκαφών είναι ικανοποιητική. Επίσης λαμβάνοντας υπόψη και τις πορείες πτήσεων που κάνουν τα αεροσκάφη θα ήταν ευνοϊκό να υπάρχει μεγαλύτερη ορατότητα βόρεια του αεροδρομίου.

Ο κύριος λόγος εξέτασης του σεναρίου 3 ήταν το ατύχημα του 1989. Κατά την επεξεργασία του ανάγλυφου προέκυψε ότι στην περιοχή που πετούσε το αεροσκάφος δεν ήταν ορατό στον πύργο ελέγχου. Ακόμη και στην περίπτωση που πετούσε 50 μ. πάνω από το έδαφος (και απέφυγε το βουνό) για αρκετή απόσταση δε θα μπορούσαν οι ελεγκτές να το δουν παρά μόνο από τα ραντάρ. Η πιο ασφαλής πορεία θα ήταν να είχε παρακάμψει το βουνό και να είχε προσεγγίσει το αεροδρόμιο από τη νότιο-δυτική πλευρά όπου φαίνεται ο πύργος να αποκτά ορατότητα νωρίτερα.

Εν τέλει, με τη μέθοδο της παρούσας διπλωματικής γίνεται δυνατό στον μελετητή-μηχανικό, αποτυπώνοντας την εκάστοτε περιοχή ελέγχου, να εξακριβώσει ποιες περιοχές ή σημεία δεν είναι ορατά στο πύργο ελέγχου του αεροδρομίου προς μελέτη και να κρίνει ως προς τη σημαντικότητά τους. Στην παρούσα διπλωματική οι πύργοι ελέγχου που εξετάστηκαν ήταν αυτοί των αερολιμένων Ιωαννίνων και Σάμου. Κρίθηκε χρήσιμο να εξεταστούν διάφορα τμήματα της περιοχής ελέγχου ξεχωριστά και μαζί ώστε να δοθεί μία συνολική εικόνα για τη χρησιμότητα της μεθόδου που παρουσιάστηκε. Τα γενικά συμπεράσματα είναι ότι το αεροδρόμιο των Ιωαννίνων σε σύγκριση με αυτό της Σάμου έχει λιγότερη ορατότητα στην περιοχή του διαδρόμου και όντας περιτριγυρισμένο από βουνά οι ορατές δίοδοι των αεροσκαφών είναι μειωμένες. Επίσης στο αεροδρόμιο της Σάμου φαίνεται να μην χρειάζεται κάποια βελτίωση της ορατότητας στην περιοχή του διαδρόμου αλλά λόγω του ανάγλυφου είναι προτιμότερο τα αεροσκάφη να ακολουθούν διαδρομές που θα τους οδηγήσουν σε ορατές προς τον πύργο ελέγχου περιοχές γρηγορότερα ώστε να αποφευχθούν άλλα δυστυχήματα.

5.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η παρούσα εργασία αποτελεί αρχικό στάδιο έρευνας σε μία προσπάθεια με στόχο τη μεγιστοποίηση της ορατότητας του πύργου ελέγχου ενός αεροδρομίου. Στο πλαίσιο αυτό, μερικά σημεία για περαιτέρω έρευνα είναι τα ακόλουθα:

- i. Προσθήκη επιπλέον σημείων στόχευσης στο πρόγραμμα εκτός από το κέντρο βάρους, όπως οι ακμές των τριγώνων.
- ii. Ελαχιστοποίηση των περιορισμών του προγράμματος όπως επεξεργασία περισσότερων τριγώνων και διάβασμα περισσότερων γραμμών δεδομένων.
- iii. Εξέταση συμβολής ομίχλης ή φωτορύπανσης στην ορατότητα του πύργου ελέγχου.
- iv. Συλλογή και επεξεργασία τοπογραφικής αποτύπωσης περισσότερων αεροδρομίων και κτιρίων ώστε να διερευνηθεί η ορατότητα του πύργου ελέγχου σε αυτά.
- v. Αξιολόγηση τοπογραφικής πληροφορίας και συσχέτιση με αεροδρομίων άλλων χωρών.
- vi. Δημιουργία βάσης δεδομένων μικρών και μεγάλων ατυχημάτων στο χώρο των αεροδρομίων καθώς και στις περιοχές εμποδίων ώστε να υπάρξει ένα επιπλέον εργαλείο διαθέσιμο για το μελετητή στην προσπάθεια του να εντοπίσει τις επικίνδυνες θέσεις.

Βιβλιογραφία

1. Richard de Neufville and Amadeo Odoni, Airport Systems: Planning, Design and Management, McGraw-Hill, 2003
2. International Civil Aviation Organization (ICAO), Aerodromes Aerodrome Design and Operations, Volume I, Sixth Edition, 2013
3. European Aviation Safety Agency (EASA), Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design CS-ADR-DSN, Issue 4, 2017
4. European Organisation for the Safety of Air Navigation, Control Tower Operations: Roles Description EEC Note No. 09/06 Project MMF, 2006
5. European Organisation for the Safety of Air Navigation, Control Tower Operations: A Literature Review of Tasks Analysis Studies EEC Note No. 10/06 Project MMF, 2006
6. Alessandro Di Graziano, Eliana Ragusa, Domenico Trifilo, Leonardo Maria Trianca, Marco Trombetti, Claudia Arcidiacono, Interaction Between Airport Facilities and the Surrounding Area within the GIS and BIM Interoperability, 2022
7. F.J. van Schaik, J.J.M. Roessingh, G. Lindqvist, K. Fält, 2010, Assessment of Visual Cues by Tower Controllers, with Implications for a Remote Tower Control Centre, IFAC Proceedings Volumes, Volume 43, Issue 13, 123-128
8. <http://www.ae.metu.edu.tr/tuncer/ae546/prj/delaunay/>
9. http://www.geom.uiuc.edu/~samuelp/del_project.html
10. <http://www.hellinikimeletitiki.gr/airport-ioanninon.html>
11. <http://www.ypa.gr/our-airports/kratikos-aerolimenas-xioy-omhros-kaxio>
12. <http://www.ypa.gr/profile/activities/>
13. <https://an.aero/air-traffic-control-tower-atct/>
14. <https://an.aero/ifr-and-vfr-rules-whats-the-difference/>
15. <https://armynow.gr/aeroporiki-tragodia-samos/>
16. <https://geohack.toolforge.org/geohack.php>
17. <https://gwlucastrig.github.io/TinfourDocs/DelaunayIntro/index.html>
18. <https://keisan.casio.com/exec/system/1223596129>
19. <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1>
20. [https://math.libretexts.org/Bookshelves/Calculus/Supplemental_Modules_\(Calculus\)/Multivariable_Calculus/](https://math.libretexts.org/Bookshelves/Calculus/Supplemental_Modules_(Calculus)/Multivariable_Calculus/)
21. <https://math.stackexchange.com/questions/617403/>
22. <https://mathworld.wolfram.com/DelaunayTriangulation.html>
23. <https://planetcalc.com/8253/>
24. https://www.avgi.gr/diethni/472742_ereyna-gia-ta-aitia-tis-aeroporikis-tragodias-sygklonizoyn-oi-eikones?amp
25. <https://www.centennialofflight.net/essay/Dictionary/airspace/DI79.htm>
26. <https://www.differencebetween.com/difference-between-circumcenter-incenter-orthocenter-and-centroid/>
27. <https://www.flightsfrom.com/explorer/SMI?mapview>
28. <https://www.fraport-greece.com/ell/profil-aerodromion/samos>
29. <https://www.geeksforgeeks.org/equation-of-a-line-in-3d/>

Παράρτημα

Πρόγραμμα CT.FOR

```
c-----  
c  
c ct. for  
c  
c Check Control Tower Visibility  
c  
c-----  
program ct  
c-----  
c COMMON  
c-----  
common /fm8/i 8, x8a, y8a, z8a, x8b, y8b, z8b, x8c, y8c, z8c  
common /dwg/i bl, l vl, cl r, smb, wgh, thg  
c-----  
c VARIABLES  
c-----  
real *8 z ! Zero  
real *8 xct, yct, zct ! XYZ Control Tower  
real *8 a, b, c, d  
real *8 s1, s2, s3 ! Si des  
real *8 d1, d2, d3 ! Si des_Center_Gravi ty  
real *8 w1, w2, w3 ! Angles  
real *8 ang ! Angle  
real *8 dhg ! Object Height  
c-----  
c INTERSECTI ON  
c-----  
real *8 xi, yi, zi ! XYZ Intersection  
c-----
```

c FMB.DAT

c-----

integer*4 i8 ! No

real *8 x8a(900000) ! X_a

real *8 y8a(900000) ! Y_a

real *8 z8a(900000) ! Z_a

real *8 x8b(900000) ! X_b

real *8 y8b(900000) ! Y_b

real *8 z8b(900000) ! Z_b

real *8 x8c(900000) ! X_c

real *8 y8c(900000) ! Y_c

real *8 z8c(900000) ! Z_c

c-----

c CENTER OF GRAVITY

c-----

real *8 x8k(900000) ! X Center of Gravity

real *8 y8k(900000) ! Y Center of Gravity

real *8 z8k(900000) ! Z Center of Gravity

c-----

c TRIANGLE

c-----

real *8 xpl(4) ! X Polyline

real *8 ypl(4) ! Y Polyline

real *8 zpl(4) ! Z Polyline

c-----

c GRAPHICS

c-----

integer*4 ibl ! Block No

character*30 lvl ! Level

integer*4 clr ! Color

integer*4 smb ! Symbology

integer*4 wgh ! Weight

real *8 thg ! Text Height

```
c-----  
c START PROGRAM  
c-----  
call g('Έλεγχος ορατότητας πύργου Ελέγχου',33,1)  
c-----  
c INITIAL VALUES  
c-----  
call g('Αρχικές Τιμές',14,1)  
i bl = 1000  
thg = 1.75  
c-----  
c OPEN CT. DXF  
c-----  
call g('Ανοίγω το ct. dxf', 16, 1)  
open(0, file=' ct. dxf', status=' unknown' )  
call opendxf  
c-----  
c ZERO  
c-----  
i 8=0  
do i=1, 900000  
x8a(i) = 0  
y8a(i) = 0  
z8a(i) = 0  
x8b(i) = 0  
y8b(i) = 0  
z8b(i) = 0  
x8c(i) = 0  
y8c(i) = 0  
z8c(i) = 0  
end do  
c-----  
c WHICH TRIANGLE INTERSECTION
```

```

c-----
call g('Σχεδίαση Τομής Τριγώνου Στόχευσης ;',35,2)
read(*,*) itrn
c-----

c OBJECT HEIGHT

c-----

call g('Ύψος Αντικειμένου ;',19,2)
read(*,*) dhg
c-----

c CALCULATE NO OF TRIANGLES

c-----

call g('Βρίσκω Αριθμό Τριγώνων',22,1)
open(8, file=' ct. tri ', status=' unknown' )
do while(.not. eof(8))
i8=i8+1
read(8, '(1x)')
end do
close (8)

call gi('Αριθμός Τριγώνων = ', 19, i8/4, 1)
if(i8.gt.900000) write(*, '(80(''-'))')
if(i8.gt.900000) stop ' Change Triangle Array - i8 > 900000'
c-----

c READ CT. TRI

c-----

call g('Διαβάζω Τριγωνα',15,1)
open(8, file=' ct. tri ', status=' unknown' )
i8=i8/4
do i=1, i8
read(8, *) x8a(i), y8a(i), z8a(i), j
read(8, *) x8b(i), y8b(i), z8b(i), j
read(8, *) x8c(i), y8c(i), z8c(i), j
read(8, '(1x)')
end do

```

```
close (8)
c-----
c DRAW TRIANGLES
c-----
call g('Σχεδιάζω Τριγωννα',16,1)
lv1='Τριγωννα_____ '
clr=42
do i=1, i8
xpl(1)=x8a(i)
ypl(1)=y8a(i)
zpl(1)=z8a(i)*10
xpl(2)=x8b(i)
ypl(2)=y8b(i)
zpl(2)=z8b(i)*10
xpl(3)=x8c(i)
ypl(3)=y8c(i)
zpl(3)=z8c(i)*10
xpl(4)=x8a(i)
ypl(4)=y8a(i)
zpl(4)=z8a(i)*10
call poly(4, xpl, ypl, zpl)
end do
c-----
c TRIANGLES CENTER OF GRAVITY
c-----
call g('Κέντροιδή Τριγώνων',18,1)
lv1='Κέντροιδή_Τριγώνων_____ '
clr=0
z=0
do i=1, i8
c write(*, '(3f12.3)') x8a(i), y8a(i), z8a(i)
c write(*, '(3f12.3)') x8b(i), y8b(i), z8b(i)
c write(*, '(3f12.3)') x8c(i), y8c(i), z8c(i)
```



```

c write(*, '(6f12.3)') x8k(i), y8k(i), z8k(i)
x8k(i)=(x8a(i)+x8b(i)+x8c(i))/3
y8k(i)=(y8a(i)+y8b(i)+y8c(i))/3
z8k(i)=(z8a(i)+z8b(i)+z8c(i))/3+dhg
call point(x8k(i), y8k(i), z8k(i)*10)
call number(x8k(i), y8k(i), z8k(i)*10, z, dfloat(i), 0)
end do

c-----
c CT. XYZ
c-----

call g('XYZ πύργου Ελέγχου',18,1)
open(1, file='ct. xyz')
read(1, *) xct, yct, zct
close (1)
call g3('X πύργου Ελέγχου = ',19,xct,1)
call g3('Y πύργου Ελέγχου = ',19,yct,1)
call g3('Z πύργου Ελέγχου = ',19,zct,1)
lvl='πύργος_ελέγχου_____ '
clr=1
call line(xct-5, yct-5, zct*10., xct+5, yct+5, zct*10)
call line(xct-5, yct+5, zct*10., xct+5, yct-5, zct*10)
call circle(xct, yct, zct*10, z+1)
call circle(xct, yct, zct*10, z+5)

c-----
c-----
c TRIANGLES VISIBILITY
c-----
c-----

call g('Ορατότητα',9,2)
c write(*, '(1x)')
do i=1, i8
write(*, (' ', i8, f12.3, ' %')) i, dfloat(i)/dfloat(i8)*100.
itm=0

```

```

do j=1, i 8
if(j.ne.i) then
a=
1(y8b(j)-y8a(j))*(z8c(j)-z8a(j))-(y8c(j)-y8a(j))*(z8b(j)-z8a(j))
b=
1(z8b(j)-z8a(j))*(x8c(j)-x8a(j))-(z8c(j)-z8a(j))*(x8b(j)-x8a(j))
c=
1(x8b(j)-x8a(j))*(y8c(j)-y8a(j))-(x8c(j)-x8a(j))*(y8b(j)-y8a(j))
d=(a*x8a(j)+b*y8a(j)+c*z8a(j))
c write(*,'(4f12.3)') a,b,c,d

c-----
c Intersecton with Center of Gravity
c-----

if(itm.eq.0) then
g1=(x8k(i)-xct)/(z8k(i)-zct)
g2=(y8k(i)-yct)/(z8k(i)-zct)
zi=a*zct*g1-a*xct+b*zct*g2-b*yct-d
dnm=(a*g1+b*g2+c)
if(int(abs(dnm*10000)).eq.0) dnm=0.0001
zi=zi/dnm
xi=(zi-z8k(i))*(xct-x8k(i))/(zct-z8k(i))+x8k(i)
yi=(zi-z8k(i))*(yct-y8k(i))/(zct-z8k(i))+y8k(i)
c write(*,'(3f12.3)') xi,yi,zi
c stop

if((xi-xct)*(xi-x8k(i)).lt.0) then
s1=sqrt((x8a(j)-x8b(j))**2+(y8a(j)-y8b(j))**2)
s2=sqrt((x8b(j)-x8c(j))**2+(y8b(j)-y8c(j))**2)
s3=sqrt((x8c(j)-x8a(j))**2+(y8c(j)-y8a(j))**2)
d1=sqrt((x8c(j)-xi)**2+(y8c(j)-yi)**2)
d2=sqrt((x8a(j)-xi)**2+(y8a(j)-yi)**2)
d3=sqrt((x8b(j)-xi)**2+(y8b(j)-yi)**2)
w1=(d2**2+d3**2-s1**2)/2/d2/d3
w2=(d3**2+d1**2-s2**2)/2/d3/d1

```

```

w3=(d1**2+d2**2- s3**2)/2/d1/d2
if(w1. gt. 0. 999999) w1=0. 999999
if(w2. gt. 0. 999999) w2=0. 999999
if(w3. gt. 0. 999999) w3=0. 999999
ang=(acos(w1)+acos(w2)+acos(w3)) *200/3. 14159265
if(ang. gt. 399. 999) itm=1
j trn=j
end if
end if
end if
end do
c-----Draw Visible Triangle
if(itm. eq. 0) then
lv1='Ορατά_Τρίγωνο_____ '
clr=3
xpl(1)=x8a(i)
ypl(1)=y8a(i)
zpl(1)=z8a(i)*10
xpl(2)=x8b(i)
ypl(2)=y8b(i)
zpl(2)=z8b(i)*10
xpl(3)=x8c(i)
ypl(3)=y8c(i)
zpl(3)=z8c(i)*10
xpl(4)=x8a(i)
ypl(4)=y8a(i)
zpl(4)=z8a(i)*10
call poly(4, xpl, ypl, zpl)
iyes=iyes+1
end if
c-----Draw Invisible Triangle
if(itm. ne. 0) then
lv1='Αόρατα_Τρίγωνο_____ '

```

```
clr=1
xpl (1) =x8a(i)
ypl (1) =y8a(i)
zpl (1) =z8a(i) *10
xpl (2) =x8b(i)
ypl (2) =y8b(i)
zpl (2) =z8b(i) *10
xpl (3) =x8c(i)
ypl (3) =y8c(i)
zpl (3) =z8c(i) *10
xpl (4) =x8a(i)
ypl (4) =y8a(i)
zpl (4) =z8a(i) *10
call poly(4, xpl , ypl , zpl)
ino=ino+1
end if
c-----Draw Intersection
if(itm.ne. 0. and. i.eq.itrn) then
lvl='Τομή_____ '
clr=4
call line(xct, yct, zct*10. , xi , yi , zi *10)
clr=1
call line(xi , yi , zi *10. , x8k(i) , y8k(i) , z8k(i) *10)
xpl (1) =x8a(j trn)
ypl (1) =y8a(j trn)
zpl (1) =z8a(j trn) *10
xpl (2) =x8b(j trn)
ypl (2) =y8b(j trn)
zpl (2) =z8b(j trn) *10
xpl (3) =x8c(j trn)
ypl (3) =y8c(j trn)
zpl (3) =z8c(j trn) *10
xpl (4) =x8a(j trn)
```

```
ypl (4) =y8a(j trn)
zpl (4) =z8a(j trn) *10
call poly(4, xpl, ypl, zpl)
end if
end do

c-----Report Triangles
call gi('Αριθμός Τριγώνων = ',20,i8,1)
call gi('Ορατά Τριγωνα = ',20,iyes,1)
call gi('Μη Ορατά Τριγωνα = ',20,ino,1)

c-----
c CLOSE CT. DXF

c-----
1000 call g('κλείνω το ct.dxf',16,1)
call closedxf
close (0)

c-----
END

c-----
```

Πρόγραμμα ILT.FOR

```

c*****
c
c ILT.FOR
c
c Intersect line with triangle in space
c
c*****
c-----
SUBROUTINE ILT
1(x1, y1, z1, x2, y2, z2, x3, y3, z3, xa, ya, za, xb, yb, zb, x, y, z, j)
c-----
c-----
c CALL
c-----
real *8 x1, y1, z1 ! Triangle Vertex 1
real *8 x2, y2, z2 ! Triangle Vertex 2
real *8 x3, y3, z3 ! Triangle Vertex 3
real *8 xa, ya, za ! Line Vertex 1
real *8 xb, yb, zb ! Line Vertex 2
real *8 x, y, z ! Intersection
integer*4 j ! Inside Intersection
real *8 a, b, c, d ! a*x+b*y+z*c+d=0
real *8 g1, g2 ! Factors
real *8 s1, s2, s3 ! Sides
real *8 d1, d2, d3 ! Sides_Center_Gravity
real *8 w1, w2, w3 ! Angles
real *8 ang ! Angle
c-----
c INRESECTION
c-----
j=0
a=(y2-y1)*(z3-z1)-(y3-y1)*(z2-z1)
b=(z2-z1)*(x3-x1)-(z3-z1)*(x2-x1)
c=(x2-x1)*(y3-y1)-(x3-x1)*(y2-y1)
d=- (a*x1+b*y1+c*z1)
write(*, '(4f12.3)') a, b, c, d
stop
g1=(xa-xb)/(za-zb)
g2=(ya-yb)/(za-zb)
z=a*zb*g1-a*xb+b*zb*g2-b*yb-d
dnm=(a*g1+b*g2+c)
c if(int(abs(dnm*10000)).eq.0) dnm=0.0001
z=z/dnm
x=(z-za)*(xb-xa)/(zb-za)+xa
y=(z-za)*(yb-ya)/(zb-za)+ya
write(*, '(3f12.3)') x, y, z
stop
if((x-xa)*(x-xb).lt.0) then

```

```
s1=sqrt((x1-x2)**2+(y1-y2)**2)
s2=sqrt((x2-x3)**2+(y2-y3)**2)
s3=sqrt((x3-x1)**2+(y3-y1)**2)
d1=sqrt((x3-x)**2+(y3-y)**2)
d2=sqrt((x1-x)**2+(y1-y)**2)
d3=sqrt((x2-x)**2+(y2-y)**2)
w1=(d2**2+d3**2-s1**2)/2/d2/d3
w2=(d3**2+d1**2-s2**2)/2/d3/d1
w3=(d1**2+d2**2-s3**2)/2/d1/d2
ang=(acos(w1)+acos(w2)+acos(w3))*200/3.14159265
if(ang.gt.399.999) then
j=1
write(*,'(4f12.3,i8)') x,y,z,ang,j
end if
end if
c-----
END
c-----
```

Πρόγραμμα I2L.FOR

```

c*****
c
c I2L.FOR
c
c Intersect 2 Lines
c
c*****
c-----
SUBROUTINE I2L(x1, y1, x2, y2, x3, y3, x4, y4, xi, yi)
c-----
c-----
c CALL
c-----
real *8 x1, y1 ! XY Line 1 Point_1
real *8 x2, y2 ! XY Line 1 Point 2
real *8 x3, y3 ! XY Line 2 Point 1
real *8 x4, y4 ! XY Line 2 Point 2
real *8 xi, yi ! XY Intersection
c-----
c VARIABLES
c-----
real *8 a1 ! Angle_Line 1
real *8 a2 ! Angle Line 2
c-----
c INPUT
c-----
c call g('i2l.for', 7, 2)
c print *, int(abs((x1-x2)*10000))
c print *, int(abs((x3-x4)*10000))
c write(*, '(2x, 2f20.6)') x1, y1
c write(*, '(2x, 2f20.6)') x2, y2
c write(*, '(2x, 2f20.6)') x3, y3
c write(*, '(2x, 2f20.6)') x4, y4
c-----
c X1=X2 - X3<>X4
c-----
if(int(abs((x1-x2)*10000)).eq.0) then
if(int(abs((x3-x4)*10000)).ne.0) then
c print *, ' x1=x2 - x3<>x4'
xi=x1
yi=(xi-x3)*(y4-y3)/(x4-x3)+y3
return
end if
end if
c-----
c X1<>X2 - X3=X4

```



```

c-----
if(int(abs((x1-x2)*10000)).ne.0) then
if(int(abs((x3-x4)*10000)).eq.0) then
c print *, ' x1<>x2 - x3=x4'
xi=x3
yi=(xi-x1)*(y2-y1)/(x2-x1)+y1
return
end if
end if
c-----
c X1<>X2 - X3<>X4
c-----
if(int(abs((x1-x2)*10000)).ne.0) then
if(int(abs((x3-x4)*10000)).ne.0) then
c print *, ' x1<>x2 - x3<>x4'
a1=(y2-y1)/(x2-x1)
a2=(y4-y3)/(x4-x3)
if(int(abs((a1-a2)*10000)).eq.0) a1=a1+0.0001
xi=(y1-y3+a2*x3-a1*x1)/(a2-a1)
yi=y1+a1*(xi-x1)
return
end if
end if
c-----
c X1=X2 - X3=X4
c-----
if(int(abs((x1-x2)*10000)).eq.0) then
if(int(abs((x3-x4)*10000)).eq.0) then
c print *, ' x1=x2 - x3=x4'
if(int(abs((x1-x2)*10000)).eq.0) x2=x1+0.0001
if(int(abs((x3-x4)*10000)).eq.0) x4=x3+0.0001
a1=(y2-y1)/(x2-x1)
a2=(y4-y3)/(x4-x3)
if(int(abs((a1-a2)*10000)).eq.0) a1=a1+0.0001
xi=(y1-y3+a2*x3-a1*x1)/(a2-a1)
yi=y1+a1*(xi-x1)
return
end if
end if
c-----
c NOT FOUND
c-----
c call g(' Δεν βρέθηκε αλληλοτομία', 23, 2)
c write(*, '(2x, 2f20.6)') x1, y1
c write(*, '(2x, 2f20.6)') x2, y2
c write(*, '(2x, 2f20.6)') x3, y3
c write(*, '(2x, 2f20.6)') x4, y4
c call pzs
c-----
END
c-----

```