



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Αριάδνη Σαρρή

Επιβλέποντες:
Φώτης Μερτζάνης ΕΔΠ Ε.Μ.Π.
Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2024

Βασικά στάδια διπλωματικής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ



1.1 Γενική ανασκόπηση (1/2)

- Αεροδρόμια: σύνθετα έργα, μεγάλης κλίμακας, απαίτηση εκτενή σχεδιασμού και μελέτης τόσο πριν την κατασκευή όσο και κατά τη διάρκεια λειτουργίας.
- Η ολοένα και αυξανόμενη επιβατική κίνηση μέσω της αεροπλοΐας εγείρει κινδύνους ασφάλειας των πτήσεων. Βασικό ρόλο στη διασφάλιση της εύρυθμης λειτουργίας ενός αεροδρομίου διαδραματίζει ο **Πύργος Ελέγχου (Π.Ε.)**.
- Ο Π.Ε. αφορά ένα κτίριο που στεγάζει το σύστημα και το προσωπικό που επιφορτίζεται τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας. Ο σκοπός των ελεγκτών είναι:
 - Παρακολούθηση αεροσκαφών
 - Αποτροπή εμπλοκών
 - Οργάνωση ροής αεροσκαφών
 - Παροχή πληροφοριών και υποστήριξης προς τους πιλότους

1.2 Γενική ανασκόπηση (2/2)

Βασικές επιστημονικές αρχές και παράγοντες ορατότητας Π.Ε.

1. Σχεδιασμός
2. Θέση
3. Παράθυρα
4. Συστήματα φωτισμού
5. Καιρικές συνθήκες
6. Τεχνολογία επιτήρησης
7. Επικοινωνία
8. Ανθρώπινος παράγοντας
9. Συστήματα ασφαλείας – Εφεδρικά συστήματα
10. Κανονισμοί ασφαλείας



1.3 Στόχοι

Η δημιουργία μίας **μεθόδου προσδιορισμού της ορατότητας** ενός Π.Ε. με βάση τα ισχύοντα πρότυπα και τους κανονισμούς.

Η **διερεύνηση της ορατότητας** ενός Π.Ε. στο διάδρομο, στο πεδίο ελιγμών, στις θέσεις στάθμευσης και στην περιοχή γύρω από το αεροδρόμιο που ορίζεται από τις επιφάνειες προσγείωσης και απογείωσης.

Ο **εντοπισμός κρίσιμων**, αναφορικά με την ορατότητα, **τμημάτων** μέσα στην περιοχή μελέτης.



1.4 Δομή διπλωματικής εργασίας

Κεφάλαιο 2

Περιλαμβάνει το **θεωρητικό υπόβαθρο** και τη **βιβλιογραφική ανασκόπηση** σχετικά με το θέμα.

Κεφάλαιο 3

Παρουσιάζονται ο **τρόπος ανάπτυξης και λειτουργίας του λογισμικού** που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο ορατότητας.

Κεφάλαιο 4

Παρουσιάζεται η **μελέτη εφαρμογής** στους κρατικούς αερολιμένες Ιωαννίνων και Σάμου.

Κεφάλαιο 5

Εξάγονται τα **συμπεράσματα** και η συνοπτική εικόνα των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας.

Βιβλιογραφία

Αναφέρεται ενδεικτικά η βιβλιογραφία, που χρησιμοποιήθηκε για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

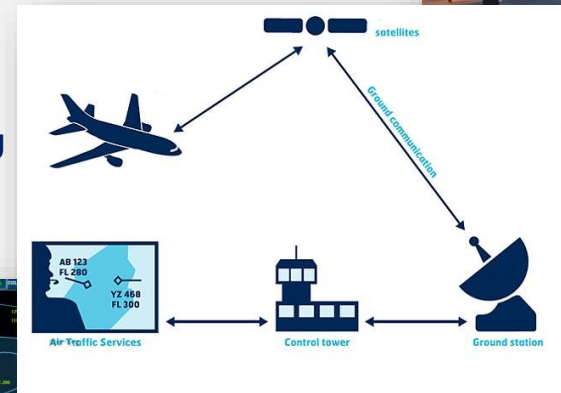


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Πύργος Ελέγχου (Π.Ε.)

Η απρόσκοπτη ορατότητα του Π.Ε. επιτυγχάνεται με:

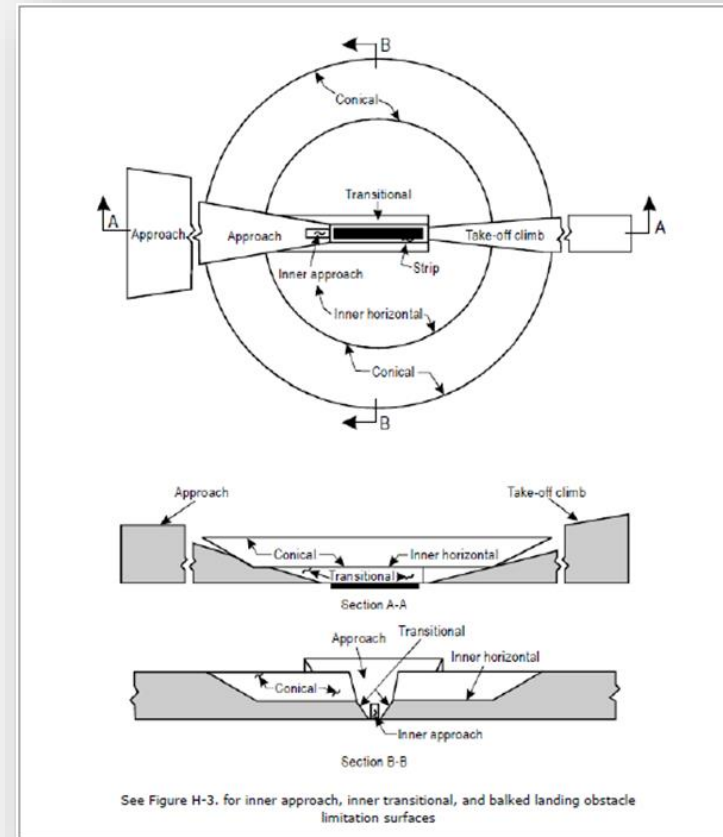
- **Οπτικά μέσα διατηρώντας την περιοχή ελέγχου “καθαρή” από εμπόδια.**
- Συστήματα υποβοήθησης ορατότητας, ειδικά σε καιρικές συνθήκες χαμηλής ορατότητας.
- Συστήματα επικοινωνίας μεταξύ Π.Ε. και
 - α. αεροσκαφών,
 - β. υπηρεσιών πληροφοριών,
 - γ. υπηρεσιών επιτήρησης αεροδρομίου
 - δ. αρχών ελέγχου.



2.2 Επιφάνειες χωρίς εμπόδια

Σύμφωνα με τον ICAO και τον EASA για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια των πτήσεων στον εναέριο χώρο έχουν καθιερωθεί μία σειρά από επιφάνειες περιορισμού εμποδίων.

- Κωνική
- Εσωτερική οριζόντια
- Προσγείωσης
- Μεταβατική
- Απογείωσης
- Εσωτερική προσέγγισης
- Εσωτερική μεταβατική
- Αποτυχημένης προσγείωσης



2.3 Είδη πτήσεων

Κανόνες οπτικής πτήσεως (VFR)

- Οπτική επαφή πιλότου με το έδαφος
- Δεν επιτρέπεται σε συνθήκες ομίχλης ή σε ύψος με σύννεφα
- Δεν απαιτούνται οδηγίες από τους ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας
- Ακολουθούνται ειδικές απαιτήσεις που αφορούν την ελάχιστη απαιτούμενη ορατότητα (π.χ. εμπειρία πιλότου)

Κανόνες ενόργανης πτήσεως (IFR)

- Συνήθης μέθοδος
- Χρησιμοποιείται ακόμη και σε συνθήκες μηδενικής ορατότητας
- Χρήση οργάνων πλοήγησης
- Πραγματοποιούνται σε ελεγχόμενο εναέριο χώρο
- Απαιτούν σχέδιο πτήσης για οποίο έχει ληφθεί άδεια
- Συμμετοχή των ελεγκτών εναέριας κυκλοφορίας

2.4 Γεωμετρία

Έλεγχος ορατότητας → επιφάνειες ελέγχου → τριγωνοποιημένες επιφάνειες

Κέντρο βάρους τριγώνου

$$x = \frac{x_a + x_b + x_c}{3}$$
$$y = \frac{y_a + y_b + y_c}{3}$$
$$z = \frac{z_a + z_b + z_c}{3}$$

Τομή ευθείας με επίπεδο

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

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

Εξίσωση επιπέδου: $ax + by + cz + d = 0$

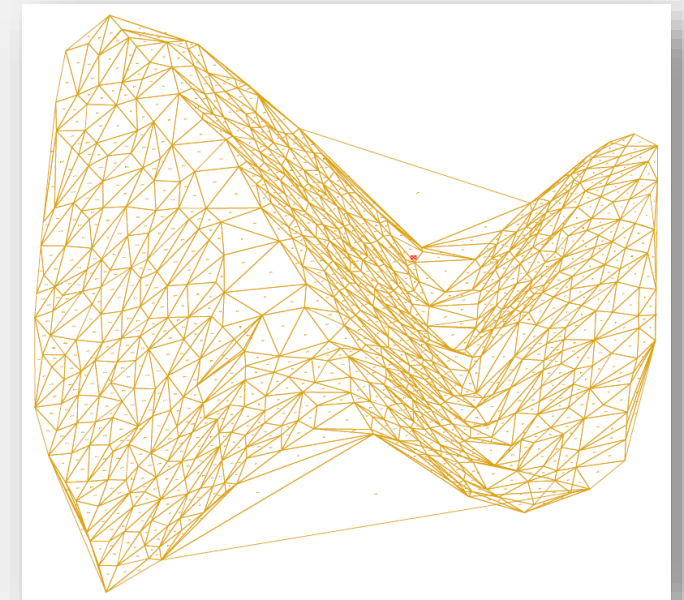
$a = (y_b - y_a) * (z_c - z_a) - (y_c - y_a) * (z_b - z_a)$

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

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

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

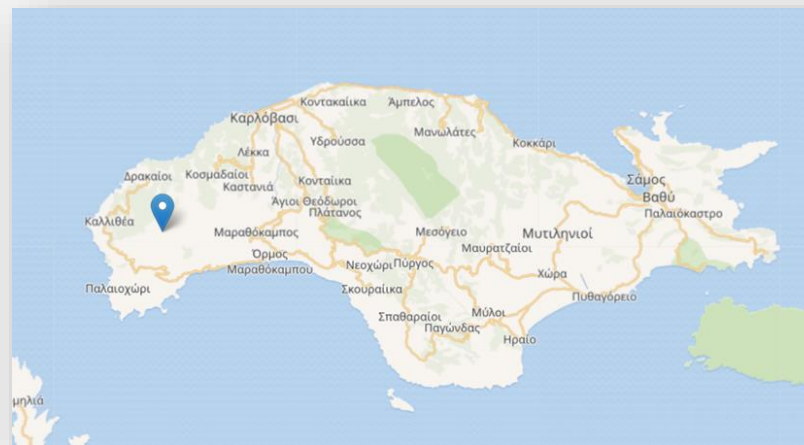
$$t = -\frac{(d + a * x_0 + b * y_0 + c * z_0)}{a * (x_1 - x_0) + b * (y_1 - y_0) + c * (z_1 - z_0)}$$



2.5 Αεροπορικά ατυχήματα

A. Σάμος (Ελλάδα), 1989

- Πτήση της Ο.Α. (Θεσσαλονίκη-Σάμος-Κως)
- Πρόσκρουση σε παρακείμενο ορεινό όγκο (Όρ. Κέρκη, 1420)
- Αίτια: Προσγείωση εξ όψεως σε συνθήκες πυκνών νεφώσεων, ανθρώπινο λάθος
- 34 νεκροί



B. Τόκιο (Ιαπωνία), 2024

- Πτήση της J.A.
- Σύγκρουση στο διάδρομο προσγείωσης με μικρό αεροσκάφος Ιαπ. ακτοφυλακής
- Αίτια: Είσοδος στο διάδρομο προσγείωσης χωρίς άδεια, ανθρώπινο λάθος
- 5 νεκροί

Planes collide at Tokyo airport

Japan Airlines flight 516 collided with a Coast Guard aircraft while landing at Haneda Airport in Japan's capital Tokyo on Jan. 2.

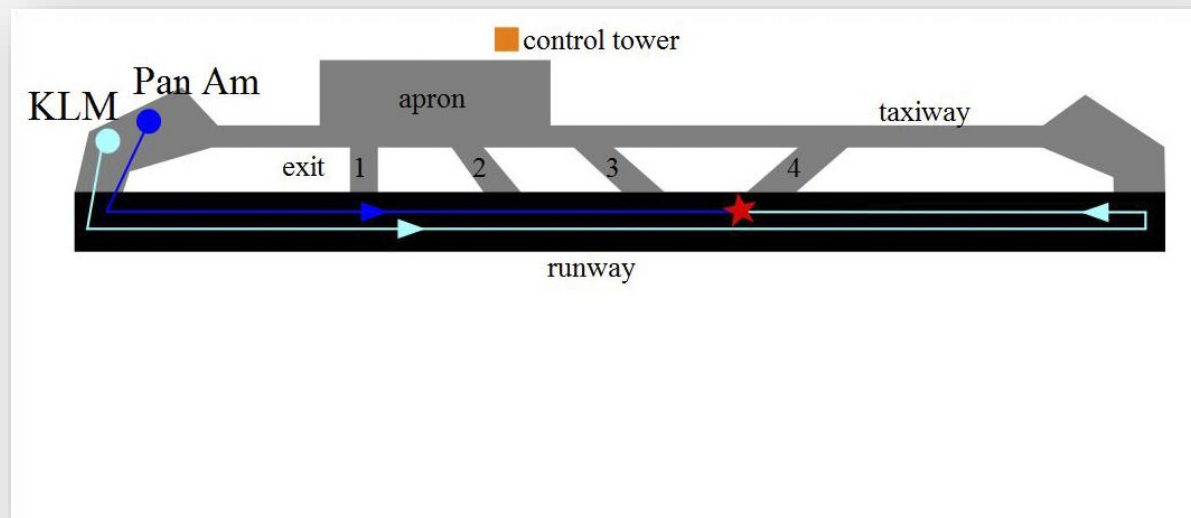


Sources: FlightRadar24; Maps4News
Vijdan Mohammad Kawoosa • Jan. 2, 2024 | REUTERS

2.5 Αεροπορικά ατυχήματα

Γ. Τενερίφη (Ισπανία), 1977

- Πτήση της KLM
- Σύγκρουση με αεροσκάφος της Pan Am στο διάδρομο κατά την απογείωση
- Αίτια: Πυκνές νεφώσεις στο αεροδρόμιο, κακή επικοινωνία Π.Ε. και αεροσκαφών
- Επικοινωνία μεταξύ Π.Ε. και αεροσκαφών μόνο δια ασυρμάτου
- Πλέον πολύνεκρο - 583 νεκροί



A close-up, black and white photograph of several interlocking metal gears. The focus is sharp on the teeth of the gears in the foreground, while the background gears are blurred. The lighting creates strong highlights and shadows, emphasizing the metallic texture and the precision of the gear teeth.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Στόχοι και βήματα προγράμματος

Προσδιορισμός δεδομένων

- Θέση Πύργου Ελέγχου.
- Περιοχή ελέγχου (υπόβαθρο εδάφους, διάδρομος, κτίρια αεροδρομίου)

Καθορισμός ζητούμενων αποτελεσμάτων

- Σχέδια ορατότητας - Ποσοστό ορατής περιοχής
- Βέλτιστο ύψος Π.Ε. (ποσοστό ορατότητας > 90%)

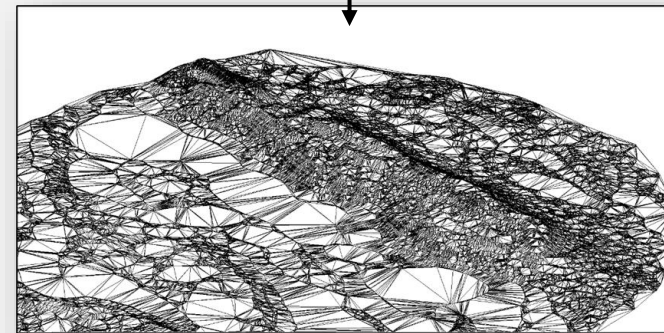
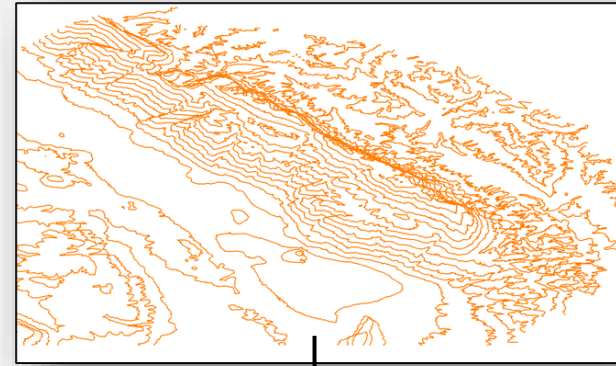
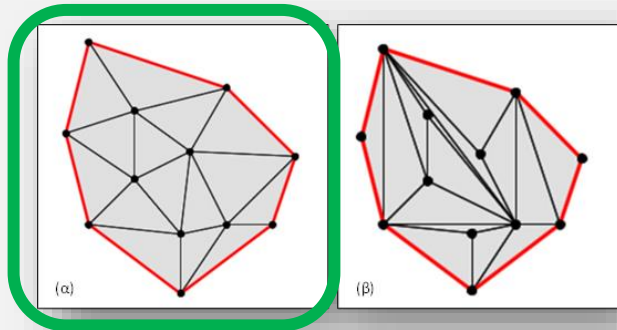
Καταμερισμός εργασιών

- Προσομοίωση και ψηφιακή απεικόνιση του εδάφους
- Εισαγωγή συντεταγμένων της θέσης του Π.Ε.
- Έλεγχος ορατότητας

3.2 Ψηφιοποίηση εδάφους

Στάδια

- Αναπαράσταση εδάφους 3D
(τοπογραφικοί χάρτες, ΨΜΕ)
- Τριγωνισμός Delauny (προοπτικό σχέδιο)

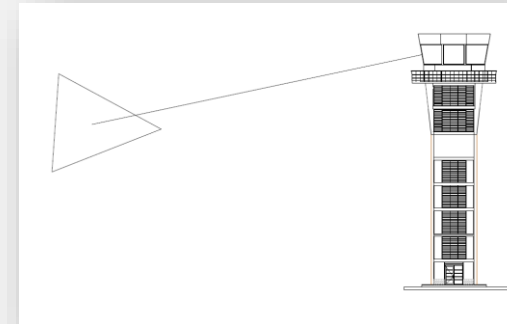


- Χρήση προγραμμάτων AutoCAD, ArcGIS, MicroStation και InRoads

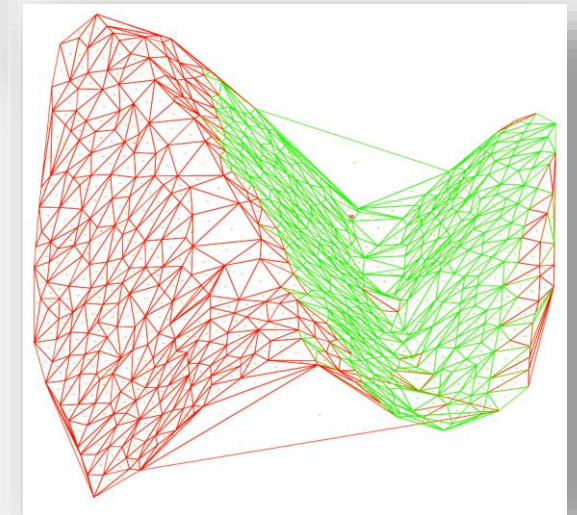
3.3 Πρόγραμμα CT.FOR (Control Tower)

CT.FOR - ILT.FOR - I2L.FOR

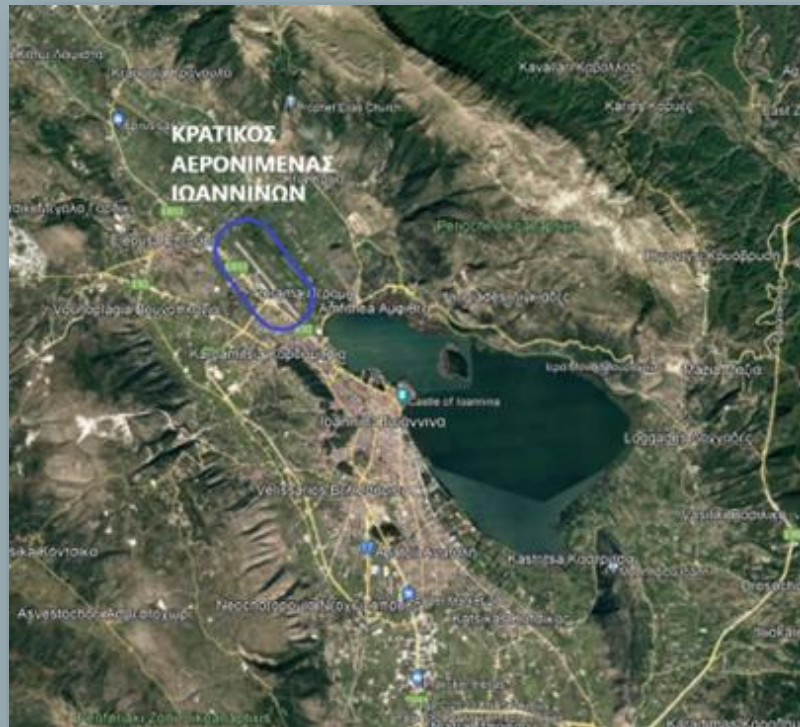
- Αρχεία δεδομένων εισόδου: Συντεταγμένες Π.Ε. και τριγωνοποιημένη επιφάνεια (ύψος αντικειμένου και τρίγωνο-στόχος)
- Υπολογισμός κέντρου βάρους τριγώνων (Κ.Β.)
- Στόχευση: Δημιουργία ευθείας από Π.Ε. Προς κάθε Κ.Β. τριγώνων επιφάνειας ελέγχου
- Έλεγχος τομής ευθείας με επίπεδα τριγώνων
- Αρχείο εξόδου: Σχέδιο μορφής .dwg με χρωματική αποτύπωση της ορατότητας , αριθμός ορατών και αόρατων τριγώνων



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



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ



4.1 Εισαγωγή

Εφαρμογή της μεθόδου σε δύο ελληνικά, πολιτικά αεροδρόμια:

❑ Κρατικός Αερολιμένας Ιωαννίνων: ορεινή περιοχή, συχνές νεφώσεις

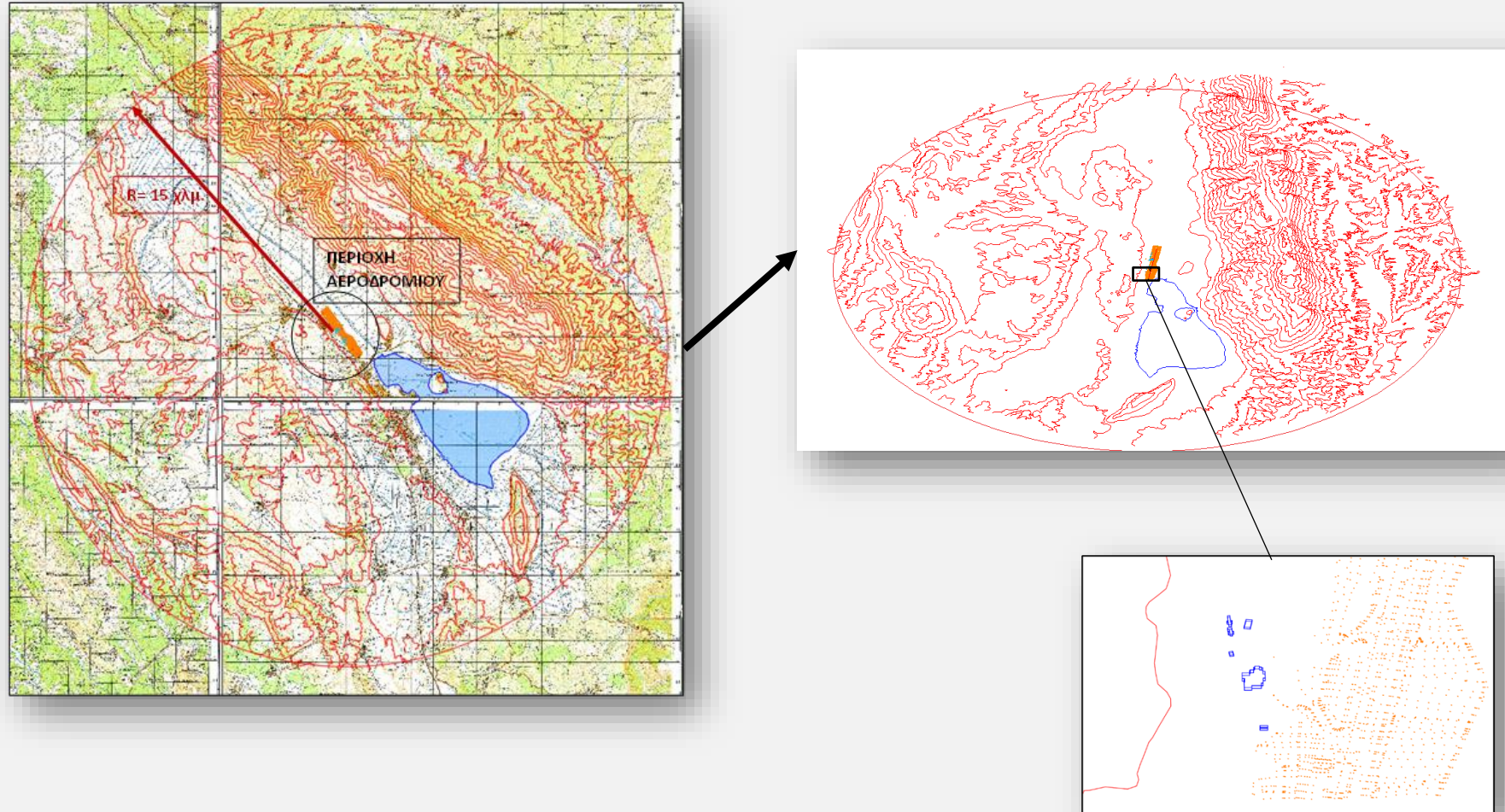
❑ Κρατικός Αερολιμένας Σάμου: αεροπορικό δυστύχημα του 1989

Υπό την διαχείριση της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας (Υ.Π.Α.)



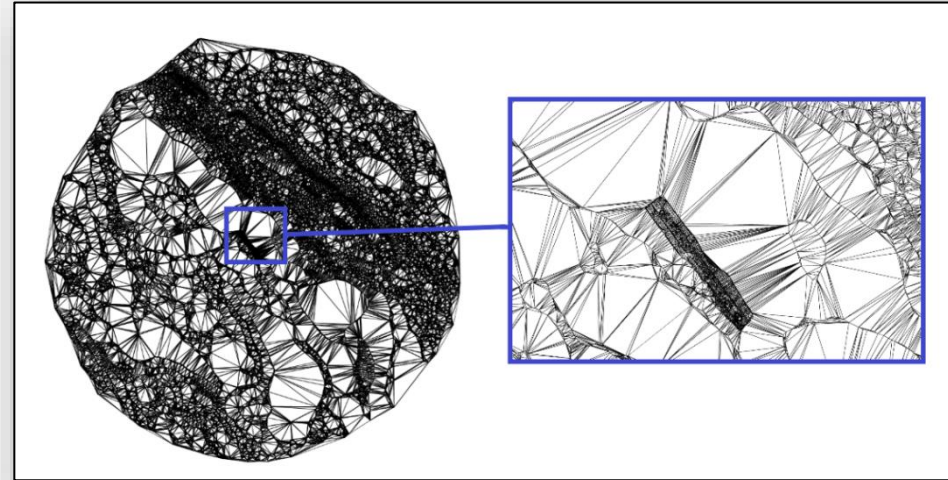
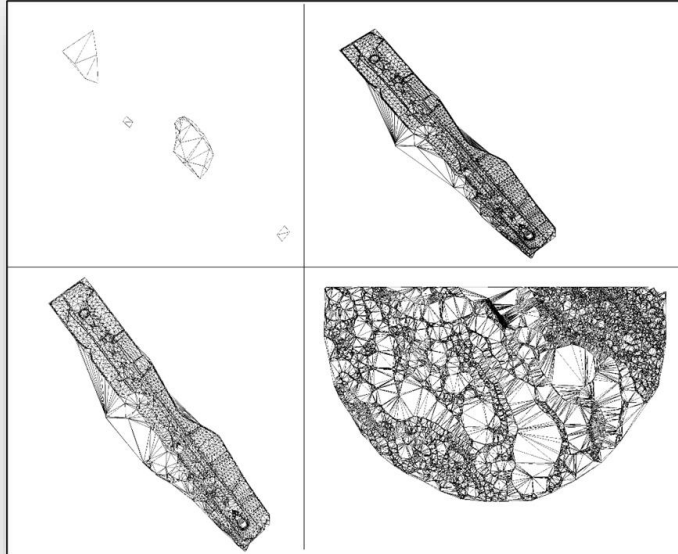
4.2 Αερολιμένας Ιωαννίνων (1/3)

Μοντέλο Εδάφους Ιωαννίνων: με χρήση τοπογραφικών χαρτών



4.3 Αερολιμένας Ιωαννίνων (2/3)

Δεδομένα εισόδου: συντεταγμένες Π.Ε. και επιφάνειες ελέγχου



Σενάρια προς μελέτη:

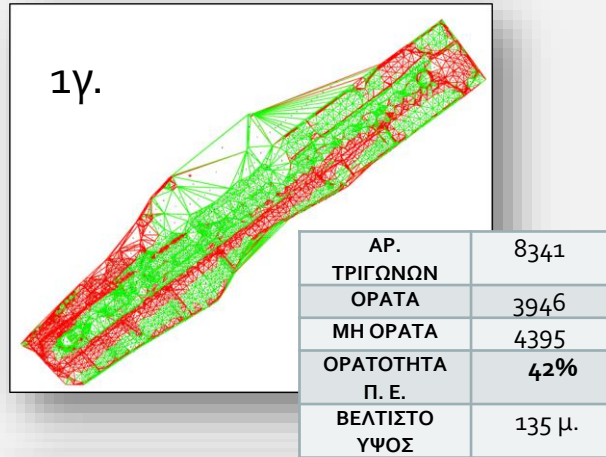
- Σενάριο 1: Έλεγχος ορατότητας για ύψος αντικειμένου ίσο με 0 μ. σε κάθε επιφάνεια
- Σενάριο 2: Έλεγχος ορατότητας για ύψος αντικειμένου ίσο με 1 μ. σε κάθε επιφάνεια
- Σενάριο 3: Έλεγχος ορατότητας για ύψος αντικειμένου 8 μ. στη νότια περιοχή των Ιωαννίνων

Παραδοχές μελέτης: βέλτιστο ύψος ώστε το ποσοστό ορατότητας να είναι $> 90\%$, αρχικό ύψος 10 μ.

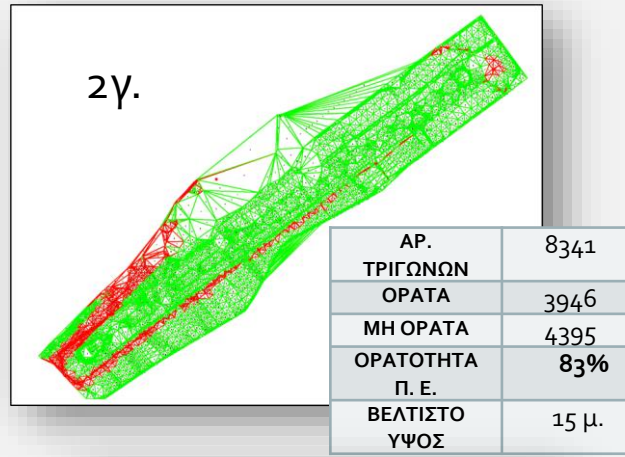
4.4 Αερολιμένας Ιωαννίνων (3/3)

Ενδεικτικά Αποτελέσματα:

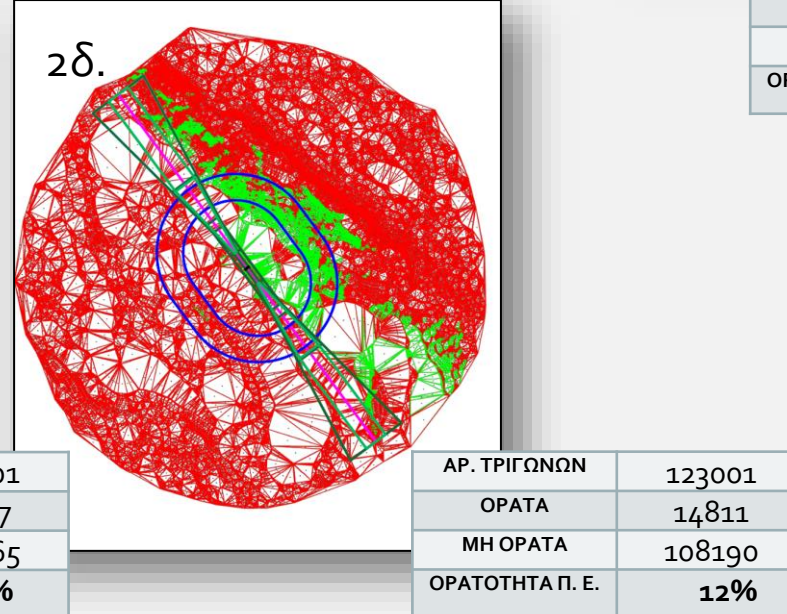
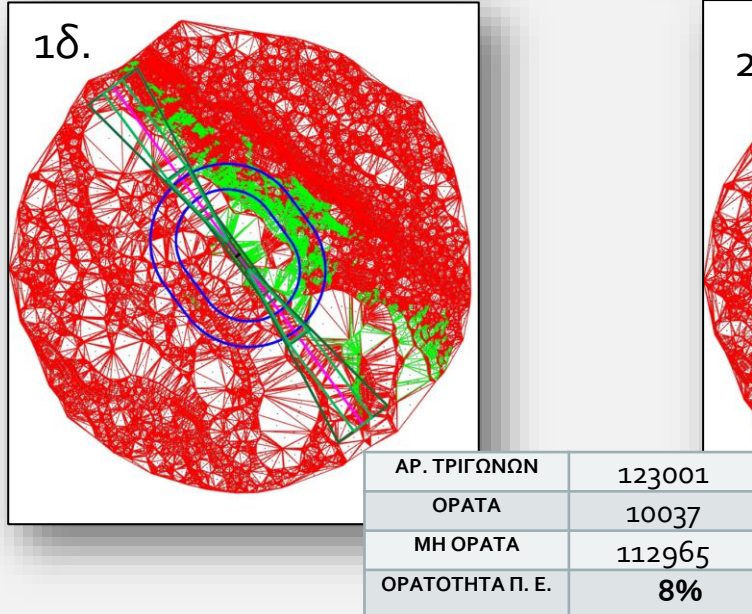
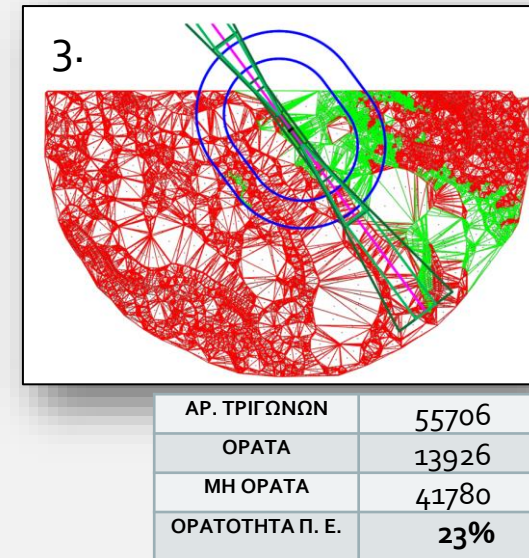
Σενάριο 1



Σενάριο 2



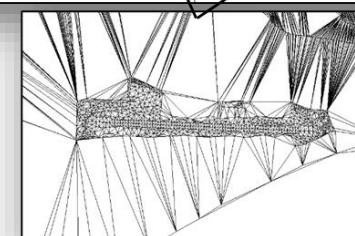
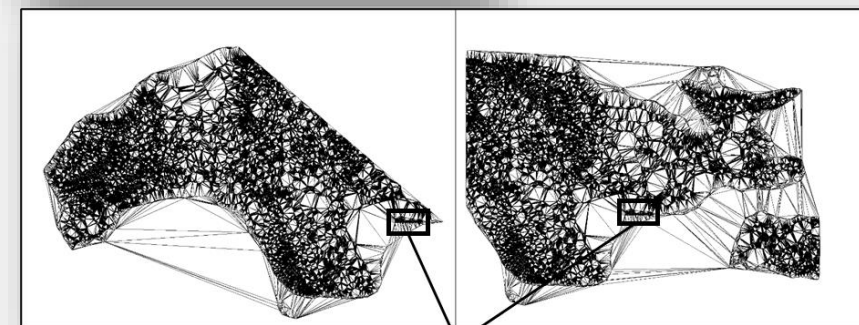
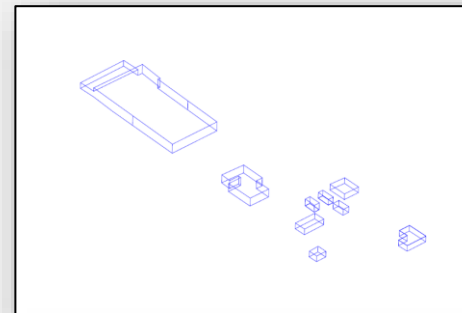
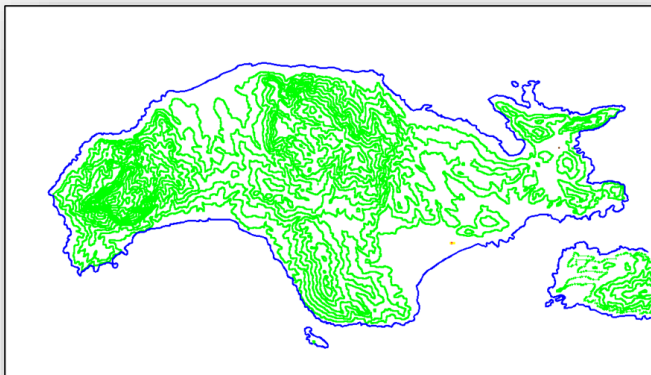
Σενάριο 3



Κεφάλαιο 4: Μελέτη εφαρμογής

4.5 Αερολιμένας Σάμου (1/3)

Μοντέλο Εδάφους Σάμου: με χρήση ψηφιακών μοντέλων εδάφους της ιστοσελίδα land.copernicus.eu



Δεδομένα εισόδου: συντεταγμένες Π.Ε. και επιφάνειες ελέγχου

Σενάρια προς μελέτη:

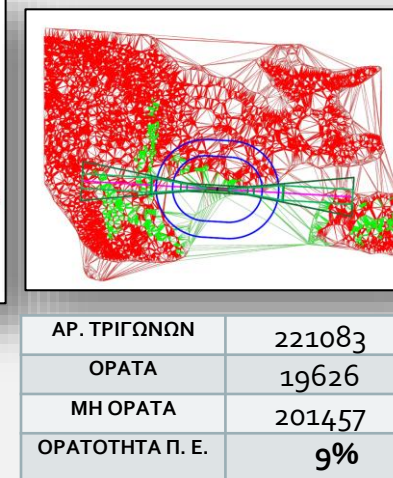
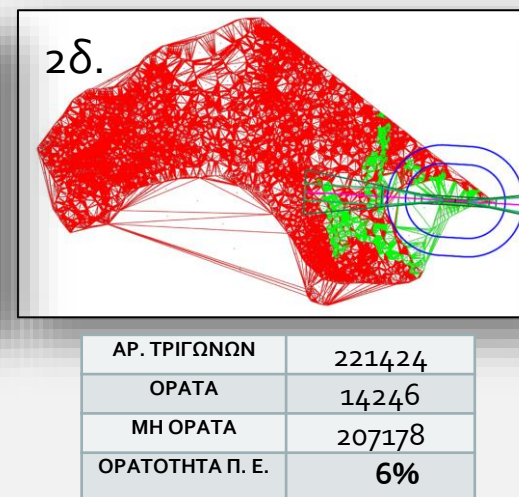
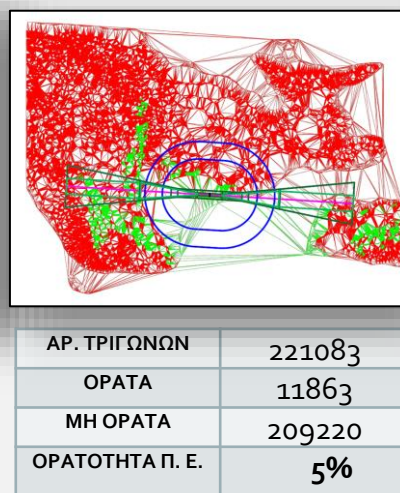
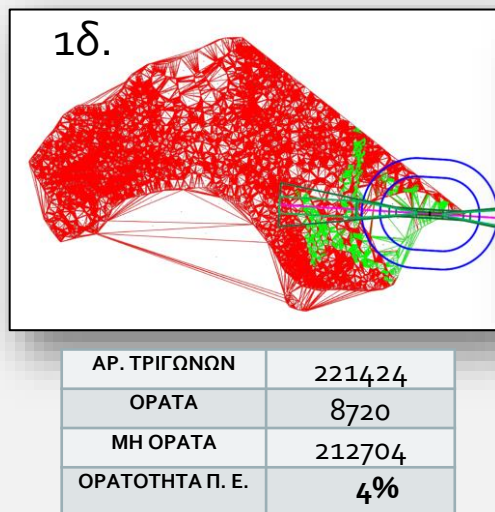
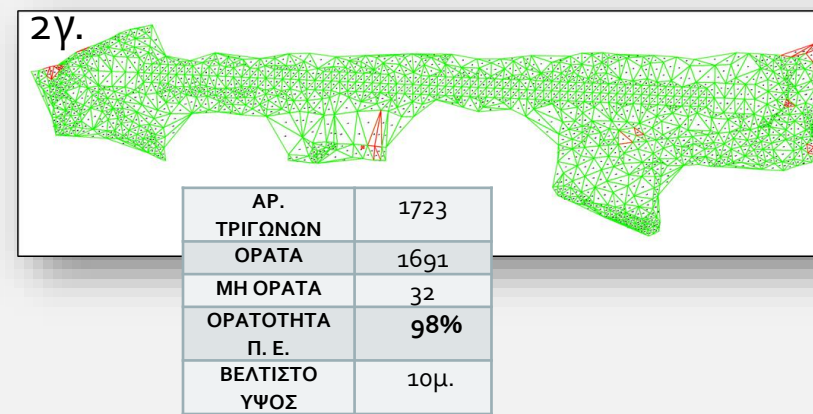
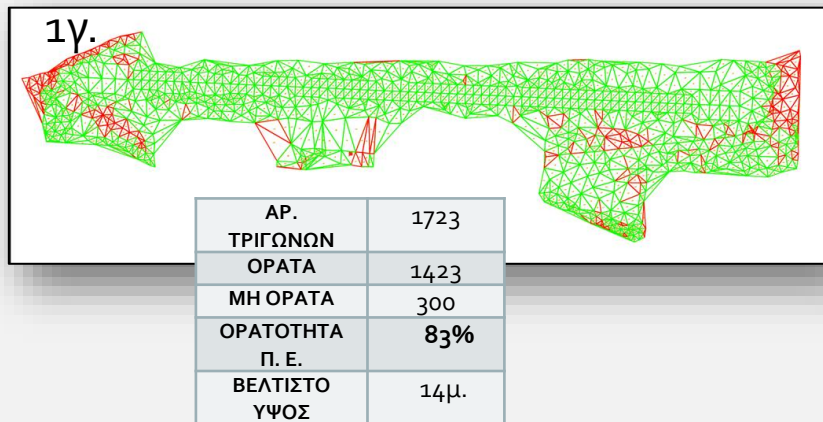
- Σενάριο 1: Έλεγχος ορατότητας για ύψος αντικειμένου ίσο με 0 μ. σε κάθε επιφάνεια
- Σενάριο 2: Έλεγχος ορατότητας για ύψος αντικειμένου ίσο με 1 μ. σε κάθε επιφάνεια
- Σενάριο 3: Έλεγχος ορατότητας για ύψος αντικειμένου 50 μ. στη δυτική περιοχή της Σάμου

Παραδοχές μελέτης: βέλτιστο ύψος ώστε το ποσοστό ορατότητας να είναι < 90% , αρχικό ύψος 10 μ.

4.6 Αερολιμένας Σάμου (2/3)

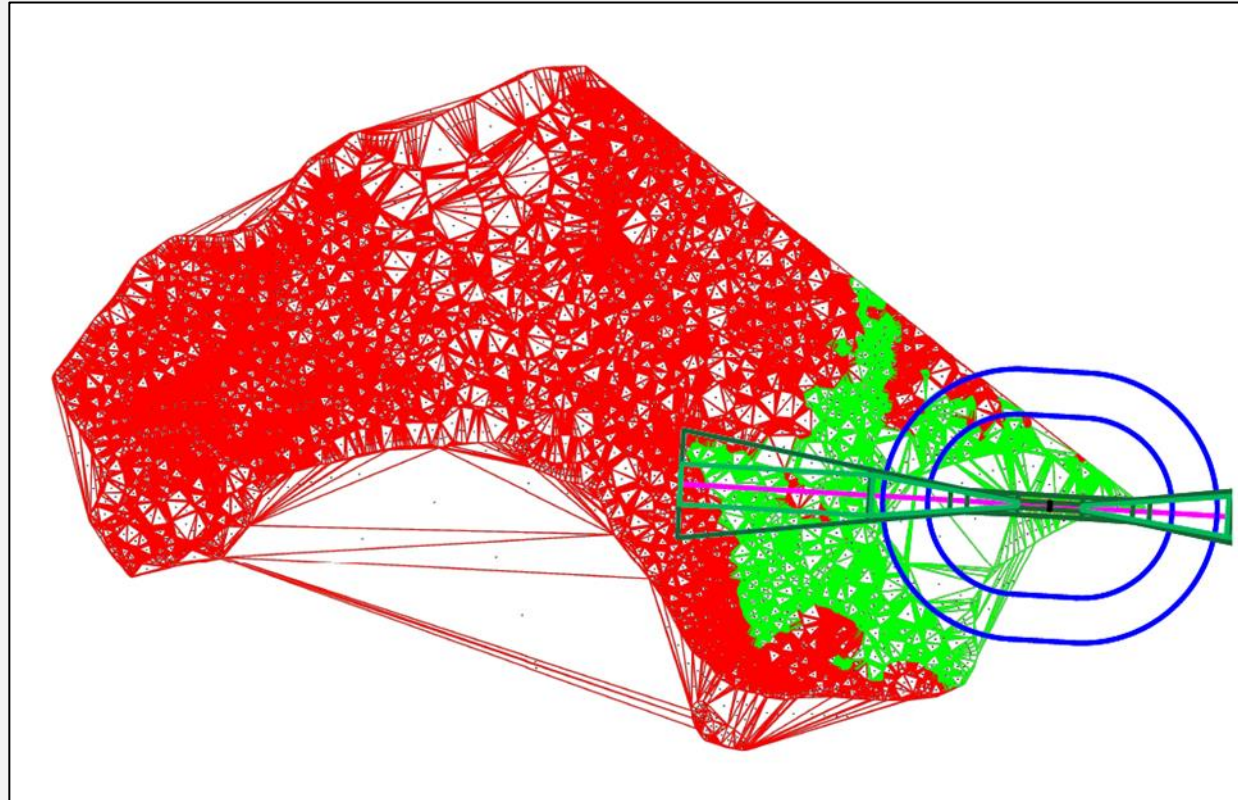
Ενδεικτικά Αποτελέσματα:
Σενάριο 1

Σενάριο 2



4.7 Αερολιμένας Σάμου (3/3)

Ενδεικτικά Αποτελέσματα:
Σενάριο 3



ΑΡ. ΤΡΙΓΩΝΩΝ	221424
ΟΡΑΤΑ	32598
ΜΗ ΟΡΑΤΑ	188826
ΟΡΑΤΟΤΗΤΑ Π. Ε.	15%

The image shows three glowing Edison-style light bulbs hanging from a textured, light-colored wall. The bulbs are arranged in a triangular pattern, with one in the center and two below it. Each bulb has a visible filament and is encased in a clear glass globe. The bulbs are connected to dark, teardrop-shaped shades. The overall lighting is warm and soft, creating a cozy atmosphere. The text 'ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ' is overlaid in the lower half of the image.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1 Βασικά συμπεράσματα αξιολόγησης - Ιωάννινα

Διάδρομος

- ✓ Επαρκής ορατότητα

Κτίρια

- Συνίσταται η χρήση ηλεκτρονικών μέσων παρακολούθησης για την πλήρη κάλυψη

Διάδρομος και κτίρια

- Επαρκής ορατότητα εκτός μικρού μέρους του χώρου στάθμευσης των αεροσκαφών
- Βέλτιστο ύψος Π.Ε.: 15 m
- Πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα

Ευρύτερη περιοχή

- Μειωμένη ορατότητα στα νότια και δυτικά του αεροδρομίου

Για έλεγχο χώρου αεροδρομίου : **Σενάριο 2**

Για έλεγχο πορείας πτήσης: **Σενάριο 3**

5.2 Βασικά συμπεράσματα αξιολόγησης - Σάμος

Διάδρομος

- ✓ Σχεδόν πλήρης ορατότητα

Κτίρια

- Συνίσταται η χρήση ηλεκτρονικών μέσων παρακολούθησης για την πλήρη κάλυψη

Διάδρομος και κτίρια

- Επαρκής ορατότητα εκτός μικρού μέρους του χώρου στάθμευσης των αεροσκαφών
- Βέλτιστο ύψος Π.Ε.: 14 m
- Πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα

Ευρύτερη περιοχή

- Μειωμένη ορατότητα στα βόρεια του αεροδρομίου
- Η περιοχή πτήσης του αεροσκάφους της Ο.Α. (1989) ήταν εκτός ασφαλούς πορείας πτήσης

Για έλεγχο χώρου αεροδρομίου : **Σενάριο 2**

Για έλεγχο πορείας πτήσης: **Σενάριο 3**

5.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

- ❖ Προσθήκη σημείων στόχευσης
- ❖ Ελαχιστοποίηση περιορισμών προγράμματος
- ❖ Εξέταση συμβολής ομίχλης και φωτορύπανσης στη μείωση της ορατότητας
- ❖ Έρευνα σε περισσότερα αεροδρόμια (τοπογραφική αποτύπωση, κτίρια κλπ.)
- ❖ Σύγκριση ορατότητας Πύργου Ελέγχου με εκείνη αεροδρομίων άλλων χωρών
- ❖ Δημιουργία βάσης δεδομένων ατυχημάτων

Σας ευχαριστώ!



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΠΥΡΓΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Αριάδνη Σαρρή

Επιβλέποντες:
Φώτης Μερτζάνης ΕΔΠ
Γιώργος Γιαννής, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2024