ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΜΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΕΡΑΙΑΣ ΜΙΚΡΟΔΟΡΥΦΟΡΟΥ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ MATLAB

Γεωργίου Νικόλαος

1059734

Καθηγητής Βασίλειος Κωστόπουλος

ΠΑΤΡΑ, Ιανουάριος 2022

Η έγκριση της σπουδαστικής εργασίας δεν υποδηλοί την αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα. Κατά τη συγγραφή τηρήθηκαν οι αρχές της ακαδημαϊκής δεοντολογίας.

Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση μοντέλου κεραίας μικροδορυφόρου στο περιβάλλον του MATLAB

Νικόλαος Γεωργίου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην σύγχρονη εποχή, οι διαστημικές εφαρμογές και οι δυνατότητες που προσφέρουν, επηρεάζουν ολοένα και περισσότερο την καθημερινότητα των ανθρώπων. Αναπόφευκτα, οι ίδιες θα διαδραματίσουν πολύ σημαντικό ρολό στην μεταγενέστερη πορεία της ανθρωπότητας, με αποτέλεσμα να προσελκύουν το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών και εταιρειών. Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τον σχεδιασμό μιας πτυσσόμενης κεραίας μικροδορυφόρου στην πλήρως εκτεταμένη θέση της. Σε πρώτο στάδιο, κατασκευάζεται το διακριτοποιημένο μοντέλο της κεραίας και ταυτόχρονα αποτυπώνεται στον τρισδιάστατο χώρο. Η διακριτοποίηση καθορίζεται από τον χρήστη, ο οποίος πέρα από αυτή, έχει την δυνατότητα να επιλέξει μια από τις δυο (2) μορφές προτεινόμενου πλέγματος (ομοιόμορφο πλέγμα – πλέγμα πύκνωσης). Στην συνεχεία, πραγματοποιείται μελέτη της συμπεριφοράς του επιλεχθέντος πλέγματος υπό την επήρεια συγκεκριμένων τυχαίων σφαλμάτων που δρουν στους κόμβους διακριτοποίησης των βραχιόνων της κατασκευής. Κλείνοντας, υπολογίζεται το σφάλμα RMS της επιφάνειας του εκάστοτε πλέγματος, βάσει του οποίου πραγματοποιείται σύγκριση με στόχο την ανάδειξη του καταλληλότερου μοντέλου διακριτοποίησης της κατασκευής.

Λέξεις κλειδιά

Πτυσσόμενες κεραίες, Διακριτοποίηση επιφάνειας κεραίας, Εκτίμηση επιφανειακού σφάλματος RMS, Επίδραση τυχαίων σφαλμάτων, MATLAB

Design and optimization of a microsatellite's antenna using Matlab

Nikolaos Georgiou

ABSTRACT

In modern times, space applications and the possibilities they offer, increasingly affect people's daily lives. Inevitably, they will play a crucial role in the later course of humanity, thus attracting the interest of many researchers and companies. The present work deals with the design of a microsatellite's folding antenna in its fully extended position. In the first stage, the discrete model of the antenna is constructed and at the same time it is formed in the three dimensional space. The discretization is determined by the user, who also has the ability to select one of the two (2) forms of the proposed grid (uniform mesh - thickening mesh). Next, a study of the behavior of the selected grid is carried out under the influence of specific random errors that act on the nodes of the construction arms. In closing, the surface RMS error of each grid is calculated, based on which a comparison is made in order to select the most appropriate model for the structure's mesh.

Key Words

Collapsible Antennas, Antenna's Surface Meshing, Surface RMS Error Estimation, Random Error Effect, MATLAB

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

a (mm) – αρνητικό άκρο πεδίου τυχαίων τιμών σφάλματος κομβικής μετατόπισης στον άξονα Z

a2 (mm) – αρνητικό άκρο πεδίου τυχαίων τιμών σφάλματος εστιακού μήκους βραχίονα

a3 (°) – αρνητικό άκρο πεδίου τυχαίων τιμών σφάλματος γωνιακής περιστροφής βραχίονα

b (mm) – θετικό άκρο πεδίου τυχαίων τιμών σφάλματος μετατόπισης στον άξονα Z

b2 (mm) – θετικό άκρο πεδίου τυχαίων τιμών σφάλματος εστιακού μήκους βραχίονα

b3 (°) – θετικό άκρο πεδίου τυχαίων τιμών σφάλματος γωνιακής περιστροφής βραχίονα

c (-) – βοηθητική μεταβλητή εξαγωγής τυχαίου εστιακού μήκους βραχίονα

Dz(…) (mm) – Διαφορά συντεταγμένων z μεταξύ (ιδανικού ή εσφαλμένου) μοντέλου κεραίας και αντίστοιχου μοντέλου ομπρέλας

h(…) (mm) – Κατακόρυφη μετατόπιση μοντέλου κεραίας για ελαχιστοποίηση του RMS

K_RIBS_ERROR (mm) – Τυχαίες εσφαλμένες τιμές εστιακών μηκών βραχιόνων

Number_Points – Αριθμός κόμβων

r – Ακτινική συντεταγμένη κόμβων βραχιόνων

Model – Επιλεγμένο μοντέλο διακριτοποίησης

randangle – Γεννήτρια τυχαίων αριθμών για το σφάλμα περιστροφής

randk – Γεννήτρια τυχαίων αριθμών για το σφάλμα εστιακού μήκους

RMS_surface – Επιφανειακό RMS πλέγματος ιδανικής κεραίας

RMS_surface_correction – Βελτιστοποιημένο επιφανειακό RMS πλέγματος ιδανικής κεραίας

RMS_K_surface - Επιφανειακό RMS πλέγματος με εσφαλμένο εστιακό μήκος βραχιόνων

RMS_K_surface_correction – Βελτιστοποιημένο επιφανειακό RMS πλέγματος με εσφαλμένο εστιακό μήκος βραχιόνων

RMS_COMBINATION_surface – Επιφανειακό RMS πλέγματος με εσφαλμένη γωνία βραχιόνων

RMS_COMBINATION_surface_correction – Βελτιστοποιημένο επιφανειακό RMS πλέγματος με εσφαλμένη γωνία βραχιόνων

s_length (m) – Συνολικό μήκος καμπύλης βραχιόνων

step1 – Διακριτοποίηση Βραχιόνων

step2 – Διακριτοποίηση ανακλαστικής επιφάνειας

step4 – Επιλογή μοντέλου πύκνωσης πλέγματος (+1 ή +2)

step5 – Άκρα πεδίου τιμών σφάλματος περιστροφής βραχιόνων

t – Βοηθητική μεταβλητή ισόποσου διαχωρισμού ευθείων πανιού

T – Πίνακας συντεταγμένων ιδανικής κεραίας ομοιόμορφου πλέγματος

T_ERROR_ANGLE – Πίνακας συντεταγμένων μοντέλου ομοιόμορφου πλέγματος με εσφαλμένη γωνία βραχιόνων

T_ERROR_COMBINATION – Πίνακας συντεταγμένων μοντέλου ομοιόμορφου πλέγματος με συνδυασμό εσφαλμένης γωνίας και εστιακού μήκους βραχιόνων

T_ERROR_K – Πίνακας συντεταγμένων μοντέλου ομοιόμορφου πλέγματος με εσφαλμένο εστιακό μήκος βραχιόνων

T_ERROR_Z – Πίνακας συντεταγμένων μοντέλου ομοιόμορφου πλέγματος με εσφαλμένη μετατόπιση των κόμβων των βραχιόνων

T_last_level_(…) – Πίνακας συντεταγμένων τελευταίου επιπέδου για το (ιδανικό ή εσφαλμένο) μοντέλο ομοιόμορφου πλέγματος

Z_PARABOLA_IDEAL – Συντεταγμένες z των κόμβων διακριτοποίησης της ιδανικής ομπρέλας που αντιστοιχεί στο μοντέλο της ιδανικής κεραίας

Z_PARABOLA_CORRECTION_K – Συντεταγμένες z των κόμβων διακριτοποίησης της ομπρέλας που αντιστοιχεί στο μοντέλο της κεραίας με σφάλμα στα εστιακά μήκη των βραχιόνων

Z_PARABOLA_CORRECTION_COMBINATION – Συντεταγμένες z των κόμβων διακριτοποίησης της ομπρέλας που αντιστοιχεί στο μοντέλο της κεραίας με συνδυασμένο σφάλμα εστιακού μήκους και περιστροφής βραχιόνων

Z_PARABOLA_CORRECTION_ANGLE – Συντεταγμένες z των κόμβων διακριτοποίησης της ομπρέλας που αντιστοιχεί στο μοντέλο της κεραίας με σφάλμα περιστροφής των βραχιόνων

T_improved – Πίνακας συντεταγμένων ιδανικής κεραίας με πύκνωση πλέγματος

T_ERROR_ANGLE_improved – Πίνακας συντεταγμένων μοντέλου πύκνωσης πλέγματος με εσφαλμένη γωνία βραχιόνων

T_ERROR_COMBINATION_improved – Πίνακας συντεταγμένων μοντέλου πύκνωσης πλέγματος με συνδυασμό εσφαλμένης γωνίας και εστιακού μήκους βραχιόνων

T_ERROR_K_improved – Πίνακας συντεταγμένων μοντέλου πύκνωσης πλέγματος με εσφαλμένο εστιακό μήκος βραχιόνων

T_ERROR_Z_improved – Πίνακας συντεταγμένων μοντέλου πύκνωσης πλέγματος με εσφαλμένη μετατόπιση των κόμβων των βραχιόνων

T_last_level_improved_(…) – Πίνακας συντεταγμένων τελευταίου επιπέδου για το (ιδανικό ή εσφαλμένο) μοντέλο με πύκνωση πλέγματος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στα πλαίσια της πρακτικής άσκησης του τμήματος Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών, που πραγματοποιήθηκε την περίοδο Ιουλίου - Αυγούστου 2021, είχα την ευκαιρία να παρευρεθώ στην εταιρία Adamant Composites Ltd. Κατά την διάρκεια της, μου δόθηκε η δυνατότητα συμμέτοχης στο project DELHILA (DEpLoyable HIgh gain antenna structure for smalL spAcecraft science mission) που χρηματοδοτείται από την ESA.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους παράγοντες της Adamant Composites, αλλά κυρίως τον κ. Αντώνη Βαβουλιώτη, ο οποίος με ανέθεσε στο συγκεκριμένο project, τον κ. Δημήτρη Βλάχο, ο οποίος επέβλεπε την εργασία και μου προσέφερε πολύτιμη βοήθεια καθ’ όλη την διάρκεια της πρακτικής μου και τον Δημήτρη Αθηναίου, με τον οποίο συνεργάστηκα και αντιμετώπισα όσα προβλήματα προέκυψαν κατά την εκπόνηση της. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βασίλειο Κωστόπουλο, για την συμβολή του στην πραγματοποίηση της σπουδαστικής μου εργασίας.

Εικόνα 1: DELHILA project poster

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι Αναδιπλούμενες Δομές είναι μια κρίσιμη τεχνολογία για τις διαστημικές αποστολές καθώς δίνουν την δυνατότητα να μεταφερθούν στο διάστημα διατάξεις με τελικές διαστάσεις πολύ μεγαλύτερες από το όχημα εκτόξευσης. Το project DELHILA πραγματεύεται την ανάπτυξη μιας αναδιπλούμενης δομής που μπορεί να λειτουργήσει ως κεραία επικοινωνιών για μικρούς δορυφόρους.

Το κάτοπτρο της κεραίας θα έχει διαστάσεις σε πλήρη έκταση 1.5-2.0m ενώ σε συνεπτυγμένη κατάσταση θα πρέπει να χωρά σε κύλινδρο διαμέτρου 0.2m και μήκους 1.0m μέσα στην πλατφόρμα του δορυφόρου. Η κεραία που θα υποστηρίζεται θα είναι μια κατασκευή υψηλού κέρδους (High Gain Antenna) και θα λειτουργεί στην ζώνη ραδιοσυχνοτήτων 8-12 GHz (X-band) με εύρος 2GHz, ενώ η συνολική μάζα του αναδιπλούμενου συστήματος θα πρέπει να είναι κάτω από 10kg.

ΠΕΔΙΟ ΕΝΑΣΧΟΛΗΣΗΣ – ΣΤΟΧΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το κομμάτι πραγματεύεται η παρούσα εργασία, αποτελεί ένα βασικό στάδιο σχεδίασης (design) της συγκεκριμένης κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα, οι βασικοί στόχοι ήταν :

- Κατασκευή «ιδανικού» μοντέλου κεραίας σε πλήρη έκταση, στο περιβάλλον του MATLAB
- Εξαγωγή των κομβικών συντεταγμένων του τρισδιάστατου πλέγματος που διακριτοποιεί την επιφάνεια της κεραίας
- Σχεδιασμός βραχιόνων με χρήση Excel Solver
- Αποτύπωση της συμπεριφοράς του πλέγματος υπό την επήρεια συγκεκριμένων σφαλμάτων
- Βελτιστοποίηση μοντέλου βάσει του σφάλματος RMS (Root Mean Square Error)

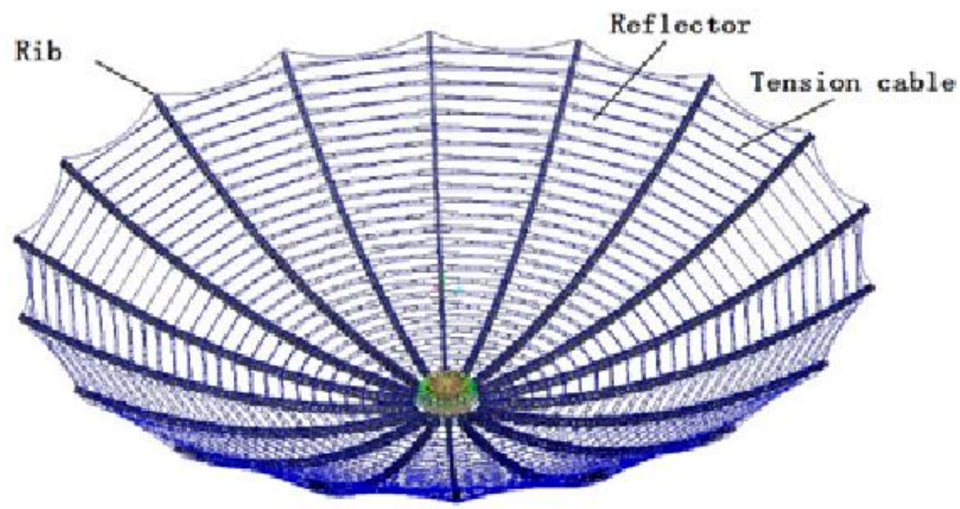
Για την πραγματοποίηση των παραπάνω, χρησιμοποιήθηκε τόσο το Matlab πάνω στο οποίο προγραμματίστηκε κατάλληλος κώδικας, όσο και το Excel στο οποίο έγινε χρήση του Solver για την σχεδίαση συγκεκριμένων μελών της κατασκευής υπό κατάλληλες προδιάγραφες. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο κώδικας λαμβάνει κατάλληλες εισόδους (inputs) από τον χρήστη, έτσι ώστε να μπορέσει ο ίδιος να συγκρίνει διαφορετικά πλέγματα και να εξάγει τα καταλληλά συμπεράσματα. Στη συνέχεια, το πρόγραμμα επιστρέφει ως έξοδο, ορισμένα αρχεία .txt που περιέχουν τις συντεταγμένες των κόμβων τόσο για το ιδανικό μοντέλο όσο και για τα εσφαλμένα. Επίσης, κατασκευάζει διάφορα γραφήματα που αποτυπώνουν τα προς εξέταση μοντέλα στον 3D χώρο, ενώ παράλληλα με αυτά αναπαρίστανται διάφορες βοηθητικές όψεις της διακριτοποιημένης κεραίας, οι οποίες συμβάλλουν στην καλύτερη παρατήρηση των κόμβων του πλέγματος. Τέλος, υπολογίζονται τα σφάλματα RMS της κατασκευής, μέσω κατάλληλων μαθηματικών τύπων εντός του κώδικα και τυπώνονται στο Workspace του Matlab, από τα οποία μπορεί ο χρήστης να προχωρήσει στην αξιολόγηση του μοντέλου και στην εξαγωγή των απαραίτητων συμπερασμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΠΡΩΙΜΟ ΣΤΑΔΙΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΕΡΑΙΑΣ

1.1.1 ΒΑΣΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΡΑΧΙΟΝΩΝ

Πριν πραγματοποιηθούν λεπτομερείς αναλύσεις του κώδικα και των αποτελεσμάτων του, πρέπει να σημειωθεί ότι η κατασκευή αποτελείται από 30 βραχίονες, οι οποίοι στηρίζουν καταλληλά μια εύκαμπτη επιφάνεια ανάκλασης ραδιοκυμάτων και ακολουθούν μια γνωστή εξίσωση παραβολής (1) στο επίπεδο z-r του κυλινδρικού συστήματος συντεταγμένων.



Εικόνα 2: Ενδεικτική αναπαράσταση βραχιόνων και εύκαμπτης επιφάνειας ανάκλασης ραδιοκυμάτων

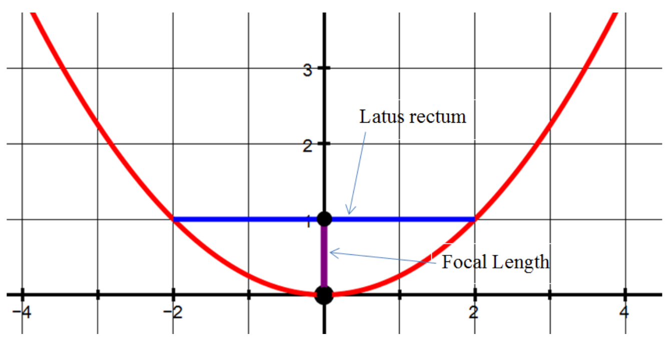
Αξίζει να σημειωθεί ότι εντός του κώδικα γίνεται χρήση τόσο του κυλινδρικού συστήματος συντεταγμένων, το οποίο διευκολύνει την κατανόηση ορισμένων σχεδιαστικών σκέψεων, όσο και του καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων, βάσει του οποίου εξάγονται οι κομβικες συντεταγμένες των διάφορων μοντέλων που εξετάζονται.

$$z = \frac{r^2}{4f} \tag{1}$$

z : Αξονική συντεταγμένη (mm)

r : Ακτινική συντεταγμένη με διάστημα τιμών [90.5 ÷ 1000] (mm)

f : Εστιακό μήκος παραβολής (focal length) (mm)



Εικόνα 3: Εστιακό μήκος παραβολής

Κατά την αρχική σχεδίαση, οι βραχίονες ισοκατανέμονται στην περιφέρεια ενός αρχικού κύκλου (360°) που βρίσκεται στο επίπεδο XY του καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων, ενώ αναμεσά στους βραχίονες μοντελοποιείται η επιφάνεια ανάκλασης, με κατάλληλες ευθείες. Στο μοντέλο της ιδανικής κατασκευής (ideal antenna) λαμβάνεται τιμη εστιακού μήκους f=1078mm, έπειτα από κατάλληλη βιβλιογραφική αναζήτηση.

Κατά την εκτέλεση του κώδικα, δίνεται αρχικά η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει ο ίδιος το μοντέλο με το οποίο θα προχωρήσει ο σχεδιασμός του πλέγματος διακριτοποίησης της κεραίας. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να επιλέξει μεταξύ του μοντέλου ομοιόμορφου πλέγματος[1] και του μοντέλου πύκνωσης πλέγματος[2]. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε ίδιο αριθμό κόμβων σε κάθε «επίπεδο»[3] της κεραίας, ενώ στη δεύτερη παρατηρούμε μια αύξηση - πύκνωση των κόμβων κατά την μετάβαση σε επόμενο επίπεδο, ωστόσο για λόγους εμβάθυνσης θα γίνει εκτενέστερη αναφορά σε επόμενη παράγραφο. Στην συνέχεια, ανεξαρτήτως του μοντέλου που επιλέχθηκε, ο χρήστης καθορίζει το πλέγμα, δηλαδή τον αριθμό των πεπερασμένων στοιχείων που θα διακριτοποιούν την κατασκευή. Πρώτα εισάγει τον αριθμό τον πεπερασμένων στοιχείων που θα διακριτοποιούν τον εκάστοτε βραχίονα[4] και έπειτα τον αριθμό των στοιχείων που θα διακριτοποιούν την ευθεία του πανιού (ανακλαστική επιφάνεια) ανάμεσα σε δυο διαδοχικούς βραχίονες [5].

Στο σημείο αυτό σημειώνουμε ότι η πρώτη διακριτοποίηση έχει γίνει με ισόποσο διαχωρισμό του μήκους του καμπυλωτού βραχίονα, το οποίο υπολογίζεται ως :

$$s = \int_{90.5}^{1000} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{d}{dr} \left(\frac{r^2}{4 \times 1078} \right) \right)^2} \right) dr \cong 944.2522\ mm \qquad (2)$$

[1] Uniform mesh model
[2] Thickening mesh model
[3] τομή κάθετη στον άξονα z
[4] στον κώδικα αναγράφεται ως «step1»
[5] στον κώδικα αναγράφεται ως «step2»

Έχοντας πλέον διαχωρίσει σε ισόποσα κομμάτια το μήκος s της παραβολής που αντικατοπτρίζει οποιοδήποτε βραχίονα της κατασκευής, δημιουργείται η ανάγκη αντιστοίχισης τους με την ακτινική συντεταγμένη r του κυλινδρικού συστήματος συντεταγμένων που τα περιγράφει. Η συγκεκριμένη αντιστοίχιση έγινε μέσω της επίλυσης της εξίσωσης (3), στην οποία είναι γνωστή η «συντεταγμένη» s και άγνωστη η συντεταγμένη r κάθε κόμβου που διακριτοποιεί τελικά τον βραχίονα.

$$s(r) - \int_{90.5}^{r} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{d}{dx} \left(\frac{x^2}{4 \times 1078} \right) \right)^2} \right) dx \ = 0 \qquad (3)$$

Εκτελώντας τα παραπάνω έχει επιτευχθεί πλέον η διακριτοποίηση κάθε βραχίονα στο επίπεδο z-r. Για την κατασκευή της 3d δομής κρίνεται απαραίτητη η συμμετρική τοποθέτηση κάθε βραχίονα σε έναν κύκλο 360 μοιρών. Με τον τρόπο αυτό οι συντεταγμένες των κόμβων κάθε βραχίονα σε καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων υπολογίζονται ως εξής :

$$\begin{aligned} X_{RIBS} &= r\, cos(\theta) \\ Y_{RIBS} &= r\, sin(\theta) \\ Z_{RIBS} &= \frac{1}{4 \times 1078} r^2 \end{aligned} \qquad (4)$$

r : Ακτινική συντεταγμένη κόμβου βραχίονα που προέκυψε από την επίλυση της (3)

θ : Γωνιακή συντεταγμένη κυλινδρικού συστήματος

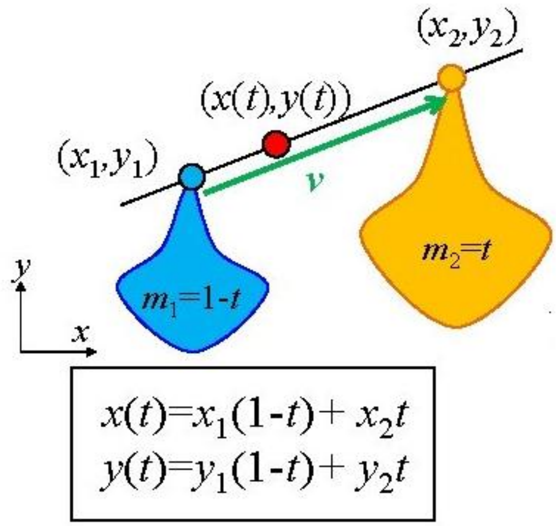
1.1.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΩΝ

Το βασικότερο κομμάτι του σχεδιασμού ήταν η κατασκευή ευθειών ανάμεσα σε δυο διαδοχικούς βραχίονες, οι οποίες θα μοντελοποιούσαν την ανακλαστική επιφάνεια του αναμεταδότη. Η βασική σκέψη βασιζόταν στην δημιουργία ενός διανύσματος t, το οποίο θα χωρίζει κάθε ευθεία σε συγκεκριμένο αριθμό τμημάτων, ο οποίος ταυτίζεται με την δεύτερη είσοδο που εισάγει ο χρήστης[6]. Έχοντας πλέον το βοηθητικό διάνυσμα t μπορεί να προχωρήσει κάνεις στην εύρεση των συντεταγμένων των κόμβων που βρίσκονται πάνω στην συγκεκριμένη ευθεία. Από βιβλιογραφία βρέθηκε ότι οποιαδήποτε συντεταγμένη ενός ενδιάμεσου σημείου μιας ευθείας με γνωστά άκρα υπολογίζεται ως :

$$\begin{aligned} x &= (x_2 - x_1) \times t + x_1 \\ y &= (y_2 - y_1) \times t + y_1 \\ z &= (z_2 - z_1) \times t + z_1 \end{aligned} \tag{5}$$

Τα γνωστά άκρα (x_1,y_1,z_1) και (x_2,y_2,z_2) αντιστοιχούν σε κόμβους δυο διαδοχικών βραχιόνων της κατασκευής, των οποίων οι συντεταγμένες είναι γνωστές από την σχέση (4). Με τον τρόπο αυτό πραγματοποιείται ο πλήρης υπολογισμός όλων των συντεταγμένων των κόμβων που διακριτοποιούν το πανί αναμεσά σε δυο διαδοχικούς βραχίονες, ενώ υπογραμμίζεται ότι η ίδια λογική ακολουθείται και στα εσφαλμένα μοντέλα. Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι οι παραπάνω εξισώσεις ισχύουν ανεξάρτητα από το μοντέλο διακριτοποίησης που επιλεγεί ο χρήστης για την πραγματοποίηση του σχεδιασμού.

[6] αριθμός πεπερασμένων στοιχείων σε μια ευθεία ανάμεσα σε 2 βραχίονες



Εικόνα 4: Υπολογισμός συντεταγμένων επιφάνειας

Έχοντας υπολογίσει πλέον όλες τις συντεταγμένες των κόμβων της επιφάνειας[7] προκύπτει η ανάγκη κατηγοριοποίησης τους ανάλογα με το επίπεδο (τομή κάθετη στον άξονα z) που βρίσκονται. Το γεγονός αυτό υλοποιείται μέσω της χρήσης κατάλληλων μετρητών (indexes), οι οποίοι λειτουργούν ως βοηθητικές μεταβλητές. Οι ίδιοι αλλάζουν συνεχώς τιμή και ακολουθούν συγκεκριμένες μαθηματικές σχέσεις, οι οποίες καταγράφονται εντός του κώδικα. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει τελικά ένας πίνακας που περιέχει όλες τις συντεταγμένες των κόμβων της επιφάνειας, ενώ είναι κατασκευασμένος έτσι ώστε κάθε στήλη να αντικατοπτρίζει ένα επίπεδο της κατασκευής[8]. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, οι στήλες του συγκεκριμένου πίνακα εξαρτώνται άμεσα από τον αριθμό των επίπεδων της κατασκευής, αρά και από τον αριθμό των πεπερασμένων στοιχείων που διακριτοποιούν κάθε βραχίονα[9].

---

[7] Για κάθε μοντέλο (εσφαλμένο ή μη)

[8] Επομένως όλοι οι κομβόι των γραμμών που διακριτοποιούν την ανακλαστική επιφάνεια σε ένα επίπεδο εμπεριέχονται σε μια από τις στήλες του συγκεκριμένου πίνακα.

[9] Step1

1.2 ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΟ ΠΛΕΓΜΑ ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ

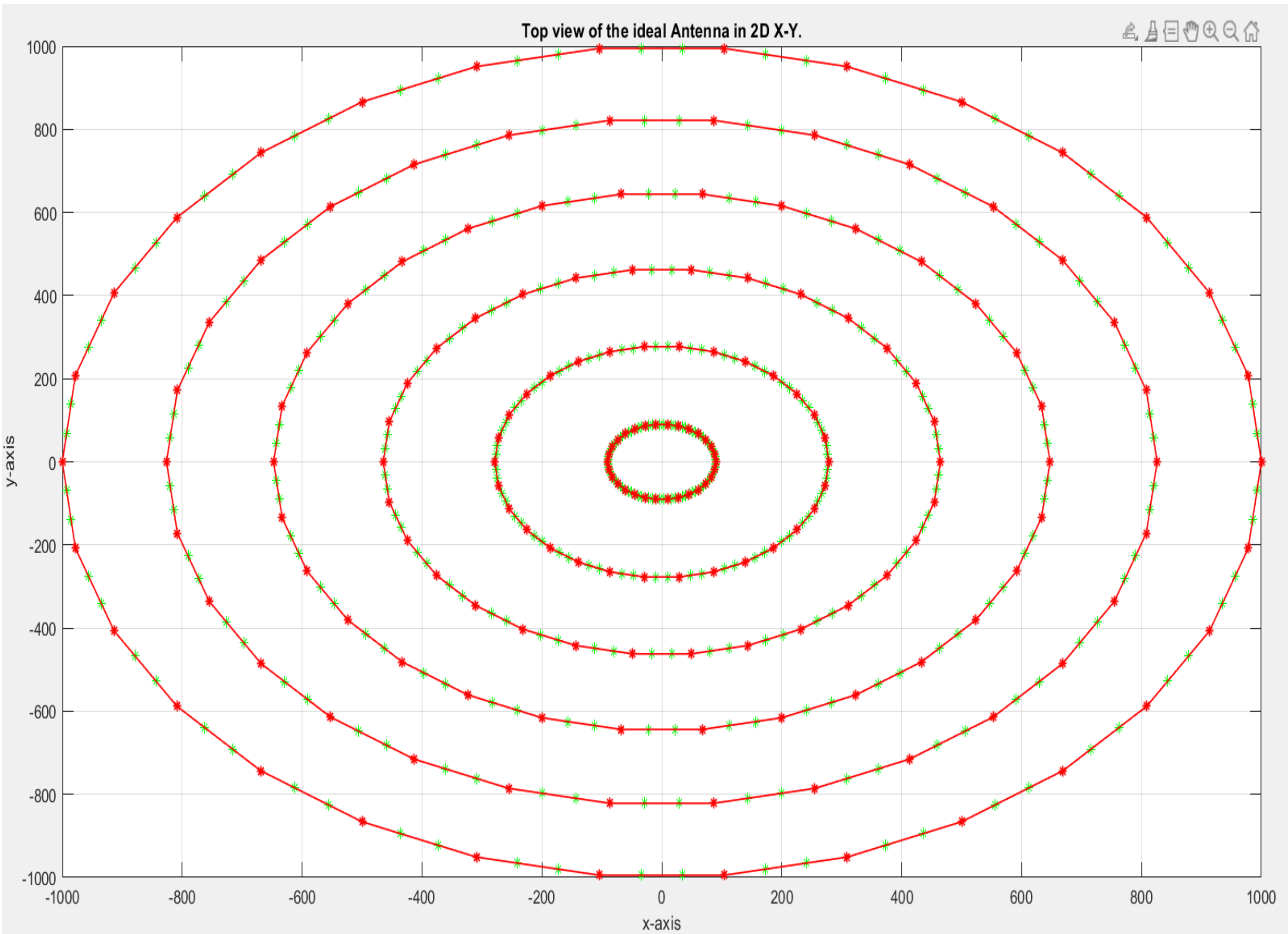
Στην περίπτωση του ομοιόμορφου πλέγματος ο χρήστης επιλεγεί αρχικά την διακριτοποίηση του βραχίονα[10] και στην συνέχεια την διακριτοποίηση του πανιού αναμεσά σε δυο διαδοχικούς βραχίονες, έτσι όπως ακριβώς έχει ήδη αναφερθεί. Η βασική διαφορά μεταξύ των μοντέλων πλεγματοποίησης βρίσκεται στην διακριτοποίηση της ανακλαστικής επιφάνειας. Στο μοντέλο ομοιόμορφου πλέγματος επικρατεί μια απλή διακριτοποίηση, κατά την οποία οι ευθείες του αναμεταδότη σε όλα τα επίπεδα αποτελούνται από τον ίδιο αριθμό κόμβων[11]. Πιο συγκεκριμένα επιλέγοντας step2=20, θα παρατηρήσει κάνεις ότι αναμεσά σε δυο βραχίονες οποιαδήποτε ευθεία αναμεταδότη διακριτοποιείται από 20 πεπερασμένα στοιχεία[12], ανεξαρτήτως επιπέδου. Παρόλα αυτά, είναι γεγονός ότι κάθε ευθεία διαφέρει σε μήκος αναλόγως το επίπεδο στο οποίο βρίσκεται, με αποτέλεσμα η διακριτοποίηση ευθείων γειτονικών επίπεδων να μην έχει την δυνατότητα να κατασκευάσει πεπερασμένα στοιχεία ιδανικού σχήματος (πχ. τετράγωνα). Παρακατω θα παρουσιαστεί η κάτοψη ενός ενδεικτικού μοντέλου της ιδανικής κεραίας, στο οποίο διακριτοποιούμε τους βραχίονες με 5 πεπερασμένα στοιχεία, (δηλαδή 6 κόμβοι κατά το μήκος τους) και 3 πεπερασμένα στοιχεία στις ευθείες του αναμεταδότη (άρα 2 κόμβοι κατά το μήκος τους). Υπογραμμίζεται ότι οι κόμβοι των βραχιόνων σημειώνονται με κόκκινο αστέρι (*), ενώ οι αντίστοιχοι του αναμεταδότη με πράσινο αστέρι (*).

---

[10] ,δηλαδή το step1, το οποίο παραμένει ανεξάρτητο από την επιλογή μοντέλου διακριτοποίησης ή ανάλυσης

[11] Ουσιαστικά κάθε ευθεία χωρίζεται σε ίδιο αριθμό τμημάτων, τα οποία ωστόσο θα διαφέρουν ως προς το μήκος τους αναλόγως το επίπεδο στο οποίο βρίσκονται.

[12] Στην πραγματικότητα δεν υπάρχουν 20 πεπερασμένα στοιχεία στην ευθεία, αλλά στην επιφάνεια ανάμεσα σε δυο διαδοχικές ευθείες διαφορετικών επιπέδων, ωστόσο ανάγοντας την απόσταση των κόμβων της ευθείας σε δισδιάστατα μη υπαρκτά πεπερασμένα στοιχεία συμβάλλει στην διευκόλυνση της κατανόησης του πλέγματος.



Εικόνα 5: Κάτοψη ενδεικτικού μοντέλου ιδανικής κεραίας ομοιόμορφου πλέγματος

Τέλος βασιζόμενοι στα παραπάνω έγινε μια προσπάθεια κατασκευής ομοιόμορφού πλέγματος, το οποίο θα περιέχει κατά προσέγγιση τετράγωνα στοιχεία. Για την υλοποίηση του, πραγματοποιήθηκε προσεγγιστική ταύτιση των δυο τμημάτων[13], εκ των οποίων η μια εξαρτάται από την διακριτοποίηση στην διεύθυνση του βραχίονα (step1) και η άλλη από την διακριτοποίηση του αναμεταδότη (step2). Για το **ομοιόμορφο πλέγμα** παρατηρήθηκε ότι $\frac{Μηκος\ Καμπυλης\ Βραχιονα}{Μηκος\ (τελευταιας)\ Γραμμης\ Πανιου} = \frac{step1}{step2} \cong 4.5$, γεγονός που δείχνει ότι οποιοδήποτε πλέγμα ακολουθεί προσεγγιστικά την παραπάνω αναλογία, θα περιέχει «τετράγωνα» στοιχεία, τα οποία βελτιώνουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης μας[14]. Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω της ανομοιομορφίας των μηκών του αναμεταδότη σε κάθε επίπεδο, τα πεπερασμένα στοιχεία σε χαμηλότερα επίπεδα θα έχουν μια μικρή απόκλιση από τα τετράγωνα και θα λαμβάνουν μορφή παραλληλογράμμου ή τραπεζίου, καθώς ο λόγος 4.5 υπολογίστηκε βάσει του τελευταίου επιπέδου [15].

Για την εφαρμογή και την επαλήθευση όλων των παραπάνω, ακολουθεί ένας ενδεικτικός σχεδιασμός ομοιόμορφού πλέγματος με step1=85 και step2=18 [16]. Σημειώνεται ότι με κόκκινες κουκίδες διακρίνονται οι κόμβοι των βραχιόνων της κατασκευής, ενώ εστιάζοντας στο πανί[17] γίνονται διακριτά και τα πεπερασμένα στοιχεία που το διακριτοποιούν[18].

---

[13] δυο πλευρές του τετραγωνικού στοιχείου

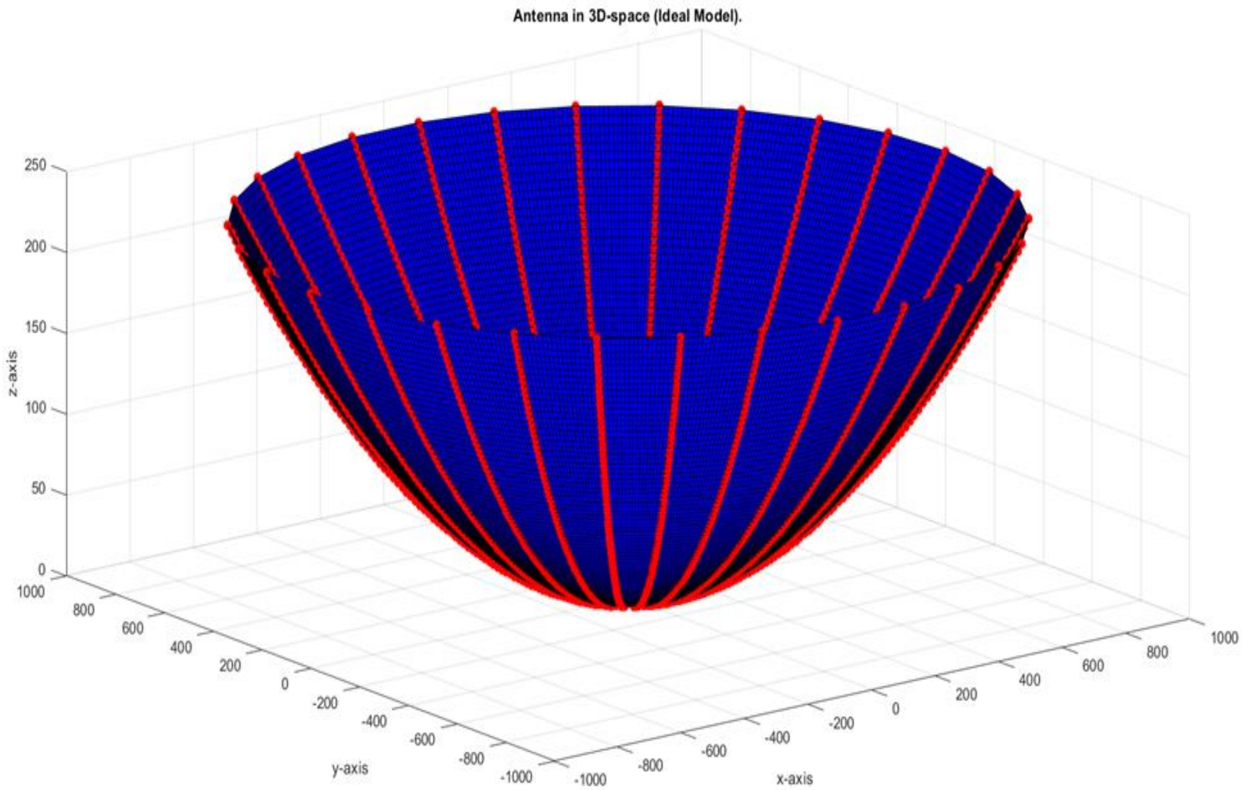
[14] σε σύγκριση με τα τριγωνικά πεπερασμένα στοιχεία, τα οποία υποβαθμίζουν τα τελικά αποτελέσματα

[15] τελευταία γραμμή πανιού

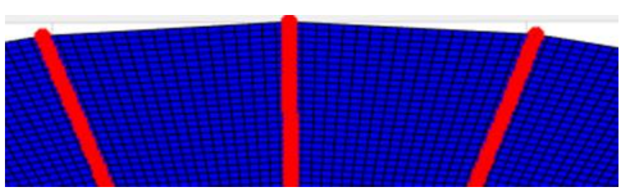
[16] ,τα οποία ακολουθούν τον λόγο 4.5 και δημιουργούν προσεγγιστικά τετράγωνα πεπερασμένα στοιχεία

[17] με μπλε χρώμα

[18] Μέσω της εντολής surf του MATLAB πραγματοποιήθηκε η ακριβής αναπαράσταση των πεπερασμένων στοιχείων του πλέγματος.



Εικόνα 6: Ιδεατό μοντέλο κεραίας με ομοιόμορφο πλέγμα (step1=85 &step2=18)



Εικόνα 7: Ιδεατό μοντέλο κεραίας με ομοιόμορφο πλέγμα (step1=85 &step2=18) – Εστίαση στο πανί ανάμεσα σε δυο βραχίονες

1.3 ΠΛΕΓΜΑ ΠΥΚΝΩΣΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ

Στην περίπτωση του πλέγματος πύκνωσης ο χρήστης επιλεγεί αρχικά την διακριτοποίηση του βραχίονα[19] και στην συνέχεια την διακριτοποίηση της ανακλαστικής επιφάνειας αναμεσά σε δυο διαδοχικούς βραχίονες, αλλά **μόνο στο πρώτο επίπεδο[20]**. Η βασική διαφορά σε σχέση με το μοντέλο ομοιόμορφου πλέγματος, όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό είναι η διακριτοποίηση της ευθείας του αναμεταδότη. Πιο συγκεκριμένα, στο μοντέλο πύκνωσης έχουμε αύξηση του αριθμού των κόμβων[21] που διακριτοποιούν την ευθεία του αναμεταδότη («πανιού») ανάμεσα στους βραχίονες, κατά την μετάβαση σε μεγαλύτερα επίπεδα. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι ευθείες του πρώτου επιπέδου να διακριτοποιούνται από step2 σε αριθμό πεπερασμένα στοιχεία, ενώ οι αντίστοιχες του τελευταίου επιπέδου από **step2 + step4*step1** σε αριθμό πεπερασμένα στοιχεία.

Η συγκεκριμένη «πύκνωση» των κόμβων αποσκοπεί στην βελτιστοποίηση του ομοιόμορφου πλέγματος, καθώς οι ευθείες μεγαλύτερου επιπέδου χρειάζονται μεγαλύτερο αριθμό πεπερασμένων στοιχείων που τις διακριτοποιούν σε σχέση με τις ευθείες μικρότερων επιπέδων, λόγω του μεγαλύτερου μήκους τους. Σημειώνεται ότι ο τρόπος διαχωρισμού[22] κάθε ευθείας δεν αλλάζει σε σχέση με ότι έχει ήδη ειπωθεί, ωστόσο υπογραμμίζεται ξανά ότι οι ευθείες μεγαλύτερου επιπέδου διακριτοποιούνται σε περισσότερα τμήματα[23].

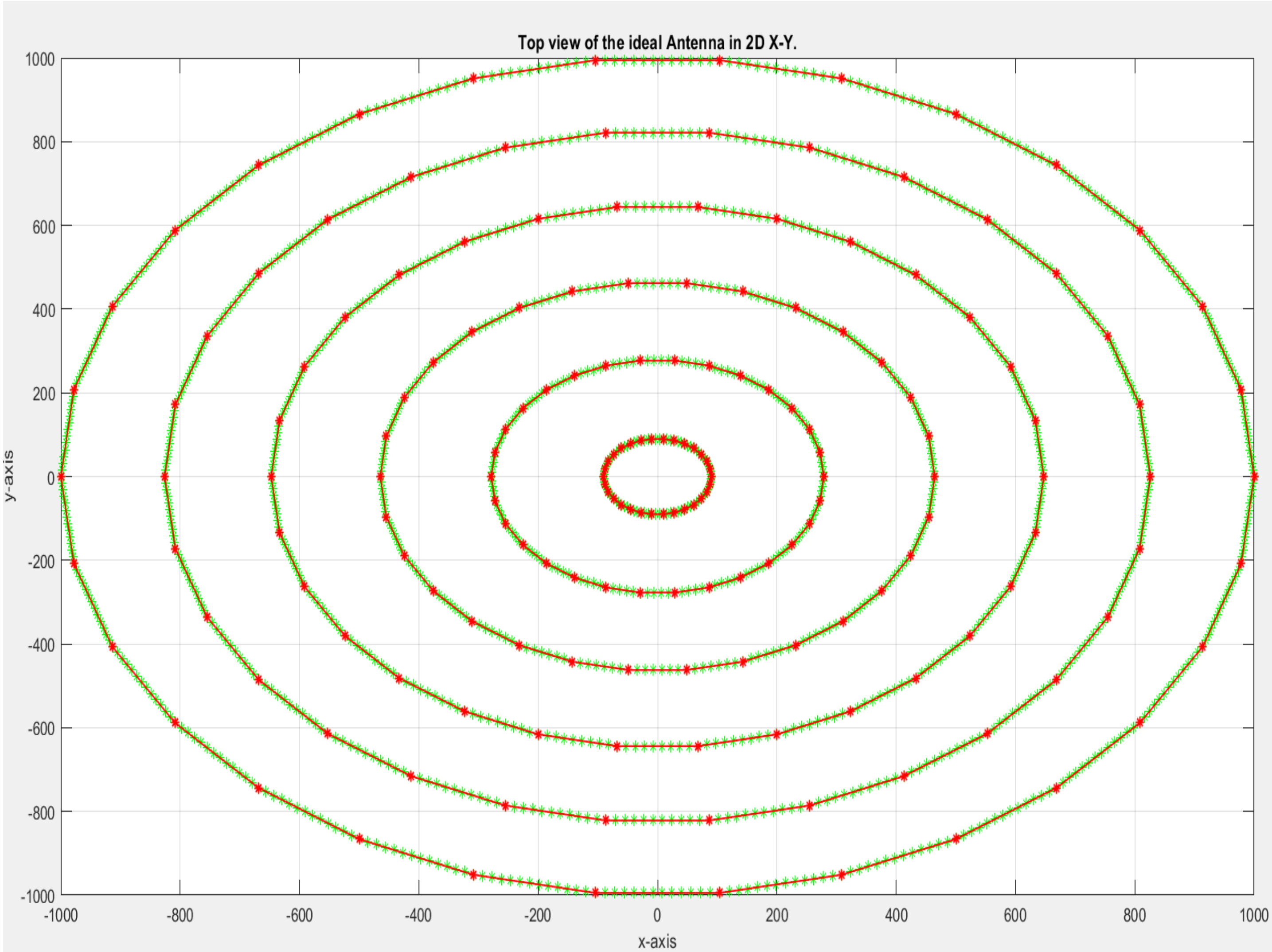
---

[19] , ακριβώς όπως και στο μοντέλο ομοιόμορφου πλέγματος
[20] επιλεγεί δηλαδή τα πεπερασμένα στοιχεία που διακριτοποιούν κάθε ευθεία πανιού στο πρώτο επίπεδο
[21] επικρατεί προσθήκη ενός (1) ή δυο (2) επιπροσθέτων κόμβων, σε κάθε ευθεία ενός επιπέδου, για κάθε μετάβαση σε μεγαλύτερο επίπεδο
[22] Σε ίσα υποτμήματα
[23] , άρα πεπερασμένα στοιχεία

Εν αντιθέσει με την περίπτωση του ομοιόμορφου πλέγματος, στα μοντέλα πύκνωσης είναι δύσκολη η κατασκευή πεπερασμένων στοιχείων ιδανικού σχήματος, λόγω της ανομοιομορφίας που προκαλεί η αύξηση των κόμβων σε κάθε επίπεδο της κατασκευής. Για τον λόγο αυτό η σχεδίαση περιορίζεται στην κατάλληλη πύκνωση του πλέγματος, αγνοώντας το σχήμα των πεπερασμένων στοιχείων που προκύπτουν σε τελικό στάδιο. Παρόλα αυτά θεωρητικά είναι δυνατή η προσεγγιστική κατασκευή τετραγωνικών στοιχείων τα οποία σε συνδυασμό με αντίστοιχα τριγωνικά, θα μπορούσαν να πραγματοποιήσουν ικανοποιητική διακριτοποίηση της κατασκευής μας. Η θεωρία αυτή ξεφεύγει από το κομμάτι της ανάλυσης του συγκεκριμένου κεφαλαίου και θα αναπτυχθεί αναλυτικά σε επόμενη παράγραφο (4.1.2).

Παρακατω θα παρουσιαστεί η κάτοψη ενός ενδεικτικού μοντέλου της ιδανικής κεραίας με χρήση πύκνωσης πλέγματος[24], στο οποίο διακριτοποιούμε τους βραχίονες με 5 πεπερασμένα στοιχεία και τις ευθείες του πρώτου επιπέδου του αναμεταδότη με 3 πεπερασμένα στοιχεία. Ακολουθώντας την σχέση **step2 + step4*step1** που αναφέρθηκε προηγουμένως, καταλήγουμε σε 13 πεπερασμένα στοιχεία που διακριτοποιούν της ευθείες των τελευταίων επιπέδων. Υπενθυμίζεται, ότι οι κόμβοι των βραχιόνων σημειώνονται με κόκκινο αστέρι, ενώ οι αντίστοιχοι του αναμεταδότη με πράσινο αστέρι (*). Εστιάζοντας στο παρακατω διάγραμμα γίνεται εμφανής η πύκνωση του πλέγματος, δηλαδή η αύξηση των κόμβων μοντελοποίησης της ανακλαστικής επιφάνειας σε κάθε επίπεδο.

[24] Πραγματοποιείται η χρήση του δεύτερου μοντέλου πύκνωσης, η οποία θα αναλυθεί στο 4.1.2.

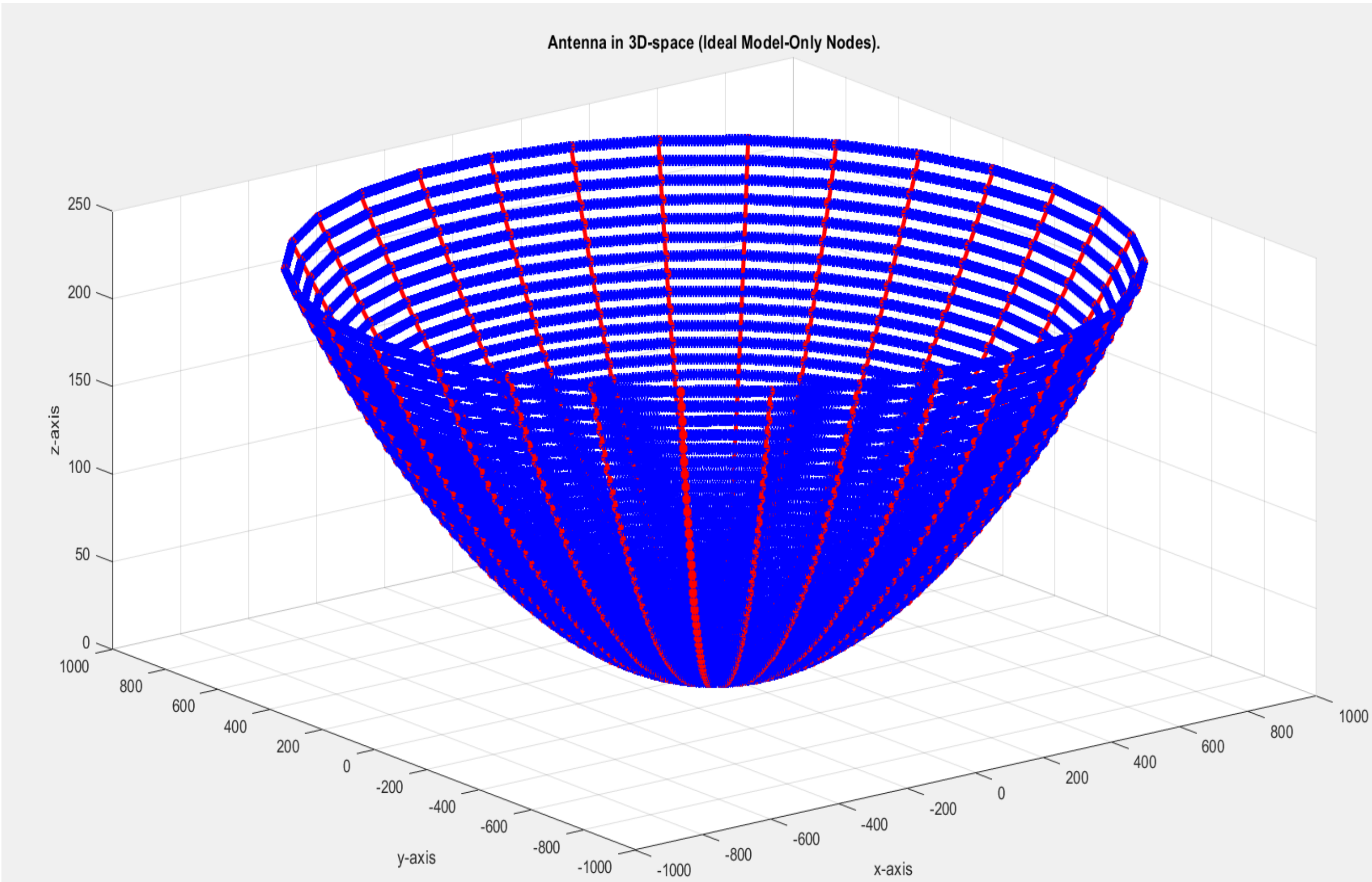


Εικόνα 8: Κάτοψη ενδεικτικού μοντέλου ιδανικής κεραίας με πύκνωση πλέγματος

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στο συγκεκριμένο μοντέλο δεν εξάγεται κάποια μαθηματική σχέση βάσει της οποίας προκύπτουν ιδεατά σχήματα πεπερασμένων στοιχείων. Το βασικό κομμάτι ενδιαφέροντος είναι η κατασκευή ενός πλέγματος που βελτιστοποιεί την διακριτοποίηση της ανακλαστικής επιφάνειας. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί το γεγονός ότι λόγω της ανομοιομορφίας του αριθμού των κόμβων σε κάθε επίπεδο της κατασκευής, δεν είναι δυνατή η χρήση της εντολής «surf» στο περιβάλλον του MATLAB, η οποία κατασκεύαζε το πλέγμα στο 3D χώρο. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην μπορούν να αποτυπωθούν τα πεπερασμένα στοιχεία του πλέγματος στον τρισδιάστατο χώρο, χωρίς ωστόσο να επηρεάζονται οι τελικές συντεταγμένες[25]. Για τον παραπάνω λόγο τα διαγράμματα που θα ακολουθήσουν, περιέχουν μόνο τους κόμβους των πλεγμάτων.

Για την επαλήθευση των παραπάνω ακολουθεί ενδεικτικά ο σχεδιασμός της ιδανικής κατασκευής με χρήση πύκνωσης πλέγματος για εισόδους step1=40 και step2=2. Είναι φανερό ότι η συγκεκριμένη διακριτοποίηση φαίνεται να μην επαρκεί για τον τελικό σχεδιασμό, ωστόσο υπογραμμίζεται ότι η ίδια είναι ενδεικτική και αποσκοπεί μόνο στην βαθύτερη κατανόηση της σχεδιαστικής φιλοσοφίας.

[25] , επηρεάζεται μόνο η «αισθητική» και η αναπαράσταση του μοντέλου



Εικόνα 9: Ιδεατό μοντέλο κεραίας με πύκνωση πλέγματος (step1=40 & step2=2)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

2.1.1 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ

Από το πρώιμο στάδιο σχεδιασμού που αναλύθηκε εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο, έχουν συλλεχθεί σε κατάλληλους πίνακες όλες οι συντεταγμένες των κόμβων που διακριτοποιούν το πανί της κατασκευής. Σημειώνεται, ότι κάθε πίνακας αναφέρεται σε μια από τις τρεις (3) συντεταγμένες των κόμβων της ανακλαστικής επιφάνειας, ενώ ο ίδιος ακολουθεί συγκεκριμένη ονομασία, έτσι ώστε να αποφευχθεί η σύγχυση εννοιών και να διευκολύνεται η κατανόηση. Κατά την διαδικασία κατασκευής των συγκεκριμένων πινάκων γίνεται χρήση πολλαπλών επαναληπτικών βρόγχων , οι οποίοι μέσω βοηθητικών μετρητών κατηγοριοποιούν κατάλληλα κάθε συντεταγμένη έτσι ώστε η ιδιά να τοποθετείται σε σωστό πίνακα[26] και σε σωστή στήλη[27].

[26] ,άρα να αναφέρεται στο σωστό μοντέλο
[27] ,άρα να βρίσκεται στο σωστό «επίπεδο» της κατασκευής

Παρόλα αυτά, λόγω των μαθηματικών σχέσεων που ακολουθούν οι μετρητές, οι τελικοί πίνακες εμφανίζουν ορισμένα επιπρόσθετα μηδενικά στοιχεία, τα οποία δεν αντιστοιχούν σε κάποια συντεταγμένη υπαρκτού κόμβου. Ουσιαστικά, το γεγονός αυτό οφείλεται στην συμπεριφορά του MATLAB, σύμφωνα με την οποία αδυνατεί να διατηρήσει κενά στοιχεία σε πίνακες, με αποτέλεσμα στα ιδιά να τοποθετεί θεωρητικά μηδενικά. Τα συγκεκριμένα στοιχεία είναι ανεπιθύμητα και εξαλείφονται μέσω της χρήσης κατάλληλων βρόγχων και εντολών τουλάχιστον στην περίπτωση των μοντέλων με ομοιόμορφο πλέγμα, στο οποίο γίνεται εκμετάλλευση της τετραγωνικής μορφής των πινάκων που προκύπτουν.

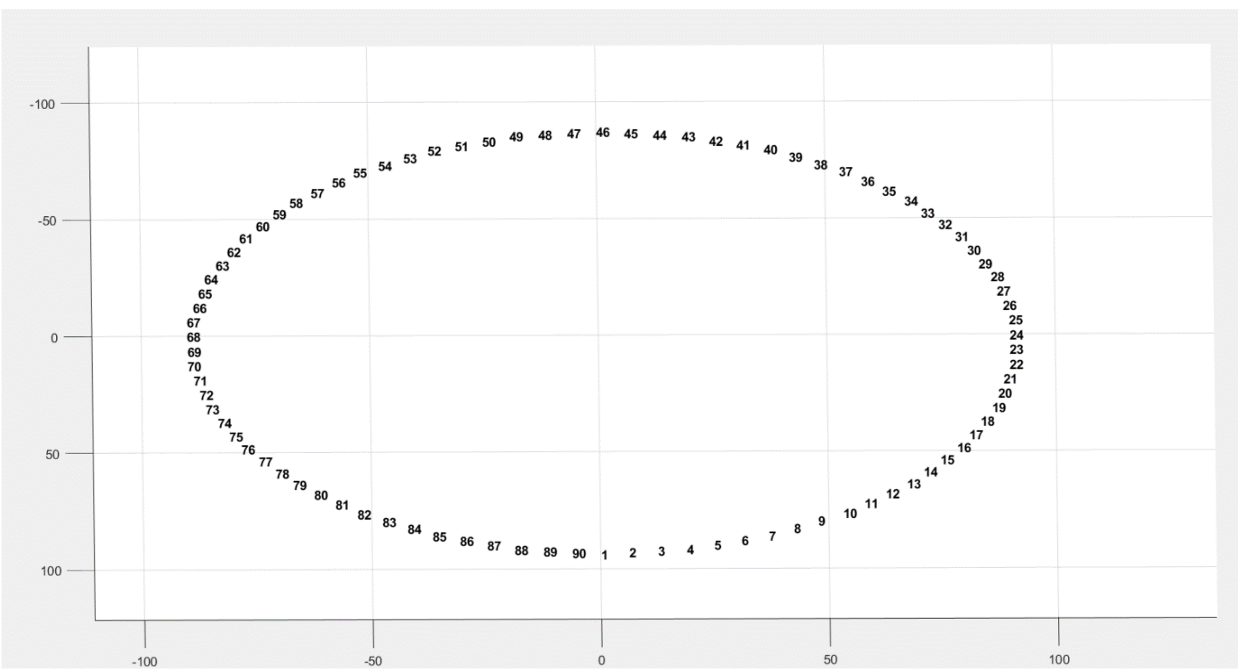
Από την άλλη πλευρά, λόγω της ανομοιομορφίας που υπάρχει στο μοντέλο πύκνωσης πλέγματος, τα ενδιάμεσα σημεία κάθε επιπέδου είναι διαφορετικά σε αριθμό από αυτά του επομένου. Ουσιαστικά οι τελικοί πίνακες της συγκεκριμένης περίπτωσης δεν είναι τετραγωνικοί, δηλαδή κάθε στήλη έχει διαφορετικό αριθμό στοιχείων από την αμέσως επόμενη. Το γεγονός αυτό δεν επιτρέπει την απευθείας αφαίρεση ανεπιθύμητων γραμμών του εκάστοτε πίνακα, όπως ακριβώς έγινε στην περίπτωση του ομοιόμορφου πλέγματος, καθώς υπό αυτές τις συνθήκες υπάρχει ο κίνδυνος αφαίρεσης υπαρκτής συντεταγμένης που συμπεριλαμβάνεται στην «ανεπιθύμητη» αυτή γραμμή.

Το παραπάνω πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την χρήση κελίων[28], τα οποία επιτρέπουν την κατασκευή ενός πίνακα (διάνυσμα)[29] που περιέχει ως στοιχεία άλλους (υπο-)πίνακες - διανύσματα. Πιο συγκεκριμένα η διάσταση του αρχικού πίνακα εξαρτάται μόνο από της στήλες του ίδιου, οι οποίες με την σειρά τους εξαρτώνται από τα επίπεδα διακριτοποίησης της κατασκευής, δηλαδή από το step1. Ουσιαστικά, εστιάζοντας σε ένα στοιχείο του αρχικού πίνακα διανύσματος θα παρατηρήσει κάνεις ότι το ίδιο είναι επίσης ένας (υπο-)πίνακας διάνυσμα, μόνο που στην συγκεκριμένη περίπτωση ο (υπο-)πίνακας έχει μια στήλη και η διάσταση του εξαρτάται από τον αριθμό των ενδιάμεσων σημείων του αναμεταδότη που αναφέρονται σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο της κατασκευής. Η θέση του συγκεκριμένου (υπο-)πίνακα, ο οποίος λειτουργεί ως στοιχείο του αρχικού πίνακα διανύσματος, μαρτυρά το επίπεδο στο οποίο αναφέρονται οι συντεταγμένες των κόμβων του αναμεταδότη που περιέχει ο ίδιος.

Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκε ένας τελικός πίνακας ο οποίος έχει ως στοιχεία άλλους πίνακες διαφορετικών διαστάσεων, των οποίων τα στοιχεία είναι οι κόμβοι διακριτοποίησης της ανακλαστικής επιφάνειας ενός επιπέδου, με αποτέλεσμα ο ίδιος να συμπεριλαμβάνει μια από τις τρεις (3) συντεταγμένες όλων των κόμβων της επιφάνειας. Ακολουθώντας την ίδια λογική κατασκευάζονται παρόμοιοι πίνακες – κελία και για τις υπόλοιπες συντεταγμένες των κόμβων, ενώ όπως φαίνεται και στον κώδικα ακολουθείται συγκεκριμένος τρόπος ονομασίας των πινάκων, ανάλογα με το προς εξέταση μοντέλο στο οποίο αναφέρονται.

[28] «cells»
[29] Αποτελείται από μια γραμμή, ενώ οι στήλες εξαρτώνται από τα επίπεδα που διακριτοποιούν την κατασκευή.

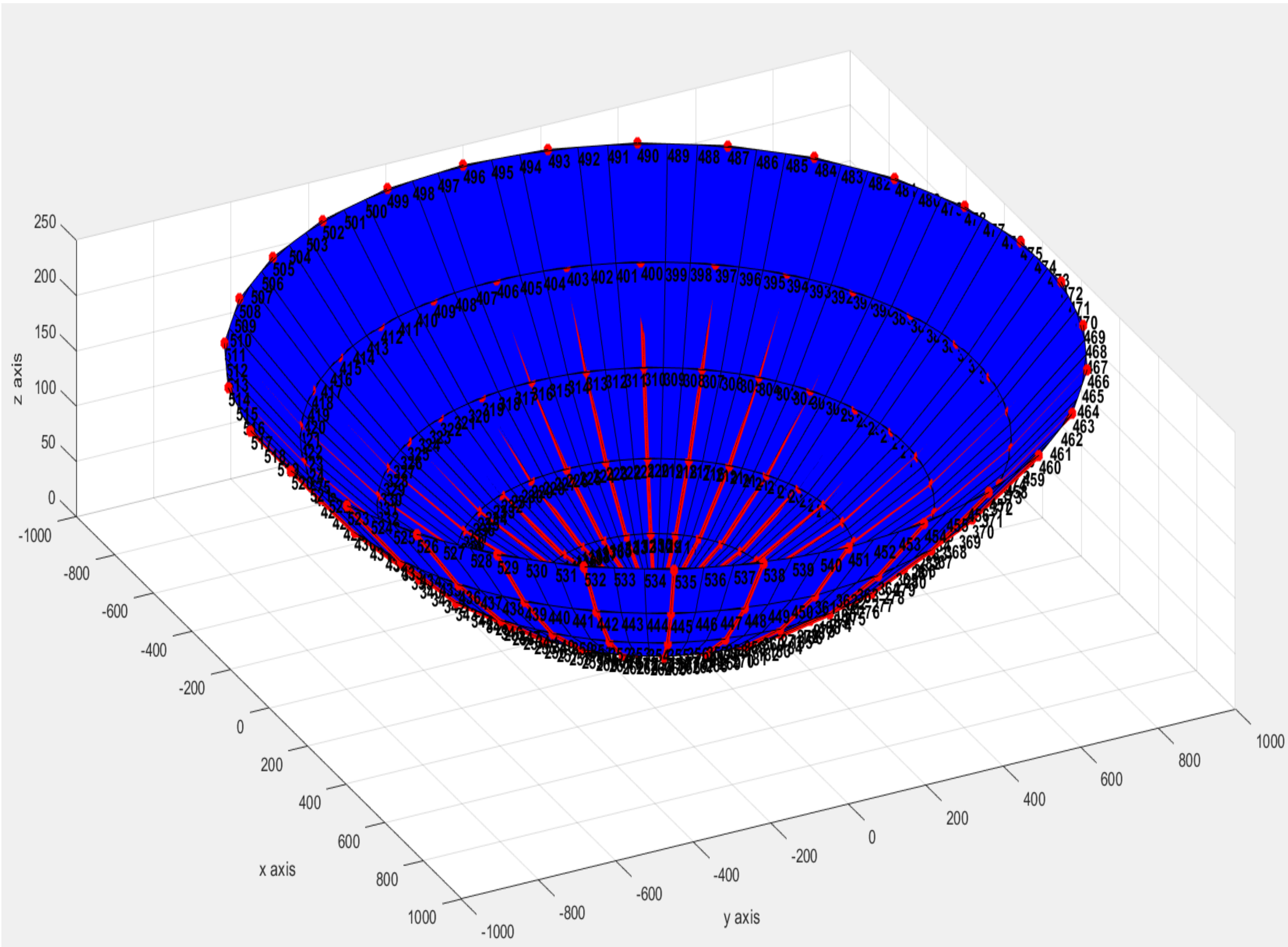
Στην συνέχεια, έχοντας πλέον υπολογισμένες όλες τις συντεταγμένες των κόμβων της ανακλαστικής επιφάνειας, ακολουθεί η ομαδοποίηση τους με τις αντίστοιχες συντεταγμένες των κόμβων των βραχιόνων, οι οποίες έχουν υπολογιστεί στο πρώτο στάδιο της σχεδίασης. Η ομαδοποίηση αυτή ακολουθεί συγκεκριμένη λογική με χρήση νέων βοηθητικών μετρητών (indexes), οι οποίοι παρεμβάλλουν τους κόμβους μιας ευθείας «πανιού» αναμεσά στους αντίστοιχους κόμβους δυο διαδοχικών βραχιόνων. Έτσι οι τελικοί πίνακες περιλαμβάνουν όλες τις συντεταγμένες της κατασκευής, με τέτοιον τρόπο έτσι ώστε αρχικά να εμφανίζονται οι συντεταγμένες του πρώτου επιπέδου και τελικά οι αντίστοιχες του τελευταίου επιπέδου. Όπως γίνεται αντιληπτό και από την Εικόνα 10 που ακολουθεί, οι κόμβοι αριθμούνται ανθωρολογιακά σε κάθε επίπεδο, έτσι ώστε να μπορέσει να διευκολυνθεί η δειγματοληψία τους από τους τελικούς πίνακες.



Εικόνα 10: Ανθωρολογιακή αρίθμηση πρώτου επιπέδου κατασκευής (μοντέλο ομοιόμορφου πλέγματος step1=5 & step2=3)

Πραγματοποιώντας τα παραπάνω, έχουν κατασκευαστεί πίνακες που περιέχουν όλες τις συντεταγμένες, με την κατάλληλη σειρά όπως αναλύθηκε προηγουμένως, στο καρτεσιανό σύστημα. Όπως έχει γίνει και σε προηγουμένους πίνακες, έτσι και σε αυτούς ακολουθείται κατάλληλη ονοματολογία ανάλογα με το μοντέλο σχεδίασης στο οποίο αναφέρονται. Οι πίνακες ολικών συντεταγμένων για όλα τα μοντέλα που εξετάζονται, αποθηκεύονται σε κατάλληλο φάκελο του υπολογιστή, υπό την μορφή .txt, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά. Υπογραμμίζεται ότι στο Workspace του MATLAB, θα εμφανίζονται διάφοροι βοηθητικοί πίνακες που περιέχουν ομαδοποιημένες τις κομβικες συντεταγμένες είτε των βραχιόνων (πχ. ribs_points) είτε του αναμεταδότη (πχ. intermediate_points), για τα διάφορα μοντέλα που εξετάζονται, έτσι ώστε να μπορέσουν να γίνουν κατάλληλοι έλεγχοι και επαληθεύσεις σε περίπτωση που το επιθυμεί ο χρήστης.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι εντός του κώδικα υπάρχει κατάλληλο script, το οποίο αποτυπώνει οποιοδήποτε μοντέλο κεραίας στον τρισδιάστατο χώρο, εμφανίζοντας παράλληλα την κατάλληλη αρίθμηση δίπλα από τον κάθε κόμβο. Στην Εικόνα 11 παρίσταται ενδεικτικά ένα απλό μοντέλο ιδανικής κεραίας ομοιόμορφου πλέγματος, στο οποίο γίνεται η χρήση του προαναφερθέντος διαγράμματος. Παρόλα αυτά το συγκεκριμένο κομμάτι κώδικα κατανάλωνε αρκετό χρόνο επίλυσης καθώς και υπολογιστική ισχύ, χωρίς να λαμβάνεται κάποια αξιόλογη πληροφορία από αυτό με αποτέλεσμα το ίδιο να τοποθετείται σε σχόλια και να μην χρησιμοποιείται.



Εικόνα 11: Αποτύπωση αριθμημένων κόμβων ενδεικτικού μοντέλου ομοιόμορφου πλέγματος με step1=5 & step2=3

2.2 ΣΦΑΛΜΑΤΑ

Ένα από τα βασικότερα κομμάτια που πραγματεύεται η εργασία είναι η αποτύπωση και ο έλεγχος της συμπεριφοράς του ιδανικού μοντέλου κεραίας, όταν στο ίδιο ενεργήσουν διάφορα είδη σφαλμάτων. Παρακάτω, θα αναλυθούν τα τέσσερα (4) βασικά είδη σφαλμάτων, ενώ παράλληλα θα σχολιασθεί η προκύπτουσα μετατόπιση του κάθε κόμβου στον τρισδιάστατο χώρο εξάγοντας τα καταλληλά συμπεράσματα. Στο σημείο αυτό σημειώνεται, ότι για την ανάλυση των σφαλμάτων έγινε χρήση γεννήτριας τυχαίων αριθμών, η οποία χρησιμοποιείται αυτή κάθε αυτή τόσο στις εξισώσεις του ομοιόμορφου μοντέλου όσο και σε αυτές του μοντέλου πύκνωσης, έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει ορθή σύγκριση των τελικών αποτελεσμάτων. Ουσιαστικά η γεννήτρια τυχαίων αριθμών παράγει ένα σύνολο αριθμών, οι οποίοι αναφέρονται σε ένα συγκεκριμένο πεδίο τιμών, αναλόγως τον τύπο του σφάλματος που εξετάζεται. Οι συγκεκριμένοι αριθμοί τοποθετούνται καταλληλά στις εξισώσεις που περιγράφουν την γεωμετρία ενός βραχίονα και αλλάζουν με αυτόν τον τρόπο τις τελικές συντεταγμένες των κόμβων που τον διακριτοποιούν. Υπογραμμίζεται ότι τα σφάλματα ενεργούν κυρίως πάνω στους κόμβους των βραχιόνων και βάσει αυτών εξάγεται τελικά η συμπεριφορά ολοκλήρου του πλέγματος (βραχίονες + πανί).

Για να εξαχθεί η ολική συμπεριφορά του πλέγματος υπό την ύπαρξη συγκεκριμένων σφαλμάτων, πρέπει αρχικά να κατασκευασθούν οι ευθείες ανάμεσα στους βραχίονες που μοντελοποιούν το πανί. Ακολουθώντας την ίδια φιλοσοφία κατασκευής και διακριτοποίησης των ευθείων με το ιδανικό μοντέλο, εξάγονται, με χρήση πολλαπλών επαναληπτικών βρόγχων, οι νέες «εσφαλμένες» συντεταγμένες των κόμβων της ανακλαστικής επιφάνειας. Στην συνέχεια ακολουθεί η ίδια διαδικασία τροποποίησης και ομαδοποίησης των τελικών συντεταγμένων, ενώ τελικά αποτυπώνεται το «εσφαλμένο πλέγμα» στον τρισδιάστατο χώρο. Στο σημείο αυτό αξίζει να υπογραμμιστεί, ότι όλα τα εσφαλμένα μοντέλα προκύπτουν από κατάλληλες μεταβολές του αρχικού ιδανικού μοντέλου, στο οποίο έχει καθοριστεί από την αρχή (μέσω των κατάλληλων εντολών – inputs) ο τύπος και η διακριτοποίηση του πλέγματος του. Επομένως, σε περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί την σύγκριση δυο ή περισσοτέρων εσφαλμένων μοντέλων διαφορετικού τύπου πλέγματος, θα χρειαστεί να εκτελέσει τον κώδικα τόσες φορές όσες και ο αριθμός των μοντέλων που χρειάζεται.

2.2.1 ΣΦΑΛΜΑ ΚΟΜΒΙΚΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΒΡΑΧΙΟΝΑ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Ζ

Το συγκεκριμένο σφάλμα, το οποίο είναι γνωστό και ως «manufacturing error», αναφέρεται στο γεγονός ότι η θέση κάποιων κόμβων ενός βραχίονα δεν ακολουθούν την ιδανική παραβολή (1) που έχει οριστεί στο ιδανικό μοντέλο, αλλά έχουν υποστεί μια τυχαία μετατόπιση στην διεύθυνση z. Το διάστημα τιμών που μπορεί να λάβει η συγκεκριμένη μετατόπιση έχει οριστεί εντός του προγράμματος και ισούται με [-0.2,0.2] mm. Είναι προφανές ότι το αρνητικό πρόσημο δηλώνει μετατόπιση προς τα «κάτω», ενώ το θετικό δηλώνει αντίστοιχα, μετατόπιση προς τα «πάνω». Υπενθυμίζεται, ότι μέσω της γεννήτριας τυχαίων αριθμών επιλέγεται αυτόματα ένα τυχαίο σφάλμα, το οποίο προστίθεται στην (1), με αποτέλεσμα να επηρεάζεται έτσι η τιμη της συντεταγμένης z κάποιου κόμβου. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για τους κόμβους κάθε βραχίονα, έτσι ώστε τελικά να λαμβάνεται ένας πίνακας που περιέχει τις «εσφαλμένες» συντεταγμένες z όλων των κόμβων των βραχιόνων (Z_RIBS_ERROR_Z) μετα την επίδραση του σφάλματος. Γίνεται αντιληπτό ότι το συγκεκριμένο σφάλμα δεν επηρεάζει την ακτινική συντεταγμένη r της εξίσωσης (1), με αποτέλεσμα να μην επηρεάζονται και οι καρτεσιανές συντεταγμένες x,y όλων των κόμβων της κατασκευής. Για τον λόγο αυτό αρκεί μόνο η εύρεση των εσφαλμένων z συντεταγμένων των κόμβων που διακριτοποιούν το πανί, καθώς οι αντίστοιχες x,y ταυτίζονται με τις αντίστοιχες του ιδανικού μοντέλου.

Ακολουθώντας την ίδια λογική με την περίπτωση του ιδανικού μοντέλου, εξάγονται οι τελικές συντεταγμένες των κόμβων που διακριτοποιούν ολόκληρη την κατασκευή, για την περίπτωση του μοντέλου με σφάλμα στην διεύθυνση z. Παρόλα αυτά, η γεωμετρική ιδιομορφία[30] του συγκεκριμένου μοντέλου δεν επιτρέπει την ορθή λειτουργία της πραγματικής κατασκευής, όταν η ίδια πραγματοποιήσει τις επιτρεπόμενες τηλεσκοπικές κινήσεις της. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μετάβουμε σε άλλων ειδών σφαλμάτων, από τα οποία και θα εξαχθούν τα ζητούμενα συμπεράσματα, τα οποία τελικά θα οδηγήσουν στην σχεδιαστική βελτιστοποίηση του μοντέλου μας.

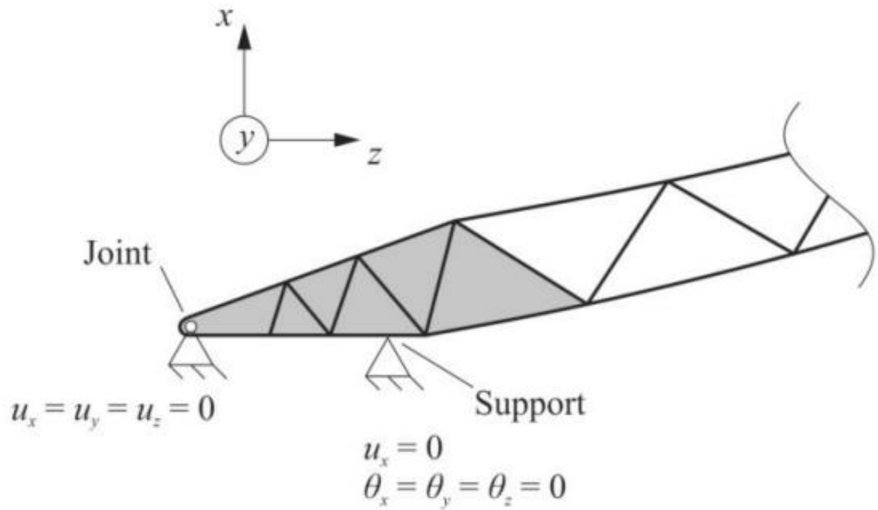
[30] , δηλαδή η τυχαία μετατόπιση όλων των κόμβων ενός βραχίονα

2.2.2 ΣΦΑΛΜΑ ΕΣΤΙΑΚΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

Το παρών σφάλμα πραγματεύεται την τυχαία μεταβολή του εστιακού μήκους της παραβολής που προσομοιάζει τους βραχίονες της κεραίας. Παρατηρώντας την εξίσωση (1) θα διακρίνει κάνεις το μέγεθος f που αναπαριστά το εστιακό μήκος μιας παραβολής και είναι ο όρος στον οποίον θα εισαχθούν τα σφάλματα. Σημειώνεται, ότι στην συγκεκριμένη περίπτωση ορίζεται νέα γεννήτρια τυχαίων αριθμών, η οποία ουσιαστικά καθορίζει τις τιμές που θα προσθαφαιρεθούν στην αρχική τιμη του ιδανικού εστιακού μήκους, το οποίο σύμφωνα με βιβλιογραφία ισούται με 1078 mm. Εμβαθύνοντας περαιτέρω στο σφάλμα αυτό και χρησιμοποιώντας ξανά την εξίσωση (1), θα παρατηρήσει κάνεις ότι τυχόν μεταβολή του εστιακού μήκους f επηρεάζει μόνο την συντεταγμένη z των σημείων της παραβολής. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα, στο μοντέλο σφάλματος εστιακού μήκους να αλλάζει μόνο η συντεταγμένη z των κόμβων του τελικού πλέγματος, ενώ, έτσι όπως έγινε και στην προηγούμενη περίπτωση σφάλματος, οι συντεταγμένες x,y του εσφαλμένου μοντέλου θα ταυτίζονται με τις αντίστοιχες του ιδανικού. Η βασική διαφορά είναι ότι στο μοντέλο με σφάλμα εστιακού μήκους επικρατεί ομοιόμορφη μεταβολή των κόμβων ενός βραχίονα, σε αντίθεση με το σφάλμα διεύθυνσης z, όπου όλοι οι κόμβοι ενός βραχίονα λάμβαναν τυχαία μετατόπιση. Πιο αναλυτικά στην συγκεκριμένη περίπτωση κάθε βραχίονας δέχεται μια τυχαία τιμη, από την γεννήτρια αριθμών, η οποία τελικά επηρεάζει την μορφή της εξίσωσης (1) και ισχύει για όλους τους κόμβους του συγκεκριμένου βραχίονα. Σημειώνεται ότι κάθε βραχίονας μπορεί να λάβει διαφορετική τιμη στο εστιακό μήκος του, σε σχέση με κάποιον άλλον, ωστόσο όλοι οι κόμβοι που τον διακριτοποιούν θα μετατοπίζονται ομοιόμορφα βάσει της τελικής εξίσωσης που τον περιγράφει. Παρόλα αυτά σε αντίθεση με το προηγούμενο σφάλμα, δεν είναι γνωστό το διάστημα τιμών που μπορεί να λάβει τιμη το εστιακό μήκος κάθε βραχίονα. Για την εξαγωγή του συγκεκριμένου πεδίου τιμών κρίνεται αναγκαία η τήρηση ορισμένων προδιαγραφών, αναφορικά με την γεωμετρική σχεδίαση των βραχιόνων (2.3).

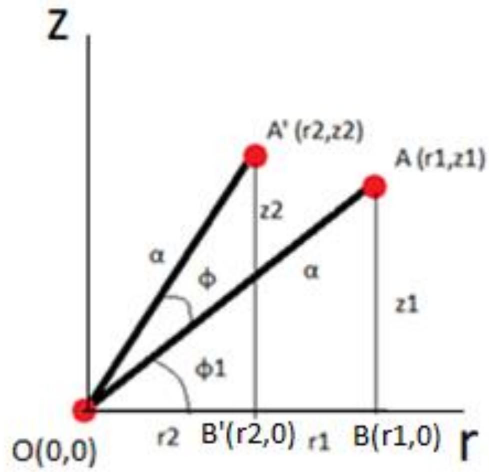
2.2.3 ΣΦΑΛΜΑ ΓΩΝΙΑΚΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ (ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ) ΒΡΑΧΙΟΝΑ

Στην περίπτωση αυτή το σφάλμα προκύπτει από την περιστροφή ενός βραχίονα γύρω από την άρθρωση του, η οποία θεωρητικά βρίσκεται στην αρχή των αξόνων του κυλινδρικού συστήματος συντεταγμένων. Η συγκεκριμένη περιστροφή πραγματοποιείται στο επίπεδο z-r του εκάστοτε βραχίονα, ο οποίος χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη γωνιακή συντεταγμένη «theta». Αξίζει να επισημανθεί ότι η ανάλυση του βραχίονα περιορίζεται σε συγκεκριμένο εύρος τιμών της ακτινικής συντεταγμένης r=[90.5÷1000] mm, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να αποτυπωθεί στα διαγράμματα η προαναφερθούσα άρθρωση. Για λόγους εμπέδωσης της κατασκευαστικής δομής της κεραίας, σημειώνεται ότι στην συντεταγμένη r =90.5 mm για κάθε βραχίονα, τοποθετείται μια επιπλέον στήριξη, η οποία συγκρατεί τον εκάστοτε βραχίονα όταν η κεραία έχει «κλειδώσει» στην εκτεταμένη (ανοιγμένη) θέση της , όπως φαίνεται και από την Εικόνα 12 που δημοσίευσε ο Moskvichev [1].



Εικόνα 12: Ενδεικτική αναπαράσταση των αρθρώσεων ενός βραχίονα

Παρατηρώντας την Εικόνα 13 γίνεται κατανοητό ότι το συγκεκριμένο σφάλμα θα επηρεάσει και τις τρεις (3) καρτεσιανές συντεταγμένες που περιγράφουν την θέση οπουδήποτε κόμβο ενός βραχίονα στον τρισδιάστατο χώρο. Ουσιαστικά, περιστρέφοντας έναν οποιοδήποτε βραχίονα κατά μια τυχαία γωνιά φ στο επίπεδο z-r γύρω από την άρθρωση O(0,0), θα παρατηρηθεί ότι το σημείο A(r_1, z_1) που αντιπροσωπεύει έναν οποιονδήποτε κόμβο του βραχίονα, θα μεταβεί στην νέα θέση A'(r_2, z_2). Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αντίθεση με τα προηγούμενα σφάλματα που αναλύθηκαν, η συγκεκριμένη περιστροφή μεταβάλει (πέρα από την αξονική συντεταγμένη z) και την ακτινική συντεταγμένη r των κόμβων, με αποτέλεσμα να προκαλείται η τριαξονική μετατόπιση στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Επισημαίνεται, ότι το τμήμα του βραχίονα που αποτυπώνεται στην Εικόνα 13, σχεδιάζεται με χρήση κατάλληλων ευθείων, με στόχο την διευκόλυνση της κατανόησης της περιστροφικής κίνησης που θα επιτελέσει οποιοσδήποτε κόμβος ενός βραχίονα.



Εικόνα 13: Αποτύπωση τυχαίας περιστροφής βραχίονα στο επίπεδο z-r

Εφαρμόζοντας την ίδια λογική με τα προηγούμενα σφάλματα, σημειώνεται ότι η γωνιά περιστροφής προκύπτει τυχαία, ωστόσο σε αντίθεση με τις υπόλοιπες περιπτώσεις δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει ο ίδιος το διάστημα τιμών της εσφαλμένης γωνίας. Με τον τρόπο αυτό εξετάζονται μοντελα με διάφορες τιμές γωνιών, ενώ ταυτόχρονα υπολογίζεται το τελικό RMS της επιφάνειας της κατασκευής, από το οποίο θα εξαχθούν τα καταλληλά συμπεράσματα, ωστόσο το συγκεκριμένο κομμάτι θα εξηγηθεί σε επόμενο κεφάλαιο (4.1). Στο πέρας της εξέτασης των διάφορων μοντέλων επιλέγεται το κατάλληλο διάστημα τιμών της εσφαλμένης γωνίας, για το οποίο τηρούνται ορισμένες σχεδιαστικές προδιαγραφές.

Αξίζει να δοθεί έμφαση στο γεγονός ότι ο κώδικας ζητά από τον χρήστη να πληκτρολογήσει μια τιμη για το σφάλμα γωνίας, η οποία στην πραγματικότητα χαρακτηρίζει τα άκρα του διαστήματος, από το οποίο επιλέγεται τυχαία μια τελική τιμη εσφαλμένης γωνίας. Σημειώνεται ότι τα άκρα του διαστήματος αποτελούνται από την θετική και την αρνητική τιμη του αριθμού που πληκτρολογεί ο χρήστης, ενώ αξίζει να υπογραμμιστεί ότι η τελική επιλογή αρνητικής εσφαλμένης γωνίας αντιστοιχεί σε ωρολογιακή περιστροφή του βραχίονα, δηλαδή κομβική μετατόπιση προς τα αρνητικά του άξονα z, σε αντίθεση με την θετική εσφαλμένη γωνία που αντικατοπτρίζει ανθωρολογιακή περιστροφή, δηλαδή μετατόπιση προς τα θετικά του άξονα z. Πέρα από τα προαναφερθέντα, είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι γωνία περιστροφής αναφέρεται σε κάθε βραχίονα ξεχωριστά, με αποτέλεσμα δυο διαδοχικοί βραχίονες να έχουν την δυνατότητα διαφορετικής περιστροφής άρα και διαφορετικών κομβικών μετατοπίσεων. Επομένως, για να μπορέσει να εξετασθεί το συγκεκριμένο σφάλμα κρίνεται απαραίτητη η εξαγωγή κατάλληλων μαθηματικών σχέσεων, οι οποίες θα περιγράφουν την μετατόπιση οποιουδήποτε κόμβου συναρτήσει της γωνιακής περιστροφής του εκάστοτε βραχίονα.

Αρχικά παρατηρώντας το τρίγωνο ΟΑ’Β’ από την Εικόνα 13 μπορεί μέσω γεωμετρίας να εξαχθεί η σχέση (6) :

$$\tan(\varphi + \varphi_1) = \frac{z_2}{r_2} \tag{6}$$

Στην συνέχεια, υπενθυμίζοντας ότι κατά την περιστροφή δεν μεταβάλλεται το μήκος του βραχίονα[31] και χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα το πυθαγόρειο θεώρημα τόσο για το τρίγωνο ΟΑ’Β’ όσο και για το ΟΑΒ, εξάγονται τα παρακατω:

$$\alpha^2 = {z_1}^2 + {r_1}^2$$

$$\alpha = \sqrt{{r_1}^2 + {z_1}^2} \tag{7}$$

$$\alpha^2 = {z_2}^2 + {r_2}^2$$

$$r_2 = \sqrt{\alpha^2 - {z_2}^2} \tag{8}$$

[31] , ο οποίος στην συγκεκριμένη ανάλυση προσεγγίζεται μέσω ευθείας, της οποίας το μήκος ισούται με μια ποσότητα «α». Αντίστοιχα και το πραγματικό μήκος «s» τους καμπυλωτού βραχίονα δεν μεταβάλλεται κατά την περιστροφή.

Συνδυάζοντας κατάλληλα την (7) και την (8) προκύπτει:

$$z_2 = r_2 \tan(\varphi + \varphi_1)$$

$$z_2 = \sqrt{\alpha^2 - {z_2}^2}\, tan(\varphi + \varphi_1)$$

$${z_2}^2 = (\alpha^2 - {z_2}^2)(tan(\varphi + \varphi_1))^2$$

$${z_2}^2 + \ {z_2}^2(tan(\varphi + \varphi_1))^2 = \alpha^2(tan(\varphi + \varphi_1))^2$$

$${z_2}^2 = \frac{\alpha^2(tan(\varphi + \varphi_1))^2}{1 + (tan(\varphi + \varphi_1))^2}$$

$$z_2 = \frac{\alpha \times \tan(\varphi + \varphi_1)}{\sqrt{1 + (\tan(\varphi + \varphi_1))^2}} \tag{9}$$

Τέλος, από την αντικατάσταση της (7) στην τελευταία μορφή της (9) εξάγεται η σχέση (10), η οποία υπολογίζει την νέα κομβική συντεταγμένη z μετα την περιστροφή του βραχίονα :

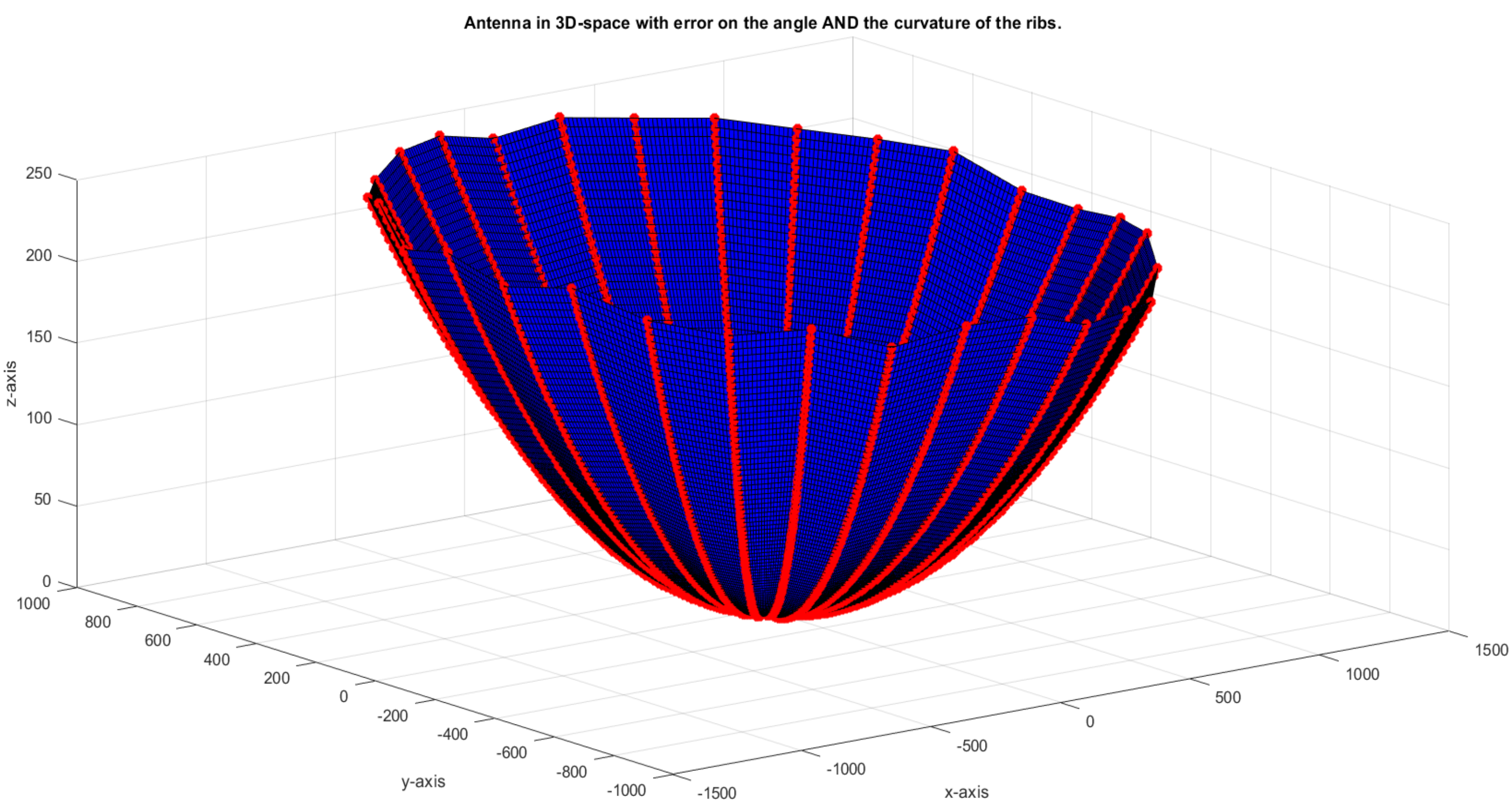
$$z_2 = \frac{\sqrt{{r_1}^2 + {z_1}^2}\tan(\varphi + \varphi_1)}{\sqrt{1 + (\tan(\varphi + \varphi_1))^2}} \tag{10}$$

Γνωρίζοντας πλέον τις νέες ακτινικές (r) και αξονικές (z) συντεταγμένες των κόμβων των βραχιόνων, μπορούν να εξαχθούν και οι καρτεσιανές συντεταγμένες τους, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν με κατάλληλο τρόπο, όπως έχει ήδη αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, έτσι ώστε να κατασκευαστεί τελικά το συγκεκριμένο εσφαλμένο μοντέλο κεραίας.

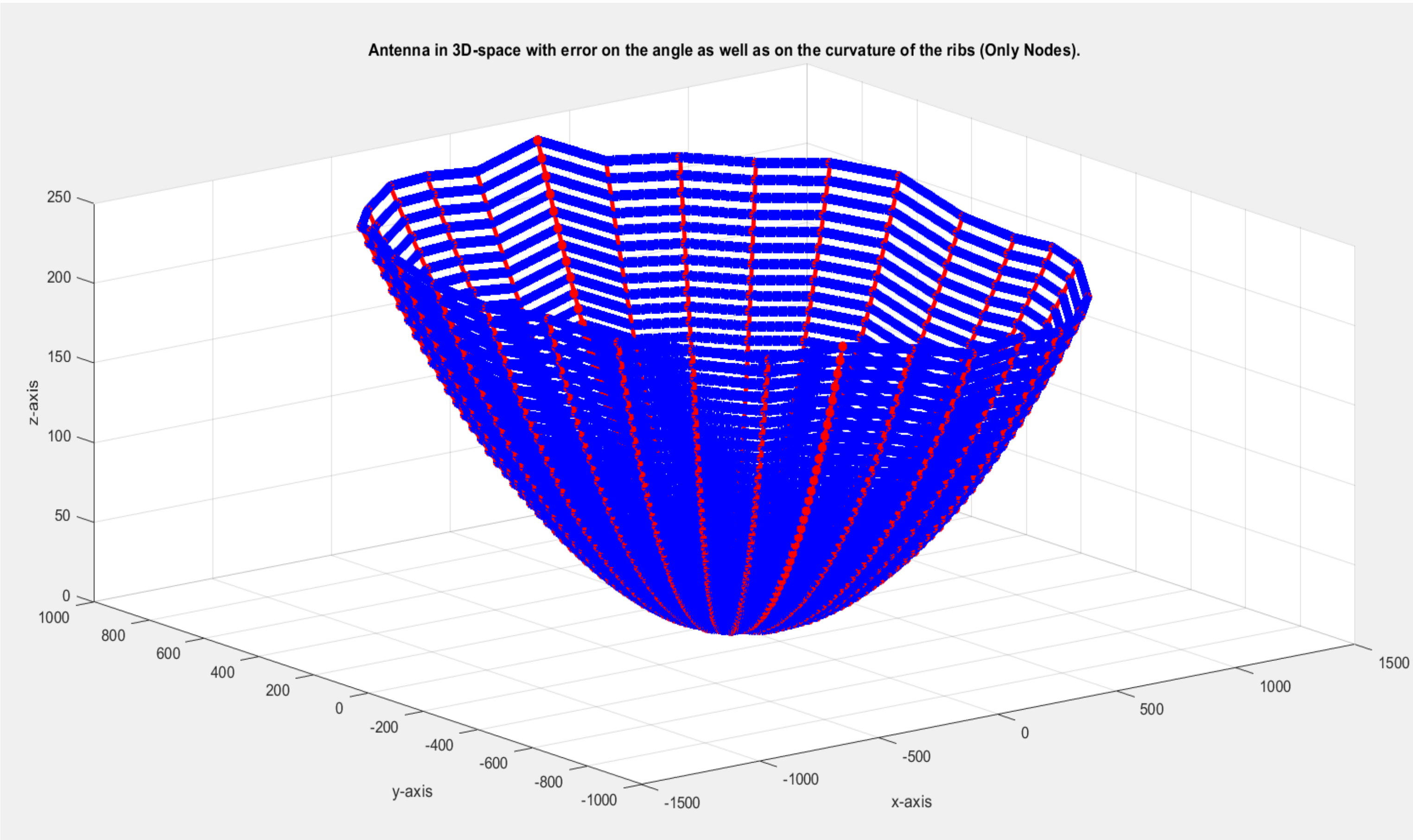
2.2.4 ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟ ΣΦΑΛΜΑ ΕΣΤΙΑΚΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑΚΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ (ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ) ΒΡΑΧΙΟΝΑ

Εν κατακλείδι, εξετάζεται η περίπτωση ενός σφάλματος, το οποίο συνδυάζει το μοντέλο σφάλματος εστιακού μήκους και το αντίστοιχο του σφάλματος γωνιακής μετατόπισης του βραχίονα. Έχοντας κατανοήσει τα προαναφερθέντα, γίνεται ευκολά αντιληπτό ότι η μόνη διαφορά που θα παρουσιαστεί στο μοντέλο συνδυασμένου σφάλματος σε σχέση με το αντίστοιχο μοντέλο σφάλματος γωνίας, είναι οι αξονικές συντεταγμένες z_1 των κόμβων ενός βραχίονα, οι οποίες πλέον θα εξαρτώνται και από την μεταβολή του εστιακού μήκους του βραχίονα. Σημειώνεται ότι η εσφαλμένη γωνιά του μοντέλου παραμένει ίδια με την αντίστοιχη γωνία του μεμονωμένου σφάλματος γωνίας, με αποτέλεσμα οι κόμβοι των βραχιόνων των δυο μοντέλων να παρουσιάζουν ίδιες μετατοπίσεις, άρα και συντεταγμένες στο επίπεδο XY. Το γεγονός αυτό αποσκοπεί στην εξαγωγή βάσιμων συμπερασμάτων, από τα οποία μπορεί κάνεις να προχωρήσει στην αντικειμενική σύγκριση των διαφορετικών μοντέλων κεραίας.

Για την εξαγωγή των τελικών συντεταγμένων των κόμβων του ολικού πλέγματος για το μοντέλο συνδυασμένου σφάλματος, ακολουθείται η ίδια διαδικασία με τα προηγούμενα σφάλματα, τοποθετώντας παράλληλα τις κατάλληλες ονομασίες στις αντίστοιχες μεταβλητές εντός του κώδικα. Παρακατω θα ακολουθήσουν η Εικόνα 14 και η Εικόνα 15, οι οποίες αποτυπώνουν το πλέγμα της κεραίας στον τρισδιάστατο χώρο υπό την επήρεια του συνδυασμένου σφάλματος τόσο για το μοντέλο ομοιόμορφου πλέγματος όσο και για το μοντέλο πύκνωσης. Αξίζει να αναφερθεί ότι θα μπορούσε να γίνει αντίστοιχη αποτύπωση και για τα μοντελα των προηγούμενων σφαλμάτων, ωστόσο για λογούς αποφυγής της μακρυγορίας, δεν πραγματοποιήθηκε. Υπογραμμίζεται ότι εντός του κώδικα υπάρχουν κατάλληλες εντολές αποτύπωσης των παραπάνω διαγραμμάτων για όλα τα προς εξέταση μοντελα, με αποτέλεσμα σε περίπτωση που χρειαστεί να παρατηρηθεί εκτενώς ένα διάγραμμα να απαιτείται η εκτέλεση του του κώδικα.



Εικόνα 14: Ομοιόμορφο πλέγμα μοντέλου κεραίας συνδυασμένου σφάλματος (step1=85 &step2=18) για είσοδο εσφαλμένης γωνίας step5=0.5°



Εικόνα 15: Μοντέλο συνδυασμένου σφάλματος κεραίας με πύκνωση πλέγματος (step1=40 & step2=2) για είσοδο εσφαλμένης γωνίας step5=0.5°

2.3 ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΒΡΑΧΙΟΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Στην παρούσα ενότητα θα αναλυθεί η διαδικασία σχεδίασης των βραχιόνων της κατασκευής, κάνοντας χρήση του μαθηματικού εργαλείου Excel Solver. Κατά την πραγματοποίηση του σχεδιασμού ακολουθούνται συγκεκριμένες προδιάγραφες, οι οποίες αναφέρονται στο σφάλμα RMS που επιτρέπεται να έχει ένας βραχίονας. Πιο αναλυτικά το RMS (Root Mean Square error) είναι ένα σφάλμα που στην συγκεκριμένη περίπτωση, χαρακτηρίζει την μετατόπιση των κόμβων ενός βραχίονα. Ουσιαστικά το ίδιο αποτελεί μέτρο σύγκρισης μεταξύ ενός ιδανικού και ενός εσφαλμένου μοντέλου, λαμβάνοντας υπόψιν τόσο τις μετατοπίσεις όσο και τον αριθμό των κόμβων που διακριτοποιούν τα δυο μοντέλα. Υπογραμμίζεται ότι ο αριθμός των κόμβων είναι ίδιος και για τις δυο περιπτώσεις, ενώ η βασική διαφορά παρουσιάζεται στις μετατοπίσεις τους. Για την αποφυγή της σύγχυσης εννοιών σημειώνεται ότι στην συγκεκριμένη περίπτωση γίνεται σύγκριση μεταξύ δυο μοντέλων βραχιόνων και όχι πλεγμάτων, γεγονός που θα πραγματοποιηθεί σε άλλο κεφάλαιο (4.1). Επίσης υπενθυμίζεται ότι οι βραχίονες μοντελοποιούνται από εξισώσεις παραβολών σε ένα επίπεδο, με αποτέλεσμα να αρκεί, για την σχεδίαση τους, η χρήση μόνο της εισόδου step1, η οποία πρακτικά πραγματοποιεί την διακριτοποίηση τους σε κατάλληλους κόμβους.

Στην βιβλιογραφία συναντάται ως «RMSE» , ενώ ορίζεται και ως μέτρο σύγκρισης μεταξύ ενός θεωρητικού (προβλεπόμενου) και ενός πειραματικού μοντέλου, ενώ το ίδιο περιγράφεται από την εξής μαθηματική σχέση:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{\iota=1}^{N}(Predicted_i - Actual_i)^2}{N}} \tag{11}$$

Παρόλα αυτά, επειδή στην συγκεκριμένη περίπτωση, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, συγκρίνονται οι μετατοπίσεις των κόμβων δυο μοντέλων βραχιόνων, προτιμάται η χρήση του παρακατω ορισμού:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{\iota=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \tag{12}$$

Όπου :

$\hat{y}_1$, $\hat{y}_2$,…, $\hat{y}_n$: Οι μετατοπίσεις των κόμβων του ιδανικού (προβλεπόμενου) μοντέλου

y_1, y_2,…, y_n : Οι μετατοπίσεις των κόμβων του εσφαλμένου μοντέλου

n: Αριθμός κόμβων που διακριτοποιούν τον προς εξέταση βραχίονα

Πριν γίνει εκτενέστερη αναφορά στον τρόπο σχεδιασμού των βραχιόνων στο περιβάλλον του Excel, τονίζεται ότι στην σύγκριση (δηλαδή στο RMS) χρησιμοποιείται το μοντέλο βραχίονα **με εσφαλμένο εστιακό μήκος**. Με τον τρόπο αυτό λαμβάνεται, κατά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού, το ζητούμενο πεδίο τιμών του σφάλματος που θα επηρεάζει τελικά το εστιακό μήκος του αρχικού μοντέλου. Επίσης, δίνεται έμφαση στο γεγονός ότι συγκρίνονται μόνο οι συντεταγμένες z των δυο μοντέλων, καθώς όπως ήδη έχει αναφερθεί, η μεταβολή του εστιακού μήκους δεν επηρεάζει τις συντεταγμένες x,y[32] των κόμβων που διακριτοποιούν έναν βραχίονα.

[32] Επομένως δεν επηρεάζει ούτε την ακτινική συντεταγμένη r, η οποία παρουσιάζεται ως R_RIBS στο excel και για τα δυο μοντέλα.

Σε πρώτο στάδιο επιλέγεται το επιθυμητό πλέγμα για ένα **ιδανικό μοντέλο** και εξάγονται οι συντεταγμένες του στο περιβάλλον του MATLAB, ακριβώς έτσι όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια. Επισημαίνεται, ότι στο παρών σημείο αρκεί η εύρεση μόνο των συντεταγμένων των βραχιόνων, καθώς σε αυτούς περιορίζεται η παρούσα ανάλυση. Είναι γεγονός ότι όλοι οι βραχίονες του ιδανικού μοντέλου έχουν κοινή γεωμετρία, ενώ το μόνο που τους διαφοροποιεί είναι η γωνιακή συντεταγμένη «theta» του κυλινδρικού συστήματος, η οποία ουσιαστικά τους κατανέμει στην περιφέρεια ενός αρχικού κύκλου[33]. Επομένως, γίνεται ευκολά αντιληπτό ότι οι κυλινδρικές συντεταγμένες r,z θα είναι ίδιες και για τους τριάντα (30) βραχίονες του ιδανικού μοντέλου. Για τον λόγο αυτό αρκεί η σχεδίαση ενός βραχίονα, όπως είναι προφανές το τελικό εξαγόμενο διάστημα τιμών για το σφάλμα εστιακού μήκους θα ισχύει και για τους υπολοίπους.

Επισημειώνεται, ότι θα εξεταστούν διαφορά πλέγματα έτσι ώστε να μπορεί να γίνει ορθός έλεγχος σύγκλισης των τελικών αποτελεσμάτων, ενώ λόγω του περιορισμού της ενασχόλησης μας στους βραχίονες της κατασκευής αρκεί μόνο η μεταβολή της διακριτοποίησης του εκάστοτε βραχίονα (step1), χωρίς να μας απασχολεί η κατανομή των κόμβων στο πανί (step2)[34]. Επίσης, γίνεται κατανοητό ότι εφόσον ο σχεδιασμός επηρεάζεται μόνο από το step1, δεν έχει σημασία αν εξετάζεται μοντέλο ομοιόμορφου πλέγματος ή αντίστοιχου πύκνωσης,

[33] Για μεγαλύτερη παραστατικότητα, ο σκελετός της κεραίας προέκυψε από την αντιγραφή ενός βραχίονα και την κατάλληλη τοποθέτηση των υπόλοιπων 29 ομοιών αντιγράφων του στην περιφέρεια ενός αρχικού κύκλου.

[34] Ουσιαστικά οποιαδήποτε διακριτοποίηση ακολουθεί το πανί, δεν επηρεάζει τον σχεδιασμό, καθώς ο ίδιος αναφέρεται στους βραχίονες αυτούς καθαυτούς. Για ελάττωση του χρόνου επίλυσης επιλέγεται αυθαίρετα μικρή διακριτοποίηση πχ. step2=3.

καθώς τα ιδιά διαφοροποιούνται μόνο ως προς την διακριτοποίηση της ανακλαστικής επιφάνειας[35].

Μεταβαίνοντας πλέον στο υπολογιστικό φύλλο του Excel, εισάγονται αρχικά οι ακτινικές (r) και οι αξονικές (z) συντεταγμένες των κόμβων που διακριτοποιούν έναν βραχίονα ιδανικού μοντέλου. Η σχεδίαση ξεκινάει με την δοκιμή ενός απλού ιδανικού μοντέλου, το οποίο χαρακτηρίζεται από διακριτοποίηση τύπου step1=5, δηλαδή πέντε (5) πεπερασμένα στοιχεία, άρα έξι (6) κόμβοι κατά μήκος του βραχίονα. Για να μπορέσει να ξεκινήσει η διαδικασία επίλυσης ορίζεται αυθαίρετα ένα τυχαίο σφάλμα (error), το οποίο στην περίπτωση μας επιλέχθηκε ίσο με το μηδέν (0). Στην συνέχεια καθορίζεται το εστιακό μήκος του βραχίονα ως $f = 1078 + error$, το οποίο στο πέρας της επίλυσης που θα πραγματοποιηθεί με χρήση του Excel Solver, θα λάβει μια τελική εσφαλμένη τιμη. Επακόλουθα, καταγράφονται οι εσφαλμένες αξονικές (z) συντεταγμένες , η οποίες προκύπτουν τοποθετώντας το νέο εσφαλμένο εστιακό μήκος που υπολογίστηκε παραπάνω, στην εξίσωση (1) που χαρακτηρίζει τον βραχίονα. Με τον τρόπο αυτό, έχουν συλλεχθεί πια, υπό κοινή διακριτοποίηση, οι αξονικές συντεταγμένες τόσο του ιδανικού (Z_RIBS) όσο και του εσφαλμένου (Z_RIBS_K) μοντέλου, με αποτέλεσμα να μπορεί πια να υπολογιστεί το RMS του βραχίονα, στο οποίο πέρα από τα παραπάνω θα τοποθετηθεί επίσης ως μεταβλητή, και ο αριθμός των κόμβων διακριτοποίησης (n), οι οποίοι στην συγκεκριμένη περίπτωση ισούνται με έξι (6).

[35] Χωρίς καμία βλάβη της γενικότητας επιλέγεται ο σχεδιασμός να ακολουθεί ομοιόμορφο πλέγμα.

Στην Εικόνα 16 που ακολουθεί, παρατηρεί κάνεις ότι οι συντεταγμένες των δυο μοντέλων ταυτίζονται, λόγω του μηδενικού σφάλματος που έχει εισαχθεί στο πρώτο κελί (error). Η συγκεκριμένη ταύτιση έχει ως αποτέλεσμα την παρουσίαση μηδενικού σφάλματος RMS, καθώς δεν παρουσιάζεται κάποια διαφορά μεταξύ του ιδανικό και του εσφαλμένου μοντέλου.

step1=5

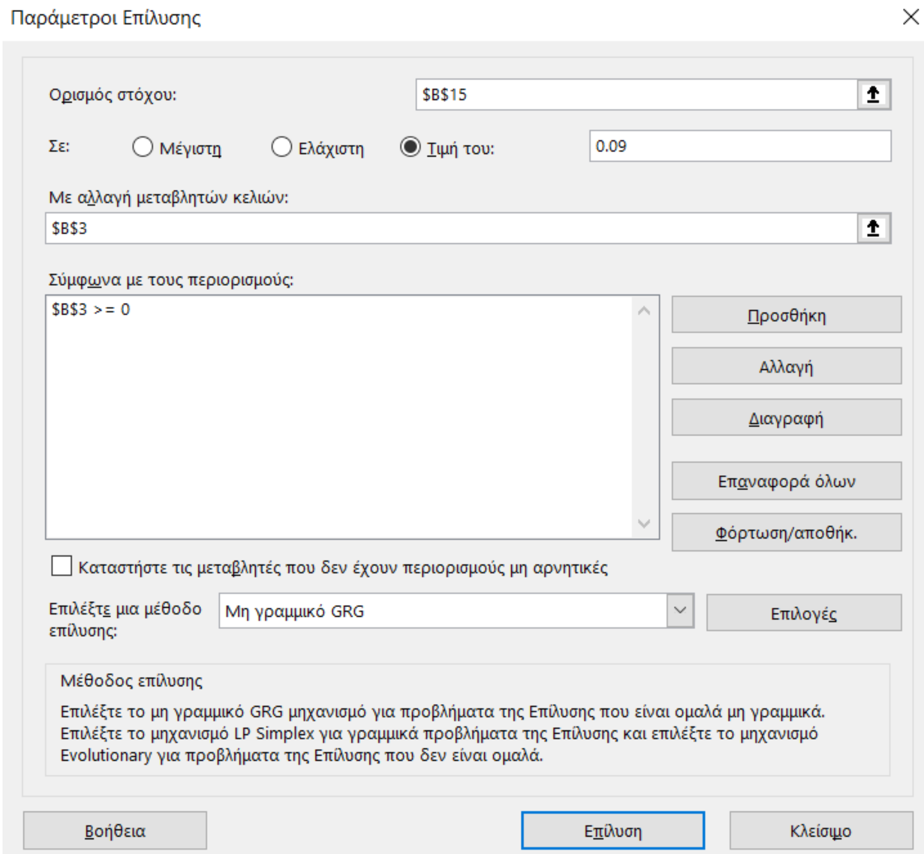
error	0					
f	1078					
No.Points	6					
R_RIBS	90.5	278.603553	464.6550543	647.4731	826.1352714	1000
Z_RIBS	1.899408627	18.00091366	50.07057502	97.22204	158.2791017	231.9109462
Z_RIBS_K	1.899408627	18.00091366	50.07057502	97.22204	158.2791017	231.9109462
RMS	2.92059E-13					

Εικόνα 16: Αποτελέσματα σχεδίασης βραχίονα (πριν την επίλυση με χρήση Solver)

Στο παρών σημείο επισημαίνεται, από βιβλιογραφία, ότι ο κάθε βραχίονας με εσφαλμένο εστιακό μήκος πρέπει να λαμβάνει τιμη RMS εντός του διαστήματος [0.09÷0.11] mm. Για να ικανοποιηθεί η παραπάνω προδιαγραφή, αρκεί να εξεταστούν οι ακραίες τιμές του RMS, βάσει των οποίων θα εξαχθούν τα σφάλματα (error) εστιακού μήκους που τους αντιστοιχούν. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται στο παράθυρο του Solver (Εικόνα 17), πάνω στο οποίο ορίζονται οι παράμετροι επίλυσης.

Πιο συγκεκριμένα, ορίζεται αρχικά η τιμη στόχος, η οποία στην συγκεκριμένη περίπτωση αντιστοιχεί στο RMS του βραχίονα και πρέπει να ισούται με 0.09 ή 0.11 mm. Στην συνέχεια, δηλώνεται η μεταβλητή του προβλήματος, δηλαδή το σφάλμα του εστιακού μήκους (error), το οποίο στο πέρας της επίλυσης θα μεταβάλλει την τιμη του με τέτοιον τρόπο έτσι ώστε να ικανοποιείται η τιμη στόχος. Παράλληλα με τα παραπάνω, καθορίζεται επίσης και ο περιορισμός του προσήμου του σφάλματος, σε περίπτωση που ο χρήστης θελήσει να ελέγξει την επίδραση τόσο θετικών όσο και αρνητικών σφαλμάτων. Υπογραμμίζεται ότι στον συγκεκριμένο σχεδιασμό έχουν εξαχθεί εσφαλμένα εστιακά μήκη με χρήση τόσο θετικών όσο και αρνητικών σφαλμάτων, για λόγους ακρίβειας και ορθότητας των τελικών αποτελεσμάτων. Ουσιαστικά τα αρνητικά σφάλματα αποδίδουν εστιακά μήκη με τιμές μικρότερες (<) των 1078mm ενώ αντίστοιχα θετικά σφάλματα οδηγούν σε εστιακά μήκη μεγαλύτερα (>) των 1078 mm.

Στην Εικόνα 17 που ακολουθεί, παρατηρεί κάνεις το παράθυρο επίλυσης του Solver για το προαναφερθέν μοντέλο με 6 κόμβους διακριτοποίησης (step1=5), υπό την θεώρηση θετικών σφαλμάτων εστιακού μήκους. Μετα την πραγματοποίηση της επίλυσης, θα εμφανιστεί ένα νέο παράθυρο που θα επιβεβαιώνει την εύρεση λύσης για τις συγκεκριμένες παραμέτρους, ενώ παράλληλα θα μεταβάλλει κατάλληλα το κελί του σφάλματος εστιακού μήκους (error), έτσι ώστε το RMS που προκύπτει να ταυτίζεται με την τιμη στόχου που έχει οριστεί.



Εικόνα 17: Παράμετροι επίλυσης κατά την χρήση Excel Solver

Εφαρμόζοντας την ίδια λογική, μεταβάλλονται κατάλληλα οι παράμετροι επίλυσης έτσι ώστε να εξαχθούν, για το συγκεκριμένο μοντέλο, οι εσφαλμένες συντεταγμένες που οδηγούν σε RMS=0.09mm ή RMS=0.11mm. Επισημαίνεται για ακόμη μια φορά, ότι η επίλυση πραγματοποιήθηκε με χρήση τόσο θετικών όσο και αρνητικών σφαλμάτων εστιακού μήκους, ενώ τα τελικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στις παρακατω εικόνες.

step1=5		MIN RMS				
error	0.787849131					
f	1078.787849					
No.Points	6					
R_RIBS	90.5	278.603553	464.6550543	647.4731	826.1352714	1000
Z_RIBS	1.899408627	18.00091366	50.07057502	97.22204	158.2791017	231.9109462
Z_RIBS_K	1.898021471	17.98776742	50.034008	97.15104	158.163509	231.7415794
RMS	0.09					

		MAX RMS			
0.96308313					
1078.963083					
6					
90.5	278.603553	464.6551	647.4731	826.1353	1000
1.899408627	18.00091366	50.07058	97.22204	158.2791	231.9109
1.897713214	17.98484604	50.02588	97.13526	158.1378	231.7039
0.11					

Εικόνα 18: Αποτελέσματα σχεδίασης βραχίονα με step1=5 & θεώρηση θετικών σφαλμάτων εστιακού μήκους

step1=5		MIN RMS				
error	-0.78669922					
f	1077.213301					
No.Points	6					
R_RIBS	90.5	278.603553	464.6550543	647.4731	826.1352714	1000
Z_RIBS	1.899408627	18.00091366	50.07057502	97.22204	158.2791017	231.9109462
Z_RIBS_K	1.900795783	18.0140599	50.10714204	97.29304	158.3946945	232.080313
RMS	0.09					

		MAX RMS			
-0.96136537					
1077.038635					
6					
90.5	278.603553	464.6551	647.4731	826.1353	1000
1.899408627	18.00091366	50.07058	97.22204	158.2791	231.9109
1.90110404	18.01698129	50.11527	97.30882	158.4204	232.118
0.11					

Εικόνα 19: Αποτελέσματα σχεδίασης βραχίονα με step1=5 & θεώρηση αρνητικών σφαλμάτων εστιακού μήκους

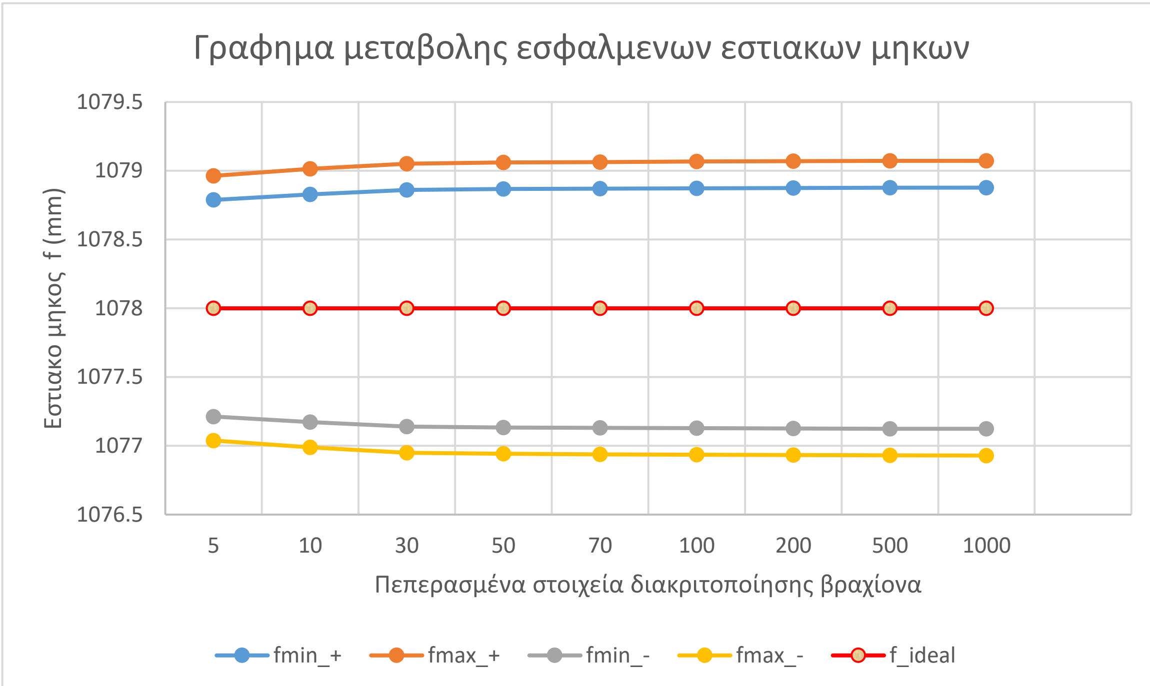
Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι το παραπάνω μοντέλο μικρής διακριτοποίησης (6 κόμβοι) είναι ενδεικτικό και συμβάλλει μόνο στην κατανόηση και εμπέδωση της φιλοσοφίας του σχεδιασμού στο περιβάλλον του EXCEL. Για τον λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η εξέταση μοντέλων μεγαλύτερης διακριτοποίησης, τα οποία προσομοιώνουν με καλύτερη ακρίβεια τον πραγματικό βραχίονα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η ακριβέστερη ανάλυση πραγματοποιείται με χρήση ενός μοντέλου διακριτοποίησης step1=1000. Σύμφωνα με αυτό, το μήκος της καμπύλης του βραχίονα, το οποίο από (2) ισούται με 944.25 mm , χωρίζεται σε 1000 ισόποσα κομμάτια, με αποτέλεσμα να προκύπτουν τελικά πεπερασμένα στοιχεία με μήκος πλευράς μικρότερη (<) του ενός (1) χιλιοστού (mm). Η ακρίβεια που παρέχει το συγκεκριμένο μοντέλο θεωρείται ικανοποιητική, όπως θα εξηγηθεί και σε επόμενο κεφάλαιο, ενώ εφόσον ο χρήστης το επιθυμεί, μπορεί να δοκιμάσει ακόμα μεγαλύτερες διακριτοποιήσεις, οι οποίες ωστόσο απαιτούν πολύ μεγαλύτερους χρόνους επίλυσης.

Ακολουθώντας την ίδια λογική με το μοντέλο διακριτοποίησης step1=5, που αναλύθηκε προηγουμένως, εξάγονται με κατάλληλη χρήση του Excel Solver τα εσφαλμένα εστιακά μήκη για μοντέλα μεγαλύτερης διακριτοποίησης. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1), κατηγοριοποιούνται κατάλληλα τα εξαγόμενα εστιακά μήκη, ανάλογα με το μοντέλο διακριτοποίησης, το RMS και το σφάλμα εστιακού μήκους που τα περιγράφει.

	ΘΕΤΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ		**ΑΡΝΗΤΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ**	
	RMS=0.09mm	**RMS=0.11mm**	**RMS=0.09mm**	**RMS=0.11mm**
Step1	**f_{min}**	**f_{max}**	**f_{max}**	**f_{min}**
5	**1078.787849**	**1078.963**	**1077.213301**	**1077.039**
10	**1078.829378**	**1079.014**	**1077.171897**	**1076.988**
30	**1078.86084**	**1079.052**	**1077.140533**	**1076.95**
50	**1078.867552**	**1079.061**	**1077.133842**	**1076.942**
70	**1078.870474**	**1079.064**	**1077.130929**	**1076.938**
100	**1078.872684**	**1079.067**	**1077.128726**	**1076.935**
200	**1078.875283**	**1079.07**	**1077.126136**	**1076.932**
500	**1078.876854**	**1079.072**	**1077.124571**	**1076.93**
1000	**1078.877379**	**1079.073**	**1077.124047**	**1076.93**

Πίνακας 1: Αποτελέσματα και κατηγοριοποίηση εστιακών μηκών

Παρακατω θα ακολουθήσει ένα βοηθητικό διάγραμμα της Εικόνα 20Εικόνα 20: Γράφημα μεταβολής εσφαλμένων εστιακών μηκών συναρτήσει της διακριτοποίησης του βραχίονα το οποίο θα περιέχει όλες τις παραπάνω τιμές και θα περιγράφει ουσιαστικά την μεταβολή του εκάστοτε εστιακού μήκους συναρτήσει της αύξησης των πεπερασμένων στοιχείων που διακριτοποιούν τον βραχίονα. Αρχικα παρατηρεί κάνεις ότι τα θετικά σφάλματα παράγουν τιμές εστιακού μήκους μεγαλύτερες του ιδανικού (1078 mm) ενώ αντίστοιχα τα αρνητικά σφάλματα δίνουν αντίστοιχα τιμές μικρότερες από 1078 mm. Ουσιαστικά αναμεσά στις δυο άνω καμπύλες, οι οποίες αναπαρίστανται με πορτοκαλί και μπλε χρώμα αντίστοιχα, βρίσκεται η περιοχή που μπορεί να λάβει τιμές το τελικό εσφαλμένο εστιακό μήκος του βραχίονα, έτσι ώστε ο ίδιος να χαρακτηρίζεται από RMS=[0.09÷0.11]mm, δεδομένου ότι επικρατούν θετικά σφάλματα (error) και ότι είναι γνωστός ο αριθμός των πεπερασμένων στοιχείων διακριτοποίησης. Ομοίως οι δυο κατώτερες καμπύλες με χρώμα γκρι και κίτρινο αντίστοιχα, εμπεριέχουν την περιοχή τιμών του εστιακού μήκους για το ζητούμενο πεδίο τιμών του RMS του βραχίονα, υπό την θεώρηση αρνητικών σφαλμάτων.



Εικόνα 20: Γράφημα μεταβολής εσφαλμένων εστιακών μηκών συναρτήσει της διακριτοποίησης του βραχίονα

Όπως γίνεται αντιληπτό το πεδίο τιμών που οφείλει να λάβει το εστιακό μήκος έτσι ώστε να ικανοποιείται η προδιαγραφή του RMS στον βραχίονα, είναι συγκεκριμένο και μεταβάλλεται με την αλλαγή της διακριτοποίησης. Για τον λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η εξαγωγή του μέγιστου δυνατού διαστήματος τιμών του εσφαλμένου εστιακού μήκους, για το οποίο θα ισχύουν οι προδιάγραφες του RMS ανεξάρτητα με την διακριτοποίηση του βραχίονα. Ουσιαστικά αναζητείται το διάστημα τιμών το οποίο θα μπορεί να εφαρμοσθεί, δεδομένων των προδιαγραφών, από κοινού σε όλα τα προς εξέταση μοντελα διακριτοποίησης. Εστιάζοντας στα αποτελέσματα των θετικών σφαλμάτων θα αντιληφθεί κάνεις ότι το συγκεκριμένο διάστημα δημιουργείται μεταξύ της μέγιστης τιμής του εστιακού μήκους που προσδίδει RMS=0.09mm (κάτω άκρο) και της ελάχιστης τιμής του εστιακού μήκους που περιγράφει RMS=0.11mm (άνω όριο).

Βάσει του Πίνακα 1 το συγκεκριμένο διάστημα είναι το εξής :

$$f_{+} = [1078.877\,, 1078.963] \text{ (mm)}$$

$$\text{error}_{+} = [0.8773\,, 0.963\,] \text{ (mm)}$$

Με όμοιο τρόπο παρατηρώντας τα αποτελέσματα των αρνητικών σφαλμάτων, γίνεται εύκολα κατανοητό ότι το ζητούμενο διάστημα περιλαμβάνεται μεταξύ της ελάχιστης τιμής του εστιακού μήκους που δίνει RMS=0.09mm και της μέγιστης τιμής του εστιακού μήκους που αντιστοιχεί σε RMS=0.11mm. Βασιζόμενοι για ακόμη μια φορά στον Πίνακα 1 το διάστημα του εστιακού μήκους που αντιστοιχεί σε αρνητικά σφάλματα προκύπτει να είναι το παρακατω :

$$f_{-} = [\,1077.039\,, 1077.124] \text{ (mm)}$$

$$\text{error}_{-} = -\,[0.876\,, 0.961] \text{(mm)}$$ [36]

Παρόλα αυτά, για λογούς απλοποίησης είναι επιθυμητό το τελικό διάστημα να ταυτίζεται τόσο για θετικά όσο και για αρνητικά σφάλματα. Για τον λόγο αυτό ακολουθείται μια κατάλληλη σύνδεση των δυο διαστημάτων, τέτοια ώστε τελικά να επιλέγεται το μεγαλύτερο κοινό υποδιάστημα. Επικεντρώνοντας στις ακραίες τιμές του error_{+} και του error_{-}, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η ελάχιστη τιμη των θετικών σφαλμάτων (0.8773 mm) και η απόλυτη τιμη του ελάχιστου των αρνητικών σφαλμάτων (0.961 mm), θα αποτελούν τα άκρα στα οποία θα βασιστεί το νέο τροποποιημένο διάστημα του εστιακού μήκους των βραχιόνων. Όπως ήδη έχει αναφερθεί, το συγκεκριμένο διάστημα θα ισχύει τόσο για θετικά όσο και για αρνητικά σφάλματα, ενώ θα ικανοποιεί και τις προδιάγραφες του RMS για οποιοδήποτε πλέγμα (έως και step1=1000 που αναλύθηκε παραπάνω).

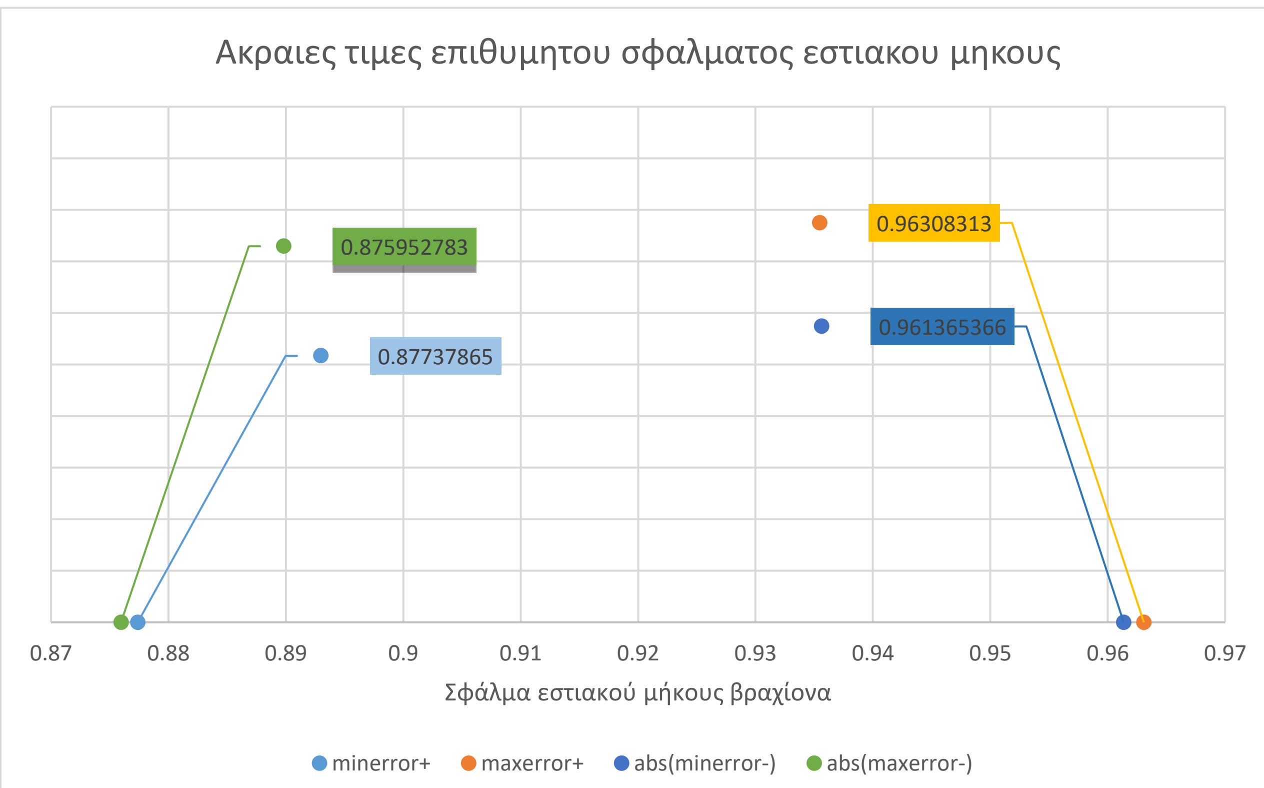
---

[36] Σημειώνεται ότι τα διαστήματα των σφαλμάτων (error) έχουν προκύψει από κατάλληλη αφαίρεση των εσφαλμένων εστιακών μηκών από το αντίστοιχο ιδανικό.

Βάσει όλων των παραπάνω ισχύει τελικά το εξής :

$$\textbf{Focal length} = \textbf{f} = \textbf{1078} \pm [\textbf{0.87737865}, \textbf{0.961365366}](\textbf{mm}) \qquad (13)$$

Παρακατω ακολουθεί ένα ενδεικτικό διάγραμμα, το οποίο αποτυπώνει τις θέσεις των ακραίων τιμών των προαναφερθέντων διαστημάτων για θετικά και αρνητικά σφάλματα. Σημειώνεται, ότι για να μπορέσει να υπάρξει αντιστοίχιση μεταξύ των δυο, λαμβάνεται υπόψιν η απόλυτη τιμη των αρνητικών σφαλμάτων, έτσι ώστε όλες οι τιμές να αναχθούν στον θετικό άξονα. Όπως γίνεται ευκολά αντιληπτό, το μεγαλύτερο κοινό υποδιάστημα είναι το [0.87737865 , 0.961365366], γεγονός που επιβεβαιώνει την ανάλυση που προηγήθηκε.



Εικόνα 21: Αποτύπωση ακραίων τιμών επιθυμητού σφάλματος εστιακου μηκους βραχιοπνων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ, ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ RMS ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Στο παρών κεφάλαιο πραγματοποιείται σε πρώτο στάδιο ο υπολογισμός του σφάλματος RMS της επιφανείας της κεραίας, ενώ ταυτόχρονα αναλύεται η μέθοδος προβολής (projection), η οποία χρησιμοποιείται για την σύνδεση των κατακόρυφων συντεταγμένων των μοντέλων που θα συγκριθούν στην μαθηματική έκφραση του RMS. Στην συνέχεια γινεται αναφορά και σε ορισμένες θεωρίες βελτιστοποίησης των τελικών επιφανειακών σφαλμάτων.

3.1.1 ΜΕΘΟΔΟΣ PROJECTION – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ RMS ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Όπως ήδη έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο (2.3), το RMS (Root Mean Square error) είναι ένα σφάλμα το οποίο στην παρούσα εργασία χαρακτηρίζει τις μετατοπίσεις των κόμβων. Υπενθυμίζεται ότι στην περίπτωση της σχεδίασης των βραχιόνων της κατασκευής, το RMS εμπεριείχε μόνο τις κομβικες συντεταγμένες του προς εξέταση βραχίονα. Αντιθέτως, στο παρών κεφάλαιο είναι επιθυμητή η εξαγωγή και ο σχολιασμός της συμπεριφοράς ολόκληρου του πλέγματος υπό την επήρεια συγκεκριμένων σφαλμάτων, με αποτέλεσμα να κρίνεται αναγκαία η χρήση του RMS της επιφάνειας της κεραίας, το οποίο εισάγει στον τύπο (12) τις συντεταγμένες όλων των κόμβων του ολικού πλέγματος.

Υπενθυμίζεται ότι ο σχεδιασμός των βραχιόνων βασίστηκε στο σφάλμα εστιακού μήκους, το οποίο επιδρά μόνο στις αξονικές (z) συντεταγμένες των κόμβων του εκάστοτε βραχίονα. Το γεγονός αυτό επεξηγεί ότι με τον όρο κομβική μετατόπιση στην περίπτωση του RMS ενός βραχίονα, υπονοείται η αξονική μετατόπιση του συγκεκριμένου κόμβου στην διεύθυνση z. Παρόλα αυτά, ο υπολογισμούς RMS της επιφανείας πραγματοποιείται για όλα τα μοντελα σφαλμάτων, με αποτέλεσμα στις περιπτώσεις που επικρατεί μεταβολή και των ακτινικών συντεταγμένων, να μην επαρκεί η σύγκριση μόνο των αξονικών (z) συντεταγμένων μεταξύ του ιδανικού και του εσφαλμένου μοντέλου. Ουσιαστικά, για τον υπολογισμό του ολικού RMS[37] πρέπει να εισαχθούν στον τύπο (12), όλες οι κομβικες συντεταγμένες τόσο του ιδανικού όσο και του προς εξέταση εσφαλμένου μοντέλου, ενώ όπως γίνεται εύκολα κατανοητό, ο όρος n θα περιλαμβάνει των αριθμό όλων των κόμβων του πλέγματος.

Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει μια εκτενέστερη επεξήγηση του όρου «ιδανικό μοντέλο», έτσι ώστε να μπορέσει η παρούσα ανάλυση να γίνει απολύτως κατανοητή. Πιο συγκεκριμένα, όπως έχει οριστεί και σε προηγούμενες παραγράφους, η έννοια του ιδανικού μοντέλου κεραίας χαρακτηρίζει την κατασκευή, στην οποία το πανί του αναμεταδότη έχει σχεδιαστεί με χρήση ευθειών και ταυτόχρονα το ολικό πλέγμα δεν εμπεριέχει σφάλματα. Παρόλα αυτά, πέρα από το ιδανικό μοντέλο κεραίας, επικρατεί και το μοντέλο «ιδανικής ομπρέλας», το οποίο μοντελοποιεί το πανί (ανάμεσα σε δυο βραχίονες) με χρήση κατάλληλων

[37] Ισοδύναμη ονομασία με RMS επιφανείας

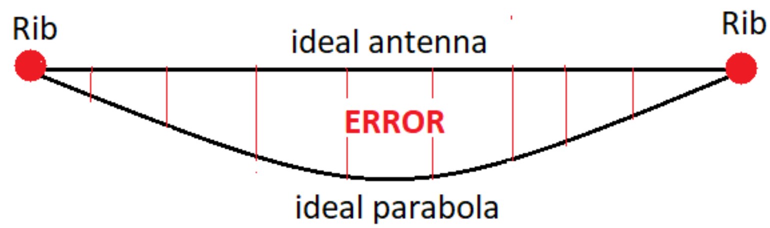
καμπύλων, ενώ όπως ακριβώς και προηγουμένως δεν εμπεριέχονται επιπρόσθετα σφάλματα. Είναι αξιοσημείωτο ότι το μοντέλο ιδανικής κεραίας και το αντίστοιχο της ιδανικής ομπρέλας, διαφέρουν μόνο ως προς την μοντελοποίηση της ανακλαστικής επιφάνειας ανάμεσα σε δυο διαδοχικούς βραχίονες, με αποτέλεσμα οι κομβικες συντεταγμένες των βραχιόνων και στις δυο περιπτώσεις να ταυτίζονται. Το γεγονός αυτό αιτιολογεί ότι για την σχεδίαση των βραχιόνων μέσω του RMS, αρκεί η σύγκριση των αξονικών συντεταμένων μεταξύ της ιδανικής κεραίας[38] και του εσφαλμένου μοντέλου εστιακού μήκους, ενώ δεν απαιτείται η ανάλυση της ιδανικής ομπρέλας καθώς δεν γίνεται αναφορά στην συμπεριφορά των κόμβων της ανακλαστικής επιφάνειας.

Επιστρέφοντας στην ανάλυση του RMS της επιφανείας, είναι αρκετά ενδιαφέρον να παρατηρήσει κάνεις το σφάλμα μεταξύ των μοντέλων της ιδανικής κεραίας και της ιδανικής ομπρέλας, το οποίο όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οφείλεται καθαρά και μόνο στον τρόπο σχεδίασης της επιφάνειας ανάμεσα στους διαδοχικούς βραχίονες. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία, το ολικό σφάλμα RMS των δυο παραπάνω μοντέλων πρέπει να ισούται με RMS=0.45mm. Παρακάτω ακολουθεί η Εικόνα 22, η οποία αποτυπώνει την μοντελοποίηση του «πανιού» ανάμεσα σε δυο κόμβους (με κόκκινες κουκίδες) διαδοχικών βραχιόνων, τόσο για το μοντέλο ιδανικής κεραίας όσο και για το αντίστοιχο της ιδανικής ομπρέλας. Γίνεται κατανοητό, ότι το επιμέρους σφάλμα[39] ελαχιστοποιείται όσο ο κόμβος του «πανιού» πλησιάζει τον αντίστοιχο του βραχίονα και μηδενίζει όταν ταυτιστεί με αυτόν, ενώ μεγιστοποιείται στην μέση της απόστασης των δυο βραχιόνων. Σημειώνεται ότι για τον τελικό υπολογισμό του RMS

[38] , η οποία όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως έχει ίδιες κομβικές συντεταγμένες βραχιόνων με το μοντέλο της ιδανικής παραβολής

[39] , το οποίο αναγράφεται ως ERROR στην Εικόνα 22

λαμβάνονται υπόψιν όλα τα επιμέρους σφάλματα, ανάμεσα στους κόμβους διαδοχικών βραχιόνων, και το αποτέλεσμα θεωρητικά πρέπει να ταυτίζεται με 0.45mm που αναφέρεται στην βιβλιογραφία.



Εικόνα 22: Μοντελοποίηση «πανιού» αναμεταδότη σε μοντέλο ιδανικής κεραίας και ιδανικής ομπρέλας

Όπως είναι λογικό, τα εσφαλμένα μοντελα ταυτίζονται με το αντίστοιχο της ιδανικής κεραίας όταν ο χρήστης πληκτρολογήσει μηδενικά σφάλματα στις εισόδους του κώδικα. Στην περίπτωση που τα σφάλματα δεν είναι μηδενικά, η τιμη του ολικού RMS μεταβάλλεται λόγω της σχετικής μετατόπισης των κόμβων των βραχιόνων, η οποία προσθέτει επιπλέον σφάλματα μαζί με το ήδη υπάρχων.

Για να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός του τελικού σφάλματος RMS της επιφανείας, χρησιμοποιείται η μέθοδος της προβολής (projection). Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, γνωρίζοντας τις συντεταγμένες x,y όλων των κόμβων ενός πλέγματος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση (1), η οποία με κατάλληλη αναγωγή σε καρτεσιανές συντεταγμένες απλοποιείται στον τύπο :

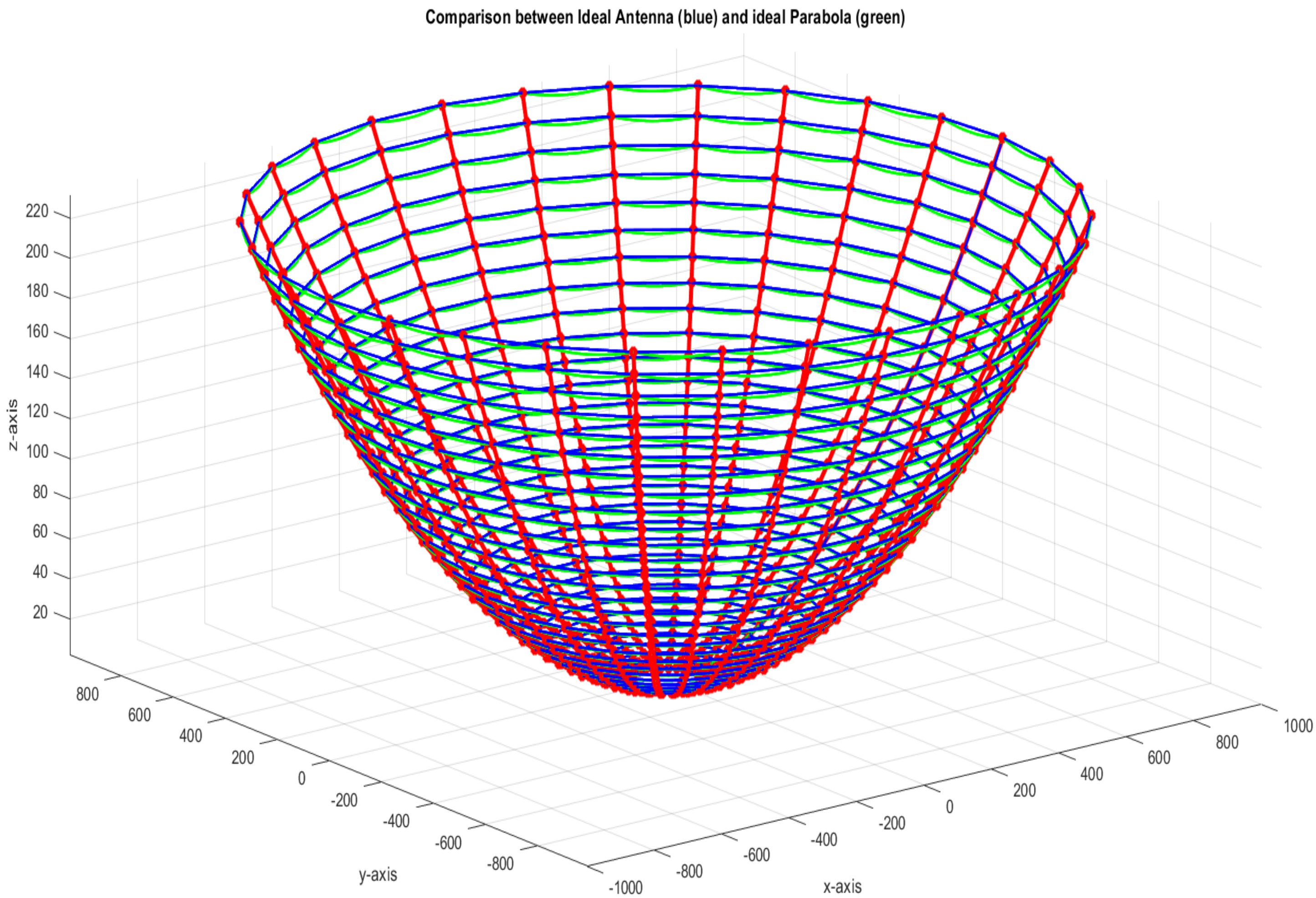
$$z = \frac{x^2 + y^2}{4 \times 1078} \quad (14)$$

Τοποθετώντας τις συντεταγμένες x,y των κόμβων ενός πλέγματος στην εξίσωση (14), εξάγεται η συντεταγμένη z κάθε κόμβου του μοντέλου της ιδανικής ομπρέλας που χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο πλέγμα. Σημειώνεται ότι το μοντέλο ιδανικής ομπρέλας είναι μοναδικό για κάθε μοντέλο κεραίας (εσφαλμένο ή ιδανικό), ενώ οι συντεταγμένες x,y των κόμβων του μοντέλου ομπρέλας ταυτίζονται με τις αντίστοιχες των κόμβων της κεραίας. Η μόνη διαφορά παρουσιάζεται στην αξονική συντεταγμένη z των κόμβων της ανακλαστικής επιφάνειας των δυο μοντέλων[40], καθώς στην μια περίπτωση οι ίδιοι προέκυψαν από την κατασκευή κατάλληλων ευθειών ενώ στην περίπτωση της ομπρέλας προέκυψαν απευθείας από την (14), η οποία δημιουργεί την καμπυλωτή μορφή του «πανιού», όπως φαίνεται και στην Εικόνα 22. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης μόνο των αξονικών κομβικών συντεταμένων του προς εξέταση μοντέλου κεραίας με το μοντέλο ιδανικής παραβολής που του αντιστοιχεί, έτσι ώστε να υπολογιστεί τελικά το σφάλμα RMS της επιφανείας. Από γεωμετρική σκοπιά δεδομένου του πλέγματος κεραίας που εξετάζεται πραγματοποιείται προβολή (projection) του κάθε κόμβου στην εκάστοτε παραβολή που προκύπτει από την (14).

Για την βαθύτερη εμπέδωση όσων αναλυθήκαν παραπάνω, αποτυπώνονται ενδεικτικά τα πλέγματα της ιδανικής κεραίας και της αντίστοιχης ιδανικής ομπρέλας για εισόδους step1=30 & step2=25. Σημειώνεται ότι οι συγκεκριμένες εισόδοι είναι τυπικές και δεν χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του RMS παρά μόνο για την σύγκριση μεταξύ των μοντέλων της ιδανικής κεραίας και της ιδανικής ομπρέλας της. Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι στις εικόνες που θα

[40] Υπενθυμίζεται ότι οι παραβολές που μοντελοποιούν τους βραχίονες παραμένουν ίδιες τόσο για τα μοντελα κεραίας όσο και για τα μοντελα ιδανικών ομπρελών που τους αντιστοιχούν. Για τον λόγο αυτό, αρκούν να μελετηθούν μόνο οι διαφορές στις συντεταγμένες των κόμβων της ανακλαστικής επιφάνειας για τα δυο προαναφερθέντα μοντελα.

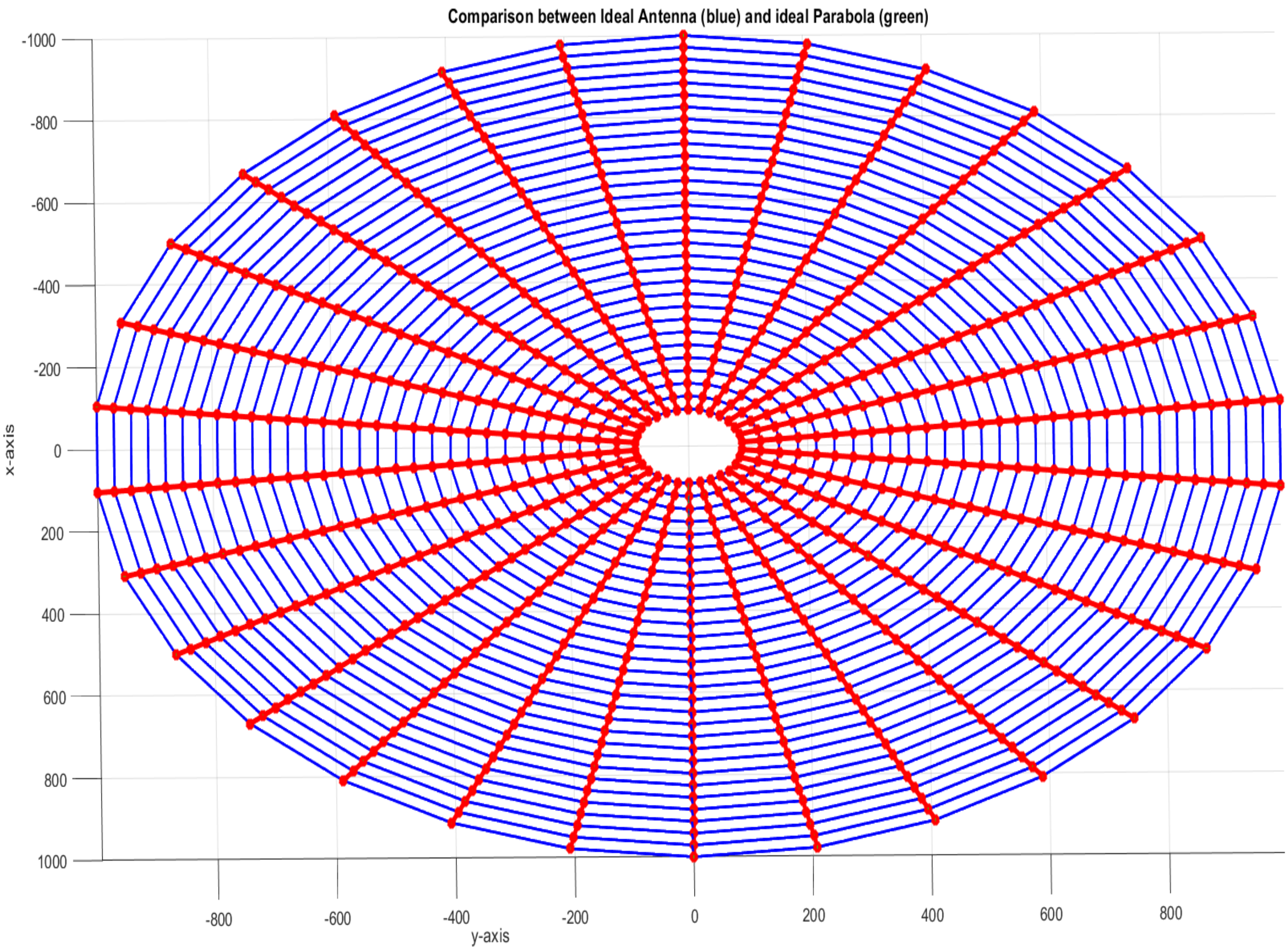
ακολουθήσουν, θα αποτυπώνονται μόνο οι βραχίονες και οι καμπύλες (ευθείες ή παραβολές) που μοντελοποιούν το πανί[41]. Πιο συγκεκριμένα οι βραχίονες της κατασκευής απεικονίζονται με χρήση κόκκινου χρώματος, για τις ευθείες του «πανιού» της ιδανικής κεραίας χρησιμοποιείται μπλε χρώμα, ενώ οι καμπύλες της ιδανικής ομπρέλας αποτυπώνονται με πράσινο χρώμα. Στην Εικόνα 23 παρουσιάζονται τα παραπάνω μοντέλα.



Εικόνα 23: Κοινή αποτύπωση πλεγμάτων ιδανικής κεραίας και ιδανικής παραβολής

[41] Ουσιαστικά δεν αποτυπώνονται κόμβοι ή πεπερασμένα στοιχεία, με σκοπό την στοχευμένη παρατήρηση της εικόνας και την εξαγωγή των κατάλληλων συμπερασμάτων που αναλυθήκαν προηγουμένως.

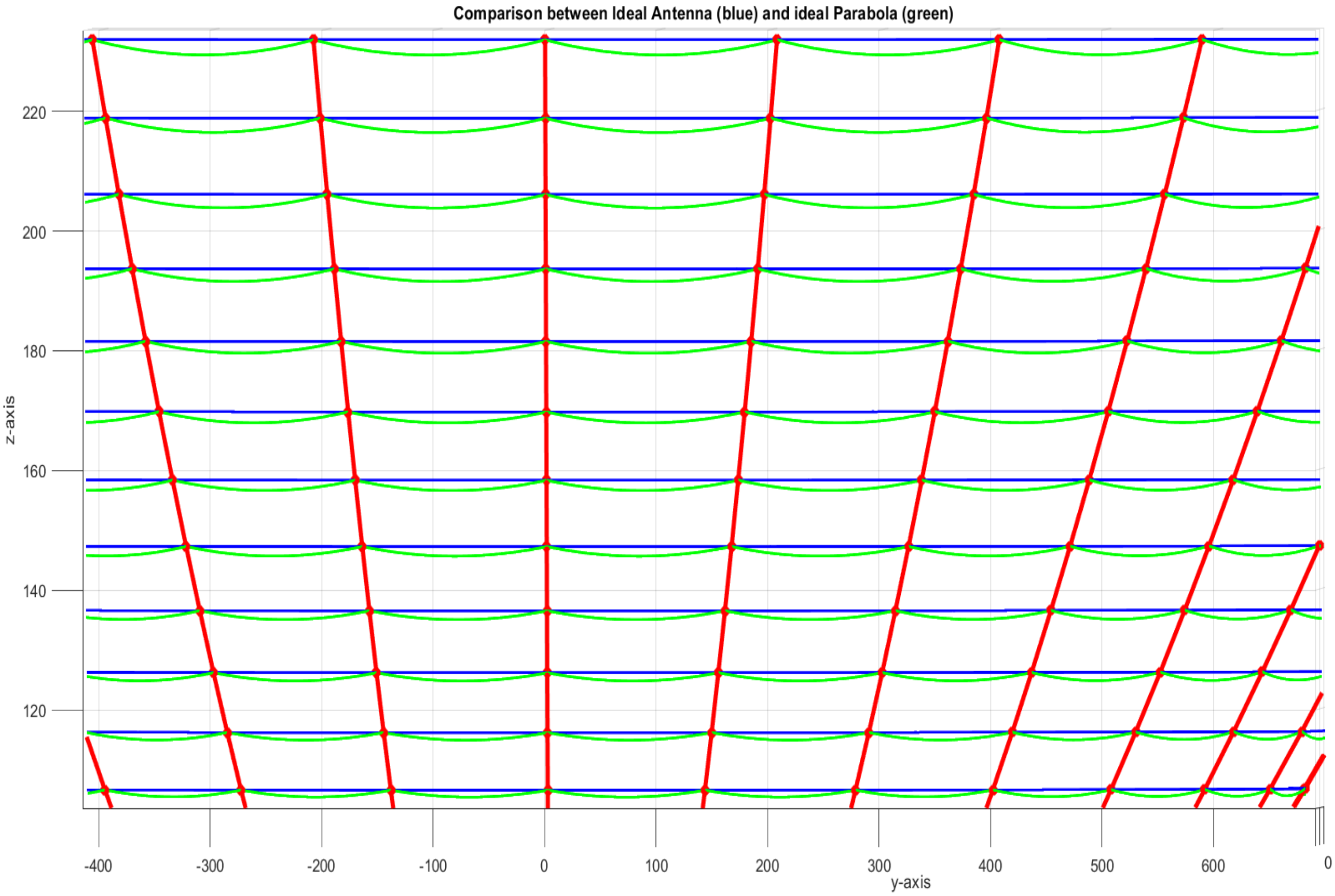
Εν συνεχεία της ανάλυσης μας, παρατίθεται η κάτοψη των μοντέλων που παρουσιάζονται στην Εικόνα 23, με σκόπο να αιτιολογηθεί και γεωμετρικά η ταύτιση των συντεταγμένων x,y των κόμβων της ιδανικής κεραίας και της ανάλογης ιδανικής ομπρέλας. Ουσιαστικά, το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει ότι τα δύο μοντέλα συμπεριφέρονται όμοια στο επίπεδο x,y, ενώ η μόνη τους διαφορά βρίσκεται στις αξονικές συντεταγμένες των κόμβων, δηλαδή στην διεύθυνση z, η οποία είναι κάθετη στο επίπεδο της Εικόνας 23.



Εικόνα 24: Κάτοψη κοινής αποτύπωσης μοντέλων ιδανικής κεραίας και ιδανικής παραβολής

Καταληκτικά, απεικονίζεται μια μεγέθυνση της Εικόνας 23, στην οποία φαίνεται ξεκάθαρα η διαφορά των συντεταγμένων z των κόμβων που μοντελοποιούν το πανί για τα δυο προαναφερθέντα μοντέλα. Μέσω της Εικόνας 25 είναι εμφανές ότι τα δυο μοντέλα ταυτίζονται στους βραχίονες ενώ αποκλίνουν στις περιοχές του «πανιού», εμφανίζοντας μέγιστο σφάλμα στο μέσο της απόστασης δυο κόμβων διαδοχικών βραχιόνων. Ουσιαστικά επιβεβαιώνεται με αυτόν τον τρόπο, η ανάλυση που έγινε κατά τον σχολιασμό της Εικόνας 22, ενώ αποδεικνύεται η ευρύτερη εφαρμογή της σε ολόκληρο το πλέγμα.

Πέρα από αυτά, παρατηρώντας προσεκτικά την Εικόνα 25 γινεται αντιληπτό ότι οι αποκλίσεις μεταξύ των ευθειών και των αντίστοιχων καμπυλών που μοντελοποιούν το πανί του αναμεταδότη, αυξάνονται καθώς πραγματοποιείται μετάβαση σε μεγαλύτερο επίπεδο της κατασκευής. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποτελέσει βασικό στοιχείο για την σχεδιαστική βελτιστοποίηση της κεραίας, πράγμα που θα υλοποιηθεί σε επόμενη παράγραφο (4.3.1.1).



Εικόνα 25: Κοινή αποτύπωση πλεγμάτων ιδανικής κεραίας και ιδανικής παραβολής (Μεγέθυνση)

3.1.2 ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ RMS – BEST FITTING PARABOLA

Ολοκληρώνοντας τις αναλύσεις αναφορικά με τον υπολογισμό του σφάλματος RMS της επιφανείας της κατασκευής, κρίθηκε σκόπιμη η αναζήτηση λύσεων βελτιστοποίησης των προς εξέταση μοντέλων. Σύμφωνα με την βιβλιογραφία [2], η χρήση κατάλληλων παραβολών (paraboloid facet) κατά την μοντελοποίηση του «πανιού» του αναμεταδότη, έναντι των ευθείων που αναλυθήκαν παραπάνω, οδηγεί σε ελαχιστοποίηση του RMS της κατασκευής. Βασιζόμενοι σε αυτό, πραγματοποιείται μια βελτιστοποίηση της ιδανικής παραβολής που αντιστοιχεί στο εκάστοτε μοντέλο κεραίας, η οποία οδηγεί στην ελαχιστοποίηση του τελικού επιφανειακού RMS. Η βελτιστοποίηση μετατρέπει οποιοδήποτε παραβολικό μοντέλο (ομπρέλα) σε best fitting parabola (βέλτιστη παραβολή), με αποτέλεσμα την μείωση του RMS όταν το ίδιο συγκριθεί με το αντίστοιχο μοντέλο κεραίας.

Πιο συγκεκριμένα λαμβάνοντας υπόψιν τον μαθηματικό τύπο υπολογισμού του σφάλματος RMS (12), προστίθεται μια νέα μεταβλητή «h» η οποία εφόσον συμπεριληφθεί στον υπολογισμό, θα οδηγήσει στην προαναφερθείσα ελαχιστοποίηση. Σύμφωνα με τον Fichter [2], το RMS (δ_2) δίνεται από τον τύπο που ακολουθεί :

$$\delta_2{}^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}[h + z(x_i, y_i) - w_m(x_i - y_i)]^2 \tag{15}$$

Στον τύπο της (15) παρατηρεί κάνεις τον όρο w_m , ο οποίος αντιστοιχεί στις κατακόρυφες μετατοπίσεις των κόμβων του μοντέλου κεραίας, καθώς και τον όρο z ο οποίος συμπεριλαμβάνει τις κατακόρυφες μετατοπίσεις του παραβολικού μοντέλου που αντιστοιχεί στην συγκεκριμένη κεραία. Είναι εμφανές ότι οι παραπάνω όροι ταυτίζονται με τους αντίστοιχους που αναλυθήκαν στην μέθοδο projection, η οποία καταγράφηκε προηγουμένως (3.1.1). Για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η βελτιστοποίηση τοποθετείται ο όρος h, ο οποίος γεωμετρικά περιγράφει την κατακόρυφη μετατόπιση κατά την διεύθυνση z (vertical rigid body translation) που πρέπει να υποστεί ενιαία το μοντέλο ομπρέλας, έτσι ώστε να τοποθετηθεί στην θέση ελαχιστοποίησης του σφάλματος και να μετατραπεί τελικά σε βέλτιστο μοντέλο παραβολής «best fitting parabola». Αντιστρόφως σκεπτόμενοι, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι ο όρος h μπορεί να υποδηλώνει αντίστοιχα κατάλληλη μετατόπιση του μοντέλου κεραίας, η οποία ομοίως με την περίπτωση της βέλτιστης (best fitting) παραβολής μπορεί να οδηγήσει σε ελαχιστοποίηση του RMS της επιφανείας.

$$h = -\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}[z(x_i, y_i) - w_m(x_i - y_i)] \tag{16}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο εμπεριέχονται τα αποτελέσματα των μοντέλων που αναλυθήκαν προηγουμένως, για διάφορα πλέγματα διακριτοποίησης της κατασκευής, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται κατάλληλη σύγκριση μεταξύ τους, έτσι ώστε να εξαχθούν τα τελικά μοντελα. Παρόλα αυτά, πρώτου παρουσιαστούν τα αποτελέσματα κρίνεται απαραίτητη η αναφορά στις θεωρίες που βασίστηκαν τα προς εξέταση πλέγματα.

Μια από τις βασικές θεωρίες που λήφθηκαν υπόψιν, βασίζεται στο θεώρημα δειγματοληψίας κατά Nyquist. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον WELCH [3], ο ελάχιστος αριθμός σημείων δειγματοληψίας που πρέπει να διακριτοποιεί την επιφάνεια αντικατοπτρίζει τον λόγο της επιφάνειας της κεραίας προς την επιφάνεια του εκάστοτε σημείου (κόμβου). Από βιβλιογραφία [4] είναι γνωστό ότι στο πεδίο συχνοτήτων X-band που λειτουργεί η συγκεκριμένη κατασκευή, επικρατούν κέρδη 8-12 GHz, και μήκη κύματος $\lambda = 2.4 \div 3.75$ (cm). Παρατηρώντας την κάτοψη της κεραίας (Εικόνα 5) γινεται αντιληπτό ότι η επιφάνεια αποτελείτο από τριάντα (30) τραπέζια, από τα οποία το εκάστοτε μοντελοποιεί το πανί του αναμεταδότη ανάμεσα σε δυο διαδοχικούς βραχίονες.

Είναι γνωστό ότι το εμβαδόν τραπεζιού ισούται με :

$$E_{\tau\rho\alpha\pi\varepsilon\zeta\acute{\iota}o\upsilon} = \frac{B+b}{2}h \tag{17}$$

B : Μεγάλη βάση τραπεζίου

b : Μικρή βάση τραπεζίου

h : Ύψος τραπεζίου

Εστιάζοντας στην γεωμετρία της (Εικόνα 5) προκύπτει ότι b=18.92mm, B=209.057mm και h=904.518mm. Ελέγχοντας την δυσμενέστερη δυνατή κατάσταση, χρησιμοποιείται η τιμη λ=2.4 cm, βάσει της οποίας υπολογίζεται ο ελάχιστος αριθμός σημείων δειγματοληψίας, αρά και διακριτοποίησης της επιφάνειας της κεραίας :

$$N = \left[\frac{30E_{\tau\rho\alpha\pi\varepsilon\zeta\acute{\iota}o\upsilon}}{\lambda^2}\right] + 1 = 5371.034 \cong 5372\ \sigma\eta\mu\varepsilon\acute{\iota}\alpha \tag{18}$$

N : Ελάχιστος αριθμός κόμβων (σημεία δειγματοληψίας)

λ : Μήκος κύματος

Όπως αναφέρει και ο WELCH [3] κρίνεται απαραίτητη η αύξηση του αριθμού των κόμβων που διακριτοποιούν την επιφάνεια της κεραίας, σε περιπτώσεις που είναι επιθυμητή η ακριβής εξέταση επιφανειακών σφαλμάτων. Για τον λόγο αυτό, όλα τα πλέγματα που μοντελοποιούν την επιφάνεια, διακριτοποιούνται από μεγαλύτερο αριθμό κόμβων σε σχέση με αυτόν που υπολογίσθηκε στην (18) (>5372 σημεία).

Πέρα από το θεώρημα Nyquist ελέγχθηκαν και μοντέλα πλεγμάτων τα οποία βασίστηκαν σε εμπειρική διαστασιολόγηση των πεπερασμένων στοιχείων που θα διακριτοποιούν την επιφάνεια της κεραίας. Πιο συγκεκριμένα, έχοντας από (2) ότι το μήκος των παραβολικών βραχιόνων ισούται με 944.2522 mm, πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός των βραχιόνων σε 1000 ίσα τμήματα (step1=1000), έτσι ώστε το κάθε πεπερασμένο στοιχείο που διακριτοποιεί την επιφάνεια να χαρακτηρίζεται από πλευρά μήκους ≅ 1mm. Ακολουθώντας όμοια λογική και στην διακριτοποίηση της ανακλαστικής επιφάνειας ανάμεσα στους βραχίονες πραγματοποιήθηκε κατάλληλος διαχωρισμός των ευθείων, έτσι ώστε να επιτευχθεί προσεγγιστικά η δημιουργία τμημάτων μήκους ≅ 1mm. Πιο συγκεκριμένα, λόγω της ανομοιομορφίας των μηκών των ευθείων διακριτοποίησης του «πανιού» σε κάθε επίπεδο της κατασκευής, θεωρείται ότι οι ευθείες του πρώτου επιπέδου (L=18.92mm) πρέπει να διαχωριστούν ιδανικά σε 20 ίσα τμήματα, ενώ αντίστοιχα οι ευθείες του τελευταίου επιπέδου (L=209.057mm) πρέπει να μοντελοποιηθούν από 210 σε αριθμό ίσα τμήματα.

Στο σημείο αυτό αξίζει να επισημανθεί ότι το μήκος 1^{ος} χιλιοστού αποτελεί ενδεικτική τιμή, η οποία προέκυψε από την παρατήρηση των ευρύτερα ικανοποιητικών αποτελεσμάτων που προσδίδει η χρήση πεπερασμένων στοιχείων αντίστοιχης διαστασιολόγησης σε άλλες δομές. Σημειώνεται, ότι στην παρούσα ανάλυση υπάρχει πιθανότητα σύγκλισης των αποτελεσμάτων ήδη από μεγαλύτερα μήκη πεπερασμένων στοιχείων, ωστόσο το γεγονός αυτό χρειάζεται κατάλληλο έλεγχο, ο οποίος δεν πραγματοποιείται στην παρούσα εργασία.

4.1.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΩΝ ΠΛΕΓΜΑΤΩΝ

Σε πρώτο στάδιο καταγράφονται τα αποτελέσματα των μοντέλων ομοιόμορφου πλέγματος, για τα οποία υπενθυμίζεται ότι το κάθε επίπεδο της κατασκευής περιέχει ίδιο αριθμό κόμβων διακριτοποίησης. Όλα τα μοντελα που εξετάσθηκαν περιέχουν μεγαλύτερο αριθμό συνολικών κόμβων από αυτόν που υποδεικνύει το θεώρημα Nyquist, ενώ καταγράφονται και ορισμένα μοντελα τα οποία ικανοποιούν την υπόθεση ακρίβειας 1^{ος} χιλιοστού των τμημάτων διακριτοποίησης των βραχιόνων και της ανακλαστικής επιφάνειας. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται ενδεικτικά τρία μοντελα με χρήση τμημάτων μήκους ενός χιλιοστού, με σκοπό την επίτευξη της επιθυμητής ακρίβειας στις ευθείες του πρώτου (20 σημεία η κάθε ευθεία), του τελευταίου (210 σημεία) και ενός ενδιάμεσου (100 σημεία) επιπέδου αντίστοιχα.

Πέρα από τα παραπάνω, ελέγχονται και μοντελα που ακολουθούν τον λόγο $\frac{\text{step1}}{\text{step2}} = 4.5$, σύμφωνα με τον οποίο πραγματοποιείται προσεγγιστική κατασκευή τετράγωνων πεπερασμένων στοιχείων, όπως ακριβώς έχουμε ήδη αναφέρει στο υποκεφάλαιο 1.2.

Μοντέλο Ομοιόμορφου Πλέγματος Διακριτοποίησης Κεραίας				
Πλέγμα		Αποτελέσματα		
Step1	Step2	RMS (mm)	Αριθμός Κόμβων	Θεωρία
20	10	0.9086	6300	Nyquist
30	10	0.9	9300	Nyquist
10	680	0.9341	224400	Nyquist
30	680	0.9	632400	Nyquist
60	680	0.8913	1244400	Nyquist
20	20	0.9087	12600	Nyquist
30	20	0.9	18600	Nyquist
30	30	0.9	27900	Nyquist
45	10	0.8942	13800	Τετράγωνου στοιχείου
80	18	0.8891	43740	Τετράγωνου στοιχείου
300	67	0.8843	605010	Τετράγωνου στοιχείου
1000	20	0.8831	600600	Εμπειρική Διαστασιολόγηση
1000	100	0.8831	3003000	Εμπειρική Διαστασιολόγηση
1000	210	0.8831	6306300	Εμπειρική Διαστασιολόγηση

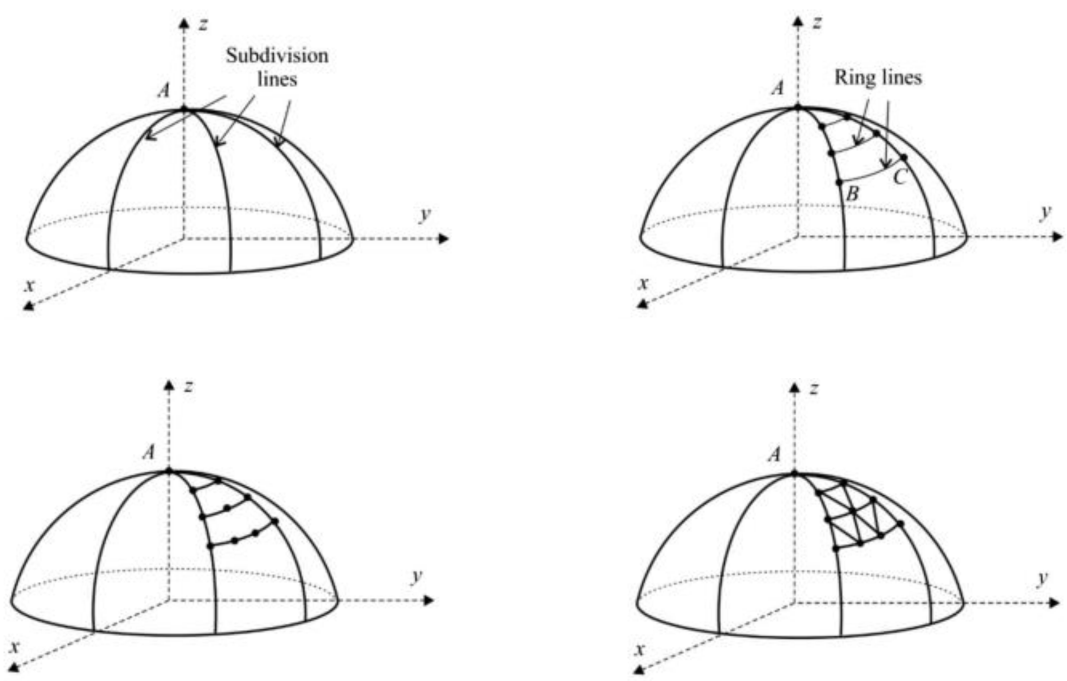
Πίνακας 2: Αποτελέσματα μοντέλων ομοιόμορφου πλέγματος διακριτοποίησης της κεραίας

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 γινεται αρχικά αντιληπτό το γεγονός ότι η αύξηση του step1 (κόμβοι βραχιόνων) υπό την θεώρηση σταθερού step2 (κόμβοι ευθείων «πανιού») επιφέρει μείωση του τελικού RMS της επιφάνειας του πλέγματος. Αντιθέτως, η αντίστοιχη αύξηση του step2, υπό την θεώρηση σταθερού step1 διατηρεί προσεγγιστικά σταθερά αποτελέσματα σφαλμάτων RMS, για τα συγκεκριμένα μοντελα. Παρατηρώντας τα τρία (3) τελευταία μοντελα που ανήκουν στην κατηγορία της εμπειρικής διακριτοποίησης γινεται εμφανές ότι η αύξηση των σημείων διακριτοποίησης των ευθείων δεν επιφέρει μεταβολή του τελικού RMS, γεγονός που μαρτυρά την σύγκλιση του συγκεκριμένου αποτελέσματος σε πολύ μικρότερο πλέγμα διακριτοποίησης. Επίσης, λαμβάνοντας υπόψιν τον μεγάλο αριθμό κόμβων των συγκεκριμένων πλεγμάτων και για λόγους εξοικονόμησης υπολογιστικού χρόνου επίλυσης, τα τελευταία 3 μοντελα θεωρούνται ακατάλληλα.

Τελικά, ως καταλληλότερο μοντέλο ομοιόμορφου πλέγματος κρίνεται αυτό με step1=80 και step2=18, το οποίο χαρακτηρίζεται από επιφανειακό RMS=0.8891mm και αποτελείτο από 43740 κόμβους. Το συγκεκριμένο μοντέλο ικανοποιεί πρωτίστως το θεώρημα Nyquist, ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιεί προσεγγιστικό σχηματισμό τετράγωνων πεπερασμένων στοιχείων. Επίσης, αποτελείται από τμήματα διάστασης 11.8 mm, τα οποία διακριτοποιούν τον εκάστοτε βραχίονα, και αντίστοιχα από τμήματα διάστασης ενός 1mm στις ευθείες του πρώτου επιπέδου και 11.55 mm στις ευθείες του τελευταίου επιπέδου της κατασκευής.

4.1.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΛΕΓΜΑΤΩΝ ΠΥΚΝΩΣΗΣ ΚΟΜΒΩΝ

Στην παρούσα παράγραφο περιλαμβάνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων πύκνωσης πλέγματος, για τα οποία υπενθυμίζεται ότι επικρατεί αύξηση των κόμβων διακριτοποίησης κατά την μετάβαση σε μεγαλύτερο επίπεδο της κατασκευής. Στο παρών σημείο κρίνεται σκόπιμο να τονιστεί το γεγονός ότι εξετάστηκαν δυο διαφορετικά μοντελα πύκνωσης. Το πρώτο μοντέλο πραγματοποιεί αύξηση κατά έναν κόμβο στην κάθε ευθεία διακριτοποίησης του «πανιού» σε ένα επίπεδο, καθώς πραγματοποιείται μετάβαση στο αμέσως επόμενο επίπεδο. Με τον τρόπο αυτό σε κάθε επίπεδο προστίθενται συνολικά τριάντα (30) επιπρόσθετοι κόμβοι σε σχέση με το αμέσως προηγούμενο. Παρακάτω ακολουθεί ενδεικτική αναπαράσταση της συγκεκριμένης αύξησης σε μια σφαιρική επιφάνεια, την οποία παρουσίασε ο Hang Shi [5].



Εικόνα 26: Ενδεικτική αύξηση (+1) κόμβων διακριτοποίησης σε μια σφαιρική

Αξίζει βέβαια να επισημανθεί ότι σε αντίθεση με την Εικόνα 26, στην παρούσα εργασία το πανί μοντελοποιείται με χρήση κατάλληλων ευθειών και όχι καμπυλών (ring lines). Παρόλα αυτά η λογική που ακολουθείται παραμένει η ίδια, με αποτέλεσμα η συγκεκριμένη αύξηση να επιφέρει την δημιουργία τριγωνικών πεπερασμένων στοιχείων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα συγκεκριμένα στοιχεία αποφεύγονται στην ανάλυση με χρήση πεπερασμένων στοιχείων, λόγω της κακής ακρίβειας τους, ωστόσο χρησιμοποιούνται ευρέως στον σχεδιασμό της επιφάνειας ενός αναμεταδότη [5]. Τέλος, αναφέρεται ότι όπως και στα μοντέλα ομοιόμορφου πλέγματος, έτσι και στα αντίστοιχα πύκνωσης πραγματοποιείται ισόποσος διαχωρισμός της κάθε ευθείας οποιουδήποτε επιπέδου έτσι ώστε να ισοκατανέμονται οι κόμβοι σε όλη την έκταση της.

Στο σημείο αυτό τονίζεται ότι κατά την εκτέλεση του κώδικα και εφόσον ο χρήστης επιλέξει την μοντελοποίηση με χρήση πύκνωσης πλέγματος, του εμφανίζεται κατάλληλο μήνυμα στο οποίο του ζητείται η επιλογή του μοντέλου πύκνωσης (+1 ή +2)[42], με το οποίο θα πραγματοποιηθεί η διακριτοποίηση της επιφάνειας. Με τον τρόπο αυτό πληκτρολογώντας τον αριθμό «1» επιλέγεται το πρώτο μοντέλο πύκνωσης (+1), ενώ αντίστοιχα με τον αριθμό «2» το δεύτερο μοντέλο πύκνωσης (+2).

[42] Η επιλογή αυτή καθορίζεται με την είσοδο step4 εντός του κώδικα.

Μοντέλο Πλέγματος Πύκνωσης Κόμβων Διακριτοποίησης Κεραίας			
(Αύξηση κατά έναν κόμβο (+1) σε κάθε ευθεία διακριτοποίησης κατά την μετάβαση σε μεγαλύτερο επίπεδο)			
Πλέγμα		Αποτελέσματα	
Step1	Step2	RMS (mm)	Αριθμός Κόμβων
30	10	1.0617	23250
40	10	1.0714	36900
20	20	1.0044	18900
30	20	1.0182	32550
40	20	1.0303	49200
60	20	1.0485	91500
80	20	1.0610	145800
20	30	0.9813	25200
30	30	0.9931	41850
40	30	1.0048	61500
10	50	0.9635	18150
10	100	0.9496	34650

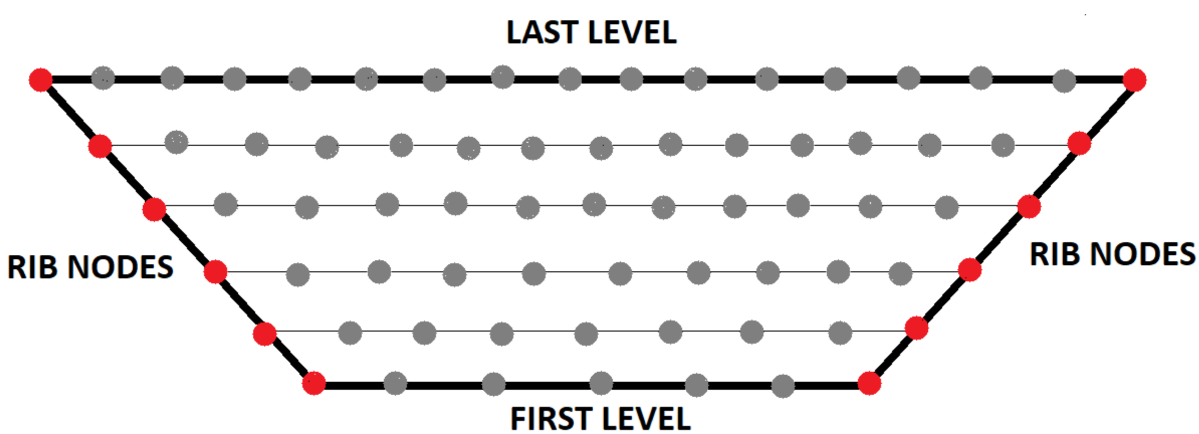
Πίνακας 3: Αποτελέσματα μοντέλων πλέγματος πύκνωσης κόμβων (+1) διακριτοποίησης της κεραίας

Παρατηρώντας τον Πίνακα 3 γίνεται αρχικά αντιληπτό ότι η αύξηση του step1 υπό σταθερό step2, προκαλεί αύξηση του τελικού επιφανειακού RMS. Αντίστοιχα, είναι φανερό ότι η αύξηση του step2 υπό την θεώρηση σταθερού step1 επιφέρει μείωση του υπολογισμένου σφάλματος RMS. Παρόλα αυτά, για να εξαχθεί το καταλληλότερο δυνατόν μοντέλο, πρέπει το ίδιο να διακριτοποιεί ορθά την κατασκευή, έτσι ώστε να μπορέσουν να ληφθούν ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα κατά την τελική ανάλυση με χρήση πεπερασμένων στοιχείων. Επομένως, πέρα από τον ικανοποιητικό υπολογισμό του τελικού RMS πρέπει να επικρατεί ταυτόχρονα και κατάλληλη διακριτοποίηση τόσο των βραχιόνων όσο και ανακλαστικής επιφάνειας της κεραίας, ακριβώς όπως πραγματοποιήθηκε και στην περίπτωση της επιλογής μοντέλου με ομοιόμορφο πλέγμα.

Δεδομένου των παραπάνω, επιλέγεται το πλέγμα με step1=60 και step2=20, το οποίο υπολογίζει επιφανειακό RMS=1.0485mm και διακριτοποιείται από 91500 κόμβους. Είναι εμφανές ότι το συγκεκριμένο μοντέλο ικανοποιεί το θεώρημα Nyquist και περιλαμβάνει μόνο τριγωνικά στοιχεία. Επίσης, μοντελοποιεί τον εκάστοτε βραχιόνά με τμήματα μήκους 15.73 mm, τις ευθείες του «πανιού» στο πρώτο επίπεδο με τμήματα μήκους περίπου 1 mm και τέλος τις ευθείες του τελευταίου επιπέδου με τμήματα 2.6 mm έκαστο.

Το δεύτερο μοντέλο πύκνωσης πραγματοποιεί αύξηση κατά δυο κόμβους στην κάθε ευθεία διακριτοποίησης του «πανιού», καθώς πραγματοποιείται μετάβαση στο αμέσως επόμενο επίπεδο. Με τον τρόπο αυτό σε κάθε επίπεδο προστίθενται συνολικά εξήντα (60) επιπρόσθετοι κόμβοι σε σχέση με το αμέσως προηγούμενο.

Σκοπός της συγκεκριμένης πύκνωσης είναι η διαμόρφωση ενός τελικού πλέγματος που περιέχει τόσο τετράγωνα πεπερασμένα στοιχεία στο κυρίως κομμάτι της ανακλαστικής επιφάνειας όσο και τριγωνικά στοιχεία, τα οποία θα τοποθετούνται στην περιοχή σύνδεσης του με τον βραχίονα. Αξίζει να σημειωθεί ότι και στην συγκεκριμένη περίπτωση πραγματοποιείται ισόποσος διαχωρισμός της εκάστοτε ευθείας. Παρακάτω φαίνεται ενδεικτικά για το συγκεκριμένο μοντέλο η διακριτοποίηση του «πανιού» με γκρι κόμβους αναμεσά σε δυο διαδοχικούς βραχίονες, οι οποίοι περιέχουν κόμβους με κόκκινο χρώμα.



Εικόνα 27: Ενδεικτική αύξηση (+2) κόμβων διακριτοποίησης στην επιφάνεια του «πανιού» ανάμεσα σε δυο διαδοχικούς βραχίονες

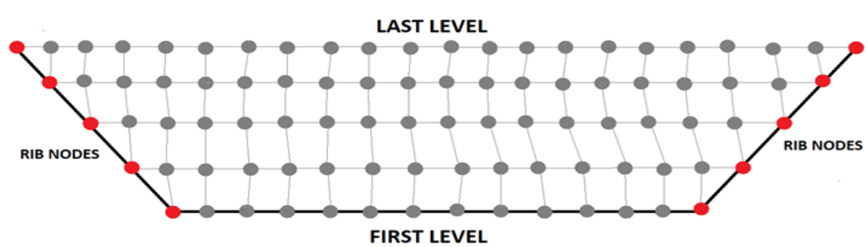
Μοντέλο Πλέγματος Πύκνωσης Κόμβων Διακριτοποίησης Κεραίας			
(Αύξηση κατά δυο κόμβους (+2) σε κάθε ευθεία διακριτοποίησης κατά την μετάβαση σε μεγαλύτερο επίπεδο)			
Πλέγμα		Αποτελέσματα	
Step1	Step2	RMS (mm)	Αριθμός Κόμβων
30	10	1.0984	37200
40	10	1.1031	61500
20	20	1.0490	25200
30	20	1.0617	46500
40	20	1.0714	73800
60	20	1.0842	146400
80	20	1.0922	243000
20	30	1.0225	31500
30	30	1.0365	55800
40	30	1.0481	81600
10	50	0.9873	19800
10	100	0.9635	36300

Πίνακας 4: Αποτελέσματα μοντέλων πλέγματος πύκνωσης κόμβων (+2) διακριτοποίησης της κεραίας

Από τον Πίνακα 4 είναι εμφανές ότι η αύξηση του step1 υπό σταθερό step2, προκαλεί αύξηση του τελικού επιφανειακού RMS, ενώ αντίστοιχα η αύξηση του step2 υπό την θεώρηση σταθερού step1 επιφέρει μείωση του υπολογισμένου σφάλματος RMS, ακριβώς όπως έγινε και στην αμέσως προηγούμενη περίπτωση πύκνωσης κατά έναν (1) κόμβο.

Για να ικανοποιηθεί τόσο το θεώρημα Nyquist όσο και η ορθή διακριτοποίηση των μελών της κατασκευής, επιλέχθηκε ως καταλληλότερο πλέγμα, αυτό με step1=60 και step2=20, το οποίο υπολογίζει RMS=1.0842 mm και περιέχει 146400 κόμβους. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο κάθε βραχίονας μοντελοποιείται με χρήση τμημάτων μήκους 15.73mm, οι ευθείες του πρώτου επιπέδου με τμήματα μήκους 1 mm , ενώ οι ευθείες του τελευταίου επιπέδου με τμήματα 1.5 mm.

Στο σημείο αυτό υπογραμμίζεται ότι το συγκεκριμένο μοντέλο διακριτοποιεί την κατασκευή, χωρίζοντας την εκάστοτε ευθεία σε ίσου μήκους τμήματα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 28. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία πεπερασμένων στοιχείων σχήματος τόσο παραλληλογράμμου (ή τραπεζίου) όσο και τριγώνου. Το σημείο αυτό μπορεί να αποτελέσει την βάση για μια μελλοντική βελτιστοποίηση του μοντέλου, στο οποίο η διακριτοποίηση θα προκαλεί την ακριβή δημιουργία τετραγωνικών και τριγωνικών πεπερασμένων στοιχείων.



Εικόνα 28: Ενδεικτική απεικόνιση πεπερασμένων στοιχείων διακριτοποίησης δεύτερου μοντέλου πύκνωσης (+2 κόμβοι σε κάθε ευθεία κατά την μετάβαση σε μεγαλύτερο επίπεδο)

4.1.2.1 Σύγκριση μεταξύ των πλεγμάτων πύκνωσης κόμβων

Από τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο υποκεφάλαιο 4.1.2 μπορεί να ακολουθήσει η σύγκριση μεταξύ των δυο επιλεγμένων μοντέλων πύκνωσης καθώς και να εξαχθεί το καταλληλότερο εκ των δύο. Γίνεται ξεκάθαρο ότι το πρώτο μοντέλο που προσθέτει έναν επιπρόσθετο κόμβο στην εκάστοτε γραμμή του πανιού κατά την μετάβαση σε μεγαλύτερο επίπεδο, προσδίδει συνολικά μικρότερο επιφανειακό RMS σε σχέση με το δεύτερο μοντέλο. Παρόλα αυτά, εστιάζοντας στο δεύτερο μοντέλο[43] γινεται ξεκάθαρο ότι επικρατεί ακριβέστερος διαχωρισμός των τμημάτων που διακριτοποιούν της ευθείες του πανιού, γεγονός που συνεπάγεται με την δημιουργία περισσοτέρων σημείων συγκριτικά με το πρώτο μοντέλο και οδηγεί σε ακριβέστερη ανάλυση της κατασκευής όταν το ίδιο εισαχθεί σε κάποιο πακέτο πεπερασμένων στοιχείων. Τέλος, υπενθυμίζεται ότι το πρώτο μοντέλο διακριτοποιεί το πλέγμα με χρήση μόνο τριγωνικών στοιχείων, ενώ το δεύτερο πέρα από αυτά κάνει χρήση και παραλληλογράμμων.[44]

Δεδομένου όλων των προαναφερθέντων καταλήγουμε ότι το καταλληλότερο μοντέλο πύκνωσης είναι το δεύτερο, το οποίο προκαλεί αύξηση των κόμβων κατά δυο (+2) όταν μεταβαίνουμε σε μεγαλύτερο επίπεδο. Το ίδιο μπορεί να υποστεί μια επιπρόσθετη βελτιστοποίηση, η οποία θα καταγραφθεί σε επόμενη παράγραφο (4.3).

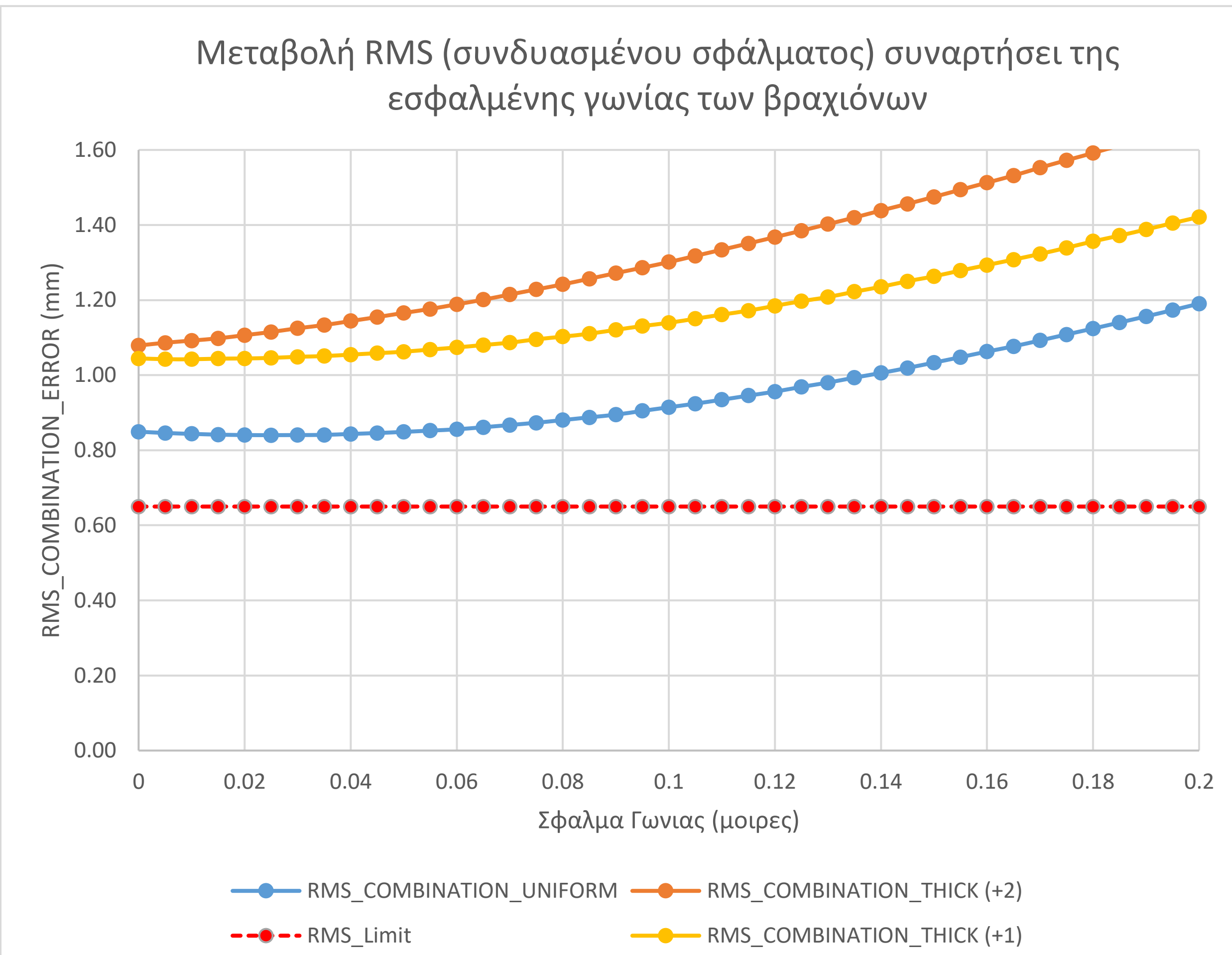
---

[43] , το οποίο προσθέτει δυο (2) επιπρόσθετους κόμβους στην εκάστοτε γραμμή του πανιού κατά την μετάβαση σε μεγαλύτερο επίπεδο

[44] Υπογραμμίζεται ότι θεωρητικά το δεύτερο μοντέλο μπορεί να διακριτοποιήσει το πλέγμα κάνοντας και χρήση μόνο τριγωνικών στοιχείων, ωστόσο το γεγονός αυτό καθορίζεται καθαρά και μόνο από την οπτική του εκάστοτε χρήστη καθώς όπως έχουμε ήδη αναφέρει και σε προηγούμενες παραγράφους, ο κώδικας βασίζει την διακριτοποίηση στην δημιουργία των κόμβων των πεπερασμένων στοιχείων και όχι στα πεπερασμένα στοιχεία αυτά καθ’ αυτά.

4.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ RMS ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΓΩΝΙΑΣ ΓΙΑ ΤΑ ΤΡΙΑ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΆ

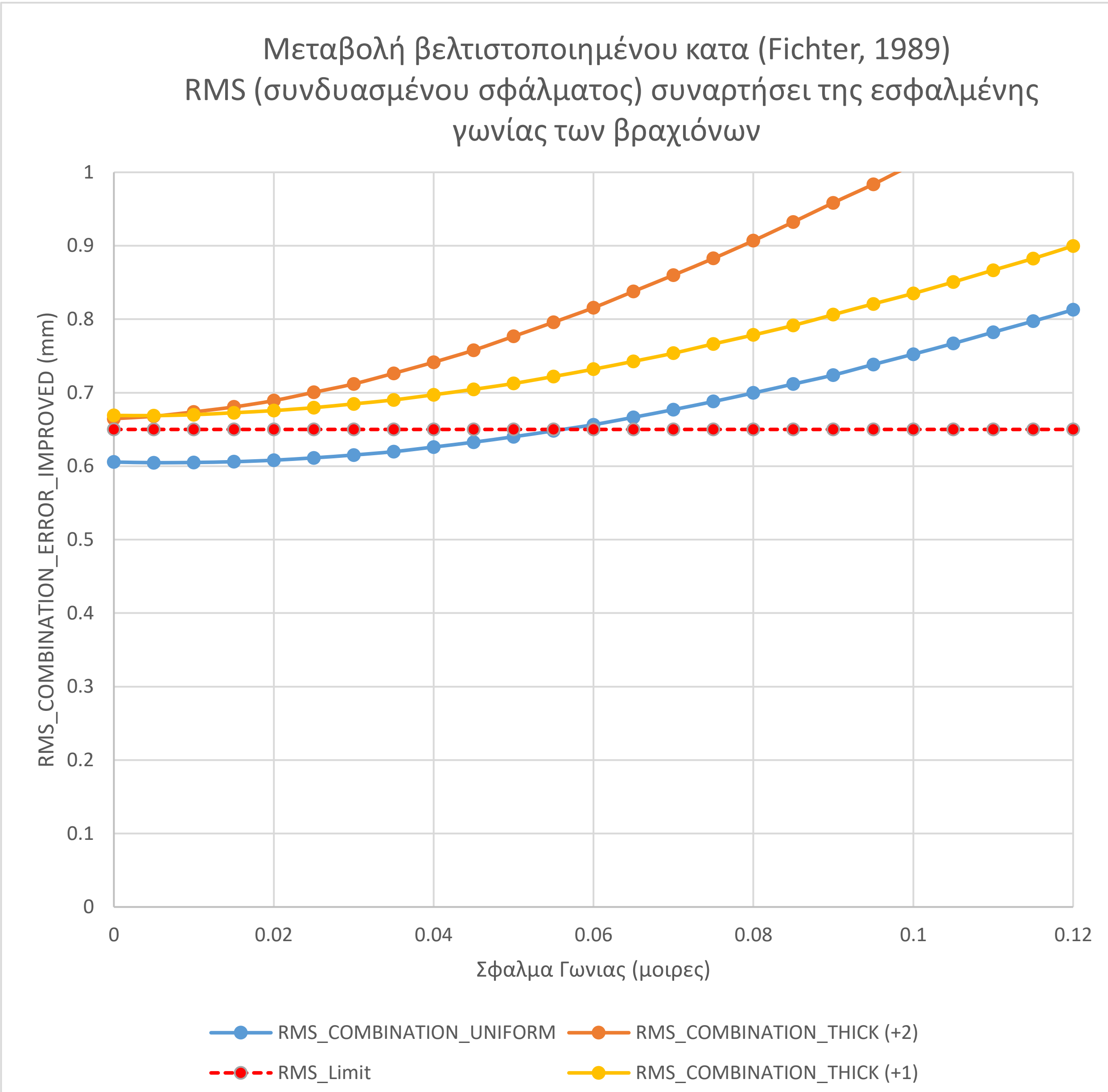
Στο παρών υποκεφάλαιο θα παρουσιαστούν ενδεικτικά τα διαγράμματα μεταβολής του RMS συνδυασμένου σφάλματος εστιακού μήκους και περιστροφής για τα τρία (3) τελικά μοντελα σχεδίασης της κατασκευής. Υπογραμμίζεται ότι το συνδυασμένο σφάλμα λόγω της περιπλοκότητας του κρίνεται ως το καταλληλότερο μέτρο σύγκρισης των παραπάνω μοντέλων.



Εικόνα 29: Μεταβολή του επιφανειακού RMS (συνδυασμένου σφάλματος) συναρτήσει της εσφαλμένης γωνίας των βραχιόνων

Από το παραπάνω γράφημα μεταβολής του επιφανειακού RMS συνδυασμένου σφάλματος των τριών προς εξέταση μοντέλων παρατηρεί κάνεις ότι επικρατεί μια εκθετική ανύψωση του RMS καθώς αυξάνεται η είσοδος step5 που περιγράφει το σφάλμα περιστροφής (°) στον εκάστοτε βραχίονα. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται ανεξάρτητα του πλέγματος που εξετάζεται, ενώ υπογραμμίζεται ότι τα δυο μοντελα πύκνωσης παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές RMS συγκριτικά με το μοντέλο ομοιόμορφου πλέγματος, για τις ίδιες τιμές της εσφαλμένης γωνίας. Το γεγονός αυτό μαρτυρά ότι το ομοιόμορφο πλέγμα αποτελεί το καταλληλότερο μοντέλο εκ των τριών για την διακριτοποίηση της κατασκευής, όταν ο βασικός γνώμονας είναι η τιμη του επιφανειακού RMS. Πέρα από αυτό σημειώνεται ότι το πρώτο μοντέλο πύκνωσης (+1) εμφανίζει καλύτερες τιμές επιφανειακού σφάλματος σε σχέση με το δεύτερο μοντέλο πύκνωσης (+2). Παρόλα αυτά, γινεται αντιληπτό ότι κανένα μοντέλο δεν ικανοποιεί την σχεδιαστική προδιαγραφή (RMS<0.65mm), με αποτέλεσμα τα ίδια να χρήζουν βελτιστοποίηση.

Πέρα από την αποτύπωση της συμπεριφοράς των «κλασσικών» μοντέλων πλεγματοποίησης της κατασκευής ακολουθεί επίσης και ένα αντίστοιχο γράφημα μεταβολής του συνδυασμένου RMS για τα προαναφερθέντα μοντελα, όταν τα ίδια έχουν υποστεί την βελτιστοποίηση που πρότεινε ο Fichter [2].



Εικόνα 30: Μεταβολή του ελαχιστοποιημένου κατά Fichter επιφανειακού RMS (συνδυασμένου σφάλματος) συναρτήσει της εσφαλμένης γωνίας των βραχιόνων

Από το παραπάνω διάγραμμα επιβεβαιώνεται ότι και στην περίπτωση των βελτιστοποιημένων μοντέλων κατά Fichter [2], επικρατεί αύξηση του επιφανειακού RMS συνδυασμένου σφάλματος της κατασκευής καθώς μεγαλώνει το σφάλμα της γωνίας των βραχιόνων που εισάγει ο χρήστης. Παρατηρείται ότι στην συγκεκριμένη περίπτωση το ομοιόμορφο πλέγμα προσδίδει αποδέκτες τιμές σφάλματος RMS για τιμές εισόδου έως και περίπου 0.06°. Αντιθέτως, τα δυο μοντελα πύκνωσης παραμένουν εκτός προδιαγραφών, με αποτέλεσμα να θεωρείται ως καταλληλότερο το μοντέλο ομοιόμορφου πλέγματος που αναλύθηκε στην 4.1.1.

Εν συνέχεια των προαναφερθέντων πρέπει να υπογραμμιστεί ότι η μέθοδος βελτιστοποίησης κατά Fichter [2] αποτελεί ένα είδος μαθηματικής βελτιστοποίησης των προς εξέταση μοντέλων, καθώς η ίδια ασχολείται με την βέλτιστη τοποθέτηση της «ιδανικής ομπρέλας»[45] που αντιστοιχεί στο εκάστοτε μοντέλο, έτσι ώστε να επικρατεί ελαχιστοποίηση του τελικού RMS.

Σε περίπτωση που ο χρήστης δεν καλύπτεται από τα μοντελα που πρότεινε ο Fichter [2] κρίνεται αναγκαίο να προχωρήσει στην κατασκευή νέου πλέγματος, το οποίο θα είναι διαμορφωμένο με κατάλληλο τρόπο έτσι ώστε να ικανοποιεί τις προδιάγραφες του RMS.

[45] «best fitting parabola»

4.3 ΠΡΟΕΚΤΑΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΟΥΛΕΙΑ

Είναι εμφανές ότι όσα μοντελα αναπτυχθήκαν έως τώρα δεν ικανοποιούν την βασική προδιαγραφή, οπού το επιφανειακό RMS του πλέγματος της κεραίας χωρίς την τοποθέτηση σφαλμάτων θα ισούται με 0.45mm[46]. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την τυχόν επιθυμία του χρήστη να μην βασιστεί στους μαθηματικούς τύπους του Fichter [2] οδηγεί στην ανάγκη κατασκευής ενός καινούργιου πλέγματος. Το συγκεκριμένο πλέγμα θα συνδυάζει τα θετικά των προηγουμένων και ταυτόχρονα θα ικανοποιεί τις σχεδιαστικές προδιάγραφες, χωρίς να χρειαστεί να βασιστεί σε μαθηματικές βελτιώσεις.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι το συγκεκριμένο μοντέλο δεν έχει «τελειοποιηθεί» προγραμματιστικά εντός του κώδικα, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να συμπεριληφθεί στο Παράρτημα Α. Παρόλα αυτά, παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα του καθώς και η θεωρία στην οποία βασίστηκε, ενώ το προγραμματιστικό του κομμάτι μπορεί να αποτελέσει προοίμιο για μελλοντική εργασία.

[46] Ουσιαστικά το συγκεκριμένο RMS εξάγεται από την σύγκριση των z συντεταγμένων της ιδανικής κεραίας και της ιδανικής «ομπρέλας» σύμφωνα με την μέθοδο της προβολής (3.1.1).

4.3.1.1 ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΝΤΟΝΗΣ ΠΥΚΝΩΣΗΣ ΚΟΜΒΩΝ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

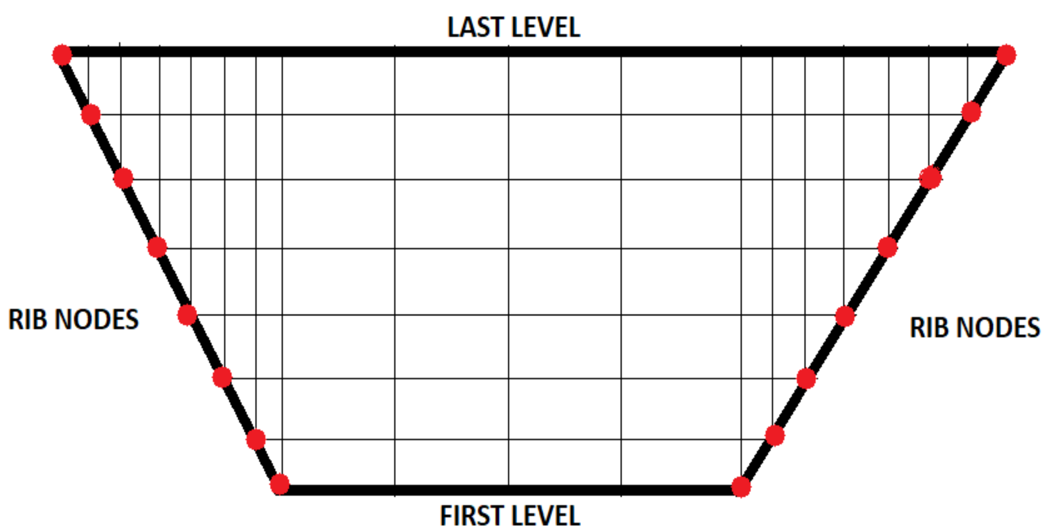
Πριν καταγράφουν τα αποτελέσματα του μοντέλου που αναφέρθηκε στην 4.3 κρίνεται αναγκαία η αναφορά στις αρχές οπού βασίζεται η συγκεκριμένη διακριτοποίηση. Πιο συγκεκριμένα, ήδη από το 3.1.1 σε συνδυασμό με την Εικόνα 22, είναι γνωστό ότι η τοποθέτηση κόμβων στην περιοχή της μέσης των ευθείων του «πανιού» αυξάνει το συνολικό επιφανειακό RMS της κατασκευής. Για τον λόγο αυτό, όπως έγινε και στην περίπτωση των κλασσικών μοντέλων πύκνωσης, πρέπει να πραγματοποιηθεί τοποθέτηση των κόμβων διακριτοποίησης της ευθείας κοντά στην περιοχή που βρίσκονται οι βραχίονες.

Ωστόσο, παρόλο που τα μοντελα κλασσικής πύκνωσης φαίνεται να είναι θεωρητικά ορθά, στην πράξη δεν εξάγουν τα επιθυμητά αποτελέσματα για το επιφανειακό σφάλμα RMS της κεραίας. Για τον λόγο αυτό, βασιζόμενοι στην ίδια θεωρία, έγινε η προσπάθεια δημιουργίας ενός πλέγματος, το οποίο πραγματοποιεί εντονότερη πύκνωση των κόμβων του «πανιού» κοντά στην περιοχή των βραχιόνων, με στόχο την περαιτέρω μείωση του συνολικού RMS. Το μοντέλο αυτό ονομάζεται τυπικά «μοντέλο έντονης πύκνωσης» και αποτελεί μια βελτίωση του δεύτερου κλασσικού μοντέλου πύκνωσης (+2), το οποίο προσθέτει δυο επιπροσθέτους κόμβους σε κάθε ευθεία κατά την μετάβαση σε μεγαλύτερο επίπεδο.

Πέρα από τα παραπάνω, είναι γεγονός ότι το πλέγμα έντονης πύκνωσης συμβάλλει στην ορθότερη ανάλυση με χρήση πεπερασμένων στοιχείων σε υπολογιστικά προγράμματα, καθώς το ίδιο πραγματοποιεί την απαραίτητη πύκνωση στα σημεία σύνδεσης των βραχιόνων με το πανί, τα οποία είναι γνωστό ότι αποτελούν κρίσιμα σημεία πιθανής αστοχίας της κατασκευής.

Μια ενδεικτική διακριτοποίηση της ανακλαστικής επιφάνειας ανάμεσα σε δυο διαδοχικούς βραχίονες της κατασκευής για το μοντέλο της έντονης πύκνωσης αναπαρίσταται στην Εικόνα 31. Αξίζει να υπογραμμιστεί ότι στο παρών πλέγμα δεν υπάρχει ισόποσος διαχωρισμός σε όλο το τμήμα της εκάστοτε ευθείας, ενώ παρατηρείται ότι το μέγεθος των πεπερασμένων στοιχείων μικραίνει όσο πλησιάζουν τους βραχίονες, γεγονός που οφείλεται στην έντονη πύκνωσή των κόμβων.

Επιπλέον είναι αλήθεια ότι όλα τα πεπερασμένα στοιχεία έχουν σχήμα παραλληλογράμμου[47], πέρα από αυτά που βρίσκονται στα όρια σύνδεσης του «πανιού» με τον εκάστοτε βραχίονα, τα οποία είναι τριγωνικά, όπως ακριβώς συνέβη και στο δεύτερο μοντέλο κλασσικής πύκνωσης (+2).



Εικόνα 31: Ενδεικτική απεικόνιση πεπερασμένων στοιχείων διακριτοποίησης μοντέλου έντονης πύκνωσης (+2 κόμβοι σε κάθε ευθεία κατά την μετάβαση σε μεγαλύτερο επίπεδο)

[47] Στην Εικόνα 31 χρησιμοποιούνται προσεγγιστικά ορθογώνια για διευκόλυνση στην κατανόηση, ωστόσο το πλέγμα που προκύπτει από τον (προς διαμόρφωση) κώδικα περιέχει παραλληλόγραμμα ή τραπέζια.

Μοντέλο Πλέγματος Πύκνωσης Κόμβων Διακριτοποίησης Κεραίας			
(Αύξηση κατά έναν κόμβο (+2) σε κάθε ευθεία διακριτοποίησης κατά την μετάβαση σε μεγαλύτερο επίπεδο)			
Πλέγμα		Αποτελέσματα	
Step1	Step2	RMS (mm)	Αριθμός Κόμβων
30	10	0.4925	37200
40	10	0.4403	61500
20	20	0.6554	25200
30	20	0.5823	46500
40	20	0.53	73800
60	20	0.4578	146400
80	20	0.4090	243000
20	30	0.7094	31500
30	30	0.6424	55800
40	30	0.5924	81600
50	40	0.5988	137700
70	40	0.5402	234300
10	50	0.8540	19800
10	100	0.8909	36300

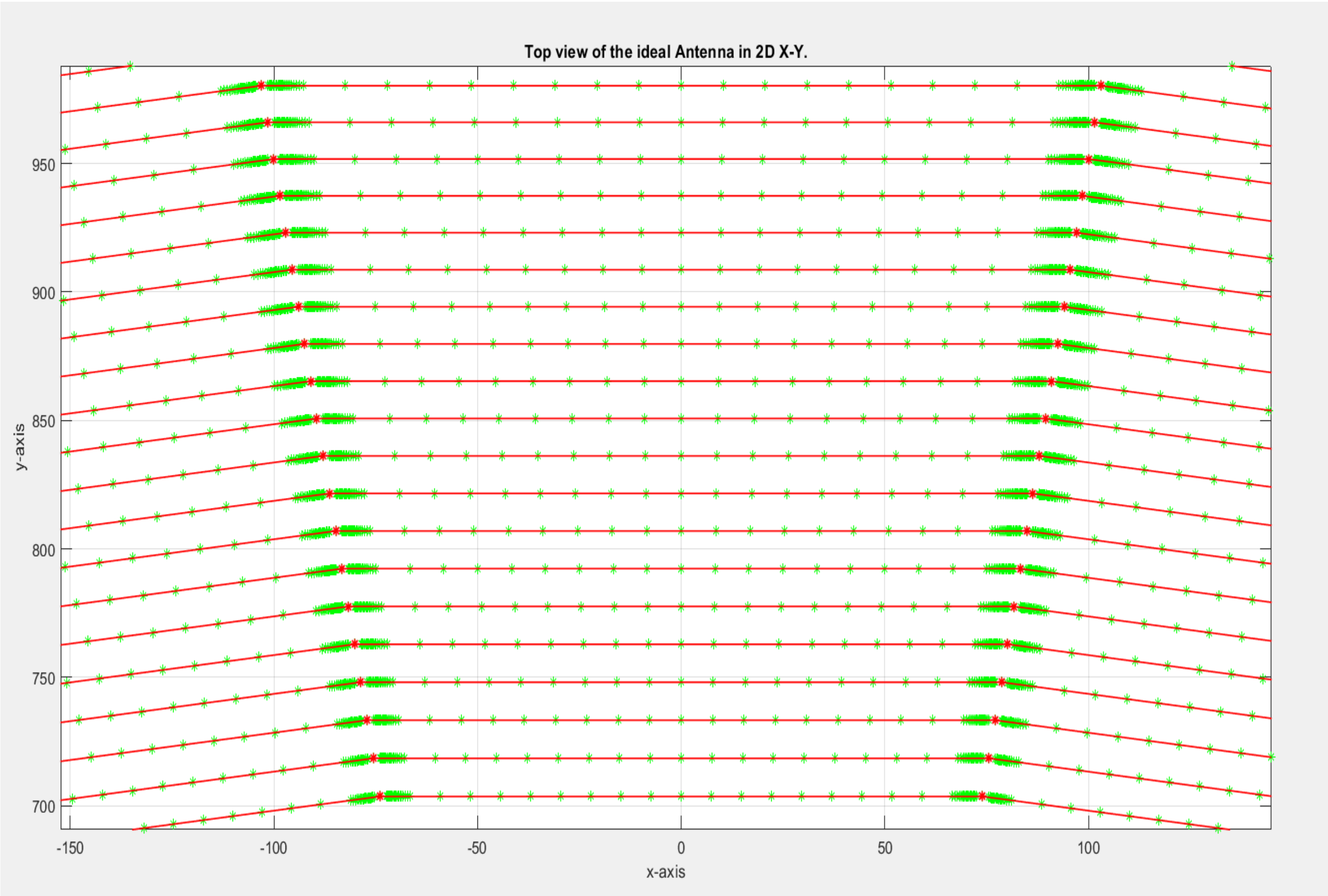
Πίνακας 5: Αποτελέσματα μοντέλων πλέγματος έντονης πύκνωσης κόμβων διακριτοποίησης της κεραίας

Από τον Πίνακα 5 γινεται αντιληπτό ότι η αύξηση του step1 υπό σταθερό step2, προκαλεί μείωση του τελικού επιφανειακού RMS, ενώ αντίστοιχα η αύξηση του step2 υπό την θεώρηση σταθερού step1 επιφέρει αύξηση του υπολογισμένου σφάλματος RMS, σε αντίθεση με τα δυο μοντελα κλασσικής πύκνωσης όπου παρατηρείται ακριβώς το αντίστροφο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην έντονη πύκνωση των κόμβων, οι οποίοι για μεγάλες τιμές του step1 πλησιάζουν ακόμα περισσότερο τους βραχίονες με αποτέλεσμα να μειώνουν περαιτέρω το επιφανειακό RMS της κεραίας.

Σημειώνεται ότι όλα τα μοντελα του Πίνακα 5, ικανοποιούν την θεωρία Nyquist, ωστόσο ως καταλληλότερο κρίνεται το μοντέλο με step1=60 και step2=20. Το συγκεκριμένο πλέγμα υπολογίζει RMS=0.4578mm, τιμή που βρίσκεται πολύ κοντά στην προδιαγραφή (RMS=0.45) κατά την σύγκριση της ιδανικής κεραίας και της ιδανικής ομπρέλας που επεξηγείται στην 3.1.1, ενώ το ίδιο περιέχει 146400 κόμβους σε αριθμό. Επίσης, σημειώνεται ότι οι βραχίονες μοντελοποιούνται με τμήματα μήκους 15.73mm , ενώ τα ίσα τμήματα[48] των ευθείων του πρώτου και του τελευταίου επιπέδου με 1mm και 10mm αντίστοιχα.

Πέρα από τα παραπάνω υπογραμμίζεται ότι οι ακραίοι κόμβοι των ευθείων του τελευταίου επιπέδου απέχουν 1mm από τους τελευταίους κόμβους των βραχιόνων, τιμη που χρήζει μελλοντική βελτιστοποίηση (μείωση απόστασης) εφόσον ο χρήστης δεν λαμβάνει αποτελέσματα με ικανοποιητική ακρίβεια.

[48] , τα οποία βρίσκονται στην περιοχή της μέσης των ευθείων,



Εικόνα 32: Ενδεικτική αποτύπωση μοντέλου έντονης πύκνωσης κόμβων στις περιοχές κοντά στους βραχίονες (εστίαση στην επιφάνεια του πανιού ανάμεσα σε δυο διαδοχικούς βραχίονες)

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα σπουδαστική εργασία αναπτυχθήκαν διάφορα τρισδιάστατα μοντελα πλεγματοποίησης της επιφάνειας μιας κεραίας επικοινωνιών για μικρούς δορυφόρους. Τα μοντέλα προγραμματίστηκαν στο περιβάλλον του MATLAB και ο κώδικας που δημιουργήθηκε, παρουσιάζεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.

Βασικός σκοπός αποτέλεσε η αποτύπωση της συμπεριφοράς των πλεγμάτων υπό την επήρεια συγκεκριμένων σφαλμάτων που δρουν στους κόμβους διακριτοποίησης των βραχιόνων της κατασκευής. Μέσω της εκτέλεσης του κώδικα εξάγονται όλες οι κομβικες συντεταγμένες των διαφόρων πλεγμάτων σε μορφή .txt, ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιείται η αποτύπωση τους στον τρισδιάστατο χώρο τόσο για τα ιδανικά όσο και για τα εσφαλμένα μοντέλα. Επισημαίνεται ότι η φιλοσοφία σχεδιασμού της κατασκευής βασίστηκε στον καθορισμό της θέσης των κόμβων στο εκάστοτε τρισδιάστατο πλέγμα, ενώ μια επιπρόσθετη μελλοντική βελτιστοποίηση μπορεί να αποτελέσει η ενασχόληση με τον καθορισμό του μεγέθους των πεπερασμένων στοιχείων, αυτών καθ’ αυτών, που την διακριτοποιούν.

Στην συνέχεια, υπολογίστηκαν τα επιφανειακά σφάλματα RMS για κάθε μοντέλο και έγινε μια προσπάθεια ελαχιστοποίησης τους με χρήση της θεωρίας που πρότεινε ο Fichter [2], η οποία βασίστηκε στον μαθηματικό μετασχηματισμό του τύπου υπολογισμού του RMS.

Σε τελικό στάδιο εξήχθησαν τα τελικά μοντελα και πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ τους, έτσι ώστε να αναδειχθεί το καταλληλότερο εξ’ αυτών. Σημειώνεται, ότι θεωρητικά τα δυο μοντελα κλασσικής πύκνωσης, που αναπτυχθήκαν στην 4.1.2, θα διακριτοποιούσαν ορθότερα την κατασκευή, συγκριτικά με το ομοιόμορφο πλέγμα (4.1.1), γεγονός που ωστόσο δεν συμβαίνει βασιζόμενοι στα αποτελέσματα των RMS (4.2).

Κλείνοντάς την εργασία, παρουσιάζεται στην παράγραφο 4.3, ένα νέο βελτιστοποιημένο μοντέλο, το οποίο βασίζεται στις θεωρίες που αναπτυχθήκαν στην 3.1. Το συγκεκριμένο μοντέλο «έντονης πύκνωσης» ικανοποιεί τις ζητούμενες προδιαγραφές του RMS, ωστόσο δεν έχει τελειοποιηθεί σε προγραμματιστικό κομμάτι και για αυτόν τον λόγο δεν περιλαμβάνεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. Βασιζόμενος σε αυτό και λαμβάνοντας υπόψιν ότι έχει ήδη ειπωθεί στις προηγούμενες παραγράφους (αλλά και στον κώδικα που παρουσιάζεται παρακατω) μπορεί κανείς να προχωρήσει στην φάση του τελικού σχεδιασμού της συγκεκριμένης κεραίας.

5.0 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] A. A. K. E. V. Moskvichev, Analyzing the surface accuracy of a rigid reflector under mechanical and thermal loading, https://doi.org/10.1063/1.5017389, 2017.

[2] W. B. Fichter, «NASA Technical Paper 2896,» 1989. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=mdp.39015022338662&view=1up&seq=8.

[3] B. WELCH, «application of the ruze equation for inflatable aperture antennas,» p., https://engineering.csuohio.edu/sites/csuohio.edu.engineering/files/media/ece/documents/Welch%20Bryan.pdf, 2006.

[4] P. W. Davis, «NASA Solar System Exploration,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://solarsystem.nasa.gov/basics/chapter6-3/.

[5] S. Y. a. B. Y. Hang Shi, New Methodology of Surface Mesh Geometry Design for Deployable Mesh Reflectors, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2017.

[6] B. L. Z. L. H. X. Z. &. C. H. Wang, Rib Structure Optimization of Deployable Umbrella Reflector. DEStech Transactions on Computer Science and Engineering., 2018.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB

Α.1 MODEL'S CHOICE

```
clc
clear
%Γεννητριες τυχαιων αριθμων
randk=rand(10000,1);
randangle=rand(10000,1);
```

```
Model=input('Choose the model of the antenna"s design.\n Type "1",for uniform mesh, or \n Type
"2",for thickening mesh. \n');

if Model==1
```

Α.2 UNIFORM MESH MODEL

```
%Εισοδοι απο χρηστη
step1 = input('Enter the ribs Elements  \n(Select a step1>10 to have a presice modeling)\n');
step2=input('Enter the Elements between 2 consecutively ribs in "theta" direction
(step1/step2=4.5 for square elements):\n '); %οριζω αριθμο στοιχειων αναμεσα σε 2 διαδοχικα ribs
step3=1;

Number_Points=30*(step1+1)+30*(step2-1)*(step1+1);

%Ακτνικη βοηθητικη συντεταγμενη
r1=linspace(90.5,1000,step1+1);

%Ευρεση καταλληλης ακτινικης συντεταγμενης βασιζομενοι στον ισοποσο χωρισμο
%της καμπυλης (παραβολης) που αποτυπωνει καθε βραχιονα
syms r3
syms x1 positive

%Ορισμος μηκους καμπυλης
s=int(sqrt(1+(r3/(2*1078)).^2),90.5,1000);
s_length=double(s);
```

```
%Ισοποσος χωρισμος του μηκους της καμπυλης
s_final=linspace(0,s_length,step1+1);

%Ευρεση της καταλληλης ακτινικης συντεταγμενης που αντιστοιχει στα παραπανω
%τμηματα του μηκους της καμπυλης
for jjj=1:length(s_final)
eq1(1,jjj)=s_final(1,jjj)-int(sqrt(1+(r3/(2*1078)).^2),90.5,x1);
r4(1,jjj)=vpasolve(eq1(1,jjj)==0,x1);
r(1,jjj)=double(r4(1,jjj));
end

%Βοηθητικη μεταβλητη
r2=r';

%Γωνιακη συντεταγμενη (ενδιαμεσα σημεια και βραχιονες)
theta=linspace(0,2*pi,30*step2+1);
theta_ribs=linspace(0,2*pi,step3*31);

%Κατακορυφη συντεταγμενη
z_ribs=(1/(4*1078)).*r'.^2;

%Διακριτοποιηση-Mesh
[R,THETA]=meshgrid(r,theta);
[R_RIBS,THETA_RIBS]=meshgrid(r,theta_ribs);
[Z_RIBS_IDEAL,THETA_RIBS_IDEAL]=meshgrid(z_ribs,theta_ribs);

%Υπολογισμος συντεταγμενων X,Y των κομβων των βραχιονων
X_RIBS=R_RIBS.*cos(THETA_RIBS);
Y_RIBS=R_RIBS.*sin(THETA_RIBS);
Z_RIBS=(1/(4*1078)).*R_RIBS.^2;

%------------- ANTENNA'S DESIGN-------------

if step2==1 %Ενα στοιχειο αναμεσα σε δυο διαδοχικους βραχιονες

figure(1)
M1=surf(X_RIBS,Y_RIBS,Z_RIBS); %εντολη δημιουργιας εικονικου πλεγματος
set(M1,'FaceColor','blue')
hold on
plot3(X_RIBS',Y_RIBS',Z_RIBS','r*-','LineWidth',2)
grid on
xlabel('x-axis')
ylabel('y-axis')
zlabel('z-axis')
title('Ideal Antenna in 3D-space with 1 element between every rib.')
fprintf(' <strong>Please select step2>1 for a proper mesh </strong>\n')

else
```

```
%------------- ERROR Z-------------
%Ορισμος οριων σφαλματος στην κατακορυφη θεση οποιουδηποτε κομβου ενος βραχιονα
a=-0.2; %σε mm
b=0.2;

for p=1:length(R_RIBS(:,1))
   for m=1:length(R_RIBS(1,:))
 Z_RIBS_ERROR_Z(p,m)=((R_RIBS(p,m).^2)/(4*1078))+(b-a)*rand()+a;
    end
end

%Αυξανουμε την διασταση για να μπορεσουμε να εκτελεσουμε στην συνεχεια εναν
%βρογχο for.
Z_RIBS_ERROR_Z(length(Z_RIBS_ERROR_Z(:,1)),:)=Z_RIBS_ERROR_Z(1,:);
```

```
%------------- ERROR K-------------
%Ορισμος οριων σφαλματος στον συντελεστη K=1078 (εστιακο μηκος) του εκαστοτε βραχιονα μετα
%απο χρηση Excel Solver, ετσι ωστε καθε βραχιονας να εμφανιζει RMS αναμεσα
%σε 0.09 και 0.11.
a2=0.87737865;
b2=0.961365366;

%Υπογραμμιζουμε οτι οι κομβοι ενος βραχιονα θα μετατοπιζονται το ιδιο
%Για αυτον τον λογο μεταβαλλουμε μονο τις σειρες (αντικατοπτριζουν τους 30 βραχιονες)
%με χρηση τυχαιων αριθμων και οχι τις στηλες που περιγραφουν τις
%συντεταγμενες των κομβων ιδιου βραχιονα

for p2=1:length(Z_RIBS(:,1))
    c2=(1+1)*randk(p2,1)-1;
if c2==0
    c2=c2+(1-0.1)*randk(p2,1)+0.1;
end

K_RIBS_ERROR(p2,1)=1078+(abs(c2)/c2)*((b2-a2)*rand()+a2);
Z_RIBS_ERROR_K(p2,:)=(R_RIBS(p2,:).^2)./(4*(K_RIBS_ERROR(p2,1)));
end

% Η τελευταια τιμη ισουται με την πρωτη για να μπορεσει να κλεινει η
% καμπυλη (Χρηση στον βρογχο for που θα ακολουθησει)
Z_RIBS_ERROR_K(length(Z_RIBS_ERROR_K(:,1)),:)=Z_RIBS_ERROR_K(1,:);
```

```
%------------- ERROR ON THE ANGLE OF THE RIBS-------------
step5=input('Enter the error (+-) in the angle of the ribs (degrees). Suggested Values error<1
degrees. Please use "." instead of "," for decimal numbers:\n ');

%Ορισμος οριων σφαλματος στην γωνια του εκαστοτε βραχιονα
a3=-step5*pi/180;
b3=step5*pi/180;

%Στην περιπτωση αυτη περα απο μεταβολη στην z διευθυνση, θα εχουμε
%επιπροσθετες μετατοπισεις και στο επιπεδο XY
for iii=1:length(R_RIBS(:,1))
     tan_angle(iii,:)=tan(((b3-
a3)*randangle(iii,1)+a3)+atan((Z_RIBS_IDEAL(iii,:))./(R_RIBS(iii,:))));
     sqrt_r_z(iii,:)=sqrt((R_RIBS(iii,:)).^2 +(Z_RIBS_IDEAL(iii,:)).^2);

Z_RIBS_ERROR_ANGLE(iii,:)=(sqrt_r_z(iii,:).*tan_angle(iii,:))./sqrt(1+(tan_angle(iii,:)).^2);
     R_RIBS_ERROR_ANGLE(iii,:)=sqrt(sqrt_r_z(iii,:).^2-(Z_RIBS_ERROR_ANGLE(iii,:)).^2);
end

X_RIBS_ERROR_ANGLE= R_RIBS_ERROR_ANGLE.*cos(THETA_RIBS_IDEAL);
Y_RIBS_ERROR_ANGLE= R_RIBS_ERROR_ANGLE.*sin(THETA_RIBS_IDEAL);

%Ταυτιζω τις συντεταγμενες των τελευταιων σημειων με των πρωτων για να
%υπαρξει "συνεχεια" στο σχημα που θα προκυψει (Χρηση στον βρογχο for)
X_RIBS_ERROR_ANGLE(length(X_RIBS_ERROR_ANGLE(:,1)),:)=X_RIBS_ERROR_ANGLE(1,:);
Y_RIBS_ERROR_ANGLE(length(Y_RIBS_ERROR_ANGLE(:,1)),:)=Y_RIBS_ERROR_ANGLE(1,:);
Z_RIBS_ERROR_ANGLE(length(Z_RIBS_ERROR_ANGLE(:,1)),:)=Z_RIBS_ERROR_ANGLE(1,:);
```

```
%------------- COMBINATION OF ERROR K AND ERROR ANGLE-------------
for iii=1:length(R_RIBS(:,1))
     tan_angle_2(iii,:)=tan(((b3-
a3)*randangle(iii,1)+a3)+atan(((Z_RIBS_ERROR_K(iii,:)))./(R_RIBS(iii,:))));
     sqrt_r_z_2(iii,:)=sqrt((R_RIBS(iii,:)).^2 +(Z_RIBS_ERROR_K(iii,:)).^2);

Z_RIBS_ERROR_COMBINATION(iii,:)=(sqrt_r_z_2(iii,:).*tan_angle_2(iii,:))./sqrt(1+(tan_angle_2(iii,
:)).^2);
     R_RIBS_ERROR_COMBINATION(iii,:)=sqrt(sqrt_r_z_2(iii,:).^2-
(Z_RIBS_ERROR_COMBINATION(iii,:)).^2);
end

X_RIBS_ERROR_COMBINATION= R_RIBS_ERROR_COMBINATION.*cos(THETA_RIBS_IDEAL);
Y_RIBS_ERROR_COMBINATION= R_RIBS_ERROR_COMBINATION.*sin(THETA_RIBS_IDEAL);
```

```
%Ταυτιζω τις συντεταγμενες των τελευταιων σημειων με των πρωτων για να
%υπαρξει "συνεχεια" στο σχημα που θα προκυψει
X_RIBS_ERROR_COMBINATION(length(X_RIBS_ERROR_COMBINATION(:,1)),:)=X_RIBS_ERROR_COMBINATION(1,:);
Y_RIBS_ERROR_COMBINATION(length(Y_RIBS_ERROR_COMBINATION(:,1)),:)=Y_RIBS_ERROR_COMBINATION(1,:);
Z_RIBS_ERROR_COMBINATION(length(Z_RIBS_ERROR_COMBINATION(:,1)),:)=Z_RIBS_ERROR_COMBINATION(1,:);
```

```
%------------ DESIGN -------------
```

```
%Κατασκευη ευθειων που μοντελοποιουν το πανι αναμεσα σε δυο διαδοχικους βραχιονες
for i=1:length(X_RIBS(:,1))-1
    for j=1:length(X_RIBS(1,:))
          for k=1:step2-1
                t(i*(step2-1)+k-1,j)=k/step2;

                %Ενδιαμεσες συντεταγμενες ιδεατης κατασκευης
                x(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t(i*(step2-1)+k-1,j)).*X_RIBS(i,j)+t(i*(step2-1)+k-
1,j).*X_RIBS(i+1,j);
                y(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t(i*(step2-1)+k-1,j)).*Y_RIBS(i,j)+t(i*(step2-1)+k-
1,j).*Y_RIBS(i+1,j);

                %Ενδιαμεσες συντεταγμενες κατασκευης με σφαλμα στην z
                %διευθυνση των βραχιονων
                z_error_Z(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t(i*(step2-1)+k-
1,j)).*Z_RIBS_ERROR_Z(i,j)+t(i*(step2-1)+k-1,j).*Z_RIBS_ERROR_Z(i+1,j);

                %Ενδιαμεσες συντεταγμενες κατασκευης με σφαλμα στο
                %εστιακο μηκος των βραχιονων
                z_error_K(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t(i*(step2-1)+k-
1,j)).*Z_RIBS_ERROR_K(i,j)+t(i*(step2-1)+k-1,j).*Z_RIBS_ERROR_K(i+1,j);

                %Ενδιαμεσες συντεταγμενες κατασκευης με σφαλμα στην
                %γωνια των βραχιονων
                x_error_angle(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t(i*(step2-1)+k-
1,j)).*X_RIBS_ERROR_ANGLE(i,j)+t(i*(step2-1)+k-1,j).*X_RIBS_ERROR_ANGLE(i+1,j);
                y_error_angle(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t(i*(step2-1)+k-
1,j)).*Y_RIBS_ERROR_ANGLE(i,j)+t(i*(step2-1)+k-1,j).*Y_RIBS_ERROR_ANGLE(i+1,j);
                z_error_angle(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t(i*(step2-1)+k-
1,j)).*Z_RIBS_ERROR_ANGLE(i,j)+t(i*(step2-1)+k-1,j).*Z_RIBS_ERROR_ANGLE(i+1,j);

                %Ενδιαμεσες συντεταγμενες κατασκευης με σφαλμα στην
                %γωνια των βραχιονων ΚΑΙ στο εστιακο μηκος τους
                x_error_combination(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t(i*(step2-1)+k-
1,j)).*X_RIBS_ERROR_COMBINATION(i,j)+t(i*(step2-1)+k-1,j).*X_RIBS_ERROR_COMBINATION(i+1,j);
                y_error_combination(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t(i*(step2-1)+k-
1,j)).*Y_RIBS_ERROR_COMBINATION(i,j)+t(i*(step2-1)+k-1,j).*Y_RIBS_ERROR_COMBINATION(i+1,j);
                z_error_combination(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t(i*(step2-1)+k-
```

```
1,j)).*Z_RIBS_ERROR_COMBINATION(i,j)+t(i*(step2-1)+k-1,j).*Z_RIBS_ERROR_COMBINATION(i+1,j);

          end
    end
end

%Τροποποιηση τελικων συντεταγμενων λογω επαναληψης ορισμενων τιμων
%Εξαλειψη μηδενικων (μη υπαρκτων) συντεταγμενων
if step2==3
x(1,:) = [];
y(1,:) = [];

z_error_Z(1,:) = [];
z_error_K(1,:) = [];

x_error_angle(1,:)=[];
y_error_angle(1,:)=[];
z_error_angle(1,:)=[];

x_error_combination(1,:)=[];
y_error_combination(1,:)=[];
z_error_combination(1,:)=[];
end

if step2>3
x(1:step2-2,:) = [];
y(1:step2-2,:) = [];

z_error_Z(1:step2-2,:) = [];
z_error_K(1:step2-2,:) = [];

x_error_angle(1:step2-2,:)=[];
y_error_angle(1:step2-2,:)=[];
z_error_angle(1:step2-2,:)=[];

x_error_combination(1:step2-2,:)=[];
y_error_combination(1:step2-2,:)=[];
z_error_combination(1:step2-2,:)=[];
end

%Σχεδιαση και αποτυπωση των σημειων σε κατοψη
figure(2)
plot(x,y,'g*')
hold on
plot(X_RIBS,Y_RIBS,'r-*','LineWidth',1)
grid on
xlabel('x-axis')
ylabel('y-axis')
title('Top view of the ideal Antenna in 2D X-Y.')
```

```
figure(3)
plot(x_error_angle,y_error_angle,'g*')
hold on
plot(X_RIBS_ERROR_ANGLE,Y_RIBS_ERROR_ANGLE,'r-*','LineWidth',1)
grid on
xlabel('x-axis')
ylabel('y-axis')
title('Top view of the Antenna with angle error on the ribs, in 2D view X-Y.')
axis tight
box on

%Σχεδιασμος της κατασκευης (ιδεατης) σε 3D
w=linspace(0,1000,length(x(:,1)));
[R_points,Xtot]=meshgrid(r,w); %Τροποποιηση διαστασεων για να μπορουμε να πραγματοποιησουμε την
διακριτοποιηση
Z_points=(1/(4*1078)).*R_points.^2;

%Διαγραφη τελευταιων σημειων που ταυτιζονται με τα πρωτα

X_RIBS(length(X_RIBS(:,1)),:) = [];
Y_RIBS(length(Y_RIBS(:,1)),:) = [];
Z_RIBS(length(Z_RIBS(:,1)),:) = [];

Z_RIBS_ERROR_Z(length(Z_RIBS_ERROR_Z(:,1)),:)=[];
Z_RIBS_ERROR_K(length(Z_RIBS_ERROR_K(:,1)),:)=[];

X_RIBS_ERROR_ANGLE(length(X_RIBS_ERROR_ANGLE(:,1)),:)=[];
Y_RIBS_ERROR_ANGLE(length(Y_RIBS_ERROR_ANGLE(:,1)),:)=[];
Z_RIBS_ERROR_ANGLE(length(Z_RIBS_ERROR_ANGLE(:,1)),:)=[];

X_RIBS_ERROR_COMBINATION(length(X_RIBS_ERROR_COMBINATION(:,1)),:)=[];
Y_RIBS_ERROR_COMBINATION(length(Y_RIBS_ERROR_COMBINATION(:,1)),:)=[];
Z_RIBS_ERROR_COMBINATION(length(Z_RIBS_ERROR_COMBINATION(:,1)),:)=[];

%Κατασκευη πινακων που περιεχουν ολες τις συντεταγμενες (βραχιονες +
%ενδιαμεσα σημεια). Βοηθανε στην κατασκευη του 3d σχηματος

Xp=vertcat(x,X_RIBS);
Yp=vertcat(y,Y_RIBS);
Zp=vertcat(Z_points,Z_RIBS);

Zp_ERROR_Z=vertcat(z_error_Z,Z_RIBS_ERROR_Z);
Zp_ERROR_K=vertcat(z_error_K,Z_RIBS_ERROR_K);

Xp_ERROR_ANGLE=vertcat(x_error_angle,X_RIBS_ERROR_ANGLE);
Yp_ERROR_ANGLE=vertcat(y_error_angle,Y_RIBS_ERROR_ANGLE);
Zp_ERROR_ANGLE=vertcat(z_error_angle,Z_RIBS_ERROR_ANGLE);
```

```
Xp_ERROR_COMBINATION=vertcat(x_error_combination,X_RIBS_ERROR_COMBINATION);
Yp_ERROR_COMBINATION=vertcat(y_error_combination,Y_RIBS_ERROR_COMBINATION);
Zp_ERROR_COMBINATION=vertcat(z_error_combination,Z_RIBS_ERROR_COMBINATION);

%Αναδιαταξη των παραπανω πινακων και δημιουργια διανυσματων που περιεχουν
%τις συντεταγμενες των βραχιονων

X_RIBS_VECTOR=reshape(X_RIBS,[],1);
Y_RIBS_VECTOR=reshape(Y_RIBS,[],1);
Z_RIBS_VECTOR=reshape(Z_RIBS,[],1);

Z_RIBS_ERROR_Z_VECTOR=reshape(Z_RIBS_ERROR_Z,[],1);
Z_RIBS_ERROR_K_VECTOR=reshape(Z_RIBS_ERROR_K,[],1);

X_RIBS_ERROR_ANGLE_VECTOR=reshape(X_RIBS_ERROR_ANGLE,[],1);
Y_RIBS_ERROR_ANGLE_VECTOR=reshape(Y_RIBS_ERROR_ANGLE,[],1);
Z_RIBS_ERROR_ANGLE_VECTOR=reshape(Z_RIBS_ERROR_ANGLE,[],1);

X_RIBS_ERROR_COMBINATION_VECTOR=reshape(X_RIBS_ERROR_COMBINATION,[],1);
Y_RIBS_ERROR_COMBINATION_VECTOR=reshape(Y_RIBS_ERROR_COMBINATION,[],1);
Z_RIBS_ERROR_COMBINATION_VECTOR=reshape(Z_RIBS_ERROR_COMBINATION,[],1);

%Δημιουργια επιπροσθετων πινακων που περιεχουν τις συντεταγμενες με την
%σειρα που εμφανιζονται στο σχημα (Ουσιαστικα παρεμβαλλονται καταλληλα, οι
%συντεταγμενες των κομβων των βραχιονων αναμεσα σε αυτες του πανιου). Τους
%παρακατω πινακες θα τους χρησιμοποιησουμε στο τελικο αρχειο μορφης txt.
ii=1;
jj=1;
kk=1;
while kk<length(Xp(:,1))

    Xp_ord(kk,:)=X_RIBS(ii,:);
    Xp_ord(kk+1:kk+step2-1,:)=x(jj:jj+step2-2,:);

    Yp_ord(kk,:)=Y_RIBS(ii,:);
    Yp_ord(kk+1:kk+step2-1,:)=y(jj:jj+step2-2,:);

    Zp_ord(kk,:)=Z_RIBS(ii,:);
    Zp_ord(kk+1:kk+step2-1,:)=Z_points(jj:jj+step2-2,:);

    Zp_ord_ERROR_Z(kk,:)=Z_RIBS_ERROR_Z(ii,:);
    Zp_ord_ERROR_Z(kk+1:kk+step2-1,:)=z_error_Z(jj:jj+step2-2,:);

    Zp_ord_ERROR_K(kk,:)=Z_RIBS_ERROR_K(ii,:);
    Zp_ord_ERROR_K(kk+1:kk+step2-1,:)=z_error_K(jj:jj+step2-2,:);

    Xp_ord_ERROR_ANGLE(kk,:)=X_RIBS_ERROR_ANGLE(ii,:);
    Xp_ord_ERROR_ANGLE(kk+1:kk+step2-1,:)=x_error_angle(jj:jj+step2-2,:);
    Yp_ord_ERROR_ANGLE(kk,:)=Y_RIBS_ERROR_ANGLE(ii,:);
```

```
    Yp_ord_ERROR_ANGLE(kk+1:kk+step2-1,:)=y_error_angle(jj:jj+step2-2,:);
    Zp_ord_ERROR_ANGLE(kk,:)=Z_RIBS_ERROR_ANGLE(ii,:);
    Zp_ord_ERROR_ANGLE(kk+1:kk+step2-1,:)=z_error_angle(jj:jj+step2-2,:);

    Xp_ord_ERROR_COMBINATION(kk,:)=X_RIBS_ERROR_COMBINATION(ii,:);
    Xp_ord_ERROR_COMBINATION(kk+1:kk+step2-1,:)=x_error_combination(jj:jj+step2-2,:);
    Yp_ord_ERROR_COMBINATION(kk,:)=Y_RIBS_ERROR_COMBINATION(ii,:);
    Yp_ord_ERROR_COMBINATION(kk+1:kk+step2-1,:)=y_error_combination(jj:jj+step2-2,:);
    Zp_ord_ERROR_COMBINATION(kk,:)=Z_RIBS_ERROR_COMBINATION(ii,:);
    Zp_ord_ERROR_COMBINATION(kk+1:kk+step2-1,:)=z_error_combination(jj:jj+step2-2,:);

    kk=kk+step2;
    ii=ii+1;
    jj=jj+step2-1;

end
```

```
%------------- IDEAL ANTENNA -------------
figure(4)
M3=surf(Xp,Yp,Zp);
set(M3,'FaceColor','blue','EdgeColor','black')
hold on
plot3(X_RIBS',Y_RIBS',Z_RIBS','r*-','LineWidth',3)
grid on
xlabel('x-axis')
ylabel('y-axis')
zlabel('z-axis')
title('Antenna in 3D-space (Ideal Model).')
```

```
%------------- ANTENNA WITH ERROR IN Z-COORDINATE OF THE RIBS (ERROR Z) -------------
figure(5)
M4=surf(Xp,Yp,Zp_ERROR_Z);
set(M4,'FaceColor','blue')
hold on
plot3(X_RIBS',Y_RIBS',Z_RIBS_ERROR_Z','r*-','LineWidth',3)
grid on
xlabel('x-axis')
ylabel('y-axis')
zlabel('z-axis')
title('Antenna in 3D-space with error on z coordinate of the ribs.')
```

```
%------------- ANTENNA WITH ERROR IN THE FOCAL LENGTH OF THE RIBS (ERROR K)-------------
figure(6)
M5=surf(Xp,Yp,Zp_ERROR_K);
set(M5,'FaceColor','blue')
hold on
plot3(X_RIBS',Y_RIBS',Z_RIBS_ERROR_K','r*-','LineWidth',3)
grid on
xlabel('x-axis')
ylabel('y-axis')
zlabel('z-axis')
title('Antenna in 3D-space with error on the curvature of the ribs.')
```

```
%------------- ANTENNA WITH ERROR IN THE ANGLE OF THE RIBS (ERROR ANGLE)-------------
figure(7)
M6=surf(Xp_ERROR_ANGLE,Yp_ERROR_ANGLE,Zp_ERROR_ANGLE);
set(M6,'FaceColor','blue');
hold on
plot3(X_RIBS_ERROR_ANGLE',Y_RIBS_ERROR_ANGLE',Z_RIBS_ERROR_ANGLE','r*-','LineWidth',3)
grid on
xlabel('x-axis')
ylabel('y-axis')
zlabel('z-axis')
title('Antenna in 3D-space with error on the angle of the ribs.')
```

```
%-------------- ANTENNA WITH ERROR IN THE ANGLE OF THE RIBS (ERROR ANGLE) AND IN THE FOCAL LENGTH
OF THE RIBS (ERROR K)------------
figure(8)
M6=surf(Xp_ERROR_COMBINATION,Yp_ERROR_COMBINATION,Zp_ERROR_COMBINATION);
set(M6,'FaceColor','blue');
hold on
plot3(X_RIBS_ERROR_COMBINATION',Y_RIBS_ERROR_COMBINATION',Z_RIBS_ERROR_COMBINATION','r*-
','LineWidth',3)
grid on
xlabel('x-axis')
ylabel('y-axis')
zlabel('z-axis')
title('Antenna in 3D-space with error on the angle AND the curvature of the ribs.')
```

```
%------------ COORDINATES -------------
%Κατασκευη διανυσματος που θα περιεχει τις συντεταγμενες ολων των
%ενδιαμεσων σημειων (Οι παρακατω πινακες ειναι βοηθητικοι για να συμβαλλουν
%στην απολυτη κατηγοροιοποιηση των συντεταγμενων (πανιου-βραχιονων)

%Σημειωνουμε οτι στην συνεχεια μεσω των διανυσματων X_CORD κτλ, θα
%συνθεσουμε τους ολικους πινακες συντεταγμενων, που θα περιεχουν ΟΛΟΥΣ τους
%κομβους με την σειρα που εμφανιζονται

XCORD=reshape(x,[],1);
YCORD=reshape(y,[],1);
ZCORD=reshape(Z_points,[],1);

ZCORD_ERROR_Z=reshape(z_error_Z,[],1);
ZCORD_ERROR_K=reshape(z_error_K,[],1);

XCORD_ERROR_ANGLE=reshape(x_error_angle,[],1);
YCORD_ERROR_ANGLE=reshape(y_error_angle,[],1);
ZCORD_ERROR_ANGLE=reshape(z_error_angle,[],1);

XCORD_ERROR_COMBINATION=reshape(x_error_combination,[],1);
YCORD_ERROR_COMBINATION=reshape(y_error_combination,[],1);
ZCORD_ERROR_COMBINATION=reshape(z_error_combination,[],1);

%Κατασκευη πινακα που περιεχει ολες τις συντεταγμενες των ενδιαμεσων
%σημειων (στο πανι)
intermediate_points=[XCORD YCORD ZCORD];
intermediate_points_ERROR_Z=[XCORD YCORD ZCORD_ERROR_Z];
intermediate_points_ERROR_K=[XCORD YCORD ZCORD_ERROR_K];
intermediate_points_ERROR_ANGLE=[XCORD_ERROR_ANGLE YCORD_ERROR_ANGLE ZCORD_ERROR_ANGLE];
intermediate_points_ERROR_COMBINATION=[XCORD_ERROR_COMBINATION YCORD_ERROR_COMBINATION
ZCORD_ERROR_COMBINATION];

%Κατασκευη πινακα που περιεχει ολες τις συντεταγμενες των κομβων των
%βραχιονων (Βοηθητικη χρηση για να φαινονται ξεκαθαρα οι συντεταγμενες
%στους βραχιονες)
ribs_points=[X_RIBS_VECTOR Y_RIBS_VECTOR Z_RIBS_VECTOR];
ribs_points_ERROR_Z=[X_RIBS_VECTOR Y_RIBS_VECTOR Z_RIBS_ERROR_Z_VECTOR];
ribs_points_ERROR_K=[X_RIBS_VECTOR Y_RIBS_VECTOR Z_RIBS_ERROR_K_VECTOR];
ribs_points_ERROR_ANGLE=[X_RIBS_ERROR_ANGLE_VECTOR Y_RIBS_ERROR_ANGLE_VECTOR
Z_RIBS_ERROR_ANGLE_VECTOR];
ribs_points_ERROR_COMBINATION=[X_RIBS_ERROR_COMBINATION_VECTOR Y_RIBS_ERROR_COMBINATION_VECTOR
Z_RIBS_ERROR_COMBINATION_VECTOR];

%ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΛΙΚΩΝ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ
```

```
X_CORD=reshape(Xp_ord,[],1);
Y_CORD=reshape(Yp_ord,[],1);
Z_CORD=reshape(Zp_ord,[],1);
Z_CORD_ERROR_Z=reshape(Zp_ord_ERROR_Z,[],1);
Z_CORD_ERROR_K=reshape(Zp_ord_ERROR_K,[],1);
X_CORD_ERROR_ANGLE=reshape(Xp_ord_ERROR_ANGLE,[],1);
Y_CORD_ERROR_ANGLE=reshape(Yp_ord_ERROR_ANGLE,[],1);
Z_CORD_ERROR_ANGLE=reshape(Zp_ord_ERROR_ANGLE,[],1);
X_CORD_ERROR_COMBINATION=reshape(Xp_ord_ERROR_COMBINATION,[],1);
Y_CORD_ERROR_COMBINATION=reshape(Yp_ord_ERROR_COMBINATION,[],1);
Z_CORD_ERROR_COMBINATION=reshape(Zp_ord_ERROR_COMBINATION,[],1);

coordinates=[X_CORD Y_CORD Z_CORD];
coordinates_ERROR_Z=[X_CORD Y_CORD Z_CORD_ERROR_Z];
coordinates_ERROR_K=[X_CORD Y_CORD Z_CORD_ERROR_K];
coordinates_ERROR_ANGLE=[X_CORD_ERROR_ANGLE Y_CORD_ERROR_ANGLE Z_CORD_ERROR_ANGLE];
coordinates_ERROR_COMBINATION=[X_CORD_ERROR_COMBINATION Y_CORD_ERROR_COMBINATION
Z_CORD_ERROR_COMBINATION];

%Βοηθητικος πινακας συντεταγμενων ιδεατης κατασκευης
Xfinal_ideal=coordinates(:,1);
Yfinal_ideal=coordinates(:,2);
Zfinal_ideal=coordinates(:,3);
T=table(Xfinal_ideal,Yfinal_ideal,Zfinal_ideal);
writetable(T,'table_ideal_coordinates.txt');

%Βοηθητικος πινακας συντεταγμενων κατασκευης με σφαλμα στην Z διευθυνση των ribs
Xfinal_errorZ=coordinates_ERROR_Z(:,1);
Yfinal_errorZ=coordinates_ERROR_Z(:,2);
Zfinal_errorZ=coordinates_ERROR_Z(:,3);
T_ERROR_Z=table(Xfinal_errorZ,Yfinal_errorZ,Zfinal_errorZ);
writetable(T_ERROR_Z,'table_coordinates_ERROR_Z.txt');

%Βοηθητικος πινακας συντεταγμενων κατασκευης με σφαλμα στο εστιακο μηκος των ribs
Xfinal_error_K=coordinates_ERROR_K(:,1);
Yfinal_error_K=coordinates_ERROR_K(:,2);
Zfinal_error_K=coordinates_ERROR_K(:,3);
T_ERROR_K=table(Xfinal_error_K,Yfinal_error_K,Zfinal_error_K);
%xlswrite('Coordinates_ERROR_K.xlsx',[Xfinal_error_K Yfinal_error_K Zfinal_error_K] )
writetable(T_ERROR_K,'table_coordinates_ERROR_K.txt');

%Βοηθητικος πινακας συντεταγμενων κατασκευης με σφαλμα στην γωνια των ribs
Xfinal_error_angle=coordinates_ERROR_ANGLE(:,1);
Yfinal_error_angle=coordinates_ERROR_ANGLE(:,2);
Zfinal_error_angle=coordinates_ERROR_ANGLE(:,3);
T_ERROR_ANGLE=table(Xfinal_error_angle,Yfinal_error_angle,Zfinal_error_angle);
writetable(T_ERROR_ANGLE,'table_coordinates_ERROR_ANGLE.txt');

%Βοηθητικος πινακας συντεταγμενων κατασκευης με σφαλμα στην γωνια των ribs
```

```
%KAI ταυτοχρονα στο εστιακο μηκος
Xfinal_error_combination=coordinates_ERROR_COMBINATION(:,1);
Yfinal_error_combination=coordinates_ERROR_COMBINATION(:,2);
Zfinal_error_combination=coordinates_ERROR_COMBINATION(:,3);
T_ERROR_COMBINATION=table(Xfinal_error_combination,Yfinal_error_combination,Zfinal_error_combinat
ion);
writetable(T_ERROR_COMBINATION,'table_coordinates_ERROR_COMBINATION.txt');

%Συντεταγμενες τελευταιου επιπεδου
X_last_level_IDEAL=Xp_ord(:,length(Xp_ord(1,:)));
Y_last_level_IDEAL=Yp_ord(:,length(Yp_ord(1,:)));
Z_last_level_IDEAL=Zp_ord(:,length(Zp_ord(1,:)));
T_last_level_IDEAL=table(X_last_level_IDEAL,Y_last_level_IDEAL,Z_last_level_IDEAL);
writetable(T_last_level_IDEAL,'table_coordinates_last_level_IDEAL.txt');

Z_last_level_ERROR_Z=Zp_ord_ERROR_Z(:,length(Zp_ord_ERROR_Z(1,:)));
T_last_level_ERROR_Z=table(X_last_level_IDEAL,Y_last_level_IDEAL,Z_last_level_ERROR_Z);
writetable(T_last_level_ERROR_Z,'table_coordinates_last_level_ERROR_Z.txt');

Z_last_level_ERROR_K=Zp_ord_ERROR_K(:,length(Zp_ord_ERROR_K(1,:)));
T_last_level_ERROR_K=table(X_last_level_IDEAL,Y_last_level_IDEAL,Z_last_level_ERROR_K);
writetable(T_last_level_ERROR_K,'table_coordinates_last_level_ERROR_K.txt');

X_last_level_ERROR_ANGLE=Xp_ord_ERROR_ANGLE(:,length(Xp_ord_ERROR_ANGLE(1,:)));
Y_last_level_ERROR_ANGLE=Yp_ord_ERROR_ANGLE(:,length(Yp_ord_ERROR_ANGLE(1,:)));
Z_last_level_ERROR_ANGLE=Zp_ord_ERROR_ANGLE(:,length(Zp_ord_ERROR_ANGLE(1,:)));
T_last_level_ERROR_ANGLE=table(X_last_level_ERROR_ANGLE,Y_last_level_ERROR_ANGLE,Z_last_level_ERR
OR_ANGLE);
writetable(T_last_level_ERROR_ANGLE,'table_coordinates_last_level_ERROR_ANGLE.txt');

X_last_level_ERROR_COMBINATION=Xp_ord_ERROR_COMBINATION(:,length(Xp_ord_ERROR_COMBINATION(1,:)));
Y_last_level_ERROR_COMBINATION=Yp_ord_ERROR_COMBINATION(:,length(Yp_ord_ERROR_COMBINATION(1,:)));
Z_last_level_ERROR_COMBINATION=Zp_ord_ERROR_COMBINATION(:,length(Zp_ord_ERROR_COMBINATION(1,:)));
T_last_level_ERROR_COMBINATION=table(X_last_level_ERROR_COMBINATION,Y_last_level_ERROR_COMBINATIO
N,Z_last_level_ERROR_COMBINATION);
writetable(T_last_level_ERROR_COMBINATION,'table_coordinates_last_level_ERROR_COMBINATION.txt');
```

```
%------------ PRINTING NUMBERED POINTS OF THE IDEAL ANTENNA (WE HAVE THEM WITH COMMENTS BECAUSE
THEY CONSUMED RESOLUTION TIME)-------------
```

```
%figure(11)
%M7=surf(Xp,Yp,Zp);
%set(M7,'FaceColor','blue')
%hold on
%plot3(X_RIBS',Y_RIBS',Z_RIBS','r*-','LineWidth',3)
```

```
Xn=coordinates(:,1);
Yn=coordinates(:,2);
Zn=coordinates(:,3);

%for n = 1:numel(coordinates(:,1))
 %      text(Xn(n),Yn(n),Zn(n),num2str(n),'VerticalAlignment','top','FontWeight','bold')
%end
```

```
        %------------- PRINTING NUMBERED POINTS OF THE ANTENNA WITH  ERROR Z-------------
%figure (12)
%M8=surf(Xp,Yp,Zp_ERROR_Z);
%set(M8,'FaceColor','blue','LineWidth',1)
%hold on
%plot3(X_RIBS',Y_RIBS',Z_RIBS_ERROR_Z','r*-','LineWidth',3)

Xn_ERROR_Z=coordinates_ERROR_Z(:,1);
Yn_ERROR_Z=coordinates_ERROR_Z(:,2);
Zn_ERROR_Z=coordinates_ERROR_Z(:,3);

%for n2 = 1:numel(coordinates_ERROR_Z(:,1))
     %
text(Xn_ERROR_Z(n2),Yn_ERROR_Z(n2),Zn_ERROR_Z(n2),num2str(n2),'VerticalAlignment','top','FontWeig
ht','bold')
%end
%grid on
%xlabel('x-axis')
%ylabel('y-axis')
%zlabel('z-axis')
%title('Coordinates of the antenna with error in z-coordinate of the ribs, in three-space.')
```

```
%------------- PRINTING NUMBERED POINTS OF THE ANTENNA WITH FOCAL LENGTH ERROR (ERROR K) --------
%figure (13)
%M9=surf(Xp,Yp,Zp_ERROR_K);
%set(M9,'FaceColor','blue','LineWidth',1)
%hold on
%plot3(X_RIBS',Y_RIBS',Z_RIBS_ERROR_K','r*-','LineWidth',3)
%
Xn_ERROR_K=coordinates_ERROR_K(:,1);
Yn_ERROR_K=coordinates_ERROR_K(:,2);
Zn_ERROR_K=coordinates_ERROR_K(:,3);
```

```
%for n3 = 1:numel(coordinates_ERROR_K(:,1))

%text(Xn_ERROR_K(n3),Yn_ERROR_K(n3),Zn_ERROR_K(n3),num2str(n3),'VerticalAlignment','top','FontWei
ght','bold')
%end
%grid on
%xlabel('x-axis')
%ylabel('y-axis')
%zlabel('z-axis')
%title('Coordinates of the antenna with error in the curvature of the ribs, in three-space.')
```

```
%------------- PRINTING NUMBERED POINTS OF THE ANTENNA WITH ANGLE ERROR AS WELL AS WITH
COMBINATION ERROR-------------
```

```
%figure (14)
%M9=surf(Xp_ERROR_ANGLE,Yp_ERROR_ANGLE,Zp_ERROR_ANGLE);
%set(M9,'FaceColor','blue','LineWidth',1)
%hold on
%plot3(X_RIBS_ERROR_ANGLE',Y_RIBS_ERROR_ANGLE',Z_RIBS_ERROR_ANGLE','r*-','LineWidth',3)

Xn_ERROR_ANGLE=coordinates_ERROR_ANGLE(:,1);
Yn_ERROR_ANGLE=coordinates_ERROR_ANGLE(:,2);
Zn_ERROR_ANGLE=coordinates_ERROR_ANGLE(:,3);

Xn_ERROR_COMBINATION=coordinates_ERROR_COMBINATION(:,1);
Yn_ERROR_COMBINATION=coordinates_ERROR_COMBINATION(:,2);
Zn_ERROR_COMBINATION=coordinates_ERROR_COMBINATION(:,3);

%for n4 = 1:numel(coordinates_ERROR_ANGLE(:,1))
%text(Xn_ERROR_ANGLE(n4),Yn_ERROR_ANGLE(n4),Zn_ERROR_ANGLE(n4),num2str(n4),'VerticalAlignment','t
op','FontWeight','bold')
%end
%grid on
%xlabel('x-axis')
%ylabel('y-axis')
%title('Coordinates of the antenna with error in the angle of the ribs, in three-space.')
```

```
                    %------------- RMS-------------
%Αριθμος σημειων στον τυπο του RMS
  RMS_POINTS=Number_Points;

%RMS_ideal
  Z_PARABOLA_IDEAL(:,1)=(Xn(:,1).^2+Yn(:,1).^2)./(4*1078);
  Dz1(:,1)=Zn(:,1)-Z_PARABOLA_IDEAL(:,1);
  RMS_surface=sqrt(((sum((Dz1(:,1)).^2)))./RMS_POINTS);

  h1(:,1)=-(((sum((-Zn(:,1)+Z_PARABOLA_IDEAL(:,1)))))./RMS_POINTS);
  RMS_surface_correction=sqrt(((sum((h1(:,1)-Zn(:,1)+Z_PARABOLA_IDEAL(:,1)).^2)))./RMS_POINTS);

 %RMS_K
  Z_PARABOLA_CORRECTION_K(:,1)=(Xn_ERROR_K(:,1).^2+Yn_ERROR_K(:,1).^2)./(4*1078);
  Dz2(:,1)=Zn_ERROR_K(:,1)-Z_PARABOLA_CORRECTION_K(:,1);
  RMS_K_surface=sqrt(((sum(Dz2(:,1).^2)))./RMS_POINTS);

  h2(:,1)=-(((sum((-Zn_ERROR_K(:,1)+Z_PARABOLA_CORRECTION_K(:,1)))))./RMS_POINTS);
  RMS_K_surface_correction=sqrt(((sum((h2(:,1)-
Zn_ERROR_K(:,1)+Z_PARABOLA_CORRECTION_K(:,1)).^2)))./RMS_POINTS);

 %RMS_ANGLE
Z_PARABOLA_CORRECTION_ANGLE(:,1)=(Xn_ERROR_ANGLE(:,1).^2+Yn_ERROR_ANGLE(:,1).^2)./(4*1078);
Dz3(:,1)=Zn_ERROR_ANGLE(:,1)-Z_PARABOLA_CORRECTION_ANGLE(:,1);
RMS_ANGLE_surface=sqrt(((sum(Dz3(:,1).^2)))./RMS_POINTS);

h3(:,1)=-(((sum((-Zn_ERROR_ANGLE(:,1)+Z_PARABOLA_CORRECTION_ANGLE(:,1)))))./RMS_POINTS);
RMS_ANGLE_surface_correction=sqrt(((sum((h3(:,1)-
Zn_ERROR_ANGLE(:,1)+Z_PARABOLA_CORRECTION_ANGLE(:,1)).^2)))./RMS_POINTS);


%RMS_COMBINATION_ERROR_K_ERROR_ANGLE

Z_PARABOLA_CORRECTION_COMBINATION(:,1)=(Xn_ERROR_COMBINATION(:,1).^2+Yn_ERROR_COMBINATION(:,1).^2
)./(4*1078);
 Dz4(:,1)=Zn_ERROR_COMBINATION(:,1)-Z_PARABOLA_CORRECTION_COMBINATION(:,1);
 RMS_COMBINATION_surface=sqrt(((sum((Dz4(:,1)).^2)))./RMS_POINTS);

 h4(:,1)=-(((sum((-
Zn_ERROR_COMBINATION(:,1)+Z_PARABOLA_CORRECTION_COMBINATION(:,1)))))./RMS_POINTS);
  RMS_COMBINATION_surface_correction=sqrt(((sum((h4(:,1)-
Zn_ERROR_COMBINATION(:,1)+Z_PARABOLA_CORRECTION_COMBINATION(:,1)).^2)))./RMS_POINTS);

 end
return
```

A.3 THICKENING MESH MODEL

```
elseif Model==2
```

```
%------------- ANTENNA'S DESIGN-------------
%Εισοδοι απο χρηστη
step4 = input('Select thickening model, \n For thickening by one node on every line during the
transition to a higher level of the antenna (+1), press "1" \n For thickening by two nodes on
every line during the transition to a higher level of the antenna (+2), press "2" \n');
if step4==1 || step4==2 %Επιλογη μοντελου πυκνωσης
step1 = input('Enter the ribs  Elements,  \n(Select a step1>10 to have a presice modeling)\n');
step2=input('Enter the Elements between the first 2 consecutively ribs in "theta" direction
(suggested mesh step1=40 & step2=2):\n Note that on every "level" the elements (as well as the
nodes) in theta direction are doubled. \n So for 3 elements between 2 consecutives ribs ON THE
FIRST LEVEL, \n we will have 2*step1 + step2 elements ON THE LAST LEVEL : \n'); %οριζω αριθμο
στοιχειων αναμεσα σε 2 διαδοχικα ribs
step3=1;
else
        fprintf(' <strong>Please select step4=1 or step4=2 </strong>\n')
return
end
if step2<2
    fprintf(' <strong>Please select step2>1 for a proper mesh </strong>\n')
elseif step1<2
        fprintf(' <strong>Please select step1>1 for a proper mesh </strong>\n')
else
%Ακτινικη βοηθητικη συντεταγμενη
r1=linspace(90.5,1000,step1+1);

%Ευρεση καταλληλης ακτινικης συντεταγμενης βασιζομενοι στον ισοποσο χωρισμο
%της καμπυλης (παραβολης) που αποτυπωνει καθε βραχιονα
syms r3
syms x1 positive

%Ορισμος μηκους καμπυλης
s=int(sqrt(1+(r3/(2*1078)).^2),90.5,1000);
s_length=double(s);

%Ισοποσος χωρισμος του μηκους της καμπυλης
s_final=linspace(0,s_length,step1+1);

%Ευρεση της καταλληλης ακτινικης συντεταγμενης που αντιστοιχει στα παραπανω
%τμηματα του μηκους της καμπυλης
for jjj=1:length(s_final)
```

```
eq1(1,jjj)=s_final(1,jjj)-int(sqrt(1+(r3/(2*1078)).^2),90.5,x1);
r4(1,jjj)=vpasolve(eq1(1,jjj)==0,x1);
r(1,jjj)=double(r4(1,jjj));
end

%Βοηθητικη μεταβλητη
r2=r';

%Γωνιακη συντεταγμενη (ενδιαμεσα σημεια και βραχιονες)
theta=linspace(0,2*pi,30*step2+1);
theta_ribs=linspace(0,2*pi,step3*31);

%Κατακορυφη συντεταγμενη
z_ribs=(1/(4*1078)).*r'.^2;

%Διακριτοποιηση-Mesh
[R,THETA]=meshgrid(r,theta);
[R_RIBS,THETA_RIBS]=meshgrid(r,theta_ribs);
[Z_RIBS_IDEAL,THETA_RIBS_IDEAL]=meshgrid(z_ribs,theta_ribs);

%Υπολογισμος συντεταγμενων X,Y των κομβων των βραχιονων
X_RIBS=R_RIBS.*cos(THETA_RIBS);
Y_RIBS=R_RIBS.*sin(THETA_RIBS);
Z_RIBS=(1/(4*1078)).*R_RIBS.^2;
```

```
%------------- ERROR Z-------------
%Ορισμος οριων σφαλματος στην κατακορυφη θεση οποιουδηποτε κομβου ενος βραχιονα
a=-0.2; %σε mm
b=0.2;

for p=1:length(R_RIBS(:,1))
   for m=1:length(R_RIBS(1,:))
 Z_RIBS_ERROR_Z_improved(p,m)=((R_RIBS(p,m).^2)/(4*1078))+(b-a)*rand()+a;
    end
end
Z_RIBS_ERROR_Z_improved(length(Z_RIBS_ERROR_Z_improved(:,1)),:)=Z_RIBS_ERROR_Z_improved(1,:);
```

```
%------------- ERROR K-------------
%Ορισμος οριων σφαλματος στο εστιακο μηκος του εκαστοτε βραχιονα
a2=0.87737865;
b2=0.961365366;

%Υπογραμμιζουμε οτι οι κομβοι ενος βραχιονα θα μετατοπιζονται το ιδιο
%Για αυτον τον λογο μεταβαλλουμε μονο τις σειρες (αντικατοπτριζουν τους 30 βραχιονες)
%με χρηση τυχαιων αριθμων και οχι τις στηλες που περιγραφουν τις
%συντεταγμενες των κομβων ιδιου βραχιονα

for p2=1:length(Z_RIBS(:,1))
    c2=(1+1)*randk(p2,1)-1;
if c2==0
    c2=c2+(1-0.1)*randk(p2,1)+0.1;
end

K_RIBS_ERROR(p2,1)=1078+(abs(c2)/c2)*((b2-a2)*rand()+a2);

 Z_RIBS_ERROR_K_improved(p2,:)=(R_RIBS(p2,:).^2)./(4*(K_RIBS_ERROR(p2,1)));
end

K_RIBS_ERROR(length(K_RIBS_ERROR(:,1)))=[];
Z_RIBS_ERROR_K_improved(length(Z_RIBS_ERROR_K_improved(:,1)),:)=Z_RIBS_ERROR_K_improved(1,:);
```

```
%------------- ERROR ON THE ANFLE OF THE RIBS-------------
step5=input('Enter the error (+-) in the angle of the ribs (degrees). Suggested values error<1
degrees. Please use "." instead of "," for decimal numbers:\n ');

%Ορισμος οριων σφαλματος στην γωνια του εκαστοτε βραχιονα
a3=-step5*pi/180;
b3=step5*pi/180;

%Στην περιπτωση αυτη περα απο μεταβολη στην z διευθυνση (ιδια για καθε rib), θα εχουμε
%επιπροσθετες μετατοπισεις και στο επιπεδο XY
for iii=1:length(R_RIBS(:,1))
     tan_angle(iii,:)=tan(((b3-
a3)*randangle(iii,1)+a3)+atan(Z_RIBS_IDEAL(iii,:)./R_RIBS(iii,:)));
     sqrt_r_z(iii,:)=sqrt((R_RIBS(iii,:)).^2 +(Z_RIBS(iii,:)).^2);

Z_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(iii,:)=(sqrt_r_z(iii,:).*tan_angle(iii,:))./sqrt(1+(tan_angle(iii,:))
.^2);  %+Z_RIBS_IDEAL(iii,:);
     R_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(iii,:)=sqrt(sqrt_r_z(iii,:).^2-
Z_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(iii,:).^2);
```

```
end

X_RIBS_ERROR_ANGLE_improved= R_RIBS_ERROR_ANGLE_improved.*cos(THETA_RIBS_IDEAL);
Y_RIBS_ERROR_ANGLE_improved= R_RIBS_ERROR_ANGLE_improved.*sin(THETA_RIBS_IDEAL);

%Ταυτιζω τις συντεταγμενες των τελευταιων σημειων με των πρωτων για να
%υπαρξει "συνεχεια" στο σχημα που θα προκυψει
X_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(length(X_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(:,1)),:)=X_RIBS_ERROR_ANGLE_improv
ed(1,:);
Y_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(length(Y_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(:,1)),:)=Y_RIBS_ERROR_ANGLE_improv
ed(1,:);
Z_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(length(Z_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(:,1)),:)=Z_RIBS_ERROR_ANGLE_improv
ed(1,:);
```

```
%------------- COMBINATION OF ERROR K AND ERROR ANGLE-------------
```

```
for iii=1:length(R_RIBS(:,1))
     tan_angle_2(iii,:)=tan(((b3-
a3)*randangle(iii,1)+a3)+atan(Z_RIBS_ERROR_K_improved(iii,:)./R_RIBS(iii,:)));
     sqrt_r_z_2(iii,:)=sqrt((R_RIBS(iii,:)).^2 +(Z_RIBS_ERROR_K_improved(iii,:)).^2);

Z_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(iii,:)=(sqrt_r_z_2(iii,:).*tan_angle_2(iii,:))./sqrt(1+(tan_ang
le_2(iii,:)).^2);
     R_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(iii,:)=sqrt(sqrt_r_z_2(iii,:).^2-
Z_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(iii,:).^2);
end

X_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved= R_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved.*cos(THETA_RIBS_IDEAL);
Y_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved= R_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved.*sin(THETA_RIBS_IDEAL);

%Ταυτιζω τις συντεταγμενες των τελευταιων σημειων με των πρωτων για να
%υπαρξει "συνεχεια" στο σχημα που θα προκυψει
X_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(length(X_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(:,1)),:)=X_RIBS_ERROR_
COMBINATION_improved(1,:);
Y_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(length(Y_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(:,1)),:)=Y_RIBS_ERROR_
COMBINATION_improved(1,:);
Z_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(length(Z_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(:,1)),:)=Z_RIBS_ERROR_
COMBINATION_improved(1,:);
```

```
%------------- DESIGN (THICKENING MESH) -------------
oo=0;
kk=0;

%Κατασκευη ευθειων που μοντελοποιουν το πανι αναμεσα σε δυο διαδοχικους βραχιονες

for j=1:length(X_RIBS(1,:))
for i=1:length(X_RIBS(:,1))-1

    if j==1 %Πρωτο "επιπεδο"
            for k=1:step2-1
                t_improved(i*(step2-1)+k-1,j)=k/step2;

                %Ενδιαμεσες συντεταγμενες ιδεατης κατασκευης
                x_improved(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j)).*X_RIBS(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-1,j).*X_RIBS(i+1,j);
                y_improved(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j)).*Y_RIBS(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-1,j).*Y_RIBS(i+1,j);

                %Ενδιαμεσες συντεταγμενες κατασκευης με σφαλμα στην z
                %διευθυνση των βραχιονων
                z_error_Z_improved(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j)).*Z_RIBS_ERROR_Z_improved(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j).*Z_RIBS_ERROR_Z_improved(i+1,j);

                z_error_K_improved(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j)).*Z_RIBS_ERROR_K_improved(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j).*Z_RIBS_ERROR_K_improved(i+1,j);

                x_error_angle_improved(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j)).*X_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j).*X_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(i+1,j);
                y_error_angle_improved(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j)).*Y_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j).*Y_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(i+1,j);
                z_error_angle_improved(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j)).*Z_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j).*Z_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(i+1,j);

                x_error_combination_improved(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j)).*X_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j).*X_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(i+1,j);
                y_error_combination_improved(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j)).*Y_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j).*Y_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(i+1,j);
                z_error_combination_improved(i*(step2-1)+k-1,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j)).*Z_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-
1,j).*Z_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(i+1,j);
```

```
            end
        elseif j>1
          for k=1:step2-1+oo
              t_improved(i*(step2-1)+k-1+kk,j)=k/(step2+oo); %Καταλληλη διακριτοποιηση της εκαστοτε
ευθειας

                %Ενδιαμεσες συντεταγμενες ιδεατης κατασκευης
                x_improved(i*(step2-1)+k-1+kk,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j)).*X_RIBS(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-1+kk,j).*X_RIBS(i+1,j);
                y_improved(i*(step2-1)+k-1+kk,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j)).*Y_RIBS(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-1+kk,j).*Y_RIBS(i+1,j);

                %Ενδιαμεσες συντεταγμενες κατασκευης με σφαλμα στην z
                %διευθυνση των βραχιονων
                z_error_Z_improved(i*(step2-1)+k-1+kk,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j)).*Z_RIBS_ERROR_Z_improved(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j).*Z_RIBS_ERROR_Z_improved(i+1,j);

                z_error_K_improved(i*(step2-1)+k-1+kk,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j)).*Z_RIBS_ERROR_K_improved(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j).*Z_RIBS_ERROR_K_improved(i+1,j);

                x_error_angle_improved(i*(step2-1)+k-1+kk,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j)).*X_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j).*X_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(i+1,j);
                y_error_angle_improved(i*(step2-1)+k-1+kk,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j)).*Y_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j).*Y_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(i+1,j);
                z_error_angle_improved(i*(step2-1)+k-1+kk,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j)).*Z_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j).*Z_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(i+1,j);

                x_error_combination_improved(i*(step2-1)+k-1+kk,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j)).*X_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j).*X_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(i+1,j);
                y_error_combination_improved(i*(step2-1)+k-1+kk,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j)).*Y_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j).*Y_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(i+1,j);
                z_error_combination_improved(i*(step2-1)+k-1+kk,j)=(1-t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j)).*Z_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(i,j)+t_improved(i*(step2-1)+k-
1+kk,j).*Z_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(i+1,j);
          end
        end
         kk=kk+2*(j-1);
end
oo=oo+step4;
end
```

```
%Δημιουργια κελιων με τις πραγματικες συντεταγμενες ΤΩΝ ΕΝΔΙΑΜΕΣΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ
for q=1:length(t_improved(1,:))
cellArray_X_interminate_improved{q}=nonzeros(x_improved(:,q));
cellArray_Y_interminate_improved{q}=nonzeros(y_improved(:,q));

cellArray_Z_error_Z_interminate_improved{q}=nonzeros(z_error_Z_improved(:,q));

cellArray_Z_error_K_interminate_improved{q}=nonzeros(z_error_K_improved(:,q));

cellArray_X_error_ANGLE_interminate_improved{q}=nonzeros(x_error_angle_improved(:,q));
cellArray_Y_error_ANGLE_interminate_improved{q}=nonzeros(y_error_angle_improved(:,q));
cellArray_Z_error_ANGLE_interminate_improved{q}=nonzeros(z_error_angle_improved(:,q));

cellArray_X_error_COMBINATION_interminate_improved{q}=nonzeros(x_error_combination_improved(:,q))
;
cellArray_Y_error_COMBINATION_interminate_improved{q}=nonzeros(y_error_combination_improved(:,q))
;
cellArray_Z_error_COMBINATION_interminate_improved{q}=nonzeros(z_error_combination_improved(:,q))
;
end

%Δημιουργια βοηθητικου διανυσματος συντεταγμενων των βραχιονων (χρηση στο διαγραμμα
%της κατοψης)
X_RIBS_1=X_RIBS;
Y_RIBS_1=Y_RIBS;

X_RIBS_ERROR_ANGLE_1=X_RIBS_ERROR_ANGLE_improved;
Y_RIBS_ERROR_ANGLE_1=Y_RIBS_ERROR_ANGLE_improved;

X_RIBS_ERROR_COMBINATION_1=X_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved;
Y_RIBS_ERROR_COMBINATION_1=Y_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved;

%Διαγραφη τελευταιων σημειων που ταυτιζονται με τα πρωτα για να "κλεινει" το σχημα
X_RIBS(length(X_RIBS(:,1)),:) = [];
Y_RIBS(length(Y_RIBS(:,1)),:) = [];
Z_RIBS(length(Z_RIBS(:,1)),:) = [];

Z_RIBS_ERROR_Z_improved(length(Z_RIBS_ERROR_Z_improved(:,1)),:) = [];

Z_RIBS_ERROR_K_improved(length(Z_RIBS_ERROR_K_improved(:,1)),:) = [];

X_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(length(X_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(:,1)),:) = [];
Y_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(length(Y_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(:,1)),:) = [];
Z_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(length(Z_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(:,1)),:) = [];

X_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(length(X_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(:,1)),:) = [];
Y_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(length(Y_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(:,1)),:) = [];
Z_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(length(Z_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(:,1)),:) = [];
```

```
%Αναδιαταξη συντεταγμενων και καταλληλη κατηγοριοποιηση ωστε να εχουμε
%την επιθυμητη αριθμηση των ζητουμενων κομβων
iii=1;
jjj=1;
kkk=1;
ooo=0;
c=cell2mat(cellArray_X_interminate_improved(step1+1));

%Ουσιαστικα παρεμβαλλουμε τις συντεταγμενες των RIBS στις ηδη υπαρχουσες
%των ενδιαμεσων σημειων (των ευθειων) που ανηκουν στο πανι
     for ccc=1:step1+1
        for
kkk=1:step2+ooo:length(cell2mat(cellArray_X_interminate_improved(ccc)))+length(X_RIBS(:,1))

    Xp_ord_improved(kkk,ccc)=X_RIBS(iii,ccc);
    x_inderminate_improved=cell2mat(cellArray_X_interminate_improved(ccc));
    Xp_ord_improved(kkk+1:kkk+step2-1+ooo,ccc)=x_inderminate_improved(jjj:jjj+step2-2+ooo,1);

    Yp_ord_improved(kkk,ccc)=Y_RIBS(iii,ccc);
    y_inderminate_improved=cell2mat(cellArray_Y_interminate_improved(ccc));
    Yp_ord_improved(kkk+1:kkk+step2-1+ooo,ccc)=y_inderminate_improved(jjj:jjj+step2-2+ooo,1);

    Zp_ord_improved(1:kkk+step2-1+ooo,ccc)=z_ribs(ccc,1);

    Zp_ord_ERROR_Z_improved(kkk,ccc)=Z_RIBS_ERROR_Z_improved(iii,ccc);
    z_ERROR_Z_inderminate_improved=cell2mat(cellArray_Z_error_Z_interminate_improved(ccc));
    Zp_ord_ERROR_Z_improved(kkk+1:kkk+step2-
1+ooo,ccc)=z_ERROR_Z_inderminate_improved(jjj:jjj+step2-2+ooo,1);

    Zp_ord_ERROR_K_improved(kkk,ccc)=Z_RIBS_ERROR_K_improved(iii,ccc);
    z_ERROR_K_inderminate_improved=cell2mat(cellArray_Z_error_K_interminate_improved(ccc));
    Zp_ord_ERROR_K_improved(kkk+1:kkk+step2-
1+ooo,ccc)=z_ERROR_K_inderminate_improved(jjj:jjj+step2-2+ooo,1);


    Xp_ord_ERROR_ANGLE_improved(kkk,ccc)=X_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(iii,ccc);

x_ERROR_ANGLE_inderminate_improved=cell2mat(cellArray_X_error_ANGLE_interminate_improved(ccc));
    Xp_ord_ERROR_ANGLE_improved(kkk+1:kkk+step2-
1+ooo,ccc)=x_ERROR_ANGLE_inderminate_improved(jjj:jjj+step2-2+ooo,1);

    Yp_ord_ERROR_ANGLE_improved(kkk,ccc)=Y_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(iii,ccc);

y_ERROR_ANGLE_inderminate_improved=cell2mat(cellArray_Y_error_ANGLE_interminate_improved(ccc));
    Yp_ord_ERROR_ANGLE_improved(kkk+1:kkk+step2-
1+ooo,ccc)=y_ERROR_ANGLE_inderminate_improved(jjj:jjj+step2-2+ooo,1);

    Zp_ord_ERROR_ANGLE_improved(kkk,ccc)=Z_RIBS_ERROR_ANGLE_improved(iii,ccc);
```

```
z_ERROR_ANGLE_inderminate_improved=cell2mat(cellArray_Z_error_ANGLE_interminate_improved(ccc));
    Zp_ord_ERROR_ANGLE_improved(kkk+1:kkk+step2-
1+ooo,ccc)=z_ERROR_ANGLE_inderminate_improved(jjj:jjj+step2-2+ooo,1);


    Xp_ord_ERROR_COMBINATION_improved(kkk,ccc)=X_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(iii,ccc);

x_ERROR_COMBINATION_inderminate_improved=cell2mat(cellArray_X_error_COMBINATION_interminate_impro
ved(ccc));
    Xp_ord_ERROR_COMBINATION_improved(kkk+1:kkk+step2-
1+ooo,ccc)=x_ERROR_COMBINATION_inderminate_improved(jjj:jjj+step2-2+ooo,1);

    Yp_ord_ERROR_COMBINATION_improved(kkk,ccc)=Y_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(iii,ccc);

y_ERROR_COMBINATION_inderminate_improved=cell2mat(cellArray_Y_error_COMBINATION_interminate_impro
ved(ccc));
    Yp_ord_ERROR_COMBINATION_improved(kkk+1:kkk+step2-
1+ooo,ccc)=y_ERROR_COMBINATION_inderminate_improved(jjj:jjj+step2-2+ooo,1);

    Zp_ord_ERROR_COMBINATION_improved(kkk,ccc)=Z_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved(iii,ccc);

z_ERROR_COMBINATION_inderminate_improved=cell2mat(cellArray_Z_error_COMBINATION_interminate_impro
ved(ccc));
    Zp_ord_ERROR_COMBINATION_improved(kkk+1:kkk+step2-
1+ooo,ccc)=z_ERROR_COMBINATION_inderminate_improved(jjj:jjj+step2-2+ooo,1);

    iii=iii+1;
    jjj=jjj+step2-1+ooo;

        end
         iii=1; %Επαναφερουμε τους μετρητες, για να εκτελεσουμε την επομενη επαναληψη
         jjj=1;
      ooo=ooo+step4;
     end
```

```
                                   %------------ IDEAL ANTENNA -------------
%3D Αναπαρασταση του μοντελου μας (με κοκκινο οι βραχιονες και με μπλε οι
%κομβοι πανω στο πανι)
figure (1)
for iiii=1:length(Xp_ord_improved(1,:))
isNZ=(~Xp_ord_improved(:,iiii)==0 & ~Yp_ord_improved(:,iiii)==0 );
plot3(Xp_ord_improved(isNZ,iiii),Yp_ord_improved(isNZ,iiii),Zp_ord_improved(isNZ,iiii),'b*')
hold on
end
```

```
hold on
plot3(X_RIBS',Y_RIBS',Z_RIBS','r-*','LineWidth',3)
grid on
xlabel('x-axis')
ylabel('y-axis')
zlabel('z-axis')
title('Antenna in 3D-space (Ideal Model-Only Nodes).')
```

```
%------------- ERROR Z -------------
figure (2)
for iiii=1:length(Xp_ord_improved(1,:))
isNZ=(~Xp_ord_improved(:,iiii)==0 & ~Yp_ord_improved(:,iiii)==0 );
plot3(Xp_ord_improved(isNZ,iiii),Yp_ord_improved(isNZ,iiii),Zp_ord_ERROR_Z_improved(isNZ,iiii),'b
*')
hold on
end
hold on
plot3(X_RIBS',Y_RIBS',Z_RIBS_ERROR_Z_improved','r-*','LineWidth',3)
grid on
xlabel('x-axis')
ylabel('y-axis')
zlabel('z-axis')
title('Antenna in 3D-space with error on z coordinate of the ribs (Only Nodes).')
```

```
%------------- ERROR K -------------
figure (3)
for iiii=1:length(Xp_ord_improved(1,:))
isNZ=(~Xp_ord_improved(:,iiii)==0 & ~Yp_ord_improved(:,iiii)==0 );
plot3(Xp_ord_improved(isNZ,iiii),Yp_ord_improved(isNZ,iiii),Zp_ord_ERROR_K_improved(isNZ,iiii),'b
*')
hold on
end
hold on
plot3(X_RIBS',Y_RIBS',Z_RIBS_ERROR_K_improved','r-*','LineWidth',3)
grid on
xlabel('x-axis')
ylabel('y-axis')
zlabel('z-axis')
title('Antenna in 3D-space with error on the curvature of the ribs (Only Nodes).')
```

```
%------------- ERROR ANGLE -------------
figure (4)
for iiii=1:length(Xp_ord_ERROR_ANGLE_improved(1,:))
isNZ=(~Xp_ord_ERROR_ANGLE_improved(:,iiii)==0 & ~Yp_ord_ERROR_ANGLE_improved(:,iiii)==0 );
plot3(Xp_ord_ERROR_ANGLE_improved(isNZ,iiii),Yp_ord_ERROR_ANGLE_improved(isNZ,iiii),Zp_ord_ERROR_
ANGLE_improved(isNZ,iiii),'b*')
hold on
end
hold on
plot3(X_RIBS_ERROR_ANGLE_improved',Y_RIBS_ERROR_ANGLE_improved',Z_RIBS_ERROR_ANGLE_improved','r-
*','LineWidth',3)
grid on
xlabel('x-axis')
ylabel('y-axis')
zlabel('z-axis')
title('Antenna in 3D-space with error on the angle of the ribs (Only Nodes).')
```

```
%------------- COMBINATION ERROR K AND ERROR ANGLE-------------
figure (5)
for iiii=1:length(Xp_ord_ERROR_COMBINATION_improved(1,:))
isNZ=(~Xp_ord_ERROR_COMBINATION_improved(:,iiii)==0 &
~Yp_ord_ERROR_COMBINATION_improved(:,iiii)==0 );
plot3(Xp_ord_ERROR_COMBINATION_improved(isNZ,iiii),Yp_ord_ERROR_COMBINATION_improved(isNZ,iiii),Z
p_ord_ERROR_COMBINATION_improved(isNZ,iiii),'b*')
hold on
end
hold on
plot3(X_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved',Y_RIBS_ERROR_COMBINATION_improved',Z_RIBS_ERROR_COMBINAT
ION_improved','r-*','LineWidth',3)
grid on
xlabel('x-axis')
ylabel('y-axis')
zlabel('z-axis')
title('Antenna in 3D-space with error on the angle as well as on the curvature of the ribs (Only
Nodes).')
```

```
%------------- COORDINATES-------------
%Τελικη τροποποιηση των συντεταγμενων και τοποθετηση τους σε νεα κελια ετσι
%ωστε να αποφυγουμε τα extra μη υπαρκτα μηδενικα που εμφανιζει το matlab
for iiii=1:step1+1
isNZ=(~Xp_ord_improved(:,iiii)==0 & ~Yp_ord_improved(:,iiii)==0 );
X_CORD_improved_CELL{iiii}=Xp_ord_improved(1:length(cellArray_X_interminate_improved{iiii})+lengt
h(X_RIBS(:,1)),iiii);
Y_CORD_improved_CELL{iiii}=Yp_ord_improved(1:length(cellArray_X_interminate_improved{iiii})+lengt
h(Y_RIBS(:,1)),iiii);

X_CORD_ERROR_ANGLE_improved_CELL{iiii}=Xp_ord_ERROR_ANGLE_improved(1:length(cellArray_X_error_ANG
LE_interminate_improved{iiii})+length(X_RIBS(:,1)),iiii);
Y_CORD_ERROR_ANGLE_improved_CELL{iiii}=Yp_ord_ERROR_ANGLE_improved(1:length(cellArray_Y_error_ANG
LE_interminate_improved{iiii})+length(Y_RIBS(:,1)),iiii);

X_CORD_ERROR_COMBINATION_improved_CELL{iiii}=Xp_ord_ERROR_COMBINATION_improved(1:length(cellArray
_X_error_COMBINATION_interminate_improved{iiii})+length(X_RIBS(:,1)),iiii);
Y_CORD_ERROR_COMBINATION_improved_CELL{iiii}=Yp_ord_ERROR_COMBINATION_improved(1:length(cellArray
_Y_error_COMBINATION_interminate_improved{iiii})+length(Y_RIBS(:,1)),iiii);

end

%Επαναφορα των συντεταγμενων σε διανυσματα
qq=1;
for k = 1:step1+1
    X_CORD_improved(qq:length(X_CORD_improved_CELL{k})+qq-1,1)=[X_CORD_improved_CELL{k}];
    Y_CORD_improved(qq:length(X_CORD_improved_CELL{k})+qq-1,1)=[Y_CORD_improved_CELL{k}];

    X_CORD_ERROR_ANGLE_improved(qq:length(X_CORD_ERROR_ANGLE_improved_CELL{k})+qq-
1,1)=[X_CORD_ERROR_ANGLE_improved_CELL{k}];
    Y_CORD_ERROR_ANGLE_improved(qq:length(Y_CORD_ERROR_ANGLE_improved_CELL{k})+qq-
1,1)=[Y_CORD_ERROR_ANGLE_improved_CELL{k}];

    X_CORD_ERROR_COMBINATION_improved(qq:length(X_CORD_ERROR_COMBINATION_improved_CELL{k})+qq-
1,1)=[X_CORD_ERROR_COMBINATION_improved_CELL{k}];
    Y_CORD_ERROR_COMBINATION_improved(qq:length(Y_CORD_ERROR_COMBINATION_improved_CELL{k})+qq-
1,1)=[Y_CORD_ERROR_COMBINATION_improved_CELL{k}];

    qq=qq+length(X_CORD_improved_CELL{k});
end

Z_CORD_improved=nonzeros(Zp_ord_improved);
Z_ERROR_Z_CORD_improved=nonzeros(Zp_ord_ERROR_Z_improved);
Z_ERROR_K_CORD_improved=nonzeros(Zp_ord_ERROR_K_improved);
Z_CORD_ERROR_ANGLE_improved=nonzeros(Zp_ord_ERROR_ANGLE_improved);
Z_CORD_ERROR_COMBINATION_improved=nonzeros(Zp_ord_ERROR_COMBINATION_improved);

figure(6)
```

```
plot(X_CORD_improved,Y_CORD_improved,'g*')
hold on
plot(X_RIBS_1,Y_RIBS_1,'r-*','LineWidth',1)
grid on
xlabel('x-axis')
ylabel('y-axis')
title('Top view of the ideal Antenna in 2D X-Y.')

figure(7)
plot(X_CORD_ERROR_ANGLE_improved,Y_CORD_ERROR_ANGLE_improved,'g*')
hold on
plot(X_RIBS_ERROR_ANGLE_1,Y_RIBS_ERROR_ANGLE_1,'r-*','LineWidth',1)
grid on
xlabel('x-axis')
ylabel('y-axis')
title('Top view of the Antenna with angle error in 2D X-Y.')
axis tight

figure(8)
plot(X_CORD_ERROR_COMBINATION_improved,Y_CORD_ERROR_COMBINATION_improved,'g*')
hold on
plot(X_RIBS_ERROR_COMBINATION_1,Y_RIBS_ERROR_COMBINATION_1,'r-*','LineWidth',1)
grid on
xlabel('x-axis')
ylabel('y-axis')
title('Top view of the Antenna with angle as well as curvature error in 2D X-Y.')
axis tight

%Δημιουργια Πινακα Συντεταγμενων
T_improved=table(X_CORD_improved,Y_CORD_improved,Z_CORD_improved);
save('Coordinates_improved.mat','T_improved')
writetable(T_improved,'table_ideal_coordinates_improved.txt');

T_ERROR_Z_improved=table(X_CORD_improved,Y_CORD_improved,Z_ERROR_Z_CORD_improved);
save('Coordinates_ERROR_Z_improved.mat','T_ERROR_Z_improved')
writetable(T_ERROR_Z_improved,'table_ERROR_Z_coordinates_improved.txt');

T_ERROR_K_improved=table(X_CORD_improved,Y_CORD_improved,Z_ERROR_K_CORD_improved);
save('Coordinates_ERROR_K_improved.mat','T_ERROR_K_improved')
writetable(T_ERROR_K_improved,'table_ERROR_K_coordinates_improved.txt');

T_ERROR_ANGLE_improved=table(X_CORD_ERROR_ANGLE_improved,Y_CORD_ERROR_ANGLE_improved,Z_CORD_ERROR
_ANGLE_improved);
save('Coordinates_ERROR_ANGLE_improved.mat','T_ERROR_ANGLE_improved')
writetable(T_ERROR_ANGLE_improved,'table_ERROR_ANGLE_coordinates_improved.txt');

T_ERROR_COMBINATION_improved=table(X_CORD_ERROR_COMBINATION_improved,Y_CORD_ERROR_COMBINATION_imp
roved,Z_CORD_ERROR_COMBINATION_improved);
save('Coordinates_ERROR_ANGLE_improved.mat','T_ERROR_ANGLE_improved')
```

```
writetable(T_ERROR_COMBINATION_improved,'table_ERROR_COMBINATION_coordinates_improved.txt');

%Πινακες συντεταγμενων τελευταιων επιπεδων
T_last_level_improved=table(X_CORD_improved_CELL{k},Y_CORD_improved_CELL{k},Zp_ord_improved(:,k))
;
save('Coordinates_last_level_improved.mat','T_last_level_improved')
writetable(T_last_level_improved,'table_ideal_last_level_coordinates_improved.txt');

T_last_level_ERROR_Z_improved=table(X_CORD_improved_CELL{k},Y_CORD_improved_CELL{k},Zp_ord_ERROR_
Z_improved(:,k));
save('Coordinates_last_level_ERROR_Z_improved.mat','T_last_level_ERROR_Z_improved')
writetable(T_last_level_ERROR_Z_improved,'table_ideal_last_level_coordinates_ERROR_Z_improved.txt
');

T_last_level_ERROR_K_improved=table(X_CORD_improved_CELL{k},Y_CORD_improved_CELL{k},Zp_ord_ERROR_
K_improved(:,k));
save('Coordinates_last_level_ERROR_K_improved.mat','T_last_level_ERROR_K_improved')
writetable(T_last_level_ERROR_K_improved,'table_ideal_last_level_coordinates_ERROR_K_improved.txt
');

T_last_level_ERROR_ANGLE_improved=table(X_CORD_ERROR_ANGLE_improved_CELL{k},Y_CORD_ERROR_ANGLE_im
proved_CELL{k},Zp_ord_ERROR_ANGLE_improved(:,k));
save('Coordinates_last_level_ERROR_ANGLE_improved.mat','T_last_level_ERROR_ANGLE_improved')
writetable(T_last_level_ERROR_ANGLE_improved,'table_ideal_last_level_coordinates_ERROR_ANGLE_impr
oved.txt');

T_last_level_ERROR_COMBINATION_improved=table(X_CORD_ERROR_COMBINATION_improved_CELL{k},Y_CORD_ER
ROR_COMBINATION_improved_CELL{k},Zp_ord_ERROR_COMBINATION_improved(:,k));
save('Coordinates_last_level_ERROR_COMBINATION_improved.mat','T_last_level_ERROR_COMBINATION_impr
oved')
writetable(T_last_level_ERROR_COMBINATION_improved,'table_ideal_last_level_coordinates_ERROR_COMB
INATION_improved.txt');

%Αριθμηση των σημειων στο τρισδιαστατο επιπεδο της κατασκευης (ενδεικτικα)
%figure(9)
%M7=plot3(X_CORD_improved,Y_CORD_improved,Z_CORD_improved,'b*');
%hold on
%plot3(X_RIBS',Y_RIBS',Z_RIBS','r*-','LineWidth',3)

%for n = 1:numel(X_CORD_improved(:,1))
%text(X_CORD_improved(n),Y_CORD_improved(n),Z_CORD_improved(n),num2str(n),'VerticalAlignment','to
p','FontWeight','bold')
%end

%grid on
%xlabel('x-axis')
%ylabel('y-axis')
%zlabel('z-axis')
%title('Coordinates of the ideal antenna in three-space (Only Nodes).')
```

```
%------------- RMS CALCULATION-------------
RMS_POINTS=length(Z_ERROR_K_CORD_improved(:,1));

%RMS_ideal
 Z_PARABOLA_IDEAL(:,1)=(X_CORD_improved(:,1).^2+Y_CORD_improved(:,1).^2)./(4*1078);
 Dz1(:,1)=(Z_CORD_improved(:,1)-Z_PARABOLA_IDEAL(:,1))/1000;
 RMS_surface=1000*sqrt(((sum((Dz1(:,1)).^2)))./RMS_POINTS);

 h1(:,1)=-(((sum((-Z_CORD_improved(:,1)+Z_PARABOLA_IDEAL(:,1)))))./RMS_POINTS);
 RMS_surface_correction=sqrt(((sum((h1(:,1)-
Z_CORD_improved(:,1)+Z_PARABOLA_IDEAL(:,1)).^2)))./RMS_POINTS);

 %RMS_ERROR_K
Z_PARABOLA_CORRECTION_K(:,1)=(X_CORD_improved(:,1).^2+Y_CORD_improved(:,1).^2)./(4*1078);
Dz2=-Z_ERROR_K_CORD_improved(:,1)+Z_PARABOLA_CORRECTION_K(:,1);
RMS_K_surface=sqrt(((sum(Dz2(:,1).^2)))./RMS_POINTS);

h2(:,1)=-(((sum((-Z_ERROR_K_CORD_improved(:,1)+Z_PARABOLA_CORRECTION_K(:,1)))))./RMS_POINTS);
RMS_K_surface_correction=sqrt(((sum((h2(:,1)-
Z_ERROR_K_CORD_improved(:,1)+Z_PARABOLA_CORRECTION_K(:,1)).^2)))./RMS_POINTS);

 %RMS_ANGLE

Z_PARABOLA_CORRECTION_ANGLE(:,1)=(X_CORD_ERROR_ANGLE_improved(:,1).^2+Y_CORD_ERROR_ANGLE_improved
(:,1).^2)./(4*1078);
Dz3=-Z_CORD_ERROR_ANGLE_improved(:,1)+Z_PARABOLA_CORRECTION_ANGLE(:,1);
RMS_ANGLE_surface=sqrt(((sum(Dz3(:,1).^2)))./RMS_POINTS);

h3(:,1)=-(((sum((-
Z_CORD_ERROR_ANGLE_improved(:,1)+Z_PARABOLA_CORRECTION_ANGLE(:,1)))))./RMS_POINTS);
RMS_ANGLE_surface_correction=sqrt(((sum((h3(:,1)-
Z_CORD_ERROR_ANGLE_improved(:,1)+Z_PARABOLA_CORRECTION_ANGLE(:,1)).^2)))./RMS_POINTS);

 %RMS_COMBINATION_ANGLE_K

Z_PARABOLA_CORRECTION_COMBINATION(:,1)=(X_CORD_ERROR_COMBINATION_improved(:,1).^2+Y_CORD_ERROR_CO
MBINATION_improved(:,1).^2)./(4*1078);
Dz4=-Z_CORD_ERROR_COMBINATION_improved(:,1)+Z_PARABOLA_CORRECTION_COMBINATION(:,1);
RMS_COMBINATION_surface=sqrt(((sum(Dz4(:,1).^2)))./RMS_POINTS);

h4(:,1)=-(((sum((-
Z_CORD_ERROR_COMBINATION_improved+Z_PARABOLA_CORRECTION_COMBINATION(:,1)))))./RMS_POINTS);
RMS_COMBINATION_surface_correction=sqrt(((sum((h4(:,1)-
Z_CORD_ERROR_COMBINATION_improved+Z_PARABOLA_CORRECTION_COMBINATION(:,1)).^2)))./RMS_POINTS);

end
```

```
else
    fprintf('<strong> Please insert a valid number (1 or 2) </strong> \n')

end

 %ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΣ  1059734
 %ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ
 %ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 2021
 %ADAMANT COMPOSITES Ltd
```

Published with MATLAB® R2020b