

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΕΡΟΧΗΜΑΤΩΝ

## ΣΠΟΥΔΑΣΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΑΠΟ ΑΚΜΗ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Γκούρλιας Νικόλαος

1047266

Πηνελόπη Μενούνου, Επίκουρη Καθηγήτρια

ПАТРА, 05/2021

Πανεπιστήμιο Πατρών. Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών Γκούρλιας Νικόλαος © [2021] - Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

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

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

## ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΑΠΟ ΑΚΜΗ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

#### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα σπουδαστική εργασία πραγματεύεται το πεδίο περίθλασης γύρω από ακμή πεπερασμένου μήκους και την σύγκρισή του με το πεδίο περίθλασης γύρω από την αντίστοιχη ακμή απείρου μήκου. Από την μελέτη υπαρχουσών λύσεων για τα δύο πεδία (από πεπερασμένη και από άπειρη ακμή) προκύπτει ότι οι σημαντικότερες παράμετροι είναι: η συγνότητα, ο γρόνος καθυστέρησης (από το πρόβλημα της άπειρης ακμής) και οι χρόνοι επανακτινοβολίας (από το πρόβλημα της πεπερασμένης ακμής). Ο χρόνος καθυστέρησης είναι ο επιπλέον χρόνος που γρειάζεται ο ήγος να φτάσει στο δέκτη μετά από περίθλαση στην άπειρη ακμή σε σχέση με τον γρόνο που γρειάζεται να φτάσει κατευθείαν στο δέκτη (γωρίς την παρουσία της ακμής). Οι χρόνοι επανακτινοβολίας είναι οι χρόνοι που χρειάζεται ο ήχος να φτάσει από την πηγή μέσω καθενός από τα δύο άκρα της πεπερασμένης ακμής στο δέκτη. Επίσης, μελετάται ποιό τμήμα της πεπερασμένης ακμής συμβάλλει περισσότερο στο πεδίο περίθλασης. Προκύπτει ότι αυτό εξαρτάται από την συγνότητα και το γρόνο καθυστέρησης. Τέλος, δείγνεται ότι το ολικό πεδίο περίθλασης (που αποτελείται από δύο τμήματα, το ένα συνδεόμενο με το προσπίπτον κύμα και το άλλο με το ανακλώμενο κύμα) έγει πλάτος που καθορίζεται από το τμήμα της λύσης με τον μικρότερο χρόνο καθυστέρησης και κατανομή συνεισφοράς από τα διάφορα τμήματα της ακμής που καθορίζεται από το τμήμα της λύσης με τον μεγαλύτερο χρόνο καθυστέρησης.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

Λέξεις κλειδιά

Πεδίο περίθλασης , τελευταίος χρόνος περίθλασης ,χρόνος καθυστέρησης περίθλασης , προσπίπτον κύμα , ανακλώμενο κύμα.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

# PRELIMINARY STUDY OF SOUND DIFFRACTION BY FINITE LENGTH EDGES IN THE FREQUENCY DOMAIN Gkourlias Nikolaos

#### ABSTRACT

The present thesis investigates the diffraction field of a finite-length edge and the comparison between the diffraction field of a finite length edge and the diffraction field of the infinite length edge. It is found that the most important parameters are : the frequency, the re-radiation times, and the diffraction delay time . The diffraction delay time refers to the infinite length problem and represents the additional time that the sound needs to reach the receiver via diffraction compared to the direct path between source and receiver. The re-radiation times are the times needed for the sound to reach the receiver via each one of the ending points of the finite length edge. In addition, the part of the finite edge that has the most significant contribution to the diffraction field is investigated. It is found that it depends on the frequency and on the diffraction delay time . Lastly, it is shown that the diffraction field, (composed of two parts, one associated with the incident wave and one with the reflected wave), has an amplitude that is largely determined by the part with the smallest diffraction delay time, while its convergence to the corresponding diffraction field of the infinite length edge is determined by the part with the largest diffraction delay time.

Key words

Diffraction field, diffraction time, diffraction delay time, incident wave, reflected wave.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

# KATAΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| Πίνακας 1 Σύνορα σκιάς του πεδίου περίθλασης                                       | 5    |
|------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Πίνακας 2 Τιμές των πρώτων και τελευταίων χρόνων περίθλασης για τα πρώτα 9 τμήματα | της  |
| ακμής                                                                              | 9    |
| Πίνακας 3 Τιμές των σταθερών a , b , c και d                                       | . 11 |

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

| Εικόνα 1 Γεωμετρία πεπερασμένης ακμής α) Πρόσοψη β) Πλάγια όψη                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Εικόνα 2 Τελευταίοι χρόνοι περίθλασης για σημείο αναφοράς μέσα στην ακμή              |
| Εικόνα 3 Ποσοστιαία απόλυτη διαφορά των συναρτήσεων Ν1 και Ν1α                        |
| Εικόνα 4 Τελευταίοι χρόνοι περίθλασης για σημείο αναφοράς έξω απο την ακμή            |
| Εικόνα 5 Γεωμετρία της εφαρμογής Α για σημείο αναφοράς μέσα στην ακμή                 |
| Εικόνα 6 Πραγματικές τιμές άπειρης και πεπερασμένης λύσης της εφαρμοφής Α για σημείο  |
| αναφοράς μέσα στην ακμή                                                               |
| Εικόνα 7 Φανταστικές τιμές άπειρης και πεπερασμένης λύσης της εφαρμοφής Α για σημείο  |
| αναφοράς μέσα στην ακμή                                                               |
| Εικόνα 8 Γεωμετρία της εφαρμογής Β για σημείο αναφοράς μέσα στην ακμή                 |
| Εικόνα 9 Πραγματικές τιμές άπειρης και πεπερασμένης λύσης της εφαρμοφής Β για σημείο  |
| αναφοράς μέσα στην ακμή                                                               |
| Εικόνα 10 Φανταστικές τιμές άπειρης και πεπερασμένης λύσης της εφαρμοφής Β για σημείο |
| αναφοράς μέσα στην ακμή                                                               |
| Εικόνα 11 Γεωμετρία της εφαρμογής Α για σημείο αναφοράς έξω απο την ακμή              |
| Εικόνα 12 Πραγματικές τιμές άπειρης και πεπερασμένης λύσης της εφαρμογής Α για σημείο |
| αναφοράς έξω απο την ακμή                                                             |

| Εικόνα 13 Φανταστικές τιμές άπειρης και πεπερασμένης λύσης της εφαρμογής Α για σημείο                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| αναφοράς έξω απο την ακμή                                                                             |
| Εικόνα 14 Γεωμετρία της εφαρμογής Β για σημείο αναφοράς έξω απο την ακμή                              |
| Εικόνα 15 Πραγματικές τιμές άπειρης και πεπερασμένης λύσης της εφαρμογής Β για σημείο                 |
| αναφοράς έξω απο την ακμή                                                                             |
| Εικόνα 16 Φανταστικές τιμές άπειρης και πεπερασμένης λύσης της εφαρμογής Β για σημείο                 |
| αναφοράς έξω απο την ακμή                                                                             |
| Εικόνα 17 Τέσσερις όροι Q για τlag=0.0294 και f=50Hz                                                  |
| Εικόνα 18 Τέσσερις όροι Q για τlag=0.0294 και f=5000Hz                                                |
| Εικόνα 19 Τέσσερις όροι Q για τlag=7.3992e-5 και f=50Hz                                               |
| Εικόνα 20 Τέσσερις όροι Q για τlag=7.3992e-5 και f=5000Hz31                                           |
| Εικόνα 21 Κανονικοποιημένες τιμές του όρου Q4 για διαφορετικά τlag                                    |
| Εικόνα 22 Κανονικοποιημένες τιμές του όρου Q4 για διαφορετικές συχνότητες f                           |
| Εικόνα 23 Σύγκριση του προσπίπτον , ανακλώμενου και ολικού κύματος για τ<br>lag^{di} $>$ tlag^{dr} 37 |
| Εικόνα 24 Σύγκριση του προσπίπτον , ανακλώμενου και ολικού κύματος για τ<br>lag^di $<$ tlag^dr 38     |
| Εικόνα 25 Παράδειγμα για σημείο αναφοράς μέσα στην ακμή όπου R.P-E1 <r.p-e2< td=""></r.p-e2<>         |
| Εικόνα 26 Προσπίπτον κύμα της άπειρης και πεπερασμένης λύσης για τlag=4,1369e-5 και                   |
| f=3000Hz                                                                                              |
| Εικόνα 27 Προσπίπτον κύμα της άπειρης και πεπερασμένης λύσης για τlag=0.001138 και                    |
| f=3000Hz                                                                                              |

| Εικόνα 28 Ανακλώμενο κύμα της άπειρης και πεπερασμένης λύσης για τlag=4.616e-6 και                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| f=3000Hz                                                                                                  |
| Εικόνα 29 Ανακλώμενο κύμα της άπειρης και πεπερασμένης λύσης για τlag=0.0015867 και                       |
| f=3000Hz                                                                                                  |
| Εικόνα 30 Ολικό κύμα άπειρης και πεπερασμένης ακμής για τ $lag^{di} = 0.001138$ , τ $lag^{dr} = 4.616e-6$ |
| кал f=3000Hz 42                                                                                           |
| Εικόνα 31 Παράδειγμα για σημείο αναφοράς έξω απο την ακμή όπου R.P-E1 <r.p-e2< td=""></r.p-e2<>           |
| Εικόνα 32 Προσπίπτον κύμα άπειρης και πεπερασμένης λύσης για τlag=1.8702e-5 και f=5000Hz                  |
|                                                                                                           |
| Εικόνα 33 Προσπίπτον κύμα άπειρης και πεπερασμένης λύσης για τlag=0.00056822 και                          |
| f=5000Hz                                                                                                  |
| Εικόνα 34 Ανακλώμενο κύμα άπειρης και πεπερασμένης λύσης για τlag=0.00083905 και                          |
| f=5000Hz                                                                                                  |
| Εικόνα 35 Ανακλώμενο κύμα άπειρης και πεπερασμένης λύσης για τlag=2.0811e-6 και                           |
| f=5000Hz                                                                                                  |
| Εικόνα 36 Ολικό κύμα άπειρης και πεπερασμένης ακμής για τ $lag^{di}=0.00056822$ ,τ $lag^{dr}=2.0811e$ -   |
| 6 και f=5000Hz                                                                                            |

### ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

- $C_{irf}^{di}$  Μεταβλητή ανεξάρτητη του χρόνου που σχετίζεται με το προσπίπτον κύμα
- $C_{irf}^{dr}$  Μεταβλητή ανεξάρτητη του χρόνου που σχετίζεται με το ανακλώμενο κύμα

f Συγνότητα

- 11.2 Απόσταση μεταξύ R.P-E1 και R.P-E2 αντίστοιχα
- L Απευθείας απόσταση μεταξύ πηγής και δέκτη λόγω περίθλασης
- L<sub>1.2</sub> Απόσταση μεταξύ S-E1-R και S-E2-R αντίστοιγα
- Ν Συνάρτηση υπολογισμού του εκθετικού ολοκληρώματος Ε1
- P<sup>di</sup>finite Ακουστική πίεση του προσπίπτον κύματος της πεπερασμένης ακμής
- P<sup>dr</sup>finite Ακουστική πίεση του ανακλώμενου κύματος της πεπερασμένης ακμής
- Ο Εναλλακτικός συμβολισμός της συνάρτησης Ν
- r<sub>R</sub> Πολική συντεταγμένη ακτίνας του δέκτη
- r<sub>s</sub> Πολική συντεταγμένη ακτίνας της πηγής
- $Q_i$  Η συνάρτηση Ν που σχετίζεται με τον όρο i των ολοκληρωμάτων  $I_i^d$
- R<sup>di</sup> Απευθείας απόσταση μεταξύ πηγής και δέκτη
- R<sup>dr</sup> Απόσταση μεταξύ πηγής είδωλο και δέκτη
- τι Τελευταίος χρόνος περίθλασης του τμήματος j
- τL<sub>1,2</sub> Τελευταίος χρόνος περίθλασης του τελευταίου τμήματος της ακμής R.P-E1 και R.P-E2

αντίστοιχα

tlag<sup>di</sup> Χρόνος καθυστέρησης περίθλασης ή χρόνος επανακτινοβολίας που σχετίζεται με το

προσπίπτον κύμα

τlag<sup>dr</sup> Χρόνος καθυστέρησης περίθλασης ή χρόνος επανακτινοβολίας που σχετίζεται με το

ανακλώμενο κύμα

- φ<sub>R</sub> Γωνιακή συντεταγμένη του δέκτη
- $\varphi_S$  Γωνιακή συντεταγμένη της πηγής
- $Z_R$ Πολική συντεταγμένη απόστασης από τον άξον<br/>αzτου δέκτη
- Zs Πολική συντεταγμένη απόστασης από τον άξονα z της πηγής

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| ΠΕΡΙΛΗΨΗνι                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------|
| ABSTRACTIX                                                                       |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝΧΙ                                                              |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝΧΙΙΙ                                               |
| ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙΧVΙΙ                                                                  |
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑΧΧ                                                                    |
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ1                                                                        |
| 1.0 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ                                                    |
| 2.0 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΔΙΟΥ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ                                                |
| 2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΓΙΑ ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕΣΑ                              |
| ΣΤΗΝ AKMH 6                                                                      |
| 2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΓΙΑ ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΕΞΩ ΑΠΟ                           |
| THN AKMH13                                                                       |
| 2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ                                                                    |
| 2.3.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ Α ΓΙΑ ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕΣΑ ΣΤΗΝ ΑΚΜΗ 14                           |
| 2.3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ Β ΓΙΑ ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕΣΑ ΣΤΗΝ ΑΚΜΗ 18                           |
| 2.3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ Α ΓΙΑ ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΕΞΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΜΗ 21                         |
| Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και |

|     |      | 2.3.4 | 4 ЕФА  | РМОГН   | Β ΓΙΑ Σ | HMEIO A  | NAΦ   | ΟΡΑΣ  | ΕΞΩ ΑΠ        | O THN A | <b>AKMH. 24</b> |
|-----|------|-------|--------|---------|---------|----------|-------|-------|---------------|---------|-----------------|
| 3.0 |      | ME    | ЛЕТН Т | της γε  | ΞΗΣ     | •••••    | ••••• |       |               | •••••   |                 |
|     | 3.1  |       | ΑΝΑΛ   | ΥΣΗ ΤΩ  | Ν ΟΡΩΝ  | Q1       |       |       | ••••••        | •••••   |                 |
|     | 3.2  |       | ΕΥΑΙΣ  | ΘΗΣΙΑ   | ΤΩΝ     | ΟΡΩΝ     | Q     | ΩΣ    | ΠΡΟΣ          | TON     | XPONO           |
|     | KA   | ΘΥΣ   | ΓΕΡΗΣΙ | ΗΣ ΠΕΡΙ | ΘΛΑΣΗΣ  | Σ ΚΑΙ ΤΗ | Ν ΣΥ  | XNOT  | HTA           | •••••   |                 |
| 4.0 |      | ΣΥΙ   | ΓΚΡΙΣΗ | ΤΟΥ Γ   | ΙΡΟΣΠΙΓ | ΙΤΟΝΤΟΣ  | с, то | DY AK | <b>ΚΑΝΛΩΝ</b> | IENOY   | KAI TOY         |
| ΟΛ  | IKOY | Y KY  | ΜΑΤΟΣ  | E ME TA | ΑΝΤΙΣΤ  | OIXA TH  | Σ ΑΠ  | ΕΙΡΗΣ | AKMH          | Σ       |                 |
|     | 4.1  |       | ΣΥΓΚΙ  | ΡΙΣΗ Μ  | ІЕТАΞҮ  | ΠΡΟΣΠ    | што   | ντος  | KAI           | ANAKA   | ΩΜΕΝΟΥ          |
|     | KY   | MAT   | ΟΣ     | •••••   | ••••••  | •••••    |       |       |               | •••••   |                 |
|     | 4.2  |       | ΣΗΜΕ   | IO ANA  | ΦΟΡΑΣ Ν | ΜΕΣΑ ΣΤ  | HN A  | KMH   |               | •••••   | 39              |
|     | 4.3  |       | ΣΗΜΕ   | IO ANA  | ΦΟΡΑΣ Ι | ΕΞΩ ΑΠΟ  | THN   | AKMI  | ł             | •••••   | 43              |
| 5.0 |      | ПРС   | οτασει | Σ ΓΙΑ Μ | ΈΛΛΟΝ   | ГІКН ЕРІ | EYNA  | ••••• | ••••••        | •••••   | 47              |
| BIB | ΛΙΟ  | ГРАФ  | ÞIA    |         |         |          |       |       |               | •••••   | 49              |

#### προλογος

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους με βοήθησαν στην εκπόνηση της σπουδαστικής εργασίας μου , ξεκινώντας από την επιβλέπουσα καθηγήτρια κυρία Μενούνου Πηνελόπη , τον διδάκτορα Πέτρο Νικολάου καθώς και όλη την ομάδα της αερακουστικής.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

#### 1.0 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η γεωμετρία αποτελείται από την ακμή, η οποία εκτείνεται από το σημείο (0,0,11) ως το σημείο (0,0,12) σε κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων, την ακουστική πηγή που βρίσκεται στο σημείο S( $r_s, \varphi_s, z_s$ ), καθώς και από τον δέκτη R( $r_R, \varphi_s, z_s$ ).



Εικόνα 1 Γεωμετρία πεπερασμένης ακμής α) Πρόσοψη β) Πλάγια όψη

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

Η απόσταση L είναι η μικρότερη απόσταση που διανύουν τα ακουστικά κύματα από την πηγή στον δέκτη λόγω περίθλασης και υπολογίζεται ως εξής

$$L = \sqrt{(r_R + r_S)^2 + (z_R - z_S)^2} \quad . \tag{1.1}$$

Η απευθείας απόσταση από την πηγή στον δέκτη συμβολίζεται με R<sub>di</sub>, ενώ η απόσταση από την πηγή είδωλο στον δέκτη συμβολίζεται με  $R_{dr}$ , οι οποίες αποστάσεις υπολογίζονται ως

$$R_{1,2} = \sqrt{r_S^2 + r_R^2 - 2r_R r_S \cos(\varphi_R \pm \varphi_S)} + (z_R - z_S)^2, \qquad (1.2)$$

όπου το (-) ισχύει για το προσπίπτον κύμα και το (+) για το ανακλώμενο.

Το σημείο Ξ ονομάζεται σημείο αναφοράς (Reference Point) και ορίζεται ως το σημείο στο οποίο η ακμή τέμνεται από την ευθεία γραμμή της μικρότερης απόστασης μεταξύ της πηγής και του δέκτη λόγω περίθλασης. Το ακουστικό πεδίο χωρίζεται σε τρείς περιοχές γύρω από την ακμή από τις ευθείες  $\Phi_{SBI} = \pi + \varphi_S$  και  $\Phi_{SBR} = \pi - \varphi_S$  όπως φαίνεται και στην εικόνα 1.β.

Έτσι καταλήγουμε στα εξής σύνορα σκιάς για τα τρία τμήματα του ακουστικού πεδίου.

| Region | Start               | End                 |
|--------|---------------------|---------------------|
| Ι      | 0                   | $\pi$ - $\varphi_S$ |
| II     | $\pi$ - $\varphi_S$ | $\pi+arphi_S$       |
| III    | $\pi + arphi_S$     | 2π                  |

Πίνακας 1 Σύνορα σκιάς του πεδίου περίθλασης

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

#### 2.0 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΔΙΟΥ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ

Η παρακάτω λύση που θα παρουσιαστεί σε αυτό το κεφάλαιο δημιουργήθηκε το 2019 από τον Πέτρο Νικολάου στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής του , 'A contribution to the theoretical study and numerical calculation of edge diffraction', PhD Dissertation, University of Patras Patras, Greece, 2019.

# 2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΓΙΑ ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕΣΑ ΣΤΗΝ ΑΚΜΗ

Το πεδίο περίθλασης αποτελείται από την επαλληλία του προσπίπτοντος και του ανακλώμενου κύματος, που έχουν τους συμβολισμούς di και dr αντίστοιχα.

$$P_{finite}^d = P_{finite}^{di} + P_{finite}^{dr}$$
(2.1)

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

Το προσπίπτον και το ανακλώμενο κύμα υπολογίζονται από την εξίσωση

$$P_{finite}^{d} = \frac{1}{2} e^{i\omega \frac{L}{c}} C_{irf}^{d} \left( \sum_{m=0}^{mmax} I_{m}^{d} + \sum_{n=0}^{nmax} I_{n}^{d} \right)$$
(2.2)

Ο όρος Cirf είναι μεταβλητή ανεξάρτητη του χρόνου και ορίζεται ως

$$C_{irf}^{i,r} = \frac{\bar{t}^{i,r} \, \Phi \sqrt{C_0/L}}{2\pi \sqrt{r_R r_s}} \tag{2.3}$$

Όπου,

$$\bar{t}^{i,r} = \frac{rr_s\pi}{c_0(L+R_{1,2})}$$
(2.4)

$$\Phi^{d} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cos\left(\frac{\varphi_{S} \mp \varphi_{R}}{2}\right)$$
(2.5)

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

Τα ολοκληρώματ<br/>α $I^d_i$ ορίζονται ως εξής ,

$$I_{j}^{d} = \int_{\tau_{j-1}}^{\tau_{j}} \frac{e^{i\omega\tau}}{\sqrt{\tau}(\tau + \tau lag^{d})} d\tau = -a_{j}e^{-\tau lag_{d}(b_{j+i\omega})}E1[-(\tau_{j} + \tau lag_{d})(b_{j} + i\omega)] + a_{j}e^{-\tau lag_{d}(b_{j+i\omega})}E1[-(\tau_{j-1} + \tau lag_{d})(b_{j} + i\omega)] - c_{j}e^{-\tau lag_{d}(b_{j+i\omega})}E1[-(\tau_{j} + \tau lag_{d})(d_{j} + i\omega)] + c_{j}e^{-\tau lag_{d}(b_{j+i\omega})}E1[-(\tau_{j-1} + \tau lag_{d})(d_{j} + i\omega)]$$
(2.6)

Όπου

$$E1(z) = \int_{1}^{\infty} \frac{e^{-zt}}{t} dt$$
(2.7)

Η μεταβλητή τ<sub>j</sub> είναι ο τελευταίος χρόνος περίθλασης του τμήματος της ακμής j , ονομάζεται επίσης χρόνος επανακτινοβολίας.

Τα άκρα ολοκλήρωσης του κάθε ολοκληρώματος έχουν της εξής τιμή για κάθε j Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

| j | Κάτω άκρο        | Άνω άκρο         |
|---|------------------|------------------|
|   | ολοκλήρωσης      | ολοκλήρωσης      |
| 0 | 0                | 10 <sup>-8</sup> |
| 1 | 10 <sup>-8</sup> | 10 <sup>-7</sup> |
| 2 | 10 <sup>-7</sup> | 10 <sup>-6</sup> |
| 3 | 10 <sup>-6</sup> | 10 <sup>-5</sup> |
| 4 | 10 <sup>-5</sup> | 10 <sup>-4</sup> |
| 5 | 10 <sup>-4</sup> | 10 <sup>-3</sup> |
| 6 | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-2</sup> |
| 7 | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-1</sup> |
| 8 | 10 <sup>-1</sup> | 1                |
| 9 | 1                | 10               |

Πίνακας 2 Τιμές των πρώτων και τελευταίων χρόνων περίθλασης για τα πρώτα 9 τμήματα της

ακμής

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και



Εικόνα 2 Τελευταίοι χρόνοι περίθλασης για σημείο αναφοράς μέσα στην ακμή

Ο όρος  $\tau lag^d$  είναι ο χρόνος καθυστέρησης περίθλασης και ορίζεται ως

$$\tau lag_{i,r} = \frac{L - R_{1,2}}{C_0} \tag{2.8}$$

Οι σταθερές a , b , c και d δίνονται από τον παρακάτω πίνακα για κάθε τιμή του j

| a        | b         | с        | d         |
|----------|-----------|----------|-----------|
| 8869.255 | -7.76E+07 | 5984.571 | -6.64E+06 |
| 2834.45  | -7761945  | 1880.935 | -654144   |
| 904.7124 | -778713   | 591.1591 | -64311.9  |
| 277.6677 | -75524.8  | 185.3952 | -6347.12  |
| 87.60091 | -7358.69  | 57.88834 | -621.592  |

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

| 27.68807 | -735.153 | 18.29792 | -62.1098 |
|----------|----------|----------|----------|
| 8.756108 | -73.5226 | 5.786567 | -6.21147 |
| 2.76914  | -7.35314 | 1.829968 | -0.62121 |
| 0.875611 | -0.73524 | 0.578667 | -0.06212 |

Πίνακας 3 Τιμές των σταθερών a , b , c και d.

Σε αυτό το σημείο εισάγουμε την βοηθητική δικλαδική συνάρτηση

$$N(\tau_j, \tau lag_d, b_j, \omega) = \begin{cases} N1 = e^{z-s} E1(z) & |z| < 200 \\ N1a = \frac{e^{-s}}{z} & |z| > 200 \end{cases}$$
(2.9)

όπου

$$z = -(\tau + \tau lag)^*(b_j + i\omega)$$
$$s = -\tau(b_j + i\omega)$$

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

Η συνάρτηση N1α αποτελεί την προσέγγιση της N1 για μεγάλο όρισμα |z|, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3, με αποτέλεσμα να μπορούμε να παραλείψουμε το εκθετικό ολοκλήρωμα E1(z), το οποίο έχει μεγαλύτερους χρόνους υπολογισμού.



Εικόνα 3 Ποσοστιαία απόλυτη διαφορά των συναρτήσεων Ν1 και Ν1α

Συνεπώς η εξίσωση 2.6 γίνεται

$$I_{j}^{d} = -a_{j}N(\tau_{j},\tau lag_{d},b_{j},\omega) + a_{j}N(\tau_{j-1},\tau lag_{d},b_{j},\omega)$$

$$-c_{j}N(\tau_{j},\tau lag_{d},d_{j},\omega) + c_{j}N(\tau_{j-1},\tau lag_{d},d_{j},\omega)$$

$$(2.10)$$

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

Για λόγους συντομίας , ονομάζουμε τους τέσσερις όρους από τους οποίους αποτελείται το ολοκλήρωμα  $Q_i$  , δηλαδή ,

$$I_j^d = -a_j Q 1 + a_j Q 2 - c_j Q 3 + c_j Q 4$$
(2.11)

# 2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΓΙΑ ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΕΞΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΜΗ

Στην περίπτωση που το σημείο αναφοράς βρίσκεται έξω από την ακμή, η συνεισφορά της μη υπάρχουσας ακμής R.P-E1 πρέπει να αφαιρεθεί από την συνεισφορά της συνολικής ακμής.

$$P_{finite}^{d} = \frac{1}{2} e^{i\omega \frac{L}{c}} C_{irf}^{d} \left( \sum_{m=0}^{mmax} I_{m}^{d} - \sum_{m=0}^{mmin} I_{m}^{d} \right)$$
(2.12)

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και



Εικόνα 4 Τελευταίοι χρόνοι περίθλασης για σημείο αναφοράς έξω από την ακμή

#### 2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Στις παρακάτω εφαρμογές θα υπολογιστεί για συγκεκριμένες γεωμετρίες το πεδίο περίθλασης μιας πεπερασμένης ακμής και θα γίνει σύγκριση με το πεδίο περίθλασης της άπειρης ακμής. Πρέπει να σημειωθεί πως η λύση που παρουσιάστηκε στο παρόν κεφάλαιο είναι δομημένη ώστε οι συνεισφορές της ακμής R.P-E1 να συγκρίνονται με την ήμισυ της άπειρης ακμής και οι συνεισφορές της ακμής R.P-E2 με το άλλο ήμισυ της άπειρης ακμής.

#### 2.3.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ Α ΓΙΑ ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕΣΑ ΣΤΗΝ ΑΚΜΗ

Έστω η παρακάτω γεωμετρία με πηγή S(4,45°,-2) , δέκτη R(1,240°,4) και η ακμή εκτείνεται από το σημείο (0,0,-20) ως (0,0,20). <u>Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και</u> Περιβάλλοντος 14


Εικόνα 5 Γεωμετρία της εφαρμογής Α για σημείο αναφοράς μέσα στην ακμή.



Εικόνα 6 Πραγματικές τιμές άπειρης και πεπερασμένης λύσης της εφαρμογής Α για σημείο αναφοράς μέσα στην ακμή.



Εικόνα 7 Φανταστικές τιμές άπειρης και πεπερασμένης λύσης της εφαρμογής Α για σημείο αναφοράς μέσα στην ακμή.

Η λύση της πεπερασμένης ακμής ταυτίζεται με την λύση της άπειρης ακμής, αυτό είναι αναμενόμενο καθώς η ακμή έχει μεγάλο μήκος με αποτέλεσμα οι όποιες συνεισφορές που θα υπήρχαν για μεγαλύτερο μήκος ακμής είναι μηδενικές. Στα παρακάτω κεφάλαια θα ερευνήσουμε σε ποιες περιπτώσεις οι δυο λύσεις δεν είναι ταυτόσημες.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

### 2.3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ Β ΓΙΑ ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕΣΑ ΣΤΗΝ ΑΚΜΗ

Έστω η παρακάτω γεωμετρία με πηγή  $S(4,45^\circ,-0.2)$ , δέκτη  $R(1,245^\circ,-0.31)$  και η ακμή εκτείνεται από το σημείο (0,0,-0.3) ως (0,0,0.3).



Εικόνα 8 Γεωμετρία της εφαρμογής Β για σημείο αναφοράς μέσα στην ακμή.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και



Εικόνα 9 Πραγματικές τιμές άπειρης και πεπερασμένης λύσης της εφαρμογής Β για σημείο αναφοράς μέσα στην ακμή.



Εικόνα 10 Φανταστικές τιμές άπειρης και πεπερασμένης λύσης της εφαρμογής Β για σημείο αναφοράς μέσα στην ακμή.

Σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε πως το σημείο αναφοράς εντοπίζεται πλησίον του σημείου E1, συνεπώς αναμένουμε τις συνεισφορές στο πεδίο περίθλασης του τμήματος της ακμής R.P-E1 να μην συγκλίνουν στις συνεισφορές της άπειρης ακμής όπως παρατηρήθηκε στην εφαρμογή Α για σημείο αναφοράς μέσα στην ακμή.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

Περιβάλλοντος

#### 2.3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ Α ΓΙΑ ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΕΞΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΜΗ

Έστω η παρακάτω γεωμετρία με πηγή S(4,45°,-2), δέκτη (1,240°,-3) και η ακμή εκτείνεται από το σημείο (0,0,-1) ως (0,0,3).



Επισημαίνεται πως σε αυτή την περίπτωση η σύγκριση των συνεισφορών της

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

21

πεπερασμένης ακμής γίνεται με το ήμισυ των συνεισφορών της άπειρης ακμής.

Εικόνα 11 Γεωμετρία της εφαρμογής Α για σημείο αναφοράς έξω από την ακμή.



Εικόνα 12 Πραγματικές τιμές άπειρης και πεπερασμένης λύσης της εφαρμογής Α για σημείο αναφοράς έξω από την ακμή.



Εικόνα 13 Φανταστικές τιμές άπειρης και πεπερασμένης λύσης της εφαρμογής Α για σημείο αναφοράς έξω από την ακμή.

Σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε πως οι δυο λύσεις διαφέρουν πολύ μεταξύ τους , αυτό οφείλεται στην μη υπάρχουσα ακμή R.P-E1 της οποίας οι συνεισφορές δεν υπολογίζονται.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

### 2.3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ Β ΓΙΑ ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΕΞΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΜΗ

Έστω η παρακάτω γεωμετρία με πηγή  $S(4,45^\circ,-1.02)$ , δέκτη (3,250°,-1.02) και η ακμή εκτείνεται από το σημείο (0,0,-1) ως (0,0,1).



Εικόνα 14 Γεωμετρία της εφαρμογής Β για σημείο αναφοράς έξω από την ακμή.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και



Εικόνα 15 Πραγματικές τιμές άπειρης και πεπερασμένης λύσης της εφαρμογής B για σημείο αναφοράς έξω από την ακμή.



Εικόνα 16 Φανταστικές τιμές άπειρης και πεπερασμένης λύσης της εφαρμογής Β για σημείο αναφοράς έξω από την ακμή.

Στην περίπτωση αυτή παρατηρούμε πως με σημείο αναφοράς έξω από την ακμή είναι δυνατόν να επιτευχθεί σύγκλιση της λύσης της πεπερασμένης ακμής με την λύση της ημιάπειρης ακμής.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

### 3.0 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΛΥΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε την συμπεριφορά των ολοκληρωμάτων  $I_j^{d^2}$ , καθώς και τους τέσσερις όρους  $Q_i$  απο τους οποίους αποτελούνται και θα εξεταστεί η ευαισθησία τους ως προς τις μεταβλητές του προβλήματος. Οι μεταβλητές είναι οι παρακάτω

- Τελευταίος χρόνος περίθλασης του κάθε τμήματος τ<sub>i</sub> [s] (ενότητα 2.1)
- Χρόνος καθυστέρησης τlag [s] (εξίσωση 2.8)
- Γωνιακή συχνότητα ω [rad/s] ή συχνότητα f [Hz]

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

### 3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΟΡΩΝ QI

Η συμπεριφορά των όρων  $Q_i$  καθορίζει και την συμπεριφορά των ολοκληρωμάτων  $I_j^{d^2}$ , συνεπώς η κατανόηση και η ανάλυση των όρων  $Q_i$  ως προς την ευαισθησία τους στις ανεξάρτητες μεταβλητές είναι σημαντική. Η ανάλυση τους θα γίνει ως προς τον τελευταίο χρόνο περίθλασης του κάθε τμήματος της ακμής για διαφορετικούς χρόνους καθυστέρησης και συχνότητες f

Τα παρακάτω διαγράμματα αναπαριστούν τους όρους  $Q_i$  που αντιστοιχούν είτε στο προσπίπτον κύμα είτε στο ανακλώμενο καθώς δεν παρουσιάζεται κάποια διαφορά.



Absolute of Qi, i=1,2,3,4.

Εικόνα 17 Τέσσερις όροι Q για τlag=0.0294 και f=50Hz.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και



Εικόνα 18 Τέσσερις όροι Q για τlag=0.0294 και f=5000Hz.



Absolute of Qi , i=1,2,3,4.

Εικόνα 19 Τέσσερις όροι Q για τlag=7.3992e-5 και f=50Hz.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και



Εικόνα 20 Τέσσερις όροι Q για τlag=7.3992e-5 και f=5000Hz.

Παρατηρούμε από τις εικόνες 11 έως 14 πως σε κάθε περίπτωση ο όρος Q4 είναι ο μεγαλύτερος σε απόλυτη τιμή από τους υπόλοιπους όρους. Ο όρος Q1 είναι σχεδόν αμελητέος σε σύγκριση με τους υπόλοιπους όρους ,ενώ οι όροι Q2 και Q3 έχουν ίδια τάξη μεγέθους άλλα σύμφωνα με την εξίσωση 2.11 έχουν διαφορετικό πρόσημο και συνεπώς το άθροισμα τους είναι και αυτό σχεδόν αμελητέο. Καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως ο όρος Q4 είναι αυτός που διαμορφώνει τα ολοκληρώματα  $I_i^{d}$  και οι περαιτέρω αναλύσεις θα γίνουν ως προς αυτόν, χωρίς φυσικά οι υπόλοιποι όροι να αμελούνται όταν υπολογίζεται το ολικό κύμα.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος 31

# 3.2 ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΤΩΝ ΟΡΩΝ Q ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ

Όπως έχει ήδη παρατηρηθεί, ο όρος τlag εξαρτάται από την σχετική θέση της πηγής και του δέκτη καθώς και από την ταχύτητα του κύματος και οι συνήθεις τιμές του κυμαίνονται στο διάστημα (0,0.5].Το παρακάτω διάγραμμα περιγράφει την συμπεριφορά του όρου Q4 για συχνότητα 1000Hz και για τρείς διαφορετικές τιμές του χρόνου τlag.



Εικόνα 21 Κανονικοποιημένες τιμές του όρου Q4 για διαφορετικά τlag Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

Οι τιμές είναι κανονικοποιημένες ως πρός την μέγιστη τιμή του κάθε όρου με σκοπό να παρατηρηθεί σε ποιο τελευταίο χρόνο περίθλασης ο όρος Q4 παρουσιάζει ακρότατο και σε ποιο τελευταίο χρόνο περίθλασης προσεγγίζει μηδενική τιμή. Σύμφωνα με την εικόνα 15, το μέγιστο ακρότατο καθώς και ο πρακτικός μηδενισμός του όρου επιτυγχάνεται για μικρότερους τελευταίους χρόνους περίθλασης, δηλαδή <<πιο γρήγορα >> ,όταν ο χρόνος καθυστέρησης μειώνεται , ενώ για μεγαλύτερους χρόνους περίθλασης , δηλαδή <<πιο αργά>>.

Στη συνέχεια εξετάζουμε την συμπεριφορά του όρου Q4 για διαφορετικές συχνότητες, το παρακάτω διάγραμμα είναι για διάταξη με χρόνο καθυστέρησης τlag=1.8e-4.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και



Εικόνα 22 Κανονικοποιημένες τιμές του όρου Q4 για διαφορετικές συχνότητες f

Σε αυτή την σύγκριση παρατηρούμε την αντίθετη εξάρτηση από τον χρόνο καθυστέρησης τlag, με την αύξηση της συχνότητας ο μηδενισμός του όρου Q4 επιτυγχάνεται <<< πιο γρήγορα>>, ενώ με την μείωση της συχνότητας <<πιο αργά>>.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

# 4.0 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΝΤΟΣ , ΤΟΥ ΑΚΑΝΛΩΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΟΛΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΤΗΣ ΑΠΕΙΡΗΣ ΑΚΜΗΣ

Όπως είδαμε στο δεύτερο κεφάλαιο, η επαλληλία του προσπίπτον και του ανακλώμενου κύματος έχουν ως αποτέλεσμα το ολικό κύμα. Συνεπώς πριν συγκρίνουμε το ολικό κύμα της πεπερασμένης ακμής με το ολικό κύμα της άπειρης, θα κάνουμε σύγκριση των προσπίπτων και των ανακλώμενων κυμάτων.

## 4.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ

Όπως έχει ήδη παρατηρηθεί, ο χρόνος καθυστέρησης τlag είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή που διαμορφώνει την συμπεριφορά των κυμάτων καθώς όλη η γεωμετρία της διάταξης συμπεριλαμβάνεται σε αυτή την μεταβλητή .Στα παρακάτω διαγράμματα παρατηρούμε την σημασία του tlag όταν συγκρίνουμε δυο κύματα με μεγάλη διαφορά ως προς αυτό.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και



Εικόνα 23 Σύγκριση του προσπίπτον , ανακλώμενου και ολικού κύματος για τ $lag^{di} > tlag^{dr}$ 



Εικόνα 24 Σύγκριση του προσπίπτον , ανακλώμενου και ολικού κύματος για τlag<sup>di</sup> <tlag<sup>dr</sup>

Σύμφωνα με τις εικόνες 17 και 18, το κύμα με το μεγαλύτερο τlag είναι το κύμα που διαμορφώνει την συμπεριφορά του ολικού κύματος ενώ το κύμα με το μικρότερο τlag είναι αυτό που συγκλίνει πιο γρήγορα με το αντίστοιχο της λύσης της άπειρης ακμής.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

### 4.2 ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕΣΑ ΣΤΗΝ ΑΚΜΗ

Έστω η παρακάτω γεωμετρία με σημείο αναφοράς μέσα στην ακμή



Εικόνα 25 Παράδειγμα για σημείο αναφοράς μέσα στην ακμή όπου R.P-E1<R.P-E2

Σε αυτήν την περίπτωση το τμήμα της ακμής R.P-E1 είναι το μικρότερο, συνεπώς η σύγκριση που θα γίνει θα είναι της συνεισφοράς αυτού του τμήματος και το ήμισυ της άπειρης ακμής. Τα παρακάτω διαγράμματα αφορούν δύο περιπτώσεις του προσπίπτον κύματος και δύο περιπτώσεις του ανακλώμενου κύματος με διαφορά στον χρόνο καθυστέρησης τlag.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και



Εικόνα 26 Προσπίπτον κύμα της άπειρης και πεπερασμένης λύσης για τlag=4,1369e-5 και f=3000Hz



Εικόνα 27 Προσπίπτον κύμα της άπειρης και πεπερασμένης λύσης για τlag=0.001138 και f=3000Hz



Εικόνα 28 Ανακλώμενο κύμα της άπειρης και πεπερασμένης λύσης για τlag=4.616e-6 και f=3000Hz



Εικόνα 29 Ανακλώμενο κύμα της άπειρης και πεπερασμένης λύσης για τlag=0.0015867 και f=3000Hz Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και



Εικόνα 30 Ολικό κύμα άπειρης και πεπερασμένης ακμής για τlag<sup>di</sup> = 0.001138 ,τlag<sup>dr</sup>=4.616e-6 και f=3000Hz

Παρατηρούμε, όπως είδαμε και στο 3° κεφάλαιο, πως όποιο κύμα έχει μικρότερο χρόνο καθυστέρησης tlag, η λύση του αντίστοιχου κύματος της πεπερασμένης ακμής συγκλίνει στην λύση της άπειρης ακμής για μικρότερο τελευταίο χρόνο περίθλασης τ.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και Περιβάλλοντος

### 4.3 ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΕΞΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΜΗ

Τα παρακάτω διαγράμματα αφορούν την περίπτωση όπου το σημείο αναφοράς βρίσκεται έξω από την ακμή , και σε αυτή την περίπτωση παραθέτοντας δύο περιπτώσεις για το προσπίπτον κύμα και δυο για το ανακλώμενο.



Εικόνα 31 Παράδειγμα για σημείο αναφοράς έξω από την ακμή όπου R.P-E1<R.P-E2

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και



Εικόνα 32 Προσπίπτον κύμα άπειρης και πεπερασμένης λύσης για τlag=1.8702e-5 και f=5000Hz



Εικόνα 33 Προσπίπτον κύμα άπειρης και πεπερασμένης λύσης για τlag=0.00056822 και f=5000Hz



Εικόνα 34 Ανακλώμενο κύμα άπειρης και πεπερασμένης λύσης για τlag=0.00083905 και f=5000Hz



Εικόνα 35 Ανακλώμενο κύμα άπειρης και πεπερασμένης λύσης για τlag=2.0811e-6 και f=5000Hz.



Εικόνα 36 Ολικό κύμα άπειρης και πεπερασμένης ακμής για τ $lag^{di}=0.00056822$ , τ $lag^{dr}=2.0811e$ -6 και f=5000Hz.

Όπως αναμένουμε , υπάρχει σε κάθε περίπτωση ένα εύρος τελευταίων χρόνων περίθλασης για το οποίο η λύση της πεπερασμένης ακμής είναι ταυτόσημη με αυτή της άπειρης ακμής.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

#### 5.0 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η παρούσα σπουδαστική εργασία αποτελεί μια εισαγωγή στην σύγκριση του πεδίου περίθλασης της πεπερασμένης ακμής και της άπειρης ακμής και οι εικόνες των κεφαλαίων 4.2 και 4.3 μας δείχνουν ποιοτικά για ποιο τελευταίο χρόνο περίθλασης τα δυο κύματα συγκλίνουν μεταξύ τους . Για περαιτέρω ανάπτυξη και έρευνα προτείνεται η εύρεση μίας εξίσωσης με ανεξάρτητες μεταβλητές τον χρόνο καθυστέρησης περίθλασης τlag και την γωνιακή συχνότητα ω όπου το αποτέλεσμα της θα είναι ο τελευταίος χρόνος περίθλασης για τον οποίο τα δυο κύματα συγκλίνουν με σφάλμα μικρότερο ενός προκαθορισμένου ποσοστού.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

 Nikolaou P., 2020. A contribution to the theoretical study and numerical calculation of edge diffraction. University of Patras , Department of Mechanical Engineering and Aeronautics.

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών – Τομέας Ενέργειας Αεροναυτικής και