

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής



Πτυχιακή εργασία

**Δημιουργία πλατφόρμας για τη μελέτη ακουστικής συμπεριφοράς
μεγάλου κλειστού χώρου στο excel**

Αικατερίνη Παπαδάκη

Επιβλέπων:

Νικόλαος Στεφανάκης
Επίκουρος Καθηγητής

Ρέθυμνο, Μάιος 2023

HELLENIC MEDITERRANEAN UNIVERSITY

SCHOOL OF MUSIC AND OPTOACOUSTIC TECHNOLOGIES

Department of Music Technology & Acoustics



Thesis

**Creation of a platform for the study of acoustic behavior of large
enclosed space in excel**

Aikaterini Papadaki

Supervisor:

Nikolaos Stefanakis

Assistant Professor

Rethymno, May 2023



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής

Πτυχιακή Εργασία

**Δημιουργία πλατφόρμας για τη μελέτη ακουστικής συμπεριφοράς
μεγάλου κλειστού χώρου στο excel**

Της

Αικατερίνη Παπαδάκη

Επιβλέπων:

Νικόλαος Στεφανάκης

Επίκουρος Καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την [Ημερομηνία ...η].

.....

XXX XXX

Βαθμίδα

.....

XXX XXX

Βαθμίδα

.....

XXX XXX

Βαθμίδα

Ρέθυμνο, Μάιος 2023

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Αικατερίνη Παπαδάκη, [2023]

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο θεωρητικός υπολογισμός του χρόνου αντήχησης, είναι μια από τις πιο βασικές απαιτήσεις κατά τη μελέτη της ακουστικής ενός κλειστού χώρου. Η διαδικασία, ωστόσο, μπορεί να γίνει αρκετά χρονοβόρα λαμβάνοντας υπόψιν τις διαφορετικές προσεγγίσεις που έχουν διατυπωθεί στη βιβλιογραφία και το μεγάλο αριθμό των παραμέτρων που συμβάλουν στον όλο υπολογισμό. Σκοπός αυτής της εργασίας, είναι η δημιουργία ενός εργαλείου για το θεωρητικό υπολογισμό του χρόνου αντήχησης βασισμένο στο excel, έτσι ώστε οι βασικοί υπολογισμοί που απαιτούνται να εκτελούνται με αυτόματο τρόπο και ο μελετητής να επικεντρώνεται στο πιο δημιουργικό κομμάτι της μελέτης. Σε μία πρώτη εκδοχή του εργαλείου, ο χρόνος αντήχησης υπολογίζεται με βάση τους τύπους των Sabine, Norris-Eyring και Sette – Millington, ενώ μια δεύτερη εκδοχή κατασκευάστηκε με στόχο να καλύπτεται και η προσέγγιση του Fitzroy. Τα αρχεία excel, περιέχουν κατάλογο με τους συντελεστές απορρόφησης διαφορετικών υλικών, ώστε ο χρήστης να μπορεί εύκολα να δοκιμάζει διαφορετικές επιλογές στην ακουστική διαμόρφωση του χώρου, ενώ, επίσης, μπορεί να επιλέξει αν θα λαμβάνονται υπόψιν απώλειες λόγω της απορρόφησης του αέρα. Τέλος, στα αρχεία συμπεριλαμβάνεται και η δυνατότητα αυτόματου υπολογισμού του επιθυμητού χρόνου αντήχησης με βάση τη χρήση και τον όγκο του. Στο τελευταίο κεφάλαιο της πτυχιακής εργασίας, παραθέτονται παραδείγματα χρήσης των αρχείων excel με σκοπό την καλύτερη εξοικείωση του χρήστη με το εργαλείο αυτό.

ABSTRACT

The theoretical calculation of the reverberation time is one of the most crucial requirements when studying the acoustics of a closed space. The process can become quite cumbersome, considering the different approximations proposed in the literature and the large number of parameters that contribute to the calculations. Goal of this Thesis is the development of a tool for the theoretical calculation of reverberation time based on excel, so that the computations are executed in an automated manner, allowing the user to focus mainly on the most constructive part of the study. A first version of the tool was developed taking into account the approaches proposed by Sabine, Norris-Eyring and Sette-Millington, while a second version was designed to be compatible with the approach proposed by Fitzroy. The excel files are enriched with a list of absorption coefficients of common materials so that the user can easily try different materials. Moreover, the programs may calculate the desired value of reverberation time, given the room volume and the use case. In the last chapter of this Thesis, examples are provided so that the user can become easier familiar with the use of the excel files.

ΠΕΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ABSTRACT.....	iii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	vii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	viii
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ.....	ix
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	i
1. Βασικά Στοιχεία Θεωρίας.....	1
1.1 Ήχος και χρόνος αντήχησης.....	1
1.2 Απορρόφηση ηχητικής ενέργειας.....	1
1.3 Μέτρηση χρόνου αντήχησης κατά Sabine.....	3
1.4 Μέτρηση χρόνου αντήχησης κατά Norris-Eyring.....	4
1.5 Μέτρηση χρόνου αντήχησης κατά Sette-Millington.....	4
1.6 Μέτρηση χρόνου αντήχησης κατά Fitzroy.....	5
1.7 Απορρόφηση από τον αέρα.....	5
1.8 Κρίσιμη απόσταση.....	6
1.9 Βέλτιστος όγκος και χρόνος αντήχησης.....	7
2. Παρουσίαση του αρχείου Excel.....	9
2.1 Η εφαρμογή υπολογιστικού φύλλου Excel.....	9
2.2 Αρχείο Excel No1.....	11
2.2.1 Φύλλο εργασίας Properties.....	11
2.2.2 Φύλλο εργασίας RT60.....	11
2.2.3 Φύλλο εργασίας Sabine + Norris-Eyring.....	16
2.2.4 Φύλλο εργασίας Air absorption.....	17
2.2.5 Φύλλο εργασίας Sette-Millington.....	19
2.2.6 Φύλλο εργασίας Critical Distance.....	20
2.2.7 Φύλλο εργασίας Best Volume_Best RT60.....	20
2.3 Αρχείο Excel No 2.....	22
2.3.1 Φύλλο εργασίας Properties_Fitzroy.....	22
2.3.2 Φύλλο εργασίας RT60_Fitzroy.....	22
2.3.3 Φύλλο εργασίας Fitzroy_Calculations.....	23
2.3.4 Φύλλο εργασίας Best Volume_Best RT60_Fitzroy.....	24
3. Ασκήσεις και παραδείγματα.....	25
3.1 Άσκηση 1.....	25
3.2 Άσκηση 2.....	29

3.3 Άσκηση 3	29
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	31
Βιβλιογραφία	32

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Υλικά και οι συντελεστές απορρόφησής τους (Πηγή: Πασχαλίδου, Σηφάκης, 2016).....	2
Πίνακας 2 Συντελεστές απορρόφησης των αντικειμένων (Πηγή: Πασχαλίδου, Σηφάκης, 2016).....	4
Πίνακας 3 Οι συντελεστές απορρόφησης του αέρα για διαφορετικά επίπεδα υγρασίας και θερμοκρασίας. Πηγή: Πασχαλίδου; Σηφάκης; 2016.....	6
Πίνακας 4 Ελάχιστος, βέλτιστος και μέγιστος όγκος κατ' άτομο ανάλογα με τη χρήση ενός χώρου. Πηγή: Σηφάκης; Κουτσοδημάκης; 2012.....	8

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

<i>Εικόνα 1 Στιγμιότυπο οθόνης από ένα καινούριο αρχείο Excel</i>	10
<i>Εικόνα 2 Περιοχή INPUT εισαγωγής δεδομένων</i>	12
<i>Εικόνα 3 Περιοχή OUPUT εξαγωγής αποτελεσμάτων</i>	13
<i>Εικόνα 4 Στιγμιότυπο οθόνης μετά την εισαγωγή δεδομένων υλικών και αντικειμένων</i>	26
<i>Εικόνα 5 Στιγμιότυπο οθόνης με τα αποτελέσματα χρόνου αντήχησης με τις διαφορετικές εξισώσεις</i>	27
<i>Εικόνα 6 Διάγραμμα χρόνων αντήχησης με χρήση της αίθουσας για προβολή ταινίας</i>	28
<i>Εικόνα 7 Διάγραμμα των χρόνων αντήχησης με χρήση της αίθουσας για συναυλίες</i>	28

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

dB Decibel

Freq Frequency

Hz Herz

RT Reverbation Time

Κεφ. Κεφάλαιο

κ.μ. κυβικά μέτρα

τ.μ. τετραγωνικά μέτρα

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Absorption.....Απορρόφηση
Air.....Αέρας
Area.....Περιοχή
Best Volume.....Βέλτιστος Όγκος
Church.....Εκκλησία
Choir.....Χορωδία
Cinema.....Κινηματογράφος
Concert Hall.....Αίθουσα συναυλιών
Critical Distance.....Κρίσιμη απόσταση
Description.....Περιγραφή
Directivity Factor.....Παράγοντας
Κατευθυντικότητας
Farfield.....Μακρινό πεδίο
Frequency.....Συχνότητα
Humidity.....Υγρασία
Materials.....Υλικά
Material Absorption.....Απορρόφηση υλικών
Nearfield.....Κοντινό πεδίο
Number of Objects.....Αριθμός Αντικειμένων

Number of People.....Αριθμός Ατόμων
Objects.....Αντικείμενα
Object Absorption.....Απορρόφηση
αντικειμένων
Opera House.....Μουσικό θέατρο
Person.....Άτομο
Reference Hall.....Αίθουσα
συνεδριάσεων
Reverbation Time.....Χρόνος αντήχησης
Room Volume.....Όγκος χώρου
Sheet.....Φύλλο εργασίας
Sound Absorption.....Απορρόφηση ήχου
Source.....Πηγή
Speaking.....Ομιλία
Temperature.....Θερμοκρασία
Total Absorption.....Συνολική
απορρόφηση
Total Area.....Συνολική περιοχή
Use.....Χρήση

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια από τις πιο απαιτητικές εργασίες ενός μελετητή που δραστηριοποιείται στην ακουστική χώρων είναι ο ακουστικός σχεδιασμός και η ακουστική βελτίωση ενός κλειστού χώρου. Η μελέτη αυτή όμως συνεπάγεται τη διαχείριση πολλών δεδομένων και την πραγματοποίηση πολλών και πολύπλοκων μαθηματικών πράξεων. Υπάρχουν πολλοί παράμετροι που πρέπει να λάβει κανείς υπόψη, καθώς και πολλά δεδομένα και στοιχεία, των οποίων η οργάνωση πολλές φορές μπορεί να είναι μια πρόκληση από μόνη της. Επιπλέον, η μελέτη ενός χώρου απαιτεί πολύπλοκές και συχνά υψηλού επιπέδου μαθηματικές πράξεις. Αυτές μπορούν να δυσκολέψουν τον καθένα και ακόμα περισσότερο μαθητές/φοιτητές. Επίσης, λόγω της πολυπλοκότητας αυτών είναι εξαιρετικά πιθανή η πραγματοποίηση σφαλμάτων, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε λάθος αποτελέσματα.

Η εργασία αυτή έχει σκοπό να ερευνήσει το πώς η χρήση του προγράμματος Excel μπορεί να βοηθήσει στη διευκόλυνση της όλης διαδικασίας. Το συγκεκριμένο αρχείο απευθύνεται σε εκπαιδευόμενους, με σκοπό να τους βοηθήσει στην επίλυση προβλημάτων που έχουν να κάνουν με τη μελέτη ενός ακουστικού χώρου, γρήγορα και με ακρίβεια.

Αρχικά, θα κάνω αναφορά σε σημαντικά θέματα της θεωρίας ακουστικής, παρουσιάζοντας ακουστικά φαινόμενα και το πώς η μελέτη τους μας βοηθά να μελετήσουμε ακουστικά ένα χώρο. Θα μιλήσω για το ρόλο του χρόνου αντήχησης κατά τη μελέτη ενός ακουστικού χώρου και θα αναφέρω τις διάφορες μαθηματικές σχέσεις σύμφωνα με τις οποίες μπορούμε να βρούμε το χρόνο αντήχησης σε διαφορετικές περιπτώσεις. Επίσης, θα αναφερθώ στο ρόλο του παράγοντα κατευθυντικότητας και τέλος, θα εξηγήσω τι είναι, πώς υπολογίζονται και πού χρησιμεύουν ο βέλτιστος όγκος και ο βέλτιστος χρόνος αντήχησης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα αναλύσω και θα παρουσιάσω πώς ένα αρχείο Excel με βοηθάει στη μελέτη ενός ακουστικού χώρου. Αρχικά θα παρουσιάσω κάποια σημαντικά σημεία της χρήσης της εφαρμογής Excel. Δε θα κάνω πλήρη ανάλυση της εφαρμογής, αλλά θα παρουσιάσω τα βασικά χαρακτηριστικά του, και τις λειτουργίες, όπως είναι απαραίτητο για την κατανόηση της λειτουργίας και χρήσης του αρχείου Excel που έχω δημιουργήσει.

Στα επόμενα υποκεφάλαια θα παρουσιάσω τα δύο αρχεία Excel που έχω δημιουργήσει. Δε θα αναλύσω τα τεχνικά ζητήματα της δημιουργίας των αρχείων, αλλά θα αναλύσω και θα εξηγήσω τη δομή τους και τον τρόπο χρήσης τους, δηλαδή πώς λειτουργεί η εισαγωγή δεδομένων στα αρχεία, καθώς και η εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Στη συνέχεια στο τρίτο κεφάλαιο θα παρουσιάσω παραδείγματα ασκήσεων/προβλημάτων προς λύση, μίας εκ των οποίων θα παρουσιάσω τη λύση. Οι ασκήσεις/προβλήματα, είναι κατάλληλες για λύση από εκπαιδευμένους οι οποίοι εκπαιδεύονται στη μελέτη ακουστικών φαινομένων και ειδικότερα στη μελέτη ακουστικών χώρων.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, θα παρουσιάσω τα συμπεράσματά μου ανακεφαλαιώνοντας για το πώς το αρχείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εκπαιδευτικό βοήθημα για τη γρήγορη, ακριβή και αποτελεσματική λύση προβλημάτων που έχουν να κάνουν με την ακουστική μελέτη ενός χώρου.

1. Βασικά Στοιχεία Θεωρίας

1.1 Ήχος και χρόνος αντήχησης

Όταν μια σημειακή πηγή εκπέμπει ήχο σε χώρο χωρίς εμπόδια και ανακλαστικές επιφάνειες η πίεση του ήχου μειώνεται σταθερά κατά 6dB για κάθε διπλασιασμό της απόστασης. Σε ανοικτό χώρο η ηχητική ενέργεια μειώνεται σταθερά έως ότου αυτή γίνεται μηδενική. Όταν όμως η εκπομπή του ήχου συμβαίνει μέσα σε κλειστό χώρο, ο τρόπος μείωσης διαφέρει από αυτόν στο ελεύθερο πεδίο. Αυτό έχει να κάνει με το γεγονός ότι τα ηχητικά κύματα σε αυτήν την περίπτωση προσπίπτουν στις επιφάνειες του χώρου και ένα μέρος τους απορροφάται, ένα άλλο ανακλάται, ενώ κάποιο υφίσταται περίθλαση. Οι ανακλάσεις επηρεάζουν την ηχητική στάθμη σε κάθε σημείο του χώρου, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο αυτή μειώνεται.

Γνωρίζουμε ότι όταν μια ηχητική πηγή εκπέμπει, ο ήχος που ακούμε είναι αποτέλεσμα τόσο του ήχου που παράγει η πηγή (απευθείας ήχος), όσο και των ανακλάσεων τις οποίες αντιλαμβανόμαστε ακουστικά με κάποια χρονοκαθυστέρηση. Ο ήχος αυτός που προέρχεται από τις ανακλάσεις ονομάζεται αντήχηση. Ανάλογα με τη χρήση του χώρου η αντήχηση είναι επιθυμητή σε μεγαλύτερο ή σε μικρότερο βαθμό και είναι το βασικό χαρακτηριστικό που καθορίζει την ακουστική απόδοση ενός χώρου. Συγκεκριμένα σύμφωνα με την Πασχαλίδου και τον Σηφάκη (2016) ο χρόνος αντήχησης RT60 είναι αυτός που μας ενδιαφέρει κατά τη μελέτη ενός ακουστικού χώρου, δηλαδή, «ο χρόνος που απαιτείται ώστε η στάθμη του ήχου (Lp),σε ένα κλειστό χώρο, να ελαττωθεί κατά 60dB από την αρχική του τιμή».

1.2 Απορρόφηση ηχητικής ενέργειας

Όταν ένα ηχητικό κύμα προσπίπτει επάνω σε μια επιφάνεια ένα μέρος της ενέργειας απορροφάται με τη μορφή θερμικής ενέργειας, ενώ ένα μέρος ανακλάται και επιστρέφει στο χώρο. Ο λόγος της ενέργειας E_r που ανακλάται προς την προσπίπτουσα ενέργεια E_i δίνει το συντελεστή ανάκλασης r , δηλαδή $r = \frac{E_r}{E_i}$.

Το ποσοστό της ενέργειας που απορροφάται από το υλικό στο οποίο προσπίπτει το ηχητικό κύμα και μετατρέπεται σε θερμότητα αποτελεί το συντελεστή απορρόφησης του υλικού. Ο συντελεστής απορρόφησης α δίνεται από τη σχέση

$$\alpha = 1 - r,$$

είναι αδιάστατο μέγεθος και παίρνει τιμές μεταξύ του 0 και του 1, οι οποίες εξαρτώνται από το μήκος κύματος. Κάθε υλικό απορροφά τον ήχο με διαφορετικό τρόπο, συνεπώς και ο

συντελεστής απορρόφησης για κάθε υλικό είναι διαφορετικός. Επιπλέον, το ίδιο υλικό δεν απορροφά με τον ίδιο τρόπο όλες τις συχνότητες, με αποτέλεσμα αυτό για κάθε συχνότητα να έχει ένα διαφορετικό συντελεστή απορρόφησης.

Στον Πίνακα 1 παρατίθεται μια λίστα με συνήθη υλικά που χρησιμοποιούνται σε αίθουσες και τους συντελεστές απορρόφησης τους για τις συχνότητες 125Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz και 4000 Hz.

Description	Frequency (Hz)					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Concrete (unpainted, rough finish)	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
Concrete (sealed or painted)	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Marble or glazed tile	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Wood parquet on concrete	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Occupied audience,orchestra,chorus	0,4	0,55	0,8	0,95	0,9	0,85
Upholstered seats,cloth-covered,perforated bottoms	0,2	0,35	0,55	0,65	0,6	0,6
Upholstered seats,leather-covered	0,15	0,25	0,35	0,4	0,35	0,35
Acoustic plaster (approximate)	0,07	0,17	0,4	0,55	0,65	0,65
Acoustic tile on rigid surface	0,1	0,25	0,55	0,65	0,65	0,6
KNAUF plasterboard, R6/18, 65 mm from wall	0,2	0,3	0,45	0,55	0,45	0,45
KNAUF plasterboard, R6/18, 65 mm from wall + 20mm Thermolan	0,35	0,45	0,5	0,5	0,45	0,5
KNAUF plasterboard, R6/18, 400mm from wall	0,4	0,45	0,45	0,45	0,45	0,5
Acoustic tile, suspended (false ceiling)	0,4	0,5	0,6	0,75	0,7	0,6
Curtains (0.48 kgr/m2) velour, draped to half area	0,07	0,3	0,5	0,75	0,7	0,6
Wooden platform with airspace	0,4	0,3	0,2	0,17	0,15	0,1
Wood paneling 3/8-1/2 in. over 2-4 in. airspace	0,3	0,25	0,2	0,17	0,15	0,1
Plywood, 1/4 in. on studs fiberglass backing	0,6	0,3	0,1	0,09	0,09	0,09
wooden walls, 2 in.	0,14	0,1	0,07	0,05	0,05	0,05
Floor, wooden	0,15	0,11	0,1	0,07	0,06	0,07
Floor, linoleum, flexible tile, on concrete	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
Floor, linoleum, flexible tile, on subfloor	0,02	0,04	0,05	0,05	0,1	0,05
Floor, terrazzo	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Gypsum, 1/2 in.on studs	0,3	0,1	0,05	0,04	0,07	0,09
Plaster, smooth on lath	0,14	0,1	0,06	0,04	0,04	0,03
Plaster, smooth on lath on studs	0,3	0,15	0,1	0,04	0,05	0,05
Plaster, 1 in. damped on concrete block,brick,lath	0,14	0,1	0,07	0,05	0,05	0,05
Glass, heavy plate	0,18	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02
Glass, windowpane	0,35	0,025	0,18	0,12	0,07	0,04
Brick, unglazed, no paint	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Brick, smooth plaster finish	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05
Concrete block, no paint	0,35	0,45	0,3	0,3	0,4	0,25
Concrete block, painted	0,1	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Concrete block, smooth plaster finish	0,12	0,09	0,07	0,05	0,05	0,04
Concrete block, slotted two-well	0,1	0,9	0,5	0,45	0,45	0,4
Perforated panel over isolation blanket, 10% open area	0,2	0,9	0,9	0,9	0,85	0,85
Fiberglass, 1 in. on rigid backing	0,08	0,25	0,45	0,75	0,75	0,65
Fiberglass, 2 in. on rigid backing	0,21	0,5	0,75	0,9	0,85	0,8
Fiberglass, 2 in. on rigid backing, 1 in. airspace	0,35	0,65	0,8	0,9	0,85	0,8
Carpet - normal	0,01	0,02	0,06	0,15	0,25	0,45
Carpet,heavy on undercarpet(1.35 kgr/m2 felt or foam rubber)	0,08	0,25	0,55	0,7	0,7	0,75
Carpet,heavy on concrete	0,02	0,06	0,14	0,35	0,6	0,65
Fiberglass, 4 in. on rigid backing	0,45	0,9	0,95	1	0,95	0,85

Πίνακας 1 Υλικά και οι συντελεστές απορρόφησης τους (Πηγή: Παοχαλίδου, Σηφάκης, 2016)

1.3 Μέτρηση χρόνου αντήχησης κατά Sabine

Η πρώτη σχέση για τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης δόθηκε από τον Wallace Sabine το 1898 και είναι η εξής:

$$RT60 = \frac{0.161V}{S \bar{\alpha}} \quad (1)$$

όπου $\bar{\alpha}$ είναι ο μέσος συντελεστής απορρόφησης του χώρου, S είναι συνολική επιφάνεια σε m^2 του χώρου που παρουσιάζει απορρόφηση σε τετραγωνικά μέτρα και V είναι ο όγκος του χώρου m^3 . Ο χρόνος αντήχησης ορίζεται για την κεντρική συχνότητα κάθε συχνοτικής ζώνης υπολογισμού, επειδή τα υλικά παρουσιάζουν ανομοιόμορφη συχνοτικά απορρόφηση. Οι οκτάβες στις οποίες αναφέρεται ο χρόνος αντήχησης είναι: 125, 250, 500, 1000, 2000 και 4000.

Φυσικά ένας χώρος απαρτίζεται από διαφορετικά υλικά, και όπως προανέφερα κάθε υλικό έχει διαφορετικό συντελεστή απορρόφησης. Για τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης με ενδιαφέρει λοιπόν η μέση τιμή του συνόλου των συντελεστών απορρόφησης. Ο μέσος συντελεστής απορρόφησης δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{\alpha} = \frac{S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + \dots + S_n\alpha_n}{S} \quad (2)$$

$S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ τα εμβαδά των επιφανειών σε m^2 που συναντώνται στο χώρο, S το άθροισμα σε m^2 των εμβαδών αυτών και $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ οι αντίστοιχοι συντελεστές απορρόφησης.

Σύμφωνα με το Sabine, μάλιστα σε αυτή τη σχέση βρίσκεται «κρυμμένη» η συνολική απορρόφηση A_S του χώρου, η οποία είναι

$$A_S = S\bar{\alpha} = S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + \dots + S_n\alpha_n \quad (3)$$

ή αλλιώς

$$A_S = S\bar{\alpha} \quad (4)$$

Βέβαια, η εξίσωση του Sabine ωστόσο είναι αποτελεσματική εφόσον ο μέσος συντελεστής απορρόφησης κατά πολύ μικρότερος της μονάδας, δηλαδή πρέπει να ισχύει

$$\alpha < 0.1 .$$

Φυσικά σε μία αίθουσα και το κοινό απορροφά επίσης μέρος της ηχητικής ενέργειας. Στην περίπτωση του ανθρώπου όμως υπολογίζουμε κατ' ευθείαν με τη συνολική απορρόφηση κατ' άτομο, χωρίς να μας ενδιαφέρει ο συντελεστής απορρόφησης. Κατά παρόμοιο τρόπο συνυπολογίζουμε την απορρόφηση των καθισμάτων ενός χώρου. Για τα δύο αυτά

«αντικείμενα» η συνολική απορρόφηση για τις συχνότητες με τη σειρά 125Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz και 4000 Hz είναι όπως φαίνεται στον Πίνακα 2:

Description	Sound Absorption A in m^2					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Single person or heavily upholstered seat($\pm 0.10 m^2$)	0,40	0,70	0,85	0,95	0,90	0,80
Wooden chair, table, furnishing, for one person	0,02	0,03	0,05	0,08	0,08	0,05

Πίνακας 2 Συντελεστές απορρόφησης των αντικειμένων (Πηγή: Πασχαλίδου, Σηφάκης, 2016)

1.4 Μέτρηση χρόνου αντήχησης κατά Norris-Eyring

Όταν ο μέσος συντελεστής απορρόφησης είναι μεγαλύτερος του 0,1 παίρνουμε πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα με χρήση της εξίσωσης των Norris-Eyring, η οποία είναι η εξής:

$$RT60 = \frac{0.161V}{A_{ne}} \quad (5)$$

όπου V ο όγκος σε m^3 και A_{ne} είναι η συνολική απορρόφηση και ισούται με

$$A_{ne} = -S \ln(1 - \bar{\alpha}) \quad (6)$$

όπου S είναι η συνολική επιφάνεια των υλικών σε m^2 και $\bar{\alpha}$ ο μέσος συντελεστής απορρόφησης.

1.5 Μέτρηση χρόνου αντήχησης κατά Sette-Millington

Σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν στο χώρο επιφάνειες των οποίων οι συντελεστές απορρόφησης έχουν μεγάλη διαφορά μεταξύ τους και κάποιοι από αυτούς είναι ιδιαίτερα μεγάλοι (π.χ. $\alpha > 0,63$) χρησιμοποιείται ο τύπος Sette-Millington:

$$RT60 = \frac{0.161V}{A_m} \quad (7)$$

όπου V είναι ο όγκος του χώρου σε m^3 και A_m είναι η συνολική απορρόφηση και ισούται με

$$A_m = -[S_1 \ln(1 - \alpha_1) + S_2 \ln(1 - \alpha_2) + \dots + S_N \ln(1 - \alpha_N)] \quad (8)$$

όπου S_1, S_2, \dots, S_n τα εμβαδά των επιφανειών 1, 2, ..., S_n σε m^2 και $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ οι συντελεστές απορρόφησης τους.

1.6 Μέτρηση χρόνου αντήρησης κατά Fitzroy

Σε περίπτωση που υπάρχουν έντονα ανακλαστικές επιφάνειες σε μια ή περισσότερες κατευθύνσεις η απορρόφηση είναι ανομοιόμορφη. Σε αυτήν την περίπτωση και ειδικά για ορθογώνιους χώρους χρησιμοποιούμε τον τύπο Fitzroy, ο οποίος λαμβάνει υπόψιν τους τρεις άξονες του χώρου X,Y,Z. Έτσι η εξίσωση είναι ως εξής:

$$RT60 = \frac{0.161V}{S^2} * \left(\frac{S_{xy}}{\bar{a}_{xy}} + \frac{S_{zy}}{\bar{a}_{zy}} + \frac{S_{xz}}{\bar{a}_{xz}} \right) \quad (9)$$

όπου V ο όγκος του χώρου σε m³, S το συνολικό εμβαδό των επιφανειών του χώρου σε m², S_{XY}, S_{ZY}, S_{XZ} τα εμβαδά των επιφανειών σε m² μεταξύ των αξόνων y,z,x και \bar{a}_{xy} , \bar{a}_{zy} , \bar{a}_{xz} οι αντίστοιχοι μέσοι συντελεστές απορρόφησης των επιφανειών μεταξύ των αξόνων. Για ορθογώνιο χώρο ισχύει: S_{XY}=2XY, S_{XZ}=2XZ, S_{ZY}=2YZ

1.7 Απορρόφηση από τον αέρα

Φυσικά τα μόρια του αέρα απορροφούν κι αυτά κάποια ηχητική ενέργεια, η οποία όμως συνήθως θεωρείται αμελητέα και δε λαμβάνεται υπόψη. Σε πολύ μεγάλους χώρους (εκκλησίες, θέατρα), και ειδικά για μεσαίες και υψηλότερες συχνότητες η απορρόφηση από τον αέρα πρέπει να συνυπολογίζεται, καθώς είναι μοριακό φαινόμενο και έχει να κάνει με τις ενεργειακές στάθμες ταλάντωσης των μορίων των υδρατμών. Η απορρόφηση λοιπόν διαφέρει ανάλογα με τα επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας που επικρατούν. Ο συντελεστής απορρόφησης του αέρα αλλάζει όπως φαίνεται στον πίνακα 2:

Σχετική υγρασία %	Θερμοκρασία (°)	Κεντρικές συχνότητες οκτάβων (Hz)			
		2000	4000	6300	8000
30%	15	0.0143	0.0486	0.1056	0.1360
	20	0.01190	0.0379	0.0840	0.1360
	25	0.0114	0.0313	0.685	0.1360
	30	0.0281	0.0281	0.0564	0.1360
50%	15	0.0099	0.0286	0.0626	0.0860
	20	0.0096	0.0244	0.0503	0.0860
	25	0.0095	0.0235	0.0444	0.0860
	30	0.0092	0.0233	0.0426	0.0860
70%	15	0.0088	0.0223	0.0454	0.0600
	20	0.0085	0.0213	0.0399	0.0600

	25	0.0084	0.0211	0.0388	0.0600
	30	0.0082	0.0207	0.0383	0.0600

Πίνακας 3 Οι συντελεστές απορρόφησης του αέρα για διαφορετικά επίπεδα υγρασίας και θερμοκρασίας. Πηγή: Πασχαλίδου; Σηφάκης; 2016

Ο τύπος του Sabine σε περίπτωση συνυπολογισμού της απορρόφησης του αέρα κατά τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης γίνεται ως εξής:

$$RT60 = \frac{0.161V}{A+4mV} \quad (10)$$

όπου A είναι η συνολική απορρόφηση από τις επιφάνειες του χώρου, m είναι ο συντελεστής απορρόφησης του αέρα και V ο όγκος του χώρου σε m³. Η απορρόφηση του αέρα δηλαδή ισούται με $A_{\text{αέρα}}=4mV$.

1.8 Κρίσιμη απόσταση

Για τη μελέτη της ηχητικής ενέργειας και της ηχητικής στάθμης στο χώρο πρέπει αρχικά να λάβουμε υπόψη μας την απόσταση του σημείου του οποίου την ηχητική στάθμη μελετάμε από την πηγή. Αν το σημείο είναι πολύ κοντά στην πηγή δεν μπορούμε να βασιστούμε στις μετρήσεις που παίρνουμε, λόγω της έντονης και απρόβλεπτης μεταβολής της ηχητικής πίεσης. Τα σημεία αυτού του πεδίου, το οποίο ονομάζεται «κοντινό» ή «εγγύς» πεδίο (near field), είναι τα σημεία που η απόσταση τους είναι μικρότερη από το μήκος κύματος της χαμηλότερης συχνότητας που εκπέμπεται από την πηγή ή μικρότερη από το διπλάσιο της μεγαλύτερης διάστασης της πηγής.

Οι μετρήσεις που κάνουμε γίνονται στο μακρινό πεδίο (far field), το οποίο διακρίνουμε στο ελεύθερο πεδίο και στο αντηχητικό πεδίο. Στο ελεύθερο πεδίο η ηχητική ενέργεια μειώνεται όπως και στο ανοικτό πεδίο, που σημαίνει μείωση κατά 6dB για κάθε διπλασιασμό της απόστασης. Αυτό συμβαίνει γιατί στο πεδίο αυτό τα σημεία του χώρου είναι αρκετά κοντά στην πηγή ώστε να λαμβάνουν τον ήχο της πηγής απευθείας και οι ανακλάσεις, οι οποίες έχουν πολύ χαμηλότερη στάθμη, να μην επηρεάζουν τον τρόπο μείωσης.

Ενώ οι αρχικές ανακλάσεις δεν επηρεάζουν την ηχητική στάθμη, όσο η απόσταση από την πηγή μεγαλώνει, αυτές πλέον πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, καθώς πλέον η στάθμη καθορίζεται τόσο από τον απευθείας ήχο όσο και από τις ανακλάσεις. Σε μεγάλες αποστάσεις από την πηγή μιλάμε πλέον για το αντηχητικό πεδίο, το οποίο δημιουργείται από τις

καθυστερημένες ανακλάσεις. Το αντηχητικό πεδίο έχει σταθερή τιμή η οποία δεν έχει πλέον να κάνει με την απόσταση από την ηχητική πηγή. Η τιμή αυτή δίδεται από την εξίσωση:

$$(Lp)_{\text{αντηχ. πεδ.}} = (Lw)_{\text{πηγής}} + 10 \text{Log} \left[4 \frac{1-\bar{\alpha}}{S \cdot \bar{\alpha}} \right] \quad (11)$$

όπου $(Lw)_{\text{πηγής}}$ η ηχητική στάθμη της πηγής, $\bar{\alpha}$ ο μέσος συντελεστής απορρόφησης του χώρου και S το άθροισμα των εμβαδών των επιφανειών m^2 .

Η ηχητική στάθμη λοιπόν στο ελεύθερο πεδίο μειώνεται συνεχώς, ενώ στο αντηχητικό πεδίο παραμένει σταθερή. Η απόσταση στην οποία η ηχητική στάθμη του ελεύθερου πεδίου εξισώνεται με την ηχητική στάθμη του αντηχητικού πεδίου, ονομάζεται κρίσιμη απόσταση.

Την κρίσιμη απόσταση D_c μπορούμε να υπολογίσουμε από τη σχέση:

$$D_c = \sqrt{\frac{QR}{7}} \quad (12)$$

όπου Q ο παράγοντας κατευθυντικότητας και R η σταθερά δωματίου. Δεδομένου ότι η σταθερά δωματίου ισούται με

$$R = \frac{S\bar{\alpha}}{1-\bar{\alpha}} \quad (13)$$

όπου S το συνολικό εμβαδό των επιφανειών του χώρου σε m^2 και $\bar{\alpha}$ ο μέσος συντελεστής απορρόφησης των υλικών, η εξίσωση γίνεται

$$D_c = 0,14 \sqrt{\frac{QS\bar{\alpha}}{1-\bar{\alpha}}} \quad (14)$$

Ο παράγοντας κατευθυντικότητας Q είναι ένα αδιάστατο μέγεθος που έχει να κάνει με την κατευθυντική συμπεριφορά του ηχείου.

1.9 Βέλτιστος όγκος και χρόνος αντήχησης

Όπως ανέφερα παραπάνω, ανάλογα με τη χρήση του χώρου ο ιδανικός χρόνος αντήχησης διαφέρει. Για ένα συνεδριακό χώρο για παράδειγμα ένας μικρότερος χρόνος αντήχησης είναι προτιμότερος, καθώς ένας «ξερός χώρος» βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση του λόγου, ενώ για ένα συναυλιακό χώρο είναι καταλληλότερος ένας μεγαλύτερος, ο οποίος θα συμβάλει σε πιο γεμάτο ήχο. Για κάθε χώρο λοιπόν ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται υπάρχει ένας βέλτιστος χρόνος αντήχησης, και αντίστροφα ο χρόνος αντήχησης του χώρου αποτελεί παράγοντα ο οποίος προσδιορίζει την ακουστική ποιότητα ενός χώρου.

Ο βέλτιστος χρόνος αντήχησης δίνεται από τη σχέση των Stephens και Bate:

$$RT60 = r (0.012\sqrt[3]{V} + 0.107) , \quad (15)$$

όπου V είναι ο όγκος του χώρου σε m^3 , και r μια σταθερά που παίρνει την τιμή της ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται ο χώρος. Συγκεκριμένα οι τιμές του r είναι ως εξής:

$r=4$ για λόγο, $r=5$ για ορχήστρα, ενώ $r=6$ για χορωδία.

Επιπλέον, ανάλογα με τη χρήση του χώρου υπάρχει ένα μέγεθος όγκου κατά άτομο που θεωρείται βέλτιστο. Για παράδειγμα, σε μια αίθουσα συνεδρίων ο βέλτιστος όγκος κατ' άτομο είναι μικρότερος απ' ότι για μια αίθουσα συναυλιών. Συγκεκριμένα οι τιμές κυμαίνονται όπως φαίνονται στον Πίνακα 3:

	Ελάχιστο	Βέλτιστο	Μέγιστος
Αίθουσα συναυλιών	6.5	7.1	9.9
Ιταλικού τύπου αίθουσες όπερας	4.0	4.2-5.1	5.7
Εκκλησίες	5.7	7.1-7.9	11.9
Κινηματογράφοι	-	3.1	4.2
Αίθουσες ομιλίας	-	2.8	4.9

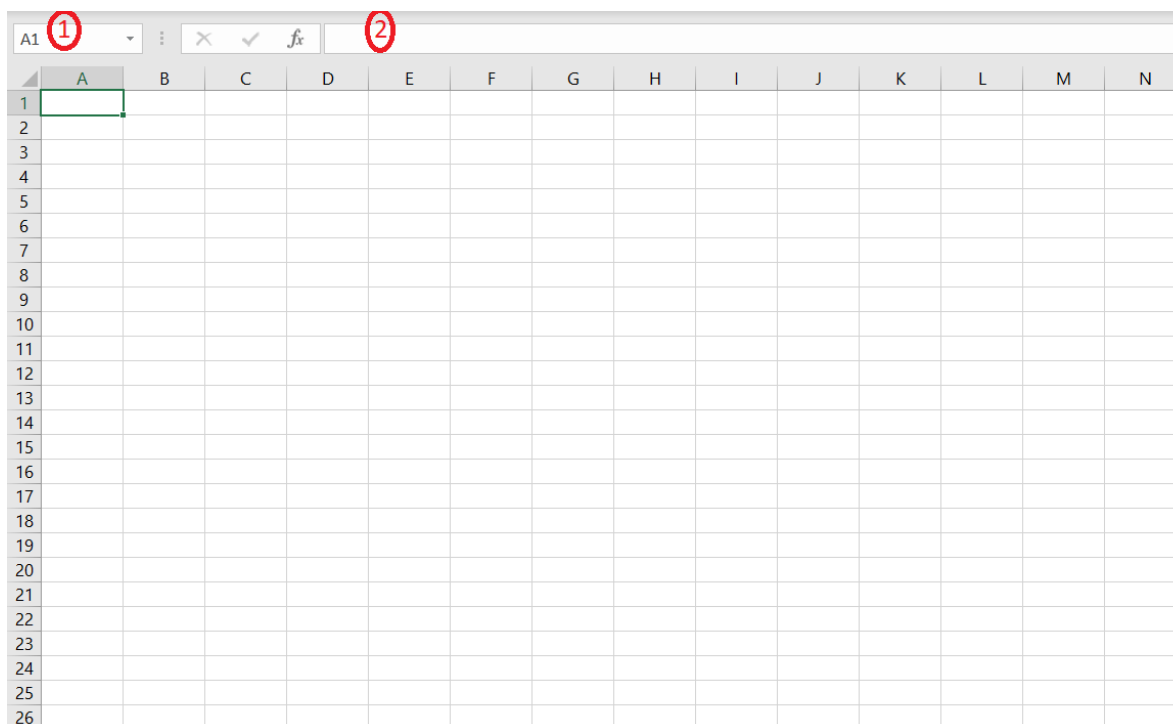
Πίνακας 4 Ελάχιστος, βέλτιστος και μέγιστος όγκος κατ' άτομο ανάλογα με τη χρήση ενός χώρου. Πηγή: Σηφάκης; Κουτσοδημάκης; 2012

2. Παρουσίαση του αρχείου Excel

2.1 Η εφαρμογή υπολογιστικού φύλλου Excel

Η εφαρμογή υπολογιστικού φύλλου Excel είναι μια από τις πιο χρήσιμες εφαρμογές του Microsoft Office, που παρέχει τη δυνατότητα αποθήκευσης και επεξεργασίας δεδομένων, και μάλιστα είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όταν έχουμε να διαχειριστούμε μεγάλο όγκο δεδομένων. Επίσης δίνει τη δυνατότητα αυτοματοποιημένης εκτέλεσης πράξεων με ακρίβεια και μεγάλη ταχύτητα.

Ένα αρχείο Excel αποτελείται από τουλάχιστον ένα φύλλο εργασίας (Sheet 1). Κάθε φύλλο εργασίας του προγράμματος Excel χωρίζεται σε σειρές και στήλες, τα οποία με την τομή τους δημιουργούν κελιά. Κάθε σειρά, στήλη και κελί έχει ένα συγκεκριμένο όνομα. Οι σειρές ονομάζονται με αριθμούς, για παράδειγμα σειρά 1, ενώ οι στήλες με λατινικούς χαρακτήρες, για παράδειγμα στήλη A. Το κελί που προκύπτει από την τομή σειράς και στήλης παίρνει το όνομά του από τη σειρά και τη στήλη. Για παράδειγμα το κελί από την τομή της στήλης A και της σειράς 1 ονομάζεται A1. Με την επιλογή ενός κελιού, αυτό θεωρείται το ενεργό κελί μου μέχρι να επιλέξω κάποιο άλλο. Τότε εμφανίζεται στη θέση ενεργού κελιού (Αριθμός 1, Εικόνα 1), το όνομα του κελιού. Ακριβώς δεξιά, στο πλαίσιο εισαγωγής στοιχείων (Αριθμός 2, Εικόνα 1) εμφανίζονται τα στοιχεία που εισάγονται στο κελί αυτό, είτε πρόκειται για κείμενο, αριθμό ή φόρμουλα. Η εισαγωγή γίνεται με επιλογή του κελιού, πληκτρολόγηση του επιθυμητού κειμένου και πατώντας το “Enter”.



Εικόνα 1 Στιγμιότυπο οθόνης από ένα καινούριο αρχείο Excel

Η εφαρμογή, όπως προανέφερα, είναι χρήσιμη για τη γρήγορη πραγματοποίηση πράξεων, αλλά και τη γρήγορη αναζήτηση δεδομένων σε ένα αρχείο. Οι πράξεις ή οι αναζητήσεις γίνονται με τη χρήση τύπων ή συναρτήσεων. Αυτό γίνεται με την εισαγωγή του συμβόλου ίσον (=) και του κατάλληλου τύπου ή της κατάλληλης συνάρτησης, ώστε να πάρω το αποτέλεσμα που χρειάζομαι. Τέλος, πατώντας το “Enter” εμφανίζεται το αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, έστω ότι έχω στο κελί B5 την τιμή 4, και στο κελί A3 την τιμή 8 και θέλω να πάρω στο κελί E7 το άθροισμά τους. Στο κελί E7 θα γράψω «=B5+A3» και στη συνέχεια θα πατήσω “Enter”, ώστε να εμφανιστεί το αποτέλεσμα του αθροίσματος των αριθμών που βρίσκονται μέσα σε αυτά τα κελιά. Ένας διαφορετικός τρόπος είναι να εισάγω το ίσον (=), στη συνέχεια να επιλέξω το πρώτο κελί (B5), να εισάγω το συν (+) , να επιλέξω το δεύτερο κελί (A3) και στη συνέχεια να πατήσω Enter. Με τον ίδιο τρόπο μπορώ να κάνω πράξεις χρησιμοποιώντας γρήγορα και χωρίς λάθη αριθμητικές τιμές από όλα τα φύλλα εργασίας του αρχείου Excel.

Τέλος, πολύ σημαντική είναι η αναφορά σε κελιά. Με την αναφορά σε κελί μπορώ να ανακαλέσω και να εισάγω γρήγορα και εύκολα το περιεχόμενο ενός κελιού από ένα άλλο κελί οποιουδήποτε φύλλου εργασίας. Αυτό μπορώ να το κάνω είτε γράφοντας τη συνάρτηση «=Όνομα φύλλου!Όνομα στήλης Όνομα σειράς (πχ. Sheet1!B3)», είτε επιλέγοντας το κελί όπου

θέλω να παρουσιαστεί το αποτέλεσμα, πληκτρολογώντας το ίσον (=) και στη συνέχεια επιλέγοντας το κελί στο οποίο θέλω να κάνω αναφορά. Στη συνέχεια θα αναφερθώ επανειλημμένα στη συγκεκριμένη πρακτική ως «μέθοδο αναφοράς σε κελί».

2.2 Αρχείο RT60 calculator_S._N.-E._S.-M.

2.2.1 Φύλλο εργασίας Properties

Στο αρχείο Excel που έχω δημιουργήσει χρησιμοποιώ το πρώτο φύλλο εργασίας για να παραθέσω απαραίτητα δεδομένα που θα μου χρειαστούν στις μαθητικές πράξεις που διέπουν τη μελέτη ενός χώρου.

Σύμφωνα με την Εξίσωση 1 ο συντελεστής απορρόφησης είναι ένα παράγοντας που πρέπει να γνωρίζω για να μπορέσω να βρω την τιμή του χρόνου αντήχησης. Επειδή ο συντελεστής απορρόφησης είναι διαφορετικός για κάθε υλικό και για κάθε συχνότητα είναι βοηθητικό το να έχω μια λίστα εύκαιρη από όπου μπορώ να «πάρω» γρήγορα την εκάστοτε τιμή του συντελεστή απορρόφησης.

Στην περιοχή A4:A45 του φύλλου εργασίας Properties παρατίθεται μια λίστα με συνήθη υλικά (Materials) τα οποία χρησιμοποιούνται στην κατασκευή και διαμόρφωση χώρων. Σε κάθε σειρά υπάρχει το όνομα ενός υλικού. Στις στήλες H ως M έχω εισάγει τους αντίστοιχους συντελεστές απορρόφησης του υλικού της κάθε σειράς για τις συχνότητες 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz και 4000 Hz.

Όπως έχω αναφέρει στο προηγούμενο κεφάλαιο, μέσα σε μια αίθουσα φυσικά και οι καρέκλες και οι άνθρωποι απορροφούν μέρος των ηχητικών κυμάτων που προσπίπτουν επάνω τους. Στην περιοχή A47:M51 παραθέτω τα δεδομένα του Πίνακα 2 με τα αντικείμενα (Objects), και τη συνολική τους απορρόφηση για καθεμία από τις προαναφερθείσες συχνότητες αντίστοιχα. Κατά τη χρήση του αρχείου Excel θα χρησιμοποιήσω αυτήν την καρτέλα κάνοντας αναφορά στα κατάλληλα κελιά, ώστε να μεταφέρω τα μεγέθη των συντελεστών απορρόφησης, καθώς και της απορρόφησης στην περίπτωση των αντικειμένων, όπου αυτά χρειάζονται, και έτσι να κάνω γρήγορα υπολογισμούς.

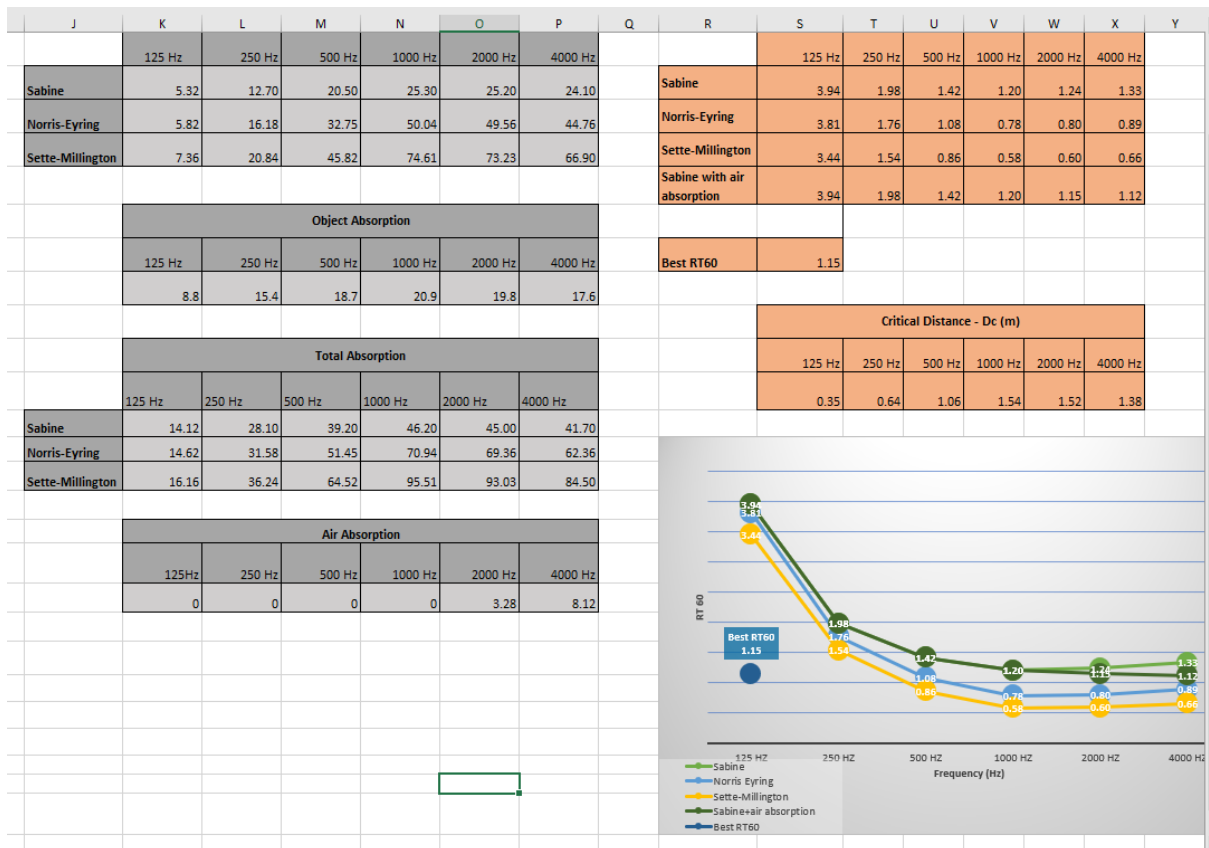
2.2.2 Φύλλο εργασίας RT60

Το βασικό φύλλο εργασίας για τη χρήση του εργαλείου Excel που έχω δημιουργήσει είναι το RT60. Σε αυτό το φύλλο μπορώ να εισάγω δεδομένα, όπως διαφορετικές τιμές του όγκου του χώρου, διαφορετικά υλικά με διαφορετικά μεγέθη επιφανειών και να λάβω αυτόματα τα αποτελέσματα για την ακουστική συμπεριφορά του χώρου. Η περιοχή A1:H25 είναι η περιοχή INPUT Εικόνα 2 Περιοχή INPUT 2), δηλαδή η περιοχή εισαγωγής δεδομένων,

ενώ η περιοχή J1:Z30 είναι η περιοχή OUTPUT (Εικόνα 3), δηλαδή η περιοχή εξαγωγής αποτελεσμάτων.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	INPUT								
2	Room volume (m3)	0							
3									
4	Material	Area (m²)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
5	Description	120	0	0	0	0	0	0	0
6	Description	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Description	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Description	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Description	0	0	0	0	0	0	0	0
10	Description	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Description	0	0	0	0	0	0	0	0
12	Description	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Description	0	0	0	0	0	0	0	0
14									
15	Object	Number of objects	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
16	Description	0	0	0	0	0	0	0	0
17	Description	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Description	0	0	0	0	0	0	0	0
19	Description	0	0	0	0	0	0	0	0
20									
21		AIR ABSORPTION	Humidity (30%,50%,70%)	Temperature (15,20,25,30)					
22		γ	70	15					
23									
24			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
25	Directivity Factor -Q		1	1	1	1	1	1	1
26									
27									
28									
29									

Εικόνα 2 Περιοχή INPUT εισαγωγής δεδομένων



Εικόνα 3 Περιοχή OUPUT εξαγωγής αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τη θεωρία ο χρόνος αντήχησης επηρεάζεται από τον όγκο του χώρου, το υλικό των επιφανειών του χώρου, δηλαδή το συντελεστή απορρόφησης των υλικών, το μέγεθος των επιφανειών των υλικών, την απορρόφηση από τα αντικείμενα, ενώ είναι διαφορετικός για κάθε συχνότητα. Άρα όταν αυτά αλλάζουν αλλάζει και ο χρόνος αντήχησης, οπότε κατά τη μελέτη ενός χώρου είναι βασικό να μπορώ να αλλάξω τα συγκεκριμένα δεδομένα και να μπορώ να εξάγω γρήγορα αποτελέσματα για το πώς συμπεριφέρεται ο χρόνος αντήχησης όταν αυτά τα δεδομένα αλλάζουν.

Τα κελιά A2 και B2 αναφέρονται στον όγκο του χώρου. Μπορώ να επιλέξω το κελί B2 και να δώσω το μέγεθος του όγκου με πληκτρολόγηση. Στην περιοχή A4:H13 παρατίθεται ένας πίνακας για την εισαγωγή των υλικών που υπάρχουν στο χώρο (στήλη A), την επιφάνεια αυτών των υλικών (στήλη B) και τους συντελεστές απορρόφησης τους για τις συχνότητες 125 Hz (στήλη C), 250 Hz (στήλη D), 500 Hz (στήλη E), 100 Hz (στήλη F), 2000 Hz (στήλη G) και 4000 Hz (στήλη H). Στα κελιά A5:A13 υπάρχουν αναπτυσσόμενες λίστες, οι οποίες εμφανίζονται με επιλογή ενός κελιού. Για παράδειγμα αν επιλέξω το κελί A5 εμφανίζεται στα δεξιά του κελιού ένα βέλος, πάνω στο οποίο αν πατήσω εμφανίζεται μια λίστα με όλα τα ονόματα των υλικών που υπάρχουν στο φύλλο εργασίας Properties. Από τη λίστα μπορώ να

επιλέξω το υλικό που θέλω. Στη στήλη B εισάγω με πληκτρολόγηση την τιμή της επιφάνειας που καταλαμβάνει το κάθε υλικό, ενώ στις στήλες C έως H, με τη βοήθεια κατάλληλης φόρμουλας που έχω εισάγει στα κελιά, εμφανίζεται αυτόματα η τιμή του συντελεστή απορρόφησης του κάθε υλικού για τις συχνότητες 125 Hz (στήλη C), 250 Hz (στήλη D), 500 Hz (στήλη E), 100 Hz (στήλη F), 2000 Hz (στήλη G) και 4000 Hz (στήλη H), όπως αυτή δίνεται στο φύλλο εργασίας Properties.

Κατά παρόμοιο τρόπο εισάγω στην περιοχή A15:H19 τα αντικείμενα (Objects) που υπάρχουν στο χώρο που μελετώ. Για την ακρίβεια στα κελιά A16:A19 υπάρχουν αντίστοιχες αναπτυσσόμενες λίστες από τις οποίες μπορώ να επιλέξω το αντικείμενο που θέλω. Στα κελιά των σειρών της στήλης B εισάγω τον αριθμό των αντικειμένων με πληκτρολόγηση, ενώ στις στήλες C έως H εμφανίζεται αυτόματα η συνολική απορρόφηση κατά αντικείμενο για την εκάστοτε συχνότητα.

Στην περιοχή B21:D22 έχω έναν πίνακα αναφορικά με την απορρόφηση του αέρα. Σύμφωνα με τη θεωρία (Κεφ. 1.7) η απορρόφηση του αέρα εξαρτάται από τα επίπεδα της υγρασίας, καθώς και από τη θερμοκρασία που επικρατεί στο χώρο. Πρέπει λοιπόν να λάβω αυτά τα δύο δεδομένα υπόψη μου. Στο κελί C22 υπάρχει μια αναπτυσσόμενη λίστα, απ' όπου μπορώ να επιλέξω μεταξύ τριών τιμών για το ποσοστό επί τοις εκατό της υγρασίας του χώρου, 30%, 50% ή 70%. Αντίστοιχα στο κελί D22 έχω μία δεύτερη αναπτυσσόμενη λίστα με τις τιμές 15, 20, 25 και 30 από όπου μπορώ να επιλέξω την τιμή της θερμοκρασίας που θέλω.

Στην περιοχή A24:H25 έχω έναν πίνακα για την εισαγωγή της τιμής του παράγοντα κατευθυντικότητας για τις συχνότητες 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz και 4000 Hz αντίστοιχα. Τις τιμές του παράγοντα κατευθυντικότητας παίρνω από τα δεδομένα της άσκησης και τις εισάγω στον πίνακα με πληκτρολόγηση.

Στην περιοχή OUTPUT έχω αρχικά έναν πίνακα, στην περιοχή J4:P8, για την τιμή της συνολικής απορρόφησης των υλικών. Υπάρχουν τρεις σειρές, 6, 7, και 8 για τις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις της τιμής απορρόφησης σύμφωνα Sabine, Norris-Eyring και Sette-Millington. Για κάθε περίπτωση έχω την τιμή της απορρόφησης για καθεμία από τις συχνότητες που μελετώ. Αντίστοιχα στην περιοχή K10:P12 έχω έναν πίνακα για τη συνολική απορρόφηση των αντικειμένων για κάθε μία από τις συχνότητες. Στην περιοχή J14:P18 έχω έναν πίνακα για τη συνολική απορρόφηση από τα υλικά και από τα αντικείμενα για κάθε μία από τις συχνότητες που με ενδιαφέρουν. Η συνολική απορρόφηση είναι ίση με το άθροισμα της συνολικής απορρόφησης των υλικών και των αντικειμένων. Έχω λοιπόν κι εδώ τρεις

περιπτώσεις για τη συνολική απορρόφηση, κατά Sabine, κατά Norris-Eyring και κατά Sette-Millington στις σειρές 16, 17 και 18 αντίστοιχα.

Στην περιοχή K20:P22 εισάγεται η απορρόφηση από τον αέρα. Σύμφωνα με τη θεωρία η απορρόφηση του αέρα είναι αμελητέα εκτός αν πρόκειται για μεγάλων διαστάσεων χώρο, ενώ επηρεάζει συχνότητες από 2000 Hz και άνω. Συνεπώς στον πίνακα στα κελιά που αντιστοιχούν στις συχνότητες 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz και 1000 Hz θα υπάρχει συνεχώς η τιμή 0. Μόνο οι τιμές για τα 2000 Hz και τα 4000 Hz θα αλλάζουν.

Τις τελικές τιμές του χρόνου αντήχησης για κάθε συχνότητα παίρνω στον πίνακα της περιοχής R4:X9. Στις σειρές 6, 7 και 8 έχω τρεις περιπτώσεις χρόνου αντήχησης για κάθε συχνότητα, ανάλογα με το ποια εξίσωση έχω χρησιμοποιήσει: Sabine, Norris-Eyring ή Sette-Millington. Επιπλέον στη σειρά 9 έχω τις τιμές του χρόνου αντήχησης κάθε συχνότητας για την περίπτωση που προσμετράται η απορρόφηση του αέρα. Όπως έχω προαναφέρει η απορρόφηση του αέρα επηρεάζει μόνο ψηλότερες συχνότητες, συνεπώς για τις συχνότητες 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz και 1000 Hz οι τιμές του χρόνου αντήχησης είναι αυτούσιες με αυτές στα αντίστοιχα κελιά κατά Sabine. Στο κελί S11 εξάγεται η τιμή του βέλτιστου χρόνου αντήχησης, ενώ στην περιοχή S13:X15 υπάρχει ένας πίνακας για την εξαγωγή της τιμής της κρίσιμης απόστασης Dc για κάθε συχνότητα. Τα κελιά των παραπάνω πινάκων της περιοχής OUTPUT, J22:X22, εμπεριέχουν τη συνάρτηση αναφοράς σε κελί και με αυτό τον τρόπο μεταφέρονται οι τιμές όπως έχουν υπολογισθεί στα φύλλα εργασίας υπολογισμών Sabine + Norris-Eyring, Air Absorption, Sette-Millington, Best Volume_Best RT60 και Critical Distance.

Τέλος στην περιοχή R17:Z30 έχω ένα διάγραμμα όπου εμφανίζονται οι χρόνοι αντήχησης κάθε συχνότητας 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz και 4000 Hz, για τις διαφορετικές περιπτώσεις με χρήση των εξισώσεων Sabine, Norris Eyring, Sette-Millington καθώς και Sabine με συνυπολογισμό της απορρόφησης του αέρα. Επιπλέον στο διάγραμμα σημειώνεται η τιμή του βέλτιστου χρόνου αντήχησης, ως σημείο, καθώς είναι σταθερή για όλες τις συχνότητες.

2.2.3 Φύλλο εργασίας Sabine + Norris-Eyring

Το φύλλο εργασίας Sabine + Norris-Eyring χρησιμεύει για τις πράξεις και τα βήματα που ακολουθώ για να πάρω τα αποτελέσματα του χρόνου αντήχησης με χρήση των εξισώσεων Sabine και Norris-Eyring.

Στην περιοχή B1:I11 έχω τον πίνακα με τα υλικά και τις επιφάνειες τους, καθώς και τους συντελεστές απορρόφησης του κάθε υλικού για κάθε συχνότητα 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz και 4000 Hz αντίστοιχα. Ο πίνακας αυτός είναι αυτούσιος με τον πίνακα στην περιοχή A4:H13 του φύλλου εργασίας RT60. Έχοντας χρησιμοποιήσει τις κατάλληλες φόρμουλες, και συγκεκριμένα κάνοντας αναφορά στα κελιά του πίνακα του φύλλου εργασίας RT60, τα δεδομένα μεταφέρονται αυτόματα σε αυτόν τον πίνακα ούτως ώστε δε χρειάζεται να εισαχθούν και πάλι μεμονωμένα. Παρομοίως υπάρχει ένας πίνακας για τα αντικείμενα στην περιοχή B18:I22, όπου μεταφέρονται τα δεδομένα για το ποια είναι τα αντικείμενα, ποιος είναι ο αριθμός τους και ποια είναι η απορρόφηση για την κάθε μια από τις προαναφερθείσες συχνότητες αντίστοιχα. Τα δεδομένα μεταφέρονται με τον ίδιο τρόπο από το φύλλο εργασίας RT60.

Στην περιοχή C13:I13 υπάρχει ένας πίνακας για το μέσο συντελεστή απορρόφησης των υλικών για κάθε μία από τις συχνότητες. Παραθέτω την Εξίσωση 2 οποία μου δίνει την τιμή του μέσου συντελεστή απορρόφησης στο φύλλο εργασίας στα κελιά A13 και B13. Με τη φόρμουλα που έχω χρησιμοποιήσει στα κελιά D13:I13 η πράξη γίνεται γρήγορα και αλάνθαστα. Ο συντελεστής απορρόφησης σε κάθε κελί από την περιοχή D2:I10 πολλαπλασιάζεται με αντίστοιχο το μέγεθος (Area) των κελιών της στήλης C. Στην συνέχεια αυτά τα πολλαπλάσια προστίθενται μεταξύ τους και το άθροισμά τους διαιρείται με τη συνολική περιοχή (Total Area).

Στην περιοχή C15:I16 έχω έναν πίνακα με τη συνολική απορρόφηση των υλικών για κάθε συχνότητα σύμφωνα με το Sabine (σειρά 15) και σύμφωνα με τους Norris και Eyring (σειρά 16). Στα κελιά A15 και B15 παραθέτω την Εξίσωση 3 που μου δίνει τη συνολική απορρόφηση. Με την κατάλληλη συνάρτηση γίνεται αντικατάσταση στον τύπο $AS = S\bar{\alpha}$ με τις τιμές στα κελιά D13:I13 (μέσος συντελεστής απορρόφησης) και την τιμή στο κελί C11 (Total Area) και δίνεται αυτόματα το αποτέλεσμα για την κάθε συχνότητα. Αντίστοιχα γίνεται στη σειρά 16 με την Εξίσωση 6, των Norris-Eyring για τη συνολική απορρόφηση. Με την κατάλληλη φόρμουλα γίνεται αντικατάσταση του τύπου με τις τιμές των αντίστοιχων κελιών και δίνεται αυτόματα το αποτέλεσμα.

Στην περιοχή C24:I24 υπάρχει ο πίνακας για την συνολική απορρόφηση των αντικειμένων για κάθε συχνότητα. Για να βρω την τιμή της να πολλαπλασιάσω την απορρόφηση καθενός αντικειμένου με τον αριθμό των αντικειμένων για μια συγκεκριμένη συχνότητα και στη συνέχεια να αθροίζω τα γινόμενα. Με την κατάλληλη φόρμουλα δοσμένη για το κάθε κελί της περιοχής D24:I24 το αποτέλεσμα δίνεται αυτόματα για όλες τις συχνότητες του πίνακα.

Στην περιοχή C26:I27 υπάρχει ο πίνακας για τη συνολική απορρόφηση. Αυτή θα ισούται με το άθροισμα της συνολικής απορρόφησης των υλικών, που δίνεται στα κελιά D15:I16 και της συνολικής απορρόφησης των αντικειμένων, στα κελιά D24:I24. Καθώς έχουμε δύο περιπτώσεις συνολικής απορρόφησης υλικών: μία κατά Sabine και μία κατά Norris-Eyring, αντίστοιχα έχουμε δυο περιπτώσεις για τη συνολική απορρόφηση. Στη σειρά 25 δίνεται το άθροισμα της συνολικής απορρόφησης κατά Sabine και της συνολικής απορρόφησης των αντικειμένων, ενώ στη σειρά 27 δίνεται το άθροισμα της συνολικής απορρόφησης των υλικών κατά Norris-Eyring και της συνολικής απορρόφησης των υλικών. Έτσι, για παράδειγμα, στο κελί D26 (συνολική απορρόφηση Sabine για τη συχνότητα 125 Hz) δίνεται το αποτέλεσμα της πρόσθεσης της τιμής του κελιού D15 (συνολική απορρόφηση των υλικών για τη συχνότητα 125 Hz σύμφωνα με το Sabine) και της τιμής του κελιού D23 (συνολική απορρόφηση των αντικειμένων). Κατ' αντίστοιχο τρόπο δίνονται τα αποτελέσματα στα υπόλοιπα κελιά της περιοχής D26:I27.

Ο τελευταίος πίνακας του φύλλου εργασίας Sabine+Norris-Eyring στην περιοχή M1:S8 παρουσιάζει την τιμή του χρόνου αντήχησης για κάθε συχνότητα κατά Sabine (σειρά 3) και κατά Norris-Eyring (σειρά 6). Με χρήση της Εξίσωσης 5 και γράφοντας την κατάλληλη φόρμουλα στο κελί αντικαθίσταται το V με την τιμή του όγκου στο κελί B2 του φύλλου εργασίας RT60 και το As με την τιμή της συνολικής απορρόφησης στα κελιά της περιοχής D26:I27 για κάθε συχνότητα αντίστοιχα. Για τα κελιά N3:S3 χρησιμοποιούνται οι τιμές της συνολικής απορρόφησης κατά Sabine, στα κελιά D26:I26, ενώ για τα κελιά N6:S6 χρησιμοποιείται η συνολική απορρόφηση κατά Norris-Eyring στα κελιά D27:I27.

2.2.4 Φύλλο εργασίας Air absorption

Όπως έχω αναφέρει στη θεωρία μου, ειδικά σε μεγάλους χώρους, πρέπει να λάβω υπόψιν μου την απορρόφηση του ήχου από τον αέρα. Αυτή επηρεάζει κυρίως τις ψηλές συχνότητες, γι' αυτό και σε αυτό το αρχείο μελετάται και προσμετράται η απορρόφηση μόνο για τις συχνότητες 2000 και 4000 Hz. Καθώς ο συντελεστής απορρόφησης του αέρα είναι διαφορετικός για διαφορετικά επίπεδα υγρασίας και θερμοκρασίας, πρέπει να λάβω τους δυο παράγοντες υπόψιν μου. Στο φύλλο εργασίας Air absorption λοιπόν υπάρχει αρχικά ένας

πίνακας στην περιοχή A1:F5. Σε αυτόν δίνονται οι συντελεστές απορρόφησης του αέρα για τη συχνότητα των 2000Hz για διαφορετικά επίπεδα υγρασίας, συγκεκριμένα 30%, 50%, και 70% σε συνδυασμό με διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας, συγκεκριμένα 15°C, 20°C, 25°C και 30°C. Ένας αντίστοιχος πίνακας, αυτή τη φορά για τους διαφορετικούς συντελεστές απορρόφησης του αέρα για τη συχνότητα των 4000 Hz δίνεται στην περιοχή A8:F12. Στο κελί H2 μπορώ να επιλέξω το επίπεδο της υγρασίας του χώρου ανάμεσα σε τρεις τιμές, 30, 50, και 70, καθώς για αυτές έχω δεδομένα για τη μελέτη μου. Στο κελί I2 μπορώ να επιλέξω τη θερμοκρασία ανάμεσα σε τέσσερις επιλογές για τις οποίες έχω δεδομένα, 15, 20, 25 και 30.

Η απορρόφηση του αέρα δίνεται από την Εξίσωση 10. Ανάλογα με τις τιμές υγρασίας και θερμοκρασίας που έχω επιλέξει στα κελιά H2 και I2 αντίστοιχα, αντικαθίσταται το m στον εξίσωση με την τιμή του συντελεστή απορρόφησης που αντιστοιχεί σε αυτές τις τιμές, σύμφωνα με τους πίνακες των περιοχών A1:F5 και A8:F12. Στο κελί M2 δίνεται το γινόμενο του 4 και του συντελεστή απορρόφησης για τα 2000 Hz και στο κελί N2 δίνεται το γινόμενο του 4 και του συντελεστή απορρόφησης για τα 4000 Hz. Στον πίνακα Air absorption, στην περιοχή H4:N5, δίνεται η τιμή της συνολικής απορρόφησης του αέρα. Έχοντας το γινόμενο 4m στα κελιά M2 και N2 το μόνο που χρειάζεται είναι να πολλαπλασιάσω αυτό το γινόμενο με την τιμή του όγκου ώστε να πάρω το αποτέλεσμα της απορρόφησης του αέρα. Το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού για τη συχνότητα 2000 Hz δίνεται στο κελί M5, ενώ το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού για τα 4000 Hz δίνεται στο κελί N5. Στον πίνακα της απορρόφησης από τον αέρα υπάρχουν και κελιά για τις συχνότητες 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz και 1000 Hz, καθώς όμως η απορρόφησης σε αυτές τις συχνότητες θεωρείται αμελητέα, η τιμή είναι πάντα μηδέν.

Εφόσον λαμβάνουμε υπόψη μας την απορρόφηση του αέρα, η συνολική απορρόφηση θα αλλάξει ανάλογα και αυτό φαίνεται στον πίνακα στην περιοχή H8:N10. Όπως ανέφερα στην προηγούμενη παράγραφο η απορρόφηση του αέρα δεν προσμετράται για τις συχνότητες 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz και 1000 Hz, οπότε η τιμή της συνολικής απορρόφησης δίνεται από την Εξίσωση 4. Τις τιμές για τις προαναφερθείσες συχνότητες μπορώ να πάρω από το φύλλο Sabine+ Norris-Eyring, όπου τις έχω ήδη υπολογίσει. Το κάνω αυτό με τη μέθοδο της αναφοράς σε κελί, δηλαδή επιλέγω το κελί όπου θα εισαχθεί το αποτέλεσμα, για παράδειγμα το κελί I9, πληκτρολογώ το ίσον (=), στη συνέχεια πάω στο φύλλο εργασίας Sabine+ Norris-Eyring, επιλέγω το κελί του οποίου την τιμή χρειάζομαι, εδώ το κελί D25, και τέλος πατάω Enter.

Για τις συχνότητες 2000 Hz και 4000 Hz θα πρέπει να προσθέσω την συνολική απορρόφηση κατά Sabine, όπως την έχω υπολογίσει στο φύλλο εργασίας Sabine+ Norris-Eyring, με την απορρόφηση από τον αέρα. Άρα στο κελί M9, για τη συχνότητα 2000 Hz, δίνεται το άθροισμα του κελιού H25 του φύλλου εργασίας Sabine+Norris-Eyring (συνολική απορρόφηση κατά Sabine για τη συχνότητα 2000 Hz) και του κελιού M5 του φύλλου εργασίας Air absorption (απορρόφηση από τον αέρα. Αντίστοιχα, δίνεται το άθροισμα της απορρόφησης των υλικών, των αντικειμένων και του αέρα για τη συχνότητα 4000 Hz.

Ο τελευταίος πίνακας του φύλλου εργασίας Air absorption στην περιοχή P3:U5 δίνει τον χρόνο αντήχησης και με συνυπολογισμό της απορρόφησης του αέρα. Για την εύρεση του χρόνου αντήχησης χρειάζομαι την Εξίσωση 10. Κάνω αντικατάσταση με την τιμή του όγκου την οποία παίρνω από το κελί B2 του φύλλου εργασίας RT60, ενώ την τιμή της συνολικής απορρόφησης παίρνω, όπως την έχω υπολογίσει, από τον πίνακα στην περιοχή H8:N10.

2.2.5 Φύλλο εργασίας Sette-Millington

Στο επόμενο φύλλο εργασίας, Sette-Millington, κάνω τις πράξεις μου για να υπολογίσω το χρόνο αντήχησης σύμφωνα με την εξίσωση των Sette-Millington. Στην περιοχή A1:H10 έχω έναν πίνακα με τα υλικά που υπάρχουν στο χώρο. Με τη μέθοδο της αναφοράς σε κελί εισάγονται τα ονόματα των υλικών, με αναφορά στο φύλλο εργασίας RT60. Αντίστοιχα μεταφέρονται τα υπόλοιπα δεδομένα, δηλαδή η επιφάνεια των υλικών, καθώς και οι συντελεστές απορρόφησης κάθε υλικού για κάθε μία από τις συχνότητες 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz και 4000 Hz.

Στην περιοχή B13:H13 έχω έναν πίνακα όπου παίρνω το αποτέλεσμα της συνολικής απορρόφησης των υλικών κατά Sette-Millington. Η Εξίσωση 8 που δίνει τη συνολική απορρόφηση των υλικών για μια συγκεκριμένη συχνότητα αναγράφεται στο κελί A13. Γράφοντας τη συνάρτηση στο κελί και αντικαθιστώντας με το περιεχόμενο των αντίστοιχων κελιών παίρνω το αποτέλεσμα της απορρόφησης των υλικών για κάθε συχνότητα. Αντίστοιχα με τον πίνακα της περιοχής A1:H10 για τα υλικά έχω έναν πίνακα στην περιοχή A16:H19 για τα αντικείμενα. Κατά παρόμοιο τρόπο επίσης, και με αναφορά στα κελιά του φύλλου εργασίας RT60 μεταφέρονται τα δεδομένα στο τρέχον φύλλο. Παρακάτω, στην περιοχή B21:H21 έχω έναν πίνακα με τη συνολική απορρόφηση των αντικειμένων για κάθε συχνότητα. Αυτή δίνεται για κάθε συχνότητα από το άθροισμα των γινομένων του αριθμού των αντικειμένων και της αντίστοιχης συνολικής απορρόφησης.

Στην περιοχή B24:H24 υπάρχει ένας ακόμα πίνακας όπου παίρνω το αποτέλεσμα της συνολικής απορρόφησης, υλικών και αντικειμένων μαζί. Αυτή δίνεται για κάθε συχνότητα από το άθροισμα της συνολικής απορρόφησης των υλικών και της συνολικής απορρόφησης των αντικειμένων για τη συγκεκριμένη συχνότητα. Για παράδειγμα, για τη συχνότητα 125 Hz στο κελί C24 προσθέτω την τιμή του κελιού C13 και την τιμή του κελιού C21.

Τέλος στην περιοχή L1:Q3 έχω έναν πίνακα για το χρόνο αντήχησης κατά Sette+Millington, ο οποίος δίνεται από την Εξίσωση 7. Την τιμή της συνολικής απορρόφησης A_{ME} κατά Sette+Millington παίρνω από τον πίνακα στην περιοχή B24:H24. Με αντικατάσταση του τύπου λοιπόν και γράφοντας την κατάλληλη φόρμουλα στο κελί παίρνω την τιμή του χρόνου αντήχησης για κάθε μία από τις συχνότητες που μελετώ.

2.2.6 Φύλλο εργασίας Critical Distance

Στο φύλλο εργασίας Critical Distance μελετώ την κρίσιμη απόσταση. Σύμφωνα με τη θεωρία (Κεφάλαιο 2.2.7) η κρίσιμη απόσταση δίνεται από την Εξίσωση 14, την οποία παραθέτω στα κελιά A9:B10. Όπως φαίνεται από την εξίσωση τα δεδομένα που χρειάζομαι για να βρω την τιμή της κρίσιμης απόστασης είναι ο παράγοντας κατευθυντικότητας Q , η τιμή του συνόλου των επιφανειών του χώρου S και ο μέσος συντελεστής απορρόφησης των υλικών $\bar{\alpha}$. Στο φύλλο εργασίας Critical Distance λοιπόν, στην περιοχή A1:G2 έχω έναν πίνακα για τον παράγοντα κατευθυντικότητας Q . Το Q πρέπει να δίνεται από την εκφώνηση της εκάστοτε άσκησης για την κάθε συχνότητα, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz και 4000 Hz.

Στο κελί B4 εισάγω τη συνολική τιμή των επιφανειών του χώρου. Η τιμή αυτή εισάγεται με αναφορά στο κελί C11 του φύλλου Sabine+Norris-Eyring, όπου υπάρχει ήδη ως δεδομένο. Επιπλέον στην περιοχή A6:G7 έχω δημιουργήσει έναν πίνακα για την εισαγωγή της τιμής του μέσου συντελεστή για κάθε συχνότητα. Την τιμή του μέσου συντελεστή απορρόφησης έχω ήδη βρει στο φύλλο εργασίας Sabine+Norris-Eyring, οπότε την εισάγω στο φύλλο εργασίας Critical Distance με τη μέθοδο αναφοράς σε κελί. Τέλος, στην περιοχή A11:G12 έχω έναν πίνακα για την τιμή της κρίσιμης απόστασης για κάθε συχνότητα 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz και 4000 Hz.

2.2.7 Φύλλο εργασίας Best Volume_Best RT60

Το επόμενο φύλλο εργασίας χρησιμεύει στην εύρεση της βέλτιστης τιμής χρόνου αντήχησης. Όπως έχω αναφέρει στη θεωρία (Κεφ. 1.9), ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται ένας χώρος και με συγκεκριμένη χωρητικότητα ατόμων, ο βέλτιστος όγκος του

διαφέρει. Αντίστοιχα αλλάζει και ο βέλτιστος χρόνος αντήχησης, εφόσον αυτός εξαρτάται από το βέλτιστο όγκο.

Στο φύλλο εργασίας Best_Volume_Best RT60 υπάρχουν δυο πίνακες με δεδομένα από τη θεωρία. Συγκεκριμένα στην περιοχή A1:B6 υπάρχει ένας πίνακας με το βέλτιστο όγκο κατ' άτομο για πέντε διαφορετικές περιπτώσεις χρήσης του χώρου. Για την ακρίβεια για χρήση του χώρου ως αίθουσα συναυλιών, ως αίθουσα για οπερατικές παραγωγές, ως εκκλησία, ως σινεμά και ως αίθουσα συνεδριάσεων. Επιπλέον, στην περιοχή A8:B11 υπάρχει ένας δεύτερος πίνακας με την τιμή του τ για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις «ηχητικής πηγής»: για ομιλία, ορχήστρα και χορωδία.

Στην περιοχή D1:E2 υπάρχει ένας μικρός πίνακας για την επιλογή της χρήσης του χώρου στην εκάστοτε περίπτωση. Στο κελί D2 μπορώ να επιλέξω από μια λίστα με πέντε επιλογές (Concert Hall, Opera House, Church, Cinema, Reference Hall) τη χρήση του χώρου. Μετά την εισαγωγή της επιλογή εμφανίζεται στο κελί E2 η αντίστοιχη τιμή του βέλτιστου όγκου κατ' άτομο για την επιλογή αυτή. Κατόπιν, στο κελί E4 εισάγω τον αριθμό των ατόμων που θα πρέπει να υπάρχουν στο χώρο, ώστε ο όγκος του χώρου που μελετάω να είναι ο βέλτιστος. Για να βρω αυτήν την τιμή πρέπει να βρω το πηλίκο του όγκου του χώρου V προς τον βέλτιστο όγκο κατ' άτομο. Στο κελί E4 δίνεται το αποτέλεσμα της πράξης

$$\text{Number of people} = \frac{V}{\text{Best Volume/Person}}$$

όπου V είναι ο όγκος σε m^3 , και συνυπολογίζεται με αναφορά στο κελί B2 του φύλλου εργασίας RT60, ενώ ο βέλτιστος όγκος κατ' άτομο (Best Volume/Person) συνυπολογίζεται με αναφορά στο κελί E2 του φύλλου εργασίας Best_Volume_Best RT60.

Στην περιοχή D6:E7 υπάρχει ένας πίνακας για την επιλογή της «ηχητικής πηγής» στην εκάστοτε περίπτωση. Στο κελί D7 μπορώ να επιλέξω από μια λίστα με τρεις επιλογές (Speaking, Orchestra, Choir) αυτήν που ταιριάζει στην περίπτωσή μου. Με την εισαγωγή της επιλογή εισάγεται στο κελί E7 η τιμή του τ που αντιστοιχεί στην επιλογή αυτή. Τέλος στην περιοχή D10:E10 εισάγεται ο βέλτιστος χρόνος αντήχησης Best RT60, ο οποίος δίνεται από την Εξίσωση 15.

2.3 Αρχείο Excel RT60 calculator_Fitzroy

Η δημιουργία ενός δεύτερου αρχείου Excel για τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης RT60 κατά Fitzroy είναι απαραίτητη καθώς ο τρόπος που λαμβάνομε και υπολογίζουμε τα υλικά στο χώρο είναι διαφορετικός, απ' ότι στις προηγούμενες περιπτώσεις. Στην περίπτωση του Fitzroy δε μας ενδιαφέρει μόνο το ποια υλικά βρίσκονται στο χώρο και ποια είναι η επιφάνειά τους, αλλά και μεταξύ ποιων αξόνων βρίσκονται τα υλικά. Πρέπει να εισάγω λοιπόν και να υπολογίσω τα υλικά με τρόπο που να τα «κατατάσσει» στις τρεις διαστάσεις. Δημιουργώ λοιπόν ένα διαφορετικό αρχείο Excel με τη διαφορετική μορφή που χρειάζομαι.

2.3.1 Φύλλο εργασίας Properties_Fitzroy

Το φύλλο εργασίας Properties_Fitzroy του δεύτερου αρχείου Excel έχει ακριβώς τον ίδιο ρόλο, όπως το αρχείο Properties του πρώτου αρχείου Excel, δηλαδή την εισαγωγή δεδομένων που μου είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό διάφορων τιμών στα υπόλοιπα φύλλα εργασίας. Τα δεδομένα σε αυτό το φύλλο εργασίας του δεύτερου αρχείου Excel είναι ακριβώς τα ίδια με αυτά στο αντίστοιχο φύλλο του πρώτου αρχείου Excel: λίστα υλικών και αντικειμένων με τον αντίστοιχο συντελεστή απορρόφησης για τις συχνότητες 150 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz και 4000 Hz.

2.3.2 Φύλλο εργασίας RT60_Fitzroy

Στο φύλλο εργασίας RT60_Fitzroy έχω μία περιοχή INPUT, A1:H29, για την εισαγωγή δεδομένων και μια περιοχή OUTPUT, K1:T25 για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Στο κελί C2 εισάγεται η τιμή του όγκου του χώρου. Παρακάτω στις περιοχές A4:H10, A12:H18 και A20:H26 εισάγονται τα δεδομένα που αφορούν τα υλικά των επιφανειών του χώρου. Σύμφωνα με τη θεωρία (Κεφ. 1.6) χρησιμοποιώ τη σχέση Fitzroy για τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης όταν έχω επιφάνειες, οι οποίες είναι έντονα ανακλαστικές και σε αυτήν την περίπτωση χρειάζεται να προσδιορίσω την επιφάνεια των υλικών για κάθε άξονα x, y και z αντίστοιχα. Από τους τρεις άξονες προκύπτουν οι επιφάνειες xy, yz και zx, άρα εισάγω τα υλικά που βρίσκονται σε κάθε μία από τις τρεις επιφάνειες αντίστοιχα. Έτσι στον πίνακα στην περιοχή A4:A10 εισάγω τα υλικά που βρίσκονται στην επιφάνεια μεταξύ των αξόνων xy, στην επιφάνεια A12:A18 τα υλικά που βρίσκονται στην επιφάνεια μεταξύ των αξόνων yz και στην περιοχή A20:A26 τα υλικά που βρίσκονται στην επιφάνεια μεταξύ των αξόνων zx. Σε καθένα από τα κελιά αυτά της στήλης A υπάρχουν λίστες από τις οποίες μπορώ να επιλέξω το όνομα του υλικού.

Στις προαναφερθείσες επιφάνειες, στη στήλη B, εισάγω την επιφάνεια που καταλαμβάνει το εκάστοτε υλικό, ενώ στις στήλες C:H εισάγω τους συντελεστές απορρόφησης του για κάθε

συχνότητα 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz και 4000 Hz, με αναφορά στο αντίστοιχο κελί του φύλλου εργασίας Properties. Στην περιοχή A28:H29 έχω δημιουργήσει έναν πίνακα όπου εισάγω τις τιμές του παράγοντα κατευθυντικότητας για κάθε μια από τις προαναφερθείσες συχνότητες, όπως αυτές δίδονται από τα δεδομένα της εκάστοτε άσκησης.

Στην περιοχή OUTPUT έχω έναν πίνακα στα κελιά K3:P5 για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της τιμής του χρόνου αντήχησης για κάθε μία από τις συχνότητες που μελετάω. Στο κελί L7 παίρνω το αποτέλεσμα του βέλτιστου χρόνου αντήχησης. Επιπλέον, στην περιοχή K9:T25 έχω δημιουργήσει ένα γράφημα, όπου μπορώ να δω γραφικά τις τιμές του χρόνου αντήχησης για κάθε συχνότητα καθώς και το βέλτιστο χρόνο αντήχησης. Έτσι μπορώ γρήγορα να βγάλω συμπεράσματα για το κατά πόσο οι χρόνοι αντήχησης συγκλίνουν ή αποκλίνουν από τη βέλτιστη τιμή αυτού.

2.3.3 Φύλλο εργασίας Fitzroy_Calculations

Το φύλλο εργασίας Fitzroy_Calculations χρησιμεύει για την πραγματοποίηση των επιμέρους πράξεων που οδηγούν στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων της τιμής του χρόνου αντήχησης. Στην περιοχή A1:B2 έχω την τιμή του όγκου του χώρου. Η αριθμητική τιμή «μεταφέρεται» από το φύλλο εργασίας RT60_Fitzroy, από την περιοχή INPUT με τη μέθοδο της αναφοράς σε κελί.

Στην περιοχή D1:K23 έχω τρεις πίνακες, αυτούσιους με τους πίνακες της περιοχής A4:H26 του φύλλου εργασίας RT60_Fitzroy. Με τη μέθοδο αναφοράς τα δεδομένα μεταφέρονται στους πίνακες του φύλλου εργασίας Fitzroy_Calculations όπως είναι στο φύλλο εργασίας RT60_Fitzroy. Έτσι έχω σε αυτούς τους πίνακες τα ονόματα των υλικών που υπάρχουν στην επιφάνεια μεταξύ των εκάστοτε αξόνων, το εμβαδό της επιφάνειας που αυτά τα υλικά καταλαμβάνουν, καθώς και τις τιμές του συντελεστή απορρόφησης για κάθε συχνότητα, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz και 4000 Hz. Επιπλέον, στην περιοχή A4:B8 έχω έναν πίνακα για τις τιμές του εμβαδού της επιφάνειας μεταξύ των αξόνων XY, YZ, ZX, στα κελιά B5,B6,B7 αντίστοιχα, καθώς και για το άθροισμα των εμβαδών όλων των επιφανειών του χώρου, που ονομάζω Total S, στο κελί B8.

Στη συνέχεια, στην περιοχή E25:K29 έχω έναν πίνακα για την εισαγωγή των τιμών του μέσου συντελεστή απορρόφησης για κάθε επιφάνεια μεταξύ των εκάστοτε αξόνων XY, YZ, ZX και για κάθε συχνότητα, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz και 4000 Hz αντίστοιχα. Στα κελιά A26:C26 έχω την εξίσωση που μου δίνει το αποτέλεσμα της τιμής του μέσου συντελεστή. Τέλος, στην περιοχή M3:T3 έχω εισάγει την εξίσωση Fitzroy που σύμφωνα

με τη θεωρία μου δίνει το αποτέλεσμα του χρόνου αντήχησης. Στην περιοχή N4:S6 έχω έναν πίνακα για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της εξίσωσης αυτής μετά από αντικατάσταση και τις τιμές του χρόνου αντήχησης για κάθε μία από τις συχνότητες που μελετώ.

2.3.4 Φύλλο εργασίας Best Volume_Best RT60_Fitzroy

Τέλος, έχω το φύλλο εργασίας Best Volume_Best RT60_Fitzroy για τον υπολογισμό του βέλτιστου χρόνου αντήχησης. Το φύλλο εργασίας Best Volume_Best RT60_Fitzroy του δεύτερου αρχείου Excel είναι αυτούσιο με το φύλλο εργασίας Best Volume_Best RT60 του πρώτου αρχείου Excel, του οποίου η δομή και ο τρόπος λειτουργίας παρουσιάζονται στο Κεφ. 2.2.7. Για το λόγο αυτό δε θα επαναλάβω την ανάλυση εδώ.

3. Ασκήσεις και παραδείγματα

Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιάσω τρεις ασκήσεις ως παραδείγματα ασκήσεων που μπορούν να λυθούν με χρήση του αρχείου Excel. Για την πρώτη άσκηση θα παρουσιάσω επιπλέον τη λύση της, εξηγώντας λεπτομερώς τα βήματα για τη λύση της άσκησης και τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιώ το αρχείο. Επίσης θα δείξω πώς το αρχείο διευκολύνει και επισπεύδει την επίλυση της άσκησης.

3.1 Άσκηση 1

Η κοινότητα ενός χωριού διαθέτει μία αίθουσα όγκου 810 κ.μ. και με διαστάσεις 15 μ. μήκος, 9 μ. πλάτος και 6 μ. ύψος.

Στην αίθουσα υπάρχει ξύλινο δάπεδο 108 τ.μ., μια πλατφόρμα με 27 τ.μ., τσιμέντο βαμμένο 135 τ.μ., τούβλο άβαφο 54 τ.μ., ξύλινοι τοίχοι 85 τ.μ. και σοβάς πάνω σε τούβλο 140 τ.μ.

Η αίθουσα έχει θέσεις για 100 εκατό άτομα.

- α) Ποιος είναι ο χρόνος αντήχησης της αίθουσας όταν η αίθουσα είναι γεμάτη;
- β) Να βρείτε για ποια χρήση είναι καταλληλότερη η αίθουσα: για συναυλίες μουσικής δωματίου ή για προβολή ταινιών.

Λύση

Δουλεύω με το αρχείο Excel για να λύσω αυτή την άσκηση ξεκινώντας από το φύλλο εργασίας RT60 και την περιοχή INPUT όπου εισάγω τα απαραίτητα δεδομένα για τη λύση της άσκησης.

Στο κελί B2 βρίσκω και παίρνω τον όγκο του χώρου. Έχοντας τις διαστάσεις του χώρου (15, 9 και 6 μέτρα) θα γράψω στο κελί B2 «=15*9*6» και πατήσω Enter. Έτσι γίνεται ο πολλαπλασιασμός των τιμών των τριών διαστάσεων και παίρνω την τιμή του όγκου που είναι 810κ. μ.

Στη συνέχεια πηγαίνω στον πίνακα στην περιοχή A4:H13 για την εισαγωγή των υλικών που υπάρχουν στο χώρο, την επιφάνειά τους και των συντελεστών απορρόφησής τους.

Στο κελί A5 επιλέγω από τη λίστα το πρώτο υλικό, που αναφέρεται στο ξύλινο δάπεδο: Floor, wooden. Στο κελί B5 εισάγω την επιφάνεια του υλικού που είναι 108 τ.μ. Στη συνέχεια θα εισάγω το συντελεστή απορρόφησης για τα 125 Hz με τη μέθοδο αναφοράς σε κελί, όπως την έχω περιγράψει στο κεφάλαιο 2.1. Εδώ θα αναφερθώ στο κελί H21 του φύλλου εργασίας Properties που έχει τη συγκεκριμένη τιμή. Με τον ίδιο τρόπο θα εισάγω τους συντελεστές απορρόφησης για όλα τα υπόλοιπα υλικά και αντικείμενα.

Στο κελί A6 επιλέγω το υλικό για την πλατφόρμα “Perforated panel over isolation blanket” και δίνω την επιφάνεια 27 τ.μ. στο κελί B6. Στη συνέχεια εισάγω τους συντελεστές απορρόφησης.

Αντίστοιχα εισάγω στα επόμενα A7 έως A10 τα υλικά και στα κελιά B7 έως B10 τις αντίστοιχες επιφάνειές τους, όπως φαίνεται στην εικόνα 2. Με τον τρόπο που περιέγραφα παραπάνω εισάγω και τους αντίστοιχους συντελεστές απορρόφησης.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	INPUT							
2	Room volume (m3)	345.6						
3								
4	Material	Area (m ²)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
5	Acoustic plaster (approximate)	30	0.07	0.17	0.4	0.55	0.65	0.65
6	Marble or glazed tile	80	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
7	Fiberglass, 2 in. on rigid backing	22	0.21	0.5	0.75	0.9	0.85	0.8
8	Concrete (sealed or painted)	0	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
9	Marble or glazed tile	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
10	wooden walls, 2 in.	0	0.14	0.1	0.07	0.05	0.05	0.05
11	Marble or glazed tile	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
12	Concrete block, painted	0	0.1	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
13	Concrete block, painted	0	0.1	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
14								
15	Object	Number of objects						
16	Single person or heavily upholstered seat(± 0.10)	22	0.4	0.7	0.85	0.95	0.9	0.8
17	Description	0	0	0	0	0	0	0
18	Description	0	0	0	0	0	0	0
19	Description	0	0	0	0	0	0	0
20								
21		AIR ABSORPTION	Humidity (30%,50%,70%)	Temperature (15,20,25,30)				
22			30	25				
23								
24			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
25	Directivity Factor -Q		1	1	1	1	1	1
26								

Εικόνα 4 Στιγμιότυπο οθόνης μετά την εισαγωγή δεδομένων υλικών και αντικειμένων

Στο κελί A16 επιλέγω από τη λίστα ως αντικείμενο “Single person or heavily upholstered seat”. Αφού η αίθουσα είναι χωρητικότητας 80 ατόμων, θα εισάγω στο κελί B16 ως αριθμό ατόμων το 80. Με τον τρόπο που προανέφερα θα εισάγω την απορρόφηση, με αναφορά στα αντίστοιχα κελιά του φύλλου εργασίας Properties.

Τα κελιά C22, D22 θα τα αφήσω ως έχουν, μια και δε με ενδιαφέρει η απορρόφηση από τον αέρα. Αντίστοιχα τα κελιά της περιοχής C25:H25 θα είναι κενά, αφού δε μου δίνονται οι τιμές του παράγοντα κατευθυντικότητας από τα δεδομένα της άσκησης.

Με την εισαγωγή των δεδομένων εμφανίζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα στους πίνακες της περιοχής OUTPUT. Στον πίνακα RT60 βλέπω τους χρόνους αντήχησης σύμφωνα με τις εκάστοτε εξισώσεις (Εικόνα 3) και άρα παίρνω την απάντηση για το πρώτο ερώτημα.

	R	S	T	U	V	W	X
1							
4		RT60 (s)					
5		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
6	Sabine	1,60	1,07	1,00	0,96	1,00	1,07
7	Norris-Eyring	1,56	1,04	0,98	0,94	0,99	1,06
8	Sette-Millington	1,30	1,26	1,37	1,49	1,72	1,67
9	Sabine with air absorption	1,60	1,07	1,00	0,96	0,93	0,86

Εικόνα 5 Στιγμιότυπο οθόνης με τα αποτελέσματα χρόνου αντήχησης με τις διαφορετικές εξισώσεις

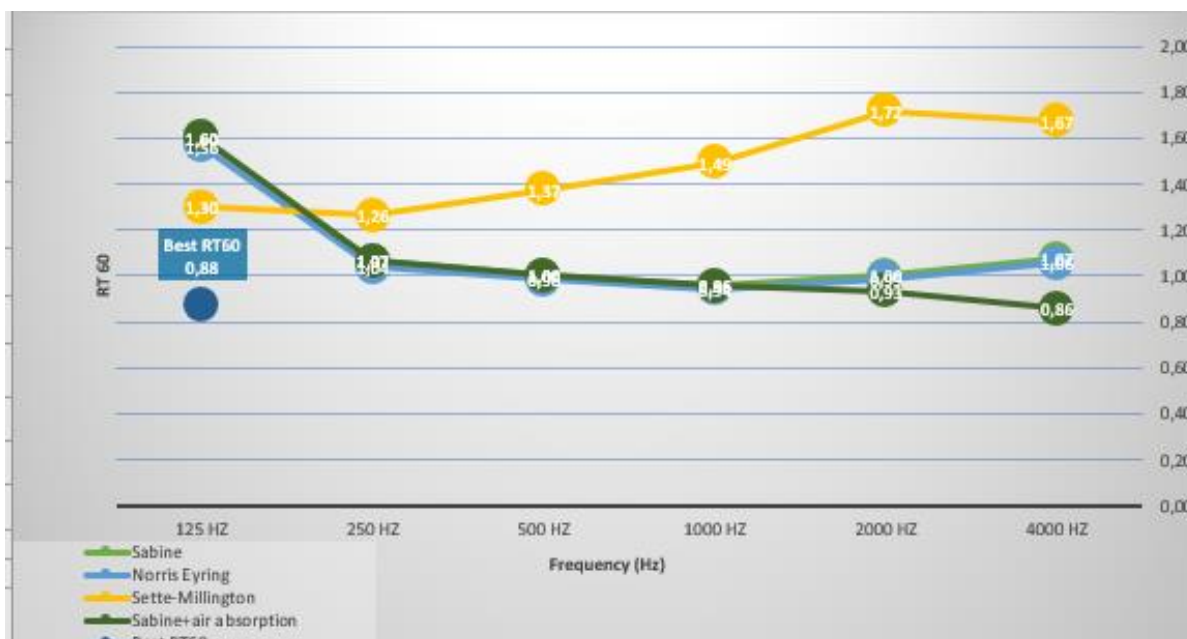
Για το δεύτερο ερώτημα πρέπει να βρω το βέλτιστο χρόνο αντήχησης. Πηγαίνω στο φύλλο εργασίας Best Volume_Best RT60 και εισάγω αρχικά τα δεδομένα που χρειάζομαι για τις δύο διαφορετικές περιπτώσεις (χρήση ως αίθουσα συναυλιών, χρήση ως αίθουσα για προβολή ταινιών)

Αρχικά μελετώ την περίπτωση χρήσης ως αίθουσας προβολής ταινιών. Στο κελί D2 επιλέγω “Cinema” και εμφανίζεται στο κελί E2 η τιμή του βέλτιστου όγκου κατ’ άτομο για αυτή τη χρήση. Ο αριθμός των ατόμων που πρέπει να βρίσκονται στην αίθουσα είναι 261, έναντι του αριθμού των ατόμων για τα οποία η αίθουσα έχει θέσεις, δηλαδή 100. Παρατηρώ ότι για τον όγκο της αίθουσας θα μπορούσαν να υπάρχουν πολύ περισσότερα άτομα.

Στο κελί D7 επιλέγω την επιλογή για ομιλία “Speaking” και εμφανίζεται στο κελί E7 η αντίστοιχη τιμή του r.

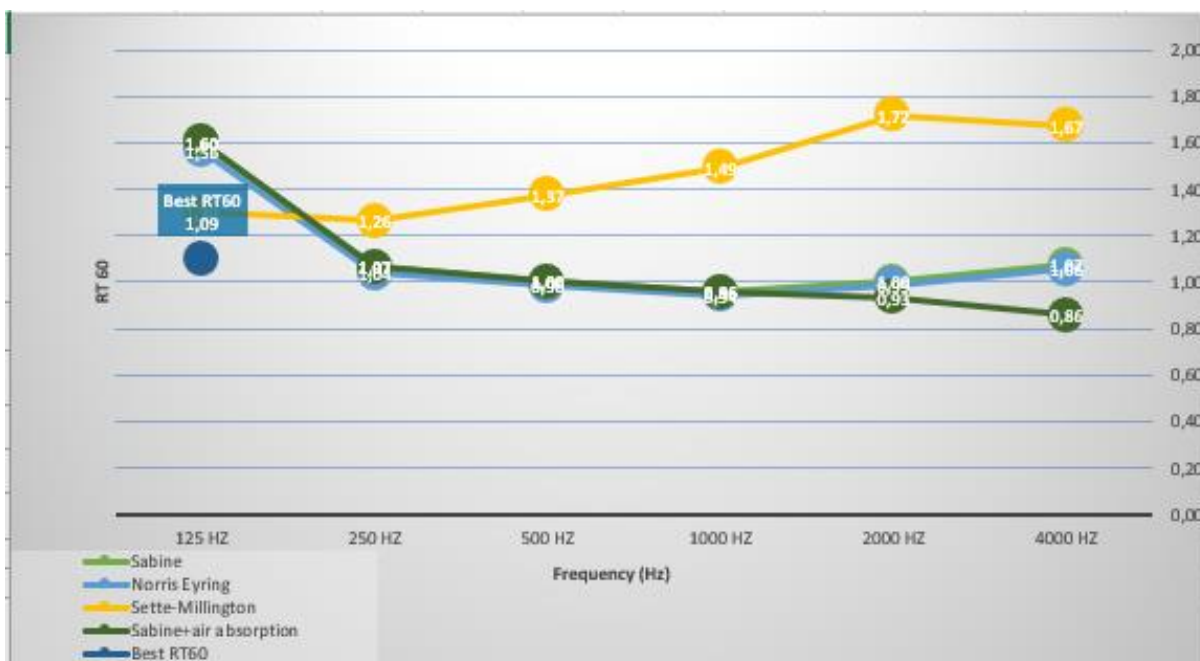
Αυτόματα στο κελί E11 εμφανίζεται η τιμή του βέλτιστου χρόνου αντήχησης Best RT60.

Επιστρέφω στο φύλλο εργασίας και παρατηρώ την απόκλιση μεταξύ του χρόνου αντήχησης όπως τον βρήκα από τις εξισώσεις μου και του βέλτιστου χρόνου αντήχησης (Εικόνα 4)



Εικόνα 6 Διάγραμμα χρόνων αντήχησης με χρήση της αίθουσας για προβολή ταινίας

Θα επιστρέψω στο φύλλο εργασίας Best Volume_Best RT60 για να μελετήσω την περίπτωση που ο χώρος χρησιμοποιηθεί ως αίθουσα συναυλιών. Στο κελί D2 θα επιλέξω την επιλογή “Concert Hall”. Αμέσως βλέπω ότι ο αριθμός των ατόμων για αυτή την επιλογή μειώνεται στους 114, αριθμός που είναι πολύ κοντά στον αριθμό των ατόμων της αίθουσας (100). Στη συνέχεια στο κελί D7 επιλέγω “Orchestra” και αλλάζει κατ’ αντιστοιχία η τιμή του r , καθώς και ο βέλτιστος χρόνος αντήχησης. Στο φύλλο εργασίας RT60 βλέπω στο διάγραμμα το εξής αποτέλεσμα (Εικόνα 5):



Εικόνα 7 Διάγραμμα των χρόνων αντήχησης με χρήση της αίθουσας για συναυλίες

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο περιπτώσεων βλέπω ότι:

α) ο όγκος της αίθουσας με τη συγκεκριμένη χωρητικότητα είναι καταλληλότερος για συναυλίες.

β) Συγκρίνοντας τις τιμές του βέλτιστου χρόνου αντήχησης για τις δύο περιπτώσεις και τους χρόνους αντήχησης της αίθουσας με τα υλικά που περιέχει η αίθουσα είναι καταλληλότερη για χρήση για συναυλίες παρά για προβολή ταινιών.

3.2 Άσκηση 2

Η αίθουσα συναυλιών μιας ορχήστρας έχει όγκο 2400 κυβικά μέτρα. Η ορχήστρα, η οποία καταλαμβάνει 45 τετραγωνικά μέτρα παίζει επάνω σε μία ξύλινη πλατφόρμα (Wooden platform) επιφάνειας 60 τετραγωνικών μέτρων. Η αίθουσα έχει χωρητικότητα 200 ατόμων. Τα υλικά που υπάρχουν στην αίθουσα είναι:

Floor linoleum on subfloor: 200 τ.μ.

Wood paneling in airspace: 500 τ.μ.

Concrete, no paint: 65 τ.μ.

α) Ποιος είναι ο χρόνος αντήχησης της αίθουσας όταν είναι γεμάτη, όταν είναι γεμάτη κατά το ήμισυ και όταν είναι άδεια;

β) Ποια είναι η ελάχιστη απόσταση που πρέπει να έχει το κοινό από την ορχήστρα ώστε οι πρώτες σειρές να μην ακούν μόνο τα βιολιά, αλλά να έχουν την εμπειρία ομοιόμορφου ακουστικά ήχου από την ορχήστρα;

Οι τιμές του παράγοντα κατευθυντικότητας είναι ως εξής: 125 Hz: 1,6, 250 Hz: 1,4, Hz: 500 Hz: 1,3, 1000 Hz: 1,4, 2000 Hz: 1,5, 4000 Hz: 1,7

γ) Αν η υγρασία είναι 30%, σε ποια θερμοκρασία έχουμε καλύτερες ακουστικές συνθήκες, στους 20 ή στους 25 βαθμούς Κελσίου;

3.3 Άσκηση 3

Στο κτίριο μιας εταιρίας ετοιμάζεται μια επιπλέον αίθουσα η οποία πρόκειται χρησιμοποιηθεί ως αίθουσα συνεδριάσεων. Η αίθουσα έχει μήκος 10 μέτρα και πλάτος 6 μέτρα, ενώ το ύψος της είναι 4,5 μέτρα. Οι μικρότερες πλευρές της αίθουσας θα καλύπτονται από τούβλο καλυμμένο με σοβά (Brik, smooth plaster finish), ενώ η μία μεγαλύτερη πλευρά θα είναι η μία τζαμαρία (Glass, windowpane), και η άλλη φτιαγμένη από γυψοσανίδα (plaster, smooth on lath). Το δάπεδο θα είναι φτιαγμένο από μουςαμά. (Floor, linoleum flexible tile on concrete). Η οροφή θα είναι φτιαγμένη από τσιμέντο, βαμμένο (concrete, painted). Στην αίθουσα θα υπάρχουν ξύλινα καθίσματα για 45 άτομα.

α) Ποιος είναι ο βέλτιστος χρόνος αντήχησης στην αίθουσα αυτή;

β) Στην περιοχή της τζαμαρίας θα κρεμαστούν κουρτίνες οι οποίες θα είναι ανοιχτές ή κλειστές κατά βούληση. Εξετάστε πώς επηρεάζουν το χρόνο αντήχησης και αν και πότε είναι βοηθητική η χρήση τους ώστε να επιτευχθεί καλύτερη ακουστική.

γ) Ποιος είναι ο χρόνος αντήχησης με ανοιχτές τις κουρτίνες όταν η αίθουσα είναι πλήρης κατά το ένα τρίτο; Πώς μπορεί να βελτιωθεί ο χρόνος αντήχησης;

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μια από τις πιο απαιτητικές εργασίες ενός μελετητή που δραστηριοποιείται στην ακουστική χώρων είναι ο ακουστικός σχεδιασμός και η ακουστική βελτίωση ενός κλειστού χώρου. Η μελέτη αυτή όμως συνεπάγεται τη διαχείριση πολλών δεδομένων και την πραγματοποίηση πολλών και πολύπλοκων μαθηματικών πράξεων. Το αρχείο Excel που δημιουργήθηκε στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας παρέχει μια σημαντική βοήθεια στο κομμάτι της μελέτης που αφορά στον προσδιορισμό του βέλτιστου χρόνου αντήχησης και στα υλικά που πρέπει μούνε στο χώρο ώστε να επιτευχθεί ο στόχος.

Καταρχήν μπορώ να αποθηκεύσω δεδομένα τα οποία είναι απαραίτητα και χρειάζομαι πάντα, όπως για παράδειγμα η λίστα των συντελεστών απορρόφησης στο φύλλο εργασίας Properties ή ο συντελεστής απορρόφησης του αέρα για κάθε περίπτωση υγρασίας και θερμοκρασίας στο φύλλο εργασίας Air Absorption. Μπορώ ανά πάσα στιγμή να ανατρέχω σε αυτά τα δεδομένα και να τα χρησιμοποιώ, ενώ η χρήση της μεθόδου αναφοράς σε κελί βοηθάει να εξαλειφθούν τα λάθη που προκύπτουν από την αντιγραφή.

Το αρχείο είναι έτσι δομημένο ώστε με την εισαγωγή λίγων μόνο δεδομένων να μπαίνουν σε χρήση οι συναρτήσεις στα κελιά και να εμφανίζονται τα αποτελέσματα κατ' ευθείαν. Αυτό δε βοηθάει μόνο στη γρήγορη εξαγωγή αποτελεσμάτων κατά τη μελέτη ενός χώρου με υλικά και αντικείμενα τα οποία γνωρίζω, αλλά βοηθάει επίσης στον πειραματισμό. Μπορώ πολύ γρήγορα να δοκιμάσω διαφορετικά υλικά, διαφορετικές τιμές επιφανειών και να πάρω μέσα σε κλάσματα δευτερολέπτου αποτελέσματα για το πώς αυτά επηρεάζουν την ακουστική συμπεριφορά του χώρου. Μπορώ λοιπόν σε ελάχιστο χρόνο να δω ποιο υλικό με συμφέρει να χρησιμοποιήσω στο χώρο σύμφωνα με το πώς χρησιμοποιώ το χώρο.

Φυσικά είναι επίσης εξαιρετικά βοηθητικό το ότι μπορώ να πάρω ταυτόχρονα αποτελέσματα για διαφορετικές περιπτώσεις, τα οποία παρατίθενται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορώ να τα συγκρίνω και να βγάλω συμπεράσματα γρήγορα. Για παράδειγμα στο φύλλο εργασίας RT60 έχω τον πίνακα για το χρόνο αντήχησης όπου εμφανίζονται ταυτόχρονα και μαζεμένα τα αποτελέσματα των διαφορετικών εξισώσεων Sabine, Norris-Eyring, Sette-Millington με ή χωρίς υπολογισμό της απορρόφησης του αέρα και μπορώ να συγκρίνω τα αποτελέσματά τους.

Ιδιαίτερα χρήσιμη είναι η χρήση του αρχείου στη λύση ασκήσεων με εκπαιδευτικό σκοπό. Βοηθάει τον εκπαιδευόμενο να λύσει γρήγορα ασκήσεις και προβλήματα, εξαλείφοντας το εμπόδιο των πολύπλοκων μαθηματικών πράξεων, το οποίο είναι συχνά μεγάλη πρόκληση για όποιον τις αντιμετωπίζει.

Είναι λοιπόν το αρχείο Excel ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για γρήγορη, αποτελεσματική και χωρίς λάθη λύση ασκήσεων και προβλημάτων που έχουν να κάνουν με τον χρόνο αντήχησης ενός κλειστού χώρου.

Βιβλιογραφία

Λουτρίδης, Σπυρίδων Ι. 2017. *Ακουστική, Αρχές και εφαρμογές*. Τζιόλας.

Πασχαλίδου, Στέλλα; Σηφάκης, Μηνάς. 2016 *Εφαρμοσμένη Ακουστική Ι-Σημειώσεις Εργαστηριακών Ασκήσεων-2^η έκδοση*.

Σηφάκης, Μηνάς Κ.; Κουτσοδημάκης, Χρήστος. 2012. *Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Ακουστικής Ι*. Έκδοση 4η. Ρέθυμνο: ΤΕΙ Κρήτης-Παράρτημα Ρεθύμνου. Τμήμα Μηχανικών Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής.

Σκαρλάτος, Δημήτρης. 2012. *Εφαρμοσμένη Ακουστική, Τέταρτη Έκδοση*. Πάτρα: GOTSIS.

Τσομπανάκη, Ευγενία. χ.χ. «Εισαγωγή στην εφαρμογή υπολογιστικού φύλλου.» <http://www2.stat-athens.aueb.gr/~akostaki/gr/courses/Excel.pdf>.