

# Αντιθορυβικά Πετάσματα Μικρού & Μεσαίου Ύψους για την Καταπολέμηση του Συγκοινωνιακού Θορύβου από Αστικά Σιδηροδρομικά Συστήματα. Εφαρμογή στο Τραμ της Αθήνας

ΚΩΝ/ΝΟΣ Ε. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ

Εντεταλμένος Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

## Περίληψη

Στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος Qcity (Quiet City Transport - Project number :PL516420), στο οποίο από ελληνικής πλευράς συμμετέχουν τόσο η TRAM Α.Ε. όσο και η Πολυτεχνική Σχολή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Σχολή Πολιτικών Μηχανικών) και η εταιρεία Συμβούλων ΣΣΕ & Περιβάλλον ΕΠΕ, και σε εφαρμογή των αποτελεσμάτων σχετικών ολοκληρωμένων μελετών πρόβλεψης διαχείρισης και καταπολέμησης συγκοινωνιακού θορύβου και δονήσεων για το έργο του TRAM της Αθήνας πραγματοποιήθηκε πλήρης πειραματική-μετρητική διερεύνηση εφαρμογής δύο πρωτότυπων αντιθορυβικών πετασμάτων :

- ✓ ενός αντιθορυβικού πετάσματος από διαφανές υλικό PMMA "ALTUGLAS EX SRD" πάχους 20mm μήκους 60m και «μεσαίου» ύψους 1,70m, το οποίο τοποθετήθηκε σε απόσταση 3m από την εξωτερική σιδηροτροχιά της γραμμής στην οδό Διαδόχου Παύλου στη Γλυφάδα και
- ✓ ενός αδιαφανούς ηχο-απορροφητικού πετάσματος «μικρού» ύψους 0,32m (ύψους αποβάθρας – low platform level) και μήκους 44m σε απόσταση 0,07m από το περιτύπωμα του συρμού, το οποίο τοποθετήθηκε στο Αμαξοστάσιο της TRAM Α.Ε. στο Ελληνικό.

Τα σχετικά αποτελέσματα του μετρητικού προγράμματος, που εκτελέστηκε σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 3095:2005(E) και την ευρωπαϊκή οδηγία 2002/49/CE, υποδηλώνουν σημαντική ηχομειωτική αποτελεσματικότητα και για τους δύο τύπους που κυμαίνονται από 9 - 11 dB(A) και 6,2 dB(A) αντίστοιχα.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η TRAM Α.Ε. εκπόνησε τα τελευταία χρόνια μία πλήρη σειρά από ολοκληρωμένες μελέτες πρόβλεψης διαχείρισης και καταπολέμησης συγκοινωνιακού θορύβου και δονήσεων. Στο πλαίσιο της εκπόνησης της σχετικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων<sup>[1]</sup> αλλά και της Ειδικής Οριστικής Μελέτης Θορύβου<sup>[2]</sup> από τη λειτουργία του τραμ της Αθήνας πραγματοποιήθηκε η πρόβλεψη και αξιολόγηση του συγκοινωνιακού θορύβου από τη λειτουργία της γραμμής του τραμ  
Υποβλήθηκε: 15.2.2006 Έγινε δεκτή: 18.4.2006

και η συσχέτισή του με τις χωροταξικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της άμεσης περιοχής.

Η αξιολόγηση βασίστηκε στη χάραξη της γραμμής του τραμ, στον αριθμό των κυκλοφορούντων συρμών, την ταχύτητα λειτουργίας του συστήματος, τις χρήσεις γης και στην υφιστάμενη –χωρίς το έργο – στάθμη περιβαλλοντικού θορύβου. Σύμφωνα με τη σχετική ΚΥΑ Έγκρισης Περιβαλλοντικών Ορών<sup>[3]</sup> ως ανώτατο αποδεκτό όριο (ανώτατος όρος περιβαλλοντικής λειτουργίας) για το συγκοινωνιακό θόρυβο από την κυκλοφορία των συρμών έχει καθορισθεί η τιμή των 67dB(A) για το δείκτη LAeq(18ωρ) (δεδομένης της λειτουργίας του συστήματος από 05:30 έως 24:00, γεγονός που άλλωστε εξασφαλίζει δυσμενή συνθήκη αξιολόγησης).\_

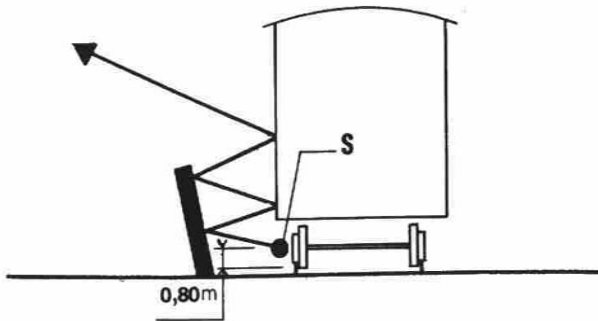
Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι, η μεμονωμένη διέλευση ενός συρμού είναι άμεσα συσχετισμένη με την ενόχληση, σε αντίθεση με τη συνολική επίπτωση που θα υπάρχει από τις διελύσεις των συρμών στην ώρα ή στο σύνολο της ημέρας. Έτσι, στα τμήματα αυτά της χάραξης, τα οποία δεν θα επηρεάζονται άμεσα και ιδιαίτερα από το επιβαρημένο ακουστικό περιβάλλον λόγω οδικής κυκλοφορίας, η επίπτωση διέλευσης μεμονωμένου συρμού αναμένεται να είναι ιδιαίτερα ενοχλητική.

## 2. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΝΤΙΘΟΡΥΒΙΚΩΝ ΠΕΤΑΣΜΑΤΩΝ ΣΤΟ TRAM ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ

Οι πολεοδομικές συνθήκες στην άμεση περιοχή του δικτύου δεν καθιστούν εύκολη την εφαρμογή αντιθορυβικών πετασμάτων τόσο λόγω περιορισμένου χώρου και ανάγκης διατήρησης της προσπελασιμότητας προς και από τις παρακείμενες χρήσεις και βέβαια τη δυνατότητα διέλευσης οχημάτων πρώτης ανάγκης (πυροσβεστικά, κ.λπ.), όσο και για

λόγους αισθητικής ένταξης στο αστικό τοπίο. Επιπλέον, η ηχομειωτική αποτελεσματικότητα ενός πετάσματος πλησίον γραμμής τραμ, καθορίζεται από την κατά το δυνατόν ακριβέστερη εκτίμηση της περίθλασης του ακουστικού κύματος. Τα βαγόνια των συρμών ακολουθούν μία σταθερή τροχιά εξαιρετικά καθορισμένη στο χώρο.

Κατά συνέπεια, υπάρχει μεν η δυνατότητα τοποθέτησης του αντιθορυβικού πετάσματος κοντά στις εξωτερικές σιδηροτροχιές - σε αντίθεση με τα πετάσματα του οδικού κυκλοφοριακού θορύβου που παρουσιάζουν προβλήματα ασφάλειας πεζών και οχημάτων - η δυνατότητα όμως προσέγγισης των πετασμάτων αυτών προς τη σιδηροτροχιά συνοδεύεται από μία σειρά δευτερευόντων ακουστικών φαινομένων όπως ανακλάσεις θορύβου πάνω στην πλευρική επιφάνεια των συρμών (βλέπε σχήμα 1).



Σχήμα 1: Ανακλάσεις θορύβου στην πλευρική επιφάνεια των συρμών.

Figure 1: Noise elevating reflections on the side surface of the tram vehicle.

Στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού προγράμματος Qcity (Quiet City Transport - Project number :PL516420) <sup>[4]</sup> στο οποίο από ελληνικής πλευράς συμμετέχουν τόσο η ΤΡΑΜ Α.Ε., όσο και η Πολυτεχνική Σχολή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Σχολή Πολιτικών Μηχανικών) και η εταιρεία Συμβούλων ΣΣΕ & Περιβάλλον ΕΠΕ, πραγματοποιήθηκε κατά το 2005 πειραματική εφαρμογή δυο εναλλακτικών τύπων αντιθορυβικών πετασμάτων στο δίκτυο του τραμ της Αθήνας με την υποστήριξη των εταιρειών Acoustic Control & Zblock από τη Σουηδία :

- ✓ διαφανούς αντιθορυβικού πετάσματος από διαφανές υλικό PMMA «ALTUGLAS EX SRD» πάχους 20mm μήκους 60m και «μεσαίου» ύψους 1,70m το οποίο τοποθετήθηκε σε απόσταση 3m από την εξωτερική σιδηροτροχιά του τραμ στην οδό Διαδόχου Παύλου στη Γλυφάδα (σχήμα 2) και
- ✓ αδιαφανούς ηχο-απορροφητικού πετάσματος «μικρού» ύψους 0,32m (ύψους αποβάθρας – low platform level) και μήκους 44m σε απόσταση 0,07m από το περιτόπωμα του συρμού, το οποίο τοποθετήθηκε στο Αμαξοστάσιο της ΤΡΑΜ Α.Ε. στο Ελληνικό (σχήμα 3).



Σχήμα 2 : Διαφανές αντιθορυβικό πέτασμα μεσαίου ύψους στην οδό Διαδόχου Παύλου.

Figure 2: Medium-height transparent reflective noise barrier at Diadohou Pavlou St.



Σχήμα 3 : Ηχο-απορροφητικό αντιθορυβικό πέτασμα χαμηλού ύψους στο Αμαξοστάσιο της ΤΡΑΜ Α.Ε. στο Ελληνικό.

Figure 3: Low-height absorbing noise barrier at Athens Tram Depot (Hellinikon).

### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Για τις δύο ανωτέρω εφαρμογές αντιθορυβικών πετασμάτων εκτελέστηκε πλήρες πρόγραμμα ακουστικών καταγραφών για δύο συνθήκες : «ΜΕ» & «ΧΩΡΙΣ» εφαρμογή αντιθορυβικού πετάσματος προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί η ηχομειωτική αποτελεσματικότητα (insertion loss IL) κάθε εφαρμογής σύμφωνα με τα προβλεπόμενα από το σχετικό EN ISO 3095:2005(E), αλλά και τα προβλεπόμενα από την πρόσφατη ευρωπαϊκή οδηγία 2002/49/CE, η οποία εισάγει το ύψος  $H = 4 \text{ m}$  (+/- 0.2) για την καταγραφή του συγκοινωνιακού-περιβαλλοντικού θορύβου.

Το ανωτέρω πρότυπο έχει διαμορφωθεί από την Τεχνική επιτροπή CEN/TC 256 “Railway applications”, σε συνεργασία με το ISO/TC 43 “Acoustics” και χρησιμοποιείται προκειμένου όπως χαρακτηρίσει το θόρυβο που εκπέμπεται από αστικά σιδηροδρομικά συστήματα, συγκρίνει στάθμες θορύβου από διέλευση συρμών σε συγκεκριμένες σιδηροτροχιές και εξασφαλίσει τη συλλογή βασικών στοιχείων πηγών θορύβου από συρμούς.

Σύμφωνα με το ανωτέρω πρότυπο για την παρούσα περίπτωση πειραματικών μετρήσεων εξασφαλίστηκε :

- ✓ η καταγραφή της Α συνεχούς ισοδύναμης ηχοστάθμης διέλευσης συρμού LpAeq για συνθήκες «ΜΕ» & «ΧΩΡΙΣ» εφαρμογή πετάσματος,
- ✓ η καταγραφή της μέγιστης Α ηχοστάθμης ηχητικής πίεσης LpAmax για όλες τις συνθήκες διέλευσης του συρμού,
- ✓ η πλήρης τρίτο-οκταβική ανάλυση της κάθε διέλευσης συρμού για τις δύο συνθήκες - σύμφωνα με το EN ISO 266 - από 20 Hz έως 20 kHz.

Ο μετρητικός εξοπλισμός θορύβου που χρησιμοποιήθηκε τύπου 1 κάλυπτε απολύτως τις απαιτήσεις των προτύπων EN 61672-1 και EN 61672-2, και περιλαμβάνει δύο ολοκληρωτικά συστήματα στατιστικού αναλυτή θορύβου & 1/3 οκταβικής ανάλυσης σήματος σε πραγματικές συνθήκες της 01dB (FR), με δυνατότητα ταυτοχρονισμένων καταγραφών σε 6 θέσεις συνολικά ως εξής:

- ✓ ένα 4 καναλικό ταυτοχρονισμένο σύστημα «Harmonie» με αντίστοιχο αριθμό μικροφώνων και
- ✓ ένα 2 καναλικό ταυτοχρονισμένο σύστημα «Symphonie» με αντίστοιχο αριθμό μικροφώνων

Στις δύο θέσεις εφαρμογής των αντιθορυβικών πετασμάτων εξασφαλίστηκαν οι κατάλληλες συνθήκες καταγραφής με έδαφος διάχυσης θορύβου πρακτικά επίπεδο χωρίς ανεπιθύμητα ηχο-ανακλαστικά εμπόδια, ώστε να εξασφαλισθούν συνθήκες «ελεύθερου πεδίου» διάδοσης θορύβου.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων οι κλιματολογικές συνθήκες ήταν κανονικές χωρίς ανεπιθύμητες επιφάνειες ηχο-απορροφητικών ή ηχο-ανακλαστικών επιφανειών, ενώ η μέγιστη ταχύτητα ανέμου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων δεν ξεπέρασε το 1 m/sec και η θερμοκρασία κυμάνθηκε από 8 έως 12° C με έλλειψη βροχής και υγρασία σε κανονικά επίπεδα (70 έως 80%).

#### 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΣΕΩΝ & ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

##### 4.1 Διαφανές αντιθορυβικό πέτασμα «μεσαίου» ύψους (Θέση μέτρησης : οδός Διαδόχου Παύλου)

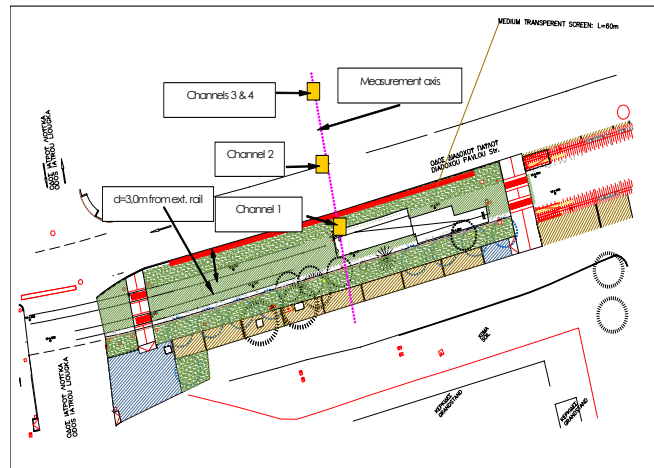
Στο σχήμα 4 δίνεται το σκαρίφημα των θέσεων μετρήσεων στη θέση εφαρμογής του διαφανούς αντιθορυβικού πετάσματος «μεσαίου» ύψους στην οδό Διαδόχου Παύλου στη Γλυφάδα.

Στον πίνακα 1 δίνονται οι ακριβείς γεωμετρικές θέσεις των μικροφώνων καταγραφής. Επισημαίνονται τα παρακάτω:

- ✓ ως πηγή θορύβου για τις δύο συνθήκες καταγραφής «ΜΕ» και «ΧΩΡΙΣ» το πέτασμα χρησιμοποιήθηκε η κανονική λειτουργία της γραμμής με σταθερή ταχύτητα διέλευσης συρμών 20 km/h,
- ✓ λόγω αστικών πολεοδομικών συνθηκών δεν ήταν δυνατή η εξασφάλιση της απόστασης των 25m από τον άξονα

της γραμμής (που συστήνει το ανωτέρω πρότυπο) και η αντίστοιχη θέση υλοποιήθηκε στα 15m. στα απαραίτητα όμως ύψη των 1,2 και 4,0m σύμφωνα με το πρότυπο και τη σχετική ευρωπαϊκή οδηγία,

- ✓ υιοθετήθηκε και για τις δύο συνθήκες μετρήσεων ένα κοινό σημείο μετρητικής αναφοράς σε απόσταση 1,0m και ύψος 1,2m από την εξωτερική σιδηροτροχιά, ώστε να εξασφαλισθεί η δυνατότητα αξιολόγησης της πηγής χωρίς την επιρροή του πετάσματος και να υπάρξει κοινός τόπος αναφοράς για την προσέγγιση της βελτίωσης της ηχομείωσης για τη συνθήκη εφαρμογής του πετάσματος,
- ✓ καταγράφηκαν και αναλύθηκαν 8 διαφορετικές διελύσεις συρμών για κάθε μετρητική συνθήκη «ΜΕ» & «ΧΩΡΙΣ» το πέτασμα,
- ✓ τέλος, η βασική ελαστική ενθυλάκωση των σιδηροτροχιών της γραμμής εξασφάλισε την πλήρη απορρόφηση τυχόν αερόφερτου θορύβου λόγω κρούσης.



Σχήμα 4: Σκαρίφημα θέσης εφαρμογής Διαφανούς Ήχο-ανακλαστικού πετάσματος «μεσαίου» ύψους στην οδό Διαδόχου Παύλου.

Figure 4: Conceptual sketch for the medium-height transparent reflective noise barrier at Diadohou Pavlou St.

Πίνακας 1: Εφαρμογή Διαφανούς Ήχο-ανακλαστικού πετάσματος «μεσαίου» ύψους – Θέσεις μέτρησης.

Table 1: Medium-height transparent reflective noise barrier: measurement points.

Εφαρμογή Διαφανούς Ήχο-ανακλαστικού πετάσματος «μεσαίου» ύψους Κανάλι Μικρόφωνο :	Οριζόντια απόσταση (m)	Ύψος (m)	Περιγραφή
Ch. 1	1,00	1,2	Σημείο αναφοράς (οριζόντια απόσταση από εξωτ. σιδηροτροχιά τραμ)
Ch. 2	7,50	1,2	Πρότυπο ISO 3095/2005
Ch. 3	15,00	1,2	Πλησιέστερη οικοδομική γραμμή
Ch. 4	15,00	4,0	Οδηγία 2002/49/EU

Στο σχήμα 5 δίνονται φωτογραφικές απεικονίσεις του χώρου μετρήσεων.



Σχήμα 5: Θέση μετρήσεων στην οδό Διαδόχου Παύλου.  
Figure 5: Measurement set-up at Diadohou Pavlou St..

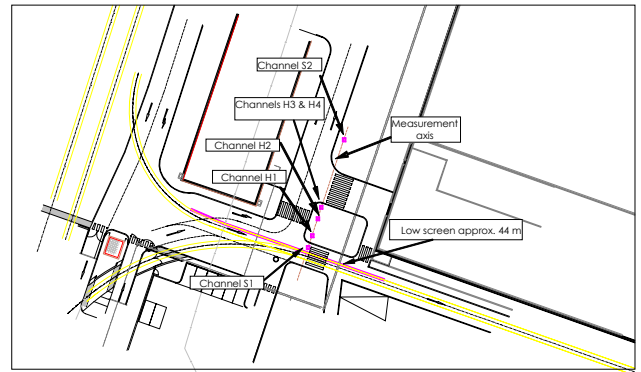
**4.2 Ηχο-απορροφητικό αντιθορυβικό πέτασμα «χαμηλού» ύψους (Θέση μέτρησης : Αμαξοστάσιο Τραμ στο Ελληνικό)**

Στο σχήμα 6 δίνεται το σκαρίφημα των θέσεων μετρήσεων στη θέση εφαρμογής του ηχο-απορροφητικού αντιθορυβικού πετάσματος «μικρού» ύψους στο Αμαξοστάσιο Ελληνικού.

Στον πίνακα 2 δίνονται οι ακριβείς γεωμετρικές θέσεις των μικροφώνων καταγραφής. Επισημαίνονται τα παρακάτω σημεία :

- ✓ ως πηγή θορύβου για τις δύο συνθήκες καταγραφής «ΜΕ» και «ΧΩΡΙΣ» το πέτασμα εξασφαλίστηκε ο ίδιος συρμός με τον ίδιο οδηγό, για διελεύσεις με σταθερή ταχύτητα 10,20,30 και 37-40 km/h, ώστε να επιτευχθεί πλήρης διερεύνηση της ηχομειωτικής αποτελεσματικότητας,
- ✓ στην περίπτωση αυτή εξασφαλίστηκε η απόσταση των 25m από τη σιδηροτροχιά (που συστήνει το ανωτέρω πρότυπο) στα ύψη των 1,2 και 4,0m σύμφωνα τόσο με το ανωτέρω πρότυπο και τη σχετική ευρωπαϊκή οδηγία,
- ✓ επιπλέον, υιοθετήθηκαν δύο νέες θέσεις μικροφώνου (α) στα 10m και ύψος 1,2m σύμφωνα με το «Nordic» πρότυπο υπολογισμού συγκοινωνιακού θορύβου και (β) στα 3,75m σε ύψος 0,60m ώστε να αξιολογηθεί η επιρροή της ηχητικής σκιάς του πετάσματος «μικρού» ύψους,
- ✓ υιοθετήθηκε και στην περίπτωση αυτή για τις δύο συνθήκες μετρήσεων ένα κοινό σημείο μετρητικής αναφοράς σε απόσταση 1,0m και ύψος 1,2m από την εξωτερική σιδηροτροχιά, ώστε να εξασφαλισθεί η δυνατότητα αξιολόγησης της πηγής χωρίς την επιρροή του πετάσματος και να υπάρξει κοινός τόπος αναφοράς για την προσέγγιση της βελτίωσης της ηχομείωσης για τη συνθήκη εφαρμογής του πετάσματος,

- ✓ καταγράφηκαν και αναλύθηκαν 3 διαφορετικές διελεύσεις συρμών για κάθε διαφορετική ταχύτητα και για κάθε μετρητική συνθήκη «ΜΕ» & «ΧΩΡΙΣ» το πέτασμα,
- ✓ τέλος, η βασική ελαστική ενθυλάκωση της σιδηροτροχιάς εξασφάλισε την πλήρη απορρόφηση τυχόν αερόφερτου θορύβου λόγω κρούσης.  
Στο σχήμα 7 δίνονται φωτογραφικές απεικονίσεις του χώρου μετρήσεων.



Σχήμα 6: Σκαρίφημα θέσης εφαρμογής ηχο-απορροφητικού πετάσματος «μικρού» ύψους (Αμαξοστάσιο Ελληνικού).  
Figure 6: Conceptual sketch for the low-height absorbing noise barrier at Hellinikon Depot.

Πίνακας 2: Εφαρμογή Διαφανούς ηχο-ανακλαστικού πετάσματος «μεσαίου» ύψους – Θέσεις μέτρησης.

Table 2: Medium-height transparent reflective noise barrier: measurement points.

Εφαρμογή Διαφανούς Ηχο-ανακλαστικού πετάσματος «χαμηλού» ύψους Κανάλι Μικρόφωνο :	Οριζόντια απόσταση (μ)	Υψος (μ)	Περιγραφή
Ch. 1 (H1)	3,75	0,6	Σημείο εντός ηχητικής σκιάς (οριζόντια απόσταση από εξωτ. σιδηροτροχιά τραμ)
Ch. 2 (H2)	7,50	1,2	Πρότυπο ISO 3095/2005
Ch. 3 (H3)	10,00	1,2	Πρότυπο υπολογισμού συγκοινωνιακού θορύβου «Nordic»
Ch. 4 (H4)	10,00	4,0	Οδηγία 2002/49/EU
Ch. 1 (S1)	1,00	1,2	Σημείο αναφοράς (οριζόντια απόσταση από εξωτ. σιδηροτροχιά τραμ)
Ch. 2 (S2)	25,00	1,2	Πρότυπο ISO 3095/2005



Σχήμα 7: Θέση μετρήσεων στο Αμαξοστάσιο Ελληνικού.  
Figure 7: Measurement set-up at Hellinikon Depot.

## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

### 5.1. Διαφανές αντιθορυβικό πέτασμα «μεσαίου» ύψους

Τα αναλυτικά αποτελέσματα των σχετικών ακουστικών καταγραφών (μέση τιμή των 8 καταγεγραμμένων διελεύσεων συρμών με σταθερή ταχύτητα 20 χλμ/ώρα) για τους δείκτες LAeq (ισοδύναμη συνεχής στάθμη θορύβου σε dB(A) & Lmax (μέγιστη στάθμη θορύβου σε dB(A) δίνονται στους πίνακες 3 & 4 στη συνέχεια για τις συνθήκες «ΧΩΡΙΣ» & «ΜΕ» πέτασμα.

Πίνακας 3: Συνθήκη «ΧΩΡΙΣ» πέτασμα.  
Table 3: «WITHOUT» Barrier.

Θέσεις μετρήσεων / μικρόφωνα	Δείκτης Leq dB(A)	Δείκτης Lmax dB(A)
Ch.1 στα 1,0m	74,8	84,3
Ch.2 στα 7,5m	68,8	77,1
Ch.3 στα 15,0m	67,6	73,7
Ch.4 στα 15,0m	65,8	71,8
στα 7,5 m «ΧΩΡΙΣ» πέτασμα	6,0	7,2
στα 15 m «ΧΩΡΙΣ» πέτασμα	7,1	10,6

Πίνακας 4: Συνθήκη «ΜΕ» πέτασμα.  
Table 4: «WITH» Barrier.

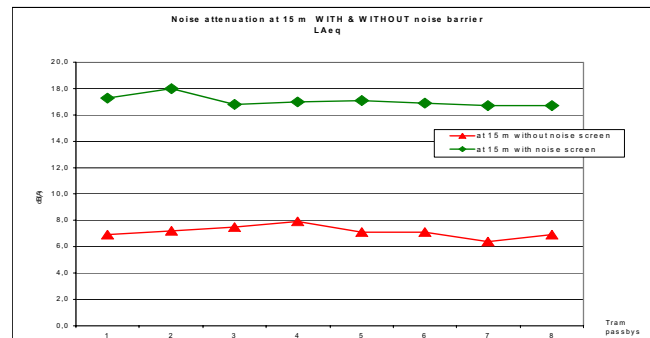
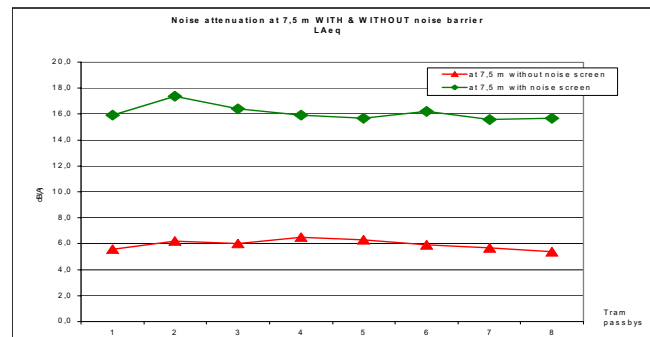
Θέσεις μετρήσεων / μικρόφωνα	Δείκτης Leq dB(A)	Δείκτης Lmax dB(A)
Ch.1 στα 1,0m	78,3	86,9
Ch.2 στα 7,5m	62,2	68,4
Ch.3 στα 15,0m	61,2	66,9
Ch.4 στα 15,0m	61,9	66,7
στα 7,5 μ «ΜΕ» πέτασμα	16,1	18,5
στα 15 μ «ΜΕ» πέτασμα	17,1	20,1

Στον πίνακα 5 δίνεται η υπολογισθείσα ηχομειωτική αποτελεσματικότητα του διαφανούς πετάσματος «μεσαίου» ύψους στα 7,5 & 15,0 m και ύψος 1,20 m.

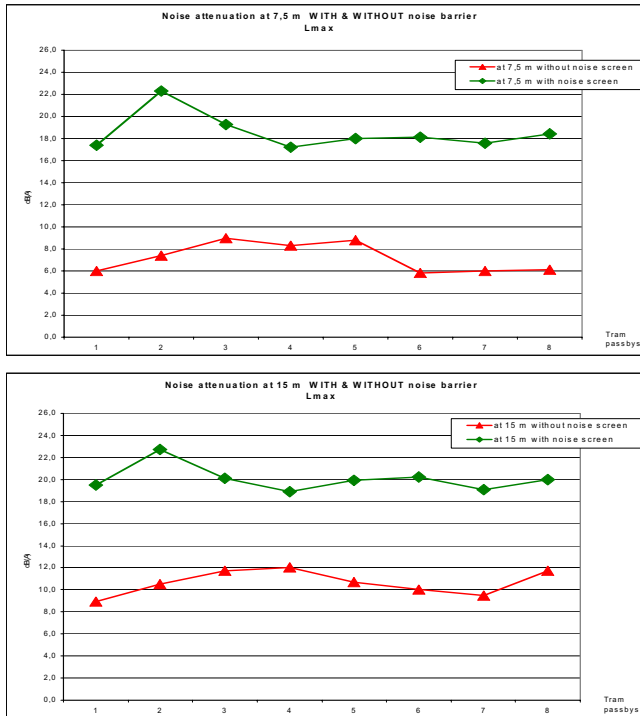
Πίνακας 5: Ηχομειωτική αποτελεσματικότητα.  
Table 5: Insertion loss (IL).

Ηχομειωτική αποτελεσματικότητα πετάσματος (Insertion loss)	Δείκτης Leq dB(A)	Δείκτης Lmax dB(A)
στα 7,5 m	10,2	11,4
στα 15 m	9,9	9,4

Στα διαγράμματα των σχημάτων 8 & 9 στη συνέχεια δίνονται οι διακυμάνσεις των ανωτέρω δεικτών Leq & Lmax για τις συνθήκες «ΧΩΡΙΣ» & «ΜΕ» πέτασμα.



Σχήμα 8: Διακύμανση δείκτη θορύβου : LAeq στα 7,5 m & 10,0 m για τις συνθήκες «ΜΕ» & «ΧΩΡΙΣ» πέτασμα.  
Figure 8: LAeq noise index attenuation at 7.5m & 10.0m «WITH» & «WITHOUT» noise barrier.



Σχήμα 9: Διακύμανση δείκτη θορύβου :  $L_{max}$  στα 7,5m & 15,0m για τις συνθήκες «ΜΕ» & «ΧΩΡΙΣ» πέτασμα.

Figure 9:  $L_{max}$  noise index attenuation at 7.5m & 15.0m «WITH» & «WITHOUT» noise barrier.

Πίνακας 6: Μέση ηχομείωση του δείκτη  $L_{max}$  για το πέτασμα «μικρού» ύψους για κάθε θέση σε σχέση με τη θέση αναφοράς S1 για το σύνολο των συνθηκών «ΧΩΡΙΣ» & «ΜΕ» πέτασμα.

Table 6: Average  $L_{max}$  attenuation for low-height barrier per measurement point vs reference point S1 for “WITHOUT” & “WITH” barrier.

Ηχομείωση στο σύνολο των θέσεων σε σχέση με την θέση αναφοράς S1	Ταχύτητες συρμού (χλμ/ώρα) για τις συνθήκες «ΧΩΡΙΣ» & «ΜΕ» πέτασμα							
	10 Km/h «ΧΩΡΙΣ»	20 Km/h «ΧΩΡΙΣ»	30 Km/h «ΧΩΡΙΣ»	37-40 Km/h «ΧΩΡΙΣ»	10 Km/h «ΜΕ»	20 Km/h «ΜΕ»	30 Km/h «ΜΕ»	37-40 Km/h «ΜΕ»
S1-H1	4,5	0,5	3,6	2,6	11,7	13,0	10,1	9,3
S1-H2	9,0	6,6	9,3	8,0	16,4	17,2	12,3	14,0
S1-H3	12,1	8,7	10,4	10,5	18,8	18,1	15,3	15,1
S1-H4	13,2	10,7	12,3	11,8	17,9	18,9	15,4	17,3
S1-S2	17,1	14,4	16,2	15,2	22,0	22,8	16,6	19,3

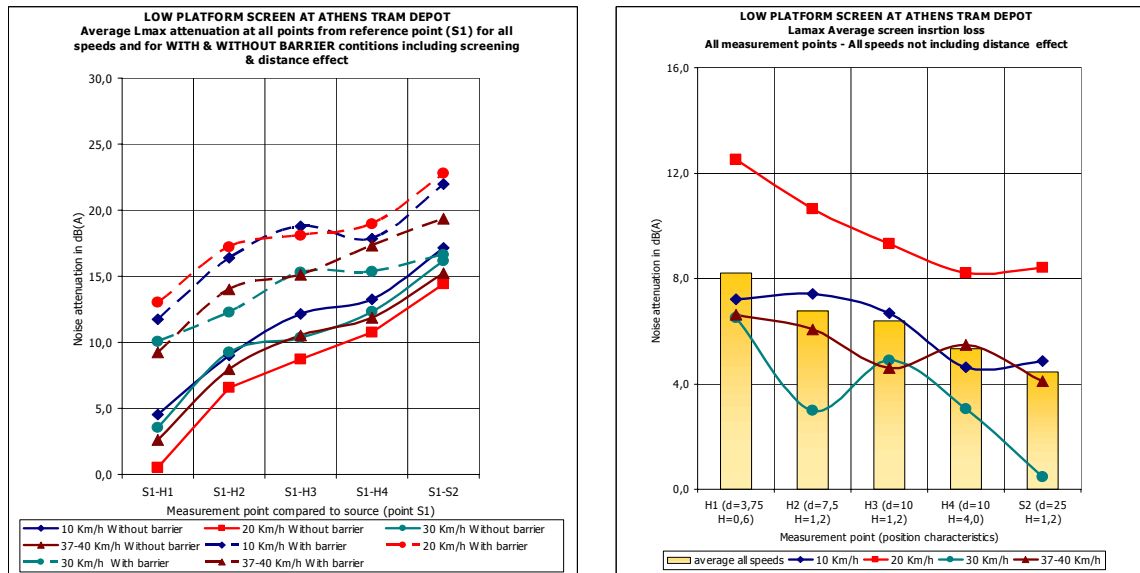
Πίνακας 7: Μέση ηχομείωση του δείκτη  $L_{max}$  για το πέτασμα «μικρού» ύψους για κάθε θέση για το σύνολο των συνθηκών «ΧΩΡΙΣ» & «ΜΕ» πέτασμα.

Table 7:  $L_{max}$  index average insertion loss for low-height barrier per measurement point for “WITHOUT” & “WITH” barrier.

Θέση μέτρησης	10 Km/h	20 Km/h	30 Km/h	37-40 Km/h	Μέση τιμή ηχομείωσης & τυπική απόκλιση	
H1 (d=3,75 H=0,6)	7,2	12,5	6,5	6,6	8,2	2,9
H2 (d=7,5 H=1,2)	7,4	10,6	3,0	6,1	6,8	3,2
H3 (d=10,0 H=1,2)	6,7	9,3	4,9	4,6	6,4	2,2
H4 (d=10,0 H=4,0)	4,6	8,2	3,0	5,5	5,3	2,2
S2 (d=25 H=1,2)	4,9	8,4	0,5	4,1	4,5	3,3
Μέση τιμή για το σύνολο των αντιπροσωπευτικών θέσεων H2/H3/H4					6,2	2,5

## 5.2 Ηχο-απορροφητικό αντιθορυβικό πέτασμα «χαμηλού» ύψους

Τα αναλυτικά αποτελέσματα των σχετικών ακουστικών καταγραφών για τους δείκτες  $L_{eq}$  &  $L_{max}$  (μέση τιμή των  $12+12=24$  συνολικά καταγεγραμμένων διελεύσεων συρμών για ταχύτητες 10,20,20 και 37-40 km/h) δίνονται στους πίνακες 6 & 7 στη συνέχεια για τις συνθήκες «ΧΩΡΙΣ» & «ΜΕ» πέτασμα. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται η ηχομείωση που καταγράφηκε για κάθε συνθήκη/ταχύτητα συρμού από τη θέση αναφοράς S1 στο σύνολο των θέσεων και η συνολική ηχομειωτική αποτελεσματικότητα του πετάσματος «μικρού» ύψους στο σύνολο των θέσεων H1,H2,H3,H4 και S2. Στα διαγράμματα του σχήματος 10, τέλος, δίνονται οι αντίστοιχες διακυμάνσεις για κάθε θέση.



Σχήμα 10: Διάγραμμα ηχομείωσης δείκτη L<sub>max</sub> για το πέτασμα «μικρού» ύψους.  
Figure 10: L<sub>max</sub> index average insertion loss fluctuation diagram for Low Height barrier.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα συνάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα για την εφαρμογή των εξετασθέντων τύπων πετασμάτων :

1. Το διαφανές αντιθρομβικό πέτασμα «μεσαίου» ύψους (σε “inox” μεταλλική κατασκευή που ενθυλακώνει διαφανή φύλλα ALTUGLAS EX SRD πάχους 20 mm) εξασφαλίζει – στο σύνολο των θέσεων - μία μέση ηχομειωτική αποτελεσματικότητα 9 - 11 dB(A) για τους βασικούς δείκτες θορύβου Leq & L<sub>max</sub>, λαμβάνοντας υπόψη και μικρή επιρροή δευτερευόντων ηχο-ανακλαστικών φαινομένων στην αλληλοεπίδραση πετάσματος και εξ’ επιφανείας συρμού. Η παρούσα αισθητική εφαρμογή πέραν του υψηλού βαθμού ένταξης στο αστικό περιβάλλον και της ελαχιστοποίησης του φαινομένου «οπτικού αποκλεισμού» πρέπει να τοποθετείται σε σημαντική απόσταση από τη σιδηροτροχιά (2 έως και 3m), ώστε να ελαχιστοποιούνται φαινόμενα επιβάρυνσης της ηχητικής πηγής λόγω επαναληπτικών ηχοανακλάσεων.
2. Το ηχο-απορροφητικό πέτασμα «μικρού» ύψους που τοποθετείται σε επίπεδο «αποβάθρας» σε μικρή απόσταση από το περιτύπωμα του συρμού παρουσιάζει επίσης σημαντική ηχομειωτική αποτελεσματικότητα της τάξης των 6.2 dB(A) για ένα εύρος ταχυτήτων συρμών από 10

έως 40 km/h.

Το ελεγχθέν πρωτότυπο απαιτεί σημαντική περαιτέρω αισθητική βελτίωση, ώστε να καταστεί δυνατή η ενσωμάτωσή του στο αστικό τοπίο, τα περιορισμένα όμως γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υποδηλώνουν περιορισμένη οπτική ενόχληση, η οποία μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω, ώστε η ένταξή του να είναι αισθητικά αποδεκτή.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ET&T Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ – ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΑΕ , «ΜΠΕ Τραμ Αθηνών (Θόρυβος & Δονήσεις)», Οκτώβριος 2000.
2. ET&T Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ, «Ειδική μελέτη Θορύβου & Δονήσεων από την λειτουργία του TRAM της Αθήνας», Μαΐος 2001.
3. ΚΥΑ 105061/29-08-2001, Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων του TRAM της Αθήνας.
4. TRAM Α.Ε, Πολυτεχνική Σχολή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Σχολή Πολιτικών Μηχανικών), ΣΣΕ & Περιβάλλον ΕΠΕ, Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Qcity (Quiet City Transport - Project number :PL516420), 2005.

### Δρ Κων/νος Ε ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ

Εντεταλμένος Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πολυτεχνική Σχολή -Τμήμα Πολιτικών Μηχ/κών, Συγκοινωνιακός Τομέας, Πεδίον Αρεώς 383 34 Βόλος,

Extended Summary

# Low & Medium Height Noise Barriers for Transportation Noise Abatement. Implementation On Athens Tramway

**KONSTANTINOS E. VOGIATZIS**

Assoc. Prof. University of Thessaly

## Summary

As part of the European Qcity project (Quiet City Transport - Project number: PL516420), in which both Athens Tram and the University of an extensive measurement project and evaluation of two prototype noise barriers has been completed with a view implementing the recommendations of the relevant extended Noise and Vibration Studies. The barriers concerned are as follows:

- ✓ a reflective transparent barrier from "ALTUGLAS EX SRD" with maximum height approximately 1.7 metres, length 60m, and thickness 20mm, at a suitable distance (approximately 3.0m) from the external rail of the tramway, installed at Diadochou str. Glyfada Athens;
- ✓ a non-transparent absorbing noise barrier of approx 44m length, and low height (0.32 m), installed at a minimum distance of approximately 7cm from the Tram "gabarit" in Athens Tram Depot.

The relevant results from the measurement procect which was executed according to EN ISO 3095:2005(E) and the relevant directive 2002/49/CE suggest an insertion loss (IL) for these barriers of 9-11 dB(A) and 6.2 dB(A), respectively.

## 1. INTRODUCTION

During the last few years, Athens Tram has performed an extended Noise and Vibration Study, including both airborne and ground borne noise with calculation of vibration levels. This study suggested the implementation of various anti-noise/vibration mitigation measures. The calculations originally performed for the design of the tram networks of the study suggested that adequate noise screens should be used in some urban areas in order to achieve both improvement of the acoustic environment and aesthetic integration of the relevant construction within the urban environment.

Submitted: Feb. 15. 2006 Accepted: Apr. 18, 2006

## 2. ALTERNATIVE IMPLEMENTATIONS OF NOISE BARRIERS ON ATHENS TRAMWAY

As part of the European Qcity project (Quiet City Transport), two distinct noise screen types were tested in the Athens Tram network at the following two sites:

1. A reflective transparent barrier of maximum height approximately 1.5 metres (+ 20cm protective border in the lower level) and length 60m, at a suitable distance (approximately 3.0m) from the external rail of the tramway, in an "inox" steel structure encasing transparent "ALTUGLAS EX SRD" sheets of 20mm thickness. All relevant technical specifications of these transparent sheets are presented in the Appendix 3 below. This medium-height noise screen was installed in a typical urban area of the network, in Glyfada, Athens, in order to evaluate the relevant noise attenuation characteristics under the network's real commercial operation conditions.
2. An approximately 44m lg, low height (approximately 32 cm) absorbing noise screen from ZBlock (Sweden), at a minimum distance of approximately 7cm from the tram "gabarit" (according to Athens Tram relevant dimensioning in platform areas). This prototype low height barrier was installed in Athens Tram Depot in order to evaluate the relevant insertion loss under various speed conditions (from 10 up to 40 Km/h).



### 3. MEASUREMENT PROJECT & INSTRUMENTATION

For both sites and screen types, two distinct measurement scenarios were executed, involving measurements “With” and “Without” the screen, according to the EN ISO 3095: 2005(E) and the provisions of the recent 2002/49/CE directive introducing a height for noise recording purposes of  $H = 4 \text{ m}$  (+/- 0.2). The measurement project was especially designed to obtain reproducible and comparable measurement results for levels and spectra of noise emitted by tramway vehicles operating on rails or fixed track in the Athens Tram network. According to the above standard and in view of the particularities of both test sites, the noise quantities measured at all microphone positions were:

- ✓ the A-weighted equivalent continuous sound pressure level on the pass-by time,  $L_{pAeq}$ .
- ✓ the maximum AF-weighted sound pressure,  $L_{pAmax}$ .
- ✓ a full 1/3 octave bands according to EN ISO 266, at least from 31.5 Hz to 8 kHz, where the lower frequency limit was chosen to ensure that the product of the lowest bandwidth and signal duration would exceed unity. For this project a frequency range from 20 Hz to 20 KHz was introduced.

The compliance of the instrumentation system with the requirements of EN 61672-1 and EN 61672-2 was verified, consisting of:

- ✓ a 4-channel noise statistical analyzer “Harmonie” and
- ✓ a 2-channel noise statistical analyser “Symphonie”.

Both the test sites ensure free sound propagation with an essentially flat ground, ensuring “free field” conditions. In the vicinity of the microphones, no obstacles disturbing the sound field were permitted including people. Furthermore, the area between the vehicle and the microphones was as free as possible of sound absorbing matter (e.g. snow, tall vegetation, other tracks) or reflective covering (e.g. water, ice).

As far as the meteorological conditions during both tests are concerned, the wind speed measured at the microphone height was below 1 m/s and there was no rain or snow. Temperature was between 8 and 12° C and humidity at normal levels (70 to 80%).

#### 4. GENERAL TEST SITE'S CONDITIONS

##### 4.1 Medium-height transparent reflective noise barrier at Diadochou St.

Figure 4 shows a detailed conceptual sketch of the medium-height transparent reflective noise barrier at Diadochou Pavlou St., including geometrical data for all microphone locations. The relevant microphone location

(4 channel “Harmonie” system) is also described in table 1 (horizontal distances and heights).

##### 4.2 Low-height absorbing noise barrier at Athens Tram Depot

Figure 5 shows a detailed conceptual sketch of the low-height absorbing noise barrier at Hellinikon Depot, including geometrical data for all microphones locations. The relevant microphone location (4-channel “Harmonie” and 2-channel “Symphonie” systems) is also described in table 2 (horizontal distances and heights).

### 5. MEASUREMENT RESULTS

#### 5.1 Medium-height transparent reflective noise barrier

A total of 8 independent tram transits were recorded and analysed in this test site, according to the setup described above, at a constant speed of 20 Km/h. The analytical results per pass by are presented (including full 1/3 octave band analysis) in Appendix 1 below, for tests both “With” and “Without” screen. The main results for both indices  $L_{eq}$  (tram passage) and  $L_{max}$  are presented in tables 3 and 4 and the relevant graphs in figure 8. In order to evaluate the noise attenuation in various measurement locations, separate calculations were made in both tests and the relevant attenuation was established for channels 2 and 3 at distances of 7.5 and 15.0 m and 1.20 m relative height, from a reference point (Ch1) placed at a distance of 1.0m from the external rail (between the track and the screen alignment). The results in dB(A) are presented in table 5.

#### 5.2 Low-height absorbing noise barrier

A total of 2X12=24 tram transits of the same vehicle (10015) were recorded and analysed in this test site according to the set-up described above, for various speeds i.e 10, 20, 30 and 37 to 40 Km/h (3 transits per speed and per test).

The main results for both indices  $L_{eq}$  (tram passage) and  $L_{max}$  are presented in tables 6 & 7 and the relevant graphs in figure 10 above.

### 6. CONCLUSIONS

Based on the above results, we can consider the following conclusions, regarding the noise attenuation that

can be achieved from both low & medium-height barriers for trams and trains:

- ✓ The medium-height transparent reflective noise barrier, in the form of an “inox” steel structure encasing transparent ALTUGLAS EX SRD sheets of 20mm thickness, is a highly aesthetic mitigation measure that can easily be incorporated in the urban tissue and can ensure an average insertion loss of approx 9-11 dB(A) for both  $L_{eq}$  and  $L_{max}$  indices, taking into account possible minor back-reflection effects. It is clear that the reflective screen needs to be placed at a considerable distance (approximately 2 or 3m from the external rail of the network) in order to eliminate undesirable reflection effects in the noise source; its use is therefore subject to space limitations
- ✓ The low-height absorbing noise barrier (at platform height level) can ensure an important insertion loss, in terms of both noise source and screening effect, due to its absorbing capabilities. It has been established that an average insertion loss varying around 6.2 dB(A), for a speed range from 10 up to 40 Km/h, is ensured by the use of this type of low absorbing barrier. However, the prototype tested needs to be upgraded in aesthetic terms in order to facilitate its integration in the urban context and to avoid adverse population reactions.