

TRAFFIC NOISE IN URBAN ENVIRONMENT: A REVIEW OF THE CURRENT RESEARCH IN GREECE

Abstract

Traffic noise is one of the most significant health risks for the people living in densely populated urban centres. Symptoms vary from plain annoyance and stress to cardiovascular and respiratory disease, depression and low birth weight. Hence, measuring noise levels and studying its direct and indirect impacts is crucial for policy making, protective measures and compliance with the Environmental Noise Directive (END) 2002/49/EC. This study reviews existing literature, in order to draw a comprehensive picture of the traffic noise research landscape in Greece, based on published papers, in order to record the advances so far and to highlight the areas that need further investigating.

Keywords: Urban noise | Traffic noise | Environmental Noise Directive | Health impacts | Noise measurements

Introduction

When the issue of environmental noise arose in the early 1970s, noise generated by traffic was the first to be addressed by European legislation. This indicates that traffic noise is the most obvious and the most annoying source of environmental noise. However, up until 2002, when the Noise Directive on the assessment and management of environmental noise was issued, noise was dealt with in a fragmented and per source manner. The adoption of the 2002/49/EC Directive marked a change in this practice and assumed a more holistic view of the problem. Nowadays, administrative tools are combined with research results for optimal management. The present paper aims to draw a comprehensive, yet not fully exhaustive, picture of the existing literature in the field of traffic noise in Greece and highlight the fields that need further research.

Methodology

Sources

The main focus of this paper is urban traffic noise. The collected material refers to original research efforts, presented in national or international conferences, and/or published in research journals, after the year 2002 when the Noise Directive was issued. Literature is mainly in English. Most of the work was collected from on-line and printed journals, conference web pages, and university repositories of scientific publications, especially of those universities that include

engineering schools. Finally, scholar databases and scientific networking media, such as Scopus, ResearchGate and Science Direct, were also used as a source of material.

Problems

During the course of our research, there was a significant number of references which appeared either as titles alone or as title and abstract, due to copyright issues. We were able to retrieve some of them after personal communication with the authors. Regarding the rest of the material, as it was impossible to assess their content by their title alone, it was not included in the present paper.

Literature synopsis

Noise measurements – results assessment

There is a significant number of noise measurement studies conducted in urban conglomerates, especially in Athens and in Thessaloniki, but also other important urban centres, as well (eg. Volos, Veria, Ioannina, Lamia). These measurements reveal that noise pollution in these areas is either close or exceeds the maximum limit during the day and, in some cases during the night as well [1], [2], [3], [4]. The characteristics of an area, the composition of traffic [5] are some of the factors that influence noise levels. Most vulnerable are the people that commute on bicycles or have their car windows open, as they are, in some cases, subjected to 75 dB noise. [6]. A study performed during a ‘in town without a car’ day showed that by taking the appropriate measures, noise can drop up to 6 dB [7].

For the assessment of noise measurements several approaches are proposed. Mathematical models that use tangible factors (eg. noise events during the night) [8]. The use of GIS software for the visualization of noise together with the factors that influence it [9]. The use of special equipment for recording the sound waves [10].

A reoccurring theme seems to be the recording of noise level trends and the comparison between past and current measurements. An interesting point is that the studies performed before the unexpected economic crisis in Greece predict a rise in the number of vehicles. Even in these cases, according to some researchers this rise would not have resulted in a rise in noise levels, either because the new vehicles will have enhanced technologies [11] or because a larger number of vehicles results in lower velocities [12]. More recent studies, though, record a lower number of vehicles due

to the economic crisis, which is not followed by a respective drop in noise levels. This ‘inconsistency’ is explained by the change in traffic load composition (more motorcycles, bad car maintenance, different driving habits etc.) [13]. Other studies, however, do record lower noise levels in general [14], with upward trends in some cases, which are, in turn, attributed to higher speed rates due to the lack of congestion [15].

Mitigation measures

Several options that reduce noise levels are explored, both technological and natural. This is illustrated in [16], who discuss materials that can be added to the asphalt pavement in order to enhance its noise absorption capacity. Towards this direction, materials from used car tyres were added to asphalt pavement [17], [18], [19], and tests showed an up to 3 dB drop in noise levels. Following a different path, Samara & Tsitsoni [20], [21] showed that noise levels are reduced up to 6 dB when passing through a high vegetation path. To the same direction, Papafotiou et al. [22] performed a number of measurements in various areas of the National Garden of Athens and showed that high vegetation and landscape contribute significantly in the reduction of noise levels (up to 4 dB). Sarantakopoulos et al. [23] and Kassomenos et al. [24] discovered that the levels of traffic noise that reach the interior of school buildings depend on the building design and construction materials (eg. double glazed windows). On a different end, Basbas et al. [25] recommend the promotion of the use of public transportation and modern technology cars as a means to combat noise. However, it has been demonstrated [26] that people avoid the use of alternative transportation, such as walking and biking, because they are annoyed by noise, thus generating a vicious circle. Finally, a different approach is the one suggested by Votsi et al. [27], [28], which is the designation of quiet areas in Europe, which could be used as recovery points from noise pollution.

Traffic noise impacts

A small number of studies examines noise levels in building interiors, especially hospitals and schools where noise can have serious effects on health and concentration. Tzekakis et al. [29] performed measurements inside Papageorgiou Hospital, which is situated adjacent to the Thessaloniki ring road, and found that noise levels exceed the allowed limits and that patients cannot rest

as they ought to. Sarantakopoulos et al. [23] and Kassomenos et al. [24] performed measurements in 15 schools in Athens and found traffic noise to be, in some cases, significant in classrooms.

Regarding human health, a number of studies combines traffic noise with air pollution, since some health impacts are caused by both stressors [30]. To this end, Vlahokostas et al. [31], [32] propose a method that combines both noise and air pollution. Finally, studies performed in six European countries (Greece included), showed a higher intake of antiacids after a 24 hour exposure to traffic noise [30], [33].

Socio-economic studies

In several studies, noise measurements are combined with social surveys, since citizens' participation is, among other things, a critical point of legislation. In a social survey using a questionnaire, Basbas & Nikolaou [34] mention that the citizens of Thessaloniki name environmental protection is one of their priorities. In another survey [35], citizens state that they are annoyed more by traffic noise, than by any other source of environmental noise. A survey conducted in Thessaloniki [36] recorded that most citizens were willing to spend more time travelling to and from work, in order to live in a quieter area. Half of them were even willing to pay 1-16% more on the property price to avoid noise pollution. A similar attitude is recorded by Eliou et al. [26], where citizens state that they are willing to pay 7.6 euros more in taxes per year in order to fund noise abatement projects.

European Noise Directive 2002/49/EC

In the framework of EN Directive, on state level, the process of fully complying with its requirements is still ongoing. Until today, reports and the corresponding noise maps have been prepared for Athens (centre, south Athens, north Athens), Thessaloniki (Municipality of), Neapoli (Thessaloniki), Kalamaria, Piraeus, Serres, Heraklion, Chania, Patra, Ioannina, Kavala, Corfu, Agrinio, Larisa and Volos. Those studies can be found on the Ministry of Environment web page. The results, procedure and problems of this process have been presented in Greek and international conferences [37] [38] [39]. For a more effective implementation of the EN Directive, Vasiliadis & Tzekakis [40] propose noise limits L_{den} και L_{night} that incorporate people's perception of noise, whereas Vogiatzis & Remy [41] suggest the use of qualitative maps in combination with noise maps in the process of designing noise abatement projects.

Conclusions

Closing this review, we can say that the number of studies regarding traffic noise is significant and continues to rise, particularly where noise measurements are concerned. However, there is still room for improvement, especially in the field of noise abatement methods and technologies and socio-economic surveys, as citizens involvement is a key factor to the success of any national or local

environmental program. Last, but not least, another very important area that needs careful, further investigation, is the interaction of urban traffic noise with other environmental stressors and the total effect on urban ecosystems and human health, as the environment is a sophisticated system and not a simple collection of things.

Acknowledgement

The authors would like to thank all those researchers that were willing to share their work. Without their contribution this task would have been incomplete.

- [1] A. Kelesis, M. Petrakakis, K. Vogiatzis, P. Tzoumaka, M. Tsougas and E. Koutsari, "Urban traffic noise monitoring program in the city center of Thessaloniki," 2005.
- [2] E. Georgiadou, K. Kourtidis and I. Ziomas, "Exploratory traffic noise measurements at five main streets of Thessaloniki, Greece," *Global Nestl International Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 53-61, 2004.
- [3] Christides, A. Mitilineou, D. Mourikis, A. Mavrakis, G. Theocharatos and S. Lykoudis, "Noise level measurements in the center of Elefsis, Greece," in 9th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece, 2005.
- [4] E. Tzekakis, K. Vogiatzis and V. Vassiliadis, "Long term environmental & transportation noise monitoring in the cities of Veria and Ioannina in northern Greece according to the 2002/49/EC directive," in 13th International Congress on Sound and Vibration, Vienna, 2006.
- [5] Tsakalidis, F. Kehagia and M. Pitsiava Latinopoulou, "A diachronic investigation of the traffic noise levels along main urban axes in relation to traffic characteristics: the case of Thessaloniki," in 5th International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics, Mykonos, Greece, 2015.
- [6] E. Okokon, T. Yli-Tuomi, Turunen A.W., P. Taimisto, A. Pennanen, I. Vouitsis, Z. Samaras, M. Voogl, M. Keuken and T. Lanki, "Particulates and noise exposure during bicycle, bus and car commuting: A study in three european cities," *Environmental Research*, vol. 154, pp. 181-189, 2017.
- [7] N. Eliou, K. Vogiatzis and F. Kehagia, "Noise levels of the 'in town without my car' on the 22nd September 2000 in urban environment," in 5th WSEAS International Conference on Environment, Ecosystems and Development, Venice, Italy, 2006.
- [8] S. Dalianis and G. Cambourakis, "The prediction of traffic noise disturbance due to noise events," in 7th International Symposium Transport Noise and Vibration, St. Petersburg, Russia, 2004.
- [9] A. Konstantinidis, K. Evangelidis and E. Stefanidou, "GIS-based visualisation of traffic noise," in 9th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes, Greece, 2005.
- [10] S. Dalianis and E. Kayafas, "Traffic noise assessment of developing urban areas in Greece - The city of Athens case," in The 2005 Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Rio de Janeiro, 2005.
- [11] K. Nikolaou, S. Basbas and G. Toskas, "Noise levels based on urban traffic modelling," *Journal of Environmental Protection and Ecology*, vol. 3, no. 3, pp. 691-697, 2007.
- [12] K. Vogiatzis, G. Adamou and N. Eliou, "Environmental noise measurements and DTM modeling in dense urban conditions in Volos city center according to the EU directive," 2011.
- [13] Tsakalidis, F. Kehagia and M. Pitsiava-Latinopoulou, "Examining the correlation of noise levels with traffic characteristics in an urban area: The case of Thessaloniki," *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 26, no. 9, pp. 5616-5621, 2017.
- [13] K. Vogiatzis and P. Kopelias, "Benefits and limitations toward a sustainable road environment during the years of economic recession," *International Journal of Sustainable Development and Planning*, vol. 10, no. 5, pp. 701-712, 2015.
- [15] P. Kopelias, K. Vogiatzis and N. Eliou, "Sustainable road acoustic environment and economic recession," in 23rd International Congress on Sound & Vibration, Athens, Greece, 2016.
- [16] F. Kehagia and E. Manthos, "Existing and future technologies in noise reducing pavements," *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 11A, no. 23, pp. 2803-2808, 2014.
- [17] S. Mavridou, N. Oikonomou, A. Kalofotias, A. Karagiannidis and A. Kungolos, "Presentation of the ROADTIRE project," in Sustainable Solid Waste Management, Athens, Greece, 2012.
- [18] F. Kehagia and S. Mavridou, "Noise reduction in pavement made of rubberized bituminous top layer," *Open Journal of Civil Engineering*, vol. 4, pp. 198-208, 2014.
- [19] S. Mavridou and F. Kehagia, "Environmental noise performance of rubberized asphalt mixtures: Lamia's case study," *Procedia Environmental Sciences*, vol. 38, pp. 804-811, 2017.
- [20] T. Samara and T. Tsitsoni, "Road traffic noise reduction by vegetation in the ring road of a big city," in International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics, Skiathos, Greece, 2007.
- [21] T. Samara and T. Tsitsoni, "The effects of vegetation on reducing traffic noise from a city ring road," *Noise Control Engineering Journal*, vol. 59, no. 1, pp. 68-74, 2011.
- [22] M. Papafotiou, J. Chronopoulos, A. Tsiotsios, K. Mouzakis and G. Balotis, "The impact of design on traffic noise control in an urban park," in International Conference on Urban Horticulture, 2002.
- [23] G. Sarantakopoulos, S. Lykoudis and P. Kassomenos, "Noise levels in primary schools of medium sized city in Greece," *Science of the Total Environment*, vol. 482, pp. 493-500, 2014.
- [24] P. Kassomenos, A. Paschalidou and G. Sarantopoulos, "The acoustic environment and its controlling factors in primary schools in Greece," in 23rd International Congress on Sound & Vibration, Athens, Greece, 2016.
- [25] S. Basbas, M. Pitsiava-Latinopoulou and E. Zacharaki, "Motorized road transport: Economic and environmental costs - A policy assessment framework," *International Journal of Sustainable Development and Planning*, vol. 4, no. 4, pp. 309-321, 2009.
- [26] N. Eliou, K. Vogiatzis and F. Kehagia, "Evaluation of noise levels in urban environment in Greece," *WSEAS Transactions on Environment and Development*, vol. 2, no. 8, pp. 1065-1071, 2006.
- [27] N. Votsi, E. Drakou, A. D. Mazaris, A. S. Kallimanis and J. D. Pantis, "Distance-based assessment of open country Quiet Areas in Greece," *Landscape and Urban Planning*, vol. 104, pp. 279-288, 2012.
- [28] N. Votsi, A. Kallimanis and I. D. Pantis, "An environmental index of noise and light pollution at EU by spatial correlation of quiet and unlit areas," *Environmental pollution*, vol. 221, pp. 459-469, 2017.

- [29] E. Tzekakis, V. Tsara and V. Vasiliadis, "The affect of the Thessaloniki ring road traffic noise emission on hospitalized patients in Papageorgiou Hospital," in 14th International Congress on Sound and Vibration, Cairns, Australia, 2007.
- [30] S. Floud, M. Blangiardo, C. Clark, K. deHoogh, W. Babisch, D. Houthuijs, W. Swart, G. Pershagen, K. Katsouyianni, M. Velonakis, F. Vigna-Taglianti, E. Cadum and A. Hansell, "Exposure to aircraft and road traffic noise and associations with heart disease and stroke in six European countries: a cross-sectional study," *Environmental Health*, vol. 12, no. 1, p. 89, 2013.
- [31] C. Vlachokostas, C. Achillas, A. Michailidou and N. Moussiopoulos, "Measuring combined exposure to environmental pressures in urban areas: An air quality and noise pollution assessment approach," *Environment International*, vol. 39, pp. 8-18, 2012.
- [32] C. Vlachokostas, A. Michailidou, A. Athanasiadis and N. Moussiopoulos, "Synergies between environmental pressures in the urban climate: combined air quality and noise exposure assessment in Thessaloniki, Greece," *Global NEST Journal*, vol. 15, no. 2, pp. 200-217, 2013.
- [33] S. Floud, F. Vigna-Taglianti, A. Hansell, M. Blangiardo, D. Houthuijs, O. Breugelmans, E. Cadum, W. Babisch, J. Selander, G. Pershagen, M. Chiara-Antoniotti, S. Pisari, K. Dimakopoulou, A. Haralabidis, V. Velonakis and L. Jarup, "Medication use in relation to noise from aircraft and road traffic in six European countries: results of the HYENA study," *Occupational and environmental medicine*, vol. 68, pp. 2009-2014, 2011.
- [34] S. Basbas and K. Nikolaou, "An approach for the estimation of traffic noise cost in Thessaloniki," *Journal of Environmental Protection and Ecology*, vol. 10, no. 1, pp. 232-243, 2009.
- [35] C. Nathanail, "Urban environmental noise in Greece: a social survey," *Forum Acousticum*, vol. 7, pp. 1853-1858, 2005. . 518-524, 20
- [36] F. Kehagia and M. Chrisomallis, "Investigation of the economic valuation of traffic noise in Thessaloniki, Greece," *ICASTOR Journal of Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 405-411, 2009. 10.
- [37] Panagopoulos, "Environmental noise mapping in Thessaloniki, Greece," in 23rd International Congress on Sound & Vibration, Athens, 2016.
- [38] K. Psychas and V. Dalamagas, "Strategic noise mapping in urban agglomerations of Greece," in 23rd International Congress on Sound & Vibration, Athens, 2016.
- [39] F. Chonianaki, V. Dalamagas, M. Haidarlis, M. Zekkos and D. Dalamanga, "Strategic noise map & action plans for the agglomeration M6 'Pireaus' (2002/49/EC Directive)," in 23rd International Conference on Sound & Vibration, Athens, Greece, 2016.
- [40] V. Vasiliadis and E. Tzekakis, "Proposal for noise limits according to the 2002/49/EC directive in Greece," in ICSV15 International Congress on Sound and Vibration, Daejeon, Korea, 2008.
- [41] K. Vogiatzis and N. Remy, "Soundscape design guidelines through noise mapping methodologies: An application to medium urban agglomerations," *Noise mapping*, vol. 4, no. 1, pp. 1-19, 2017.
- [42] S. Basbas and K. Nikolaou, "Economic valuation of traffic noise," in 1st International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE), Skiathos, Greece, 2007.
- [43] N. Eliou, A. Galanis and K. Vogiatzis, "Sustainable transportation and reduction of road traffic noise in the urban built environment: A case survey in the city of Xanthi, Northern Greece," in 23rd International Congress on Sound & Vibration, Athens, Greece, 2016.
- [44] E. Karakolios, F. Vosniakos, A. Mamoukaris, K. Xipolitos and D. Constantin, "Vehicle emissions in the city of Leptokaria and its contribution to the atmospheric air and noise pollution," *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 22, no. 3, pp. 879-883, 2013.
- [45] E. Matsoukis and D. Tsouka, "Noise pollution due to air and road traffic at Corfu's international airport (Greece)," *WIT Transaction on the Built Environment*, vol. 60, pp. 669-675, 2002.
- [46] Mazaris, A. Kallimanis, G. Chatzigiannidis, K. Papadimitriou and J. Pantis, "Spatiotemporal analysis of an acoustic environment: interactions between of landscape features and sounds," *Landscape Ecology*, vol. 24, no. 6, pp. 817-831, 2009.
- [47] K. Nikolaou and S. Basbas, "Urban noise levels based on traffic modeling and monitoring," in International Conference: Protection and Restoration of the Environment, Chania, Greece, 2006. 2007.
- [48] K. D. Papadimitriou, A. D. Mazaris, A. S. Kallimanis and J. D. Pantis, "Cartographic representation of the sonic environment," *The Cartographic Journal*, vol. 46, no. 2, pp. 126-135, 2009.
- [49] M. Pitsiava-Latinopoulou, F. Kehagia and C. Visba, "Road traffic noise level prediction in the city of Thessaloniki_A comparison between the French and British method," in 2nd International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE) and SECOTOX Conference, Mykonos, Greece, 2009.
- [50] M. Pitsiava-Latinopoulou, E. Zacharaki and S. Basbas, "The impact of traffic noise on property values," in 1st International Conference on Environmental Management Engineering, Planning and Economics, Skiathos, Greece, 2007.
- [51] K. Psychas, V. Tzekakis and V. Vasiliadis, "Long term noise monitoring applications in Greece according to the 2002/49/EC Directive requirements," in 12th International Congress on Sound and Vibration, Lisbon, 2005.
- [52] K. Vogiatzis and G. Kouroussis, "Environmental road & rail transportation noise monitoring. A necessary tool for the protection and rehabilitation of the urban acoustic environment," in 24th International Congress on Sound and Vibration, London, UK, 2017.
- [53] F. Vosniakos, D. Prapas, J. Triantafyllidis, K. Nikolaou, A. Karida, A. Bizopoulos, M. Katsantoni and D. Patronas, "Integrated study of atmospheric and noise pollution from vehicles in Thessaloniki - Greece," *Journal of Environmental Protection and Ecology*, vol. 8, no. 3, pp. 493-505, 2007.

Κυκλοφοριακό θόρυβος σε αστικά περιβάλλοντα: Μία επισκόπηση της τρέχουσας έρευνας στην Ελλάδα.

Περίληψη

Ο κυκλοφοριακός θόρυβος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους επιβαρυντικούς παράγοντες για την υγεία των κατοίκων των μεγάλων αστικών κέντρων. Τα συμπτώματα ποικίλουν, από απλή ενόχληση και στρες έως καρδιολογικά και αναπνευστικά νοσήματα, κατάθλιψη και χαμηλού βάρους νεογνά. Ως εκ τούτου, οι μετρήσεις των επιπέδων θορύβου, αλλά και η μελέτη των άμεσων και έμμεσων επιπτώσεων είναι πολύ σημαντικό για τη διαμόρφωση πολιτικής, τη λήψη μέτρων και τη συμμόρφωση με την Ευρωπαϊκή Οδηγία για τον Περιβαλλοντικό Θόρυβο (ΟΠΘ) 2002/49/ΕΚ. Η παρούσα μελέτη εξετάζει την υπάρχουσα βιβλιογραφία, με σκοπό να σχηματίσει μία

ξεκάθαρη εικόνα της έρευνας που διεξάγεται σχετικά με τον περιβαλλοντικό θόρυβο στην Ελλάδα, με βάση τα άρθρα που έχουν δημοσιευθεί σε επιστημονικά περιοδικά και στο Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, ώστε να καταγραφεί η πρόοδος μέχρι σήμερα και να φωτιστούν οι περιοχές που χρειάζονται περαιτέρω διερεύνηση.

Λέξεις κλειδιά: αστικός θόρυβος | κυκλοφοριακός θόρυβος | Ευρωπαϊκή Οδηγία για τον Περιβαλλοντικό Θόρυβο | επιπτώσεις στην υγεία | μετρήσεις θορύβου

Εισαγωγή

Ο κυκλοφοριακός θόρυβος αποτέλεσε το πρώτο σημείο στο οποίο εστίασε η νομοθεσία ελέγχου του θορύβου, από τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι ο κυκλοφοριακός θόρυβος αποτελεί την πιο εμφανή, αλλά και την πιο ενοχλητική πηγή θορύβου. Ωστόσο, μέχρι το 2002, τότε εκδόθηκε η Οδηγία για τον Περιβαλλοντικό Θόρυβο της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με την αξιολόγηση και τη διαχείριση του περιβαλλοντικού θορύβου, η αντιμετώπιση του ήταν αποσπασματική και αφορούσε μόνο συγκεκριμένες πηγές. Η έκδοση της Οδηγίας 2002/49/ΕΚ σηματοδότησε μια περισσότερο ολιστική αντιμετώπιση του ζητήματος. Πλέον, εκτός από το καθαρά διοικητικό κομμάτι, είναι απαραίτητη η ταυτόχρονη ερευνητική προσπάθεια για την επίτευξη καλύπτων αποτελεσμάτων. Στο πλαίσιο αυτό, στόχος της παρούσας εργασίας, χωρίς να φιλοδοξεί να αποτελέσει πλήρη κατάλογο των εργασιών που έχουν εκπονηθεί, είναι να σχηματίσει μια ξεκάθαρη εικόνα του ερευνητικού τοπίου της Ελλάδας αναφορικά με τον αστικό κυκλοφοριακό θόρυβο και να φωτίσει τα σημεία που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση.

Μεθοδολογία

Πηγές

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι αποκλειστικά ο αστικός κυκλοφοριακός θόρυβος. Το υλικό αφορά σε πρωτογενείς έρευνες, οι οποίες παρουσιάστηκαν είτε σε συνέδρια είτε σε επιστημονικά περιοδικά μετά την έκδοση της Οδηγίας 2002/49/ΕΚ. Η βιβλιογραφία είναι κυρίως αγγλόφωνη. Οι περισσότερες εργασίες συγκεντρώθηκαν από ηλεκτρονικές και έντυπες εκδόσεις περιοδικών, από ιστοσελίδες συνεδρίων και από τα αποθετήρια εργασιών των ελληνικών πανεπιστημίων, ιδιαίτερα όσων περιλαμβάνουν πολυτεχνικές σχολές. Επίσης, κατά την αναζήτηση πηγών χρησιμοποιήθηκαν και επιστημονικές βάσεις δεδομένων και επιστημονικά μέσα κοινωνικής δικτύωσης, όπως το Scopus, το ResearchGate και το Science Direct.

Προβλήματα

Στην πορεία της έρευνας υπήρξε σημαντικός αριθμός εργασιών που εμφανίζονταν είτε μόνο ως τίτλοι είτε με την περιληψη χωρίς το πλήρες κείμενο. Ορισμένα από αυτά, συγκεντρώθηκαν ύστερα από επικοινωνία με τους συγγραφείς. Οι υπόλοιπες εργασίες, επειδή δεν ήταν δυνατόν να αξιολογηθούν μόνο από τον τίτλο τους, δεν συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα εργασία.

Σύνοψη βιβλιογραφίας

Μετρήσεις θορύβου – αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στην ελληνική βιβλιογραφία υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός μελετών που παρουσιάζουν μετρήσεις θορύβου κυρίως στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη, αλλά και σε άλλες μεγάλες πόλεις της Ελλάδας (ενδεικτικά: Βόλος, Βέροια, Ιωάννινα, Λαμία). Στο σύνολό τους οι καταγραφές του θορύβου φανερώσουν πως τα επίπεδα της ηχορύπανσης, στα οποία εκτίθενται οι πολίτες, είναι, στην καλύτερη περίπτωση, κοντά στο ανώτατο επιτρεπόμενο όριο ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις το ξεπερνούν, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά, σε ορισμένες περιπτώσεις, και κατά τη διάρκεια της νύχτας [1], [2], [3], [4]. Σημαντικό ρόλο παίζουν, μεταξύ άλλων, τα χαρακτηριστικά μιας περιοχής και η σύνθεση του κυκλοφοριακού στόλου [5]. Οι πιο ευάλωτες ομάδες μετακινούμενων είναι όσοι μετακινούνται επάνω σε ποδήλατο ή έχουν ανοιχτά τα παράθυρα του αυτοκινήτου τους [6], καθώς ο θόρυβος που υφίστανται, φτάνει, σε ορισμένες περιπτώσεις, τα 75 dB. Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε πριν και κατά τη διάρκεια μιας 'μέρας χωρίς αυτοκίνητο' διαπιστώθηκε ότι, με κατάλληλα μέτρα, ο θόρυβος μπορεί να πέσει μέχρι και 6 dB [7]. Για την αξιολόγηση των μετρήσεων προτείνονται διάφορες μέθοδοι, όπως μαθηματικά μοντέλα στα οποία εισάγονται μετρήσιμοι παράγοντες [8], χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφορικής για την ταυτόχρονη απεικόνιση του θορύβου με τους παράγοντες που βοηθούν τη διάδοσή του [9], καθώς και τρόποι αξιολόγησης της πραγματικής όχλησης με χρήση ειδικών διατάξεων [10]. Συχνά, αντικείμενο των εργασιών είναι η εξέλιξη των επιπέδων θορύβου στην πορεία του χρόνου. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι μελέτες που συντάχθηκαν πριν από τη, μη αναμενόμενη, οικονομική κρίση της Ελλάδας προβλέπουν μελλοντική αύξηση του αριθμού των κινούμενων οχημάτων, η οποία, ωστόσο, σύμφωνα με ορισμένους δε θα οδηγήσει σε αντίστοιχη αύξηση των επιπέδων θορύβου. Αυτή η 'ανακολουθία' αποδίδεται είτε στη βελτίωση της τεχνολογίας των αυτοκινήτων [11] είτε στις μικρότερες ταχύτητες κίνησης εξαιτίας της αύξησης του αριθμού των οχημάτων [12]. Οι πρόσφατες έρευνες, σημειώνουν, όπως ήταν αναμενόμενο εξαιτίας της κρίσης, μειωμένο κυκλοφοριακό όγκο. Παρόλα αυτά, με βάση μετρήσεις διαπιστώνεται ότι ο θόρυβος παραμένει σε υψηλά επίπεδα. Το γεγονός αυτό ορισμένοι ερευνητές [13] το αποδίδουν στην αλλαγή της σύνθεσης του κυκλοφοριακού φορτίου (μεγαλύτερη ποικιλία οχημάτων, αύξηση του στόλου των μοτοσυκλετών, κακή συντήρηση αυτοκινήτων, αλλαγή οδηγικών συνθηκών). Αντίθετα, άλλοι ερευνητές διαπιστώνουν [14] [15] ότι ο θόρυβος έχει μειωθεί γενικότερα, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρείται αύξηση που οφείλεται στις μεγαλύτερες ταχύτητες που αναπτύσσονται εξαιτίας της μείωσης του κυκλοφοριακού φορτίου.

Μέτρα προστασίας
Στο πλαίσιο της καταπολέμησης του θορύβου, τεχνολογικές αλλά και φυσικές λύσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον περιορισμό και την απορρόφηση του. Οι Kehagia & Manthos [16] παρουσιάζουν στην εργασία τους ένα σύνολο υλικών, παλαιότερης αλλά και πιο σύγχρονης τεχνολογίας, τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν στο οδόστρωμα και να συμβάλουν στην απορρόφηση του θορύβου. Στο πλαίσιο αυτό δοκιμάστηκαν υλικά από ανακυκλωμένα ελαστικά αυτοκινήτων [17] [18]

[19] τα οποία, αφού ενσωματώθηκαν στην άσφαλτο, οδήγησαν σε μείωση των επιπέδων θορύβου μέχρι και 3 dB. Από διαφορετική σκοπιά, οι Samara & Tsitsoni [20], [21] έδειξαν ότι ο θόρυβος μειώνεται σημαντικά (μέχρι και 6 dB) όταν περνάει μέσα από μία ζώνη ψηλών. Προς την ίδια κατεύθυνση, οι Parafotiou et al. [22] πραγματοποίησαν μετρήσεις σε διάφορα σημεία του Εθνικού Κήπου της Αθήνας και διαπίστωσαν ότι η ψηλή βλάστηση και το ανάγλυφο συμβάλλουν θετικά στη μείωση του θορύβου, η οποία μπορεί να φτάσει μέχρι και 4 dB. Οι Sarantakopoulos et al. [23] και Kassomenos et al. [24] διαπίστωσαν ότι ο θόρυβος από την κυκλοφορία οχημάτων που φτάνει εντός των σχολικών κτιρίων επηρεάζεται κυρίως από τη διάταξη του σχολείου (π.χ. εσωτερική αυλή) καθώς από την ύπαρξη ηχομονωτικών παραθύρων. Οι Basbas et al. [25] προτείνουν τη χρήση της δημόσιας συγκοινωνίας και οχημάτων σύγχρονης τεχνολογίας ώστε να περιοριστεί ο αριθμός των οχημάτων που κυκλοφορούν στους δρόμους. Από την άλλη, έχει διαπιστωθεί ότι οι άνθρωποι αποφεύγουν τη χρήση των εναλλακτικών μέσων μετακίνησης γιατί τους ενοχλεί ο θόρυβος [26], δημιουργώντας έτσι έναν φαύλο κύκλο. Τέλος, μια διαφορετική προσέγγιση είναι η οριοθέτηση 'περιοχών ησυχίας' [27], [28], οι οποίες θα μπορούν να αποτελούν σημεία 'ανάρρωσης' από το θόρυβο.

Επιπτώσεις κυκλοφοριακού θορύβου
Ένας μικρός αριθμός μελετών εξετάζει τα επίπεδα θορύβου σε εσωτερικούς χώρους, ιδιαίτερα νοσοκομεία και σχολεία, καθώς ο θόρυβος που φθάνει σε χώρους ανάρρωσης και εργασίας παίζει σημαντικό ρόλο στην υγεία και την ποιότητα ζωής των ανθρώπων. Οι Tzekakis et al. [29] πραγματοποίησαν μετρήσεις θορύβου εντός του νοσοκομείου Παπαγεωργίου στη Θεσσαλονίκη, το οποίο βρίσκεται κοντά στην περιφερειακή οδό της πόλης, και διαπίστωσαν ότι τα επίπεδα θορύβου εντός του νοσοκομείου υπερβήναι τα επιτρεπτά όρια, με αποτέλεσμα οι ασθενείς να μην μπορούν να αναπαυτούν επαρκώς. Οι Sarantakopoulos et al. [23] και Kassomenos et al. [24] με βάση μετρήσεις σε 15 σχολεία της Αθήνας (εντός και εκτός των κτιρίων) και διαπίστωσαν ότι ο κυκλοφοριακός θόρυβος που έφτανε εντός των κτιρίων ήταν σε ορισμένες περιπτώσεις σημαντικός. Στον τομέα της υγείας, σημαντικός αριθμός μελετών συνδυάζει τον κυκλοφοριακό θόρυβο με άλλους επιβαρυντικούς για την υγεία παράγοντες, ιδιαίτερα με την ατμοσφαιρική ρύπανση [30]. Προς αυτή την κατεύθυνση, οι Vlachokostas et al. [31], [32] παρουσιάζουν μια μέθοδο που λαμβάνει υπόψη της και τους δύο επιβαρυντικούς παράγοντες ταυτόχρονα. Τέλος, έρευνες σε έξι ευρωπαϊκές χώρες, ανάμεσα στις οποίες και η Ελλάδα, έδειξε, μεταξύ άλλων αυξημένη λήψη αντι-όξινων σκευασμάτων ύστερα από 24ωρη έκθεση σε κυκλοφοριακό θόρυβο [30], [33].

Κοινωνικο-οικονομικές έρευνες
Σε αρκετές μελέτες, παράλληλα με τις μετρήσεις θορύβου πραγματοποιήθηκαν κοινωνικές έρευνες, καθώς η συμμετοχή και η άποψη των πολιτών είναι σημαντική στην προσπάθεια αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών προβλημάτων και προβλέπεται από τη νομοθεσία. Σε κοινωνική έρευνα που πραγματοποίησαν οι Basbas & Nikolaou [34] διαπιστώθηκε ότι οι κάτοικοι της Θεσσαλονίκης αναφέρουν την προστασία του περιβάλλοντος ως προτεραιότητά τους. Σε

αντίστοιχη έρευνα [35] διαπιστώθηκε ότι οι πολίτες ενοχλούνται ιδιαίτερα από τον κυκλοφοριακό θόρυβο, σε σχέση με τις υπόλοιπες πηγές περιβαλλοντικού θορύβου. Αντίστοιχη έρευνα διεξήχθη στη Θεσσαλονίκη [36] και διαπιστώθηκε ότι πολλοί από τους συμμετέχοντες προτιμούν να μένουν σε μια ήσυχη περιοχή έστω και αν χρειάζεται να δαπανούν περισσότερο χρόνο την ημέρα σε μετακινήσεις, ενώ περίπου οι μισοί είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν ποσό που κυμαίνεται στο 1-16% της τιμής του ακινήτου ώστε να αποφύγουν την ηχορύπανση. Παρόμοια διάθεση για πληρωμή, προκειμένου να μειωθεί ο θόρυβος, διαπιστώθηκε από τους Eliou et al. [7], καθώς οι πολίτες δήλωσαν διατεθειμένοι να πληρώσουν κατά μέσο όρο 7,6 ευρώ το χρόνο προκειμένου να χρηματοδοτηθούν προγράμματα περιορισμού του θορύβου.

Εφαρμογή της Κοινοτικής Οδηγίας 2002/49/ΕΚ
Στο πλαίσιο των όσων ορίζει η ευρωπαϊκή οδηγία για το θόρυβο, σε επίπεδο κρατών, η διαδικασία πλήρους συμμόρφωσης βρίσκεται σε εξέλιξη. Μέχρι σήμερα, έχουν εκπονηθεί μελέτες αξιολόγησης περιβαλλοντικού θορύβου για τα πολεοδομικά συγκροτήματα Αθήνας (κέντρο, νότια Αθήνα, βόρεια Αθήνα), Θεσσαλονίκης (Δήμος), Νεάπολης, Καλαμαριάς, Πειραιά, Σερρών, Ηρακλείου, Χανίων, Πάτρας, Ιωαννίνων, Καβάλας, Κέρκυρας, Αγρινίου, Λάρισας και Βόλου και έχουν συνταχθεί οι αντίστοιχοι χάρτες θορύβου. Οι μελέτες αυτές μπορούν να αναζητηθούν στην ιστοσελίδα του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Τα αποτελέσματα, τα προβλήματα και η πορεία τους έχουν παρουσιαστεί σε συνέδρια της Ελλάδας και του εξωτερικού [37], [38], [39]. Για την αποτελεσματικότερη εφαρμογή της Οδηγίας, οι Vasiliadis & Tzekakis [40] προτείνουν όρια θορύβου L_{den} και L_{night} τα οποία λαμβάνουν υπόψη τους τον τρόπο που οι πολίτες αντιλαμβάνονται το θόρυβο, ενώ οι Vogiatzis & Remy [41], προτείνουν τη χρήση ποιοτικών χαρακτηριστικών στους χάρτες σε συνδυασμό με τα ποσοτικά στοιχεία του θορύβου, για τον αποτελεσματικότερο σχεδιασμό των προγραμμάτων καταπολέμησης του θορύβου.

Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι ο αριθμός των μελετών του κυκλοφοριακού θορύβου είναι σημαντικός και αυξάνεται συνεχώς, ειδικά αναφορικά με τις μετρήσεις θορύβου. Υπάρχει, ωστόσο, σημαντικό περιθώριο βελτίωσης, ιδιαίτερα στους τομείς των μεθόδων περιορισμού του θορύβου και της αποτύπωσης της γνώμης των πολιτών, η οποία αποτελεί βασική παράμετρο για την επιτυχία οποιουδήποτε εθνικού ή τοπικού προγράμματος. Τέλος, ένας τομέας που χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση είναι η αλληλεπίδραση του αστικού κυκλοφοριακού θορύβου με άλλους παράγοντες και οι επιπτώσεις αυτής της αλληλεπίδρασης στα αστικά οικοσυστήματα και την ανθρώπινη υγεία, καθώς το περιβάλλον συνιστά ιδιαίτερα πολύπλοκο σύστημα και δεν είναι ένα απλό άθροισμα των στοιχείων που το αποτελούν.

Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν όλους όσοι μοιράστηκαν το έργο τους μαζί τους. Χωρίς τη συμβολή τους το συγκεκριμένο πόνημα δε θα ήταν δυνατόν να ολοκληρωθεί.