

# THE CONTRIBUTION OF THE PARK TREES TO THE ADAPTATION OF A CITY TO CLIMATE CHANGE. THE CASE OF THESSALONIKI

## Abstract

Parks do not just exist as elements of urban landscape, but they also play a vital role in the socio-economic development and sustainability of the cities. Therefore, planning and management of such spaces is a multi-discipline process that takes into account several factors. Climate change should be one of these factors, as it constitutes a severe problem of the 21st century and urban green potentially could contribute to its mitigation and to cities' adaptation at the same time. The aim of this paper is to investigate the contribution of urban green spaces to the mitigation of the greenhouse effect in the city of Thessaloniki, via the role of the trees as carbon sinks. In order to do so, a field data collection took place in three parks of the Municipality of Thessaloniki and park tree inventories were conducted, based on geographic information system (GIS). For the creation of this data base the GreenTree application has been used, and using this application, a set of 104 tree and site attributes for each tree were collected. In the three parks there are 661 individuals, from which 1.8% were dead and 1.9% had to be removed as they seemed to be dangerous for the citizens' safety or incorrectly established. Thus, the 638 alive trees have absorbed 159.5 tons of carbon, during their lifetime

**Keywords:** green infrastructure, urban trees, greenhouse effect, trees as carbon sinks, GreenTree Software

## 1. Introduction

The world is undergoing the largest wave of urban growth in history, as it is estimated that above half of the world population who live in urban regions will be twice as large by 2030 as the corresponding rural (Lang 1999; Sandberg 1999; Samara & Tsitsoni 2010). Urban green spaces are seen as an integral part of cities, providing a range of services to both people and wildlife living in urban areas (Wolf 2004; James et al. 2009).

According to NASA, the global temperature increased by 0.77°C since 1880, while the last 15 years there were the nine out of ten warmest summers (climate.nasa.gov). Natural and human factors cause changes in the Earth's energy balance, leading, among other to increased greenhouse effects. So, urban green spaces can play a central role in both climate-proof cities and in reducing the impact of cities on climate (Gill et al. 2007).

Global climate change should be taken into consideration during designing green spaces in the future. They can help to mitigate the consequences of climate change. Trees, especially when they are located close to buildings, can reduce temperatures, acting as natural air conditioners through their evapotranspiration and shading as well with their foliage, reducing energy consumption required to maintain comfortable climatic conditions. Even small green spaces can have a cooling effect. Parks of only 1 or 2 hectares have been found to be 2°C cooler than their surrounding areas (Shashua-Bar & Hoffman 2000; Kontogianni et al. 2011). Furthermore, urban trees can mitigate the impact of climate change through their role as carbon sinks. In order to apply the principles of Urban Forestry, and implement proper management measures in urban green spaces, it is essential to create an urban tree inventory, in order to collect and organize the necessary information about its quantity and quality (Tsitsoni et al. 2015b; Tsitsoni et al. 2015c; Kontogianni et al. 2013; Kontogianni 2017).

The main goal of this study is to investigate the role of urban park trees as carbon sinks, and their contribution to improve the ecological conditions of the cities and their adaptation to climate change. As a result, they contribute to the reduction of greenhouse effect, thus adapting cities to climate change.

Particularly:

- A census of trees of urban parks took place and their silvicultural characteristics were estimated and measured.
- The absorption of C via urban park trees was calculated

## 2. Materials and methods

### 2.1 Research area

Three urban parks were selected for this research, which are located in the municipality of Thessaloniki and they have special importance for the city and its inhabitants. The first which is called Kirillos and Methodios Park, is characterized as a neighborhood park approximately 0.52 ha and is located in the eastern part of the city. The second one is called Mina Patrikiou Park, and is also characterized as a neighborhood park, is 0.36 ha and is located in eastern Thessaloniki. The third one is Y.M.C.A. Park, which and could be characterized as a metropolitan park, as it is 2.5 ha and is located in the center of the city.

### 2.2 Method

For every single tree and potential tree site (pit) of the above mentioned urban parks a set of specific data was registered in order to develop an urban tree inventory, in which qualitative and quantitative information was included.

For this research GreenTree application was used, which has been created by specialist scientists in the framework of the research project "Creating an Integrated Model for Governmental Management in Urban Forest Management and the Adaptation of Cities to Climate Change". GreenTree application consists of two separate parts. The GreenTreeClient that was used in this survey and the GreenTree Manager. Using GreenTree Client simplifies tree logging and tracking because it integrates geodetic, recording, and photographic documentation functions under a single system. This also enables data to be uploaded to a server without the possibility of copying errors. As far as the GreenTree Manager application is concerned, it is a web based portal that is used for green management and citizens' communication with the Municipality on issues related to urban green (Tsitsoni et al. 2015b). Through the GreenTree Client Android application, 104 different tree and site characteristics have been collected. Breast diameter, tree and crown height were measured directly in the field with calipers and laser range finder/electronic hypsometer. Tree crown projection was calculated using ellipse equation and using the crown's four radii. The crown volume was calculated using standard geometric equations (Troxel et al. 2013; Tsitsoni et al. 2015a).

Park data were categorized into three classes in order to explain the results. The first one included trees with a height of less than 5m, the second one with a height of 5 to 10m and the third with a height of more than 10m.

Correspondingly, breast diameter divided into the following classes: trees less than 10cm, 10 to 20cm and more than 20cm and also crown volume in the following three classes: volume less than 20 m<sup>3</sup>, 20 to 100 m<sup>3</sup> and greater than 100m<sup>3</sup>.

Also, health condition of each tree has been assessed on the field. The location of each individual has been recorded, and a photographic evidence as well.

The sequestered carbon was calculated with the Chavan & Rasal (2010) equation based on

the model of allometric equations of Brown et al. (1989) as follows:

$$Y = \text{Exp} \{-2.4090 + 0.9522 * \ln (DBH^2 * H * S)\}$$

where:

Y: Total above ground biomass, in kilos (kg)  
 DBH: Diameter in breast height, in centimeters (cm)

H: Tree height, in meters (m)

S: Wood density, in grammars per cubic centimeters (g/cm<sup>3</sup>).

The wood density was found in the Wood Density Database or in the Atlas of Wood, Bark and Pith Anatomy of Eastern Mediterranean Trees and Shrubs (Crivellaro and Schweingruber 2013).

As tree dry biomass contains almost 50% carbon, the calculated park tree biomass was multiplied with 0.50 in order to calculate the sequestrated carbon (Tigges et al. 2017, Velasco et al. 2013, Aguaron and McPherson 2011, Nowak et al. 2008).

### 3. Results and discussion

The results showed that the three parks consist 661 trees. The 638 alive individuals belong to 27 plant families. Table 1 shows the 10 dominant species. It is noteworthy that the number of deciduous species (65%) is greater than the evergreen species (35%). Furthermore, 44.5 % of the species are indigenous.

Tab.1 - Frequency of species occurrence in parks

Species	Occurrence %
<i>Cupressus sempervirens</i>	9.08
<i>Sophora japonica</i>	9.08
<i>Pinus brutia</i>	8.77
<i>Laurus nobilis</i>	6.35
<i>Pittosporum tobira</i>	5.30
<i>Celtis australis</i>	4.84
<i>Ulmus minor</i>	4.69
<i>Acer negundo</i>	3.93
<i>Prunus laurocerasus</i>	3.03
<i>Olea europaea</i>	2.87

The silvicultural characteristics were as follows: The total crown volume was 138.485m<sup>3</sup> with the highest percentage (49.37%) belonging to the third class (Fig 1). The 42.7% of the trees had breast diameter of more than 20 cm, 23.2% ranged from 10 to 20 cm and 34.1% less than 10 cm (Fig 2). For height classes, the 44.9% was in the second class with a height of 5 to 10m (Fig 3).

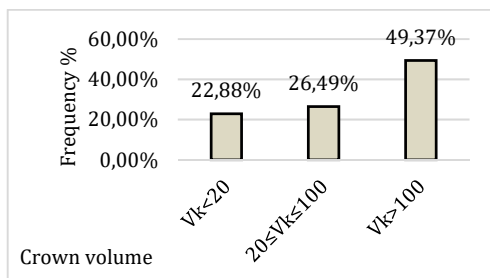


Fig.1 - Frequency Crown Volume Classes

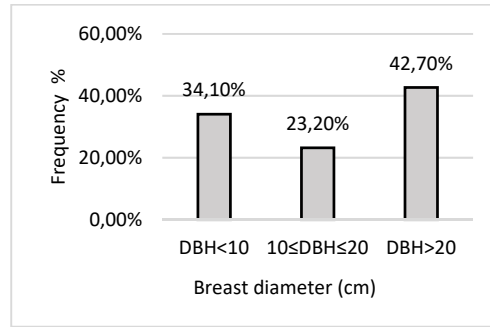


Fig.2 - Frequency in Diameter Classes

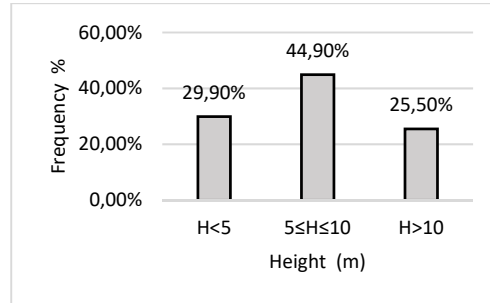


Fig.3 - Frequency in Height Classes

Tree health condition was to be moderate to excellent for 85.5%, 11.20% of the trees needed to be replaced, while there are 1.66% of empty pits (Table 2).

The management recommendations were proposed after in situ observations (Table 3). The total biomass is 319 tons and the sequestrated carbon 159, 5 tons. The species that absorb more C per individual are shown in the Table 4. According to a comparison between park trees and street trees, there has been found that trees in urban parks sequestrate more carbon than street trees, because they can reach higher dimensions (Tsitsoni et al. 2015a).

In Figures 4, 5 and 6, the position and health status of trees is shown. Especially, green color shows alive trees, yellow shows empty pits and red shows dead trees.

### 4, Conclusions

The conclusions are as follows:

- The 638 living individuals have sequestrated 159.5 tons of carbon during their lifetime.

Tab.2 - General view of tree health condition of the parks

Excellent condition	Good condition	Moderate condition	Bad condition	Worst condition	Dead	Empty pits
7,41%	25,71%	52,34%	10,30%	0,90%	1,89%	1,66%

Tab.3 - Management recommendation

Conservation	Maintenance	Removal	Replacement
25,26%	59,15%	1,96%	13,61%

Tab.4 - C absorption per individual (Kg)

Species	Biomass per individual (kg)	C absorption per individual (kg)
<i>Platanus orientalis</i>	3806	1903
<i>Ailanthus altissima</i>	1653	826,5
<i>Maclura pomifera</i>	1592	796
<i>Ulmus minor</i>	1560	780
<i>Populus nigra</i>	1366	683
<i>Sophora japonica</i>	1324	662
<i>Pinus brutia</i>	889	444,5
<i>Morus alba</i>	619	309,5
<i>Celtis australis</i>	569	284,5



Fig.4 - Kirillos and Methodios Park



Fig.5 - Mina Patrikiou Park



Fig.6 - Y.C.M.A. Park

- Park trees can reach higher dimensions of diameter, height and crown volume, as they do not subject to intense interventions (pruning).
  - Park trees can sequester larger amounts of carbon compared to street trees, as they have bigger growth space and they do not subject to intense interventions.
  - Health condition of 85.5% of the trees is moderate to excellent.
- The proposals for the parks of the Municipality of Thessaloniki are listed below:
- Use of native species as they have already adapted to the specific environmental conditions, while they are aesthetically compatible with the landscape.
  - Regular maintenance of trees to provide their maximum benefits.
  - Filling empty pits and replacing dead individuals for increasing the number of trees in the parks and consequently more carbon storage
  - Creation of urban digital inventory is essential as it is a basic tool for the management of the urban green spaces and the exercise of Urban Forestry principles.

## REFERENCES

- [1] Aguaron, E. and McPherson E. G., (2011). Chapter 3: Comparison of Methods for Estimating Carbon Dioxide Storage by Sacramento's Urban Forest. In: R. Lal and B. Augustin, eds. 2011. Carbon Sequestration in Urban Ecosystems. Springer
- [2] Crivellaro, A., Schweingruber, F. H. (2013) Atlas of Wood, Bark and Pith Anatomy of Eastern Mediterranean Trees and Shrubs with a Special Focus on Cyprus. Springer.
- [3] Gill S., Handley J., Ennos R., Pauleit S., (2007) Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. Journal of the Built Environment, 33 (1):115-133.
- [4] James P., et al. (2009) Urban Green – Towards an integrated understanding of greenspace in the built environment. Urban Forestry and Urban Greening, 8(2): 65-76.
- [5] Kontogianni, A., Tsitsoni, T., Goudelis, G., (2011) An index based on silvicultural knowledge for tree stability assessment and improved ecological function in urban ecosystems. Ecological Engineering, 37(6): 914-919.
- [6] Kontogianni, A.B. (2017). The Impact of Urban Green Structure and Composition on the Climate of the Cities. Doctoral dissertation (Thesis). Department of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki. (Supervisor Dr. Thekla Tsitsoni)
- [7] Kontogianni Aimilia, Tsitsoni Thekla, Goudelis Gerasimos, Vlachaki Despoina-Maria. (2013). The Urban Forest as a Regulator of the Urban Climate. Journal of Selcuk University Natural and Applied Science. vol.Special Issue-1 p.857-875.
- [8] Lang, W.W., (1999) Is noise policy a global issue, or is it a local issue? In: Cuschieri J., Glegg S. and Yan Yong (eds.), Proceedings of Internoise 99 -The 1999 International Congress on noise Control Engineering, Fort Landerdale: 1939-1943.
- [9] Nowak, D. J., Crane, D.E., Stevens, J. C., Hoehn, R. E., Walton, J. T. and Bond, J., (2008). A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services. Arboriculture and Urban Forestry, 34, pp. 347-358.
- [10] Samara T., & Tsitsoni T. (2010) The effects of vegetation on screening road traffic noise from

- a city ring road. Noise Control Engineering Journal, 59 (1): 68-74
- [11] Sandberg, U. (1999) Abatement of traffic, vehicle and tire/road noise- the global perspective. In: Cuschieri J., Glegg S. and Yan Yong (eds.), Proceedings of Internoise 99 - The 1999 International Congress on noise Control Engineering, Fort Landerdale: 37-42.
- [12] Shashua-Bar L and Hoffman M.E. (2000) Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. Energy and Buildings, 31(3): 221-235.
- [13] Tigges J., Churkina, G. and Lakes, T., (2017). Modeling above-ground carbon storage: a remote sensing approach to derive individual tree species information in urban settings. Urban Ecosystems, 20, pp. 97-111.
- [14] Troxel, B., Piana, M., Ashton, M. and Murphy-Dunning, C. (2013). Relationships between bole and crown size for young urban trees in the northeastern USA. Urban Forestry and Urban Greening, 12(2), pp.144-153.
- [15] Tsitsoni, T., Gounaris, N., Kontogianni, A., Xanthopoulou-Tsitsoni, V. (2015a) Creation of an Integrated System Model for Governance in Urban Forestry Management and for Adapting Cities to Climate Change: Preliminary Results. Ecologia Mediterranea, 41 (2): 33-44.
- [16] Tsitsoni, T., Gounaris, N., Kontogianni, A., Xanthopoulou-Tsitsoni, V. (2015b) Creation of a system of monitoring, evaluation and management of urban greenery for the adaptation of cities in climatic change. Proceedings of the Fifth International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics. Mykonos Island, Greece. ISBN: 978-960-6865-87-9.
- [17] Tsitsoni T., Gounaris N., Kontogianni B.A., Xanthopoulou-Tsitsoni V. (2015c) A Multidimensional Assessment of Urban Greening Aiming to the Urban Adaptation to the Climate Change, Proceedings of the Fifth International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics. 9, Mykonos Island, Greece. ISBN: 978-960-6865-87-9.
- [18] Velasco, E., Roth, M., Tan, S. H., Quak, M., Nabarro, S. D. A. and Norford, L., (2013). The role of vegetation in the CO2 flux from a tropical urban neighborhood. Atmospheric Chemistry and Physics, 13, pp. 10185-10202
- [19] Wolf K. L. (2004) Economics and public value of urban forests. Urban Agriculture Magazine. Issue on Urban and Peri-urban Forestry, 13:31-33.
- [20] <http://climate.nasa.gov/>. Accessed 23/8/2019.
- [21] <http://www.greentree.gr/>. Accessed 23/8/2019

## Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ ΤΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ. Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.

### Περίληψη

Η κλιματική αλλαγή είναι μία παράμετρος που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των χώρων αστικού πρασίνου κατά την άσκηση της Δασοκομίας πόλεων. Τα δένδρα λειτουργούν ως δεξαμενές άνθρακα συμβάλλοντας στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και συνεπώς στην προσαρμογή των πόλεων στην κλιματική αλλαγή. Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας ήταν να μελετηθεί η συμβολή των δένδρων των αστικών πάρκων στη βελτίωση των οικολογικών συνθηκών των πόλεων με αποτέλεσμα την προσαρμογή τους στην κλιματική αλλαγή. Χρησιμοποιώντας το λογισμικό GreenTree καταρτίστηκε ολοκληρωμένο ψηφιακό μητρώο δένδρων για τρία πάρκα του Δήμου Θεσσαλονίκης. Το

μητρώο αποτελείται από 661 εγγραφές, από τις οποίες οι 638 είναι ζωντανά δένδρα σε κάθε ένα από τα οποία μετρήθηκαν και εκτιμήθηκαν 104 χαρακτηριστικά. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ποσότητα άνθρακα που έχει δεσμευτεί από τα ζωντανά δένδρα είναι 159,5 τόνους.

**Λέξεις κλειδιά:** πράσινες υποδομές, αστικό πράσινο, φαινόμενο του θερμοκηπίου, δένδρα ως δεξαμενές άνθρακα, λογισμικό GreenTree

### Εισαγωγή

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει σήμερα η ανθρωπότητα είναι η αστικοποίηση (Brown 2001, Carreiro et al. 2008). Ο όρος εισήχθη το 1991 με σκοπό να δείξει το χαρακτήρα των περιοχών όπου ζουν οι άνθρωποι (Dijkstra and Poelman 2014). Σήμερα πάνω από το μισό του πληθυσμού της γης ζει στις πόλεις, ενώ υπολογίζεται ότι από το 2030 ο αστικός πληθυσμός αναμένεται να είναι δυο φορές μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο της υπαίθρου (Samara and Tsitsoni 2010). Σημαντικό πρόβλημα το οποίο πρέπει να αντιμετωπιστεί σε παγκόσμια κλίμακα είναι η αλλαγή του κλίματος με ιδιαίτερη βαρύτητα στην υπερθέρμανση του πλανήτη (Τσιτσώνη κ.ά. 2015). Η παγκόσμια θερμοκρασία σύμφωνα με τη NASA έχει αυξηθεί κατά 0,77°C από το 1880 (climate.nasa.gov). Πολλοί είναι οι παράγοντες οι οποίοι είτε προερχόμενοι από τη φύση, είτε προερχόμενοι από τον άνθρωπο, καθίστανται ικανοί να μεταβάλλουν το ενεργειακό ισοζύγιο της ατμόσφαιρας, το οποίο είναι αλληλένδετο με τη θερμοκρασία της Γης. Ένας από αυτούς τους παράγοντες είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι χώροι πρασίνου έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τις επιπτώσεις του τεχνητού περιβάλλοντος που έχει δημιουργηθεί εντός των πόλεων (Gill et al. 2007, Tsitsoni et al. 2015 b, Tsitsoni et al. 2015c, Kontogianni et al. 2013, Kontogianni 2017.) και να βοηθήσουν την προσαρμογή τους στην αλλαγή του κλίματος. Οι παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό των χώρων πρασίνου στο μέλλον. Μπορούν να βοηθήσουν στην άμβλυση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής κυρίως με ψύξη. Τα δέντρα, ειδικά όταν βρίσκονται κοντά στα κτίρια, μπορούν να μειώσουν τις θερμοκρασίες, ενεργώντας ως φυσικά κλιματιστικά μέσα από την εξατμισιοδιαπνοή τους και την παροχή σκιάς με το φύλλωμά τους, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για τη διατήρηση άνετων κλιματικών συνθηκών. Ακόμη και οι μικροί χώροι πρασίνου μπορούν να έχουν αποτέλεσμα ψύξης. Τα πάρκα μόνο 1 ή 2 εκταρίων έχουν βρεθεί 2°C πιο δροσερά από τις γύρω περιοχές (Kontogianni et al. 2011).

Το πρώτο βήμα ενός προγράμματος άσκησης Δασοκομίας Πόλεων το οποίο θα εμπεριέχει την εγκατάσταση βλάστησης, δασοκομικούς χειρισμούς καθώς και μέτρα συντήρησης, είναι ο εντοπισμός και η περιγραφή των πλεονεκτημάτων του αστικού πρασίνου μιας περιοχής. Δομείται ένα ολόκληρο μητρώο για κάθε άτομο και μέσα από αυτό εξάγονται δεδομένα που αφορούν τα χαρακτηριστικά, την ποσότητα και την ποιότητα της βλάστησης. Μια τέτοια απογραφή διευκολύνει το έργο της παρακολούθησης της κατάστασης και τη διαχείριση της αστικής βλάστησης και γενικότερα των πράσινων χώρων. Στην Ελλάδα ωστόσο υπάρχει μεγάλο πρόβλημα από την έλλειψη προτύπων και πρωτοκόλλων (Τσιτσώνη κ.ά. 2015). Σκοπός της έρευνας ήταν να καταγραφούν όλα τα είδη δένδρων που χρησιμοποιούνται στα αστικά πάρκα και να μελετηθεί η συμβολή τους στη βελτίωση των οικολογικών συνθηκών των πόλεων με αποτέλεσμα την προσαρμογή τους στην κλιματική αλλαγή. Το πράσινο λειτουργεί ως δεξαμενή C και έτσι συμβάλλει έμμεσα στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ειδικότερα:

- Έγινε απογραφή όλων των δένδρων κάθε πάρκου και εκτιμήθηκαν τα δασοκομικά τους χαρακτηριστικά.
- Υπολογίσθηκε η δέσμευση άνθρακα από τα δένδρα των πάρκων.



## Υλικά και Μέθοδοι

Περιοχή έρευνας ορίστηκε ο Δήμος Θεσσαλονίκης. Επιλέγησαν τρία πάρκα του Δήμου, τα οποία αποτελούν χώρους ιδιαίτερης σημασίας για την πόλη και τους κατοίκους της. Το πρώτο είναι το πάρκο της Χ.Α.Ν.Θ., ένα μητροπολιτικό πάρκο το οποίο έχει έκταση καθαρού πρασίνου 2,5 ha. Βρίσκεται στο κέντρο της πόλης και είναι ιδιαίτερα πυκνό ως προς τα δασοπονικά είδη που περιέχει τόσο από άποψη πληθώρας ατόμων όσο και από ποικιλότητα των ειδών. Το δεύτερο, που βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα της πόλης, είναι το πάρκο Κυρίλλου και Μεθοδίου, με έκταση καθαρού πρασίνου 0,52 ha. Χαρακτηρίζεται ως πάρκο γειτονιάς λόγω της έκτασής του και συνορεύει με δρόμο υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου. Το τρίτο είναι το πάρκο Μηνά Πατρικίου, βρίσκεται και αυτό στο ανατολικό τμήμα της πόλης, καταλαμβάνει έκταση καθαρού πρασίνου 0,36 ha, είναι πάρκο γειτονιάς και συνορεύει με δρόμους χαμηλού κυκλοφοριακού φόρτου.

Για την έρευνα χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό GreenTree (<http://www.greentree.gr>), το οποίο αναπτύχθηκε από εξειδικευμένους επιστήμονες στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «Δημιουργία ολοκληρωμένου προτύπου συστήματος για την κυβερνητική στη διαχείριση της αστικής δασοπονίας και την προσαρμογή των πόλεων στην κλιματική αλλαγή», περιλαμβάνει ένα σύνολο διαδικασιών, υπηρεσιών και προϊόντων που θεωρούνται απαραίτητα για την ύπαρξη ολιστικής προσέγγισης στην άσκηση της Δασοκομίας Πόλεων. Το λογισμικό GreenTree αποτελείται από δύο επιμέρους εφαρμογές. Η πρώτη ονομάζεται GreenTree Client το οποίο χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη έρευνα και η δεύτερη ονομάζεται GreenTree Manager. Η χρήση της εφαρμογής GreenTree Client απλοποιεί την καταγραφή και παρακολούθηση των δένδρων διότι ενσωματώνει λειτουργίες γεωγραφικού εντοπισμού, καταγραφής και φωτογραφικής τεκμηρίωσης κάτω από ένα ενιαίο σύστημα. Έτσι επιτυγχάνεται και η μεταφόρτωση των δεδομένων σε έναν διακομιστή χωρίς πιθανότητα λαθών αντιγραφής. Όσο αφορά την εφαρμογή GreenTree Manager, πρόκειται για ένα web based portal το οποίο χρησιμοποιείται για τη διαχείριση πρασίνου και την επικοινωνία των πολιτών για με το Δήμο για θέματα που αφορούν το αστικό πράσινο (Τσιτσώνη κ.ά. 2013).

Κατά τη διάρκεια της απογραφής κάθε δένδρο του πάρκου καταχωρήθηκε, προκειμένου να καταρτιστεί ένα ολοκληρωμένο μητρώο, το οποίο να περιέχει κάθε δυνατή ποιοτική και ποσοτική πληροφορία (ύψος δένδρου και κόμης, στηθαία διάμετρος, δεδομένα υγείας δένδρου).

Στα ποσοτικά χαρακτηριστικά ανήκουν το ύψος του δένδρου, η στηθαία διάμετρος, το ύψος και οι ακτίνες της κόμης. Η στηθαία διάμετρος, το ύψος των δένδρων και το ύψος της κόμης μετρήθηκαν άμεσα, στο πεδίο, χρησιμοποιώντας μεταλλικό παχύμετρο και υψόμετρο laser. Οι ακτίνες της κόμης μετρήθηκαν σε m ανά δύο κάθετες μεταξύ τους (R1, R2, R3, R4). Ο όγκος της κόμης υπολογίστηκε με χρήση τυποποιημένων γεωμετρικών εξισώσεων (Troxel et al. 2013, Tsiitsoni et al 2015a). Τα δεδομένα που αφορούν στο ύψος των δένδρων των πάρκων κατηγοριοποιήθηκαν σε τρεις κλάσεις. Στην πρώτη περιλαμβάνονται δένδρα με ύψος μικρότερο των 5m, στη δεύτερη με ύψος από 5 έως 10m και στην τρίτη με ύψος μεγαλύτερο των 10m. Επίσης τα δεδομένα που αφορούν στη στηθαία διάμετρο των δένδρων χωρίστηκαν στις εξής κλάσεις: δένδρα μικρότερα των 10cm, από 10 έως 20cm και μεγαλύτερα των 20cm και του όγκου της κόμης στις εξής τρεις κλάσεις: όγκος μικρότερος των 20m<sup>3</sup>, από 20 έως 100m<sup>3</sup> και μεγαλύτερος των 100m<sup>3</sup>.

Στα ποιοτικά χαρακτηριστικά εξετάστηκαν τα δεδομένα υγείας του κάθε ατόμου υπό συνθήκες λεπτομερούς παρατήρησης. Επιπλέον, απογράφηκε με τη χρήση GPS η ακριβής θέση του κάθε ατόμου και αποτυπώθηκε φωτογραφικά η βάση και η συνολική του εικόνα.

Το διοξειδίο του άνθρακα το οποίο δεσμεύεται από τα δένδρα υπολογίστηκε από τον μαθηματικό τύπο των Chavan and Rasal (2010), οι οποίοι βασίζονται στο μοντέλο αλλομετρικών εξισώσεων των Brown et al. (1989), ανέπτυξαν την παρακάτω εξίσωση:  $Y = \text{Exp} \{ -2,4090 + 0,9522 * \ln (DBH^2 * H * S) \}$  όπου, Y: η συνολική υπέργεια βιομάζα, σε κιλά (kg), DBH: η στηθαία διάμετρος, σε εκατοστά (cm), H: το συνολικό ύψος του δένδρου, σε μέτρα (m), S: η πυκνότητα του ξύλου, σε γραμμάρια ανά κυβικά εκατοστά (g/cm<sup>3</sup>).

Το συνολικό ύψος του δένδρου και η στηθαία διάμετρος εξάγονται από το μητρώο που καταρτίστηκε. Η πυκνότητα του ξύλου βρέθηκε μέσω της διεθνούς βάσης δεδομένων Wood Density Database και μέσω του Atlas of Wood, Bark and Pith Anatomy of Eastern Mediterranean Trees and Shrubs (Crivellaro and Schweingruber 2013). Η συνολική βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε C με συντελεστή πολλαπλασιασμού το 0,50, εφόσον μόνο το 50% της ξηρής βιομάζας αντιστοιχεί σε άνθρακα (Tigges et al. 2017, Velasco et al. 2013, Aguaron and McPherson 2011, Nowak et al. 2008)

## Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στα τρία πάρκα καταγράφηκαν 661 δένδρα εκ των οποίων τα 638 είναι ζωντανά και ανήκουν σε 53 είδη, 27 οικογενειών. Στον Πίνακα 1 φαίνονται τα 10 κυρίαρχα είδη. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα φυλλοβόλα υπερτερούν σε ποσοστό (65%) έναντι των αειφυλλων (35%).

Αναλυτικά τα μεγέθη των δασοκομικών χαρακτηριστικών έχουν ως εξής: Ο συνολικός όγκος της κόμης των δένδρων ανέρχεται στα 138.485m<sup>3</sup> με το μεγαλύτερο ποσοστό (49,37%) να ανήκει στην τρίτη κλάση (Σχήμα 1). Το 42,7% των δένδρων έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από 20cm, το 23,2% κυμαίνεται από 10 έως 20cm και το 34,1% είναι μικρότερη από 10cm (Σχήμα 2). Όσον αφορά στις κλάσεις ύψους, το μεγαλύτερο ποσοστό 44,9% δένδρων ανήκει στη δεύτερη κλάση με ύψος από 5 έως 10m (Σχήμα 3).

Τα αποτελέσματα που αφορούν στην κατάσταση υγείας των δένδρων, δείχνουν ότι το 78,05% ήταν μέσης και καλής κατάστασης και το 11,20% ήταν κακής και χειρίστης κατάστασης (Πίνακας 2). Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι προτεινόμενοι χειρισμοί και τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν, όπως διαπιστώθηκε από τις επί τόπου παρατηρήσεις. Πιο συγκεκριμένα όμως, και συγκριτικά μεταξύ των πάρκων, αυτό του Μηνά Πατρικίου φαίνεται να έχει τα μεγαλύτερα ποσοστά δένδρων κακής και χειρίστης κατάστασης, 22% (11 στα 50 δένδρα) και 4% (2 στα 50 δένδρα) αντίστοιχα (Πίνακας 4).

Υπολογίστηκε ότι η συνολική βιομάζα, των δένδρων των τριών πάρκων, ανέρχεται σε 319 τόνους και ο δεσμευμένος άνθρακας σε 159.5 τόνους. Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται τα είδη με τη μεγαλύτερη δέσμευση C κατά άτομο. Τα δένδρα των πάρκων δεσμεύουν μεγαλύτερες ποσότητες C συγκριτικά με εκείνα των δασοστοιχιών λόγω των μεγαλύτερων διαστάσεων (Tsiitsoni et al. 2015a).

Στις φωτογραφίες 1, 2 και 3 αποτυπώνεται η ακριβής θέση και η κατάσταση της υγείας των δένδρων, η οποία καταδεικνύεται σε έγχρωμη αποτύπωση ως εξής: με πράσινο χρώμα ορίζονται τα ζωντανά δένδρα, με κίτρινο οι κενές δασοτομές και με κόκκινο τα νεκρά δένδρα που πρέπει να απομακρυνθούν (Tsiitsoni 2015a).

## Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγει η παρούσα έρευνα είναι:

- Τα 638 ζωντανά δένδρα των πάρκων έχουν δεσμεύσει 159,5 τόνους άνθρακα, κατά τη διάρκεια της ζωής τους μέχρι τώρα.
- Στα πάρκα δεν πραγματοποιούνται έντονες επεμβάσεις (κλαδεύσεις) κάτι το οποίο γίνεται φανερό από τον όγκο της κόμης, το ύψος και τη διάμετρο των δένδρων.
- Τα δένδρα των πάρκων δεσμεύουν μεγαλύτερες ποσότητες C συγκριτικά με

εκείνα των δασοστοιχιών λόγω των μεγαλύτερων διαστάσεων.

- Το μεγαλύτερο ποσοστό των δένδρων των πάρκων αποτελείται από άτομα μέσης και καλής κατάστασης υγείας.

Οι προτάσεις για τα πάρκα του Δήμου Θεσσαλονίκης παρατίθενται παρακάτω:

- Χρήση ιθαγενών ειδών καθώς εμφανίζουν μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα στις οικολογικές συνθήκες του περιβάλλοντος και συνάδουν αισθητικά με το τοπίο.
- Τακτική συντήρηση των δένδρων ώστε να παρέχουν τη μέγιστη ωφέλειά τους.
- Πλήρωση των κενών θέσεων και αντικατάσταση των νεκρών ατόμων ώστε να αυξηθεί ο αριθμός των δένδρων των πάρκων και κατά συνέπεια η δέσμευση του άνθρακα.
- Δημιουργία ηλεκτρονικού μητρώου για κάθε πάρκο της Θεσσαλονίκης και κάθε πάρκο της Ελλάδας. Τα μητρώα αποτελούν αξιόπιστα εργαλεία για τη διαχείριση των αστικών πράσινων χώρων και την άσκηση της Δασοκομίας Πόλεων.

## Ευχαριστίες

Εκφράζονται στην εταιρεία «Τεχνομοιολογία» για την τεχνολογική υποστήριξη κατά την εκπόνηση της παρούσας έρευνας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Aguaron, E. and McPherson E. G., (2011). Chapter 3: Comparison of Methods for Estimating Carbon Dioxide Storage by Sacramento's Urban Forest. In: R. Lal and B. Augustin, eds. 2011. Carbon Sequestration in Urban Ecosystems. Springer
- [2] Brown, L. (2001). Eco-economy. 1st Edition. New York: W.W. Norton.
- [3] Brown, S., Gillespie, A.J.R., Lugo, A.E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with application to forest inventory data. Forest Science.35: 881-902.
- [4] Carreiro, M., Song, Y. and Wu, J. (2008). Ecology, planning, and management of urban forests. 1st Edition. New York: Springer.
- [5] Chavan, B. L., Rasal, G. B. (2010). Sequestered standing carbon stock in selective tree species grove in University campus in Aurangabad, Maharashtra, India. International Journal of Engineering Science and Technology. 2(7): 3003-3007.
- [6] Crivellaro, A., Schweingruber, F. H. (2013). Atlas of Wood, Bark and Pith Anatomy of Eastern Mediterranean Trees and Shrubs with a Special Focus on Cyprus. Springer.
- [7] Dijkstra L. and Poelman H., (2014). A harmonized definition of cities and rural areas: the new degree of urbanization. European Commission Directorate-General for Regional and Urban Policy.
- [8] Gill, S., Handley, J., Ennos, A. and Pauleit, S. (2007). Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. Built Environment. 33(1): pp.115-133.
- [9] Κοντογιάννη Αιμιλία (2017). Επίδραση της δομής και σύνθεσης του αστικού πρασίνου στη διαμόρφωση του κλίματος των πόλεων. Διδακτορική διατριβή, σελ.240.
- [10] Kontogianni Aimilia, Tsiitsoni Thekla, Goudelis Gerasimos, Vlachaki Despoina-Maria (2013). The Urban Forest as a Regulator of the Urban Climate. Journal of Selcuk University Natural and Applied Science. vol.Special Issue-1 p.857-875.
- [11] Nowak, D. J., Crane, D.E., Stevens, J. C., Hoehn, R. E., Walton, J. T. and Bond, J., (2008). A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services. Arboriculture and Urban Forestry, 34, pp. 347-358.
- [12] Samara, T., and Tsiitsoni, T. (2010). The effects of vegetation on screening road traffic noise from a city ring road. NoiseControlEngineering Journal. 59(1): pp. 68-74.
- [13] Tigges J., Churkina, G. and Lakes, T., (2017). Modeling above-ground carbon storage: a remote sensing approach to derive individual tree species information in urban settings. Urban Ecosystems, 20, pp. 97-111.
- [14] Troxel, B., Piana, M., Ashton, M. and Murphy-Dunning, C. (2013). Relationships between bole and crown size for young urban trees in the northeastern USA. Urban Forestry and Urban Greening. 12(2): pp.144-153.
- [15] Tsiitsoni, T., Tsakalidimi, M., Tsouri, C. (2013). Seed treatments to break dormancy and stimulate germination in *Cercis siliquastrum* L. and *Carpinus orientalis* Mill. African Journal of Agricultural Research. vol.8 35: pp 4501-4505.
- [16] Tsiitsoni, T., Gounaris, N., Kontogianni, A., Xanthopoulou-Tsiitsoni, V. (2015a). Creation of an Integrated System

*Model for Governance in Urban Forestry Management and for Adapting Cities to Climate Change: Preliminary Results. Ecologia Mediterranea. Vol. 41 (2).*

- [17] Tsitsoni, T., Gounaris, N., Kontogianni, A., Xanthopoulou-Tsitsoni, V. (2015b). *Creation of a system of monitoring, evaluation and management of urban greenery for the adaptation of cities in climatic change. Proceedings of 5th International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics. June 14-18 2015 ISBN: 978-960-6865-87-9, Mykonos island, Greece.*
- [18] Tsitsoni, T., Gounaris, N., Kontogianni, A., Xanthopoulou-Tsitsoni, V. (2015c). *A Multidimensional Assessment of Urban Greening Aiming to the Urban Adaptation to the Climate Change. Proceedings 5th International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning*

*and Economics. June 14-18 2015 ISBN: 978-960-6865-87-9, Mykonos island, Greece.*

- [19] Tsitsoni, T., Gounaris, N., Kontogianni, A., Xanthopoulou-Tsitsoni, V. (2017). *Criteria and Indices for a holistic evaluation of Urban Greening. Frizenius (in press).*
- [20] Τσιτσώνη, Θ., Γούναρης, Ν., Κόντος, Κ., Φασούλας, Φ., Παπασπυρόπουλος, Κ., Συμενίδης, Π.,
- [21] Κοντογιάννη, Α., Ματζιρίης, Ε., Παπαδόπουλος, Θ., Βλαχάκη, Δ., Σωτηριάδης, Δ., Ξανθοπούλου-Τσιτσώνη, Β., Χατζηκυριάκου, Ι. (2013). *Προδιαγραφές σύνταξης στρατηγικών σχεδίων αειφορικής διαχείρισης αστικής δασοπονίας στα πλαίσια του Έργου: Δημιουργία ολοκληρωμένου προτύπου συστήματος για την κυβερνητική στη διαχείριση της αστικής δασοπονίας και την προσαρμογή των πόλεων στην κλιματική αλλαγή. 1η έκδοση. 74 σελ.*

- [22] Τσιτσώνη Θ., Γούναρης, Ν., Κοντογιάννη Α., Ξανθοπούλου-Τσιτσώνη Β., (2015). *Δημιουργία Προτύπου Συστήματος για την Κυβερνητική της Δασοπονίας και των Προστατευόμενων Περιοχών στη Βιώσιμη Ανάπτυξη. Πρακτικά 17ου Πανελληνίου Δασολογικού Συνέδριου, Οκτώβριος 4-7, 2015, Κεφαλλονιά. σελ. 457-467.*
- [23] Velasco, E., Roth, M., Tan, S. H., Quak, M., Nabarro, S. D. A. and Norford, L., (2013). *The role of vegetation in the CO2 flux from a tropical urban neighborhood. Atmospheric Chemistry and Physics, 13, pp. 10185–10202*
- [24] <http://climate.nasa.gov/>. Accessed 23/8/2019.
- [25] <http://www.greentree.gr/>. Πρόσβαση 23/8/2019