

## ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΩΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΑΘΗΝΑΙΩΝ

Τόγια Α.<sup>1,2</sup>, Καραϊσκού Κ.<sup>3</sup>, Αμπελιώτης Κ.<sup>3</sup>, Χαριτοπούλου Ρ.<sup>2</sup>, Λαζαρίδη Α.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας

<sup>2</sup>Αναπτυξιακή Εταιρεία Δήμου Αθηναίων

<sup>3</sup>Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας & Οικολογίας

### Περίληψη

Ένα τεχνο-οικονομικό μοντέλο προσομοίωσης αναπτύχθηκε ως εργαλείο λήψης αποφάσεων, για να διερευνηθεί τις επιδόσεις ανακύκλωσης και ανάκτησης που επιτυγχάνονται από τα διάφορα σχήματα διαλογής στη πηγή που εφαρμόζονται σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο. Το μοντέλο αναπτύσσοντας διαφορετικά σενάρια, συγκρίνει τα επιτεύγματα – επιδόσεις των συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων που υφίστανται ή σχεδιάζονται να εφαρμοστούν με τους ποσοτικούς στόχους που υιοθετούνται από τις πολιτικές διαχείρισης απορριμμάτων. Η καινοτομία του μοντέλου επικεντρώνεται στη λεπτομερή ανάλυση και περιγραφή του υποσυστήματος διαλογής στη πηγή και συλλογής των ανακυκλώσιμων υλικών. Αυτό αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για το σχεδιασμό και την αξιολόγηση της απόδοσης της εφαρμογής του συστήματος σε πλήρη κλίμακα. Το μοντέλο εφαρμόζεται σε τοπικό επίπεδο, χρησιμοποιώντας ως περίπτωση μελέτης τα τρία πιλοτικά προγράμματα ανακύκλωσης που αναπτύχθηκαν στο Δήμο Αθηναίων. Τα αποτελέσματα του μοντέλου υποδεικνύουν ότι η εφαρμογή των πιλοτικών προγραμμάτων σε πλήρη κλίμακα πιθανόν δεν θα επαρκέσει για την επίτευξη των στόχων ανακύκλωσης του Δήμου, και έτσι προτείνονται συμπληρωματικές ενέργειες.

### MODEL DEVELOPMENT AS A DECISION SUPPORT TOOL FOR ALTERNATIVE PACKAGING WASTE MANAGEMENT SYSTEMS: APPLICATION IN THE MUNICIPALITY OF ATHENS

Togia A.<sup>1,2</sup>, Karaiskou K.<sup>3</sup>, Abeliotis K.<sup>3</sup>, Haritopoulou R.<sup>2</sup>, Lazaridi K.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Harokopio University, Department of Geography

<sup>2</sup>Municipality of Athens Development Agency

<sup>3</sup>Harokopio University, Department of Home Economics and Ecology

### Abstract

A techno-economical simulation is developed as a decision support tool in order to investigate recycling and recovery performances achieved by different source separation schemes at a local, regional and national level. The model compares the achievements-performance of existing or planned waste management systems under different scenarios with the quantitative targets adopted by waste management policies. The novelty of the model lies in the detailed analysis and description of the source separation and collection sub-system for recyclables. This provides a useful tool for planning and evaluating the efficiency of full-scale system implementation, as well as solid waste management policies. The application of the model at a local level is presented, using as a case study the three different pilot recycling schemes developed in the Municipality of Athens. Results indicate that full-scale implementation of these pilot schemes may not be able to deliver the recycling targets of the Municipality; therefore, additional actions are proposed.

**Λέξεις κλειδιά:** απόβλητα συσκευασίας, ανακύκλωση, μοντέλο, διαλογή στη πηγή, Δήμος Αθηναίων.

**Key words:** packaging waste, recycling, model, source separation, Municipality of Athens.

## 1. Εισαγωγή

Ο Νόμος 2939/2001 για τις συσκευασίες και την εναλλακτική διαχείριση συσκευασιών και άλλων προϊόντων, που εναρμονίζει την εθνική νομοθεσία στη σχετική οδηγία 94/62/EK της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθορίζει τους ποσοτικούς στόχους της ελληνικής πολιτικής για τη διαχείριση των απορριμμάτων συσκευασίας, θεσπίζει μέτρα για την εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών, καθώς και την υποχρεωτική οργάνωση συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης από τους υπόχρεους διαχειριστές και τη συμμετοχή τους σε αυτά.

Στο πλαίσιο αυτό, οι ΟΤΑ καλούνται να αναπτύξουν ευρέως προγράμματα για τη διαλογή στη πηγή (ΔσΠ) και ανακύκλωση των απορριμμάτων συσκευασίας, με χρονικό ορίζοντα υλοποίησης περιορισμένο και χωρίς να διαθέτουν την απαιτούμενη εμπειρία, δεδομένου ότι η Ελλάδα, σε σχέση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες παρουσιάζει μεγάλη υστέρηση σε θέματα ανακύκλωσης. Με σκοπό την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, το σχεδιασμό των νέων τεχνικών λύσεων, προγραμμάτων και σχημάτων διαλογής στη πηγή και ανακύκλωσης καθώς και των διαπραγματεύσεων μεταξύ ΟΤΑ και εμπλεκόμενων φορέων (εγκεκριμένα συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης), η ανάπτυξη και εφαρμογή μοντέλων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ιδιαίτερα πολύτιμο εργαλείο.

Ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η εφαρμογή ενός συστήματος ΔσΠ και ανακύκλωσης σε μια περιοχή, κοινότητα, δήμο είναι ένα ιδιαίτερα δύσκολο εγχείρημα, τα αποτελέσματα του οποίου δεν είναι άμεσα ορατά (Tucker, 2003). Ο σχεδιασμός ενός προγράμματος ΔσΠ και ανακύκλωσης σε μια συγκεκριμένη περιοχή προϋποθέτει καταρχήν τη γνώση τόσο των ποιοτικών όσο και ποσοτικών χαρακτηριστικών των Αστικών Στερεών Αποβλήτων που παράγονται. Με βάση τα στοιχεία αυτά, προσδιορίζονται οι στόχοι του προγράμματος και των κριτηρίων αξιολόγησης των επιδόσεών του, με αναφορά σε συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα. Επιλέγονται τα υλικά-στόχοι, αυτά δηλαδή που θα διαχωριστούν από το ρεύμα των σύμμεικτων απορριμμάτων, η αποκομιδή των οποίων θα πραγματοποιηθεί από το σχήμα συλλογής ανακυκλώσιμων και τα οποία θα οδηγηθούν προς ανάκτηση. Εκτιμώνται οι αγορές για τα ανακτώμενα υλικά καθώς και τα έσοδα που θα προκύψουν από την πώλησή τους. Εκτιμώνται οι ποσότητες των ανακυκλώσιμων υλικών που θα ανακτηθούν με βάση το ποσοστό συμμετοχής των κατοίκων στο πρόγραμμα, η εκστρατεία ευαισθητοποίησης που θα το υποστηρίξει και το σχήμα διαχωρισμού και συλλογής που θα επιλεγεί (ERRA, 1998; Togia, 2003).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, τα μοντέλα επιτρέπουν την αξιολόγηση πιθανών εναλλακτικών προτάσεων ανάπτυξης του συστήματος, δύνανται να μελετήσουν μια πληθώρα σχημάτων και τεχνικών λύσεων και να εκτιμήσουν τις προβλεπόμενες επιδόσεις (για παράδειγμα ποσοστά ανάκτησης, ποσοστά εκτροπής, κόστος κλπ) αυτών, καθώς επίσης, να εξετάσουν τη συνολική απόδοση του συστήματος, σε πλήρη κλίμακα εφαρμογής, συγκριτικά με τους στόχους που το κάθε πρόγραμμα καλείται να επιτύχει.

## 2. Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Συστημάτων ΔσΠ και ανακύκλωσης

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την επιτυχία και τη βιωσιμότητα ενός συστήματος ΔσΠ και ανακύκλωσης είναι πολλές. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής, γεωγραφικά, κοινωνικό-οικονομικά, χωροταξικά και πολεοδομικά είναι κάποιες από αυτές. Επίσης, η ευαισθητοποίηση και περιβαλλοντική συμπεριφορά των πολιτών παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο, δεδομένου ότι επηρεάζουν άμεσα την συμμετοχή τους ή μη στο πρόγραμμα (Everett & Peirce, 1993; Hornik et al., 1995; Knussen et al., 2004).

Παράλληλα, η συμμετοχή των πολιτών επηρεάζεται και από τα τεχνικά χαρακτηριστικά

του προγράμματος ΔσΠ που εφαρμόζεται. Πιο συγκεκριμένα, ένα πρόγραμμα ΔσΠ που τα μέσα προσωρινής αποθήκευσης των ανακυκλώσιμων υλικών βρίσκονται κοντά στα σημεία παραγωγής των προς ανάκτηση αποβλήτων (πρόγραμμα πόρτα-πόρτα) παρουσιάζει σχετικά θετικά αποτελέσματα, λόγω του ότι ο πολίτης δεν χρειάζεται να διανύσει μεγάλη απόσταση και να καταβάλλει ιδιαίτερη προσπάθεια για να συμμετάσχει σ' αυτό. Αντίθετα, ένα πρόγραμμα που το δίκτυο συγκέντρωσης - αποθήκευσης των προς ανάκτηση υλικών εγκαθίσταται σε κεντρικά σημεία, δεν μπορεί να αναμένει ανάλογα αποτελέσματα. Στη τελευταία περίπτωση, κατά κύριο τακτική συμμετοχή εμφανίζουν οι έντονα ευαισθητοποιημένοι πολίτες, εκτός και εάν υπάρχει κάποιο είδος κίνητρου (Gonzalez-Torre and Adenso-Diaz, 2005; Williams & Taylor, 2004).

Επιπλέον, ο αριθμός των ρευμάτων στα οποία πρέπει να διαχωριστούν τα απορρίμματα επηρεάζει τη συμμετοχή των πολιτών στο πρόγραμμα ανακύκλωσης και κατ' επέκταση τις ανακτώμενες ποσότητες των υλικών-στόχων και την καθαρότητά τους. Στις μεγάλες πόλεις με πυκνή, κάθετη δόμηση και πιο συγκεκριμένα στα σύγχρονα νοικοκυριά, λόγω έλλειψης τις περισσότερες φορές χώρου αλλά και χρόνου, ο διαχωρισμός των παραγόμενων απορριμμάτων που προορίζονται προς ανάκτηση σε δυο, τρία ή και περισσότερα ρεύματα δυσχεραίνει τη προσπάθεια. Αντίθετα, ο διαχωρισμός των ανακυκλώσιμων σ'ένα ρεύμα αναμένεται πιο εφικτός (Togia, 2003).

Μεταβάλλοντας άλλοτε τον αριθμό των ρευμάτων και τα υλικά-στόχους (ρεύμα ανά υλικό ή ανάμεικτα ρεύματα 2, 3, 4 ή και περισσότερων υλικών) αλλά και τη μέθοδο συλλογής τους (πόρτα-πόρτα, κεντρικά σημεία), οι συνδυασμοί που προκύπτουν αναφορικά με τα σχήματα ΔσΠ που μπορούν να εφαρμοστούν είναι πολλοί και οι αποδόσεις του συστήματος διαφορετικές.

### 3. Περιγραφή του Μοντέλου

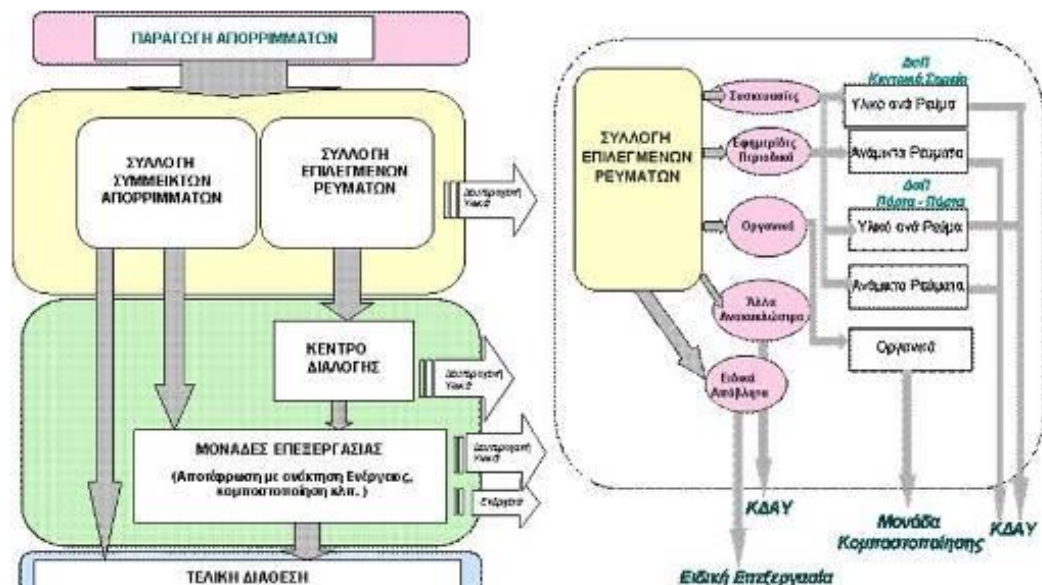
Στη παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα τεχνο-οικονομικό μοντέλο προσομοίωσης που αναπτύχθηκε για να διερευνήσει τις επιδόσεις (ποσοστά) ανακύκλωσης και ανάκτησης που επιτυγχάνονται από τα διάφορα σχήματα - προγράμματα ΔσΠ που μπορούν να εφαρμοστούν σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο. Σκοπός της παρούσας προσέγγισης είναι να συγκρίνει τις αποδόσεις των υφιστάμενων ή προβλεπόμενων συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης σε σχέση με τους ποσοτικούς στόχους που έχουν καθορίσει οι πολιτικές και στρατηγικές εναλλακτικής διαχείρισης, και στη συνέχεια να αναλύσει και να αξιολογήσει τις πολιτικές αυτές και να προτείνει σενάρια σύγκλισης. Το μοντέλο αναπτύχθηκε σε ένα φιλικό για το χρήστη περιβάλλον. Η αρχική του έκδοση αναπτύχθηκε σε πρόγραμμα EXCEL (Τόγια, 2003), γεγονός που επιτρέπει υψηλό βαθμό διαφάνειας στους σύνθετους υπολογισμούς της φυσικής και οικονομικής ροής του συστήματος. Με σκοπό την τυποποίηση και αυτοματοποίηση των εισερχόμενων στοιχείων, αλλά και την επιτάχυνση της διαδικασίας επεξεργασίας και υπολογισμού πολλών διαφορετικών σεναρίων παράλληλα, αναπτύχθηκε μια δεύτερη έκδοση του μοντέλου, στην οποία μεταγράφηκαν οι κωδικοί και οι υπολογισμοί των λογιστικών φύλλων σε πρόγραμμα MATLAB (Καραϊσκού,2006).

#### 3.1 Η δομή του μοντέλου

Το προτεινόμενο μοντέλο απεικονίζει όλες τις βασικές διαδικασίες και δραστηριότητες που χαρακτηρίζουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων (Tchobanoglous et al., 1993) από την παραγωγή ως την τελική διάθεση, συμπεριλαμβανοντας ρουτίνες (υπο-μοντέλα) για καθένα από αυτές (παραγωγή, ΔσΠ, συλλογή, επεξεργασία - τεχνικές και τεχνολογίες επεξεργασίας όπως κομποστοποίηση, αποτέφρωση με ανάκτηση ενέργειας, τελική διάθεση σε ΧΥΤΑ, κ.λπ.), γεγονός που επιτρέπει τη μοντελοποίηση και εξέταση ενός μεγάλου αριθμού διαφορετικών συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων, με συνδυασμό των διάφορων διαδικασιών και δραστηριοτήτων που συνθέτουν το σύστημα που μελετάται. Παράλληλα, κάθε βασική διαδικασία / δραστηριότητα του συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων μπορεί να απομονωθεί και να λειτουργήσει ως αυτόνομο μοντέλο, με

εισερχόμενα και εξερχόμενα ρεύματα απορριμμάτων, στα οποία αντιστοιχούν δαπάνες ή/και έσοδα (οικονομική ροή συστήματος). Η οικονομική αυτή ροή αποτυπώνεται με τη μορφή κόστους, φόρων, επιδοτήσεων, άλλων χρηματοδοτικών μηχανισμών και εσόδων από την πώληση ανακτώμενων υλικών και ενέργειας. Με βάση τις παραπάνω δυνατότητες, ο χρήστης του μοντέλου μπορεί να εργαστεί είτε σε λεπτομερές επίπεδο, αυτό της κάθε δραστηριότητας/υπο-μοντέλου, είτε σε υψηλότερο και πιο ολοκληρωμένο επίπεδο, συνδυάζοντας τις διάφορες διαδικασίες μεταξύ τους.

Όταν οι επιμέρους ρουτίνες (υπο-μοντέλα) χρησιμοποιηθούν ανεξάρτητα, επιτυγχάνεται η ανάλυση και διερεύνηση των επιπτώσεων που δύνανται να προκαλέσει μια οργανωτική ή τεχνολογική μεταβολή στη διαδικασία ή δραστηριότητα που μελετάται. Ο συνδυασμός όλων των παραπάνω υπο-μοντέλων απεικονίζει ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων, όπου μπορεί να εξετασθεί μία πληθώρα προσομοιώσεων.



Σχήμα 1. Σχηματική Παρουσίαση (α) της δομής του μοντέλου και (β) της ρουτίνας συλλογής.

Τα στοιχεία/δεδομένα εισόδου (inputs) του μοντέλου έχουν ομαδοποιηθεί σε τρεις κατηγορίες : i) τις τοπικές παραμέτρους (local parameters), που απεικονίζουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε τοπικού συστήματος (παραγωγή per capita, πληθυσμός που εξυπηρετείται από ένα σύστημα ΔσΠ, κόστος που προκύπτει από τα διάφορα σχήματα συλλογής που εφαρμόζονται κ.λπ.), ii) τις γενικές παραμέτρους (general parameters), που απεικονίζουν τα κοινά χαρακτηριστικά των διαφόρων τοπικών συστημάτων διαχείρισης απορριμμάτων (φυσικό-χημικά χαρακτηριστικά των διαφόρων ρευμάτων απορριμμάτων, αποδόσεις μιας μονάδας απόεξεργασίας ή κομποστοποίησης σε σχέση με τα υλικά ή την ενέργεια που ανακτάται, κόστος που συνεπάγονται οι διαφορετικές μέθοδοι επεξεργασίας, επιβάρυνση από την επιβολή φόρου στις ποσότητες απορριμμάτων που οδηγούνται για αποτέφρωση ή τελική διάθεση κλπ), iii) τις μεταβλητές προσομοίωσης (simulation variables), που αφορούν στις παραμέτρους εκείνες (πιο συγκεκριμένα φυσικής ροής ή/και οργανωτικής δομής) στις οποίες μπορούμε να προβούμε σε αλλαγές ώστε οι φυσικές αποδόσεις του συστήματος να συγκλίνουν με τους (ποσοτικούς) στόχους που αυτό καλείται να επιτύχει. Τα αποτελέσματα ή στοιχεία εξόδου (outputs) αφορούν σε σύνολο υλικών ή/και ενέργειας,

εκτιμήσεις κόστους και άλλες σχετικές πληροφορίες.

Ο καθορισμός των βασικών δεδομένων εισόδου στο μοντέλο προαπαιτεί την πραγματοποίηση πρωτογενών ερευνών και μελετών καθώς και εκτιμήσεων σχετικά με δημογραφικές παραμέτρους, παραγωγή και σύσταση απορριμμάτων, κόστη και επιδόσεις των μεθόδων συλλογής και επεξεργασίας κ.λπ. Το παρόν μοντέλο δεν ενσωματώνει κάποια ρουτίνα πρόβλεψης των παραγόμενων απορριμμάτων, η οποία μπορεί να αναπτυχθεί ανεξάρτητα για πολλαπλά τοπικά και χρονικά σενάρια, εάν απαιτηθεί. Συνεπώς, η μελλοντική εξέλιξη των δημογραφικών και μακροοικονομικών παραμέτρων στο μοντέλο εισάγεται εξωγενώς.

### 3.2 Απεικόνιση Συστήματος: Από τοπικό σε εθνικό επίπεδο

Υιοθετώντας μια προσέγγιση που βασίζεται σε «συστήματα-τύπους», που καθένα από αυτά αφορά στη συσπείρωση (απεικόνιση) μιας ομάδας τοπικών συστημάτων που εμφανίζουν τα ίδια χαρακτηριστικά από άποψη τεχνικών χαρακτηριστικών, φυσικών αποδόσεων και οργανωτικής δομής, το μοντέλο δύναται να απεικονίζει και να διερευνά διαφορετικά σενάρια διαχείρισης απορριμμάτων σε εθνικό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων μιας χώρας  $P$  ( $SN^P$ ) μπορεί να περιγραφεί (αποτυπωθεί) ως συνδυασμός ενός αριθμού διαφορετικών τοπικών συστημάτων "συστήματα - τύποι" ( $ST$ ), όπως δίνεται στην εξίσωση 1.

$$SN^P = \{ST_j\} \quad (1)$$

Όπου  $j=1,2,\dots,m$  ο αριθμός των "συστημάτων - τύπων" που αντιπροσωπεύουν το εθνικό σύστημα.

### 3.3 Καινοτομία και Εφαρμογές

Η καινοτομία του μοντέλου που αναπτύχθηκε, συγκριτικά με τις άλλες διαθέσιμες προσεγγίσεις, επικεντρώνεται στην λεπτομερή ανάλυση και περιγραφή του υποσυστήματος της συλλογής και πιο συγκεκριμένα, στη ΔσΠ και συλλογή επιλεγμένων ρευμάτων, κυρίως ανακυκλώσιμων. Αν και πολλά μοντέλα αναφέρονται στη ΔσΠ και ανακύκλωση, αυτά περιορίζονται στο υπολογισμό των αποτελεσμάτων αυτών των διαδικασιών, όπως για παράδειγμα στον υπολογισμό του ποσοστού ανάκτησης που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος του εξεταζόμενου συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων. Γενικότερα, αυτές οι προσεγγίσεις δεν εξετάζουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των διαφόρων σχημάτων και προγραμμάτων ΔσΠ, συλλογής και ανάκτησης που εφαρμόζονται.

Σε αντίθεση με τα περισσότερα μοντέλα που ασχολούνται, περιγράφουν και μοντελοποιούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων (παραγωγή - συλλογή - επεξεργασία-τελική διάθεση - βλέπε τα μοντέλα των Baetz & Neebe, Huhtala, MIMES/Waste, MWS) (Baetz & Neebe, 1994; Hultala, 1997; Sundberg, 1998) το μοντέλο που αναπτύχθηκε προτείνει μια πολύ αναλυτική παρουσίαση και μοντελοποίηση του συστήματος της ΔσΠ, συλλογής ανακυκλώσιμων και ανάκτησης υλικών. Αυτό επιτρέπει να εξετασθούν οι επιπτώσεις διαφορετικών σχημάτων διαλογής στη πηγή (καθορισμός υλικών-στόχων, αριθμός ρευμάτων, υλικό ανά ρεύμα, ανάμικτα ρεύματα) και τρόπων διαλογής στη πηγή και συλλογής (πόρτα-πόρτα, κάδοι σε κεντρικά σημεία) στις ποσότητες των ανακτώμενων υλικών, ως συνάρτηση : α) του πληθυσμού που συμμετέχει και εξυπηρετείται από τα προγράμματα που εφαρμόζονται; β) τις επιδόσεις *per capita* που επιτυγχάνονται; γ) το κόστος που συνεπάγεται η εφαρμογή των παραπάνω προγραμμάτων. Οι φυσικές επιδόσεις του συνόλου των σχημάτων / προγραμμάτων που εξετάζονται από το μοντέλο συγκρίνονται πάντα με τους στόχους που το πρόγραμμα καλείται να επιτύχει, λαμβάνοντας υπόψη τις σχετικές πολιτικές που υιοθετούνται.

Το μοντέλο που παρουσιάζεται στη παρούσα εργασία έχει ήδη εφαρμοστεί με επιτυχία, σε

εθνικό επίπεδο, με σκοπό να εξεταστεί τα συστήματα διαχείρισης οικιακών απορριμμάτων που εφαρμόζονται σε τρεις ευρωπαϊκές χώρες (Γαλλία, Δανία, Ελλάδα) και να αναδείξει πως οι πολιτικές που βασίζονται σε νέους χρηματοδοτικούς μηχανισμούς (εθελοντικές συμφωνίες – voluntary agreements) δύνανται να καταλήξουν σε επιδόσεις ανάκτησης που υπολείπονται σημαντικά από τους ποσοτικούς στόχους που καλούνται να επιτύχουν.

#### 4. Περίπτωση Μελέτης: Δήμος Αθηναίων

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζεται η εφαρμογή του παραπάνω μοντέλου σε τοπικό επίπεδο, χρησιμοποιώντας ως περίπτωση μελέτης τα τρία επιμέρους πιλοτικά προγράμματα ΔσΠ και ανακύκλωσης που έλαβαν χώρα στο Δήμο Αθηναίων (Τόγια *et al*, 2006). Για λόγους εμπιστευτικότητας τα οικονομικά στοιχεία του προγράμματος δεν είναι διαθέσιμα στη παρούσα φάση. Βασίζόμενοι στα αποτελέσματα των πιλοτικών αυτών προγραμμάτων ανακύκλωσης, το παραπάνω μοντέλο εφαρμόστηκε με σκοπό να εξετάσει τις επιδόσεις από την επέκταση και σε ευρεία κλίμακα εφαρμογή των τεχνικών λύσεων και σχημάτων που προτάθηκαν και μελετήθηκαν στο πλαίσιο των πιλοτικών προγραμμάτων, σε σύγκριση πάντα με τους ποσοτικούς στόχους που έχει καθορίσει ο Δήμος. Στην περίπτωση που οι ανακτώμενες ποσότητες δεν ανταποκρίνονται στους στόχους που έχουν τεθεί, εξετάζονται και αναπτύσσονται πολλαπλά σενάρια σύγκλισης.

##### 4.1 Περιοχή μελέτης, περιγραφή σχημάτων ΔσΠ και ανακύκλωσης

Είναι γενικά αποδεκτό ότι η ανάπτυξη ενός επιτυχούς προγράμματος ΔσΠ και ανακύκλωσης, ειδικά σε μια μεγάλη, αστική και πυκνοδομημένη περιοχή, αποτελεί πρόκληση ακόμη και σε χώρες με πολύ μεγαλύτερη εμπειρία και διαθέσιμα στοιχεία από την Ελλάδα (Everret & Pierce, 1993). Η έλλειψη στοιχείων για προγράμματα ανακύκλωσης στην Ελλάδα υποχρεώνει τους αρμόδιους φορείς σε μια προσεκτική και σταδιακή προσέγγιση που θα βασιστεί στην απόκτηση εμπειρίας μέσα από την ανάπτυξη πιλοτικών προγραμμάτων.

Ο Δήμος Αθηναίων έχει μια έκταση 37.953.568 m<sup>2</sup> και 959.434 km οδικό δίκτυο, πραγματικό πληθυσμό που ανέρχεται στους 754.000 κατοίκους (ΕΣΥΕ, στοιχεία 2001), ενώ μαζί με τους αλλοδαπούς και τους επισκέπτες που εισέρχονται καθημερινά στην πόλη, ο ημερήσιος πληθυσμός υπερβαίνει τα 2.240.000 άτομα, στοιχεία που την καθιστούν μια από τις πιο πυκνοδομημένες πόλεις στην Ευρώπη, με έντονα κυκλοφοριακά προβλήματα, αρκετούς στενούς δρόμους και πεζοδρόμια, και άλλες χωροταξικές και πολεοδομικές ιδιαιτερότητες. Τα χαρακτηριστικά αυτά δημιουργούν ιδιαίτερες δυσκολίες και περιορισμούς στην εγκατάσταση και εφαρμογή ενός συστήματος ΔσΠ, ο σχεδιασμός του οποίου αποτελεί ένα δύσκολο εγχείρημα. Παράλληλα, η ελλιπής ενημέρωση και ευαισθητοποίηση των πολιτών σε περιβαλλοντικά θέματα γενικότερα και διαχείρισης ανακυκλώσιμων υλικών ειδικότερα, δυσχεραίνουν το εν λόγω εγχείρημα.

Ο Δήμος Αθηναίων, λαμβάνοντας υπόψη ότι ένα πρόγραμμα ΔσΠ και ανακύκλωσης, ακόμα και εάν θεωρείται ιδιαίτερα επιτυχημένο στην περιοχή εφαρμογής του δεν μπορεί αυτοούσιο να αποτελέσει πρότυπο για άλλες περιοχές, έθεσε σε εφαρμογή ένα σχετικά καινοτόμο για τα ελληνικά δεδομένα, πρόγραμμα δράσης με σκοπό την απόκτηση εμπειρίας μέσα από την εφαρμογή πιλοτικής δοκιμής διαφόρων συστημάτων ΔσΠ και ανακύκλωσης αποβλήτων συσκευασίας και έντυπου χαρτιού σε διαφορετικές περιοχές του, με σκοπό την παρακολούθηση, και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από αυτή, με τελικό στόχο την ευρεία εφαρμογή ενός βιώσιμου και λειτουργικού συστήματος ανακύκλωσης στην Αθήνα.

Η πρωτοβουλία εφαρμογής των πιλοτικών προγραμμάτων ανακύκλωσης βασίστηκε σε μια συγκεκριμένη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ώστε να διασφαλιστεί, όσο είναι δυνατόν, η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων που θα προέκυπταν από αυτή την εφαρμογή. Η μεθοδολογία αυτή βασίστηκε στην εφαρμογή πιλοτικών προγραμμάτων και περιελάμβανε τα ακόλουθα στάδια: α) προσδιορισμό και οριοθέτηση αντιπροσωπευτικών περιοχών εφαρμογής των πιλοτικών προγραμμάτων, β) σχεδιασμό και αναλυτική περιγραφή των τεχνικών λύσεων που

εφαρμόζονται, γ) ενημέρωση και σφυγμομέτρηση της στάσης των πολιτών για θέματα σχετικά με την ανακύκλωση και δ) δημιουργία βάσης δεδομένων για την παρακολούθηση και αξιολόγηση των προγραμμάτων (ΑΕΔΑ, 2005).

Τα πιλοτικά προγράμματα που εφαρμόστηκαν αφορούν σε τρία διαφορετικά σχήματα ΔσΠ και ανακύκλωσης απορριμμάτων συσκευασίας και έντυπου χαρτιού όπως περιγράφεται στο Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Πιλοτικά προγράμματα ΔσΠ και ανακύκλωσης που εφαρμόστηκαν στο Δήμο Αθηναίων.

Σχήματα ΔσΠ και Ανακύκλωσης	Υλικά Στόχοι	Αριθμός ρευμάτων διαλογής/συλλογής	Υποδομές	Τρόπος Συλλογής
Πρόγραμμα Α	Απόβλητα Συσκευασίας και έντυπο χαρτί	1 ρεύμα	Κλασικός μπλέ κάδος 1.1 m <sup>3</sup>	Πόρτα – Πόρτα
Πρόγραμμα Β		3 ρεύματα	Μοντέρνοι μεταλλικοί κάδοι	σε κεντρικές οδούς
Πρόγραμμα Γ		5 ρεύματα	Ανταποδοτικά κέντρα	σε κεντρικά σημεία (πλατείες)

#### 4.2 Στόχοι, Σενάρια και Αποτελέσματα εφαρμογής

Με την προοπτική εφαρμογής της ανακύκλωσης στην Αθήνα σε πλήρη κλίμακα, οι στόχοι που υιοθετεί ο Δήμος Αθηναίων αφορούν στους στόχους που προβλέπει ο Νόμος 2939/2001 για τα απορρίμματα συσκευασίας, παρόλο που τόσο η νομοθεσία όσο και οι όποιες Εθνικές Στρατηγικές Διαχείρισης αποβλήτων στην Ελλάδα δεν προβλέπουν μέχρι σήμερα κατανομή των εθνικών στόχων ανακύκλωσης ανά Δήμο ή άλλη γεωγραφική ενότητα. Πιο συγκεκριμένα, ο Δήμος Αθηναίων αποσκοπεί (όταν φυσικά το σύστημα ανακύκλωσης που θα αναπτύχθει θα βρίσκεται σε συνθήκες πλήρους εφαρμογής) να επιτυγχάνει ένα ποσοστό ανακύκλωσης που θα κυμαίνεται μεταξύ 25-45% των παραγόμενων απορριμμάτων συσκευασίας (στόχος που προβλέπονταν να επιτευχθεί σε εθνικό επίπεδο μέχρι το τέλος του έτους 2005). Αναφορικά με το στόχο ανακύκλωσης για το έντυπο χαρτί, αυτός ανέρχεται στο 30% των παραγόμενων ποσοτήτων.

Ο Δήμος Αθηναίων παράγει καθημερινά 1.300 τόνους οικιακών και εμπορικών αποβλήτων (στοιχεία 2004), στους οποίους εκτιμάται ότι περίπου 553 και 211 τόνοι αφορούν στα απόβλητα συσκευασίας και έντυπου χαρτιού αντίστοιχα. Στο Σχήμα 2 δίνονται οι στόχοι ανακύκλωσης που θέτει ο Δήμος σε τόνους ανά ημέρα, ακόμα και εάν το χρονοδιάγραμμα επίτευξής τους διαφοροποιείται. Εξαιτίας της έλλειψης στοιχείων σχετικά με την ποιοτική ανάλυση των παραγόμενων απορριμμάτων στην Αθήνα, τα στοιχεία εισόδου που χρησιμοποιούνται για την σχετική εφαρμογή του μοντέλου αφορούν σε εκτιμήσεις του ΥΠΕΧΩΔΕ που πραγματοποιήθηκαν για τη σύνθεση των απορριμμάτων μεγάλων αστικών κέντρων στην Ελλάδα, σε συσχέτιση με τη σύνθεση των παραγόμενων αποβλήτων συσκευασίας.

Τα πρωτογενή στοιχεία που συγκεντρώθηκαν από την εφαρμογή των πιλοτικών προγραμμάτων στο Δήμο Αθηναίων αποτέλεσαν στοιχεία εισόδου στην αποτύπωση της «Υφιστάμενης Κατάστασης» (ΥΚ), καθώς και την αφετηρία των υποθέσεων στα άλλα δυο σενάρια που εξετάστηκαν. Το «Σενάριο 1» (Σ1) παρουσιάζει την εφαρμογή σε πλήρη κλίμακα του προγράμματος, όπως αυτή σχεδιάστηκε από τον Δήμο σε συνεργασία με τους εμπλεκόμενους φορείς. Στην περίπτωση που τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του «Σεναρίου 1», υποδεικνύουν ότι η εφαρμογή σε πλήρη κλίμακα του προγράμματος ΔσΠ και ανακύκλωσης όπως αυτή δίνεται στο Σ1, επιφέρει χαμηλότερα ποσοστά ανακύκλωσης από εκείνα που στοχεύει ο Δήμος Αθηναίων, επομένως, παρατηρείται,

απόκλιση από τους στόχους, αναπτύσσεται το «Σενάριο 2» (Σ2) (Πίνακας 2, Σχήμα 2). Στο «Σενάριο 2», προτείνονται συμπληρωματικές, διορθωτικές ενέργειες (Πρόγραμμα Δ), με σκοπό να επιτευχθεί σύγκλιση μεταξύ των εκτιμώμενων αποδόσεων του προγράμματος και των ποσοτικών στόχων που θέτει ο Δήμος (Πίνακας 2).

Η επιτυχία του κάθε σχήματος ΔσΠ και ανακύκλωσης βασίζεται στην επίτευξη ενός υψηλού ποσοστού συμμετοχής και παράλληλα ενός χαμηλού ποσοστού προσμίξεων ανεπιθύμητων υλικών και η οποία επιτυχία είναι σαφώς αποτέλεσμα της σωστής επικοινωνίας απλών οδηγίων και συμβουλών, καλά σχεδιασμένου υποστηρικτικού υλικού και τακτικής ενημέρωσης σχετικά με την πορεία του προγράμματος (Waite, 1995). Λαμβάνοντας υπόψη τα τελευταία, στο Σ1 και Σ2, πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες υποθέσεις σχετικά με τις επιδόσεις του προγράμματος: μια ευρεία εκστρατεία ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης των πολιτών έλαβε χώρα με επιτυχία, με αποτέλεσμα το ποσοστό συμμετοχής να αυξηθεί (περίπου 30%) και να μειωθούν τα ανεπιθύμητα υλικά στα συλλεγόμενα ρεύματα (Πίνακας 2, Σ1, Σ2).

Πίνακας 2. Υποθέσεις και Σενάρια.

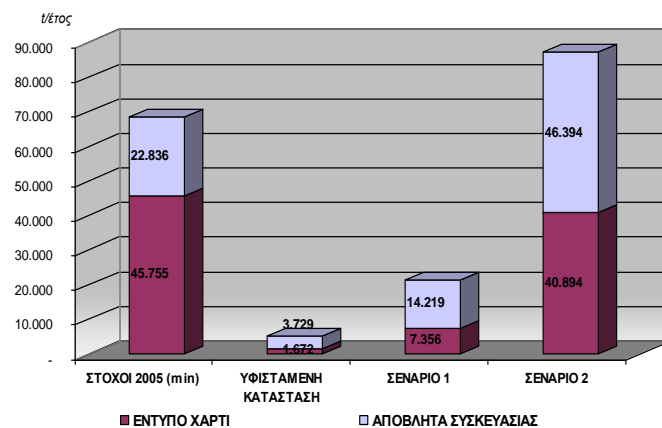
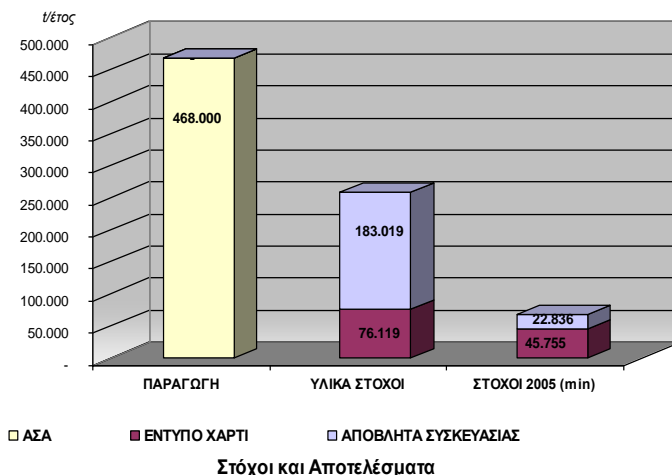
Προγράμματα	Επιδόσεις	Υφιστάμενη Κατάσταση (ΥΚ)	Σενάριο 1 (Σ1)	Σενάριο 2 (Σ2)
Πρόγραμμα Α	Αριθμός Κάδων	850	1.700	3.000
	Συλλεγόμενες Ποσότητες (kg/μήνα/κάδο)	486,54	632,51	632,51
	Ανακτώμενες Ποσότητες (kg/μήνα/κάδο)	273,49	411,13	442,76
	Ποσοστό Ανάκτησης (%)	56,21%	65%	70%
Πρόγραμμα Β	Αριθμός Κάδων	98	2.000	2.000
	Συλλεγόμενες Ποσότητες (kg/μήνα/κάδο)	220,31	286,40	286,40
	Ανακτώμενες Ποσότητες (kg/μήνα/κάδο)	193,61	257,76	257,76
	Ποσοστό Ανάκτησης (%)	87,88%	90%	90%
Πρόγραμμα Γ	Αριθμός Κέντρων	23	100	100
	Συλλεγόμενες Ποσότητες (kg/μήνα/κέντρο)	8.636,72	11.227,74	11.227,74
	Ανακτώμενες Ποσότητες (kg/μήνα/κέντρο)	8.636,72	11.227,74	11.227,74
	Ποσοστό Ανάκτησης (%)	100%	100%	100%
Πρόγραμμα Δ	Εμπορικά Απόβλητα Συσκευασίας και Έντυπο Χαρτί Ποσοστό Ανάκτησης (%)			40%

Η σύγκριση των ποσοστών ανακύκλωσης που προέκυψαν στο Σ1 με τους στόχους που έχουν τεθεί οδηγεί σε απόκλιση των δυο τιμών (Σχήμα 2). Στη περίπτωση αυτή, εξετάζεται το Σ2 με σκοπό να προταθούν και να αξιολογηθούν και νέες εναλλακτικές ενέργειες. Πιο συγκεκριμένα, προτάθηκε ένα συμπληρωματικό πρόγραμμα (Πρόγραμμα Δ), επικεντρωμένο στην ανάκτηση των εμπορικών απορριμμάτων συσκευασίας και του έντυπου χαρτιού, δεδομένου ότι ο Δήμος εφαρμόζει ήδη ειδικά πρόγραμμα συλλογής (αποκομιδής) απορριμμάτων στις εμπορικές περιοχές, καθώς επίσης και τη επέκταση του δικτύου των ειδικών κάδων (καμπάνες) για το έντυπο χαρτί σε Οργανισμούς, Υπηρεσίες και κυρίως σχολεία. Επιπλέον, υιοθετήθηκε η προτεινόμενη πυκνότητα δικτύου για τους μπλέ κάδους (1 κάδος ανά 250 κατοίκους) (ERRA, 1998).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου, η εφαρμογή σε πλήρη κλίμακα των



## Παραγωγή, Υλικά-Στόχοι και Στόχοι Ανακύκλωσης



Σχήμα 2. Η παραγωγή, τα υλικά στόχοι, οι στόχοι που θέτει ο Δήμος Αθηναίων και τα αποτελέσματα προσομοίωσης

πilotικών προγραμμάτων ΔσΠ και ανακύκλωσης (Σ1) δεν δύναται από μόνη της να προσεγγίσει τους στόχους ανακύκλωσης που θέτει ο Δήμος, ακόμα και αν οι επιδόσεις των προγραμμάτων βελτιωθούν. Τα ποσοστά ανάκτησης που προκύπτουν 7,85% για τα απορρίμματα συσκευασίας και 9,7% για το έντυπο χαρτί αντίστοιχα, βρίσκονται πολύ μακριά από τους επιθυμητούς στόχους. Όπως εξετάζεται στο Σ2, η εισαγωγή ενός συμπληρωματικού προγράμματος ΔσΠ και ανακύκλωσης των εμπορικών απορριμμάτων συσκευασίας κρίνεται απαραίτητο για να επιτευχθεί σύγκλιση μεταξύ επιδόσεων προγράμματος και στόχων (Σχήμα 2).

## 5. Συμπεράσματα

Στις μέρες μας, η ανάπτυξη εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης απορριμμάτων και ειδικά της ανακύκλωσης, αποτελεί προτεραιότητα των εθνικών, περιφερειακών και τοπικών στρατηγικών. Η εισαγωγή, ενός επιτυχημένου σχήματος ΔσΠ και ανακύκλωσης αποτελεί δύσκολο εγχείρημα αναφορικά τόσο με τη φυσική, την τεχνική, όσο και την οικονομική

βιωσιμότητα του συστήματος. Πολλά μοντέλα αναπτύχθηκαν τις τελευταίες δεκαετίες στο τομέα της διαχείρισης των αστικών στερών αποβλήτων, με σκοπό να υποστηρίξουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Το μοντέλο που παρουσιάστηκε στη παρούσα εργασία επικεντρώνεται στο υποσύστημα της ΔσΠ και συλλογής, που επιτρέπει να εξετάσει διάφορα σχήματα και τρόπους ανακύκλωσης και να αξιολογήσει τις επιδόσεις τους, συγκριτικά με τους στόχους που καλούνται να επιτύχουν. Η εφαρμογή του μοντέλου στο Δήμο Αθηναίων δύναται να παρέχει σημαντική πληροφόρηση σχετικά με τη πορεία του συστήματος που έχει λάβει χώρα, τις επιδόσεις που επιτυγχάνονται με την πλήρη εφαρμογή των πιλοτικών προγραμμάτων, όπως επίσης και περαιτέρω συμπληρωματικές ενέργειες.

### Ευχαριστίες

Η εργασία συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και εθνικούς Πόρους (ΕΠΕΑΕΚ ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ ΙΙ).

### Βιβλιογραφία

ΑΕΔΑ, 2005: Σχεδιασμός, Έρευνα, Παρακολούθηση και Αξιολόγηση των Πιλοτικών Προγραμμάτων Διαλογής στη πηγή και Ανακύκλωσης στο Δήμο Αθηναίων, Μελέτη για το Δήμο Αθηναίων, Αθήνα.

Καραϊσκού Κ., 2006: Εφαρμογή Συστημάτων Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων στη Διαχείριση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων, Διπλωματική Μεταπτυχιακών Σπουδών, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας και Οικολογίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Καλλιθέα.

Τόγια Α., Χαριτοπούλου Ρ., Λαζαρίδη Κ., 2006: Μεθοδολογία Ανάπτυξης Συστημάτων Ανακύκλωσης Αποβλήτων Συσσκευασίας σε Επίπεδο Τοπικής Αυτοδιοίκησης: Εφαρμογή στο Δήμο Αθηναίων, 2ο Διεθνές Συνέδριο ΕΕΔΣΑ, Αθήνα, 3-4 Φεβρουαρίου 2006,

Baetz B.W., Neebe A.W., 1994: A Planning Model for the Development of Waste Material Recycling Programmes. *Journal of the Operational Research Society*, 45(12), 1374-1384.

ERRA, 1998: Reference Codification Program: Demonstrating and evaluating the Technical, Financial and Environmental feasibility of comprehensive multi-material household waste recovery recycling, Brussels.

Everett J.W. and Peirce J.J., 1993: Curbside Recycling In The U.S.A.: Convenience And Mandatory Participation. *Waste Management & Research* 11 (1), 49-61.

Gonzalez-Torre P.L., and Adenso-Diaz, B., 2005: Influence of distance on the motivation and frequency of household recycling. *Waste Management* 25 (1), 15-23.

Hornik J., Cherian J., Madansky M., and Narayana C., 1995: Determinants of recycling behavior: A synthesis of research results. *Journal of Socio-Economics* 24 (1), 105-127.

Huhtala, A.: 1997. A Post-consumer Waste Management Model for Determining Optimal Levels of Recycling and Landfilling. *Environmental and Resource Economics*, 10 (3), 301-314.

Knussen C., Yule F., MacKenzie J., and Wells M., 2004: An analysis of intentions to recycle household waste: The roles of past behavior, perceived habit, and perceived lack of facilities. *Journal of Environmental Psychology* 24 (2), 237-246.

Sundberg J., 1998: MIMES/Waste - A systems Engineering Model for the Strategic Planning of Regional Waste Management Systems, Proceedings of the International Workshop on Systems Engineering Models for Waste Management, February 25-26, Göteborg, Sweden.

Tchobanoglous G., Theissen H., Vigil S., 1993: Integrated Solid Waste Management. Engineering, Principles and Management Issues, McGraw-Hill Inc., Singapore.

Togia A., 2003 : *Efficacité et Incitations dans les régimes de régulation reposant sur des mécanismes de financement. Une modélisation physique et financière de la gestion des déchets ménagers en France, Danemark et Grèce*, Thèse de Doctorat, EHESS, Paris, France.

Tucker P., 2003: Government Targets versus Public Participation: Bridging the Gap. International Symposium "Advances in Waste Management and Recycling", Dundee, Scotland. 2003.

Waite R., 1995: Household Waste Recycling, Earthscan Publications Ltd, London.

Williams I.D. and Taylor C., 2004: Maximising household waste recycling at civic amenity sites in Lancashire, England. *Waste Management* 24, 861-874.