

# Διερεύνηση της ρύπανσης των υδάτινων σωμάτων από τις αστικές απορροές ομβρίων

Στ. Γιαννόπουλος\*, Γ. Γριβάκη, Ιω. Γιαννοπούλου

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Συγκοινωνιακών και Υδραυλικών Έργων, 54124 Θεσσαλονίκη

\*giann@vergina.eng.auth.gr

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Οι απορροές ομβρίων από τις αστικές περιοχές αποτελούν μη σημειακές (διάχυτες) πηγές ρύπανσης, που συμβάλλουν στην υποβάθμιση της ποιότητας του νερού των υδάτινων αποδεκτών (λίμνες, ποτάμια, παράκτια ύδατα κ.λπ.). Στην παρούσα εργασία εξετάζονται: (α) οι κυριότεροι ρύποι που εντοπίζονται στις αστικές απορροές και οι πηγές προέλευσής τους, (β) οι επιπτώσεις των αστικών απορροών στους υδάτινους αποδέκτες, (γ) η διαχείριση των αστικών απορροών με δομικές και μη-δομικές τεχνικές βέλτιστης διαχείρισης, (δ) το νομοθετικό πλαίσιο που ισχύει στην Ελλάδα και τα προβλήματα που παρουσιάζονται στη διαχείριση των αστικών απορροών και τέλος, (ε) γίνονται συγκεκριμένες προτάσεις για τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν.

**Λέξεις κλειδιά:** Μη σημειακές πηγές ρύπανσης, διαχείριση ομβρίων, ποιότητα αστικών απορροών, Τεχνικές Βέλτιστες Διαχείρισης (BMPs), περιβαλλοντική νομοθεσία, αστικές οδοί.

## Investigation of the receiving waters pollution due to the urban stormwater runoff

St. Yannopoulos\*, G. Grivaki, Io. Giannopoulou

Aristotle University of Thessaloniki, School of Rural and Surveying Engineering, Department of Transportation and Hydraulic Engineering, 54124 Thessalonki, Greece

\*giann@vergina.eng.auth.gr

**ABSTRACT:** Urban stormwater runoff constitutes a diffuse (non-point) source pollution, which contributes in degradation of receiving waters (lakes, rivers, transitional waters etc.). In the present work are examined: (a) the main pollutants which found in urban runoff, and also their sources of origin, (b) the impacts of urban runoff to water bodies, (c) the management of urban runoff with structural and non-structural best management practices (BMPs), (d) the legal framework in Greece and the problems which they are presented in managing urban stormwater runoff and finally, (e) some views concerning the urban stormwater management are presented.

**Key Words:** Non point (diffuse) source pollution, stormwater management, urban runoff quality, Best Management Practices (BMPs), environmental legislation, urban streets.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παραδοσιακά, τα συστήματα διαχείρισης ομβρίων (δίκτυα αποχέτευσης ομβρίων) που έχουν κατασκευαστεί στις πόλεις, αποσκοπούν στην όσο το δυνατό πιο γρήγορη απομάκρυνση της απορροής σε κάποιον τελικό αποδέκτη, χωρίς οποιαδήποτε επεξεργασία. Σήμερα, είναι κοινή διαπίστωση πλέον, ότι οι απορροές ομβρίων από τις αστικές περιοχές, αποτελούν μη σημειακές (non-point sources) ή διάχυτες (diffuse sources) πηγές ρύπανσης, που συμβάλλουν στην υποβάθμιση της ποιότητας του νερού των υδάτινων αποδεκτών (USEPA, 2002). Συγκεκριμένα, οι αστικές απορροές είναι υπεύθυνες για τη παρουσία βαρέων μετάλλων, ιζημάτων, χλωριδίων, θρεπτικών στοιχείων και άλλων ρύπων στα υδατικά οικοσυστήματα.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εντάξει στην περιβαλλοντική της πολιτική την προστασία και τη διαφύλαξη του υδατικού περιβάλλοντος με την υιοθέτηση μιας σειράς οδηγιών, όπως είναι π.χ. η Οδηγία 2000/60/EK (μεταφορά στο εσωτερικό δίκαιο με το ν. 3199/2003 και το Π. Δ/γμα 51/2007), η Οδηγία 2011/42/EK (μεταφορά στο εσωτερικό δίκαιο με την Κ.Υ.Α. 107017/28-8-2006) και αρκετές άλλες. Όμως, το νομοθετικό αυτό πλαίσιο είναι γενικού περιεχομένου και

συνεπώς, δεν είναι ικανοποιητικό όσον αφορά στη διαχείριση και στην επεξεργασία των αστικών απορροών ομβρίων (Yannopoulos et al., 2011).

Στην Ελλάδα, στο νομοθετικό πλαίσιο που αφορά στο σχεδιασμό του χώρου (ν. 2508/1997, ν. 2742/1999 και Υ.Α. 9572/1845/2000) και την προστασία του περιβάλλοντος (ν. 1650/1986, ν. 3010/2002, Κ.Υ.Α. 107017/28-8-2006 κ.λπ.) δεν έχουν συμπεριληφθεί θέματα σχετικά με τη διαχείριση της ρύπανσης από τις αστικές απορροές, ενώ πολύ ελάχιστες μελέτες έχουν γίνει για το χαρακτηρισμό της ποιότητας των αστικών απορροών (Akratos et al., 2004). Επίσης, υπάρχει ελάχιστη εμπειρία από την εφαρμογή των Τεχνικών Βέλτιστης Διαχείρισης (BMPs), αφού οι μόνες γνωστές περιπτώσεις εφαρμογής τους είναι στο Αεροδρόμιο Ελ. Βενιζέλος, στο Ολυμπιακό Κέντρο Κωπηλασίας στο Σχοινιά και στην Εθνική Οδό Κορίνθου. Σε γενικές γραμμές, οι λόγοι που εμποδίζουν την εφαρμογή των BMPs στην Ελλάδα είναι η απουσία ενός κατάλληλου νομοθετικού πλαισίου και τεχνικών προδιαγραφών, η υποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η έλλειψη στοιχείων, η δυσκολία χρηματοδότησης της σχετικής έρευνας και η απροθυμία των πολιτών να καλύψουν το σχετικό κόστος (Yannopoulos et al., 2011). Επομένως, το θέμα παραμένει ανοιχτό και αποτελεί πρόκληση για περαιτέρω έρευνα και εξέταση.

## 2. ΡΥΠΟΙ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΤΟΥΣ

Σε γενικές γραμμές, οι κυριότεροι ρύποι που περιέχονται στις αστικές απορροές, είναι:

α. Τα *ιζήματα*. Η επιβάρυνση των αστικών απορροών με ιζήματα οφείλεται κυρίως στις διαβρώσεις του εδάφους και στα εργοτάξια στις πόλεις. Οι απορροές από τα εργοτάξια αυτά περιέχουν πολύ υψηλά επίπεδα ιζημάτων, επειδή συνήθως είναι επιφάνειες γυμνές από βλάστηση. Οι ανεξέλεγκτες απορροές από τα εργοτάξια μπορούν να περιέχουν TSS της τάξης των 3.000 έως 7.000 mg/L (Shaver et al., 2007).

β. Τα *θρεπτικά στοιχεία* (αζωτούχα και φωσφορούχα) και *οι οργανικές ενώσεις*. Η παρουσία των ρύπων αυτών οφείλεται κυρίως στην εφαρμογή των φυτοφαρμάκων και των ζιζανιοκτόνων, που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ανεπιθύμητης βλάστησης στους χώρους πρασίνου και στους κήπους των αστικών περιοχών. Το ρυπαντικό φορτίο που μεταφέρουν οι αστικές απορροές από τα φυτοφάρμακα εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της βροχής, το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της εφαρμογής των φυτοφαρμάκων και της βροχής και από τις ιδιότητες του φυτοφαρμάκου (Aldous and Turrell, 1994). Αν και η χρήση των ουσιών αυτών είναι μικρή, η εφαρμογή τους είναι δυνατόν να οδηγήσει σε ανησυχητικές συγκεντρώσεις στους υδάτινους αποδέκτες (Revitt et al., 2003).

γ. Τα *χλωρίδια*. Οι ρύποι αυτοί (NaCl συνήθως,  $\text{MgCl}_2$ , και  $\text{CaCl}_2$  σπανιότερα, κ.α.) προέρχονται από τα αποπαγωτικά που χρησιμοποιούνται στις αστικές οδούς κατά τους χειμερινούς μήνες για το λιώσιμο του χιονιού.

δ. Τα *βαρέα μέταλλα*, που είναι οι πιο συνήθεις ρύποι των αστικών απορροών. Η παρουσία τους στις αστικές απορροές προέρχεται κυρίως από τις βιομηχανικές δραστηριότητες, τα υλικά οδοστρωσίας, τη συντήρηση και τις φθορές των οχημάτων, τις στέγες, τους δρόμους κ.λπ. Τα πιο συνήθη μέταλλα που εντοπίζονται στις αστικές απορροές είναι ο ψευδάργυρος, ο μόλυβδος, ο σίδηρος, το κάδμιο, το νικέλιο, ο χαλκός, κ.λπ. (Johnson and Juengst, 1997).

ε. Η *μικροβιακή ρύπανση*, που προέρχεται από τα περιττώματα των ζώων (κατοικίδια ζώα και πουλιά), τα σπητικά συστήματα και τις παράνομες συνδέσεις αποχέτευσης λυμάτων. Οι Mallin et al. (2000) διαπίστωσαν ότι τα προβλήματα ρύπανσης από βακτήρια ήταν πιο συνηθισμένα στις αστικοποιημένες παράκτιες λεκάνες απορροής απ' ό,τι στις μη ανεπτυγμένες λεκάνες απορροής. Οι Young and Thackston (1999) διαπίστωσαν ότι οι συγκεντρώσεις βακτηρίων στις απορροές ομβρίων συνδέονται άμεσα με το υψόμετρο της λεκάνης απορροής και με το ποσοστό των αδιαπέρατων επιφανειών αυτής.

στ. Οι *υδρογονάνθρακες*, οι οποίοι αποτελούν ένα συνηθισμένο συστατικό των αστικών απορροών και προέρχονται από τα καύσιμα και τα λιπαντικά των οχημάτων. Οι πιο σημαντικές θέσεις ρύπανσης των αστικών απορροών με υδρογονάνθρακες είναι τα πρατήρια βενζίνης, οι θέσεις στάθμευσης (parking), οι βασικές οδικές αρτηρίες με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο. Μια ιδιαίτερη περίπτωση αποτελούν οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), οι περισσότεροι από τους οποίους θεωρούνται καρκινογόνες ουσίες (Kennedy and Mitchell, 2003).

ζ. Τα σκουπίδια και τα φερτά υλικά, τα οποία συσσωρεύονται κυρίως σε μεγάλα αστικά κέντρα. Τα σκουπίδια παρουσιάζουν δύο σημαντικά χαρακτηριστικά, που είναι η πλευστότητα και η ικανότητα τους να διασκορπίζονται με αποτέλεσμα να μεταφέρονται εύκολα στα υδάτινα σώματα. Ένα άλλο χαρακτηριστικό γνώρισμα των σκουπιδιών είναι ο χρόνος αποικοδόμησης τους σε συνθήκες φυσικού περιβάλλοντος.

Το είδος και η ποσότητα των ρύπων που εντοπίζονται στις αστικές απορροές διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και εξαρτώνται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τις χρήσεις γης της καθεμίας από αυτές. Σε γενικές γραμμές, οι συγκεντρώσεις των ρύπων των αστικών απορροών εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά των επιφανειών και από τις υγρές και ξηρές ατμοσφαιρικές εναποθέσεις (Förster, 1999). Τα χαρακτηριστικά των επιφανειών των αστικών περιοχών διαφοροποιούνται από τη σύσταση του υλικού της επιφάνειας που είναι επιστρωμένες, τον τύπο και το βαθμό της αστικοποίησης, τις κλιματολογικές συνθήκες, την κλίση της επιφάνειας, τον προσανατολισμό και τη χωρική τοποθέτηση της επιφάνειας (Göbel et al., 2007). Το ρυπαντικό φορτίο από τις αστικές απορροές είναι μεγάλο στις βιομηχανικές και εμπορικές περιοχές, στους δρόμους, στους αυτοκινητόδρομους και στις κατοικημένες περιοχές υψηλής πυκνότητας (Richter, 2005). Το γεγονός αυτό έχει τεκμηριωθεί από το Εθνικό Πρόγραμμα Αστικών Απορροών (NURP) των Η.Π.Α., το οποίο αποτέλεσε την πρώτη ολοκληρωμένη μελέτη για την ρύπανση των αστικών απορροών. Ο Πίνακας 1 προέρχεται από δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τα έτη 1979 - 1983 στα πλαίσια του προγράμματος αυτού και δίνει μια εικόνα της διακύμανσης των συγκεντρώσεων των ρύπων ανάλογα με τη χρήση γης (USEPA, 1983).

Πίνακας 1. Μέσες συγκεντρώσεις ρύπων ανάλογα με τη χρήση γης.

Ρύπος	Χρήση γης			
	Οικιστική	Ανάμικτη	Εμπορική	Μη αστική
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	10	7,8	9,3	—
COD (mg/L)	73	65	57	40
TSS (mg/L)	101	67	69	70
Ολικό άζωτο κατά Kjeldahl (μg/L)	1900	1288,8	1179	965
NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub> (N) (μg/L)	736	558	572	543
Ολικός P (μg/L)	383	263	201	121
Διαλυτός P (μg/L)	143	56	80	26
Ολικός μόλυβδος (μg/L)	144	114	104	30
Ολικός χαλκός (μg/L)	33	27	29	—
Ολικός ψευδάργυρος (μg/L)	135	154	226	0,66

### 3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΣΤΟΥΣ ΥΔΑΤΙΝΟΥΣ ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ

Οι επιφανειακοί και οι υπόγειοι υδάτινοι αποδέκτες είναι ευάλωτοι στη ρύπανση. Συγκεκριμένα, οι επιφανειακοί αποδέκτες (ποταμοί, λίμνες, υγρά τοπία, μεταβατικά ύδατα κ.λπ.) είναι ιδιαίτερα τρωτοί στη ρύπανση, επειδή εκτίθενται άμεσα στους ρύπους που απελευθερώνονται στον αέρα και με τις βροχές και τις απορροές καταλήγουν σε αυτούς από σημειακές και διάχυτες πηγές ρύπανσης (Young et al., 1996). Στους υπόγειους αποδέκτες (υπόγειοι υδροφορείς, karst κ.λπ.) η ρύπανση είναι βαθμιαία, επειδή το έδαφος χρησιμεύει ως φυσικό φίλτρο και οι ρύποι διηθούνται διαμέσου του εδάφους με αργούς ρυθμούς. Όμως, οι ρύποι αυτοί μπορούν να φθάσουν στα υπόγεια νερά σχετικά γρήγορα με στράγγιση και διείσδυση από θρυμματισμένους σχηματισμούς βράχων ή καταβόθρες σε περιοχές καρστ, οπότε στην περίπτωση αυτή οι υπόγειοι υδροφορείς είναι πολύ πιο ευάλωτοι στη ρύπανση από τους επιφανειακούς (Stephenson et al., 1999).

Οι αστικές απορροές μπορούν να υποβαθμίσουν σημαντικά τους βιολογικούς πόρους των

αστικών υδατικών οικοσυστημάτων (Scheuler, 2003). Από σχετικές έρευνες προέκυψε ότι οι αστικές απορροές μπορούν να έχουν καταστροφικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα (Snelder and Trueman, 1995), στα άλγη (Winter & Gindley, 1980), στα ασπόνδυλα (Bascombe, 1988) και στα ψάρια (Pitt and Bozemann, 1982).

Μερικοί από τους παράγοντες που καθορίζουν την έκταση και τη σημασία των επιπτώσεων των αστικών απορροών στους υδάτινους αποδέκτες είναι το μέγεθος και το είδος του υδάτινου αποδέκτη (λίμνη, ποτάμι, υγρότοπος κ.λπ.), η δυνατότητα διασποράς των ρύπων και η βιολογική ποικιλομορφία των οικοσυστημάτων. Για παράδειγμα, οι διαδικασίες ελέγχου της μεταφοράς και της τύχης των ρύπων στις λίμνες και στους ταμιευτήρες είναι διαφορετικές από αυτές των ποταμών, των ρεμάτων και των υδροφόρων στρωμάτων. Το συνηθέστερο περιβαλλοντικό ζήτημα για τις λίμνες είναι η υπερδραστικοποίηση της υδρόβιας ζωής, οπότε οι ρύποι μέγιστης σημασίας για τις λίμνες είναι οι θρεπτικές ουσίες. Τα υδατορρέματα αντιδρούν διαφορετικά στα μεμονωμένα γεγονότα ρύπανσης, αφού η απορροή δημιουργεί ένα ρυπαντικό φορτίο, το οποίο κινείται προς τα κατάντη και μπορεί να εναποτεθεί σε διάφορες αποστάσεις από τη θέση στην οποία δημιουργήθηκε και στη συνέχεια, να αρχίσει να επηρεάζει το τοπικό περιβάλλον στο οποίο εναποτέθηκε (Yannopoulos et al., 2006). Το συνηθέστερο πρόβλημα για τα υδατορρέματα είναι η καταστολή της υδρόβιας ζωής από τις τοξικές επιπτώσεις των βαρέων μετάλλων (Driscoll et al., 1990).

Οι διάφοροι ρύποι που μεταφέρονται με τις αστικές απορροές έχουν διαφορετικές επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού του αποδέκτη. Για παράδειγμα, ο μόλυβδος βιοσυσσωρεύεται στον πυθμένα και μπορεί να καθυστερήσει την ανάπτυξη των ψαριών και να μειώσει τη φωτοσύνθεση. Ορισμένες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου και χαλκού είναι τοξικές για τα ψάρια και τα υδρόβια μικρο-ασπόνδυλα. Το κάδμιο και το χρώμιο θα μπορούσε να είναι μεταλλαξιογόνα και καρκινογόνα. Η περίσσεια θρεπτικών ουσιών, κυρίως αζώτου και φωσφόρου, μπορεί να προκαλέσει αύξηση των αλγών, που μπλοκάρουν το φως του ήλιου και καταναλώνουν οξυγόνο κατά την αποσύνθεσή τους. Τα πετρέλαια και τα λάδια των αυτοκινήτων είναι τοξικά για τους υδρόβιους οργανισμούς και επηρεάζουν την αναπαραγωγή των ψαριών. Τα ολικά αιωρούμενα στερεά αυξάνουν τη θολότητα του νερού επηρεάζοντας την επιβίωση των ψαριών (Pitt and Bozeman, 1982; Schueler, 1987).

Οι επιπτώσεις από τις απορροές αυτές εξαρτώνται και από την ποιότητα του νερού του αποδέκτη, καθώς και το ρυθμό εισόδου των ρύπων. Συγκεκριμένα, η εισαγωγή ρύπων σε μεγάλες ποσότητες και σε μικρό χρονικό διάστημα σε ένα υδάτινο αποδέκτη μπορούν να επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στην ποιότητα του νερού αυτού και μεγάλες αρνητικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα. Σε περίπτωση, λοιπόν, που το φαινόμενο αυτό επαναλαμβάνεται συχνά, οι επιπτώσεις θα καταστούν μόνιμες και ενδεχομένως, μη αντιστρέψιμες. Στον Πίνακα 2 συνοψίζονται οι επιπτώσεις στους υδάτινους αποδέκτες από τις αστικές απορροές (Missa et al., 2005)

Πίνακας 2. Συσχετισμός των αποδεκτών και των περιβαλλοντικών κινδύνων από τις αστικές απορροές.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις / Αποδέκτης	Αποξυγόνωση	Τοξικότητα	Μικροβιακή ρύπανση	Ευτροφισμός	Θολερότητα	Αναψυχή
Παράκτια νερά		X	X	X	X	X
Λίμνες		X		X	X	X
Ποτάμια	X	X			X	X
Έδαφος/ υπόγεια νερά		X	X			

#### 4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΟΩΝ

Οι δυσμενείς επιπτώσεις στους υδάτινους αποδέκτες από τις αστικές απορροές ομβρίων μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με ειδικές τεχνικές, που είναι ευρέως γνωστές ως Τεχνικές

Βέλτιστης Διαχείρισης (Best Management Practices – BMPs). Ως BMP θεωρείται μια κατασκευή, μια τεχνική ή μια μέθοδος που έχει ως αντικειμενικό σκοπό την αφαίρεση, τη μείωση, την υστέρηση ή την αποτροπή των ουσιών, των ρύπων και των μολυντών των απορροών των βροχοπτώσεων πριν να καταλήξουν στους υδάτινους αποδέκτες (Strecker et al., 2001). Γενικά, υπάρχουν δύο τύποι BMPs που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της ρύπανσης από τις απορροές ομβρίων των αστικών απορροών (USEPA, 2004), δηλαδή: (α) Οι δομικές BMPs (structural) και (β) οι μη-δομικές BMPs (non-structural).

#### 4.1. Οι δομικές BMPs

Σκοπός των δομικών BMPs είναι η παγίδευση των απορροών με φυσικό τρόπο μέχρις ότου οι ρύποι να κατακαθίσουν ή να φιλτραριστούν από τις υφιστάμενες εδαφικές διαστρώσεις. Οι βασικοί μηχανισμοί αφαίρεσης των ρύπων με τις τεχνικές αυτές είναι η καθίζηση με βαρύτητα, η διήθηση των διαλυτών θρεπτικών ουσιών διαμέσου του εδάφους ή με ειδικά φίλτρα ή με χημικές και βιολογικές διεργασίες. Γενικά, οι δομικές BMPs μπορούν να θεωρηθούν ως τα μέτρα που επιβραδύνουν, κατακρατούν ή απορροφούν τους ρύπους που παρασύρονται και μεταφέρονται με τις απορροές ομβρίων (Yannopoulos et al., 2004, 2006).

- Συστήματα με βλάστηση: Τα συστήματα αυτά, περιλαμβάνουν τις λωρίδες με φυτικά φίλτρα και τις τάφρους με βλάστηση.

Οι λωρίδες με φυτικά φίλτρα (filter strips) είναι επιφάνειες με βλάστηση, οι οποίες σχεδιάζονται για να καθαρίζουν τις επιφανειακές απορροές των παρακείμενων επιφανειών. Η λειτουργία τους βασίζεται στην μείωση της ταχύτητας της ροής, που επιτρέπει στα ιζήματα και σε άλλους ρύπους να επικαθονται ή να διηθούνται στις υπόγειες εδαφικές στρώσεις. Απαιτούν αρκετά μεγαλύτερη έκταση σε σχέση με άλλες BMPs και είναι αποτελεσματικές στην απομάκρυνση των σκουπιδιών. Τα φυτικά φίλτρα ποικίλουν από χλοοτάπητες και γηγενή χλόη μέχρι ποώδη και ξυλώδη βλάστηση. Γενικά, δεν ενδείκνυνται για πολύ αστικοποιημένες περιοχές και είναι ιδανικές για την προεπεξεργασία των ομβρίων πριν εισέλθουν σε κάποια άλλη BMP (CSQA, 2003).

Οι τάφροι με βλάστηση (vegetated swales) είναι ρηχά κανάλια με αρκετό πλάτος που έχουν πυκνή βλάστηση στα πρανή και στον πυθμένα τους. Έχουν ως σκοπό τη μεταφορά των απορροών ομβρίων και την προώθηση των διαδικασιών διήθησης και μείωσης της ταχύτητας της ροής και μπορούν να είναι υγρές ή ξηρές. Οι ξηρές τάφροι χρησιμοποιούνται σε περιοχές όπου τα στάσιμα νερά δεν είναι επιθυμητά (π.χ. οικιστικές περιοχές), ενώ οι υγρές χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου τα στάσιμα νερά δεν δημιουργούν ενοχλήσεις (USEPA, 1999). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές περιοχές και κατά κανόνα τοποθετούνται δίπλα σε δρόμους, ενώ αποδίδουν καλύτερα, όταν έχουν μικρές κατά μήκος κλίσεις αλλά και μικρές κλίσεις πρανών.

- Συστήματα διήθησης: Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν τις λεκάνες διήθησης, τις τάφρους διήθησης, τα συστήματα βιοδιήθησης, τα φίλτρα άμμου και τα ξηρά φρεάτια.

Οι λεκάνες διήθησης (infiltration basins) είναι μικρές αβαθείς λίμνες, στις οποίες η αφαίρεση των ρύπων επιτυγχάνεται με τη διήθηση του όγκου της απορροής στο έδαφος, καθώς επίσης και με τις βιολογικές και χημικές δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα μέσα σ' αυτό. Μια λεκάνη διήθησης δεν πρέπει να τίθεται σε λειτουργία, αν δεν έχει σταθεροποιηθεί εντελώς η συμβάλλουσα λεκάνη απορροής (NJ BMP Manual, 2004). Οι λεκάνες αυτές δεν είναι κατάλληλες για περιοχές όπου αναμένεται υψηλή συγκέντρωση ρύπων ή ιζημάτων λόγω της πιθανότητας μόλυνσης των υπόγειων νερών.

Οι τάφροι διήθησης (infiltration trenches) είναι γραμμικές BMPs, που αποθηκεύουν μόνο μια μικρή ποσότητα της απορροής, οπότε και σχεδιάζονται για την πρώτη απορροή (first flush) επεισοδίου βροχής. Για το λόγο αυτό οι τάφροι διήθησης χρησιμοποιούνται συχνά σε συνδυασμό με άλλες BMPs, όπως είναι π.χ. οι λεκάνες κατακράτησης (USEPA, 1999).

Τα συστήματα βιοδιήθησης (bioretention systems) ή αλλιώς κήποι βροχής (rain gardens), είναι ρηχές επιφάνειες, που φυτεύονται με ειδικά επιλεγμένη ενδημική βλάστηση και έχουν ως σκοπό να συλλαμβάνουν και να καθαρίζουν την απορροή μέσω φυσικών, βιολογικών και χημικών διαδικασιών. Επειδή θέτουν σε λειτουργία διάφορους μηχανισμούς απομάκρυνσης των ρύπων, αποτελούν μια εξαιρετική BMP (Debo and Reese, 2003). Υπάρχουν πολυάριθμες

περιπτώσεις εφαρμογής των συστημάτων βιοδιήθησης στις οποίες συμπεριλαμβάνονται από απλές εφαρμογές για μια κατοικία (rain gardens) μέχρι εγκαταστάσεις σε χώρους στάθμευσης, σε οδούς και σε εξωραϊσμένες περιοχές με αδιαπέρατες επιφάνειες.

Τα φίλτρα άμμου (sand filters) είναι δομικές κατασκευές ελέγχου που συγκρατούν και αποθηκεύουν προσωρινά την απορροή των ομβρίων υδάτων και την διοχετεύουν σε ένα φίλτρο άμμου (Debo and Reese, 2003). Μπορούν να είναι επιφανειακές ή υπόγειες κατασκευές. Τα φίλτρα άμμου είναι ιδιαίτερος κατάλληλα για αστικές και οικιστικές περιοχές (EPA VICTORIA, 2005). Γενικά, προτιμούνται από τις υπόλοιπες τεχνικές, π.χ. τις τάφρους διήθησης, σε περιοχές όπου η ρύπανση των υπόγειων υδάτων από τους συμβατικούς ρύπους χρήζει ιδιαίτερης προσοχής. Όμως, η χρήση τους μπορεί να περιοριστεί από το κόστος τους και τη δυνατότητα συντήρησής τους στην περιοχή εγκατάστασης (Debo and Reese, 2003).

Τα ξηρά φρεάτια (dry wells/soakaways) είναι υπόγειες κατασκευές, που δέχονται τις απορροές ομβρίων συνήθως από στέγες κτιρίων και τις αποθηκεύουν προσωρινά για να τις παροχετεύσουν με διήθηση στο υπέδαφος. Η βασική αρχή των ξηρών φρεατίων είναι να χάνουν μεγαλύτερες ποσότητες νερού από αυτές που συλλέγουν (Revitt et al., 2003). Όπως και οι άλλες BMPs που βασίζονται στη διήθηση, έτσι και τα ξηρά φρεάτια δεν είναι κατάλληλα για περιοχές στις οποίες αναμένονται υψηλά φορτία ιζημάτων ή ρύπων γενικότερα, εξαιτίας του κινδύνου επιμόλυνσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

- Συστήματα συγκράτησης (αποθήκευσης): Τα συστήματα αυτά, που έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύουν τις απορροές ομβρίων προσωρινά ή μόνιμα, περιλαμβάνουν τις λεκάνες συγκράτησης, τις λεκάνες εκτεταμένης συγκράτησης, τις υγρές λεκάνες συγκράτησης, τους τεχνητούς υγροτόπους και τις πράσινες στέγες.

Οι λεκάνες συγκράτησης (detention ponds) σχεδιάζονται κυρίως για τη διαχείριση του όγκου της απορροής, ωστόσο παρέχουν και σε κάποιο βαθμό βελτίωση της ποιότητας του νερού, ενεργοποιώντας την καθίζηση του μεγαλύτερου μέρους των αιωρούμενων στερεών. Στις εκτεταμένες λεκάνες συγκράτησης η αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών και των ρύπων είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι στις λεκάνες συγκράτησης, πλην όμως οι ρυθμοί αφαίρεσης είναι χαμηλοί και μερικές φορές ακόμη και αρνητικοί. Οι λεκάνες συγκράτησης και οι εκτεταμένες λεκάνες συγκράτησης πρέπει να είναι ξηρές (χωρίς νερό) μεταξύ των διαφόρων επεισοδίων βροχής. Ο χρόνος συγκράτησης είναι 1-2 ώρες για τις λεκάνες συγκράτησης και 6-12 ώρες για τις εκτεταμένες λεκάνες συγκράτησης (MWWCOG, 1983). Οι δαπάνες κατασκευής των λεκανών αυτών είναι γενικά μικρότερες σε σχέση με τις δαπάνες των άλλων συστημάτων συγκράτησης, αλλά οι δαπάνες συντήρησης είναι σημαντικά μεγαλύτερες. Γενικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιοχές όπου αναμένεται μεγάλη αύξηση της απορροής λόγω της ανάπτυξης.

Οι "υγρές" λεκάνες συγκράτησης ("wet" ponds) σχεδιάζονται για να συγκρατήσουν μια μόνιμη ποσότητα νερού και για να διατηρήσουν μια ορισμένη ποσότητα από τις απορροές. Η αφαίρεση των ρύπων επιτυγχάνεται αρχικά με ιζηματογένεση των αιωρούμενων στερεών και με κάποιες βιολογικές διαδικασίες, που συνδράμουν στη μείωση των διαλυτών θρεπτικών ουσιών. Χρησιμοποιούνται για μικρές αποχετευόμενες επιφάνειες και είναι ιδιαίτερος κατάλληλος για οικιστική χρήση γης και για περιοχές όπου οι υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών ουσιών δημιουργούν προβλήματα (π.χ. γήπεδα γκολφ) (CSQA, 2003).

Οι υγρότοποι σχεδιάζονται σαν σχετικά ρηχές λιμνούλες, στις οποίες δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη υδροχαρών φυτών και τη μεγιστοποίηση της αφαίρεσης των ρύπων με προσρόφηση από τα φυτά (Schueler et al., 1991). Η αφαίρεση των ρύπων επιτυγχάνεται με την πρόσληψη τους από τα υδρόφιλα φυτά, τη διήθηση, την προσρόφηση, την καθίζηση με βαρύτητα και τη μικροβιακή αποσύνθεση. Για την κατασκευή των υγροτόπων χρειάζεται έκταση 3-4 φορές μεγαλύτερη από ότι με τις άλλες BMPs και γι' αυτό το λόγο το κόστος κατασκευής τους είναι μεγαλύτερο. Οι υγρότοποι δεν μπορούν να κατασκευαστούν σε αμμώδη εδάφη, σε εδάφη με υψηλή διαπερατότητα και σε περιοχές με υψηλούς ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής.

Οι πράσινες στέγες, που αποτελούν ένα πολυεπίπεδο σύστημα, που καλύπτει την οροφή ενός κτιρίου, σχεδιάζονται για να ανακόπτουν και να συγκρατούν τη κατακρήμνιση, να μειώνουν τον όγκο της απορροής και να μετριάσουν την παροχή αιχμής (Woods et al., 2007). Παρουσιάζουν έναντι των άλλων BMPs το σημαντικό πλεονέκτημα της μη κατάληψης αστικού

χώρου, καθώς παρέχουν τη δυνατότητα της χρήσης χιλιάδων τετραγωνικών μέτρων που ειδάλλως δεν θα ήταν διαθέσιμα στο έδαφος. Υπάρχουν δύο τύποι πράσινων στεγών: οι εντατικές (intensive) και οι εκτατικές (extensive) στέγες. Οι πράσινες στέγες μπορούν να μειώσουν τους ρύπους της ατμόσφαιρας, όπως είναι τα μικροσωματίδια και οι αέριοι ρύποι (οξειδία του αζώτου, διοξείδιο του θείου, μονοξείδιο του άνθρακα). Η απομάκρυνση των ρύπων στις πράσινες στέγες, όπως έχει αποδειχθεί από σχετικές έρευνες, αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου. Η βέλτιστη αποδοτικότητα τους επιτυγχάνεται μετά από 5 περίπου χρόνια (PEC, 2006).

- Συστήματα διαπερατών επιστρώσεων: Τα συστήματα διαπερατής επίστρωσης (perVIOUS paving systems) είναι επιστρωμένες επιφάνειες με υλικά που παράγουν λιγότερες απορροές ομβρίων από τις επιφάνειες που είναι επιστρωμένες με συμβατικά υλικά (άσφαλτος, σκυρόδεμα, πλάκες πεζοδρομίου κ.λπ.). Η μείωση του όγκου της απορροής επιτυγχάνεται κυρίως μέσω της διήθησης του μεγαλύτερου τμήματος της βροχής διαμέσου του υλικού της επίστρωσης ή διαμέσου κενών που αφήνονται κατά την κατασκευή μεταξύ των υλικών της επίστρωσης. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται σε κήπους, πεζοδρόμους, οδούς και χώρους στάθμευσης (NJ BMP Manual, 2004).

Σ' ένα σχέδιο διαχείρισης των αστικών απορροών μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες δομικές BMPs. Η επιλογή των κατάλληλων δομικών BMPs που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε περίπτωση είναι αποτέλεσμα συνεκτίμησης πολλών παραγόντων και εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής. Κάθε περιοχή αποτελεί μια ιδιαίτερη περίπτωση και γι' αυτό όλες οι δομικές BMPs δεν είναι κατάλληλες για όλες τις περιοχές. Σε γενικές γραμμές, τα κριτήρια επιλογής των κατάλληλων δομικών BMPs εξαρτώνται από κλιματολογικές, γεωγραφικές και οικονομικές παραμέτρους, την αναμενόμενη ποσότητα απορροής, το είδος και την ποσότητα των ρύπων, την απαιτούμενη εδαφική έκταση, τα φυσικά χαρακτηριστικά της περιοχής κ.λπ. (Yannopoulos et al., 2005).

Σύμφωνα με τους Woods et al. (2007), βασική αρχή σχεδιασμού ενός συστήματος διαχείρισης των αστικών απορροών είναι «η αποτελεσματική αποχέτευση των ομβρίων υδάτων με τέτοιο τρόπο ώστε να προστατεύεται η δημόσια υγεία και ασφάλεια, καθώς και το περιβάλλον». Επομένως, πριν από τη λήψη των αποφάσεων διαχείρισης των αστικών απορροών μιας περιοχής είναι απαραίτητο να μελετάται η αποτελεσματικότητα των συγκεκριμένων δομικών BMPs για την περιοχή αυτή δηλαδή να αξιολογούνται η απόδοση, η συντήρηση και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά καθενιάς δομικής BMP για την εφαρμογή της στη συγκεκριμένη περιοχή (MWWCOG, 1992).

Από σχετικές μελέτες που έχουν γίνει προέκυψε ότι (Revitt et al., 2003): (α) Τα συστήματα διήθησης, οι τάφροι με βλάστηση και οι λεκάνες συγκράτησης πλεονεκτούν ως προς την τεχνολογία τους και τη βιωσιμότητα τους σε σχέση με τις άλλες δομικές BMPs. (β) Οι τάφροι με βλάστηση και οι λωρίδες με φυτικά φίλτρα αποδίδουν καλύτερα από την άποψη του εμπλουτισμού των υπογείων υδροφόρων στρωμάτων και την ικανότητα αφαίρεσης των ρύπων. (γ) Οι τεχνητοί υγρότοποι, οι λεκάνες συγκράτησης και οι λεκάνες εκτεταμένης συγκράτησης παρουσιάζουν τους λιγότερους φυσικούς περιορισμούς στη χρήση τους.

Τα βασικά κριτήρια που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή των καταλληλότερων BMPs για μια περιοχή, είναι (Woods et al., 2007): (α) Οι χρήσεις γης (οικιστική περιοχή, εμπορική περιοχή, πυκνότητα δόμησης, τοπικής σημασίας οδοί, βασικές οδικές αρτηρίες, περιοχές που βρίσκονται σε ανάπτυξη κ.λπ.). (β) Τα χαρακτηριστικά της περιοχής (διαπερατότητα του εδάφους, εμβαδό απορρέουσας επιφάνειας, ελάχιστο βάθος υπόγειου ορίζοντα, διαθέσιμος χώρος για την κατασκευή του BMP κ.λπ.). (γ) Οι απαιτήσεις ποιοτικής και ποσοτικής απόδοσης του δομικού BMP (δυνατότητα απομάκρυνσης των ρύπων, μείωσης του όγκου της απορροής κ.λπ.). (δ) Οι κοινωνικές και περιβαλλοντικές απαιτήσεις (κοινωνική αποδοχή, συντήρηση, κόστος, δημιουργία ενδιατημάτων κ.λπ.).

#### **4.2. Οι μη δομικές BMPs**

Οι μη-δομικές BMPs είναι προληπτικές δράσεις, οι οποίες δεν περιλαμβάνουν δομικές κατασκευές, αλλά κανονισμούς και ρυθμίσεις, που αποσκοπούν στην παρεμπόδιση ή στον περιορισμό του εμπλουτισμού των αστικών απορροών με ρύπους (Taylor and Wong, 2002). Ειδικότερα, οι μη δομικές BMPs επικεντρώνονται στη λήψη μέτρων ελέγχου, ενώ οι δομικές

BMPs επικεντρώνονται σε δομικές κατασκευές αντιμετωπίζοντας το πρόβλημα μετά την εμφάνιση του. Είναι προφανές ότι, σε πολλές περιπτώσεις, η παρεμπόδιση της ρύπανσης προτού εμφανιστεί καθιστά τη διαχείριση της ευκολότερη και αποτελεσματικότερη. Οι μη-δομικές τεχνικές βέλτιστης διαχείρισης δρουν προς την κατεύθυνση της πρόληψης, γεγονός που τις καθιστά οικονομικά αποδοτικότερες (Yannopoulos et al., 2005, 2006). Όμως, στα περισσότερα σχέδια διαχείρισης των αστικών απορροών κρίνεται σκόπιμος ο συνδυασμός δομικών και μη δομικών BMPs για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων. Η χρήση των μη δομικών BMPs μπορεί να βελτιώσει τη λειτουργία των δομικών BMPs, καθώς και τις απαιτήσεις για τη συντήρησή τους. Συνεπώς, ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης των αστικών απορροών οφείλει να ενσωματώνει δομικές και μη-δομικές τεχνικές. Ειδικότερα, η υπερβολική και ανεξέλεγκτη συσσώρευση ρύπων στο αστικό περιβάλλον μπορεί να ρυθμιστεί, μέχρις ενός βαθμού, με τη χρησιμοποίηση μη δομικών BMPs και στην συνέχεια, να αντιμετωπιστεί με την κατασκευή κατάλληλων δομικών BMPs.

Μερικές από τις μη δομικές BMPs, που χρησιμοποιούνται συνήθως, είναι: (α) Ο καθαρισμός των οδών. (β) Η μείωση της χρήσης ρυπογόνων ουσιών (π.χ. φυτοφάρμακα, ζιζανιοκτόνα κ.λπ.). (γ) Ο περιορισμός των αδιαπέρατων επιφανειών. (δ) Η αναδάσωση των παρόχθιων ζωνών των αστικών υδατορρεμάτων και άλλων περιοχών του αστικού χώρου, όπου είναι εφικτό. (ε) Η καλή διαχείριση των εξωτερικών χώρων αποθήκευσης χύδην ή σε συσκευασίες υλικών. (στ) Η πρόληψη της ρύπανσης από τις βιομηχανικές περιοχές. (ζ) Ο έλεγχος των διαδικασιών συντήρησης των χώρων πρασίνου και των κήπων. (η) Ο έλεγχος της διάθεσης των φυτικών καταλοίπων. (θ) Η συντήρηση των οδών και αποκατάσταση των ζημιών των πεζοδρομίων, των οδοστρωμάτων κ.λπ.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Οι απορροές ομβρίων από τις αστικές περιοχές αποτελούν μη σημειακές πηγές ρύπανσης, που συμβάλλουν στην υποβάθμιση της ποιότητας του νερού των υδάτινων αποδεκτών, υπόγειων και επιφανειακών. Οι ρύποι που μπορούν να μεταφερθούν με τις απορροές αυτές είναι στερεά σωματίδια, βαρέα μέταλλα (ψευδάργυρος, σίδηρος, κάδμιο, χαλκός, νικέλιο κ.λπ.), χλωρίδια, θρεπτικά στοιχεία (αζωτούχα και φωσφορούχα), υδρογονάνθρακες, σκουπίδια, φερτά υλικά, αλλά και μικροβιακή ρύπανση. Οι ρύποι αυτοί, που προέρχονται από διάφορες πηγές όπως είναι τα μηχανοκίνητα οχήματα, οι αστικές οδοί, οι χώροι στάθμευσης, οι στέγες των κτιρίων, τα εργοτάξια κ.λπ., μπορούν να υποβαθμίσουν την ποιότητα των υδάτινων αποδεκτών (λίμνες, ποτάμια, υγρότοποι κ.λπ.) και κατ' επέκταση να επηρεάσουν τον άνθρωπο, την πανίδα και τη χλωρίδα.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει νομοθετικό πλαίσιο κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων (π.χ. Οδηγία 2000/60/ΕΚ) και της προστασίας του περιβάλλοντος (π.χ. Οδηγίες 91/271/ΕΟΚ, 91/676/ΕΟΚ, 96/11/ΕΕ, 97/11/ΕΚ, 2001/42/ΕΚ και πολλές άλλες), που είναι γενικού περιεχομένου και συνεπώς, μη εξειδικευμένο όσον αφορά στη διαχείριση και στην επεξεργασία των αστικών απορροών ομβρίων.

Στην Ελλάδα η μεταφορά στο εθνικό της δίκαιο (π.χ. Ν. 3199/2003, Π. Δ/γμα 51/2007, Ν. 1650/1986, Ν. 3010/2002 κ.λπ.) των ανωτέρω οδηγιών της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει όλα τα μειονεκτήματα που προαναφέρθηκαν, αλλά και πολλά άλλα ακόμη που οφείλονται στις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει η χώρα.

Συγκεκριμένα, μερικά από τα σημαντικότερα προβλήματα είναι:

- α. Η Ελλάδα δεν έχει θέσει ακόμη στους βασικούς περιβαλλοντικούς της στόχους για τη διαχείριση της ρύπανσης από τις αστικές απορροές ομβρίων. Για παράδειγμα αρκετές πόλεις στερούνται δικτύου ομβρίων ή η κατασκευή του καλύπτει μερικά τον αστικό χώρο.
- β. Αρκετές πόλεις αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα από τις πλημμύρες λόγω της ταχείας επέκτασής τους, κυρίως κατά τη δεκαετία του '50 και μετά, χωρίς να έχει δοθεί ιδιαίτερη σημασία για την προστασία των φυσικών ρεμάτων, τα οποία στην πλειοψηφία τους έχουν μετατραπεί σε κλειστούς αγωγούς ή έχουν καταπατηθεί, επιχωματωθεί και ανοικοδομηθεί.
- γ. Υπάρχει συναρμοδιότητα πολλών φορέων για τη διαχείριση των ομβρίων. Συγκεκριμένα, οι Ο.Τ.Α. και οι Δ.Ε.Υ.Α. έχουν την ευθύνη για τη διαχείριση των ομβρίων υδάτων, αλλά τα



σημαντικά έργα μελετήθηκαν και κατασκευάστηκαν από το άλλοτε Υπουργείο ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Τα τμήματα των φυσικών ρεμάτων που βρίσκονται μέσα στα όρια του σχεδίου πόλεως αρμόδιος φορέας διαχείρισης είναι ο Ο.Τ.Α, για τα τμήματα που είναι έξω από τα όρια αρμόδια είναι η Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση, για τα τμήματα που διασχίζουν δάση αρμόδιες είναι οι Διευθύνσεις Δασών, ενώ το άλλοτε Υπουργείο ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. είναι αρμόδιο για όλα τα σημαντικά έργα υποδομής (γέφυρες, αυτοκινητόδρομοι κ.λπ.).

- δ. Δεν υπάρχουν μετρήσεις για τα χαρακτηριστικά των απορροών ομβρίων (είδη ρύπων, ρυπαντικά φορτία, συγκεντρώσεις, φυσικές και χημικές διεργασίες που δημιουργούν οι απορροές αυτές κ.λπ.) στις ελληνικές πόλεις.
- ε. Οι ισχύουσες προδιαγραφές εκπόνησης μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων έχουν ένα ιδιαίτερα γενικό χαρακτήρα και δεν είναι εξειδικευμένες για τη διαχείριση των αστικών απορροών και των επιπτώσεων τους στο περιβάλλον.
- στ. Υπάρχει ελάχιστη εμπειρία από την εφαρμογή τεχνικών βέλτιστης διαχείρισης των ομβρίων υδάτων.
- ζ. Δεν διατίθενται πιστώσεις για χρηματοδότηση της σχετικής έρευνας και υπάρχει απροθυμία από τους ιδιώτες να συμμετάσχουν στο σχετικό κόστος.

Συνεπώς, στην Ελλάδα απαιτείται εντατική προσπάθεια για τη διαχείριση της ρύπανσης από τις αστικές απορροές ομβρίων στους υδάτινους αποδέκτες. Μερικά μέτρα που προτείνονται είναι: (α) συμπλήρωση του νομοθετικού πλαισίου και σύνταξη προδιαγραφών για την εφαρμογή ενιαίας πολιτικής αειφόρου διαχείρισης των ομβρίων υδάτων σε επίπεδο χώρας, (β) χρηματοδότηση της έρευνας στον τομέα των BMPs, (γ) έναρξη πιλοτικών προγραμμάτων από τους φορείς διαχείρισης των ομβρίων υδάτων (ΥΠ.Ε.Κ.Α., Δ.Ε.Υ.Α., Ο.Τ.Α. κ.λπ.), (δ) ενημέρωση του κοινού για τη διαχείριση των απορροών των ομβρίων, (ε) τεχνική υποστήριξη από τις τεχνικές υπηρεσίες των αρμόδιων φορέων και ενθάρρυνση των ιδιοκτητών που θα επιθυμούσαν να εφαρμόσουν στις ιδιοκτησίες τους τεχνικές συγκέντρωσης των ομβρίων, (στ) υποχρέωση των νοικοκυριών να καταβάλλουν τέλη σύνδεσης με το δίκτυο ομβρίων υδάτων, (ζ) στα μελλοντικά προγράμματα ανάπτυξης μιας περιοχής να προβλέπονται χώροι για BMPs, (η) μαζί με τη μελέτη και την κατασκευή των δικτύων αποχέτευσης ομβρίων να καταρτίζεται και στρατηγικό σχέδιο διαχείρισης των απορροών ομβρίων όπου θα εξετάζεται η δυνατότητα και η σκοπιμότητα εφαρμογής των τεχνικών ελέγχου της απορροής στην πηγή κ.λπ. (Yannopoulos et al., 2011).

Σημειώνεται ότι ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην Ελλάδα για το χωροταξικό και πολεοδομικό σχεδιασμό του χώρου, που ρυθμίζεται με τους νόμους 2508/1997 και 2742/1999. Συγκεκριμένα, κατά την ένταξη ή επέκταση του σχεδίου πόλεως σε νέες περιοχές με βάση τις ανωτέρω νομοθετικές ρυθμίσεις γίνονται δύο φάσεις σχεδιασμού δηλαδή (α) το Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο (Γ.Π.Σ.), που καθορίζει τις κατευθύνσεις του προγραμματισμού και σχεδιασμού και (β) η Πολεοδομική Μελέτη, η οποία εφαρμόζει τα προβλεπόμενα από το Γ.Π.Σ. Σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. 15393/2332/2002 και το Ν. 2010/2002 ο πολεοδομικός και ο χωροταξικός σχεδιασμός του χώρου ανήκει στην Ομάδα 6 των έργων και δραστηριοτήτων (Τουριστικές Εγκαταστάσεις-Εργασίες Πολεοδομίας), που υπόκεινται σε περιβαλλοντική αδειοδότηση. Από την Οδηγία 2001/42/EK και την Κ.Υ.Α. 107017/28-8-2006 προβλέπεται υποχρεωτικά η εκπόνηση Στρατηγικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης (Σ.Π.Ε.) για τη συντριπτική πλειονότητα των χωροταξικών και πολεοδομικών σχεδίων που προβλέπονται από τους Ν.2742/1999 και 2508/1997 (Ειδικά και Περιφερειακά Πλαίσια Χωροταξικού Σχεδιασμού, Ρυθμιστικά Σχέδια, Γενικά Πολεοδομικά Σχέδια, Σχέδια Χωρικής και Οικιστικής Οργάνωσης Ανοικτών Πόλεων κ.λπ.).

Η Υπουργική Απόφαση 9572/1845/2000 που αφορά στις τεχνικές προδιαγραφές εκπόνησης μελετών Γενικών Πολεοδομικών Σχεδίων και Σχεδίων Οικιστικής Οργάνωσης Ανοιχτής Πόλης, ορίζουν ότι οι μελέτες αυτές πρέπει να περιλαμβάνουν γενική εκτίμηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον και στην ταυτότητα /φυσιογνωμία της περιοχής για το σύνολο των λύσεων που προτείνουν θεωρώντας ότι η εκτίμηση και η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διαφόρων λύσεων, μπορούν να βοηθήσουν στην επιλογή της λύσης εκείνης που θα έχει τις μικρότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Στο βαθμό που μπορούμε να έχουμε γνώση στις ισχύουσες προδιαγραφές για την εκπόνηση Μ.Π.Ε. (Κ.Υ.Α. 11014/703/Φ104/14-3-2003) και Σ.Π.Ε. (Υ.Α. 9572/1845/2000) για το

σχεδιασμό του αστικού χώρου δεν υπάρχουν αναφορές για την πρόληψη της ρύπανσης από τις αστικές απορροές ομβρίων, αν και η ρύπανση αυτή είναι σημαντική, αφού περιέχει βαρέα μέταλλα, ιζήματα κ.λπ. Μερικές προτάσεις που θα μπορούσαν να διατυπωθούν και οι οποίες θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το χωροταξικό και πολεοδομικό σχεδιασμό του χώρου είναι:

- α. Χρήση σχεδιαστικών αρχών, που να βασίζονται στην ανάπτυξη χαμηλών επιπτώσεων στο περιβάλλον (μείωση αδιαπέρατων επιφανειών, προστασία φυσικών ρεμάτων, μείωση όγκου απορροών και παροχών αιχμής, ολοκληρωμένη επεξεργασία των απορροών ομβρίων πριν να καταλήξουν στους τελικούς αποδέκτες κ.λπ.).
- β. Ανάπτυξη στρατηγικών σχεδίων διαχείρισης των αστικών απορροών ομβρίων και εξασφάλιση μηχανισμών χρηματοδότησης για την υποστήριξη της εφαρμογής των σχεδίων αυτών.
- γ. Ανάπτυξη διαδικασιών πρόληψης της ρύπανσης (π.χ. συντήρηση του δικτύου ομβρίων, εκπαίδευση του προσωπικού για τη διαχείριση των ομβρίων κ.λπ.).
- δ. Ανάπτυξη προγραμμάτων επιμόρφωσης του κοινού και εκστρατείες μέσω των Μέσων Μαζικής Επικοινωνίας για τη συμμετοχή αυτού κ.λπ.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Akratos C.S., Georgoula A. and Tsihrintzis V.A., 2004. Characterization of Urban Stormwater Runoff Quality in Xathi, Greece. *Proceedings of Int. Conf. Protection and Restoration on the Environment VII*, Mykonos, Greece.
- Aldous P. J. and Turrell J., 1994. Atrazine concentrations in chalk aquifers and implications for future water treatment. *Proceedings of Int. Conf. on groundwater-drought, Pollution & Manag.*, Rotterdam: Balkema: 67–74.
- Bascombe A., 1988. *Urban Pollution Research Report 11: Biological monitoring of benthic invertebrates for the assessment of heavy metal pollution in urban rivers*. Report prepared by the Urban Pollution Centre, Middlesex Polytechnic, Queensway Middlesex.
- CSQA (California Stormwater Quality Association), 2003. *Stormwater Best Management Practice Handbook: New Development and Redevelopment*.
- Debo T.N. and Reese A.J., 2003. *Municipal stormwater management* (2nd ed.). Lewis Publishers.
- Driscoll E.D., Shelley P.E. and Strecker E.W., 1990. *Pollutant Loadings and Impacts from Highway Stormwater Runoff, Vol. IV: Research report data appendix*. FHWA, Report No. FHWA-RD-88-009.
- EPA VICTORIA, 2005. *Water Sensitive Urban Design (WSUD) Engineering Procedures: Stormwater*. CSIRO Publications.
- Förster J., 1999. Variability of roof runoff quality. *Water Science and Technology*, 39: 137-144.
- Göbel P., Dierkes C. and Coldewey W.G., 2007. Stormwater runoff concentration matrix for urban areas. *Journal of Contaminant Hydrology*, 91: 26-42.
- Johnson C.D. and Juengst D., 1997. *Polluted Urban Runoff - A Source of Concern*. University of Wisconsin, I-02-97-5M-20-S, DNR, WT-483-97.
- Kennedy P. and Mitchell K. Ltd, 2003. *The Effects of Road Transport on Freshwater and Marine Ecosystems*. Prepared for Ministry of Transport New Zealand, June 1999 (Updated October 2003).
- Mallin M., Williams K., Esham E., and Lowe R., 2000. Effect of Human Development on Bacteriological Water Quality in Coastal Watersheds. *Ecological Applic.*, 10(4): 1047-1056.
- Missa V., Noutsopoulos E., Aftias E. and Hadjibiros K., 2005. Environmental impacts of urban stormwater discharges: Problems related to the application of BMPs in Greece. *Proceedings of the 9th International Conference on Environmental Science and Technology*. 1-3 September. Rhodes Island. Greece.
- MWCOG (Metropolitan Washington Council of Governments), 1983. *Nationwide Urban Runoff Program: Pollutant Removal Capability of Urban Best Management Practices in the Washington Metropolitan Area, Final Report*. Water Resources Planning Board,

- Washington, DC.
- MWCOG (Metropolitan Washington Council of Governments), 1992. *Analysis of Urban BMP: Performance and Longevity*. Department of Environment Programs, Washington, D.C.
- NJ BMP Manual, 2004. *New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual*. New Jersey Department of Environmental Protection, Division of Watershed Management, N.J.
- PEC (Pennsylvania Environmental Council), 2006. *Pennsylvania Stormwater Best Management Practices Manual: Structural BMPs*. Document Number 363-0300-002.
- Pitt R. and Bozemann M., 1982. *Sources of urban runoff pollution and its effects on an urban creek*. USEPA 600/52-82-090, Ohio.
- Revitt M., Ellis B. and Scholes L., 2003. *Review of the use of stormwater BMPs in Europe*, Day Water Project, D5.1-version 2. WPS/T5.1/D5.1-PU.
- Richter J.E., 2005. *Urban runoff water quality: a salmonid's perspective*. Watershed Professionals Network. Available at: [www.4sos.org/wssupport/ws\\_rest/Urban-Runoff.doc](http://www.4sos.org/wssupport/ws_rest/Urban-Runoff.doc).
- Schueler T.R., Kumble P.A. and Heraty M.A., 1991. *A Current Assessment of Urban Best Management Practices, Techniques for Reducing Non-Point Source Pollution in the Coastal Zone*. Review Draft, Anacostia Restoration Team, Department of Environmental Programs, Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, D.C.
- Schueler T.R., 1987. *Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs*. Metropolitan Washington Council of Governments. Washington, D.C.
- Schueler T., 2003: *Impacts of impervious cover on aquatic systems*. Watershed Protection Research Monograph No 1. Center for Watershed Protection, Ellicott City, MD, March.
- Shaver E., Horner R., Skupien J., May C. and Rirley G., 2007. *Fundamentals of Urban Runoff Management: Technical and Institutional Issues*. North American Lake Management Society, 2nd ed.
- Snelder T. and Trueman S., 1995. *The environmental impacts of urban stormwater runoff*. ARC Technical Publication No. 53, May.
- Stephenson J.B., Zhou W.F., Beck B.F. and Green T.S., 1999. Highway stormwater runoff areas preliminary results of baseline monitoring and design of a treatment system for a sinkhole in Knoxville Tennessee. *Engineering Geology*, 52: 51-59.
- Strecker E.W., Quigley M.M., Urbonas B.R., Jones J.E. and Clary J.K., 2001. Determining Urban Storm Water BMP Effectiveness. *Journal of Water Resour. Planning and Mngt.*, 127(3): 144-149.
- Taylor A. and Wong T., 2002. *Non-structural Stormwater Quality Best Management Practices – an Overview of their Use, Value, Cost and Evaluation*. Technical Report 02/11. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Monash University, Melbourne, Australia.
- USEPA, 1983. *Results of Nationwide Urban Runoff Program. Volume I: Final Report*. Water Planning Division, Washington, D.C., EPA-PB84-185552.
- USEPA, 1999. *Storm Water Technology Fact Sheet Infiltration Trench*. USEPA-832-F-99-109.
- USEPA, 2002. *2000 National water quality inventory*. Office of Water, Washington, D.C. <http://www.epa.gov/305b/2000report>.
- USEPA, 2004. *The Use of Best Management Practices (BMPs) in Urban Watersheds*. Office of Research and Development, Washington, D.C., EPA/600/R-04/184
- Yannopoulos St., Basbas S., Andrianos Th. and Rizos Ch., 2004. Receiving waters pollution investigation due to the interurban roads stormwater runoff. *Proc. Int. Conf. Protection and Restoration of the Environment VII*, Mykonos, Greece, (CD).
- Yannopoulos St., Petsalis N. and Basbas S., 2005. Management of pollution of water bodies from the stormwater runoff of interurban roads with the use of structural Best Management Practices (BMPs). *Proc. 2nd Pan-Hellenic Conf. Highway*, Volos, Greece, (CD) (in Greek).
- Yannopoulos St., Giannopoulou Io., Basbas S. and Petsalis N., 2006. Best Management and Environmental Impacts of Interurban Roads Stormwater Runoff. *Proc. 10<sup>th</sup> Pan-Hellenic Conf. of Hellenic Hydrotechnical Association (HHA – EYE)*, Xanthi: 323-330 (in Greek).
- Yannopoulos S., Grivaki G., Giannopoulou I., Basbas S. and Oikonomou E., 2011. Environmental Impacts and Best Management of Urban Stormwater Runoff: Measures and

- Legislative Framework. *Proceedings CEST2011*, Rodos, Greece.
- Young K. and Thackston E., 1999. Housing Density and Bacterial Loading in Urban Streams. *Journal of Environmental Engineering*, 125(2): 1177- 1180.
- Young K., Stein S., Cole P., Camer T., Graziano F. and Bank F., 1996. *Evaluation and Management of Highway Runoff Water Quality*. U.S. Dep. of Transportation, FHWA-PD-96-032, Washington, DC.
- Winter G. R. and Gindley J. L., 1980. *Effects of roadway runoff on algae*. Final Report No. FHWA/CA/TL-80/24. California Department of Transportation. June.
- Woods B., Kellagher R., Martin P., Jefferies C., Bray R. and Shaffer P., 2007. *The SUDs Manual*. CIRIA C697.