

Διαχείριση της ρύπανσης των υδάτινων σωμάτων από τις απορροές των ομβρίων των υπεραστικών οδών με δομικά μέτρα βέλτιστης διαχείρισης

Σ. Ι. Γιαννόπουλος

Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός, Πολιτικός Μηχανικός, M.Sc., Ph.D., Καθηγητής Α.Π.Θ.

Ν. Κ. Πέτσαλης

Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός, M.Sc.

Σ.Ι.Ρ. Μπάσμπας

Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός, M.Sc., Ph.D., Επίκουρος Καθηγητής Α.Π.Θ.

Λέξεις κλειδιά: μη σημειακές πηγές ρύπανσης, διαχείριση των απορροών ομβρίων, ποιότητα απορροών, βέλτιστες τεχνικές διαχείρισης, υπεραστικές οδοί

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Οι απορροές των ομβρίων από τις υπεραστικές οδούς μπορούν να αποτελέσουν πιθανή απειλή υποβάθμισης των υδάτινων αποδεκτών των περιοχών από τις οποίες αυτές διέρχονται και κυρίως, των υδάτινων μαζών, που χαρακτηρίζονται ως ευαίσθητες περιοχές (φυσικές λίμνες γλυκών υδάτων, εκβολές ποταμών, παράκτιες περιοχές και γενικά, υδάτινοι αποδέκτες γλυκών νερών, στους οποίους παρουσιάζεται ευτροφισμός ή όπου θα μπορούσε να παρουσιαστεί ευτροφισμός, αν δεν ληφθούν τα κατάλληλα προστατευτικά μέτρα). Εξετάζεται η ρύπανση των υδάτινων σωμάτων από τις απορροές αυτές, οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ποιότητα των απορροών και οι επιπτώσεις στα υδάτινα σώματα. Τέλος, παρουσιάζονται τα κατάλληλα δομικά μέτρα διαχείρισης της ρύπανσης, τα κριτήρια της επιλογής τους και προτείνονται συγκεκριμένα μέτρα, τα οποία θα πρέπει να ληφθούν.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 είχε γίνει αντιληπτό τις Η.Π.Α. ότι οι απορροές των ομβρίων από τις οδούς, αστικές και υπεραστικές, μπορούν να αποτελέσουν πιθανές πηγές ρύπανσης των υδάτινων σωμάτων, υπόγειων και επιφανειακών (Sartor & Boyd 1972, Shaheen 1975, Gupta et al. 1981). Σήμερα είναι κοινή διαπίστωση πλέον, ότι οι απορροές των ομβρίων των οδών αυτών αποτελούν διάχυτες (diffuse sources) ή μη-σημειακές (non-point sources) πηγές ρύπανσης, που συμβάλλουν στην υποβάθμιση της ποιότητας του νερού των υδάτινων αποδεκτών. Συγκεκριμένα, οι απορροές των υπεραστικών οδών μπορούν να είναι υπεύθυνες για σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον, ιδιαίτερα δε μακροπρόθεσμα, αφού μπορούν να μεταφέρουν στερεά σωματίδια, βαρέα μέταλλα, χλωρίδια κ.λπ. Άμεσο αποτέλεσμα των ανωτέρω είναι η επιβάρυνση των οικοσυστημάτων, καθώς η ρύπανση των υδάτων έχει επιπτώσεις στον άνθρωπο, στη χλωρίδα και στην πανίδα, γεγονός που καθιστά επιτακτική την ανάγκη για τη λήψη μέτρων αντιμετώπισης του προβλήματος (Tsihrintzis & Hamid 1997, Barbosa & Hvitved-Jacobsen 1999).

Οι πολιτικές μεταφορών και υποδομής της Ε.Ε. (διευρωπαϊκά δίκτυα) αναμένονται να ικανοποιούν οικονομικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς στόχους. Είναι εύλογο, λοιπόν, να θεωρηθεί ότι σε ορισμένες περιοχές από τις οποίες διέρχεται το δίκτυο αυτό ενδεχομένως να υπάρχει κίνδυνος υποβάθμισης των υδάτινων σωμάτων από τις απορροές των ομβρίων. Επομένως, χρειάζονται στρατηγικές ελέγχου της ρύπανσης των σωμάτων αυτών από τις απορροές των ομβρίων των οδικών αξόνων, τόσο του πανευρωπαϊκού δικτύου, όσο και των υπεραστικών οδών των κρατών μελών της Ε.Ε, που να στηρίζονται στην επιστημονική έρευνα και σε αξιόπιστα στοιχεία.

Στην απόφαση αρ. 1692/96/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Ιουλίου 1996 «περί των κοινοτικών προσανατολισμών για την ανάπτυξη του διευρωπαϊκού δικτύου μεταφορών» και συγκεκριμένα, στο άρθρο 8 αυτής ορίζεται ότι «κατά την ανάπτυξη και υλοποίηση των σχεδίων, τα κράτη μέλη οφείλουν να λαμβάνουν υπόψη τους την προστασία του περιβάλλοντος εκπονώντας αξιολογήσεις των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των σχεδίων κοινού ενδιαφέροντος που πρόκειται να υλοποιηθούν». Ο Ν. 3199/2003 (ΦΕΚ280/τ.Α/9-12-2003), που εναρμονίζει το εθνικό μας δίκαιο περί προστασίας και διαχείρισης των υδατικών πόρων με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ και συγκεκριμένα στο άρθρο 8 αυτού, ρητά ορίζει ότι στα προγράμματα μέτρων και παρακολούθησης της κατάστασης των υδάτων, που οι Περιφέρειες της χώρας υποχρεούνται να εκπονήσουν, θα πρέπει μεταξύ των άλλων να περιλαμβάνεται και «η αντιμετώπιση της ρύπανσης των υδατικών οικοσυστημάτων, ανεξάρτητα από την πηγή της προέλευσης τους». Οι Οδηγίες Σύνταξης Μελετών Έργων Οδοποιίας (Ο.Σ.Μ.Ε.Ο.) της ΕΓΝΑΤΙΑ Α.Ε. και συγκεκριμένα στο Παράρτημα 3.1 αυτής, ορίζουν ότι «ο σκοπός της υδραυλικής μελέτης δεν είναι απλά η απαγωγή των υδάτων από το οδόστρωμα, αλλά και η διάθεση τους σε φυσικούς αποδέκτες κατά τρόπο που να ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις στον περιβάλλοντα χώρο», χωρίς όμως να εξειδικεύουν τις επιπτώσεις αυτές, ούτε να καθορίζουν τα μέτρα που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Ειδικότερα, όμως, στην ενότητα Α3.1.1.2. των ανωτέρω προδιαγραφών αναφέρεται ότι «οι οδηγίες αυτές δεν είναι ούτε οριστικές, ούτε περιοριστικές». Κατά συνέπεια, το θέμα αυτό παραμένει ανοιχτό και αποτελεί κίνητρο για περαιτέρω έρευνα και συζήτηση.

Οι δυσμενείς επιπτώσεις από τις απορροές των ομβρίων των υπεραστικών οδών μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με δομικά (structural) ή με μη δομικά (non-structural) μέτρα ελέγχου της ρύπανσης ή και με συνδυασμό αυτών. Τα κριτήρια επιλογής των κατάλληλων δομικών μέτρων ελέγχου (υγρές λεκάνες, τεχνητοί υγρότοποι, τάφροι διήθησης κ.λπ.) εξαρτώνται από κλιματολογικές, γεωγραφικές, και οικονομικές παραμέτρους (αναμενόμενη ποσότητα απορροής, τύπος και ποσότητα ρύπων, εδαφική έκταση, φυσικά χαρακτηριστικά της περιοχής κ.λπ.). Σημειώνεται ότι κάποια μέτρα ελέγχου μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες, ενώ άλλα δεν μπορούν. Επομένως, είναι απαραίτητο να εξετάζεται η αποτελεσματικότητα των συγκεκριμένων δομικών μέτρων ελέγχου των ρύπων πριν από τη λήψη των αποφάσεων διαχείρισης των απορροών των ομβρίων των υπεραστικών οδών.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η διαχείριση της ρύπανσης των υδάτινων αποδεκτών από τις απορροές ομβρίων των υπεραστικών οδών με δομικά μέτρα βέλτιστης διαχείρισης. Συγκεκριμένα, εξετάζονται οι ρύποι που περιέχονται στις απορροές αυτές, οι πηγές προέλευσης τους, οι επιπτώσεις στους υδάτινους αποδέκτες, τα δομικά μέτρα διαχείρισης της ρύπανσης, τα κριτήρια της επιλογής τους και τέλος, προτείνονται συγκεκριμένα μέτρα, τα οποία θα πρέπει να ληφθούν.

2 ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Οι απορροές των ομβρίων στις υπεραστικές οδούς, που είναι ασυνεχείς ως προς το χρόνο και μη συγκεντρωμένες σε μια συγκεκριμένη θέση, περιέχουν διάφορα συστατικά, τα οποία μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα του νερού των υδάτινων σωμάτων, υπόγειων και επιφανειακών, στα οποία καταλήγουν, με αποτέλεσμα να συνιστούν διάχυτες ή μη-σημειακές πηγές ρύπανσης. Συγκεκριμένα, οι σταγόνες της βροχής συμπαρασύρουν τους ρύπους της ατμόσφαιρας και με τις απορροές που δημιουργούν εμπλουτίζονται με τα διάφορα σωματίδια και ρύπους, που έχουν επικαθίσει ή προσκολληθεί στα οδοστρώματα, στα ερείσματα, στις διαχωριστικές νησίδες, στο εύρος καταλήψεως κ.λπ. των αυτοκινητοδρόμων για να καταλήξουν τελικά, είτε με απευθείας απορροή, είτε μέσω αποχετευτικού δικτύου στα παρακείμενα υδάτινα σώματα (ποτάμια, λίμνες, υγρότοποι, υδροφόρα στρώματα, λιμνοθάλασσες κ.λπ.) (Yannopoulos et al., 2004).

Κατ' αυτό τον τρόπο, οι απορροές αυτές περιέχουν διάφορα συστατικά, τα οποία χαρακτηρίζουν την ποιότητα του νερού. Μερικά από τα συστατικά αυτά οφείλονται στη χρήση των υπεραστικών οδών και ειδικότερα, στον κυκλοφοριακό φόρτο, στο υλικό κατασκευής των οδοστρωμάτων, στις τεχνικές συντήρησης κ.λπ., ενώ άλλα προέρχονται από την ευρύτερη περιοχή από την οποία διέρχεται η υπεραστική οδός και μεταφέρονται με τις ατμοσφαιρικές εναποθέσεις, οι οποίες μπορούν να περιέχουν διάφορες ουσίες, όπως π.χ. φυτοφάρμακα, λιπάσματα, ρύπους λόγω βιομηχανικών και εμπορικών δραστηριοτήτων κ.λπ. (Yannopoulos et al., 2004). Οι απορροές των ομβρίων των υπεραστικών οδών περιέχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις μετάλλων και ειδικότερα, μολύβδου και ψευδαργύρου από ότι τα δείγματα νερού γειτονικών υδάτινων σωμάτων

με υπεραστικές οδούς (Yousef et al. 1986, Harper 1988). Σύμφωνα με τους Bingham et al. (2002), ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος και χαλκός είναι σε γενικές γραμμές οι σημαντικότεροι ρύποι στις απορροές των υπεραστικών οδών με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις να εμφανίζονται κατά τη διάρκεια των 30 πρώτων λεπτών της βροχόπτωσης.

Οι ρύποι, που συνήθως περιέχονται στις απορροές των ομβρίων των υπεραστικών οδών, είναι:

α. *Στερεά σωματίδια*. Αυτά είναι λεπτά σωματίδια σκόνης που προέρχονται από την περιοχή από την οποία διέρχεται η υπεραστική οδός, σκόνη και σκουπίδια που μεταφέρονται και ρυπαίνονται από τον κυκλοφοριακό φόρτο ή προέρχονται από τις εργασίες συντήρησης, όπως είναι π.χ. η χρήση αποπαγωγικών μέσων. Τα αιωρούμενα στερεά παίζουν ένα σημαντικό ρόλο σχετικά με τις θρεπτικές ουσίες, αφού αυτά μπορούν να τις μεταφέρουν. Οι θρεπτικές ουσίες προέρχονται από τις ατμοσφαιρικές εναποθέσεις, τα καυσαέρια των μηχανών, τα λιπάσματα κ.λπ.

β. *Βαρέα μέταλλα*. Στις απορροές των ομβρίων των υπεραστικών οδών μπορούν να περιέχονται μόλυβδος, ψευδάργυρος, σίδηρος, χαλκός, κάδμιο, χρώμιο, νικέλιο, μαγγάνιο, βάριο, καίσιο και αντιμόνιο. Τα βαρέα μέταλλα μπορούν να προέρχονται από τα αυτοκίνητα, τα καυσαέρια, τις φθορές των ελαστικών, των φρένων και των μηχανικών μερών των οχημάτων, τη διάβρωση των χρωμάτων και τις σκουριές (USEPA, 1996). Ειδικότερα, ο ψευδάργυρος προέρχεται από διάφορες πηγές, όπως για παράδειγμα από τις φθορές των επιστρώσεων, των φρένων, τις εκπομπές των καυσαερίων και τα αποπαγωγικά άλατα (Christensen & Guinn, 1979). Ο σίδηρος, το βάριο και το καίσιο προέρχονται από τις φθορές των φρένων, ενώ το αντιμόνιο από τις φθορές των ελαστικών. Ο σίδηρος μπορεί να προέρχεται και από την υποβάθμιση των αυτοκινήτων. Το νικέλιο οφείλεται στη βενζίνη και στα πετρέλαια, στα λιπαντικά κ.λπ., ενώ το μαγγάνιο στη φθορά των κινητήρων (USEPA, 1996).

γ. *Χλωρίδια*: Αυτά κυριαρχούν στις απορροές των ομβρίων των υπεραστικών οδών κατά τους χειμερινούς, κυρίως, μήνες λόγω της ρίψης άλατος. Στις απορροές των ομβρίων μπορούν να βρεθούν νάτριο, ασβέστιο και θείο που οφείλονται στα αποπαγωγικά υλικά. Το θείο μπορεί να οφείλεται και στα καύσιμα, όπως και στα ασφαλτικά υλικά (USEPA, 1996).

Μια άλλη αιτία ρύπανσης των υδάτινων σωμάτων, πλην όμως σπανιότερη, είναι η μεταφορά επικίνδυνων ή τοξικών ουσιών, όπως η βενζίνη, το πετρέλαιο, χημικά κ.λπ. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται, είτε σε περίπτωση ατυχήματος, οπότε υπάρχει διάχυση των υλικών, είτε όταν η μεταφορά γίνεται χωρίς να τηρούνται αυστηρά οι κανόνες ασφαλείας, οπότε υπάρχει διαρροή ουσιών πολύ μικρότερων ποσοτήτων από την προηγούμενη περίπτωση. Για την ρύπανση αυτού του είδους, αναφέρεται η Οδηγία 94/55/ΕΚ (Official Journal of the European Communities No. L 319/12.12.1994, pp. 0007-0013). Το θέμα αυτό δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Οι Driscoll et al. (1990) ανακεφαλαίωσαν και παρουσίασαν τις συγκεντρώσεις και τα φορτία ρύπων από τις απορροές ομβρίων των υπεραστικών οδών από μελέτες που έγιναν σε διάφορες Πολιτείες των Η.Π.Α. Ορισμένα από τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Επειδή, όμως, οι τιμές του πίνακα 1 είναι μέσες, δεν αντικατοπτρίζουν και τις μετρημένες μέγιστες και ελάχιστες τιμές.

Πίνακας 1. Περιεκτικότητες σε ρύπους των απορροών ομβρίων υπεραστικών οδών στις Η.Π.Α.

Ρύπος	Συγκέντρωση (mg/l, εκτός εάν σημειώνεται διαφορετικά)	Ετήσιο φορτίο ρύπων ανά μονάδα επιφανείας (kg/ha/yr)
Αιωρούμενα στερεά	45.0 - 798.0	314.0 - 11862.0
BOD ₅	12.7 - 37.0	30.6 - 164.0
COD	14.7 - 272.0	128.0 - 3868.0
Νιτρικά και νιτρώδη	0.15 - 1.636	0.8 - 8.0
Ολικό άζωτο Kjeldahl	0.335 - 55.0	1.66 - 31.95
Ολικός μόλυβδος	0.073 - 1.78	0.08 - 21.2
Ολικός οργανικός άνθρακας	24.0 - 77.0	31.3 - 342.1
Ολικός σίδηρος	2.429 - 10.30	4.37 - 28.81
Ολικός φώσφορος	0.113 - 0.998	0.6 - 8.23
Ολικός χαλκός	0.022 - 7.033	0.03 - 4.67
Ολικός ψευδάργυρος	0.056 - 0.929	0.22 - 10.4

Οι μέσες αυτές τιμές του πίνακα 1 αφορούν τις συγκεκριμένες θέσεις ή τις συγκεκριμένες περιοχές, στις οποίες έγιναν οι σχετικές μελέτες.

3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΟΜΒΡΙΩΝ

Οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα και την ποσότητα των απορροών των υπεραστικών οδών, το μέγεθος και την κατανομή τους στο χρόνο, αλλά και τις συγκεντρώσεις των ρύπων που θα περιέχουν αυτές είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος, τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης, ο τύπος της επιφάνειας του οδοστρώματος και η φύση των ρύπων.

Ο κυκλοφοριακός φόρτος επηρεάζει την συγκέντρωση των ρύπων στις επιφάνειες των υπεραστικών οδών. Από έρευνα της FHWA (Federal Highway Administration) που έγινε κατά τη δεκαετία του '70 για την ποιότητα του νερού των απορροών των υπεραστικών οδών προέκυψε ότι οι απορροές αυτές έχουν σημαντικές επιπτώσεις μόνο σε οδούς με κυκλοφοριακό φόρτο μεγαλύτερο των 30.000 οχημάτων ανά ημέρα (USEPA, 1996).

Στα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης, που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα των απορροών των υπεραστικών οδών, περιλαμβάνονται ο αριθμός των άνομβρων ημερών που προηγούνται του γεγονότος της βροχόπτωσης, η ένταση της βροχόπτωσης και ο όγκος της απορροής. Ο αριθμός των ξηρών ημερών που προηγούνται του γεγονότος της βροχόπτωσης είναι ένας από τους παράγοντες που καθορίζει την συγκέντρωση των ρύπων στην επιφάνεια (Huber & Dickinson, 1988). Η ένταση της βροχόπτωσης και ο όγκος της απορροής επηρεάζουν την αραιώση των ρύπων, την ταχύτητα μεταφοράς τους και το ρυπαντικό φορτίο που μεταφέρεται στους υδάτινους αποδέκτες. Αυτό οφείλεται, στο γεγονός ότι πολλοί από τους ρύπους, όπως π.χ. τα μέταλλα, οι οργανικές ενώσεις, ο ολικός οργανικός άνθρακας κ.λπ. συνδέονται με τα σωματίδια και μεταφέρονται πιο εύκολα με τις βροχές μεγάλης έντασης.

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ρύπων παρατηρούνται συνήθως κατά την «πρώτη απορροή» που προκύπτει από μια βροχόπτωση, ένα φαινόμενο που είναι γνωστό στη διεθνή βιβλιογραφία ως "first flush". Αυτό είναι ιδιαίτερα σωστό για τα διαλυμένα συστατικά συμπεριλαμβανομένων των θρεπτικών ουσιών, τον οργανικό μόλυβδο και τα συστατικά των ιόντων (Driscoll et al. 1990, Kerri et al. 1985).

Όσον αφορά στο υλικό κατασκευής του τάπητα κυκλοφορίας (άσφαλτος ή σκυρόδεμα) έχει διαπιστωθεί ότι έχει ελάχιστες επιπτώσεις στην ποιότητα των απορροών των υπεραστικών οδών σε σύγκριση με άλλους παράγοντες, όπως είναι π.χ. η χρήση γης (Driscoll et al. 1990). Ο Stolz (1987) διαπίστωσε ότι μεγαλύτερη επίδραση στην ποιότητα των απορροών των υπεραστικών οδών έχει το σύστημα συγκέντρωσης και μεταφοράς τους (αγωγοί ομβρίων, τάφροι με φυτική βλάστηση κ.λπ.) παρά ο τύπος του οδοστρώματος.

Εκτός από τους ανωτέρω γενικούς παράγοντες, που προαναφέρθηκαν, το εύρος των συγκεντρώσεων των ρύπων και των φορτίων τους εξαρτώνται από τις συγκεκριμένες συνθήκες που υπάρχουν σε μια περιοχή ή τις εποχιακές μεταβολές που μπορούν να λάβουν χώρα. Σημειώνεται ότι υπερβολικά φορτία στερεών αποδίδονται, συνήθως, σε περιβαλλοντικές πηγές και στις εργασίες συντήρησης των υπεραστικών οδών και όχι στις απορροές των ομβρίων (Yannopoulos et al., 2004).

Στον πίνακα 2 δίνονται οι παράγοντες που έχουν διαπιστωθεί ότι επηρεάζουν τα φορτία των διαφόρων ρύπων που περιέχονται στις απορροές ομβρίων των υπεραστικών οδών (Barett et al., 1995).

Από τον πίνακα 2 διαπιστώνεται ότι ο όγκος της απορροής, που στην πραγματικότητα είναι το ύψος της βροχόπτωσης, είναι ο σημαντικότερος παράγοντας, που επηρεάζει όλα τα φορτία των ρύπων. Σημαντικοί παράγοντες επίσης, είναι η ένταση και η διάρκεια της βροχής, αλλά και ο όγκος της κυκλοφορίας που προηγήθηκε της βροχής.

4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΥΔΑΤΙΝΑ ΣΩΜΑΤΑ

Οι υδάτινοι αποδέκτες, επιφανειακοί και υπόγειοι, είναι ευάλωτοι στη ρύπανση. Ειδικότερα, οι επιφανειακοί αποδέκτες (ρεύματα, ποταμοί, υγρότοποι, και λίμνες) είναι ιδιαίτερα τρωτοί στη ρύπανση, επειδή εκτίθενται άμεσα στους ρύπους που απελευθερώνονται στον αέρα και με τις

βροχές και τις απορροές εκχέονται σε αυτούς άμεσα από σημειακές και μη-σημειακές πηγές ρύπανσης (Young et al., 1996). Η ρύπανση των υπόγειων αποδεκτών (υπόγειοι υδροφορείς, karst κ.λπ.) γίνεται βαθμιαία, επειδή οι ρύποι διηθούνται διαμέσου του εδάφους με αργούς ρυθμούς, αφού το έδαφος χρησιμεύει ως φίλτρο. 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. Στις περιπτώσεις αυτές, οι υπόγειοι υδροφορείς είναι πολύ πιο ευάλωτοι στη ρύπανση από τους επιφανειακούς (Stephenson & Beck, 1995).

Πίνακας 2. Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα των απορροών των υπεραστικών οδών

Ρύπος	Βροχή		Όγκος απορροής	Προηγούμενη διάρκεια άνομβρης περιόδου	Όγκος κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια της βροχής	Όγκος κυκλοφορίας που προηγήθηκε της βροχής
	Διάρκεια	Ένταση				
Αιωρούμενα στερεά		+	+	+		
Ψευδάργυρος	+		+			+
COD	+	+	+	+		+
Φώσφορος	+	+	+			+
Νιτρικά		+	+			+
Μόλυβδος		+	+		+	
Χαλκός	+		+		+	
Πετρέλαια και λάδια			+		+	

Μερικοί από τους παράγοντες που καθορίζουν την έκταση και τη σημασία των επιπτώσεων των απορροών των υπεραστικών οδών στους υδάτινους αποδέκτες είναι το μέγεθος και το είδος (λίμνη, ποτάμι, υγρότοπος κ.λπ.) του υδάτινου αποδέκτη, η δυνατότητα διασποράς των ρύπων, το μέγεθος της λεκάνης απορροής 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. Οι λίμνες αντιδρούν στα συσσωρευτικά ρυπαντικά φορτία που δέχονται κατά τη διάρκεια μιας εκτεταμένης χρονικής περιόδου π.χ. εποχή ή έτος, αφού το συνηθέστερο περιβαλλοντικό ζήτημα για τις λίμνες είναι η υπεδραστηριοποίηση της υδρόβιας ζωής. Συνεπώς, οι τύποι των ρύπων μέγιστης σημασίας για τις λίμνες είναι οι θρεπτικές ουσίες. Τα ρέματα 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 αρχίζει να επηρεάζει το τοπικό περιβάλλον στο οποίο εναποτέθηκε. Το συνηθέστερο πρόβλημα για τα ρέματα είναι καταστολή της υδρόβιας ζωής από τις τοξικές επιπτώσεις των βαρέων μετάλλων (Driscoll et al., 1990).

Σε γενικές γραμμές, τα βαρέα μέταλλα υποβαθμίζουν την ποιότητα των υδάτινων σωμάτων και βλάπτουν τους υδρόβιους οργανισμούς, αφού παρεμποδίζουν την φωτοσύνθεση, τη διαπνοή, την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή τους. Συνήθως, τα βαρέα μέταλλα στις απορροές των υπεραστικών οδών δεν είναι ένα πρόβλημα τοξικότητας, η οποία, εξάλλου, κατά ένα σημαντικό μέρος εξαρτάται από την φυσική και χημική μορφή του βαρέως μετάλλου, τη διαθεσιμότητα του στους υδάτινους οργανισμούς και τις υφιστάμενες συνθήκες του υδάτινου αποδέκτη. Συγκεκριμένα, νερό με υψηλή συγκέντρωση σε κάποιο βαρύ μέταλλο μπορεί να είναι στην πραγματικότητα λιγότερο τοξικό από κάποιο άλλο, που μπορεί να έχει χαμηλότερη μεν συγκέντρωση του ίδιου μετάλλου, αλλά σε διαφορετική μορφή. Για παράδειγμα, το ιόν του χαλκού είναι επιβλαβέστερο στους υδρόβιους οργανισμούς από το οργανικά δεσμευμένο ή τον στοιχειώδη χαλκό (Yousef et al., 1985).

5 ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΟΥΣ

Οι δυσμενείς επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού των υδάτινων σωμάτων από τις απορροές των υπεραστικών οδών μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με δομικές (structural) ή με μη δομικές (nonstructural) τεχνικές βέλτιστης διαχείρισης (Best Management Practices-BMPs) ή και με συνδυασμό αυτών. 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. Οι μη δομικές BMPs χρησιμοποιούνται για να μειώνουν την αρχική συγκέντρωση και την συσσώρευση των ρύπων στην απορροή και περιλαμβάνουν τεχνικές ελέγχου των πηγών ρύπανσης, όπως είναι το σκούπισμα, ο έλεγχος της χρήσης των λιπασμάτων, η κατάλληλη επιλογή της θέσης του αυτοκινητοδρόμου και των θέσεων των τεχνικών έργων αυτού, η χρήση της απαραίτητης ποσότητας αποπαγωτικών υλικών σε συνδυασμό με την κατάλληλη μέθοδο διάστρωσης κ.λπ. Οι δομικές BMPs μπορούν να θεωρηθούν ως διορθωτικά μέτρα για την αντιμετώπιση των υφιστάμενων ή των προσδοκούμενων προβλημάτων από τις απορροές των υπεραστικών οδών (Young et al, 1996).

Οι τεχνικές αυτές περιλαμβάνουν α) τα έργα συγκράτησης (retention/detention practices), β) τα έργα διήθησης (infiltration practices), γ) τα έργα διύλισης (filtration practices), δ) τα έργα με βλάστηση (vegetative practices) και ε) τους τεχνητούς υγρότοπους (constructed wetlands).

Έργα συγκράτησης: Περιλαμβάνουν τις λεκάνες συγκράτησης (detention ponds), τις εκτεταμένες λεκάνες συγκράτησης (extended detention ponds) και τις “υγρές” λεκάνες (“wet” ponds). Τόσο οι λεκάνες συγκράτησης, όσο και οι εκτεταμένες λεκάνες συγκράτησης σχεδιάζονται, έτσι ώστε να είναι ξηρές (χωρίς νερό) μεταξύ των διαφόρων επεισοδίων βροχής. Ο χρόνος παγίδευσης των απορροών κυμαίνεται από 1 έως 2 ώρες για τις λεκάνες συγκράτησης και από 6 έως 12 ώρες για τις εκτεταμένες λεκάνες συγκράτησης (MWCOCG, 1983). Λόγω του μικρού χρόνου παγίδευσης των απορροών, οι λεκάνες συγκράτησης δεν είναι ούτε αξιόπιστες, ούτε αποτελεσματικές στην επεξεργασία των απορροών των υπεραστικών οδών. Στις εκτεταμένες λεκάνες συγκράτησης η αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών και των ρύπων είναι μεγαλύτερη από ότι στις λεκάνες συγκράτησης, πλην όμως οι ρυθμοί αφαίρεσης είναι χαμηλοί και μερικές φορές ακόμη και αρνητικοί. Οι δαπάνες κατασκευής των λεκανών αυτών είναι γενικά μικρότερες σε σχέση με τις δαπάνες κατασκευής των υγρών λεκανών, πλην, όμως, οι δαπάνες συντήρησης τους είναι σημαντικά μεγαλύτερες. Η επιλογή της θέσεως των λεκανών αυτών πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να αποφεύγεται ή να μειώνεται η είσοδος ομβρίων υδάτων, που δεν προέρχονται από την υπεραστική οδό. Οι χώροι αναψυχής ή ξεκούρασης μπορούν να είναι κοντά στις λεκάνες αυτές. Οι “υγρές” λεκάνες (“wet” ponds) είναι παρόμοιες με τις ξηρές με τη διαφορά ότι διατηρούν ένα μόνιμο στρώμα νερού, το οποίο επηρεάζει την καθίζηση των ρύπων. Οι λεκάνες αυτές είναι αρκετά αποτελεσματικές στην μείωση της ρύπανσης των απορροών των αυτοκινητοδρόμων. Οι Maestri & Lord (1987) υποστηρίζουν ότι οι “υγρές” λεκάνες είναι η καλύτερη επιλογή για την επεξεργασία των απορροών των αυτοκινητοδρόμων, εάν δεν είναι εφικτή η κατασκευή των έργων με βλάστηση. Οι λεκάνες αυτές σχεδιάζονται για να παγιδεύσουν μια μόνιμη ποσότητα νερού και να διατηρήσουν μια ορισμένη ποσότητα των απορροών. Η αφαίρεση των ρύπων επιτυγχάνεται αρχικά με ιζηματογένεση των αιωρούμενων στερεών και με κάποιες βιολογικές διαδικασίες, που συνδράμουν στη μείωση των διαλυτών θρεπτικών ουσιών. Οι “υγρές” λεκάνες χρησιμοποιούνται σε υπεραστικές οδούς που γειτνιάζουν με κατοικημένες ή βιομηχανικές περιοχές.

Έργα διήθησης: Περιλαμβάνουν τα πορώδη οδοστρώματα (porous pavements), τα φρεάτια διήθησης (infiltration wells), τις τάφρους διήθησης (infiltration trenches) και τις λεκάνες διήθησης (infiltration basins). Τα έργα αυτά σχεδιάζονται, έτσι ώστε να παγιδεύουν μια συγκεκριμένη ποσότητα του όγκου της απορροής. Η απορροή των ομβρίων υφίσταται επεξεργασία, καθώς το νερό διηθείται κατευθείαν στο υπέδαφος ή καθώς διέρχεται μέσα από ένα στρώμα φίλτρου από πορώδη υλικά. Τα πορώδη οδοστρώματα αποτελούνται από μια λεπτή στρώση ανοικτής-σύνθεσης ασφαλτοσκυροδέματος, που τοποθετείται σε μια βάση από λιθολιθία. Το νερό των απορροών συγκεντρώνεται στα κενά των πόρων έως ότου διηθηθεί μέσω της υπόβασης ή των πλευρικών αποστραγγιστικών συστημάτων. Η χρόνια απόφραξη των πορώδων οδοστρωμάτων είναι συνήθης. Δεδομένου ότι μια ξηρή υπόβαση είναι ουσιαστική για τον καλό σχεδιασμό των υπεραστικών οδών, οι κατασκευές αυτές είναι ατελέσφορες για τη διαχείριση των απορροών των υπεραστικών οδών και συνιστώνται για τη χρήση μόνο σε χώρους στάθμευσης και σε θέσεις χαμηλών

κυκλοφοριακών φόρτων (Maestri & Lord, 1987). Τα φρεάτια διήθησης είναι μικρές τάφροι, η κατασκευή και η λειτουργία των οποίων είναι πολύ μεγαλύτερου κόστους σε σύγκριση με τα άλλα δομικά μέτρα διήθησης. Οι τάφροι και οι λεκάνες διήθησης είναι τα κλασικά συστήματα διήθησης, που συνδέονται με την απορροή των υπεραστικών οδών. Ο όγκος των απορροών σχεδιασμού που συλλαμβάνεται σε αυτές διηθείται αργά μέσω του πυθμένα και των παρειών τους. Το νερό που διηθείται διέρχεται από το υπέδαφος και τροφοδοτεί τελικά τον υπόγειο ορίζοντα. Η αφαίρεση των ρύπων γίνεται με φυσική διήθηση, προσρόφηση και μικροβιακή αποσύνθεση στα υποκείμενα εδάφη (Schueler et al., 1991), καθώς επίσης και με παγίδευση των σωματιδίων στο εσωτερικό του τμήματος προεπεξεργασίας του συστήματος. Οι τάφροι και οι λεκάνες διήθησης είναι πιο αποτελεσματικές στην αφαίρεση των ολικών αιωρούμενων στερεών, των βακτηριδίων και των μετάλλων (Young et al., 1996). Η κατασκευή τους περιορίζεται σε περιοχές που έχουν κατάλληλους τύπους εδαφών και χαρακτηριστικά του υπόγειου ορίζοντα. Οι τάφροι διήθησης είναι καταλληλότερες για επιφάνειες απορροής μέχρι 5 acres (Schueler et al., 1991), ενώ οι δεξαμενές διήθησης για επιφάνειες μέχρι 50 acres περίπου (Dorman et al., 1988). Αστοχίες των τάφρων διήθησης λόγω απόφραξης δεν είναι ασυνήθεις. Όμως, η χρήση κοκκωδών φίλτρων αυξάνει σημαντικά τη ζωή των τάφρων διήθησης περίπου στο διπλάσιο. Οι τάφροι και οι λεκάνες διήθησης, που είναι οι πιο αποτελεσματικές στην αφαίρεση των ολικών αιωρούμενων στερεών, των βακτηριδίων, και των μετάλλων από τις απορροές των αυτοκινητοδρόμων (Young et al., 1996), έχουν μια αποτελεσματική διάρκεια ζωής 10 έως 15 ετών και απαιτούν την αφαίρεση ιζημάτων/μπάζων ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Έργα διύλισης: Περιλαμβάνουν τα φίλτρα άμμου (sand filters), που είναι σχετικά νέο μέτρο διαχείρισης των απορροών των αυτοκινητοδρόμων. Τα φίλτρα άμμου παρέχουν αποτελεσματική επεξεργασία σε περιοχές, όπου οι συμβατικές τεχνικές BMPs δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όπως για παράδειγμα σε περιοχές με περιορισμένο χώρο και ξηρά κλίματα. Ειδικότερα, τα έργα αυτά ενδείκνυνται για περιοχές με εδάφη μικρού πάχους, με χαμηλούς ρυθμούς διήθησης και υψηλή εξατμισοδιαπνοή (Shueler et al., 1991). Με τα φίλτρα άμμου, οι απορροές φιλτράρονται διηθούμενες μέσα από στρώμα άμμου, συλλέγονται και αποχετεύονται στα κατάντη. Τα φίλτρα άμμου εμφανίζουν ικανοποιητική απόδοση όσον αφορά στην αφαίρεση των ολικών αιωρούμενων στερεών και των μετάλλων και μέτρια όσον αφορά στο BOD, στις θρεπτικές ουσίες και στα κολοβακτηρίδια κοπρικής προέλευσης. Η αφαίρεση των θρεπτικών ουσιών μπορεί να αυξηθεί με την κατανάλωση τους από τα φυτά, εφόσον φυτευτούν στο πάνω στρώμα της άμμου. Έχουν μια αποτελεσματική διάρκεια ζωής 10 ετών περίπου και απαιτούν την αφαίρεση ιζημάτων/μπάζων ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Τα φίλτρα άμμου είναι κατάλληλα για επιφάνειες απορροής μέχρι 50 acres.

Έργα με βλάστηση: Περιλαμβάνουν τις τάφρους με φυτική βλάστηση (grass swale) και τις λωρίδες με φυτικά φίλτρα (vegetated filter strips). Τα έργα αυτά απαιτούν αρκετή έκταση, γιατί οι κλίσεις των πρανών τους πρέπει να είναι ήπιες για να μειώνεται η ταχύτητα εισόδου σε αυτά των απορροών, να είναι δυνατή η καθίζηση των αιωρούμενων στερεών και η διήθηση στο υπέδαφος. Οι τάφροι με φυτική βλάστηση είναι ρηχές τάφροι με βλάστηση στις οποίες η απομάκρυνση των ρύπων επιτυγχάνεται με πρόσληψη από τα φυτά, αλλά και με διήθηση στο έδαφος. Οι λωρίδες με φυτικά φίλτρα είναι καλλιεργημένα τμήματα γης παρόμοια με τις τάφρους με φυτική βλάστηση με τη διαφορά ότι είναι επίπεδες με χαμηλές κλίσεις. Στις λωρίδες αυτές η πυκνή φυτική κάλυψη με βλάστηση διευκολύνει την απομάκρυνση των ρύπων με συγκράτηση, πρόσληψη από τα φυτά και διήθηση στο έδαφος. Οι Maestri & Lord (1987) θεωρούν τα έργα με βλάστηση σαν τις τεχνικές διαχείρισης των απορροών των αυτοκινητοδρόμων με το χαμηλότερο κόστος. Η βλάστηση που χρησιμοποιείται θα πρέπει να είναι κατάλληλη για την σταθεροποίηση του εδάφους, την επεξεργασία των βροχοπτώσεων και την πρόσληψη των θρεπτικών ουσιών. Οι λωρίδες με φυτικά φίλτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στα ανάντη των σημείων εκροής άλλων BMPs, όπως είναι π.χ. οι υγρότοποι, οι τάφροι διήθησης κ.λπ. Οι λωρίδες αυτές παρουσιάζουν μειωμένη απόδοση σε κλίσεις εδάφους από 6% έως 15% και δεν λειτουργούν σε κλίσεις μεγαλύτερες από 15%.

Τεχνητοί υγρότοποι: Οι υγρότοποι αυτοί σχεδιάζονται σαν αβαθείς λιμνούλες, στις οποίες δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη υδροχαρών φυτών και τη μεγιστοποίηση της αφαίρεσης των ρύπων με πρόσληψη 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 μεθόδους ελέγχου 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 (Schueler et al., 1991) και σε περιοχές με υψηλούς ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής.

Τα κριτήρια επιλογής των κατάλληλων μέτρων δομικών μέτρων ελέγχου 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. Επομένως, είναι απαραίτητο να μελετάται η αποτελεσματικότητα των συγκεκριμένων δομικών μέτρων ελέγχου των ρύπων πριν από τη λήψη των αποφάσεων διαχείρισης. Στον πίνακα 3 δίνονται τα κριτήρια που πρέπει να ικανοποιεί μια συγκεκριμένη θέση για την κατασκευή ενός BMPs, ενώ στον πίνακα 4 δίνονται οι αποδόσεις αφαίρεσης των ρύπων από τα διάφορα BMPs (Young et al., 1996) και στον πίνακα 5 συγκριτικά στοιχεία για τα διάφορα BMPs (Barett et al. 1995, Tsihrintzis & Hamid 1997).

Πίνακας 3. Κριτήρια για την επιλογή της θέσεως ενός BMPs

BMPs	Βασικά κριτήρια				Πρόσθετα κριτήρια				
	Αποχ. έκταση (acres*)	Υδρολογικός τύπος εδάφους κατά SCS (δήθηση in/hr)				Διαθ. βασική ροή	Κλίση %	Υπόγειος ορίζοντας (ft)	Φρέατα, γεωτρήσεις κ.λπ. (ft)
		A (>2)	B (0.5- 2)	C (0.15- 0.5)	D (<0.15)				
Λεκάνες εκτεταμένης συγκράτησης	5-100	√	√	√	√	‡	0-15	‡	‡
«Υγρές» λεκάνες	10-100		√	√	√	Ναι	0-15	‡	‡
Πορώδη οδοστρώματα	0-10	√	√			‡	0-2	>4	>100
Τάφροι δήθησης	0-10	√	√			‡	0-5	>4	>100
Λεκάνες δήθησης	5-50	√	√			‡	0-2	>4	>100
Φίλτρα άμμου	0-50	‡	‡	‡	‡	‡	0-15	‡	‡
Τάφροι με φυτική βλάστηση	0-10	√	√	√		‡	0-5	‡	‡
Λωρίδες με φυτικά φίλτρα	0-5	√	√	√		‡	0-5	‡	‡
Τεχνητοί υγρότοποι	10-100		√	√	√	Ναι	0-15	‡	‡

* 1 acre = 4046,85 m²

‡ Ο παράγοντας αυτός δεν είναι περιοριστικός για το συγκεκριμένο BMPs.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος υπεραστικών οδών μπορεί να έχει επιπτώσεις στους υδατικούς πόρους της περιοχής από την οποία αυτές διέρχονται με πολλούς τρόπους, αφού τα διάφορα τμήματα των δρόμων αυτών, είτε βρίσκονται μέσα στα όρια, είτε διασχίζουν μια λεκάνη απορροής, οπότε όλες οι φάσεις ανάπτυξης (κατασκευή-λειτουργία) ενός τέτοιου σχεδιασμού έχουν τη

δυνατότητα να έχουν επιπτώσεις και στους υδατικούς πόρους, επιφανειακούς και υπόγειους. Οι ρύποι που μπορούν να μεταφερθούν με τις απορροές των ομβρίων από τις υπεραστικές οδούς είναι στερεά σωματίδια, θρεπτικές ουσίες, μέταλλα, νάτριο, ασβέστιο, χλωρίδια κ.λπ., οι οποίοι υπό ορισμένες προϋποθέσεις, μπορούν να υποβαθμίσουν την ποιότητα του νερού των υδάτινων σωμάτων και κατ' επέκταση, να έχουν επιπτώσεις στον άνθρωπο, στην πανίδα και στη χλωρίδα των περιοχών από τις οποίες αυτές διέρχονται. Επίσης, άμεσες επιπτώσεις μπορούν να έχουν και οι δραστηριότητες κατασκευής και συντήρησης των δρόμων αυτών. Οι δυνατές επιπτώσεις είναι ποικίλες και μπορούν να κυμαίνονται από τη διάβρωση των διαταραγμένων εδαφών μέχρι τους χημικούς ρύπους που συνδέονται με τις πρακτικές συντήρησης των υπεραστικών οδών. Επιπλέον, η λειτουργία των υπεραστικών οδών μπορεί να προκαλέσει πολυάριθμες άλλες πιθανές πηγές ρύπανσης, οι οποίες δημιουργούνται από χημικούς και βιολογικούς μολυσματικούς παράγοντες, που βρίσκονται στις απορροές των ομβρίων των υπεραστικών οδών.

Πίνακας 4. Αποδόσεις αφαίρεσης των ρύπων (%) από τα διάφορα BMPs.

BMPs	Ιζήματα	Ολικός Φωσφόρος	Ολικό Άζωτο	Βαρέα μέταλλα	COD/BOD	Πετρέλαια και λάδια	Βακτήρια
Λεκάνες εκτεταμένης συγκράτησης «Υγρές» λεκάνες	68-90	2-50	28-40	2-90	2-50/*	*	*
Πορώδη οδοστρώματα	82-95	65	80-85	*	*	*	*
Τάφροι διήθησης	75-99	50-75	5-70	75-99	*/70-90	*	75-98
Λεκάνες διήθησης	75-99	50-75	5-70	50-90	*/70-90	*	75-98
Φίλτρα άμμου	70-90	50-70	30-50	50-90	50-80/50-80	*	*
Τάφροι με φυτική βλάστηση	70	30	25	50-90	25/*	75	*
Λωρίδες με φυτικά φίλτρα	70	0	20	0-80	0-20/*	*	*
Τεχνητοί υγρότοποι	†	†	†	†	†/†	†	†

* Ανεπαρκή στοιχεία † Μεγάλη μεταβλητότητα

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο με την απόφαση του αρ. 1692/96/EC έθεσε τις βασικές αρχές και τους στόχους για την ανάπτυξη ενός διευρωπαϊκού δικτύου μεταφορών, το οποίο θα περιλαμβάνει τόσο τις υποδομές (οδοί, σιδηρόδρομοι, πλωτές οδοί, λιμένες, αερολιμένες, μέσα ναυτιλίας, σταθμοί μεταφόρτωσης, σωληναγωγοί μεταφοράς προϊόντων), όσο και τις υπηρεσίες που είναι αναγκαίες για τη λειτουργία των υποδομών αυτών. Οι πολιτικές μεταφορών και υποδομής της Ε.Ε. αναμένονται να ικανοποιούν οικονομικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς στόχους. Με το ευρωπαϊκό δίκτυο μεταφορών αποσκοπείται η βελτίωση της δυνατότητας πρόσβασης σε όλα τα μέρη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εσωτερικά και εξωτερικά, ενώ ταυτόχρονα επιδιώκεται να είναι αυτό σύμφωνο με περιβαλλοντικά βιώσιμες επιπτώσεις (Priemus, 1998). Το οδικό δίκτυο αποτελείται από αυτοκινητοδρόμους και οδούς υψηλής ποιότητας, οι οποίες συμπληρώνονται από νέες ή διευθετούμενες συνδέσεις (Eurora, 2003). Εύλογο, λοιπόν, είναι να θεωρηθεί ότι για ορισμένες περιοχές από τις οποίες διέρχεται το δίκτυο αυτό ότι θα υπάρχει κίνδυνος από τις απορροές των ομβρίων όσον αφορά στα υδάτινα σώματα, υπόγεια και επιφανειακά, αλλά και τις προστατευόμενες περιοχές.

Επομένως, χρειάζονται στρατηγικές ελέγχου της ρύπανσης των υδάτινων σωμάτων από τις απορροές ομβρίων στους οδικούς άξονες του πανευρωπαϊκού δικτύου, αλλά και στις υπεραστικές

οδούς των κρατών μελών, που να στηρίζονται στην επιστημονική έρευνα και σε αξιόπιστα στοιχεία. Αυτό σημαίνει περισσότερη έρευνα για τον προσδιορισμό των ρύπων, των παραμέτρων από τις οποίες εξαρτούνται αυτοί και της μεταξύ τους αλληλεπίδρασης, των επιπτώσεων της ρύπανσης από τις απορροές των υπεραστικών οδών στους υδάτινους αποδέκτες και τον καθορισμό προδιαγραφών για τα απαραίτητα μέτρα βέλτιστης διαχείρισης αυτής. Η έρευνα αυτή θα περιλαμβάνει εκτεταμένη παρακολούθηση και εκτίμηση των απορροών των βροχοπτώσεων των υπεραστικών οδών που θα συγκεντρωθούν από διάφορες υπηρεσίες και για διάφορες κλιματολογικές συνθήκες. Ειδικότερα, θα πρέπει:

α. Να γίνει αξιολόγηση της απόδοσης των τεχνικών βέλτιστης διαχείρισης (BMPs) που χρησιμοποιούνται σε άλλες χώρες π.χ. Η.Π.Α., Καναδάς κ.λπ. για το μετριασμό των επιπτώσεων των ρύπων από τις απορροές των ομβρίων των υπεραστικών οδών στους υδάτινους αποδέκτες (συγκέντρωση και ανάλυση στοιχείων για την απόδοση των καθιερωμένων δομικών BMPs σε επιλεγμένες θέσεις - αποτελεσματικότητα των διάφορων BMPs - την τεχνική επιλογή των μέτρων ελέγχου που ταιριάζουν στα προβλήματα ποιότητας νερού των απορροών. β) Να καθοριστούν οι επιπτώσεις στους υδάτινους αποδέκτες, που μπορούν να προκληθούν από τις απορροές αυτές μακροπρόθεσμα. γ) Να συνταχθούν προδιαγραφές για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των συσσωρευτικών επιπτώσεων των απορροών αυτών στους υδάτινους αποδέκτες δ) Να γίνεται ολοκληρωμένη ευρεία διαχείριση της ποιότητας του νερού και των υδατικών πόρων, στην οποία θα εξετάζεται ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός της υπεραστικής οδού, η μελέτη, το εύρος κατάληψης, η κατασκευή, η λειτουργία και η συντήρηση σε συνδυασμό με την προστασία των υδατικών πόρων σε επίπεδο λεκάνης απορροής.

Πίνακας 5. Συγκριτικός πίνακας των διαφόρων BMPs

BMPs	Απόδοση	Διάρκεια ζωής	Εφαρμοσιμότητα	Καταλληλότητα κλίματος	Συντήρηση	Κόστος
Λεκάνες εκτεταμένης συγκράτησης	Μέτρια	20+	Υψηλή	Ξερό, Κρύο, Πολύ κρύο	Χαμηλή	Χαμηλό
«Υγρές» λεκάνες	Υψηλή	20+	Υψηλή	Ξερό, Πολύ υγρό	Μέτρια	Μέτριο-Υψηλό
Πορώδες οδόστρώμα	Μέτρια-Υψηλή	20+	Χαμηλή	Κρύο	Υψηλή	Μέτριο
Τάφροι διήθησης	Μέτρια	10-15	Χαμηλή	Ξερό, Κρύο	Υψηλή	Χαμηλό
Λεκάνες διήθησης	Μέτρια	10-15	Χαμηλή	Ξερό, Κρύο	Υψηλή	Μέτριο
Φίλτρα άμμου	Μέτρια-Υψηλή	10	Μέτρια	Ξερό, Κρύο, Πολύ κρύο	Χαμηλή	Υψηλό
Τάφροι με φυτική βλάστηση	Χαμηλή/Μέτρια	20+	Μέτρια	Ξερό, Κρύο	Χαμηλή	Χαμηλό
Τεχνητοί υγρότοποι	Υψηλή	20+	Χαμηλή	Ξερό, Πολύ κρύο	Μέτρια	Υψηλό

Μια γενικά αποδεκτή λύση αντιμετώπισης των προβλημάτων των πλημμυρών και της ρύπανσης που προέρχονται από τις απορροές των ομβρίων είναι τα δομικά (structural) και τα μη δομικά (non-structural) μέτρα διαχείρισης, τα οποία στις Η.Π.Α., Καναδά κ.λπ. είναι γνωστά ως BMPs (Best Management Practices) και στην Ευρωπαϊκή Ένωση ως SUDS (Sustainable Drainage Systems).

Η εφαρμογή των δομικών μέτρων απαιτεί έναν ακριβή χαρακτηρισμό της σύνθεσης των απορροών των υπεραστικών οδών. Η δυνατότητα για πρόβλεψη της ποιότητας των απορροών αυτών περιορίζεται από τις πολλές μεταβλητές, που συνδυάζονται για να καταστήσουν κάθε γεγονός βροχόπτωσης μοναδικό. Διαφορές στην προηγούμενη ξηρά περίοδο, στην ένταση της βροχόπτωσης, στον όγκο της κυκλοφορίας, στις χρήσεις γης της περιοχής από την οποία διέρχεται η υπεραστική οδός, ο τύπος της επιφάνειας των οδοστρωμάτων, αλλά και η μέθοδος αποχέτευσης

οδηγούν σε ένα ευρύ φάσμα συγκεντρώσεων για μερικούς από τους ρύπους που παρατηρούνται στις απορροές.

Τα μέτρα διαχείρισης της ρύπανσης από τις απορροές των ομβρίων συχνά σχεδιάζονται για να συγκεντρώσουν την "πρώτη ροή" της απορροής, γνωστό στη διεθνή βιβλιογραφία ως "first flush", έναν όρο όχι καλά ορισμένο. Για παράδειγμα, οι Barrett et al. (1995) ορίζουν την "first flush" ως την απορροή που αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο ύψος βροχής π.χ. $\frac{1}{2}$ της ίντσας, οι Lee et al. (2002) ως το χρόνο από την έναρξη της απορροής κατά τη διάρκεια της οποίας η συγκέντρωση των ρύπων είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με τα απόμεινα στάδια, η Ciria ορίζει την "first flush" ως το τμήμα της απορροής που περιέχει το μεγαλύτερο ρυπαντικό φορτίο (www.ciria.org/suds) κ.λ.π.

Όμως, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις ρύπων μπορούν να εμφανιστούν μόνο όταν η ένταση της βροχόπτωσης υπερβεί το αναγκαίο επίπεδο για τη μεταφορά των σωματιδίων από την επιφάνεια του δρόμου. Επιπλέον, η βροχή και σκόνη έχει αποδειχθεί ότι συνεισφέρουν σημαντικές ποσότητες ρύπων στις απορροή των υπεραστικών οδών. Συνεπώς, ένα πρόγραμμα δειγματοληψίας των απορροών θα μπορούσε να βοηθήσει στην εξέταση του κατά πόσο οι περιφερειακές διαφορές είναι σημαντικές, στον προσδιορισμό των τύπων και των ποσοτήτων των ρύπων που συμβάλλουν από την ατμόσφαιρα σε αυτήν την περιοχή, και στον προσδιορισμό του τμήματος της απορροής που πρέπει να συλλεχθεί και να υποστεί επεξεργασία.

Επίσης, στα σχέδια διαχείρισης της λεκάνης απορροής ποταμού, που ορίζει η Οδηγία 2000/60/EC (http://www.europa.eu.int/comm/environment/water/water-framework/index_en.html), θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι πιθανές επιπτώσεις από τις απορροές των ομβρίων των υπεραστικών οδών στο πρόγραμμα μέτρων για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων της Οδηγίας για τα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά, τις προστατευόμενες περιοχές, όπως επίσης στην ανάπτυξη των στρατηγικών κατά της ρύπανσης των υδάτων, όσο και των στρατηγικών για την αποτροπή και τον έλεγχο της ρύπανσης των υπόγειων νερών. Επιπροσθέτως, πρόνοια θα πρέπει να δοθεί στις ενδεχόμενες επιπτώσεις στα υδάτινα σώματα από τις απορροές των ομβρίων των υπεραστικών οδών κατά την ανάλυση των χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής ποταμού και την επισκόπηση των επιπτώσεων των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στην κατάσταση των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων. Συνεπώς, στην οικονομική ανάλυση της χρήσης ύδατος, που επιβάλλει η Οδηγία στα κράτη μέλη για την ανάκτηση του κόστους των υπηρεσιών ύδατος με βάση την οικονομική ανάλυση του παραρτήματος III αυτής, είναι λογικό σύμφωνα με την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει» το σχετικό κόστος κατασκευής και λειτουργίας των απαραίτητων μέτρων προστασίας των υδάτινων σωμάτων, να μετακυλιστεί στους χρήστες των υπεραστικών οδών στο βαθμό που τους αναλογεί και όχι στους διάφορους τομείς χρήσεων νερού.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Barbosa A.E. & Hvitved-Jacobsen T., 1999. Highway runoff and potential for removal of heavy metals in an infiltration pond in Portugal. *The Science of the Total Environment*. Vol. 235: 151-159
- Barrett, M.E., R.D. Zuber, E.R. Collins III, J.F. Malina, Jr., R.J. Charbeneau & G.H. Ward. 1995. *A Review and Evaluation of Literature Pertaining to the Quantity and Control of Pollution from Highway Runoff and Construction*. 2nd ed. Technical Report CRWR 239. Center for Research in Water Resources, The University of Texas at Austin.
- Bingham R. L., Neal H.V. & El-Agroudy A.A., 2002. Characterization of the potential impact of stormwater runoff from highways on the neighboring water bodies. Case Study: Tamiami trail project. *Seventh Biennial Stormwater Research and Watershed Management Conference*. May 22-23: 229-239
- Christensen E.R. & Guinn V.P., 1979. Zink from automobile tires in urban runoff. *Journal of the Environmental Engineering Division*. Proceedings of the ASCE, Vol 105. No. EE1: 165-168
- Driscoll E.D., Shelley P.E. & Strecker E.W., 1990. Pollutant Loadings and Impacts from Highway Stormwater Runoff. *Vol. III: Analytical Investigation and Research Report*. Federal Highway Administration, Office of Research and Development Report No. FHWA-RD-88-008.
- Dorman M.E., Hartigan J., Johnson F. & Maestri B., 1988. *Retention, Detention and Overland Flow for Pollutant Removal from Highway Stormwater Runoff: Interim Guidelines for Management Measures*. ., Springfield, VA: FHWA/RD-87/056, Versar Inc.

- Europa, 2003. *EU Directives for the development of the Trans-European transport network. Trans-European networks. Transport.* at URL <http://www.europa.eu.int/> (July 01).
- Gupta M.K., Agnew R.W. & Kobriger, N.P., 1981. *Constituents of highway runoff*. Volume. I: State of the art report: Springfield, Virginia. National Technical Information Service.
- Harper H.H., 1988. *Effects of Stormwater Management Systems on Groundwater Quality*. Project #WM190. Florida Department of Environmental Regulation, Tallahassee, FL.
- Huber C.W. & Dickinson R.E., 1988. *Storm water management model, Version 4: Users Manual*. Athens, Georgia, U.S.A.: EPA 600/3-88/001a, Environmental Research Laboratory, USEPA.
- Kerri K.D., Howell R.B & Racin J.A., 1985. Forecasting pollutant loads from highway runoff. *Transportation Research Record*. Vol. 1017: 39-46
- Lee J.H., Bang K.W., Ketchum L.H., Choe J.S. & Yu M.J., 2002. First flush analysis of urban storm runoff. *The Science of the Total Environment*. Vol. 293: 163-175
- Maestri B. & Lord B.N., 1987. Guide for mitigation of highway stormwater runoff pollution. *The Science of the Total Environment*. Vol. 59: 467-476
- Metropolitan Washington Council of Governments (MWCOC), 1983. *Nationwide Urban Runoff Program: Pollutant Removal Capability of Urban Best Management Practices in the Washington Metropolitan Area. Final Report*. Washington, DC. Water Resources Planning Board.
- Priemus H., Button K. & Nijkamp P., 1998. European Transport Networks A Strategic View in *Transport Networks in Europe*. Concepts, Analysis and Policies. Button K. et al. (eds.), Edward Elgar Publ. Ltd.
- Sartor J.D. & Boyd G.B., 1972. *Water pollution aspects of street surface contaminants*: Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency EPA-R2-72-081.
- Shaheen D.G., 1975. *Contributions of urban roadway usage to water pollution*. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development (EPA-600/2-74-004)
- Schueler T.R., P.A. Kumble P.A. & 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*. Washington, DC. Anacostia Restoration Team, Department of Environmental Programs, Metropolitan Washington Council of Governments
- Stephenson, J.B. & Beck, B.F., 1995. Management of the discharge quality of highway runoff in karst areas to control impacts to ground water - a review of relevant literature. In: Beck, B.F. (Ed.), *Karst GeoHazards - Engineering and Environmental Problems in Karst Terrane. Proceedings of the Fifth Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts Karst*, Gatlinburg, TN, 2-5 April, 1995, A.A. Balkema, Rotterdam: 297-321.
- Stolz, G., 1987. Investigations of the Properties of the Surface Water Runoff from Federal Highways in the FRG. *The Science of the Total Environment*, Vol. 59: 329-337
- Tsihrintzis V. & Hamid R., 1997. Modeling and Management of Urban Stormwater Runoff Quality: A Review. *Water Resources Management*. Vol. 11: 137-164.
- U.S. Environmental Protection Agency, 1996. *Indicators of the Environmental Impacts of Transportation. Highway, Rail, Aviation and Maritime Transport*. EPA 230-R-96-009.
- U.S. Federal Highway Administration, 2003. *Stormwater Best Management Practices in an Ultra-Urban Setting: Selection and Monitoring*. FHWA
- Yannopoulos St., Basbas S., Andrianos Th. & Rizos Ch., 2004. Receiving waters pollution investigation due to the interurban roads stormwater runoff. *International Conference on Protection and Restoration of the Environment VII*. Mykonos, Greece (CD).
- Young G. K., Stein S., Cole P., Kammer T., Graziano F. & Bank F., 1996. *Evaluation and Management of Highway Runoff Water Quality*. Washington D.C.: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, FHWA-PD-96-032
- Yousef Y.A., Wanielista M.P., Harper H.H & Hvitved-Jacobson T., 1985. *Best Management Practices-Effectiveness of Retention/Detention Ponds for Control of Contaminants in Highway Runoff*. FDOT, Publication FL-ER-34-86, Tallahassee, FL