

Τεχνητοί υγρότοποι για την επεξεργασία όμβριων υδάτων

Ακράτος Χρήστος
Αναπλ. Καθηγητής

Εισροές

$$Q_P = C_R \cdot I \cdot A_b$$

- ▶ A = έκταση λεκάνης απορροής, m^2
- ▶ C_R = συντελεστής απορροής, αδιάστατος
- ▶ Q_P = μέγιστη ροή απορροής, m^3 / h
- ▶ I = μέση ένταση βροχόπτωσης, m/h

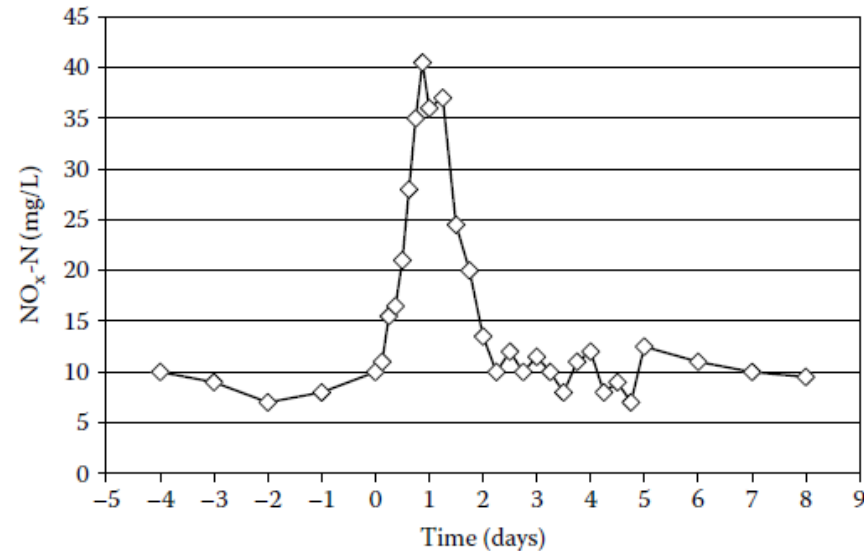
TABLE 14.1
Runoff Coefficient (C) for Use in the Rational Method in Maricopa County, Arizona

Land Use	Return Period			
	2–10-year	25-year	50-year	100-year
Streets and Roads				
Paved roads	0.75–0.85	0.83–0.94	0.9–0.95	0.94–0.95
Gravel roadways and shoulders	0.6–0.7	0.66–0.77	0.72–0.84	0.75–0.88
Industrial Areas				
Heavy	0.7–0.8	0.77–0.88	0.84–0.95	0.88–0.95
Light	0.6–0.7	0.66–0.77	0.72–0.84	0.75–0.88
Business Areas				
Downtown	0.75–0.85	0.83–0.94	0.9–0.95	0.94–0.95
Neighborhood	0.55–0.65	0.61–0.72	0.66–0.78	0.69–0.81
Residential Areas				
Lawns—flat	0.1–0.25	0.11–0.28	0.1–0.3	0.13–0.31
Lawns—steep	0.25–0.4	0.28–0.44	0.3–0.48	0.31–0.50
Suburban	0.3–0.4	0.33–0.44	0.36–0.48	0.38–0.5
Single family	0.45–0.55	0.5–0.61	0.54–0.66	0.56–0.69
Multi-unit	0.5–0.6	0.55–0.66	0.6–0.72	0.63–0.75
Apartments	0.6–0.7	0.66–0.77	0.72–0.84	0.75–0.88
Parks/cemeteries	0.1–0.25	0.11–0.28	0.12–0.3	0.13–0.31
Playgrounds	0.4–0.5	0.44–0.55	0.48–0.6	0.5–0.63
Agricultural areas	0.1–0.2	0.11–0.22	0.12–0.24	0.13–0.25
Bare ground	0.2–0.3	0.22–0.33	0.24–0.36	0.25–0.38
Undeveloped desert	0.3–0.4	0.33–0.44	0.36–0.48	0.38–0.5
Mountain terrain (slopes > 10%)	0.6–0.8	0.66–0.88	0.72–0.95	0.75–0.95

Source: Adapted from the *Drainage Design Manual for Maricopa County, Volume 1.*

Ρυπογραφήματα

- ▶ Η χρονοσειρά συγκεντρώσεων στην εισροή προς τον υγρότοπο ονομάζεται ρυπογράφημα.
- ▶ Σε ορισμένες λεκάνες απορροής, το ρυπογράφημα δεν συγχρονίζεται με τον υδρογράφημα, αλλά παρέχει υψηλότερες συγκεντρώσεις στις αρχές της εισροής.
- ▶ Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται συμπεριφορά πρώτης έκπλυσης.
- ▶ Για παράδειγμα, οι Wanielista και Yousef (1991) αναφέρουν ότι, στη Φλόριντα, τα πρώτα 25 mm απορροής από αστικά συστήματα συνήθως μεταφέρουν το 90% της ρύπανσης.
- ▶ Αναγκαστικά, πρέπει να χρησιμοποιηθούν μέσες συγκεντρώσεις κάποιου είδους, εκ των οποίων η συγκέντρωση με στάθμιση ροής είναι πιο χρήσιμη.



Ρυπογραφήματα

$$C_e = \frac{\int Q C dt}{\int Q dt}$$

C = στιγμιαία συγκέντρωση, mg / L

C_e = μέση συγκέντρωση συμβάντος, mg / L

Q = στιγμιαία ροή, m³ / h

t = χρόνος, h

TABLE 14.2**Pollutant Concentrations for Source Areas for Stormwaters**

Constituent	TSS ^a (mg/L)	TP ^b (mg/L)	TN ^c (mg/L)	<i>E. coli</i> ^a (1,000 #/mL)	Cu ^a (µg/L)	Pb ^a (µg/L)	Zn ^a (µg/L)
Residential roof	19	0.11	1.5	0.26	20	21	312
Commercial roof	9	0.14	2.1	1.1	7	17	256
Industrial roof	17	—	—	5.8	62	43	1390
Comm./res. parking	27	0.15	1.9	1.8	51	28	139
Industrial parking	228	—	—	2.7	34	85	224
Residential street	172	0.55	1.4	37	25	51	173
Commercial street	468	—	—	12	73	170	450
Rural highway	51	—	22	—	22	80	80
Urban highway	142	0.32	3	—	54	400	329
Lawns	602	2.1	9.1	24	17	17	50
Landscaping	37	—	—	94	94	29	263
Driveway	173	0.56	2.1	17	17	—	107
Gas station	31	—	—	—	88	80	290
Auto recycler	335	—	—	—	103	182	520
Heavy industrial	124	—	—	—	148	290	1,600

Υδρολογία

$$\frac{d(Ah)}{dt} = Q_i - Q_o + A(P - ET - I)$$

- ▶ A = υγρή επιφάνεια υγρότοπου, m^2
- ▶ Q_i = εισροή, m^3 / d
- ▶ Q_o εκροή, m^3 / d
- ▶ P = βροχόπτωση, m / d
- ▶ ET = εξατμισοδιαπνοή, m / d
- ▶ h = βάθος νερού, m
- ▶ I = διήθηση, m / d
- ▶ t = χρόνος, d

Υδρολογία

$$Q_o = \beta (h_{ow})^a$$

- ▶ h_{ow} = ύψος νερού πάνω από την έξοδο του υγροτόπου, m
- ▶ Q_o = εκροή, m³ / d
- ▶ a = εκθέτης βαθμονόμησης, χωρίς διάσταση
- ▶ β = σταθερά βαθμονόμησης, (m³ / d) / m^a

TABLE 14.4
Parameters for a Hypothetical Stormwater
Wetland Event Scenario

Basin

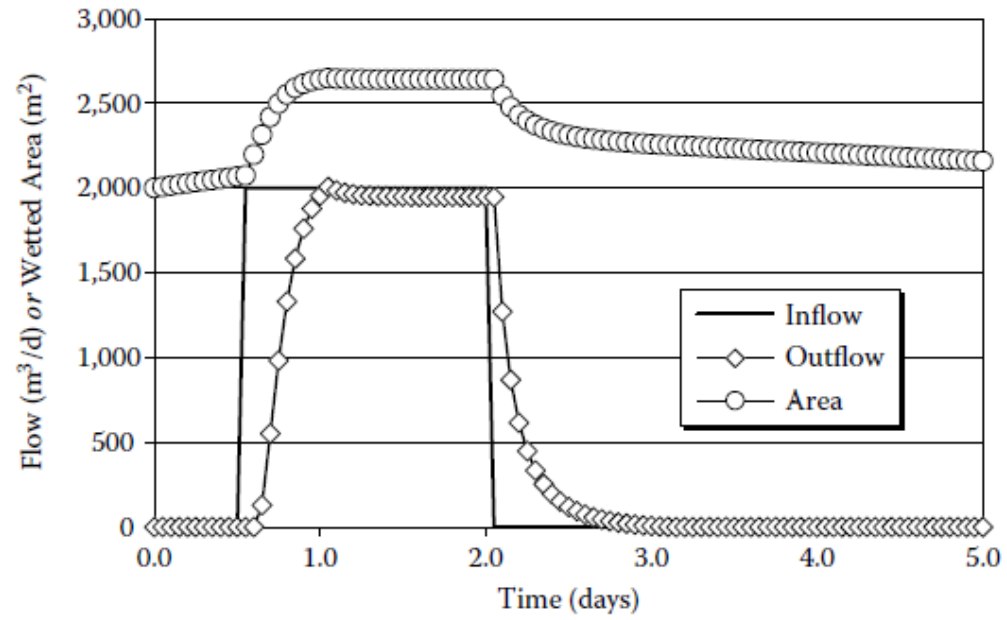
Area =	120,000 m ²
Runoff coefficient =	0.5

Wetland

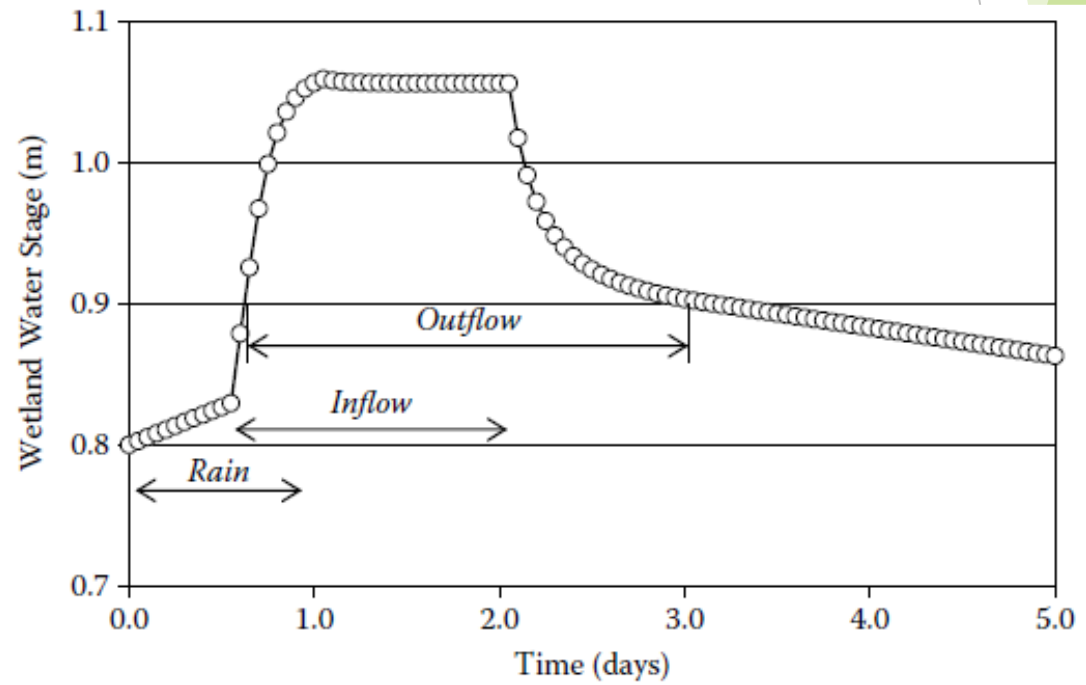
WWAR =	2 %
Nominal maximum depth =	1.00 m
Wetland area full =	2,500 m ²
Wetland volume full =	1,250 m ³
Stage area: $A = aH$, $a =$	2,500 m ² /m
Weir height =	0.90 m
Weir coefficient =	31,623 (m ³ /d)/(m ^{1.5})
<i>ET</i> rate =	1.00 cm/d
Infiltration rate =	1.00 cm/d
Rain catchment =	3,000 m ²

Rainfall

Period =	1.00 d
Rain rate =	5.00 cm/d
Basin catch =	6,000 m ³
Inflow start =	0.50 d
Inflow end =	2.00 d
Inflow rate =	2,000 m ³ /d
Runoff =	3,000 m ³
Storm/wetland volume ratio =	2.40



(a)



Λειτουργία υγρότοπου

- ▶ Ο υγρότοπος δεν έχει επίπεδο πυθμένα.
- ▶ Αντίθετα, υπάρχει μια υποτιθέμενη τετραγωνική σχέση στάθμης-όγκου, η οποία υπονοεί ότι η βρεγμένη περιοχή αυξάνεται γραμμικά με τη στάθμη.
- ▶ Η υποθετική ακολουθία των γεγονότων έχει ως εξής:
 - ▶ Η κατάσταση εκκίνησης του υγρότοπου είναι μερικώς γεμάτη, με τη στάθμη του νερού 10 cm κάτω από το σημείο εξόδου.
 - ▶ Μια σταθερή βροχή ξεκινά στο χρόνο μηδέν και συνεχίζεται για μία ημέρα.
 - ▶ Η απορροή από την λεκάνη απορροής αρχίζει μετά από $t = 0,5$ ημέρες και συνεχίζεται για 1,5 ημέρες.
 - ▶ Ο υγρότοπος χάνει λίγο νερό από ET (1,0 cm / d), και από διήθηση (1,0 cm / d).
 - ▶ Για την πρώτη μισή ημέρα ($t = 0-0,5$ ημέρες), ο υγρότοπος γεμίζει λόγω της άμεσης συλλογής βροχής.
 - ▶ Σε $t = 0,65$ ημέρες, ο υγρότοπος έχει γεμίσει στην κορυφή της ροής εκροής και αρχίζει η εκροή.
 - ▶ Για την επόμενη μισή ημέρα ($t = 0,5-1,0$ ημέρα), ο υγρότοπος γεμίζει λόγω της άμεσης βροχής και της εισερχόμενης απορροής.
 - ▶ Για την επόμενη ημέρα ($t = 1,0-2,0$ ημέρες), ο υγρότοπος γεμίζει λόγω της εισερχόμενης απορροής.
 - ▶ Κατά τη διάρκεια $t = 2,0-3,1$ ημέρες, δεν υπάρχει εισροή και ο υγρότοπος αποστραγγίζεται πάνω από τη ροή εκροής. Σε $t = 3,1$ ημέρες, το επίπεδο έχει μειωθεί στην κορυφή του weir και η εκροή σταματά.
 - ▶ Μετά το χρόνο $t = 3,1$ ημέρες, ο υγρότοπος χάνει νερό από ET και διήθηση, και το επίπεδο συνεχίζει μια αργή πτώση.

Απομάκρυνση ρύπων

$$EMC = \frac{\sum(VC)}{\sum V}$$

$$\text{Concentration Reduction} = \frac{(EMC_i - EMC_o)}{EMC_i}$$

$$\text{Load Reduction} = \frac{(V_i EMC_i - V_o EMC_o)}{V_i EMC_i}$$

Αστικές πλημμύρες



Αστικές πλημμύρες

- ▶ Η απορροή από στέγες, γκαζόν, χώρους στάθμευσης και άλλα χαρακτηριστικά αστικού τοπίου συχνά περιέχει πολλές κατηγορίες ρύπων
- ▶ Θα υπάρχουν μικρές ποσότητες αζώτου και φωσφόρου, BOD και TSS, μετάλλων και ίσως φυτοφαρμάκων.
- ▶ Ένα σημαντικό υποσύνολο ελέγχου αστικής απορροής επικεντρώνεται στην απορροή αυτοκινητόδρομων (Shutes et al., 2001; Bulc and Sajn Slak, 2003; Pontier et al., 2003)
- ▶ Ωστόσο, ο μεγαλύτερος αριθμός συστημάτων χρησιμοποιείται για την επεξεργασία της απορροής των όμβριων υδάτων από γενικευμένες αστικές περιοχές

TABLE 14.5**Suspended Solids Reduction in Constructed Urban Runoff Treatment Wetlands**

Name	Location	Reference	WWAR Area Ratio (%)	HLR (cm/d)	Reduction (%)
Crookes	Australia	Raisin <i>et al.</i> (1997)	0.1	21.83	12
Mays Chapel	Maryland	Carleton <i>et al.</i> (2001)	0.6	5.55	11
Shop Creek	Colorado	Carleton <i>et al.</i> (2001)	0.6	—	25
Franklin Farms	Virginia	Carleton <i>et al.</i> (2001)	0.8	17.16	62
Lake Munson	Florida	Maristany and Bartel (1989)	1.1	5.19	93
Slovenia Highway	Slovenia	Bulc and Sajn Slak (2003)	1.1	—	74
DUST Marsh	California	Meiorin (1989)	1.8	—	64
Crestwood	Virginia	Carleton <i>et al.</i> (2000)	2.4	3.69	58
Greenwood	Florida	McCann and Olson (1994)	2.5	2.57	68
Queen Anne	Maryland	Carleton <i>et al.</i> (2001)	3.8	—	65
Clear Lake	Minnesota	Carleton <i>et al.</i> (2001)	4.9	1.71	76
Tampa Office Pond	Florida	Carleton <i>et al.</i> (2001)	5.1	8.16	55
West Lafayette	Indiana	Harbor <i>et al.</i> (2000)	6.3	—	75
Lake McCarrons	Minnesota	Carleton <i>et al.</i> (2001)	6.6	7.38	83
Hidden River	Florida	Carr and Rushton (1995)	19.5	1.04	86
Elbow Valley	Calgary	Amell (2004)	—	—	72
Hallam Valley Low	Australia	Wong <i>et al.</i> (2006)	—	400	94
Hallam Valley High	Australia	Wong <i>et al.</i> (2006)	—	220	94
Kaohsiung	China	Kao <i>et al.</i> (2001a)	—	7.10	37
Villanova	Pennsylvania	Rea (2004)	—	8.16	70
Median				7.10	68

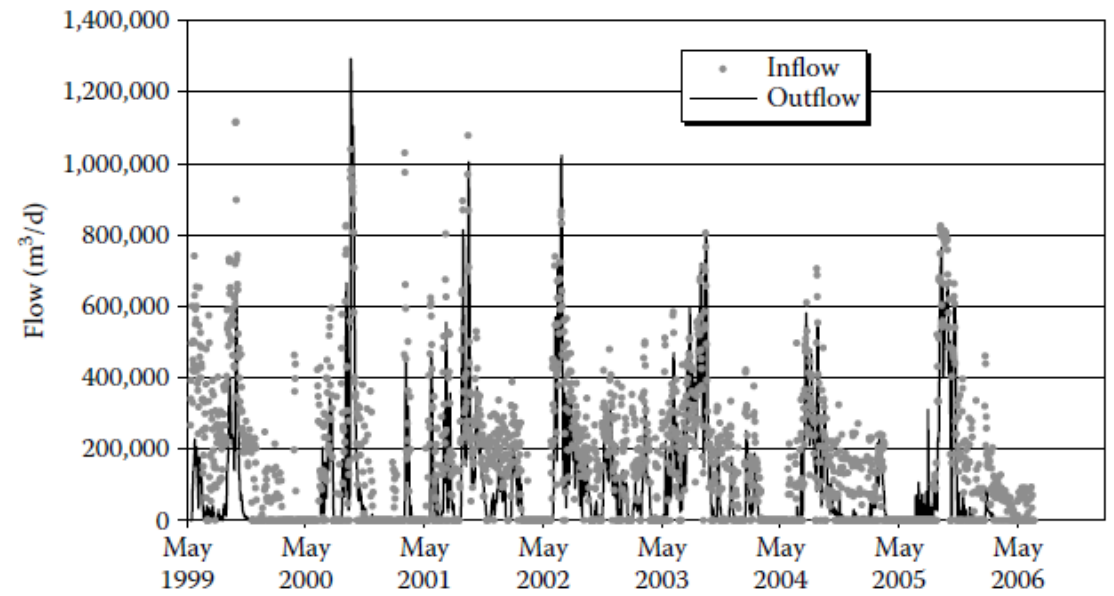
Note: All are FWS except for Slovenia, which is HSSF.

$$\textit{TSS Percent Remaining} = 78q^{0.33} C_i^{-0.49} \quad R^2 = 0.80$$

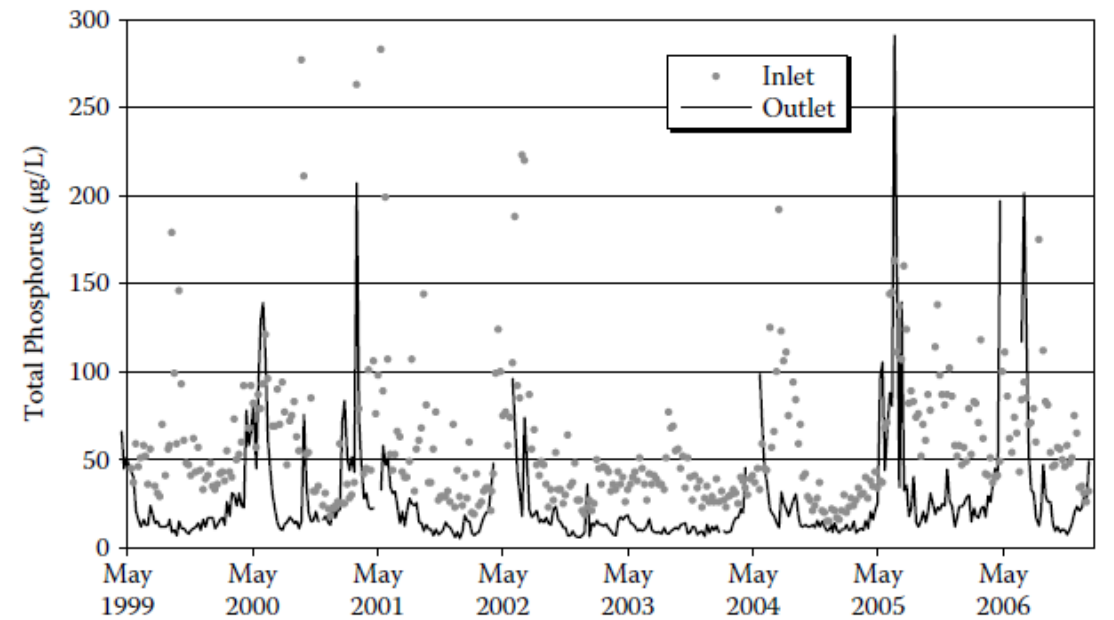
$$\textit{TP Percent Remaining} = 12q^{0.44} \quad R^2 = 0.71$$

$$\textit{TN Percent Remaining} = 14q^{0.43} \quad R^2 = 0.78$$

Γεωργική απορροή



(a)



(b)

Βιομηχανικές απορροές

- ▶ Οι ροές απορροής των ομβρίων υδάτων και η ποιότητα των «βιομηχανικών» εγκαταστάσεων δεν μπορούν να γενικευθούν, διότι αυτές οι εγκαταστάσεις είναι πολύ διαφορετικές από τις χημικές ουσίες που οδηγούν στην απορροή.
- ▶ Εδώ χρησιμοποιείται ένας ευρύτερος ορισμός της βιομηχανικής, εξαιρουμένης της αστικής και της γεωργικής απορροής.
- ▶ Αυτή η απορροή περιλαμβάνει ανόργανες πηγές αζώτου, όπως νιτρικά άλατα και αμμωνία από εγκαταστάσεις παραγωγής λιπασμάτων (TCI, 2005) και ουρία από την αποπάγωση του αεροδρομίου (Thoren et al., 2004).

Υγρότοποι διαλείποντος έργου

- ▶ Δεν προκαλούνται όλες οι ροές γεγονότων από τη μετεωρολογία: η εισαγωγή του νερού σε έναν υγρότοπο επεξεργασίας μπορεί να οφείλεται αποκλειστικά σε ανθρώπινη απόφαση. Αυτό ισχύει για τα συστήματα με διαλείπουσα λειτουργία, στα οποία προστίθεται νερό επεισοδιακά και αποστραγγίζεται επεισοδιακά.
- ▶ Εάν αυτή η ακολουθία εμφανίζεται σε έναν γρήγορο κύκλο, τότε δεν υπάρχει σημαντική περίοδος συγκράτησης των εισροών (Behrends et al., 2001).
- ▶ Ωστόσο, εάν ο χρόνος κράτησης είναι μεγάλος, τότε ο τρόπος θα ονομαστεί διαδοχική διαλείπουσα λειτουργία.
- ▶ Το νερό μπορεί απλώς να συγκρατείται χωρίς ροή κατά τη διάρκεια της εισροής, ή μπορεί να ανακυκλώνεται.
- ▶ Το λειτουργικό πλεονέκτημα είναι ότι το νερό μπορεί να διατηρηθεί έως ότου επιτευχθεί ένας συγκεκριμένος στόχος ποιότητας του νερού.
- ▶ Το μειονέκτημα είναι ότι κάποια μορφή αποθήκευσης είναι απαραίτητη.

Διαφορές υγροτόπων συνεχούς λειτουργίας και διαλείποντος έργου

Αν και συχνά θεωρείται ότι ο χρόνος σε ένα σύστημα διαλείποντος έργου είναι ισοδύναμος με τον χρόνο, υπάρχουν διάφοροι λόγοι για τους οποίους δεν είναι ισοδύναμοι.

- ▶ **Υδραυλική.** Τα συστήματα συνεχούς ροής εμφανίζουν κατανομή των χρόνων κράτησης, με διαφορετικά στοιχεία νερού να περνούν διαφορετικά χρονικά διαστήματα στον υγρότοπο που ρέει. Σε ένα σύστημα διαλείποντος έργου που γεμίζει και αποστραγγίζεται πολύ γρήγορα, κάθε στοιχείο νερού περνά ακριβώς τον ίδιο χρόνο στο οικοσύστημα. Το αποτέλεσμα είναι ότι το σύστημα διαλείποντος έργου στην πραγματικότητα αντικατοπτρίζει μια κατάσταση που μοιάζει πολύ με τη εμβολώδη ροή.
- ▶ **Απορρόφηση.** Σε συστήματα συνεχούς ροής, το υπόστρωμα εκτίθεται σε μια σχετικά σταθερή συγκέντρωση ρύπων, η οποία προκαλεί την εξισορρόπηση της ικανότητας απορρόφησης και δεν παίζει περαιτέρω ρόλο. Σε ένα σύστημα διαλείποντος έργου, οι απορροφημένοι ρύποι μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μικροβιακές και βλαστικές διεργασίες, μαζί με τα υλικά υδατικής φάσης. Επομένως, στο τέλος μιας παρτίδας, η οποία είναι επίσης η αρχή της επόμενης, οι θέσεις απορρόφησης ενδέχεται να είναι κενές και ικανές να απομακρύνουν άμεσα τους ρύπους στην αποθήκευση απορρόφησης.
- ▶ **Βλάστηση.** Το περιβάλλον για τη βλάστηση είναι διαφορετικό στα συστήματα διαλείποντος έργου, με ροές διάχυσης και διαπνοής που παρέχουν τη μεταφορά διαλυμένων ουσιών, όπως οξυγόνου και θρεπτικών ουσιών. Στον τρόπο ροής, υπάρχουν επιθετικές διεργασίες και μπορεί να κυριαρχήσουν.

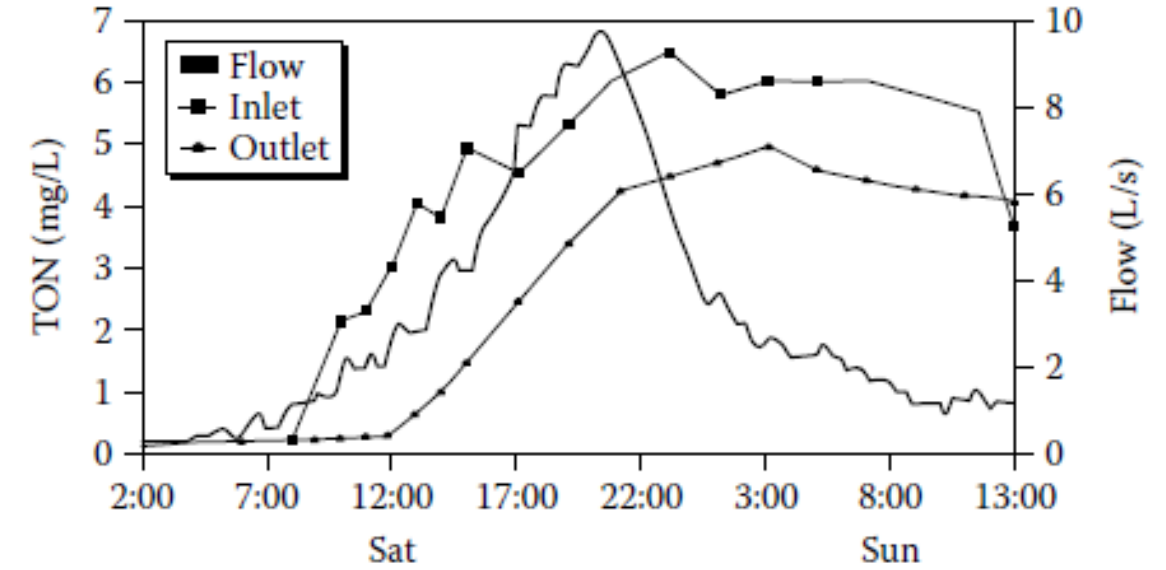
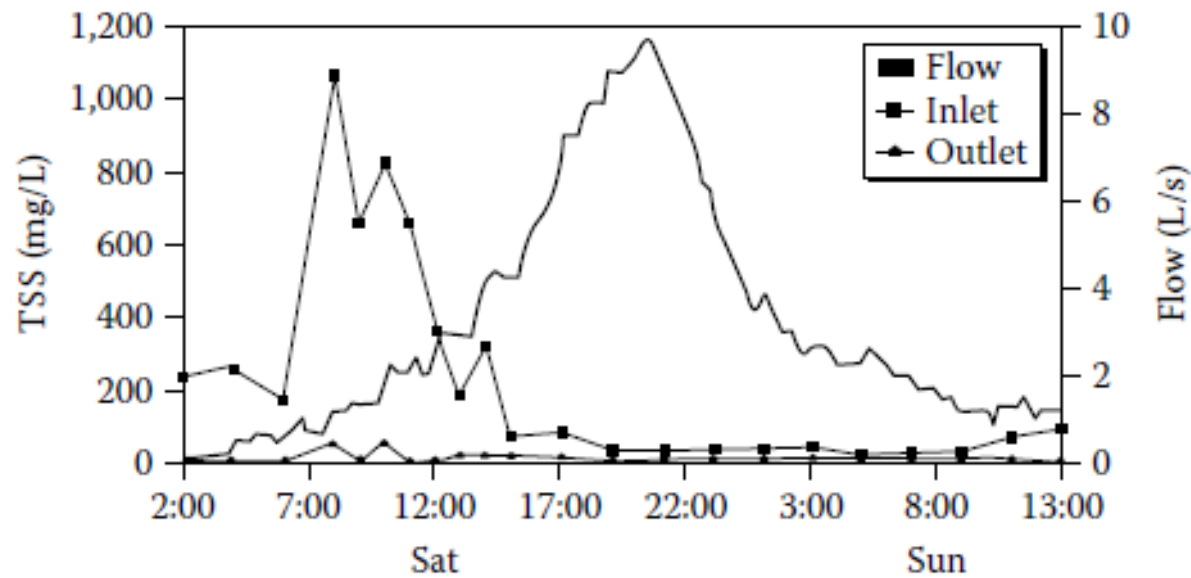
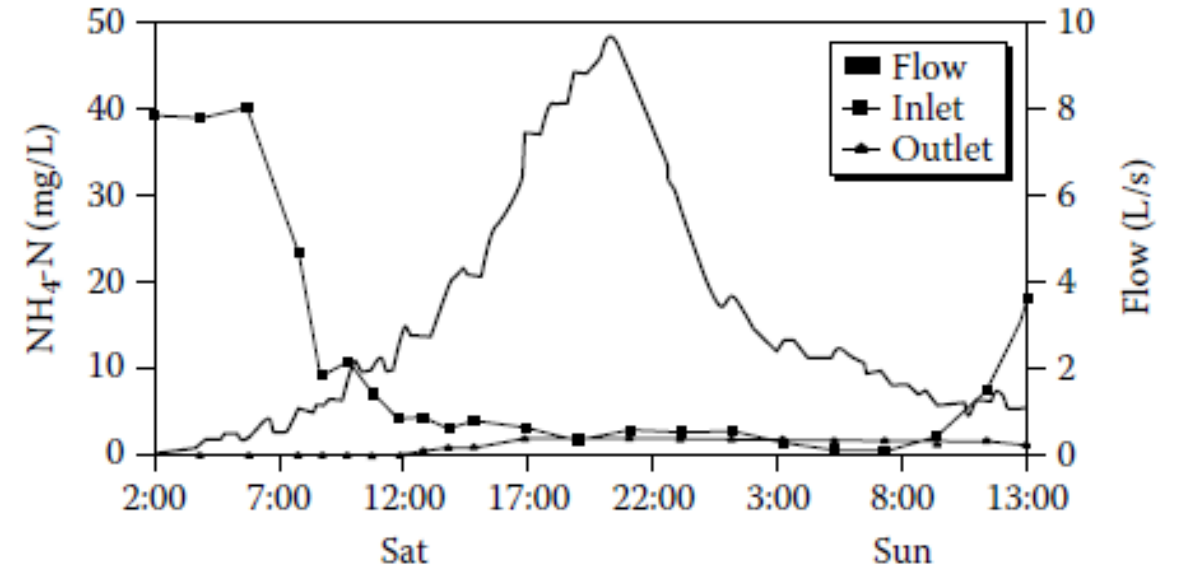
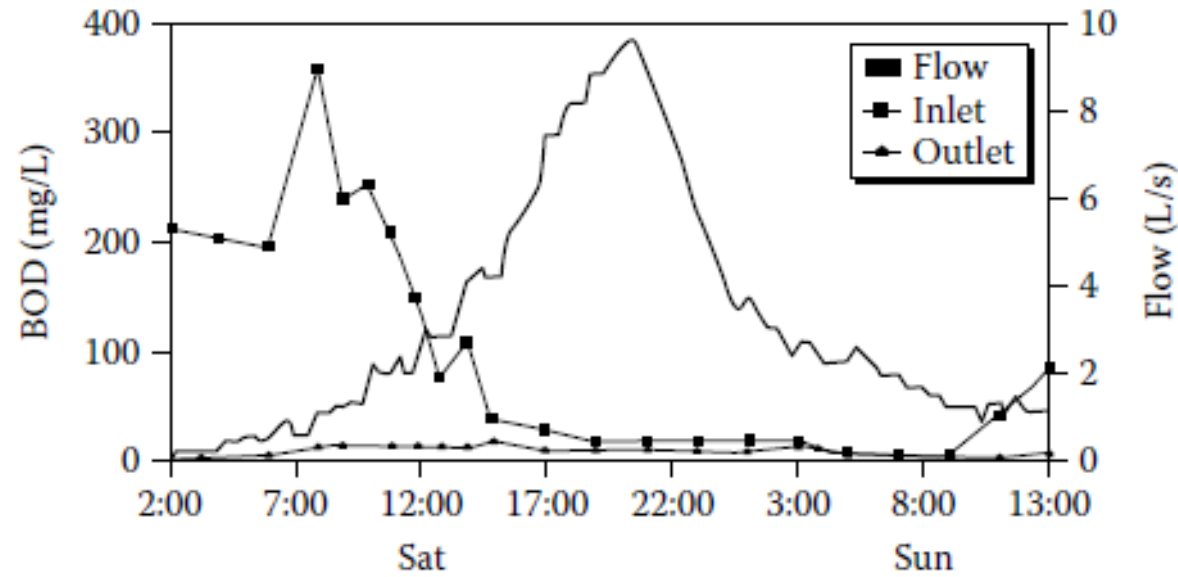
Απορροή από παντοροϊκά συστήματα

- ▶ Σε πολλές κοινότητες στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική, υπάρχουν παντοροϊκοί υπόνομοι. Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων συνήθως έχουν σχεδιαστεί για την επεξεργασία ροών χωρίς τη ροή της πλυμμήρας. Κατά τη διάρκεια μεγάλων βροχοπτώσεων, η περίσσεια παρακάμπτεται, η οποία ονομάζεται συνδυασμένη υπερχείλιση υπονόμων (CSO). Μία από τις επιλογές για την αντιμετώπιση αυτών των υπερχείλισης είναι η χρήση υγροτόπων. Διάφοροι τύποι υγροτόπων έχουν κατασκευαστεί για το σκοπό.
- ▶ Ένα σύστημα FWS για τη θεραπεία της CSO εφαρμόστηκε στο Houten-Oost, Ολλανδία, το 1984 (Lageveen and Waardenburg, 1985; van Oorschot, 1990). Οι CSO κατευθύνονται σε ένα σειριακό / παράλληλο δίκτυο υγροτόπων FWS που περιέχει *Scirpus Lacustris* και κοινά καλάμια (*Phragmites australis*). Οι υγρότοποι είναι 1,5 εκτάρια και λειτουργούν σε βάθος περίπου 0,5 m. Η εκφόρτιση από τους υγροτόπους αντλείται σε έναν αεραγωγό καταρράκτη και στη συνέχεια σε ένα κανάλι. Μια σύντομη μελέτη παρακολούθησης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του 1987 παρέιχε δεδομένα σχετικά με δύο γεγονότα υπερχείλισης, τα οποία περιείχαν και τα δύο πλήρως στους υγρότοπους. Η ποιότητα του νερού βελτιώθηκε γρήγορα κατά την αποθήκευση στους υγροτόπους.



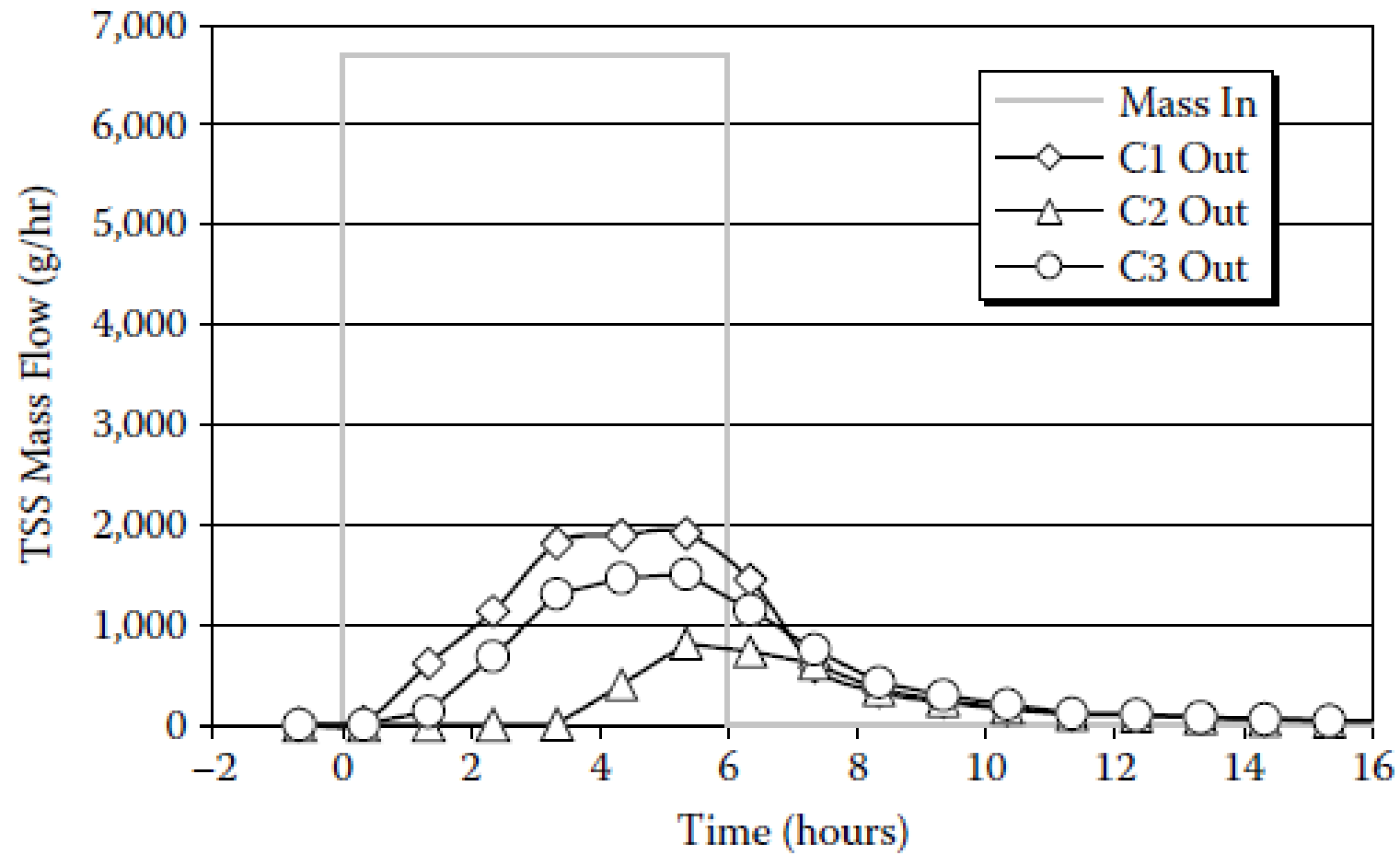
TSS

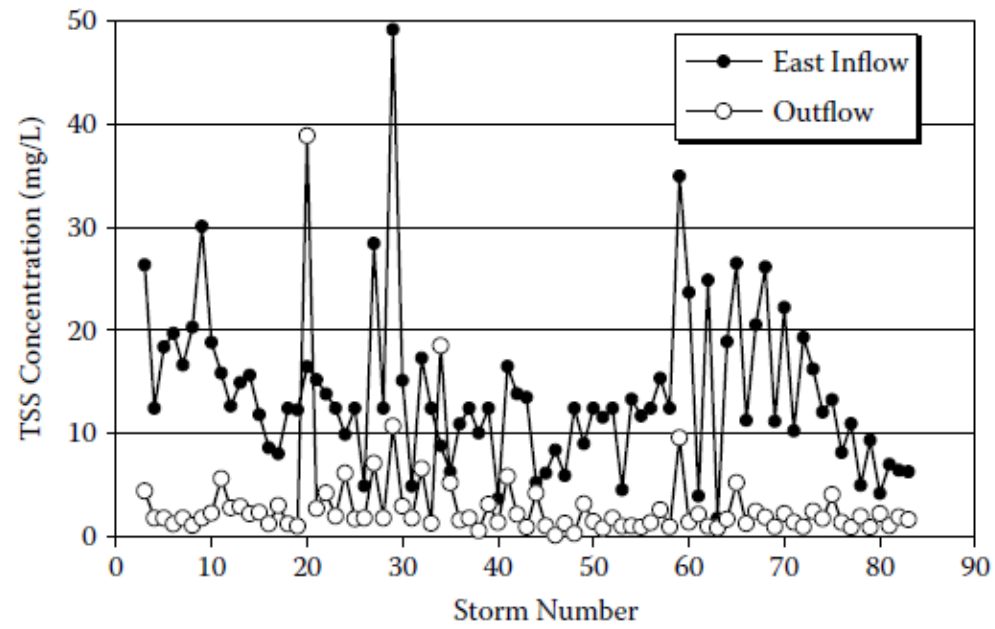
- ▶ Οι υγρότοποι επεξεργασία απορροών χρησιμοποιούν την ίδια σειρά διαδικασιών TSS με τα συστήματα συνεχούς ροής, αλλά υπάρχουν σημαντικές διαφορές στον τρόπο λειτουργίας
- ▶ Σε αντίθεση με τους υγροτόπους συνεχούς ροής, υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη να ληφθεί υπόψη η ροή και η χημική δυναμική.
- ▶ Συχνά, τα TSS εισροής είναι άγνωστα.
- ▶ Η απόκτηση δεδομένων απόδοσης είναι δύσκολη επειδή οι ροές συμβαίνουν σε συνθήκες καταιγίδας και απαιτείται δειγματοληψία στενού διαστήματος για τον καθορισμό της πορείας ενός μόνο συμβάντος.
- ▶ Εσωτερικά στον υγρότοπο, οι διεργασίες λειτουργούν με χρονική ακολουθία ροής και διακοπής.
- ▶ Οι μετρίως σταθερές βαθμίδες που καθορίζονται από σταθερές ροές ενδέχεται να μην υπάρχουν πλέον.



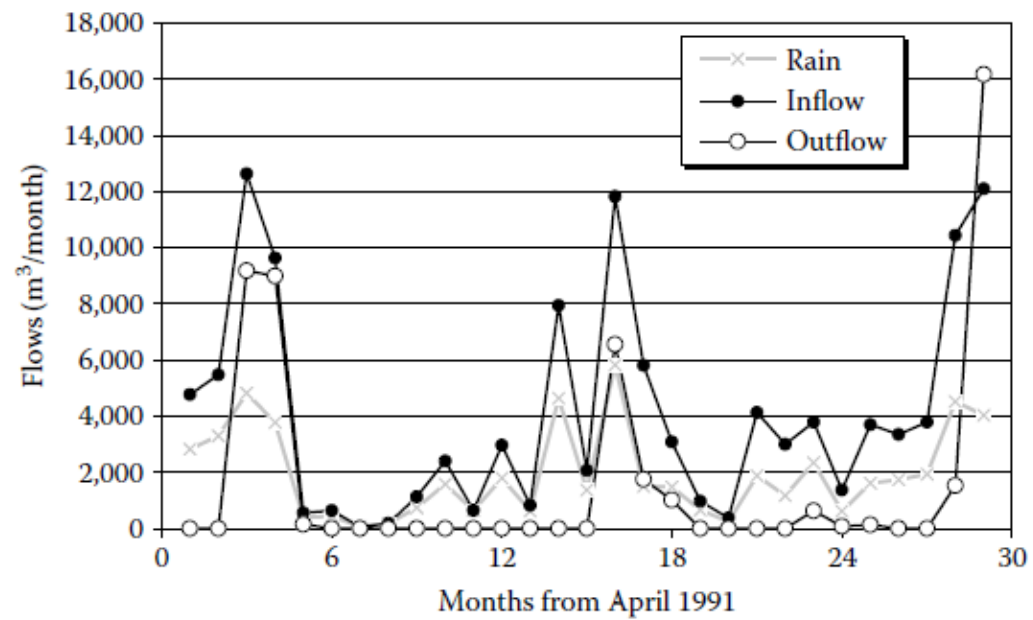
TSS

- ▶ Η δυναμική τόσο του νερού όσο και των στερεών επηρεάζει την απόδοση των υγροτόπων. Εάν η περίοδος του συμβάντος είναι μεγάλη σε σύγκριση με το χρόνο κράτησης του υγροτόπου κάτω από τη ροή του συμβάντος, τότε το πρώτο μέρος του συμβάντος ξεπλένει εντελώς το προηγούμενο νερό και η συγκέντρωση εκροής αυξάνεται μέχρι το επίπεδο που υπαγορεύεται από την παρατεταμένη ροή συμβάντων (Εικόνα 14.13).
- ▶ Μετά τη διακοπή της ροής συμβάντων, οι εκροές υγροτόπου και οι συγκεντρώσεις εξόδου αυξάνονται σε συνθήκες μη ροής.
- ▶ Η πλειοψηφία της επεξεργασίας συμβαίνει κατά τη διάρκεια της περιόδου υψηλής ροής και η αποβολή του πολύ επεξεργασμένου προγενέστερου νερού συμβάλλει ελάχιστα στη συνολική απόδοση κατά τη διάρκεια της εκδήλωσης.
- ▶ Αντίθετα, εάν η περίοδος του συμβάντος είναι μικρή σε σύγκριση με το χρόνο κράτησης του υγροτόπου υπό τη ροή του συμβάντος, τότε το συμβάν δεν ξεπλένει εντελώς το (προηγούμενως επεξεργασμένο) νερό.
- ▶ Η αύξηση του φορτίου στερεών που εξάγεται αρχίζει να συμβαίνει, αλλά σταματά πολύ κοντά σε μια νέα σταθερή κατάσταση που καθορίζεται από την εισροή
- ▶ Το TSS παρέμεινε αυξημένο στην άμεση περίοδο μετά το συμβάν.





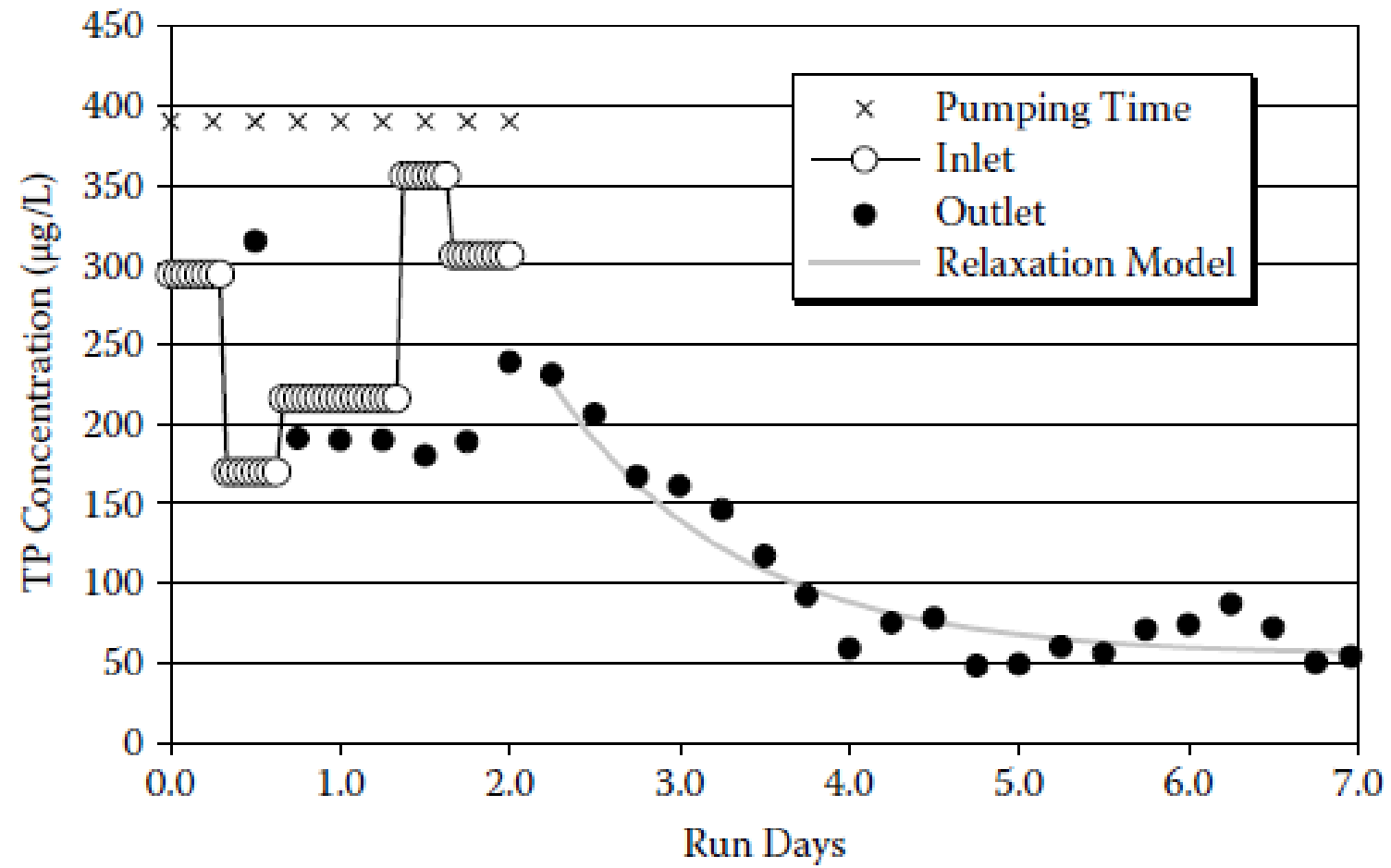
(a)

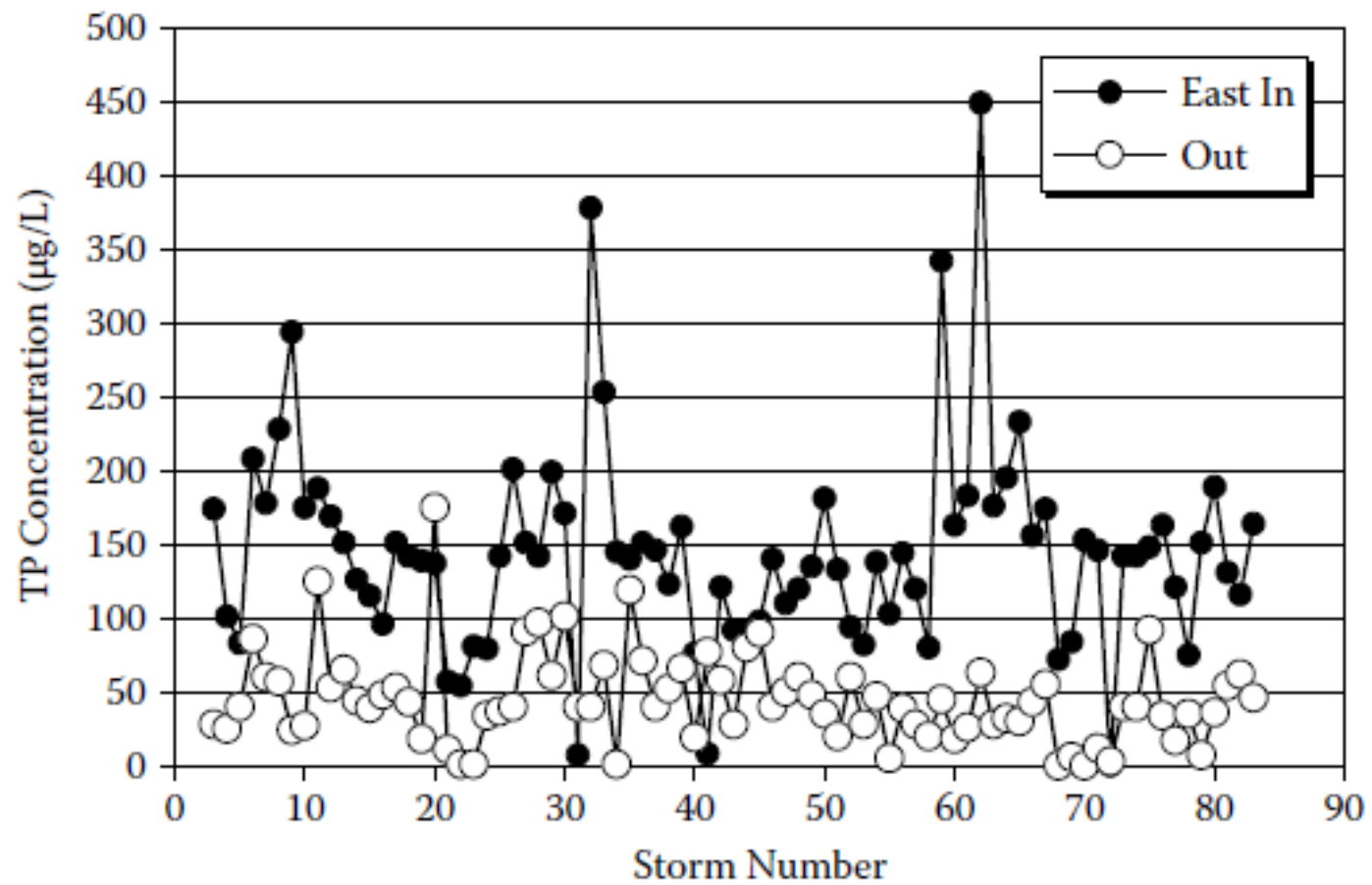


(b)

Φωσφόρος

- ▶ Περιοδικά γεγονότα απορροής από χωράφια στη γεωργική παραγωγή, ή από δρόμους και χώρους στάθμευσης, μεταφέρουν φωσφόρο σε υδατικά συστήματα υποδοχής
- ▶ Οι υγρότοποι επεξεργασίας FWS έχουν αποδειχθεί ότι απομακρύνουν τον φώσφορο από τις ροές συμβάντων καθώς και από τις σταθερές ροές.
- ▶ Οι μικροί παλμοί αντιμετωπίζονται πολύ καλά, αλλά όσοι μεγαλύτερης διάρκειας λαμβάνουν πολύ λιγότερη αφαίρεση φωσφόρου.
- ▶ Η δυναμική της αφαίρεσης και εξαγωγής ιχνηθέτη και φωσφόρου μελετήθηκε στον τόπο επίδειξης υγροτόπων του ποταμού Des Plaines.
- ▶ Τα γεγονότα άντλησης υγρότοπου παρακολουθήθηκαν για όλες τις υδρολογικές μεταβλητές, συμπεριλαμβανομένης της άντλησης, βροχής, αλλαγής αποθήκευσης και εκροής.
- ▶ Η είσοδος και η απόκριση του ιχνηθέτη παρακολουθήθηκαν σε σταθμούς εισροής, εκροής και εσωτερικού.
- ▶ Ο φωσφόρος μετρήθηκε σε υψηλή συχνότητα (κάθε έξι ώρες) για τις εκροές και σε χαμηλότερη συχνότητα για εισροές και εσωτερικούς σταθμούς.
- ▶ Τα συμβάντα απομονώθηκαν εγκαίρως, με επαρκή απόσταση μεταξύ των παρεμβάσεων για να επιτρέψουν πλήρη ισορροπία πριν από το επόμενο συμβάν.
- ▶ Ένα βαθμονομημένο δυναμικό ισοζύγιο μάζας νερού αναπτύχθηκε ως πλαίσιο για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Kadlec, 2001a).





Φωσφόρος - Αστική απορροή

- ▶ Η ποσότητα φωσφόρου που αφήνει μια λεκάνη απορροής κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου γεγονότος είναι συχνά αντικείμενο έρευνας και προγνωστικών μοντέλων. Για παράδειγμα, οι Brezonik και Stadelmann (2002) βρήκαν καλή συσχέτιση για τους όγκους απορροής εκδηλώσεων στη Μινεσότα, με την ποσότητα βροχόπτωσης, την αποστράγγιση και το ποσοστό αδιαπέραστης περιοχής ($R^2 = 0,78$). Ωστόσο, οι απλοί συσχετισμοί για τις μέσες συγκεντρώσεις συμβάντων και τα φορτία μάζας συμβάντων ήταν αδύναμοι και διέφεραν έντονα με τη χρήση γης.
- ▶ Μελέτες υγροτόπων αστικών καταιγίδων παρακωλύονται από τις δυσκολίες που συνεπάγεται η παρακολούθηση ροών και συγκεντρώσεων σε καταστάσεις πεδίου. Η παρακολούθηση ενός μόνο συμβάντος απαιτεί πολλά δείγματα ποιότητας εισροής και εκροής νερού και συνοδευτικές χημικές αναλύσεις. Παρόλα αυτά, υπάρχουν τώρα πολλές πολύ λεπτομερείς μελέτες, όπως οι Carr και Rushton (1995) στο Hidden River της Φλόριντα, σε υγρότοπο, ο οποίος παρακολουθήθηκε αρκετές φορές σε καθένα από τα 83 γεγονότα βροχής. Ομοίως, οι Godrej et al. (1999) μελέτησε 33 εκδηλώσεις βροχής στο υγρότοπο του Crestwood της Βιρτζίνια.

TABLE 14.7**Phosphorus Entering and Leaving Constructed Urban Runoff Treatment Wetlands**

Name	Location	Reference	Area Ratio	HLR (cm/d)	% Reduction TP
Armstrong Slough	Florida	Carleton <i>et al.</i> (2001)	0.3	34.65	39.7
Mays Chapel	Maryland	Carleton <i>et al.</i> (2001)	0.6	5.55	-7
Shop Creek	Colorado	Carleton <i>et al.</i> (2001)	0.6	—	36
Franklin Farms	Virginia	Carleton <i>et al.</i> (2001)	0.8	17.16	14.9
Lake Munson	Florida	Maristany and Bartel (1989)	1.1	5.19	62.7
Highway	Slovenia	Bulc and Sajn Slak (2003)	1.1	—	75
Spring Lake	Minnesota	Carleton <i>et al.</i> (2001)	1.2	—	-7
DUST Marsh	California	Meiorin (1989)	1.8	—	48
Franklin County	Ohio	Carleton <i>et al.</i> (2001)	2.4	10.60	16
Crestwood	Virginia	Carleton <i>et al.</i> (2001)	2.4	3.69	45.9
Greenwood	Florida	Carleton <i>et al.</i> (2001)	2.5	2.57	61.5
Queen Anne	Maryland	Carleton <i>et al.</i> (2001)	3.8	—	39.4
Clear Lake	Minnesota	Carleton <i>et al.</i> (2001)	4.9	1.71	54
Tampa Pond	Florida	Carleton <i>et al.</i> (2001)	5.1	8.16	65
Lake McCarrons	Minnesota	Carleton <i>et al.</i> (2001)	6.6	7.38	41
Hidden River	Florida	Carr and Rushton (1995)	19.5	1.04	70
Spring Creek	North Dakota	Carleton <i>et al.</i> (2001)	—	0.22	39.6
Elbow Valley	Calgary	Amell (2004)	—	—	36
Kaohsiung	China	Kao <i>et al.</i> (2001a)	—	7.10	70
Median				5.6	41

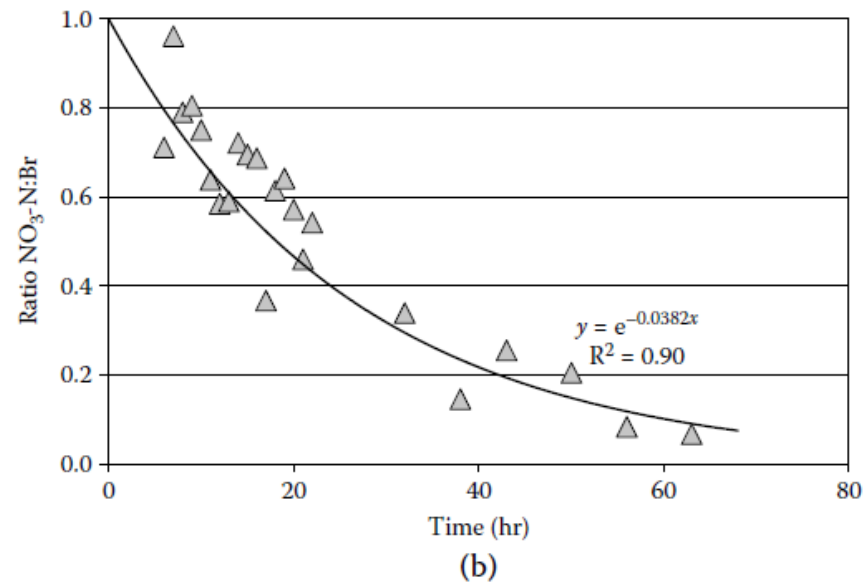
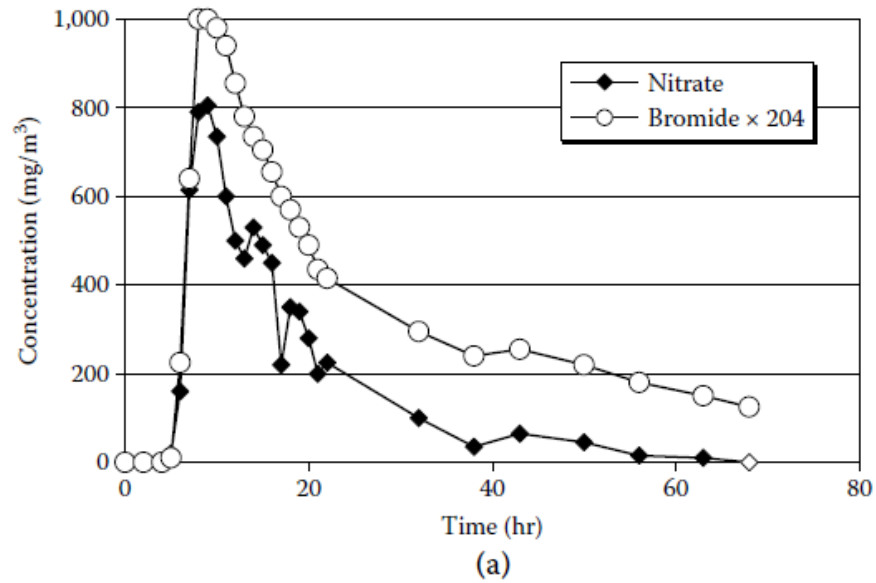
Note: All are FWS except for Slovenia, which is SSF.

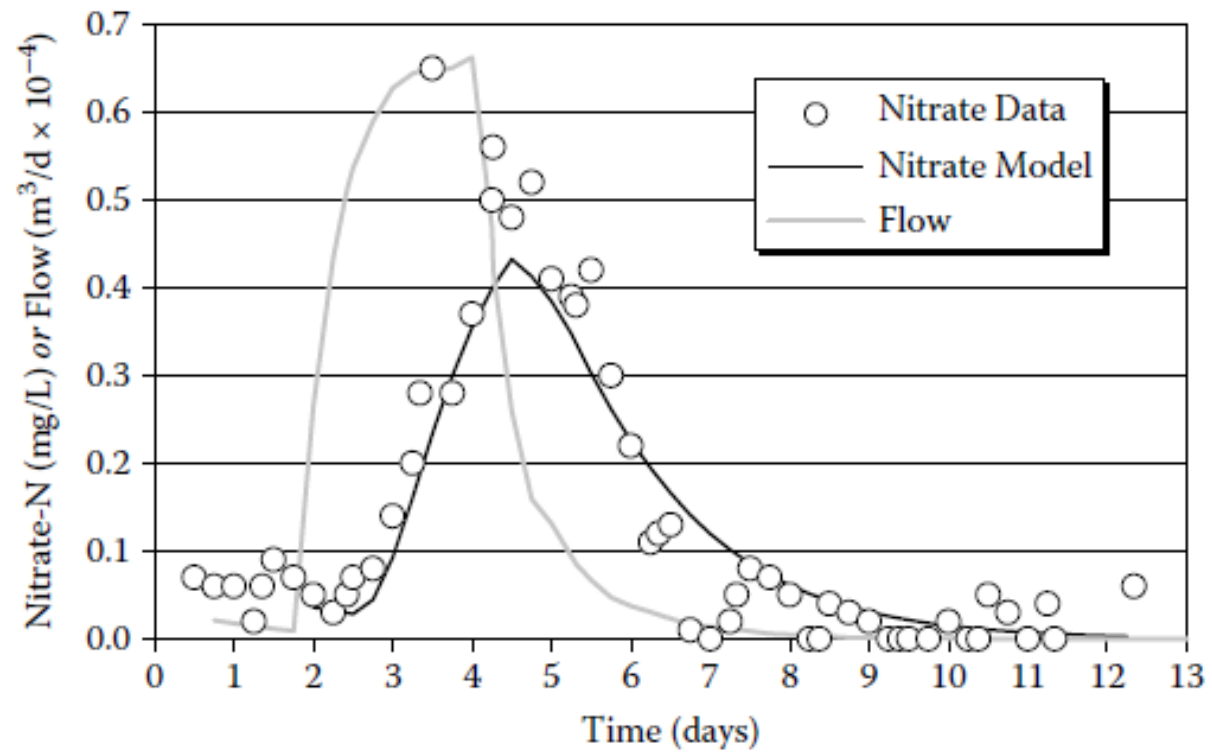
TABLE 14.8
Phosphorus Entering and Leaving Agricultural Runoff Treatment Wetlands

Reference	Wetland	Location	WWAR (%)	Mean HLR (cm/d)	Data (years)	Total Phosphorus		
						In (mg/L)	Out (mg/L)	Removal (%)
Braskerud (2002a)	A	Norway	0.06	170	7	0.17	0.10	41
Braskerud (2002a)	C	Norway	0.07	181	7	0.25	0.17	32
Braskerud (2002a)	F	Norway	0.08	163	4	0.22	0.17	21
Braskerud (2002a)	G1	Norway	0.21	123	3	0.43	0.27	37
Braskerud (2002a)	G2	Norway	0.38	67	3	0.43	0.24	44
Jordan <i>et al.</i> (1999)	B1	Maryland	9.29	0.59	1.3	1.15	0.65	43
Jordan <i>et al.</i> (1999)	B2	Maryland	13.00	0.42	1.3	0.97	0.40	59
Jordan <i>et al.</i> (1999)	Braun	Maryland	19.17	0.30	1.3	1.15	0.63	45
Jordan <i>et al.</i> (1999)	Foster	Maryland	11.40	0.48	1.3	0.20	0.25	-25
Kovacic <i>et al.</i> (2000)	A	Illinois	4.00	2.19	3	0.21	0.17	21
Kovacic <i>et al.</i> (2000)	B	Illinois	5.88	1.45	3	0.12	0.08	35
Kovacic <i>et al.</i> (2000)	D	Illinois	3.13	2.80	3	0.11	0.13	-18
Koskiaho <i>et al.</i> (2003)	Hovi	Finland	5.00	1.90	2	0.51	0.19	62
Koskiaho <i>et al.</i> (2003)	Alastaro	Finland	0.50	12.80	2	0.12	0.11	6.5
Koskiaho <i>et al.</i> (2003)	Flytträsk	Finland	3.00	3.80	2	0.07	0.06	14.5
Miller <i>et al.</i> (2002)	G	Illinois	0.16	16.50	4	0.060	0.060	-1
Tanner <i>et al.</i> (2005a)	Toenepi	New Zealand	1.00	6.90	2	0.015	0.070	-76
Tanner <i>et al.</i> (2003)	Titoki	New Zealand	2.00	19.00	1	0.075	0.015	80
Stone <i>et al.</i> (2003)	Conestoga	Pennsylvania	0.10	32.20	1.5	0.055	0.036	35
Ballaron (1988)	Crookes	Australia	0.10	21.83	3	0.330	0.241	27
South Florida Water Management District (unpublished data)	STA1W	Florida	—	3.95	5	0.138	0.055	60
South Florida Water Management District (unpublished data)	STA2	Florida	—	3.57	5	0.075	0.018	76
South Florida Water Management District (unpublished data)	STA5	Florida	—	3.03	5	0.171	0.106	38
South Florida Water Management District (unpublished data)	STA6	Florida	—	4.57	7	0.067	0.028	58
Median								36

Note: All are FWS except for Conestoga, which is SSF.

Άζωτο





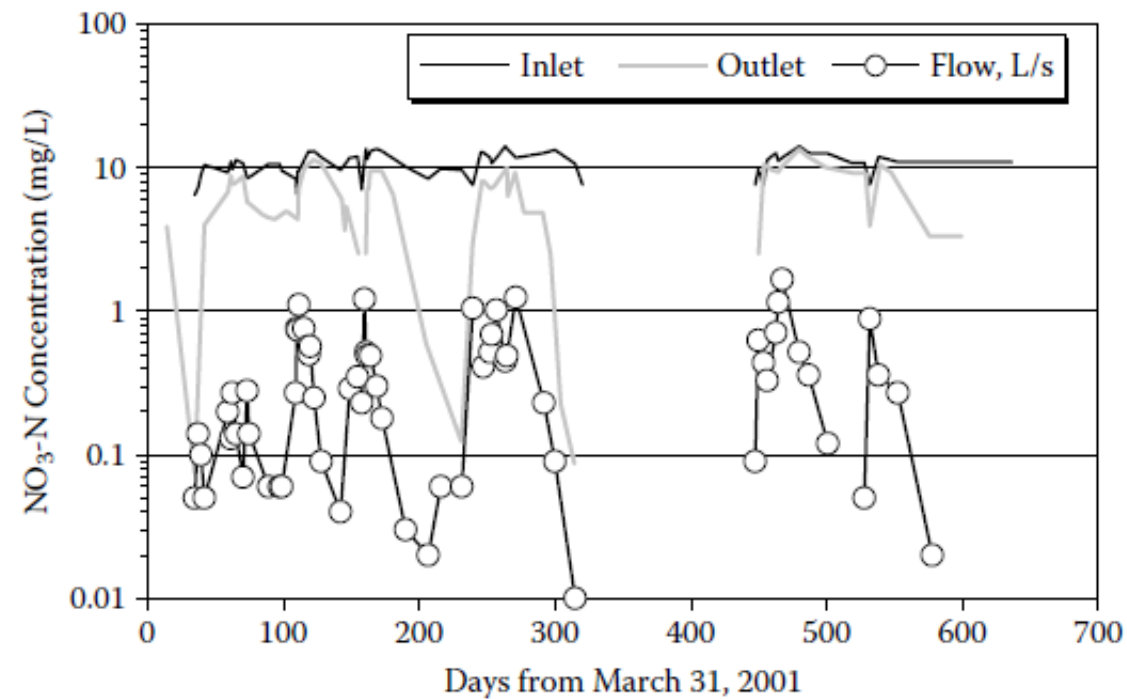
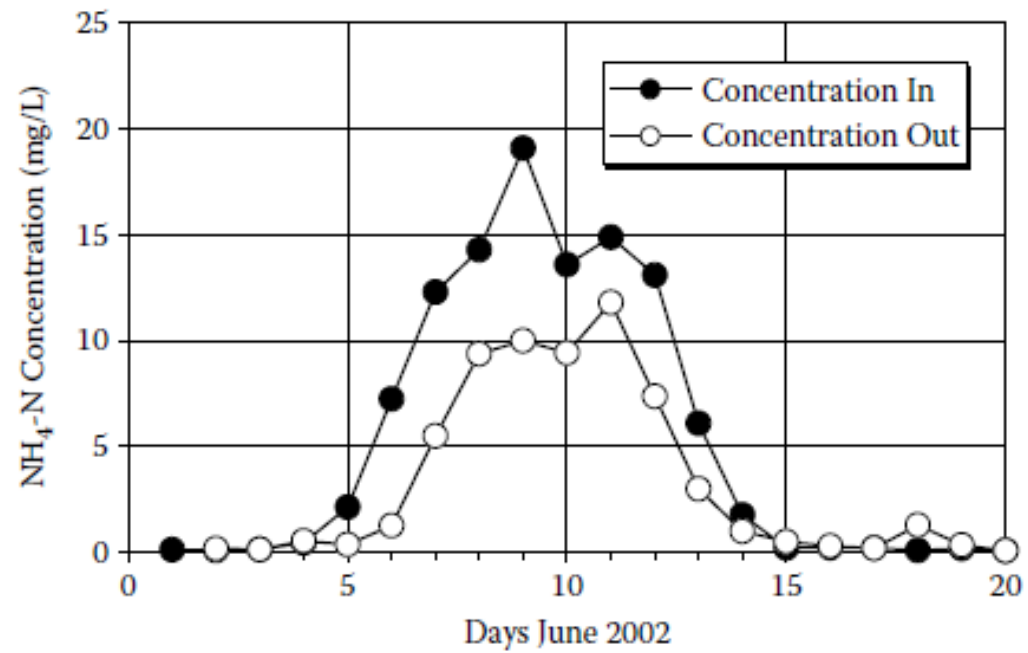


TABLE 14.9

Removal Performance of Constructed, Gravity-Fed, Urban Stormwater Wetlands

System	Location	Wetland Area (ha)	Drainage Area (ha)	Area Ratio (%)	NH ₃ (%)	NO _x -N (%)	TN (%)	Reference
Clear Lake	Minnesota	21.4	433	4.94	55	—	—	Carleton <i>et al.</i> (2001)
Crestwood	Virginia	0.070	2.90	2.41	55	39	22	Carleton <i>et al.</i> (2001)
DUST	California	22	1,200	1.83	10	15	—	Carleton <i>et al.</i> (2001)
Franklin County	Ohio	6.1	260	2.35	—	—	—	Carleton <i>et al.</i> (2001)
Franklin Farms	Virginia	0.125	16.2	0.78	-1	60	—	Carleton <i>et al.</i> (2001)
Greenwood	Florida	5.24	213	2.46	10	-13	-11	Carleton <i>et al.</i> (2001)
Lake McCarrons	Minnesota	2.50	38.0	6.58	—	35	35	Carleton <i>et al.</i> (2001)
Lake Tahoe	California	0.066	1.0	1.84	-53	85	—	Carleton <i>et al.</i> (2001)
Mays Chapel	Maryland	0.240	39.3	0.61	22	28	—	Carleton <i>et al.</i> (2001)
Queen Anne	Maryland	0.240	0.64	3.75	56	55	23	Carleton <i>et al.</i> (2001)
Shop Creek	Colorado	1.42	223	0.64	—	21	41	Carleton <i>et al.</i> (2001)
Spring Lake	Minnesota	26	2,260	1.15	-86	—	-14	Carleton <i>et al.</i> (2001)
Tampa Office	Florida	0.129	2.55	5.08	39	65	—	Carleton <i>et al.</i> (2001)
Motorway	Slovenia	0.009	0.75	1.13	89	76	80	Bulc and Sajn Slak (2003)
Kaohsiung	Taiwan	0.120	—	—	91	—	—	Kao <i>et al.</i> (2001a)
Blacktown, NSW	Australia	0.450	75	0.60	-6	16	58	Knoll and Bavor (2004)
Calamvale, QLD	Australia	0.187	160	0.12	50	50	30	Greenway and Jenkins (2004)
Coorparoo, QLD	Australia	0.800	197	0.41	—	78	—	Greenway and Jenkins (2004)
Median				1.83	31	45	30	

Note: All are FWS except for Slovenia and Taiwan.

TABLE 14.10

Nitrogen Species Entering and Leaving Agricultural Runoff Treatment Wetlands

Reference	Wetland	Location	WWAR (%)	Mean HLR (cm/d)	Data (years)	Oxidized N			Ammonia N			Organic N			Total N		
						In (mg/L)	Out (mg/L)	Rem. (%)	In (mg/L)	Out (mg/L)	Rem. (%)	In (mg/L)	Out (mg/L)	Rem. (%)	In (mg/L)	Out (mg/L)	Rem. (%)
Braskerud (2002a)	A	Norway	0.06	170	7	2.28	2.29	0	0.16	0.17	-5	0.76	0.64	16	3.21	3.10	3
Braskerud (2002a)	C	Norway	0.07	181	7	2.16	2.18	-1	0.37	0.36	3	0.99	0.81	18	3.49	3.35	4
Braskerud (2002a)	F	Norway	0.08	163	4	0.75	0.73	3	0.07	0.07	-10	0.79	0.70	11	1.60	1.50	6
Braskerud (2002a)	G1	Norway	0.21	123	3	2.77	2.50	9	0.68	0.65	3	1.70	1.24	27	5.14	4.40	14
Braskerud (2002a)	G2	Norway	0.38	67	3	2.77	2.57	7	0.68	0.65	3	1.70	1.16	32	5.14	4.38	15
Jordan <i>et al.</i> (1999)	B1	Maryland	9.29	0.59	1.3	0.25	0.07	72	0.36	0.31	14	2.52	3.10	-23	3.13	3.48	-11
Jordan <i>et al.</i> (1999)	B2	Maryland	13.00	0.42	1.3	0.78	0.01	99	0.39	0.17	57	2.36	1.67	29	3.53	1.85	48
Jordan <i>et al.</i> (1999)	Braun	Maryland	19.17	0.30	1.3	0.04	0.04	0	0.17	0.14	13	1.96	1.58	19	2.17	1.76	19
Jordan <i>et al.</i> (1999)	Foster	Maryland	11.40	0.48	1.3	0.33	0.11	67	0.27	0.14	48	2.71	1.29	52	3.31	1.54	53
Kovacic <i>et al.</i> (2000)	A	Illinois	4.00	2.19	3	13.00	11.20	14	1.00	0.80	20	0.00	0.30	—	14.00	12.30	12
Kovacic <i>et al.</i> (2000)	B	Illinois	5.88	1.45	3	10.30	7.40	28	0.10	0.10	0	0.00	0.20	—	10.40	7.70	26
Kovacic <i>et al.</i> (2000)	D	Illinois	3.13	2.80	3	8.50	5.90	31	0.20	0.10	50	0.00	0.30	—	8.70	6.30	28
Koskiaho <i>et al.</i> (2003)	Hovi	Finland	5.00	1.90	2	7.90	5.14	35	0.11	0.08	20	1.80	1.05	41	9.80	6.27	36
Koskiaho <i>et al.</i> (2003)	Alastaro	Finland	0.50	12.80	2	6.80	7.07	-4	0.04	0.06	-36	1.56	1.77	-14	8.40	8.90	-6
Koskiaho <i>et al.</i> (2003)	Flyträsk	Finland	3.00	3.80	2	2.40	2.16	10	0.09	0.04	55	0.61	0.65	-7	3.10	2.85	8
Miller <i>et al.</i> (2002)	G	Illinois	0.16	16.50	4	12.50	11.12	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Tanner <i>et al.</i> (2005a)	Toenepi	New Zealand	1.00	6.90	2	11.79	8.10	31	0.08	0.16	-100	14.34	0.10	99	26.20	8.61	67
Tanner <i>et al.</i> (2003)	Titoki	New Zealand	2.00	19.00	1	6.50	0.40	94	0.25	0.42	-68	1.10	1.80	-64	8.50	5.70	33
Stone <i>et al.</i> (2003)	Herrings	North Carolina	0.78	9.00	3	6.60	2.00	70	0.50	0.70	-40	0.80	0.90	-12	7.90	3.60	54
Ballaron (1988)	Conestoga	Pennsylvania	0.10	32.20	1.5	20.96	19.85	5	0.08	0.08	0	2.30	1.67	27	23.34	21.60	7
	Median	(ex. Norway)				6.70	3.85	29	0.20	0.144	13	1.70	1.16	23	8.40	5.70	26

Note: All are FWS except for Conestoga, which is SSF; Rem. = Removal

Βαρρέα Μέταλλα

TABLE 14.11
Metals Reduction in Constructed Urban Runoff Treatment Wetlands

Name	Location	Reference	Percent Reduction					Area Ratio	HLR (cm/d)
			Cd	Cu	Pb	Ni	Zn		
Shop Creek	Colorado	Carleton <i>et al.</i> (2001)	—	-15	—	—	24	0.6	—
Lake Munson	Florida	Carleton <i>et al.</i> (2001)	—	-4	56	—	59	1.1	5.19
Slovenia Highway	Slovenia	Bulc and Sajn Slak (2003)	100	93	100	—	98	1.1	—
DUST Marsh	California	Meiorin (1989)	—	31	88	—	33	1.8	—
Crestwood	Virginia	Carleton <i>et al.</i> (2000)	28	66	75	—	29	2.4	3.69
Greenwood	Florida	McCann and Olson (1994)	0	59	60	—	69	2.5	2.57
Tampa Office Pond	Florida	Carleton <i>et al.</i> (2001)	—	—	—	—	51	5.1	8.16
Lake McCarrons	Minnesota	Meiorin (1989)	—	—	74	—	—	6.6	7.38
Hidden River	Florida	Carr and Rushton (1995)	88	79	83	—	84	19.5	1.04
Kaohsiung	China	Kao <i>et al.</i> (2001a)	—	—	85	—	95	—	7.10
Sanford	Florida	Harper <i>et al.</i> (1986)	71	40	55	70	41	—	—
Norco	Louisiana	Hawkins <i>et al.</i> (1997)	—	33	—	—	78	—	—
Aiken	South Carolina	Nelson <i>et al.</i> (2004)	—	83	—	—	60	—	—
Orlando	Florida	Kent <i>et al.</i> (1997)	—	—	—	34	—	—	—
Orlando	Florida	Kent <i>et al.</i> (1997)	—	—	—	44	—	—	—
Orlando	Florida	Schiffer (1989)	—	—	—	25	—	—	—
Irondequoit Creek	New York	Coon <i>et al.</i> (2000)	—	—	29	—	—	—	—
Median			71	49	74	39	60	2.4	5.2

Note: All are FWS except for Slovenia, which is HSSF.

TABLE 14.12
Metals Accumulation in the Sediments of Stormwater Pond
Sediments (mg/kg)

Metal	Age 6–8 Years	Age 10–17 Years	LEL	SEL
Cd	<1	1.4	0.6	10
Cr	12.2	19.0	26	110
Cu	27.8	45.7	16	110
Fe	10,800	13,700	20,000	40,000
Ni	8.8	13.4	16	820
Pb	39.4	90	31	250
Zn	194	300	120	820

Note: LEL = lowest effect level, SEL = severe effect level.

Source: Data from Wren *et al.* (1997) *Wildlife and contaminants in constructed wetlands and stormwater ponds: current state of knowledge and protocols for monitoring contaminant levels and effects in wildlife*. Technical Report Series No. 269, Canadian Wildlife Service: Burlington, Ontario, Canada.

Φυτοφάρμακα

TABLE 14.13
Percentage Atrazine Removed in FWS Wetland Cells
Under Event-Driven Operation

Runoff Frequency	Runoff Intensity	Cell 1	Cell 3	Cell 5
High	Medium	3	80	82
High	Medium	90	69	76
Medium	High	99	94	80
High	High	27	76	83
Low	Low	55	48	84

Source: Data from Runes et al. (2003) Water Research 37: 539–550.

Δυναμική προσομοίωση

$$\frac{d(AhC)_1}{dt} = Q_i C_i - Q_1 C_1 - IA_1 C_1 - kA_1 (C_1 - C^*)$$

- ▶ Αυτή η εξίσωση, μαζί με τη δυναμική ισορροπία μάζας νερού, μπορεί να επιλυθεί αριθμητικά για μια χρονική σειρά εισροών και εισερχόμενων συγκεντρώσεων.
- ▶ Αυτό το μοντέλο έχει περιγραφεί και χρησιμοποιηθεί από τους Alvord και Kadlec (1996) για την ατραζίνη και από τον Kadlec (2001a) για τον φωσφόρο.

TABLE 14.14
Phosphorus Entering and Leaving the Hidden
River Urban Stormwater Wetland Near Tampa,
Florida, 1991–1993, for 83 Rain Events

	Ortho P (µg/L)	Total P (µg/L)
Rain (45%)		
10%	1	0
25%	4	3
50%	6	10
75%	10	17
90%	13	25
Mean	7	13
90%/50%	2.17	2.50
Inlet (55%)		
10%	22	67
25%	28	88
50%	40	110
75%	49	127
90%	66	178
Mean	44	116
90%/50%	1.66	1.62
Outlet (27%)		
10%	3	7
25%	7	27
50%	11	40
75%	16	60
90%	28	86
Mean	14	45
90%/50%	2.55	2.15
Mass reduction	67%	70%

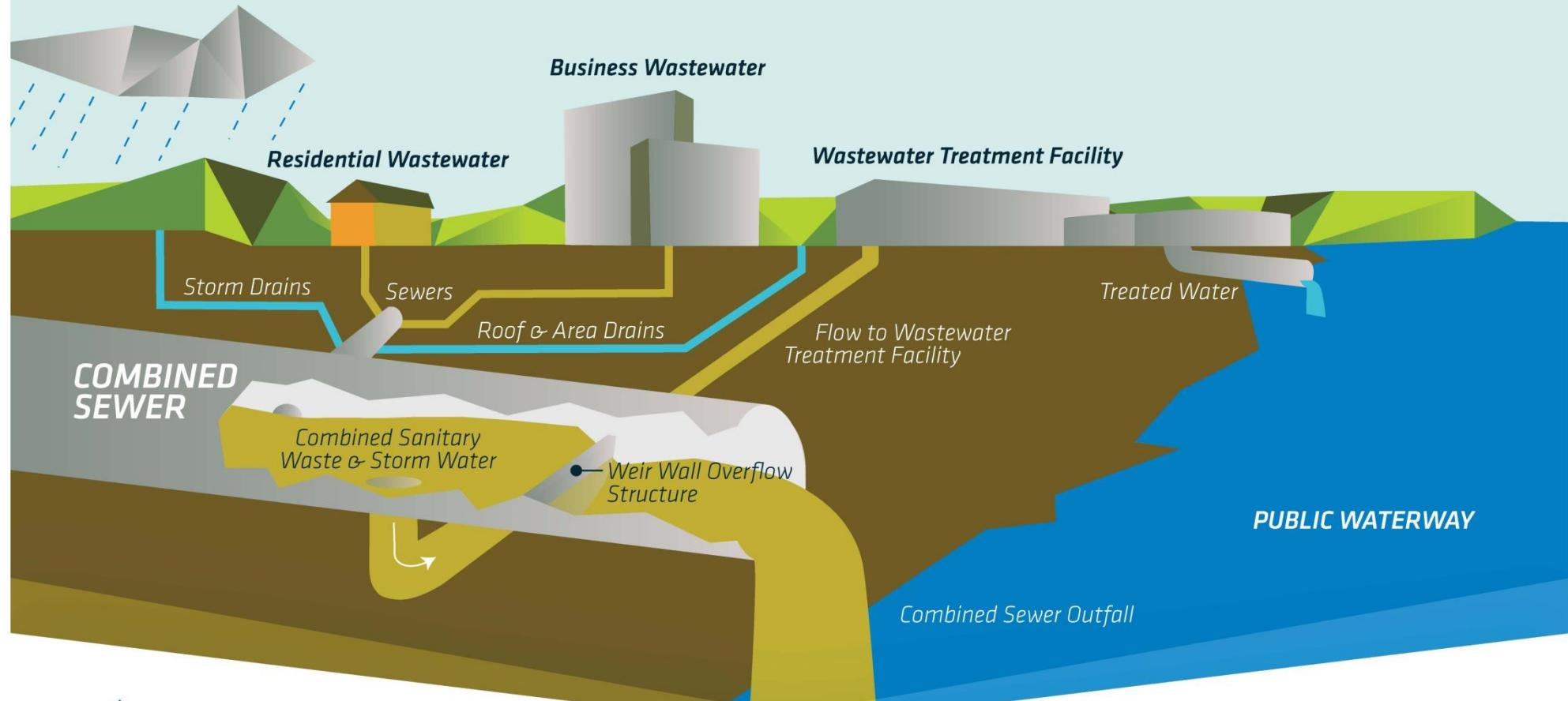
Note: The majority of the water leaves by ET (41%) and seepage (31%).

Source: Data from Carr and Rushton (1995) *Integrating a native herbaceous wetland into stormwater management*. Report by the Southwest Florida Water Management District, July 1995, Boca Raton, Florida.

Combined sewer overflows (CSOs)

- ▶ Combined sewers collect wastewater and stormwater
- ▶ Sewer system overflows and dumps untreated wastewater into Ohio River and Pigeon Creek
- ▶ CSOs contain municipal and industrial wastes, debris and disease-causing pathogens
- ▶ Occur primarily during rain events or snowmelts

COMBINED SEWER OVERFLOWS



Evansville's wastewater collection and treatment systems

- ▶ Two Wastewater Treatment Plants
 - ▶ East WWTP peak wet-weather capacity: 26 mgd
 - ▶ West WWTP peak wet-weather capacity: 37 mgd
- ▶ Collection System
 - ▶ 833 miles of sewers
 - ▶ 60% combined and 40% separate storm/sanitary
 - ▶ 50% West and 50% East
 - ▶ 90 lift stations

Evansville's CSOs

▶ 22 CSO Outfalls

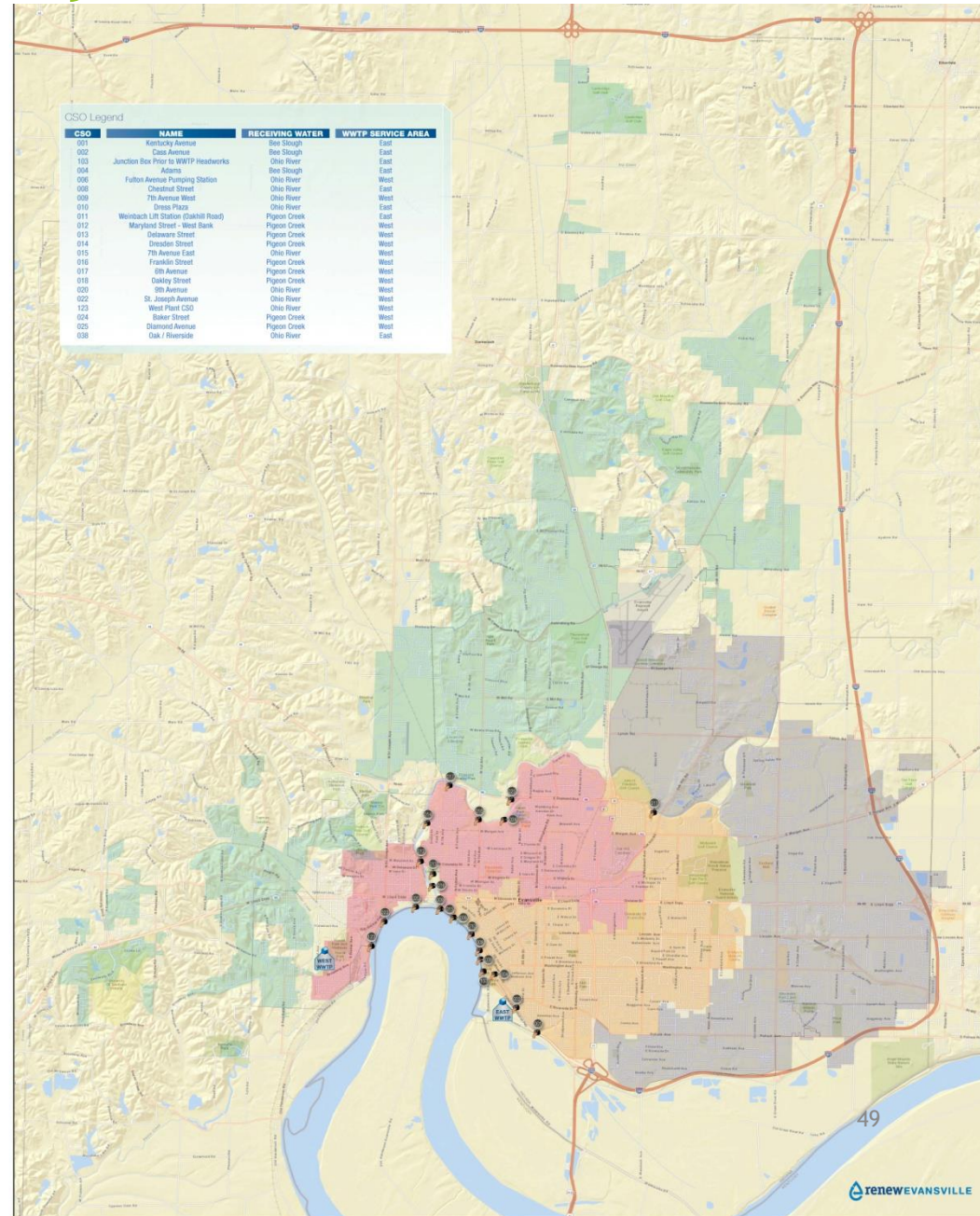
- ▶ Average annual overflow volume ~2.0 billion gallons
- ▶ Currently capture and treat $\sim 1/10$ inch of rain
 - ▶ ~35% of total wet-weather flow
 - ▶ ~ 50 days of CSO activations in Typical Year

▶ Receiving Streams

- ▶ Ohio River
- ▶ Pigeon Creek
- ▶ Bee Slough



Evansville's Sewer System



CSOs and percent capture

- ▶ CSOs **must be addressed** because of federal mandates
 - ▶ It's not **if** we fix our system, it's **how** and over what time frame
- ▶ Federal CSO policy requires:
 - ▶ 75%-100% capture, 0-12 days of activation/year
- ▶ Percent capture targets are for a “Typical Year”
 - ▶ Year 2000 is Evansville’s “Typical Year”
- ▶ 100% capture would mean collecting and treating overflows from ~3.5 inches of rain in 24-hour period
 - ▶ Evansville’s plan will not achieve 100% capture
 - ▶ Most programs end up in the 90%-98% capture range

Challenges Unique to Controlling Evansville Overflows

- ▶ Large CSO volumes
- ▶ Bee Slough's unique characteristics
- ▶ Levee and river level impacts
- ▶ Separate Sanitary Sewer overflows and capacity issues in four priority areas must be addressed

Unique challenges - CSO volume

City	Average Year CSO Volume
Evansville	2.0 Billion Gallons (BG)
Fort Wayne	1.1 BG
South Bend	0.9 BG
Indianapolis	7+ BG
Louisville, KY	4 BG
Milwaukee, WI	9 BG
Omaha, NE	3.5 BG

Unique challenges - Bee Slough

- ▶ Three large CSO outfalls
- ▶ Ohio River level and Levee Authority pumping controls flow and water levels in Bee Slough
- ▶ Eyesore and health risk
 - ▶ referenced in decree– it must be addressed
- ▶ City's most upstream discharge to the Ohio River sensitive area
- ▶ ~70% of total CSO volume discharged to Ohio River
- ▶ Likely all or nothing solution to the problem – 100% CSO control

Unique challenges - River level and levee impacts

- ▶ Most CSO discharges are pumped by the Levee Authority Pump Stations during high Ohio River levels
- ▶ Pigeon Creek water level influenced by Ohio River level
- ▶ Periods of high river/creek levels require the Utility to hold water in the system, reducing available storage volume during wet periods

Unique challenges - River level and levee impacts (cont'd)

- ▶ High river/creek levels cause significant infiltration into the system during wet periods due to elevated groundwater levels
- ▶ Most CSO outfalls pass through the levee
- ▶ CSO controls may require deep excavations adjacent to the Levee in sand/gravel soils

Integrated Overflow Control Plan (IOCP)

- ▶ Two capital plans:
 - ▶ CSO long-term control plan
 - ▶ Sanitary sewer remedial measures plan
- ▶ Best benefit for City's investment



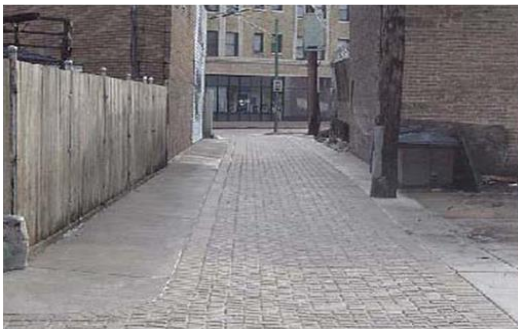
Specific IOCP planning goals

- ▶ Address Bee Slough!
- ▶ Maximize underutilized existing infrastructure
- ▶ Incorporate green infrastructure where possible
- ▶ Optimize Pigeon Creek Sewer Main
- ▶ Provide necessary redundancy and backup power at 7th Avenue Lift Station
- ▶ Provide for better control of West WWTP influent
- ▶ Reduce rainwater that enters the separate sewer system
- ▶ “Right size” CSO controls to increase capture and treatment of CSOs system-wide

West service area findings and proposed solutions



Before



After green improvements

- ▶ Pigeon Creek sewer main wet-weather optimization
- ▶ Green infrastructure
- ▶ Sewer separation
- ▶ WWTP pumping improvements
- ▶ CSO storage and treatment
- ▶ Separate sanitary sewer system infiltration/inflow (I/I) abatement and control

East service area findings and proposed solutions

- ▶ Ohio River and Bee Slough CSOs
 - ▶ WWTP wet-weather treatment capacity expansion
 - ▶ Bee Slough CSO control/wetland
 - ▶ Downtown/green infrastructure
- ▶ One East System CSO on Pigeon Creek
 - ▶ Oak Hill CSO control via storage
- ▶ Separate sanitary sewer system infiltration/inflow (I/I) abatement and control

Why a wetland for Bee Slough?

- ▶ Natural treatment processes
- ▶ No supplemental energy requirements for treatment
- ▶ Uses no chemicals, produces no residuals
- ▶ Provides food sources and habitat for animals
- ▶ Educational opportunities
- ▶ Aesthetic value

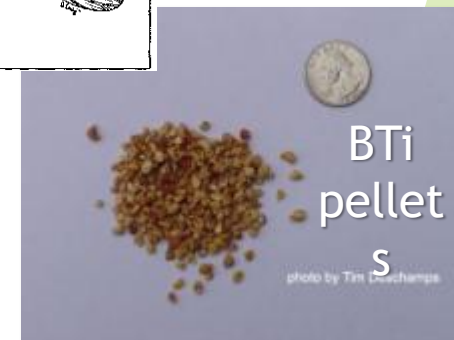
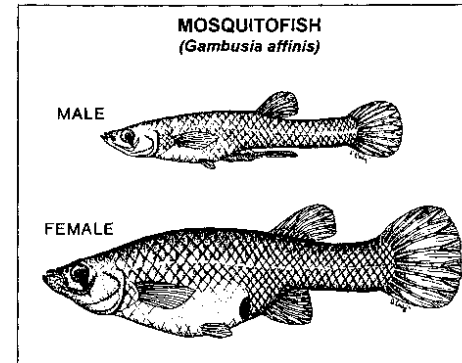


Bee Slough: Integrated Pest Management Plan



Plan Components

- ▶ Larval monitoring
- ▶ Maintain habitat for natural predators
- ▶ Larvicide application
 - ▶ Bti- *Bacillus thuringiensis israeliensis*
 - ▶ For mosquitoes, black flies
 - ▶ Spores > larvae; release toxins into mosquito's gut, causing the larvae to stop eating and die
 - ▶ Thresholds: 1+ /5 or 10 dips



Bee Slough Wetland Configuration



FIGURE 3-1
Bee Slough Control Measure
Overview



Bee Slough Remediation Project Before...



Bee Slough Remediation Project After...



Agenda

- ▶ Regulatory Background
- ▶ Evansville Consent Decree
- ▶ Sewer System Overview
- ▶ Overflow Control Planning and Challenges
- ▶ Integrated Overflow Control Planning (IOCP)
- ▶ **Financial Capability**
- ▶ Proposed IOCP
- ▶ Public Involvement and Next Steps
- ▶ Questions

Financial issues: Rates and existing debt

▶ Sewer Rates

- ▶ Little to no federal and state grant money available to fund sewer system upgrades - projects funded by rate increases
- ▶ Evansville will pursue whatever grants are available and utilize low interest state loan program as much as possible
- ▶ Current average in-city rate based on 3,859 gallons of water usage is \$26.30/month. Out of city rate is \$35.50/month
- ▶ Retirement of existing debt for recent upgrades
 - ▶ Existing debt is \$12 million/year until July 31, 2023
 - ▶ Debt load is then \$11 million/year until July 31, 2031
 - ▶ All existing debt retired July 31, 2031

Financial issues: Financial capability

- ▶ Major cost components:
 - ▶ Regular operating expenses
 - ▶ Capital/infrastructure costs outside of IOCP
 - ▶ IOCP costs
 - ▶ Reasonable assumptions, e.g., interest rates, CPI, MHI growth, etc.

Financial issues: Financial capability

- ▶ CSO Policy makes clear that the financial health of community is a factor in determining cost and schedule for sewer upgrades
- ▶ Nevertheless, EPA has pushed communities to spend to the very limits of affordability as quickly as possible
- ▶ Been an ongoing source of frustration and financial struggle for cities across country
- ▶ US Conference of Mayors and communities have been aggressively pursuing change in EPA's approach to CSO programs

Financial Issues: EPA's likely preferred IOCP too costly

- ▶ EPA likely will want no more than 4 combined sewer overflows per year
 - ▶ 4 days of CSO activations = up to \$815M
 - ▶ 0 days of CSO activations = up to \$916M
- ▶ High level of control in the sanitary system
- ▶ Evansville's system poses unique challenges:
 - ▶ May be a sizable gap between cost and level of control, i.e., Evansville cannot afford a plan EPA/DOJ may want over 20 or 25 years.
- ▶ Evansville needs more than 20 year IOCP to lessen rate impacts

Summary of Proposed IOCP: 28 year program

CSO LTCP*:		SSRMP**:
West:	\$ 259M	\$ 22M
East:	\$ 235M	\$ 22M
Total:	\$ 496M	\$ 44M

Total Anticipated IOCP Cost: \$ 540M over 28 years

- ▶ 92% capture; 12 days of CSO activations in Typical Year

** Sanitary Sewer Remedial Measures Plan - capacity projects at 2-year storm

Summary of Proposed IOCP: 28-year program

- ▶ Pursue approach most affordable over 20 years
- ▶ Second phase allows reevaluation and refinement – total of 28 years
- ▶ Allows time
 - ▶ For additional evaluations and relentless pursuit of affordable and cost-effective solutions
 - ▶ For additional flow redirection/removal
 - ▶ To optimize existing infrastructure
 - ▶ To ensure we “right size” CSO storage/treatment facilities based upon the best available future information
 - ▶ \$12 million in debt service retired in 2031 allowing for additional funding capacity for IOCP

Summary of IOCP: First 20 years

Control Measure	Cost
1. Bee Slough improvement Projects	\$ 150M
2. West Side Storage Projects	\$ 99M
3. Sewer Separation	\$ 28M
4. Green Infrastructure and System Optimization	\$ 21M
5. SSO Abatement Projects	\$ 44M
6. <u>WWTP Modifications</u>	<u>\$ 31M</u>
Total	\$ 373M

- ▶ Achieves ~70% capture with ~50 activations

Summary of IOCP: Years 21 to 28

Additional 8-year plan to reach approvable level of control:

Control Measure	Cost
1. 7 th Avenue LS Replacement	\$ 109M
2. <u>Downtown Storage</u>	<u>\$ 58M</u>
Total	\$ 167M

Total Proposed IOCP Cost Over 28 years: \$540M

- ▶ **92% capture of flow and 12 days of CSO activations in Typical Year**

Summary of IOCP: Level of Control and Water Quality Impacts IOCP

- ▶ 12 CSO activations in a typical year provides best return on investment in water quality benefit:
 - ▶ The Ohio River and Pigeon Creek are adversely affected by pollutants upstream of Evansville CSOs
 - ▶ Water quality sampling and modeling have shown that reducing overflow frequency to less than 12 activations per year has no net benefit to complying with water quality standards
 - ▶ Negligible improvements and no additional days of recreational uses

Proposed IOCP: Rate Impacts

- ▶ Approximate funding capability if rates increased to and never exceed at 2% MHI:
 - ▶ 20-year plan
 - ▶ \$373 million
 - ▶ Avg. residential rate: \$85.30/month in city; \$115.20/month outside city
 - ▶ 28-year plan
 - ▶ \$540 million
 - ▶ Avg. residential rate: \$87.10/month in city; \$117.60/month outside city
- ▶ The final plan submitted to EPA will likely result in in-city monthly rate increases of \$7.45, \$2.65, and \$2.85 the first three years to begin funding the IOCP. Subsequent increases through duration of IOCP to reach and maintain 2% MHI threshold

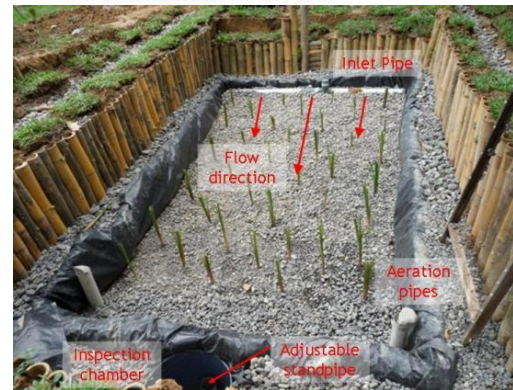
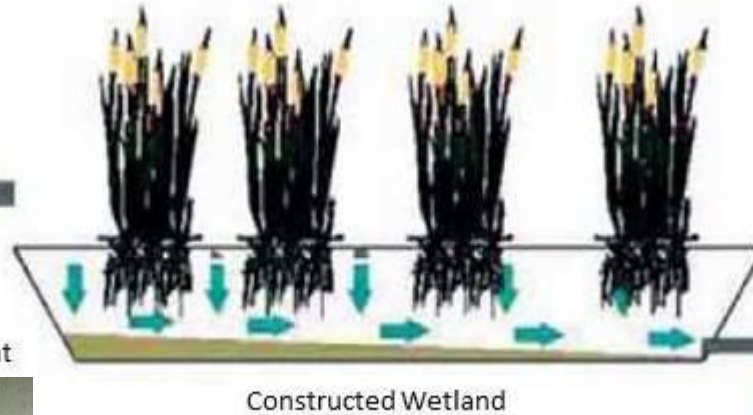
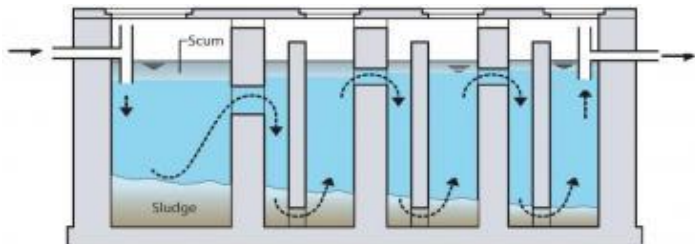
Example 1: Onsite or Semi-centralised Treatment System



Low-flush toilet, shower, kitchen sink, etc.

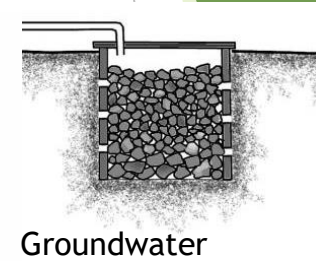


Compost filter (above), septic tank, imhoff tank, anaerobic baffled reactor (below), etc.



Horizontal (picture), vertical, free surface or a combined hybrid filter

Inspection Chamber



Groundwater recharge

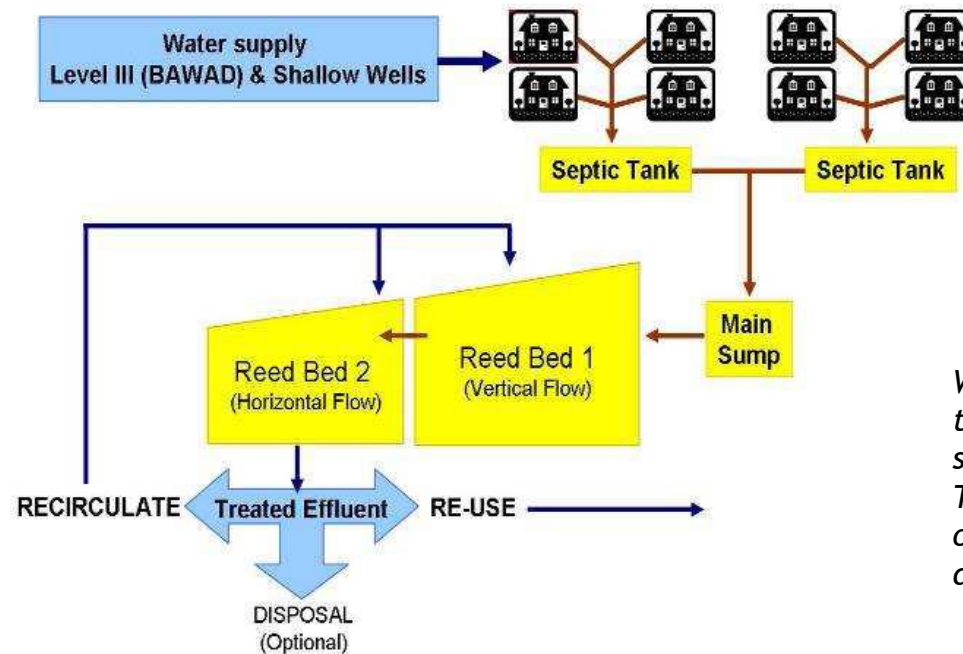


Water for irrigation or aquaculture, etc.

Example 2: Hybrid CW for a Community

CW's can also act as a treatment system for a community up to 3400 people (e.g. Bayawan City):

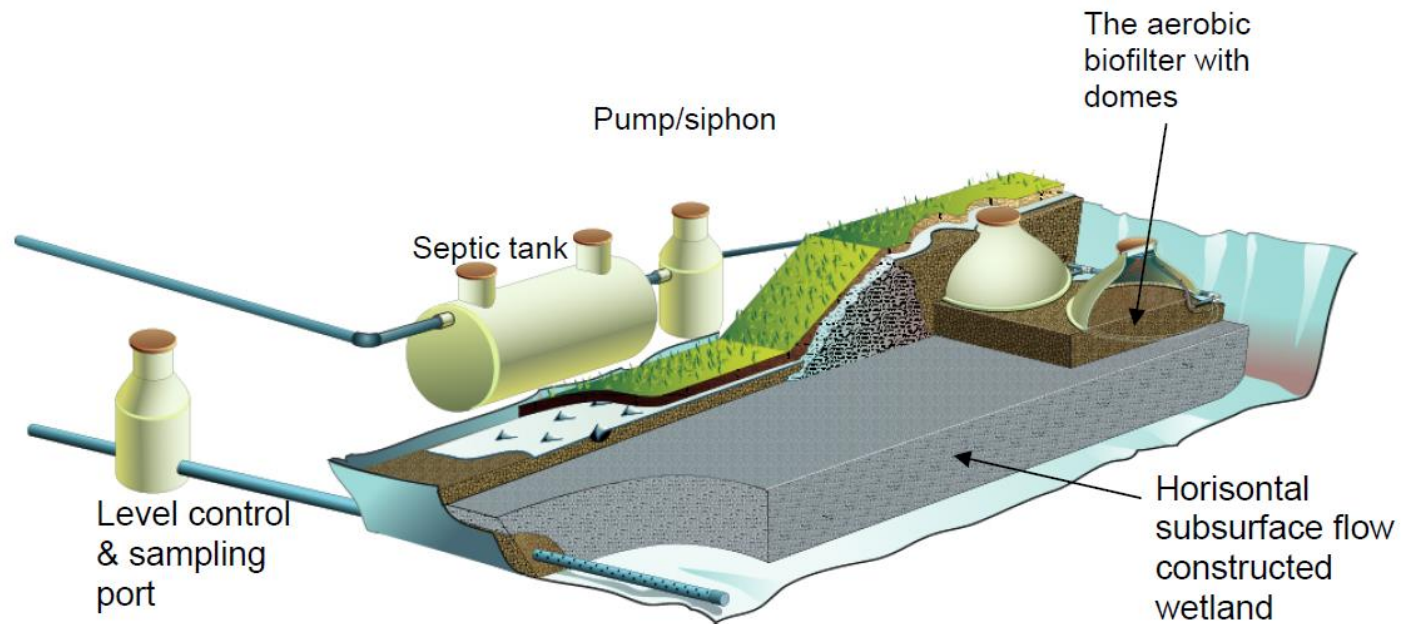
- Protecting coastal waters from pollution
- Protect the health of local residents
- Reuse of treated waste water for irrigation



Wastewater is collected in septic tanks and transferred through a small bore sewer system to the hybrid constructed wetland. The treated water can be reused (irrigation), one part is recirculated or it could be disposed (optional).

Example 3: Greywater Treatment in Urban Areas (Norway)

- ▶ CW's can be embedded nicely in urban areas that greywater can be reused for irrigation or recharge groundwater.



The latest generation of constructed wetlands for cold climate with integrated aerobic biofilter in Norway.

Example 3: Greywater Treatment in Urban Areas (Norway)



Upper right: the wetland in the foreground the biofilter is underneath the playground behind the stonewall. Upper Left: flowforms.



Lower left: the effluent is exposed in a shallow pond and can be discharged in a local stream (lower right).

Example 4: Stormwater Wetlands (also called Wet Ponds or Retention Ponds)

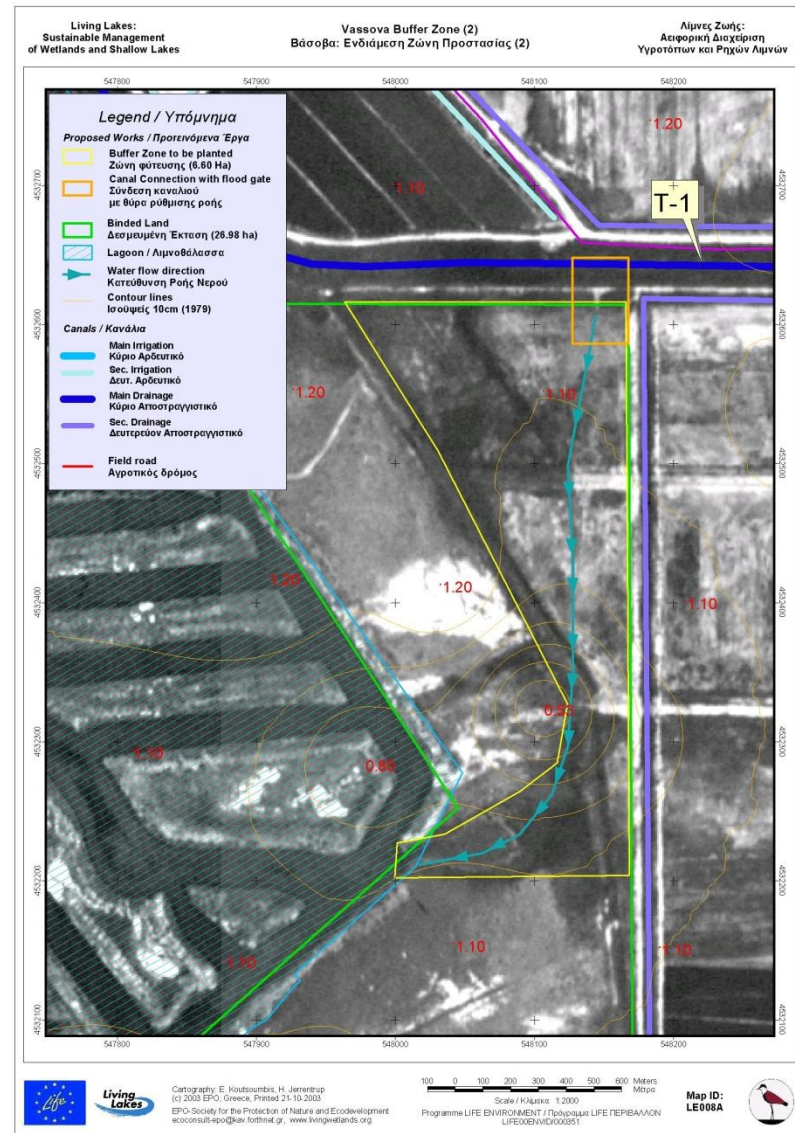
- Adapted design for stormwater management
- Microbiological breakdown of pollutants
- Plant uptake (nutrients)
- Retention, settling and adsorption
- Flood control
- Aesthetic design for rural areas (e.g. city parks)



ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΒΑΣΣΟΒΑΣ

- **Επιφανειακής Ροής**
 - **Εισαγωγή γλυκού νερού στη Λιμνοθάλασσα Βάσσοβα**
 - **Απομάκρυνση φωσφόρου και άλλων ρύπων πριν την εισροή στη λιμνοθάλασσα**

ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΒΑΣΣΟΒΑΣ



... ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΒΑΣΣΟΒΑΣ



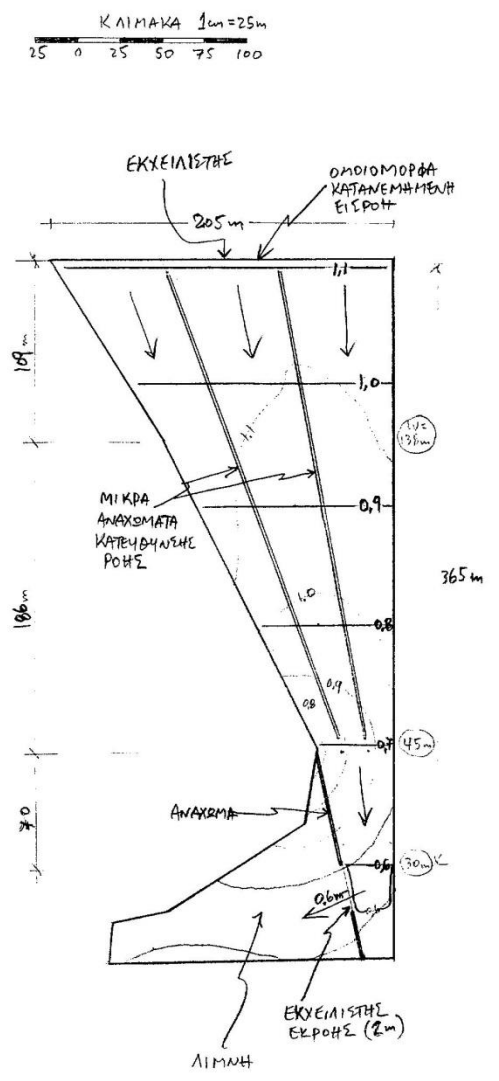
... ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΒΑΣΣΟΒΑΣ

$$A_1 = 18.694 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 17.109 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 2.625 \text{ m}^2$$

$$\Sigma A = 38.428 \text{ m}^2$$



... ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΥΓΡΟΒΙΟΤΟΠΟΣ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΑΣ ΒΑΣΣΟΒΑΣ

