

## Ο ΤΑΡΑΤΣΟΚΗΠΟΣ ΩΣ ΜΕΣΟΝ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

**Δ. Ι. Μπαμπίλης, Π. Λόντρα**

Γ. Π. Α. - Τμήμα Α. Φ. Π. & Γ. Μ., Εργ. Γ. Υδραυλικής, Ιερά Οδός 75, 11855 Αθήνα

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης των ταρατσόκηπων στη συγκράτηση της βροχής και την επιβράδυνση της εκροής των όμβριων στους κύριους αποχετευτικούς αγωγούς, εγκαταστάθηκε πειραματικός ταρατσόκηπος σε κτήριο του Δήμου Αθηναίων στο Γουδί στον οποίο χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά υποστρώματα ανάπτυξης των φυτών και εφαρμόστηκαν εντάσεις βροχής  $5,5 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$  και  $16,6 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$ . Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι υπήρξε συγκράτηση των όμβριων από τον ταρατσόκηπο από 30,28% έως 55,10%, όταν οι ταχύτητες των εκροών εξισώθηκαν με τις εντάσεις των βροχών. Έτσι, οι ταρατσόκηποι σε ευρεία κλίμακα είναι δυνατόν να επηρεάσουν το υδρογράφημα μιας περιοχής αναχαιτίζοντας τη βροχή κατά τα πρώτα στάδια μιας καταιγίδας και περιορίζοντας το μέγιστο καταγραφόμενο ρυθμό απορροής.

## FLOOD CONTROL PROTECTION OF URBAN AREAS THROUGH GREEN ROOFS CONSTRUCTIONS

**D. J. Babilis and P. Londra**

Agricultural University of Athens, Dept of Natural Resource Management and Agricultural Engineering, Laboratory of Agricultural Hydraulic  
75, Iera Odos – 11855 Athens

### ABSTRACT

In order to investigate the retention of the rain and the reduction of the runoff rate to the main drainage pipes from green roofs, an experimental green roof was established on a building of the Municipality of Athens, using two different substrates and applying the rain intensities of  $5,5 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$  and  $16,6 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$ . The experimental results showed that the retention of the rainfall from green roofs was in a scale of 30,28% up to 55,10%, when the rates of runoff were equalized with the rain densities. It could be said that the green roofs in a wider scale could affect the hydrograph of an area controlling runoff from rainfall during the early stages of a storm and reducing the maximum recording runoff rate.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ταρατσόκηποι γνωστοί από την αρχαιότητα [1,2] αλλά και κατά την Αναγέννηση [3] συνεχίζουν να δυναμικά μέχρι σήμερα. Η ύπαρξή τους σε ευρεία κλίμακα είναι δυνατόν να επιλύσει σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι αστικές περιοχές. Ένα από αυτά είναι ότι μπορούν να επηρεάσουν ευεργετικά το υδρογράφημα μιας αστικής περιοχής αναχαιτίζοντας τη βροχή κατά τα πρώτα στάδια της καταιγίδας, περιορίζοντας τη μέγιστη καταγραφόμενη παροχή απορροής όμβριων λειτουργώντας ως διάταξη ανάσχεσης της πλημμύρας. Υποστηρίζεται ότι ένα από τα κύρια οφέλη των ταρατσόκηπων είναι η δυνατότητα συγκράτησης και ανάσχεσης των νερών της βροχής [4].

Η Αθήνα παρά το ετήσιο χαμηλό ύψος βροχής παρουσιάζει το φαινόμενο της ραγδαιότητας των βροχοπτώσεων και της συχνής εμφάνισης πλημμυρών. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να διερευνηθούν οι επιδράσεις των ταρατσόκηπων, οι οποίοι αναπτύσσονται σε υποστρώματα μικρού πάχους και περιέχουν κομποστοποιημένα απορρίμματα – απόβλητα, στη συγκράτηση και επιβράδυνση της εκροής των όμβριων, προκειμένου να λειτουργήσουν ως μέσον αντιπλημμυρικής προστασίας. Η χρησιμοποίηση κομποστοποιημένων απορριμμάτων και στερεών αποβλήτων αστικών περιοχών δίνει επίσης μια διέξοδο στα περιβαλλοντικά προβλήματα αποθήκευσης των προϊόντων αυτών που έχουν δημιουργηθεί στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τα υλικά, οι συσκευές και οι μέθοδοι που αναφέρονται πιο κάτω.

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δύο υποστρώματα ανάπτυξης των φυτών. Το υπόστρωμα 1 που αποτελείται από κομπόστα και ελαφρόπετρα σε αναλογία 7:3 κ.ό. και το υπόστρωμα 2 που αποτελείται από την ίδια κομπόστα και κεραμογάλικο σε αναλογία 7:3 κ.ό. Η χρησιμοποιηθείσα κομπόστα με την εμπορική ονομασία Blumenerde περιείχε τύρφη 70% κ.β. Το υπόλοιπο 30% αποτελείται από κομποστοποιημένα αστικά απορρίμματα και αλεσμένα φυτικά υπολείμματα. Η κομπόστα περιείχε οργανική ουσία 20% και είχε pH 5-6,5. Η ελαφρόπετρα που χρησιμοποιήθηκε είχε μέγεθος κόκκων μέχρι 8 mm, μορφή κοκκώδη και φαινομενική πυκνότητα  $605,9 \text{ kg m}^{-3}$ . Το κεραμογάλικο που χρησιμοποιήθηκε είχε μέγεθος κόκκων μέχρι 8 mm και φαινομενική πυκνότητα  $1.109,2 \text{ kg m}^{-3}$ .

Ο πειραματικός ταρατσόκηπος εγκαταστάθηκε στην περιοχή της Αττικής σε υπάρχον ισόγειο κτήριο γραφείων του Δήμου Αθηναίων στο Γουδί, που διέθετε ταράτσα με υγρομόνωση από ασφαλική μεμβράνη. Στην πειραματική ταράτσα διαμορφώθηκαν τρία τεμάχια διαστάσεων 5,5m x 7,5m. Η στέγη παρουσίαζε σταθερή κλίση της τάξεως του 1% προς τρεις αποχετευτικούς αγωγούς που αντιστοιχούσαν στα τρία πειραματικά τεμάχια. Καταρχήν, στην ταράτσα στρώθηκε η ειδική αντιριζιδική μεμβράνη Zinco Root Barrier WSF 40, ακολούθησε η τοποθέτηση μίας τσόχας για τη συγκράτηση της υγρασίας (Zinco Moisture Retention/Protection Mat SSM 45), και στη συνέχεια εγκαταστάθηκε κυματοειδής διάτρητο φύλλο στράγγισης και συγκέντρωσης νερού (Zinco Floradrain FD25). Τέλος, ακολούθησε η διάστρωση του γεωϋφάσματος (Zinco Filtersheet SF). Πάνω από τα προαναφερθέντα υλικά τοποθετήθηκαν τα υποστρώματα σε πάχος 9 cm. Στο πειραματικό τεμάχιο 1 τοποθετήθηκε το υπόστρωμα 1 και στο πειραματικό τεμάχιο 2 τοποθετήθηκε το υπόστρωμα 2. Το πειραματικό τεμάχιο 3 ήταν γυμνό και αποτελούσε το μάρτυρα.

Η υγρασία προσδιοριζόταν σε κάθε τεμάχιο με αισθητήρες υγρασίας (συσκευής TDR) που είχαν τοποθετηθεί στη μάζα των υποστρωμάτων. Οι εκροές κάθε πειραματικού τεμαχίου

συγκεντρώνονταν σε ειδικά δοχεία και ζυγίζονταν σε τρεις ηλεκτρονικούς ζυγούς με καταγραφή ανά λεπτό.

Τα φυτά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν πολυετή ποώδη, θαμνώδη και αναρριχώμενα. Αυτά ήταν η ονυχωτή Βιγνόνια (*Bignonia capensis*), το Ρυγχόσπερμα (*Trachelospermum jasminoides*), το Αγιόκλημα (*Lonicera sp.*), η Μυρτιά (*Myrtus communis*), η Λεβαντίνη (*Santolina chamaecyparissus*), η Διμορφοθήκη (*Dimorphotheca pluvialis*), η Σινεράρια (*Senecio maritima*), η Γκαζάνια (*Gazania sp*) και η Βίγκα (*Vinca minor*).

Το ολικό πορώδες των υποστρώματων υπολογίστηκε ως η περιεχόμενη υγρασία στον κορεσμό, κατά τη διάρκεια προσδιορισμού των καμπυλών υγρασίας, οι οποίες προσδιορίστηκαν με τροποποιημένες συσκευές Haines [5]. Οι φαινομενικές πυκνότητες των υποστρώματων και οι υδραυλικές αγωγιμότητες στον κορεσμό μετρήθηκαν σε αδιατάρακτα δείγματα ύψους 9 cm και διαμέτρου 7,1 cm.

Η τεχνητή βροχή στον ταρατσόκηπο εξασφαλίστηκε με εκτοξευτήρες σε τετραγωνική διάταξη 2,60m x 2,60 m και η ομοιομορφία κατανομής του νερού προσδιορίστηκε κατά Christiansen [6] δίδοντας συντελεστή 92%.

Στα τρία πειραματικά τεμάχια του ταρατσόκηπου εφαρμόστηκε τεχνητή βροχή με δύο σταθερές εντάσεις βροχόπτωσης  $5,5 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$  και  $16,6 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$  αντίστοιχα και αρχική εδαφική υγρασία  $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον Πίνακα 1 φαίνονται συγκεντρωτικά όλες οι περιπτώσεις εφαρμογής των δύο εντάσεων βροχόπτωσης και οι εκροές για τα δύο υποστρώματα πάχους 0,09 m με αρχική υγρασία  $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ .

Μελετώντας τον ταρατσόκηπο με το υπόστρωμα 1, στον οποίο εφαρμόζεται μια βροχή έντασης  $5,5 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$ , παρατηρείται ότι η εκροή των όμβριων άρχισε  $5,42 \times 10^3 \text{ s}$  (90 min) μετά την έναρξη της βροχής και μέχρι τα  $13,8 \times 10^3 \text{ s}$  (230 min), που είναι ο χρόνος εξίσωσης της ταχύτητας εκροής με την ένταση της βροχής, θα έχουν αποδοθεί  $36,68 \times 10^{-3} \text{ m}$  (36,68 mm στήλης νερού) συνολικά. Φαίνεται λοιπόν ότι το υπόστρωμα του ταρατσόκηπου συγκράτησε  $39,9 \times 10^{-3} \text{ m}$  από τα  $76,58 \times 10^{-3} \text{ m}$  (ποσοστό 52,10%) της βροχόπτωσης στα πρώτα  $13,8 \times 10^3 \text{ s}$  (230 min).

Για τον ταρατσόκηπο με το ίδιο υπόστρωμα 1, την ίδια αρχική υγρασία αλλά με ένταση βροχής  $16,6 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$ , παρατηρείται ότι η εκροή του βρόχινου νερού άρχισε μετά από  $1,92 \times 10^3 \text{ s}$  (32 min) από τη έναρξη της βροχόπτωσης και μέχρι τα  $8,4 \times 10^3 \text{ s}$  (140 min), οπότε η ταχύτητα της εκροής εξισώθηκε με την ένταση της βροχόπτωσης, αποδόθηκαν  $97,60 \times 10^{-3} \text{ m}$ . Στο τέλος, το υπόστρωμα 1 του ταρατσόκηπου συγκράτησε  $42,40 \times 10^{-3} \text{ m}$  (30,28%) από το σύνολο των  $14,0 \times 10^{-3} \text{ m}$  όμβριων που δέχθηκε στα πρώτα  $8,4 \times 10^3 \text{ s}$  (140 min).

Στην περίπτωση του ταρατσόκηπου με το υπόστρωμα 2 και με ένταση βροχής  $5,5 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$ , η εκροή άρχισε μετά την παρέλευση  $5,28 \times 10^3 \text{ s}$  (88 min) από την έναρξη της βροχόπτωσης και όταν η ταχύτητα της εκροής εξισώθηκε με την ένταση της βροχής μετά από  $12 \times 10^3 \text{ s}$  (200 min) το υπόστρωμα συγκράτησε  $29,30 \times 10^{-3} \text{ m}$  (55,11%) από το σύνολο των  $66,59 \times 10^{-3} \text{ m}$  βροχόπτωσης.

Πίνακας 1: Συνοπτικά στοιχεία που αφορούν στις εισροές και εκροές κάτω από δύο διαφορετικές εντάσεις βροχής στα υποστρώματα 1 και 2.

		Εκκίνηση εκροής	Εξίσωση εισροής-εκροής
Υπόστρωμα 1 με	Χρόνος ( $\times 10^3 \text{ s}$ )	5,42	13,8

ένταση βροχής $5,5 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$	Ποσότητα εισροής ( $\times 10^{-3} \text{ m}$ )	30,63	76,58
	Ποσότητα νερού που συγκρατήθηκε στην κατατομή ( $\times 10^{-3} \text{ m}$ )	30,63	39,90 (52,10%)
	Ποσότητα νερού εκροής ( $\times 10^{-3} \text{ m}$ )	0,00	36,68
Υπόστρωμα 2 με ένταση βροχής $5,5 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$	Χρόνος ( $\times 10^3 \text{ s}$ )	5,28	12
	Ποσότητα εισροής ( $\times 10^{-3} \text{ m}$ )	29,30	66,59
	Ποσότητα νερού που συγκρατήθηκε στην κατατομή ( $\times 10^{-3} \text{ m}$ )	29,30	36,70 (55,11%)
Υπόστρωμα 1 με ένταση βροχής $16,6 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$	Ποσότητα νερού εκροής ( $\times 10^{-3} \text{ m}$ )	0,00	29,89
	Χρόνος ( $\times 10^3 \text{ s}$ )	1,92	8,4
	Ποσότητα εισροής ( $\times 10^{-3} \text{ m}$ )	32,00	140,00
Υπόστρωμα 2 με ένταση βροχής $16,6 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$	Ποσότητα νερού που συγκρατήθηκε στην κατατομή ( $\times 10^{-3} \text{ m}$ )	32,00	42,40 (30,28%)
	Ποσότητα νερού εκροής ( $\times 10^{-3} \text{ m}$ )	0,00	97,60
	Χρόνος ( $\times 10^3 \text{ s}$ )	1,8	6,6
Υπόστρωμα 1 με ένταση βροχής $16,6 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$	Ποσότητα εισροής ( $\times 10^{-3} \text{ m}$ )	30,00	110,00
	Ποσότητα νερού που συγκρατήθηκε στην κατατομή ( $\times 10^{-3} \text{ m}$ )	30,00	38,81 (35,28%)
	Ποσότητα νερού εκροής ( $\times 10^{-3} \text{ m}$ )	0,00	71,19

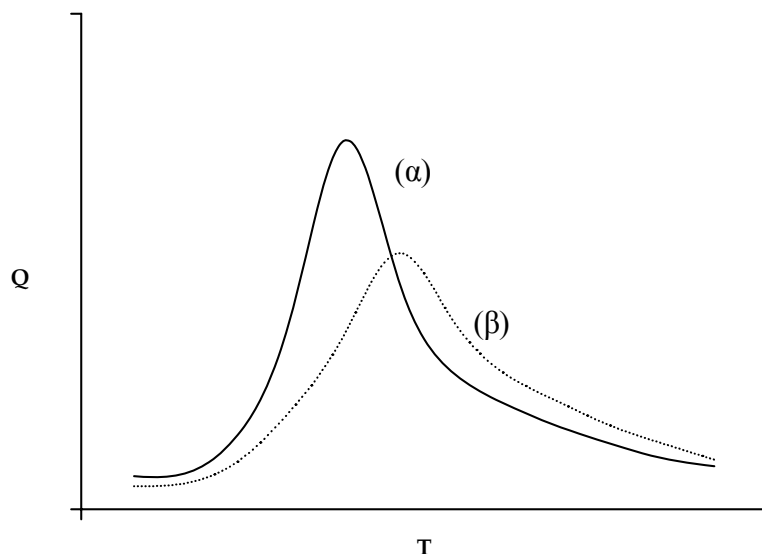
Τέλος, στην περίπτωση του υποστρώματος 2, αλλά με ένταση βροχής  $16,6 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$  η εκροή άρχισε στα  $1,8 \times 10^3 \text{ s}$  (30 min) από την έναρξη της βροχόπτωσης. Τη στιγμή που η ταχύτητα της εκροής εξισώθηκε με την ένταση της βροχής, μετά από  $6,6 \times 10^3 \text{ s}$  (110 min), είχαν συγκρατηθεί μέσα στο υπόστρωμα  $38,81 \times 10^{-3} \text{ m}$  όμβρια (35,28%) από το σύνολο των  $110 \times 10^{-3} \text{ m}$  της βροχόπτωσης.

Από όλα τα πειράματα επιβεβαιώνεται ότι η συγκράτηση όμβριων από τα πειραματικά τεμάχια είναι δυνατόν να δημιουργήσει αξιόλογη ανάσχεση στη φόρτιση του αγωγού αποχέτευσης όμβριων. Τα (υπόψη) πειραματικά στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν βάση για τον υπολογισμό των πλημμυρικών παροχών μιας αστικής περιοχής στην οποία υπάρχουν ταρατσόκηποι.

Ένταση βροχής  $5,5 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$  και διάρκειας  $12,6 \times 10^3 \text{ s}$  (3,5h) αντιστοιχεί σε επεισόδιο βροχόπτωσης με περίοδο επαναφοράς την 20ετία για την περιοχή των Αθηνών [7]. Όπως προαναφέρθηκε στις δύο από τις επεμβάσεις των πειραματικών τεμαχίων 1 και 2 εφαρμόστηκε ένταση βροχής  $5,5 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$  και διάρκειας  $13,8 \times 10^3 \text{ s}$  (3,83h) στο υπόστρωμα 1 και  $12 \times 10^3 \text{ s}$  (3,33h) στο υπόστρωμα 2 και σημειώθηκε μείωση των όμβριων 52,1% και 55,11% αντίστοιχα στα δύο υποστρώματα.

Η παρέμβαση του ταρατσόκηπου ήταν διπλή και αφορούσε τόσο στη μείωση του όγκου των όμβριων που αποχετεύεται κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης, όσο και στην αισθητή χρονική μετατόπιση (υστέρηση) του σημείου αιχμής της παροχής εκροής.

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της ανάσχεσης της πλημμυρικής αιχμής μιας αστικής περιοχής όπως είναι η Αθήνα. Ο Κηφισός είναι ένα ποτάμι με σοβαρή πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων. Δέχεται απορροές όμβριων από μια επιφάνεια  $417 \text{ Km}^2$  (συμπεριλαμβανομένου του ποταμού Ιλισού). Η μεγαλύτερη από την αστική περιοχή της ευρύτερης Αθήνας ( $240$  από  $330 \text{ Km}^2$ ) καταλήγει σε αυτόν τον συλλέκτη. Οι δείκτες αυτοί δείχνουν ότι το 58% ( $=240/417$ ) των φορτίων του ποταμού προέρχονται από τον αστικό χώρο, και έτσι εξηγείται το γιατί η τάση εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων στην Αθήνα συνδέεται κύρια με την εμφάνιση βροχής πάνω από την πόλη.



Σχήμα 1: Τυπικό υδρογράφημα πλημμύρας στο φυσικό αποδέκτη χωρίς ταρατσόκηπους (α), με ταρατσόκηπους (β).

Από τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής προκύπτει ότι η ύπαρξη σημαντικής έκτασης ταρατσόκηπων μπορεί να έχει ευνοϊκά υδρολογικές και αντιπλημμυρικές επιπτώσεις. Τούτο φαίνεται σαφέστερο από το Σχήμα 1 στο οποίο φαίνεται η ποιοτική επίδραση των ταρατσόκηπων στην πλημμυρική απορροή. Εάν η καμπύλη (α) στο Σχήμα 1 αποτελεί το μοναδιαίο υδρογράφημα του Κηφισού ποταμού, η ύπαρξη σημαντικής έκτασης ταρατσόκηπων στην περιοχή θα αποκτήσει τη μορφή της καμπύλης (β). Η αιχμή της καμπύλης (α) όχι μόνο θα μειωθεί αλλά και θα υποστεί μια χρονική υστέρηση με ευνοϊκά σε όλες τις περιπτώσεις αποτελέσματα.

Η δημιουργία σημαντικής επιφάνειας ταρατσόκηπων σε στρατηγικής σημασίας σημεία της πόλης, είναι δυνατό να οδηγήσει τόσο στην αύξηση της αντιπλημμυρικής προστασίας όσο και στη μείωση της έντασης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

#### 4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Osmundson, T., 1999. Roof Gardens: History, Design and Construction, New York: W. W. Norton & Company Inc. ( Amazon.com).
- [2] Jashemski, W., 1979. The Gardens of Pompeii: Herculaneum and the Villas Destroyed by Vesuvius. Aristide D. Caragzas, New Rochelle, NY, Volume I and II.
- [3] Gorse, G. L., 1983. Genovese Renaissance Villas: A Typological Introduction in Journal of Garden History, Volume 3, No. 4, , pp. 255-289.

- [4] North American Wetland Engineering, 1998. Ecology, Construction, and Benefits in ReNature/NAWE Green Roof Product Literature, Minnesota.
- [5] Haines, W. B., 1930. Studies in the physical properties of soils. V. The hysteresis effect in capillary properties and the models of moisture distribution associated therewith. *J. Agr. Sci.*, 20:97-116.
- [6] Christiansen, J.E., 1942. Irrigation by sprinkling, California Agr. Expt. Sta. Bull.
- [7] Koutsoyiannis, D. and Baloutsos, G., 2000. Analysis of a Long Record of Annual Maximum Rainfall in Athens, Greece, and Design Rainfall Inferences, *Natural Hazards* 29: 29-48, Kluwer Academic Publishers.