

**ΕΞΑΓΩΓΗ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ Ν.ΚΟΖΑΝΗΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΑΥΤΩΝ  
ΣΕ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΕΡΓΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ.  
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΑΠΟΧΕΤΕΥΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΟΜΒΡΙΩΝ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΟΖΑΝΗΣ.<sup>1</sup>**

**ΣΠΥΡΙΔΗΣ ΑΝΘΙΜΟΣ<sup>2</sup>, ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ ΑΡΗΣ<sup>3</sup>, ΚΟΥΤΑΛΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ<sup>4</sup>**

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ.**

Η παρούσα εργασία αφορά την εξαγωγή όμβριων καμπυλών της ευρύτερης περιοχής της πόλης της Κοζάνης. Αναλυτικότερα, στα πλαίσια μελέτης, που ανατέθηκε από την Αναπτυξιακή Δυτικής Μακεδονίας (ΑΝ.ΚΟ.) Α.Ε. και αφορούσε τον έλεγχο του εσωτερικού δικτύου αποχέτευσης της πόλης της Κοζάνης, προέκυψε η ανάγκη προσδιορισμού των όμβριων καμπυλών της ανωτέρω περιοχής.

Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία τριών βροχομετρικών σταθμών (Ποντοκώμης-Σιάτιστας-Σερβίων), τα οποία αφού υπέστησαν πρωτογενή επεξεργασία και στατιστική ανάλυση, οδήγησαν στη δημιουργία ενός ενοποιημένου δείγματος 1591 παρατηρήσεων.

Από το δείγμα αυτό εξήχθη το δείγμα των μέγιστων ετήσιων υψών βροχής για κάθε διάρκεια βροχόπτωσης, από 5min έως και 180min με χρονικό βήμα 5min. Στο δείγμα αυτό εφαρμόστηκε η μέθοδος ακραίων τιμών Gumbel και με βάση την τεχνική της πολλαπλής παλινδρόμησης και τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, εξήχθησαν οι όμβριες καμπύλες τρι-παραμετρικής μορφής με συντελεστή συσχέτισης 83%. Η χρησιμότητα των ανωτέρω σχέσεων είναι μεγάλη και μια πρώτη εφαρμογή αυτών έγινε στη μελέτη που αναφέρθηκε ανωτέρω.

**ABSTRACT**

The present study concerns the formulation of rainfall curves of the greater area of the city of Kozani. Regarding the study assigned by ANKO S.A. concerning the control of the internal drainage network of Kozani, the need of allocating the rainfall curves of the above area, arose.

Data from three rain-gauge stations were used (Pontokomi, Siatista and Servia stations) and were subjected to primary processing and statistic analysis, led to the formation of a united sample of 1591 observations.

From this sample, the maximum annual rainfall heights were extracted for each rainfall durated from 5 to 180 minutes with a 5-minute time interval. In the above sample, the Gumbel extreme value method was applied according to the multiple regressions technique and the minimum squares method, in order to formulate the rainfall curves of three-parameter form and with correlation coefficient equal to 83%. This formula is extremely useful and was applied to the above research.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Βροχομετρικά Στοιχεία, Μέγιστες Εντάσεις Βροχοπτώσεων, Ανάλυση Συχνότητας, Κατανομή Ακραίων Τιμών GUMBEL, Δίκτυο Αποχέτευσης Ομβρίων.

**KEY WORDS:** Maximum Precipitation Data, Rainfall Intensity, Frequency Analysis, Gumbel Extreme Values Distribution, Drainage Network.

---

1: RAINFALL CURVES FORMULATION IN KOZANI AREA FOR FLOOD CONTROL AND WATER RESOURCES MANAGEMENT. APPLICATION ON THE DRAINAGE NETWORK OF KOZANI CITY.

2: Δρ. Αγρονόμος-Τοπογράφος Μηχανικός, M.Sc, Ph.D., ΥΕΤΟΣ Μελετητική Εταιρεία, Πλ. Ναυαρίνου 3, 54622 Θεσσαλονίκη.

3: Δρ. Αγρονόμος-Τοπογράφος Μηχανικός, M.Sc, Ph.D., Τομέας Φυσικής & Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, 54124 Θεσσαλονίκη

4: Γεωλόγος, M.Sc. - ΥΕΤΟΣ Μελετητική Εταιρεία, Πλ. Ναυαρίνου 3, 54622 Θεσσαλονίκη.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γνωστό στην υδρολογία ότι το ύψος βροχής [5], μπορεί να εκφραστεί με τη μορφή της παρακάτω τρι-παραμετρικής σχέσης:

$$h = at^{bT^c} \quad (1)$$

όπου:

$h$  : Το ύψος βροχής σε mm.

$t$  : Η χρονική διάρκεια της βροχόπτωσης σε h.

$T$  : Η περίοδος επαναφοράς σε έτη.

Ενώ για την ένταση της βροχής [3], ισχύει η σχέση:

$$i = at^{b-1}T^c \quad \text{ή} \quad i = \frac{aT^c}{t^{1-b}} \quad (2)$$

όπου:

$i$  : Η ένταση της βροχής σε mm/h.

Ο σωστός σχεδιασμός κατασκευής και λειτουργίας όλων των έργων υδατικής αξιοποίησης βασίζεται κατά κύριο λόγο στην όσο το δυνατό καλύτερη και επιστημονικά τεκμηριωμένη εκτίμηση της πλημμυρικής παροχής, για μια συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς. Το γεγονός αυτό οδηγεί αναπόφευκτα στην ανάγκη ανάλυσης συχνότητας ακραίων τιμών.

Στην ανάλυση συχνότητας, οι μέγιστες ετήσιες τιμές κάποιας υδρολογικής διαδικασίας δηλαδή κάποιου υδρολογικού φαινομένου που δείχνει μια συνεχή αλλαγή στο χρόνο, στο χώρο, στην επιφάνεια ή πάνω σε ένα γραμμικό γεωμετρικό στοιχείο του υδρολογικού δικτύου, κατατάσσονται κατά φθίνουσα τάξη μεγέθους για όσα χρόνια έχουμε παρατηρήσεις, αγνοώντας τη χρονική τους ακολουθία, οπότε προκύπτει μια σειρά συχνότητας.

Οι μέγιστες τιμές κάθε υδρολογικής παραμέτρου ακολουθούν κάποια κατανομή συχνότητας ακραίων τιμών. Το ποια είναι ακριβώς η κατανομή που ακολουθείται από τις μέγιστες αυτές τιμές της υδρολογικής παραμέτρου δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί. Από τις διάφορες κατανομές που έχουν αναφερθεί στην Ελληνική και ξένη βιβλιογραφία μεγάλη εφαρμογή βρήκαν η κατανομή του Gumbel, η κατανομή του Pearson τύπου III και η λογαριθμική κατανομή του Pearson τύπου III.

Οι παραπάνω τρεις κατανομές έχει αποδειχθεί ότι προσεγγίζουν τα διάφορα φυσικά φαινόμενα με ικανοποιητική ακρίβεια εισάγοντας το μικρότερο βαθμό αβεβαιότητας στο σχεδιασμό των διαφόρων τεχνικών έργων.

Η πείρα έχει δείξει ότι μεταξύ των γνωστών κατανομών, εκείνη που προσαρμόζεται καλύτερα σε υδρολογικά προβλήματα, είναι η κατανομή των ακραίων τιμών τύπου I, γνωστή στην Υδρολογία ως κατανομή Gumbel.

Η συνάρτηση της κατανομής των ακραίων τιμών κατά Gumbel [1], είναι:

$$F(h) = e^{-e^{-\alpha(h-x_0)}} = 1 - F_1(h) = 1 - \frac{1}{T} \quad (3)$$

όπου:

$F(h)$  : η πιθανότητα μη υπέρβασης,

$F_1(h)$  : η πιθανότητα υπέρβασης και

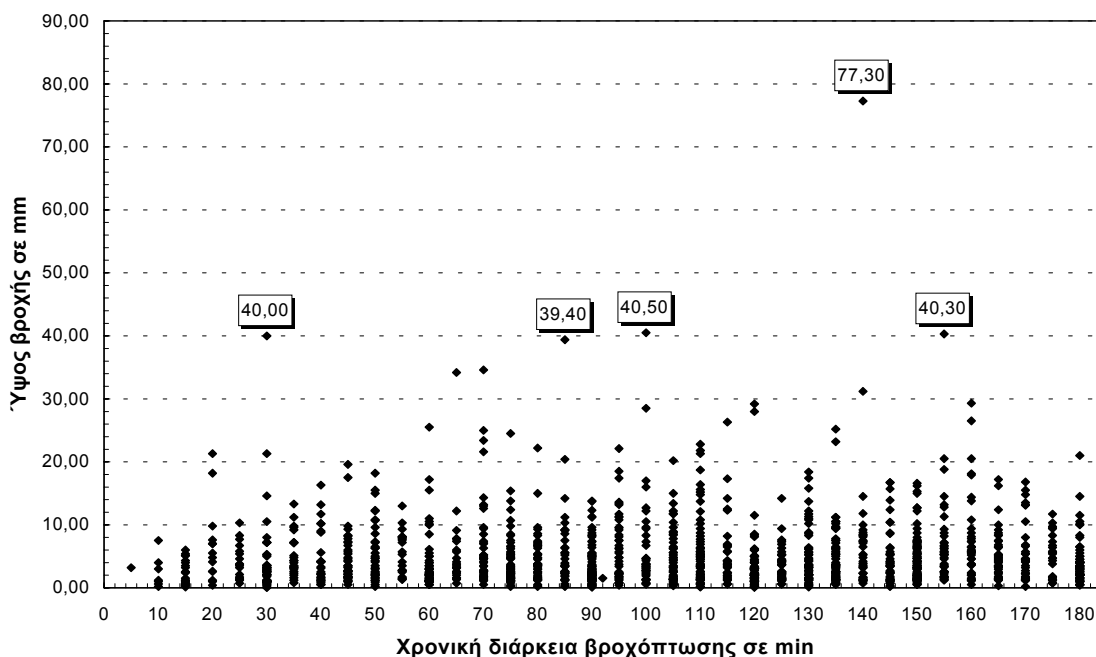
$T$  : η περίοδος επαναφοράς.

$\alpha = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}}$  με  $\sigma$  την τυπική απόκλιση του μεγίστου δείγματος

$x_0 = \mu - \frac{\gamma}{\alpha}$  με  $\gamma=0,57721$  τη σταθερά Euler και  $\mu$  το μέσο όρο του μεγίστου δείγματος

## 2. ΕΞΑΓΩΓΗ ΟΜΒΡΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ.

Για την περιοχή μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν οι βροχομετρικές παρατηρήσεις των σταθμών Ποντοκώμης, Σιάτιστας και Σερβίων. Τα στοιχεία αυτά υπέστησαν πρωτογενή επεξεργασία, ώστε να εξαχθεί το στατιστικό δείγμα των μεγίστων βροχοπτώσεων. Το στατιστικό δείγμα αυτό αφορά το χρονικό διάστημα από το 1970 έως και το 2001 και αριθμεί 1591 παρατηρήσεις (σχήμα 1.)

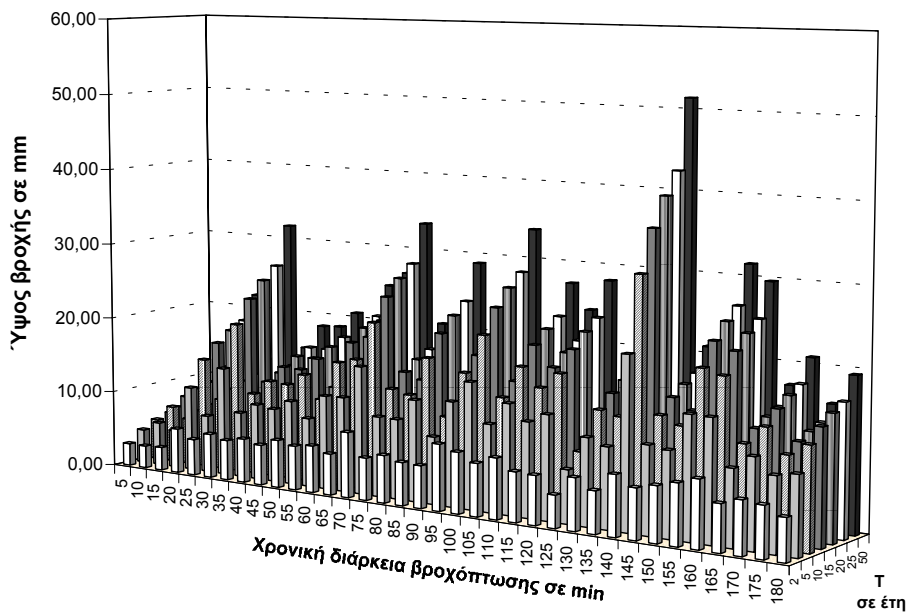


Σχήμα 1. Μέγιστα ετήσια ύψη βροχοπτώσεων  
Figure 1. Maximum annual rainfall heights

Σύμφωνα με τον Καθηγητή του Ε.Μ.Π. κων Εανθόπουλο Θ. «Στην πράξη, για τις Ελληνικές λεκάνες απορροής, τα μέγιστα σημειακά ετήσια ύψη βροχής για διάρκειες  $t < 3-4hr$ , είναι συνήθως στατιστικά ανεξάρτητα των χρονικά ομολόγων τους ψών γειτονικών σταθμών, για αποστάσεις μεγαλύτερες των 10Km».

Το συμπέρασμα αυτό επαληθεύεται και στην παρούσα εφαρμογή, αφού από το στατιστικό δείγμα των μεγίστων βροχοπτώσεων των σταθμών Ποντοκώμης, Σιάτιστας και Σερβίων μόνο το 0,5% των παρατηρήσεων εμφανίζεται την ίδια ημερομηνία και στους τρεις σταθμούς. Αξίζει δε να σημειωθεί ότι σε καμία από αυτές τις περιπτώσεις οι εμφανιζόμενες βροχοπτώσεις δεν ανήκουν στην ίδια «οικογένεια» (χρονική διάρκεια) βροχοπτώσεων.

Το στατιστικό δείγμα των τριών σταθμών ενοποιήθηκε δημιουργώντας το ενοποιημένο στατιστικό δείγμα των σταθμών Ποντοκώμης-Σιάτιστας-Σερβίων. Από το δείγμα αυτό εξήχθη το δείγμα των μεγίστων ετήσιων ψών βροχής για κάθε διάρκεια βροχόπτωσης, από 5min έως και 180min με χρονικό βήμα 5min. Στο δείγμα αυτό εφαρμόστηκε η μέθοδος ακραίων τιμών Gumbel (σχήμα 2.)



**Σχήμα 2. Αποτελέσματα μεθόδου Gumbel**  
**Figure 2. Results of Gumbel's method.**

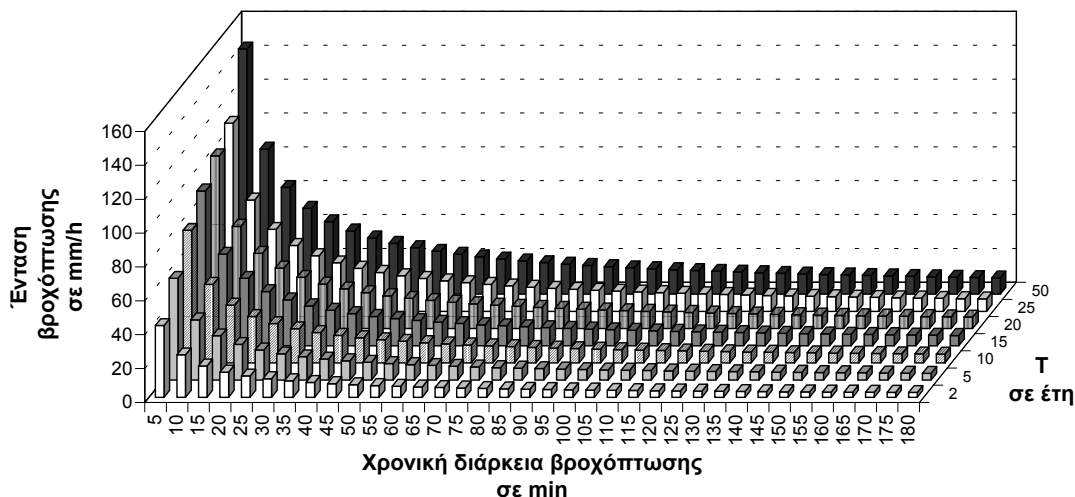
Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η τεχνική της πολλαπλής παλινδρόμησης [6] και με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων υπολογίστηκαν οι συντελεστές  $a$ ,  $b$  και  $c$  (πίνακας 1.).

Με βάση τα παραπάνω οι τρι-παραμετρικές σχέσεις ομβρίων καμπυλών\* είναι:

$$h = 4.95663t^{0.2434}T^{0.38218} \quad (4)$$

και για την ένταση  $i$  (mm/h)

$$i = 4.95663t^{-0.7566}T^{0.38218} \quad (5)$$



**Σχήμα 3. Εντάσεις βροχοπτώσεων όπως εξάγονται από τη σχέση (5)**  
**Figure 3. Rainfall intensity obtained by formula (5)**

\* Οι ανωτέρω σχέσεις έχουν ισχύ για χρονική διάρκεια βροχοπτώσεων από 5min έως 180min και για περίοδο επαναφοράς έως 50 έτη

**Πίνακας 1. Αποτελέσματα πολλαπλής παλινδρόμησης.  
Table 1. Multiple regression.**

Αποτελέσματα πολλαπλής παλινδρόμησης (Multiple Regression)											
<b>Regression Statistics</b>											
Multiple R	0,83 ή 83%										
R Square	0,68										
Adjusted R Square	0,68										
Standard Error	0,13										
Observations	252										
<b>ANOVA</b>											
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>						
Regression	2	8,889235567	4,444617783	269,7535837	4,72624E-63						
Residual	249	4,102669603	0,016476585								
Total	251	12,99190517									
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>				
Intercept	0,695186639	0,021910484	31,72849355	1,84761E-89	0,652033108	0,738340171	0,652033108				
log[t(h)]	0,243400602	0,021821294	11,15426992	1,06466E-23	0,200422733	0,286378471	0,200422733				
log[T(yr)]	0,382184772	0,018758692	20,37374364	5,80799E-55	0,345238815	0,419130729	0,345238815				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;"><math>h=at^bT^c</math></th> <th style="width: 50%; text-align: center;"><math>i=at^bT^c</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"> <u>όπου</u>                      h σε mm                      t σε h                      T σε έτη  <u>Συντελεστές</u>                      a= 4,956631579                      b= 0,243400602                      c= 0,382184772                 </td> <td style="text-align: center;"> <u>όπου</u>                      i σε mm/hr                      t σε h                      T σε έτη  <u>Συντελεστές</u>                      a= 4,956631579                      b= -0,756599398                      c= 0,382184772                 </td> </tr> </tbody> </table>								$h=at^bT^c$	$i=at^bT^c$	<u>όπου</u> h σε mm t σε h T σε έτη <u>Συντελεστές</u> a= 4,956631579 b= 0,243400602 c= 0,382184772	<u>όπου</u> i σε mm/hr t σε h T σε έτη <u>Συντελεστές</u> a= 4,956631579 b= -0,756599398 c= 0,382184772
$h=at^bT^c$	$i=at^bT^c$										
<u>όπου</u> h σε mm t σε h T σε έτη <u>Συντελεστές</u> a= 4,956631579 b= 0,243400602 c= 0,382184772	<u>όπου</u> i σε mm/hr t σε h T σε έτη <u>Συντελεστές</u> a= 4,956631579 b= -0,756599398 c= 0,382184772										

### 3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΑΠΟΧΕΤΕΥΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΟΜΒΡΙΩΝ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΟΖΑΝΗΣ.

Κάθε αγωγός αποχέτευσης πρέπει να λειτουργεί ως ανοικτός αγωγός υπό ατμοσφαιρική πίεση (δηλ. να παρουσιάζει ελεύθερη επιφάνεια ύδατος). Για το λόγο αυτό η μεθοδολογία προσέγγισης βασίστηκε στη διερεύνηση της ικανότητας ή μη, κάθε συλλεκτήριος αποχετευτικός αγωγός της πόλης της Κοζάνης, να παροχετεύει τη μέγιστη δυνατή παροχή που αντιστοιχεί σ' αυτόν.

Αναλυτικότερα, κάθε κεντρικός συλλεκτήριος αποχετευτικός αγωγός, χωρίστηκε σε επιμέρους τμήματα, σύμφωνα με τη διατομή, το υλικό και την κλίση που παρουσιάζει, έτσι ώστε κάθε τμήμα να είναι υδραυλικά αυτόνομο.

Με την ανωτέρω μεθοδολογία διακριτοποιήθηκε το όλο σύστημα σε 398 επιμέρους αγωγούς (σχήμα 4.). Για κάθε έναν από αυτούς, υπολογίστηκαν τα κάτωθι:

1. Στοιχεία υδρολογικών λεκανών που συμβάλλουν σ' αυτούς
2. Υδρολογικά στοιχεία, ήτοι:
  - Χρόνος συρροής των υδάτων με τη μέθοδο της S.C.S. [7]
  - Κρίσιμη ένταση της βροχής, για περίοδο επαναφοράς 5 και 10 έτη και για διάρκεια ίση με το χρόνο συγκέντρωσης.
  - Δυναμικά μέγιστη παροχή που μπορεί να εισέλθει στον αγωγό για περίοδο επαναφοράς 5 και 10 έτη, σύμφωνα με το Π.Δ.696/74.
3. Υδραυλικοί υπολογισμοί, ήτοι:
  - Εύρεση των παροχών σχεδιασμού-ελέγχου κάθε αγωγού για περίοδο επαναφοράς 5 και 10 έτη. Η εύρεση αυτή γίνεται με βάση τις ανωτέρω δυναμικά μέγιστες παροχές των αστικών-εσωτερικών υδρολογικών λεκανών, τις παροχές από συμβάλλοντες αγωγούς, τις παροχές των ορεινών-εξωτερικών λεκανών και την παραδοχή της ταυτόχρονης εμφάνισης των ακρότατων μέγιστων τιμών αυτών, με σκοπό τον υπολογισμό της δυσμενέστερης από τις εμφανιζόμενες υδραυλικές καταστάσεις.
  - Υπολογισμός για κάθε τμήμα αγωγού του ύψους ή της διαμέτρου αυτού που απαιτείται, για οριακή λειτουργία του ως αγωγού ελεύθερης ροής. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με χρήση της εξίσωσης του Manning και με χρήση αναλυτικών

μαθηματικών εκφράσεων για τον προσδιορισμό του βάθους ροής και της διαμέτρου των αγωγών μελέτης. Ειδικότερα για τους εμφανιζόμενους θολωτούς αγωγούς έγινε προσέγγιση αυτών με παραβολικά τμήματα, για τα οποία εξήχθησαν οι αναλυτικές μαθηματικές τους εκφράσεις, καθώς και οι αντίστροφες συναρτήσεις των εκφράσεων αυτών (πολυώνυμα 5<sup>ου</sup> βαθμού) ώστε να καταστεί δυνατός ο προγραμματισμός αυτών.

• Σύγκριση των ανωτέρω τιμών με τις υφιστάμενες διαστάσεις-διαμέτρους των αγωγών και εξαγωγή συμπερασμάτων.

#### **4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Με βάση τα αποτελέσματα, όπως αυτά φαίνονται στο σχήμα 4, εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

**α.** Το δίκτυο των κεντρικών συλλεκτήριων αγωγών, του αποχετευτικού δικτύου της πόλης της Κοζάνης δείχνει να μη μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις για τις οποίες και κατασκευάστηκε.

**β.** Αναλυτικότερα μεγάλα τμήματα αυτού (συνεχής γραμμή) δείχνουν ότι δε μπορούν να παροχετεύσουν παροχές με περίοδο επαναφοράς 5 έτη, ενώ άλλα μικρότερα (έντονη γραμμή) δε μπορούν να παροχετεύσουν τις παροχές με περίοδο επαναφοράς 10 έτη.

**γ.** Το φαινόμενο αυτό έχει ως άμεσο επακόλουθο την πλήρωση των αγωγών αυτών και τη λειτουργία τους υπό πίεση. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι στην ανωτέρω περίπτωση το επιπλέον νερό οδηγείται επιφανειακά, διαμέσου των οδών σε κατάντη φρεάτια, τα οποία σαφώς και δε μπορούν να ανταποκριθούν στις αυξημένες αυτές παροχές.



**Σχήμα 4.** Κεντρικοί συλλεκτήριοι αγωγοί εσωτερικού δικτύου αποχέτευσης ομβρίων υδάτων πόλης Κοζάνης. Εντοπισμός προβλημάτων πενταετίας και δεκαετίας.

**Figure 4.** Central collective pipes of the internal drainage network of Kozani City. Determination of problems for five and ten years return periods.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Μιμίκου Μ.Α., 1994, «Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- [2] Εανθόπουλος Θ., 1971, «Μαθήματα Στατιστικής Υδρολογίας», Θεσσαλονίκη.
- [3] Παπαμιχαήλ Δ., 1992, «Στατιστική και Στοχαστική Υδρολογία», Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- [4] Σπυρίδης Α.-Κουτάλου Β. Ο.Ε. δ.τ. ΥΕΤΟΣ, 2001, «Μελέτη Βελτίωσης του εσωτερικού δικτύου αποχέτευσης πόλης Κοζάνης και αποσυμφόρησης Κ.Α.Α.», Θεσσαλονίκη.
- [5] Τσακίρης Γ., 1995, «Υδατικοί Πόροι:Ι Τεχνική Υδρολογία», Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- [6] Ψωινός Δ., 1989, «Εφαρμοσμένη Στατιστική», ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
- [7] Chow Ven Te, Maidment D., Mays L., 1988, «Applied Hydrology», McGraw-Hill Co., Ν.Υ.