

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΑΘΗΜΑ: ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Ι
ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΑΣ: ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Β. ΜΠΕΛΛΟΣ

Εξεταστική Σεπτεμβρίου 2023-2024

Θέμα 1 [100/100]

Λεκάνη απορροής που βρίσκεται σε αστικό ιστό έχει εμβαδόν $A=8 \text{ km}^2$, χρόνο συγκέντρωσης $t_c=0.6 \text{ h}$ και συντελεστή απορροής στην υφιστάμενη κατάσταση $C=0.75$. Να βρεθεί:

α) Η παροχή αιχμής στην έξοδο της λεκάνης για βροχή που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς $T=50$ έτη. Η όμβρια καμπύλη της περιοχής είναι:

$$i(t, T) = \frac{1017.9(T^{0.057}-0.89)}{\left(1+\frac{t}{0.089}\right)^{0.724}}$$

όπου i η ένταση της βροχής (mm/h), t η διάρκεια της βροχής (h) και T η περίοδος επαναφοράς (έτη) **[15/100]**.

Υπόδειξη: Να χρησιμοποιηθεί η ορθολογική μέθοδος.

β) Στην έξοδο της λεκάνης κατασκευάζεται ορθογωνικός αγωγός από σκυρόδεμα ο οποίος παραλαμβάνει την εν λόγω παροχή. Αν το πλάτος του αγωγού είναι $B=20 \text{ m}$ η κατά μήκος κλίση είναι $S=0.001$ και ο συντελεστής τραχύτητας $n=0.016 \text{ s/m}^{1/3}$ να βρεθεί πόσο ψηλά πρέπει να είναι τα τοιχώματα του αγωγού **[20/100]**.

Υπόδειξη: Να ξεκινήσετε τις δοκιμές θεωρώντας ότι το βάθος νερού είναι 1.5 m και να αυξάνετε κατά 0.5 m.

γ) Να βρεθεί ο νέος συντελεστής απορροής για όλη τη λεκάνη αν οι στέγες σε όλες τις κατοικίες μετατραπούν σε πράσινες. Το συνολικό εμβαδόν των κατοικιών καταλαμβάνει το 60% της έκτασης της λεκάνης. Θεωρείται ότι ο συντελεστής απορροής της στέγης πριν την εγκατάσταση της πράσινης τεχνολογίας είναι $C=1$, ενώ όταν αυτές είναι πράσινες $C=0.4$ **[10/100]**.

δ) Να βρεθεί η νέα παροχή αιχμής αν οι στέγες σε όλες τις κατοικίες μετατραπούν σε πράσινες **[15/100]**.

Υπόδειξη: Να χρησιμοποιηθεί η ορθολογική μέθοδος και να θεωρηθεί ότι ο χρόνος συγκέντρωσης αυξάνεται κατά 10%.

ε) Να βρεθεί τα νέο ύψος των τοιχωμάτων του ορθογωνικού αγωγού στην έξοδο της λεκάνης **[20/100]**.

Υπόδειξη: Να ξεκινήσετε τις δοκιμές θεωρώντας ότι το βάθος νερού είναι 1 m και να αυξάνετε κατά 0.5 m.

στ) Αν η κατασκευή του αγωγού κοστίζει 800 EUR/m^3 , ενώ το κόστος μετατροπής μιας στέγης είναι 200 EUR/m^2 , πόσο μήκος θα πρέπει να έχει ο αγωγός ούτως ώστε να συμφέρει να μετατρέψουμε τις στέγες σε πράσινες, με καθαρά οικονομικά κριτήρια **[20/100]**;

Υπόδειξη: Το πάχος των τοιχωμάτων του αγωγού είναι 30 cm.

1α) Με βάση και την όμβρια καμπύλη της περιοχής η ένταση της βροχοπτώσης προκύπτει:

$$i(t, T) = \frac{1017.9(T^{0.057} - 0.89)}{\left(1 + \frac{t}{0.089}\right)^{0.724}} = \frac{1017.9(50^{0.057} - 0.89)}{\left(1 + \frac{0.6}{0.089}\right)^{0.724}} = 83.23 \text{ mm/h}$$

Ενώ η παροχή αιχμής με βάση την ορθολογική μέθοδο:

$$Q = 0.278 \cdot C \cdot i \cdot A = 0.278 \cdot 0.75 \cdot 83.23 \cdot 8 = 138.82 \text{ m}^3/\text{s}$$

1β) Κατασκευάζεται ο παρακάτω Πίνακας που αντιστοιχίζει κάθε βάθος y με μία παροχή Q , με βάση την εξίσωση Manning:

y (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	Q (m ³ /s)
1.00	20.00	22.00	0.91	37.09
1.50	30.00	23.00	1.30	70.78
2.00	40.00	24.00	1.67	111.13
2.50	50.00	25.00	2.00	156.87
3.00	60.00	26.00	2.31	207.09
3.50	70.00	27.00	2.59	261.10

Ο Πίνακας κατασκευάστηκε σύμφωνα με την εξίσωση Manning:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_0^{1/2}$$

όπου n ο συντελεστής τραχύτητας ($n=0.016 \text{ s/m}^{1/3}$ στην προκειμένη περίπτωση), A το εμβαδό της υγρής διατομής, R η υδραυλική ακτίνα και S_0 η κατά μήκος κλίση του πυθμένα ($S_0=0.001$ στην προκειμένη περίπτωση). Η υδραυλική ακτίνα υπολογίζεται:

$$R = \frac{A}{P}$$

όπου P το μήκος της υγρής περιμέτρου. Επειδή ο αγωγός είναι ορθογωνικός με πλάτος $B=20 \text{ m}$, τα μεγέθη A , P , μπορούν να υπολογιστούν ως εξής: $A=B \cdot y$ και $P=B+2 \cdot y$.

Αν η παροχή στόχος είναι $Q'=138.82 \text{ m}^3/\text{s}$ (α' ερώτημα) τότε κατασκευάζεται ο παρακάτω πίνακας:

y (m)	$ Q-Q' $ m ³ /s
1.00	101.73
1.50	68.04
2.00	27.69
2.50	18.05
3.00	68.27
3.50	122.28

Το βάθος που ψάχνουμε είναι εκεί που η ποσότητα $|Q-Q'|$ εμφανίζει το ελάχιστο, δηλαδή όταν $y=2.5 \text{ m}$.

Σημειώνεται ότι δεν απαιτείται στην εξέταση να κατασκευαστεί ολόκληρος ο πίνακας μέχρι την τιμή $y=3.5 \text{ m}$. Αν αντιληφθούμε ότι η ποσότητα $|Q-Q'|$ έπιασε το ελάχιστο και αρχίζει πλέον και αυξάνεται μπορούμε να σταματήσουμε τις δοκιμές.

1γ) Ο ενιαίος συντελεστής απορροής στην υφιστάμενη κατάσταση είναι $C_{grey}=0.75$, ενώ η λεκάνη διακρίνεται σε δύο χρήσεις γης με δύο συντελεστές απορροής $C_{1,green}$ και $C_{2,green}$. Έστω ότι η πρώτη χρήση γης είναι τα κτίρια (οπότε $C_{1,green}=1.0$) και η δεύτερη όλο το υπόλοιπο τμήμα της λεκάνης ($C_{2,green}$ άγνωστο προς το παρόν). Αν η πρώτη χρήση γης καταλαμβάνει το 60% της έκτασης της λεκάνης μπορούμε να πούμε ότι:

$$C_{grey} = 0.6 \cdot C_{1,green} + 0.4 \cdot C_{2,green} \Rightarrow 0.75 = 0.6 \cdot 1.0 + 0.4 \cdot C_{2,green} \Rightarrow C_{2,green} = 0.375$$

Το ζητούμενο πλέον είναι να βρεθεί ο ενιαίος συντελεστής της λεκάνης απορροής εφόσον οι στέγες των κτιρίων έχουν γίνει πράσινες, C_{green} . Πάλι μπορούμε να υπολογίσουμε το σταθμισμένο συντελεστή με βάση το ποσοστό έκτασης που καταλαμβάνει η κάθε χρήση γης:

$$C_{green} = 0.6 \cdot C_{1,green} + 0.4 \cdot C_{2,green}$$

Ο συντελεστής απορροής στις πράσινες στέγες εκτιμάται $C_{1,green}=0.4$ ενώ στο υπόλοιπο τμήμα της λεκάνης δεν αλλάζει τιμή εφόσον δεν εφαρμόζεται κάποια πράσινη τεχνολογία ($C_{2,green}=C_{2,gray}=0.375$). Άρα:

$$C_{green} = 0.6 \cdot C_{1,green} + 0.4 \cdot C_{2,green} = 0.6 \cdot 0.4 + 0.4 \cdot 0.375 = 0.39$$

1δ) Με βάση και την όμβρια καμπύλη της περιοχής η ένταση της βροχόπτωσης προκύπτει (και με δεδομένο ότι με τις πράσινες στέγες ο χρόνος συγκέντρωσης αυξάνει κατά 10%, δηλαδή $t_c=0.66$ h):

$$i(t, T) = \frac{1017.9(T^{0.057}-0.89)}{\left(1+\frac{t}{0.089}\right)^{0.724}} = \frac{1017.9(50^{0.057}-0.89)}{\left(1+\frac{0.66}{0.089}\right)^{0.724}} = 78.34 \text{ mm/h}$$

Ενώ η παροχή αιχμής με βάση την ορθολογική μέθοδο:

$$Q = 0.278 \cdot C \cdot i \cdot A = 0.278 \cdot 0.39 \cdot 78.34 \cdot 8 = 67.95 \text{ m}^3/\text{s}$$

1ε) Έχουμε ως δεδομένο τον παρακάτω Πίνακα όπως αυτός κατασκευάστηκε για το ερώτημα 1β), στον οποίο αντιστοιχίζεται κάθε βάθος y με μία παροχή Q , με βάση την εξίσωση Manning:

y (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	Q (m ³ /s)
1.00	20.00	22.00	0.91	37.09
1.50	30.00	23.00	1.30	70.78
2.00	40.00	24.00	1.67	111.13
2.50	50.00	25.00	2.00	156.87
3.00	60.00	26.00	2.31	207.09
3.50	70.00	27.00	2.59	261.10

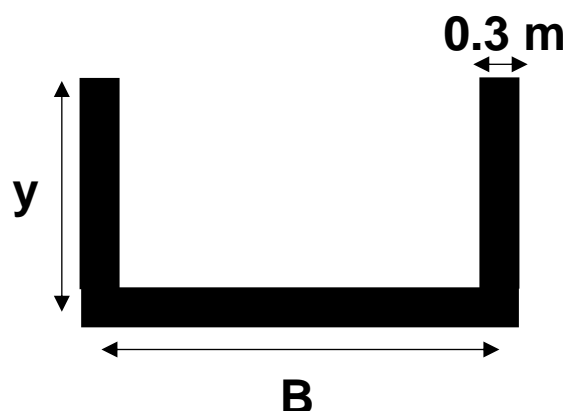
Αν πλέον η παροχή στόχος είναι $Q'=67.95 \text{ m}^3/\text{s}$ (Q' ερώτημα) τότε αντίστοιχα με το ερώτημα 1β) κατασκευάζεται ο παρακάτω πίνακας:

y (m)	$ Q-Q' $ m ³ /s
1.00	30.86
1.50	2.83
2.00	43.18
2.50	88.92
3.00	139.13
3.50	193.14

Το βάθος που ψάχνουμε είναι εκεί που η ποσότητα $|Q-Q'|$ εμφανίζει το ελάχιστο, δηλαδή όταν $y=1.5$ m.

Σημειώνεται ότι δεν απαιτείται στην εξέταση να κατασκευαστεί ολόκληρος ο πίνακας μέχρι την τιμή $y=3.5$ m. Αν αντιληφθούμε ότι η ποσότητα $|Q-Q'|$ έπιασε το ελάχιστο και αρχίζει πλέον και αυξάνεται μπορούμε να σταματήσουμε τις δοκιμές.

1στ) Έστω το Σενάριο 1 που αφορά την υφιστάμενη κατάσταση και Σενάριο 2 που αφορά την εφαρμογή των πράσινων τεχνολογιών. Στο Σενάριο 1 το κόστος κατασκευής αφορά μόνο τον αγωγό, ενώ στο Σενάριο 2 το αντίστοιχο κόστος περιλαμβάνει τον αγωγό καθώς και την κατασκευή των πράσινων στεγών. Η διατομή του αγωγού έχει εμβαδόν $A_c=0.3 \cdot (B+2y)$



Στο Σενάριο 1 το εμβαδόν της διατομής είναι $A_{c,1}=0.3 \cdot (20+2 \cdot 2.5)=7.5 \text{ m}^2$, ενώ στο Σενάριο 2 αντίστοιχα $A_{c,2}=0.3 \cdot (20+2 \cdot 1.5)=6.9 \text{ m}^2$. Το εμβαδόν που καταλαμβάνουν οι στέγες (60% της λεκάνης) είναι το $0.6 \cdot 8 \cdot 10^6=4,800,000 \text{ m}^2$. Αν το μήκος του αγωγού είναι L , τότε το κόστος κατασκευής K για το πρώτο σενάριο είναι:

$$K_1 = 800 \cdot 7.5 \cdot L = 6000 \cdot L \text{ EUR}$$

Ενώ αντίστοιχα για το δεύτερο σενάριο:

$$K_2 = 800 \cdot 6.9 \cdot L + 200 \cdot 4800000 = 5520 \cdot L + 960,000,000 \text{ EUR}$$

Για να συμφέρει η εγκατάσταση της πράσινης τεχνολογίας θα πρέπει:

$$K_2 < K_1 \Rightarrow 5520 \cdot L + 960,000,000 < 6000 \cdot L \Rightarrow L > 2,000,000 \text{ m} \Rightarrow L > 2,000 \text{ km}$$