

Εαρινό εξάμηνο 2025-2026

Θέμα 1 [30/100]

Δίνεται η αστική λεκάνη απορροής Λ με εμβαδόν $A=8 \text{ km}^2$. Στην έξοδο της λεκάνης απορροής καταγράφηκε τριγωνικό υδρογράφημα απορροής το οποίο εμφανίζει αιχμή ίση με $15 \text{ m}^3/\text{s}$ ενώ η συνολική διάρκεια απορροής είναι 5 h . Το συγκεκριμένο υδρογράφημα ήταν αποτέλεσμα βροχής ύψους 20 mm .

α) Να βρεθεί ο συντελεστής απορροής της λεκάνης στην υφιστάμενη κατάσταση **[10/100]**.

β) Ανάντη τμήμα της λεκάνης αλλάζει χρήση γης και κατασκευάζεται αστικό άλσος με εμβαδόν 2000 στρέμματα. Αν ο ρυθμός διήθησης σε αυτό το τμήμα έχει βρεθεί ότι είναι σταθερός και ίσος με $\phi=4 \text{ mm/h}$ σε συγκεκριμένο επεισόδιο δίωρης βροχής ύψους 13 mm , να βρεθεί εκ νέου ο συντελεστής απορροής όλης της λεκάνης **[10/100]**.

γ) Η όμβρια καμπύλη της περιοχής έχει την παρακάτω μορφή, όπου i η ένταση της βροχής (mm/h), t η διάρκεια της βροχής (h) και T η περίοδος επαναφοράς (έτη). Να βρεθεί η πλημμυρική αιχμή στη νέα κατάσταση της λεκάνης με το αστικό άλσος, χρησιμοποιώντας την ορθολογική μέθοδο. Ο χρόνος συγκέντρωσης είναι 3 h και η περίοδος επαναφοράς σχεδιασμού να εκτιμηθεί ως $T=10+10 \cdot N$ έτη, όπου N το τελευταίο ψηφίο του ΑΜ σας **[10/100]**.

$$i = 140 \frac{\left(\frac{T}{0.03}\right)^{0.19} - 1}{\left(1 + \frac{t}{0.15}\right)^{0.8}}$$

Θέμα 2 [35/100]

α) Ορθογωνικός αγωγός κατασκευασμένος από σκυρόδεμα, πλάτους $B=2 \text{ m}$ και κλίσης $S=1\%$, βρίσκεται σε συνθήκες μόνιμης και ομοιόμορφης ροής, με βάθος νερού ίσο με 1.2 m . Να βρεθεί η παροχή που διέρχεται από τον αγωγό αν ο συντελεστής τραχύτητας κατά Manning έχει εκτιμηθεί $n=0.015 \text{ s/m}^{1/3}$ **[10/100]**.

β) Ο αγωγός αυτός αντικαθίσταται από τριγωνική διώρυγα η οποία έχει γωνία ίση με 90° , στην οποία τα πρανή είναι φυτεμένα. Να βρεθεί για την ίδια παροχή του προηγούμενου ερωτήματος, με ακρίβεια 5 cm , σε τι βάθος θα φτάσει το νερό σε συνθήκες μόνιμης και ομοιόμορφης ροής. Ο συντελεστής τραχύτητας κατά Manning πλέον εκτιμάται $n=0.030 \text{ s/m}^{1/3}$. **[20/100]**.

γ) Να βρεθεί πόσο πλάτος καταλαμβάνει η ελεύθερη επιφάνεια του νερού **[5/100]**.

Θέμα 3 [35/100]

α) Ποταμός στον οποίο η διάμεση διάμετρος κόκκων είναι $d_{50}=5 \text{ mm}$, εμφανίζει μέση συρτική τάση 10 N/m^2 . Αν η σχετική πυκνότητα μεταξύ του στερεού υλικού και της πυκνότητας του νερού είναι $s=2.65$ και η κρίσιμη συρτική τάση είναι $\tau_{*,cr}=0.047 \text{ N/m}^2$, να αποδειχθεί ότι έχουμε μεταφορά φερτής ύλης **[10/100]**.

β) Να αποδειχθεί ότι η μεταφορά φερτής ύλης είναι σε σύρση (η αιώρηση ξεκινάει όταν ο λόγος της συρτικής ταχύτητας προς την ταχύτητα καθίζησης είναι μεγαλύτερος από μονάδα) **[10/100]**.

γ) Να βρεθεί το φορτίο πυθμένα κατά Meyer–Peter and Müller (MPM) (τυπολόγιο) **[10/100]**.

δ) Αν το μέσο πλάτος του ποταμού είναι 100 m , ο οποίος καταλήγει σε μικρό φράγμα μέγιστης χωρητικότητας 50000 m^3 , να βρεθεί σε πόσες ημέρες θα γεμίσει το φράγμα με φερτή ύλη **[5/100]**.

ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ

Παράμετρος Shields (N/m^2)	Συρτική ταχύτητα (m/s)	Ταχύτητα καθίζησης (m/s)	Φορτίο πυθμένα κατά MPM ($\text{m}^3/\text{s/m}$)
$\tau_* = \frac{\tau_0}{\rho(s-1)gd_s}$	$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$	$w_0 = 1.1[(s-1)gd_{50}]^{0.5}$	$q_b = 8\sqrt{(s-1)gd_{50}^3(\tau_* - \tau_{*,cr})^{3/2}}$

ΛΥΣΕΙΣ

1α) Ο όγκος νερού για το συγκεκριμένο επεισόδιο βροχής ήταν:

$$V_{rainfall} = \left(\frac{20}{1000}\right) \cdot 8 \cdot 10^6 = 160000 \text{ m}^3$$

Ο όγκος απορροής αντίστοιχα είναι ίσος με το εμβαδόν του τριγωνικού υδρογραφήματος:

$$V_{runoff} = \frac{1}{2} (5 \cdot 3600) \cdot 15 = 135000 \text{ m}^3$$

Συνεπώς ο συντελεστής απορροής είναι:

$$C = \frac{V_{runoff}}{V_{rainfall}} = \frac{135000}{160000} = 0.84$$

1β) Ο συντελεστής απορροής μόνο για το αστικό άλσος είναι επίσης ίσος με τον όγκο απορροής προς τον όγκο βροχόπτωσης. Στο καταγεγραμμένο επεισόδιο, ο όγκος βροχής είναι:

$$V_{rainfall,g} = \left(\frac{13}{1000}\right) \cdot 2000 \cdot 10^3 = 26000 \text{ m}^3$$

Ο όγκος απορροής μπορεί να εκτιμηθεί ως ο όγκος βροχής μείον τον όγκο νερού που διηθείται:

$$V_{runoff,g} = 26000 - \frac{2 \cdot 4}{1000} \cdot 2000 \cdot 10^3 = 10000 \text{ m}^3$$

Συνεπώς ο συντελεστής απορροής μόνο για το αστικό άλσος είναι:

$$C_g = \frac{V_{runoff,g}}{V_{rainfall,g}} = \frac{10000}{26000} = 0.38$$

Άρα μετά την κατασκευή του αστικού άλσους η συνολική λεκάνη θα έχει συντελεστή απορροής το σταθμισμένο μέσο όρο:

$$C' = \frac{(8-2)}{8} \cdot 0.84 + \frac{2}{8} \cdot 0.38 = 0.73$$

1γ) Έστω ότι $N=0$, οπότε η περίοδος επαναφοράς σχεδιασμού είναι $T=10$ έτη. Αν ο χρόνος συγκέντρωσης είναι $t_c=3$ h, τότε η ένταση σχεδιασμού είναι:

$$i = 140 \frac{\left(\frac{T}{0.03}\right)^{0.19} - 1}{\left(1 + \frac{t}{0.15}\right)^{0.8}} = 140 \frac{\left(\frac{10}{0.03}\right)^{0.19} - 1}{\left(1 + \frac{3}{0.15}\right)^{0.8}} = 24.70 \text{ mm/h}$$

Σύμφωνα με την ορθολογική μέθοδο η πλημμυρική αιχμή για $T=10$ έτη:

$$Q = 0.278 \cdot C \cdot i \cdot A = 0.278 \cdot 0.73 \cdot 24.70 \cdot 8 = 40.05 \text{ m}^3/\text{s}$$

2α) Εφαρμόζοντας την εξίσωση Manning για μόνιμη και ομοιόμορφη ροή:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} = \frac{1}{0.015} (2 \cdot 1.2) \left(\frac{2 \cdot 1.2}{2 + 2 \cdot 1.2}\right)^{2/3} 0.001^{1/2} = 3.38 \text{ m}^3/\text{s}$$

2β) Σε περίπτωση τριγωνικού αγωγού με γωνία 90° το εμβαδόν της υγρής διατομής για βάθος ίσο με y είναι:

$$A = y^2$$

ενώ αντίστοιχα το μήκος της υγρής περιμέτρου:

$$P = 2\sqrt{2}y$$

Σε περίπτωση της αναλυτικής λύσης:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} = \frac{1}{n} y^2 \left(\frac{y^2}{2\sqrt{2}y}\right)^{2/3} S^{1/2} = \frac{1}{n} \frac{y^{8/3}}{(2\sqrt{2})^{2/3}} S^{1/2} \Rightarrow$$

$$(2\sqrt{2})^{2/3} \cdot n \cdot Q = S^{1/2} \cdot y^{8/3} \Rightarrow y^{8/3} = \frac{(2\sqrt{2})^{2/3} \cdot n \cdot Q}{S^{1/2}} \Rightarrow$$

$$y = \left[\frac{(2\sqrt{2})^{2/3} \cdot n \cdot Q}{S^{1/2}} \right]^{3/8} = \left[\frac{(2\sqrt{2})^{2/3} \cdot 0.03 \cdot 3.38}{0.001^{1/2}} \right]^{3/8} = 2.01 \text{ m}$$

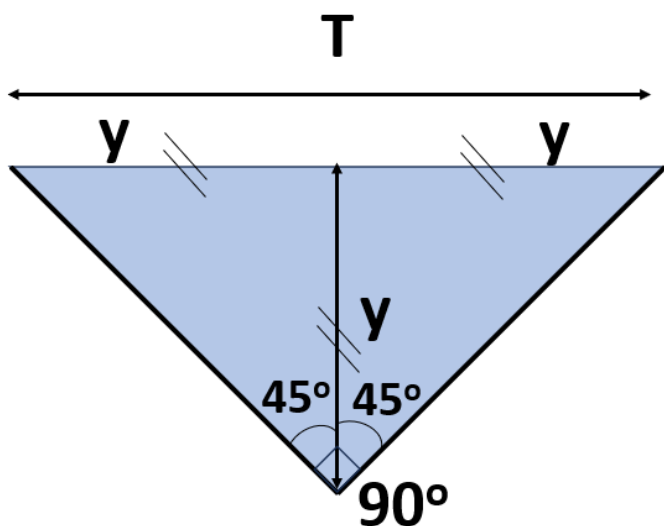
Στην περίπτωση που ακολουθηθεί η διαδικασία των δοκιμών με ακρίβεια 5 cm, θα πρέπει να βρούμε παροχή ίση με την παροχή στόχο $Q_t=3.38 \text{ m}^3/\text{s}$. Ενδεικτικά, μπορούμε να κατασκευάσουμε τον παρακάτω πίνακα (δεν είναι υποχρεωτικό για την επίλυση):

Βάθος νερού y (m)	Εμβαδόν υγρής διατομής A (m ²)	Μήκος υγρής περιμέτρου P (m)	Υδραυλική ακτίνα R (m)	Παροχή Q (m ³ /s)	$ Q-Q_t $ m ³ /s
1.80	3.24	5.09	0.64	2.53	0.85
1.85	3.42	5.23	0.65	2.72	0.66
1.90	3.61	5.37	0.67	2.92	0.46
1.95	3.80	5.52	0.69	3.13	0.25
2.00	4.00	5.66	0.71	3.35	0.03
2.05	4.20	5.80	0.72	3.57	0.20
2.10	4.41	5.94	0.74	3.81	0.43
2.15	4.62	6.08	0.76	4.06	0.68
2.20	4.84	6.22	0.78	4.31	0.94

Άρα το βάθος που αντιστοιχεί στην παροχή-στόχο είναι $y=2.00 \text{ m}$, το οποίο είναι και περίπου ίσο με το βάθος που βρέθηκε και με την αναλυτική επίλυση.

2γ) Σε περίπτωση τριγωνικού αγωγού με γωνία 90° το πλάτος που καταλαμβάνει η ελεύθερη επιφάνεια του νερού είναι ίσο με:

$$T = 2y = 2 \cdot 2 = 4 \text{ m}$$



3α) Η μεταφορά φερτής ύλης συμβαίνει όταν η παράμετρος Shields είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη συρτική τάση:

$$\tau_* = \frac{\tau_0}{\rho(s-1)gd_s} = \frac{10}{1000 \cdot (2.65 - 1) \cdot 9.81 \cdot 0.005} = 0.124 \text{ N/m}^2$$

Η κρίσιμη συρτική τάση είναι $\tau_{*,cr}=0.047 \text{ N/m}^2$, άρα $\tau > \tau_{*,cr}$, επομένως έχουμε μεταφορά φερτής ύλης.

3β) Σύμφωνα με το κριτήριο που δίνεται, για να έχουμε σύρση θα πρέπει $u_* / w_0 < 1$, δηλαδή $u_* < w_0$, ή αλλιώς η ταχύτητα σύρσης να είναι μικρότερη από την ταχύτητα καθίζησης. Η ταχύτητα σύρσης υπολογίζεται:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{\frac{10}{1000}} = 0.1 \text{ m/s}$$

Ενώ η ταχύτητα καθίζησης:

$$w_0 = 1.1[(s-1)gd_{50}]^{0.5} = 1.1 \cdot [(2.65 - 1) \cdot 9.81 \cdot 0.005]^{0.5} = 0.31 \text{ m/s}$$

Άρα ισχύει ότι $u_* < w_0$, επομένως έχουμε μεταφορά φορτίου σε σύρση.

3γ) Με βάση την εξίσωση Meyer–Peter and Müller για το φορτίο πυθμένα

$$q_b = 8 \sqrt{(s-1)gd_{50}^3} (\tau_* - \tau_{*,cr})^{3/2} = 8 \cdot \sqrt{(2.65 - 1) \cdot 9.81 \cdot 0.005^3} \cdot (0.124 - 0.047)^{3/2} = 0.00024 \text{ m}^3/\text{s/m}$$

3δ) Αν το μέσο πλάτος του ποταμού είναι $B=100 \text{ m}$ και ο μέγιστος όγκος του μικρού φράγματος είναι $V=50000 \text{ m}^3$, τότε αυτό θα γεμίσει:

$$t = \frac{V}{q_b B} = \frac{50000}{0.00024 \cdot 100} \cdot \frac{1}{24 \cdot 3600} = 24 \text{ days}$$