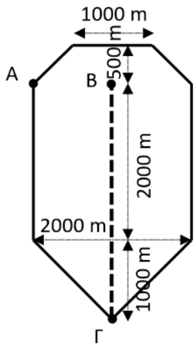
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΙΚΟΛΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΜΑΘΗΜΑ: ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ
ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΑΣ: ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Β. ΜΠΕΛΛΟΣ

Χειμερινό εξάμηνο 2021-2022

Θέμα 1 [40/100]



Λεκάνη απορροής έχει γεωμετρικά χαρακτηριστικά που φαίνονται στο σχήμα, στην οποία ρέει το κυρίως υδατόρεμα ΒΓ. Το υψόμετρο στη θέση Β είναι +278 m και αντίστοιχα στη θέση Γ +202 m. Το 35% της λεκάνης είναι αστική και το 65% είναι περιαστική.

Οι συντελεστές απορροής για αστική λεκάνη είναι 0.7 και αντίστοιχα για περιαστική λεκάνη 0.5. Η μακρύτερη διαδρομή που διανύει το νερό είναι από το Α μέχρι το Β και από το Β μέχρι το Γ, εντός του κυρίως υδατορέματος. Ο χρόνος που απαιτείται από το Α μέχρι το Β είναι 10 min, ενώ η ταχύτητα ροής *V* εντός του κυρίως υδατορέματος ΒΓ μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση $V=6\cdot S^{1/2}$, όπου *S* η κατά μήκος κλίση του υδατορέματος. Η όμβρια καμπύλη της περιοχής είναι αυτής της μορφής:

$$i(t,T)=\frac{\lambda'(T^{\kappa}-\psi')}{\left(1+\frac{t}{\theta}\right)^{\eta}}$$

όπου *i* η ένταση της βροχής (mm/h), *t* η διάρκεια της βροχής (h) και *T* η περίοδος επαναφοράς (έτη). Οι παράμετροι *κ*, *λ'*, *ψ'*, *θ*, *η* προκύπτουν με βάση το ΑΜ του κάθε φοιτητή. Συγκεκριμένα, με βάση το τελευταίο ψηφίο του ΑΜ οι παράμετροι έχουν ως εξής:

Τελευταίο ψηφίο ΑΜ	***κ***	***λ΄***	***ψ΄***	***θ***	***η***	Τελευταίο ψηφίο ΑΜ	***κ***	***λ΄***	***ψ΄***	***θ***	***η***
0	0.113	436.7	0.682	0.089	0.724	**5**	0.113	341.1	0.547	0.089	0.724
1	0.113	333.2	0.541	0.089	0.724	**6**	0.113	353.1	0.453	0.089	0.724
2	0.057	1123.2	0.895	0.089	0.724	**7**	0.113	404.7	0.61	0.089	0.724
3	0.113	279.5	0.405	0.089	0.724	**8**	0.057	641.1	0.855	0.089	0.724
4	0.057	868.9	0.801	0.089	0.724	**9**	0.057	1017.9	0.89	0.089	0.724

Ζητείται:

α) Ο συντελεστής απορροής της εν λόγω λεκάνης, καθώς και το εμβαδόν αυτής **[5%]**.

β) Ο χρόνος συγκέντρωσης **[5%]**.

γ) Η μέγιστη ένταση βροχής με βάση την ορθολογική μέθοδο για περίοδο επαναφοράς 50 έτη **[10%]**.

δ) Το πλημμυρικό υδρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης Γ με βάση την ορθολογική μέθοδο **[10%]**.

Κατάντη του Γ συνεχίζει το υδατόρεμα με την ίδια κλίση όπως και ανάντη, το οποίο και διευθετείται με ορθογωνική διατομή πλάτους 15 m. Ο σχεδιασμός γίνεται με την πλημμυρική αιχμή που προέκυψε με την ορθολογική μέθοδο, θεωρώντας ότι η ροή είναι μόνιμη και ομοιόμορφη και χρησιμοποιώντας την εξίσωση Manning:

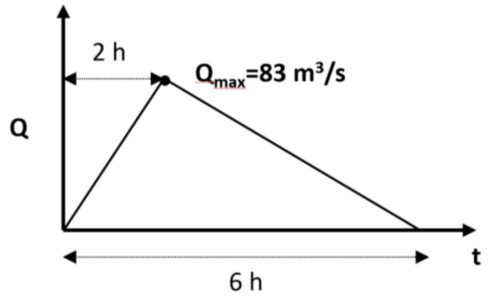
$$Q=\frac{1}{n}AR^{2/3}S^{1/2}$$

όπου *Q* η παροχή, *n* ο συντελεστής τραχύτητας, *A* το εμβαδόν της υγρής διατομής, *R* η υδραυλική ακτίνα ($R=A/P$) και *S* η κατά μήκος κλίση. Το υλικό διευθέτησης είναι οπλισμένο σκυρόδεμα για τους φοιτητές των οποίων το επίθετο ξεκινάει από Α-Μ και συρματοκιβώτια για τους φοιτητές των οποίων το επίθετο ξεκινάει από Ν-Ω. Οι συντελεστής τραχύτητας για οπλισμένο σκυρόδεμα είναι n=0.016 s/m$^{1/3}$ και για συρματοκιβώτια n=0.035 s/m$^{1/3}$ αντίστοιχα.

ε) Να βρεθεί πόσο πρέπει να είναι τουλάχιστον τα κατακόρυφα τοιχώματα της διατομής **[10%]**.

Θέμα 2 [40/100]

Λεκάνη απορροής έκτασης 36 km^2 δέχεται επεισόδιο τετράωρης βροχής με μέση ένταση βροχόπτωσης i=10+N mm/h, όπου N είναι το τελευταίο ψηφίο του AM του κάθε φοιτητή, από την οποία απορρέει το παρακάτω υδρογράφημα άμεσης απορροής (έχει αφαιρεθεί η βασική απορροή):



Ζητείται:

α) Να βρεθεί το συνολικό ύψος βροχής που έπεσε στο εν λόγω επεισόδιο **[5%]**.

β) Να υπολογιστεί ο συντελεστής απορροής της λεκάνης **[10%]**.

γ) Να υπολογιστεί το Μοναδιαίο Υδρογράφημα διάρκειας 4 h για την εν λόγω λεκάνη θεωρώντας ότι η μέση ένταση είναι σταθερή όλο το τετράωρο βροχής **[10%]**.

Το αθροιστικό ύψος *F* όλων των απωλειών μπορεί να εκτιμηθεί από την παρακάτω σχέση που εξαρτάται από τη διάρκεια απορροής *t* και δύο παραμέτρους *α*, *b*:

$$F(t) = at^b$$

όπου *F* σε m, *t* σε min, *α* σε m/min^b και *b* αδιάστατη. Δεδομένου ότι α=0.004 m/min^b:

δ) Να βρεθεί η τιμή της παραμέτρου *b* αξιοποιώντας τα διαθέσιμα δεδομένα **[15%]**.

Θέμα 3 [20/100]

Αντιπλημμυρικό έργο σχεδιάζεται με περίοδο επαναφοράς Τ.

Ζητείται:

α) Αν Τ=10 έτη ποια είναι η πιθανότητα να συμβεί τουλάχιστον μία πλημμύρα ίση ή μεγαλύτερη από την πλημμύρα σχεδιασμού μέσα στη δεκαετία **[5%]**.

β) Αν Τ=100 έτη ποια είναι η πιθανότητα να συμβούν τρεις πλημμύρες ίσες ή μεγαλύτερες από την πλημμύρα σχεδιασμού μέσα στην εκατονταετία **[5%]**.

γ) Ποιο είναι πιο πιθανό, να συμβούν τρεις πλημμύρες ίσες ή μεγαλύτερες από την πλημμύρα σχεδιασμού (όταν Τ=100 έτη) μέσα στην εκατονταετία ή να συμβούν τέσσερις πλημμύρες ίσες ή μεγαλύτερες από την πλημμύρα σχεδιασμού (όταν Τ=10 έτη) μέσα στη δεκαετία; **[10%]**.

ΛΥΣΕΙΣ

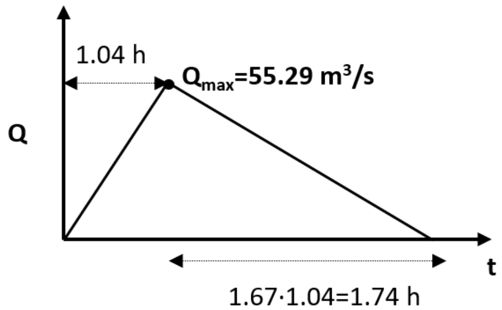
1α) Ο συντελεστής απορροής προκύπτει ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των δύο χρήσεων γης της λεκάνης (αστικής και περιαστικής). C'=0.35·0.7+0.65·0.5=0.57. Το εμβαδόν της λεκάνης προκύπτει ως το άθροισμα των επιμέρους γεωμετρικών σχημάτων που ορίζουν τη λεκάνη (από κάτω προς τα πάνω, τρίγωνο, τετράγωνο, τραπέζιο). Προκύπτει εμβαδό λεκάνης A=5750000 m^2 ή 5.75 km^2.

1β)Ο χρόνος συγκέντρωσης είναι ο χρόνος που κάνει το νερό να διανύσει τη μακρύτερη διαδρομή, η οποία είναι Α->Β->Γ. Άρα ο χρόνος συγκέντρωσης είναι ίσος $t_c=t_{c,AB}+t_{c,B\Gamma}$. Από την εκφώνηση, $t_{c,AB}$=10 min. Για το $t_{c,B\Gamma}$, εφόσον η απόσταση $L_{B\Gamma}$ είναι γνωστή ($L_{B\Gamma}$=3000 m), θα χρησιμοποιήσουμε την ταχύτητα ροής, η οποία είναι ίση με $V=6\cdot S^{1/2}$. Η κλίση του υδατορέματος μπορεί να υπολογιστεί εφόσον δίνονται τα υψόμετρα: $S=(z_B-z_\Gamma)/L_{B\Gamma}$=(278-202)/3000=0.02533. Άρα η ταχύτητα ροής είναι $V=6\cdot(0.02533)^{1/2}$=0.95 m/s. Άρα ο χρόνος που απαιτείται να πάει το νερό από το Β στο Γ ισούται $t_{c,B\Gamma}=L_{B\Gamma}/V$=3000/0.95=3141.4 sec ή 52.36 min ή 0.87 h. Ο συνολικός χρόνο συγκέντρωσης (σε ώρες) υπολογίζεται: $t_c=t_{c,AB}+t_{c,B\Gamma}$=(10/60)+0.87=1.04 h.

1γ) Για N=0, και όπου T η περίοδος επαναφοράς (50 έτη) και t ο χρόνος συγκέντρωσης (ορθολογική μέθοδος για μικρή λεκάνη)

$$i(t,T) = \frac{436.7'(50^{0.113} - 0.682)}{\left(1 + \frac{1.04}{0.089}\right)^{0.724}} = 60.68\ mm/h$$

1δ) Η παροχή αιχμής σύμφωνα με την ορθολογική μέθοδο είναι Q=0.278·C·i·A=0.278·0.57·60.68·5.75=55.29 m^3/s. Το πλημμυρικό υδρογράφημα έχει αυτή τη μορφή (η χρονική διάρκεια της βροχής είναι ίση με το χρόνο συγκέντρωσης):



1ε) Τα κατακόρυφα τοιχώματα της διατομής υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την εξίσωση Manning για την παροχή αιχμής, 55.29 m^3/s, για πλάτος διατομής B=15 m και θεωρώντας ότι το υδατόρεμα συνεχίζει με την ίδια κλίση S=0.02533. Αν το υλικό είναι για οπλισμένο σκυρόδεμα και άγνωστη μεταβλητή θεωρείται το βάθος ροής h (που αντιστοιχεί στην παροχή αιχμής) προκύπτει η παρακάτω πεπλεγμένη σχέση:

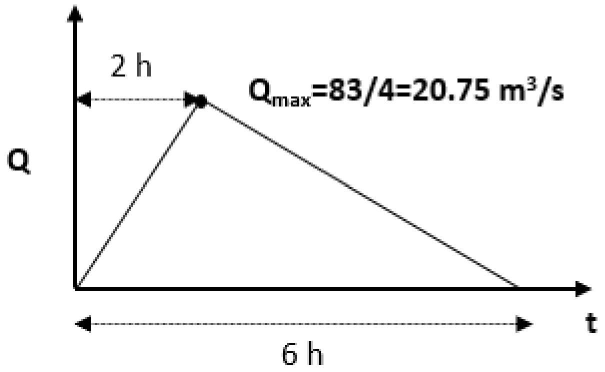
$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2} \Rightarrow 55.29 = \frac{1}{0.016}(15h)\left(\frac{15h}{15+2h}\right)^{2/3} 0.02533^{1/2}$$

Με δοκιμές μπορεί να υπολογιστεί ότι h=0.57 m. Αυτό είναι και το ελάχιστο ύψος των κατακόρυφων τοιχωμάτων.

2α) Το συνολικό ύψος βροχής είναι γινόμενο της μέσης έντασης βροχής επί τη διάρκεια βροχής: d=i·t. Για N=0, d=4·10=40 mm/h.

2β) Ο συντελεστής απορροής είναι ο όγκος βροχής που απορρέει από τη λεκάνη (V_{runoff}) προς τον όγκο βροχής που πέφτει στη λεκάνη ($V_{rainfall}$) και είναι με βάση τον ορισμό πάντα μικρότερος από τη μονάδα. Ο όγκος βροχής είναι το γινόμενο ύψος βροχής επί εμβαδόν λεκάνης. Για N=0, $V_{rainfall}$ =(40/1000)·(36·1000000)=1440000 m^3. Ο όγκος απορροής είναι το εμβαδόν του υδρογραφήματος άμεσης απορροής το οποίο είναι το εμβαδό του τριγώνου: V_{runoff}=(6·3600)·83·(1/2)=896400 m^3. Άρα ο συντελεστής απορροής είναι $C=V_{runoff}/V_{rainfall}$=896400/1440000=0.62.

2γ) Το ΜΥΓ διάρκειας 4 h είναι το υδρογράφημα της άμεσης απορροής που προκύπτει όταν βρέχει 10 mm με σταθερή ένταση και με διάρκεια 4 h. Για N=0, το υδρογράφημα άμεσης απορροής αφορά βροχή 4·10=40 mm σε διάρκεια 4 h με σταθερή ένταση. Άρα με βάση την αρχή της αναλογικότητας, το ΜΥΓ των 4 h θα είναι:



2δ) Εφόσον ο συντελεστής απορροής είναι C=0.62 (N=0), τότε το καθαρό ύψος βροχής είναι h_{net}=0.62·40=24.9 mm, ενώ οι υδρολογικές απώλειες είναι h_{loss}=40-24.9=15.1 mm. Άρα αν χρησιμοποιήσουμε την εκθετική σχέση για το αθροιστικό ύψος απωλειών (t=6·60=360 min, F(t)=15.1/1000=0.0151 m και α=0.004 m/min^b)

$$F(t) = at^b \Rightarrow \left(\frac{15.1}{1000}\right) = 0.004 \cdot (6 \cdot 60)^b \Rightarrow 3.775 = 360^b \Rightarrow ln(3.775) = ln(360^b) \Rightarrow ln(3.775)$$
$$= b \cdot ln(360) \Rightarrow b = \frac{1.33}{5.89} = 0.226$$

3α)

<u>Πρώτος τρόπος</u>

Πιθανότητα υπέρβασης:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{10}$$

Πιθανότητα μη υπέρβασης:

$$1 - \frac{1}{T} = 1 - \frac{1}{10} = \frac{9}{10}$$

Πιθανότητα μη υπέρβασης n χρόνια:

$$\left(1 - \frac{1}{T}\right)^n = \left(\frac{9}{10}\right)^{10} = 0.349$$

Πιθανότητα υπέρβασης σε n χρόνια:

$$1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n = 1 - \left(\frac{9}{10}\right)^{10} = 0.651$$

<u>Δεύτερος τρόπος</u>

Αν x ο αριθμός των πλημμυρών και p η πιθανότητα εμφάνισης της πλημμύρας p=1/T), η πιθανότητα να μη γίνει καμία πλημμύρα μέσα σε n=10 χρόνια είναι η ακόλουθη (x=0):

$$f(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} = \frac{n!}{x!\,(n-x)!}\left(\frac{1}{T}\right)^x \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{n-x} = \frac{10!}{0!\,(10-0)!}\left(\frac{1}{10}\right)^0 \left(1 - \frac{1}{10}\right)^{10-0} = 0.349$$

Άρα η πιθανότητα να γίνει **τουλάχιστον** μία είναι

$$1 - f(0) = 1 - 0.349 = 0.651$$

3β)

$$f_{100}(3) = \binom{100}{3}\left(\frac{1}{100}\right)^{3}\left(1-\frac{1}{100}\right)^{100-3} = \frac{100!}{3!\,(100-3)!}\left(\frac{1}{100}\right)^{3}\left(1-\frac{1}{100}\right)^{100-3} = 0.061$$

3γ)

$$f_{10}(4) = \binom{10}{4}\left(\frac{1}{10}\right)^{4}\left(1-\frac{1}{10}\right)^{10-4} = \frac{10!}{4!\,(10-4)!}\left(\frac{1}{10}\right)^{4}\left(1-\frac{1}{10}\right)^{10-4} = 0.011$$

Εφόσον $f_{10}(4) > f_{10}(3)$, η πιθανότητα να συμβούνε 4 πλημμύρες εντός της δεκαετίας (όταν Τ=10 έτη) είναι μεγαλύτερη από το να συμβούνε 3 πλημμύρες εντός της εκατονταετίας (όταν Τ=100 έτη).