

# ΤΟ ΔΑΣΟΣ

## Μια Ολοκληρωμένη Προσέγγιση

Επιμέλεια: Αριστοτέλης Χ. Παπαγεωργίου, Γεώργιος Καρέτσος,  
Γεώργιος Κατσαδωράκης

**Επιστημονική Επιμέλεια Έκδοσης:** Αριστοτέλης Χ. Παπαγεωργίου,  
Γεώργιος Καρέτσος, Γεώργιος Κατσαδωράκης

**Συντονισμός Έκδοσης:** Ευαγγελία Κορακάκη, Ηλίας Τζηρίτης

**Γλωσσική Επιμέλεια:** Αριάδνη Χατζηανδρέου

**Φωτογραφία εξώφυλλου:** © WWF Ελλάς/Andrea Bonetti

**Σχεδιασμός-Παραγωγή:** ΚΕΘΕΑ Σχήμα-Χρώμα

**ISBN:** 978-960-7506-28-3

Copyright: WWF Ελλάς

Προτεινόμενη αναφορά: Όνομα συγγραφέα-ων. 2012. Τίτλος κεφαλαίου.  
Σελ. 000-000 στο Α.Χ. Παπαγεωργίου, Γ. Καρέτσος και Γ. Κατσαδωράκης  
(επιμ. έκδοση). Το δάσος: Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση.  
WWF Ελλάς, Αθήνα.

Το βιβλίο έχει τυπωθεί σε χαρτί Soporset Premium Offset/100 gr  
πιστοποιημένο κατά FSC (Cert. no SW-COC-1783).

Διατίθεται δωρεάν και απαγορεύεται οποιαδήποτε εμπορική χρήση.

Η παρούσα έκδοση πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος  
«Το Μέλλον των Δασών», με την συγχρηματοδότηση των κοινωφελών  
ιδρυμάτων Ι.Σ. Λάτση, Α.Γ. Λεβέντη και Μποδοσάκη, καθώς και με την  
υποστήριξη ιδιωτών.

  
Κοινωφελές Ίδρυμα  
Ιωάννη Σ. Λάτση



  
ΙΔΡΥΜΑ ΜΠΟΔΟΣΑΚΗ

## 7. Το νερό στα δάση

Αθανάσιος Μπουρλέτσικας, Νικόλαος Προύτσος

**Τ**ο νερό είναι, αδιαμφισβήτητα, το κύριο στοιχείο για την ύπαρξη ζωής. Η φύση έχει έναν μοναδικό αλλά και πολύπλοκο τρόπο να το διαχειρίζεται, εξασφαλίζοντας την ισορροπία. Συχνά, όμως, οι ανθρώπινες παρεμβάσεις προκαλούν έντονες διαταραχές αυτής της ισορροπίας, καθώς και πλήθος προβλημάτων, τις συνέπειες των οποίων δέχονται τόσο ο ίδιος ο άνθρωπος, όσο και οι υπόλοιποι οργανισμοί. Σε μια ανθρωποκεντρική θεώρηση με στόχο τη διατήρηση της ποιότητας ζωής του, ο άνθρωπος θα πρέπει να παρεμβαίνει με αντισταθμιστικές ενέργειες και να αποκαθιστά, κατά το δυνατό, ό,τι καταστρέφει. Βέβαια, στην περίπτωση της διαχείρισης των υδατικών πόρων και για την εξασφάλιση της αειφορίας τους, ο ρόλος της φύσης και ειδικότερα των δασών είναι αναντικατάστατος. Η ενίσχυση αυτού του ρόλου απαιτεί ήπιες παρεμβάσεις που να αποσκοπούν στην προστασία και στην επιτάχυνση της αποκατάστασης των καταπονημένων, από ανθρωπογενή αίτια, δασικών περιοχών.

**Λέξεις κλειδιά:** δασική υδρολογία, υδατοδιαθεσιμότητα, υδατικές ανάγκες, ροές νερού, προβλήματα, διαχείριση δασικών υδάτων

### Εισαγωγή

Η έλλειψη νερού είναι ένα πρόβλημα που απασχολεί σοβαρά την παγκόσμια κοινότητα και τη χώρα μας ιδιαίτερα. Καθημερινά και από πολλούς φορείς τονίζεται η ανάγκη δημιουργίας συνθηκών αειφορικής διαχείρισης που θα εξασφαλίζουν ποσοτική επάρκεια και ποιοτική καταλληλότητα του νερού, τώρα και στο μέλλον, με παράλληλη προστασία των υδατικών πόρων και του περιβάλλοντος. Πρόσφατα και στη χώρα μας έχουν καταγραφεί σοβαρές συγκρούσεις για την εξασφάλιση νερού κυρίως για άρδευση, οι οποίες σίγουρα στο άμεσο μέλλον θα ενταθούν, με σοβαρότατες κοινωνικοπολιτικές και οικονομικές συνέπειες.

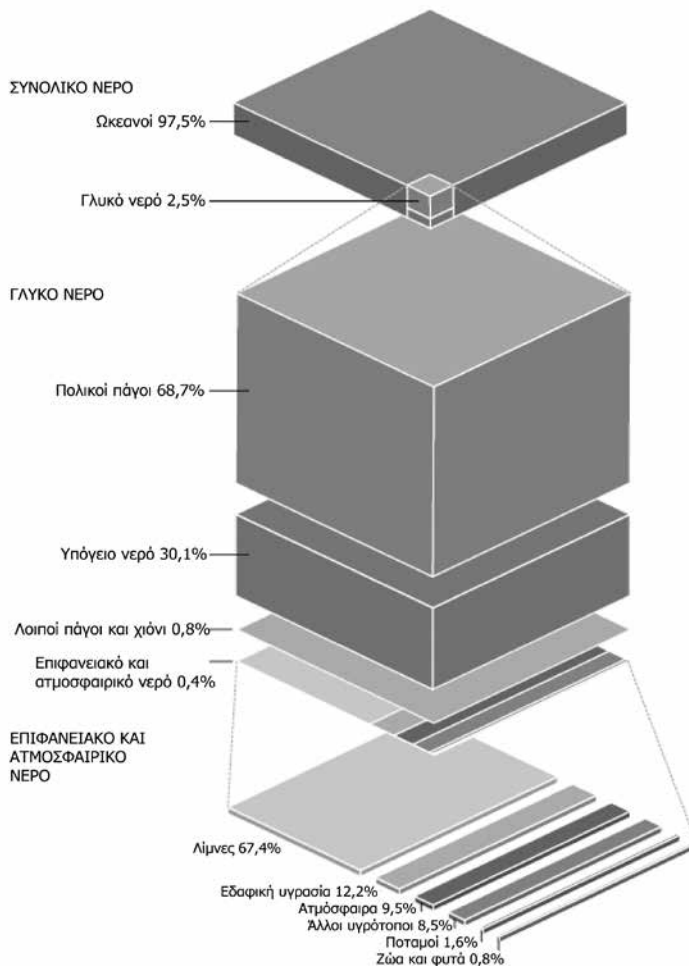
Στο υφιστάμενο πλαίσιο οικονομικής ανάπτυξης και προκειμένου να αμβλυνθούν οι διαφορές μεταξύ των διαφορετικών χρηστών νερού, τα δάση καλούνται να παίξουν τον ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο του διαχειριστή των υδατικών πόρων σε κάθε περιοχή. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατόν να αυξηθεί η διαθεσιμότητα νερού σε περιόδους αιχμής και, ταυτόχρονα, να αμβλυνθούν ακραία φαινόμενα, όπως ξηρασίες και πλημμύρες.

### Ο κύκλος του νερού στη γη

Η γήινη επιφάνεια καλύπτεται κατά 71% από νερό και μόλις το 29% είναι ξηρά. Εντούτοις, οι ποσότητες γλυκού νερού είναι ιδιαίτερα περιορισμένες και αφορούν μόνο το 2,5% των συνολικών υδατικών αποθεμάτων. Από αυτήν την ποσότητα, μόνο 3.500 km<sup>3</sup> βρίσκονται σε απολήψιμα βάθη έως 800 m (Κωτούλας 2001).

Από υδρολογικής άποψης, το σύστημα γη-ατμόσφαιρα είναι κλειστό και το νερό διαρκώς ανακυκλώνεται, χωρίς να μειώνεται η συνολική του ποσότητα (Baumgartner and Reichel 1975), η οποία εκτιμάται περίπου σε 1,385 x 10<sup>6</sup> km<sup>3</sup> (UNESCO 1978, Shiklomanov and Rodda 2003, UNEP 2007, Σχήμα 1).

Η συνεχής διαδικασία ροής νερού από την υδρόσφαιρα στην ατμόσφαιρα και αντίστροφα είναι γνωστή ως υδρολογικός κύκλος (Σχήμα 2). Ο υδρολογικός κύκλος (USGA 2012) έχει τεράστια βιολογική σπουδαιότητα για την επιβίωση των έμβιων οργανισμών και συνοδεύεται από συνεχείς μεταπτώσεις του νερού μεταξύ των διαφόρων φάσεων του (στερεό, υγρό και αέριο) με ταυτόχρονη έκλυση ή απορρόφηση ενέργειας. Έτσι, μέσω των διεργασιών εξάτμισης, συμπύκνωσης, εξάχνωσης,



Σχήμα 1. Ποσοτική κατανομή του νερού στη Γη (πηγή: UNEP 2007, δεδομένα από Shiklomanov and Rodda 2003).

πήξης και τήξης, το νερό μετατρέπεται από υγρό σε αέριο, από αέριο σε υγρό ή στερεό, από στερεό σε αέριο, από υγρό σε στερεό και από στερεό σε υγρό, αντίστοιχα.

Ξεκινώντας από τον ωκεανό, όπου βρίσκεται σε τεράστια αποθέματα (περίπου 1,3 δισεκατομμύρια km<sup>3</sup>), το νερό απορροφά ηλιακή ενέργεια και εξατμίζεται. Με τη μορφή υδρατμών μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα με μέσο ετήσιο ρυθμό περίπου 319.000 km<sup>3</sup> και, έτσι, για την πλήρη ανακύκλωσή του απαιτούνται περί τα 4.000 χρόνια. Οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα, ακολουθώντας ανοδική πορεία, ψύχονται, υγροποιούνται και με τη μορφή κατακρημνισμάτων (χιόνι, χαλάζι, βροχή) επιστρέφουν είτε στους ωκεανούς (283.000 km<sup>3</sup>/έτος), είτε στην ξηρά (36.000 km<sup>3</sup>/έτος) (Palmer 2005) και παρουσιάζουν μέσο χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα περίπου 10 ημέρες (Perlman et al. 2005).



Σχήμα 2. Ο υδρολογικός κύκλος (πηγή: USGA, 2012. Ο υδρολογικός κύκλος. Εικόνα από John M. Evans, Howard Perlman, USGS και μετάφραση στα Ελληνικά από Δ. Κουτσογιάννη Ε.Μ.Π. <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreekhi.html>, πρόσβαση 8 Μαρτίου 2012).

Σημαντική συνεισφορά στην περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδρατμούς έχει η εξατμισοδιαπνοή. Το μέγεθός της καθορίζεται αφενός από την εξατμισμό νερού από τα επιφανειακά υδροσυστήματα (ποτάμια, λίμνες, θάλασσες) και το έδαφος και αφετέρου από τη διαπνοή των φυτών. Ο υδρολογικός κύκλος κλείνει με τη μεταφορά νερού από την ξηρά με επιφανειακή απορροή ή υπόγεια ροή πάλι στους ωκεανούς, συχνά μέσω πολύπλοκων διαδρομών, υδροδοτώντας υπόγεια και επιφανειακά υδροσυστήματα.

Στην ξηρά, κάθε έτος, ο υετός φτάνει κατά μέσο όρο τα 746 mm σε παγκόσμιο επίπεδο (Baumgartner and Reichel 1975, Kiely 1998). Σε μακροχρόνια κλίμακα, το 64% της ποσότητας των βροχοπτώσεων επανέρχεται στην ατμόσφαιρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής (εξατμισμό από τα επιφανειακά υδροσυστήματα και το έδαφος και διαπνοή από τα φυτά) και το υπόλοιπο 36% απορρέει προς τη θάλασσα. Τα ποσοστά αυτά διαφοροποιούνται έντονα στις διάφορες περιοχές της Γης. Έτσι, η εξατμισοδιαπνοή αντιστοιχεί μόνο στο 17% των ετήσιων ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στην Ανταρκτική και στο 57% στην Ευρώπη, όπου ο μέσος ετήσιος υετός ανέρχεται σε 657 mm (Kiely 1998).

Σχετικά μεγάλες ποσότητες νερού βρίσκονται σε μεγάλα βάθη στο υπέδαφος, οι οποίες σε σχετικά βραχυχρόνια κλίμακα δεν συμμετέχουν στον υδρολογικό κύκλο, καθώς ο χρόνος ανανέωσής τους μπορεί να φτάσει έως και μερικά εκατομμύρια χρόνια (Molles 2002). Αυξημένους χρόνους παραμονής έχει και το νερό με μορφή χιονιού σε θέσεις της γήινης επιφάνειας όπου επικρατούν μόνιμα χαμηλές θερμοκρασίες, κυρίως στους πόλους και σε μεγάλα υψόμετρα (περιοχές αιωνίων χιονιών ή πάγων). Οι ποσότητες αυτές αποτελούν μια «αποθήκη» γλυκού νερού για τη γη, που όμως τα τελευταία χρόνια, υπό την επίδραση των κλιματικών μεταβολών, υγροποιούνται και μειώνουν το δυναμικό τους, ενώ εισερχόμενες στον υδρολογικό κύκλο προκαλούν μεταβολές στο υδατικό ισοζύγιο.

## Το νερό στο δασικό οικοσύστημα

Στα φυσικά χερσαία οικοσυστήματα και, συνεπώς, στα δάση, κύρια πηγή νερού για την ικανοποίηση των φυσιολογικών αναγκών τους είναι τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Το νερό εισέρχεται στο ανοιχτό σύστημα δένδρα-έδαφος, ακολουθεί διαφορετικά μονοπάτια και, τελικά, εξέρχεται στο μεγαλύτερο μέρος του ως απορροή (επιφανειακή, υποεπιφανειακή-υπεδάφια και υπόγεια) ή εξατμισοδιαπνοή. Μια ενδεικτική απεικόνιση της υδάτινης ροής μέσα στο δάσος δίνεται στο Σχήμα 3.

Κατά την κατακόρυφη κίνησή τους, οι σταγόνες της βροχής εισέρχονται στο δάσος και συναντούν την κομοστέγη. Εκεί, μέρος του νερού συγκρατείται από τα φύλλα και τους κλάδους, ενώ ποσότητες απορρέουν μέσω των κορμών (κορμοαπορροή) ή αποστραγγίζονται στο έδαφος. Από μετρήσεις στην Ελλάδα, η κορμοαπορροή αφορά περίπου το 6,1-7,4% της ετήσιας βροχόπτωσης σε δάσος αειφυλλων πλατύφυλλων της Δυτικής Ελλάδας (Balousos et al. 2010) και το 5,6-14,3% σε δάσος οξιάς (Μπαλούτσος κ.ά. 2004). Εναλλακτικά, οι υδροσταγόνες μπορούν να φτάσουν απευθείας στο έδαφος, όπως συμβαίνει σε πολύ αραιές φυτοκομίες ή την περίοδο που τα φυλλοβόλα πλατύφυλλα δεν διαθέτουν φύλλωμα. Οι ποσότητες νερού που τελικά καταλήγουν στο έδαφος, με εξαίρεση την κορμοαπορροή, συνιστούν τη διαπερώσα βροχή.

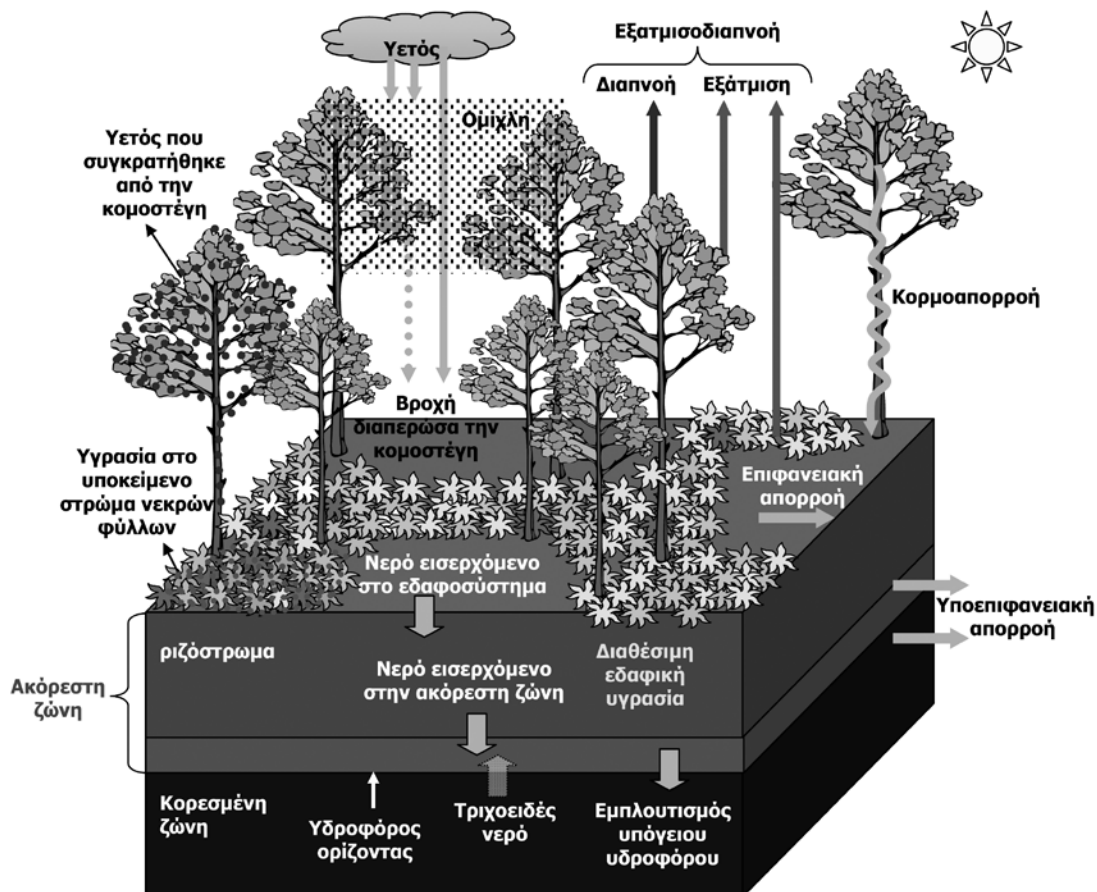
Το μικροκλίμα στο δάσος ευνοεί το σχηματισμό ομίχλης, μέσω της οποίας σημαντικές ποσότητες νερού εισέρχονται στα δασικά οικοσυστήματα με τη μορφή ομιχλοβροχής. Η βροχή που σχηματίζεται από την πρόσκρουση των σταγόνων της ομίχλης στην κόμη των δένδρων, την υγροποίησή τους και στη συνέχεια την πτώση τους στην επιφάνεια του εδάφους, είναι γνωστή ως ομιχλοβροχή (Loewe 1960, Kerfoot 1968). Καλείται, επίσης, «οριζόντια βροχή», καθώς δημιουργείται, κυρίως, από την οριζόντια μεταφορά της ομίχλης με τον άνεμο. Οι πλέον κατάλληλες περιοχές για το σχηματισμό της είναι οι παράκτιες δασωμένες, καθώς και οι ορεινές με μεγάλο υψόμετρο. Ιδιαίτερα οι δεύτερες είναι περισσότερο ευνοϊκές όταν η ομίχλη δημιουργείται επάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και μεταφερόμενη προσκρούει στις πλαγιές των βουνών και βαθμιαία ανυψώνεται και υγροποιείται (Price 1992).

Η σημασία της ομιχλοβροχής είναι μεγάλη και πολύπλευρη. Καταρχήν αποτελεί σπουδαίο παράγοντα για την επιβίωση των φυτών και την ανάπτυξη της βλάστησης σε περιοχές όπου σπανίζει η «κατακόρυφη βροχή». Επίσης, η ύπαρξή της διαφοροποιεί, πολλές φορές αισθητά, τις παραμέτρους του υδρολογικού ισοζυγίου μιας λεκάνης απορροής και την εφαρμογή του στην ορθολογική διαχείριση των υδατικών, εδαφικών και βλαστητικών της πόρων, αφού συμβάλλει στην αύξηση των υδατικών πόρων των περιοχών όπου δημιουργείται (Ingraham and Matthews 1988, Price 1992) και, επιπλέον, είναι σπουδαίος οικολογικός παράγοντας όσον αφορά τη θρέψη των φυτών, αφού η χημεία της είναι διαφορετική από τη βροχή εκτός του δάσους και την κανονική διαπερώσα βροχή (Draaijers and Erisman 1993, Wrzesinsky and Klemm 2000, Lange et al. 2003).

Πολλοί ερευνητές, σε πολλές χώρες και σε διαφορετικά υψόμετρα, ασχολήθηκαν με το φαινόμενο της δημιουργίας της ομιχλοβροχής στα δασικά οικοσυστήματα και την ποσοτικοποίησή της ανάλογα με το δασικό είδος. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ο Keel (1987) υποστηρίζει πως η βλάστηση στο βόρειο Περού «πρασινίζει» μόνο από την ομιχλοβροχή που δημιουργείται εκεί. Από την ομιχλοβροχή εξαρτάται επίσης και το φημισμένο παράκτιο δάσος από σεκβόιες στην Καλιφόρνια, αφού συλλέγει μέχρι και 140 mm ημερησίως (Azevedo and Morgan 1974). Οι Elias et al. (1990), στην Πολωνία, βρήκαν πως σε μηνιαία βάση η ομιχλοβροχή σε συστάδες ερυθρελάτης κυμάνθηκε από 4-27% της συνολικής βροχής (βροχής εκτός του δάσους), χωρίς να ληφθεί υπόψη η ομιχλοβροχή που δημιουργείται συγχρόνως με την κατακόρυφη βροχή. Σε δύο άλλες θέσεις της ίδιας χώρας, η παράμετρος αυτή εκτιμήθηκε σε 13% και 80% της συνολικής βροχής (Blas et al. 2002). Η ομιχλοβροχή εκτιμήθηκε στην Ολλανδία, λόγω της τοπογραφίας, μόνο στο 5% της συνολικής βροχής (Vermeulen et al. 1997) και στη Γερμανία στο 20-28% (Zimmermann and Zimmermann 2002).

Αντίστοιχες εργασίες για τα δάση της Ελλάδας αναφέρουν ετήσιο ύψος ομιχλοβροχής ίσο με το 14,2% της συνολικής βροχής σε συστάδα οξιάς στην Όσσα (Μπαλούτσος κ.ά. 2004) και στο 13,8% σε συστάδα ελάτης στον Άγιο Νικόλαο Ευρυτανίας (Μπαλούτσος κ.ά. 2005), χωρίς να συμπεριληφθούν τα επεισόδια χιονιού και ομίχλης.

Οι σταγόνες νερού που πέφτουν στο έδαφος μηδενίζουν την ταχύτητά τους προσκρούοντας στην επιφάνεια, που συνήθως καλύπτεται από στρώμα νεκρών φύλλων. Από εκεί, το νερό με αργούς ρυθμούς διηθείται βαθύτερα, διαπερνώντας αρχικά το στρώμα της νεκρής οργανικής ύλης και αυξάνοντας, στη συνέχεια, την περιεχόμενη υγρασία των υποκείμενων εδαφικών στρωμάτων. Ιδιαίτερα σημαντική για τα φυτά είναι η αύξηση της υγρασίας στην επιφανειακή ζώνη του εδάφους όπου αναπτύσσεται το ριζικό τους σύστημα (ριζόσφαιρα). Το νερό αυτό είτε θα καταναλωθεί άμεσα από τους φυτικούς ιστούς, είτε θα αποθηκευτεί για να ικανοποιήσει τις φυσιολογικές ανάγκες τους (φωτοσύνθεση, αναπνοή) σε μετέπειτα περίοδο, όπως συμβαίνει με τις χειμερινές βροχοπτώσεις για τα περισσότερα φυτικά είδη.



Σχήμα 3. Ροές νερού σε δασικό οικοσύστημα (πηγή: Προύτσος 2010).

Στην περίπτωση που η βρόχοπτωση είναι αρκετά αυξημένη, το νερό μπορεί να κινηθεί σε μεγαλύτερα βάθη και εισερχόμενο στην κορεσμένη ζώνη εμπλουτίζει τα αποθέματα υπόγειου νερού. Η συμβολή του υπόγειου νερού σε περιπτώσεις φυσικών δασικών οικοσυστημάτων χαμηλών υψομέτρων είναι σημαντική για την υδατοδιαθεσιμότητα, επειδή πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα το νερό μπορεί να κινηθεί σε μικρού μεγέθους πόρους, μέσω τριχοειδών φαινομένων, από την κορεσμένη στην ακόρεστη ζώνη, αυξάνοντας την υγρασία στο ριζόστρωμα. Στις περιπτώσεις, μάλιστα, βαθύριζων δένδρων, είναι δυνατή η εκμετάλλευση του τριχοειδούς αυτού νερού, που ιδιαίτερα την ξηρή περίοδο μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο για την ανάπτυξη και, κυρίως, την επιβίωσή τους.

Οι κύριες εκροές νερού από το οικοσύστημα οφείλονται στην εξατμισοδιαπνοή και στην απορροή. Από την επιφάνεια του εδάφους ή του φυλλώματος το νερό εξατμίζεται ή, κινούμενο μέσω των φυτικών ιστών, διαπνέεται και τελικά μεταφέρεται ξανά στην ατμόσφαιρα με τη μορφή υδρατμών. Μπορεί, επίσης, να αρχίσει να απορρέει επιφανειακά, αν ο ρυθμός βροχόπτωσης (ένταση βροχής) είναι αυξημένος σε σχέση με την ταχύτητα διήθησής του στο έδαφος ή αν η διάρκεια της βροχόπτωσης είναι παρατεταμένη. Βέβαια, η εκροή μέσω απορροής μπορεί να γίνει και κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (υπόγεια ή υπεδάφια). Σε κάθε περίπτωση, το απορρέον νερό εξέρχεται από το οικοσύστημα μεταφερόμενο στα κατάντη. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε μεγάλες και έντονες βροχοπτώσεις, οι ποσότητες απορροής είναι ιδιαίτερα υψηλές, με συνέπεια την αύξηση των παροχών των ποταμών και των υδατορεμάτων, που πολλές φορές δεν μπορούν να παροχετευθούν το νερό προς τη θάλασσα, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται, κατά θέσεις, πλημμυρικά φαινόμενα.

Πέραν των βροχοπτώσεων, πολύ σημαντική στην αξιοποίηση του νερού από τα δάση είναι η συνεισφορά των στερεών ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και ιδιαίτερα του χιονιού, που αποθηκεύεται στα ορεινά οικοσυστήματα μεγάλων υψομέτρων. Το χιόνι αυτό λιώνει σταδιακά κατά την ανοιξιάτικη ή ακόμα και την καλοκαιρινή περίοδο. Η παρατεταμένη χρονική περίοδος που το χιόνι παραμένει μέσα στο δάσος, αυξάνει το βαθμό αξιοποίησής του, είτε από τα δένδρα, παρέχοντας επαρκή υγρασία στο ριζόστρωμα, είτε από τα γειτονικά υδροσυστήματα, εμπλουτίζοντάς τα σε περιόδους περιορισμένης υδατοδιαθεσιμότητας. Επιπλέον, η βραδεία ροή του μέσω της σταδιακής τήξης του χιονιού καθιστά αποτελεσματικότερο τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων.

## Αξιοποίηση του νερού από το δάσος

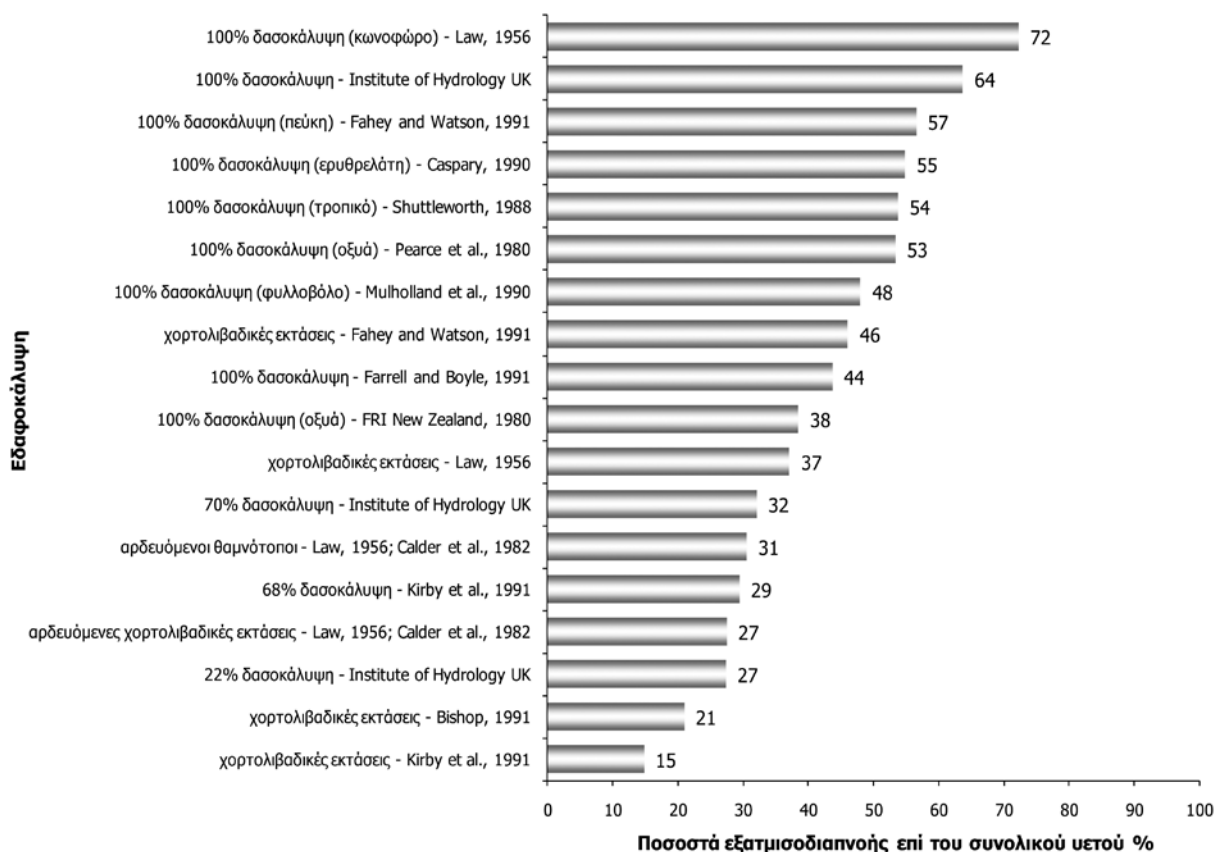
Ο μεγαλύτερος όγκος νερού στα δάση χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αναγκών των φυτών σε εξατμισοδιαπνοή, η οποία συνδέεται στενά με την παραγωγικότητά τους και, κυρίως, με την αύξηση της ξυλώδους και φυλλώδους μάζας τους (Molchanov 1973). Αυτές οι ποσότητες νερού δεν αξιοποιούνται στο σύνολό τους για παραγωγή φωτοσυνθετικών προϊόντων, καθώς σημαντικό μέρος τους είναι απώλειες, εξαιτίας της εξάτμισης από την επιφάνεια του δασικού εδάφους και από το στρώμα νεκρών φύλλων που την καλύπτει, αλλά και από την επιφάνεια των φυλλωδών και ξύλινων στοιχείων της κόμης, ενώ πρόσθετες ποσότητες απαιτούνται για την ψύξη των φυτικών ιστών. Οι ρυθμοί κατανάλωσης νερού για εξατμισοδιαπνοή διαφοροποιούνται με τη δασοκάλυψη και το φυτικό είδος ενόσω υπάρχει επάρκεια νερού στο έδαφος. Σε παγκόσμιο επίπεδο αναφέρεται τάση αύξησης της εξατμισοδιαπνοής με την πυκνότητα της βλάστησης, αλλά και σημαντικές διαφορές μεταξύ των δασικών ειδών (Σχήμα 4). Σύμφωνα με μακροχρόνια στοιχεία του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας (Institute of Hydrology 1976, περίοδοι 1956-1970 και 1967-1970), το 64% του ετήσιου νερού στη Βρετανία χρησιμοποιείται για εξατμισοδιαπνοή από πλήρως δασοκαλυμμένο έδαφος (100%), ενώ το ποσοστό μειώνεται στο 32% και στο 27% όταν η κάλυψη ήταν 70% και 22%, αντίστοιχα. Ανάλογα αποτελέσματα για τη Βρετανία δίνουν και άλλοι ερευνητές, που σε δάσος κωνοφόρων με πλήρη κάλυψη αναφέρουν ότι το 72% του νερού των βροχοπτώσεων χρησιμοποιείται για εξατμισοδιαπνοή, όταν τα αντίστοιχα ποσοστά σε θαμνότοπους και χαμηλή ποώδη βλάστηση στην ίδια περιοχή είναι 31% και 28%, αντίστοιχα (Law 1956, Calder et al. 1982).

Σε ό,τι αφορά τις υδατικές ανάγκες των δασικών ειδών, αυτές διαφοροποιούνται με το είδος, την ηλικία αλλά και το βλασθητικό στάδιο ανάπτυξης, αλλά και τις μετεωρολογικές και εδαφικές συνθήκες. Γενικά, οι ρυθμοί της εξατμισοδιαπνοής είναι αυξημένοι στα πλατύφυλλα έναντι των κωνοφόρων, με εποχιακές μεταβολές, καθώς οι υδατικές ανάγκες μεγιστοποιούνται το καλοκαίρι και ελαχιστοποιούνται το χειμώνα. Η ανισοκατανομή αυτή γίνεται εντονότερη μεταξύ φυλλοβόλων και αιθαλών ειδών, αφού οι υδατικές απαιτήσεις των πρώτων είναι αυξημένες στο στάδιο του πλήρως αναπτυγμένου φυλλώματος και περιορισμένες στο λήθαργο, ενώ των δεύτερων κατανέμονται σχετικά πιο ομοιόμορφα, όλο το έτος, με εξάρσεις, βέβαια, στο φαινολογικό στάδιο της πλήρους βλαστικής ανάπτυξης. Επίσης, επειδή η εξατμισοδιαπνοή συνδέεται άμεσα με την απορρόφηση ηλιακής ακτινο-

βολίας για φωτοσύνθεση, οι υδατικές ανάγκες διαφοροποιούνται ακόμα και σε ωριαία βάση. Έτσι, για παράδειγμα, οι Pitacco et al. (1992) αναφέρουν σε δρυς (*Quercus ilex*), στην Ιταλία, ημερήσια κατανάλωση 3,5 mm το καλοκαίρι, με μέγιστο ρυθμό 0,6 mm/h το μεσημέρι. Αντίστοιχα μεγέθη μετρήθηκαν και στην Ελλάδα, με μέση ημερήσια εξατμισοδιαπνοή 3,5 mm (για την *Quercus frainetto*) και μέγιστο ρυθμό 0,43 mm/h, τα μεσημέρια του καλοκαιριού (Προύτσος 2010).

Οι διαφορές στις υδατοαπαιτήσεις των φυτών εξαρτώνται επίσης και από τη γεωγραφική θέση των βιοθέσεών τους, εξαιτίας της επίδρασης αβιοτικών παραγόντων, όπως το κλίμα. Τα βόρεια οικοσυστήματα της εύκρατης ζώνης αναπτύσσονται σε υγρότερα και ψυχρότερα περιβάλλοντα σε σχέση με τα νότια, ενώ ανάλογη είναι η διαφοροποίηση μεταξύ μεγάλων και μικρών υψόμετρων. Ειδικότερα, στη Μεσόγειο, η διαθεσιμότητα νερού για τη δασική βλάστηση διαφοροποιείται κλιματικά κατά τη διάρκεια του έτους σε δύο περιόδους: μια υγρή και μια ξηρή. Κατά την υγρή υπάρχει πλεόνασμα νερού, όμως συμπίπτει με το χειμώνα, που άλλες μετεωρολογικές παράμετροι (θερμοκρασία, φωτοπερίοδος, ένταση ηλιακής ακτινοβολίας κ.ά.) δεν ευνοούν την ανάπτυξη των

φυτών (Jolly et al. 2005). Αντίθετα, την ξηρή περίοδο, που επικρατούν ευνοϊκές καιρικές συνθήκες, υπάρχει υδατικό έλλειμμα. Το εύρος των περιόδων, αλλά και η υδατοδιαθεσιμότητα, διαφέρουν με τη γεωγραφική θέση, το υψόμετρο, και εξαρτώνται σε μικρότερο βαθμό από τις εδαφικές εκθέσεις, την ικανότητα υδατοσυγκράτησης, το βάθος εδάφους και άλλους παράγοντες. Τα τελευταία χρόνια, μάλιστα, έχουν εντοπιστεί σημαντικές διαφοροποιήσεις στη διαθεσιμότητα νερού, ιδιαίτερα την ξηρή περίοδο, σε σχέση με παλαιότερα, εξαιτίας κλιματικών μεταβολών που προκάλεσαν μείωση των καλοκαιρινών βροχοπτώσεων (IPCC 2001, Todisco and Vergni 2008), σε συνδυασμό με αυξημένους ή μηδενικούς ρυθμούς μεταβολής της εξατμισοδιαπνοής (Milly and Dunne 2001, Xu et al. 2005, Todisco and Vergni 2008). Οι δυσμενείς υδατικές συνθήκες οξύνονται πρόσθετα με τη μείωση των δασικών εκτάσεων από δασικές πυρκαγιές και αποψιλώσεις. Έτσι, προκαλούνται επιζήμιες συνέπειες όπως η διαταραχή του μικροκλίματος των περιοχών, η αύξηση της έντασης της διάβρωσης και η μείωση του ρυθμού επαναπλήρωσης των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων, με αποτέλεσμα να εντείνεται το φαινόμενο της ερημοποίησης.



Σχήμα 4. Ποσοστά εξάτμισης νερού από διαφορετικής δασοκάλυψης επιφάνειες σε σχέση με τις ποσότητες υετού (πηγή: Kieley 1998).



Στην Ελλάδα, τα βορειότερα οικοσυστήματα δέχονται περισσότερες βροχοπτώσεις και είναι, γενικά, παραγωγικότερα από τα νότια. Αντίστοιχη διαφοροποίηση εντοπίζεται και στα δυτικά και ανατολικά της χώρας, ενώ δάση με διαφοροποιημένες βιοθέσεις σε μεγάλα υψόμετρα καταπονούνται υδατικά λιγότερο από αυτά που βρίσκονται κατάντη. Σε σχέση με τις προηγούμενες δεκαετίες, διαπιστώνεται μείωση της υδατοδιαθεσιμότητας για ανάπτυξη της φυσικής βλάστησης, που διαφέρει με τη γεωγραφική θέση και το υψόμετρο. Στα πολύ μεγάλα υψόμετρα παρατηρείται αύξηση της έντασης της υδατοκαταπόνησης το καλοκαίρι, σε σχέση με παλαιότερα, ενώ ακόμα δυσμενέστερες υδατικές συνθήκες επικρατούν χαμηλότερα όλες τις εποχές του έτους (Προύτσος κ.ά. 2008). Οι κλιματικές μεταβολές οδηγούν σε δυνητική αύξηση του εύρους της βλαστικής περιόδου, που στην πράξη, όμως, αναστέλλεται λόγω της μικρότερης διαθεσιμότητας νερού, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η ένταση της υδατικής καταπόνησης, κυρίως στο μέσο του καλοκαιριού (Προύτσος κ.ά. 2006). Αποτέλεσμα αυτών των μεταβολών είναι ο περιορισμός των ξηροθερμοορίων των δασών και σταδιακή αναρρίχηση τους σε μεγαλύτερα υψόμετρα όπου επικρατούν ευνοϊκότερες συνθήκες. Το υδατικό έλλειμμα κατά την ξηρά περίοδο εμποδίζει επίσης την ικανότητα αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας, με αποτέλεσμα τα ελληνικά και, γενικότερα, τα μεσογειακά δάση να αξιοποιούν λιγότερο αποτελεσματικά την ηλιακή ενέργεια σε σχέση με βορειότερα γεωγραφικά πλάτη (Rauner 1976, Liakatas et al. 2002), με ανάλογες επιπτώσεις στην παραγωγή βιομάζας. Βέβαια, η περιορισμένη ανάπτυξη φυλλώματος είναι ένας μηχανισμός προσαρμογής των δασών στις επικρατούσες ξηροθερμικές συνθήκες, καθώς μειώνει τις απώλειες νερού μέσω διαπνοής.

Υπό τέτοιες κλιματικές συνθήκες, ιδιαίτερα σημαντικός για την επιβίωση και ανάπτυξη των δασικών ειδών είναι ο ρόλος του εδάφους. Η αποθηκευμένη εδαφική υγρασία, κυρίως στο ριζόστρομα, στην αρχή της βλαστικής περιόδου, θα πρέπει να είναι ικανοποιητική, προκειμένου τα φυτά να ολοκληρώσουν ομαλά το βιολογικό τους κύκλο. Σε διαφορετική περίπτωση και εφόσον δεν πραγματοποιηθούν επαρκείς καλοκαιρινές βροχοπτώσεις, παρατηρείται υδατικό έλλειμμα και, τότε, μόνο φυτά με βαθύ ριζικό σύστημα και ανθεκτικότητα στην ξηρασία είναι δυνατό να επιβιώσουν. Άτομα ή πληθυσμοί σε αβαθή εδάφη ή στα ξηροθερμοόρια των δασών, που συνήθως παρουσιάζουν αυξημένη εξατμισοδιαπνοή, βρίσκονται σε δυσμενέστερη θέση. Αρχικά περιορίζουν τους ρυθμούς ανάπτυξής τους, και, στη συνέχεια, αν το υδατικό έλλειμμα είναι έντονο, είναι τα πρώ-

τα που ξηραίνονται. Η ποσότητα του αποθηκευμένου νερού είναι άμεσα συνδεδεμένη με το βάθος και τις υδραυλικές ιδιότητες του εδάφους. Τα εδάφη των ελληνικών δασών είναι συνήθως αβαθή, με μικρή ικανότητα υδατοσυγκράτησης, καθιστώντας τα λιγότερο ικανά να παρέχουν νερό στα φυτά σε μακρές περιόδους ανομβρίας. Από μετρήσεις στην Ελλάδα σε δρυοδάσος διαπιστώθηκε ότι σε αμμοπηλώδες έδαφος η κρίσιμη τιμή εδαφικής υγρασίας είναι 0,35, καθώς κάτω από αυτή παρατηρείται περιορισμός των ρυθμών ανάπτυξης των ενήλικων δένδρων (Προύτσος 2010).

Σημαντικό ρόλο στην αύξηση της ανοχής στην ξηρασία παίζει και το πάχος του φυλλοτάπητα, το στάδιο αποσύνθεσης, αλλά και η ύπαρξη βρύων που αντλούν νερό από βαθύτερα εδαφικά στρώματα (Lafleur 1992, Kelliher et al. 1998). Ειδικότερα, το στρώμα νεκρών φύλλων, ιδιαίτερα όταν είναι ξηρό, δεν επιτρέπει την αύξηση της θερμοκρασίας στο υποκείμενο έδαφος, με αποτέλεσμα τον περιορισμό της απώλειας νερού μέσω εξάτμισης (Black et al. 1987, Childs and Flint 1987, Flint and Childs 1987, Shaap and Bouten 1997, Baldocchi et al. 2000). Η ιδιότητα αυτή, μάλιστα, μπορεί να αποδειχτεί σωτήρια για την επιβίωση των ελληνικών και μεσογειακών δασών. Έτσι, εντός των δασικών οικοσυστημάτων οι ροές εξάτμισης από το έδαφος είναι περιορισμένες σε σχέση με αυτές εκτός δάσους, ενώ, αντίθετα, αυξημένη είναι η εδαφική υγρασία, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες ανάπτυξης, ακόμα και σχετικά υδατοαπαιτητικών δασικών ειδών.

Ένας άλλος ενισχυτικός μηχανισμός εξοικονόμησης νερού για τα δάση είναι η θερμοκρασιακή αναστροφή, που είναι σύνηθες φαινόμενο στα μεσογειακά κλίματα, ιδιαίτερα κατά τη νύχτα. Αποτέλεσμα του φαινομένου είναι ο σχηματισμός δρόσου στα φύλλα, κυρίως τα πρωινά και κατά τα απογεύματα του καλοκαιριού, επηρεάζοντας το ενεργειακό ισοζύγιο και παρέχοντας σχετικά μικρές αλλά ιδιαίτερα χρήσιμες ποσότητες νερού στο δάσος, με αποτέλεσμα τον περιορισμό της θερμικής και της υδατικής καλοκαιρινής καταπόνησης, αλλά και τη βελτίωση του μικροπεριβάλλοντος τόσο μέσα στο δάσος όσο και γύρω από αυτό.

## Δάσος και διαχείριση νερού

Πέρα από την αξιοποίηση του νερού για παραγωγή φωτοσυνθετικών προϊόντων, το δάσος αποτελεί έναν άρτιο φυσικό διαχειριστή νερού, καθώς περιορίζει την απορροή και τα πλημμυρικά φαινόμενα κατάντη, αυξάνει τα υπόγεια υδατικά αποθέματα, μειώνει τον κίνδυνο διάβρωσης και βελτιώ-

νει την ποιότητα του νερού των εκροών. Τα δάση έχουν σταθερή υδρολογική συμπεριφορά, η οποία όμως διαταράσσεται από ραγδαίες μεταβολές που μπορεί να προκύψουν από δασικές πυρκαγιές ή αποψιλώσεις (Nys 1959, Lavabre et al. 1991, Μπαλούτσος κ.ά. 2001). Σε τέτοιες περιπτώσεις παρατηρείται μια απότομη αύξηση της απορροής και της διάβρωσης για μερικά χρόνια από την καταστροφή της βλάστησης, οι οποίες όμως μειώνονται σταδιακά, καθώς το οικοσύστημα αποκαθίσταται (Molchanov 1973, Pobedinsky 1979, Rakhmanov 1981, Lebedev 1982).

Η διαδρομή που θα ακολουθήσει το νερό που επηρεάζεται από το δασικό οικοσύστημα και, κυρίως, από τη δασική κάλυψη και την πυκνότητα του φυλλώματος, ενώ καθοριστική είναι και η επίδραση του εδάφους και του ριζικού συστήματος, ιδιαίτερα στη διαμόρφωση της απορροής (Germane 1994). Το φύλλωμα των δένδρων μπορεί να συγκρατήσει μόνο μικρές ποσότητες νερού (FAO 1962, Duwig 1994, Biron 1994), όμως επηρεάζει άμεσα ή έμμεσα την εξέλιξη μιας πλημμύρας, επιβραδύνοντας την ταχύτητα πρόσπτωσης των σταγόνων στο έδαφος. Έτσι, καθυστερεί την έναρξη και παρατείνει τη διάρκεια της απορροής, μειώνοντας τον όγκο της ενώ, ταυτόχρονα, περιορίζεται η διάβρωση και αυξάνεται η διήθηση. Είναι προφανές ότι η αποτελεσματικότητα της ύπαρξης βλάστησης στη μείωση της διάβρωσης αυξάνει με το βαθμό δασοκάλυψης (Meunier et al. 1995).

Σε γενικές γραμμές, η απορροή σε δασοκαλυμμένες περιοχές είναι ίση με το 1/5 εκείνης σε γυμνό έδαφος, υπό τις ίδιες συνθήκες νετού, ενώ η δασική βλάστηση αποτρέπει τις ακραίες εκροές τουλάχιστον κατά 80% και περιορίζει την ποσότητα των απορρεόντων νερών τουλάχιστον κατά 40%, σύμφωνα με πειράματα που έγιναν στη Γαλλία (Meunier 1996).

Η βροχή που φτάνει στο δασικό έδαφος απορροφάται από αυτό ή απορρέει επιφανειακά με ρυθμούς που καθορίζονται από τη διηθητικότητα του εδάφους. Το διηθούμενο νερό εμπλουτίζει τα υπόγεια ύδατα και αυξάνει την υγρασία στο ριζόστρωμα ανάλογα με την υδατοχωρητικότητα, την ικανότητα υδατοσυγκράτησης και την υδραυλική αγωγιμότητα, ενώ οι ροές του επηρεάζονται από την ύπαρξη βλάστησης. Ο Grèsillon (1994) διαπίστωσε την αυξημένη διηθητικότητα του δασικού εδάφους ακόμα και υπό ισχυρή βροχή έναντι της σημαντικά μειωμένης, όταν η βλάστηση (δένδρα και ρίζες) απομακρύνθηκε. Η διηθητικότητα, βέβαια, εξαρτάται και από το βάθος και τον τύπο του εδάφους. Σε βαθιά αμμώδη εδάφη η ύπαρξη βλάστησης μπορεί να μην είναι τόσο σημαντική στην απορρόφηση νερού, όσο στα αβαθή αργιλώδη. Λαμβά-

νοντας υπόψη ότι τα ελληνικά δασικά οικοσυστήματα, γενικά, αναπτύσσονται σε αβαθή, μειωμένης γονιμότητας και ικανότητας υδατοσυγκράτησης εδάφη, η συνεισφορά της βλάστησης στον περιορισμό της απορροής είναι καθοριστική και γίνεται σπουδαιότερη σε μικρής κλίμακας οικοσυστήματα. Εκεί, τα ακάλυπτα από βλάστηση εδάφη, μετά από βροχόπτωση, εμφανίζουν αυξημένη απορροή με μικρή χρονοκαθυστερήση στην έναρξή της και μειωμένη διήθηση. Από την άλλη, οι φυτοκαλυμμένες περιοχές ευνοούν την απορρόφηση έναντι της απορροής και αυξάνουν την υποεπιφανειακή ροή, οδηγώντας σε αύξηση της ποσότητας των υπόγειων νερών, στην τροφοδότηση των υδροσυστημάτων ή ακόμα και στην αύξηση της επιφανειακής απορροής κατάντη αλλά με μικρότερες παροχές αιχμής, καθώς η βλάστηση καθυστερεί και μειώνει τον όγκο της πλημμύρας. Βέβαια, αναφέρονται και περιπτώσεις που η ελεγχόμενη δασική διαχείριση μπορεί να βελτιώσει την υδρολογική συμπεριφορά των οικοσυστημάτων. Οι Callegari et al. (2003) αναφέρουν ότι σε δάσος πεύκης (*Pinus* sp.) η μείωση κατά 50% του αριθμού των δένδρων (ή του 30% της ξύλινης επιφάνειας) οδήγησε σε αύξηση της ροής προς τα υπόγεια νερά το καλοκαίρι και την άνοιξη, προτείνοντας την ελεγχόμενη δασική διαχείριση ως μέσο αύξησης της υδατοαποθήκευσης.

Η εδαφική υγρασία στο δασικό έδαφος επηρεάζει τη διαμόρφωση πλημμύρας. Έτσι, π.χ. μια μέτρια βροχή κατά την ξηρά περίοδο μπορεί να μη δώσει σημαντική απορροή ενώ, αντίθετα, μια ελαφριά ψιχάλα σε κορεσμένο έδαφος μπορεί να δώσει επιφανειακή απορροή ίση με τη βροχόπτωση. Κατά συνέπεια, δεν φαίνεται να υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ βροχής και απορροής.

Στα οφέλη της διαχείρισης του νερού από τα φυσικά δασικά οικοσυστήματα περιλαμβάνεται και η αναβάθμιση της ποιότητάς του. Κατά τη ροή του μέσα στο δασικό-μη καλλιεργούμενο έδαφος, το νερό φιλτράρεται, βελτιώνοντας τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του. Εκμεταλλεζόμενες αυτήν την ιδιότητα, πολλές χώρες, εδώ και δεκαετίες, χρησιμοποιούν τεχνητά ή και φυσικά δάση σε συστήματα διαχείρισης κυρίως υγρών αποβλήτων, βελτιώνοντας ταυτόχρονα τη γονιμότητα των δασικών εδαφών (Hernandez 1977) και την παραγωγικότητα των οικοσυστημάτων (FAO 1978). Στην Ισπανία, μάλιστα (Navarro 1977), αυτά τα δάση είναι γνωστά ως πράσινα φίλτρα (green filters) και έχουν ευρεία εφαρμογή.

Ο απορρέων υδάτινος όγκος και, κυρίως, αυτός της επιφανειακής απορροής, ανάλογα με τις επικρατούσες χρήσεις γης στα κατάντη, μπορεί να είναι ιδιαίτερα υποβαθμισμένος ποιοτικά, κυρίως όταν

κατά την κίνησή του διέρχεται από γεωργικές ή αστικές περιοχές, καθώς διαλυτοποιεί αλλά και συμπαρασύρει αυξημένες ποσότητες θρεπτικών συστατικών, φερτών υλικών και ρύπων που, εισερχόμενοι στα υδάτινα οικοσυστήματα, αυξάνουν τον κίνδυνο ευτροφισμού ή ρύπανσής τους, με ό,τι αυτό συνεπάγεται για την υγεία των οργανισμών που διαβιούν σ' αυτά.

Η δασική βλάστηση, λοιπόν, φαίνεται να λειτουργεί υδρολογικά ως μια δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης του νερού των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που περιορίζει την απορροή και μειώνει την ταχύτητα ροής, βελτιώνοντας ταυτόχρονα την ποιότητά του. Αυτό το αποθηκευμένο νερό, σε μετέπειτα χρονικά στάδια, θα χρησιμοποιηθεί από τα δασικά δένδρα, θα εμπλουτίσει τα υπόγεια νερά ή θα υδροδοτήσει τα κατάντη οικοσυστήματα. Σε ικανοποιητικά δασοκαλυμμένες περιοχές καταγράφηκε αύξηση της ετήσιας, ανοιξιάτικης και ελάχιστης παροχής των ποταμών (Bulancko 1971, Idzop 1980). Ενδεικτικά, αναφέρεται για τη Ρωσία αύξηση κατά 0,8-1,3 mm των ετήσιων παροχών των ποταμών για κάθε 1% αύξηση της δασοκάλυψης της λεκάνης απορροής τους (Rakhmanov 1981).

## Προβλήματα

Από τη μελέτη της υδρολογικής συμπεριφοράς των δασών και τις διαδρομές που ακολουθεί το νερό όταν εισέρχεται σε αυτά, συνάγεται ότι όσο τα δάση δεν διαταράσσονται από εξωγενείς παράγοντες, μπορούν και λειτουργούν άρτια, όσον αφορά στη διαχείριση των υδατικών πόρων. Προβλήματα δημιουργούνται κυρίως στις περιπτώσεις καταπονημένων οικοσυστημάτων και τότε απαιτείται η ανθρώπινη παρέμβαση, ώστε να αποφευχθεί η μόνιμη υποβάθμιση των ίδιων και των γειτνιαζόντων σε αυτά περιοχών. Τα σημαντικότερα διαπιστωμένα προβλήματα με βραχυχρόνιες και, αρκετά συχνά, μακροχρόνιες επιδράσεις, είναι συνολικά τα ακόλουθα:

### Υδατική διάβρωση και πλημμύρες

Τα αίτια διάβρωσης σε μια περιοχή είναι οι χρήσεις γης, η απώλεια φυτοκάλυψης, η βροχή, η απορροή, η ξηρασία, οι πυρκαγιές, οι κατολισθήσεις, οι καθιζήσεις, τα επικλινή εδάφη, η καλλιέργεια του εδάφους και η εντατική βόσκηση. Τα εδαφικά τεμαχίδια, υπό την επίδραση του νερού των βροχών, αποσυγκολλούνται και, στη συνέχεια, μεταφέρονται κατάντη. Αποτέλεσμα αυτής της διεργασίας είναι η μείωση του βάθους του εδάφους ή ακόμα και η εξαφάνιση του επιφανειακού ορίζοντα, με ουσιαστικές επιδράσεις στην εδαφική γο-

νιμότητα. Η διάβρωση αποτελεί επίσης παράγοντα ρύπανσης, αφού αδρανοποιημένες ή δυσδιάλυτες στο νερό ουσίες, όπως ο φώσφορος και άλλα θρεπτικά στοιχεία και τοξικές ενώσεις, μεταφέρονται στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, προκαλώντας ευτροφισμό, φυτοτοξικότητες κ.ά. Η μακροχρόνια δράση των μηχανισμών διάβρωσης οδηγεί σε μη αναστρέψιμη ερημοποίηση. Ο κίνδυνος αυτός, μάλιστα, για την Ελλάδα, είναι υψηλός για το 35% των ελληνικών εδαφών και μέτριος για το 49% (GNCCD 2002).

Ο κίνδυνος καταστροφικών πλημμυρών εντείνεται με τη μείωση των δασικών εκτάσεων, καθώς τότε προκαλείται αύξηση της άμεσης απορροής. Το νερό παραμένει πολύ λίγο χρόνο στο δασικό έδαφος και δεν προλαβαίνει να διηθηθεί σε βαθύτερα στρώματα. Έτσι, μεγάλες ποσότητες του απορρέουν γρήγορα και παροχετεύονται σε υδάτινους αποδέκτες (ποτάμια, ρέματα), με τελικό προορισμό τη θάλασσα. Υπό αυξημένες ή μεγάλης έντασης βροχοπτώσεις, οι ποσότητες νερού που διοχετεύονται στους ποταμούς είναι εξαιρετικά μεγάλες, με αποτέλεσμα την πρόκληση πλημμυρών στα κατάντη.

### Μείωση αποθεμάτων υπόγειου νερού και περιορισμένη υδροδότηση επιφανειακών και υπόγειων υδροσυστημάτων

Τα φαινόμενα αυτά γίνονται αντιληπτά κυρίως την ξηρή περίοδο του έτους και οφείλονται αφενός στις μειωμένες καλοκαιρινές βροχοπτώσεις και αφετέρου στη μειωμένη αποθήκευση των χειμερινών βροχοπτώσεων. Σχετίζονται άμεσα με τη δασοκάλυψη και τις πλημμύρες. Σε περιοχές με περιορισμένη δασική κάλυψη ευνοείται η απορροή και, έτσι, περιορίζεται ο όγκος του νερού, ο οποίος διηθούμενος θα εμπλουτίσει τα υπόγεια νερά, την κύρια, δηλαδή, πηγή υδροδότησης των ποταμών, λιμνών, ρεμάτων και πηγών.

### Νεκρώσεις βλάστησης και αύξηση έντασης εντομολογικών και φυτοπαθολογικών προσβολών

Πολλές από τις νεκρώσεις ενήλικων δασικών δένδρων που αναφέρονται στην Ελλάδα θεωρείται ότι οφείλονται στην αυξημένη ένταση του υδατικού ελλείμματος της θερινής περιόδου και στη μειωμένη αποθήκευση νερού στο ριζόστρωμα την άνοιξη, σε συνδυασμό με την αύξηση της υδατοκαταπόνησης τα τελευταία χρόνια (λόγω έλλειψης βροχοπτώσεων ή αύξησης της εξατμισοδιαπνοής). Το φαινόμενο παρουσιάζεται εντονότερα στα ξηροθερμοόρια, αλλά είναι εμφανές και βαθύτερα μέσα στο δάσος.

Εκτεταμένες περιόδους με μειωμένη διαθεσιμότητα νερού ή διαδοχικά έτη με μειωμένες βροχοπτώσεις, οδηγούν σε μείωση της ανθεκτικότητας των οικοσυστημάτων σε φυτοπαθολογικές και εντομολογικές προσβολές, αυξάνοντας τις νεκρώσεις και απώλειες ατόμων ή ακόμα και πληθυσμών (Οικονόμου κ.ά. 2004, Economidou et al. 2007).

### **Περιορισμοί εκτάσεων δασικής φυτοκάλυψης**

Οι ξηρότερες συνθήκες στα όρια των δασών προκαλούν περιορισμό των δασικών εκτάσεων και τάσεις «αναρρίχησης» των οικοσυστημάτων σε βιοθέσεις μεγαλύτερων υψομέτρων και γεωγραφικά βορειότερων, όπου επικρατούν ευνοϊκότερες υδατικές και θερμοκρασιακές συνθήκες. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ο αυξημένος ανταγωνισμός, που οδηγεί σε περιορισμό ή και εκτοπισμό φυτικών ειδών, εντείνοντας τον κίνδυνο εξαφάνισης κυρίως αλπικών ειδών, με βιοθέσεις στις κορυφές των βουνών και μειωμένη προσαρμοστικότητα.

### **Διαφοροποιήσεις στη διάρκεια των φαινολογικών σταδίων και στην εξέλιξη της οικολογικής διαδοχής**

Υπό την επίδραση των κλιματικών μεταβολών, τα δασικά οικοσυστήματα και, κυρίως, τα μεσογειακά, αναπτύσσονται σε δυσμενέστερα περιβάλλοντα σε σχέση με παλαιότερα, με ξηρότερα και θερμότερα καλοκαίρια και πιο κρύους χειμώνες. Σε συνδυασμό, μάλιστα, με τη μείωση της δασοκάλυψης από ανθρωπογενείς παράγοντες, μπορεί να προκληθεί διαφοροποίηση των φαινολογικών σταδίων των φυτικών ειδών, με πρόωρη έναρξη της βλαστικής περιόδου την άνοιξη, καθυστέρηση στη λήξη και μεγέθυνση της διάρκειάς της. Σε μακροχρόνια κλίμακα, η διαφορετική φαινολογική συμπεριφορά των φυτών, σε συνδυασμό με τους υδατικούς περιορισμούς το καλοκαίρι και ακραίες θερμοκρασιακές μεταβολές, είναι δυνατό να προκαλέσει αλλοιώσεις στην υφιστάμενη σύσταση των φυτοκοινωνιών. Οι αλλαγές αυτές αφορούν ακόμα και τον πιο προστατευμένο δασικό υπόροφο, αφού η πρόωγη βλαστική ανάπτυξη των δένδρων είναι δυνατό να μειώσει την ποσότητα του ηλιακού φωτός στο δασικό έδαφος και, έτσι, τα ποώδη είδη να μην προλαβαίνουν να ολοκληρώσουν το βιολογικό τους κύκλο και να αντικαθίστανται με είδη βραχύτερου κύκλου. Πρόσθετα, ο περιορισμός του διαθέσιμου νερού μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του ανταγωνισμού και, τελικά, αντικατάσταση των φυτικών ειδών από άλλα, λιγότερο υδατοαπαιτητικά.

## **Παρεμβάσεις και διαχειριστικά μέτρα**

Το αποτέλεσμα ελλιπούς υδατικής διαχείρισης προκαλεί καταπονήσεις στα μεσογειακά φυσικά οικοσυστήματα. Ο σχεδιασμός και η λήψη μέτρων διαχείρισης του νερού, ιδιαίτερα σε υποβαθμισμένα δάση και δασικές εκτάσεις, καθίστανται επιβεβλημένες ενέργειες για να εξασφαλιστεί η επιβίωση και η αειφορία τους. Γενικά, τα μέτρα πρέπει να αποσκοπούν στην αύξηση του χρόνου παραμονής του νετρίσιμου νερού μέσα στο δάσος, με επιμέρους στόχευση: στον περιορισμό της επιφανειακής απορροής, στη διαχείριση πλημμυρικών φαινομένων, στην αύξηση της διαθεσιμότητας νερού την καλοκαιρινή περίοδο με αύξηση της ποσότητας διηθημένου νερού και βελτίωση της ικανότητας υδατοσυγκράτησης των εδαφών, και στην αύξηση του υδάτινου όγκου των υπόγειων υδροφόρων.

### **Έργα δασικής υδρονομίας (αντιδιαβρωτικά-αντιπλημμυρικά)**

Η κατασκευή μικρών φραγμάτων μέσα στο δάσος ευνοεί τη φυσική τροφοδότηση των υπόγειων νερών, καθώς και τον περιορισμό της επιφανειακής απορροής, η οποία προκαλεί μεγάλες διαβρώσεις. Στην περίπτωση των δασικών εκτάσεων με περιορισμένη φυτοκάλυψη, όπως συμβαίνει μετά από πυρκαγιά, η συγκράτηση του εδάφους έχει πρωταρχική σημασία για την εξασφάλιση της ομαλής πορείας της αποκατάστασης και τη θωράκιση του οικοσυστήματος από επιπλέον υποβάθμιση. Σε τέτοιες περιπτώσεις συνίσταται η κατασκευή κορμοφραγμάτων και κλαδοπλεγμάτων, η εγκατάσταση υφασμάτινων πλεγμάτων, η τοποθέτηση συρμάτινων λιθοκιβωτίων και η κατασκευή ξηρολιθίων κάθετα στις γραμμές ροής, ώστε να συγκρατηθούν τα παρασυρόμενα από το νερό εδαφοτεμαχίδια. Η κατασκευή τους θα πρέπει να περιορίζεται σε επικλινείς θέσεις με χαλαρά εδάφη και να γίνεται μόνο και εφόσον κρίνεται απαραίτητο από εξειδικευμένους επιστήμονες, οι οποίοι και θα καθορίσουν τις προδιαγραφές κατασκευής σε κάθε περίπτωση.

### **Αναδασώσεις-φυτεύσεις-εγκατάσταση χορτοτάπητα**

Η ενίσχυση της βλάστησης κατά θέσεις σε καταπονημένα οικοσυστήματα, με φυτεύσεις εγκλιματισμένων φυτικών ειδών σε κατάλληλες θέσεις, ανάλογα με τις υδατικές τους ανάγκες, είναι ένα ακόμα μέτρο που έμμεσα ευνοεί την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνει η πυκνότητα της βλάστησης και η δασοκάλυψη της περιοχής, ενώ τα φυτευθέντα εί-

δη σε υδατικά διαφοροποιημένες θέσεις επιτυγχάνουν μέγιστους ρυθμούς ανάπτυξης και αυξημένες πιθανότητες επιβίωσης, αξιοποιώντας καλύτερα το διαθέσιμο νερό.

Στα άμεσα μέτρα προστασίας του εδάφους από διάβρωση και πλημμύρες εντάσσεται και η εγκατάσταση χορτοτάπητα, με σκοπό την ανακοπή της ταχύτητας πρόσπτωσης των σταγόνων της βροχής. Έτσι, αποφεύγεται το σπάσιμο των εδαφικών συσσωματωμάτων και ο σχηματισμός κρούστας στην επιφάνεια, που ευνοεί την απορροή. Ταυτόχρονα, αναστέλλονται οι αρνητικές επιδράσεις του ανέμου, του ήλιου και της θερμοκρασίας, που σε γυμνά έδαφη δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες αποσταθεροποίησής τους. Τέτοιες τεχνικές έχουν ευρεία εφαρμογή τα τελευταία χρόνια, με την υδροσπορά γυμνών από βλάστηση επιφανειών, ακόμα και με μεγάλες κλίσεις, όπου εκεί, συμπληρωματικά, τα έδαφη πριν υδροσπαρούν καλύπτονται με γεωϋφασμα. Μέσω τέτοιων μέτρων, το έδαφος προστατεύεται από την αιολική και υδατική διάβρωση, αυξάνεται η υδατοαποθήκευση, και το επιφανειακό έδαφος διατηρεί τη γονιμότητά του, ώστε να επιταχυνθεί η εξελικτική διαδικασία διαδοχής και να σχηματιστεί ένα αναπτυσσόμενο δασικό οικοσύστημα.

### Εφαρμογή ενισχυτικών αρδεύσεων

Ο σημαντικότερος παράγοντας καταπόνησης των μεσογειακών οικοσυστημάτων είναι η περιορισμένη υδατοδιαθεσιμότητα την καλοκαιρινή περίοδο, με το φαινόμενο να εντείνεται τα τελευταία χρόνια, εξαιτίας της μεταβολής των κλιματικών συνθηκών. Έτσι, στη δασική διαχείριση θα πρέπει να ενταχθούν πρόσθετα μέτρα με στόχο τη βελτίωση του υδατικού δυναμικού το καλοκαίρι, οπότε παρατηρούνται και τα εντονότερα υδατικά ελλείμματα. Τέτοια μέτρα θα πρέπει να αυξάνουν τις υδατικές εισροές και να βελτιώνουν την υδατοσυγκράτηση και την υδατοϊκανότητα των δασικών εδαφών. Η εφαρμογή νερού, ακόμα και με τη μορφή υγρών αποβλήτων, μέσω ενισχυτικών καλοκαιρινών αρδεύσεων, έχει αρχίσει να εφαρμόζεται σε πολλές περιοχές του κόσμου, προκειμένου να εξασφαλιστεί η επιβίωση των φυσικών οικοσυστημάτων. Μάλιστα, η εφαρμογή επεξεργασμένων αποβλήτων, ακόμα και στερεών, εκτός από την κάλυψη των υδατικών-θρεπτικών αναγκών των δασικών φυτών και τη βελτίωση των υδραυλικών ιδιοτήτων του εδάφους, επιλύει σε σημαντικό βαθμό και το οξύ πρόβλημα της διάθεσής τους. Η χρήση ιδιαίτερα σε ερημικές και ημερημικές περιοχές ή σε περιαστικά και αστικά δάση που δέχονται αυξημένες περιβαλλοντικές καταπονήσεις, μπορεί να ενισχύσει, πέρα των άλλων, την ανεμοπροστασία και να βελτιώσει

τις θερμοκρασιακές συνθήκες και τη σκίαση, δημιουργώντας, ταυτόχρονα, καλύτερες συνθήκες διαβίωσης του ντόπιου ανθρώπινου πληθυσμού.

Παρόλα αυτά, ανάλογα μέτρα θα πρέπει να εφαρμόζονται με μεγάλη προσοχή και υπό αυστηρούς περιορισμούς, ώστε να μη δημιουργούνται νέα, μακροχρόνια και δυσεπίλυτα περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως αλατώσεις εδαφών, υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων ή ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων νερών.

### Δασική προστασία και διαχείριση

Η δασοπροστασία είναι, ίσως, το σημαντικότερο μέτρο διασφάλισης του σπουδαίου ρόλου του δάσους στη διαχείριση των υδατικών πόρων, δεδομένου ότι μετά από μια πυρκαγιά ή από ανεξέλεγκτη υλοτομία, και μέχρι την αποκατάσταση του οικοσυστήματος, το υδατικό ισοζύγιο διαταράσσεται έντονα και μεγάλες ποσότητες νερού χάνονται αναξιοποίητες, συχνά προκαλώντας μεγάλες καταστροφές. Άλλωστε, από όσα ήδη αναφέρθηκαν, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι καλύτερη αξιοποίηση του νερού μπορεί να γίνει από το ίδιο το δάσος, με μόνες ανθρώπινες παρεμβάσεις αυτές που θα στοχεύουν στην προστασία του.

### Συμπεράσματα

Μέσα από ένα εκτεταμένο δίκτυο διαδρομών, το νερό των βροχών που φτάνει στο δάσος χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των αναγκών του ίδιου αλλά και των οικοσυστημάτων που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή του. Η αυξημένη δασοκάλυψη ευνοεί την αξιοποίηση του νερού, ενώ ο περιορισμός της εντείνει την απορροή. Το δάσος αποτελεί έναν άρτιο διαχειριστή νερού, όμως η υποβάθμισή του δημιουργεί πλήθος περιβαλλοντικών και υδρολογικών προβλημάτων, επιτάσσοντας τη λήψη μέτρων από τον άνθρωπο, προκειμένου να αμβλυνθούν οι επιπτώσεις τους. Πλημμυρικά φαινόμενα, διάβρωση, ερημοποίηση, περιορισμένη αναπλήρωση του υπόγειου νερού, αύξηση του κινδύνου πυρκαγιών και αύξηση των εντομολογικών προσβολών και φυτοασθενειών, είναι προβλήματα που οφείλονται στην ελλειπή υδατική διαχείριση στα καταπονημένα, από τον άνθρωπο, δασικά οικοσυστήματα. Τα μέτρα για την αμβλυνση των προβλημάτων πρέπει να είναι ήπια και ενισχυτικά του ρόλου του δάσους, στοχεύοντας στον περιορισμό της επιφανειακής απορροής, στη διαχείριση πλημμυρικών φαινομένων, στην αύξηση της υδατοδιαθεσιμότητας για τη βλάστηση και στη βελτίωση της ικανότητας υδατοσυγκράτησης των δασικών εδαφών. Βέβαια, κύριος σκοπός όλων των ανθρώπινων παρεμβάσεων

πρέπει να είναι η γρήγορη αποκατάσταση του δάσους, στις περιπτώσεις που εξαιτίας του ανθρώπου έχει υποβαθμιστεί, ώστε να μπορέσει να επιτελέσει τον πολύπλοκο, σημαντικό και, πολλές φορές, αναντικατάστατο υδρολογικό του ρόλο.

## Βιβλιογραφία

### Α. Ελληνική

Κωτούλας, Δ. 2001. Υδρολογία και Υδραυλική Φυσικού Περιβάλλοντος. Τμήμα Εκδόσεων ΑΠΘ. Θεσσαλονίκη.

Μπαλούτσος, Γ., Α. Οικονόμου, και Κ. Καούκης. 2001. Ο κίνδυνος πλημμύρας σε λεκάνες απορροής μετά από πυρκαγιά: Ανάλυση του προβλήματος και άμεσα μέτρα μείωσης των επιπτώσεων. Σελ. 79-104 στο: Πρακτικά της διημερίδας του Υπουργείου Εσωτερικών με θέμα Αποκατάσταση καμένων εκτάσεων. 13-14 Δεκεμβρίου 2001. Αθήνα.

Μπαλούτσος, Γ., Αθ. Μπουρλέτσικας, και Κ. Καούκης. 2004. Υδατοσυγκράτηση, διαπερώσα βροχή και κορμοαπορροή με συνθήκες ομιχλοβροχής σε συστάδα οξιάς της ΒΑ Όσσας. Δασική Έρευνα 17:55-72.

Μπαλούτσος, Γ., Αθ. Μπουρλέτσικας, και Κ. Καούκης. 2005. Μελέτη και διερεύνηση χαρακτηριστικών ομιχλοβροχής στο ελατοδάσος Αγίου Νικολάου Ευρυτανίας. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, Σειρά II, 16:34-45.

Οικονόμου, Α., Π. Μιχόπουλος, Ασ. Σκουτέρη, και Α. Μπουρλέτσικας. 2004. 1988-2002: 15 χρόνια παρακολούθησης της φυτοϋγειονομικής κατάστασης των ελληνικών δασών. Δασική Έρευνα 17:99-110.

Προύτσος, Ν. 2010. Μικρομετεωρολογία και διαθεσιμότητα νερού φυλλοβόλου δάσους. Διδακτορική Διατριβή. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Προύτσος, Ν., Κ. Τσαγκάρη, Γ. Καρέτσος, Σ. Αλεξανδρής, και Α. Λιακατάς. 2006. Χρήση δεικτών για τη μελέτη επίδρασης του κλίματος στην ανάπτυξη της βλάστησης στον Ελλαδικό χώρο. Σελ. 94-102 στο Πρακτικά 8ου Συνεδρίου Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, 24-26 Μαΐου 2006, Αθήνα.

Προύτσος, Ν., Κ. Τσαγκάρη, Γ. Καρέτσος, Σ. Αλεξανδρής, Α. Λιακατάς, και Θ. Κρητικός. 2008. Διαχρονική και υψομετρική μεταβολής της διαθεσιμότητας νερού για την ανάπτυξη βλάστησης στον Ελληνικό χώρο. Σελ. 945-952 στο Πρακτικά 9ου Συνεδρίου Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, 28 Απριλίου - 1 Μαΐου 2008, Θεσσαλονίκη.

### Β. Ξενόγλωσση

Azevedo, J., and D.L. Morgan. 1974. Fog precipitation in coastal California forests. *Ecology* 55: 1135-1141.

Baldocchi, D.D., B.E. Law, and P.M. Anthoni. 2000. On measuring and modeling energy fluxes above the floor of a homogeneous and heterogeneous conifer forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 102:187-206.

Baloutsos, G., A. Bourletsikas, and E. Baltas. 2010. Interception, throughfall and stemflow of maquis vegetation in Greece. *WSEAS Transactions on Environment and Development* 6:21-32.

Baumgartner, A., and E. Reichel. 1975. *The world water balance*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam and New York.

Biron, P. 1994. *Le cycle de l'eau en forêt de moyenne montagne: flux de sève et bilans hydriques stationnels (Bassin versant du Strengbach á Audure Hautes Vosges)*. PhD dissertation, Louis Pasteur University, Strasbourg.

Black, T.A., R.L. Flemming, R.J. Stathers, and K.K.S. Chan. 1987. Site preparation and planting procedures to minimize seedling water and temperature stress in backlog areas in the southern interior. *British Columbia Ministry of Forests, Victoria, British Columbia*.

Blas, M., M. Sobik, F. Quiel, and P. Netzel. 2002. Temporal and spatial variations of fog in the Western Sudety Mts, Poland. *Atmospheric Research* 64:19-28.

Bulavko, A.G. 1971. *Vodny balans rechnykh vodosborov (Water balance of river basins)*. Gidrometeoizdat, Leningrad (in Russian).

Calder, I.R., M.D. Newson, and P.D. Walsh. 1982. The application of catchment lysimeter and hydrometeorological studies of coniferous afforestation in Britain to land use planning and water management. Pages 853-863 in *Proceedings of Symposium on Hydrological Research Basins and their use in water resources planning*, 21-23 September 1982, Bern.

Callegari G., E. Ferrari, G. Garfi, F. Iovino, and A. Veltri. 2003. Impact of thinning on the water balance in a Mediterranean environment. *Forestry Chronicle* 72:301-306.

Childs, S.W., and L.E. Flint. 1987. Effect of shade-cards, shelterwoods and clearcuts on temperature and moisture environments. *Forest Ecology Management* 18:205-217.

Draaijers, G.P.J., and J.W. Erisman. 1993. Atmospheric deposition to forest stands: Throughfall es-

- timates compared to estimates from inference. *Atmospheric Environment* 27A:43-51.
- Duwig, C. 1994. Elément de modélisation de l'interception des pluies par quatre espèces d'arbres de type méditerranéen. DEA Mécanique des Milieux Géophysiques et Environnement. UJF, CEMA-GREF, Aix-en-Provence, France.
- Economou, A., P. Michopoulos, M. Voulala, and A. Bourletsikas. 2007. Defoliation of Fir on an Intensive Monitored Plot in Central Greece. *Fresenius Environmental Bulletin* 16:770-775.
- Elias, V., M. Tesar, and B. Moldan. 1990. Cloud and fog water deposition as a process affecting water balance and chemistry. Pages 221-227 in L. Molnar, editor. *Hydrology of Mountainous Areas*. IAHS Publication No 190.
- FAO. 1962. *Forest influences: an introduction to ecological forestry*. FAO Forestry Series No. 9. Rome.
- FAO. 1978. Municipal recycling in forest ecosystems. In *Proceedings of the 8th World Forestry Congress*, Jakarta. Rome.
- Flint, L.E., and S.W. Childs. 1987. Effect of shading, mulching and vegetation control on Douglas-fir seedling growth and soil water supply. *Forest Ecology Management* 18:189-203.
- Germane, P.F. 1994. Do forests control runoff? *Beiträge zur Hydrologie der Schweiz* 35:105-110.
- GNCCD. 2002. Second national report of Greece on the implementation of the United Nation convention to combat desertification. Greek National Committee for Combating Desertification (GNCCD) - UN Convention to Combat Desertification (UNCCD). (Available from <http://www.uncd.int/cop/reports/developed/2002/greece-eng.pdf>, accessed on November 2011).
- Grésillon, J.M. 1994. Contribution à l'étude de la formation des écoulements de crue sur les petite bassins versants. Approches numériques et expérimentales 3 différentes échelles. Diplôme d'habilitation 3 diriger des recherches. Laboratoire des Transferts en Hydrologie et en Environnement. Joseph Fourier University, Grenoble, France.
- Hernandez, L.M. 1977. Las riberas del Rio Cinca en Monzón (Huesca). *Montes* (1977):243-247.
- Idzon, P.E. 1980. Les i vodnye resursy (Forest and water resources). *Lesnaya promyshlennost*, Moscow (in Russian).
- Ingraham, N.L., and R.A. Matthews. 1988. Fog drip as a source of groundwater recharge in Northern Kenya. *Water Resources Research* 24:1406-1410.
- Institute of Hydrology. 1976. Water balance of the headwater in catchments of the Wye and Severn, 1970-1975. Report No. 33, Institute of Hydrology, UK.
- IPCC. 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of the Working Group 1 to the third Assessment report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jolly, W.M., R. Nemani, and S.W. Running. 2005. A generalized, bioclimatic index to predict foliar phenology in response to climate. *Global Change Biology* 11:619-632.
- Keel, S. 1987. The ephemeral lomas of Perou. *Nature Conservancy Magazine* 37:16-20.
- Kelliher, F.M., J. Lloyd, A. Arneth, J.N. Byers, T.M. McSeveny, I. Milukova, S. Grigoriev, M. Panfyorov, A. Sogatchev, A. Varlargin, W. Ziegler, G. Bauer, and E.D. Schulze. 1998. Evaporation from a central Siberian pine forest. *Journal of Hydrology* 205:279-296.
- Kerfoot, O. 1968. Mist precipitation on vegetation. *Forestry Abstracts* 29:8-20.
- Kiely, G. 1998. *Environmental engineering*. McGraw-Hill international editions.
- Lafleur, P.M. 1992. Energy balance and evapotranspiration from a subarctic forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 58:163-175.
- Lange, C.A., J. Matschullat, F. Zimmermann, G. Sterzik, and O. Wienhaus. 2003. Fog frequency and chemical composition of fog water – a relevant contribution to atmospheric deposition in the eastern Erzgebirge, Germany. *Atmospheric Environment* 37:3731-3739.
- Lavabre, J., D. Sempere-Torres, and F. Cernesson. 1991. Etude du comportement hydrologique d'un petit bassin versant méditerranéen après la destruction de l'écosystème forestier par un incendie. Premières analyses. *Hydrologie Continentale* 6:121-132.
- Law, F. 1956. The effect of afforestation upon the yield of water catchment areas. *British Association for Advancement of Science*, Sheffield.
- Lebedev, A.V. 1982. Cidrologicheskaya rol gornyykh lesov Sibiri (Hydrological role of Siberian mountain forests). *Nauka*, Novosibirsk (in Russian).
- Liakatas, A., N. Proutsos, and S. Alexandris. 2002. Optical properties affecting radiant energy of an Oak Forest. *Meteorological Applications* 9:433-436.
- Loewe, F. 1960. Fog precipitation (A review). Australia Bureau of Meteorology, Seminar on Rain, August 1960, Session 2, paper 3. Sydney.

- Meunier, M. 1996. Forest cover and flood water in small mountain watersheds. *Unasylva* (FAO) 47(185):29-37.
- Meunier, M., N. Mathys, and J.P. Cambon. 1995. Panorama synthétique des mesures d'érosion effectuées sur trois bassins du site expérimental de Draix. Compte rendu de recherches No. 3. BVRE de Draix. Série Etudes No. 21. Département Equipements pour l'Eau et l'Environnement, Draix France.
- Milly, P.C., and K.A. Dunne. 2001. Trends in evaporation and surface cooling in the Mississippi river basin. *Geophysical Research Letters* 28:1219-1222.
- Molchanov, A.A. 1973. Vlianie lesa na okruchaiushchuiu sredu (Forest effects on the environment). Nauka, Moscow (in Russian).
- Molles, M.C.Jr. 2002. Ecology, Concepts and applications. Mc Graw Hill Press.
- Navarro, A.M. 1977. El concepto de filtro vivo forestal en saneamiento. *Montes* (1977): 269-273.
- Nys, L. 1959. Remarques sur l'effet hydrologique d'une coupe à blanc. *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen* 35:81-84.
- Palmer, M. 2005. Pathways of Nutrients in the ecosystem-Pathways of Elements in Ecosystem. Available from <http://www.okstate.edu/artsce/botany/bisc3034/notes/nutrient.htm>. Oklahoma State University (accessed on January 2005).
- Perlman, H., C. Makropoulos, and D. Koutsoyianis. 2002. The water cycle, Available from <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html> (accessed on 8/3/2012).
- Pitacco, A., N. Gallinaro, and C. Giulivo. 1992. Evaluation of actual evapotranspiration of a *Quercus ilex* L. stand by the Bowen Ratio – Energy Budget method. *Vegetatio* 99 – 100:163-168.
- Pobedinsky, A.V. 1979. Vodookhrannaya i pochvozashchitnaya rol lesov (Water-protection and soil-conservation role of forests). *Lesnaya promyshlennost*, Moscow (in Russian).
- Price, J.S. 1992. Blanket bog in Newfoundland, Part 1. The occurrence and accumulation of fog-water deposits. *Journal of Hydrology* 135:87-101.
- Rakhmanov, V.V. 1981. *Lesnaya hydrologia* (Forest hydrology). Results in science and technics. *Lesovedenie i lesovodstvo*, Moscow, VINITI, vol. 3 (in Russian).
- Rauner, Ju.L. 1976. Deciduous forests. Pages 241-264 in J.L. Monteith, editor. *Vegetation and the atmosphere*, Vol. II, Case studies. Academic Press, New York.
- Schaap, M.G., and W. Bouten. 1997. Forest floor evaporation in a dense Douglas fir stand. *Journal of Hydrology* 193:97-113.
- Shiklomanov, I.A., and J.C. Rodda. 2003. *World water resources at the beginning of the 21st century*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Todisco, F., and L. Vergni. 2008. Climatic changes in central Italy and their potential effects on corn water consumption. *Agricultural and Forest Meteorology* 148:1-11.
- UNEP. 2007. *Fourth Global Environment Outlook, GEO4: Environment for development assessment report*. United Nations Environment Programme.
- UNESCO. 1978. *World water balance and water resources of the earth*. UNESCO Press, Paris.
- Vermeulen, A.T., G.P. Wyers, E.G. Romer, N.F.M. Van Leeuwen, G.P.J. Draaijers, and J.W. Erisman. 1997. Fog deposition on a coniferous forest in the Netherlands. *Atmospheric Environment* 31:375-386.
- Wrzesinsky, T., and O. Klemm. 2000. Summer-time fog chemistry at a mountainous site in central Europe. *Atmospheric Environment* 34:1487-1496.
- Xu, J., S. Haginoya, K. Saito, and K. Motoya. 2005. Surface heat balance and pan evaporation trends in eastern Asia in the period 1971-2000. *Hydrological Processes* 19:2161-2186.
- Zimmermann, L., and F. Zimmermann. 2002. Fog deposition to Norway Spruce stands at high-elevation sites in the Eastern Erzgebirge (Germany). *Journal of Hydrology* 256:166-175.