

1/2015

ISSN 1105-9478
ΤΟΜΟΣ 24 ΣΕΙΡΑ II

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ
ΘΕΜΑΤΑ

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

GEOTECHNICAL
SCIENTIFIC ISSUES

GEOTECHNICAL CHAMBER OF GREECE VOL: 24 – ISSUE II – No 1/2015



Γεωτεχνικά επιστημονικά θέματα

ΤΡΙΜΗΝΙΑΙΑ ΕΚΔΟΣΗ
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ
ΕΛΛΑΔΑΣ

Τόμος 24
Σειρά II
Τεύχος 1/2015

ΕΔΡΑ: Θεσσαλονίκη
Βενιζέλου 64. Τ.Κ. 546 31
Τ. 2310 278.817-18 F. 2310 236.308

ΙΔΙΟΚΤΗΤΗΣ
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ
ΕΛΛΑΔΑΣ

ΕΚΔΟΤΗΣ
Σπυρίδων Μάμαλης

ΣΥΝΑΚΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ
ΔΑΣΟΛΟΓΩΝ
Στ. Βέργος, Δασολόγος
Κ. Θεοδωρόπουλος, Δασολόγος
Π. Σμύρης, Δασολόγος

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΚΔΟΣΗΣ
Α. Κορωνιώτου, Γεωπόνος
Α. Βόλτσου, Γεωπόνος

ΗΛ. ΣΕΛΙΔΟΠΟΙΗΣΗ –ΕΚΤΥΠΩΣΗ
Κ. Βλιούρα
C.C. Publish – www.copycity.gr
Κ. Ν. Επισκόπου 7, Θεσσαλονίκη
Τ. 2310 203.566

ISSN 1105-9478

Geotechnical scientific issues

TRIMONTHLY EDITION
OF THE GEOTECHNICAL CHAMBER OF
GREECE

Volume 24
Issue II
Number 1/2015

Thessaloniki
64 Venizelou str., 546 31
T. 2310 278.817-18 F. 2310 236.308

OWNER
GEOTECHNICAL CHAMBER
OF GREECE

EDITOR
Spyridon Mamalis

FORESTERS' EDITORIAL
COMMITTEE
St. Vergos, Forester
K. Theodoropoulos, Forester
P. Smiris, Forester

BOOK DESIGNER
A. Koroniotou, *Agriculture Engineer*
A. Voltsou, *Agriculture Engineer*

TYPE SETTING – PRINTING
K. Vlioura
C.C. Publish – www.copycity.gr
7, K. N. Episkopou str., Thessaloniki
T. 2310 203.566

ISSN 1105-9478

1/2015

ISSN 1105-9478
ΤΟΜΟΣ 24 ΣΕΙΡΑ II

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

GEOTECHNICAL SCIENTIFIC ISSUES

CONTENTS

REVIEW PAPERS

<i>G. Baloutsos</i> <i>A. Roussos</i>	Streamflow generation mechanisms in forest watersheds and their contribution to water exploitation and to protection of the mountain natural environment	4-22
<i>T. Psilovikos</i> <i>K. Doukas</i>	Road network protection works following a Forest fire	23-33

SCIENTIFIC PAPERS

<i>G. Baloutsos,</i> <i>At. Bourletsikas,</i> <i>K. Kaoukis</i>	Water balance study and investigation of a maquis experimental watershed in central western Greece for its contribution to utilization of the natural resources of it	34-48
<i>P. Tsioras,</i> <i>M. Chavenetidou</i>	Impacts of the wood harvesting system on the quality of oak sawlogs	49-56
<i>V. Dimou</i>	Noise measurements in work areas of timber processing industries	57-64

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΥΝΘΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

<i>Γ. Μπαλούτσος</i> <i>Α. Ρούσσοσ</i>	Μηχανισμοί σχηματισμού απορροής σε δασικές λεκάνες και η συμβολή τους στην αξιοποίηση του νερού και στην προστασία του ορεινού φυσικού περιβάλλοντος	4-22
<i>Θ. Ψιλοβίκος</i> <i>Κ. Δούκας</i>	Έργα προστασίας του δασικού οδικού δικτύου μετά από πυρκαγιά	23-33

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

<i>Γ. Μπαλούτσος,</i> <i>Αθ. Μπουρλέταικας,</i> <i>Κ. Καούκης</i>	Μελέτη και διερεύνηση του υδατικού ισοζυγίου μιας υδρολογικής λεκάνης αειφύλων πλατυφύλλων της δυτικής Στερεάς Ελλάδας για τη συμβολή του στην αξιοποίηση των φυσικών της πόρων	34-48
<i>Π. Τσιώρας,</i> <i>Μ. Χαβεντιδου</i>	Απώλειες ξυλώδους όγκου και ζημιές σε κορμοτεμάχια δρυός κατά τη συγκομιδή και μετατόπιση ξύλου	49-56
<i>Β. Δήμου</i>	Μετρήσεις θορύβου στους χώρους εργασίας των βιομηχανιών κατεργασίας ξύλου	57-64

Μηχανισμοί σχηματισμού απορροής σε δασικές λεκάνες και η συμβολή τους στην αξιοποίηση του νερού και στην προστασία του ορεινού φυσικού περιβάλλοντος

Γ. Μπαλούτσος¹, Α. Ρούσσοσ²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένα από τα σημαντικότερα θέματα της δασικής υδρολογίας είναι οι μηχανισμοί σχηματισμού απορροής, δηλαδή οι φυσικές εκκείμενες διεργασίες με τις οποίες η βροχή, από τη στιγμή που καταφθάνει στην επιφάνεια του εδάφους της λεκάνης, μετασχηματίζεται σε άμεση απορροή της κοίτης του πλησιέστερου ρεύματος. Οι μηχανισμοί αυτοί άρχισαν να μελετώνται βασικά από τις αρχές της δεκαετίας του 1930 και η μελέτη τους ανά τον κόσμο συνεχίζεται μέχρι τις μέρες μας. Η σημασία τους είναι ιδιαίτερα μεγάλη και κυρίως για την αξιοποίηση του νερού και την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος των δασικών και γενικότερα των ορεινών υδρολογικών λεκανών. Στο υπόλοιπο της εργασίας προσδιορίζονται και περιγράφονται συνοπτικά οι σχετικοί τεχνικοί όροι ώστε να αποφευχθούν τυχόν ασάφειες στο θέμα των μηχανισμών σχηματισμού απορροής. Στη συνέχεια αναλύονται και συζητούνται συνοπτικά οι υποθέσεις (θεωρίες) σχηματισμού απορροής των ορεινών ρευμάτων του Horton και Hewlett. Από τη συνοπτική αυτή ανάλυση και συζήτηση των δύο υποθέσεων διαπιστώνονται οι διάφορες κατηγορίες των παραπάνω μηχανισμών, οι λεπτομέρειες μετασχηματισμού της βροχής σε απορροή των ρευμάτων, οι «μεταβλητές επιφάνειες τροφοδοσίας» της υπόθεσης Hewlett, καθώς και τα φυσικά περιβάλλοντα ισχύος καθεμιάς από τις δύο παραπάνω υποθέσεις. Μετά ακολουθούν συνοπτικά οι περιγραφές των σπουδαιότερων εφαρμογών στην πράξη των «μεταβλητών επιφανειών τροφοδοσίας» του Hewlett και αναλύονται οι τεχνικές εντοπισμού και καθορισμού των παραπάνω μεταβλητών επιφανειών στο πεδίο. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται ακόμα, και σε σχέση βέβαια με όλες τις παραπάνω πληροφορίες της εργασίας, στις κατηγορίες απορροής που εκδηλώνονται στις πλαγιές των δασικών λεκανών της Ελλάδας, και αυτές είναι κυρίως η επιφανειακή απορροή Horton και η υπεδάφια. Τέλος επισημαίνονται και συζητούνται αδρομερώς οι περιοχές της χώρας όπου κυριαρχούν οι δύο παραπάνω κατηγορίες απορροής, καθώς και εκείνες όπου ισχύει κάθε μια από τις υποθέσεις σχηματισμού απορροής του Horton και του Hewlett.

Λέξεις κλειδιά: μηχανισμοί σχηματισμού απορροής, ορεινές λεκάνες, υπόθεση Horton και Hewlett, μεταβλητές επιφάνειες τροφοδοσίας, πρακτικές εφαρμογές, λεκάνες Ελλάδας, κατηγορίες απορροής.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα χρόνια που διανύουμε, δεν θα ήταν υπερβολή να επισημανθεί πως το χρησιμότερο και σημαντικότερο προϊόν που «παράγουν» οι δασικές και γενικότερα οι ορεινές υδρολογικές λεκάνες της Ελλάδας, αλλά και κάθε άλλης χώρας με ξηροθερμικές συνθήκες, είναι το νερό. Και αυτό γιατί το συγκεκριμένο προϊόν δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών μας και κυρίως τη θερινή περίοδο, αφού η διαφορά μεταξύ προσφοράς και ζήτησης νερού είναι αρνητική και το ισοζύγιο συνεχώς επιδεινώνεται με το χρόνο. Η διεύρυνση της διαφοράς αυτής οφείλεται πρώτα στη μείωση της φυσικής προσφοράς του νερού λόγω πιθανής έναρξης της αλλαγής του κλίματος, της φυσικής μεταβλητότητας αυτού, της μείωσης της απορροής των ρευμάτων εξαιτίας της επέκτασης και πυκνώσης των δασών στα ορεινά, της άνισης κατανομής των κατακαρημνισμάτων στο χρόνο κ.λπ.

Κατά δεύτερο λόγο, η παραπάνω διαφορά οφείλεται και στην αύξηση της ζήτησης του νερού από όλους τους χρήστες του, αφού αυξάνονται συνεχώς οι ανάγκες τους για αυτό το αγαθό.

Τα παραπάνω προβλήματα κάνουν προφανώς επιτακτική την ανάγκη αναζήτησης μεθόδων και τεχνικών για καλύτερη διαχείριση και αποδοτικότερη αξιοποίηση του νερού αλλά και για την προστασία του ορεινού φυσικού περιβάλλοντος των υδρολογικών λεκανών. Για την υλοποίηση όμως αυτών των στόχων πρέπει, εκτός των άλλων προϋποθέσεων, να γνωρίζουμε και να λαμβάνουμε υπόψη και τις διαδικασίες παραγωγής του νερού στις δασικές και γενικά στις ορεινές λεκάνες ή πιο συγκεκριμένα να γνωρίζουμε τους «Μηχανισμούς Σχηματισμού της Απορροής» (ΜΣΑς) στις κοίτες των ρευμάτων τους. Αναλυτικότερα, οι έννοιες αυτές περιλαμβάνουν όλες τις φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν

¹ Δρ. Δασολόγος – Υδρολόγος, Διατελέσας Τακτικός Ερευνητής του ΕΘ.Ι.Α.Γ.Ε. Παρούσα Δ/ση: Εμ. Μπενάκη 138, 11473 Αθήνα, Τηλ. 2103300578, Κιν. 6946903659, e-mail: balgeorg@otenet.gr

² Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός «Δήμητρα», Ινστ. Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, τηλ: 6947564014, e-mail: anargyros.roussos@gmail.com

χώρα στην επιφάνεια του εδάφους, εντός αυτού ή και στα δύο μέρη του συγχρόνως, και ανάλογα με τα γεωλογικά, εδαφικά, τοπογραφικά και βλασθητικά χαρακτηριστικά της λεκάνης, μετασχηματίζουν τη βροχή και το λωμένο χιόνι, από τη στιγμή που καταφθάνουν στην επιφάνειά της, σε απορροή στην κοίτη του πλησιέστερου ρεύματος.

Οι ΜΣΑΣ ενώ έχουν μελετηθεί και αξιοποιηθεί ευρέως σε πληθώρα χωρών ανά τον κόσμο, στην Ελλάδα παρουσιάζουν σημαντική «υστέρηση» και ελάχιστες αναφορές έχουν γίνει για το θέμα αυτό. (Μπαλούτσος 1988 και 1989, Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος 1999, Bourletsikas et al. 2006).

Η γνώση και κατανόηση της λειτουργίας των μηχανισμών αυτών, όπως θα αναφερθεί και εκτενώς στη συνέχεια, είναι ιδιαίτερα χρήσιμες και σημαντικές για πολλούς και ποικίλους λόγους. Ειδικότερα συμβάλλουν, εκτός των άλλων περιπτώσεων, στην ακριβέστερη πρόβλεψη της απορροής των ρευμάτων, στην καλύτερη μελέτη και στον μετριασμό της έντασης των πλημμυρικών φαινομένων, στην αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση της διάβρωσης του εδάφους, στον καλύτερο σχεδιασμό των χρήσεων γης των λεκανών κ.λπ. (Kirkby 1969, Hewlett 1974, Dunne and Leopold 1978).

Εκτός των παραπάνω, η γνώση και κατανόηση των ΜΣΑΣ συμβάλλουν και στην εξακρίβωση του τρόπου λειτουργίας των υδρολογικών λεκανών. Η εξακρίβωση αυτή δεν θα μπορούσε βέβαια να επιτευχθεί από την εξέταση της απορροής στην κοίτη του ρεύματος και ειδικότερα από το υδρογράφημα αυτού. Και αυτό γιατί στο συγκεκριμένο «εργαλείο» εκφράζεται μόνο ο όγκος του νερού και η κατανομή του στο χρόνο και δεν υπάρχει καμία ένδειξη για τις περιοχές προέλευσης της απορροής αλλά ούτε και για τη χημική της σύσταση ή για τα «μονοπάτια» που ακολουθεί η βροχή από την επιφάνεια του εδάφους, μέχρι την κοίτη του ρεύματος. Κατά συνέπεια, οι παραπάνω μηχανισμοί πρέπει να μελετώνται στην επιφάνεια των υδρολογικών λεκανών, και όπως αναφέρθηκε, σε σχέση με όλα τα φυσικά χαρακτηριστικά αυτών, τα οποία καθορίζουν τη μορφή τους.

Η μεγάλη σημασία των ΜΣΑΣ αλλά και η πολυπλοκότητα και πολυμορφία αυτών, όπως θα αναφερθεί στη συνέχεια της εργασίας, «κέντρισαν» το ενδιαφέρον των τεχνικών που ασχολούνταν με το νερό και γενικότερα με τη διαχείριση των υδρολογικών λεκανών από τις αρχές ακόμα του 20ού αιώνα. Αναλυτικότερα, μια από τις πρώτες αναφορές για το παραπάνω θέμα θα μπορούσε να «χρωθεί» στον γνωστό Αμερικανό γεωγράφο, γεωλόγο, αλλά και θεμελιωτή της «Davisian» γεωμορφολογίας William Davis (1899), όταν έγραφε πως... αν και με

την πρώτη ματιά το ποτάμι δεν μοιάζει με την πλαγιά του, θα μπορούσε όμως –αυτό– να επεκταθεί παντού στην υδρολογική του λεκάνη και μέχρι επάνω στους υδροκρίτες της.

Χωρίς αμφιβολία όμως, οι ΜΣΑΣ και γενικότερα τα υδρολογικά, εδαφικά και γεωμορφολογικά θέματα και προβλήματα όχι μόνο κατά τις αρχές του 20ού αιώνα αλλά και κατά το πρώτο μισό αυτού, μελετήθηκαν κυρίως από τον γνωστό επίσης Αμερικανό υδραυλικό – μηχανικό, υδρολόγο και εδαφολόγο Robert Horton (1933). Ο εν λόγω ερευνητής, μεταξύ των πολύτιμων συνεισφορών του στα παραπάνω επιστημονικά πεδία, διατύπωσε και την ομώνυμη υπόθεση (θεωρία) σχηματισμού απορροής ενός ρεύματος. Η υπόθεση αυτή, όπως διαπιστώθηκε αργότερα, ισχύει για ξηρά και ημίξηρα περιβάλλοντα με μικρές γενικά ταχύτητες διήθησης του νερού στο έδαφος.

Από τις αρχές όμως της δεκαετίας του 1960, αλλά και νωρίτερα εν μέρει, οι ΜΣΑΣ των δασικών και γενικότερα των ορεινών λεκανών, μελετήθηκαν επισταμένα από τους ερευνητές του υδρολογικού Εργαστηρίου της «Coweeta» στην ΝΔ περιοχή της Βόρειας Καρολίνας των Ηνωμένων Πολιτειών (Νότια Απαλάχια Όρη) και κυρίως από το δασολόγο – υδρολόγο και καθηγητή της σχολής Δασικών Πόρων του Πανεπιστημίου της Πολιτείας της Georgia της Αμερικής John Hewlett. Ο Hewlett, μεταξύ άλλων, διατύπωσε και τη δική του επίσης ομώνυμη υπόθεση σχηματισμού απορροής ενός ρεύματος και η οποία βρίσκεται, από λειτουργικής άποψης, στο αντίθετο άκρο από εκείνη του Horton. Ειδικότερα, η υπόθεση αυτή ισχύει για δασικές και γενικά για ορεινές περιοχές με εδάφη μεγάλων ταχυτήτων διήθησης του νερού σε αυτά.

Σύμφωνα με όλα τα προαναφερθέντα, το υπόλοιπο της συνθετικής αυτής εργασίας επικεντρώνεται στον προσδιορισμό των όρων που αφορούν στους ΜΣΑΣ, στην εξέταση και συζήτηση των υποθέσεων σχηματισμού απορροής Horton και Hewlett, στην αναζήτηση των φυσικών συνθηκών ισχύος της κάθε υπόθεσης, στους τομείς εφαρμογής στην πράξη των επιφανειών τροφοδοσίας των ρευμάτων των λεκανών και στον εντοπισμό αυτών των επιφανειών στο πεδίο. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται επίσης στην εξέταση και συζήτηση των κατηγοριών απορροής και των ΜΣΑΣ που εκδηλώνονται στις πλαγιές δασικών και γενικά ορεινών υδρολογικών λεκανών της Ελλάδας.

2. ΟΡΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΟΡΩΝ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Η ορολογία στην υδρολογία των σχέσεων βροχής – απορροής αλλά και γενικότερα, είναι ένα σοβαρότατο

πρόβλημα, αφού συχνά προκαλεί σύγχυση παρά διευκόλυνση στη μεταφορά πληροφοριών και γνώσεων μεταξύ των τεχνικών που ασχολούνται με το νερό και το έδαφος (Bernier and Hewlett, 1982). Και αυτό γιατί κάποιες από τις παραμέτρους του υδρογραφήματος, αλλά και των υδρολογικών διεργασιών στις πλαγιές των λεκανών, αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία με περισσότερες της μιας ονομασίες και ορισμένες μάλιστα από αυτές, «ανήκουν» σε διαφορετικές παραμέτρους ή διεργασίες.

Επισημαίνεται ακόμα, όπως αναφέρει ο Hewlett (1982), πως ο μη σαφής προσδιορισμός των υδρολογικών όρων κατά τις προηγούμενες δεκαετίες, όταν κύρια καθήκοντα των μηχανικών-υδρολόγων ήταν κυρίως η εκτίμηση των πλημμυρών, η κατασκευή μεγάλων υδραυλικών έργων στα πεδινά των λεκανών, οι αρδεύσεις των καλλιεργειών κ.λπ., δεν είχε και μεγάλη σημασία. Σε αντίθεση όμως με τις «παλαιότερες» υδρολογικές δραστηριότητες που αναφέρθηκαν, πιστεύουμε πως σήμερα έχουν προστεθεί και «επιβληθεί» και πολλές «καινούργιες» για την αντιμετώπιση των σύγχρονων προβλημάτων αλλά και για την ικανοποίηση των αναγκών του κόσμου. Αναλυτικότερα, στις μέρες μας που δαπανώνται σημαντικότεροι οικονομικοί πόροι για τον προσδιορισμό των περιοχών των λεκανών που τροφοδοτούν την απορροή των ρευμάτων, την αντιμετώπιση της ρύπανσης αυτών, τις επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος και των χρήσεων γης των λεκανών στην απορροή τους, την προστασία του εδάφους από διάβρωση σε ευαίσθητες περιοχές των λεκανών κ.λπ., ο αυστηρός προσδιορισμός των όρων που χρησιμοποιούνται είναι οπωσδήποτε απαραίτητος και αναγκαίος.

Τονίζεται όμως πως η σχετική με τα παραπάνω θέματα ορολογία της παρούσας εργασίας, αναφέρεται σε δασικές και γενικά σε ορεινές υδρολογικές λεκάνες με ρεύματα 1ης και 2ης κυρίως τάξης, και αφορά στην κίνηση των κατακρημνισμάτων στην επιφάνεια του εδάφους αλλά και εντός αυτού, αφού η κίνησή τους στο αντίστοιχο υδρογραφικό δίκτυο «υπακούει» στους γνωστούς νόμους της υδραυλικής. Προστίθεται ακόμα πως η ορολογία και επιπλέον η συνοπτική περιγραφή των όρων που ακολουθούν, διατυπώθηκαν κυρίως με βάση τις απόψεις των υδρολόγων μετά τον Horton (1945), οι οποίοι θεμελίωσαν την υδρολογία της «Μεταβλητής Επιφάνειας Τροφοδοσίας» (METs) των ρευμάτων ή της μετακλασικής υδρολογίας, αλλά και ασχολήθηκαν εντατικά με αυτή (Hewlett 1961a, Hewlett and Hibbert 1967, Hewlett and Nutter 1970, Satterlund 1972, Dunne and Leopold 1978, Hewlett 1982, Anderson and Burt 1982, Bernier and Hewlett 1982, Kirkby 1980, Ward and Robinson 2000, Kircher 2003). Διευκρινίζεται επίσης πως οι όροι «runoff»

και «flow» καθώς και οι αντίστοιχοι ελληνικοί «απορροή» και «ροή», θεωρούνται αλλά και είναι ταυτόσημοι και στην παρούσα εργασία αποδίδονται πάντοτε ως «απορροή». Έτσι με την ορολογία και τη συνοπτική περιγραφή των όρων που ακολουθούν και πιθανόν χωρίς να έχουν διευθετηθεί όλα τα προβλήματα που αναφέρθηκαν, ελπίζουμε να αποφευχθεί κάποια σύγχυση ή ασάφεια στην ανάπτυξη και συζήτηση των ΜΣΑΣ που θα ακολουθήσουν παρακάτω. Ειδικότερα:

Επιφανειακή απορροή (Overland flow, surface runoff ή Hortonian overland flow): Είναι η απορροή που σχηματίζεται, μετά την εκ πλήρωση των υδατικών αναγκών της βλάστησης και της επιφάνειας του εδάφους, στις πλαγιές μιας υδρολογικής λεκάνης, όταν η ένταση της βροχής είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα διήθησης αυτής στο έδαφος και κατηφορίζει, χωρίς να διηθηθεί σε κανένα σημείο της πλαγιάς, μέχρι την κοίτη του πλησιέστερου ρεύματος. Οι ταχύτητες της επιφανειακής απορροής κυμαίνονται ευρύτατα στο πεδίο και από κάποιες μετρήσεις προέκυψαν οι παρακάτω τιμές: (270 m/hr, Horton 1945, 200-300 m/hr, Kirkby 1969, 127 m/hr, Hewlett and Nutter 1970, 10-500 m/hr, Dunne and Leopold 1978).

Κορεσμένη επιφανειακή απορροή (Saturated overland flow): Είναι η απορροή που σχηματίζεται από βροχή, ακόμα και με ένταση μικρότερη από την ταχύτητα διήθησης αυτής, στην πλαγιά μιας λεκάνης, όταν το έδαφος είναι κορεσμένο μέχρι την επιφάνειά του. Συνθήκες κορεσμού του εδάφους σε δασικές κυρίως λεκάνες δημιουργούνται κατά κανόνα στις χαμηλότερες θέσεις των πλαγιών τους προς την κοίτη του ρεύματος. Και αυτό συμβαίνει επειδή εκεί καταλήγει η υπεδάφια απορροή (όπως αυτή ορίζεται παρακάτω) από την ανάντη ακόρεστη ζώνη του εδάφους και συντελεί, όταν συναντήσει στα κατάντη την υπόγεια κορεσμένη ζώνη, στην ανύψωση του φρεάτιου ορίζοντα αυτής μέχρι την επιφάνεια του εδάφους. Εκεί εκδηλώνεται στη συνέχεια κορεσμένη επιφανειακή απορροή τόσο από την υπεδάφια απορροή όσο και από βροχή οποιασδήποτε έντασης, και η οποία καταλήγει τελικά στην κοίτη του ρεύματος.

Διευκρινίζεται όμως πως από τις δύο συνιστώσες της παραπάνω κορεσμένης επιφανειακής απορροής (υπεδάφιας απορροής και βροχής), η πρώτη καλείται και επιστροφόμενη απορροή (*return flow*) επειδή προφανώς «επιστρέφει» από το εσωτερικό του εδάφους στην επιφάνειά του. Προστίθεται ακόμα πως συνθήκες κορεσμού του εδάφους δημιουργούνται και σε οποιαδήποτε άλλη θέση της πλαγιάς όταν στο εσωτερικό του εδάφους και σε μικρό βάθος από την επιφάνειά του, υπάρχει αδιαπέραστο επίπεδο (π.χ. ένας Β ορίζοντας με μεγάλη περιεκτικότητα αργίλου). Στην περίπτωση

αυτή ο «υπερυψωμένος» φρεάτιος ορίζοντας υπεράνω της αργίλου (*perched water table*) ανέρχεται βαθμιαία από την διηθούμενη βροχή μέχρι την επιφάνεια του εδάφους και έτσι δημιουργείται και εκεί κορεσμένη επιφανειακή απορροή από τη συνεχιζόμενη πτώση της βροχής. Διευκρινίζεται επίσης πως υπό την ευρεία έννοια του παραπάνω όρου, κορεσμένη επιφανειακή απορροή δημιουργείται και από τα κατακρημνίσματα που καταλήγουν στην υγρή επιφάνεια της κοίτης ενός ρεύματος.

Υπεδάφια ή υποδερμική απορροή (*Throughflow, subsurface flow, interflow ή lateral flow*): Είναι η απορροή που σχηματίζεται εντός του εδάφους μιας πλαγιάς της λεκάνης από τη διαφορά της βροχής που διηθείται και του μέρους αυτής που συγκρατείται από τη μάζα του, και η οποία στη συνέχεια κινείται πλάγια και υψηλότερα του φρεάτιου ορίζοντα δια μέσου των ακόρεστων ή και κορεσμένων οριζόντων του εδάφους, προς την κοίτη του ρεύματος. Η υπεδάφια απορροή κινείται ταχύτερα στους ανώτερους οριζόντες του εδάφους (Α και Β), οι οποίοι παρουσιάζουν μεγαλύτερη υδραυλική αγωγιμότητα σε διεύθυνση παράλληλη προς την επιφάνεια του εδάφους παρά προς την κατακόρυφη. Η κίνηση λαμβάνει χώρα κυρίως στο επίπεδο διαχωρισμού των οριζόντων του, στους μακροπόρους του και στην διεπιφάνεια του μητρικού πετρώματος και του εδάφους. Οι ταχύτητες της υπεδάφιας απορροής που μετρήθηκαν στη μάζα του εδάφους χωρίς μακροπόρους ανήλθαν σε 45-46 cm/hr (Dunne and Leopold 1978) και δια μέσου των μακροπόρων του σε 6,1-75,6 m/hr (Mosley 1979, 1982). Με τέτοιες ταχύτητες επιτυγχάνεται ταχεία σχετικά άφιξη της υπεδάφιας απορροής στις χαμηλότερες θέσεις της πλαγιάς προς την κοίτη του ρεύματος όπου μετατρέπεται σε κορεσμένη επιφανειακή απορροή με τις διεργασίες που αναφέρθηκαν στον προηγούμενο ορισμό και συμβάλλει έτσι στην άμεση απορροή του ρεύματος (όπως αυτή ορίζεται παρακάτω). Προστίθεται ακόμα πως η υπεδάφια απορροή, λόγω της μεγάλης της σχετικά ταχύτητας εντός του εδάφους κατά τη διάρκεια της βροχής και κυρίως δια μέσου των μακροπόρων του και της συμβολής της έτσι στην άμεση απορροή του ρεύματος, καλείται συχνά και **υπεδάφια πλημμυρική απορροή** (*sub-surface stormflow*).

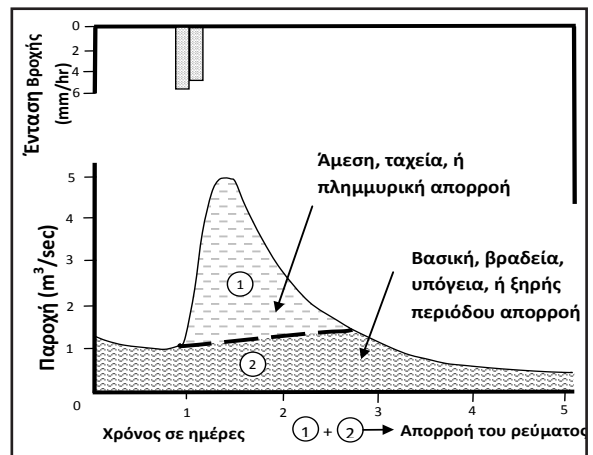
Εκτοπιζόμενη απορροή (*Translatory, displaceable ή piston flow*): Είναι η απορροή που προέρχεται από τον όγκο του νερού που συγκρατείται από τη μάζα του εδάφους μετά το σταμάτημα μιας βροχής, σε περιεκτικότητες ίσες ή και μεγαλύτερες της υδατοϊκανότητας (παλιό νερό) και το οποίο στη συνέχεια εκτοπιζόμενο από τη σχετικά ταχέως κινούμενη υπεδάφια απορροή μιας νέας βροχής (νέο νερό), καταφθάνει σύντομα στις χαμηλότερες θέσεις των πλαγιών της λεκάνης όπου δημιουργείται, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, εκτεταμένη

κορεσμένη επιφανειακή απορροή και συμβάλλει έτσι στην άμεση απορροή του ρεύματος (Hewlett and Hibbert 1967). Επισημαίνεται όμως πως οι μηχανισμοί με τους οποίους οι λεκάνες συγκρατούν το νερό για μεγάλες χρονικές περιόδους και μετά το αποδεσμεύουν τάχιιστα σε περιόδους νέων επεισοδίων βροχής ως εκτοπιζόμενη απορροή, δεν έχουν ακόμα κατανοηθεί επαρκώς. (Pearce et al. 1986, Kirchner 2003)

Απορροή ρεύματος (*Runoff ή streamflow*): Απορροή οποιουδήποτε μεγέθους ρεύματος είναι το νερό που διέρχεται, λόγω της βαρύτητας, επιφανειακά από οποιαδήποτε διατομή της φυσικής του κοίτης (Σχήμα 1, ①+②).

Άμεση, ταχεία ή πλημμυρική απορροή (*Direct, quick ή storm runoff*): Είναι η συνιστώσα εκείνη της απορροής του ρεύματος που συγκροτείται από επιφανειακή απορροή (Hortonian και κορεσμένη), καθώς και από υπεδάφια απορροή των πλαγιών της λεκάνης και οι οποίες καταφθάνουν σχετικά σύντομα στην κοίτη του και δημιουργούν υψηλές (πλημμυρικές) παροχές (Σχήμα 1, τμήμα ①). Διευκρινίζεται όμως πως ένα μικρό μέρος της απορροής αυτής αποτελείται προφανώς και από κατ' ευθείαν πτώση κατακρημνισμάτων στην υγρή επιφάνεια της κοίτης του. Τέλος προστίθεται πως η άμεση απορροή του ρεύματος στην περίοδο της διήθησης του Horton (1933), χαρακτηρίζονταν ως επιφανειακή απορροή, επειδή θεωρούνταν ότι προέρχονταν αποκλειστικά από την ομόνυμη κατηγορία απορροής των πλαγιών της λεκάνης.

Βασική, βραδεία, υπόγεια ή ξηρής περιόδου απορροή (*Base, delayed, groundwater ή dry weather runoff*): Είναι η συνιστώσα εκείνη της απορροής του ρεύματος που τροφοδοτείται βραδέως από το νερό των



Σχήμα 1. Οι κύριες συνιστώσες του υδρογραφήματος μιας υποθετικής λεκάνης.

Figure 1. The main components of the hydrograph of a hypothetical watershed.

υπόγειων υδροφορέων της λεκάνης (Σχήμα 1, τμήμα ②). Αναλυτικότερα το νερό αυτό, όταν ανυψώνεται ο φρεάτιος οριζοντας από την τροφοδοσία της βροχής που διεισδύει μέχρι τους υπόγειους υδροφορείς, ρέει πλευρικά εντός του εδάφους και καταλήγει στην κοίτη του ευρισκόμενου στη διαδρομή του επιφανειακού ρεύματος. Προστίθεται ακόμα πως η βασική απορροή ενός ρεύματος είναι το «παλαιότερο» νερό που «παράγει» η λεκάνη μετά το σταμάτημα της βροχής ή το λιώσιμο του χιονιού.

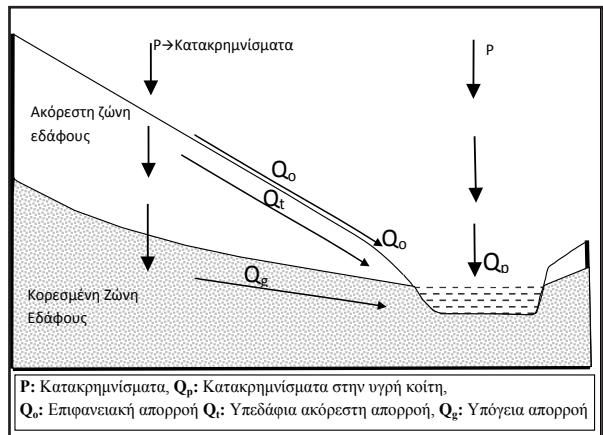
3. ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΕΝΟΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Αν και ολόκληρος ο όγκος της απορροής ενός ρεύματος προέρχεται από τα κατακρημνίσματα, αυτά καταφθάνουν στην κοίτη του ακολουθώντας τέσσερις διαφορετικές διαδρομές. Αυτές απεικονίζονται στο Σχήμα 2 και είναι: 1) Η διαδρομή της κατευθείαν πτώσης των κατακρημνισμάτων στην υγρή επιφάνεια της κοίτης του ρεύματος 2) η διαδρομή της επιφανειακής απορροής, 3) εκείνη της υπεδάφιας απορροής και 4) η διαδρομή της υπόγειας απορροής. Από τις διαδρομές αυτές η πρώτη είναι εύκολα κατανοητή, ενώ οι τρεις άλλες έχουν προσδιορισθεί και περιγράφει συνοπτικά στο προηγούμενο υποκεφάλαιο.

Η πλήρης όμως κατανόηση της απόκρισης του ρεύματος μιας λεκάνης στα κατακρημνίσματα των τεσσάρων παραπάνω διαδρομών, απαιτεί όπως αναφέρθηκε, την κατανόηση και των μηχανισμών μετατροπής αυτών σε απορροή του ρεύματος, από τη στιγμή που φθάνουν στην επιφάνεια του εδάφους της λεκάνης. Η μελέτη λειτουργίας των μηχανισμών αυτών επιχειρήθηκε στο παρελθόν από διάφορους υδρολόγους και, όπως τονίστηκε στην εισαγωγή της εργασίας, επισταμένα από τον Horton και Hewlett. Για το λόγο αυτό παρακάτω γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση και συζήτηση της συνεισφοράς των δύο αυτών ξεχωριστών ερευνητών στους συγκεκριμένους μηχανισμούς σχηματισμού απορροής και στο επιστημονικό πεδίο της υδρολογίας γενικότερα.

4. ΥΠΟΘΕΣΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΑΠΟΡΡΟΗΣ HORTON

Ο Horton δημοσίευσε την υπόθεση σχηματισμού απορροής ενός ρεύματος με βάση την θεωρία διήθησης της βροχής (infiltration) σε ένα κεκλιμένο και διαπερατό έδαφος, το 1933. Αναλυτικότερα, στην υπόθεση αυτή αναγνώρισε από την αρχή μια μέγιστη και μια ελάχιστη ταχύτητα διήθησης του νερού στο έδαφος (infiltration capacity και infiltration rate, αντίστοιχα). Η μέγιστη τιμή της διήθησης παρατηρείται στην αρχή της βροχής και στη συνέχεια ελαττώνεται, πρώτα γρήγορα και μετά



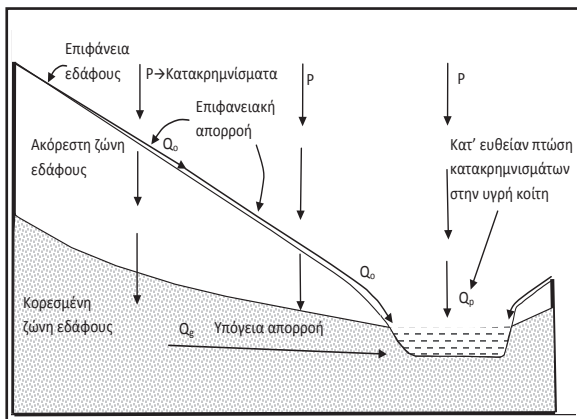
Σχήμα 2. Οι διαδρομές της βροχής κατά το σχηματισμό της απορροής ενός ρεύματος.

Figure 2. Flowpaths of the sources of streamflow.

βαθμιαία, μέχρι να φθάσει τελικά σε μία ελάχιστη και σχεδόν σταθερή τιμή, για κάθε τύπο εδάφους.

Με βάση τις παραπάνω διεργασίες, κεντρικό μέρος της υπόθεσης σχηματισμού απορροής του Horton ήταν η άποψη πως το έδαφος δρα σαν μια διάτρητη διαχωριστική επιφάνεια, ή σαν ένα «συρρωτήρι» όπως την περιέγραψε αργότερα ο Chorley (1980) και διαχωρίζει τη βροχή που φθάνει στην επιφάνειά του σε δύο κύριες συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου. Αντίθετα ο Horton «παρομοίασε» περιγραφικά τη διήθηση της βροχής στο έδαφος με το πέρασμα του νερού ενός ποταμού από το φράγμα εκτροπής του προς την πόρτα του αγωγού μεταφοράς του (head-gate) και η οποία ανοίγει μόνο μέχρι ενός ορισμένου ορίου. Κατά συνέπεια, όπως από την πόρτα του αγωγού μεταφοράς παροχετεύεται μόνο ορισμένη ποσότητα νερού, η οποία εξαρτάται από το άνοιγμά της, έτσι και από το έδαφος διέρχεται μόνο ένα μέρος της βροχής το οποίο εξαρτάται από τη διηθητικότητα αυτού.

Ο Horton υποστήριξε στη συνέχεια πως αν η ελάχιστη ταχύτητα διήθησης του νερού στο έδαφος είναι μικρότερη από την ένταση της βροχής, τότε, και αφού εκπληρωθούν οι ανάγκες της επιφάνειας του εδάφους σε νερό (surface storage), σχηματίζεται σε ολόκληρη την επιφάνεια της πλαγιάς επιφανειακή απορροή ίση με τη διαφορά της ταχύτητας διήθησης της βροχής στο έδαφος από την ένταση αυτής και ρέει μέχρι να συναντήσει την κοίτη του ρεύματος και να τροφοδοτήσει την απορροή του (Σχήμα 3). Η άλλη συνιστώσα όμως από το διαχωρισμό της βροχής, διηθείται πρώτα στο έδαφος και μετά διεισδύει βαθμιαία στα βαθύτερα στρώματα αυτού. Τελικά αυτή καταλήγει στους υπόγειους υδροφορείς του, οι οποίοι με τη σειρά



Σχήμα 3. Σχηματισμός απορροής ενός ρεύματος κατά την υπόθεση Horton.

Figure 3. Streamflow generation according to Horton's hypothesis.

τους τροφοδοτούν και αυτοί βραδέως την απορροή του ρεύματος (Σχήμα 3). Έτσι τα δύο μέρη ① και ② της απορροής του ρεύματος του (Σχήματος 1), χαρακτηρίζονταν, σύμφωνα με την υπόθεση αυτή, ως επιφανειακή και ως υπόγεια απορροή, αντίστοιχα.

Μετά τη δημοσίευση της παραπάνω υπόθεσης σχηματισμού απορροής ενός ρεύματος, ο Horton ολοκλήρωσε, όπως αναφέρει ο Chorley (1980), έναν «ποταμό» επιπρόσθετων εργασιών μέχρι το θάνατό του (1945), στις οποίες ανέπτυξε το υπεραπλουστευμένο υδρολογικό του μοντέλο σε τέτοια έκταση, ώστε ο Cook (1946) να επιστημονοποιεί πως κάποιος ιστορικός του μέλλοντος που θα περιεγράφε την ανάπτυξη της τότε επιστημονικής υδρολογίας, θα έμπαινε στον πειρασμό να ονομάσει την περίοδο εκείνη ως «η εποχή της διήθησης» (the era of infiltration). Ο Chorley (1980) αναφέρει ακόμα πως στην επικράτηση της υπόθεσης του Horton την εποχή εκείνη συνέβαλε και το γεγονός πως, μετά τη λήξη του 2ου παγκοσμίου πολέμου που κυριαρχούσε το «νέο κύμα» της γεωμορφολογίας (the new wave of post-war geomorphology), πολλές σχετικές εργασίες έγιναν σε μικρές υδρολογικές λεκάνες χωρίς βλάστηση, με μικρές πλαγιές, αβαθή εδάφη και με μικρές ταχύτητες διήθησης του νερού σ' αυτά. Επιπλέον οι απόψεις του Horton για την καθολική συμβολή της επιφανειακής απορροής των πλαγιών της λεκάνης στην δημιουργία της «επιφανειακής» απορροής του ρεύματος της λεκάνης, «έδεσαν» πολύ καλά με το μοναδιαίο υδρογράφημα του Sherman (Bonell, 1993), μετά την αφαίρεση της υπόγειας απορροής της λεκάνης. Κατά συνέπεια, οι σχέσεις αυτές κυριάρχησαν για μεγάλο χρονικό διάστημα σε εξειδικευμένα μοντέλα πρόβλεψης της απορροής της λεκάνης (Amorocho and Hart, 1964).

Το ερώτημα όμως που απορρέει από τα παραπάνω δεδομένα είναι, πόσο ρεαλιστική ήταν η υπόθεση σχηματισμού απορροής του Horton και σε ποια περιβάλλοντα ήταν εφαρμόσιμη; Το ερώτημα αυτό επιχειρείται να απαντηθεί συνοπτικά στο παρακάτω υποκεφάλαιο.

4.1. Αναζήτηση και συζήτηση των φυσικών συνθηκών ισχύος της υπόθεσης Horton

Ενώ η υπόθεση σχηματισμού απορροής του Horton κυριαρχούσε για τρεις και παραπάνω δεκαετίες (1930-1960+), ποτέ δεν έλειψαν οι φωνές αρκετών ερευνητών που την αντιμετώπιζαν με πολύ σκεπτικισμό ως προς την καθολικότητα της ισχύος της. Και αυτό γιατί, ενώ σε δασικές και γενικότερα σε ορεινές λεκάνες καλυμμένες με βλάστηση, η απορροή των ρευμάτων τους ήταν κατά τη διάρκεια ισχυρών βροχών σχεδόν στο ύψος της πλημμύρας, δεν παρατηρούνταν στις πλαγιές τους εκτεταμένη επιφανειακή απορροή. Αναλυτικότερα, οι πρώτες απόψεις ως προς την έλλειψη επιφανειακής απορροής σε δασικές περιοχές εκφράστηκαν πολύ νωρίς μετά τη δημοσίευση της υπόθεσης σχηματισμού απορροής του Horton (Lowdermilk 1933, Hursh 1936), ενώ αργότερα εντάθηκαν οι συζητήσεις, οι παρατηρήσεις και οι εργασίες πεδίου για την ύπαρξη υπεδάφιας απορροής και τη συμβολή της στην απορροή των ρευμάτων (Hursh 1941, Hoover and Hursh 1943, Hursh 1944, Roessel 1950).

Το επόμενο στάδιο του θέματος αυτού ήταν η διεξαγωγή μετρήσεων στο πεδίο για τον προσδιορισμό ή όχι επιφανειακής απορροής σε περιοχές με δασική βλάστηση. Για παράδειγμα, ο Tischendorf (Chorley 1980) μελέτησε 55 επεισόδια βροχής επί 15 μίνες (Ιανουάριος 1967-Μάρτιος 1968) σε περιοχές με δασική βλάστηση στο λοφώδες ΝΑ Piedmont των Απαλαχίων Ορέων και δεν εντόπισε καθόλου επιφανειακή απορροή, αν και 19 από τα επεισόδια αυτά δημιούργησαν υψηλές πλημμυρικές απορροές. Επίσης ο Rawitz et al. (1970) πραγματοποίησαν παρόμοιες μετρήσεις σε περιοχές με δασική βλάστηση στην κεντρική ανατολική Πενσυλβανία και το συμπέρασμα ήταν πως, η εκτεταμένη επιφανειακή απορροή ήταν σπάνιο φαινόμενο και όταν ακόμα η απόκριση της λεκάνης στη βροχή ήταν άμεση και το υδρογράφημα αυτής είχε τη μορφή των αντίστοιχων της επιφανειακής απορροής του Horton.

Όλες οι παραπάνω απόψεις, αλλά και τα αποτελέσματα των μετρήσεων συνηγορούσαν πως η επιφανειακή απορροή σε περιοχές με δασική βλάστηση ήταν σπάνια έως ανύπαρκτη. Και αυτό προφανώς γιατί η βλάστηση και κυρίως το δάσος δημιουργούσαν πάντοτε ευνοϊκότερες συνθήκες για ταχύτερη διήθηση του νερού στο έδαφος και την αδυναμία επομένως εκδήλωσης εκεί επιφανειακής απορροής (Kirkby 1969,

Hewlett 1982). Κατά συνέπεια, η υπόθεση σχηματισμού απορροής ενός ρεύματος του Horton δια της επιφανειακής απορροής των πλαγιών της λεκάνης, ίσχυε σε περιοχές όπου η ένταση της βροχής ήταν μεγαλύτερη της ταχύτητας διήθησης αυτής στο έδαφος. Τέτοιες συνθήκες επικρατούν κατά κανόνα σε περιοχές με ξηρές και ημίξηρες κλιματικές συνθήκες και υποραδική βλάστηση.

Οι προτάσεις που αναφέρθηκαν έχουν υποστηριχθεί και επιβεβαιωθεί και από πληθώρα ερευνητών ανά τον κόσμο κατά τις περασμένες αλλά και κατά τις πρόσφατες δεκαετίες. Για παράδειγμα ο Kirkby και Chorley (1967), αλλά και ο Chorley αργότερα (1980), επισήμαναν πως το μοντέλο του Horton φαινόταν πάντοτε πως ίσχυε σε πλαγιές χωρίς βλάστηση, με μικρές ταχύτητες διήθησης του νερού στο έδαφος και με αβαθή εδάφη. Επιπλέον ο Dunne και Leopold (1978) υποστήριξαν πως επιφανειακή απορροή δημιουργείται εκεί όπου η ταχύτητα διήθησης του νερού στο έδαφος είναι μικρότερη από την ένταση της βροχής και τέτοιες είναι οι περιοχές με ξηρές και ημίξηρες κλιματικές συνθήκες και αβαθή εδάφη που στερούνται βλάστησης.

5. ΥΠΟΘΕΣΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΑΠΟΡΡΟΗΣ HEWLETT

Μετά τη διαπίστωση πως η εκδήλωση επιφανειακής απορροής σε δασικές και γενικότερα σε ορεινές περιοχές με άγρια βλάστηση ήταν από σπάνια έως ανύπαρκτη, η υπόθεση σχηματισμού απορροής του Hewlett θα μπορούσε να θεωρηθεί ως απαραίτητη και αναγκαία για τη μελέτη και διερεύνηση των ΜΣΑΣ στα παραπάνω συγκεκριμένα φυσικά οικοσυστήματα (McDonnell, 2003). Για το λόγο αυτό ο Hewlett εδώ και 50 χρόνια περίπου (Hewlett 1961a, Hewlett and Hibbert 1967), τόνιζε πως ... ενώ κάθε συζήτηση για το σχηματισμό απορροής αρχίζει με την προϋπόθεση ότι η άμεση απορροή του ρεύματος σχηματίζεται από επιφανειακή απορροή των πλαγιών της λεκάνης, για τις δασικές περιοχές το θέμα αυτό πρέπει να αρχίζει με την προϋπόθεση ότι κυρίαρχη απορροή είναι η υπεδάφια, εκτός και αν υπάρχουν αποδείξεις για κάποια άλλη κατηγορία απορροής. Τα ερωτήματα μάλιστα που έθετε ήταν: Που πηγαίνει το νερό όταν βρέχει στη λεκάνη; Ποιες διαδρομές ακολουθεί μέχρι να φτάσει στην κοίτη του ρεύματος; Για πόσο χρόνο το νερό συγκρατείται από το έδαφος της λεκάνης;

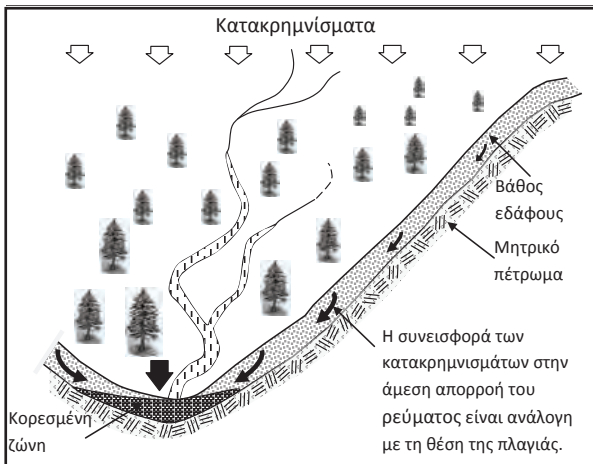
Πλήρεις απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα που διαμορφώνουν την ομώνυμη υπόθεση σχηματισμού απορροής ενός ρεύματος ή για το πώς λειτουργεί η λεκάνη, έδωσε για πρώτη φορά ο Hewlett (1961a) στην ετήσια έκθεση πεπραγμένων (Annual Report) της Δασικής Υπηρεσίας των ΗΠΑ και μετά στο Παγκόσμιο

Υδρολογικό Συνέδριο επίσης στις ΗΠΑ (Hewlett and Hibbert 1967). Ο συγκερασμός των πληροφοριών και από τις δύο αυτές πηγές πιστεύουμε πως δίνουν την πραγματική δομή της συγκεκριμένης υπόθεσης η οποία συνοπτικά αναλύεται παρακάτω. Ειδικότερα:

Σε μια δασική λεκάνη όλη η βροχή διηθείται στο έδαφος και στη συνέχεια το νερό ή συγκρατείται από αυτό ή ρέει δια μέσου της μάζας του προς το πλησιέστερο ρεύμα. Το τι συμβαίνει όμως με το νερό στο έδαφος εξαρτάται βέβαια από την κατηγορία αυτού αλλά και από την προηγούμενη υγρασιακή του κατάσταση και αυτές με τη σειρά τους συνδέονται με το βάθος του και τις αποστάσεις των θέσεων της πλαγιάς της λεκάνης από την κοίτη του ρεύματος. Και αυτό γιατί η συνεισφορά της υπεδάφιας απορροής στην άμεση απορροή του ρεύματος είναι ανάλογη με τις παραπάνω αποστάσεις. Αναλυτικότερα, η συνεισφορά των θέσεων κοντά στην κοίτη του ρεύματος είναι η μέγιστη δυνατή, ενώ εκείνων στην κορυφή της πλαγιάς είναι πρακτικά μηδενική.

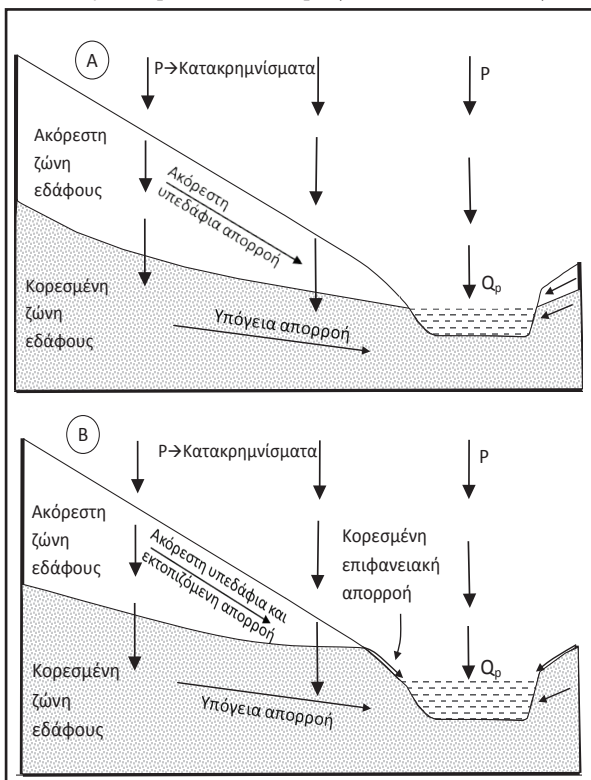
Η παραπάνω και ανάλογη με την απόσταση «θέσης πλαγιάς – ρεύματος» συνεισφορά της υπεδάφιας απορροής σ' αυτό, απεικονίζεται άριστα με το μέγεθος των βελών στη μάζα του εδάφους του σχεδίου του Hewlett (Σχήμα 4). Στο σημείο αυτό όμως είναι ιδιαίτερα σημαντικό να διευκρινιστεί πως η υπεδάφια απορροή που κινείται προς τα κατόπι της πλαγιάς και κυρίως εκείνη των μεσαίων και χαμηλότερων θέσεων, συγκροτείται κατά πολύ μεγάλο ποσοστό από παλιό νερό, δηλαδή από νερό που συγκρατούνταν στη μάζα του εδάφους πριν την έναρξη της βροχής (pre-event water) και όχι από το νερό της βροχής σε εξέλιξη (Hewlett and Hibbert 1967). Επομένως η συγκεκριμένη υπεδάφια απορροή της λεκάνης, όπως αναφέρθηκε και στο υποκεφάλαιο 2, είναι στην πραγματικότητα «εκποπιζόμενη κυρίως απορροή» από τη διηθούμενη και κινούμενη πλάγια βροχή του τελευταίου επεισοδίου. Ο μηχανισμός αυτός εκτόπισης του «αποθηκευμένου» στο έδαφος νερού λαμβάνει χώρα όταν το έδαφος βρίσκεται σε κατάσταση υδατοϊκανότητας ή και υγρότερης και συμβάλλει στην ταχεία μετακίνησή του προς την κοίτη του ρεύματος. Η ύπαρξη του μηχανισμού αυτού έχει διαπιστωθεί στο πεδίο από πληθώρα πειραμάτων ανά τον κόσμο με τη χρήση χημικών ανιχνευτών, καθώς και σταθερών, αλλά και μη σταθερών ισοτόπων. (Horton and Hawkins 1965, Pearce et al. 1986, Sklash et al. 1986, Obradovic et al. 1986, McDonnell 1990, Ogunkoya and Jenkins 1991, Giusti and Neal 1993, Bonell 1993, Taha et al. 1997, Montgomery et al. 1997, Kircher 2003).

Επισημαίνεται ακόμα πως στη συνέχεια η εκποπιζόμενη απορροή του υπεδάφους καταλήγει τελικά στην παραρραεμάτια ζώνη της κοίτης του ρεύματος και συγκλίνει προς το φρεάτιο ορίζοντα των υπόγειων νερών



Σχήμα 4. Διατομή ορεινής λεκάνης, δείχνοντας τις ανάλογες με τις θέσεις της πλαγιάς συνεισφορές της βροχής στην άμεση απορροή του ρεύματος (Hewlett, 1961a).

Figure 4. Schematic cross-section of a mountain watershed, showing how the relative contributions of rainfall to stream-flow vary with positions of slope (after Hewlett, 1961a).



Σχήμα 5. Διαδρομές της βροχής στο έδαφος σύμφωνα με την υπόθεση Hewlett, A: στην αρχή της βροχής και B: σε πλήρη εξέλιξη αυτής.

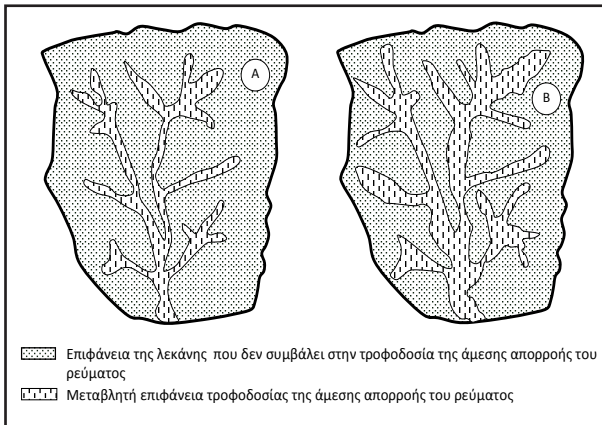
Figure 5. Flowpaths of rainfall in the soil according to Hewlett's hypothesis, A: in the initial stages of rainfall and B: in the later stages of rainfall.

της λεκάνης. Η σύγκλιση αυτή συμβάλλει στη βαθμιαία ανύψωση του φρεατίου ορίζοντα και ένα τμήμα αυτού φθάνει μέχρι την επιφάνεια του εδάφους των πλαγιών, εκατέρωθεν της κοίτης του ρεύματος. Στο τμήμα αυτό δημιουργείται στη συνέχεια κορεσμένη επιφανειακή απορροή τόσο από την εκτοπιζόμενη απορροή που εξέρχεται στην επιφάνεια του εδάφους όσο και από κατ' ευθείαν πτώση βροχής. Η κορεσμένη επιφανειακή απορροή συμβάλλει τελικά με τη σειρά της στην αύξηση της άμεσης απορροής του ρεύματος της λεκάνης. Οι παραπάνω ΜΣΑς στην αρχή της βροχής, αλλά και σε πλήρη εξέλιξη αυτής, απεικονίζονται στο Σχήμα 5, Α και Β, αντίστοιχα.

Είναι όμως φανερό πως το πλάτος της σχηματιζόμενης κορεσμένης ζώνης εκατέρωθεν της κοίτης του ρεύματος δεν παραμένει σταθερό αλλά αυξάνεται ανάλογα με την υγρασιακή κατάσταση του εδάφους πριν από τη βροχή, την ένταση, αλλά και τη διάρκεια αυτής. Με το σταμάτημα όμως της βροχής η ζώνη ελαττώνεται βαθμιαία μέχρι να παραμείνει μόνο το πλάτος της υγρής κοίτης του ρεύματος. Για το λόγο αυτό η συγκεκριμένη ζώνη χαρακτηρίστηκε από τον εμπνευστή της ως «Μεταβλητή Επιφάνεια Τροφοδοσίας» (ΜΕΤς) του ρεύματος («Variable Source Area» concept). Συχνά όμως, όπως επισημαίνουν ο Hewlett και Hibbert (1967), η ΜΕΤς επεκτείνεται και από τον σχηματισμό απορροής στις κοίτες κάποιων άνω τμημάτων του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης. Αυτό λαμβάνει χώρα εκεί όπου το προφίλ του εδάφους, για διάφορους λόγους, αδυνατεί να διοχετεύσει όλη την ποσότητα της εκτοπιζόμενης απορροής προς τα κατόντη, και αυτή εξέρχεται στην επιφάνεια του εδάφους (επιστροφόμενη απορροή) με αποτέλεσμα την επιμήκυνση έτσι της υγρής κοίτης των ρευμάτων.

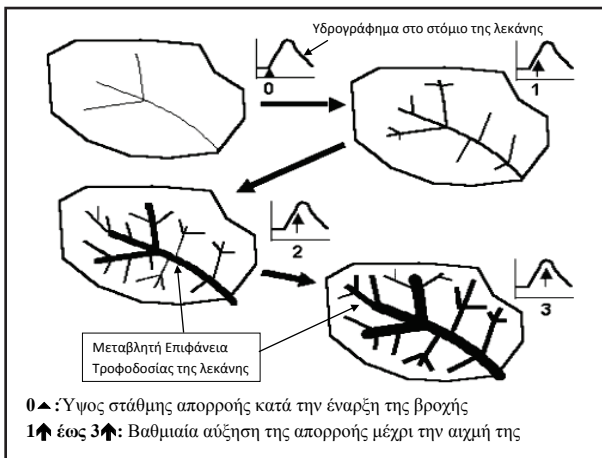
Όλες οι παραπάνω διεργασίες, όπως αναφέρει ο Troendle (1985), δείχνουν πως η «ΜΕΤς» είναι γενικά ένα δυναμικό σύστημα το οποίο αυξομειώνεται τοπικά και χρονικά, περικλείει όλες τις διαδρομές της βροχής από την επιφάνεια της λεκάνης προς την κοίτη του ρεύματος και κυμαίνεται ανάλογα με τα μέγιστα και ελάχιστα επεισόδια βροχής. Η οριζοντιογραφία της ΜΕΤς ενός υποθετικού ρεύματος απεικονίζεται στο Σχήμα 6 και η βαθμιαία διεύρυνση αυτής εκατέρωθεν της κοίτης των ρευμάτων μιας άλλης υποθετικής λεκάνης, στο Σχήμα 7.

Τέλος προστίθεται πως στην υπόθεση σχηματισμού απορροής του Hewlett περιλαμβάνεται και η βασική απορροή του ρεύματος κατά τις περιόδους χωρίς βροχή και κυρίως κατά τη θερινή περίοδο. Ειδικότερα ως προς το θέμα αυτό, μετά από λεπτομερείς μετρήσεις και αναλύσεις της κίνησης του νερού στο έδαφος (Hewlett



Σχήμα 6. Οριζοντιογραφία μεταβλητής επιφάνειας τροφοδοσίας της άμεσης απορροής ενός ρεύματος από επεισόδια βροχής περιόδων επαναφοράς, Α: 2 χρόνων και Β: 10 χρόνων.

Figure 6. Ground plan of the variable source area of direct runoff of a stream during a rainfall event with return periods of A: 2 years and B: 10 years.



Σχήμα 7. Διεύρυνση της μεταβλητής επιφάνειας τροφοδοσίας μιας λεκάνης από ένα επεισόδιο βροχής σε τρία χρονικά βήματα (Neary et al., 2009).

Figure 7. Expansion of the variable source area of a watershed from a rainfall event at three time steps (after Neary et al., 2009).

1961β, Hewlett and Hibbert 1963), καταδείχθηκε πως κύρια πηγή τροφοδοσίας της βασικής απορροής των ρευμάτων ορεινών δασικών λεκανών με πλαγιές μεγάλων κλίσεων κατά τις περιόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι, όχι τα υπόγεια νερά, αλλά κυρίως η ακόρεστη πεδιάδα απορροής της ζώνης μεταξύ του «επιπέδου» ρεματισμού των ριζών της βλάστησης και του φρεατίου ορίζοντα ή του μητρικού πετρώματος. Η εδαφική αυτή ζώνη, σύμφωνα με τον Meinzer (Troendle 1985) είναι γνωστή ως «η ουδέτερη ζώνη της υδρολογίας» («the no man's land of hydrology»)

5.1. Εξέταση υπόθεσης σχηματισμού απορροής Hewlett

Οι πρώτες δημοσιεύσεις της υπόθεσης σχηματισμού απορροής του Hewlett και των συνεργατών του σε δασικά Reports και συνέδρια (Hewlett 1961α, Hewlett and Hibbert 1967) αποτέλεσαν πρόκληση και αμφισβήτηση για τα επικρατούντα επί τρεις και πλέον δεκαετίες υδρολογικά δεδομένα του Horton που αφορούσαν στους ΜΣΑς των ρευμάτων και κυρίως στις δασικές και γενικότερα στις ορεινές λεκάνες. Η αμφισβήτηση αυτή συνέβαλε και στην εμφάνιση δυσκολιών δημοσίευσης των εργασιών τους σε έγκυρα επιστημονικά περιοδικά (Hewlett 1974, Ward 1975). Όμως, παρά την επικρατούσα εκείνη κατάσταση, πολλοί ερευνητές υλοποίησαν πληθώρα εργασιών πεδίου για τη διαπίστωση ισχύος ή μη της υπόθεσης Hewlett. Η περιορισμένη όμως έκταση της παρούσας εργασίας επιτρέπει την αναφορά μόνο σε έναν πολύ μικρό αριθμό ερευνητών από αυτούς και το σύνολο των υπόλοιπων περιλαμβάνεται στις επισταμμένες ανασκοπήσεις του Dunne (1983), του Pearce et al. (1986), και του Bonell (1993).

Λαμβάνοντας υπόψη τον παραπάνω περιορισμό, επιλεκτικά επισημαίνουμε πως ο Betson (1964) και αργότερα ο Betson και Marius (1969) μελέτησαν τους ΜΣΑς χορτολιβαδικών λεκανών στις ΗΠΑ και συμπέραναν πως η απορροή των ρευμάτων τους σχηματίζεται από επιφανειακή απορροή Horton σε ορισμένες διάσπαρτες και καθορισμένες περιμετρικά (fixed) επιφάνειες των πλαγιών τους. Για το λόγο αυτό ο συγκεκριμένος μηχανισμός χαρακτηρίστηκε ως «η έννοια της μερικής επιφάνειας τροφοδοσίας» του ρεύματος (the partial source area concept). Σε παρόμοια συμπεράσματα με εκείνα των παραπάνω ερευνητών κατέληξαν επίσης ο Amerman (1965), ο Pilgrim (1966), ο Ragan (1968) κ.ά., ενώ αντίθετα ο Dunne και Black (1970α, 1970β) παρατήρησαν κορεσμένη επιφανειακή απορροή σε θέσεις τόσο κοντά στην κοίτη του ρεύματος όσο και στις πλαγιές της λεκάνης.

Προστίθεται ακόμα πως ο Hewlett (1974) σχολιάζοντας τα παραπάνω συμπεράσματα, τόνισε πως υπάρχει μόνο μια μικρή διαφορά από εκείνα της μεταβλητής επιφάνειας τροφοδοσίας και η «έννοια» του Betson και Marius (1964, 1969) αντικαθιστούσε μόνο τη λέξη «μεταβλητή» με τη λέξη «μερική», για να περιγράψει την επιφάνεια τροφοδοσίας του ρεύματος.

Σε αντίθεση όμως με τα παραπάνω συμπεράσματα, η Υδρολογική Υπηρεσία της Κοιλάδας του Τενεσί στις ΗΠΑ (Tennessee Valley Authority, 1964), διαπίστωσε πως οι λεκάνες της αρμοδιότητάς της λειτουργούσαν δυναμικά και προφανώς σύμφωνα με την υπόθεση Hewlett. Έτσι ο συγκεκριμένος αυτός μηχανισμός χαρακτηρίστηκε ως η «έννοια της δυναμικής

τροφοδοσίας της λεκάνης» (the dynamic watershed concept). Τονίζεται όμως ακόμα πως και τα συμπεράσματα διάφορων άλλων ερευνητών ως προς το ίδιο θέμα (Hewlett and Nutter 1970, Weyman 1970 και 1973, Anderson and Burt 1978 κ.ά.), ή συμφωνούσαν με εκείνα του Hewlett ή αποτελούσαν μια παραλλαγή αυτών. Σημαντικό είναι ακόμα να τονισθεί πως και η διαπίστωση της κίνησης του νερού δια μέσου των μακροπόρων του εδάφους (Tsukamoto 1961, Whipkey 1965, Aubertin 1971, Jones 1971, κ.ά.), που είναι μια κατηγορία της υπεδάφιας πλημμυρικής απορροής, αποτελεί μέρος της METς του Hewlett.

Τα συμπεράσματα των παραπάνω ερευνητών συνέβαλλαν ώστε η υπόθεση σχηματισμού απορροής Hewlett να γίνει διεθνώς αποδεκτή κατά το τέλος της δεκαετίας του 1970. Όμως τα πειράματα πεδίου συνεχίστηκαν επειδή ακόμα υπήρχαν απόψεις πως οι ΜΣΑΣ των ορεινών δασικών λεκανών ήταν ασαφείς. (π.χ. Dunne, 1983). Αυτό βέβαια είναι κατανοητό αν λάβει κανείς υπόψη του τόσο την ανομοιομορφία των επεισοδίων βροχής που δέχονται οι ορεινές λεκάνες, όσο και τη μεταβλητότητα αυτών ως προς το έδαφος, την τοπογραφία, τη βλάστηση κ.λπ. Κατά συνέπεια και οι συγκεκριμένοι μηχανισμοί απορροής είναι λογικό να παρουσιάζουν κάποια «ποικιλομορφία ή διακύμανση» μεταξύ των διάφορων λεκανών που εκδηλώνονται.

Γεγονός πάντως είναι πως η έννοια της METς ορεινών δασικών λεκανών είναι σε ισχύ σήμερα για παραπάνω από πέντε δεκαετίες και η αξία της αναγνωρίζεται συνεχώς και διαχρονικά. Πχ., ο Bonell (1993) επισήμανε πως η ανακοίνωση της έννοιας αυτής το 1961α ήταν, με υδρολογικά κριτήρια, κοντά στο να χαρακτηριστεί ως Κοπερνίκειος επαναστατική πρόοδος από άποψη θεώρησης της απορροής του ρεύματος ως συνιστώσας της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου. Επιπλέον ο Ward και Robinson (2000) για το σχέδιο του Hewlett απόκρισης της λεκάνης το 1961α, παρατήρησαν πως «αν και χρειάζεται σήμερα κάποια επανερμηνεία αναπροσαρμογής, αυτό το ενορατικό διάγραμμα αντιπροσωπεύει μια από τις πιο σπουδαίες προόδους σύλληψης επιστημονικών εννοιών στην ιστορία της υδρολογίας». Αλλά και ο McDonnell (2009) πρόσθεσε αργότερα πως ...η έννοια της METς παραμένει ως μία από τις πιο σημαντικές και ανθεκτικές ιδέες σύλληψης στην υδρολογία της λεκάνης απορροής.

Όλες οι παραπάνω απόψεις εκφράζονται βέβαια επειδή η έννοια της METς είναι ρεαλιστική και περιλαμβάνει το σύνολο των φυσικών μηχανισμών λειτουργίας των δασικών και γενικότερα των ορεινών λεκανών απορροής που δεν παρουσιάζουν σοβαρά προβλήματα υποβάθμισης.

6. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΡΟΦΟΛΟΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Μετά από όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα υποκεφάλαια 4 έως 5.1, είναι πολύ σημαντικό να επισημανθεί συνοπτικά πως τόσο οι METς της άμεσης απορροής των ρευμάτων όσο και οι ΜΣΑΣ, έχουν πολλές πρακτικές εφαρμογές σε θέματα αξιοποίησης του νερού αλλά και προστασίας του ορεινού φυσικού περιβάλλοντος των λεκανών και πιο συγκεκριμένα:

- **Στην κατασκευή μοντέλων πρόβλεψης της απορροής των ρευμάτων:** Η σημαντικότερη εφαρμογή στην πράξη της έννοιας της METς (υπόθεση Hewlett) είναι κατά τη γνώμη μας η κατασκευή μοντέλων ακριβέστερης πρόβλεψης της απορροής των ρευμάτων των λεκανών. Η πρόβλεψη αυτή πριν τη διατύπωση της παραπάνω υπόθεσης, γινόταν σύμφωνα με την υπόθεση σχηματισμού απορροής του Horton. Επομένως η επιφάνεια τροφοδοσίας της απορροής των ρευμάτων θεωρούνταν τότε ίση με τη συνολική επιφάνεια της λεκάνης (the lumped hydraulic system). Μετά τη διατύπωση όμως της υπόθεσης Hewlett και ειδικότερα από τα μέσα της δεκαετίας του 1960, άρχισε η «κατασκευή» πληθώρας υδρολογικών μοντέλων διάφορων κατηγοριών (ενοιολογικών – conceptual, προσδιοριστικών – deterministic ή physically based, παραμετρικών – parametric κ.λπ.) με βασική παράμετρο τη METς, για την πρόβλεψη της απορροής δασικών και γενικότερα ορεινών λεκανών (π.χ. Hewlett and Nutter 1970, Freeze 1972, Engman 1974, Troendle 1985, Kirkby 1988, Bonell 1993 και 1998, McDonnell 2003). Η δραστηριότητα κατασκευής μοντέλων συνεχίζεται βέβαια μέχρι τις μέρες μας και εκείνα της μιας γενιάς αντικαθίστανται κατά κανόνα από τα αντίστοιχα της επόμενης, με την προσδοκία καλύτερης πρόβλεψης της απορροής των ρευμάτων δασικών λεκανών.
- **Στη διαχείριση της ρύπανσης της απορροής από διάφορες κατηγορίες ρυπαντών:** Αναλυτικότερα, αν και η απορροή των ρευμάτων «εξέρχεται» από την πλειονότητα των δασικών λεκανών καθαρότατη, δεν ισχύει το ίδιο όταν αυτή εξέρχεται από τις καπάντη γεωργικές, βιομηχανικές, οικιστικές κ.λπ. περιοχές της ίδιας λεκάνης. Και αυτό γιατί η απορροή των ρευμάτων από τις περιοχές αυτές «εμπλουτίζεται» με πληθώρα ρυπαντών από διάχυτες και σημειακές πηγές ρύπανσης. Οι ρυπαντές των πηγών αυτών καταφθάνουν στην κοίτη των ρευμάτων κυρίως δια της επιφανειακής απορροής, αλλά εν μέρει και δια της υπεδάφιας και υπόγεια απορροής. Οι

παραπάνω κατηγορίες απορροής των πλαγιών των λεκανών «δρουν» όμως στις ΜΕΤς της απορροής των ρευμάτων τους. Κατά συνέπεια, ο προσδιορισμός και η μελέτη των επιφανειών αυτών, αλλά και των μηχανισμών μετατροπής της βροχής από τις συγκεκριμένες επιφάνειες σε απορροή, έχουν πολύ μεγάλη σημασία για τους διαχειριστές των λεκανών στη λήψη αποφάσεων ορθολογικής διαχείρισης του σοβαρότατου θέματος ρύπανσης των ρευμάτων.

- **Στον μετριασμό διάφορων άλλων επιπτώσεων της επιφανειακής απορροής:** Η επιφανειακή απορροή Horton, εκτός της ρύπανσης των ρευμάτων, διαβρώνει το έδαφος, παρασύρει θρεπτικά συστατικά από αυτό και υποβαθμίζει την ποιότητά του, επιδεινώνει τα πλημμυρικά φαινόμενα στα πεδινά, δεν συμβάλλει στον αποτελεσματικό εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων, μειώνει το χρόνο ροής των ρευμάτων κ.λπ. Κατά συνέπεια, η επιφανειακή απορροή είναι ένα ανεπιθύμητο φαινόμενο για τους διαχειριστές των υδρολογικών λεκανών και ο μετριασμός των παραπάνω δυσμενών επιπτώσεων «επιβάλλει» πάλι τον εντοπισμό και καθορισμό των ΜΕΤς των λεκανών όπου εκδηλώνεται η επιφανειακή απορροή, ώστε να ληφθούν και υλοποιηθούν εκεί τα αναγκαία και απαραίτητα μέτρα και έργα, αντίστοιχα.
- **Στην εξήγηση και κατανόηση των γεωμορφών των λεκανών και στην πρόβλεψη των μελλοντικών μεταβολών τους:** Διευκρινίζεται και υπενθυμίζεται πως η εξήγηση και κατανόηση των γεωμορφών των λεκανών (κυρτών και κοίλων κλιτύων, μικρών εξάρσεων και κοιλωμάτων του εδάφους, κοιλάδων ποταμών κ.λπ.), είναι χρησιμότερες για τη διαχείριση των φυσικών τους πόρων, την προστασία και βελτίωση της αισθητικής του τοπίου κ.ά. Οι γεωμορφές αυτές όμως συνδέονται στενά και με τους ΜΣΑς των ρευμάτων, αλλά και με τις επιφάνειες τροφοδοσίας τους και κυρίως με την επιφανειακή απορροή η οποία αλλού διαβρώνει το έδαφος και αλλού εναποθέτει τα φερτά υλικά. Η επιφανειακή απορροή αλλά και η υπεδάφια, έχουν επίσης σημαντικό ρόλο και στην αποσάθρωση των πετρωμάτων των λεκανών, η οποία με τη σειρά της συμβάλλει εμμέσως στο σχηματισμό των γεωμορφών. Κατά συνέπεια, η μελέτη των ΜΣΑς και των ΜΕΤς συμβάλλει στην εξήγηση και κατανόηση των γεωμορφών αλλά και στην πρόβλεψη των μελλοντικών τους μεταβολών.
- **Στην αύξηση της απορροής των ρευμάτων με υλοτομικές παρεμβάσεις στις μεταβλητές επιφάνειες τροφοδοσίας της:** Τονίζεται πως η λειτουργικότητα αυτής της πρακτικής εφαρμογής γίνεται αντιληπτή αν ληφθεί υπόψη πως ένα σημαντικό μέρος της βροχής των ΜΕΤς «χάνεται» δια της εξατμισοδιαπνοής

της βλάστησης πριν την άφιξή του στην κοίτη των ρευμάτων. Κατά συνέπεια, αραίωση της βλάστησης των συγκεκριμένων επιφανειών με επιλεγμένες υλοτομικές ενέργειες, συμβάλει στην άφιξη της κοίτης των ρευμάτων μεγαλύτερου όγκου νερού από εκείνον χωρίς καμία ενέργεια.

- **Στη λειτουργική και οικονομική κατανομή στο έδαφος των αντιδιαβρωτικών και αντιπλημμυρικών έργων δασικών λεκανών μετά από πυρκαγιά:** Η παραπάνω κατανομή των έργων που αναφέρθηκαν επιτυγχάνεται όταν αυτά κατασκευάζονται κυρίως στις ΜΕΤς των ρευμάτων των λεκανών, αλλά και σε άλλες υποβαθμισμένες θέσεις των πλαγιών τους. Και αυτό γιατί μόνο στις επιφάνειες αυτές εκδηλώνεται επιφανειακή απορροή της οποίας οι δυσμενείς επιπτώσεις πρέπει να αντιμετωπισθούν.
- **Στον καθορισμό χρήσεων γης των λεκανών:** Είναι φανερό πως τόσο οι ΜΕΤς των ρευμάτων όσο και εκείνες που εμπλουτίζουν τους υπόγειους υδροφορείς, αποτελούν έναν σημαντικότατο παράγοντα που πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό και καθορισμό των χρήσεων γης των λεκανών. Και αυτό γιατί κάθε αλλαγή χρήσης γης στις λεκάνες συμβάλλει στο μετασχηματισμό των διάφορων μορφών απορροής που εκδηλώνονται στις δύο παραπάνω κατηγορίες επιφανειών τους. Π.χ., μετατροπή δασικών εκτάσεων λεκανών σε γεωργικές, κτηνοτροφικές, μεταλλευτικές, βιομηχανικές, οικιστικές χρήσεις κ.λπ., μετασχηματίζει την υπεδάφια απορροή σε επιφανειακή, με αποτέλεσμα την πληθώρα των δυσμενών επιπτώσεων αυτής που αναφέρθηκαν προηγούμενα. Για τους παραπάνω λόγους, όπως επισημαίνει ο Dunne και Leopold (1978), μια προσεκτική εξέταση και μελέτη των επιφανειών τροφοδοσίας των ρευμάτων και των ΜΣΑς αυτών, επιτρέπει στους σχεδιαστές χρήσεων γης να αναγνωρίζουν από την αρχή υπάρχουσες δυσκολίες, να προβλέπουν τις επιπτώσεις των διάφορων μορφών ανάπτυξης, αλλά και να αποφεύγουν πιθανά μελλοντικά προβλήματα.

Οι παραπάνω πρακτικές εφαρμογές των ΜΕΤς και των ΜΣΑς είναι βέβαια μόνο μερικές από το σύνολο αυτών που θα μπορούσαν να αναφερθούν σε μια συνθετική εργασία. Αυτές οι πρακτικές εφαρμογές είναι όμως τόσο σημαντικές ώστε οι ΜΣΑς και οι ΜΕΤς δίκαια να χαρακτηρίζονται ως η «καρδιά» της δασικής υδρολογίας». Και αυτό γιατί κατανόηση των παραπάνω υδρολογικών διεργασιών σημαίνει και κατανόηση της λειτουργίας των λεκανών απορροής, με ό,τι βέβαια θετικό αυτό συνεπάγεται για τον άνθρωπο κατά την αναζήτηση ορθολογικών παρεμβάσεων σε αυτά τα φυσικά οικοσυστήματα.

7. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟ ΠΕΛΙΟ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Η υλοποίηση όλων των προηγούμενων πρακτικών εφαρμογών που αναφέρθηκαν είναι προφανώς πιο ολοκληρωμένη και αποτελεσματική, όταν γίνεται μετά τον εντοπισμό των θέσεων των ΜΕΤς στις λεκάνες και τον καθορισμό των ορίων τους. Οι ενέργειες όμως αυτές, εκτός του καθορισμού των επιφανειών εκδήλωσης επιφανειακής απορροής Horton, είναι ένα δύσκολο εγχείρημα και απασχόλησε ανέκαθεν τους διαχειριστές των λεκανών. Οι δυσκολίες οφείλονται τόσο στην κίνηση του νερού εντός της μάζας του εδάφους, όσο και στη βαθμιαία επέκταση των ΜΕΤς κατά τη διάρκεια εξέλιξης των επεισοδίων της βροχής.

Ο εντοπισμός και καθορισμός των ΜΕΤς ήταν στην αρχή ποιοτικός (επιτόπιες παρατηρήσεις) και στη συνέχεια ποσοτικός (απευθείας μετρήσεις στο πεδίο της υγρασιακής κατάστασης του εδάφους μέχρι το στάδιο κορεσμού του, αλλά και της βαθμιαίας επέκτασης των συνθηκών αυτών). Οι εργασίες αυτές έγιναν από πληθώρα ερευνητών ανά τον κόσμο και μεταξύ αυτών αναφέρονται ο Kirkby και Chorley 1967, ο Dunne κ.ά. 1975, ο Anderson και Burt 1978, ο O'Loughlin 1981, κ.λπ. Προστίθεται ακόμα πως από τα αποτελέσματα των παραπάνω ποιοτικών και ποσοτικών προσδιορισμών, καταβλήθηκαν προσπάθειες διατύπωσης κριτηρίων εντοπισμού και καθορισμού των ΜΕΤς κατ'ευθείαν στο πεδίο με βάση τα τοπογραφικά, εδαφικά, βλαστητικά, κ.λπ. χαρακτηριστικά των υδρολογικών λεκανών.

Αναλυτικότερα, με βάση τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά των λεκανών, οι ΜΕΤς εντοπίζονται κυρίως κατά μήκος και εκατέρωθεν της κοίτης των ρευμάτων και επεκτείνονται βαθμιαία προς τα ανάντη των πλαγιών τους με την προοδευτική εξέλιξη της βροχής. Επίσης εντοπίζονται κατά μήκος και εκατέρωθεν των γραμμών σύγκλισης ζευγών επιφανειών οι οποίες βρίσκονται στις κύριες πλαγιές των λεκανών, σε διάφορα άλλα κοιλώματα των πλαγιών, αλλά και στις κορυφογραμμές όπου υπάρχουν οριζόντιες πρακτικά επιφάνειες.

Όσον αφορά στα εδαφικά κριτήρια, οι ΜΕΤς των λεκανών εντοπίζονται και καθορίζονται με βάση το μικρό βάθος του εδάφους. Τέτοιες περιοχές είναι εκείνες όπου το μητρικό πέτρωμα βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, αλλά και εκείνες όπου ο Β ορίζοντας συνήθως, λόγω μεγάλης π.χ. περιεκτικότητας αργίλου, έχει πολύ μικρή διηθητικότητα. Στις θέσεις αυτές μετά τη διήθηση της βροχής μέχρι το μητρικό πέτρωμα ή μέχρι τον Β ορίζοντα, σχηματίζεται «υπερψωμένος» φρεάτιος ορίζοντας ο οποίος ανέρχεται βαθμιαία μέχρι την επιφάνεια του εδάφους.

Εκεί στη συνέχεια σχηματίζεται κορεσμένη επιφανειακή απορροή η οποία, όπως αναφέρθηκε, τροφοδοτεί την άμεση απορροή του πλησιέστερου ρεύματος.

Εκτός των τοπογραφικών και εδαφικών, και τα βλαστητικά κριτήρια λαμβάνονται υπόψη στον εντοπισμό και καθορισμό των ΜΕΤς. Οι σχέσεις βλάστησης και τοπικής αλλά και χρονικής κατανομής της υγρασίας στο έδαφος, σύμφωνα με τον Hack και Goodlett αλλά και τον Zimmermann, (Dunne et al. 1975), στηρίζονται στις τεχνικές της φυσιολογικής οικολογίας και είναι πολύ γενικές και χαλαρές αφού επηρεάζονται και από τις συνθήκες φωτισμού και θρεπτικών συστατικών του εδάφους. Κατά συνέπεια οι σχέσεις αυτές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη με μεγάλη προσοχή.

Για τους παραπάνω λόγους στη χώρα μας οι σχέσεις ζωικότητας της βλάστησης και υψηλής υγρασίας του εδάφους δασικών λεκανών, υποστηρίζουμε πως πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μόνο κατά την ξηροθερμική περίοδο αφού κατά την υγρή, οι βλαστητικές συνθήκες και κυρίως εκείνες της ποώδους βλάστησης, είναι πρακτικά ομοιόμορφες σε ολόκληρη την επιφάνεια των λεκανών. Αντίθετα κατά την ξηροθερμική περίοδο η ποώδης βλάστηση διατηρεί τη ζωικότητά της μόνο σε υγρές θέσεις των λεκανών και αυτές είναι προφανώς εκείνες που τροφοδοτούν την άμεση απορροή των ρευμάτων κατά την περίοδο των βροχών. Οι επιφάνειες αυτές, μετά τον εντοπισμό τους με βλαστητικά κριτήρια, μπορούν στη συνέχεια να καθορισθούν με τοπογραφικά και εδαφικά κριτήρια.

8. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΙΣ ΠΛΑΓΙΕΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Οι διάφορες κατηγορίες απορροής στις πλαγιές δασικών και γενικότερα ορεινών λεκανών (επιφανειακής απορροής Horton, κορεσμένης επιφανειακής, υπεδάφιας κ.λπ.), καθορίζονται και επηρεάζονται, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγούμενα, από το κλίμα, τη γεωλογία και τοπογραφία, το έδαφος, τη βλάστηση και τις χρήσεις γης αυτών. Οι δασικές υδρολογικές λεκάνες της Ελλάδας παρουσιάζουν όμως μεγάλη ποικιλομορφία ως προς τα παραπάνω φυσικά τους χαρακτηριστικά. Κατά συνέπεια εκδηλώνονται στις πλαγιές τους όλες οι κατηγορίες απορροής και επομένως ενεργοποιούνται και όλες επίσης οι κατηγορίες μηχανισμών σχηματισμού απορροής των ρευμάτων τους.

Το εύλογο ερώτημα που προκύπτει όμως από τα παραπάνω είναι: Σε ποιες δασικές περιοχές της χώρας μας και κάτω από ποιες συνθήκες εκδηλώνονται οι παραπάνω συγκεκριμένες κατηγορίες απορροής και ενεργοποιούνται οι συγκεκριμένοι επίσης μηχανισμοί σχηματισμού απορροής που αναφέρθηκαν

προηγούμενα; Για να διευκολυνθεί η απάντηση του ερωτήματος αυτού, η εξέταση και συζήτηση του θέματος επικεντρώνεται πρώτον στις περιοχές εκδήλωσης επιφανειακής απορροής Horton και δεύτερον υπεδάφιας απορροής. Οι δύο αυτές κατηγορίες απορροής επιλέχθηκαν για εξέταση και συζήτηση επειδή είναι η δυσμενέστερη αλλά και η σπουδαιότερη, αντίστοιχα, και επιπλέον επειδή είναι πρωτογενείς, δηλαδή δεν προέρχονται από μετασχηματισμό άλλων απορροών, όπως είναι π.χ. η κορεσμένη επιφανειακή απορροή. Παρακάτω παρουσιάζονται και συζητούνται συνοπτικά οι δύο αυτές περιπτώσεις υδρολογικών διεργασιών σε δασικές περιοχές της Ελλάδας.

8.1. Δημιουργία επιφανειακής απορροής Horton σε δασικές περιοχές της Ελλάδας

Επιφανειακή απορροή Horton σχηματίζεται, όπως αναφέρθηκε, όταν η ένταση της βροχής ξεπερνάει την ταχύτητα διήθησης αυτής στο έδαφος. Οι συνθήκες αυτές ισχύουν κατά κανόνα σε ξηρές και ημιξηρες περιοχές οι οποίες έχουν πολύ αραιά βλάστηση και συνεπώς πολύ μικρές ταχύτητες διήθησης του νερού.

Στην Ελλάδα, αν και δεν υπάρχουν πρακτικά περιοχές με τις παραπάνω φυσικές συνθήκες, παρατηρείται όμως συχνά επιφανειακή απορροή Horton σε δασικές περιοχές και θέσεις οι οποίες έχουν υποβαθμισθεί από ανθρώπινες κυρίως ενέργειες. Με τέτοιες παρεμβάσεις υποβαθμίζεται ή και καταστρέφεται η δασική βλάστηση και στη συνέχεια οι ταχύτητες διήθησης της βροχής στο έδαφος μειώνονται σημαντικότερα και σχηματίζεται στη συνέχεια επιφανειακή απορροή Horton.

Μια τέτοια εκτεταμένη περιοχή είναι κατ' αρχάς η ζώνη του φλύσχης της δυτικής Ελλάδας με αειφύλλα πλατύφυλλα, όπου η επιφανειακή απορροή Horton κάνει πολύ συχνά την παρουσία της σε τελείως γυμνές από βλάστηση επιφάνειες έκτασης 2-15 περίπου στρεμμάτων εκάστης (Μπαλούτσος, 1988) και οι οποίες είναι γνωστές τοπικά ως «μελίστρες» (Εικ. 1). Η επιφανειακή απορροή Horton στις επιφάνειες αυτές είναι εκτεταμένη αν ο φλύσχης είναι ψαμμιτικός και τις καλύπτει σχεδόν τελείως αν είναι αργιλικός. Είναι βέβαια φανερό πως η διάβρωση του εδάφους στις επιφάνειες αυτές είναι σοβαρότατη και κυρίως κατά τις χειμερινές βροχές και τις θερινές ανοδικές καταιγίδες.

Στις «μελίστρες» που αναφέρθηκαν ισχύει βέβαια η υπόθεση σχηματισμού απορροής Horton αφού η επιφανειακή απορροή από τις πλαγιές τους καταλήγει στις αντίστοιχες μικροκοίτες τους και στη συνέχεια στην κοίτη της μεγαλύτερης τάξης μεγέθους λεκάνης στην οποία αποστραγγίζονται. Σε αντίθεση όμως με τις «μελίστρες», οι λεκάνες που τις περιλαμβάνουν, λειτουργούν σύμφωνα με την έννοια της «μερικής επιφάνειας

τροφοδοσίας» του Betson (1964), αφού η απορροή της κοίτης τους προέρχεται από την επιφανειακή απορροή των «μελιστρών». Οποσδήποτε όμως υπάρχουν στα αειφύλλα πλατύφυλλα της δυτικής Ελλάδας και λεκάνες που στερούνται τελείως «μελιστρών». Στην περίπτωση αυτή όλη η βροχή διηθείται στο έδαφος και η απορροή των ρευμάτων τους σχηματίζεται σύμφωνα με την υπόθεση Hewlett δια της «μεταβλητής επιφάνειας τροφοδοσίας».

Εκτός των αειφύλλων πλατυφύλλων της δυτικής Ελλάδας, επιφανειακή απορροή Horton σχηματίζεται και σε άλλες περιοχές της χώρας με τα ίδια βλασθητικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά. Ακόμα η ίδια κατηγορία απορροής σχηματίζεται σε δασικές περιοχές ή επιφάνειες όπου κυριαρχούν αδιαπέραστα από το νερό πετρώματα (πυριγενή, μεταμορφωσιγενή, σχιστολιθικά κ.ά.) και η βλάστηση σ' αυτά έχει υποβαθμιστεί από υπερβόσκηση, ξυλεύσεις κ.λπ. Στις θέσεις αυτές παρατηρείται, εξαιτίας της επιφανειακής απορροής, και σοβαρή διάβρωση του εδάφους. Εκτεταμένη όμως αναφορά για τη διάβρωση αυτή στα παραπάνω αδιαπέραστα πετρώματα έχει γίνει από το Μιχόπουλο και Οικονόμου (2012).

Πολύ σημαντικό είναι να επισημανθεί ακόμα πως η ίδια κατηγορία απορροής σχηματίζεται και σε ορισμένες θέσεις ή επιφάνειες των υψηλών και οικονομικά εκμεταλλεύσιμων δασών μας, όταν το έδαφος διαταράσσεται από ανθρώπινες ενέργειες. Τέτοιες θέσεις είναι τα οδοστρώματα και τα πρανή των δασικών δρόμων, οι σύρτες μετατόπισης ξυλείας, τα μονοπάτια, οι κορμοπλατείες, οι υπερβοσκημένες και συμπίεσμένες θέσεις των δασών μας, οι επιφάνειες εξόρυξης μεταλλευμάτων κ.λπ. Η επιφανειακή απορροή Horton των θέσεων και των επιφανειών που αναφέρθηκαν καταλήγει πρώτα στο δευτερεύον υδρογραφικό δίκτυο των λεκανών που περιλαμβάνουν τις θέσεις σχηματισμού της απορροής και στη συνέχεια στις κεντρικές κοίτες τους και συμβάλλει έτσι κατά ένα ποσοστό στην αύξηση της άμεσης απορροής τους.

Από όλα τα παραπάνω διαπιστώνεται πως η επιφανειακή απορροή Horton είναι ένα συνηθισμένο υδρολογικό φαινόμενο σε υποβαθμισμένες περιοχές των δασικών λεκανών της Ελλάδας, εκτός βέβαια εκείνων που έχουν ως γεωλογικό υπόβαθρο το διαπερατό ασβεστόλιθο. Η απορροή αυτή κάνει επίσης αισθητή την παρουσία της ακόμα και σε ορισμένες διαταραγμένες θέσεις των υψηλών και οικονομικά εκμεταλλευόμενων δασών μας. Πάντως όμως η συγκεκριμένη απορροή, όπως τονίστηκε και προηγούμενα, είναι ένα ανεπιθύμητο υδρολογικό φαινόμενο αφού έπονται αυτής «μύριες» άλλες αρνητικές επιπτώσεις. Κατά συνέπεια ο μετριασμός ή η εξάλειψη της παραπάνω απορροής πρέπει να είναι

πάντοτε στις άμεσες προτεραιότητες των διαχειριστών των λεκανών για τη λήψη και υλοποίηση των απαραίτητων μέτρων και έργων, αντίστοιχα.

8.2. Δημιουργία υπεδάφιας απορροής σε δασικές περιοχές της Ελλάδας

Αναφέρθηκε προηγουμένα πως υπεδάφια απορροή δημιουργείται σε δασικές περιοχές όταν οι ταχύτητες διήθησης της βροχής στο έδαφος ξεπερνούν όλες τις εντάσεις της. Τέτοιες συνθήκες επικρατούν εκεί που το έδαφος καλύπτεται πλήρως από αδιατάρακτη πρακτικά δασική βλάστηση. Η παραπάνω σχέση μεταξύ ταχυτήτων διήθησης της βροχής και εντάσεων αυτής παρατηρείται επειδή το δάσος είναι η ιδανικότερη από όλες τις χρήσεις γης ώστε να διαμορφώνει τις μέγιστες ταχύτητες διήθησης της βροχής στο έδαφος. Η μεγιστοποίηση αυτών επιτυγχάνεται κατ' αρχάς με τη μείωση της κινητικής ενέργειας της βροχής δια της κομιοστέγης του δάσους και της αποφυγής έτσι κατακερματισμού των σωματιδίων του εδάφους και μείωσης στη συνέχεια του πορώδους αυτού. Οι μέγιστες ταχύτητες διήθησης διαμορφώνονται και δια του σχηματισμού στρώματος οργανικής ουσίας σημαντικού πάχους στην επιφάνεια του εδάφους και επιπλέον δια του πυκνού δικτύου μακροπόρων που δημιουργούνται από το ριζικό σύστημα των φυτών και την πανίδα εντός της μάζας του εδάφους. Όλες οι παραπάνω διεργασίες διαμορφώνουν μια «ανοικτή» στο νερό δομή του δασικού εδάφους.



Εικόνα 1. Περιοχή με εκτεταμένες διαβρώσεις (μελίστρες) από επιφανειακή απορροή σε ψαμμιτικό και αργιλικό φλύσχη στην κοινότητα Βαρετάδας Αμφιλοχίας.
Picture 1. An area with widespread eroded spots by overland flow on sandstone and argillaceous flysch, near Varetada village of central western Greece.

Κατά συνέπεια, το «άκοπο, άκαντο και αβόσκητο» δάσος απορροφά πάντοτε και μεταφέρει δια της υπεδάφιας απορροής προς τα κατόπι το νερό από βροχές ακόμα και με πολύ ακραίες εντάσεις. Για το λόγο αυτό ο Hewlett, όπως επισημάνθηκε, από τις αρχές ακόμα της δεκαετίας του 1960, τόνιζε πως κάθε συζήτηση για το σχηματισμό της απορροής των ρευμάτων στα αδιατάρακτα δάση πρέπει να αρχίζει πάντοτε με την προϋπόθεση πως κυρίαρχη απορροή των πλαγιών τους είναι η υπεδάφια, εκτός και αν υπάρχουν αποδείξεις για κάποια άλλη κατηγορία απορροής.

Στην Ελλάδα, ιδανικές συνθήκες δημιουργίας υπεδάφιας απορροής επικρατούν στις ορεινές περιοχές που καλύπτονται πλήρως από αδιατάρακτα πρακτικά δάση τόσο κωνοφόρων (ελάτης και πεύκης) όσο και φυλλοβόλων πλατυφύλων (οξιάς, δρυός κ.λπ.). Η άποψη αυτή υποστηρίζεται όχι μόνο από τις προηγούμενες αναφορές ως προς τις φυσικές συνθήκες εκδήλωσης υπεδάφιας απορροής, αλλά και από την εμπειρία μας που αποκτήθηκε κατά τη μακροχρόνια λειτουργία και μελέτη των πειραματικών δασικών υδρολογικών λεκανών της Δασικής Υπηρεσίας, αλλά και από πολλές επισκέψεις άλλων δασικών περιοχών της χώρας μας κατά τη διάρκεια αντίξων καιρικών συνθηκών. Από τέτοιες επισκέψεις διαπιστώνεται πως κατά τη διάρκεια ισχυρών βροχών σε αδιατάρακτες δασικές περιοχές, ενώ η στάθμη της απορροής των ρευμάτων βρίσκεται κατά κανόνα στο «όριο της πλημμύρας», στην επιφάνεια των λεκανών τους δεν παρατηρείται επιφανειακή απορροή Horton, παρά μόνο στις μεμονωμένες θέσεις που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο και οι οποίες διαταράχθηκαν από ανθρώπινες ενέργειες.

Τέτοιες καταστάσεις καταδεικνύουν πως όλη πρακτικά η βροχή διηθείται στο έδαφος και υπό μορφή υπεδάφιας απορροής κατέρχεται προς την παραρεμάτια ζώνη των λεκανών όπου τελικά, σύμφωνα με την υπόθεση σχηματισμού απορροής του Hewlett που αναφέρθηκε, συμβάλλει στο σχηματισμό της άμεσης απορροής των ρευμάτων. Δύο αντιπροσωπευτικές τέτοιες θέσεις για δημιουργία υπεδάφιας απορροής, παρουσιάζονται στις Εικόνες 2 και 3 αντίστοιχα. Τονίζεται ακόμα πως τα δάση μας κατά τις τελευταίες δεκαετίες

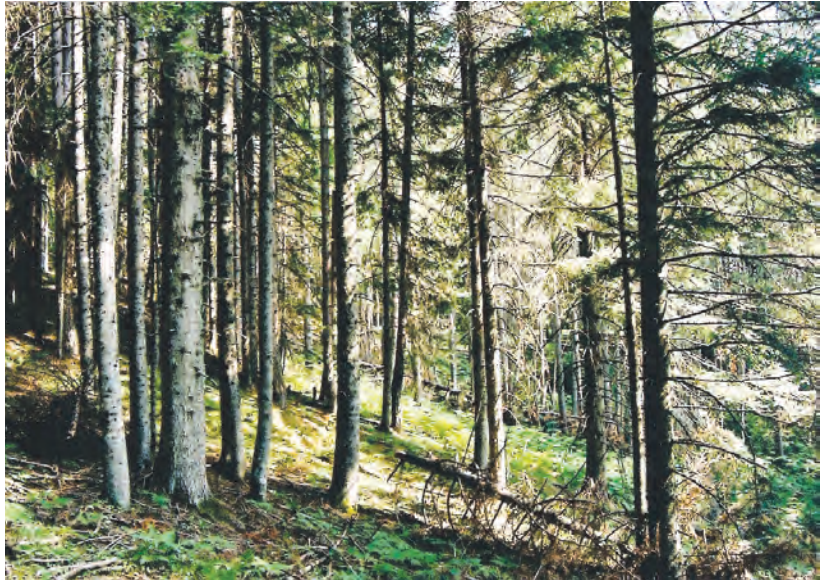
επεκτείνονται και πυκνώνουν βαθμιαία λόγω μετακίνησης του ορεινού πληθυσμού προς τα αστικά κέντρα και επιπλέον λόγω μείωσης του κτηνοτροφικού κεφαλαίου. Οι μεταβολές αυτές δημιουργούν με τη σειρά τους στις αντίστοιχες υδρολογικές λεκάνες όλο και πιο ευνοϊκές συνθήκες απεριόριστης «απορρόφησης» του νερού ακόμα και από τις πιο ακραίες βροχοπτώσεις. Θέσεις με τέτοιες συνθήκες είναι βέβαια ικανές να απορροφήσουν ακόμα και την επιφανειακή απορροή Horton που προέρχεται από άλλες διαταραγμένες θέσεις των δασικών λεκανών. Επισημαίνεται όμως ακόμα πως ενώ η επέκταση και πυκνωση των δασών μας ευνοούν την εκδήλωση υπεδάφιας απορροής, από την άλλη πλευρά συντελούν,

λόγω αύξησης της εξατμισοδιαπνοής, και στη μείωση της ετήσιας απορροής των ρευμάτων, με ό,τι βέβαια αυτό συνεπάγεται για την υδατική οικονομία της χώρας μας.

Οι παραπάνω εδαφικές συνθήκες στα αδιατάρακτα δάση μας που αναφέρθηκαν, έχουν προφανώς πολύ μεγάλη σημασία αφού η σχηματιζόμενη υπεδάφια απορροή δεν διαβρώνει το έδαφος και επιπλέον όχι μόνο δεν ρυπαίνει την απορροή των ρευμάτων με την παράσυρση ρυπαντών, αλλά αντίθετα βελτιώνει την ποιότητα αυτής αφού φιλτράρεται κατά τη διέλευση της από τη μάζα του εδάφους. Ακόμα η υπεδάφια απορροή μειώνει τις πλημμυρικές αιχμές των λεκανών, εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς και ρυθμίζει τη διαίτα των ρευμάτων ώστε να έχουν ροή για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα του έτους. Όλες οι προηγούμενες θετικές επιπτώσεις της υπεδάφιας απορροής κάνουν προφανώς επιτακτική την ανάγκη διατήρησης των ευνοϊκών συνθηκών του εδάφους στις δασικές περιοχές μας, αφού είναι πολύ εύκολο στην αντίθετη περίπτωση να μετασχηματισθεί η υπεδάφια απορροή σε επιφανειακή απορροή Horton, με όλες τις δυσμενείς της επιπτώσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένα.

9. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από όσα ανατύχθηκαν στα προηγούμενα, υποστηρίζεται πως οι μηχανισμοί σχηματισμού απορροής ενός ρεύματος θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν ως η «καρδιά» της δασικής υδρολογίας. Και αυτό επειδή



Εικόνα 2. Αδιατάρακτη συστάδα ελάτης με έδαφος κατάλληλο για σχηματισμό υπεδάφιας απορροής στο Περούλι Τρικάλων.

Picture 2. An undisturbed fir stand on suitable soil for subsurface flow occurrence in Pertouli, Trikala.

οι μηχανισμοί αυτοί που περικλείουν όλες τις φυσικές διεργασίες μετασχηματισμού της βροχής από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι την κοίτη του ρεύματος σε άμεση απορροή του, καταδεικνύουν τη λειτουργία της υδρολογικής λεκάνης, με ό,τι βέβαια θετικό από αυτό το γεγονός συνεπάγεται για την ανάπτυξη, την ορθολογική διαχείριση και προστασία των φυσικών της πόρων.

Οι μηχανισμοί σχηματισμού απορροής ποικίλουν και η υδρολογική έρευνα πεδίου κατέδειξε τους παρακάτω:

1. Το μηχανισμό της επιφανειακής απορροής Horton ο οποίος δημιουργείται όταν η ένταση της βροχής ξεπερνάει την ταχύτητα διήθησης αυτής στο έδαφος. Ο μηχανισμός αυτός λειτουργεί μόνο σε περιοχές με ξηρές και ημίξηρες κλιματικές συνθήκες και πολύ αραιή βλάστηση.
2. Το μηχανισμό της υπεδάφιας απορροής ο οποίος δημιουργείται όταν η ένταση της βροχής είναι μικρότερη της ταχύτητας διήθησης αυτής στο έδαφος και η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους είναι μεγαλύτερη στην παράλληλη προς την επιφάνεια του εδάφους κατεύθυνση παρά προς την κατακόρυφη. Ο μηχανισμός αυτός λειτουργεί τέλεια σε περιοχές με αδιατάρακτη πρακτικά δασική βλάστηση και αδιατάρακτα εδάφη.
3. Το μηχανισμό της κορεσμένης επιφανειακής απορροής ο οποίος δημιουργείται από τη βροχή



Εικόνα 3. Αδιατάρακτη συστάδα μαύρης πεύκης με υπόροφο ελάτι και έδαφος παρόμοιο με εκείνο της Εικόνας 2, στο Περούλι Τρικάλων.

Picture 3. An undisturbed black pine stand with fir understorey and similar soil conditions with those of Picture 2, in Pertouli, Trikala.

όταν το έδαφος γίνεται κορεσμένο από την άνοδο του φρεάτιου ορίζοντα μέχρι την επιφάνειά του ή, όταν για διάφορους λόγους, σχηματίζεται «υπερψωμένος» φρεάτιος ορίζοντας στις πλαγιές της λεκάνης και το νερό ανέρχεται βαθμιαία μέχρι την επιφάνεια του εδάφους.

4. Υποκατηγορίες των παραπάνω μηχανισμών είναι και εκείνοι της εκτοπιζόμενης απορροής και της απορροής δια μέσου των μακροπόρων του εδάφους. Οι δύο τελευταίοι μηχανισμοί δεν έχουν όμως κατανοηθεί πλήρως προς το παρόν.

Εκτός των παραπάνω μηχανισμών, έχουν διατυπωθεί ακόμα και υποθέσεις (θεωρίες) σχηματισμού της απορροής οι οποίες αναλύουν και εξετάζουν τη λειτουργία των μηχανισμών και την απόκριση της λεκάνης στη βροχή, για το σχηματισμό της άμεσης απορροής της. Οι κυριότερες από τις υποθέσεις αυτές είναι του Horton, η οποία στηρίζεται στο μηχανισμό της ομώνυμης επιφανειακής απορροής και εκείνη του Hewlett, η οποία στηρίζεται στο μηχανισμό της υπεδάφιας απορροής καθώς και της κορεσμένης επιφανειακής απορροής. Σημαντικότερο επιπλέον μέρος της υπόθεσης Hewlett είναι και η ύπαρξη των «μεταβλητών επιφανειών τροφοδοσίας» της άμεσης απορροής του ρεύματος, οι οποίες «επεκτείνονται και συρρικνώνονται» εκατέρωθεν της κοίτης του ρεύματος προς τα ανάντη και κατάντη των πλαγιών, ανάλογα

με την αύξηση και ελάττωση της έντασης και διάρκειας της βροχής.

Τονίζεται ακόμα πως η μεγάλη σπουδαιότητα των μεταβλητών επιφανειών τροφοδοσίας της υπόθεσης Hewlett, απορρέει από την πληθώρα των πρακτικών τους εφαρμογών στην υδρολογία, στη δασοπονία και στην προστασία του ορεινού φυσικού περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό έχουν διατυπωθεί και κριτήρια εντοπισμού και καθορισμού των επιφανειών αυτών στο πεδίο, με βάση τα τοπογραφικά, εδαφικά και βλαστητικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων υδρολογικών λεκανών.

Όσον αφορά στην Ελλάδα, λόγω της ποικιλομορφίας των φυσικών χαρακτηριστικών των δασικών λεκανών μας, αλλά και

της υποβάθμισης ενός αριθμού από αυτών λόγω ανθρωπινων ενεργειών, σχηματίζονται όλες οι κατηγορίες απορροής στις πλαγιές τους. Από τις διάφορες κατηγορίες απορροής όμως, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν η επιφανειακή Horton και η υπεδάφια, αφού πάντοτε έπονται αυτών πληθώρα αρνητικών και θετικών επιπτώσεων, αντίστοιχα.

Επισημαίνεται επίσης πως η επιφανειακή απορροή Horton «κυριαρχεί» στις υποβαθμισμένες περιοχές και θέσεις των δασικών μας λεκανών. Αντίθετα η υπεδάφια απορροή «κυριαρχεί» στα υψηλά και αδιατάρακτα δάση μας από κωνοφόρα και πλατύφυλλα είδη και βαθμιαία μετασχηματίζεται σε άμεση απορροή των ρευμάτων δια της υπόθεσης Hewlett. Τέλος προστίθεται πως η επικινδυνότητα και η μεγάλη σπουδαιότητα για τις δασικές μας περιοχές της επιφανειακής απορροής Horton και της υπεδάφιας, αντίστοιχα, «επιβάλλουν» τη λήψη και υλοποίηση μέτρων και έργων για το μετριασμό της πρώτης απορροής και την ενίσχυση της δεύτερης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς της εργασίας εκφράζουν τις ευχαριστίες τους στους τρεις άγνωστους κριτές της οι οποίοι με την εποικοδομητική τους κριτική και τις εύστοχες παρατηρήσεις τους συνέβαλαν στην βελτίωση αυτής.

Streamflow generation mechanisms in forest watersheds and their contribution to water exploitation and to protection of the mountain natural environment

G. Baloutsos¹, A. Roussos²

ABSTRACT

Streamflow generation mechanisms are of the most important issues of forest hydrology. They are the natural processes by which rain, from the moment it reaches the surface of the ground, is transformed to direct channel runoff to the nearest stream. The studies of these mechanisms started mainly at the early 1930's and they are still ongoing all over the world. Their importance is particularly significant, mainly for the exploitation of water and the protection of forest natural environment and mountain watersheds in general. In the rest of the paper, the relevant technical terms are defined and described briefly in order to avoid any obscurities in understanding the streamflow generation mechanisms. Next, Horton's and Hewlett's concepts (theories) about streamflow generation of mountain streams are briefly analyzed and discussed. From the above brief analysis and discussion, the various categories of the mentioned mechanisms, the details of rain to streamflow transformation, the variable source areas of Hewlett's concept and the natural environments where each of the above concepts is valid, are ascertained. Then follows a brief description of the most important applications in practice of the variable source areas. Also the techniques for detection and delineation in the field of the above mentioned source areas, are analyzed and discussed. Particular emphasis is also given, in relation to all aforementioned information of this paper, in the categories of runoff occurring in the forest watersheds of Greece which are the overland flow and the interflow. Finally, the areas of Greece where the two above runoff categories predominate, and also the areas where Horton's and Hewlett's concepts are valid, are generally located and discussed.

Key words: streamflow generation mechanisms, mountain watersheds, Horton's and Hewlett's concept, variable source areas, practical applications, Greek watersheds, runoff categories.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Amerman, C.R., 1965. The use of unit source watershed data for runoff prediction. *Water Resour. Res.*, 1(4): 499-508.
- Amoroch, J. and Hurt, W.E., 1964. A critique of current methods in hydrologic systems investigation. *Trans. Am. Geophys. Union*, 45: 307-321.
- Anderson, M.G. and Burt, T.P., 1978. The role of topography in controlling throughflow generation. *Earth Surf. Processes and Landforms*, 3: 331-344.
- Anderson, M.G. and Burt, T.P., 1978. Toward more detailed field monitoring of variable source areas. *Water Resour. Res.*, 14(6): 1123-1131.
- Anderson, M.G. and Burt, T.P., 1982. The contribution of throughflow to storm runoff: an evaluation of a chemical mixing model. *Earth Surf. Processes and Landforms*, 5: 564-574.
- Aubertin, G.M. 1971. Nature and extent of macropores in forest soils and their influence on subsurface water movement. *Forest Serv. Pap. NE(US)*, 192SP, pp.33.
- Bernier, P.Y. and Hewlett, J.D., 1982. Test of a revised variable source area simulator (VSAS2) on a forested basin. In "Canadian Hydrology Symposium Proc", Fredericton, pp. 401-418.
- Betson, R.P., 1964. What is watershed runoff? *J. Geophys. Res.*, 69: 1541-1551.
- Betson, R.P. and Marius, J.B., 1969. Source areas of storm runoff. *Water Resour. Res.*, 5: 574-582.
- Bonell, M., 1993. Progress in the understanding of runoff generation dynamics in the forests. *J. Hydrol.*, 150: 217-275.
- Bonell, M., 1998. Selected challenges in runoff generation research in forests from the hillslope to headwater drainage basin scale. *J. Am. Water Res. Assoc.*, 34(4): 765-785.
- Bourletsikas, At., Baltas, Ev. and Mimikou, M., 2006. Rainfall-runoff modeling for an experimental watershed of Western Greece using extended time-area method and G.I.S. *J. of Spatial Hydrology*, 6(1): 93-104.
- Chorley, R.J., 1980. The hillslope hydrological cycle.

¹Forester – Hydrologist, former senior researcher of the National Agricultural Research Foundation, Athens. Present Address: 138, Emm. Benaki St., 11473, Athens. Tel. +302103300578, e-mail: balgeorg@otenet.gr

²Hellenic Agricultural Organization "DEMETER", Institute of Mediterranean Forest Ecosystems and Forest Products Technology, tel: +306947564014, e-mail: anargyros.roussos@gmail.com

- In "Hillslope Hydrology", Ed. By Kirkby, M.J., John Willy and Sons, pp. 1-42.
- Cook, H.L., 1946. The infiltration approach to the calculation of surface runoff. *Trans. Am. Geophys. Union*, 27(v): 726-747.
- Davis, W.W., 1899. The geographical cycle. *Geographical J.*, 14: 481-504.
- Dunne, T. and Black, R.D., 1970a. An experimental investigation of runoff production in permeable soils. *Water Resour. Res.*, 6(2): 478-490.
- Dunne, T. and Black, R.D., 1970b. Partial area contributions to storm runoff in a small New England watershed. *Water Resour. Res.*, 6(5): 1296-1311.
- Dunne, T., Moore, T.R. and Taylor, C.H., 1975. Recognition and prediction of runoff producing zones in humid regions. *Hydrological Sciences Bulletin*, XX, 3: 305-327.
- Dunne, T. and Leopold, L.B., 1978. *Water in Environmental Planning*. W.H. Freeman and Company, San Francisco, pp. 818.
- Dunne, T., 1980. Field studies of hillslope flow processes. In "Hillslope Hydrology", Ed. by Kirkby, M.J., pp. 227-289.
- Dunne, T., 1983. Relation of field studies and modeling in the prediction of storm runoff. *J. Hydrol.*, 65: 25-48.
- Engman, E.T., 1974. Partial area hydrology and its application to water resources. *Water Resour. Bulletin*, 10(3): 512-521.
- Freeze, R.A. 1972. Role of subsurface flow in generating surface runoff. 2. Upstream source areas. *Water Resour. Res.*, 8(5): 1272-1283.
- Giusti, L. and Neal, C., 1993. Hydrological pathways and solute chemistry of storm runoff at Dargall Lane, southwest Scotland. *J. Hydrol.*, 142: 1-27.
- Hewlett, J.D., 1961a. Watershed management: Some ideas about storm runoff and base flow. USDA, Forest Service, Southeast Forest Experiment Station, Asheville, North Carolina. In Annual Report for 1961, pp. 61-66.
- Hewlett, J.D., 1961b. Soil moisture as a source of base flow from steep mountain watersheds. USDA, Forest Service, Southeast Forest Experiment Station, Asheville, North Carolina, Station Paper N° 132, 11pp.
- Hewlett, J.D. and Hibbert, A.R., 1963. Moisture and energy conditions within a sloping soil mass during drainage. *J. Geophys. Res.*, 68(4): 1081-1087.
- Hewlett, J.D. and Hibbert, A.R., 1967. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. In "Int. Symp. on Forest Hydrology Proc." Ed. by Sopper, W.E. and Lull, H.W., Pergamon Press, Oxford, pp. 275-290.
- Hewlett, J.D. and Nutter, W.L. 1970. The varying source area of streamflow from upland basins. In "Symp. on Watershed Management Proc.", Montana State University, Bozeman, Montana, pp. 65-83.
- Hewlett, J.D., 1974. Comments on letters relating to "Role of Subsurface Flow in Generation Surface Runoff, 2, Upstream Source Areas," by R. Allan Freeze. *Water Resour. Res.* 10(3): 605-607.
- Hewlett, J.D., 1982. *Principles of Forest Hydrology*, Second Edition, The Univ. of Georgia Press, Athens, USA, pp.176.
- Hoover, M.D. and Hursh, C.R., 1943. Influence of topography and soil depth on runoff from forest land. *Trans. Am. Geophys. Union*, Part 2: 693-698.
- Horton, J.H. and Hawkins, R.H., 1965. Flow path of rain from the soil surface to the water table. *Soil Science*, 100(6):377-383.
- Horton, R.E., 1933. The role of infiltration in the hydrological cycle. *Trans. Am. Geophys. Union*. 14:446-460.
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrological approach to quantitative morphology. *Bull. Geolog. Soc. Am.* 56:275-370.
- Hursh, C.R., 1936. Storm water and absorption. Contribution to Report of the Committee on Absorptional Transpiration, 1935-1936. *Trans. Am. Geophys. Union*, 17:296-302.
- Hursh, C.R. and Brater, E.F., 1941. Separating storm hydrographs from small drainage areas in surface and subsurface flow. *Trans. Am. Geophys. Union*, 22:863-870.
- Hursh, C.R., 1944. Report of the Sub-Committee on Subsurface flow. *Trans. Am. Geophys. Union*, 25:743-746.
- Kirchner, J.W., 2003. A double paradox in catchment hydrology and geochemistry. *Hydrol. Process.*, 17:871-874.
- Kirkby, M.J. and Chorley, R.J., 1967. Throughflow, overland flow and erosion. *Bull. Intern. Assos. Sci. Hydrol.*, 12:5-21.
- Kirkby, M.J., 1969. Infiltration, throughflow and overland flow. In "Water, Earth and Man" Ed. by Chorley, R.J., Methuen, London and New York, pp.215-227.
- Kirkby, M.J., 1980. "Hillslope Hydrology", John Wiley and Sons, Chichester, New York, Toronto, pp. 389.
- Kirkby, M.J., 1988. Hillslope runoff processes and models. *J. Hydrol.*, 100: 315-339.
- Κουτσογιάννης, Δ. και Εαυθόπουλος, Θ. 1999. Τεχνική Υδρολογία, Ε.Μ.Π. Τομέας Υδατικών Πόρων, Έκδοση 2^η, σελ. 412.
- Lowdermilk, W.C. 1933. *Forests and Streamflow*. A

- discussion of the Hoyt-Troxell Report, J. For., 31:296-307.
- McDonnell, J.J., 1990. A rationale for old water discharge through macroporous in a steep, humid catchment. *Water Resour. Res.*, 26(11): 2861-2832.
- McDonnell, J.J., 2003. Where does water go when it rains? Moving beyond the variable source area concept of rainfall response. *Hydrol. Process.*, 17: 1869-1875.
- Μιχόπουλος, Π. και Οικονόμου, Αν., 2012. Τα εδάφη στα δάση. Περιλαμβάνεται εις «Το δάσος: Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση». WWF Ελλάς, Αθήνα. Επιμ. Έκδοσης, Παπαγεωργίου Αρ., Καρέτσος, Γ. και Κατσαδωράκης, Γ., σελ. 77-87.
- Montgomery, D.R., Dietrich, W.E., Torres, R., Anderson, S.P., Heffner, J.T. and Loague, K., 1997. Hydrologic response of a steep, unchanneled valley to natural and applied rainfall. *Water Resour. Res.*, 33(1): 91-109.
- Mosley, M.P., 1979. Streamflow generation in a forested watershed, New Zealand. *Water Resour. Res.*, 15(4): 795-806.
- Mosley, M.P., 1982. Subsurface flow velocities through selected forest soils, South Island, New Zealand, *J. Hydrol.*, 55: 65-92.
- Μπαλούτσος, Γ., 1988. Υδρολογική συμπεριφορά των πειραματικών λεκανών απορροής Βαρετάδας Αμφιλοχίας σε καταιγίδες ανοδικού τύπου. Περιοδ. Δασικά Χρονικά, Τεύχος 1: 21-33.
- Μπαλούτσος, Γ., 1989. Επιφάνειες τροφοδοσίας της ταχείας απορροής των ρευμάτων των πειραματικών υδρολογικών λεκανών Αγίου Νικολάου Καρπενησίου. Επιστημονική Επετηρίδα τμήματος Δασολογίας και Φ.Π. του Α.Π.Θ., Τεύχος ΑΒ/2, 13: 233-260.
- Neary, D.G., Ice, G.G. and Jackson, C.R., 2009. Linkages between forest soils and water quality and quantity. *Forest Ecology and Management*, 258: 2269-2281.
- O' Loughlin, E.M., 1981. Saturation regions in catchments and their relations to soil and topographic properties. *J. Hydrol.*, 53: 229-246.
- Obradovic, M.M. and Sklash, M.G., 1986. An isotopic and geochemical study of snowmelt runoff in a small arctic watershed. *Hydrol. Process.*, 5: 15-30.
- Ogunkoya, O.O. and Jenkins, A. 1991. Analysis of runoff pathways and flow contributions using deuterium and stream chemistry. *Hydrol. Process.*, 5: 271-282.
- Pearce, A.J., Stewart, M.K. and Sklash, M.G., 1986. Storm runoff generation in humid headwater catchments. 1. Where does the water come from? *Water Resour. Res.* 22(8): 1263-1272.
- Pilgrim, D.H., 1966. Radioactive tracing of storm runoff on a small catchment. II. Discussion of results. *J. Hydrol.*, 4:306-326.
- Ragan, R.M., 1968. An experimental investigation of partial area contributions. *Int. Ass. Sci. Hydrol.*, Publication 76, pp. 241-249.
- Rawitz, E., Engman, E.T., and Cline, G.D., 1970. Use of a mass balance method for examining the role of soils in controlling watershed performance. *Water Resour. Res.*, 6(4): 1115-1123.
- Roessel, B.W.P., 1950. Hydrologic problems concerning the runoff in headwater regions. *Trans. Am. Geophys. Union*, 31: 431-442.
- Satterlund, D.R., 1972. *Wildland Watershed Management*. John Wiley and Sons, New York, Santa Barbara, Toronto, pp. 370.
- Sklash, M.G. Stewart, M.K. and Pearce, A.J., 1986. Storm runoff generation in humid headwater catchments. 2-A case study of hillslope and low-order stream response. *Water Resour. Res.*, 22(8): 1273-1282.
- Taha, A., Gresillon, J.M., and Clothier, B.E., 1997. Modeling the link between hillslope water movement and stream flow: application to a small Mediterranean forest watershed. *J. Hydrol.*, 203: 11-20.
- Tennessee Valley Authority, Office of Tributary Area Development, 1964. Bradshaw Creek – Elk River. A pilot study in area stream factor correlation. Research Paper No 4, Knoxville, Tenn.
- Troendle, C.A., 1985. Variable source area models. In “Hydrological Forecasting”, Ed. by Anderson, M.G. and Burt, T.P., John Wiley and Sons Ltd. pp. 347-403.
- Tsukamoto, Y., 1961. An experiment of subsurface flow. *Jpn. Soc. Forest J.*, 43: 61-68.
- Ward, R.C., 1975. “Principles of Hydrology”, 2nd ed., McGraw-Hill Pub. Company, pp. 244-256.
- Ward, R.C. and Robinson, M., 2000. “Principles of Hydrology”, McGraw-Hill Pub. Company, pp. 450.
- Weyman, D.R., 1970. Throughflow on hillslopes and its relation to the stream hydrograph. *Bull. Int. Assoc. Sci. Hydrol.*, 15: 25-33.
- Weyman, D.R., 1973. Measurements of the downslope flow of water in a soil. *J. Hydrol.*, 20: 267-288.
- Whipkey, R.Z., 1965. Subsurface flow on forested slopes. *Bull. Int. Assoc. Sci. Hydrol.*, 10: 74-85.

Έργα προστασίας του δασικού οδικού δικτύου μετά από πυρκαγιά

Θ. Ψιλοβίκος¹, Κ. Δούκας²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το δασικό οδικό δίκτυο είναι ιδιαίτερα ευάλωτο στη διάβρωση, κυρίως μετά από πυρκαγιά, καθώς ο ρυθμός διάβρωσης αυξάνεται απότομα, με συνέπεια να καταστρέφονται με ταχύτατους ρυθμούς η υποδομή του και τα παρελκόμενα τεχνικά του έργα. Απαιτείται, λοιπόν, προγενέστερος σχεδιασμός, είτε για την διάνοιξη νέων δρόμων, είτε για τεχνικές επεμβάσεις στα υφιστάμενα δίκτυα, ιδιαίτερα αν το δάσος ανήκει σε κατηγορία δάσους υψηλής επικινδυνότητας για πυρκαγιά. Επιλέχθηκε το περιαιστικό δάσος Θεσσαλονίκης ως δάσος υψηλής επικινδυνότητας για πυρκαγιά, διότι, στο πρόσφατο παρελθόν, επλήγη βαρύτερα από πυρκαγιά και πρόσφατα εφαρμόστηκαν τεχνικά έργα βελτίωσης στο οδικό τους δίκτυο. Πραγματοποιείται αξιολόγηση των έργων αυτών, ενώ προτείνονται και άλλα συμπληρωματικά, κατάλληλα για δάση μετά από πυρκαγιά. Αυτά επικεντρώνονται στην ευστάθεια των πρανών και του οδοστρώματος, με τοποθέτηση καναλιών-σωλήνων εκτόνωσης υδάτων, κάθετα κανάλια αποχέτευσης όμβριων υδάτων στο οδόστρωμα και, τέλος, διάφορες μεθόδους προστασίας των τεχνικών έργων, με χρήσεις εσχάρων και ξύλινων φραγμάτων, καθώς δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στον έλεγχο των όμβριων υδάτων για την προστασία των αποχετευτικών έργων από τη διάβρωση. Προτείνεται, επίσης, το καταλληλότερο πλάτος, ώστε να επιχειρούν τα πυροσβεστικά οχήματα χωρίς δυσκολίες. Τα προτεινόμενα έργα πλεονεκτούν ως προς την ευκολία εφαρμογής, το χαμηλό κόστος και τη περιβαλλοντική συμβατότητα, ενώ, επιπλέον, μπορούν να εφαρμοστούν ανά πάσα στιγμή σε υφιστάμενα έργα δασικής οδοποιίας, αποφεύγοντας την ανάγκη νέων χαράξεων, με σημαντική βελτίωση στη περαιτέρω θωράκιση του δάσους από τη διάβρωση μετά από πυρκαγιά. Με αυτό τον τρόπο διασφαλίζεται η απρόσκοπτη χρήση του δασικού οδικού δικτύου για όλους τους χρήστες, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Λέξεις κλειδιά: Δασικό οδικό δίκτυο, διάβρωση, υψηλή επικινδυνότητα πυρκαγιάς, τεχνικά έργα προστασίας

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αρκετά από τα δάση της χώρας μας έχουν χαρακτηριστεί ως δάση υψηλής επικινδυνότητας για πυρκαγιά, είτε με μόνιμο χαρακτηρισμό μέσω επίσημων αποφάσεων και διαταγμάτων του κράτους, είτε με μεταβλητό χαρακτηρισμό μέσω του βαθμού επικινδυνότητας, που εκδίδεται από τη Γενική Γραμματεία πολιτικής προστασίας κατά την διάρκεια του θέρους σε ημερήσια βάση και βασίζεται σε μεταβαλλόμενες μετεωρολογικές συνθήκες (Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, 2009).

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται αύξηση του ρυθμού διάβρωσης των κατασκευών και ιδιαίτερα των οδικών δικτύων, που, εξ ορισμού, είναι και τα πιο εκτεθειμένα στα στοιχεία της φύσης. Αυτό οφείλεται στην αλλαγή του κλίματος (<http://climate.nasa.gov/evidence>, 2011), με συνέπεια τη συχνότερη εμφάνιση έντονων καιρικών φαινομένων, όπως οι καταρρακτώδεις βροχοπτώσεις. Το πρόβλημα επιδεινώνεται όταν, σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή, λαμβάνεται υπόψη και ο χαρακτηρισμός του υπό διαχείριση δάσους ως δάσους υψηλής επικινδυνότητας για πυρκαγιά. Είναι

γνωστό σήμερα, δυστυχώς στη πράξη, το πόσο αυξάνεται η διάβρωση του εδάφους σε μια δασική έκταση που προηγουμένως έχει αποτεφρωθεί. Στα καμένα δάση ελαχιστοποιείται η ικανότητα του εδάφους στην απορρόφηση των όμβριων υδάτων και εμφανίζονται πλημμυρικά φαινόμενα με μεγάλες ταχύτητες κίνησης, λόγω του έντονου ανάγλυφου των δασών. Πολύ συχνά, πλέον, ενημερωνόμαστε από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης για κατολισθήσεις, καταστροφές οδοστρωμάτων, ακόμα και γεφυρών.

Η προστασία του δασικού οδικού δικτύου μετά την πυρκαγιά από την διάβρωση πρέπει να μας απασχολεί όχι μόνο κατόπιν, αλλά και πριν την πυρκαγιά, κατά την διάρκεια της μελέτης και κυριότερα στα δάση που χαρακτηρίζονται ως δάση υψηλής επικινδυνότητας για πυρκαγιά. Στη συντριπτική πλειοψηφία των δασικών οδικών δικτύων η υφιστάμενη κατάσταση χαρακτηρίζεται ως ανοχύρωτη απέναντι στη διάβρωση μετά την πυρκαγιά. Περιστατικά αστοχίας πρανών είναι πολύ συνηθισμένα στη δασική οδοποιία, ιδιαίτερα σε μεγάλο ύψους πρανή (Εικ. 1, 2). Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο να προσαρμόσουμε τεχνικές που να

¹ Διπλ. Πολ. Μηχανικός, Msc, Υποψ. Διδάκτωρ, Γεν. Δ/ση Τεχνικών Υπηρεσιών και Μηχανοργάνωσης ΑΠΘ, τηλ. 2310997084, e-mail: tvikos@ad.auth.gr.

² Καθηγητής, Δ/ντής Εργαστηρίου Μηχανικών Επιστημών & Τοπογραφίας, Τομέας Δασοτεχνικών και Υδρονομικών Έργων, Τμήμα Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος ΑΠΘ, τηλ. 2310992748, e-mail: adoucass@for.auth.gr.



Εικόνα 1. Αστοχία πρανών της παρακαμπτήριας οδού της πόλης Λουτρακίου (Αντωνίου και Λέκκας Ε., 2005).
Picture 1. Slope Failure of a detour road at Loutraki town (Antoniou & Lekkas, 2005).

εφαρμόζονται σε υφιστάμενα οδικά δίκτυα, ώστε να θωρακιστούν κατάλληλα έναντι της διάβρωσης, ιδιαίτερα μετά από πιθανό περιστατικό πυρκαγιάς.

Τα τεχνικά δάση είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένα στη διάβρωση, αφού οι δρόμοι διακόπτουν συχνά την φυσική ροή των όμβριων υδάτων, διότι, εκεί που κάποτε είχε ρέμα, αυτό αντικαταστάθηκε με έναν μικρό σωληνωτό οχετό, με ακόλουθο αποτέλεσμα την αστοχία του (Εικ. 3).

Το περιστατικό δάσος Θεσσαλονίκης είναι χαρακτηρισμένο ως δάσος υψηλής επικινδυνότητας για πυρκαγιά, σύμφωνα με το ΠΔ 575 (ΦΕΚ157/9-7-1980). Δυστυχώς, ο χαρακτηρισμός αυτός επαληθεύτηκε με τον χειρότερο τρόπο το καλοκαίρι του 1997, όταν

αποτεφρώθηκε το 63,7% του δάσους, μετά από εμπρησμό (Στεργιάδου κ.ά., 2002). Με καθυστέρηση έξι χρόνων από τότε και αφού ήδη είχαν εμφανιστεί οι επιπτώσεις της έντονης διάβρωσης στο οδικό δίκτυο, ξεκίνησε η εκπόνηση μελετών από το Δασαρχείο Θεσσαλονίκης και υπό την εποπτεία της Δ/νσης Δασών Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας υπό τον τίτλο «Προστασία και αναβάθμιση του Περιαστικού Δάσους Θεσσαλονίκης», ως χρηματοδοτούμενο έργο από το ταμείο συνοχής το 2003. Τα ανωτέρω έργα έναντι της διάβρωσης ολοκληρώθηκαν στα τέλη του 2008. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν αυτά που εξασφαλίζουν προστασία στο δασικό οδικό δίκτυο και συνοψίζονται ως εξής (Φάσσας κ.ά., 2007):

1. Υπόεργο ορεινής υδρονομίας: Κατασκευή 102 νέων



Εικόνα 2. Κατολίσθηση πρανούς περιφερειακού δασικού δρόμου «Βαθύ» στο Πανεπιστημιακό δάσος Περούλιου (Διοίκηση Παν/κού Δάσους Περούλιου, 2010).

Picture 2. Sliding failure of slope at the detour forest road of Vathi in the University's Forest of Pertouli (Forest service of Pertouli, 2010).



Εικόνα 3. καταστροφή τοίχου αντεπιστροφής σωληνωτού οχετού δασικού δρόμου «Μπράικο» στο Πανεπιστημιακό δάσος Περούλιου (Διοίκηση Παν/κού Δάσους Περούλιου, 2010).

Picture 3. Failure of a culvert exit earth wall at Braiko forest road in the University's Forest of Pertouli (Forest service of Pertouli, 2010)).

μικρών φραγμάτων, αρκετών από αυτά σε μικρή απόσταση από τους δασικούς δρόμους.

- Υποέργο Βελτίωσης και κατασκευής τεχνικών έργων δασικού αντιπυρικού δικτύου: Βελτίωση γεωμετρικών στοιχείων 18 δασικών δρόμων και Βελτίωση στρώσης κυκλοφορίας με διάστρωση θραυστού υλικού 3Α σε ένα κύριο δρόμο «Χίλια δένδρα-Εξοχή». Κατασκευή συνολικά 110 σωληνωτών και 12 κιβωτοειδών οχετών. Διάνοξη τάφρων συλλογής υδάτων τραπεζοειδούς διατομής και επένδυση τμημάτων τους.
- Αναβάθμιση και συμπλήρωση συστήματος υδροδότησης: Επέκταση δικτύου υδροληψίας 10χλμ και αντικατάσταση υφιστάμενου παλαιού αγωγού υδροληψίας με νέο αγωγό PVC 16ατμ μήκους 3000μ. Τοποθέτηση 20 νέων υδροστομιών και κατασκευή 3 δεξαμενών ύδατος 75κμ.

Οι αιτίες στις οποίες οφείλουν την αποτυχία τους τα τεχνικά έργα οδοποιίας, είναι:

Α. Λανθασμένος σχεδιασμός στη μελέτη και μη ορθή εφαρμογή στο πεδίο.

Ο λανθασμένος σχεδιασμός αφορά υποδιαστασιολογήσεις, εκλογή λανθασμένων θέσεων, απουσία εδαφολογικών μελετών, ακατάλληλες κλίσεις και λάθη υδραυλικών μεγεθών. Οι υπηρεσίες αργούν να εντάξουν στους κανονισμούς όλα τα νέα δεδομένα λόγω κλιματικών αλλαγών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ανάγκη επικαιροποίησης των υδραυλικών μελετών, λόγω νέων κλιματικών δεδομένων με ορίζοντα επαναφοράς πλημμυρικής παροχής 50ετίας και όχι 20ετίας, όπως είθισται μέχρι πρότινος, με βάση το ΠΔ 696 1974.

Β. Φορτίσεις οδοστρώματος από κυκλοφορία οχημάτων

Η σωστή εκλογή των υλικών οδοστρώσεως ανά κατηγορία στρώσης και η κατάλληλη συμπύκνωσή τους κατά τη διάστρωση εξασφαλίζει την απαιτούμενη συνοχή των υλικών, ώστε να ανθίστανται στις δυνάμεις που τους ασκούνται από τα φορτία των οχημάτων. Δεδομένου ότι η αναλογία των βαρέων οχημάτων στους δασικούς δρόμους είναι μεγαλύτερη, αυτό τα κάνει πιο επιρρεπή στη διάβρωση. Επίσης, δασικοί δρόμοι, που υπολογίστηκαν με μικρούς κυκλοφοριακούς φόρτους, αλλά, στη συνέχεια, επήλθε ραγδαία αύξηση των βαρέων οχημάτων με ταυτόχρονες υπερφορτώσεις, αποτελούν σύνθετες φαινόμενο.

Γ. Ανεξέλεγκτη ροή όμβριων υδάτων στο δρόμο

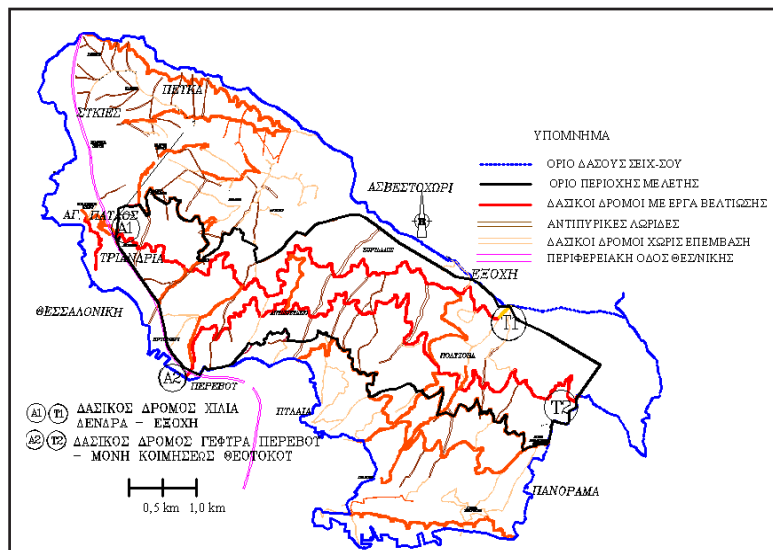
Η σημαντικότερη αιτία διάβρωσης είναι το νερό. Τα υδραυλικά έργα οδοποιίας είναι απολύτως απαραίτητα για τις κατηγορίες Α, Β και Γ δασικών δρόμων (Καραγιάννης, 2004).

Σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση τεχνικών μεθόδων προστασίας από τη διάβρωση στο δασικό οδικό δίκτυο και στα παρελκόμενά του τεχνικά έργα, που αφορούν σε δάση υψηλής επικινδυνότητας για πυρκαγιά και συγκεκριμένα στο Σειχ Σου, τόσο για υφιστάμενα δίκτυα, όσο και για την φάση της μελέτης. Οι κύριοι στόχοι είναι οι προτεινόμενες επεμβάσεις να χαρακτηρίζονται από ευκολία εφαρμογής, ικανοποιητική διάρκεια ζωής με χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης και με μικρές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιοχή έρευνας

Στην εργασία αυτή επικεντρωνόμαστε σε περιοχή έρευνας που καλύπτει το ανατολικό τμήμα του περιεστικού δάσους Θεσσαλονίκης, έκτασης 11995 στρ, και αντιστοιχεί στο 40% της συνολικής του έκτασης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Από τους δασικούς δρόμους που περιλαμβάνονται στην περιοχή έρευνας εξετάζονται δύο βασικοί δρόμοι. Ο πρώτος, με κωδικό Α1Τ1, αφορά στη διαδρομή Χίλια δένδρα – Εξοχή και ο δεύτερος, με κωδικό Α2Τ2, στη διαδρομή Γέφυρα Περεβού – Μονή Κοιμήσεως Θεοτόκου. Οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκαν είναι:



Σχήμα 1. Όρια Περιεστικού δάσους Θεσσαλονίκης και Περιοχή έρευνας: Ψιλοβίτζος Θ., 2010

Figure 1. Limits and research area of Thessaloniki's suburban forest, Psilovikos T., 2010

1. Έχουν μεγάλο μήκος και καλύπτουν σημαντικό κομμάτι του Περιαιστικού δάσους
2. Είναι οι κύριοι δρόμοι, στους οποίους έγιναν τα σημαντικότερα και τα περισσότερα έργα βελτίωσης των γεωμετρικών τους χαρακτηριστικών, μαζί με υδραυλικά έργα αποστράγγισης και δικτύων υδροληψίας, κατά το διάστημα 2005-2009, με συνέπεια τη διαμάχη οικολόγων και υπηρεσιών.
3. Έχουν άριστη πρόσβαση, τόσο στην αρχή τους όσο και στο τέλος, από εθνικούς δρόμους (Περιφερειακή οδός, εθνική οδός Πανοράματος-Χορτιάτη, Εθνική οδός Εξοχής-Χορτιάτη)

2.2. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των επιλεγμένων δρόμων

Τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά των δύο επιλεγμένων δρόμων είναι:

Α. Δασικός δρόμος Χίλια δένδρα – Εξοχή: Μήκος 10+200m, με αφητηρία τις λυόμενες εγκαταστάσεις της πυροσβεστικής στην Περιφερειακή οδό, στο ύψος του κόμβου Αγίου Παύλου πλησίον της Περιφερειακής οδού. Κατόπιν επί τόπου μετρήσεων (Ψιλοβίκος, 2010), τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά συνοψίζονται παρακάτω:

Το πλάτος, μετά τα έργα βελτίωσης κυμαίνεται μεταξύ 6,0 και 7,5 μ.

Κατά μήκος κλίση εντός των ορίων: 3-12%

Τεχνικά έργα βελτίωσης: 38 Σωληνωτοί οχετοί Φ100 και ένας κιβωτοειδής. Τάφρος συλλογής ομβρίων, τραπεζοειδούς διατομής σε θέσεις εκχωμάτων.

Δίκτυο και θέσεις υδροληψίας: 2 Δεξαμενές ύδατος, Δίκτυο υδροληψίας στο 70% του συνολικού μήκους του δρόμου και 15 υδροστόμια.

Β. Δασικός δρόμος Γέφυρα Περεβού-Μονή Κοιμήσεως Θεοτόκου, μήκους 12+690μ με αφητηρία την Γέφυρα Περεβού περιοχής Τούμπας.

Το Πλάτος κυμαίνεται μεταξύ 5,0 και 6,0μ. Κατά μήκος κλίση εντός των ορίων 3-10%

Τεχνικά έργα βελτίωσης: 33 Σωληνωτοί οχετοί Φ100 και 6 κιβωτοειδείς. Τάφρος συλλογής ομβρίων τραπεζοειδούς διατομής σε θέσεις εκχωμάτων.

Δίκτυο και θέσεις υδροληψίας: 2 δεξαμενές ύδατος, δίκτυο υδροληψίας στο 10% του συνολικού μήκους και 5 υδροστόμια, καταναμημένα σε όλο το μήκος του δρόμου.

Προκειμένου να εξετασθεί η καταλληλότητα των γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους και των παρελκόμενων τεχνικών έργων βελτίωσης προστασίας από τη διάβρωση, μετά από την πυρκαγιά του 1997, ακολουθείται καταρχήν η επί τόπου παρατήρηση των χαρακτηριστικών των δρόμων και όλων των παρελκόμενων τεχνικών τους έργων, με λήψη φωτογραφιών σε χαρακτηριστικές

θέσεις ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια, λαμβάνονται μετρήσεις κλίσεων, πλάτους, ύψους πρανών, διαστάσεων οχετών και, ακολούθως, ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, ώστε να είναι εφικτή η προσαρμογή των προτάσεων νέων έργων σε τοπικές συνθήκες

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1. Υφιστάμενες μέθοδοι και τα έργα προστασίας στο Περιαιστικό δάσος Θεσσαλονίκης.

Κατά την χρονική περίοδο 2005-2008 κατασκευάστηκαν τα τεχνικά έργα σύμφωνα με τη μελέτη του Υποέργου «Βελτίωσης και κατασκευή τεχνικών έργων δασικού αντιπυρικού δικτύου». Οι υφιστάμενοι κανονισμοί για το σχεδιασμό δασικής οδοποιίας και παρελκόμενων τεχνικών έργων προσφέρουν προστασία από τη διάβρωση, αρκεί να εφαρμόζονται. Ο επί τόπου έλεγχος κατέδειξε πως τηρήθηκαν οι βασικές αρχές για την καλή λειτουργία των έργων. Οι μέθοδοι προστασίας για μετά τη πυρκαγιά, που έχουν ενσωματώσει τα τελευταία χρόνια, είναι κυρίως εμπειρικές μέθοδοι με το χαρακτήρα του επείγοντος και δεν έχουν ενταχθεί επίσημα στους κανονισμούς. Ο ορθός σχεδιασμός και εφαρμογή των υφιστάμενων κανονισμών και μεθόδων προστασίας προϋποθέτει:

1. Μελέτη – Εφαρμογή

Πέραν των στατικών μελετών απαιτούνται και εδαφομηχανολογική και υδραυλική μελέτη. Αυτές πραγματοποιούνται την ευστάθεια, την καταλληλότητα των εδαφών και την διαστασιολόγηση των υδραυλικών έργων πέραν της στατικότητας. Τα έργα βελτίωσης στο Σειχ-Σου πραγματοποιήθηκαν βάσει υδρολογικών-υδραυλικών μελετών, αλλά, δυστυχώς, με ορίζοντα επαναφοράς 20ετίας (Φάσσας κ.ά., 2007). Στο στάδιο της κατασκευής η πιστή εφαρμογή των μελετών, η χρήση κατάλληλων υλικών και μεθόδων μέσω σωστής επίβλεψης εξασφαλίζει το έργο έναντι αποχιών.

2. Οδοστρωσία

Η σωστή μελέτη των επιμέρους στρώσεων διασφαλίζει την διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Συγκεκριμένα η χρήση θραυστών υλικών όπως 3Α ή αμμοχάλικου κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης σύμφωνα με τις ΠΤΠ 0150-0155. Στον δρόμο Α1Τ1 διαστρώθηκε θραυστό υλικό 3Α Ο Υπολογισμός πάχους διαδοχικών στρώσεων πραγματοποιήθηκε με βάση τις αναγνωρισμένες μεθόδους, όπως της Αμερικανικής AASHTO κτλ (υπόβαση, βάση κτλ.) (Εσκόγιου, 2004). Κατάλληλη διάστρωση με διαβροχή και συμπύκνωση με χρήση δονητικού οδοστρωτήρα ή οδοντωτού οδοστρωτήρα (κατοικοπόδαρου) εξασφαλίζουν ευστάθεια και συνοχή.

3. Όμβρια ύδατα

Όσον αφορά στις τάφρους συλλογής όμβριων υδάτων, τελευταία, θεωρούνται καταλληλότερες οι τραπεζοειδείς, λόγω μεγαλύτερης υδατοχωρητικότητας. Όμως, ενώ η τραπεζοειδής μορφή συλλέγει περισσότερο όγκο υδάτων, σε σύντομο χρόνο, μετατρέπεται σε ημικυκλική, όπως και έγινε στη περίπτωση του Σειχ-Σου, μέσα σε ένα χρόνο (Εικ. 9). Επίσης, χρειάζεται εκσκαφέας, τόσο για την κατασκευή της, όσο και για τη συντήρηση, καθιστώντας αναγκαία τη συντήρησή της. Έτσι, ως η καταλληλότερη λύση για τη δασική πρακτική, κρίνεται η τριγωνική τάφρος που κατασκευάζεται και συντηρείται εύκολα με τη χρήση Grader.

Σχετικά με τους οχετούς, η κλιματική αλλαγή έχει επιφέρει αλλαγή στον τρόπο σχεδιασμού των υδραυλικών, με αποτέλεσμα τις αυξημένες διαστάσεις και άρα και το αυξημένο κόστος. Ο σχεδιασμός τους, με βάση τα νέα δεδομένα, έχει οδηγήσει στην επικράτηση ως καταλληλότερων των κιβωτοειδών οχετών με περυγότοιχους, τόσο ανάντη, όσο και κατόντη (Εικ. 7), διότι έχουν μεγαλύτερη ικανότητα παροχής, δεν βυθίζονται

λόγω φορτίσεων και είναι εύκολα επισκεψίμοι για συντήρηση. Οι περυγότοιχοι αποτρέπουν την είσοδο φερτών και προστατεύουν τη θεμελίωση από διάβρωση. Στο Σειχ σου, αντί των πλακοσκεπών, κατασκευάστηκαν κιβωτοειδείς οχετοί. Οι σωληνωτοί οχετοί, επίσης, πρέπει να διαθέτουν περυγότοιχους και η διάμετρός τους θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 80εκ., σε κάθε περίπτωση. Η επίχωση των σωληνωτών οχετών τους θα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια της διαμέτρου τους (Δούκας, 2004), κάτι που εφαρμόστηκε επιτυχώς στα βελτιωτικά έργα του Σειχ Σου (Εικ. 10). Τέλος, οι οχετοί που δέχονται όμβρια ύδατα από τάφρο συλλογής υδάτων διαθέτουν φρεάτιο εισόδου, το οποίο και θα πρέπει να είναι καλυπτόμενο και που, τις περισσότερες φορές, εφαρμόστηκε στα έργα του Σειχ-Σου (Εικ. 8).

4. Πρανή

Κατά την κατασκευή τα χωματουργικά, που αφορούν τα πρανή, θα πρέπει να εκτελούνται με χρήση εκσκαφών –όπως ορθά έγινε στο Σειχ Σου (Εικ. 4)– και όχι προωθητών. Τα κατόντη πρανή επιχώματος θα πρέπει να καλύπτονται με φερτό χώμα και να φυτεύονται



Εικόνα 4. Διαμόρφωση πρανών με χρήση μηχανικού εκσκαφέα (Ψιλοβίκος, 2010).

Picture 4. Slope formation using excavator (Psilovikos, 2010).



Εικόνα 5. Φυσική αναχλόαση πρανών στον δασικό δρόμο Α1Τ1 (Ψιλοβίκος, 2010).

Picture 5. Natural revegetation on slope on road A1T1 (Psilovikos 2010).



Εικόνα 6. Σωληνωτός οχετός με περυγότοιχους στο δασικό δρόμο Α1Τ1 (Ψιλοβίκος, 2010).

Picture 6. Pipe Culvert with wing walls on road A1T1. (Psilovikos 2010).



Εικόνα 7. Κιβωτοειδής οχετός με περυγότοιχους στο δασικό δρόμο Γέφυρα Περεβού – Μονή Κοιμήσεως Θεοτόκου (Ψιλοβίκος, 2010).

Picture 7. Box culvert with wing walls on road A1T1 (Psilovikos 2010).



Εικόνα 8. Συνδυασμός ρεϊθρου-τάφρου συλλογής ομβρίων και σκεπαστού φρεατίου εισόδου οχετού σε διασταύρωση δρόμου-αντιπυρικής λωρίδας, στο δρόμο Α1Τ1 (Ψιλοβίκος, 2010).

Picture 8. Combination of ditch and culvert shaft with a slab on top at a junction of a forest road Α1Τ1 with a firebreak (Psilovikos, 2010).



Εικόνα 9. Χαρακτηριστική διάβρωση τραπεζοειδούς διατομής τάφρου συλλογής ομβρίων σε ημι-κυκλική στον δασικό δρόμο Α2Τ2 (Ψιλοβίκος, 2010).

Picture 9. Characteristic erosion of a trapezoidal ditch into a semicircular one at the road Α2Τ2 (Psilovikos, 2010).



Εικόνα 10. Οχετός με επίχωση διπλάσια της διαμέτρου και πρόχειρο ξύλινο φράγμα συγκράτησης φερτών στην είσοδό του, δρόμος Α2Τ2 (Ψιλοβίκος, 2010).

Picture 10. Pipe culvert with soil cover at least two times the diameter and a temporary plywood screen in front of the inlet to hold sediment, road Α2Τ2 (Psilovikos, 2010).

και η αναχλόαση πρσανών θα πρέπει να εισάγεται στο σχεδιασμό, τόσο για την ευστάθεια, όσο και για αισθητικούς λόγους (Εικ. 5). Το μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος τους εξαρτάται από τη γεωλογική τους σύσταση και δεν θα πρέπει να το υπερβαίνουμε σε καμία περίπτωση.

3.2. Προτεινόμενα έργα προστασίας οδικού δικτύου μετά από πυρκαγιά

Επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον μας στις προτεινόμενες μεθόδους, που αφορούν στη προστασία του οδικού δικτύου μετά τη πυρκαγιά, προτείνονται τα ακόλουθα:

3.2.1 Χάραξη – Γεωμετρικά χαρακτηριστικά

Στο υφιστάμενο δίκτυο δεν εφαρμόστηκαν οι κλασικές μέθοδοι διάνοιξης και η οδική πυκνότητα είναι υψηλή 35,38 m/ha. (Στεργιάδου κ.ά., 2002). Η προτεινόμενη μέθοδος πρέπει να οδηγεί σε διασπορά των δρόμων, με τη μορφή νεφροειδούς δικτύου. Το πλάτος των δασικών δρόμων σε προστατευόμενο δάσος υψηλής επικινδυνότητας σε πυρκαγιά πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περιορισμένο αλλά, ταυτόχρονα, να μπορούν να επιχειρούν τα πυροσβεστικά οχήματα χωρίς δυσκολίες. Προτείνεται πλάτος 3,5 μ., ώστε να διέρχεται με άνεση ένα φορτηγό ή, ειδικά στη περίπτωση του περιαστικού δάσους Θεσσαλονίκης, ένα μεγάλο πυροσβεστικό όχημα πλάτους 2,5 μ. Απαραίτητες είναι οι διαπλατύνσεις ανά 250 μ. για την διασταύρωση των πυροσβεστικών οχημάτων (Δούκας, 2004), με τη μορφή που φαίνεται στο Σχήμα 2. Η εξασφάλιση επίκλισης του οδοστρώματος είναι αναγκαία, για να μην λιμνάζουν τα όμβρια στο οδόστρωμα.

Οι κατά μήκος κλίσεις πρέπει να οριοθετούνται αυστηρά μεταξύ 3-8% για την αποφυγή περαιτέρω διάβρωσης. Σε τμήματα που αυτό δεν είναι εφικτό, ο συνδυασμός μιας αυξημένης επίκλισης βοηθάει στην εκτόνωση της ροής υδάτων.

3.2.2 Προστασία Πρσανών:

Τα κορμοδέματα αποτελούν μια καλή και δοκιμασμένη εφαρμογή για την προστασία των πρσανών από τη διάβρωση μετά από πυρκαγιά. Δεδομένης της έλλειψης δασεργατών και ζώων, σήμερα αλλά και μελλοντικά, οι αποφιλωτικές υλοτομίες των καμένων κορμών θα δικαιολογούσαν τη χρήση harvester, εάν οι κλίσεις δεν ήταν αποτρεπτικές. Αυτή η ενέργεια οδηγεί στην προμήθεια κορμών για χρήση κορμοδεμάτων (Εικ. 12).

Όσον αφορά στα πρσανή των δασικών δρόμων, η καταλληλότερη τοποθέτηση είναι αυτή σε θέσεις ανάντη των πρσανών (Εικ. 11) και, αν δεν υπάρχει δυνατότητα προμήθειας κορμών, τότε εναλλακτικά, προτείνεται η εκσκαφή αύλακα-τάφρου μεταφοράς ομβρίων στην ίδια θέση.

Ακολούθως, τα πρηνή επιχωμάτων κατάντη του οδοστρώματος θα πρέπει να καλύπτονται με φερότο χώμα και να φυτεύονται, για την αποφυγή διάβρωσης. Πλεονάζοντα εκχώματα σε θέσεις προς τα κάτω, με κλίση >70%, να φορτώνονται και να μεταφέρονται (Εσκίογλου, 2004). Προτείνεται δε, συμπληρωματικά, η χρήση καναλιού εκτόνωσης υδάτων (Εικ. 13). Η μεταλλική ημικυκλική διατομή υπερτερεί έναντι της χτιστής με σκυρόδεμα, διότι δεν κινδυνεύει να σπάσει αν το επίχωμα διαβρωθεί έστω και λίγο και είναι οικονομικότερη.

Συμπληρωματικά, μια καλή τεχνική για την προστασία των πρηνών και την απαγωγή λιμναζόντων υδάτων είναι ο κάθετος μεταλλικός διάτρητος σωλήνας διαμέτρου 20-40 εκ. ή από σκυρόδεμα, που εφαρμόζεται στον πόδα του πρηνούς (Napper, 2006), όπως φαίνεται στην Εικόνα 14.

Ο σωλήνας αυτός, θα συλλέγει τα ύδατα και θα τα κατευθύνει, με σωλήνα που συνδέεται στη βάση του, σε υποκείμενο ρέμα ή σε υφιστάμενο οχετό (Σχήμα 3).

Η χρήση συρματόπλεκτων κιβωτίων (σαρζανέτια) είναι μια καλή τεχνικά λύση για την εξασφάλιση των πρηνών, αλλά ιδιαίτερα ακριβή. Το ίδιο ισχύει για τους τοίχους αντιπτήριξης, οι οποίοι θα πρέπει να αποτελούν την τελευταία λύση για την ευστάθεια των πρηνών.

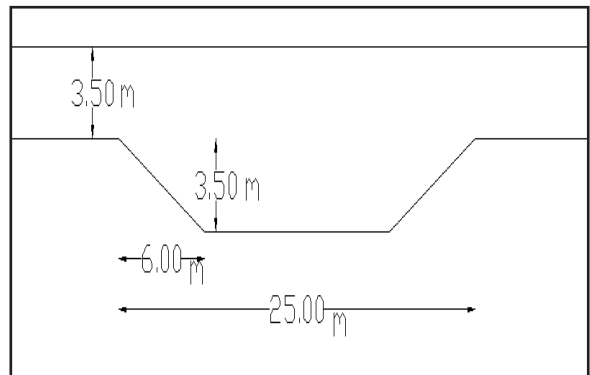
3.2.3 Αποχετευτικά έργα – Διευθέτηση όμβριων υδάτων.

Στην δασική πρακτική, παρελκόμενα υδραυλικά έργα των δρόμων αποτελούν η κατασκευή τάφρων παράλληλα στους δασικούς δρόμους και οι οχετοί. Πολλές φορές όμως, λόγω ανάγλυφου, και σε τμήματα που δεν διαθέτουν ικανή κατά μήκος κλίση για την κατασκευή τάφρων παράλληλα στο δρόμο, δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για διάβρωση του οδοστρώματος, λόγω υδάτων που το διασχίζουν κάθετα (Εικ. 15).

Προτείνεται σε αυτές τις θέσεις να τοποθετηθούν κανάλια συλλογής υδάτων κάθετα στο δρόμο, από σκυρόδεμα σχήματος ανεστραμένου Π. Η πλήρωση του καναλιού θα αποτελείται από κροκάλες-χάλικες (Σχήμα 4), αντί για μεταλλική εσχάρα, που πιθανόν να φραχτεί από φύλλα, κλαδιά και χώμα. Η εφαρμογή αυτή μπορεί να εκτελεσθεί και χωρίς την κατασκευή καναλιού από σκυρόδεμα, αλλά μόνο ως κάθετη ζώνη με κροκάλες, εάν κατασκευαστεί ο δρόμος έτσι εξ αρχής.

Για τις τάφρους, η κατασκευή τριγωνικής μορφής πρέπει να προτιμάται για την ευκολία, τόσο στην κατασκευή, όσο και στη συντήρηση, λόγω της ευκολίας επανακατασκευής μέσω Grader, μετά από έντονη διάβρωση, σε αντίθεση με τις τραπεζοειδείς τάφρους.

Όσον αφορά στους οχετούς προκρίνονται οι κιβωτοειδείς με περυγότοιχους, διότι αυτοί δυσκολότερα φράττονται στην είσοδο ή έξοδό τους, εξασφαλίζουν



Σχήμα 2. Διαστάσεις διαπλάτυνσης δασικού δρόμου σε ευθύγραμμο τμήμα.

Figure 2. Widening dimensions of a forest road along the straight alignment.



Εικόνα 11. Κορμοδέματα στη κορυφή του Κρόνιου λόφου Ολυμπίας (Μπαλούτσος κ.ά., 2007).

Picture 11. Tied logs placed along at Kronios hill slope of Olympia, Baloutsos et al., 2007.



Εικόνα 12. Εφαρμογή harvester στο δάσος (Napper C., 2006).

Picture 12. Operation of mechanized harvester in forest (Napper, 2006).



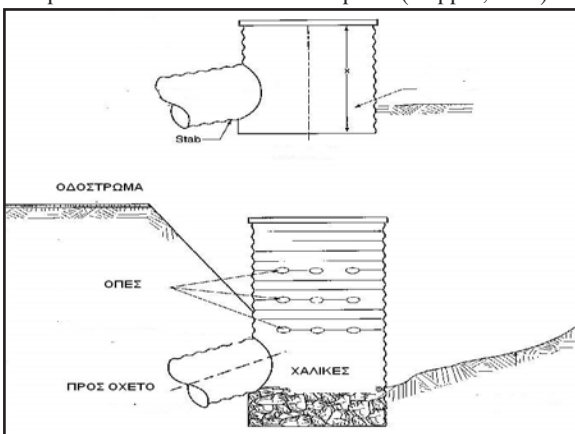
Εικόνα 13. Εφαρμογή καναλιού απομάκρυνσης υδάτων από πρανές επιχώματος (Napper, 2006).

Picture 13. Placement of a metallic channel on an fill slope for rainwater removal (Napper, 2006).



Εικόνα 14. Εφαρμογή μεταλλικού διάτρητου σωλήνα στον πόδα πρανούς για τη συλλογή και μεταφορά υδάτων (Napper, 2006).

Picture 14. Placement of a metallic perforated pipe next to a slope for water collection and disposal (Napper, 2006).



Σχήμα 3. Τομή σωλήνα συλλογής και μεταφοράς υδάτων σε πρανές επιχώματος (Ψιλοβίκος, 2010).

Figure 3. Cross section of a metallic perforated pipe placed at the toe of a slope collecting rainwater for disposal (Psilovikos, 2010).

μεγαλύτερη υδατοχωρητικότητα. Επιπλέον, αντέχουν έναντι βυθίσεων και παραμορφώσεων τόσο στη βάση τους, όσο και στην οροφή, διότι αποτελούν κιβώτιο οπλισμένου σκυροδέματος με πολύ καλύτερη κατανομή φορτίσεων. Σε κάθε περίπτωση, προτείνεται σε κάθε οχετό, πριν την είσοδο ή επί της εισόδου, η κατασκευή φράκτη κατακράτησης φερτών υλικών ή εσχάρας, όπως φαίνεται στις Εικόνες 16-17.

Το ξύλινο προσωρινό φράγμα συγκράτησης φερτών υλικών, ανάντι του οχετού της Εικόνας 10 στο περιαιστικό δάσος Θεσσαλονίκης, κρίνεται σωστό, αλλά η προχειρότητα της κατασκευής το καθιστά προσωρινό. Χρειάζεται, λοιπόν, η αντικατάστασή του με εσχάρα.

Τέλος, η ύπαρξη μικρών φαινομενικά ανενεργών ρεμάτων ή χειμάρρων κάθετα σε δασικό δρόμο αποτελεί μείζον πρόβλημα, που δεν λύνεται με χρήση οχετού, λόγω της μεγάλης ποσότητας υδάτων που μπορεί να προκύψουν σε κάποια δεδομένη χρονική συγκυρία στο αποτεφρωμένο δάσος. Εκεί, οι λύσεις παραπέμπουν σε κατασκευή γέφυρας, όμως πολλές φορές τα ρέματα δεν διαθέτουν το απαραίτητο βάθος. Μια λύση με διπλό όφελος είναι η κατασκευή μικρού φράγματος ανάντι του δρόμου, με ταυτόχρονη κατασκευή οχετού στο δρόμο. Τέτοια έχουν κατασκευαστεί σε κύριους δασικούς δρόμους του Περιαιστικού δάσους Θεσσαλονίκης (Εικ. 18).

Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα όμβρια ύδατα που απορρέουν από τους δασικούς δρόμους και να οδηγηθούν με κατάλληλα μέσα για την συγκράτηση των φερτών υλικών και τη ταυτόχρονη πλήρωση δεξαμενών ή ταμιευτήρων (Εικ. 19), συμβάλλοντας έτσι και στη κατάσβεση πυρκαγιών. Τα παραπάνω έργα είναι, ως επί το πλείστον, μικρής κλίμακας και χρησιμοποιούνται φυσικά υλικά από το ίδιο το δάσος με αποτέλεσμα να έχουν πολύ μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Σε αυτό το σημείο τονίζεται η αναγκαιότητα της περιβαλλοντικής συμβατότητας των έργων οδοποιίας στο περιβάλλον, πέραν της ίδιας της χάραξης και, ιδιαίτερα, σε δάσος που έχει καεί.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, οι τέσσερις στόχοι για μια επιτυχημένη προστασία των δασών με μεγάλη επικινδυνότητα για πυρκαγιά, από τη διάβρωση, είναι επεμβάσεις με ευκολία εφαρμογής, ικανοποιητική διάρκεια ζωής, χαμηλό κόστος και μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Στο Περιαιστικό δάσος Θεσσαλονίκης πραγματοποιήθηκαν τεχνικά έργα για τη θωράκισή του έναντι της διάβρωσης. Παρότι τα έργα κινήθηκαν προς τη σωστή κατεύθυνση, δεν υπήρξε μέριμνα για τη προστασία τους από τη διάβρωση μετά τη πυρκαγιά. Αντίθετα, τα



Εικόνα 15. Σημεία συγκέντρωσης υδάτων σε δασικό δρόμο (Ψιλοβίκος, 2010).

Picture 15. Section of a forest road with rainwater runoff (Psilovikos, 2010).



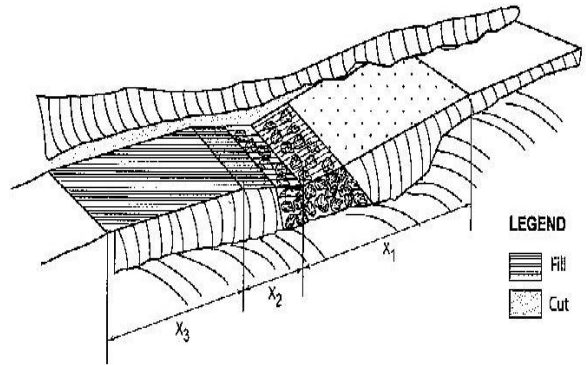
Εικόνα 16. Εφαρμογή ξύλινου φράκτη δύο κλάδων, αποτροπής εισόδου φερτών υλικών, με κορυφή που να σχηματίζει γωνία 15-25° πριν από οχετό (Napper, 2006).

Picture 16. Apply of a two branch wooden fence at a 15-25° angle vertex at the inlet of a culvert to prevent the insertion of sediment and branches (Napper, 2006).



Εικόνα 18. Εσχάρα αποτροπής εισόδου φερτών υλικών σε έξοδο οχετού (Napper, 2006).

Picture 18. Placement of a grate at the exit of a culvert to hold sediment and branches away (Napper, 2006).



Σχήμα 4. Αποστραγγιστικός αύλακας με πλήρωση κοραλλών κάθετα στο κατάστρωμα δασικού δρόμου (Napper C., 2006).

Figure 4. Rock filled drainage channel placed perpendicular to a forest road (Napper, 2006).



Εικόνα 17. Μικρό φράγμα πλησίον του δασικού δρόμου Α2Τ2 προσαρμοσμένο στο περιβάλλον (Ψιλοβίκος, 2010).

Picture 17. Minor dam near forest road Α2Τ2 intergraded to the forest environment (Psilovikos, 2010).



Εικόνα 19. Μικρός τεχνητός ταμειωτήρας συγκράτησης φερτών υλικών στον πόδα λόφου σε καμένο δάσος (Napper, 2006).

Picture 19. Artificial basin created to trap sediment on foot of a burned forest hill (Napper, 2006).

προτεινόμενα έργα του κεφαλαίου 3 θωρακίζουν σε μεγάλο βαθμό το δασικό οδικό δίκτυο και μετά από πυρκαγιά, χωρίς ιδιαίτερο κόστος, αφού δεν ακολουθείται η πεπατημένη των κοστοβόρων έργων, όπως τοίχοι αντιστήριξης και συρματόπλεκτα κιβώτια ή κανονικά φράγματα.

Συγκεκριμένα, ο σχεδιασμός πριν τη πυρκαγιά προϋποθέτει γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δρόμων, που να διασφαλίζουν όσο το δυνατόν μικρότερο πλάτος, όπως το προταθέν πλάτος των 3,5 μ., χωρίς τα φορτηγά και τα πυροσβεστικά οχήματα να δυσκολεύονται στο να κινούνται με ασφάλεια. Οι κατά μήκος κλίσεις πρέπει να οριοθετούνται μεταξύ 3-8%. Τα υδραυλικά τεχνικά έργα προϋποθέτουν την αποφυγή μεγάλων σε μέγεθος έργων και χρήση πιο συνηθισμένων πρακτικών, όπως τριγωνικές τάφροι συλλογής ομβρίων, σε συνδυασμό με κάθετα στο οδόστρωμα κανάλια ομβρίων. Όσον αφορά στους οχετούς, η χρήση κιβωτοειδών αντί σωληνωτών είναι προτιμητέα, λόγω του ότι αυτά διαθέτουν μεγαλύτερη υδατοχωρητικότητα, αντέχουν έναντι βυθίσεων και παραμορφώσεων ως κιβώτια οπλισμένου σκυροδέματος, με πολύ καλύτερη κατανομή φορτίσεων.

Η εφαρμογή εσχάρων στις εισόδους οχετών, που περιγράφονται στη παράγραφο 3.2.3, διασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό την αποφυγή φραγής των οχετών. Οι παρεμβάσεις στα πρανή στηρίζονται σε εύκολες και οικονομικές μεθόδους, όπως τα κορμοδέματα ανάντη, τα μεταλλικά κανάλια εκτόνωσης σε επίχωμα και μεταλλικούς διάτρητους σωλήνες απαγωγής ομβρίων, όπως περιγράφονται στη παράγραφο 3.2.2. Τα περισσότερα από αυτά τα έργα θωράκισης έναντι της διάβρωσης, με εξαίρεση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, μπορούν να εφαρμοστούν σε υφιστάμενα έργα δασικής οδοποιίας. Τα μικρά φράγματα σε θέσεις συμβολής δασικών δρόμων με ρέματα (Εικ. 18), καθώς και οι τεχνητοί μικρού όγκου ταμιευτήρες (Εικ. 19) ή δεξαμενές μπορούν να προστατέψουν τους δρόμους από αστοχία και, ταυτόχρονα, να εξασφαλίζουν ποσότητες νερού για πυρόσβεση.

Προτείνεται η εξαρχής υιοθέτηση των προτεινόμενων μέτρων σε επικίνδυνα για πυρκαγιά δάση, διότι θα συμβάλλουν με λιγότερα έξοδα στην αντιδιαβρωτική προστασία του δασικού οδικού δικτύου και στη συντήρησή του.

Road network protection works following a Forest fire

T. Psilovikos¹, K. Doukas²

ABSTRACT

The forest road network is vulnerable to erosion, especially after a fire incident, due to the increasing rates of erosion in this case. As a result the road network infrastructure collapses along with the supportive structures. It is therefore required to apply a prevention design for either new forest road construction or for supportive works on existing road networks to withstand erosion especially in high fire risk forests. The suburban forest of Thessaloniki was selected because it is characterized as high risk to fire and recently most of its area has been burned. Also, during the last few years, a number of technical improvement works were conducted to the existing road network. The existing works are evaluated and additional improvement works are proposed, suitable for post burning forest areas. The additional works are focused on the stability of slopes and road pavement such as water removing channels or tubes, perpendicular to the road surface drainage channels and finally a number of various methods for the protection of technical works using grates and wooden fences with emphasis on the control of water runoff in order to protect the drainage infrastructure from erosion. Furthermore an optimal width of road is proposed in order to accommodate the movements of fire service vehicles without difficulties. The advantages of the proposed works are the ease of implementation, the low cost and the environmental compatibility. Additionally they can be applied any time at the existing forest road infrastructure avoiding the need for new road alignment ensuring considerable improvement of erosion protection of an incinerated forest. In this way the access to forest road network for all users is ensured throughout the year

Key words: erosion, road network protection, high fire risk, proposed technical works.

¹ Civil Engineer Bhons, Msc, Phd Candidate, General Directorate of Technical Services and Computerization, Aristotle University of Thessaloniki, Greece, Tel. +302310997084, e-mail: tvikos@ad.auth.gr

² Professor, Director of Mechanical Science and Topography Laboratory, Department of Forest and Water Engineering, School of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, Greece, Tel. +302310992748, e-mail: adoucas@for.auth.gr

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αντωνίου, Α., Λέκκας, Ε. 2005. Αστοχία και μέτρα αποκατάστασης πρσανών περιφερειακής οδού Λουτρακίου-Περαχώρας, στο Δήμο Λουτρακίου, Ν. Κορινθίας. 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο οδοποιίας, Ειδικά Γεωτεχνικά θέματα. Βόλος, 18-20 Μαΐου. Σελ. 4-6.
- Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, Φυσικές καταστροφές, Δασικές πυρκαγιές. 2009. <http://www.gscrp.gr/ggpp/site/home/ws/promote/fisikes/pirkagies/deltio.csp> [Ελέγχθηκε 11 Ιανουαρίου 2012]
- Δούκας, Α.Κ. 2004. Δασικές Κατασκευές και Φυσικό Περιβάλλον. Εκδόσεις Γιαχούδη. Θεσσαλονίκη. ISBN: 960-7425-78-2. σελ. 150-162, 288.
- Διοίκηση Πανεπιστημιακού Δάσους Πετρουλίου, 2010. Φωτογραφίες διάβρωσης από έντονες βροχοπτώσεις στους δασικούς δρόμους Βαθύ-Μπράικο.
- Εσκίογλου, Π. 2004. Εδαφομηχανική & Θεμελιώσεις. Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Τμήμα Εκδόσεων ΑΠΘ. Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ
- Καραγιάννης, Κ 2004. Δασική Οδοποιία Μέρος Ιο, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις. Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ. σελ 17-21.
- Μπαλούτσος, Γ., Λυριντζής, Γ., Μπουρλέτσικας, Αθ., Καούκης, Κ 2007. Τα αντιδιαβρωτικά & αντιπλημμυρικά έργα στους χώρους της αρχαίας Ολυμπίας μετά την Πυρκαγιά της 26ης Αυγούστου 2007: Σχεδιασμός, κατασκευή και λειτουργικότητα. ΕΘΙΑΓΕ, Τεύχος 30, σελ 4-7
- Napper, C. 2006. Burned Area Emergency Response Treatments Catalog. United States, Department of Agriculture, Forest Service, National Technology & Development Program. USA pp31,101-144.
- Στεργιάδου, Αν., Καραγιάννης, Ε., Γιαννούλας, Β., Καραγάλιος, Π. 2002. Η Συμβολή της Διάνομιξης στην Ανάδειξη και Ανάπτυξη του Περιαστικού Δάσους Θεσσαλονίκης. Έρευνα, Προστασία και Διαχείριση Χερσαίων Οικοσυστημάτων, Περιαστικών Δασών και Αστικού Πρασίνου, 10ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο της Ελληνικής Δασολογικής Εταιρείας, Τρίπολη 26-29 Μαΐου. ISBN 1109-7574. σ.518-524
- Φάσσας, Θ., Αβράμης, Θ., Καλαϊτζή, Γ., Παναζόπουλος, Χρ., Σαρβάνη, Χρ., Γιαννάκης Αρ. 2007. Βελτίωση και Κατασκευή Τεχνικών Έργων Δασικού Οδικού Αντιπυρικού Δικτύου Περιαστικού Δάσους Θεσσαλονίκης. Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, Διεύθυνση Δασών Περιφέρειας Κ.Μακεδονίας, Διεύθυνση Δασών Νομαρχίας Θεσσαλονίκης, Δασαρχείο Θεσσαλονίκης, σελ 10-15
- Ψιλοβίκος, Θ. 2010. Προσαρμογή τεχνικών έργων δασικής Οδοποιίας σε δάση υψηλής επικινδυνότητας για πυρκαγιά. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Σχολή Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος. ΑΠΘ, σελ. 78-101.
- National Aeronautics and Space Administration. 2011. Global Climate Change, Vital signs of the Planet, <http://climate.nasa.gov/evidence> [Ελέγχθηκε 11 Ιανουαρίου 2012]

Μελέτη και διερεύνηση του υδατικού ισοζυγίου μιας υδρολογικής λεκάνης αειφύλλων πλατυφύλλων της δυτικής Στερεάς Ελλάδας για τη συμβολή του στην αξιοποίηση των φυσικών της πόρων

Γ. Μπαλούτσος¹, Αθ. Μπουρλέτσικας², Κ. Καούκης²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Έγινε μελέτη του υδατικού ισοζυγίου μιας δασικής πειραματικής υδρολογικής λεκάνης έκτασης 117 ha με βλάστηση αειφύλλων πλατυφύλλων, στη δυτική Στερεά Ελλάδα. Σκοπός της εργασίας ήταν η εξέταση και διερεύνηση της συμβολής των συνιστωσών του ισοζυγίου στην αξιοποίηση όχι μόνο του νερού, αλλά και των άλλων φυσικών πόρων της περιοχής και κυρίως των αειφύλλων πλατυφύλλων. Από τα «μέρη» του υδατικού ισοζυγίου η βροχή, η απορροή και η υδατοσυγκράτηση μετρήθηκαν κατευθείαν στο πεδίο, ενώ η διαπνοή εκτιμήθηκε από τη διαφορά του αθροίσματος απορροής και υδατοσυγκράτησης, από τη βροχή. Οι τιμές των «μερών» αυτών και με τη σειρά που αναφέρθηκαν παραπάνω ανήλθαν στα 1098, 342, 362 και 394 mm. Το άθροισμα της υδατοσυγκράτησης και διαπνοής (πραγματικής εξατμισοδιαπνοής) ανήλθε στο 69% της βροχής. Αυτό πρακτικά θεωρήθηκε παρόμοιο και για την ευρύτερη περιοχή με αείφυλλα πλατύφυλλα, όπου κυριαρχούν σημαντικότεροι ποταμοί για την υδατική μας οικονομία. Για το λόγο αυτό εξετάστηκαν και συζητήθηκαν και οι αραιωτικές υλοτομίες στην παρούσα μορφή βλάστησης, για μείωση της εξατμισοδιαπνοής και αύξηση έτσι της απορροής της λεκάνης. Εκτός όμως της δυνατότητας παραγωγής νερού, εξετάστηκαν και συζητήθηκαν επίσης και οι επιπλέον σημαντικότερες οικονομικές, κοινωνικές, οικολογικές, περιβαλλοντικές και γενικότερα αναπτυξιακές ωφέλειες που αποδίδουν στους κατοίκους οι παραπάνω αραιωτικές επεμβάσεις στα αείφυλλα πλατύφυλλα. Τέλος συζητήθηκαν και οι προϋποθέσεις ορθολογικής διαχείρισης αυτών για την απόκτηση από τους ενδιαφερόμενους για αυτά, όλων των παραπάνω υλικών και άυλων αγαθών.

Λέξεις κλειδιά: λεκάνη απορροής, αείφυλλα πλατύφυλλα, υδατικό ισοζύγιο, αύξηση απορροής, διαχείριση – αξιοποίηση φυσικών πόρων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος «υδατικό ισοζύγιο» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από το γνωστό Αμερικανό κλιματολόγο και γεωγράφο Thornthwaite το 1944. Αυτό έγινε για να μελετηθεί η διατήρηση της μάζας μεταξύ των εισερχόμενων στο έδαφος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και του εξερχόμενου νερού δια της απορροής, της εξατμισοδιαπνοής και της μεταβολής της υγρασίας του εδάφους και της υπόγειας ροής του, σε ορισμένη χρονική περίοδο (έτος, εποχή, μήνας, επεισόδιο βροχής κ.λπ.). Το υδατικό ισοζύγιο μπορεί να αναφέρεται, τόσο στο προφίλ του εδάφους μιας επιφάνειας, όσο και σε λεκάνες απορροής διαφόρων μεγεθών.

Η σημασία υπολογισμού του υδατικού ισοζυγίου μιας υδρολογικής λεκάνης ή ενός συγκροτήματος αυτών, είναι προφανής και πολύμορφη. Συνοπτικά επισημαίνεται πως το υδατικό ισοζύγιο χρησιμεύει στο σχεδιασμό της ανάπτυξης και διαχείρισης των υδατικών πόρων, του εδάφους και της βλάστησης μιας υδρολογικής λεκάνης, στην πρόβλεψη των επιπτώσεων των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στα συστατικά του υδρολογικού

κύκλου, στο φυσικό περιβάλλον και στην ανάλυση και κατανόηση όλων των υδατικών προβλημάτων μιας περιοχής, γενικότερα (Dunne and Leopold, 1978). Οι παραπάνω πολλαπλές χρήσεις αυτού του «εργαλείου» φαίνεται πως «ώθησαν» τον Sutcliffe (2004) να επισημαίνει πως όλα στη βασική υδρολογία είναι θέμα (ζήτημα) ισοζυγίου (Hydrology: A question of balance).

Το υδατικό ισοζύγιο έχει υπολογιστεί για πληθώρα λεκανών απορροής διαφόρων μεγεθών ανά τον κόσμο με δασική κυρίως βλάστηση και μία αναφορά σ' αυτές γίνεται από τον Zhang et al. (1999). Παρόμοιες μελέτες για τον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου έγιναν και στην Ελλάδα κατά την εκτέλεση προγραμμαμάτων και μελετών ανάπτυξης, διαχείρισης και προστασίας των μεγάλων ποταμών μας (Αλεξοπούλου κ.ά., 1992, Koutsoyiannis et al. 2001, Koutsoyiannis et al. 2008). Τελευταία το υδατικό ισοζύγιο έχει υπολογιστεί και διερευνηθεί στη χώρα μας και για μία πειραματική υδρολογική λεκάνη οξιάς στις πλαγιές της Ανατολικής Όσσας (Μπαλούτσος κ.ά. 2013).

¹Δρ. Δασολόγος – Υδρολόγος, Διατελέσας Τακτικός Ερευνητής του ΕΘΙΑΓΕ. Σημερινή Δ/ση: Εμμανουήλ Μπενάκη 138, Τ.Κ. 114-73, Αθήνα. Τηλ. 210-3300578, κιν. 6946-903659, email: balgeorg@otenet.gr

²Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός – Δήμητρα. Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων. Τηλ. 210 7782125, email: mpat@fria.gr.

Παρά τον υπολογισμό όμως αυτών των σημαντικών και χρήσιμων προφανώς υδατικών ισοζυγίων για τη χώρα μας, σήμερα υπάρχει ένα μεγάλο κενό που αφορά στον υπολογισμό και στην εφαρμογή αυτού του υδρολογικού εργαλείου σε λεκάνες απορροής με βλάστηση αποκλειστικά αειφύλλων πλατυφύλλων. Πιο συγκεκριμένα, ενώ συντάχθηκε παλαιότερα στην Ελλάδα ένας αριθμός ερευνητικών μελετών και στα αείφυλλα πλατύφυλλα για τη μέτρηση ή εκτίμηση και διερεύνηση της βροχής εκτός του δάσους, της υδατοσυγκράτησης, της διαπερώσεως βροχής, της διαπνοής και της κορμοαπορροής (Παπούλιας 1974, Παπούλιας και Νικολαΐδης 1979, Νικολαΐδης 1979, Νικολαΐδης και Παπούλιας 1981), δεν μετρήθηκε και η απορροή των αντίστοιχων ρευμάτων ώστε να ήταν εφικτός ο υπολογισμός και του υδατικού ισοζυγίου. Η μέτρηση της τελευταίας αυτής συνιστώσας δεν πραγματοποιήθηκε στο πεδίο, προφανώς λόγω έλλειψης υδρομετρικών σταθμών στα αντίστοιχα υδατορεύματα την περίοδο εκείνη, όταν έγιναν οι μετρήσεις των άλλων συνιστωσών που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Παρόμοιο κενό έλλειψης υδατικών ισοζυγίων σε λεκάνες απορροής με αείφυλλα πλατύφυλλα φαίνεται πως υπάρχει και στις άλλες επίσης μεσογειακές χώρες από την Πορτογαλία μέχρι το Ισραήλ. Η έλλειψη αυτή του ισοζυγίου τεκμηριώνεται από την εύρεση μίας μόνο μελέτης στην ΒΑ Ισπανία (Pinol et al., 1991) και παρά τις πολλές προσπάθειες που καταβλήθηκαν για την αναζήτησή τους. Σε αντίθεση όμως με την έλλειψη μετρήσεων απορροής στα αείφυλλα πλατύφυλλα, υπάρχει σήμερα και σ' αυτές τις Ευρωπαϊκές μεσογειακές χώρες ένας ικανοποιητικός αριθμός μελετών που αναφέρονται στις υπόλοιπες συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου αυτής της συγκεκριμένης μορφής βλάστησης. Αναφορά στις μελέτες αυτές της τελευταίας τριακονταετίας γίνεται από τον Llorens και Domingo (2007).

Η έμφαση και εμμονή που δόθηκε παραπάνω στον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου λεκανών απορροής με αείφυλλα πλατύφυλλα στη χώρα μας, «απορρέουν» από τις λανθάνουσες δυνατότητες συμβολής αυτού του υδρολογικού εργαλείου στην ανάπτυξη και διαχείριση σήμερα των φυσικών τους πόρων και κυρίως της συγκεκριμένης μορφής βλάστησης προς διάφορες (πολλαπλές) κατευθύνσεις και σκοπούς. Σε αντίθεση όμως με τις υπάρχουσες δυνατότητες ανάπτυξης, η παραγωγή, εκτός του νερού, άλλων υλικών και άυλων αγαθών από τις παραπάνω λεκάνες έχει μειωθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες. Έτσι αυτές δεν αξιοποιούνται πλέον σαν ένας σημαντικός «πλουτοκορίτης» (resource-shed), δηλαδή σαν μία γεωγραφική ενότητα με πολλές εν δυνάμει πλουτοπαραγωγικές πηγές (Σιδερίδης, 1977). Συνοπτικά, και όπως έχει αναφερθεί εκτεταμένα

και από το Βουζαρά και Γιαννέλο (1995), οι παραδοσιακές και συντηρητικές χρήσεις της βλάστησης στις λεκάνες αυτές που ήταν η παραγωγή ξυλανθράκων, η βόσκησις, η κλαδονομή, η ξύλευση κ.λπ., μειώθηκαν πολύ και κάποιες από αυτές εγκαταλείφθηκαν από τα μέσα της δεκαετίας του '60. Σε αυτό το γεγονός συνέβαλε η μεταβολή των κοινωνικο-οικονομικών συνθηκών στην ύπαιθρο (μετακίνηση πληθυσμού προς τις πόλεις, μείωση κτηνοτροφίας, χρήση άλλων μορφών ενέργειας για θέρμανση κ.λπ.). Η σημαντική μείωση του βαθμού εκμετάλλευσης των αειφύλλων πλατυφύλλων συνέβαλε προφανώς στη συσσώρευση βιομάζας σ' αυτά και επομένως στη βαθμιαία αύξηση του κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιών από διάφορες αιτίες. Έτσι, ενώ οι εκτάσεις αυτές ασκούσαν μεγάλη προστασία στο έδαφος από τη διάβρωση και είχαν ιδιαίτερη περιβαλλοντική σημασία, δεν ήταν στην ουσία επαρκώς πλουτοπαραγωγικές.

Η πυκνότητα των αειφύλλων πλατυφύλλων που αναφέρθηκε παραπάνω, πρακτικά αυξάνεται βαθμιαία μέχρι τις μέρες μας και υλοποιούνται σ' αυτά ελάχιστες έως μηδενικές αναπτυξιακές και διαχειριστικές δραστηριότητες. Κατά συνέπεια αυξάνεται ακόμα περισσότερο και ο κίνδυνος εκδήλωσης εκτεταμένων και καταστροφικών πυρκαγιών (μεγαπυρκαγιών) εξαιτίας της αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα, καθώς και της συχρότητας και διάρκειας των ανομβριών και ξηρασιών, ως αποτέλεσμα της πιθανής έναρξης αλλαγής του κλίματος ή της φυσικής μεταβλητότητας αυτού. Το χειρότερο όμως είναι πως πριν από λίγα χρόνια «ενέορκη» στη χώρα μας και η μεγάλη οικονομική και κοινωνική κρίση με συνέπειες τη μεγάλη ανεργία, τις δυσκολίες εξεύρεσης εργασίας και κυρίως στην ύπαιθρο, τη σημαντική μείωση του εισοδήματος και των κοινωνικών παροχών του κόσμου κ.λπ..

Ως αντίδοτο όμως στις παραπάνω κρίσεις της χώρας μας επισημαίνεται συνεχώς από κάθε κατεύθυνση πως είναι η λήψη αναπτυξιακών μέτρων και δραστηριοτήτων. Κατά συνέπεια, η λήψη τέτοιων μέτρων και για τη δασοπονία, θα μπορούσε να συμβάλλει, στο μέτρο του δυνατού, στην εθνική μας οικονομία, αλλά και στη μείωση της ανεργίας και αύξησης του εισοδήματος του ορεινού πληθυσμού. Για παράδειγμα, αναπτυξιακές δραστηριότητες στα «παράμελημένα και απαξιωμένα» σήμερα αείφυλλα πλατύφυλλα της χώρας μας μπορούν, εκτός από τη βελτίωση της οικονομικής κατάστασης των κατοίκων των όμορων με αυτά περιοχών, να συμβάλλουν και στην αύξηση της απορροής των αντίστοιχων ποταμών η οποία μειώνεται συνεχώς τις τελευταίες δεκαετίες για διάφορους λόγους. Ακόμα η θετική συμβολή στην εθνική οικονομία θα μπορούσε να επιτευχθεί και από την ανάπτυξη της κτηνοτροφίας, της θηραματοπονίας, της μελισσοκομίας, καθώς και πολλών

άλλων δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την ανάπτυξη και διαχείριση της συγκεκριμένης μορφής δασικής βλάστησης.

Ως μία αντιπροσωπευτική περιοχή των αειφύλλων πλατυφύλλων της χώρας μας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί εκείνη της δυτικής Στερεάς Ελλάδας όπου κυριαρχεί ο φλύσχης της Ιόνιας ζώνης. Η αντιπροσωπευτικότητα των αειφύλλων πλατυφύλλων της περιοχής αυτής απορρέει από τη μεγάλη σχετικά έκταση που καταλαμβάνουν (5.053 km², Υπουργείο Γεωργίας, 1993) τη βαθμιαία μείωση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε αυτά, το μεγάλο σχετικά ετήσιο ύψος βροχής που δέχονται, την ύπαρξη μεγάλων και σημαντικότερων ποταμών για την υδατική μας οικονομία, τις δυνατότητες αξιοποίησης της συγκεκριμένης δασικής βλάστησης για πολλαπλούς σκοπούς κ.λπ.

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και διερεύνηση των συνιστωσών του υδατικού ισοζυγίου μιας πειραματικής υδρολογικής λεκάνης με αείφυλλα πλατύφυλλα στη δυτική Στερεά Ελλάδα και επιπλέον, η συμβολή αυτών των συνιστωσών στην αξιοποίηση των φυσικών πόρων της περιοχής.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιγραφή της περιοχής μελέτης

Η εργασία υλοποιήθηκε σε μία από τις τρεις πειραματικές λεκάνες απορροής της δυτικής Στερεάς Ελλάδας (κωδικός λεκάνης 1Δ, Σχήμα 1), οι οποίες επιλέγησαν και άρχισαν να λειτουργούν στις αρχές της δεκαετίας του '70 (Καραμήτρος, 1974). Οι λεκάνες βρίσκονται κοντά στην κοινότητα Βαρετάδας του νομού Αιτωλοακαρνανίας, σε απόσταση 24 χιλιομέτρων ανατολικά της Αμφιλοχίας και 233 χιλιομέτρων (ευθεία απόσταση) Δ-ΒΑ της Αθήνας. Γενική περιγραφή και των τριών λεκανών (1Α, 1Δ και 5) έγιναν σε παλαιότερη δημοσίευση (Μπαλούτσος, 1988) και στη συγκεκριμένη εργασία η περιγραφή επικεντρώνεται μόνο στη λεκάνη 1Δ.

Ειδικότερα, η λεκάνη 1Δ είναι υπολεκάνη του τοπικού υδατορεύματος «Πριονόσκαλα» το οποίο εκβάλλει στην τεχνητή λίμνη «Καστρακίου» της ΔΕΗ και αυτό με τη σειρά του είναι τμήμα του γενικού υδρογραφικού δικτύου του Αχελώου ποταμού. Η έκταση της λεκάνης ανέρχεται σε 117 ha, το υψόμετρο κυμαίνεται από 320-660 μέτρα και η γενική γεωμορφολογία της είναι λοφώδης. Οι πλαγιές της έχουν κλίσεις έως 55%, η μέση κλίση της είναι 33% και η γενική της έκθεση είναι ΒΑ. Ακόμα η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης είναι 2,3 km/km² και οι κοίτες των ρευμάτων της έχουν κλίσεις έως 35%. Το μέσο ετήσιο ύψος των

ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και η αντίστοιχη θερμοκρασία αέρος της περιόδου 1973/74 -2003/04 στον μετεωρολογικό σταθμό της περιοχής ο οποίος έχει υψόμετρο 370 μέτρα και απέχει 600 μέτρα περίπου από το στόμιο της λεκάνης, ανέρχονται σε 999 mm και 15,2°C, αντίστοιχα.

Το πέτρωμα που κυριαρχεί στα 3/4 περίπου της έκτασης της λεκάνης είναι ο ψαμμιτικός φλύσχης και στο υπόλοιπο 1/4 είναι ο αργιλικός σχιστόλιθος. Από τα πετρώματα αυτά ο αργιλικός σχιστόλιθος είναι αδιαπέραστος από το νερό και επομένως στις θέσεις της λεκάνης που επικρατεί, το έδαφος διαβρώνεται εντονότατα όταν καταστραφεί η βλάστηση. Αποτέλεσμα αυτών των χαρακτηριστικών του είναι η ύπαρξη στη λεκάνη ενός αριθμού επιφανειών έκτασης 2-3 στρεμμάτων έκτασης που καταλαμβάνουν το 3% περίπου της συνολικής έκτασης της λεκάνης. Οι επιφάνειες αυτές στερούνται βλάστησης και είναι εντελώς διαβρωμένες (μελίστρες στην τοπική ονομασία). Τα ίδια χαρακτηριστικά παρουσιάζει και ο ψαμμιτικός φλύσχης, αλλά σε μικρότερο βαθμό. Τα εδάφη που προέρχονται από την αποσάθρωση των παραπάνω πετρωμάτων είναι τα ορφνά έως ορφνέρυθρα σιδηροπυριτιοαργιλικά. Το βάθος του Α και Β ορίζονται μαζί μπορεί να φθάσει έως 50 εκατοστά και εκείνο του C ορίζονται ποικίλλει σημαντικά (25 έως 60 εκατοστά).

Το κλίμα της περιοχής είναι υγρό μεσογειακό με ήπιο έως ψυχρό χειμώνα (μέση ελάχιστη θερμοκρασία ψυχρότερου μήνα 3°C) και ζεστό και ξηρό θέρος. Τέλος προστίθεται πως η βλάστηση της περιοχής ανήκει στη διάπλαση των ερεικώνων (Μαυρομιάτης, 1972). Τα είδη που κυριαρχούν είναι το ρέικι (*Erica arborea*), η κουμαριά (*Arbutus unedo*), η αριά (*Quercus ilex*), ο σχίνος (*Pistacia lentiscus*), το πουρνάρι (*Quercus coccifera*), το φιλίκι (*Phillyrea media*), καθώς και αρκετές λόχμες, ομάδες και κυρίως μεμονωμένα άτομα πλατυφύλλου δρυός (*Quercus conferta*). Το ύψος της βλάστησης, εκτός ορισμένων κυριαρχούντων αριών, κυμαίνεται από 3-10 μέτρα και ο βαθμός συγκρόμωσης (πυκνότητα κόμης) από 1,2-1,3.

2.2. Εγκατάσταση οργάνων

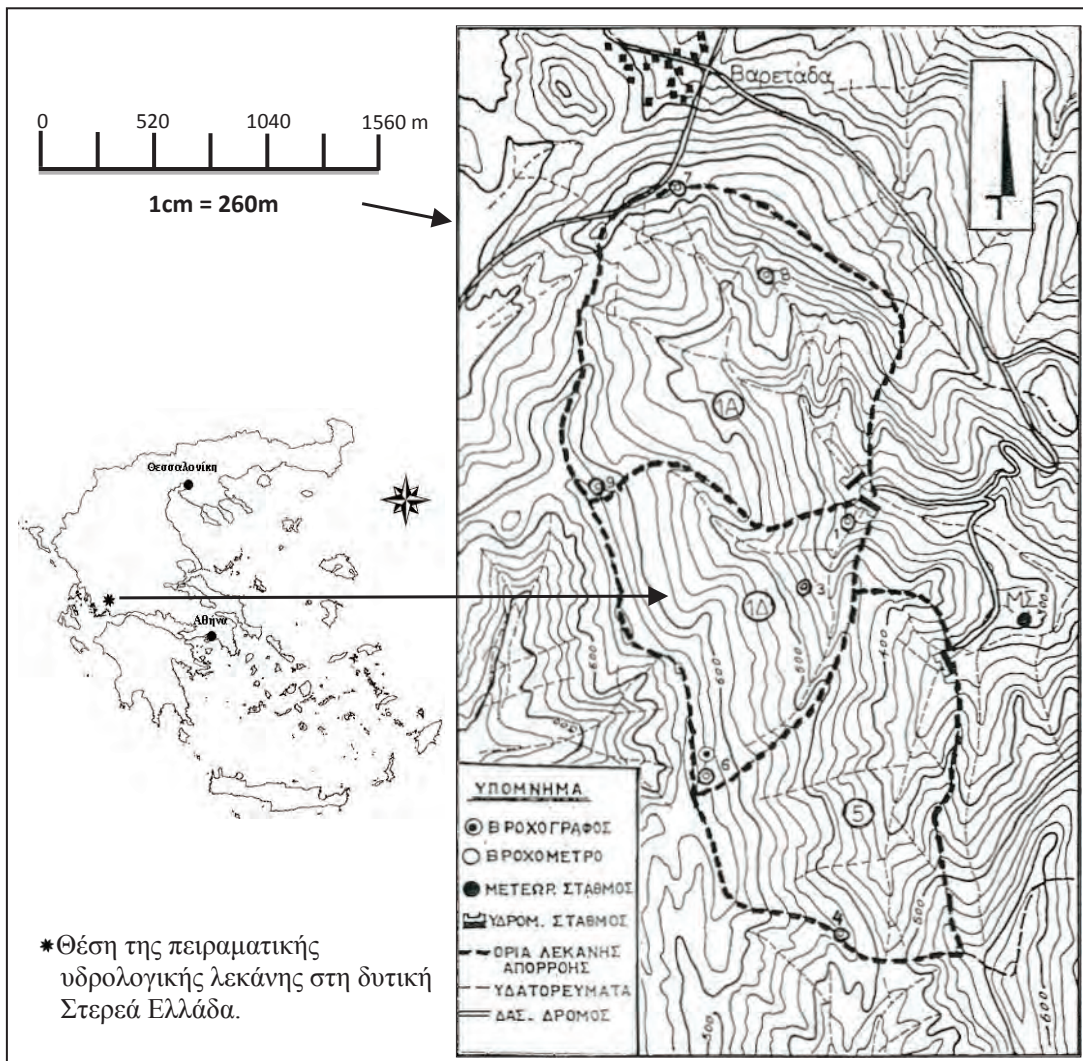
Η πειραματική λεκάνη της περιοχής εξοπλίθηκε από την αρχή (1972-73) με τα απαραίτητα μετεωρολογικά και υδρολογικά όργανα. Πιο συγκεκριμένα, για τη μέτρηση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων επιλέγησαν τέσσερις θέσεις και σ' αυτές εγκαταστάθηκαν βροχογράφοι ή (και) ογκομετρικά βροχόμετρα. Οι τρεις θέσεις επιλέγησαν στις κορυφές του τριγωνικού σχήματος της λεκάνης (κωδικοί θέσεων και αντίστοιχων οργάνων 1, 6 και 9) και η τέταρτη (κωδικός 3) στο εσωτερικό της λεκάνης και ειδικότερα στο 1/3 περίπου

της διαμέσου του τριγώνου από την κορυφή της γωνίας (στομίου) όπου λειτουργεί ο υδρομετρικός σταθμός προς την απέναντι πλευρά της (Σχήμα 1). Στη θέση 1 εγκαταστάθηκε βροχογράφος και βροχόμετρο, στη θέση 6 μόνο βροχογράφος και στις θέσεις 3 και 9 μόνο βροχόμετρα.

Τα βροχόμετρα είχαν ύψος και διάμετρο στομίου 60 και 20 εκατοστά αντίστοιχα και τοποθετήθηκαν σε μεταλλικό πάσσαλο ύψους 1,5 μέτρου από την επιφάνεια του εδάφους. Οι βροχογράφοι ήταν τύπου HILLMAN, είχαν το ίδιο ύψος στομίου με τα βροχόμετρα από το έδαφος και η ταινία καταγραφής τους ήταν μηνιαία. Εκτός των βροχομέτρων,

εγκαταστάθηκε επίσης και μετεωρολογικός σταθμός πλήρως εξοπλισμένος σε θέση 500 μέτρων και ΝΑ από το στόμιο της λεκάνης (Εικ. 1).

Προστίθεται ακόμα πως στο στόμιο της λεκάνης εγκαταστάθηκε υδρομετρικός σταθμός με ορθογώνιο εκχειλιστή (πλάτους και ύψους διάρρου 2,0 και 1,2 μέτρων αντίστοιχα) και σταθμηγράφο για τη συνεχή καταγραφή της στάθμης του ρεύματος (Εικ. 2). Ο σταθμηγράφος ήταν τύπου Α.ΟΤΤ και η ταινία καταγραφής του ήταν μηνιαία. Οι αναγνώσεις και συντηρήσεις των οργάνων γίνονταν από τον τοπικό παρατηρητή τουλάχιστον μία φορά την εβδομάδα όταν οι καιρικές συνθήκες ήταν κανονικές και συχνότερα, σε περιπτώσεις κακοκαιρίας.



Σχήμα 1. Η λεκάνη απορροής όπου έγινε η εργασία.
Figure 1. The under study watershed.

2.3. Ανάλυση μετεωρολογικών και υδρολογικών στοιχείων

Τα βροχόμετρα και οι βροχογράφοι της υδρολογικής λεκάνης που προαναφέρθηκαν, μετρούσαν προφανώς τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα στις τέσσερις θέσεις που τοποθετήθηκαν. Η εκτίμηση όμως του μέσου ύψους των κατακρημνισμάτων για ολόκληρη τη λεκάνη και για οποιαδήποτε χρονική περίοδο, έπρεπε να γίνει με την επιλογή της πιο αντιπροσωπευτικής μεθόδου. Ως τέτοια μέθοδος, σύμφωνα με τις θέσεις τοποθέτησης των οργάνων, θεωρήθηκε κατ' αρχάς εκείνη του Thiessen. Η μέθοδος όμως αυτή, όπως διαπιστώθηκε, ήταν δύσκολο να εφαρμοσθεί αφού η θέση 9 δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, λόγω υποεκτίμησης των κατακρημνισμάτων της έως και 25%, σε σχέση με εκείνες των άλλων τριών θέσεων (1, 3 και 6). Το πρόβλημα της υποεκτίμησης αποδόθηκε στις ανεμόπληκτες συνθήκες που συχνά επικρατούσαν στον υδροκρίτη της λεκάνης όπου είχε επιλεγεί η θέση 9 και το αντίστοιχο βροχόμετρο. Επιπλέον, οι θέσεις των υπόλοιπων οργάνων σχημάτιζαν πρακτικά ευθεία γραμμή και επομένως ήταν ανέφικτος ο σχηματισμός των πολυγώνων της παραπάνω μεθόδου (Σχήμα 1). Έτσι ως εναλλακτική μέθοδος εκτίμησης του μέσου ύψους των κατακρημνισμάτων της λεκάνης θεωρήθηκε εκείνη του αριθμητικού μέσου όρου των τριών υπόλοιπων οργάνων. Άλλοι λόγοι επιλογής της δεύτερης μεθόδου ήταν ο ικανοποιητικός αριθμός οργάνων στη λεκάνη (1 βροχόμετρο / 400 στρέμματα περίπου), η κάλυψη ολόκληρου του υψομετρικού εύρους της λεκάνης από τα βροχόμετρα (τοποθέτηση των τριών βροχομέτρων στα υψόμετρα 380, 450 και 630 μέτρα, αντίστοιχα), η επικράτηση κυκλωνικής μορφής κατακρημνισμάτων στη λεκάνη κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (προέλευση των βροχών από το Ιόνιο πέλαγος γενικότερα) και η μικρή έτσι απόκλιση των καταγραφών μεταξύ των οργάνων στις θέσεις 1, 3 και 6. Με τη μέθοδο αυτή και από τις ταινίες καταγραφής των βροχογράφων και τις αναγνώσεις των ογκομετρικών βροχομέτρων, εκτιμήθηκε το μέσο ύψος των κατακρημνισμάτων της λεκάνης σε εβδομαδιαία,



Εικόνα 1. Ο μετεωρολογικός σταθμός της περιοχής μελέτης.
Picture 1. The meteorological station of the study area.



Εικόνα 2. Ο υδρομετρικός σταθμός στο στόμιο της λεκάνης απορροής.
Picture 2. The hydrometric station in the outlet of the watershed.

μηνιαία και ετήσια βάση για ολόκληρη την περίοδο μελέτης (1973/74-2003/04).

Για την υλοποίηση της μελέτης χρησιμοποιήθηκε και η υδατοσυγκράτηση από τα αειφύλλα πλατύφυλλα της λεκάνης, η οποία θεωρήθηκε ίση με τη διαφορά του αθροίσματος της διαπερώσας βροχής και κορμοαπορροής, από τη συνολική βροχή. Λεπτομέρειες για τα όργανα και τις συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και για τους υπολογισμούς των παραμέτρων αυτών αναφέρονται σε προηγούμενη δημοσίευση (Μπαλούτσος κ.ά., 2006).

Τέλος προστίθεται πως για τον υπολογισμό του όγκου της απορροής της λεκάνης στο στόμιο αυτής και για οποιαδήποτε χρονική περίοδο, αναλύθηκαν οι

μηνιαίες ταινίες καταγραφής της στάθμης του ρεύματος στον υδρομετρικό σταθμό και χρησιμοποιήθηκε η γνωστή σχέση ύψους στάθμης ορθογωνίου εκχειλιστή και παροχής (Reinhart and Pierce, 1964).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1. Το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής

Το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής στη χρονική κλίμακα του υδρολογικού έτους (1^η Οκτωβρίου έως 30^η Σεπτεμβρίου), θα μπορούσε να εκφραστεί με την παρακάτω γνωστή γενική σχέση: $P=Q+AET\pm\Delta S$. Η συνισταμένη και οι συνιστώσες της εξίσωσης αυτής εκφράζουν, με τη σειρά που παρουσιάζονται, τη μέση ετήσια βροχή των 31 χρόνων (το χιόνι είναι ανεπαίσθητο στην περιοχή μελέτης), την αντίστοιχη απορροή στο στόμιο της λεκάνης, την πραγματική εξατμισοδιαπνοή και τις μεταβολές της υγρασίας του εδάφους και του υπόγειου νερού της λεκάνης.

Στον Πίνακα I παρουσιάζονται οι παραπάνω συνιστώσες, εκτός της ΔS . Η «απάλειψη» αυτής της συνιστώσας έγινε λόγω της πρακτικά ανεπαίσθητης επίπτωσης που θεωρήθηκε πως ασκεί η τιμή της σε εκείνες των υπόλοιπων συνιστωσών της εξίσωσης. Η ελάχιστη επίπτωση της ΔS οφείλεται τόσο στη χρονική κλίμακα του ισοζυγίου που επιλέχθηκε όσο και στις ενοικίες φυσικές συνθήκες της περιοχής μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη χρονική στιγμή λήξης και έναρξης του υδρολογικού έτους, η υγρασία του εδάφους και το υπόγειο νερό της λεκάνης, κάτω από μεσογειακές κλιματικές συνθήκες, λειτουργικά βρίσκονται στην ελάχιστη τιμή τους, η οποία πρακτικά δεν διαφέρει σημαντικά από έτος σε έτος. Κατά συνέπεια, το αλγεβρικό άθροισμα αυτών των τιμών (\pm) στην περίοδο των 31 ετών θεωρήθηκε ως πολύ μικρό για να επηρεάσει τις τιμές των υπόλοιπων συνιστωσών της εξίσωσης του ισοζυγίου. Η

παραδοχή αυτή δεν θα μπορούσε προφανώς να ισχύσει αν το ισοζύγιο υπολογίζονταν σε μηνιαία ή άλλη μικρότερη χρονική κλίμακα, λόγω των μεγάλων αυξομειώσεων της υγρασίας του εδάφους μετά από επεισόδια βροχής και κυρίως κατά το φθινόπωρο και το χειμώνα. Άλλος λόγος που συνηγορεί στην «ανώδυνη» απάλειψη της συνιστώσας ΔS είναι και τα αδιαπέραστα από το νερό πετρώματα της λεκάνης που συμβάλλουν στη δημιουργία μικρού πρακτικά όγκου υπόγειου νερού. Αυτός ήταν βέβαια και ένας από τους βασικότερους λόγους για την κατασκευή από τη ΔΕΗ στην ευρύτερη περιοχή της δυτικής Στερεάς Ελλάδας των ταμιευτήρων των Κρεμαστών (1966), του Καστρακίου (1969) και του Στράτου (1989). Επιπλέον επισημαίνεται πως η παραπάνω παραδοχή για τη συνιστώσα ΔS είναι ευρέως αποδεκτή και εφαρμόζεται στην υδρολογία (Ledger 1975, Dunne and Leopold 1978, Lee 1980, Rowe and Fahey 1991, Osuch et al. 2009, Lehner et al. 2010).

Όσον αφορά στις άλλες συνιστώσες του ισοζυγίου του Πίνακα I, επισημαίνεται πως η βροχή, η απορροή και από την εξατμισοδιαπνοή το «τιμήμα» της υδατοσυγκράτησης από τη δασική βλάστηση, υπολογίστηκαν από τις μετρήσεις που έγιναν κατ' ευθείαν στο πεδίο έρευνας. Υπενθυμίζεται όμως πως οι μετρήσεις της υδατοσυγκράτησης, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, διήρκησαν 9 υδρολογικά έτη (1995/96 έως 2003/04) και όχι 31, όπως συνέβη με τη βροχή και την απορροή. Η διάρκεια των 9 ετών υποστηρίζουμε πως είναι πολύ ικανοποιητική για την εκτίμηση της μέσης ετήσιας υδατοσυγκράτησης. Και αυτό γιατί σε μεγαλύτερη χρονική περίοδο θα μεταβάλλονταν σημαντικά η δομή της κομοστέγης των δένδρων υπεράνω του στομίου των βροχομέτρων που συλλέγουν τη διαπερώσα βροχή. Έτσι θα μεταβάλλονταν στην ουσία ο «Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας» (Leaf Area Index) υπεράνω του στομίου

Πίνακας 1. Το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής.
Table 1. The water balance equation of the watershed.

Διάρκεια υδατικού ισοζυγίου	31 έτη (1973/74 έως 2003/04)			
	1	2*	3	4
Συνιστώσες υδατικού ισοζυγίου	Βροχή (mm)	Απορροή (mm)	Εξατμισοδιαπνοή	
			Υδατοσυγκράτηση (mm)	Διαπνοή δάσους (mm)
Μέγεθος συνιστώσας (mm)	1.098	=342	+362**	+394
Ποσοστό συνιστώσας (%)	100	=31	+33	+36

*2=3+4+5, **Μέσος όρος μετρήσεων 9 ετών (1995/96-2003/04)

των βροχομέτρων και οι τιμές των οργάνων δεν θα ήταν πλέον ομοιογενείς. Προστίθεται ακόμα πως το υπόλοιπο «τιμήμα» της εξατμισοδιαπνοής που είναι η διαπνοή της δασικής βλάστησης, εκτιμήθηκε από τη διαφορά του αθροίσματος απορροής και υδατοσυγκράτησης, από τη βροχή.

Από τον ίδιο πίνακα διαπιστώνεται επίσης πως το μέσο ετήσιο ύψος βροχής της λεκάνης ανέρχεται σε 1.098 mm. Το ύψος αυτό μπορεί να θεωρηθεί γενικά ως ικανοποιητικό για τη συντήρηση και ανάπτυξη και μιας υψηλής μορφής δασικής βλάστησης και όχι μόνο των αειφύλλων πλατυφύλλων, όπως συμβαίνει στις μέρες μας. Η «ασυμμετρία» όμως αυτή μεταξύ του μεγαλύτερου ύψους βροχής και των χαμηλότερων απαιτήσεων της σημερινής δασικής βλάστησης που συντηρείται και αναπτύσσεται στην περιοχή μελέτης, δεν είναι στην πραγματικότητα μια «φυσική αταξία», αλλά οφείλεται σε ανεξέλεγκτες ανθρώπινες δραστηριότητες που εκδηλώθηκαν στην περιοχή τα παρελθόντα χρόνια (έντονη βόσκηση και υλοτομίες, πυρκαγιές κ.λπ.). Οι δραστηριότητες αυτές συνέβαλλαν στην υποβάθμιση και βαθμιαία στην εξαφάνιση της τότε υπάρχουσας υψηλής βλάστησης από φυλλοβόλες δρύες (*Quercus conferta* και *Quercus pubescens*) και στην εγκατάσταση τελικά των σημερινών αειφύλλων πλατυφύλλων (Μαυρομμάτης, 1972).

Σε αντίθεση όμως με τη βροχή, το μέσο ετήσιο ύψος της απορροής ανέρχεται σε 342 mm και αντιστοιχεί στο 31% της ετήσιας βροχής (συντελεστής απορροής). Το ποσοστό αυτό της απορροής εκτιμάται πως είναι γενικά μικρό για μια ορεινή δασική λεκάνη με υδατόρρευμα 3^{ης} τάξης (κατά Strahler), που δέχεται το παραπάνω ύψος βροχής. Βέβαια, αν και παρατηρήθηκαν αλλού και μικρότερες απορροές από την παραπάνω τιμή σε λεκάνες αειφύλλων πλατυφύλλων, όπως π.χ. στη ΒΑ Ισπανία (Pinol et al. 1991), το γεγονός αυτό δεν αναιρεί τη μεγάλη διαφορά μεταξύ βροχής και απορροής στην περίπτωση που μελετάται. Και αυτό γιατί στην περίπτωση της Ισπανίας η μικρή απορροή «προήλθε» από το μισό της βροχής (548 mm) σε σχέση με εκείνη της Ελλάδας (1.098 mm)

Όσον αφορά στη μέση ετήσια εξατμισοδιαπνοή, αυτή ανέρχεται, ως συνέπεια του ποσοστού της απορροής, στο 69% της αντίστοιχης βροχής (υδατοσυγκράτηση και εξατμηση από την κομοστέγη 33% -362mm- και διαπνοή 36% -394mm-). Τονίζεται ακόμα πως η εξατμισοδιαπνοή είναι 223% υψηλότερη της απορροής. Αντίθετα όμως στη ΒΑ Ισπανία και σε λεκάνη απορροής κοντά στη Βαρκελώνη (Bellaterra), καλυμμένη με αριές και με ετήσιο ύψος βροχής και μέσης ετήσιας θερμοκρασίας 870 mm και 9 °C, αντίστοιχα, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ανήλθε στο 53,6% (466 mm) της

ετήσιας βροχής. (Avila and Roda, 1988). Το μικρότερο ποσοστό αυτής της συνιστώσας στην Ισπανία κατά 15,4% σε σχέση με εκείνο στην Ελλάδα (69-53,6%), υποστηρίζεται πως οφείλεται κυρίως στην υψηλότερη κατά 15,4% απορροή της λεκάνης της (46,4-31%) και στη χαμηλότερη κατά 6,2°C ετήσια θερμοκρασία της (15,2°C-9°C).

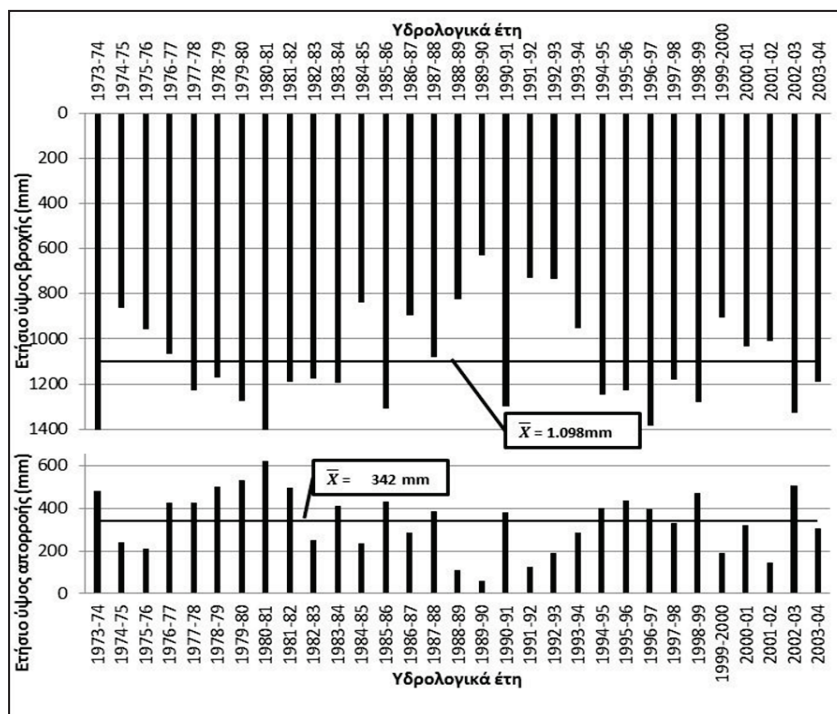
Το γεγονός όμως πως τα αειφύλλα πλατύφυλλα με τόσο υψηλή υδατοσυγκράτηση και διαπνοή κυριαρχούν, εκτός της λεκάνης μελέτης, και σε μία μεγάλη σχετικά περιοχή της δυτικής Στερεάς Ελλάδας αλλά και της Ηπείρου, όπου «δεσπόζουν» σημαντικοί ποταμοί για την υδατική μας οικονομία (Αχελώος, Μόρνος, Εύηνος, Λούρος, Αραχθός κ.λπ.), πρέπει να μας προβληματίζει ιδιαίτερα. Επομένως οι συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου πρέπει να αναλυθούν και συζητηθούν τόσο εξονυχιστικά όσο και σε σχέση με τους άλλους φυσικούς πόρους της περιοχής. Οι ενέργειες αυτές παρουσιάζονται παρακάτω.

3.2. Ετήσιες βροχές και απορροές

Οι βροχές και απορροές της λεκάνης για τα 31 έτη της μελέτης απεικονίζονται στο Σχήμα 2. Οι ετήσιες βροχές κυμαίνονται από 631 mm (1989-90) έως 1414 mm (1973-74) και οι αντίστοιχες απορροές από 61 mm (1989-90) έως 622 mm (1980-81). Από τις χρονιές εκδήλωσης των ακραίων αυτών τιμών διαπιστώνεται πως η ελάχιστη βροχή και απορροή εκδηλώθηκαν την ίδια χρονιά, ενώ οι αντίστοιχες μέγιστες σε διαφορετικές χρονιές.

Η περίοδος επαναφοράς (T) των μέγιστων και ελάχιστων βροχών και απορροών ανέρχεται θεωρητικά σε 32 χρόνια ($T = \frac{n+1}{m}$) και η πιθανότητα εκδήλωσης αυτών μιας οποιασδήποτε χρονιάς μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα είναι 3,12%. Γεγονός πάντως είναι πως οι μέγιστες και κυρίως οι ελάχιστες παραπάνω τιμές και ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής, πιθανόν να έχουν περίοδο επαναφοράς πολύ μεγαλύτερη εκείνης των 32 ετών και αυτή τυχαίως να εκδηλώθηκε μέσα στο χρονικό δείγμα που μελετάται. Το θέμα όμως αυτό χρήζει περαιτέρω μελέτης και συζήτησης οι οποίες εμπεύγουν του σκοπού της παρούσας εργασίας.

Επισημαίνεται επίσης πως οπτικά η μεταβλητότητα των χρονοσειρών των βροχών και απορροών είναι εντονότατη. Το πιθανότερο όμως είναι αυτή η μεταβλητότητα να είναι τυχαία και όχι περιοδική, αφού μακροχρόνιες μελέτες και αναλύσεις έχουν καταδείξει πως οι βροχές και επομένως και οι απορροές, είναι ακυκλικές (Lee, 1980). Το θέμα πάντως αυτό εξετάστηκε και με τη φασματική ανάλυση ή ανάλυση κατά Fourier (Θαλασσινός, 1991) και αποκλείστηκε έτσι η ύπαρξη περιοδικότητας στις παραπάνω χρονοσειρές.



Σχήμα 2. Ετήσιες βροχές και απορροές της λεκάνης.
Figure 2. Annual rainfall and streamflow of the watershed.

Προστίθεται ακόμα πως, εκτός της μέσης τιμής των ετήσιων βροχών και απορροών που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο (3.1), άλλα χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα είναι οι τυπικές τους αποκλίσεις (215 και 140 mm, αντίστοιχα) και ο συντελεστής μεταβλητότητας (19,6 και 41%, αντίστοιχα). Το γεγονός όμως πως ο συντελεστής μεταβλητότητας των απορροών είναι μεγαλύτερος εκείνου των βροχών και μάλιστα σε αναλογία μεγαλύτερη του 2:1 (41:19,6), «επιβάλλει» τη διερεύνηση αυτής της συμπεριφοράς. Και αυτό γιατί, αν και οι ετήσιες απορροές είναι προϊόν των αντίστοιχων βροχών που «παράγονται» με τους μηχανισμούς μετατροπής τους που λαμβάνουν χώρα τόσο στην επιφάνεια του εδάφους της λεκάνης, όσο και εντός αυτού, δεν αυξάνονται όμως ομοιόμορφα και γραμμικά με τις βροχές. Τέτοιες συμπεριφορές είναι κυρίως εκείνες των ετών 1973/74, 1985/86, 1988/89, 1990/91, 1991/92, 1996/97, κ.λπ..

Η παραπάνω «ασυμμετρία» υποστηρίζεται πως οφείλεται, τουλάχιστον εν μέρει, τόσο στη χρονική ανακατανομή κάποιων μηνιαίων υψών βροχής, όσο και στη μεταβολή των χαρακτηριστικών κάποιων επεισοδίων βροχής εντός του έτους. Η «μετατόπιση» π.χ. των βροχών κάποιων φθινοπωρινών ή χειμερινών μηνών προς την άνοιξη ή το θέρος, δεν συμβάλλει στην «παραγωγή» του αναμενόμενου όγκου απορροής, λόγω της μεγάλης

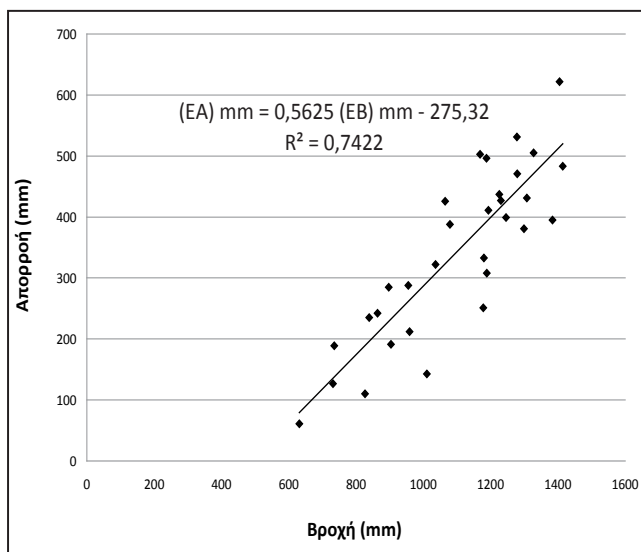
εξατμισοδιαπνοής που λαμβάνει χώρα την άνοιξη και κυρίως το θέρος. Μεγάλη επίσης υδατουγκράτηση και στη συνέχεια εξατμιοση αυτής και ως εκ τούτου χαμηλότερη απορροή, παρατηρείται και από επεισόδια βροχής μεγάλης διάρκειας και μικρής έντασης, σε σχέση με εκείνα της μικρής διάρκειας και μεγάλης έντασης. Τέτοιες ανακατανομές των βροχών κάποιων μηνών παρατηρήθηκαν και κατά τα υδρολογικά έτη που αναφέρθηκαν παραπάνω και μπορεί να οφείλονται στη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος ή στην πιθανή έναρξη της αλλαγής του. Είναι φανερό όμως πως οι λόγοι της ασυμμετρίας μεταξύ απορροών και βροχών που αναφέρθηκαν, δεν είναι οι μόνοι. Και αυτό γιατί η μετατροπή της βροχής σε απορροή είναι μία ιδιαίτερα πολύπλοκη διεργασία

η οποία εξαρτάται από τις καιρικές, εδαφικές, γεωλογικές, τοπογραφικές, βλασθητικές κ.λπ. συνθήκες της υδρολογικής λεκάνης. Γνώση όμως και αποδοχή αυτής της πραγματικότητας, μας αποτρέπουν από δυσάρεστες εκπλήξεις και αντιδράσεις μεταξύ εκτιμώμενων και πραγματικών τιμών των απορροών οποιασδήποτε χρονικής κλίμακας.

Στη συνέχεια επιχειρείται η συσχέτιση μεταξύ των ετήσιων απορροών και βροχών και παρά το γεγονός ότι ο συντελεστής μεταβλητότητας των πρώτων είναι υπερδιπλάσιος εκείνου των δεύτερων. Η ενέργεια αυτή γίνεται για να υπάρξει η δυνατότητα εκτίμησης των μελλοντικών ετήσιων απορροών από τις αντίστοιχες βροχές, αφού μόνο οι δεύτερες είναι πιθανόν να μετρώνται για κάποια χρόνια ακόμα.

Το γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης που επιλέχθηκε (Σχήμα 3) μεταξύ ετήσιων απορροών (EA) και ετήσιων βροχών (EB) είναι: $(EA)mm = 0,5625 \cdot (EB)mm - 275,32$ και $R^2 = 0.7422$. Ο συντελεστής προσδιορισμού (R^2) του μοντέλου δείχνει πως η ερμηνευτική του ικανότητα ανέρχεται πρακτικά στο 74% και επομένως μπορεί να γίνει μία αρκετά αποδεκτή εκτίμηση των απορροών της λεκάνης.

Ενδιαφέρον είναι επίσης να τονισθεί πως οι βροχές και απορροές της λεκάνης δεν είναι ανεξάρτητες



Σχήμα 3. Σχέση ετήσιων απορροών και βροχών.
Figure 3. Relationship between annual streamflow and rainfall.

και ουδέτερες από τους υπόλοιπους βασικούς φυσικούς πόρους της περιοχής μελέτης. Ειδικότερα η παραπάνω συνισταμένη (βροχές) και συνιστώσα (απορροές) του υδατικού ισοζυγίου επηρεάζουν κατ' αρχάς το έδαφος της λεκάνης, αφού εκτός των άλλων, το διαβρώνουν και στη συνέχεια παράγουν το «παραπροϊόν» των φερτών υλών με τις γνωστές συνέπειες στις ορεινές και κυρίως στις πεδινές περιοχές. Οι διεργασίες της διάβρωσης και μεταφοράς των εδαφικών υλικών λαμβάνουν χώρα σχεδόν αποκλειστικά δια της βροχής και επιφανειακής απορροής που δρουν κυρίως στις «μελίσπρες» της λεκάνης, αλλά και στις παραρρεμάτιες ζώνες και στα πρηνή των υδατορευμάτων, όταν έχει καταστραφεί η βλάστηση. Επομένως η βροχή και η απορροή και γενικότερα το νερό ως σύνολο, σχετίζεται, εκτός του εδάφους, και με τον τρίτο βασικό φυσικό πόρο της περιοχής που είναι η βλάστηση. Αυτό σημαίνει πως με τη συνεισφορά νερού, εδάφους και βλάστησης, μπορεί να επιτυγχάνεται και ισορροπία στις διάφορες φυσικές και βιολογικές διεργασίες της υδρολογικής λεκάνης.

Η παραπάνω αλληλεπίδραση και αλληλεξάρτηση όμως μεταξύ νερού, εδάφους και δασικής βλάστησης πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη και κατά το σχεδιασμό της ανάπτυξης και διαχείρισης αυτών των φυσικών πόρων και γενικότερα κατά το σχεδιασμό ανάπτυξης της ευρύτερης περιοχής. Π.χ. κατά τη σύνταξη των δασικών διαχειριστικών σχεδίων πρέπει να λαμβάνονται πάντοτε υπόψη οι παραπάνω αλληλεπιδράσεις, καθώς και οι αυξανόμενες απαιτήσεις και ανάγκες του κόσμου για περισσότερο νερό, καλύτερης ποιότητας, ομοιόμορφα κατανεμημένο στο χρόνο και παραγόμενο

σε ένα υγιές υδρο-οικολογικό περιβάλλον με πλούσια βιοποικιλότητα. Επιπλέον οι παραπάνω σχέσεις μεταξύ των τριών βασικών πόρων της λεκάνης αλλά και της ευρύτερης περιοχής και ολόκληρης της ορεινής Ελλάδας γενικότερα, μπορούν να συμβάλλουν στη χάραξη και διαμόρφωση μιας ολοκληρωμένης πολιτικής σε εθνικό επίπεδο για το νερό. Και αυτό γιατί το 65% της συνολικής έκτασης της χώρας είναι ημιορεινή και ορεινή και εκεί αναπτύσσονται τα δάση μας, ενώ τα ατμοσφαιρικά τους κατακρημνίσματα έχουν υπερδιπλάσιο ύψος από εκείνο των αντίστοιχων πεδινών περιοχών, οι οποίες τόσο πολύ τα χρειάζονται τη θερινή κυρίως περίοδο.

3.3. Ετήσια εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης

Υπενθυμίζεται πως η εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης συγκροτείται πρώτον, από την υδατοσυγκράτηση και στη συνέχεια την εξάτμιση αυτής από την κόμη των δένδρων και θάμνων και δεύτερον, από τη διαπνοή αυτών. Οποσδήποτε όμως υπάρχει και ένα ποσοστό εξάτμισης της διαπερώσας βροχής από την επιφάνεια του εδάφους της λεκάνης. Το ποσοστό αυτό υποστηρίζεται πως είναι πολύ μικρό εξαιτίας της μεγάλης πυκνότητας της δασικής βλάστησης (βαθμός συγκόμωσης συστάδων 1,2-1,3), αλλά και του πάχους της δασικής φυλλάδας του εδάφους. Για τους λόγους αυτούς η παραπάνω εξάτμιση δεν λαμβάνεται υπόψη στις αναλύσεις και συζητήσεις που ακολουθούν.

Όσον αφορά στην υδατοσυγκράτηση, υπενθυμίζεται πως αυτή, εκτός της βροχής και απορροής, είναι η τρίτη συνιστώσα του υδατικού ισοζυγίου που μετρήθηκε κατευθείαν στο πεδίο. Εκτός της μέσης ετήσιας τιμής της που αναφέρθηκε, (362 mm ή 33% της μέσης ετήσιας βροχής), το εύρος των εννέα ετήσιων τιμών της κυμαίνεται από 248-435 mm. Η διακύμανση αυτή οφείλεται τόσο στη μεταβλητότητα των αντίστοιχων ετήσιων υψών της συνολικής βροχής της λεκάνης, όσο και στα χαρακτηριστικά γνωρίσματα (διάρκεια, εντάσεις, συχνότητες κ.λπ.) των επεισοδίων της βροχής κάθε έτους. Σε αντίθεση όμως με τα χαρακτηριστικά των επεισοδίων βροχής, η διακύμανση της παραπάνω συνιστώσας δεν επηρεάζεται σημαντικά από τα βλαστητικά χαρακτηριστικά της λεκάνης. Και αυτό γιατί το σύνολο σχεδόν των δένδρων και θάμνων της λεκάνης είναι αειφύλλα – πλατύφυλλα είδη και συνεπώς ο Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (Leaf Area Index – LAI) δεν μεταβάλλεται αισθητά εντός του έτους. Περισσότερες λεπτομέρειες για την υδατοσυγκράτηση της λεκάνης, καθώς και για τις σχέσεις του μεγέθους αυτής με εκείνο άλλων μετρήσεών της που έγιναν σε αειφύλλα πλατύφυλλα

διαφόρων χωρών ανά τον κόσμο, αναφέρονται σε προηγούμενη δημοσίευση (Μπαλούτσος κ.ά., 2006).

Στη συνέχεια προστίθεται πως η διαπνοή εκτιμήθηκε, όπως αναφέρθηκε, ίση με τη διαφορά του αθροίσματος απορροής και υδατοσυγκράτησης, από τη βροχή, δηλαδή $[1098 - (342 + 362) = 394 \text{ mm}]$, ή 36% της μέσης ετήσιας βροχής. Το εύλογο ερώτημα που προκύπτει όμως για τη συνιστώσα αυτή αφορά στην ακρίβεια της εκτίμησής της, ή πόσο αποκλίνει το εκτιμημένο μέγεθος αυτής από το πραγματικό. Η απάντηση στο ερώτημα αυτό δεν μπορεί προφανώς να είναι άμεση και απόλυτη αλλά έμμεση και σχετική. Έτσι η πρώτη προσέγγιση της ακρίβειας εκτίμησης γίνεται με την ακρίβεια μετρήσεων στο πεδίο των υπόλοιπων συνιστωσών (βροχής, απορροής και υδατοσυγκράτησης) του υδατικού ισοζυγίου. Ειδικότερα οι μετρήσεις αυτές – και λαμβάνοντας υπόψη την ποιότητα των εγκαταστάσεων στη λεκάνη, την καλή λειτουργία των οργάνων και συσκευών, τον συνεχή έλεγχο αυτών, κ.λπ. – έγιναν με σφάλμα εύρους όχι μεγαλύτερου του $\pm 5-10\%$ των πραγματικών μεγεθών τους. Κατά συνέπεια και η διαπνοή, ως «υπόλοιπο» μέγεθος των παραπάνω συνιστωσών, δεν πρέπει να περιλαμβάνει σφάλμα μεγαλύτερου εύρους από αυτές.

Μια δεύτερη προσέγγιση του παραπάνω ερωτήματος γίνεται με τη σύγκριση του εκτιμημένου μεγέθους της διαπνοής της περιοχής μελέτης με το αντίστοιχο μέγεθος άλλων μετρήσεων ή εκτιμήσεων αυτής σε αείφυλλα πλατύφυλλα άλλων χωρών ή της Ελλάδας. Οι πληροφορίες αυτές, αν και πολύ περιορισμένες λόγω της σπανιότητας τέτοιων μετρήσεων ή εκτιμήσεων, ελήφθησαν από εργασίες σε διάφορες Μεσογειακές χώρες.

Ειδικότερα στην Τουρκία και προς την ακτή του Αιγαίου στη χερσόνησο Dilek, με ετήσιο ύψος βροχής 600-700 mm, μετρήθηκε η διαπνοή σε άτομα χαρουπιάς, αγριελιάς, σχίνου και πουργαριού κατά τους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο σε ημερήσια χρονική κλίμακα (Ozturk et al., 2010). Για τα παραπάνω δασικά είδη και κατόπιν μετατροπής της αρχικής μονάδας μέτρησης της διαπνοής ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$) σε mm βροχής του 5μήνου Μαΐου-Σεπτεμβρίου, προέκυψε ότι η διαπνοή αυτών ανήλθε σε 496, 418, 245 και 291 mm αντίστοιχα. Ο μέσος όρος των τιμών αυτών των μετρήσεων που ανήλθε στα 363 mm, θα μπορούσε να θεωρηθεί ως η διαπνοή συστάδας αειφύλλων πλατυφύλλων με τα παραπάνω είδη. Η τιμή αυτή της διαπνοής στην Τουρκία και παρά το μικρότερο ύψος βροχής από εκείνο στη δυτική Στερεά Ελλάδα, είναι πρακτικά σε συμφωνία με το μέγεθος της διαπνοής (394 mm) της παρούσας μελέτης.

Εκτός της Τουρκίας, και σε περιοχή του Ισραήλ με μέσο ετήσιο ύψος βροχής και μέση ετήσια εξάτμιση νερού από ελεύθερη επιφάνεια 600 και 1500 mm,

αντίστοιχα, μετρήθηκε η διαπνοή σε 32 άτομα φιλικίου για ένα έτος (Schiller et al. 2002). Από τις μετρήσεις αυτές διαπιστώθηκε πως από τα μέσα Απριλίου έως τα μέσα Σεπτεμβρίου η διαπνοή ανήλθε στα 250 mm. Η παραπάνω τιμή της διαπνοής είναι όμως μικρότερη της αντίστοιχης στην Ελλάδα κατά 36,6% και επομένως αποκλίνει σημαντικά. Η ασυμφωνία των δύο τιμών οφείλεται προφανώς στις πολύ διαφορετικές φυσικές και κλιματικές συνθήκες των δύο περιοχών.

Όσον αφορά στη χώρα μας, ολοκληρωμένες μετρήσεις ή εκτιμήσεις της διαπνοής αειφύλλων πλατυφύλλων δεν διαπιστώθηκαν. Σημαντικότερες όμως για το θέμα αυτό είναι οι δημοσιευμένες γνώσεις και πολύχρονες εμπειρίες του τέως ερευνητού του Ινστιτούτου Δασικών Ερευνών Θεσσαλονίκης Νικολαΐδη (1979). Ο συγκεκριμένος ερευνητής επισημαίνει πως η διαπνοή τη θερινή περίοδο στα αείφυλλα πλατύφυλλα της χώρας μας και ανάλογα με την ποιότητα τόπου, κυμαίνεται γύρω στα 4-6 mm ημερησίως. Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται προφανώς στις υποδεέστερες ποιότητες τόπου αφού εκεί επικρατούν υψηλότερες θερμοκρασίες και χαμηλότερες υγρασίες. Το αντίθετο ισχύει στις καλύτερες ποιότητες τόπου. Επομένως για την περιοχή μελέτης της δυτικής Στερεάς Ελλάδας που καλύπτεται από Ιη και Πη ποιότητα τόπου κατά θέσεις και έχει αποκλειστικά ΒΑ εκθέσεις, στις οποίες προφανώς επικρατούν χαμηλότερες θερμοκρασίες και υψηλότερες υγρασίες, μια μέση ημερήσια τιμή της διαπνοής της κατά την περίοδο Μαΐου-Σεπτεμβρίου ίση με 2,6 mm (394 mm: 153 ημέρες) θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως πολύ ρεαλιστική.

Στη συνέχεια επισημαίνεται πως εκτός από την ανάλυση και διερεύνηση της υδατοσυγκράτησης και διαπνοής ξεχωριστά, πολύ χρήσιμες πληροφορίες και γνώσεις θα μπορούσαν να αποκτηθούν και από τη μελέτη της εξατμισοδιαπνοής ως σύνολο και των σχέσεων αυτής με τη βλάστηση και το έδαφος. Αναλυτικότερα, με την εξατμισοδιαπνοή, όπως καταδείχθηκε, «καταναλώνεται» περισσότερο από τα 2/3 του ετήσιου ύψους βροχής της λεκάνης και μάλιστα από ένα δασικό οικοσύστημα με μικρή παραγωγή υλικών προϊόντων. Επιπλέον η κατανάλωση αυτή λαμβάνει χώρα σε μία περίοδο όπου οι ανάγκες και απαιτήσεις του κόσμου για νερό καλής ποιότητας και μεγάλης ποσότητας αυξάνονται, ενώ οι απορροές των μεγάλων ποταμών της ευρύτερης περιοχής μελέτης μειώνονται (Μαμάσης κ.ά. 1992, Giakoumakis and Baloutsos, 1997). Οι πιθανότεροι λόγοι μείωσης της απορροής των ποταμών υποστηρίζεται πως είναι η σημαντική αύξηση σε έκταση αλλά και πύκνωση της δασικής βλάστησης των ορεινών περιοχών των υδρολογικών λεκανών, μετά τη μετακίνηση, όπως αναφέρθηκε, του πληθυσμού προς τις πόλεις κατά τις

προηγούμενες δεκαετίες, η φυσική μεταβλητότητα του κλίματος και η πιθανή έναρξη της αλλαγής του.

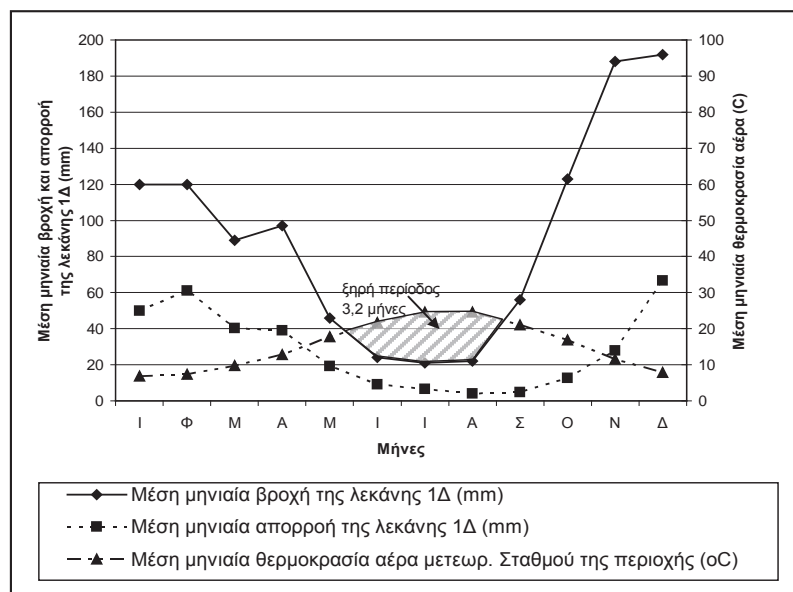
Οι παραπάνω συνθήκες που επικρατούν «επιβάλλουν» την εξέταση των δυνατοτήτων αύξησης της απορροής των υδατορευμάτων της συγκεκριμένης υδρολογικής λεκάνης και την «επέκταση» των προτάσεων και αποτελεσμάτων στις ευρύτερες παρόμοιες περιοχές της δυτικής Στερεάς Ελλάδας και Ηπείρου που καλύπτονται από αείφυλλα πλατύφυλλα. Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση της ετήσιας απορροής της λεκάνης, όπως δείχνει και η τροποποιημένη εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου ($Q=P-AET$), θα μπορούσε να επιτευχθεί με χειρισμούς αραιώσης της βλάστησης και συνεπώς μείωσης της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής της (AET). Η μείωση αυτή είναι προφανής αφού οι κλιματικές και γεωμορφολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή μελέτης, αποτρέπουν τη δημιουργία ομιχλοβροχής, η οποία εμμέσως εξουδετερώνει τη μείωση της εξατμισοδιαπνοής, όταν αραιώνεται η βλάστηση (Μπαλούτσος κ.ά., 2005).

Τεχνικές αραιώσεις και γενικότερα, υλοτομίες διαφόρων κατηγοριών για αύξηση της απορροής μιας δασωμένης λεκάνης, έχουν μελετηθεί και εφαρμοστεί επιτυχώς σε πληθώρα χωρών ανά τον κόσμο κατά τα τελευταία 50-60 τουλάχιστον χρόνια (Bosch and Hewlett, 1982, Brown et al., 2005). Μια τέτοια τεχνική αραιώσεων εφαρμόστηκε και στη χώρα μας κατά το πρόσφατο παρελθόν (Vouzargas, 1999) και υλοποιήθηκε στη λεκάνη 5, έκτασης 1370 στρεμμάτων και όμορη με την παρούσα 1Δ (Σχήμα 1). Ειδικότερα υλοτομήθηκε το 30% της βιομάζας της και περιελάμβανε τα κατάλληλα για ξυλάνθρακες άτομα, εκτός των 26 μεγαλύτερων ανά στρέμμα, που αφέθηκαν ομοιόμορφα κατανεμημένα. Οι κλάδοι από την υλοτομία τοποθετήθηκαν κατά την έννοια των χωροσταθμικών καμπυλών για την προστασία του εδάφους από τη διάβρωση.

Η αύξηση της απορροής της λεκάνης κατά τα δύο χρόνια που λειτούργησε μετά την αραιώση, ανήλθε κατά μέσο όρο στο 26% (80mm) εκείνης που θα είχε αν δεν γίνονταν οι αραιώσεις της βλάστησης. Δυστυχώς όμως η λεκάνη, για οικονομικούς λόγους, δε λειτούργησε και κατά τα επόμενα χρόνια ώστε να ήταν εφικτή

η μελέτη και διερεύνηση της βαθμιαίας μείωσης προφανώς της αρχικής αύξησης της απορροής της, λόγω επανάκαμψης της αραιωμένης βλάστησης. Η μελέτη αυτή όμως, αν και μικρής διάρκειας, κατέδειξε πλήρως πως η αύξηση της απορροής που επιτυγχάνεται με χειρισμούς αραιώσης και συγχρόνως λήψης μέτρων προστασίας του εδάφους της λεκάνης από διάβρωση, είναι πολύ σημαντική. Επιπλέον τα αποτελέσματα αυτά είναι προφανώς παρόμοια και εφαρμόσιμα όχι μόνο για τη λεκάνη μελέτης, αλλά και για την ευρύτερη περιοχή όπου κυριαρχούν τα αείφυλλα πλατύφυλλα, λόγω των παρόμοιων φυσικών και κλιματικών τους συνθηκών.

Σημαντικό είναι ακόμα να γίνει μια συνοπτική αναφορά και στην ετήσια κατανομή των μέσων μηνιαίων βροχών και απορροών της λεκάνης, ώστε να εξετασθεί η εν δυνάμει απόδοση αυτών σε επιπλέον όγκο νερού, μετά από αραιώσεις της βλάστησης. Πιο συγκεκριμένα, από το Σχήμα 4, στο οποίο, εκτός του ομβροθερμικού διαγράμματος, απεικονίζονται και οι μέσες μηνιαίες απορροές, διαπιστώνεται πως η απορροή της κοίτης του ρεύματος είναι συνεχής καθ' όλο το έτος και μόνο οι μήνες Ιούλιος, Αύγουστος και Σεπτέμβριος έχουν απορροή μικρότερη των 5 mm περίπου. Οι μήνες αυτοί συγκροτούν πρακτικά την ξηροθερμική περίοδο του έτους και οι βροχές και απορροές τους αντιπροσωπεύουν μόνο το 9% και 4,6% των ετήσιων βροχών και απορροών, αντίστοιχα. Επομένως οι υπόλοιποι εννέα



Σχήμα 4: Το ομβροθερμικό διάγραμμα της περιοχής μελέτης και η κατανομή των μέσων μηνιαίων απορροών της λεκάνης.

Figure 4: The pluviothermic diagram of the study area and distribution of the mean monthly runoff.

μήνες και κυρίως οι φθινοπωρινοί και χειμερινοί, έχουν ικανοποιητικά μεγέθη βροχής αλλά και απορροής, ώστε να καλύπτεται η υδατοϊκανότητα του εδάφους και της κοίτης του ρεύματος και έτσι κάθε μείωση της εξατμισοδιαπνοής να συμβάλλει στην αύξηση της απορροής της λεκάνης.

3.4. Προοπτικές ορθολογικής διαχείρισης των αειφύλλων πλατύφυλλων

Μετά τα παραπάνω προστίθεται πως οι διάφορες μορφές υλοτομικών παρεμβάσεων στα αειφύλλα πλατύφυλλα για αύξηση της απορροής τους, περιλαμβάνουν και αποδίδουν, εκτός της αύξησης του νερού, και άλλα σημαντικότερα οικονομικά, κοινωνικά, οικολογικά, περιβαλλοντικά και γενικότερα αναπτυξιακά οφέλη και πλεονεκτήματα για το κοινό των εγγύτερων αλλά και των ευρύτερων περιοχών. Αναλυτικότερα παρέχουν εργασία, καύσιμη ύλη και άλλα εισοδήματα στον τοπικό πληθυσμό. Επιπλέον μειώνουν τον κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιών και πρόκλησης ζημιών, συμβάλλουν στην ευρωστία των δένδρων και θάμνων που παραμένουν, αναζωογονούν την υποβλάστηση, ωφελούν την κτηνοτροφία, δημιουργούν ελκυστικούς βιότοπους για την τριχωτή και φτερωτή πανίδα και επομένως ενισχύουν και τη θηραματοποιία. Ακόμα εμπλουτίζουν τη βιοποικιλότητα, δημιουργούν ελκυστικές θέσεις για τους μελισσοκόμους, βελτιώνουν την αισθητική του τοπίου, προσελκύουν βοτανολόγους, φυσιολάτρες κ.λπ.

Για όλα τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν, οι αραιωτικές υλοτομίες στα αειφύλλα πλατύφυλλα προσέλκυσαν και απασχόλησαν τους επιστήμονες ανέκαθεν, τόσο στη χώρα μας (Vouzgaras, 1999), όσο και σε άλλες με μεσογειακή βλάστηση (Edwin 1984, Griffin and McCarl 1989, Turner 1991, Perevolotsky and Haimon 1992, DeBell et al. 1997, Montana et al. 2006). Οι δραστηριότητες αυτές επιδοτήθηκαν ακόμα σε ορισμένες Ευρωπαϊκές μεσογειακές περιοχές από το 1990 και μετά, ώστε να αυξάνονται έτσι τα κίνητρα ιδιοκτητών γης (Montana et al. 2006).

Σε συνέχεια των προηγούμενων, τονίζεται πως η «απόκτηση» όλων των αγαθών και υπηρεσιών από τα αειφύλλα πλατύφυλλα κάνει απαραίτητη και αναγκαία την ορθολογική τους διαχείριση. Ο σχεδιασμός όμως και η υλοποίηση ενός τέτοιου εγχειρήματος μπορεί να επιτευχθεί με τη συνεισφορά έμπειρων δημοσίων φορέων και εξειδικευμένων ομάδων ή ατόμων, καθώς και με την εξέταση των ποικίλων ενδιαφερόντων του κοινού για τη συγκεκριμένη μορφή δασικής βλάστησης. Αναλυτικότερα, η Δασική Υπηρεσία μπορεί να συνεισφέρει σε τεχνικά και οικονομικά θέματα των διαφόρων υλοτομικών ενεργειών, καθώς και στη μείωση

του κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιών, πρόκλησης ζημιών κ.λπ. Ακόμα οι διαχειριστές των λεκανών απορροής μπορούν να συμβάλλουν σε θέματα παραγωγής και διαχείρισης του νερού, προστασίας του εδάφους και του φυσικού περιβάλλοντος γενικότερα κ.ά. Επίσης πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι απόψεις των εκπροσώπων του τοπικού πληθυσμού της συγκεκριμένης μορφής βλάστησης, ο οποίος υλοποιεί ποικίλες δραστηριότητες, καθώς επίσης και των μελισσοκόμων, των κυνηγών, των φυσιολατρών και οποιονδήποτε άλλων με άμεσα ή έμμεσα ενδιαφέροντα για το θέμα αυτό. Οι παραπάνω ποικίλες δασικές διαχειριστικές δραστηριότητες υποστηρίζεται πως έχουν τη δυνατότητα να συμβάλλουν σε μία μορφή δασοπονίας πολλαπλών σκοπών στα αειφύλλα πλατύφυλλα, η οποία θα ανταποκρίνεται στις ανάγκες και στα ενδιαφέροντα του κόσμου στην εποχή μας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση και συζήτηση των αποτελεσμάτων της εργασίας προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

Τα ύψη βροχής της λεκάνης κατά την περίοδο των 31 ετών κυμαίνονται από 631 έως 1414 mm, έχουν μέσο όρο 1098 mm και τυπική απόκλιση 215 mm. Επιπλέον η μεταβλητότητα αυτών είναι τυχαία αφού δεν παρουσιάζουν περιοδικότητα.

Το παραπάνω μέσο ύψος βροχής της λεκάνης θεωρείται επαρκές για την ανάπτυξη και διατήρηση όχι μόνο των σημερινών αειφύλλων πλατύφυλλων, αλλά και μιας εν δυνάμει υψηλής μορφής δασικής βλάστησης, όπως ήταν π.χ. οι φυλλοβόλες δρυές πριν από πολλά χρόνια. Επιπλέον, το ύψος αυτό λόγω του μεγέθους του, ενέχει και υψηλό κίνδυνο διάβρωσης του εδάφους στον ψαμμιτικό φλύσχη και κυρίως στον αργιλικό σχιστόλιθο, σε περίπτωση υποβάθμισης της βλάστησης.

Τα ετήσια μεγέθη της απορροής του υδατορεύματος της λεκάνης κυμαίνονται από 61 έως 622 mm και η τυπική τους απόκλιση ανέρχεται στα 140 mm. Επιπλέον η μέση ετήσια απορροή της λεκάνης ανέρχεται στα 342 mm ή στο 31% του αντίστοιχου ύψους βροχής (συντελεστής απορροής). Το μέγεθος αυτό όμως θεωρείται ως χαμηλότερο του αναμενόμενου από μια ορεινή δασική λεκάνη με σημαντικό ύψος βροχής.

Απάντηση στην παραπάνω «συντηρητική» απόκριση της λεκάνης δίνεται από τα μεγέθη της υδατοσυγκράτησης και διαπνοής της δασικής βλάστησης η οποία ανέρχεται στα 362 και 394 mm, ή στο 33% και 36% του ετήσιου ύψους βροχής, αντίστοιχα. Κατά συνέπεια, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή της λεκάνης ανέρχεται στο 69% της βροχής και είναι προφανώς υψηλότερη των 2/3 αυτής.

Η πολύ υψηλή υδατοκατανάλωση των αειφύλλων

πλατυφύλλων της λεκάνης και η οποία πρακτικά «επεκτείνεται» και στην αντίστοιχη βλάστηση της ευρύτερης περιοχής μελέτης, όπου «δεσπόζουν» μεγάλοι και σημαντικοί ποταμοί για την υδατική μας οικονομία, κάνει επιτακτική την ανάγκη αναζήτησης μεθόδων μείωσης της εξατμισοδιαπνοής και αύξησης έτσι της απορροής της λεκάνης. Τέτοιες μέθοδοι όμως έχουν δοκιμασθεί επιτυχώς σε όμορη λεκάνη της περιοχής μελέτης και συνίστανται σε αραιώσεις της βλάστησης κατά 30% περίπου, που συμβάλλουν σε σημαντική αύξηση της απορροής της λεκάνης και επιπλέον στην προστασία του εδάφους από τη διάβρωση με τη χρήση των υπολειμμάτων των υλοτομιών.

Οι παραπάνω αραιωτικές υλοτομίες δεν αυξάνουν όμως μόνο την παραγωγή νερού, αλλά περικλείουν και αποδίδουν μια πληθώρα οικονομικών, κοινωνικών, οικολογικών, περιβαλλοντικών κ.λπ. ωφελειών καθώς και αναπτυξιακών δραστηριοτήτων γενικότερα, στους κατοίκους της εγγύτερης και ευρύτερης περιοχής μελέτης.

Η απόκτηση όμως όλων των παραπάνω υλικών και άυλων αγαθών απαιτεί οπωσδήποτε και την εύρεση της «χρυσής τομής» στη διαχείριση της βλάστησης της λεκάνης και στην ανάπτυξη της περιοχής γενικότερα. Για το σκοπό αυτό η συμβολή και συνεισφορά όλων των ενδιφερομένων και των ειδικών είναι προφανώς σημαντικότερη και αναγκαία.

Water balance study and investigation of a maquis experimental watershed in central western Greece for its contribution to utilization of the natural resources of it

G. Baloutsos¹, At. Bourletsikas², K. Kaoukis²

SUMMARY

The annual water balance components of a maquis experimental watershed, 117 ha in area and covered with evergreen sclerophyllous species, in central western Greece, were studied. The purpose of this research was the evaluation and investigation of the contribution of these components to utilization of the water and also to the other natural resources and mainly to the mentioned above vegetation of the watershed and of the wider area generally, which yields only a few commodities to the local communities during the last decades. From the water balance components, precipitation, streamflow and interception were measured directly in the field while transpiration was estimated by subtracting the sum of streamflow and interception, from rainfall. The values of the above components and in the order they were referred, were 1098, 342, 362, and 394 mm, respectively. The sum of interception and transpiration (actual evapotranspiration) was 69% (756 mm) of the annual rainfall and this percentage, in practice, was similar to the vegetation of the wider area, where very important rivers for the national water economy predominate. Due to the above very high water losses by the vegetation, the application of a tree – thinning treatment was evaluated and discussed so as to decrease evapotranspiration and augment the watershed's water yield. Except of the water yield augmentation, the thinning treatment includes and gives back to local communities additional economic, social, ecological, environmental and generally developing benefits. However, acquisition of all the mentioned benefits, by the local communities, requires the rational management of the evergreen sclerophyllous vegetation by them. Finally, the prerequisites of this form of management were also evaluated and discussed.

Keywords: watershed, evergreen sclerophyllous vegetation, water balance, water yield augmentation, management – utilization of natural resources.

¹ Forester – Hydrologist, former senior Researcher of the National Agricultural Research Foundation, Athens. Current address: 138, Em. Benaki st., P.C. 114-73, Athens. Tel: 210 3300578, email: balgeorg@otenet.gr

² Hellenic Agricultural Organization – “Demeter”, Institute of Mediterranean Forest Ecosystems and Forest Products Technology. Tel: 210 7782125, email: mpat@fria.gr

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αλεξοπούλου, Κ., Αναστασοπούλου, Π. και Μαμάσης, Ν., 1992. Εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Avila, A. and Roda, F., 1988. Export of dissolved elements in an evergreen-oak forested watershed in the Montseny Mountains (NE Spain). *Catena Supplement* 12, pp: 1-11.
- Bosch, J.M., and Hewlett, J.D., 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *J. Hydrol.*, 55: 3-23.
- Βουζαράς, Α. και Γιαννέλος, Ε., 1995. Η διαχείριση των αειφύλλων πλατυφύλλων της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας με έμφαση στην παραγωγή νερού. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*, Τόμος 6(3): 32-46.
- Brown, A.E., Zhang, Lu., McMahon, T.A., Western, A.W. and Vertessy, R.A., 2005. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *J. Hydrol.*, 310: 28-61
- DeBell, D.S., Curtis, R.O. Harrington, C.A. Tappeiner, J.C. 1997. Shaping stand development through silvicultural practices. *Creating a Forest for the 21st Century: The sciences of Ecosystem Management* (eds Kohm, K.A. and Franklin, J.F.), pp. 141-149. Island press, Washington, DC.
- Dunne, T. and Leopold, L.B., 1978. *Water in Environmental Planning*. Freeman W.H. and Company, U.S.A., pp. 818
- Edwin, A.D. 1984. Conversion of Arizona chaparral to grass increases water yield and nitrate loss. *Water Resources Research*, 20(11): 1643-1649.
- Giakoumakis, S.G. and Baloutsos, G., 1997. Investigation of trend in hydrological time series of the Evinos River basin. *Hydrol. Sci. J.*, 42(1): 81-88.
- Griffin, R.C. and McCarl, B.A. 1989. Brushland management for increased water yield in Texas. *Water Resources Bulletin*, 25(1):175-186.
- Θαλασσινός, Ελ., 1991. Ανάλυση χρονολογικών σειρών. *Μεθοδολογία Box-Jenkins*. Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Εκδόσεις Α. Σταμούλης, σελ. 180.
- Καραμήτρος, Ε., 1974. Αι εν Ελλάδι έρευναι επί πειραματικών λεκανών απορροής. *Ελληνική Γεωλογική Εταιρεία*, Τομ. XI (1): 155-173
- Koutsoyiannis, D., Efstathiadis, A. and Mamas, 2001. Appraisal of the surface water potential and its exploitation in the Acheloos river basin and in Thessaly. Athens, Ministry of Environment, Planning and Public Works.
- Koutsoyiannis, D., Andreadakis, A. and Mavrodimitou, A., 2008. National Programme for Water Resources Management and Preservation. Support on the compilation of the National Programme for Water Resources Management and Preservation. Athens, National Technical University of Athens.
- Ledger, D.C., 1975. The water balance of an exceptionally wet catchment area in West Africa. *J. Hydrol.*, 24: 207-214
- Lec, R., 1980. *Forest Hydrology*, Columbia University Press, New York, pp. 349.
- Lehner, I., Teuling, A.J., Qurtz, J. and Seneviratne, S.I., 2010. Long term water balance in the pre – alpine Rietholzbach catchment: First comparison of evapotranspiration estimates. In “Status and Perspective of Hydrology in Small Basins”, edited by A. Herrmann and S. Schumann, IAHS Publication 336, pp: 54-58.
- Llorens, P. and Domingo, F., 2007. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *J. Hydrol.*, 335: 37-54
- Μαμάσης, Ν., Ναλμπάντης, Ι. και Κουτσογιάννης, Δ., 1992. Διερεύνηση υδρολογικών χαρακτηριστικών των λεκανών Μόρνου και Β. Κηφισού – Υλίκης. *Πρακτικά Δημεριδίας Ύδρευσης Αθήνας 1992*. Ε.Μ.Π., Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, σελ. 1-17.
- Μαυρομμάτης, Γ., 1972. Αι οικολογικά και φυτοκοινωνικά βάσεις της δασικής αξιοποίησεως των θαμνωδών εκτάσεων επί του φλύσχου. *Παράδειγμα εφαρμογής εις την πειραματικήν λεκάνην Βαρετάδας*. *Το Δάσος*, Τόμοι 55-56, σελ: 28-32
- Montana, E. De La, Rey-Benayas, J.M. and Carrascal, L.M., 2006. Response of bird communities to silvicultural thinning of Mediterranean maquis. *J. of Applied Ecology*, 4: 651 – 659
- Μπαλούτσος, Γ., 1988. Υδρολογική συμπεριφορά των πειραματικών λεκανών απορροής Βαρετάδας Αμφιλοχίας σε καταιγίδες ανοδικού τύπου. *Περιοδικό Δασικά Χρονικά*, Τεύχος 1, σελ: 21-33.
- Μπαλούτσος, Γ., Μπουρλέτσικας, Α. και Καούκης, Κ., 2005. Μελέτη και διερεύνηση χαρακτηριστικών ομιχλοβροχής στο ελατοδάσος Αγίου Νικολάου Ευρυτανίας. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*, Τόμος 16(1): 34-45.
- Μπαλούτσος, Γ., Μπουρλέτσικας, Α. και Καούκης, Κ., 2006. Υδατοσυγκράτηση, διαπερώσα βροχή και κορμοαπορροή στα αειφύλλα πλατύφυλλα της νοτιοδυτικής Ελλάδας. *Δασική Έρευνα*, Τόμος 19: 23-40.

- Μπαλούτσος, Γ., Μπουρλέτσινας, Α. και Καούκης, Κ., 2013. Μελέτη και διερεύνηση χαρακτηριστικών ετήσιων και μηνιαίων απορροών μιας δασικής πειραματικής υδρολογικής λεκάνης της Ανατολικής Όσσας (Κισσάβου). Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, τόμ 22, Σειρά ΙΙ, σελ. 24-37.
- Νικολαΐδης, Μ., 1979. Η υδατοκατανάλωση δασοσυστάδων. Το Δάσος, Τόμος 86, σελ: 67-76.
- Νικολαΐδης, Μ. και Παπούλιας, Ι., 1981. Υδατοσυγκράτηση κόμης σε τραχεία πεύκη και πρίνο. Δασική Έρευνα, Τόμος ΙΙ, Τεύχος 3, σελ: 395-404.
- Osuch, B., Gadek, W., Homa, A., Cebulska, M., Szczepanek, R. and Hebda-Malocha, A., 2009. Methods of estimating the elements of water balance in a forested catchment basin. J. of Water and Land Development, Vol. 13a: 19-40.
- Ozturk, M., Dogan, Y., Sakcali, M.S., Doulis, A. and Karam, F., 2010. Ecophysiological responses of some maquis (*Ceratonia siliqua* L., *Olea oleaster* Hoffm. and *Link, Pistacia lentiscus* and *Quercus coccifera* L.) plant species to drought in the east Mediterranean ecosystem. J. of Environmental Biology, January and March, 2010, pp: 233-245.
- Παπούλιας, Ι., 1974. Συμβολή εις την εκτίμησην και αξιολόγησιν των υδατικών πόρων της ορεινής Ελλάδος. Ελληνική Γεωλογική Εταιρεία, Θεσσαλονίκη, Τόμος ΙΕ, Τεύχος Β', σελ: 103-126.
- Παπούλιας, Ι. και Νικολαΐδης, Μ., 1979. Η υδατοκράτηση και υδατοκατανάλωση στην πλατύφυλλο δρυ. Το Δάσος, τεύχος 86, σελ: 26-40.
- Perevolotsky, A. and Haimov, Y., 1992. The effect of thinning and goat browsing on the structure and development of Mediterranean woodland in Israel. Forest Ecology and Management, 49: 61-74.
- Pinol, J., Lledo, M.J. and Escarre, A., 1991. Hydrological balance of two Mediterranean forested catchments (Prades, northeast Spain). Hydrol. Sci. J., 36(2,4): 95-107.
- Reinhart, K. and Pierce, R., 1964. Stream – gauging stations for research on small watersheds. U.S.D.A., Forest Service, Agriculture Handbook N° 268.
- Rowe, L.K. and Fahey, B.O. 1991. Hydrology and water chemistry changes after harvesting small indigenous forest catchments, Westland, New Zealand. In Sediment and Stream Water Quality in a Changing Environment: Trends and Explanations, IAHS, Publication 203, pp:259-266.
- Schiller, G., Unger, E.D. and Cohen, Y., 2002. Estimating the water use of a sclerophyllous species under an East – Mediterranean climate. I. Response of transpiration of *Phillyrea latifolia* L. to site factors. Forest Ecology and Management, 170: 117-126.
- Σιδερίδης, Δ., 1977. Πλουτοκρίτης, το κλειδί για την ανάπτυξη των ορεινών και νησιωτικών περιοχών. Έκδοση Πανελληνίου Ενώσεως Τεχνολόγων Δασοπονίας, σελ: 95.
- Sutcliffe, J.V., 2004. Hydrology: A Question of Balance. IAHS, Special Publication 7, pp: 200.
- Turner, K.M., 1991. Annual evapotranspiration of native vegetation in a Mediterranean – type climate. Water Resources Bulletin, Vol. 27(1): 1-6.
- Υπουργείο Γεωργίας, 1993. Αποτελέσματα Πρώτης Εθνικής Απογραφής Δασών. Γενική Γραμματεία Δασών και Φ.Π., Γενική Δ/ση Δασών και Φ.Π., σελ: 135.
- Vouzaras, A., 1999. A forest treatment applied to mature evergreen sclerophyllous forests of Western Greece increases water yield and serves multiple purposes. In “Proceedings of the International Occasional Symposium of the European Grassland Federation, Thessaloniki, Greece, pp: 317-322.
- Zhang, L., Dawes, W.R. and Walker, G.R., 1999. Predicting the effect of vegetation changes on catchment average water balance. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology CSIRO Land and Water, Technical Report 99/12, Canberra, Australia, pp:35.

Απώλειες ξυλώδους όγκου και ζημιές σε κορμοτεμάχια δρυός κατά τη συγκομιδή και μετατόπιση ξύλου

Πέτρος Α. Τσιώρας¹, Μαρίνα Α. Χαβεντιδού²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε κορμοτεμάχια πρεμνοφυούς δρυός της περιοχής Αρναίας Χαλκιδικής έγινε περιγραφή και ανάλυση ζημιών, ως αποτέλεσμα των εργασιών συγκομιδής. Συνολικά μελετήθηκαν 322 κορμοτεμάχια ξύλου ως προς την εμφάνιση σφαλμάτων που συνδέονται με τη συγκομιδή του ξύλου, όπως λάθη κατά τον τεμαχισμό, τομές από τσεκούρι και αλυσοπρίονο και σχίσεις. Οι απώλειες που σχετίζονται με τον τεμαχισμό της ξυλείας και συγκεκριμένα με τη σύγκριση της τελικής διάστασης των κορμοτεμαχίων με τη προτεινόμενη ανήλθαν σε 4,45% επί του συνολικού όγκου. Σημαντικό πρόβλημα επίσης προκύπτει και από το μήκος των κορμοτεμαχίων καθώς 19,8% αυτών ήταν κοντότερα έως και 10 cm των προδιαγραφών της αμέσως επόμενης κατηγορίας μήκους. Αντίθετα, οι απώλειες που οφείλονται σε σχίσεις, ραγιδώσεις και επανατεμαχισμό στο δασόδρομο ήταν πολύ χαμηλές και ανήλθαν συνολικά σε 0,69 m³ ή 0,6% του συνολικού όγκου στοργύλης. Τα ποσοστά των πληγώσεων ήταν υψηλά καθώς 54,3% των κορμοτεμαχίων παρουσίασαν απομακρύνσεις φλοιού και 29,8% αυτών απομακρύνσεις και πληγώσεις ξύλου, ωστόσο, η σοβαρότητα τους ήταν περιορισμένη. Από τα αποτελέσματα της έρευνας προκύπτει ότι υπάρχουν προβλήματα στην εφαρμογή της υλοχρηστικής πρακτικής και απαιτούνται μέτρα βελτίωσης. Η καλή τεχνική κατάρτιση των δασεργατών αποτελεί την σημαντικότερη προϋπόθεση για την ορθολογική διαμόρφωση και αξιοποίηση των παραγόμενων κατηγοριών ξύλου.

Λέξεις κλειδιά: Απώλειες ξυλώδους όγκου, ζημιές, ποιότητα ξύλου, κορμοτεμάχια δρυός.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά την εκτέλεση των εργασιών συγκομιδής του ξύλου ο πρώτος στόχος είναι η μεγιστοποίηση της αξίας χρήσεως του συγκομιζόμενου ξυλώδους όγκου, με τη μικρότερη δυνατή φθορά που μπορεί να προκληθεί στην εναπομείνουσα συστάδα.

Η φύση των δασικών εργασιών επηρεάζει την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Οι δασεργάτες εργάζονται σε ένα δύσκολο περιβάλλον, εκτεθειμένοι στις εκάστοτε καιρικές συνθήκες (Driscoll et al. 1995, Davis et al. 2001, Nieuwenhuis and Lyons 2002) και καλούνται να κάνουν γρήγορη εκτίμηση του κάθε δέντρου προς υλοτομία ώστε να παράγουν προϊόντα της μεγαλύτερης τελικής αξίας (Geerts and Twaddle 1984). Για αυτόν τον λόγο, παρά τις συγκεκριμένες οδηγίες για τον τρόπο εκτέλεσης των φάσεων συγκομιδής, με σκοπό την, κατά το δυνατόν μικρότερη πρόκληση φθορών στα τελικά προϊόντα, και την εκπαίδευση του δασεργατικού δυναμικού, η πρόκληση ζημιών στα κορμοτεμάχια (Εικ. 1α-1ζ) είναι αναπόφευκτη, επηρεάζεται από τα συστήματα συγκομιδής που εφαρμόζονται και μπορεί να προκληθεί σε όλες τις φάσεις των εργασιών συγκομιδής (Τσουμής 1991, Ευθυμίου 2009, Connell 2003).

Ρίψη του δένδρου σε ανώμαλη επιφάνεια, π.χ. πάνω σε βράχο, πρέμνο, κορμοτεμάχιο ή εδαφική ανωμαλία,

μπορεί να προκαλέσει την θραύση του. Σε επικλινή εδάφη η ρίψη του δένδρου τόσο προς τα πάνω όσο και προς τα κάτω μπορεί να οδηγήσει σε θραύση του κορμού αλλά και σε ζημιές σε γειτονικά δένδρα και φυτάρια (Τσουμής 1991). Συνιστάται επίσης ύψος πρέμνου ίσο με το 1/3 της πρεμνικής διαμέτρου με σκοπό την ελάττωση της σπατάλης ξύλου. Ο τεμαχισμός των κορμοτεμαχίων μπορεί να επηρεάσει την οικονομική πρόσοδο από το δάσος, καθώς η ξυλεία μικρού μήκους έχει υποπολλαπλάσια αξία από την ξυλεία μεγάλου μήκους, ανάλογα με την απόκλιση από τις απαιτούμενες διαστάσεις. Το ύψος των απωλειών μπορεί να είναι ιδιαίτερα υψηλό. Οι Murphy and Twaddle (1985) υπολόγισαν ότι έως και το 40% της αξίας του ιστάμενου ξύλου μπορεί να απωλεσθεί λόγω κακών χειρισμών κατά τις φάσεις της συγκομιδής ξύλου, ενώ σύμφωνα με τον Sessions (1988) οι απώλειες μόνο από τη φάση του τεμαχισμού μπορούν να ανέλθουν στο ποσοστό του 25%. Ο Williston (1979) αναφέρει ότι κατά τη διάρκεια της μετατόπισης, το 6% της αξίας των παραγόμενων κορμοξύλων απωλέσθηκε λόγω θραύσεων και λοιπών ζημιών.

Κατά τη φάση της μετατόπισης η χρήση τσεκουριού αντί κορμοστροφέα καταστρέφει το ξύλο όπως και η σύρση των κορμοτεμαχίων (Unver and Acar 2009), ιδιαίτερα όταν δε συνοδεύεται από απόξεση της βάσης

¹ Δρ. Δασολόγος, Εργαστήριο Υλοχρηστικής ΑΠΘ, e-mail: ptsioras@for.auth.gr

² Δρ. Δασολόγος, Εργαστήριο Υλοχρηστικής ΑΠΘ, e-mail: marinasmith13@gmail.com

του κορμοτεμαχίου (κοινώς αναφερόμενο ως «καλέμι») (Τσουμής 1991). Η ελεύθερη ολίσθηση των κορμοτεμαχίων (κατά την οποία αφήνονται να ολισθήσουν προς τα κάτω ακολουθώντας τυχαία διαδρομή) προκαλεί πλήρωση δένδρων και θραύση των κορμοτεμαχίων. Τέλος, οι τόποι συγκέντρωσης της ξυλείας πρέπει να τηρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές, όπως περιορισμένη υγρασία και έκθεση στον ήλιο, για να μην ευνοείται η προσβολή του ξύλου από μύκητες ή ραγάδωση. Η παραμονή του ξύλου σε αυτούς θα πρέπει να είναι περιορισμένη ειδικά ο κίνδυνος προσβολής και αλλοίωσης του χρώματός του αυξάνεται. Στην περίπτωση πλήρως ή μερικώς μηχανοποιημένων συστημάτων συγκομιδής ξύλου, ζημιές προκαλούνται από τις μεγάλες πιέσεις που ασκούν τα μηχανήματα στα κορμοτεμάχια. Έτσι, μεγάλος αριθμός φθορών μπορεί να προκληθεί στην παραγόμενη ξυλεία, όπως απομάκρυνση τμημάτων του φλοιού, σχίσμο των άκρων, ραγάδωσεις, θραύση ή και σχίσση των κορμοτεμαχίων που οδηγούν σε μείωση της αξίας της παραγόμενης ξυλείας (Eronen et al. 2000, Liiri et al. 2004, Nuutinen et al. 2010).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η περιγραφή και ανάλυση ζημιών σε κορμοτεμάχια δρυός στην περιοχή της Αρναίας Χαλκιδικής με ιδιαίτερη έμφαση στο μήκος των κορμοτεμαχίων. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν συγκρίνονται με αποτελέσματα άλλων ερευνών και προκύπτουν πολύτιμα συμπεράσματα που αφορούν την ποιότητα των εργασιών συγκομιδής και την επίδραση αυτής στα παραγόμενα κορμοτεμάχια. Τέλος, γίνονται προτάσεις για την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση του λήμματος από υλοχρηστικής άποψης.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στη συστάδα 116β της περιοχής Νεοχωρίου Χαλκιδικής του Δασορχείου Αρναίας. Πρόκειται για μία μεικτή συστάδα οξυάς (*Fagus moesiaca*) και δρυός (*Quercus conferta*) έκτασης 55 Ha. Η περιοχή έρευνας βρίσκεται σε υψόμετρο 590-790 m και οι κλίσεις του εδάφους ποικίλουν μεταξύ 10-70%. Τα δένδρα οξυάς έχουν ηλικία 40-110 ετών και της δρυός 55-70 ετών. Το συνολικό ξυλώδες κεφάλαιο ανέρχεται σε 8178m³ ή 148,7 m³/Ha.

Η λήψη των ερευνητικών στοιχείων πραγματοποιήθηκε στο χρονικό διάστημα Ιούλιος-Αύγουστος 2009, τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά το πέρας των εργασιών συγκομιδής με σκοπό την καλύτερη κατανόηση του εργασιακού περιβάλλοντος και των συνθηκών συγκομιδής. Δεν δόθηκαν διαφορετικές οδηγίες στα μέλη του δασικού συνεταιρισμού από αυτές που δόθηκαν από τους αρμόδιους δασολόγους του Δασορχείου Αρναίας.

Δύο ομάδες δασεργατών/τριών και δύο μελών

αντίστοιχα, εργάστηκαν στην συστάδα. Η πρώτη ομάδα πραγματοποίησε τη ρύψη, την αποκλάδωση και τον τεμαχισμό των δένδρων με τη βοήθεια αλυσοπρίονου και τσεκουριού ενώ η δεύτερη ομάδα την μετατόπιση των κορμοτεμαχίων με την βοήθεια τροποποιημένου δασικού ελκυστήρα (FIATAGRI Model 70.90). Σε ορισμένες περιπτώσεις πραγματοποιήθηκε επανατεμαχισμός των κορμοτεμαχίων στο δασόδρομο. Η μετατόπιση των καυσοξύλων πραγματοποιήθηκε με μουλάρια και η στοίβαξή τους έγινε στο δασόδρομο. Συνολικά υλοτομήθηκαν 719,7 m³ ξυλείας, από τα οποία 154,2 m³ ήταν στρογγύλη και τα υπόλοιπα 565,5m³ στοιβακτό ξύλο.

Για τις ανάγκες της έρευνας συντάχθηκε ειδικό έντυπο καταγραφής των ζημιών. Στα αρχικά πεδία καταγράφηκαν τα χαρακτηριστικά του κάθε κορμοτεμαχίου, όπως το μήκος του και η μέση διάμετρος των άκρων του. Η μέση έμφλοια διάμετρος υπολογίστηκε βάση του μέσου όρου των μετρήσεων διαμέτρου που πραγματοποιήθηκαν σταυρωτά. Τα επόμενα πεδία αφορούσαν το είδος της ζημιάς (τομές από αλυσοπρίονο και τσεκούρι, σχίσση βάσης), τις διαστάσεις της (μήκος, πλάτος και βάθος), χαρακτηριστικά των κορμοτεμαχίων (ύπαρξη σήψης, λάσσης, χαλιζιών και σπασμένων τοιγκουλιών στις άκρες των κορμοτεμαχίων) και λοιπές παρατηρήσεις.

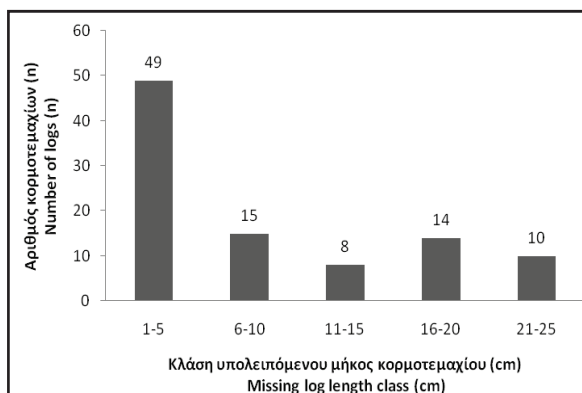
Στη συνέχεια, το καταγεγραμμένο μήκος των κορμοτεμαχίων συγκρίθηκε με το βέλτιστο μήκος για κάθε κορμοτεμάχιο ξεχωριστά. Στην περιοχή έρευνας, τα επιθυμητά μήκη στρογγύλης ξυλείας δρυός από τους εμπόρους ξυλείας και τα πριστήρια ξεκινούν από τα 2 m και προσαυξάνονται κατά 0,5 m. Κατόπιν τούτου, το βέλτιστο μήκος για κάθε κορμοτεμάχιο ορίστηκε ως το άθροισμα της κατηγορίας διάστασης και της απαραίτητης υπερδιάστασης (αποδεκτή υπερδιάσταση 5 έως 10 cm). Αντίστοιχα, η απώλεια σε ξυλώδη όγκο υπολογίστηκε ως η διαφορά του πραγματικού όγκου από το βέλτιστο όγκο, βάση των μαζοπινάκων του Δασορχείου Αρναίας.

Η ανάλυση των στοιχείων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του στατιστικού λογισμικού πακέτου PASW version 18.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Καταγράφηκαν οι φθορές σε 322 κορμοτεμάχια, συνολικού όγκου 112,64 m³. Το μέγεθος του δείγματος, που ήταν παραπλήσιο άλλων αντίστοιχων μελετών (Wang et al. 2004b, Syunev et al. 2009), παρουσιάζει ικανοποιητική ακρίβεια, όπως αυτή προκύπτει από τις χαμηλές τιμές τυπικού σφάλματος του μέσου όρου (ε) πολλών ανεξάρτητων μεταβλητών (π.χ. $\text{Επιλήψεις ανά κορμό} = 4,87\%$, $\text{Εμήκος πλήρωσης} = 6,3\%$, $\text{Επλάτους πλήρωσης} = 3,97\%$).

Το μέσο μήκος των κορμοτεμαχίων ήταν 285,9cm με εύρος τιμών από 195 cm έως 541 cm. Η μέση μικρή



Σχήμα 1. Υπολειπόμενο μήκος κορμοτεμαχίων σε κλάσεις των 5 cm.

Figure 1. Missing length of the study logs in 5cm classes.

έμφλοια διάμετρος ήταν 34,9 cm (εύρος τιμών 26-51 cm) και η μέση μεγάλη έμφλοια διάμετρος ήταν 39,1 cm (εύρος τιμών 27-61 cm).

Στη συγκεκριμένη έρευνα δε παρατηρήθηκαν όλες οι φάσεις συγκομιδής του ξύλου για το σύνολο των κορμοτεμαχίων. Ως εκ τούτου, δεν είναι δυνατή η εκτίμηση του συνόλου των απωλειών ξυλώδους όγκου (π.χ. απουσιάζουν στοιχεία απωλειών που οφείλονται σε μεγαλύτερο ύψος πρέμνου). Αντιθέτως, είναι δυνατή η εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων για την τήρηση των προδιαγραφών ως προς το τελικό μήκος των κορμοτεμαχίων και των αντίστοιχων απωλειών. Η σύγκριση των τελικών μηκών κορμοτεμαχίων με τα αντίστοιχα βέλτιστα κατέληξε σε απώλειες 5,01m³ που αντιστοιχούν σε 4,45% του συνολικού όγκου που υλοτομήθηκε. Οι απώλειες που διαπιστώθηκαν ανά κατηγορία μήκους κορμοτεμαχίων περιγράφονται στον Πίνακα I.

Σε 96 (29,8%) κορμοτεμαχία το καταγεγραμμένο μήκος τους βρέθηκε να υπολείπεται των προδιαγραφών ώστε να ανήκουν στην αμέσως επόμενη κατηγορία μήκους κατά 1-25 cm. Το μήκος κατά το οποίο υπολείπονταν ανά κλάσεις των 5cm περιγράφεται στο Σχήμα 1. Η πλειονότητα αυτών των κορμοτεμαχίων (49-51%) υπολείπονταν κατά 1-5 cm, 15 (16%) κατά 6-10cm και 14 (15%) κατά 16-20 cm.

Οι απώλειες σε ξυλώδη όγκο από ραγαδώσεις και σχίσεις των κορμοτεμαχίων ανήλθαν σε 0,24m³ και 0,27m³ αντίστοιχα. Επίσης, παρατηρήθηκαν εκ νέου τεμαχισμοί των κορμοτεμαχίων στο δασόδρομο. Αυτοί είναι πολλές φορές αποτέλεσμα μη προσεκτικού τεμαχισμού στο υλοτόμιο ή/και αποτέλεσμα απομάκρυνσης τσιγκουλιών που εγκλωβίστηκαν στο σώμα του ξύλου κατά τη φάση της μετατόπισης με χρήση ζώων σύρσης. Σε κάθε περίπτωση αποτελούν παράγοντα μείωσης της αξίας του τελικού προϊόντος, καθώς έχουν άμεση

επίπτωση στις διαστάσεις και στην τελική αξία πώλησής του. Εκ νέου τεμαχισμός στο δασόδρομο παρατηρήθηκε σε εννέα κορμοτεμαχία (2,8%) και ο συνολικός όγκος που απολέσθηκε ανέρχεται σε 0,18 m³.

Από το σύνολο των 322 κορμοτεμαχίων 93 (29%) δεν παρουσίαζαν καθόλου σημάδια εξωτερικών φθορών και πληγώσεων. Αντίθετα, σε πολλές περιπτώσεις παρατηρήθηκαν πολλαπλές ζημιές ανά κορμοτεμαχίο (Εικ. 2). Στα εναπομείναντα 229 κορμοτεμαχία, καταγράφηκαν 432 ζημιές, με αποτέλεσμα να αντιστοιχούν κατά μέσο όρο 1,90 φθορές ανά κορμοτεμαχίο. Από αυτές, 235 (54,3%) αφορούσαν απομάκρυνση τμήματος του φλοιού, οι οποίες καταγράφηκαν σε 140 κορμοτεμαχία. Η κατανομή των σφαλμάτων ανά διάσταση περιγράφεται στον Πίνακα II.

Συνολικά καταγράφηκαν 49 τομές από τσεκούρι και αλυσοπρίονο κατά μήκος των κορμοτεμαχίων. Η συχνότητα και τα χαρακτηριστικά αυτών των τομών περιγράφονται στον Πίνακα III.

Σχίσμο βάσης παρατηρήθηκε σε 36 κορμοτεμαχία (11,2%) και ραγάδωση σε 9 κορμοτεμαχία (2,8%) αντίστοιχα. Οι διαστάσεις αυτών περιγράφονται στον Πίνακα IV.

Σήψη βρέθηκε σε 17 κορμοτεμαχία (5,3%) ενώ 19 (6%) είχαν πολύ λάσπη και εγκλωβισμένες πέτρες.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα χαρακτηριστικά ποιοτικής ταξινόμησης της παραγόμενης στρογγύλης ξυλείας περιγράφονται στις εθνικές και διεθνείς προδιαγραφές (π.χ. European Economic Community 1968, Υπουργική Απόφαση 290350/1988, Österreichische Holzhandelsunion 2006). Βάση αυτών των προδιαγραφών, είναι δυνατή η αξιολόγηση των συστημάτων συγκομιδής ξύλου όσον αφορά την ποιότητα των παραγόμενων κορμοτεμαχίων (Syunev et al. 2009). Η απόκλιση από τις διαστάσεις των κατηγοριών μήκους, η παρουσία φθορών και η μόλυνση με χώμα αποτελούν ορισμένους από τους δείκτες υποβάθμισης της αξίας της στρογγύλης ξυλείας. Συνεπώς, η συμμόρφωση με αυτές τις προδιαγραφές αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την βέλτιστη αξιοποίηση του ξυλώδους κεφαλαίου.

Η παρούσα έρευνα αναδεικνύει το πρόβλημα που υπάρχει με το μήκος των κορμοτεμαχίων καθώς μεγάλο ποσοστό αυτών υπολείπονταν κατά λίγα εκατοστόμετρα του μήκους της αμέσως επόμενης εμπορικής κατηγορίας. Σε κάποιες περιπτώσεις, αιτία είναι η μη σωστή τήρηση της υπερδιάστασης. Μεγαλύτερη υπερδιάσταση από την προβλεπόμενη αποτελεί πλεονέκτημα σε κάποιες περιπτώσεις (π.χ. αφαίρεση ελαττωμάτων στα άκρα των κορμοτεμαχίων), ωστόσο συνεπάγεται και αυξημένες απώλειες (Wiedenbeck et al. 2003). Στην

Πίνακας I. Απώλειες σε μήκος και ξυλώδη όγκο ανά κλάση μήκους κορμοτεμαχίων.**Table I.** Length and wood volume losses per log length class.

Κλάση μήκους κορμοτεμαχίων Log length class (m)	Αριθμός κορμοτεμαχίων Number of logs (n)	Απώλειες σε μήκος Length loss		Απώλειες σε όγκο Volume loss		
		Εύρος Range (cm)	Μέσος όρος Average (cm)	Εύρος Range (m ³)	Μέσος όρος Average (m ³)	Σύνολο Total (m ³)
2,0-2,5	93	0 - 49	16,53	0-0,0772	0,0186	1,7295
2,5-3,0	109	0 - 49	13,34	0-0,0810	0,0143	1,5632
3,0-3,5	83	0 - 49	13,01	0-0,0614	0,0145	1,2020
3,5-4,0	24	0 - 35	9,86	0-0,0290	0,0101	0,2420
4,0-4,5	12	0 - 41	15,17	0-0,0543	0,0197	0,2359
5,0-5,5	1	-	31,00	-	0,0404	0,0404

Πίνακας II. Περιγραφικά στατιστικά των περιπτώσεων απομάκρυνσης φλοιού.**Table II.** Descriptive statistics of the bark removal cases.

Διαστάσεις (σε cm και σε cm ²) Dimensions (in cm and cm ²)				
Διαστάσεις Dimensions	Αριθμός παρατηρήσεων Number of observations	Ελάχιστη τιμή Minimum value	Μέγιστη τιμή Maximum value	Μέσος όρος Average
Μήκος / Length	235	3,0	306	37,5
Πλάτος / Width	235	2,0	47	13,3
Βάθος / Depth	3	0,5	23	8,5
Έκταση / Area	235	9,0	4825	516,8

περίπτωσή μας, οι απώλειες αυτές ανήλθαν σε 4,45% επί του συνολικού όγκου στρογγύλης, αποτέλεσμα κοντά στις απώλειες της τάξης του 4% στις οποίες κατάληξε παλαιότερη αντίστοιχη έρευνα (Zavala 1995). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το ότι διαπιστώθηκαν τομές ράφης σε αρκετά δένδρα της έρευνας σε αδικαιολόγητα μεγαλύτερο ύψος από το βέλτιστο, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν σαφή περιθώρια βελτίωσης.

Το τελικό μήκος των κορμοτεμαχίων εξαρτάται από την τομή ράφης, τον τεμαχισμό, την μετατόπιση στο δασόδρομο, όπως και από τη φύση του προϊόντος. Η σημασία του σωστού τεμαχισμού είναι θεμελιώδης και μη αναστρέψιμη (Sessions 1988) καθώς αποτελεί καθορίζει το είδος και, συνεπώς, την αξία των προϊόντων της ξυλείας που υλοτομήθηκε. Λάθη σε αυτήν τη φάση της συγκομιδής ξύλου μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική υποβάθμιση της αξίας των προϊόντων απαξιώνοντας τις πολυετείς προσπάθειες και επενδύσεις με σκοπό την παραγωγή πολύτιμης ξυλείας. Γι'αυτόν τον λόγο, το πρόβλημα του βέλτιστου τεμαχισμού έχει απασχολήσει

και απασχολεί πολλούς επιστήμονες (Pnevmaticos and Mann 1972, Geerts and Twaddle 1984, Sessions 1988, Guild and Ellis 2004, Wang et al. 2004a) και έχει οδηγήσει στη δημιουργία αντίστοιχων προγραμμάτων Η/Υ. Η χρήση αυτού του εκπαιδευτικού λογισμικού μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των απωλειών ξυλώδους όγκου τουλάχιστον κατά 14% (Wang et al. 2004a) ή 15% (Geerts and Twaddle 1984). Ειδικότερα, όσον αφορά τα πλατύφυλλα είδη, τα περιθώρια αύξησης της αξίας είναι μεγαλύτερα, λόγω της μεγαλύτερης ποικιλότητας στην μορφή του κορμού, τα είδη και το μέγεθος των ελαττωμάτων που διαθέτουν (Noble et al. 2000), και μπορούν να ανέλθουν από 39% έως και 55% (Pickens 1992).

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται έχει άμεση σχέση με την ποιότητα της παραγόμενης ξυλείας. Οι απώλειες σε ξυλώδη όγκο από ραγαδώσεις και σχίσεις στη συγκεκριμένη μελέτη ήταν πολύ χαμηλές (0,6%). Αυτά τα επίπεδα απωλειών είναι παρόμοια με αντίστοιχες μελέτες, στις οποίες συγκρίθηκε η χρήση αλυσσοπρίονου σε σχέση με άλλα μηχανήματα συγκομιδής όπως

Πίνακας III. Περιγραφικά στατιστικά των τομών από τσεκούρι και αλυσοπρίονο.
Table III. Descriptive statistics of the wounds caused by axe and chainsaw.

Διαστάσεις σε εκατοστά / Dimensions in cm					
Μέσο εργασίας Tool used	Διάσταση Dimension	Αριθμός παρατηρήσεων Number of observations	Ελάχιστη τιμή Minimum value	Μέγιστη τιμή Maximum value	Μέσος όρος Average
Αλυσοπρίονο Chainsaw	Μήκος / Length	36	8,0	40	19,9
	Βάθος / Depth	36	0,5	3	1,6
Τσεκούρι Axe	Μήκος / Length	13	8,0	52	21,2
	Πλάτος / Width	13	0,7	13	5,0
	Βάθος / Depth	8	0,5	2	1,2

Πίνακας IV. Περιγραφικά στατιστικά των φθορών από σχίσεις βάσης και ραγάδώσεις.
Table IV. Descriptive statistics of endsplitting and crack damages.

Διαστάσεις σε εκατοστά / Dimensions in cm					
Είδος φθοράς Damage type	Διάσταση Dimension	Αριθμός παρατηρήσεων Number of observations	Ελάχιστη τιμή Minimum value	Μέγιστη τιμή Maximum value	Μέσος όρος Average
Σχίσση βάσης Endsplitting	Μήκος / Length	36	3,0	100	27,9
	Πλάτος / Width	36	2,0	43	14,8
	Βάθος / Depth	36	0,5	7	2,3
Ραγάδωση Crack	Μήκος / Length	9	6,0	37	22,4

π.χ με συνδυασμένο μηχάνημα ρίψης και στοίβαξης με υδραυλικό μηχανισμό ρίψης (feller-buncher with shear head) (Gallagher et al. 1985). Οι συγκεκριμένοι ερευνητές αναφέρουν απώλειες της τάξης του 0,64% του όγκου στα κορμοτεμάχια που έγινε η τομή ρίψης. Ωστόσο, τα συνδυασμένα μηχανήματα ρίψης και στοίβαξης που διαθέτουν αλυσοπρίονο για τη ρίψη των δένδρων πλεονεκτούν των απλών αλυσοπρίονων (Hassler et al. 1999). Αυτό συμβαίνει γιατί τα συγκεκριμένα μηχανήματα έχουν τη δυνατότητα να εναποθέτουν το κορμοτεμάχιο στο έδαφος χωρίς να το τραυματίζουν αλλά και χωρίς να προκαλούν πληγώσεις στα γειτονικά ιστάμενα δένδρα (Lamson et al. 1985).

Το ποσοστό των κορμοτεμαχίων στα οποία παρατηρήθηκε απομάκρυνση φλοιού ανήλθε σε 54,3% και πληγώσεις ξύλου σε 29,8%. Συγκρινόμενα τα ποσοστά αυτά με αποτελέσματα άλλων ερευνών είναι ιδιαίτερα υψηλά καθώς οι Wang et al. (2004b) αναφέρουν 16,7% και 5,8% αντίστοιχα. Ιδιαίτερα όσον αφορά την απομάκρυνση φλοιού, θα πρέπει να αναφερθεί ότι δε

συνοδεύεται απαραίτητα από ποιοτική υποβάθμιση του κορμοτεμαχίου, με την προϋπόθεση της έγκαιρης μεταφοράς του στο πριστήριο ή τη βιομηχανία. Ωστόσο, στην περίπτωση που η μεταφορά καθυστερεί η πιθανότητα προσβολής από σήψη αυξάνεται, με αποτέλεσμα την σημαντική υποβάθμιση της αξίας των τελικών προϊόντων (Τσουμής 1991, Forest Products Laboratory 1999, Διαμαντής 2004). Θα πρέπει, επομένως, να καταβάλλεται προσπάθεια για την άμεση μεταφορά της στρογγύλης ξυλείας από το δασόδρομο στα πριστήρια και τη βιομηχανία έτσι, ώστε να αποφευχθεί η μελλοντική της υποβάθμιση.

Το βάθος των πληγώσεων βρέθηκε να είναι περιορισμένο, με την μεγαλύτερη τιμή για το αλυσοπρίονο στα 3 cm και για τσεκούρι στα 2 cm όπως επίσης και η συχνότητα εμφάνισης. Η χρήση πλήρως μηχανοποιημένων συστημάτων δεν εξαλείφει το πρόβλημα. Οι Nuutinen et al. (2010) αναφέρουν μέσο βάθος πλήγωσης έως και 7,8 mm σε κορμοτεμάχια που προκαλούνται από το μηχανισμό τροφοδοσίας (feeder roller)



α) Αποφλοίωση του κορμοτεμαχίου.
a) Bark removal.



β) Τομές από αλυσοπρίονο.
b) Chainsaw cuts.



γ) Επανατεμαχισμός.
c) Second bucking.



δ) Σχίσση βάσης και
αφαίρεση τμήματος.
d) Endsplitting and slab.



ε) Ραγάδαση.
e) Crack.



στ) Μόλυνση με χώμα.
f) Contamination with soil.



ζ) Σήψη.
g) Rot.

Εικόνες 1α-1ζ. Δείκτες ποιοτικής υποβάθμισης στοργγύλης ξυλείας.

Pictures 1a-1g. Indicators of reduced roundwood quality.

σύγχρονων μηχανημάτων συγκομιδής (harvester).

Η ποιότητα των παραγόμενων κορμοτεμαχίων είναι αποτέλεσμα πολλών παραγόντων (Vanderberg 2002). Προκύπτει όμως ότι ο ανθρώπινος παράγοντας κατέχει κεντρικό ρόλο, που στην περίπτωσης μας εκφράζεται με την τεχνική των χειριστών αλυσοπρίονου και μετατοπιστών. Καλή τεχνική μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις προκαλούμενες ζημιές στα κορμοτεμάχια λόγω καλύτερων εμπροσθο- και οπισθοτομών ή με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών για δασικά είδη που έχουν την τάση να σπάζουν εύκολα (Conell 2003). Η καλή τεχνική κατάρτιση δεν είναι δυνατή ούτε μέσω εμπειροτεχνικών διαδικασιών, ούτε όμως και μέσω μεμονωμένων ολιγοήμερων σεμιναρίων (Τσιώρας και Ευθυμίου 2007), αλλά μέσω καλά οργανωμένων προγραμματίων δασεργατικής εκπαίδευσης σε αντίστοιχες σχολές με έμπειρους εκπαιδευτές (Efthymiou 1988, Vik 1999, Conell 2003) και με τη χρήση κατάλληλου εκπαιδευτικού λογισμικού (Noble et al. 2000). Με αυτόν τον τρόπο θα ήταν δυνατή η καλύτερη αξιοποίηση του ξυλώδους κεφαλαίου χωρίς υποβάθμιση των κορμοτεμαχίων και τις αντίστοιχες χρηματικές απώλειες.

Οι απώλειες σε ξυλώδη όγκο που υπολογίστηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αποτελούν υποεκτίμηση του συνόλου των απωλειών, καθώς δε κατέστη δυνατή η καταγραφή των ζημιών κατά τη διάρκεια της φάσης της ρίψης και τεμαχισμού για το σύνολο των δέντρων. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε μία καταγραφή της κατάστασης κορμοτεμαχίων στην τελική τους μορφή στο δασόδρομο, πριν αυτά πωληθούν σε εμπόρους και επεξεργαστούν σε πριστήρια της περιοχής. Προέκυψαν σημαντικές πληροφορίες τόσο για τις απώλειες σε ξυλώδη όγκο όσο και για τη συχνότητα και τις διαστάσεις των ζημιών πάνω σε κορμοτεμάχια δρυός ως αποτέλεσμα της συγκομιδής ξύλου. Ωστόσο, θα παρουσίαζε ενδιαφέρον η συνέχιση της έρευνας για το σύνολο των φάσεων της συγκομιδής κάτω από διαφορετικές συνθήκες (εποχή, κλίσεις, συστήματα αμοιβής δασεργατών, μηχανήματα) και η επέκτασή της και σε άλλα δασικά είδη. Η ανάλυση και σύγκριση αυτών των δεδομένων θα συνέβαλε στην βελτιστοποίηση των υπαρχόντων συστημάτων συγκομιδής ξύλου και ταυτόχρονα και της αξιοποίησης του ξυλώδους κεφαλαίου στα ελληνικά δασικά οικοσυστήματα.



Εικόνα 2. Εμφάνιση πολλαπλών δεικτών υποβάθμισης ποιότητας σε κορμοτεμάχιο.

Picture 2. Multiple quality defects on a study sawlog.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν το προσωπικό του Δασοαρχείου Αρναίας για την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διενέργεια της έρευνας όπως και τους δασεργάτες της περιοχής. Επίσης, τους δύο ανώνυμους κριτές για τις εύστοχες παρατηρήσεις και υποδείξεις τους.

Impacts of the wood harvesting system on the quality of oak sawlogs

Petros A. Tsioras¹, Marina A. Chavenetidou²

ABSTRACT

Aim of the present study is the description and the analysis of the damages caused on oak sawlogs during the timber harvesting phases in the area of Arnaia (Chalkidiki – Northern Greece). A total of 322 sawlogs have been observed, with regard to damages caused during timber extraction, bucking, cuts by axe and chainsaw, endsplitting, slabs, soil contamination and fungi infection. All these damages were analysed in order to estimate their impact on volume recovery losses. Bark removal was found in 54,3% and wood removal in 29,8% of the logs respectively. The recovery volume losses due to endsplitting or cracks and second bucking on the forest road amounted to 0,69m³ and 0,60m³ of the total harvested volume, respectively. These losses were limited in comparison to the losses by excessive trimming allowance. As a result of the increased overlength observed, losses of 4,45% were estimated. Also, a large proportion (20,2%) of the study logs could not be graded to the next quality grade (length) for less than 10cm. The recovery volume losses provided by this study represent only a part of the total losses, as data from some wood harvesting phases were missing. However, this study provides an analysis of the dimensional and damage data of logs after the time of their extraction to the forest road and before been transported to sawmills or wood merchants. The study needs to be continued, in order to have more information on the interaction between the log quality and the elements of different wood harvesting systems, and needs to be expanded to other forest species as well. There is room for improvement, especially with regard to the forest workers' technique. The systematic training of forest workers can sufficiently improve the lumber volume recovery in terms of quality and contribute to the rationalization of forest utilization in Greece.

Key words: wood volume losses, damages, wood quality, oak sawlogs.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Connell, M.J., 2003. Log Presentation: log damage arising from mechanical harvesting or processing. Forest and Wood Products Research and Development Corporation, Victoria, 64 p.
- Davis, G.A., Edmisten, E.D., Thomas, R.E., Rummer, R.B. and Pascoe, D.D., 2001. Effects of ventilated helmets in a hot environment. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 27: 321-329.
- Driscoll, T., Ansari, G., Harrison, J., Frommer, M. A. and Ruck, E.A., 1995. Traumatic work related fatalities in Forestry and sawmill workers in Australia.

- Journal of Safety Research 26(4): 221-233.
- Διαμαντής, Σ., 2004. Υποβάθμιση του ιστάμενου ξύλου. *Περιοδικό ΕΘΙΑΓΕ* 16:8-10.
- Efthymiou, P.N., 1988. Forest Operations in Greece. Country statement submitted to the 17th Session of the Joint FAO/ECE/ILO Committee on Forest Working Techniques and Training of Forest Workers. Geneva, 29-31 August 1988.
- European Economic Community, 1968. Council Directive 68/89/EEC of 23 January 1968 on the approximation of the laws of the Member States concerning the classification of wood in the rough.

¹ Dr. Forest Engineer, Aristotle University of Thessaloniki, e-mail: ptsioras@for.auth.gr

² Dr. Forester, Aristotle University of Thessaloniki, e-mail: marinasmith13@gmail.com.

- Eronen, J., Asikainen, A., Uusitalo, J. and SIKANEN, L., 2000. Control of log end checks during bucking with a modified single-grip harvester. *Forest Products Journal* 50(4): 65–70.
- Ευθυμίου, Π.Ν., 2009. Σημειώσεις Συγκομιδής Δασικών Προϊόντων. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις. Τμήμα Εκδόσεων ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 210σελ.
- Forest Products Laboratory, 1999. Wood handbook—Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p.
- Gallagher, T.V., Shaffer, R.M. and Stuart, W.B., 1985. An assessment of shear damage to southern pine sawlogs. *Forest Products Journal* 35 (11/12): 87-91.
- Geerts, J.M.P. and Twaddle, A.A., 1984. A method to assess log value loss caused by cross-cutting practice on the skidsite. *New Zealand Journal of Forestry* 29(2): 173-184.
- Guild, B. and Ellis, J., 2004. Improved sawlog quality through statistical quality control. *New Zealand Journal of Forestry* 48(4): 17-22.
- Hassler, C.C., Grushecky, S.T. and Fajvan, M.A., 1999. An assessment of stand damage following timber harvests in West Virginia. *Northern Journal of Applied Forestry* 16(4): 191-196.
- Lamson, N.I., Smith, H.C. and Miller, G.W., 1985. Logging damage using an individual-tree selection practice in Appalachian hardwood stands. *Northern Journal of Applied Forestry* (2): 117-120.
- Liiri, H., Asikainen, A., Lindblad, J., Ala-Ilomäki, J. and Nuutinen, Y., 2004. Reducing of unwanted barking in single grip harvester cutting. In Uusitalo, J., Nurminen, T. and Ovaskainen, H. (eds.). NSR Conference on forest operations 2004 – proceedings. *Silva Carelica* 45: 280–284.
- Murphy, G. and Twaddle, A.A., 1985. Techniques for the assessment and control of log value recovery in the New Zealand forest harvesting industry. Proceedings of the 9th Annual Meeting of Council on Forest Engineering. September 29 – October 2, 1985. Mobile, AL.
- Nieuwenhuis, M. and Lyons, M., 2002. Health and safety issues and perceptions of Forest Harvesting contractors in Ireland. *International Journal of Forest Engineering* 13(2): 69-76.
- Noble, S., Orr, B., Araman, P. A., Baumgras, J. and Pickens, J. B., 2000. A computerized bucking trainer for optimally bucking hardwoods. 28th Annual Hardwood Symposium, pp. 11-18.
- Nuutinen, Y., Väättäinen, K., Asikainen, A., Prinz, R. and Heinonen, J., 2010. Operational Efficiency and Damage to Sawlogs by Feed Rollers of the Harvester Head. *Silva Fennica* 44(1):121-139.
- Österreichische Holzhandelsusancen, 2006. Kooperations-platform Forst Holz Papier, Wien.
- Pickens, J.B., Lee, A. and Lyon, G.W., 1992. Optimal bucking of northern hardwoods. *Northern Journal of Applied Forestry* 9(4): 149-52.
- Pnevmaticos, S. M. and Mann, S. H., 1972. Dynamic programming in tree bucking. *Forest Products Journal* 22(2): 26-30.
- Sessions, J., 1988. Making better tree-bucking decisions in the woods. *Journal of Forestry* (10): 43-45.
- Syunev, V., Sokolov, A., Konovalov, A., Katarov, V., Seliverstov, A., Gerasimov, Y., Karvinen, S. and Väliky, E. 2009. Comparison of Wood Harvesting Methods in the Republic of Karelia Working Papers of the Finnish Forest Research Institute. Vantaa.
- Τσιώρας, Π.Α. και Ευθυμίου, Π.Ν., 2007. Η αναγκαιότητα ύπαρξης δασεργατικής εκπαίδευσης στη Ελληνική Δασοπονία. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα* 18(2): 46-56.
- Τσουμής, Γ.Θ., 1991. Συγκομιδή Δασικών Προϊόντων. Θεσσαλονίκη, 176 σελ.
- Υπουργική Απόφαση 290350, 1988. Ταξινόμηση της ακατέργαστης ξυλείας. ΦΕΚ 573, τεύχος Β' 19-08-1988.
- Unver, S. and Acar, H.H., 2009. A damage prediction model of quantity loss of skidded spruce logs during ground based skidding in Northeastern Turkey. *Croatian Journal of Forest Engineering* 30(1): 59-65.
- Vanderberg, M., 2002. Harvested log damage and value loss associated with two ground-based harvesting systems in Central Appalachia. Msc Thesis, University of West Virginia, Morgantown, 98p.
- Vik, T., 1999. Improving working conditions in forestry – An example from Norway. In: Proceedings of the Joint FAO/ECE/ILO Committee of Forest Technology, Management and Training seminar on “Improving working conditions and increasing productivity in forestry”. Banska Stiavniska (Slovakia), 9-13 September 1998. Forest Research Institute Zvolen, pp. 51-65.
- Wang, J., Le Doux, C.B. and McNeel, J., 2004a. Optimal tree-stem bucking of northeastern species of China. *Forest Products Journal* 54(2): 45-52.
- Wang, J., Le Doux, C.B. and Vanderberg, M., 2004b. Log damage and value loss associated with two ground-based harvesting systems in Central Appalachia. *International Journal of Forest Engineering* 15(1): 61-69.
- Wiedenbeck, J., Brown, J. and Bennett, N., 2003. Crook and overlength in hardwood lumber: Results from a 14-mill survey. *Forest Products Journal* 53(5): 61-66.
- Williston, E., 1979. Opportunity areas and leverage points. In: Proceedings of the electronic workshop sawmill and plywood clinic. Portland, Oregon, March 1979. pp 14-18.
- Zavala, D.Z., 1995. The effect of log length and lumber thickness over-allowance on lumber recovery. *Forest Products Journal* 45(2): 41-45.

Μετρήσεις θορύβου στους χώρους εργασίας των βιομηχανιών κατεργασίας ξύλου

Βασιλική Δήμου¹

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εντατικοποίηση της βιομηχανικής παραγωγής και η παράλληλη αύξηση της ταχύτητας των μηχανών είχε ως άμεση συνέπεια την αύξηση της έντασης του θορύβου στους περισσότερους εργασιακούς χώρους. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η έκθεση των εργαζομένων στην ηχορύπανση σε τρεις μονάδες κατεργασίας ξύλου. Στο πλαίσιο της εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στους χώρους των βιομηχανιών αυτών. Ως ανώτερο αποδεκτό όριο (όριο αντοχής) θεωρήθηκαν τα 85 dB για τους χώρους παραγωγής και τους βοηθητικούς χώρους (π.χ. αποθήκες) και 55 dB για τους χώρους των γραφείων. Με βάση τις μετρήσεις προκύπτει ότι και στα τρία προιτήρια τη μεγαλύτερη ηχορύπανση σε σύγκριση με τις αποθήκες και τα γραφεία έχει ο χώρος παραγωγής, όπου βρέθηκε ότι ο θόρυβος πλησιάζει στα 90 dB υπερβαίνοντας κατά πολύ το αποδεκτό όριο αντοχής. Συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη ένταση θορύβου δημιουργείται από τα μηχανήματα τεμαχισμού τα οποία παράγουν θόρυβο που φτάνει μέχρι τα 97,5 dB περίπου. Αντίθετα, τα μηχανήματα λείανσης παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές θορύβου (κατά μέσο όρο 88,76 dB). Γενικά στο χώρο και όχι μόνο κοντά στη θέση του χειριστή ενός μηχανήματος η ένταση του θορύβου είναι πάνω από 85 dB με μέσο όρο περίπου στα 90 dB. Επίσης, ο παραγόμενος ήχος αυξάνεται στα μεγάλα πάχους κορμοτεμάχια σε σύγκριση με αυτά που έχουν μέση διάμετρο μικρότερη από 30 cm, ενώ σε σχέση με το είδος του ξύλου, από μετρήσεις που έγιναν σε είδη όπως Οξιά, Πεύκη και Λεύκη, βρέθηκε ότι ο ήχος ήταν μεγαλύτερος στην κατεργασία της Λεύκης.

Λέξεις κλειδιά: μετρήσεις θορύβου, ένταση θορύβου, ηχορύπανση, προιτήρια ξύλου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο θόρυβος στη σημερινή εποχή αποτελεί μια από τις κυριότερες πηγές ενόχλησης (Skenberg και Öhrström 2002). Για το λόγο αυτό έχουμε φτάσει στο σημείο να τον θεωρούμε ως μια μορφή «αθέατης ρύπανσης», την οποία αποκαλούμε ηχορύπανση (Ντάφης 1998). Στις αρχές του 20ού αιώνα ένας από τους πατέρες της σύγχρονης υγιεινολογίας, ο Robert Koch, έγραψε για το θόρυβο ότι «μια μέρα ο άνθρωπος θα αγωνίζεται ενάντια στο θόρυβο με την ίδια επιμονή που παλεύει με τη χολέρα και την πανώλη» (Γρίβας 2007). Ως θόρυβο ορίζουμε κάθε ανεπιθύμητο και ενοχλητικό ήχο ο οποίος αποτελεί απειλή για τη σωματική, ψυχική και κοινωνική μας ευημερία (Ρεϊππο και Heikkinen 2000, Ουϊς 2001).

Οι μέθοδοι μέτρησης των επιπέδων θορύβου που εκπέμπονται από διαφορετικούς τύπους μηχανημάτων περιγράφονται στο ISO 3740 (2001). Εκεί επίσης αναφέρονται και όλα τα βασικά πρότυπα ISO που σχετίζονται με το θόρυβο. Το ISO TC 43 αποτελεί σημείο αναφοράς σε θέματα θορύβου (Λαΐος και Γιαννακούρου-Σιουτάρη 2003).

Στον Πίνακα I φαίνονται κάποια όρια θορύβου (μονάδα μέτρησης dB):

Πίνακας I. Ενδεικτικές τιμές dB.

Table I. Noise tolerance levels in dB.

>81	ΑΠΑΡΑΔΕΚΤΗ
81	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ / Intolerable
80	ΠΟΛΥ ΘΟΡΥΒΩΔΗΣ
79	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ / Very Noisy
78	
77	ΘΟΡΥΒΩΔΗΣ
76	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ / Noisy
75	
74	ΣΧΕΔΟΝ ΑΝΕΚΤΗ
73	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ / Almost tolerable
72	
71	ΚΑΛΗ
70	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ / Good
69	
68	ΑΝΕΤΗ
<68	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ / Comfortable

¹Επίκουρη Καθηγήτρια του Τμήματος Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων του Δ.Π.Θ. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Πανταζίδου 193, E-mail: vdimou@fmenr.duth.gr.

Η ηχορύπανση αποτελεί πλέον αιτία πολλών προβλημάτων του σύγχρονου ανθρώπου, τα σημαντικότερα από τα οποία είναι: βλάβες ή απώλεια ακοής, καρδιακές παθήσεις, άλλου είδους σωματικές διαταραχές όπως πίεση, ημικρανίες, έλκος, άσθμα, ανωμαλίες στην κύηση, μαθησιακά προβλήματα στα παιδιά, μείωση αποδοτικότητας και αυτοσυγκέντρωσης στην εργασία, διαταραχές ύπνου κ.λπ. (Arana και Garcia 1997, Stansfeld 1992, Ouis 2001, Skenberk και Öhrström 2002, Job 1996).

Στο χώρο εργασίας τα υψηλά επίπεδα θορύβου εμποδίζουν την επικοινωνία των εργαζομένων και ανάλογα με το επίπεδο, τη συχνότητα και τη διάρκεια έκθεσης, μπορεί να επηρεάσουν την ψυχική και σωματική τους υγεία (Shaikh 1999, Kryter 1970, Kryter 1994, Donald-Siu 2001). Εκείνο κυρίως για το οποίο ευθύνονται τα υψηλά επίπεδα θορύβου είναι η ανεπανόρθωτη ζημιά στην ανθρώπινη ακοή (Irlle et al. 1998, Niu-Canlon 2002).

Σύμφωνα με τη 2η Ευρωπαϊκή Έρευνα για τις Συνθήκες Εργασίας (European Survey on Working Conditions - ESWC), οι χώροι εργασίας που εκτίθενται περισσότερο στο θόρυβο είναι:

- Βιομηχανίες Μεταλλικών Προϊόντων
- Βιομηχανίες Ξυλείας
- Βιομηχανίες Βασικών Μετάλλων
- Χαρτοβιομηχανίες
- Κατασκευές
- Βιομηχανίες Ινών

Από τα παραπάνω τα πλέον επικίνδυνα θορυβόγωνα περιβάλλοντα είναι οι Βιομηχανίες Μεταλλικών Προϊόντων και οι Βιομηχανίες Ξυλείας, επειδή χρησιμοποιούν μια σειρά διαδικασιών και ένα μεγάλο αριθμό μηχανημάτων για τη διαμόρφωση, τη σχηματοποίηση και την αφαίρεση υλικών. Αυτές οι διαδικασίες δημιουργούν ένα υψηλό και παρατεταμένο επίπεδο θορύβου στο χώρο εργασίας. Τα επίπεδα θορύβου στις

ελληνικές βιομηχανίες ξύλου (πιοστήρια – μονάδες παραγωγής επίπλου), είναι κατά μέσο όρο πάνω από το επιτρεπτό όριο ασφαλείας. Οι χειριστές των περισσότερων μηχανημάτων εκτίθενται σε επίπεδα θορύβου που αυξάνουν τον κίνδυνο προσωρινής ή μόνιμης απώλειας ακοής και μειώνουν την ικανότητα αντίληψής τους (Νταλός κ.ά. 2003).

Η βαρηκοΐα συμπεριλαμβάνεται στον κατάλογο των επαγγελματικών ασθενειών που καθορίζονται στο άρθρο 40 του Κανονισμού Ασθενείας του ΙΚΑ (ΦΕΚ 132/12.2.1979). Στο άρθρο αυτό επίσης προσδιορίζεται ως ελάχιστος χρόνος απασχόλησης του εργαζομένου τα 5 έτη προκειμένου να αναγνωριστεί η βαρηκοΐα ως επαγγελματική ασθένεια.

Η προστασία της υγείας των εργαζομένων που εκτίθενται σε ένα επιβαρημένο από το θόρυβο εργασιακό περιβάλλον προβλέπεται στις διατάξεις του Π.Δ. 85/91 «Προστασία εργαζομένων από τους κινδύνους που διατρέχουν λόγω της έκθεσής τους στο θόρυβο κατά την εργασία» (Φ.Ε.Κ/38/α/18-3-1991). Το συγκεκριμένο Προεδρικό Διάταγμα θέτει ως όριο λήψης συγκεκριμένων τεχνικών και οργανωτικών μέτρων από τον εργοδότη τα 85dB και ανώτατο όριο έκθεσης για δωρη εργασία τα 90dB (Μαρχαβίλας 2010).

Το dB ως λογαριθμική μονάδα παρουσιάζει μια ιδιαιτερότητα πολύ σημαντική στην εκτίμηση των ηχητικών επιπέδων στους εργασιακούς χώρους. Για κάθε αύξηση της ηχητικής έντασης κατά 3 dB η ενέργεια που δέχεται το αυτί είναι διπλάσια, δηλαδή το διπλάσιο των 85 dB δεν είναι τα 170 αλλά τα 88 dB (Γρίβας 2007).

Τα 80 dB είναι το όριο ασφαλείας μέχρι το οποίο ένα εργαζόμενο άτομο μπορεί να είναι εκτεθειμένο καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας του χωρίς να κινδυνεύει να πάθει επαγγελματική βαρηκοΐα (HSE 1998).

Θόρυβοι ίσοι ή άνω των 85 dB με συνεχή κατανομή στο φάσμα ακουστικών συχνοτήτων (15 έως 20.000Hz)

Πίνακας II. Χρήση Μ.Α.Π. ανάλογα με τα επίπεδα θορύβου.

Table II. Use of Personal Protective Equipment (PPE) in association with noise levels.

Όρια θορύβου (dB) / Noise levels	Χαρακτηρισμός / Description	Χρήση Μ.Α.Π / Use of PPE
< 74	Καλή Κατάσταση / Good Conditions	Όχι Απαραίτητη Χρήση / Use not required
75-80	Ανεκτή Κατάσταση / Tolerable Conditions	Όχι Απαραίτητη Χρήση / Use not required
81-84	Θορυβώδης Κατάσταση / Noisy Conditions	Όχι Απαραίτητη Χρήση / Use not required
85-87	Υπερβολικά Θορυβώδης Κατάστ./ Very Noisy Conditions	Απαραίτητη Χρήση/ Use required
>88	Απαράδεκτη Κατάσταση / Intolerable Conditions	Απαραίτητη Χρήση / Use required

Πίνακας III. Μέγιστα Επιτρεπτά Επίπεδα Έκθεσης.

Table III. Maximum exposure limits.

Ημ. Διάρκεια (ώρες) / Daily exposure (hours)	dB
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1,5	102
1	105
0,5	110
0,25	115

θεωρούνται επικίνδυνοι, ανεξαρτήτως διάρκειας έκθεσης και απαιτείται η χρήση μέσων προστασίας της ακοής. Μέγιστη επιτρεπόμενη έκθεση σε θόρυβο αποτελούν τα 115 dB για χρονικό διάστημα που δεν υπερβαίνει τα 2 min το 24ωρο (Λαΐος και Γιαννακούρου-Σιουτάρη 2003). Το Π.Δ. 85/1991, σε συμφωνία με την Ευρωπαϊκή Οδηγία, προβλέπει κυρίως τη μείωση του θορύβου στην πηγή έτσι ώστε η ημερήσια ατομική ηχοέκθεση του εργαζόμενου να μην υπερβαίνει τα 90 dB. Γι' αυτό, όταν η ηχοέκθεση υπερβαίνει τα 85 dB, ο εργοδότης πρέπει να θέτει στη διάθεση των εργαζομένων Μέσα Ατομικής Προστασίας της Ακοής (ΜΑΠ). Στον Πίνακα 2 φαίνεται η επιβεβλημένη χρήση των Μ.Α.Π. σε σχέση με τα όρια θορύβου.

Στις ΗΠΑ ο κανονισμός επαγγελματικής έκθεσης στο θόρυβο αναφέρει ότι «εργαζόμενοι που εκτίθενται σε ημερήσιο μέσο επίπεδο θορύβου 85 dB πρέπει να προστατεύονται με κατάλληλα μέτρα (μείωση εκπομπών θορύβου, απομάκρυνση πηγών κ.ο.κ) ή με ατομικά μέσα προστασίας». Τα μέγιστα επιτρεπτά επίπεδα έκθεσης σε ώρες αναφέρονται στον Πίνακα 3 (Λαΐος και Γιαννακούρου-Σιουτάρη 2003).

Η παραμονή του εργαζόμενου σε περιβάλλον με υψηλές τιμές θορύβου μειώνει τη δυνατότητα επικοινωνίας αλλά και την ασφάλειά του, εφόσον είναι δύσκολο να ακουστούν σήματα ή προειδοποιήσεις κινδύνου.

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση των επιπέδων θορύβου στα οποία εκτίθενται καθημερινά οι εργαζόμενοι των βιομηχανιών κατεργασίας ξύλου.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στους χώρους εργασίας των βιομηχανιών κατεργασίας ξύλου. Επιλέχθηκαν τρία αντιπροσωπευτικά προστήρια στη Δράμα, στα οποία έγιναν πολυάριθμες μετρήσεις. Σκοπός της μελέτης ήταν η μέτρηση του παραγόμενου θορύβου των διαφόρων μηχανημάτων κατεργασίας ξύλου, τόσο σε μεμονωμένο επίπεδο όσο και σε συνολικό, καθώς επίσης ο βαθμός επίδρασης του θορύβου στο σύνολο των εργαζομένων, των χειριστών δηλαδή των μηχανημάτων αλλά και του υπόλοιπου προσωπικού.

Τα μηχανήματα διαχωρίστηκαν αρχικά σε κατηγορίες ανάλογα με το είδος της κατεργασίας που εκτελούσαν. Έτσι προέκυψαν:

- Μηχανήματα τεμαχισμού (πολυπρίονες, ταινιοπρίονες, κορμοκόφτες, ξεφαρδιστήρες, δισκοπρίονα, ραμποτέζες, σοκορόδοιοι).
- Μηχανήματα λείανσης (τριβεία).
- Μηχανήματα άλλου τύπου (μηχανήματα απορρόφησης, λέβητες).

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θορύβου σε ξύλα Οξιάς, Μαύρης Πεύκης και Λεύκης. Όλα τα

επεξεργαζόμενα είδη ξύλου χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες: η πρώτη αφορούσε τα κορμοτεμάχια λεπτών διαστάσεων με μέση διάμετρο κάτω των 30 cm, ενώ η δεύτερη τα κορμοτεμάχια χονδρών διαστάσεων, αυτά δηλαδή με μέση διάμετρο άνω των 30cm. Στη συνέχεια κρίθηκε απαραίτητο να γίνουν μετρήσεις και σε χώρους εκτός παραγωγικής διαδικασίας όπως στις αποθήκες και τα γραφεία προκειμένου να είναι εφικτή η σφαιρική προσέγγιση του προβλήματος της ηχορύπανσης καθώς και της επίδρασης του θορύβου στους εργαζόμενους των εκεί χώρων.

Όλες οι μετρήσεις έγιναν με ψηφιακή, φορητή συσκευή μέτρησης ήχου, κατασκευασμένη με βάση τις προδιαγραφές IEC 651 TYPE 2 και ANSI S1.4 TYPE2. Έγινε χρήση της λειτουργίας μέτρησης της ηχοστάθμησης SPL καθώς επίσης και η χρήση της φασματικής στάθμησης A (*human ear sensitivity*). Το ψηφιακό χόρομετρο διαθέτει 4 κλίμακες μέτρησης και έγινε χρήση της κλίμακας των 50-100 dB. Το είδος του θορύβου που μετρήθηκε ήταν ο συνεχής θόρυβος. Serial NO: S4001 SN00459686.

Κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας έγιναν δύο ειδών μετρήσεις οι οποίες αφορούσαν α) στη γενική ηχορύπανση του χώρου και β) στην ηχορύπανση που καταγράφηκε στη θέση του κάθε εργαζόμενου χειριστή (HSE 1998). Οι θέσεις μέτρησης στο χώρο ήταν 7 και η επιλογή τους έγινε με βάση την κάτοψη του χώρου εργασίας ενώ οι θέσεις μέτρησης του κάθε εργαζόμενου χειριστή ήταν όσες και τα μηχανήματα.

Σε κάθε θέση μέτρησης στο χώρο πραγματοποιήθηκαν 40 μετρήσεις (1 μέτρηση ανά 15 δευτερόλεπτα), ενώ σε κάθε μηχανήμα πραγματοποιήθηκαν 80 μετρήσεις (40 μετρήσεις με το μηχάνημα σε λειτουργία και 40 μετρήσεις στο ρελαντί). Στα μηχανήματα τεμαχισμού οι μετρήσεις έγιναν με τα μηχανήματα σε λειτουργία, κατά τη διαδικασία δηλαδή της κοπής του ξύλου, καθώς και στο ρελαντί.

Τέλος, μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων, δόθηκε ένα μικρού μεγέθους ερωτηματολόγιο στους εργαζόμενους σε μια προσπάθεια να αποτυπωθεί ο τρόπος που αυτοί αντιμετωπίζουν το θέμα του θορύβου. Αριθμός ερωτηματολογίων που απαντήθηκαν επί τόπου ήταν 23.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις που έγιναν παρουσιάζονται στους Πίνακες IV έως IX, ενώ στους Πίνακες X και XI παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου. Στον Πίνακα IV παρουσιάζονται τα επίπεδα θορύβου που επικρατούν στις επιχειρήσεις προστήριων ξύλου. Διαπιστώνεται ότι τα επίπεδα θορύβου είναι κατά μέσο όρο υψηλά (πάνω από 90 dB) και για τα τρία προστήρια.

Στον Πίνακα V παρουσιάζεται συνοπτικά το

Πίνακας IV. Ένταση θορύβου που παράγεται στα πριστήρια ξύλου.**Table IV.** Noise level produced in sawmills.

Ένταση θορύβου (dB)/ Noise intensity	Πριστήριο A/ Sawmill A		Πριστήριο B / Sawmill B	Πριστήριο Γ/ Sawmill C
	Αιθ. 1 / Room 1	Αιθ. 2 / Room 1		
M.O. / Mean	90,1	88,46	96,14	96,59
MAX	91,6	89,67	97,56	97,8
MIN	89,5	87,56	94,56	95
Πληθ. μετρήσεων / Number of measurements	240	840	520	360

Πληθ. μετρήσεων στο σύνολο: $240+840+520+360=1960$

Total number of measurements: $240+840+520+360=1960$

Πίνακας V. Ένταση θορύβου που παράγεται από μηχανήματα διαφόρων κατηγοριών.**Table V.** Intensity of noise generated by various types of machinery.

Κατηγορία μηχανημάτων / Type of machinery	Αριθμός Μηχανημάτων / Number of machines	Ένταση θορύβου (dB) / Noise intensity		
		M.O./ Mean	MAX	MIN
1. Μηχανήματα τεμαχισμού / Cutting machinery	20	95,35	97,46	94,47
2. Μηχανήματα Λείανσης / Smoothing machinery	2	88,76	91	87
3. Άλλα Μηχανήματα / Other machines	2	92,54	93,5	90,5

Πληθ. μετρήσεων στο σύνολο: 1680

Total number of measurements: 1680

μέγεθος του θορύβου ανά κατηγορία μηχανημάτων. Τα μηχανήματα τα οποία ανήκουν στην κατηγορία του τεμαχισμού παράγουν υψηλότερα επίπεδα θορύβου που φτάνει μέχρι 97,5 dB περίπου. Αντίθετα, τα μηχανήματα λείανσης παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές θορύβου (κατά μέσο όρο 88,76 dB). Ενδιάμεσες τιμές παρουσιάζουν τα άλλα μηχανήματα (92,54 dB κατά μέσο όρο). Αξιοσημείωτο είναι ότι όλες οι κατηγορίες μηχανημάτων δημιουργούν θόρυβο πάνω από 85 dB.

Στον Πίνακα VI περιλαμβάνονται τα επίπεδα θορύβου για κάθε είδος μηχανήματος ξεχωριστά. Από τις πιο θορυβώδεις μηχανές (σχεδόν 100 dB) βρέθηκαν ότι είναι ο σοκορόδισκος, ο κορμοκόφτης και το μηχάνημα της απορρόφησης. Μετά ακολουθεί το πολυπρίνο, η ραμποτέζα και ο ξεφαρδιστήρας (γύρω στα 95 dB). Μικρότερης όχλησης μηχανήματα είναι ο λέβητας με ύψος έντασης θορύβου στα 85,32 dB κατά μέσο όρο. Διαπιστώνουμε ότι μόνο ο λέβητας φτάνει μέχρι τα επιτρεπτά όρια θορύβου των 85 dB.

Αξιοσημείωτο είναι ότι γενικά στο χώρο και όχι μόνο κοντά στη θέση του χειριστή ενός μηχανήματος (Πιν. VII) η ένταση του θορύβου είναι πάνω από 85 dB, με μέσο όρο περίπου στα 90 dB. Στη θέση του χειριστή

μιας μηχανής η διαφορά του επιπέδου της έντασης του ήχου μεταξύ μιας μηχανής εν λειτουργία και στο ρε-λαντί είναι κατά μέσο όρο περίπου 1,5 dB. Η διαφορά αυτή του 1,5 dB θεωρείται σημαντική εάν σκεφτούμε ότι μια διαφορά 3 dB σημαίνει ότι το αυτί δέχεται διπλάσια ενέργεια.

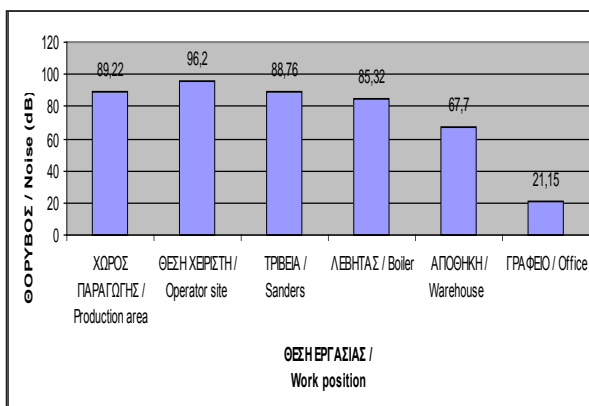
Η διεθνής εμπειρία ορίζει ως μέγιστη ένταση θορύβου σε χώρους γραφείων και χώρους που απαιτούν συγκέντρωση τα 55 dB. Στη Νορβηγία είναι θεσμοθετημένη η οριακή τιμή των 55 dB για εργασίες με κρίσιμες επικοινωνίες (Κουκουλάκη 2008). Από τον Πίνακα VIII φαίνεται ότι τα επίπεδα θορύβου σε χώρους γραφείου και στην αποθήκη είναι ανεκτά, καθώς ανέρχονται στα 21,15 και 67,7 dB αντίστοιχα, μια που ένταση < 68 dB θεωρείται άνετη κατάσταση (βλέπε Πιν. I)

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα IX φαίνεται ότι ο παραγόμενος ήχος αυξάνεται σε όλα τα είδη τα οποία ανήκουν στα μεγάλα πάχους κορμοτεμάχια (με μέση διάμετρο άνω των 30 cm). Αυτό ισχύει για τις περισσότερες μηχανές τεμαχισμού (όπως π.χ. στο ταινιοπρίνο). Αναφορικά με το είδος του ξύλου, φαίνεται ότι ο παραγόμενος ήχος από τη Λεύκη είναι σημαντικά μεγαλύτερος σε σχέση με τα άλλα δυο είδη, δηλ. την Οξιά

Πίνακας VI. Ένταση θορύβου που παράγεται από διάφορα μηχανήματα.
Table VI. Intensity of noise generated by various machines.

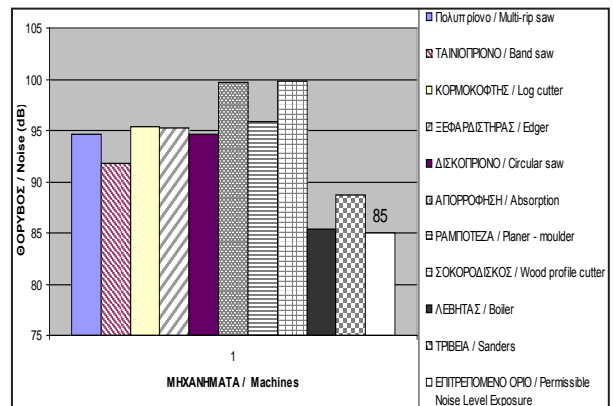
Α / A		Αριθμός μηχανημ. / Number of machines	M.O / Mean		MAX		MIN		Κατηγ. μηχαν./ Type of machinery
			σε λειτουργ. / in operation	ρελαντί / in idling mode	σε λειτουργ. / in operation	Ρελαντ/ in idling mode	σε λειτουργ. / in operation	ρελαντί	
1	ΠΟΛΥΠΡΙΟΝΟ σύνολο / Multi-rip saw total	1							1
			95	94,28	97	95	95	93	
			94,64		96		93,5		
2	ΤΑΙΝΙΟΠΡΙΟΝΟ σύνολο / Band saw total	8	92,1	91,55	94,25	92,83	92,83	92,16	1
			91,83		93,54		91,37		
3	ΚΟΡΜΟΚΟΦΤΗΣ σύνολο / Log cutter total	2	99,33	96,88	100	100	100	96,5	1
			98,1		100		95,5		
4	ΞΕΦΑΡΔΙΣΤΗΡΑΣ σύνολο / Edger total	3	96,08	94,33	97,67	95,67	95,67	95	1
			95,21		96,67		94,17		
5	ΔΙΣΚΟΠΡΙΟΝΟ σύνολο / Circular saw total	4	95,42	93,95	96,83	98,17	95,17	94,5	1
			94,68		96		92,75		
6	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ / Absorption	1	99,75		100		97		3
7	ΡΑΜΠΟΤΕΖΑ / Planer - moulder	1	95,92		100		95		1
8	ΣΟΚΟΡΟΔΙΣΚΟΣ / Wood profile cutter	1	99,77		100		99		1
9	ΛΕΒΗΤΑΣ / Boiler	1	85,32		87		84		3
10	ΤΡΙΒΕΙΑ / Sanders	2	88,76		91		87		2

Πληθ. μετρήσεων στο σύνολο: 1680
 Total number of measurements: 1680



Σχήμα 1. Ένταση θορύβου ανάλογα με το χώρο εργασίας.

Figure 1. Intensity of noise generated at various parts of the timber factory.



Σχήμα 2. Συγκριτική απεικόνιση της έντασης θορύβου που παράγουν τα διάφορα είδη μηχανημάτων σε σχέση με το επιτρεπόμενο όριο των 85 dB.

Figure 2. Intensity of noise generated by various machines in association with the 85dB allowable level.

Πίνακας VII. Ένταση θορύβου ανάλογα με τη θέση μέτρησης.
Table VII. Intensity of noise generated at various operation sites.

A/A	Θέση μέτρησης / Measurement site	Ένταση θορύβου (dB) / Noise intensity		
		M.O / Mean	MAX	MIN
1	Χώρος παραγωγής / production area	89,2	91,3	88,6
2	Θέση χειριστή (μηχανή σε λειτουργία) / Operator site (machine in operation)	95,6	97,1	95,7
3	Θέση χειριστή (μηχανή στο ρελαντί) / Operator site (machine in idling mode)	94,2	96,3	92,2

Πληθ. μετρήσεων: 1720

Total number of measurements: 1720

Πίνακας VIII. Ένταση θορύβου στους χώρους γραφείου και αποθήκης.

Table VIII. Intensity of noise generated in offices and warehouses.

A/A	Θέση μέτρησης / Measurement site	Ένταση θορύβου (dB) / Noise intensity		
		M.O / Mean	MAX	MIN
1	ΑΠΟΘΗΚΗ / Warehouse	67,7	69	67
2	ΓΡΑΦΕΙΟ / Office	21,15	25	18

Πληθ. μετρήσεων: 80

Total number of measurements: 80

Πίνακας IX. Ένταση θορύβου ανάλογα με τη μέση διάμετρο και το είδος του ξύλου.

Table IX. Intensity of noise in association with mean diameter of logs and type of wood.

Ταινιοπρίονο/ Band saw	>30 ΜΛ Mean diameter	<30 ΜΛ Mean diameter	Διαφορά / Difference
Οξιά (Πριωτήριο Α) / <i>Fagus sylvatica</i> (Sawmill A)	87,9 dB	87,45 dB	0,55 dB
Πεύκη (Πριωτήριο Α) / <i>Pinus nigra</i> (Sawmill A)	92,73 dB	84,05 dB	8,68 dB
Λεύκη (Πριωτήριο Β) / <i>Populus sp</i> (Sawmill B)	99,45 dB	99,07 dB	0,4 dB
Λεύκη (Πριωτήριο Γ) / <i>Populus sp</i> (Sawmill C)	99,72 dB	98,93 dB	0,8 dB

και την Πεύκη.

Στο Σχήμα 1 διακρίνεται η επικινδυνότητα κάθε χώρου εργασίας, ενώ στο Σχήμα 2 γίνεται συγκριτική απεικόνιση του θορύβου που παράγουν τα μηχανήματα που συμμετείχαν στην έρευνα, με το μέγιστο επιτρεπτό όριο θορύβου στο οποίο μπορεί να είναι εκτεθειμένος ο εργαζόμενος για 8 ώρες (85 dB).

Η μεγάλη πλειοψηφία των εργαζομένων που συμμετείχαν στην παρούσα έρευνα ήταν μεταξύ 35 και 45 χρόνων (Πιν. X). Σε ερώτηση που έγινε σε όλους τους χειριστές στο πλαίσιο της έρευνας αν ο θόρυβος τους ενοχλεί κατά τη διάρκεια της εργασίας τους, οι περισσότεροι απάντησαν ότι είναι αρκετά ενοχλητικός αλλά τον έχουν πλέον συνηθίσει και ότι γενικά δεν έχουν προβλήματα ακοής. Επίσης, απάντησαν ότι δεν φοράνε ωτοασπίδες (Πιν. XI). Η τόσο ανεκτική στάση τους απέναντι στο καθημερινό πρόβλημα θορύβου δικαιολογείται μόνο από την άποψη του μικρού χρόνου απασχόλησής τους, μια που οι περισσότεροι δήλωσαν ότι εργάζονται λιγότερο από 5 χρόνια (Πιν. X).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συστηματική έρευνα για τη θορυβογενή βαρηκοΐα δεν έχει γίνει ποτέ στην Ελλάδα. Υπάρχουν κάποιες δημοσιεύσεις βέβαια, αλλά δεν περιέχουν επιδημιολογικά στοιχεία και έτσι το μέγεθος του προβλήματος δεν είναι γνωστό. Το νομοθετικό πλαίσιο είναι εναρμονισμένο με το κοινοτικό, αλλά δεν γνωρίζουμε αν εφαρμόζεται. Για το λόγο αυτό θεωρούμε απαραίτητο να πραγματοποιηθούν έρευνες όπως η παρούσα που θα διαφωτίσουν τις πτυχές του προβλήματος ώστε να αρχίσουν να λαμβάνονται μέτρα πρόληψης για τους εργαζόμενους.

Τα επίπεδα θορύβου στις μονάδες παραγωγής πρωτής ξυλείας γενικά προκύπτει ότι είναι πάνω από το επιτρεπτό όριο ασφαλείας (90 dB) σχεδόν σε όλους τους χώρους πλην των γραφείων (21,15 dB) και της αποθήκης (67,7 dB).

Μεγαλύτερης έντασης θόρυβος παράγεται από τις μηχανές τεμαχισμού (95,35 dB κατά μέσο όρο) (Νταλός κ.ά.). Ιδιαίτερα έντονο πρόβλημα θορύβου παρουσιάζουν το πολυπρίονο, ο κορμοκόφτης και ο σοκοροδισκος. Μόνο ο λέβητας δεν υπερβαίνει το επιτρεπτό όριο θορύβου των 85 dB.

Ο βαθμός όχλησης επίσης εξαρτάται άμεσα και από τις διαστάσεις των υλικών που τεμαχίζονται (Νταλός κ.ά. 2003) καθώς και από το είδος του ξύλου. Στις μεγάλες διαστάσεις κορμοτεμαχίων

Πίνακας X. Αριθμός ερωτηθέντων ανά κλάση ηλικίας και διάρκειας εργασίας σε έτη.
Table X. Number of respondents per age group and work duration group (in years).

Κλάση Ηλικίας Age group	Αριθμός ατόμων ανά κλάση / Number of workers per age group	Ποσοστό % Percentage	Κλάση διάρκειας εργασίας σε έτη/ Work duration group (in years)	Αριθμός ατόμων ανά κλάση/ Number of workers per group	Ποσοστό % Percentage
<25	2	8,7	<5	12	52,2
25-30	4	17,4	5-10	6	26,1
30-35	3	13	10-15	4	17,4
35-40	6	26,10	15-20		
40-45	6	26,10	20-25	1	4,3
>45	2	8,7	> 25		
Σύνολο	23	100		23	100

Πίνακας XI. Αριθμός ερωτηθέντων και ποσοστό ανά απάντηση στις ερωτήσεις ερωτηματολογίου.
Table XI. Number of respondents and respond percentages per question in the questionnaire.

Ερωτήσεις / Questions	Σας ενοχλεί ο θόρυβος; / Does noise annoy you?		Έχετε προβλήματα ακοής; / Do you have hearing problems?		Φοράτε ωτοασπίδες; / Do you wear earmuffs?	
	Αριθμός ατόμων / Number of respondents	Ποσοστό % / Percentage	Αριθμός ατόμων / Number of respondents	Ποσοστό % / Percentage	Αριθμός ατόμων / Number of respondents	Ποσοστό % / Percentage
Ναι / Yes	20	87	2	8,7	1	4,3
Όχι / No	3	13	21	91,3	22	95,6
Σύνολο/ Total	23	100	23	100,0	23	100

βρέθηκε ότι η διαφορά από τις μικρές διαστάσεις είναι περίπου 2,5 dB. Όσον αφορά στο είδος του ξύλου, βρέθηκε ότι στην κατεργασία της Λεύκης ο παραγόμενος ήχος είναι μεγαλύτερος.

Ο χώρος παραγωγής γενικά εμφανίζει μεγάλα επίπεδα θορύβου πάνω από τα επιτρεπτά όρια, ενώ στους χώρους των γραφείων και της αποθήκης η στάθμη του θορύβου είναι χαμηλή (Νταλός κ.ά. 2003).

Οι εργαζόμενοι και ειδικά οι χειριστές των περισσότερων μηχανημάτων εκτίθενται σε επίπεδα θορύβου τέτοια ώστε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα πρόκλησης προσωρινής ή μόνιμης απώλειας ακοής. Τα μέτρα τα οποία είναι απαραίτητα να ληφθούν για τη μείωση των επιπτώσεων του θορύβου στους εργαζόμενους είναι πρωταρχικά η ανάρτηση από μέρος της επιχείρησης κατάλληλης σήμανσης στις αντίστοιχες θέσεις. Επίσης απαιτείται η εφαρμογή ενός προγράμματος προστασίας της ακοής των εργαζομένων. Στο πλαίσιο της αναβάθμισης του ακουστικού περιβάλλοντος οι ενέργειες που

θα ήταν επιβεβλημένες να εφαρμοστούν, σύμφωνα πάντα με το κλασικό μοντέλο τεχνικής πρόληψης, είναι ο έλεγχος του θορύβου στην πηγή του με μέτρα βελτίωσης όπως π.χ. το σχεδιασμό συνολικά της παραγωγικής διαδικασίας σε κάθε συγκεκριμένο χώρο, ώστε να εξασφαλίζεται η ελαχιστοποίηση της ηχορύπανσης. Στο δέκτη του θορύβου, δηλαδή τον εργαζόμενο πρέπει να γίνεται χορήγηση ατομικών μέσων προστασίας, όπως κατάλληλες για κάθε περίπτωση ωτοασπίδες. Επίσης, κυκλική εναλλαγή των εργαζομένων στις θέσεις εργασίας που είναι περισσότερο επιβαρυνμένες από το θόρυβο θα ήταν αρκετά αποτελεσματική.

Noise measurements in work areas of timber processing industries

Vasiliki Dimou¹

ABSTRACT

The intensification of industrial production and the concurrent increase in machine speeds has led to the rise in the intensity of noise generated in most workplaces. The purpose of the present paper is to investigate the exposure to noise pollution of employees working in three timber processing units. A number of measurements were carried out in various parts of the timber industries. Maximum exposure values (allowable levels) were set at 85dB for the production sites and warehouses and 55dB for the offices. According to the results of the study, the production areas in all industries give rise to higher levels of noise compared to warehouses and offices, which significantly exceed maximum exposure limits, reaching an average of app. 90 dB. More specifically, the highest noise levels recorded were found to be produced by cutting machinery, reaching an average of app. 97.5 dB, whereas smoothing machines produce the lowest noise levels (on average 88.76 dB). Overall in the production area and not only in each particular workstation the noise intensity produced is above 85 dB, reaching an average of 90 dB. In addition, the noise produced is higher in large width logs compared to those having a mean diameter smaller than 30 cm. As far as the type of timber is concerned, it was found that noise levels were higher while processing *Fagus sylvatica* in comparison to *Pinus nigra* and *Populus sp.*

Keywords: noise measurements, noise pollution, noise level, sawmills.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arana, M., Garcia, A. 1997. A social survey on the effects of environmental noise on the residents of Pamplona, Spain. *Applied Acoustics*, 53(4): 245-253.
- Γρίβας, Σ. 2007. Θόρυβος αυτός ο άγνωστος. Ελληνικό Ινστιτούτο υγιεινής και Ασφάλειας της εργασίας. Έκδοση του ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε. 2007.
- Donald, I., and Siu, O. 2001. Moderating the stress impact of environmental conditions: The effect of organizational commitment in Hong-Kong and China. *Journal of Environmental Psychology*, 21, pp. 353-368.
- Health and Safety Executive (HSE). 1998. Noise at work – What action should you take?
- Irlle, H., Hesse, J.M., Strasser, H. 1998. Physiological cost of energy-equivalent noise exposures with a rating level of 85 dB(A). *International Journal of Industrial Ergonomics* 21, pp. 451-463
- ISO 3740, 2001 – Acoustics. Determination of sound power levels of noise sources. Guidelines for the use of basic standards (BS EN ISO 3740).
- Job, R. F. S. 1996. The influence of subjective reactions to noise on health effects of the noise. *Environmental International*, 22(1): 93-104.
- Κουκουλάκη, Θ. 2008. Εκτίμηση και Πρόληψη του Επαγγελματικού Κινδύνου στις Τηλεπικοινωνίες, Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας, Έκδοση του ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε. 2008.
- Kryter, K. 1970. The effects of noise on man. New York: Academic Press
- Kryter K. 1994. The handbook of hearing and the effects of noise. New York: Academic Press
- Λαΐος, Α. και Γιαννακούρου-Σιουπάρη, Μ. 2003. Σύγχρονη Εργονομία. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Μαρχαβίλιας, Π.Κ. 2010. Επίδραση των Φυσικών Παράγοντων στο Εργασιακό Περιβάλλον: Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία, Θόρυβος, Φωτισμός, Θερμικές Συνθήκες.
- Niu, X., Canlon, B. 2002. Protecting against noise trauma by sound conditioning. *Journal of Sound and Vibration* (2002) 250(1), pp.115-118.
- Νταλός, Γ., Άλκηστις, Α., Καραστεργίου, Σ., Μαντάνης, Γ. 2003. Επίπεδα Θορύβου στους Χώρους Εργασίας Βιομηχανιών Κατεργασίας Ξύλου. 11ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο. Αρχαία Ολυμπία 2003.
- Ντάφης, Σ. Α. 1998. Δασοκομία Πόλεων, Έκδοση ΙΙ, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Ois, D. 2001. Annoyance from Road Traffic Noise: A Review. *J of Environmental Psychology*, 21: 101-120.
- Π.Δ. 149/2006 (ΦΕΚ 159/28.7.2006), «Ελάχιστες προδιαγραφές υγείας και ασφάλειας όσο αφορά στην έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (θόρυβος) σε εναρμόνιση με την οδηγία 2003/10/ΕΚ», Αθήνα 2006.
- Π.Δ. 85/1991. Προστασία των εργαζομένων από τους κινδύνους που διατρέχουν λόγω της έκθεσής τους στο θόρυβο κατά την εργασία, σε συμμόρφωση προς την οδηγία 86/188/ΕΟΚ.
- Peippo, M., Hakkala, M., Heikkinen, M. 2000. Road Traffic Noise: Turku urban area. PSSD Taskreport. Baltic Region Healthy Cities Office, Regional Council of Southwest Finland, pp. 26.
- Ralph, B. 2008. Übung Arbeitswissenschaft. Arbeitsumgebung Schall Lärm. Manuskript Technische Universität Darmstadt, Institut für Arbeitswissenschaft.
- Shaikh, G.H. 1999. Occupational noise exposure limits for developing countries. *Applied Acoustics* 57, pp. 89-92.
- Skenberg, A., Öhrström, E. 2002. Adverse health effects in relation to urban residential soundscapes. *J. of Sound and Vibration*, 250 (1): 151-155.
- Stansfeld, S.A. 1992. Noise, noise sensitivity and psychiatric disorder: Epidemiological and psychophysiological studies. *Psychological Medicine*, 22:1-44.

¹Assistant Professor, Department of Forestry and Management of the Environment and Natural Resources, Demokriton University of Thrace, e-mail: vdimou@fmenr.duth.gr