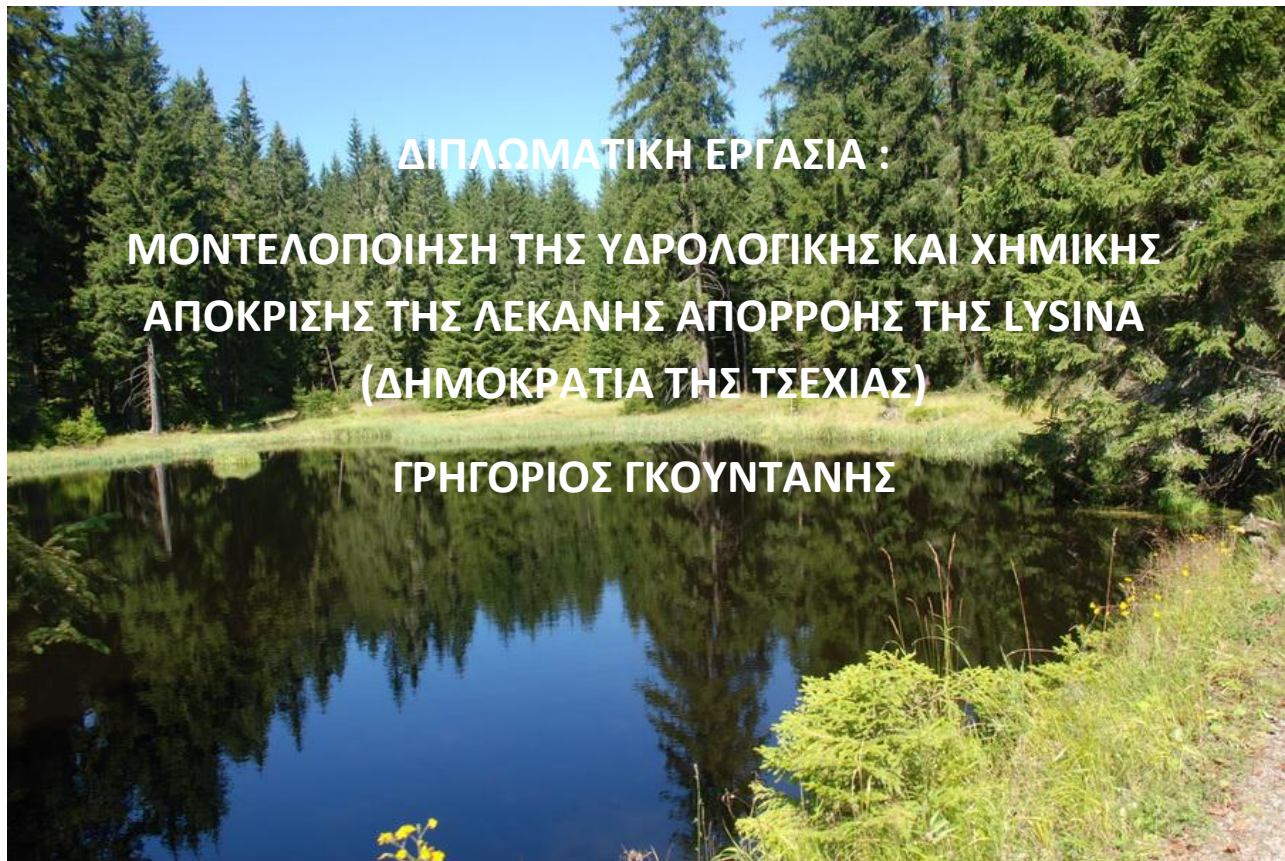




**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ**

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ :
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗΣ
ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΗΣ LYSINA
(ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ ΤΗΣ ΤΣΕΧΙΑΣ)

ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ ΓΚΟΥΝΤΑΝΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

ΚΑΡΑΤΖΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΤΖΩΡΑΚΗ ΟΥΡΑΝΙΑ

ΧΑΝΙΑ 2013

Αφιερωμένη στους γονείς και τις αδερφές μου

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συντέλεσαν στην επιτυχή διεκπεραίωσή της.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος και επιβλέποντα στην παρούσα διπλωματική εργασία κ. Νικόλαο Νικολαΐδη για την συνεχή καθοδήγηση, υποστήριξη σε όλη τη διάρκεια εκπόνησής της καθώς και την ευκαιρία να δουλέψουμε μαζί και εύχομαι να συνεργαστούμε πάλι στο μέλλον.

Ευχαριστώ επίσης τον κ. Καρατζά Γεώργιο, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Ουρανία Τζωράκη, Επίκουρο Καθηγήτρια του Πανεπιστημίου Αιγαίου για τη βοήθεια της, όποτε ήταν αναγκαίο καθώς και στη συμμετοχή της στην εξεταστική επιτροπή.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του εργαστηρίου HERSLAB για τη βοήθειά τους και κυρίως τον κ. Διονύσιο Ευσταθίου για τη βοήθεια που μου κυρίως σε θέματα λογισμικού.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους κ. Pavel Kram και κα. Anna Lamacova από το Ινστιτούτο Γεωλογικής Έρευνας της Τσεχίας (Czech Geological Survey), για τη βοήθεια τους στη συλλογή δεδομένων για την εργασία αυτή.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στο Κοινωνικό Φιλάνθρωπο Π. Μπάκαλα για την οικονομική στήριξη που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, τις αδερφές μου, την υπόλοιπη οικογένειά μου και όλους του φίλους μου που μου στάθηκαν τόσο στα εύκολα αλλά κυρίως στα δύσκολα.

Περίληψη

Περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η λεκάνη απορροής της λίμνης Lysina, η οποία βρίσκεται στη Δυτική Τσεχία καταλαμβάνοντας έκταση 0,273 km². Η ενδιαφέρουσα, λόγω υποστρώματος και ατμοσφαιρικών συνθηκών, περιοχή έχει μελετηθεί εκτενώς και έχει γίνει το επίκεντρο διάφορων ερευνητικών προγραμμάτων (Soiltrec, Geomon κτλ). Στοχεύοντας κυρίως στην προσομοίωση της υδρολογίας της λεκάνης αλλά και σε μικρότερο βαθμό στην προσομοίωση της υπάρχουσας συγκέντρωσης νιτρικών στο σύστημα, πραγματοποιήθηκε εφαρμογή του μοντέλου SWAT2009 (Soil and Water Assessment Tool) σε περιβάλλον ΓΣΠ (Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών). Αρχικά παρατίθενται κάποια στοιχεία για τα χαρακτηριστικά της περιοχής, όπως τα ληφθέντα μετεωρολογικά δεδομένα και τα χαρακτηριστικά του εδάφους, καθώς και για τη λειτουργία του μοντέλου, όπως είναι τα παραδείγματα παλαιότερων εφαρμογών του. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται διεξοδικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την δημιουργία του μοντέλου και αφού παρουσιασθούν και σχολιασθούν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, εξηγείται πως χωρίστηκε η λεκάνη απορροής σε υπολεκάνες και υδρολογικές μονάδες απόκρισης (HRUs). Για την μετέπειτα βαθμονόμηση, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για τα έτη 1998-2001 ενώ για την επαλήθευση του μοντέλου, το ανάλογο χρονικό διάστημα, ήταν από τα έτη 2002-2005. Για τις παραπάνω ενέργειες χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια και συνεχή μετεωρολογικά δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό του Mariánské Lázně, καθώς επίσης και δεδομένα παροχής για το χρονικό διάστημα από τον Νοέμβριο του 1989 μέχρι και το Δεκέμβριο του 2011. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης και της επαλήθευσης, συμπεραίνουμε ότι το μοντέλο SWAT κατάφερε να προσομοιώσει ικανοποιητικά την υδρολογία της λεκάνης απορροής της Lysina αλλά δεν επιτεύχθηκε η βαθμονόμηση της συγκέντρωσης των νιτρικών. Η αποτελεσματικότητα του μοντέλου ελέγχθηκε με χρήση γραφικών και στατιστικών δεικτών, όπως οι RMSE, NSE, RSR και PBIAS. Συμπερασματικά, το μοντέλο SWAT μπορεί να αποδειχθεί αξιόπιστο εργαλείο στη μελέτη της υδρολογίας μιας

οποιασδήποτε λεκάνης απορροής μιας και η μοντελοποίηση της Lysina κρίνεται ικανοποιητική.

Abstract

The study area of the current thesis is the watershed of Lysina, which is located in western Czech Republic occupying an area of 0,273 km². The area has been studied extensively and has become the focus of several research programs (Soiltrec, Geomon etc). The river basin model, SWAT2009 (Soil and Water Assessment Tool), coupled with a GIS interface (ArcSWAT), was applied mainly to simulate the hydrology of the basin and to a lesser extent the existing concentration of nitrate in the system. Primarily, characteristics of the region are presented, such as meteorological data and soil characteristics, as well as information for the operation of the model, such as previous applications. The steps followed to set up the model are then presented, after the input data are featured. It is then illustrated how the basin is divided into subbasins and hydrologic response units (HRUs) The data used for the calibration were from 1998 -2001 while the verification period was from 2002-2005 . Regarding the above actions daily and continuous meteorological data from the meteorological station Mariánské lázně were used, in addition to flow data for the period from November 1989 and December 2011 . According to the results of calibration and verification , we conclude that the SWAT model is adequately simulate the hydrology of the basin of Lysina but not the concentration of nitrate. The model efficiency was tested using graphical and statistical indexes , such as RMSE, NSE, RSR and PBIAS. In conclusion, the SWAT model is shown to be a reliable tool in the study of the hydrology of Lysina basin is more than satisfactory.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	i
Περίληψη.....	ii
Abstract	iii
Περιεχόμενα.....	iv
Περιεχόμενα Εικόνων.....	vi
Περιεχόμενα Πινάκων	vii
Περιεχόμενα Γραφημάτων.....	vii
1 Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά Στοιχεία	1
1.2 Σκοπός παρούσας διπλωματικής εργασίας	3
2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	5
2.1 Περιγραφή περιοχής μελέτης	5
2.1.1 Γενικά στοιχεία για τη Δημοκρατία της Τσεχίας	5
2.1.2 Γενικά για τη Lysina	6
2.1.3 Υφιστάμενη κατάσταση περιοχής	7
2.1.3.1 Η κατάσταση την Τσεχία	7
2.1.3.2 Η κατάσταση στη Lysina	9
2.1.4 Περιγραφή υδρολογικής λεκάνης ποταμού	10
2.1.4.1 Γεωγραφική τοποθέτηση	10
2.1.4.2 Στοιχεία εδάφους	13
2.1.4.3 Στοιχεία πετρωμάτων.....	15
2.1.4.4 Κλιματολογικά στοιχεία	16
2.1.4.5 Χρήσεις Γης.....	20
2.2 Γενικά στοιχεία για τα μοντέλα.....	21
2.2.1 Γενικά Στοιχεία	21
2.2.2 Υδρολογικά Μοντέλα – Εφαρμογές και Γενικά Στοιχεία	22
2.2.3 Βαθμονόμηση, Επαλήθευση και Αξιοπιστία του Μοντέλου	29
2.3 Γενικά στοιχεία για το SWAT.....	32
2.4 Αποτελέσματα παλαιότερων μοντελοποιήσεων στη Lysina	37
2.4.1 Γενικά.....	37
2.4.2 Παλαιότερη μοντελοποίηση της Lysina	38
3 Περιγραφή δεδομένων	42
3.1 Βροχόπτωση	42

3.2	Θερμοκρασία.....	45
3.3	Ροή.....	47
3.4	Νιτρικά.....	49
4	Μοντελοποίηση της Lysina	51
4.1	Δημιουργία του μοντέλου	51
4.2	Βαθμονόμηση της Υδρολογίας.....	60
4.3	Επαλήθευση της Υδρολογίας	66
4.4	Μοντελοποίηση της Χημείας	72
5	Αποτελέσματα και Συμπεράσματα της Μοντελοποίησης της Υπολεκάνης της Lysina ..	76
6	Βιβλιογραφία.....	78
7	Παράρτημα.....	87

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 2-1 Εικόνα της περιοχής από δορυφόρο(πηγή: (“Google Earth,”))	10
Εικόνα 2-2 Πολιτικός χάρτης περιοχής πηγή: (“Prohlížení - Národní geoportál INSPIRE”)	11
Εικόνα 2-3 Εικόνα της λεκάνης απορροής καθώς και η θέση της στο χάρτη πηγή: (Hruška et al. , 2002)	12
Εικόνα 2-4 Η θέση της υπολεκάνης καθώς και των μετεωρολογικών σταθμών πηγή: (Yu et al., n.d.).....	16
Εικόνα 2-5 Φωτογραφία από το δάσος πηγή: (Yu et al., n.d.).....	21
Εικόνα 2-6 Ο υδρολογικός κύκλος του SWAT Πηγή:(Neitsch et al., 2005)).....	34
Εικόνα 4-1 Δημιουργία νέου πρότζεκτ SWAT	51
Εικόνα 4-2 Ονομασία πρότζεκτ SWAT.....	52
Εικόνα 4-3 Αρχίζοντας την οριοθέτηση της υπολεκάνης.....	52
Εικόνα 4-4 Καρτέλα οριοθέτησης υπολεκάνης (Watershed delineation)	53
Εικόνα 4-5 Η υπολεκάνη μετά την οριοθέτηση	53
Εικόνα 4-6 Η υπολεκάνη πριν εισαχθούν τα δεδομένα χρήσεις γης, εδάφους και κλίσης... ..	54
Εικόνα 4-7 Εισαγωγή χάρτη χρήσης γης	54
Εικόνα 4-8 Επιλογή χρήσης γης και αναταξινόμηση	55
Εικόνα 4-9 Επιλογή εδάφους και αναταξινόμηση	55
Εικόνα 4-10 Εισαγωγή δεδομένων κλίσης και αναταξινόμηση	56
Εικόνα 4-11 Εισαγωγή Μετεωρολογικού Σταθμού.....	56
Εικόνα 4-12 Θέση Μετεωρολογικού σταθμού.....	57
Εικόνα 4-13 Εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων	57
Εικόνα 4-14 Εισαγωγή δεδομένων Βροχόπτωση	58
Εικόνα 7-1 Θέση υπολεκανών δικτύου GEOMON	93
Εικόνα 7-2 Πλέγμα και όρια της λεκάνης απορροής Lysina. Η αύξηση του κατώτερου ορίου του διαπερατού βραχώδους υποστρώματος ορίστηκε 4 m κάτω από την επιφάνεια. Η ροή των υπογείων υδάτων στην υδρολογική λεκάνη είναι μέσα στο έδαφος (0-1,5 m) και του βραχώδους υποστρώματος (1,5-4 m). Οι μπλε γραμμές αντιπροσωπεύουν τα κανάλια του ρεύματος ροής, και τα πράσινα τρίγωνα αντιπροσωπεύουν την περιοχή της λεκάνης απορροής	93
Εικόνα 7-3 Μετρητής παροχής.....	94
Εικόνα 7-4 Ποντζόλα σε λευκογρανίτη	95
Εικόνα 7-5 Το δάσος Slavkon στο οποίο βρίσκεται η Lysina	96

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 2-1 Χαρακτηριστικά Περιοχής Μελέτης	7
Πίνακας 2-2 Σύσταση Υποστρώματος στη Lysina πηγή: (Krám et al., 1997)	15
Πίνακας 2-3 Διάφορα υδρολογικά μοντέλα πηγή: (“Science Library - Environmental Monitor”).....	27
Πίνακας 2-4 Αξιολόγηση βαθμονόμησης με βάση στατιστικούς δείκτες (Moriasi et al., 2007)	32
Πίνακας 4-1 Στατιστικοί δείκτες μετά το πρώτο τρέξιμο.....	60
Πίνακας 4-2 Παράμετροι που μεταβλήθηκαν	61
Πίνακας 4-3 Στατιστικοί δείκτες για την περίοδο βαθμονόμησης	65
Πίνακας 4-4 Στατιστικοί δείκτες για την περίοδο επαλήθευσης.....	67
Πίνακας 4-5 Στατιστικοί δείκτες για μηνιαίο τρέξιμο του μοντέλου	69
Πίνακας 4-6 Στατιστικοί Δείκτες για ετήσιο δείγμα.....	71
Πίνακας 4-7 Τιμές των παραμέτρων του υδατικού ισοζυγίου για την λεκάνη απορροής.....	71
Πίνακας 4-8 Παράμετροι βαθμονόμησης της χημείας.....	73

Περιεχόμενα Γραφημάτων

Γράφημα 2-1 Η μέση μηνιαία ταχύτητα για τα έτη 2002-2011.....	17
Γράφημα 2-2 Μέση μηνιαία σχετική υγρασία για τα έτη 2002-2011	18
Γράφημα 2-3 Μέση μηνιαία βροχόπτωση για τα έτη 2002-2011	18
Γράφημα 2-4 Μέση μηνιαία θερμοκρασία για τα έτη 2002-2011	19
Γράφημα 2-5 Μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία για τα έτη 2002-2011	19
Γράφημα 2-6 Μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία για τα έτη 2002-2011.....	20
Γράφημα 3-1 Μέση βροχόπτωση ανά μήνα για τα έτη 1967-2011.....	43
Γράφημα 3-2 Μέση βροχόπτωση ανά έτος	44
Γράφημα 3-3 Σταθμισμένη μέση βροχόπτωση ανά πενταετία	44
Γράφημα 3-4 Μέσες θερμοκρασίες ανά μήνα για τα έτη 1967-2011	46
Γράφημα 3-5 Μέσες μέγιστες θερμοκρασίες ανά μήνα για τα έτη 1967-2011	46
Γράφημα 3-6 Μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες ανά μήνα για τα έτη 1967-2011	47
Γράφημα 3-7 Τιμές ροών ανά μήνα για τα έτη 1989-2011.....	48
Γράφημα 3-8 Μέσες τιμές ροών ανά έτος.....	48
Γράφημα 3-9 Σταθμισμένη μέση ροή ανά πενταετία.....	49
Γράφημα 4-1 Πρώτα αποτελέσματα μοντέλου σε σύγκριση με τα δεδομένα πεδίου	59
Γράφημα 4-2 Αθροιστικό διάγραμμα για το πρώτο τρέξιμο	59
Γράφημα 4-3 Διάγραμμα Υδρολογίας για την περίοδο βαθμονόμησης	64
Γράφημα 4-4 Συσσωρευτικό διάγραμμα για την περίοδο βαθμονόμησης.....	65
Γράφημα 4-5 Υδρογράφημα για την περίοδο βαθμονόμησης.....	66
Γράφημα 4-6 Συσσωρευτικό διάγραμμα για την περίοδο της επαλήθευσης	67
Γράφημα 4-7 Υδρογράφημα μέσων ημερήσιων παροχών ανά μήνα	68
Γράφημα 4-8 Συσσωρευτικό διάγραμμα μέσων μηνιαίων παροχών ανά μήνα	69
Γράφημα 4-9 Διάγραμμα μέσων ημερήσιων παροχών με ετήσιο βήμα.....	70

Γράφημα 4-10 Συσσωρευτικό διάγραμμα για ετήσιο βήμα.....	70
Γράφημα 4-11 Σύγκριση τιμών πεδίου - μοντέλου.....	74
Γράφημα 4-12 Συγκέντρωση νιτρικών ανά έτος.....	75
Γράφημα 7-1 Hydrology Hindcast	87
Γράφημα 7-2 Συσσωρευτικό διάγραμμα για τα έτη 1989-2011.....	87
Γράφημα 7-3 Μηνιαία εναπόθεση NO ₃	90
Γράφημα 7-4 Ετήσια εναπόθεση NO ₃	90

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά Στοιχεία

Το νερό, στοιχείο ζωτικής σημασίας για τον άνθρωπο και γενικότερα για όλους τους οργανισμούς, βρίσκεται παντού και μπορεί να αλλάζει μορφές ή να υφίσταται μετακινήσεις. Τα χαρακτηριστικά του αυτά, καθιστούν αναγκαίο τον ορθολογικό σχεδιασμό για την διαχείρισή του κάτω από δύσκολες συνθήκες, όπως είναι η περιορισμένη διαθεσιμότητά του, η αλλαγή στην ποσότητα και την ποιότητα του. Η ανάγκη για νερό είναι παγκόσμια και χωρίς αυτό, η ζωή, όπως την ξέρουμε, απλά θα έπαυε να υφίσταται. Τα προβλήματα που αφορούν το νερό, σε παγκόσμια κλίμακα δεν είναι ούτε ομοιογενή, αλλά ούτε σταθερά και διαχρονικά. Συχνά παρουσιάζει πολύ σημαντικές διακυμάνσεις από τη μία περιοχή στην άλλη, ακόμη και εντός της ίδιας χώρας, από τη μία εποχή στην άλλη ή ανάμεσα σε διαδοχικά έτη. Οι λύσεις στα προβλήματα της διαχείρισης του νερού εξαρτώνται όχι μόνο από τη διαθεσιμότητά του, αλλά και από πολλούς άλλους παράγοντες. Αρχικά, τίθεται θέμα κοινωνικοπολιτικών συνθηκών οι οποίες επιβάλουν τον σχεδιασμό της διαχείρισης των υδάτων σε οργανισμούς, οι οποίοι πρέπει να κριθούν ικανοί και αποκλειστικά αρμόδιοι. Στη συνέχεια, λαμβάνοντας υπ' όψιν την θεσμοθέτηση νομικών πλαισίων καθώς και την ανάπτυξη κάθε κράτους, κρίνεται η διαθεσιμότητα των επενδυτικών κεφαλαίων για τη διαχείριση του μέσω των απαραίτητων και διαθέσιμων τεχνολογιών, καθώς επίσης και οι υφιστάμενες κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της κάθε χώρας. Τέλος, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα ηθικά και κοινωνικά ζητήματα, πρέπει να αντιμετωπιστούν προβλήματα εθνικών και διεθνών αντιλήψεων, τρόπων διακυβέρνησης καθώς και συνθηκών ανάπτυξης του κάθε κράτους.

Το νερό είναι ένας πόρος που έχει άμεσο ενδιαφέρον για το σύνολο του πληθυσμού, όπως επίσης και για τα κυβερνητικά όργανα ανάπτυξης, τους δήμους,

τον ιδιωτικό τομέα και τις μη κυβερνητικές οργανώσεις (ΜΚΟ). Το νερό, παρότι σημαντικό για την ποιότητα της ανθρώπινης ζωής, δεν αποτελεί το μοναδικό θέμα για το οποίο αναπτύσσεται τόσο μεγάλο ενδιαφέρον, αλλά ισχύει και σε άλλα θέματα, όπως τα τρόφιμα, η ενέργεια, το περιβάλλον, η υγεία και η επικοινωνία. Όλα αυτά τα θέματα απαιτούν υψηλά επίπεδα προσοχής στις σύγχρονες κοινωνίες οι οποίες τοποθετούνται μέσα σε έναν πολύπλοκο και αλληλοεξαρτώμενο κόσμο. Τα τελευταία χρόνια, έχει γίνει περισσότερο εμφανές ότι τα προβλήματα του νερού μιας χώρας δεν μπορούν να επιλυθούν από την αποκλειστική διαχείρισή του από τους ειδικούς ή τα αρμόδια υπουργεία. Αυτό συμβαίνει διότι η αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων γίνεται όλο και περισσότερο αλληλένδετη με θέματα ανάπτυξης σε κοινωνικό, οικονομικό, περιβαλλοντικό, νομικό και διεθνές πολιτικό επίπεδο. Σε πολλές περιπτώσεις, τα προβλήματα του νερού έχουν γίνει περίπλοκα, μεγάλα και αλληλένδετα με άλλους τομείς, για να μπορούν να διαχειριστούν από ένα και μόνο φορέα, ακόμη και αν αυτός έχει εμπλουτιστεί με όλους τους διαθέσιμους πόρους, τις γνώσεις και την κατάλληλη πολιτική στήριξη. (Biswas, 2001)

Οι τρέχουσες και προβλεπόμενες τάσεις δείχνουν ότι τα προβλήματα του νερού στο μέλλον θα συνεχίσουν να γίνονται όλο και πιο περίπλοκα, και θα γίνουν όλο και περισσότερο συνυφασμένα με άλλους αναπτυξιακούς τομείς, όπως η γεωργία, η ενέργεια, η βιομηχανία, οι μεταφορές και η επικοινωνία, καθώς και με κοινωνικούς τομείς όπως η εκπαίδευση, το περιβάλλον, η υγεία, η αγροτική ή η περιφερειακή ανάπτυξη. Η χρονική στιγμή στην οποία το νερό δεν θα μπορεί να εξετάζεται μεμονωμένα από ένα όργανο ή μια ομάδα ειδικών πλησιάζει και αυτή η εξέταση θα πρέπει να γίνεται ταυτόχρονα με τον έλεγχο και άλλων σχετικών τομέων και θεμάτων. Μπορεί να θεωρηθεί ότι αυτή η χρονική στιγμή έχει ήδη έρθει όταν οι πολιτικές διαχείρισης των υδάτων έχουν μπει σε τροχιά αξιολόγησης, ανάλυσης και κρίσης με σκοπό να επιλυθούν τα σχετικά προβλήματα στο πλαίσιο κοινωνικής και πολιτικής ορθολογικής διαχείρισης. Σε αντίθετη περίπτωση, οι κύριοι στόχοι της διαχείρισης των υδάτων, δηλαδή η βελτίωση της ποιότητας ζωής καθώς και η προστασία του περιβάλλοντος, είναι αδύνατον να επιτευχθούν. Ένα από τα βασικά ζητήματα που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι ειδικοί σχετικά με τη διαχείριση του

νερού, είναι το πώς αυτή η πρόκληση μπορεί να απαντηθεί με επιτυχία σε ένα κοινωνικά αποδεκτό και οικονομικά αποδοτικό τρόπο (Biswas, 2004).

1.2 Σκοπός παρούσας διπλωματικής εργασίας

Η Δημοκρατία της Τσεχίας είναι μια από τις χώρες που εξαγάγουν ρύπους σε μεγάλο βαθμό όχι μόνο σε γειτονικές χώρες, αλλά και σε πιο μακρινές. Μεγάλο μέρος της ρύπανσης ήρθε ως αποτέλεσμα μιας, εσφαλμένης όπως έχει κριθεί, πολιτικής, η οποία επιδοτούσε την τιμή της ενέργειας, του νερού και των γεωργικών χημικών προϊόντων με αποτέλεσμα οι βιομηχανίες να μην επενδύουν σχεδόν καθόλου στον έλεγχο της ρύπανσης ούτε καν στην πρόληψη. Έτσι, ως αποτέλεσμα, αυτές είτε δεν επέβαλλαν τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς ή, σε ορισμένες περιπτώσεις, προτιμούσαν να ρυπαίνουν διότι όπως διαπιστώθηκε ήταν φθηνότερο να πληρώσουν το όποιο πρόστιμο, παρά να διορθώσουν το πρόβλημα.

Η βάση της οικονομίας της χώρας ήταν η εξόρυξη, η σύντηξη, η βαριά βιομηχανία, η παραγωγή χημικών και η παραγωγή υλικών οικοδόμησης, διεργασίες που αν μη τι άλλο επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα και το περιβάλλον γενικότερα. Ο λόγος που η Τσεχία έδωσε έμφαση σε αυτές τις εξορυκτικές και ρυπογόνες βιομηχανίες, είναι ότι υπάρχουν άφθονα κοιτάσματα χαμηλής ποιότητας μεταλλευμάτων που ήταν εύκολα στην εξαγωγή τους (Schnoor, 1993). Θα πρέπει επίσης να τονιστεί ότι οι παραπάνω λόγοι σε συνδυασμό με την καύση κακής ποιότητας καυσίμων ήταν η γενεσιουργός αιτία της όξινης εναπόθεσης, της κύριας πηγής ρύπανσης της χώρας.

Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια τα ποσοστά της ρύπανσης έχουν μειωθεί αρκετά στην Τσεχία, ιδιαίτερα μετά το 1990 όταν και άρχισαν οι βιομηχανίες και συμμορφώνονταν με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Η όξινη εναπόθεση μειώθηκε αλλά δυστυχώς, λόγω της χρόνιας επιβάρυνσης τα ύδατα αλλά και γενικότερα το περιβάλλον δε θα μπορούσαν να επιστρέψουν στην αρχική τους κατάσταση μονομιάς. Στην Τσεχία όμως γίνονται μελέτες και έρευνες με σκοπό τη

βελτίωση της υφιστάμενης κατάστασης με εμφανή αποτελέσματα και απώτερο, μακροπρόθεσμο στόχο τα ύδατα να έρθουν όσο πιο κοντά γίνεται στην αρχική τους κατάσταση.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μοντελοποίηση της υδρολογίας και της χημείας της λεκάνης απορροής του ποταμού Lysina στη Δημοκρατία της Τσεχίας με τη βοήθεια του μοντέλου SWAT. Μελετώντας μια τέτοια θέση, με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως η Lysina, εκτός του ότι είναι δυνατόν να γίνει κατανοητό πως λειτουργεί σαν σύστημα μπορεί επίσης να γίνουν προβλέψεις για το πως θα ανταποκριθεί σε διάφορα σενάρια διαχείρισης το σύστημα στο μέλλον. Επίσης θα μπορούσε η μελέτη της υπολεκάνης της Lysina να χρησιμοποιηθεί ως βάση για μελέτη μεγαλύτερων συστημάτων με παρόμοια χαρακτηριστικά.

2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Περιγραφή περιοχής μελέτης

2.1.1 Γενικά στοιχεία για τη Δημοκρατία της Τσεχίας

Στη Δημοκρατία της Τσεχίας επικρατεί ένα ήπιο ηπειρωτικό κλίμα. Η έκτασή της είναι 78,862 km², και ο πληθυσμός είναι περίπου 10,500,500 σύμφωνα με την απογραφή του 2012. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 1,0 °C και 9,4 °C (μεταξύ 8,8 °C και 18,5 °C το καλοκαίρι και μεταξύ -6,8 και 0,2 °C το χειμώνα). Η ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται στα 450mm σε ξηρές περιοχές και στα 1300 mm στις ορεινές περιοχές της χώρας. (Vancura, 2003; Czech Statistical Office, 2012)

Η Τσεχία μπορεί να χωριστεί σε τρεις μεγάλες περιοχές βάσει των τριών κυρίων λεκανών απορροής που υπάρχουν, του Έλβα (Elbe), του Όντερ (Odre) και του Μοράβα (Morava). Η λεκάνη απορροής του Έλβα καλύπτει το 61% της έκτασης της Τσεχίας ενώ τα αντίστοιχα ποσοστά για Όντερ και Μοράβα είναι 7% και 26%. Το υπόλοιπο 6% ανήκει στις υπόλοιπες περιφερειακές λεκάνες απορροής. (Dvorak et al., 1997)

Η βροχόπτωση είναι η κύρια πηγή νερού στη χώρα καθώς η εισροή από γειτονικές χώρες είναι αμελητέα. Η εποχιακή κατανομή των βροχοπτώσεων είναι ηπειρωτικού τύπου με τη μέγιστη τιμή τους να εμφανίζεται τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιος-Αύγουστος). Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 668 χιλιοστά, με ελάχιστη αυτή των 485 χιλιοστών που παρατηρήθηκε το 1943 και μέγιστη των 880 χιλιοστών που επιτεύχθηκε το 1939. Οι χιονοπτώσεις διατηρούνται για περισσότερο από 120 ημέρες σε ορεινές και για λιγότερο από 40 ημέρες σε πεδινές περιοχές. Περίπου το 68% της ετήσιας βροχόπτωσης πηγαίνει στην εξάτμιση και 32% συμβάλλει στη συνολική απορροή (βασικής ροής 18%, άμεση επιφανειακή απορροή 14%). Το σύνολο των εκροών του ποταμού από το έδαφος φτάνει, κατά μέσο όρο τα

$14.5 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{yr}$. Το σύνολο των υπόγειων υδάτινων πόρων της χώρας εκτιμάται σε περίπου $1.44 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{yr}$ (Dvorak et al., 1997).

2.1.2 Γενικά για τη Lysina

Η υπό εξέταση περιοχή μελέτης είναι η ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής της Lysina, η οποία βρίσκεται στην περιοχή της Δυτικής Βοημίας (Western Bohemia) στη Δυτική Τσεχία και απέχει 120 km από την πρωτεύουσα Πράγα. Πρόκειται για μια ορεινή περιοχή που λέγεται Slavkovský les (δάσος Slavkon) με μέγιστο ύψος περιοχής τα 982 m απ' τη στάθμη της θάλασσας, στην κορυφή του ομώνυμου όρους. Η λεκάνη απορροής έχει έκταση $0,273 \text{ km}^2$ και το υψόμετρό της κυμαίνεται από τα 694 ως τα 877 m από το επίπεδο της θάλασσας. Το ρυάκι που διασχίζει τη λεκάνη απορροής καταλήγει στον ποταμό Eger, έναν από τους παραποτάμους του Έλβα. Βάσει βιβλιογραφίας για την υπό εξέταση περιοχή (Bencocova et al., 2011) το ποσοστό της εξατμισοδιαπνοής είναι στο 42% ενώ το ποσοστό της απορροής είναι στο 45%. Ένα μικρό ποσοστό ίσως οφείλεται στην αβεβαιότητα που υπάρχει για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, μιας που ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής γίνεται με τη βοήθεια μοντέλων. Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας 2-1 που περιέχει συνοπτικά κάποια στοιχεία για την περιοχή μελέτης (Büttcher, 2001; P Krám & Hruška, 1994).

Πίνακας 2-1 Χαρακτηριστικά Περιοχής Μελέτης

Γεωγραφικές Συντεταγμένες	50°03'N, 12°40'E
Έκταση Λεκάνης Απορροής	0,273 km ²
Υψόμετρο	829-949m a.s.l.
Μέσο Υψόμετρο	884 m a.s.l.
Μέση Κλίση	11,5%
Μήκος Ρυακιού	900m
Μέση Ετήσια Βροχόπτωση	1020 mm (1967-2011)
Μέση Θερμοκρασία	6°C
Κυρίαρχη Διεύθυνση Ανέμου	Δυτικός
Βραχώδες Υπόστρωμα	Leucocratic Granite
Φυτοκάλυψη	70% ώριμο δάσος-30% δάσος νεαρής ηλικίας και γρασίδι τύπου Calamagrostis Villosa
Σημαντικά Είδη Δέντρων	99% Νορβηγική Ελάτη (Picea abies)
Είδος Χώματος	Τεφρώδη (Podzolic) καφέ έδαφος

2.1.3 Υφιστάμενη κατάσταση περιοχής

2.1.3.1 Η κατάσταση την Τσεχία

Κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα, η εντατική καύση ορυκτών καυσίμων οδήγησε στη μεγάλη αύξηση των αέριων ρύπων όπως το SO₂ και NO_x στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική. Οι ρύποι αυτοί μεταφέρθηκαν σε μεγάλες αποστάσεις στην ατμόσφαιρα. Η εναπόθεση που προκύπτει, επηρεάζει τόσο τα εδαφικά όσο και τα υδατικά οικοσυστήματα ακόμα και αν βρίσκονται μακριά από τις πηγές εκπομπής των αερίων. Οι πρώτοι συναγερμοί σημειώθηκαν στην Σκανδιναβία, όπου παρατηρήθηκε οξείδωση των εσωτερικών υδάτων και μείωση του πληθυσμού των ψαριών. Αρκετά σύντομα παρατηρήθηκαν συμπτώματα και

στην Κεντρική Ευρώπη και μία απ' τις χώρες που επηρεάστηκαν αρκετά κυρίως από την όξινη βροχή ήταν η Τσεχία.

Στο τρίγωνο όπου συναντιούνται η Τσεχία, η Γερμανία και η Πολωνία, γνωστό ως και το Μαύρο Τρίγωνο (Black Triangle), η χρήση λιγνίτη μεγάλης περιεκτικότητας σε άζωτο για τη βιομηχανία και χρήσεις οικιακής θέρμανσης, οδήγησε σε μέση συγκέντρωση SO_2 στον αέρα με τιμή που υπερέβαινε τα $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, απ' τις υψηλότερες στον κόσμο. Οι συνέπειες έγιναν εμφανείς με την όξυνση, μείωση τοπικά του pH των ποταμών και τη μείωση των δασών (Moldan & Schnoor, 1992).

Πάντως η αρχή του προβλήματος στην Τσεχία εντοπίζεται μετά τα μέσα του 19^{ου} αιώνα όταν και άρχισε η εξόρυξη χαμηλής ποιότητας λιγνίτη, ο οποίος ήταν πλούσιος σε θείο. Η εξόρυξη αυξανόταν βαθμιαία μέχρι τη δεκαετία του '80 όταν έφτανε περίπου τους 75 εκατομμύρια τόνους ανά έτος (Novak et al., 2000).

Η διαδικασία της όξυνσης είχε σημαντικό αντίκτυπο στην ποιότητα των υπογείων υδάτων με αποτέλεσμα να μειωθεί η αλκαλικότητα. Στο τέλος της δεκαετίας του '90 και στις αρχές της δεκαετίας του '00 χαρακτηριστική ήταν η μείωση της ατμοσφαιρικής εναπόθεσης, λόγω του ότι οι βιομηχανίες επένδυσαν σε μονάδες αποθείωσης. (Hrkal et al., 2006)

Απ' την άλλη όμως η ανάπτυξη σύγχρονων πηγών εναπόθεσης αζώτου, κυρίως λόγω των αυτοκινήτων, με τη χρήση βενζίνης ως κύριου καυσίμου τότε, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που δείχνει μια αυξανόμενη τάση στις συγκεντρώσεις αζώτου, κυρίως στην ξηρές ατμοσφαιρικές εναποθέσεις (Fottová, 2003). Ωστόσο, η όξινη ατμοσφαιρική εναπόθεση σε μεγάλες εκτάσεις παραμένει η κύρια πηγή όξυνσης σε όλη την Τσεχία. Μακροπρόθεσμα, όμως, αναμένεται ότι η επίδρασή της στα υπόγεια ύδατα πρόκειται να μειωθεί. Αισιόδοξες εκτιμήσεις, βασισμένες στην μειούμενη τάση της εναπόθεσης θείου, ισοσκελίζονται και αναιρούνται από την αύξηση της εναπόθεσης του αζώτου. Παρόλα αυτά οι ενδείξεις για τη βελτίωση της ατμοσφαιρικής εναπόθεσης είναι θετικές αλλά η ποιότητα της επιφάνειας των υπόγειων υδάτων να μην τείνει να επιστρέψει στην αρχική της κατάσταση, αλλά με πολύ αργούς ρυθμούς. (Hrkal et al., 2006)

Τώρα όσον αφορά τις εκπομπές NH_3 στην ατμόσφαιρα, η κύρια αιτία παράγωγής τους είναι η εντατική αγροτική παραγωγή. Οι κύριοι συντελεστές που συνεισφέρουν στις εκπομπές είναι τα βοοειδή, οι χοίροι αλλά και η χρήση λιπασμάτων πλουσίων σε άζωτο. Τα τελευταία χρόνια όμως παρατηρήθηκε μείωση των εκπομπών κυρίως λόγω της μείωσης χρήσης λιπασμάτων και μείωσης εκτροφής βοοειδών . (Navrátil, et al., 2007)

2.1.3.2 Η κατάσταση στη Lysina

Η Lysina με τη σειρά της δε θα μπορούσε να ξεφύγει από τη γενικότερη κατάσταση που επικρατεί στο σύνολο της Τσεχίας. Μόλις το 1870 ξεκίνησαν δραστηριότητες εκσκαφής άνθρακα στην ευρύτερη περιοχή της Βοημίας. Η περίοδος μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο συνοδεύτηκε από μαζική παραγωγή ενέργειας από λιγνίτη. Οι εκπομπές SO_2 έπιασαν μέγιστη τιμή το 1982 και η παρατηρούμενη μείωση από τότε οφείλεται στη μειούμενη εξόρυξη άνθρακα από το 1982 ως το 1992. Ωστόσο χρονιά ορόσημο για την περιοχή ήταν το 1993 όταν και εγκαταστάθηκε η πρώτη μονάδα αποθείωσης στη Βοημία με αποτέλεσμα να μειωθούν δραστικά οι εκπομπές SO_2 .(Krám, 2003)

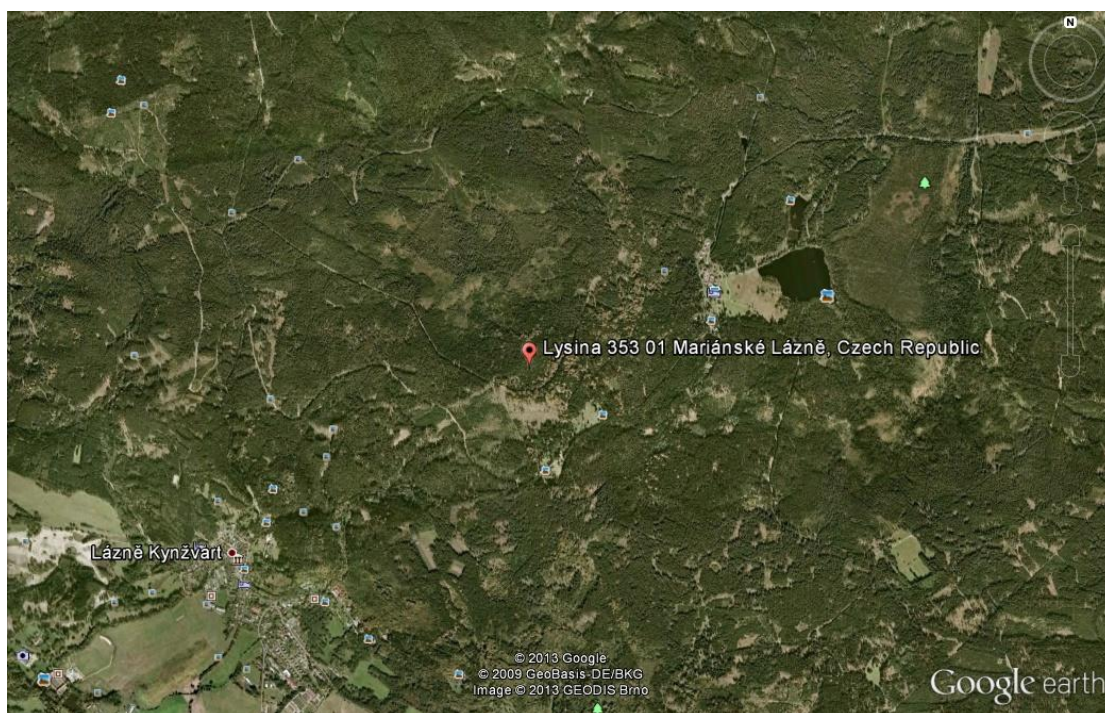
Όσον αφορά την ατμοσφαιρική εναπόθεση στη Lysina κατά το υδρολογικό έτος του 1992, η βροχόπτωση ήταν 1125 mm. Στην βροχόπτωση υπήρχαν επί των πλείστων ιόντα υδρογόνου, νιτρικά αμμωνιακά και θειικά. Όλες οι διαλυμένες ουσίες παρουσίασαν αύξηση στην συγκέντρωσή τους, πλην των αμμωνιακών, κάτω από το φύλλωμα των δέντρων. Το μέσο pH της κατακρήμνισης στη διάρκεια αυτού του έτους ήταν στο 4.3.

Όσον αφορά το ρυάκι που διασχίζει τη Lysina η τιμή του pH κυμαινόταν μεταξύ 3.68 και 4.50 με σταθμισμένη μέση τιμή 3.87. Κύρια χαρακτηριστικά της χημείας του ποταμού ήταν τα θειικά, διοξείδιο του πυριτίου, ιόντα υδρογόνου, ασβέστιο και άργιλος (Krám et. al, 1997), (Krám & Hruška, 1994).

2.1.4 Περιγραφή υδρολογικής λεκάνης ποταμού

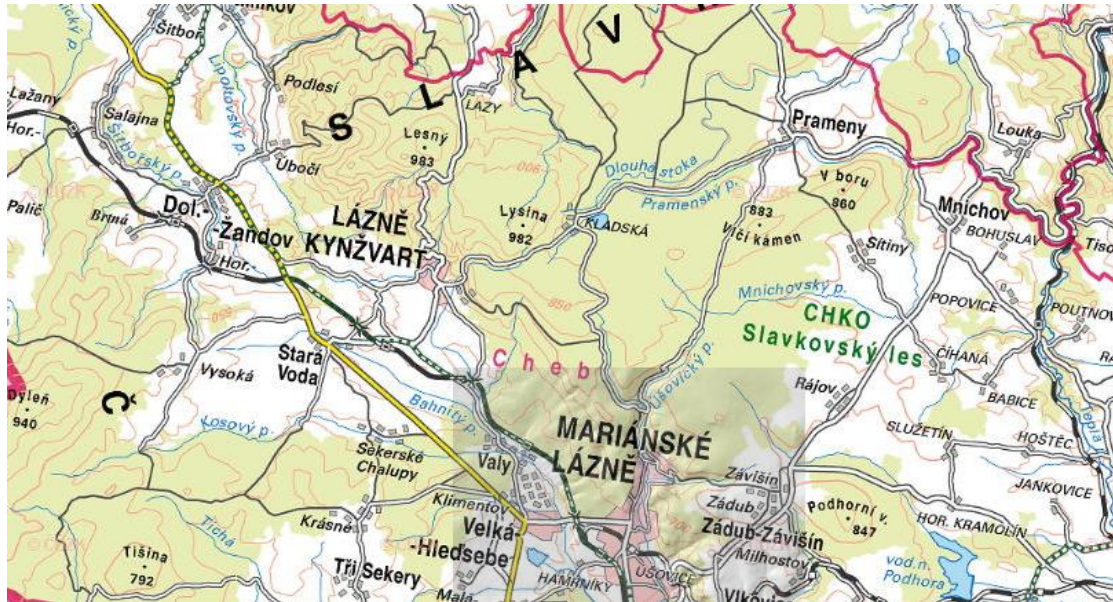
2.1.4.1 Γεωγραφική τοποθέτηση

Η περιοχή μελέτης, όπως προαναφέρθηκε, είναι η λεκάνη απορροής της Lysina και βρίσκεται 120 km από την πρωτεύουσα Πράγα, στο δυτικό τμήμα της Δημοκρατίας στην περιοχή της Δυτικής Βοημίας (Western Bohemia) (εικόνα 2-3) με συντεταγμένες 50°03'N, 12°40'E. Η υπό μελέτη λεκάνη απορροής βρίσκεται στην βορειοανατολική πλαγιά του όρους Lysina. Σε απόσταση 1km από το όρος Lysina βρίσκεται ο οικισμός Lázně Kynžvart (εικόνα 2-1, εικόνα 2-2) πληθυσμού 1700 κατοίκων και η πόλη Mariánské Lázně (εικόνα 2-2) πληθυσμού 14000 κατοίκων που ανήκουν στην ευρύτερη περιοχή του Karlovy Vary της περιφέρειας του Cheb, η οποία έχει συνολικά 90000 κατοίκους. Επιπρόσθετα να σημειωθεί ότι σε απόσταση περίπου 10 km βόρεια της λεκάνης απορροής, κοντά στην πόλη Sokolov υπάρχει μια βιομηχανική περιοχή με αρκετά ορυχεία λιγνίτη καθώς και το εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας στην Τισονά, όπου καίγεται ο υψηλής περιεκτικότητας σε θείο λιγνίτης (Krám et al., 1997).



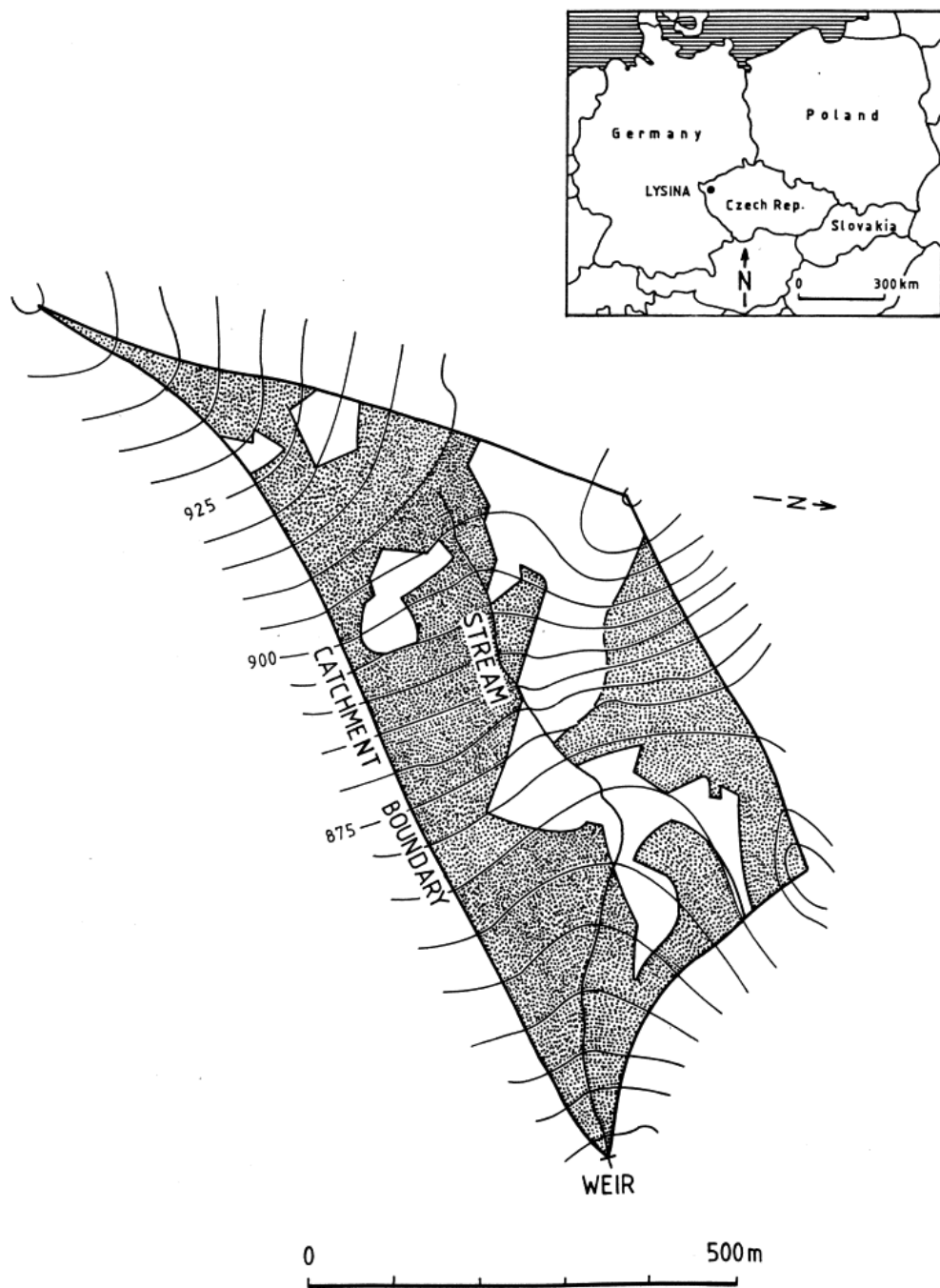
Εικόνα 2-1 Εικόνα της περιοχής από δορυφόρο(πηγή: ("Google Earth,"))

Στην εικόνα 2-1 φαίνεται η περιοχή στην οποία βρίσκεται η υπό εξέταση λεκάνη απορροής καθώς και ο κοντινότερος οικισμός σε αυτήν, Mariánské Lázně.



Εικόνα 2-2 Πολιτικός χάρτης περιοχής πηγή: ("Prohlížení - Národní geoportál INSPIRE")

Στην εικόνα 2-2 παρουσιάζεται ο πολιτικός χάρτης της περιοχής όπου φαίνονται διάφοροι οικισμοί γύρω από τη Lysina.



Εικόνα 2-3 Εικόνα της λεκάνης απορροής καθώς και η θέση της στο χάρτη πηγής: (Hruška et al. , 2002)

Στην εικόνα 2-3 παρουσιάζεται η γεωγραφική τοποθέτηση της Lysina στην Τσεχία αλλά και η λεκάνη απορροής της

2.1.4.2 Στοιχεία εδάφους

Στην περιοχή μελέτης μας υπάρχει τεφρώδη (podzolic) καφέ έδαφος (Kráť & Hruska, 1994). Ακολουθούν κάποια γενικά στοιχεία όπου αναλύονται οι ποντζόλες, ο επικρατέστερος γεωλογικός σχηματισμός της περιοχής μελέτης.

Οι ποντζόλες συναντώνται συνήθως σε ψυχρό και υγρό κλίμα (McKeague et al., 1983) σε περιοχές με δασική βλάστηση ή χερσότοπους με μέτρια υφή ως χονδρή (Steila & Pond, 1989), όπου οι συνθήκες ευνοούν την ανάπτυξη ενός οργανικού επιφανειακού στρώματος (Lundström, Breemen, & Bain, 2000).

Για τη δημιουργία ποντζολών σημαντικό ρόλο παίζουν το κλίμα, το μητρικό υλικό, η βλάστηση, η τοπογραφία και η ηλικία του εδάφους (Jenny, 1941; Jauhainen, 1973). Παρακάτω παρουσιάζεται πως οι προαναφερθέντες παράγοντες επηρεάζουν τη δημιουργία ποντζολών.

Όσον αφορά την επιρροή του κλίματος οι ποντζόλες συναντώνται συνήθως σε ηπειρωτικό κλίμα με δροσερά καλοκαίρια και θαλάσσιο κλίμα της δυτικής ακτής και βρίσκεται σε βόρειες περιοχές της Αμερικής, της Ευρώπης και της Ασίας. Σε τυπικές περιοχές όπου βρίσκουμε ποντζόλες η θερμοκρασία τον Ιανουάριο κυμαίνεται από -40 ως +5 °C και το μήνα Ιούλιο από +10 ως +20 °C. Η βροχόπτωση κυμαίνεται από 200 ως 1000 mm με μικρό λόγο εξατμισοδιαπνοής. Οι ποντζόλες εμφανίζονται σε υγρές τροπικές περιοχές, αλλά μόνο σε φτωχά χαλαζιακά μητρικά υλικά. Ωστόσο δεν αναπτύσσονται ποτέ σε ξηρά κλίματα. Οι κλιματικές συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη ποντζολών υπάρχουν σε μικρότερη έκταση στο νότιο ημισφαίριο λόγω υψηλότερων θερμοκρασιών και μειωμένης βροχόπτωσης (Lundström, Breemen, & Bain, 2000).

Οι ποντζόλες συναντώνται συνήθως σε μητρικά υλικά χονδροκομμένης υφής, φτωχά σε βάσεις, όπως για παράδειγμα η άμμος. Σπανιότερα, οι ποντζόλες μπορεί να εμφανιστούν σε αποθήκες ανθρακικών, αλλά μόνο όπου τα ανθρακικά ορυκτά έχουν διαρρεύσει σε βάθη, όπου δεν μπορούν πλέον να επηρεάσουν το pH (Protz, 1982). Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση βασικών κατιόντων στο μητρικό υλικό σε συνδυασμό με το υγρότερο ή και ψυχρότερο το κλίμα, τόσο περισσότερο χρόνο παίρνει τις ποντζόλες να δημιουργηθούν.

Επιπλέον, η δημιουργία ποντζολών ευνοείται σε περιοχές με κωνοφόρα δάση και θάμνους, αλλά επίσης, σπανιότερα, σε περιοχές με φυλλοβόλα δέντρα (Dimbleby & Gill, 1955). Στη βόρεια Ευρώπη και Αμερική η διαδικασία δημιουργίας ποντζολών είναι φυσικό επακόλουθο της εξέλιξης του εδάφους ακολουθώντας την αποίκιση του γυμνού εδάφους μετά από παγετώνες, ξεκινώντας πριν 9000-13000 χρόνια, και η διαδοχή βλάστησης από το αρκτικό δάσος. Στις νότιες περιοχές, το κόψιμο των φυλλοβόλων δασών, ακολουθημένο από τη μεταμόρφωση τους σε χερσότοπους και η μετέπειτα δενδροφύτευση κωνοφόρων δασών, οδήγησε στη δημιουργία ποντζολών. Σε κάποιες περιοχές αυτή η ανθρωπογενής διεργασία ξεκίνησε πριν 2000-3000 χρόνια.

Τέλος θα αναφερθούν κάποια πράγματα σχετικά με το πώς επιδρά ο χρόνος στη δημιουργία των ποντζολών. Θα πρέπει να τονιστεί ότι στο πόσο γρήγορα ή αργά θα δημιουργηθούν ποντζόλες εξαρτάται τόσο από τη θερμοκρασία όσο και από τη βροχόπτωση ή και τα στοιχεία του εδάφους. Για παράδειγμα σε όξινη άμμο παραλίας στην περιοχή Vancouver Island, BC με μέση ετήσια βροχόπτωση 3200 mm και μέση θερμοκρασία 8,9 °C δημιουργήθηκαν ποντζόλες τρισθενούς Fe μέσα σε 350 έτη (Singleton & Lavkulish, 1987). Στο Ουλο της Φινλανδίας περιοχή με ξηρότερη αλλά χαμηλότερη μέση θερμοκρασία πάρθηκαν δείγματα από επτά ποταμούς και ο χρόνος ανάπτυξης ενός podzol κυμάνθηκε από τα 330 ως τα 1000 έτη (Petaja-Ronkainen et al., 1992). Τέλος στην περιοχή Michigan η πλήρης δημιουργία προφίλ ποντζολών υπολογίζεται ότι διήρκεσε 3000 ως 10000 έτη (Franzmeier et al., 1963; Franzmeier and Whiteside, 1963a,b; Barrett and Schaetzl, 1992). Τέλος δείκτες υποδεικνύουν ότι ο ρυθμός δημιουργίας ποντζολών μεταβάλλεται γραμμικά σε συνάρτηση με το λογάριθμο του χρόνου (Lundström, Breemen, & Bain, 2000).

Τέλος, βάση των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν στη Lysina αλλά και βάση, τόσο της τοπογραφίας αλλά και της βλάστησης μπορεί, να γίνει εύκολα κατανοητό για ποιους λόγους δημιουργήθηκαν οι ποντζόλες στην υπό μελέτη περιοχή.

2.1.4.3 Στοιχεία πετρωμάτων

Η υπολεκάνη της Lysina έχει υπόστρωμα λευκογρανίτη το οποίο αποτελείται κυρίως από χαλαζία και άστριο. Τα οξείδια SiO_2 και Al_2O_3 περιλαμβάνουν το 87% του πετρώματος κατά βάρος. Το περιεχόμενο του πετρώματος σε CaO είναι 0.52% ενώ του MgO 0.11%. Στον πίνακα 2-2 που ακολουθεί παρουσιάζεται η περιεκτικότητα κατά βάρος των συστατικών του λευκογρανίτη.

Πίνακας 2-2 Σύσταση Υποστρώματος στη Lysina πηγή: (Krám et al., 1997)

Leucogranite (Lysina)	
	mass%
SiO_2	72.9
Al_2O_3	14.0
CrO_2	0.001
Fe_2O_3	0.73
FeO	1.4
MnO	0.07
MgO	0.11
CaO	0.52
Li_2O	0.12
Na_2O	2.9
K_2O	4.4
P_2O_5	0.30
CO_2	BD
F	0.84
S	Trace
H_2O^+	1.2
H_2O^-	0.3
NiO	BD

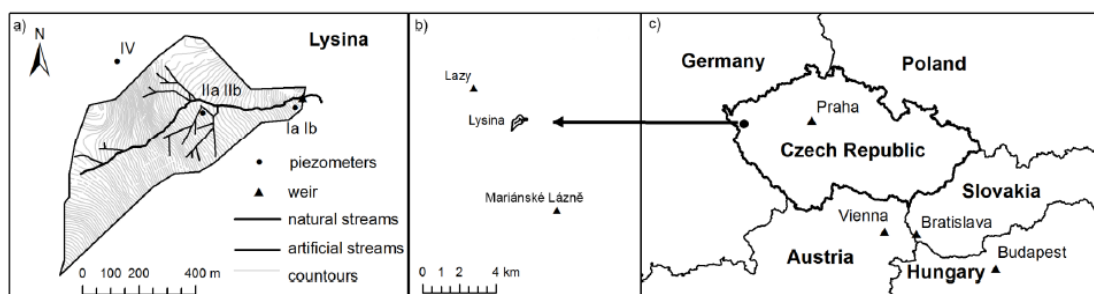
BD – below detection limit

Η λιθολογία παίζει σημαντικό ρόλο στην ανακύκλωση των στοιχείων και τη χημεία των υδάτων απορροής. Μελέτες έχουν δείξει ότι το έδαφος και τα υδάτινα ρεύματα σε περιοχές με γρανιτικό υπόστρωμα ή υπόστρωμα που προέρχεται από γρανιτικά πετρώματα, παρουσιάζουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις βασικών κατιόντων και υψηλότερη οξύτητα από εδάφη και ύδατα απορροής σε περιοχές με

πιο αντιδραστικά εδάφη. Το ενδιαφέρον με τις παραπάνω πετρώματα έγκειται στο γεγονός ότι έχουν χαμηλά ποσοστά διάβρωσης και έχει ως αποτέλεσμα στο να είναι ευάλωτα σε όξινη ατμοσφαιρική εναπόθεση (Krám et al., 1997; Krám & Hruška, 1994).

2.1.4.4 Κλιματολογικά στοιχεία

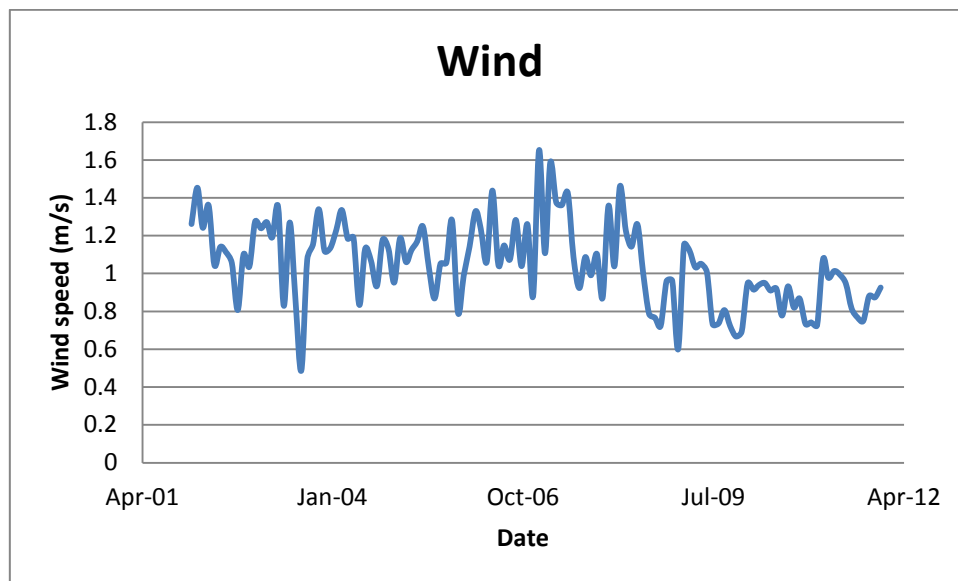
Το κλίμα στη Lysina είναι εύκρατο ηπειρωτικό, με σχετικά θερμά καλοκαίρια και κρύους νεφώδεις και γεμάτους χιόνι χειμώνες. Για το χρονικό διάστημα 1967-2011 έχει υπολογιστεί η μέση θερμοκρασία του κοντινότερου μετεωρολογικού σταθμού (Mariánské Lázně), που απέχει 5 km από τη Lysina, είναι 6 °C και η μέση ετήσια βροχόπτωση 834.5 mm (Yu et al., n.d.). Έκτος από τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση, στο μετεωρολογικό σταθμό μετράνε την ταχύτητα του ανέμου, τη σχετική υγρασία και υπολογίζουν την ηλιακή ακτινοβολία. Τα μετεωρολογικά δεδομένα είναι διαθέσιμα με ωριαίο χρονικό βήμα, με εξαίρεση την ηλιακή ακτινοβολία, από το 2006 ως και σήμερα, ενώ από το 1967 έως το 2006 τα δεδομένα είναι διαθέσιμα με χρονικό βήμα ημέρας. Τα δεδομένα των βροχοπτώσεων έχουν αυξηθεί κατά 22% για να είναι αντιπροσωπευτικά για την περιοχή της Lysina. Η διόρθωση αυτή βασίστηκε στη μέση διαφορά με το βροχομετρικό σταθμό στη περιοχή Lazy ο οποίος είναι 3 km από τη Lysina και παρουσιάζει καλύτερα την κατάσταση της περιοχής (Yu et al., n.d.). Να σημειωθεί ότι τα μετεωρολογικά δεδομένα δόθηκαν από το Ινστιτούτο γεωλογικών ερευνών της Τσεχίας (Czech Geological Survey, ("Home - Czech Geological Survey,".)).



Εικόνα 2-4 Η θέση της υπολεκάνης καθώς και των μετεωρολογικών σταθμών πηγή: (Yu et al., n.d.).

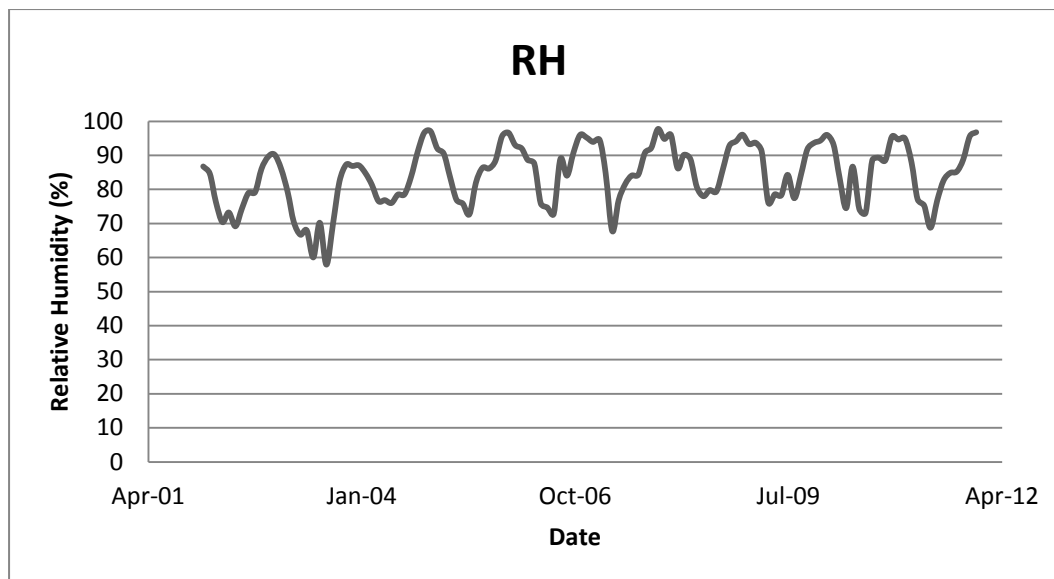
Στην εικόνα 2-4 παρουσιάζονται η θέση της υπολεκάνης στο χάρτη, καθώς και η θέση της σε σχέση με το μετεωρολογικό σταθμό στην περιοχή Mariánské Lázně και το βροχομετρικό στην περιοχή Lazy.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα μετεωρολογικά στοιχεία της υπό εξέταση περιοχής:



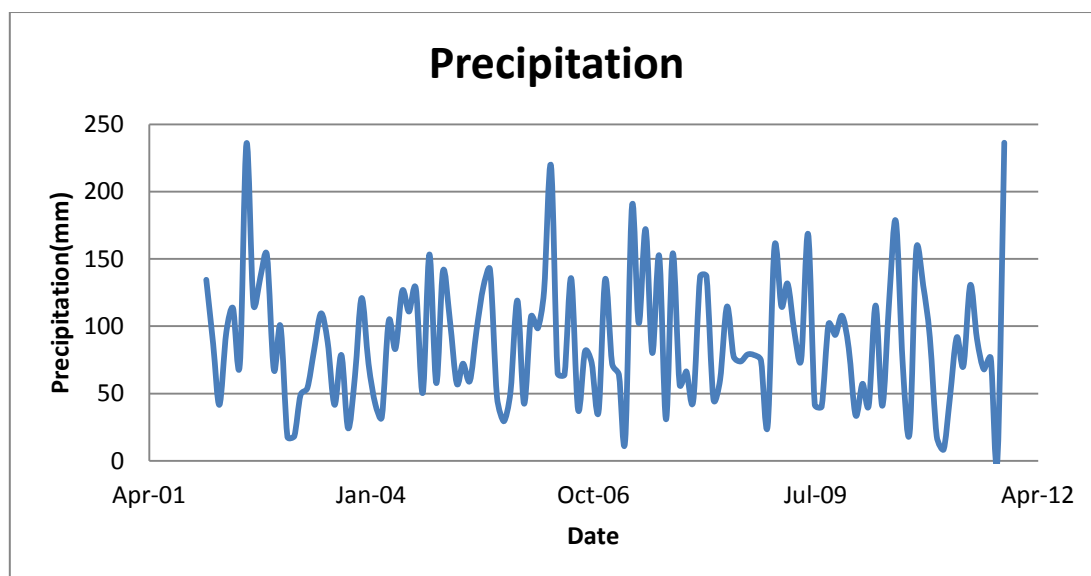
Γράφημα 2-1 Η μέση μηνιαία ταχύτητα για τα έτη 2002-2011

Στο Γράφημα 2-1 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου για τα έτη 2002-2011. Η ελάχιστη τιμή που παρατηρήθηκε είναι 0.49 m/s, η μέγιστη 1.65 m/s ενώ η μέση 1.05 m/s.



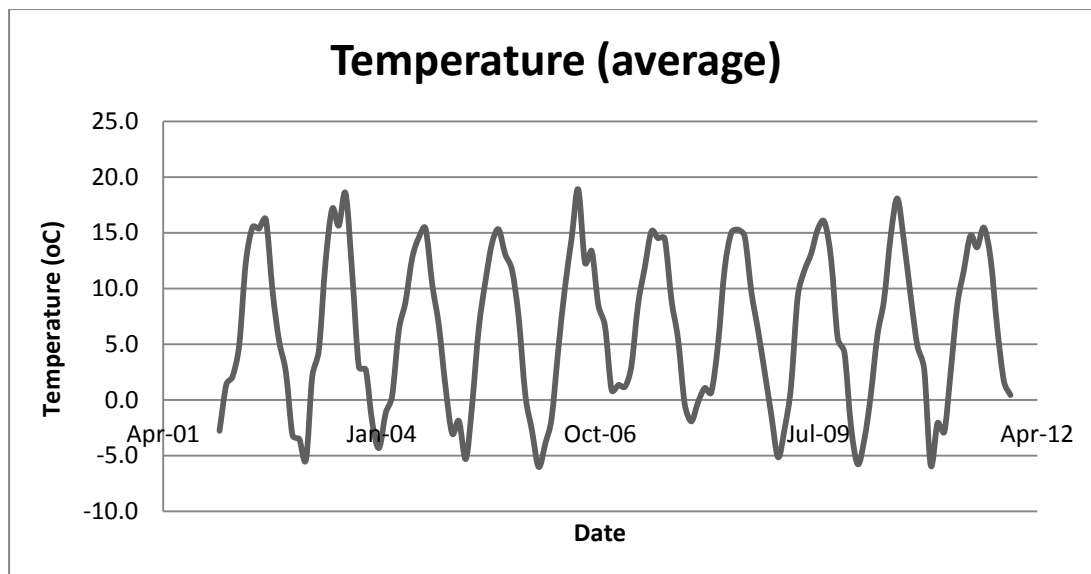
Γράφημα 2-2 Μέση μηνιαία σχετική υγρασία για τα έτη 2002-2011

Στο Γράφημα 2-2 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία σχετική υγρασία για τα έτη 2002-2011. Η τιμή της κυμαίνεται από 57.94% ως 97.77 % ενώ η μέση τιμή είναι 83.40%



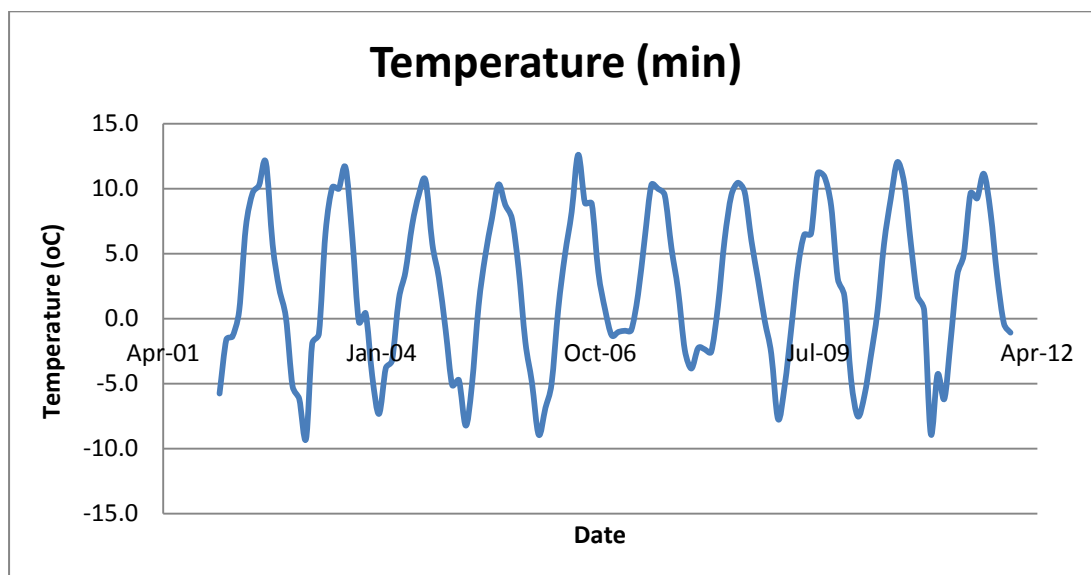
Γράφημα 2-3 Μέση μηνιαία βροχόπτωση για τα έτη 2002-2011

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η μέση μηνιαία βροχόπτωση με τις τιμές να είναι προσαρμοσμένες στην υψομετρική διαφορά του σταθμού με τη λεκάνη απορροής. Για τα έτη 2002-2011 η ελάχιστη τιμή που παρατηρήθηκε είναι 8.56 mm, η μέγιστη 235.8 mm ενώ η μέση 86.34 mm/s.



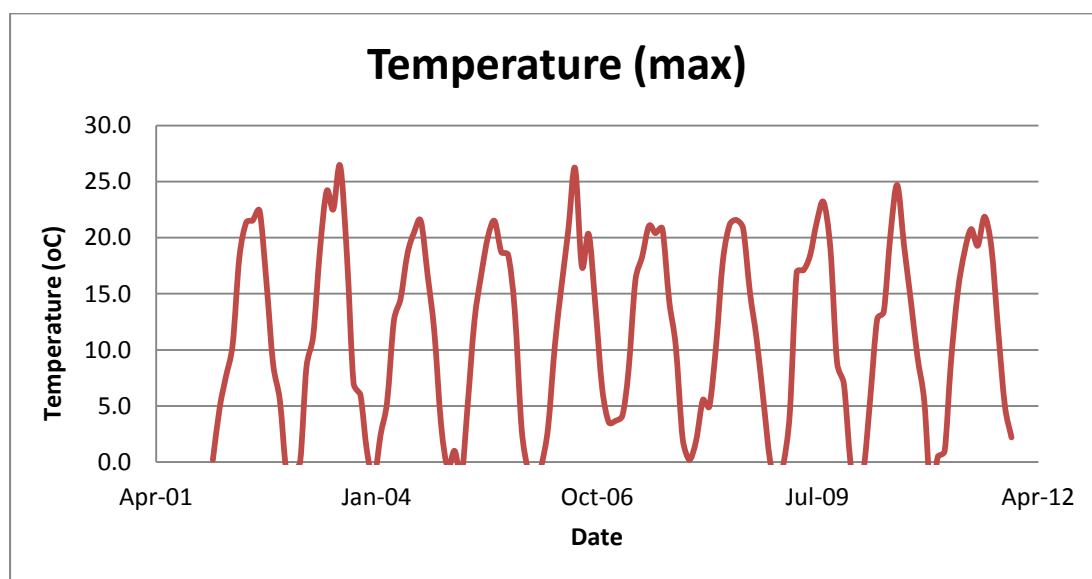
Γράφημα 2-4 Μέση μηνιαία θερμοκρασία για τα έτη 2002-2011

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 2-4 η μέση θερμοκρασία αέρα για το ίδιο χρονικό διάστημα έχει ως ελάχιστη τιμή του τους $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, μέγιστη τους $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ενώ η μέση είναι $6.3\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Γράφημα 2-5 Μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία για τα έτη 2002-2011

Στο Γράφημα 2-5 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου για τα έτη 2002-2011. Η ελάχιστη τιμή που παρατηρήθηκε είναι $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$, η μέγιστη $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ενώ η μέση $2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

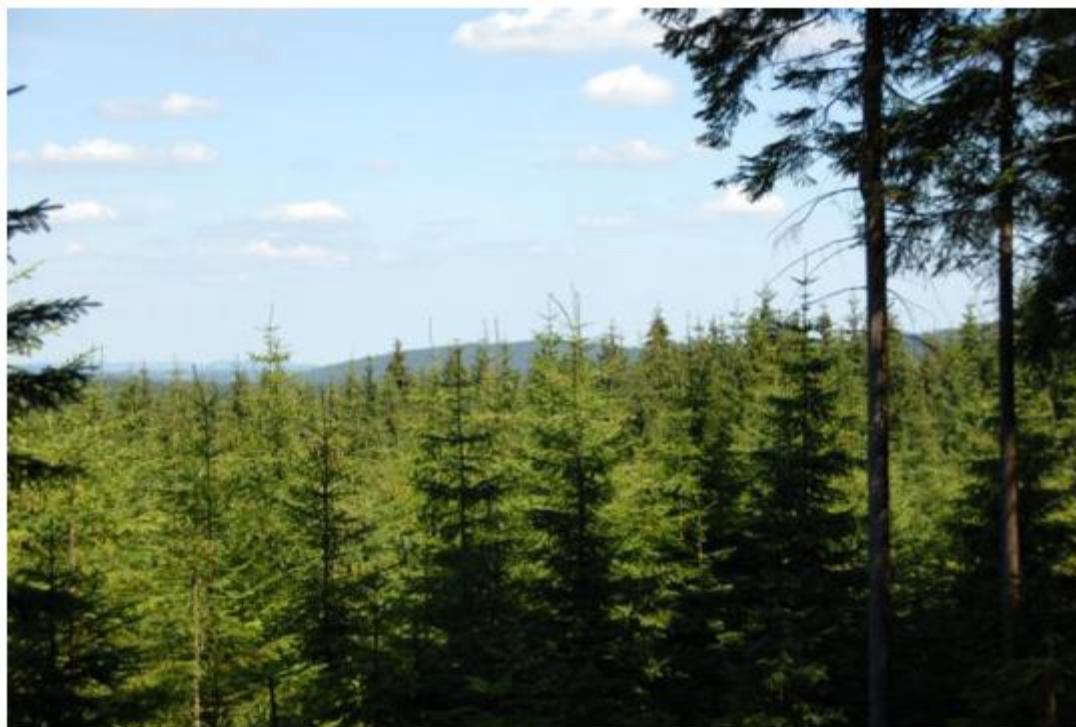


Γράφημα 2-6 Μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία για τα έτη 2002-2011

Στο Γράφημα 2-6 απεικονίζεται η μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου για τα έτη 2002-2011. Η ελάχιστη τιμή που παρατηρήθηκε είναι -4°C , η μέγιστη 26°C ενώ η μέση 11°C .

2.1.4.5 Χρήσεις Γης

Η υπ' εξέταση υπολεκάνη βρίσκεται στη δυτική Βοημία και έχει έκταση 0.273 km^2 . Όσον αφορά τις χρήσεις γης υπάρχει μόνο μία, μιας που είναι δασική έκταση. Κυρίαρχο φυτό (εικόνα 2-5) είναι το νορβηγικό πεύκο (*Picea abies*).



Εικόνα 2-5 Φωτογραφία από το δάσος πηγή: (Yu et al., n.d.)

2.2 Γενικά στοιχεία για τα μοντέλα

2.2.1 Γενικά Στοιχεία

Γενικά ένα μοντέλο είναι ένα αντικείμενο μικρών διαστάσεων, συνήθως κατασκευασμένο σε αναλογία, και αντιπροσωπεύει με λεπτομέρεια ένα άλλο αντικείμενο μεγαλύτερων διαστάσεων. Ως μοντέλο στους επιστημονικούς κλάδους ορίζουμε τη σχηματική περιγραφή ενός συστήματος, μιας θεωρίας, ή ενός φαινομένου σε ότι αφορά τις γνωστές ή συναγόμενες ιδιότητες του και η περιγραφή αυτή θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περεταίρω μελέτη των χαρακτηριστικών του. Δηλαδή τα μοντέλα κατασκευάζονται στην προσπάθεια καλύτερης κατανόησης των διαφόρων διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε ένα σύστημα και στην προσπάθεια ελέγχου της ανταπόκρισης του συστήματος.

Σύμφωνα με την SEP (Stanford Encyclopedia of Philosophy, (“Stanford Encyclopedia of Philosophy,”)) τα μοντέλα μπορούν να εκτελέσουν δυο εντελώς διαφορετικά αντιπροσωπευτικές λειτουργίες. Απ’ τη μία, ένα μοντέλο θα μπορούσε να είναι η περιγραφή ενός τμήματος του κόσμου (το «σύστημα-στόχος»). Ανάλογα τη φύση του στόχου, τα μοντέλα χωρίζονται σε μοντέλα φαινομένων ή μοντέλα δεδομένων. Απ’ την άλλη, ένα μοντέλο μπορεί να αντιπροσωπεύει μια θεωρία με την έννοια ότι αυτό ερμηνεύει τους νόμους και αξιώματα αυτής της θεωρίας. Αυτές οι δύο έννοιες δεν είναι αλληλοαποκλειόμενες καθώς, τα επιστημονικά μοντέλα μπορούν να είναι αναπαραστάσεις και στις δύο έννοιες ταυτόχρονα (Frigg & Hartmann, 2006).

Ένα είδος επιστημονικού μοντέλου είναι και το μοντέλο περιβάλλοντος. Ένα μοντέλο περιβάλλοντος ορίζεται ως το κατασκεύασμα εκείνο που ποσοτικοποιεί και περιγράφει ή είναι ανάλογο χημικών, φυσικών ή βιολογικών φαινομένων, ή με λίγα λόγια είναι μια μαθηματική περιγραφή της συμπεριφοράς ενός φυσικού συστήματος. Η δημιουργία ενός μοντέλου περιβάλλοντος είναι απαραίτητη αρχικά για τον υπολογισμό των χημικών ενώσεων σε υπόγεια νερά και νερά επιφάνειας και η συσχέτισή τους με το βαθμό τοξικότητας. Ένα μοντέλο περιβάλλοντος είναι επίσης απαραίτητο για την κατανόηση του τρόπου μεταφοράς και μετάλλαξης των χημικών ενώσεων στο περιβάλλον. Τέλος ένα μοντέλο περιβάλλοντος βοηθά στη διαχείριση φυσικών και τεχνητών συστημάτων για την πρόγνωση της συμπεριφοράς τους και για την πρόληψη επικίνδυνων καταστάσεων.

2.2.2 Υδρολογικά Μοντέλα – Εφαρμογές και Γενικά Στοιχεία

Παρόλο που ο υδρολογικός κύκλος είναι ένα σύστημα το οποίο είναι αρκετά εύκολο να κατανοηθεί, δεν είναι καθόλου εύκολη η ποσοτικοποίηση των διεργασιών του συστήματος. Στην υδρολογία της λεκάνης, είναι πρακτικά αδύνατο να μετρηθούν όλα όσα θα θέλαμε να ξέρουμε για το υδρολογικό σύστημα, κυρίως λόγω της μεγάλης ετερογένειας της λεκάνης απορροής και των περιορισμών των τεχνικών μέτρησης. Για να καταφέρουμε να απεικονίσουμε τα παραπάνω χρησιμοποιούνται διάφορα είδη υδρολογικών μοντέλων. Ο όρος "υδρολογικό

μοντέλο" χρησιμοποιείται εδώ σε ευρεία έννοια, συμπεριλαμβάνει όλα τα μοντέλα που περιγράφουν τον υδρολογικό κύκλο ή τα σημαντικότερα τμήματά του. Μεταβάλλοντας το κλίμα, την τοπογραφία, τα είδη και της χρήση γης, καθώς και διάφορες τεχνητές παρεμβολές στο σύστημα καθιστούν πολύ δύσκολο να κατασκευαστούν γενικά μοντέλα που να αναπαριστούν το σύνολο του υδρολογικού κύκλου σε κάθε δεδομένη λεκάνη απορροής στον κόσμο. Τα περισσότερα μοντέλα αντιμετωπίζουν μόνο ένα μέρος του κύκλου, για παράδειγμα, τις απορροές ή υπόγεια ροή. Μοντέλα τα οποία αναπτύχθηκαν σε συγκεκριμένες κλιματολογικές και γεωλογικές περιοχές έχουν συχνά δυσκολίες όταν χρησιμοποιούνται για διαφορετικά δεδομένα. Επίσης, τα υδρολογικά μοντέλα πάσχουν στην αβεβαιότητα των προβλέψεών τους (ενίοτε και λόγω των προαναφερθέντων λόγων), η οποία μειώνει την εφαρμοσιμότητα και την εμπιστοσύνη μας σε αυτά. (Lundin et al., n.d.; Pechlivanidis et al., 2011)

Τα υδρολογικά μοντέλα είναι σημαντικά για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και τη διαχείριση υδάτινων πόρων, την πρόβλεψη και το σχεδιασμό σε περίπτωση πλημμυρών, και τη συνδυαστική μοντελοποίηση συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων, για παράδειγμα, την ποιότητα του νερού, υδρο-οικολογία και το κλίμα. Ωστόσο, λόγω έλλειψης πόρων και του περιορισμένου φάσματος των διαθέσιμων τεχνικών μέτρησης, υπάρχουν περιορισμοί στη διαθεσιμότητα των δεδομένων χώρου και χρόνου. Ως εκ τούτου υπάρχει ανάγκη να αντληθούν πληροφορίες από τις διαθέσιμες μετρήσεις στο χώρο και το χρόνο. Επιπλέον υπάρχει ανάγκη αξιολόγησης των πιθανών υδρολογικών επιπτώσεων στην απόκριση του μελλοντικού συστήματος, για παράδειγμα, διαχείριση της κλιματικής και εδαφικής αλλαγής. (Pechlivanidis et al., 2011)

Οι εφαρμογές των υδρολογικών μοντέλων ασχολούνται με μεγάλο εύρος αντικειμένων, το οποίο εξαρτάται από το πρόβλημα που πρέπει να λυθεί. Συγκεντρωτικά διάφορα πεδία με τα οποία ασχολούνται τα υδρολογικά μοντέλα είναι τα ακόλουθα:

- Βελτίωση στη θεμελιώδη κατανόηση των υφιστάμενων υδρολογικών συστημάτων και την αξιολόγηση των επιπτώσεων της αλλαγής (π.χ. στο κλίμα και την αλλαγή εδαφικάλυψης) στους υδάτινους πόρους.
- Ανάπτυξη νέων μοντέλων και βελτίωση των παλαιών μοντέλων για τις διαχειριστικές αποφάσεις σχετικά με την τρέχουσα και τη μελλοντική υδρολογία των λεκανών απορροής (π.χ. νερό υδροφόρου ορίζοντα, αποκατάσταση υγροτόπων, διαχείριση νερού άρδευσης, αποκατάσταση της ροής του ύδατος, αξιολόγηση της ποιότητας του νερού, και πρόβλεψη και διαχείριση των πλημμυρών).

Υπάρχουν διάφορες κατηγοριοποιήσεις μοντέλων. Εδώ θα εξετάσουμε τις κατηγορίες των μοντέλων ανάλογα με την δομή τους, τη χωρική κατανομή τους, τη χρονική κατανομή τους, τη στοχαστικότητα τους και το χρονικό τους βήμα.

Βάσει της δομής τους χωρίζονται σε μετρικά (metric), εννοιολογικά (conceptual), φυσικής βάσης (physic-based) και υβριδικά (hybrid). Το κύριο χαρακτηριστικό των μετρικών μοντέλων είναι ότι κατά κύριο λόγο βασίζονται στις παρατηρήσεις και επιδιώκουν να χαρακτηρίσουν την απόκριση του συστήματος από τα διαθέσιμα δεδομένα (Wheater et al., 1993). Έτσι η μετρική προσέγγιση είναι κατ' ουσία εμπειρική. Η απλότητα αυτών των μοντέλων τους επέτρεψε να εφαρμοστούν σχετικά εύκολα σε λεκάνες απορροής χωρίς μετρήσεις με περιφερειακή ανάλυση, που αφορούν (φειδωλές) ιδιότητες του μοντέλου για τη φυσικές και κλιματικές περιγραφές της λεκάνης απορροής. (Pechlivanidis et al., 2011).

Τα εννοιολογικά μοντέλα βασίζονται σε δύο κριτήρια: πρώτον, η δομή του μοντέλου προσδιορίζεται πριν από κάθε μοντελοποίηση, και δεύτερον, όχι όλες οι παράμετροι του μοντέλου έχουν άμεση φυσική ερμηνεία (Wheater et al., 1993). Ως εκ τούτου, τουλάχιστον μερικές παράμετροι του εννοιολογικού μοντέλου πρέπει να εκτιμηθούν μέσω της βαθμονόμησης έναντι στα δεδομένα παρατηρήσεων. Αυτός ο τύπος μοντέλου ποικίλλει σημαντικά σε πολυπλοκότητα και η δομή του μοντέλου τείνει να βασίζεται σε εκτεταμένη χρήση σχηματικών αποθηκών, οι οποίες

συνδυάζονται για να αντιπροσωπεύουν μια εννοιολογική άποψη των σημαντικών υδρολογικών χαρακτηριστικών. (Pechlivanidis et al., 2011)

Τα μοντέλα φυσικής βάσης παρουσιάζουν τα συστατικά των υδρολογικών διεργασιών όπως είναι η εξατμισοδιαπνοή, η διήθηση, η υπερχείλιση, και η ροή κορεσμένης και ακόρεστης ζώνης χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις της κίνησης. Γενικώς, οι εξισώσεις της κίνησης των συστατικών διεργασιών επιλύονται αριθμητικά χρησιμοποιώντας πεπερασμένες διαφορές, ωστόσο, αναλυτικές λύσεις μπορεί να υπάρχουν (Wheater et al., 1993). Θεωρητικά, τα μοντέλα φυσικής βάσης ορίζονται από τις εξ ολοκλήρου μετρήσιμες παραμέτρους και μπορούν να παρέχουν συνεχή προσομοίωση της απόκρισης απορροής χωρίς βαθμονόμηση (Beven, 2001). Τέτοια μοντέλα είναι μια ισχυρή συλλογή των σχετικών εξιδανικευμένων διεργασιών, αλλά εγείρει μια σειρά από σημαντικά προβλήματα. (Pechlivanidis et al., 2011)

Όσον αφορά τα υβριδικά μοντέλα, αν και αποτελούν ξεχωριστή κατηγορία, επί της ουσίας εμπεριέχουν στοιχεία από δύο τουλάχιστον από τις παραπάνω κατηγορίες. Παράδειγμα υβριδικού μοντέλου είναι και το SWAT, το οποίο είναι φυσικής βάσης με στοιχεία εννοιολογικού μοντέλου.

Τα μοντέλα βάσει της χωρικής παραμέτρου χωρίζονται σε ενιαία (lumped) και κατανεμημένα (distributed). Τα ενιαία μοντέλα συμπεριφέρονται έχοντας τη λεκάνη απορροής ως ενότητα, με μεταβλητές κατάστασης που αντιπροσωπεύουν μέσες τιμές σε όλη τη λεκάνη απορροής (Beven, 2001). Σε γενικές γραμμές ένα συγκεντρωτικό μοντέλο εκφράζεται με διαφορικές ή εμπειρικές αλγεβρικές εξισώσεις, χωρίς να λαμβάνει υπόψη τη μεταβλητότητα των διεργασιών, των εισροών, των οριακών συνθηκών και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του συστήματος (λεκάνη) (Singh, 1995). Τα κατανεμημένα μοντέλα κάνουν προβλέψεις που διανέμονται στο χώρο, με μεταβλητές κατάστασης που εκπροσωπούν τις τοπικές μέσες τιμές, χωρίζοντας την λεκάνη σε μια σειρά από στοιχεία (κάναβους) και την επίλυση των εξισώσεων για τις μεταβλητές κατάστασης που σχετίζονται με κάθε στοιχείο (Singh & Frevert, 2006). Τα κατανεμημένα μοντέλα, ως εκ τούτου είναι σε θέση σε κάποιο βαθμό, να λαμβάνουν υπόψη τη χωρική μεταβλητότητα

στις διεργασίες, τις εισροές, τις οριακές συνθήκες, και τα χαρακτηριστικά της λεκάνης. Ωστόσο, όλα τα μοντέλα χρησιμοποιούν κατανεμημένες μέσες μεταβλητές και παραμέτρους στο στοιχείο του Κάναθου, και συχνά οι παράμετροι αυτοί είναι ο μέσος όρος τέτοιων στοιχείων, κυρίως λόγω της διαθεσιμότητας των δεδομένων (Beven, 2001). Τέλος υπάρχουν και τα ημι-κατανεμημένα μοντέλα τα οποία συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα και των ενιαίων και των κατανεμημένων μοντέλων. (Pechlivanidis et al., 2011).

Βάση της στοχαστικότητας τους τα μοντέλα χωρίζονται σε προσδιοριστικά (deterministic) και στοχαστικά (stochastic). Τα μοντέλα μπορούν να χαρακτηριστούν ως ντετερμινιστικά όταν τα αποτελέσματα προσδιορίζονται μονοσήμαντα από τις γνωστές σχέσεις μεταξύ των συνθηκών και των δεδομένων. Τα ντετερμινιστικά μοντέλα παράγουν ένα αποτέλεσμα από μια προσομοίωση με ένα απλό σύνολο δεδομένων εισόδου και τις τιμές των παραμέτρων, και μια συγκεκριμένη τιμή εισόδου θα παράγει πάντα το ίδιο αποτέλεσμα, εάν οι τιμές των παραμέτρων διατηρούνται σταθερές. Τα στοχαστικά μοντέλα χρησιμοποιούν τυχαίες μεταβλητές για να εκπροσωπήσουν την αβεβαιότητα της διεργασίας και να παράγουν διαφορετικά αποτελέσματα από ένα σύνολο δεδομένων εισόδου και τιμές παραμέτρων όταν τρέχουν υπό «εξωτερικά φαινόμενες» ιδανικές συνθήκες (Beven, 2001). Ένα συγκεκριμένο σύνολο εισόδων θα παράγει μία έξοδο σύμφωνα με μια στατιστική κατανομή. Αυτό επιτρέπει κάποια αβεβαιότητα στην πιθανή έκβαση λόγω της αβεβαιότητας στις μεταβλητές εισόδου, οριακές συνθήκες και παράμετροι του μοντέλου (Pechlivanidis et al., 2011).

Τώρα αν κατηγοριοποιηθούν τα μοντέλα βάσης της χρονικής παραμέτρου, τότε έχουμε συνεχή μοντέλα (continuous) και μοντέλα μεμονωμένου γεγονότος (event based models). Η συνεχής προσομοίωση τυπικά θα λαμβάνει υπόψη μια χρονοσειρά βροχοπτώσεων, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει περισσότερες από μία περιπτώσεις καταιγίδας, ενώ τα μοντέλα μεμονωμένου γεγονότος θα λαμβάνουν υπόψη μόνο ένα συμβάν καταιγίδας.

Παρακάτω (πίνακας 2-3) παρατίθενται κάποια υδρολογικά μοντέλα καθώς και οι δημιουργοί τους:

Πίνακας 2-3 Διάφορα υδρολογικά μοντέλα πηγή:(“Science Library - Environmental Monitor”)

Πρόγραμμα	Δημιουργός
Anuga	Habili, Nariman
Avulsion A.k.a. Debouche	Hutton, Eric
CREST	Wang, Jiahu
Channel-Oscillation	Pelletier, Jon
DHSVM	DHSVM, Administrator
DLBRM	Croley, Thomas
DR3M	U.S., Geological Survey
FLDTA	Slingerland, Rudy
GEOtop	Rigon, Riccardo
GISS GCM ModelE	Schmidt, Gavin
GSFLOW	Markstrom, Steve
Glimmer-CISM	Hagdorn, Magnus
HSPF	Bicknell, Bob
HydroTrend	Kettner, Albert
LOADEST	Runkel, Rob
LandLab	Tucker, Greg
MFDrouting	Pelletier, Jon
MFDrouting-Successive	Pelletier, Jon
MIDAS	Slingerland, Rudy
MODFLOW	Barlow, Paul
Mrip	Gallagher, Edith
OTEQ	Runkel, Rob
OTIS	Runkel, Rob
PIHM	Duffy, Christopher

PRMS	Leavesley, George
ParFlow	Maxwell, Reed
PlIcart3d	Oliveira, Rafael
RHESSys	Tague, christina
SPARROW	Alexander, Richard
STVENANT	Slingerland, Rudy
SWAT	Arnold, Jeff
SWMM	Rossman, Lewis
TELEMAC	Hervouet, Jean-Michel
ThawLake1D	Matell, Nora
TopoFlow	Peckham, Scott
MAGIC	Ortel, T.W., and Martin, A., Jr.
BROOK	Federer, C. A. and D. Lash
ASWERS - Coninuous	Beasley et al.
MIKE - SHE	Refsgaard, Demetriou & Punthakey
AGNPS	Young et al.
SWIM	Krysanova
MT3D	Zheng
SURFER	Golden Software
TMWAM	Lam & Bobba et al.
ILWAS	Chen et al.
RAINS	Kamari
VIC	Lettenmaier, Dennis
WBM-WTM	Fekete, Balazs
WBMsed	Cohen, Sagy

Τέλος παρατίθενται συνοπτικά τα στάδια δημιουργίας ενός μοντέλου:

- Επιλογή τρόπου προσομοίωσης (Conceptualization)
- Κωδικοποίηση – Δημιουργία μοντέλου
- Βαθμονόμηση Μοντέλου (Model Calibration)
- Επαλήθευση Μοντέλου (Verification)
- Αξιοπιστία Μοντέλου (Validation)
- Σύγκριση προβλέψεων με δεδομένα στο μέλλον
- Ανάλυση ευαισθησίας (Sensitivity Analysis)
- Ανάλυση αβεβαιότητας (Uncertainty Analysis) (Nikolaidis, Modeling Notes)

Τα στάδια της βαθμονόμησης, της επαλήθευσης και της αξιοπιστίας του μοντέλου θα αναφερθούν εκτενέστερα παρακάτω.

2.2.3 Βαθμονόμηση, Επαλήθευση και Αξιοπιστία του Μοντέλου

Αρχικά καλό θα ήταν να τονιστεί ότι οι παράμετροι εισόδου θα πρέπει να παραμένουν μέσα σε ένα ρεαλιστικό εύρος αβεβαιότητας. Το πρώτο βήμα στη διαδικασία βαθμονόμησης και επαλήθευσης είναι ο προσδιορισμός των πλέον ευαίσθητων παραμέτρων για μια δεδομένη λεκάνη απορροής ή υπολεκάνη. Ο χρήστης καθορίζει ποιες μεταβλητές να προσαρμοστεί με βάση την κρίση των εμπειρογνομόνων ή σε ανάλυση ευαισθησίας. Η ανάλυση ευαισθησίας είναι η διαδικασία προσδιορισμού του ρυθμού μεταβολής της παραγωγής μοντέλων αναφορικά με τις αλλαγές στις εισροές του μοντέλου (παράμετροι). Είναι αναγκαίο να προσδιοριστούν οι βασικές παράμετροι και η ακρίβεια των παραμέτρων που

απαιτούνται για τη βαθμονόμηση (Ma et al., 2000). Με λίγα λόγια, αυτό το πρώτο βήμα βοηθάει στον προσδιορισμό των πρωταρχικών διεργασιών. Υπάρχουν δύο τύποι ανάλυσης ευαισθησίας: τοπική, αλλάζοντας τις τιμές μία κάθε φορά, και τη σφαιρική, αλλάζοντας όλες τις τιμές των παραμέτρων. Οι δύο αναλύσεις, ωστόσο, μπορεί να δώσουν διαφορετικά αποτελέσματα. Η ευαισθησία μίας παραμέτρου συχνά εξαρτάται από την αξία των άλλων σχετικών παραμέτρων. Ως εκ τούτου, το πρόβλημα την τοπική ανάλυση είναι ότι ποτέ δεν είναι γνωστές οι σωστές τιμές των άλλων παραμέτρων που έχουν καθοριστεί. Το μειονέκτημα της σφαιρικής ανάλυσης ευαισθησίας είναι ότι χρειάζεται ένα μεγάλο αριθμό των προσομοιώσεων. Και οι δύο διαδικασίες, εντούτοις, παρέχουν τη διορατικότητα της ευαισθησίας των παραμέτρων και είναι απαραίτητα βήματα για τη βαθμονόμηση του μοντέλου.(Arnold et al., 2012)

Το δεύτερο βήμα είναι η διαδικασία βαθμονόμησης. Η βαθμονόμηση είναι μια προσπάθεια για να παραμετροποιηθεί καλύτερα ένα μοντέλο για ένα σύνολο δεδομένων των τοπικών συνθηκών, μειώνοντας έτσι την αβεβαιότητα πρόβλεψης. Η βαθμονόμηση του μοντέλου γίνεται με την προσεκτική επιλογή των τιμών των παραμέτρων εισροής του μοντέλου (στο πλαίσιο των αντίστοιχων περιοχών αβεβαιότητας τους), συγκρίνοντας τις προβλέψεις του μοντέλου (έξοδος) για ένα δεδομένο σύνολο υποτιθέμενων συνθηκών με τα παρατηρούμενα δεδομένα των ιδίων συνθηκών. Το τελικό βήμα είναι η επαλήθευση για αυτό που μας ενδιαφέρει (απορροή, οι αποδόσεις των ιζημάτων, κ.λπ.) Η επαλήθευση του μοντέλου είναι η διαδικασία που αποδεικνύει ότι ένα συγκεκριμένο, για τη συγκεκριμένη τοποθεσία, μοντέλο είναι σε θέση να κάνει αρκετά ακριβείς προσομοιώσεις, αν και «αρκετά ακριβείς» μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τους στόχους του έργου (Refsgaard, 1997). Η επαλήθευση περιλαμβάνει το τρέξιμο ενός μοντέλου χρησιμοποιώντας παραμέτρους που προσδιορίστηκαν κατά τη διαδικασία βαθμονόμησης, και συγκρίνοντας τις προβλέψεις σε τα δεδομένα που παρατηρήθηκαν και δεν χρησιμοποιούνται για τη βαθμονόμηση. Σε γενικές γραμμές, μια καλή βαθμονόμηση και επαλήθευση του μοντέλου θα πρέπει να περιλαμβάνει: (1) τα δεδομένα παρατηρήσεων να περιλαμβάνουν τα υγρά, μέσα, και ξηρά έτη (Gan et al, 1997); (2) πολλαπλές τεχνικές αξιολόγησης (ASCE, 1993; Legates & McCabe,

1999; Boyle et al, 2000) (3) βαθμονόμηση όλων των συστατικών που πρέπει να αξιολογηθούν και (4) επαλήθευση ότι άλλες σημαντικές εκροές του μοντέλου είναι λογικές. Σε γενικές γραμμές, οι γραφικές και οι στατιστικές μέθοδοι με κάποια μορφή των αντικειμενικών στατιστικών κριτηρίων χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό, όταν το μοντέλο έχει βαθμονομηθεί και επικυρωθεί. Η βαθμονόμηση μπορεί να γίνει χειροκίνητα ή χρησιμοποιώντας εργαλεία αυτόματης βαθμονόμησης SWAT (van Griensven & Bauwens, 2003; Van Liew et al (2005), ή το SWAT-CUP (Abbaspour et al, 2007).(Arnold et al., 2012)

Η βαθμονόμηση και η επαλήθευση συνήθως πραγματοποιούνται με το διαχωρισμό των διαθέσιμων δεδομένων παρατηρήσεων σε δύο βάσεις δεδομένων: μία για τη βαθμονόμηση, και μία άλλη για την επαλήθευση. Τα δεδομένα συχνά διαχωρίζονται κατά χρονικές περιόδους, διασφαλίζοντας με προσοχή ότι τα δεδομένα του κλίματος χρησιμοποιούνται τόσο για τη βαθμονόμηση όσο και την επικύρωση δεν είναι ουσιαστικά διαφορετικά, δηλαδή, υγρή, μέτρια και ξηρά έτη συμβαίνουν σε αμφότερες τις περιόδους (Gan et al., 1997). Η βαθμονόμηση και η επαλήθευση συνήθως πραγματοποιείται με μια εκτενή σειρά από στατιστικές τεχνικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των υδρολογικών προβλέψεων και των προβλέψεων για τους ρύπους. Μέχρι στιγμής, τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα στατιστικά στοιχεία που αναφέρθηκαν για τη βαθμονόμηση και επικύρωση είναι οι r^2 και NSE. (Arnold et al., 2012) Παρακάτω ακολουθεί ένας πίνακας όπου βλέπουμε κατά πόσο ικανοποιητική είναι η βαθμονόμηση και η επαλήθευση του μοντέλου βάσει των τιμών που παίρνουν κάποια στατιστικά στοιχεία.

Σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα το μοντέλο είναι ικανοποιητικά βαθμονομημένο για $NSE > 0.50$, $RSR < 0.70$ και $PBIAS < 25\%$ κατ' απόλυτη τιμή ενώ αν οι τιμές των παραπάνω δεικτών είναι για το $RSR < 0.50$, για το $NSE > 0.75$ και για το $PBIAS < 10\%$ κατ' απόλυτη τιμή τότε η βαθμονόμηση θεωρείται πάρα πολύ καλή

Πίνακας 2-4 Αξιολόγηση βαθμονόμησης με βάση στατιστικούς δείκτες (Moriassi et al., 2007)

Performance Rating	RSR	NSE	Streamflow
Very good	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$	$0.75 < NSE \leq 1.00$	$PBIAS < \pm 10$
Good	$0.50 < RSR \leq 0.60$	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$
Satisfactory	$0.60 < RSR \leq 0.70$	$0.50 < NSE \leq 0.65$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$
Unsatisfactory	$RSR > 0.70$	$NSE \leq 0.50$	$PBIAS \geq \pm 25$

2.3 Γενικά στοιχεία για το SWAT

Το SWAT (Soil & Water Assessment Tool) είναι ένα μοντέλο το οποίο αναπτύχθηκε για να προβλέπει το αντίκτυπο τη διαχείρισης του εδάφους στο νερό, τα ιζήματα και τα γεωργικά παραγόμενα χημικά σε μεγάλα συγκροτήματα λεκανών με ποικίλα είδη εδαφών, χρήσεις γης και συνθήκες διαχείρισης σε μεγάλο βάθος χρόνου από την Υπηρεσία Γεωργικής Έρευνας των ΗΠΑ (USDA-ARS). (Neitsch et al., 2005) Κάποια χαρακτηριστικά του μοντέλου είναι:

- Είναι μοντέλο φυσικής βάσης. Αντί να ενσωματώνει εξισώσεις παλινδρόμησης για να περιγράψει τη σχέση μεταξύ των εισροών και των μεταβλητών εξόδου, το SWAT χρειάζεται συγκεκριμένες πληροφορίες για τον καιρό, τις ιδιότητες του εδάφους, την τοπογραφία, τη βλάστηση, και τις πρακτικές διαχείρισης της γης που συμβαίνουν στην λεκάνη απορροής. Οι φυσικές διεργασίες που σχετίζονται με την κίνηση του νερού, την κίνηση των ιζημάτων, την ανάπτυξη των καλλιεργειών, του θρεπτικού κύκλου, κλπ. Μοντελοποιούνται άμεσα από το SWAT που χρησιμοποιεί αυτά τα δεδομένα εισόδου. Τα οφέλη αυτής της προσέγγισης είναι:
 - λεκάνες απορροής χωρίς δεδομένα παρακολούθησης (π.χ. δεδομένα μετρητή ροής) μπορούν να μοντελοποιηθούν

- οι σχετικές επιπτώσεις των εναλλακτικών δεδομένων εισόδου (π.χ. αλλαγές στη διαχείριση πρακτικών, το κλίμα, βλάστηση, κλπ.) σχετικά με την ποιότητα του νερού ή άλλων μεταβλητών του ενδιαφέροντος μπορούν να ποσοτικοποιηθούν
- Χρησιμοποιεί άμεσα διαθέσιμες τιμές για είσοδο. Ενώ το SWAT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη πιο εξειδικευμένων διεργασιών, όπως η μεταφορά βακτηρίων, τα ελάχιστα στοιχεία που απαιτούνται για να κάνει ένα τρέξιμο είναι συνήθως διαθέσιμα από κυβερνητικούς οργανισμούς
- Είναι υπολογιστικά αποδοτική. Η προσομοίωση πολύ μεγάλων λεκανών ή μια ποικιλία από στρατηγικές διαχείρισης μπορούν να πραγματοποιηθούν χωρίς υπερβολική επένδυση χρόνου ή χρήματος.
- Επιτρέπει στους χρήστες να μελετήσουν μακροπρόθεσμες επιπτώσεις. Πολλά από τα προβλήματα που σήμερα αντιμετωπίζονται από τους χρήστες περιλάμβαναν τη βαθμιαία συσσώρευση των ρύπων και τις επιπτώσεις στα κατάντη υδάτινα σώματα. Για να μελετηθούν αυτά τα είδη των προβλημάτων, θα πρέπει να εξεταστούν τα αποτελέσματα από πολλά τρεξίματα με τα αποτελέσματα εξόδου αρκετών δεκαετιών. (Neitsch et al., 2005)

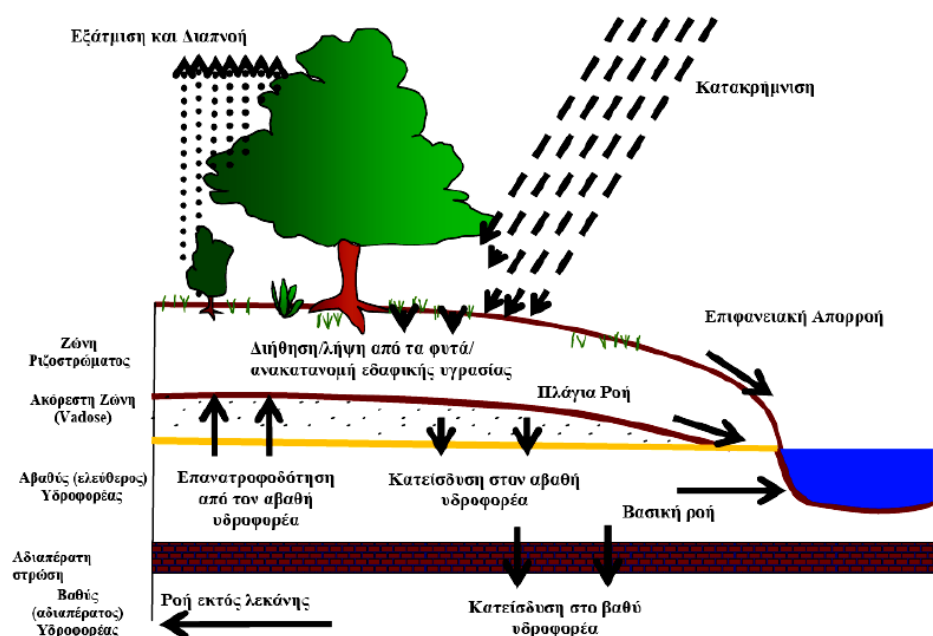
Το SWAT είναι ένα συνεχές μοντέλο και δεν έχει σχεδιαστεί να προσομοιώνει αναλυτικά μεμονωμένα συμβάντα πλημμυρών.

Το SWAT επιτρέπει σε έναν αριθμό διαφορετικών φυσικών διεργασιών να προσομοιωθούν σε μια λεκάνη απορροής. Για τους σκοπούς μοντελοποίησης, μια λεκάνη απορροής μπορεί να χωριστεί σε έναν αριθμό υπολεκανών. Η χρήση των υπολεκανών σε μια προσομοίωση είναι ιδιαίτερα ευεργετική όταν οι διαφορετικές περιοχές της λεκάνης απορροής κυριαρχούνται από τις χρήσεις γης ή εδαφών αρκετά ανόμοια στις ιδιότητες στον αντίκτυπο στην υδρολογία. Με το διαχωρισμό της λεκάνης σε υπολεκάνες, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αναφερθεί διαφορετικές περιοχές της λεκάνης. (Neitsch et al., 2005)

Οι πληροφορίες εισόδου για κάθε υπολεκάνη είναι ομαδοποιημένες ή οργανωμένες στις ακόλουθες κατηγορίες: κλιματικές, υδρολογικές μονάδες αντιμετώπισης ή HRUs, λίμνες / υγροτόπων, των υπόγειων υδάτων, και της κύριας

ροής, ή μέχρι, την αποστράγγιση του υπολεκάνη. Οι HRUs είναι περιοχές της γης εντός της υπολεκάνης που αποτελούνται από διαφορετικά είδη στην κάλυψη της γης, στο έδαφος, και συνδυασμούς διαχείρισης. (Neitsch et al., 2005)

Ανεξάρτητα από το τι είδους πρόβλημα μελετήθηκε με το SWAT, θα πρέπει να τονιστεί ότι το υδατικό ισοζύγιο (water balance) είναι η κινητήρια δύναμη πίσω από όλα όσα συμβαίνουν στην λεκάνη απορροής. Για να προβλεφθεί με ακρίβεια η κίνηση των ιζημάτων, φυτοφαρμάκων ή τα θρεπτικά συστατικά, ο υδρολογικός κύκλος, όπως προσομοιώνεται από το μοντέλο θα πρέπει να είναι σύμφωνος με ό,τι συμβαίνει στην λεκάνη απορροής. Η προσομοίωση της υδρολογίας μιας λεκάνης απορροής μπορεί να χωριστεί σε δύο μεγάλα τμήματα. Η πρώτη κατηγορία είναι η φάση του εδάφους του υδρολογικού κύκλου, που απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα. Η φάση του εδάφους του υδρολογικού κύκλου ελέγχει την ποσότητα του νερού, των ιζημάτων, των φορτίων των θρεπτικών και των φυτοφαρμάκων στο κύριο κανάλι σε κάθε υπολεκάνη. Η δεύτερη κατηγορία είναι η υδατική φάση ή κίνησης του νερού στον υδρολογικό κύκλο, η οποία μπορεί να οριστεί ως η κίνηση του νερού, ιζημάτων, κλπ. μέσω του δικτύου καναλιών της λεκάνης προς την έξοδο.



Εικόνα 2-6 Ο υδρολογικός κύκλος του SWAT Πηγή:(Neitsch et al., 2005))

Για την προσομοίωση του υδρολογικού κύκλου η σχέση που δίνει το υδατικό ισοζύγιο στο SWAT είναι :

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw})$$

Όπου:

SW_t : η τελική περιεκτικότητα του εδάφους (mm H₂O)

SW_0 : η αρχική περιεκτικότητα του εδάφους (mm H₂O) την μέρα i

R_{day} : η ποσότητα της βροχόπτωσης (mm H₂O) την μέρα i

Q_{surf} : η ποσότητα της επιφανειακής απορροής (mm H₂O) την μέρα i

E_a : η ποσότητα της εξατμισοδιαπνοής (mm H₂O) την μέρα i

W_{seep} : η ποσότητα του νερού που εισέρχεται στην ζώνη διήθησης από το προφίλ του εδάφους (mm H₂O) την μέρα i

Q_{gw} : η ποσότητα της επιστροφής της ροής (mm H₂O) την μέρα i

t: οι μέρες

Η υποδιαίρεση της λεκάνης επιτρέπει στο μοντέλο να αντανακλά τις διαφορές στην εξατμισοδιαπνοή για διάφορες καλλιέργειες και εδάφη. Η απορροή προβλέπεται ξεχωριστά για κάθε HRU και δρομολογούνται για να ληφθεί η συνολική απορροή της λεκάνης. Αυτό αυξάνει την ακρίβεια και δίνει μια πολύ καλύτερη φυσική περιγραφή του υδατικού ισοζυγίου.

Το κλίμα μιας λεκάνης απορροής παρέχει τις εισόδους υγρασίας και ενέργειας που ελέγχουν το ισοζύγιο του νερού και καθορίζουν τη σχετική σημασία των διαφόρων συνιστωσών του υδρολογικού κύκλου. Οι κλιματικές μεταβλητές που απαιτούνται από το SWAT αποτελούνται από την ημερήσια βροχόπτωση, μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία αέρα, την ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητα ανέμου και τη σχετική υγρασία. Το μοντέλο αυτό επιτρέπει τιμές για τις καθημερινές βροχοπτώσεις, μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες του αέρα, την ηλιακή

ακτινοβολία, ταχύτητα ανέμου και τη σχετική υγρασία να εισαχθούν από τα αρχεία των παρατηρούμενων δεδομένων ή να δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Το μοντέλο μπορεί να δημιουργήσει ένα σύνολο δεδομένων καιρού για κάθε υπολεκάνη. Οι τιμές για κάθε μία υπολεκάνη θα παραχθούν ανεξάρτητα και δεν θα υπάρχει χωρική συσχέτιση των παραγόμενων τιμών μεταξύ των διαφόρων υπολεκανών.

Παρακάτω θα αναφερθούν διάφορες χρήσεις και εφαρμογές του μοντέλου SWAT. Η συνηθέστερη χρήση του SWAT είναι η μελέτη της ανταπόκρισης της υδρολογίας των λεκανών απορροών σε διάφορα σενάρια (π.χ. κλιματικά) όσον αφορά την ποιότητα ή και την ποσότητα του νερού μετά από κάποια χρόνια είτε πρόκειται για μικρότερους ποταμούς και λίμνες είτε για τεράστιες εκτάσεις (π.χ. το δυτικό τμήμα της αφρικανικής ηπείρου) σε όλα τα μήκη και πλάτη του κόσμου. Για παράδειγμα έχουμε την εκτίμηση της ποσότητας του πόσιμου νερού της δυτικής Αφρικής (Schuol et al., 2008), τη μοντελοποίηση σημειακών και διάχυτων πηγών ρύπανσης λόγω των νιτρικών σε αγροτική περιοχή της Γερμανίας (Lam et al., 2010), και την υδρολογική ανταπόκριση σε σενάρια κλιματικών αλλαγών μεγάλων λιμνών στις βόρειες ΗΠΑ (Wu & Johnston, 2007) με τη βοήθεια του SWAT.

Το SWAT έχει επίσης χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση ευαισθησίας της υδρολογίας αλλά και της χρήσης εντομοκτόνων στο Βέλγιο (Holvoet et al., 2005), στη μελέτη της υδρολογίας, των ιζημάτων αλλά και του οργανικού άνθρακα σε αγροτική περιοχή της νοτιοδυτικής Γαλλίας (Oeurng et al., 2011) αλλά και στην προσπάθεια μείωσης μη σημειακών πηγών με πρακτικές βέλτιστες διαχείρισης (Best Management Practices, BMPs) στη Νότια Κορέα (Lee et al., 2010).

Στη Γερμανία, πάλι, μελετήθηκε με τη βοήθεια του SWAT η επίδραση που θα είχε στην ποσότητα αλλά και στην ποιότητα του νερού το σενάριο εναλλακτικής διαχείρισης των υδατικών πόρων (Ullrich & Volk, 2009), ενώ στο Βέλγιο μελετήθηκε η ευαισθησία του SWAT στις χρήσεις γης και στα εδάφη (Romanowicz et al., 2005). Τέλος στη χώρα μας το SWAT χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη της υδρολογίας και της ποιότητας των υδάτων του Κόσυνθου ποταμού (Pisinaras et al., 2010). Επίσης το μοντέλο SWAT τροποποιήθηκε για να προσομοιώσει την υδρολογική και χημική

απόκριση των καρστικών συστημάτων και την εκτίμηση των επιπτώσεων της διαχείρισης της χρήσης γης και την αλλαγή του κλίματος της Μεσογείου μιας λεκάνης απορροής στην Κρήτη και συγκεκριμένα στον Κουλιάρη (Nikolaidis et al., 2012).

Όσον αφορά την Τσεχία το SWAT δεν είναι ευρέως χρησιμοποιούμενο. Σε μία δημοσίευση (Kliment et al., 2008) χρησιμοποιήθηκε το SWAT σε συνδυασμό με το μοντέλο AnnAGNPS για τη μελέτη των ιζημάτων και της διάβρωσης στον ποταμό Blanka στα νοτιοδυτικά της επαρχίας της Βοημίας στην Τσεχία.

Οι μελέτες που έχουν γίνει, αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα του μοντέλου κυρίως στην πρόβλεψη τόσο των υδρολογικών διεργασιών όσο και των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα όσον αφορά και στα θρεπτικά.

2.4 Αποτελέσματα παλαιότερων μοντελοποιήσεων στη Lysina

2.4.1 Γενικά

Η Lysina είναι μια περιοχή που αν μη τι άλλο έχει μελετηθεί εκτενέστατα. Η Lysina είναι στο τσεχικό δίκτυο μικρών δασικών λεκανών απορροής GEOMON (Fottová & Skořepová, 1998; Oulehle & McDowell, 2008) και στο Διεθνές δίκτυο Μακροπρόθεσμων Οικολογικών Ερευνών (Czech Iter, 2011). Επιπλέον, η Lysina είναι μία από τις δύο τοποθεσίες στην Τσεχία μέσα στο διεθνές δίκτυο δασικών τοποθεσιών που περιλαμβάνει το διεθνές πρόγραμμα συνεργασίας - ολοκληρωμένης παρακολούθησης (ICP IM; Bringmark et al, 2009), και είναι επίσης μια από τις οκτώ τοποθεσίες της Τσεχίας στο διεθνές πρόγραμμα συνεργασίας - αξιολόγησης και παρακολούθησης των επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα ποτάμια και στις λίμνες (ICP Waters), και οι δύο διοργανώθηκαν στο πλαίσιο της Οικονομικής Επιτροπής για την Ευρώπη των Ηνωμένων Εθνών. Πρόσφατα, Η Lysina έγινε μια από τις τέσσερις κρίσιμες Παρατηρητήριες Ζώνες (Anderson et al,

2008). της Ευρώπης στο πλαίσιο του έργου της Ευρωπαϊκής Επιτροπής SoilTrEC (Banwart, 2011; Banwart et al, 2011, (“SoilTrEC Project”).).

2.4.2 Παλαιότερη μοντελοποίηση της Lysina

Η Lysina είναι μία περιοχή η οποία λόγω του περιβαλλοντικού και όχι μόνο ενδιαφέροντος που τη διέπει έχει μελετηθεί πολλές φορές. Έχει μελετηθεί ως προς την υδρολογία της, τη χημεία της, το έδαφος της, τα πετρώματα της ακόμα και για την ανάπτυξη δάσους. Δεν είναι και λίγες οι φορές που επιλέχθηκε κάποιο μοντέλο για να μελετηθεί η λεκάνη απορροής της Lysina με κύριο μέλημα να προβλέψουν τη μελλοντική κατάστασή της με τη βοήθεια κάποιων σεναρίων. Παρακάτω έχουμε κάποιες περιπτώσεις παλιότερης μοντελοποίησης της Lysina.

Η ανάπτυξη δασών, η υδρολογική και βιογεωχημική διαδικασία με έμφαση στην ανακύκλωση στοιχείων σε δασικά ή παρακείμενα υδατικά οικοσυστήματα προσομοιώθηκαν για τη Lysina με τη βοήθεια του μοντέλου PnET-BGC/CHESS. Η ανάπτυξη δασών, η υδρολογία και η βιογεωχημεία της λεκάνης απορροής προσομοιώθηκαν για τα έτη 1550-2050. Οι προσομοιωμένες τιμές των SO_4^{2-} , F^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Si και μονομερούς Al ήταν παρόμοιες με τις συγκεντρώσεις στη ροή του ποταμού που είχαν μετρηθεί την περίοδο 1990-1994. Αντίθετα, η πρόβλεψη ήταν μεγαλύτερη του αναμενομένου για τα H^+ , Cl^- , αδιάλυτου οργανικού άνθρακα (DOC), NO_3 και NH_4 . Σε σενάριο με μείωση εισροής του S κατά 67% στα έτη 1991-1994 οι τιμές στα έτη 1995-2050 έδειξαν μείωση 2.5% στον κορεσμό βάσης του εδάφους. Με μείωση 90% του S παρατηρήθηκε αύξηση στον κορεσμό βάσης του εδάφους μετά το 2030. Τέλος σε σενάριο με αυξημένη εναπόθεση S έδειξε εκρόφιση του προηγούμενως αποθηκευμένου S στο νερό αποστράγγισης που καθυστέρησαν την ανάκαμψη από τις εισροές των όξινων εναποθέσεων. (Krátn, et al., 1999)

Το γεωχημικό μοντέλο MAGIC εφαρμόστηκε για να υπολογίσει τη χημεία του ύδατος ροής και εδάφους της Lysina για τα έτη 1851-2030. Η συνολική

εναπόθεση θείου στη λεκάνη απορροής ήταν 164 meq/m^2 το 1991, αλλά μειώθηκε στα 52 meq/m^2 ως το 2000. Παρόλο που οι εκπομπές SO_2 μειώθηκαν κατά 90% σε σύγκριση με τη δεκαετία του '80, η αποκατάσταση της όξυνσης ήταν μικρή την περίοδο 1990-2000. Το pH του ρυακιού αυξήθηκε ελάχιστα (από 3.92 στα 4.07), ακόμα και αν η συγκέντρωση του SO_4 μειώθηκε από 568 meq/l (1990) στα 232 meq/l (2000). Τα οργανικά οξέα έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση του ύδατος ροής. Σύμφωνα με την πρόβλεψη του μοντέλου χρησιμοποιώντας την εναπόθεση που μετρήθηκε μεταξύ 1999-2000, το pH του ύδατος ροής θα αυξηθεί στο 4.3 και ο κορεσμός εδάφους θα αυξηθεί στο 6.2 ως το 2030 (από 5.7 το 2002). Το pH προβιομηχανικής εποχής εκτιμάται στο 5.5 και ο κορεσμός στο έδαφος 24.7%. Η απώλεια βασικών κατιόντων (Ca, Mg, Na, K) προκλήθηκε κυρίως λόγω της ατμοσφαιρικής οξύτητας, αλλά και της εντατικής δασοπονίας ήταν υπεύθυνη για το ένα τρίτο περίπου της καθαρής απώλειας κατιόντων βάσης από τη συσσώρευση στην παραγόμενη βιομάζα. Συμπέρασμα είναι, ότι σοβαρά ζημιωμένες τοποθεσίες, υπό συνεχή πίεση από τη δασοκομία, δεν θα επιστρέψουν σε καλή περιβαλλοντική κατάσταση στο εγγύς μέλλον (μπορεί και ποτέ), όταν η εισροή οξέος από την εναπόθεση μειώνεται μόνο εν μέρει. (Hruška et al., 2002).

Σε μια άλλη δημοσίευση το έδαφος και η σύστασή του προσομοιώθηκαν από ένα δυναμικό χημικό πολλαπλών στρωμάτων εδάφους μοντέλο, το SAFE. Οι μοντελοποιημένες συστάσεις εδάφους και ιδιότητες συγκρίθηκαν με μηνιαίες μετρήσεις διάρκειας μιας δεκαετίας για δεδομένα σύστασης εδάφους σε βάθη 5, 15, 20 και 80 cm. Οι υψηλότερες τιμές της εναποθέσεις που έχουν παρατηρηθεί για τις ενώσεις S και N προκάλεσαν σημαντική μείωση στον κορεσμό του εδάφους και σοβαρές αλλαγές στη χημεία της σύστασης του εδάφους. Από το 1990 και μετά όμως οι εναποθέσεις ενώσεων S και N μειώθηκαν λόγω της μείωσης εκπομπών S. Το SAFE προέβλεψε αύξηση στον κορεσμό βάσης στα στρώματα $\text{O}_i + \text{O}_e$ και O_a , από 36% και 18% το 1994 σε 50% και 22% το 2004, αντίστοιχα. Απ' την άλλη όμως στους βαθύτερους ορίζοντες B και C, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν την κύρια μάζα του εδάφους της Lysina,) ο κορεσμός βάσης μειώθηκε (ο B από 4% το 1994 στα 3% το 2004 και ο C από 4% το 1994 στα 2% το 2004). Οι μετρούμενες τιμές του κορεσμού βάσης από το έτος 2004 ταιριάζει στα μοντελοποιημένα αποτελέσματα της

ανάπτυξης κορεσμού βάσης της λεκάνης απορροής της Lysina. Αν η ατμοσφαιρική εναπόθεση μείνει στα επίπεδα του 2006, η προβλεπόμενη τιμή για τον κορεσμό βάσης στους ορίζοντες B και C για το έτος 2100 θα αυξηθεί περίπου 2%, δηλαδή 4.6% και 3.8 αντίστοιχα. Η αυξανόμενη μοριακή αναλογία $Bc / Al [(Ca + Mg + K) / Al]$ στην εδαφική σύσταση των Oi + Oe, OA και E οριζόντων κατά τη διάρκεια του πρώτου μισού του 21ου αιώνα αντιπροσωπεύει την ανάκαμψη στα πρώτα 20 cm του εδάφους, μόνο. Αυτή η αλλαγή μπορεί να έχει θετική επίδραση στην κατάσταση της υγείας των Ερυθρελάτων με μικρό μήκος ριζών. Η αναλογία Bc / Al στη σύσταση εδάφους στην κύρια μάζα του (ορίζοντες B και C, θα παραμείνει κάτω από την κρίσιμη τιμή (<1), κατά το πρώτο μισό του 21ου αιώνα. Στη λεκάνη Lysina, οι τιμές του λόγου Bc / Al προβλέπεται να αυξηθούν πάνω από την κρίσιμη τιμή (<1) σε διαλύματα των οριζόντων B και C για τα έτη 2050 και 2060, αντίστοιχα. (Navrátil et al., 2007)

Σκοπός μιας άλλης μελέτης ήταν η εκτίμηση της αλλαγής του υδατικού ισοζυγίου καθώς και της χημείας του νερού ροής, βάσει διαφορετικών σεναρίων αλλαγής κλίματος. Η απορροή για το έτος 2070 και η χημεία της ροής του νερού για την περίοδο 1860-2070 προσομοιώθηκαν από τα μοντέλα Brook90 και MAGIC, αντίστοιχα. Η απορροή θα αλλάξει από 450mm ανά έτος (1990-2006) σε 320-402mm ανά έτος για το έτος 2070, σύμφωνα με τις προσομοιώσεις του Brook90 με bias-corrected τοπικό κλιματικό μοντέλο (RCAO) δεδομένων με σενάριο εκπομπών A2. Η μέλλοντική συγκέντρωση SO_4^{2-} στη ροή του ποταμού θα διατηρηθεί στο σημερινό επίπεδο των περίπου 90 meq / L (2008-2009) στην περίπτωση των ελάχιστων ή καμίας αλλαγής στην απορροή, ή θα αυξηθούν κατά 10-30%, ως αποτέλεσμα της προβλεπόμενης μείωσης της απορροής. Η αλλαγή στην απορροή θα αυξήσει τη συγκέντρωση των κατιόντων βάσεων σε παρόμοιο μέγεθος σε σχέση με τη μετρούμενη 160 meq / L (2008 - 2009). Σύμφωνα με τα δύο σενάρια, η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στο pH θα είναι μικρή και θα οδηγούσε σε μικρή περαιτέρω αύξηση της οξύτητας του νερού ροής σε σχέση με τη μετρούμενη τιμή 4.2 (2008-2009). Συμπέρασμα, η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη χημεία θα είναι μικρή σε σύγκριση με την επίδραση της ατμοσφαιρικής εναπόθεσης οξέος. Η

κατάσταση του περιβάλλοντος στο ρεύμα πιθανότατα θα παραμείνει μη ικανοποιητική έως το 2070.(Benčoková et al., 2011)

Μια άλλη έρευνα αποσκοπούσε στο να μελετήσει το αντίκτυπο που θα είχε η αναμενόμενη παγκόσμια κλιματική αλλαγή στη Lysina. Για την πρόβλεψη των υδρολογικών μοτίβων για την περίοδο 2071-2100, οι έξοδοι από 2 μοντέλα γενικής κυκλοφορίας, HadAM3H και ECHAM4/OPYC3, υποβαθμίστηκαν σε 3 τοπικά κλιματικά μοντέλα (RCM, RCAO, CHRM, HIRHAM) υπό την A2 και B2 σενάρια εκπομπών (Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή ειδική έκθεση για τα σενάρια εκπομπών). Διορθωμένα ημερήσια αποτελέσματα του RCM χρησιμοποιήθηκαν σε συνδυασμό με το υδρολογικό μοντέλο Brook90. Η ετήσια απορροή προβλέπεται να μειωθεί κατά 10 έως 30%, και οι επιπτώσεις για την κατανομή των μηνιαίων ροών αναμένεται να είναι σημαντικές, με τη ροή των εποχών καλοκαίρι-φθινόπωρο να έχουν μειώσεις από 30 έως 95%, και οι αυξήσεις τον χειμώνα κυμαίνονται έως και περίπου 40% σε σύγκριση με μέση εκκένωση για την περίοδο 1967-1990. Οι μέσες ημερήσιες ροές εκτιμάται ότι θα μειωθούν κατά περίπου 70% από τον Αύγουστο έως το Νοέμβριο. Οι αλλαγές αυτές θα έχουν σοβαρές οικολογικές συνέπειες δεδομένου ότι τα ρεύματα θα μπορούσαν τακτικά να ξεραίνονται για μικρές χρονικές περιόδους.(Bencokova et al., 2011).

3 Περιγραφή δεδομένων

Στο σημείο αυτό θα γίνει περιγραφή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν τόσο για το στήσιμο του μετεωρολογικού σταθμού στο μοντέλο όσο και των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για σύγκριση με τις τιμές εξόδου του μοντέλου ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη βαθμονόμηση.

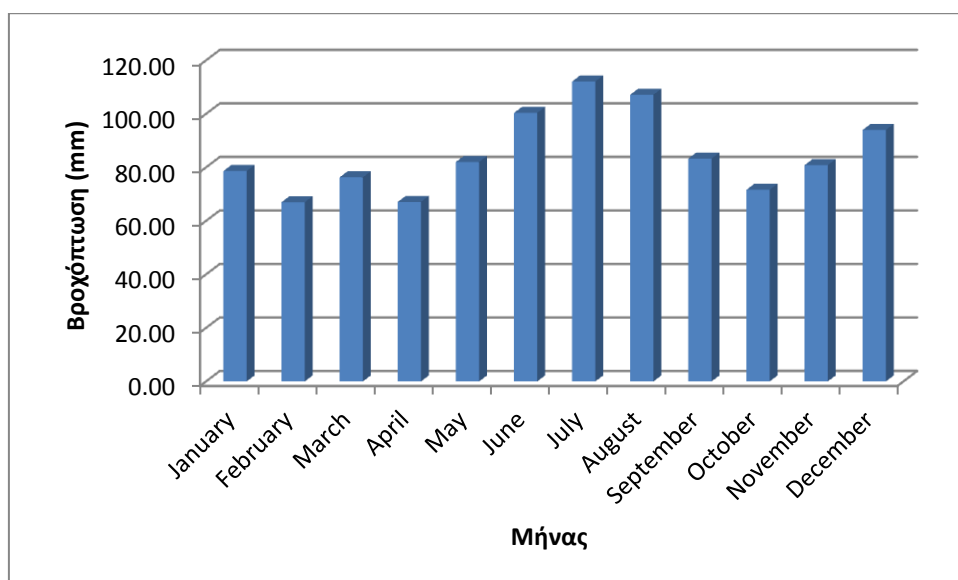
3.1 Βροχόπτωση

Η κατακρήμνιση είναι το νερό είτε σε στερεή ή υγρή μορφή που πέφτει από την ατμόσφαιρα της Γης. Κύριες μορφές της ατμοσφαιρική κατακρήμνιση περιλαμβάνουν τη βροχή, το χιόνι, και το χαλάζι και μπορεί τελικά να συμβεί, όταν ο αέρας ανυψώνεται στην ατμόσφαιρα, διαστέλλεται και ψύχεται. Ο δροσερός αέρας δεν μπορεί να κρατήσει πολύ νερό σε μορφή ατμού αντίθετα με το θερμό αέρα, και μπορεί τελικά να συμβεί η συμπύκνωση των υδρατμών σε σταγονίδια ή κρυστάλλους πάγου. Εάν αυτά τα σταγονίδια ή κρύσταλλοι συνεχίζουν να αυξάνονται σε μεγάλα μεγέθη, θα είναι αρκετά βαριά να πέσουν στην επιφάνεια της γης

Η γη είναι μοναδική στο ηλιακό μας σύστημα στο ότι περιέχει νερό, το οποίο είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της ζωής όπως την ξέρουμε. Το νερό που πέφτει στο έδαφος, ως ατμοσφαιρική κατακρήμνιση είναι εξαιρετικά σημαντικό για τον υδρολογικό κύκλο, την αλληλουχία των γεγονότων που κινούν το νερό από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της γης και πάλι πίσω. Μέρος της ατμοσφαιρική κατακρήμνιση πέφτει απευθείας στους ωκεανούς, αλλά και την ατμοσφαιρική κατακρήμνιση που πέφτει στη γη μεταφέρεται στους ωκεανούς μέσω των ποταμών ή υπόγεια στους υπόγειους υδροφορείς. Το νερό που αποθηκεύεται σε αυτά τα διαπερατά πετρώματα μπορεί να χρειαστεί χιλιάδες χρόνια για να φτάσει στη θάλασσα. Επίσης το νερό αποθηκεύεται σε δεξαμενές, όπως είναι οι λίμνες και οι πολικοί πάγοι, αλλά περίπου το 97% του νερού της γης περιέχεται στους ωκεανούς.

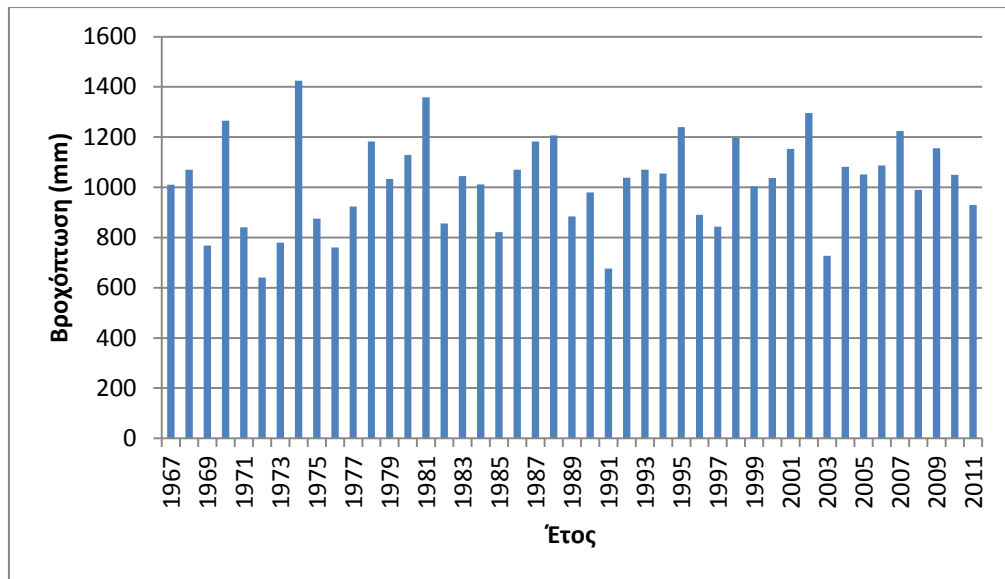
Η ενέργεια του ήλιου θερμαίνει το νερό και μπορεί τελικά να το εξατμίσει από την επιφάνεια του ωκεανού. Η εξάτμιση υπερβαίνει την ατμοσφαιρική κατακρήμνιση πάνω από τους ωκεανούς, ενώ η ατμοσφαιρική κατακρήμνιση υπερβαίνει την εξάτμιση πάνω από χερσαίες μάζες. Οι οριζόντιες κινήσεις του αέρα μπορεί να μεταφέρουν το νερό που εξατμίζεται σε περιοχές όπου τα σύννεφα και την ατμοσφαιρική κατακρήμνιση εν συνεχεία σχηματίζονται, ολοκληρώνοντας τον κύκλο που μπορεί στη συνέχεια να αρχίσει και πάλι.

Για την υπό εξέταση λεκάνη λήφθηκαν τα βροχομετρικά δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό του Mariánské Lázně αλλά λόγω του ότι η Lysina έχει μεγαλύτερο υψόμετρο και λόγω της μεταξύ τους απόστασης οι τιμές της βροχόπτωσης προσαρμόστηκαν για τις ανάγκες της υπό εξέταση περιοχής.



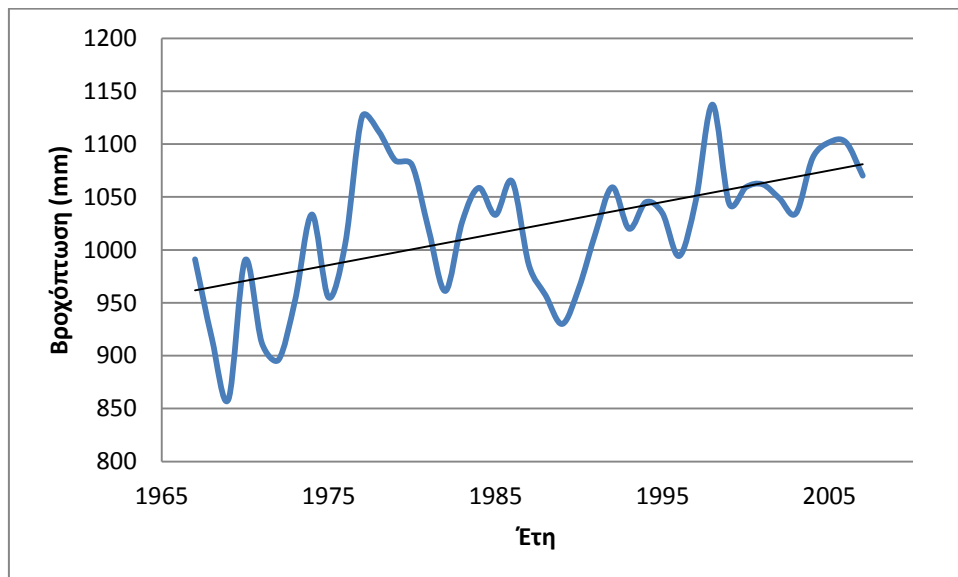
Γράφημα 3-1 Μέση βροχόπτωση ανά μήνα για τα έτη 1967-2011

Όπως παρατηρείται στο Γράφημα 3-1 τη μεγαλύτερη κατακρήμνιση με τη μορφή βροχόπτωσης την έχουμε κατά τη θερινή περίοδο με τη μέγιστη μέση μηνιαία τιμή για τα έτη 1967-2011 να παρατηρείται το μήνα Ιούλιο και να είναι ίση 112 mm.



Γράφημα 3-2 Μέση βροχόπτωση ανά έτος

Στο Γράφημα 3-2 παρατηρείται ότι από χρόνο σε χρόνο παρατηρείται μεγάλη διακύμανση όσον αφορά τη βροχόπτωση. Η χρόνια με τη μεγαλύτερη βροχόπτωση είναι το 1974 ενώ με τη μικρότερη το 1972. Όμως δεν μπορούν να βγουν ασφαλή συμπεράσματα για τις τάσεις της βροχής μελετώντας κάθε χρονιά ξεχωριστά.



Γράφημα 3-3 Σταθμισμένη μέση βροχόπτωση ανά πενταετία

Για να βγουν ασφαλέστερα συμπεράσματα υπολογίσαμε τις σταθμισμένες μέσες τιμές της βροχόπτωσης ανά πενταετία ξεκινώντας από την 5ετία 1967-1971.

Όπως βλέπουμε οι βροχοπτώσεις έχουν αυξανόμενη τάση στο πέρας του χρόνου και η εναλλαγή μεταξύ ξηρών και υγρών περιόδων είναι περιοδική.

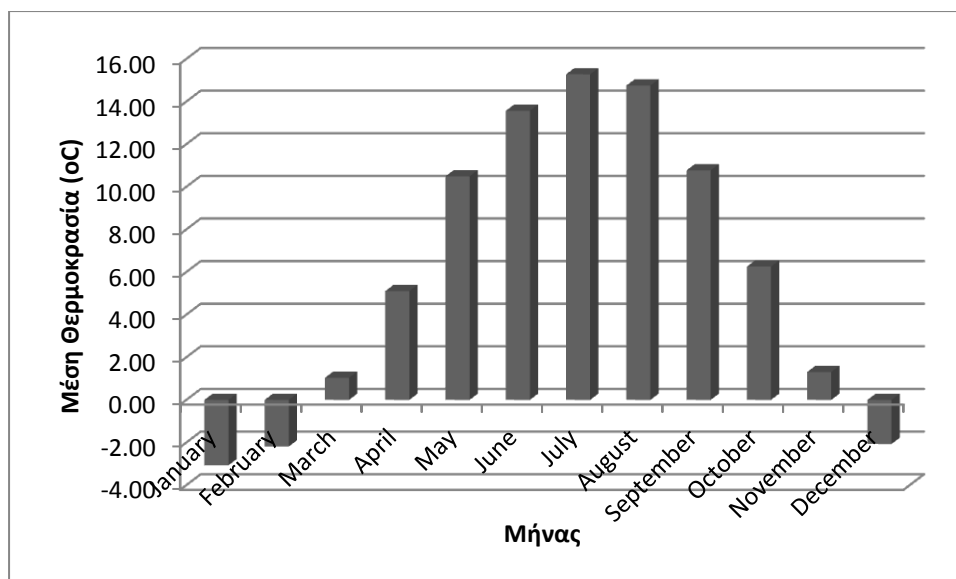
3.2 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία του αέρα αποτελεί μέτρο του πόσο ζεστός ή κρύος είναι ο αέρας. Είναι η πιο συχνά μετρούμενη μετεωρολογική παράμετρος. Πιο συγκεκριμένα, η θερμοκρασία περιγράφει την κινητική ενέργεια των αερίων που συνθέτουν τον αέρα. Καθώς τα μόρια του αερίου κινούνται πιο γρήγορα, η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται

Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή των φυτών και των ζώων. Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει επίσης σχεδόν όλες τις άλλες κλιματολογικές παραμέτρους. Για παράδειγμα, η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει:

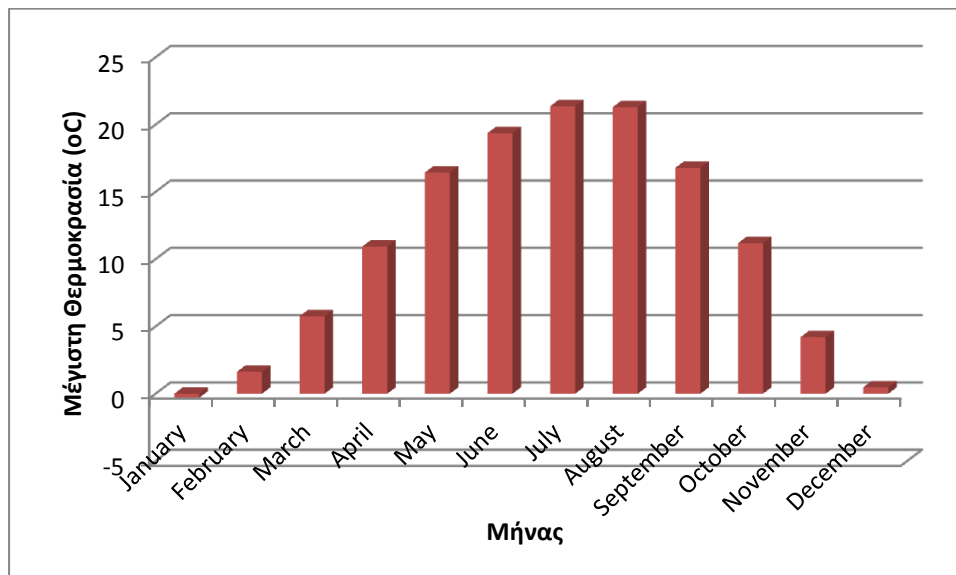
- το ρυθμό εξάτμισης
- τη σχετική υγρασία
- την ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου
- Τύποι ατμοσφαιρικής κατακρήμνισης, όπως το αν θα ρίξει βροχή, χιόνι, χαλάζι ή χιονόνερο.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι μέσες, οι μέσες μέγιστες και οι μέσες ελάχιστες τιμές για το χρονικό διάστημα 1967-2011



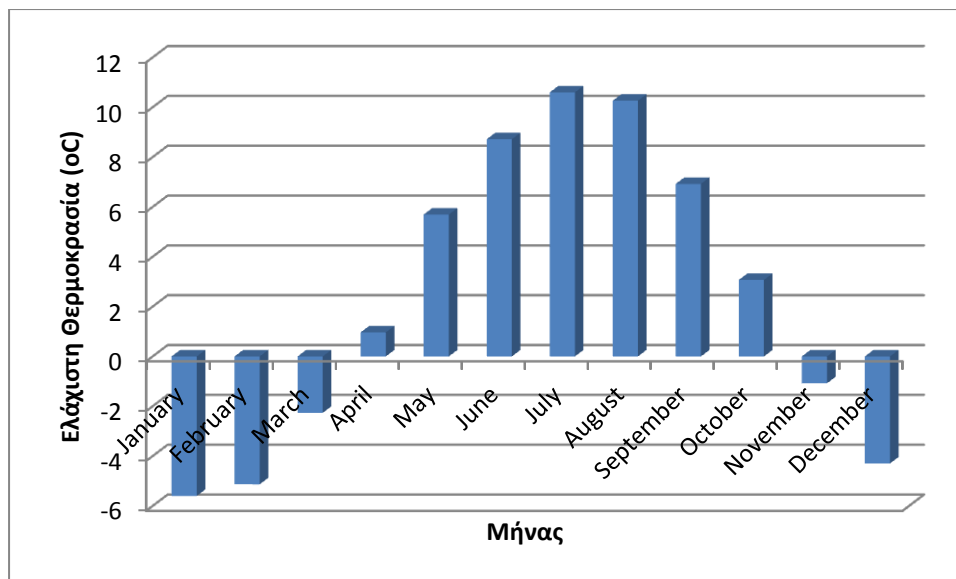
Γράφημα 3-4 Μέσες θερμοκρασίες ανά μήνα για τα έτη 1967-2011

Όπως παρατηρείται (Γράφημα 3-4) και είναι λογικό οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες (με τον Ιούλιο να είναι ο πιο θερμός μήνας με μέση θερμοκρασία τους 15 °C) είναι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και οι χαμηλότερες το χειμώνα (με τον Ιανουάριο να είναι ο πιο ψυχρός μήνας με μέση θερμοκρασία τους -3 °C).



Γράφημα 3-5 Μέσες μέγιστες θερμοκρασίες ανά μήνα για τα έτη 1967-2011

Όσον αφορά τις μέσες μέγιστες θερμοκρασίες (Γράφημα 3-5) παρατηρείται ότι τους καλοκαιρινούς αγγίζει τους 22 °C ενώ τους χειμερινούς είναι οριακά πάνω από το 0.

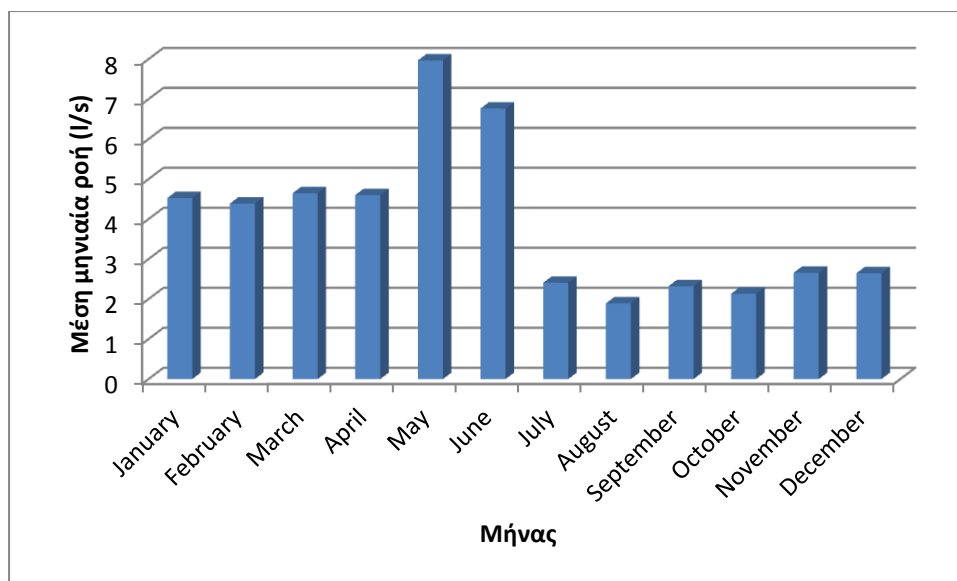


Γράφημα 3-6 Μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες ανά μήνα για τα έτη 1967-2011

Όσον αφορά τις μέσες ελάχιστες θερμοκρασία (Γράφημα 3-6) για το καλοκαίρι βλέπουμε ότι φτάνει και τους 8 °C ενώ το χειμώνα αγγίζει τους -6 °C

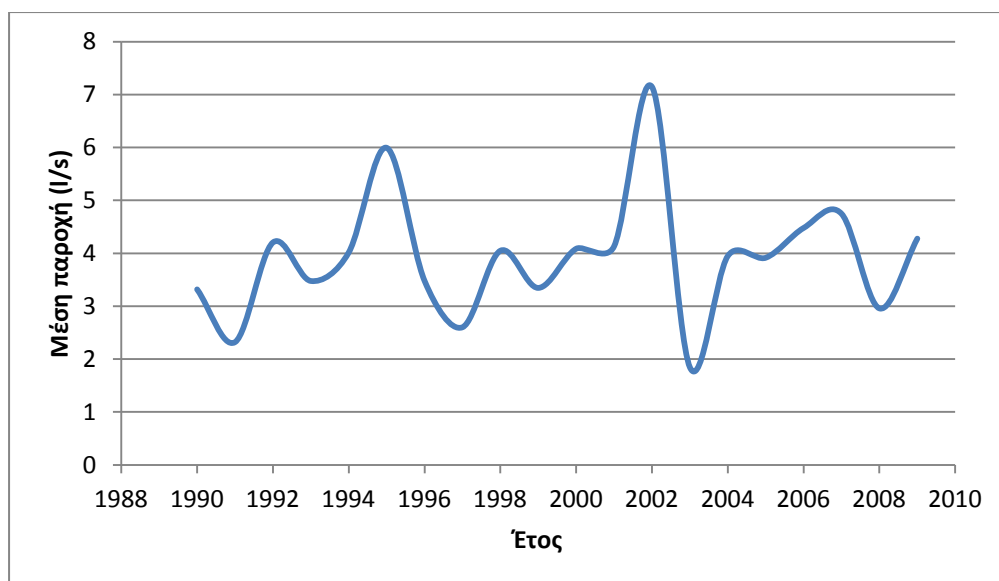
3.3 Ροή

Δεδομένα για τη ροή του ποταμού που διασχίζει τη Lysina υπάρχουν από το Νοέμβριο του 1989 ως το 2011. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο Γράφημα 3-7 η τιμή της μέσης τιμής του ποταμού ανά μήνα λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή το μήνα Ιούνιο, κάτι που είναι λογικό δεδομένου του ότι έχει σημαντικές βροχοπτώσεις τη θερινή περίοδο σε συνδυασμό με το λιώσιμο των χιονιών. Για τη μελέτη της ροής η λεκάνη είναι εξοπλισμένη με μηχανικούς καταγραφείς στο επίπεδο της στάθμης του ποταμού σε συνδυασμό με υδατόφραγμα με εγκοπή τύπου V.



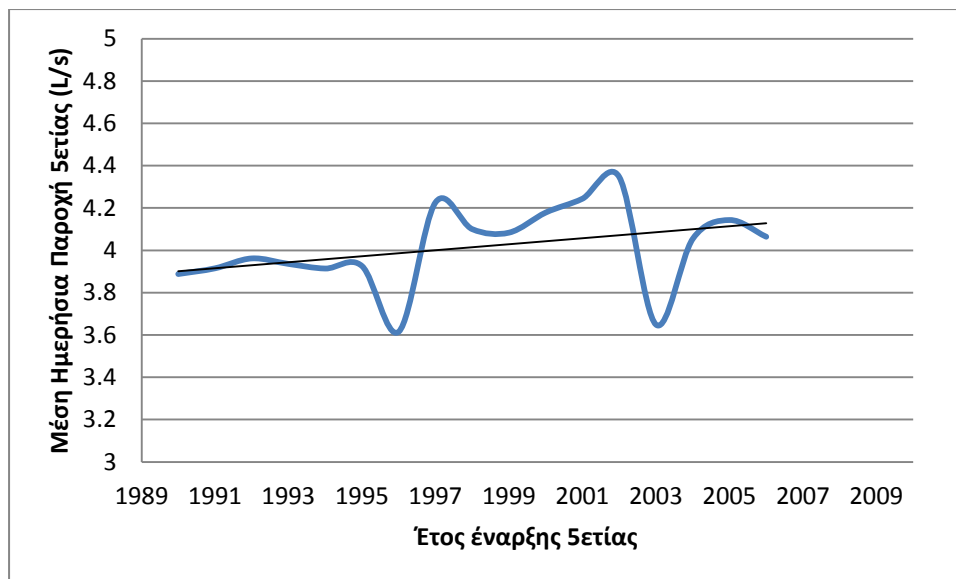
Γράφημα 3-7 Τιμές ροών ανά μήνα για τα έτη 1989-2011

Στο ακόλουθο διάγραμμα (Γράφημα 3-8) παρουσιάζεται το προφίλ της ροής για τη μέση ετήσια παροχή ξεκινώντας από το 1990.



Γράφημα 3-8 Μέσες τιμές ροών ανά έτος

Όπως και με τη βροχόπτωση έτσι και με τη ροή, μελετώντας κάθε έτος ξεχωριστά δε μας δίνει σαφή εικόνα για τις τάσεις του ποταμού.



Γράφημα 3-9 Σταθμισμένη μέση ροή ανά πενταετία

Στο Γράφημα 3-9 παρατηρείται η αυξανόμενη τάση της ροής για το σταθμισμένο μέσο όρο της ροής στο χρόνο.

3.4 Νιτρικά

Τα νιτρικά εμφανίζονται σε μικρές ποσότητες σε όλα τα υδάτινα περιβάλλοντα και απαιτούνται για τη διατήρηση της ανάπτυξης και του μεταβολισμού των φυτών και των ζώων. Ωστόσο, σε μεγάλες ποσότητες, αυτά τα ανόργανα άλατα μπορεί να αποδειχθούν αρκετά επιβλαβή. Μέσα από τη διαδικασία του ευτροφισμού, ρέουν στα ρέματα, λίμνες και άλλες υδάτινες μάζες. Τα επίπεδα των νιτρικών (σε συνδυασμό με των φωσφορικών) όταν είναι μη ανεκτές για τους τοπικούς οργανισμούς είναι γνωστό ότι μειώνουν τα επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου προκαλώντας ραγδαία ανάπτυξη φυκών. Ο ευτροφισμός, φέρνοντας μαζί υψηλές ποσότητες των φωσφορικών και νιτρικών, είναι μια κύρια αιτία της καταστροφής των υδάτινων οικοσυστημάτων σε όλο τον κόσμο. (Ansar & Khad, 2005) Αρκετοί επιστήμονες έχουν μελετήσει τα επίπεδα των νιτρικών σε διάφορα υδατικά συστήματα, και έχουν βρει ότι τα επίπεδα τους επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη συνολική υγεία του νερού και των κατοίκων της. (Yanamadala, 2005)

Αρχικά παρουσιάζεται ποια είναι η χρήση των νιτρικών. Οι πρωτεΐνες στους οργανισμούς απαιτούν το άζωτο να λειτουργήσουν. Αν και το άζωτο βρίσκεται σε αφθονία στην ατμόσφαιρα (80% των αερίων της ατμόσφαιρας), τα έμβια όντα δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν το άζωτο σε αυτή την κατάσταση. Η πρόσληψη γίνεται με αζωτοδέσμευση, η οποία πραγματοποιείται είτε με ατμοσφαιρικά φαινόμενα, είτε με βιομηχανικές μεθόδους ή ορισμένα βακτήρια, τα οποία μετατρέπουν τη δύσχρηστη μορφή αζώτου σε χρήσιμη. τα ζώα μπορούν να αποκτήσουν αυτές τις ενώσεις με τη βρώση φυτών, ενώ τα φυτά χρησιμοποιούν τις ενώσεις που προέκυψαν από την αζωτοδέσμευση. (Schmid-Araya, 2003).

Είναι ήδη γνωστό ότι η περίσσεια των θρεπτικών ουσιών προκαλεί ανάπτυξη φυκών και βακτηρίων. Προκαλεί επίσης μια τεράστια ανάπτυξη στα φυτά και το φυτοπλαγκτόν, σχηματίζοντας έτσι ένα στρώμα σε όλη την επιφάνεια του ύδατος. Το στρώμα αυτό εμποδίζει το φως κίνηση μέσα στο νερό και, επίσης, μειώνει την ποσότητα του οξυγόνου που μπορεί να εισέλθει στο νερό από τον αέρα. Λόγω της έλλειψης του φωτός, α φυτά κάτω από την επιφάνεια του νερού μπορούν να πεθάνουν, και η συνακόλουθη φθορά και την αποσύνθεση των φυτών αυτών ευνοεί την ανάπτυξη αποκρουστικής μυρωδιάς και θολότητα. Η απώλεια του οξυγόνου στο νερό προκαλεί δύσκολες συνθήκες επιβίωσης για τους αερόβιους οργανισμούς ενώ ευνοείται η ανάπτυξη αναερόβιων οργανισμών. Πολλά ψάρια πεθαίνουν από τη μείωση του οξυγόνου, και η συνολική ποιότητα των υδάτων υ μειώνεται. Το νερό λόγω του ευτροφισμού γίνεται πράσινο, , λόγω των φυτών και των άλγεων. Συμπερασματικά, η περίσσεια σε νιτρικά (αλλά και σε φωσφορικά) αλλάζουν σημαντικά την ποιότητα του νερού προς το χειρότερο. (Ansar & Khad, 2005) (πηγή: <http://www.tjhsst.edu/~ibet/0506/science/tbrobst.htm>)

Στη Lysina μετρήθηκαν μέτριες ποσότητες εναπόθεσης N (μεταξύ 8,6 και 14,7 kg/ha ανά χρόνο, με βάση τη χημεία βροχόπτωσης). Τα νιτρικά ανιχνεύονται τακτικά στην απορροή (συνήθως Οκτώβριος-Απρίλιος), αλλά σε γενικές γραμμές δε συμβάλλουν σημαντικά στην παρουσίαση ιονικού φορτίου στην περιοχή. (Hruska et al.2002)

Βάση των δεδομένων από το Ινστιτούτο Γεωλογικών Ερευνών Τσεχίας η μέση συγκέντρωση των νιτρικών στην κατακρήμνιση είναι 2,4 mg/L ενώ η μέση συγκέντρωση στη ροή του ποταμού είναι στα 0,42 mg/L

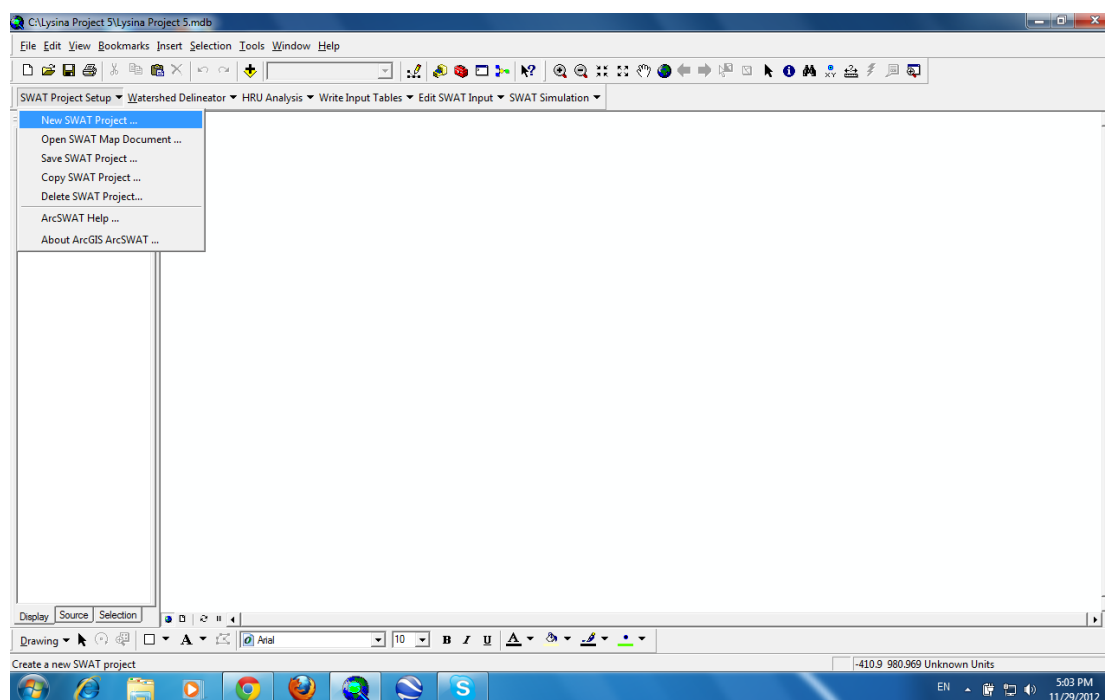
4 Μοντελοποίηση της Lysina

4.1 Δημιουργία του μοντέλου

Στο κομμάτι αυτό παρουσιάζεται πως στήθηκε το μοντέλο βήμα-βήμα πριν αρχίσει η βαθμονόμηση. Αρχικά η λεκάνη απορροής οριοθετήθηκε από ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Elevation Model, DEM) και ορίστηκαν 3 υπολεκάνες. Το μοντέλο απαιτεί δεδομένα χρήσης γης και εδάφους για τον προσδιορισμό των υδρολογικών παραμέτρων και τη δημιουργία των HRUs και ως εκ τούτου έγινε επικάλυψη με χάρτες που περιείχαν την απαιτούμενη πληροφορία. Στη συνέχεια εισάχθηκε ο μετεωρολογικός σταθμός με δεδομένα για βροχόπτωση, ταχύτητα ανέμου, ηλιακή ακτινοβολία, σχετική υγρασία και θερμοκρασία.

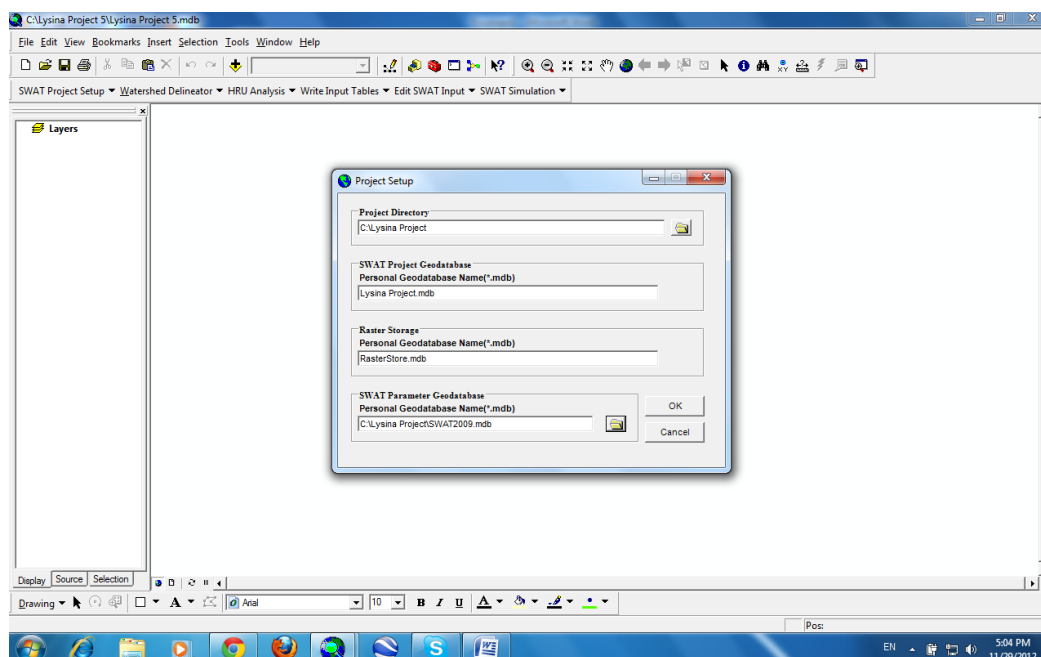
Στη συνέχεια ακολουθούν κάποιες εικόνες που παρουσιάζουν τα παραπάνω στάδια καθώς επίσης και το πώς προετοιμάζεται το μοντέλο για να τρέξει καθώς και τα πρώτα αποτελέσματα από το πρώτο τρέξιμο του μοντέλου.

Πρώτο βήμα (Εικόνα 4-1) η δημιουργία ενός νέου πρότζεκτ του SWAT.



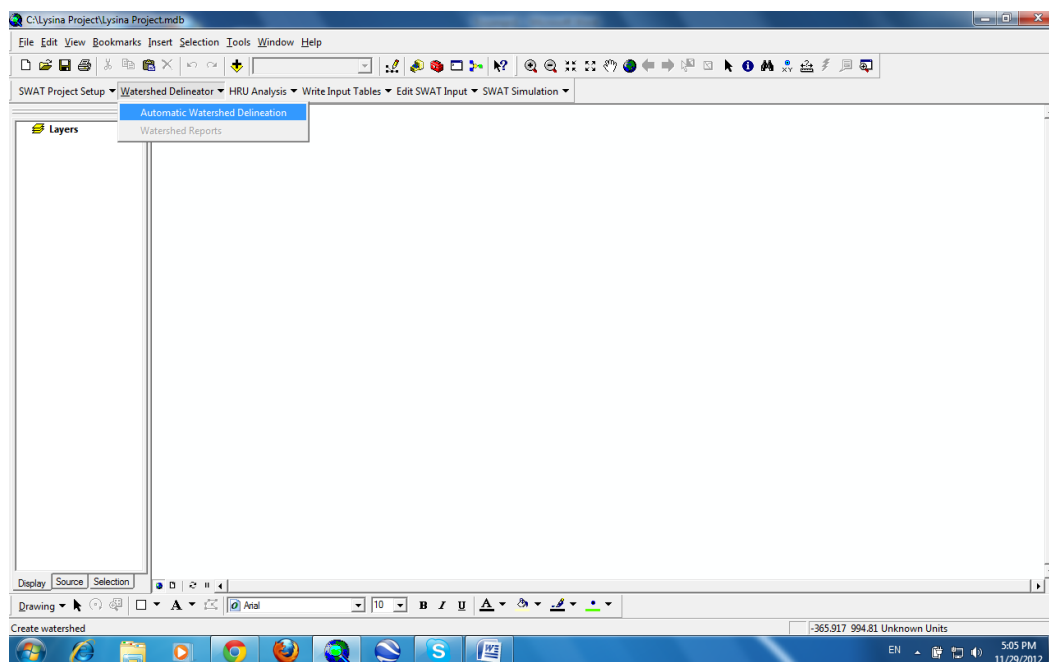
Εικόνα 4-1 Δημιουργία νέου πρότζεκτ SWAT

Στη συνέχεια δίνεται όνομα στο αρχείο καθώς και η επιλογή του φακέλου στον οποίο θα δημιουργηθεί το πρότζεκτ (Εικόνα 4-2)



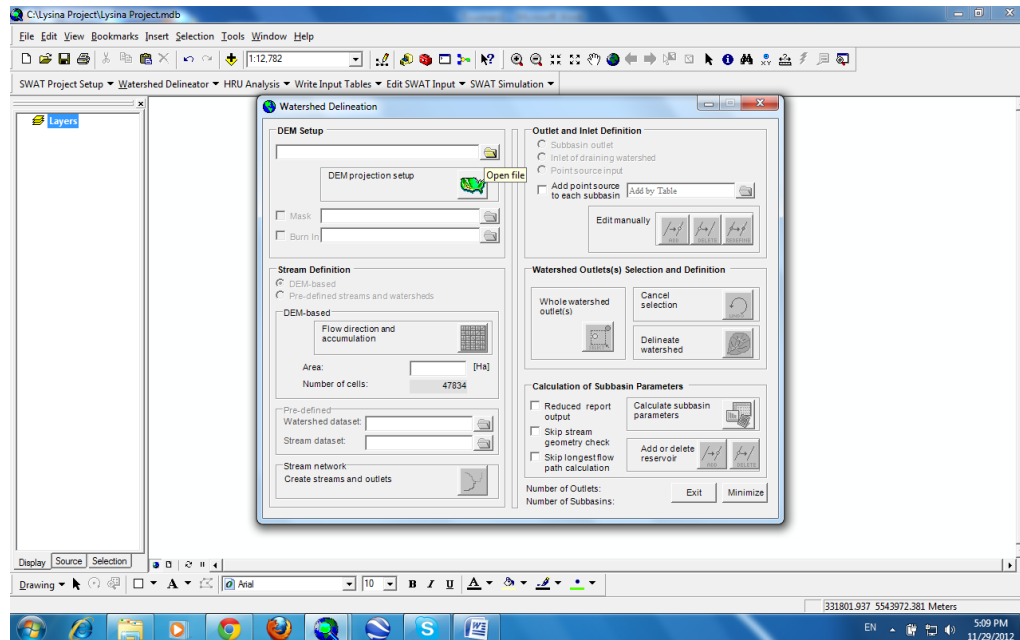
Εικόνα 4-2 Ονομασία πρότζεκτ SWAT

Έπειτα αρχίζει η διαδικασία της οριοθέτησης της λεκάνης απορροής (watershed delineation). (Εικόνα 4-3).



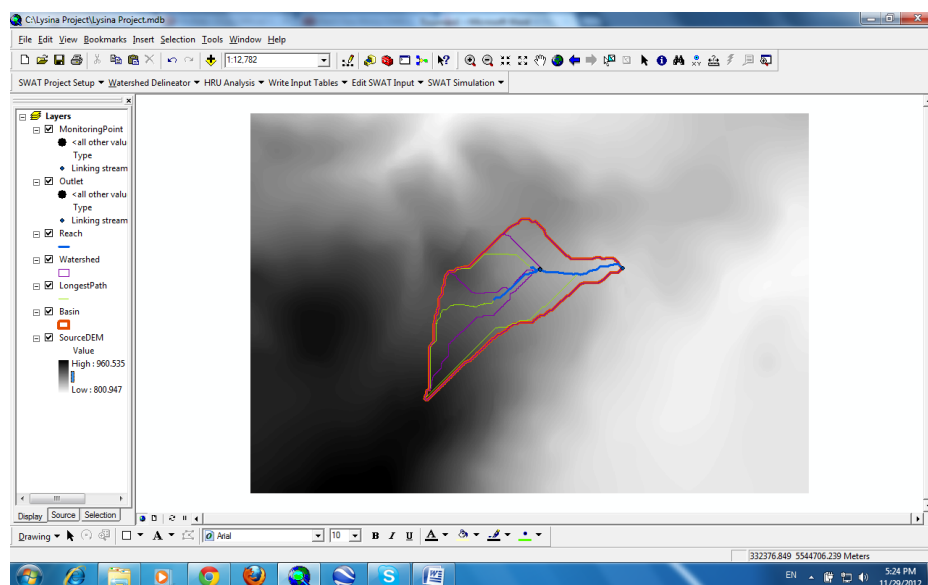
Εικόνα 4-3 Αρχίζοντας την οριοθέτηση της υπολεκάνης

Αρχικά εισάγεται το DEM (Εικόνα 4-4). Στη συνέχεια αφού δημιουργηθούν τα ποτάμια και οι εκροές επιλέγεται η εκροή που μας ενδιαφέρει και έτσι οριοθετούμε την υπό μελέτη λεκάνη απορροής.



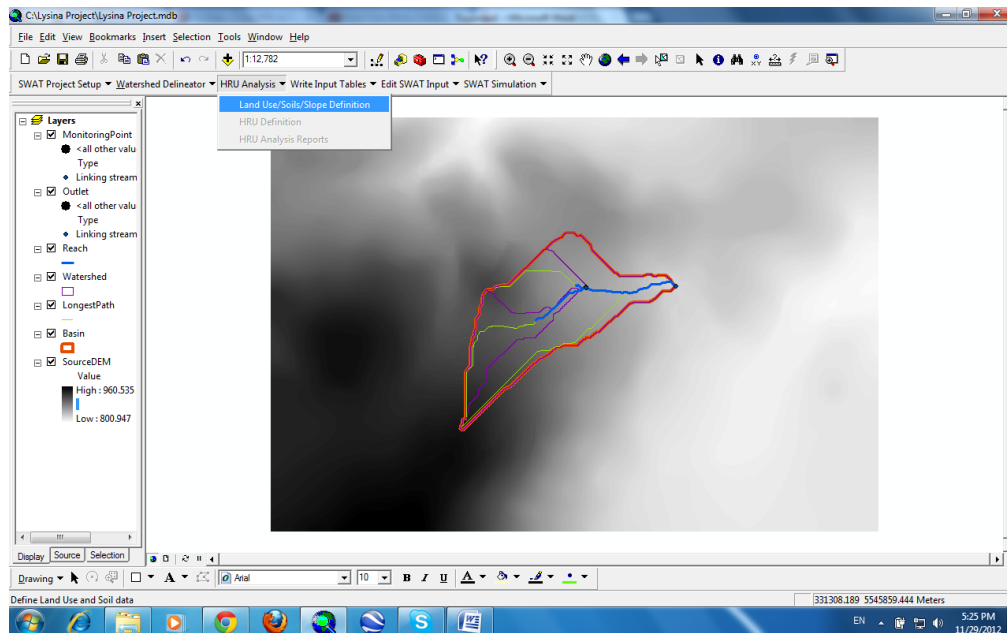
Εικόνα 4-4 Καρτέλα οριοθέτησης υπολεκάνης (Watershed delineation)

Αφού τελειώσει η παραπάνω διαδικασία το μοντέλο σχηματίζει την υπο μελέτη λεκάνη απορροής (Εικόνα 4-5).



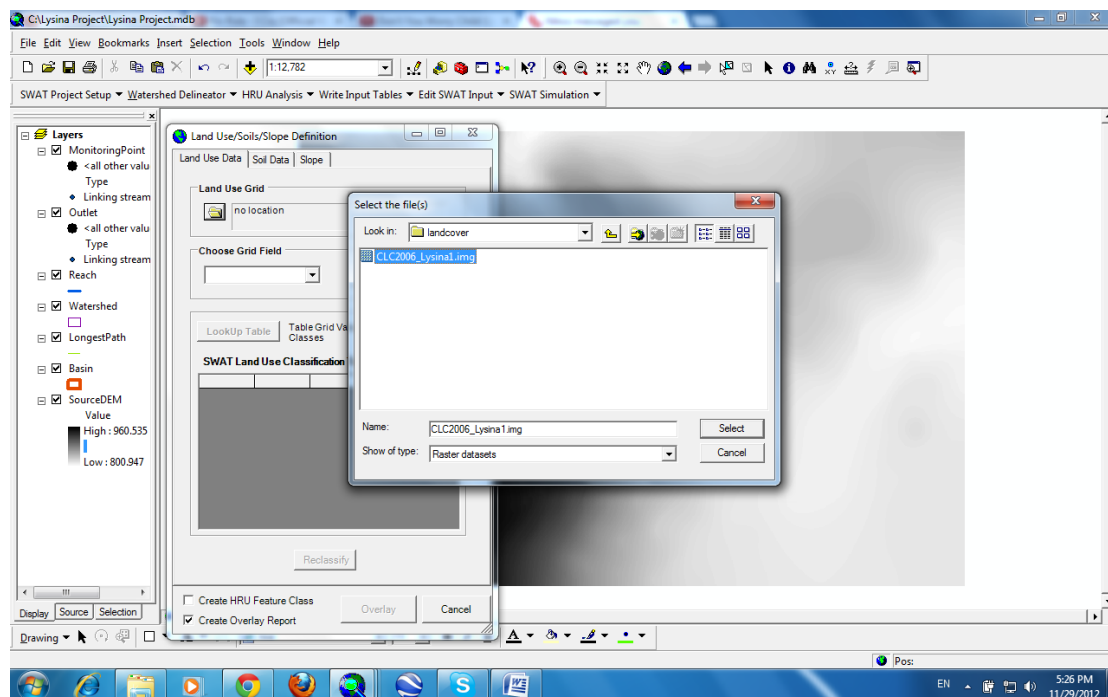
Εικόνα 4-5 Η υπολεκάνη μετά την οριοθέτηση

Στη συνέχεια θα περαστούν τα δεδομένα για τις χρήσεις γης, το έδαφος και την κλίση (Εικόνα 4-6).



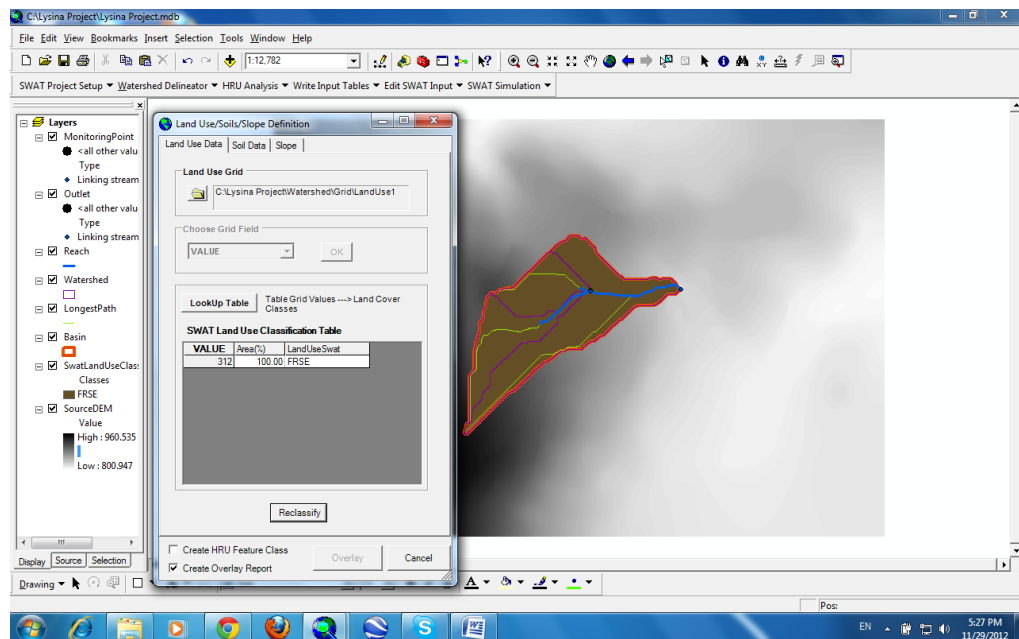
Εικόνα 4-6 Η υπολεκάνη πριν εισαχθούν τα δεδομένα χρήσεις γης, εδάφους και κλίσης

Αρχικά εισάγεται ο χάρτης για τη χρήση γης (Εικόνα 4-7).



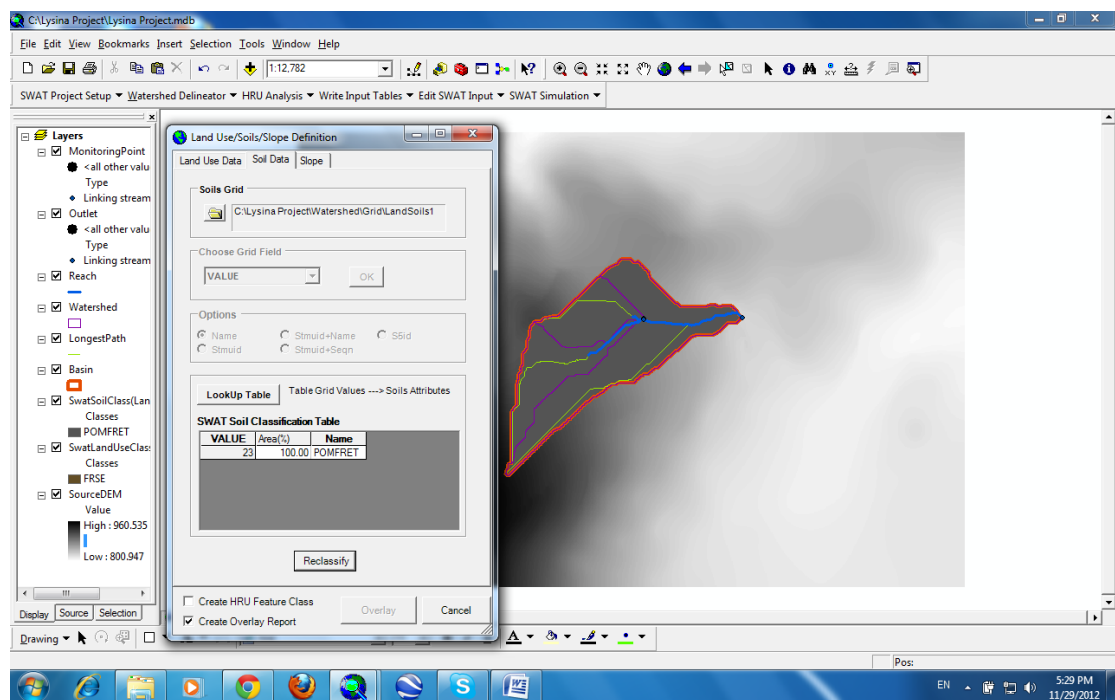
Εικόνα 4-7 Εισαγωγή χάρτη χρήσης γης

Μετά γίνεται η επιλογή evergreen forest για την υπό εξέταση υπολεκάνη για χρήση γης και γίνεται αναταξινόμηση(Εικόνα 4-8).



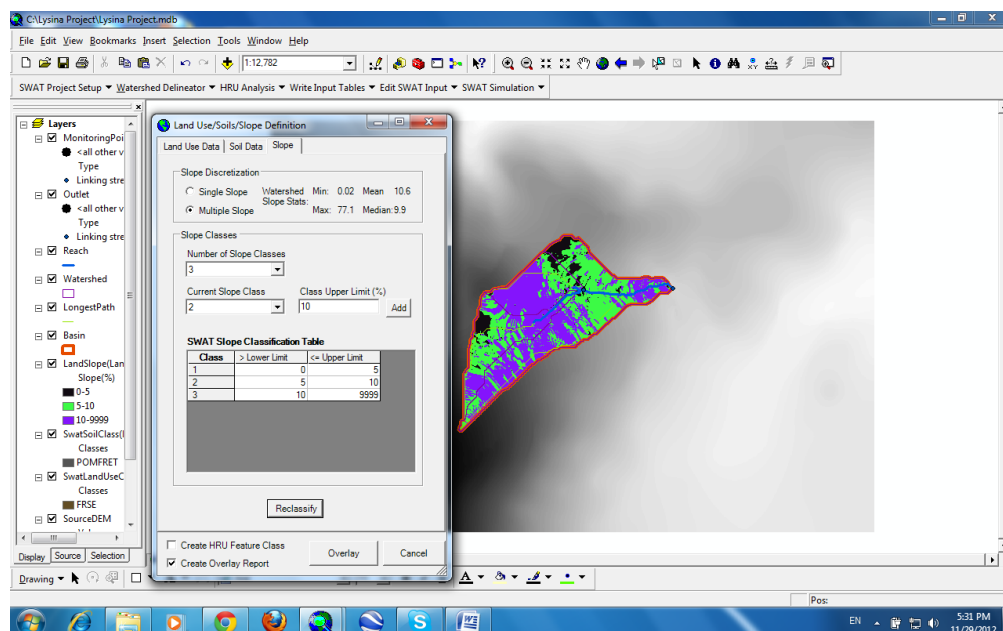
Εικόνα 4-8 Επιλογή χρήσης γης και αναταξινόμηση

Όσον αφορά το έδαφος ακολουθείται η ίδια διαδικασία και μετά την επιλογή romfret για έδαφος γίνεται αναταξινόμηση (Εικόνα 4-9).



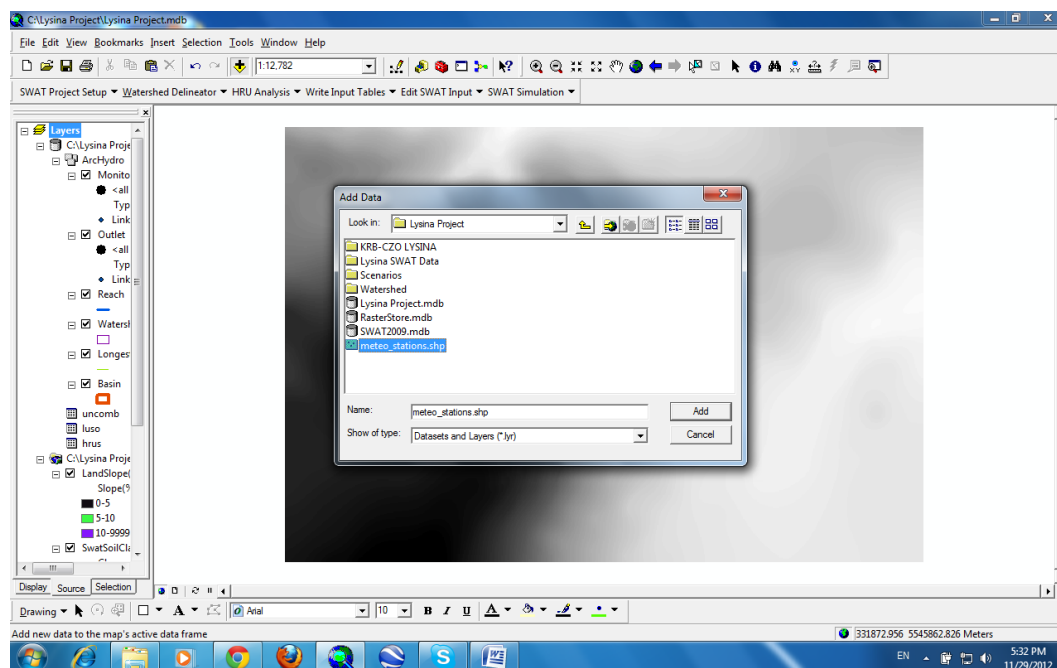
Εικόνα 4-9 Επιλογή εδάφους και αναταξινόμηση

Τέλος εισάγονται και τα δεδομένα της κλίσης. Διαχωρίζεται η κλίση σε τρεις κλάσεις (0-5, 5-10, 10-9999) και στη συνέχεια γίνεται αναταξινόμηση και επικάλυψη (overlay) και έτσι δημιουργούνται οι Μονάδες Υδραυλικής Απόκρισης (HRUs) (Εικόνα 4-10).



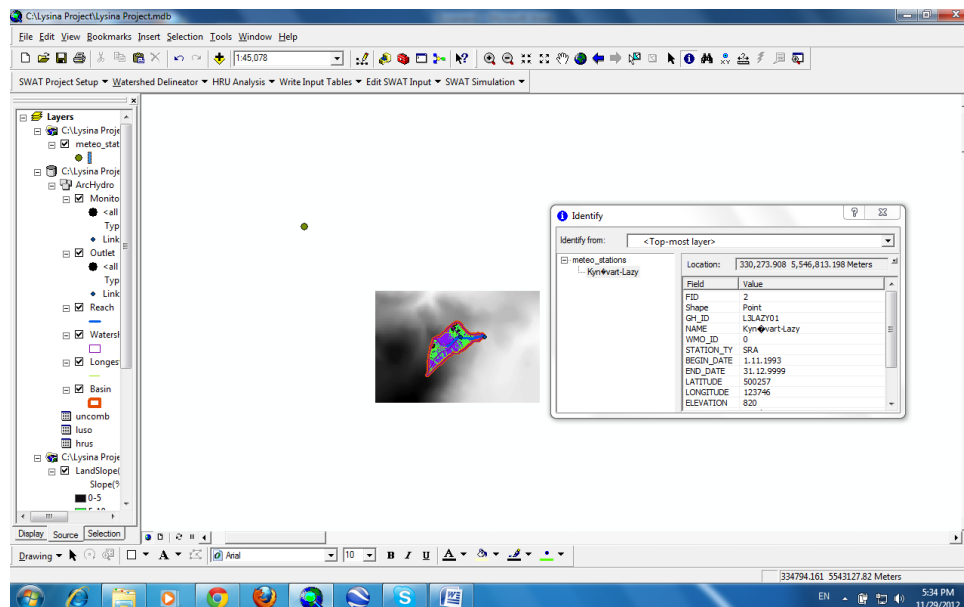
Εικόνα 4-10 Εισαγωγή δεδομένων κλίσης και αναταξινόμηση

Στη συνέχεια γίνεται εισαγωγή του μετεωρολογικού σταθμού (Εικόνα 4-11)



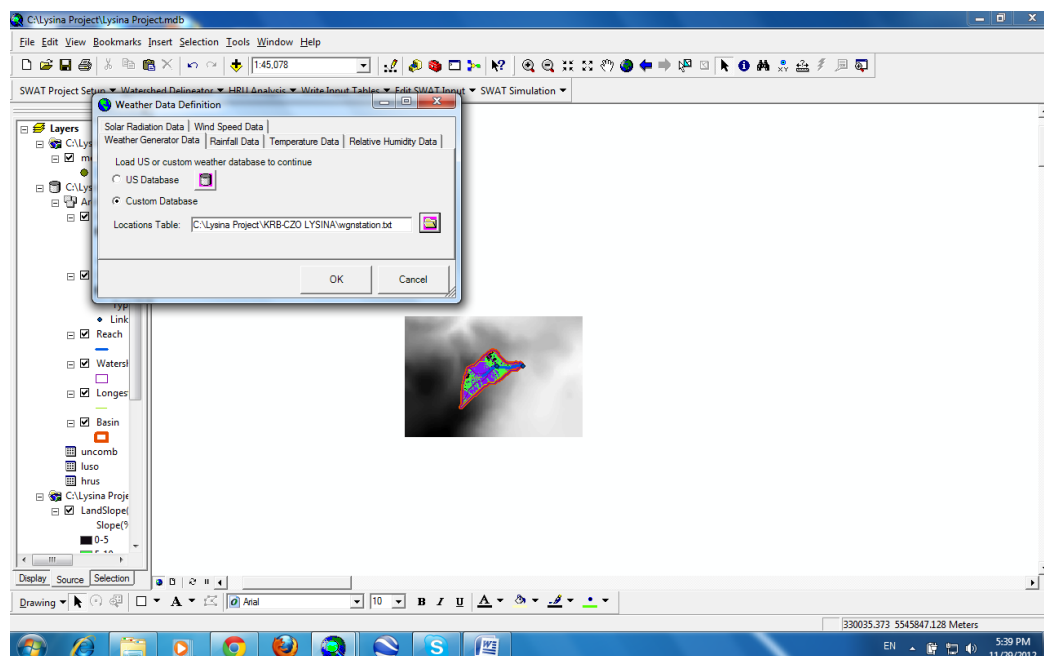
Εικόνα 4-11 Εισαγωγή Μετεωρολογικού Σταθμού

Στην εικόνα 4-12 φαίνεται η θέση του μετεωρολογικού σταθμού σε σχέση με την υπολεκάνη



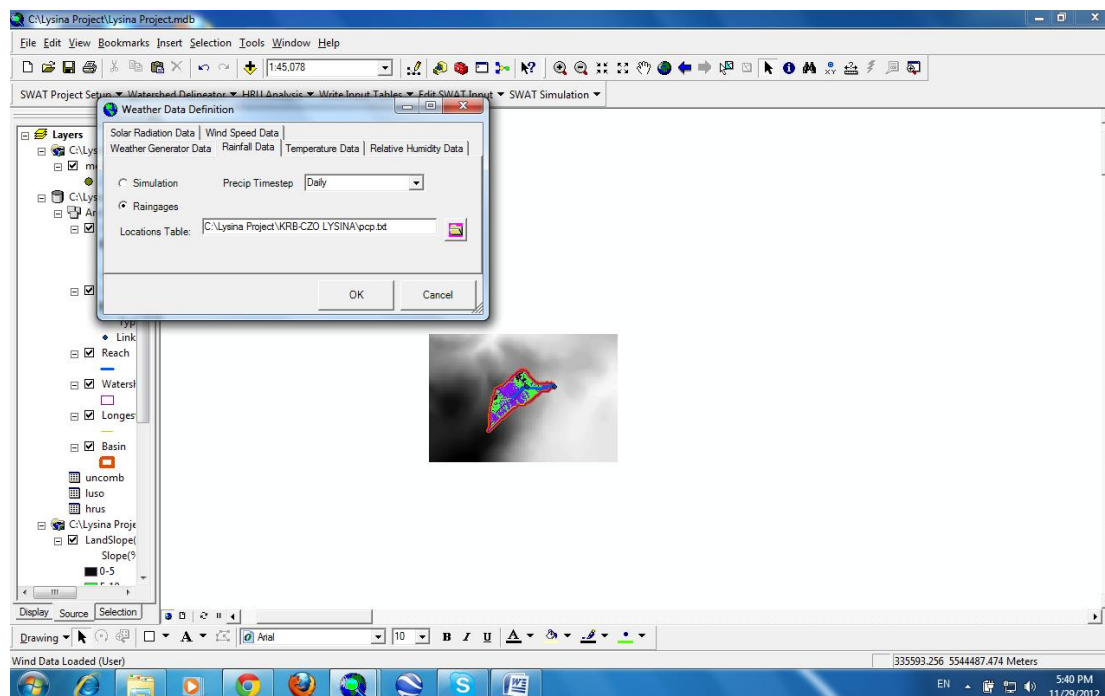
Εικόνα 4-12 Θέση Μετεωρολογικού σταθμού

Στη συνέχεια εισάγονται τα μετεωρολογικά δεδομένα για τον παραπάνω μετεωρολογικό σταθμό (Εικόνα 4-13).



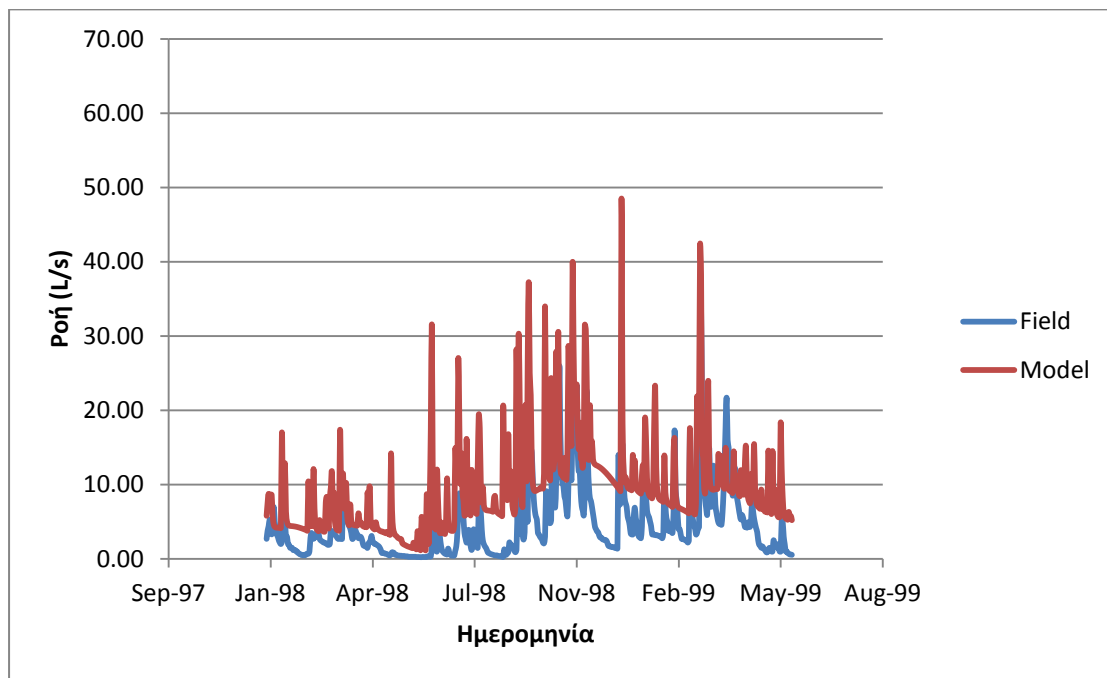
Εικόνα 4-13 Εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων

Στη συνέχεια εισάγονται τα δεδομένα βροχόπτωσης με ειδικά διαμορφωμένο αρχείο. Με τον ίδιο τρόπο εισάγονται τα δεδομένα ταχύτητας αέρα, θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας (Εικόνα 4-14).

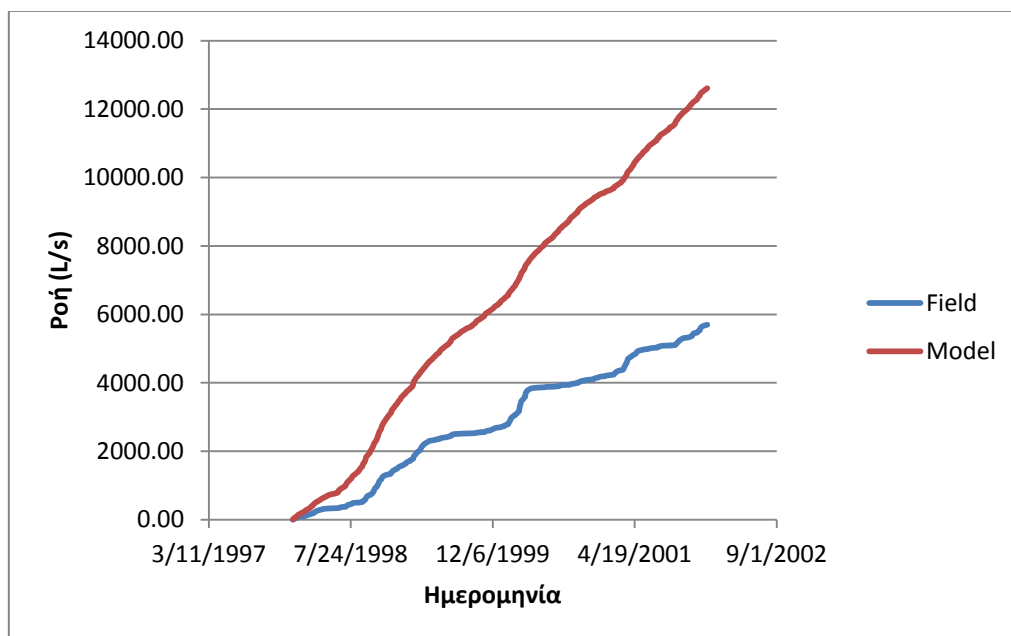


Εικόνα 4-14 Εισαγωγή δεδομένων Βροχόπτωσης

Πλέον το μοντέλο είναι έτοιμο για να τρέξει και αφού τρέξει το μοντέλο είναι δυνατό να μελετήσουμε τα αποτελέσματα που βγάζει και έτσι είναι πλέον δυνατό να γίνει η σύγκριση των τιμών του πεδίου με αυτές του μοντέλου.



Γράφημα 4-1 Πρώτα αποτελέσματα μοντέλου σε σύγκριση με τα δεδομένα πεδίου



Γράφημα 4-2 Αθροιστικό διάγραμμα για το πρώτο τρέξιμο

Πίνακας 4-1 Στατιστικοί δείκτες μετά το πρώτο τρέξιμο

RMSE	0.18
NSE	-0.72
PBIAS	-121.39
RSR	1.31
closure	55%

Όπως παρατηρείται και στα γραφήματα 4-1 και 4-2 αλλά και τον πίνακα 4-1 το SWAT χωρίς να έχει βαθμονομηθεί δίνει πολύ μεγαλύτερη απορροή από τις μετρήσεις πεδίου. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι η τήξη του χιονιού γίνεται με γρήγορο ρυθμό ακόμα και το χειμώνα. Άλλη πιθανή αιτία είναι ότι δε φεύγει αρκετό νερό με τη μορφή εξατμισοδιαπνοής. Ενδεχομένως δεν πηγαίνει καθόλου νερό στον υπόγεια υδροφορέα αλλά ούτε στη πλάγια ροή.

4.2 Βαθμονόμηση της Υδρολογίας

Αφού στήθηκε το μοντέλο στη συνέχεια ακολουθεί η βαθμονόμηση (calibration). Η βαθμονόμηση επιτυγχάνεται με τη μεταβολή των τιμών των διάφορων παραμέτρων μέχρις ότου οι τιμές του μοντέλου και του πεδίου να συγκλίνουν ικανοποιητικά. Οι παράμετροι οι οποίες συνήθως επιλέγονται είναι εκείνες με τη μεγαλύτερη ευαισθησία και σε εκείνες με τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα, δηλαδή παραμέτρους για τις οποίες δεν υπάρχει ούτε ικανοποιητική μέτρηση στο πεδίο αλλά ούτε ικανοποιητική φυσική ερμηνεία.

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η χειροκίνητη βαθμονόμηση του μοντέλου με μεταβολή των πλέον σημαντικών παραμέτρων που παίζουν σπουδαίο ρόλο στην προσομοίωση τόσο της υδρολογίας όσο και της χημείας που παρουσιάζεται αναλυτικότερα παρακάτω. Στη χειροκίνητη βαθμονόμηση συντελείται μία μεταβολή τη φορά που συνοδεύεται από γραφική και στατιστική σύγκριση προσομοιωμένων και παρατηρημένων αποτελεσμάτων στο ποτάμι, μια μέθοδος δοκιμής και σφάλματος (trial and error process). Παρόλο που είναι υποκειμενική και χρονοβόρα, η χειροκίνητη βαθμονόμηση αποτελεί έναν αποτελεσματικό τρόπο να ελεγχθεί ο

τρόπος μεταβολής των πιο ευαίσθητων και αβέβαιων παραμέτρων (Engel, Storm, White, Arnold, & Arabi, 2007).

Αρχικά έγινε η βαθμονόμηση του εδάφους. Βάση δεδομένων από το SOILTREC επιλέχθηκαν τιμές για την αναλογία άμμου ιλύος αργίλου. Στη συνέχεια έγινε βαθμονόμηση παραμέτρων που επηρέαζαν τη ροή του νερού και γενικά το υδατικό ισοζύγιο (πόσο φεύγει στο υπέδαφος, πόσο φεύγει με τη μορφή εξατμισοδιαπνοής κτλ.) με στόχο την καλύτερη προσομοίωση του. Στον πίνακα 4-2 φαίνονται οι παράμετροι καθώς και οι τιμές που έλαβαν:

Πίνακας 4-2 Παράμετροι που μεταβλήθηκαν

α/α	Παράμετρος	Περιγραφή	Τυπικό Εύρος στο SWAT	Τιμή στην Υπολεκάνη της Lysina
Πίνακας Εισαγωγής δεδομένων: Soils (.sol)				
1	SOL_AWC	Διαθέσιμη χωρητικότητα στο στρώμα εδάφους Available water capacity of the soil layer	0-1	0.25
2	SOL_K	Το μέτρο της κορεσμένη υδραυλικής αγωγιμότητας Saturated hydraulic conductivity	0-2000	75-100
Πίνακας Εισαγωγής δεδομένων: Groundwater (.gw)				
3	GW_DELAY	Συντελεστής καθυστέρησης υπογείου νερού Groundwater Delay time	0-500	2

4	ALPHA_BF	Παράγοντας ύφεσης της παροχής του υπογείου νερού Baseflow alpha factor	0-1	0.1-0.15
5	GW_REVAP	Συντελεστής υπογείου νερού Groundwater Revap coefficient	0.002-0.2	0.15
6	RCHRG_DP	Ποσοστό ποσότητας νερού που από τον αβαθή κατεισδύει στον βαθύ υδροφορέα Deep aquifer percolation factor	0-1	0.35-0.44
Πίνακας Εισαγωγής δεδομένων: Subbasin (.sub)				
7	CH_K1	effective hydraulic conductivity in tributary channel alluvium	0-300	10
Πίνακας Εισαγωγής δεδομένων: HRU (.hru)				
8	SLSOIL	μήκος των πρανών για πλευρική υπόγεια ροή Slope length for lateral subsurface flow	0-150	100
9	CANMX	maximum canopy storage	0-100	70
10	ESCO	Soil evaporation compensation factor	0-1	0.7
11	EPCO	Plant uptake compensation factor	0-1	0.7
Πίνακας Εισαγωγής δεδομένων: Management (.mgt)				

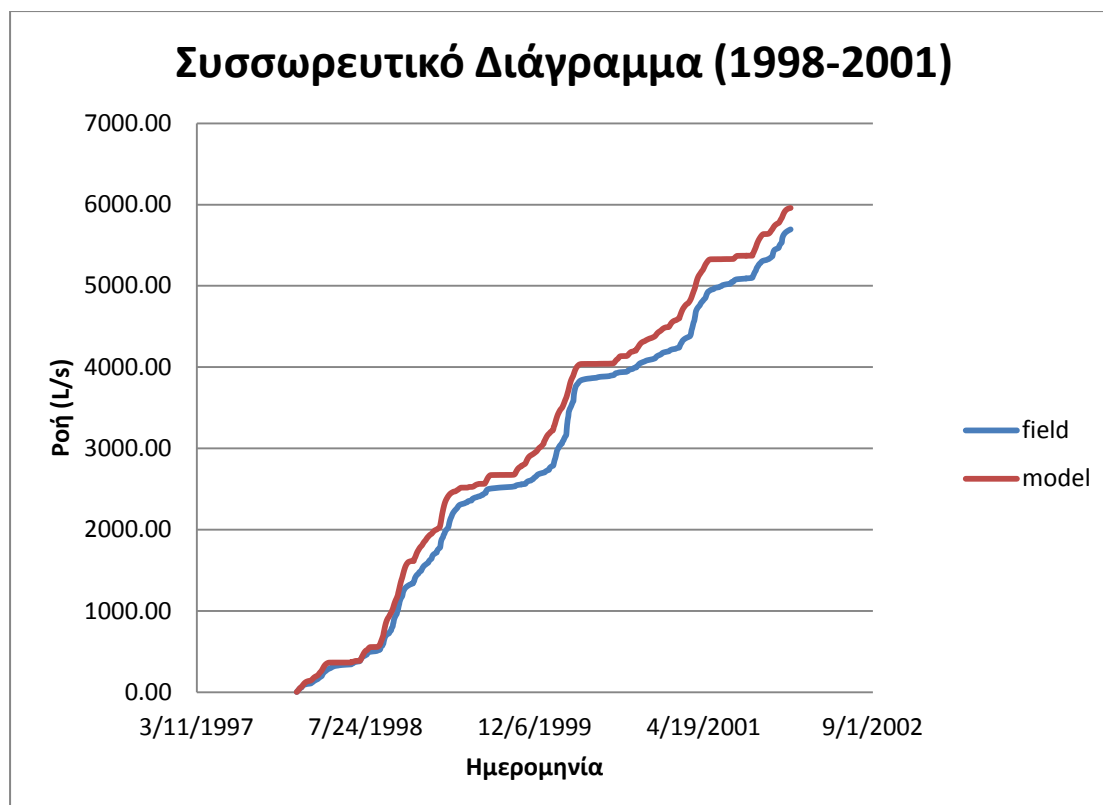
12	CN2	Initial SCS runoff curve number for moisture condition II	35-98	60
Πίνακας Εισαγωγής δεδομένων: General Data (.bsn)				
13	SFTMP	Θερμοκρασία Χιονόπτωσης Snowfall temperature	-5°C – 5°C	-5
14	SMTMP	Θερμοκρασία που λιώνει το χιόνι Snowmelt temperature	-5°C – 5°C	5
15	SMFMX	Συντελεστής ρυθμού που λιώνει το χιόνι το θερινό ηλιοστάσιο Maximum melt rate for snow during the year (summer solstice)	0-10	8
16	SMFMN	Συντελεστής ρυθμού που λιώνει το χιόνι το χειμερινό ηλιοστάσιο Minimum melt rate for snow during the year (winter solstice)	0-10	4

Στη συνέχεια ακολουθούν το υδρογράφημα, το συσσωρευτικό διάγραμμα και οι στατιστικοί δείκτες μετά την περίοδο βαθμονόμησης. Να σημειωθεί ότι για τη βαθμονόμηση επιλέχθηκε η περίοδος 1998-2001.



Γράφημα 4-3 Διάγραμμα Υδρολογίας για την περίοδο βαθμονόμησης

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 4-3 η υδρολογία του πεδίου προσομοιώνεται αρκετά ικανοποιητικά από το μοντέλο για τα έτη 1998-2001. Ενδεχομένως το μοντέλο να μην προσομοιώνει ικανοποιητικά ακραίες τιμές αλλά αυτό μπορεί να οφείλεται στα ελλιπή δεδομένα εισόδου, κάτι που ίσως να οφείλεται στο ότι η περιοχή δεν έχει δικό της μετεωρολογικό σταθμό και ο σταθμός από τον οποίο υπάρχουν δεδομένα για την περιοχή απέχει 6 km και ίσως χάνει κάποια φαινόμενα βροχόπτωσης.



Γράφημα 4-4 Συσσωρευτικό διάγραμμα για την περίοδο βαθμονόμησης

Στο Γράφημα 4-4 παρατηρείται ότι κατά την περίοδο της βαθμονόμησης οι μετρήσεις του πεδίου και οι τιμές του μοντέλου έχουν την ίδια τάση και η απόκλιση είναι μικρή.

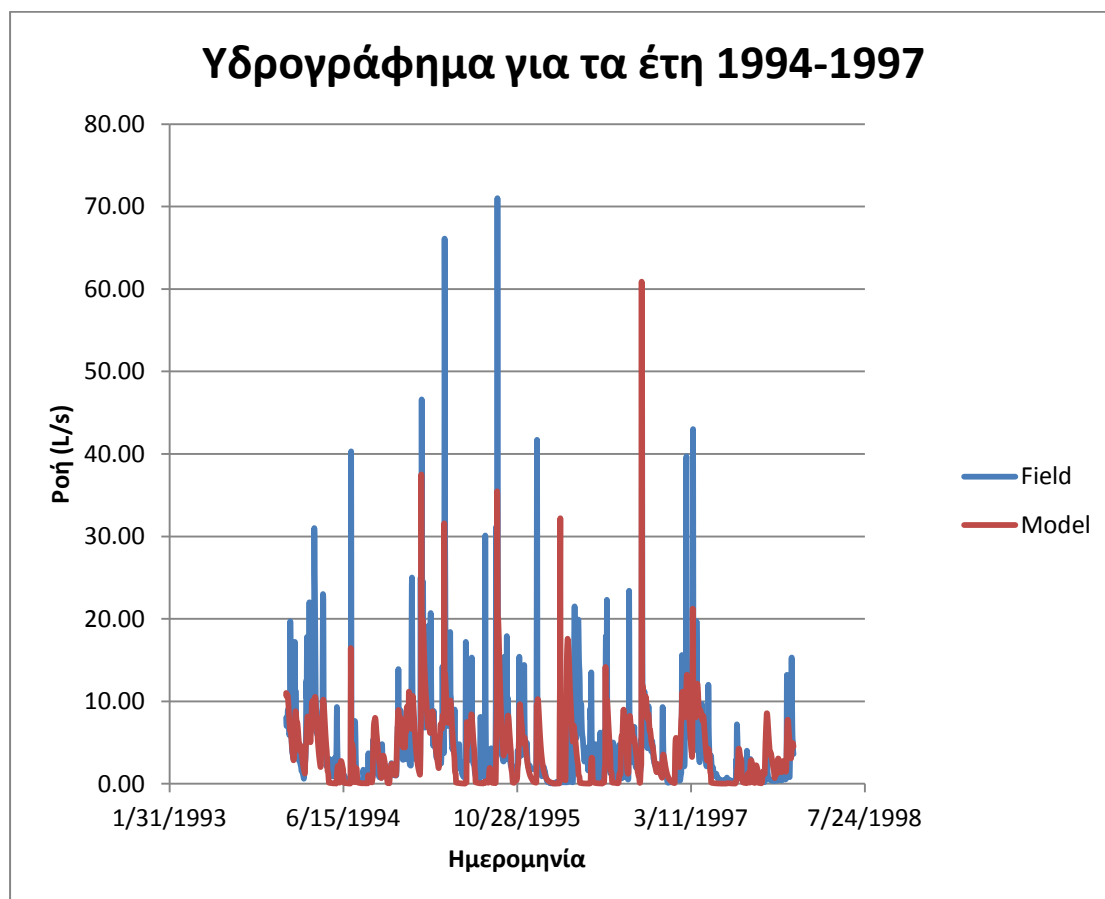
Πίνακας 4-3 Στατιστικοί δείκτες για την περίοδο βαθμονόμησης

RMSE	0.10
NSE	0.63
PBIAS	-4.59
RSR	0.61
Closure	4%

Παρατηρείται ότι οι στατιστικοί δείκτες εντός των ορίων του ικανοποιητικού για τη βαθμονόμηση. Επίσης η απόκλιση της συνολικής ροής του μοντέλου με αυτές του πεδίου στο χρονικό διάστημα της βαθμονόμησης είναι της τάξης του 4%

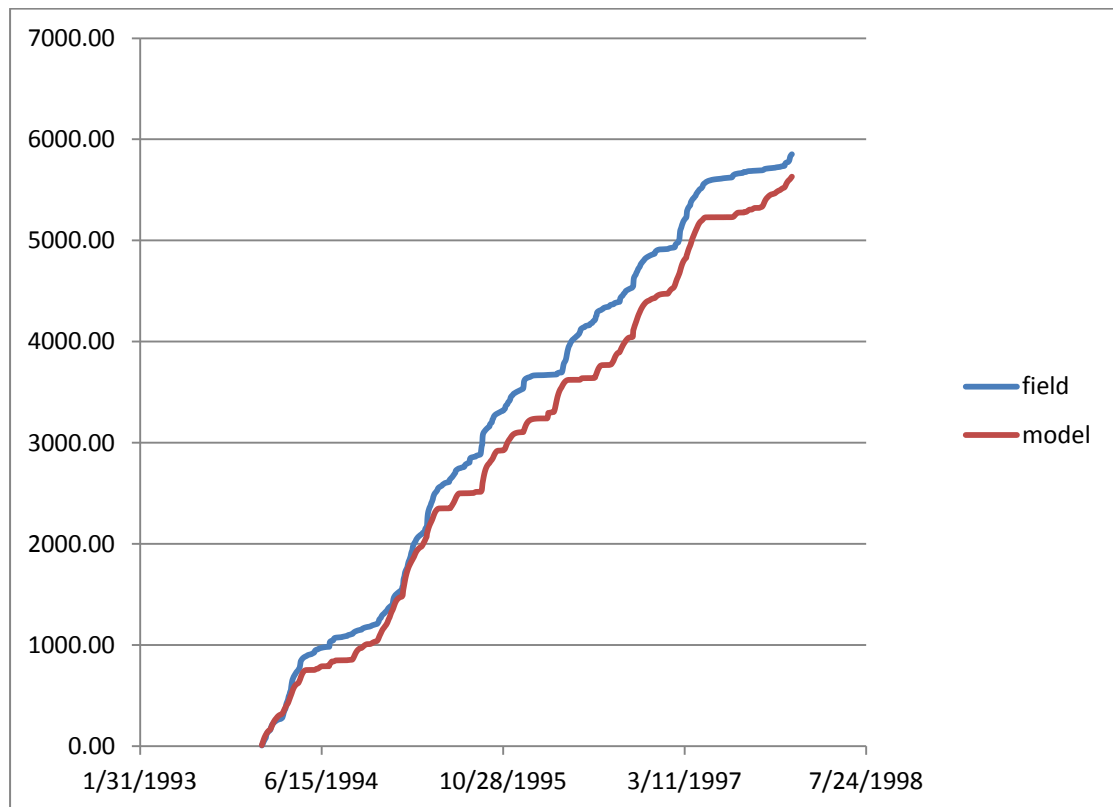
4.3 Επαλήθευση της Υδρολογίας

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα η επαλήθευση του μοντέλου είναι η διαδικασία που αποδεικνύει ότι ένα συγκεκριμένο μοντέλο για την υπό εξέταση περιοχή είναι σε θέση να κάνει αρκετά ακριβείς και ικανοποιητικές προσομοιώσεις, ανάλογα με τους στόχους του έργου. Η επαλήθευση περιλαμβάνει το τρέξιμο ενός μοντέλου χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους που προσδιορίστηκαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας βαθμονόμησης, και συγκρίνοντας τις προβλέψεις σε όσα δεδομένα παρατηρήθηκαν και δεν χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση. Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα της υδρολογίας και το συσσωρευτικό διάγραμμα αλλά και τους στατιστικούς δείκτες για την περίοδο της επαλήθευσης (έτη 1994-1997). Επίσης παρουσιάζονται και τα αντίστοιχα διαγράμματα για το συνολικό χρονικό διάστημα που υπάρχουν δεδομένα για την υδρολογία τόσο σε μηνιαίο βήμα όσο και σε ετήσιο.



Γράφημα 4-5 Υδρογράφημα για την περίοδο βαθμονόμησης

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 4-5 το υδρογράφημα του μοντέλου προσομοιώνει ικανοποιητικά το υδρογράφημα των μετρήσεων.



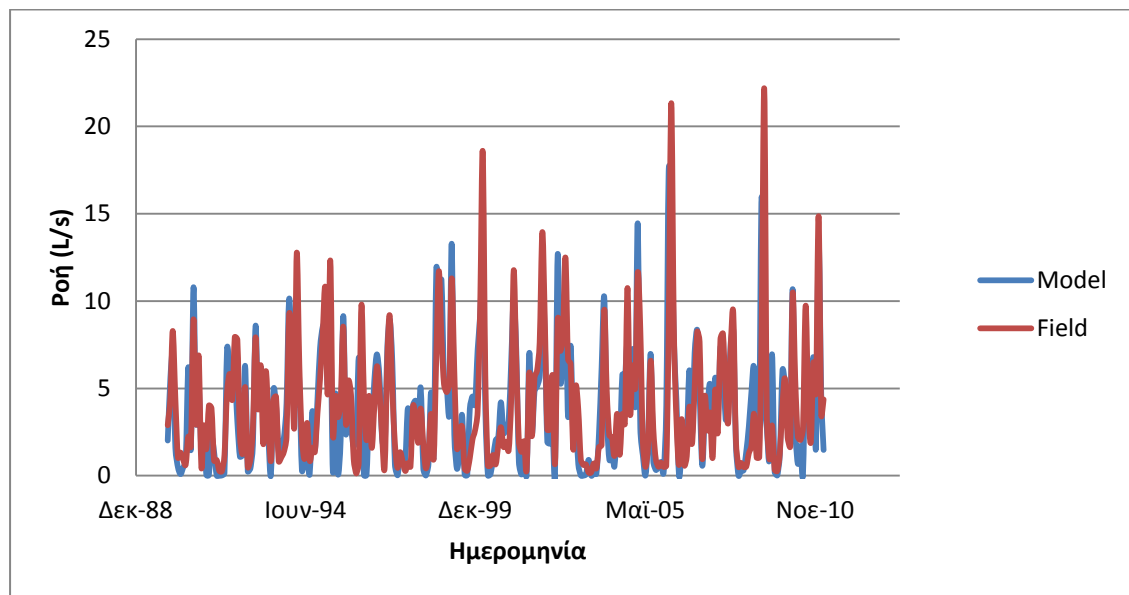
Γράφημα 4-6 Συσσωρευτικό διάγραμμα για την περίοδο της επαλήθευσης

Στο Γράφημα 4-6 παρατηρείται ότι υπάρχει μικρή απόκλιση για τις τιμές του πεδίου από αυτές του μοντέλου

Πίνακας 4-4 Στατιστικοί δείκτες για την περίοδο επαλήθευσης

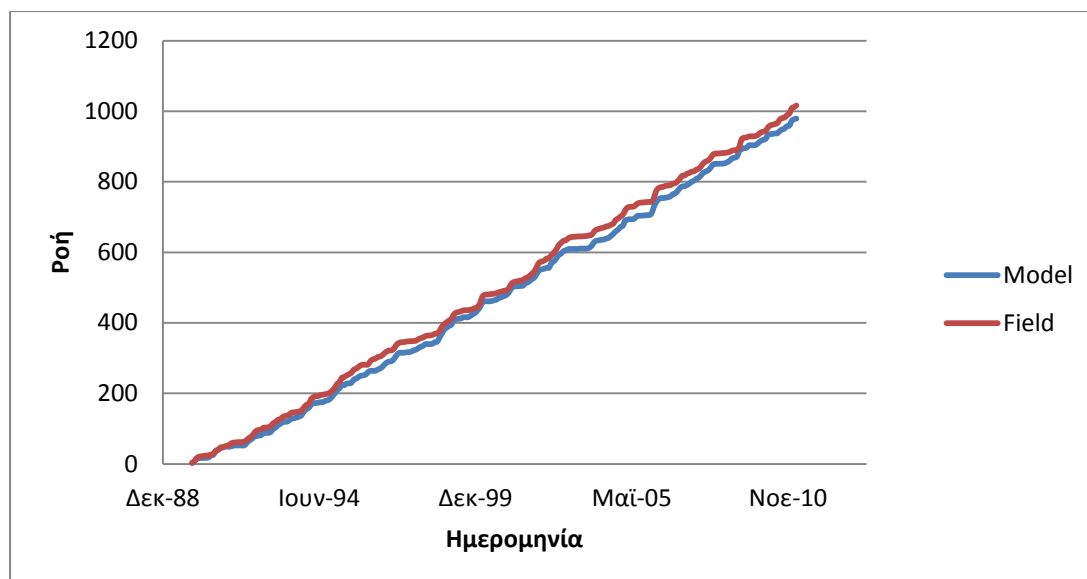
RMSE	0.14
NSE	0.44
PBIAS	3.78
RSR	0.74
Closure	-3.93%

Όσον αφορά τους στατιστικούς δείκτες, για την περίοδο της επαλήθευσης είναι κοντά στο όριο του επιτρεπτού, πράγμα που επαληθεύει ότι η υδρολογία έχει προσομοιωθεί σε πολύ καλό βαθμό.



Γράφημα 4-7 Υδρογράφημα μέσω ημερήσιων παροχών ανά μήνα

Στο Γράφημα 4-7 παρατηρείται ότι σε μηνιαίο βήμα η υδρολογία του πεδίου σχεδόν ταυτίζεται με του μοντέλου, πράγμα που σημαίνει ότι έγινε σωστή δουλειά κατά τη βαθμονόμηση. Οι ακραίες τιμές δεν είναι τόσο πολλές όσο στα ημερήσια υδρογραφήματα και έτσι είναι λογικό να προσομοιάζονται καλύτερα οι τιμές του πεδίου από αυτές του μοντέλου.



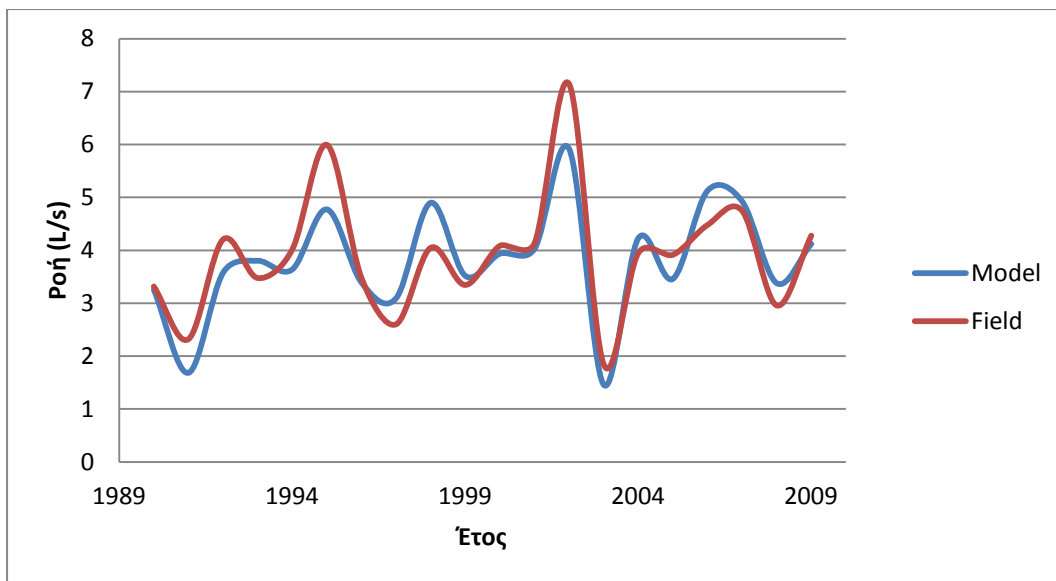
Γράφημα 4-8 Συσσωρευτικό διάγραμμα μέσων μηνιαίων παροχών ανά μήνα

Όπως παρατηρείται στο Γράφημα 4-8 τα δύο συσσωρευτικά διαγράμματα έχουν την ίδια τάση και σχεδόν δεν αποκλίνουν παρά ελάχιστα.

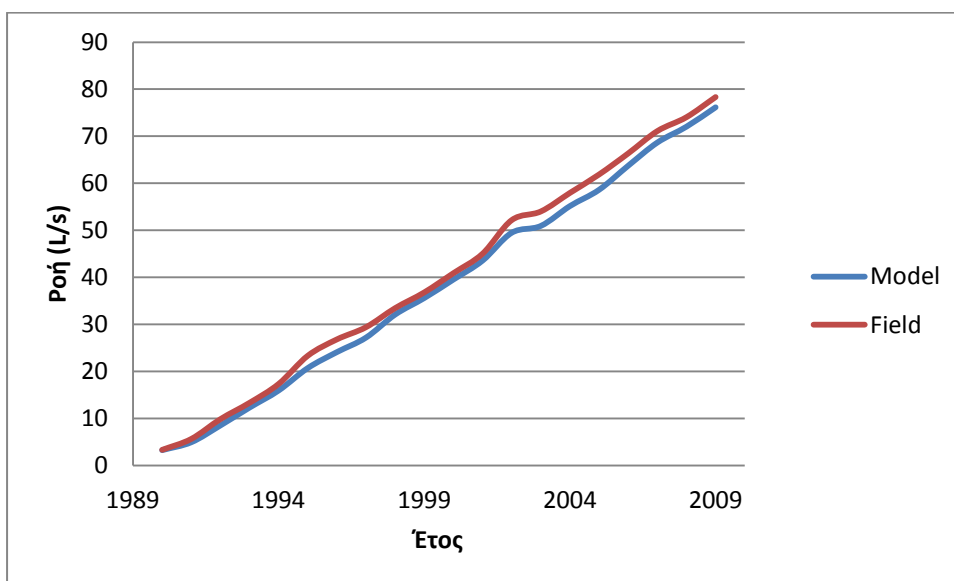
Πίνακας 4-5 Στατιστικοί δείκτες για μηνιαίο τρέξιμο του μοντέλου

RMSE	0.139033
NSE	0.608919
PBIAS	3.257646
RSR	0.625365
closure	3.26%

Στον Πίνακα 4-5 παρουσιάζονται οι στατιστικοί δείκτες για το μηνιαίο τρέξιμο του μοντέλου και είναι επίσης στο όριο του ικανοποιητικού.



Γράφημα 4-9 Διάγραμμα μέσων ημερήσιων παροχών με ετήσιο βήμα



Γράφημα 4-10 Συσσωρευτικό διάγραμμα για ετήσιο βήμα

Πίνακας 4-6 Στατιστικοί Δείκτες για ετήσιο δείγμα

RMSE	0.12
NSE	0.77
PBIAS	2.76
RSR	0.48
Closure	2.76%

Στον πίνακα 4-7 Παρακάτω φαίνονται οι τιμές των παραμέτρων του υδατικού ισοζυγίου για την λεκάνη απορροής της Lysina.

Πίνακας 4-7 Τιμές των παραμέτρων του υδατικού ισοζυγίου για την λεκάνη απορροής

Υδατικό ισοζύγιο λεκάνης απορροής της Lysina	
Παράμετρος	Τιμή (mm)
Επιφανειακή Βροχόπτωση PRECIP	1042.60
Χιονόπτωση SNOW FALL	183.36
Τήξη Χιονιού SNOWMELT	182.32
Εξάχνωση SUBLIMATION	0.03
Επιφανειακή Απορροή SURFACE RUNOFF	40.81
Πλάγια Ροή LATERAL FLOW	26.69
TILE	0.00
Κατείσδυση στον αβαθή υδροφόρα GROUNDWATER (SHALL AQ)	280.03
Εξάτμιση και Διαπνοή	50.91

REVAP	
Κατείσδυση στο βαθύ υδροφορέα DEEP AQ RECHARGE	262.70
Συνολική κατείσδυση υδροφορέα TOTAL AQ RECHARGE	672.59
Συνολική απόδοση νερού TOTAL WATER YLD	333.34
Διήθηση PERCOLATION OUT OF SOIL	658.48
Εξατμισοδιαπνοή ET	311.60
Δυνητική εξατμισοδιαπνοή PET	339.40
Απώλειες μετάδοσης TRANSMISSION LOSSES	14.19

Όπως παρατηρείται στον πίνακα 4-7 η τιμή της βροχόπτωσης στα αποτελέσματα εξόδου (1042.60 mm) είναι πολύ κοντά στις πραγματικές τιμές βροχόπτωσης (1020 mm). Το ποσοστό της εξατμισοδιαπνοής είναι γύρω στο 32% ποσοστό κοντά στο 40% της βιβλιογραφίας (Bencocova et al., 2011). Επίσης σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εξόδου του μοντέλου ένα ποσοστό της τάξης του 18% της συνολικής κατακρήμνισης είναι υπό τη μορφή χιονόπτωσης.

4.4 Μοντελοποίηση της Χημείας

Παρόλο που η υδρολογία, το σημαντικότερο τμήμα της μοντελοποίησης με το SWAT, βαθμονομήθηκε με επιτυχία δεν έγινε κάτι αντίστοιχο στη χημεία. Κατά τη βαθμονόμηση ναι μεν η συνολική ποσότητα νιτρικών για το σύνολο των ετών που έτρεξε το μοντέλο είναι ίδια αλλά παρόλα αυτά το μοντέλο δεν μπόρεσε να προσομοιάσει τη διασπορά των τιμών μέσα στα χρόνια και αντ' αυτού είχε μεγάλες τιμές συγκεντρώσεων σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Με λίγα λόγια η τιμή των νιτρικών από τις μετρήσεις πεδίου ήταν 1.68 kg/ha για τα έτη 1991-2011 ενώ η

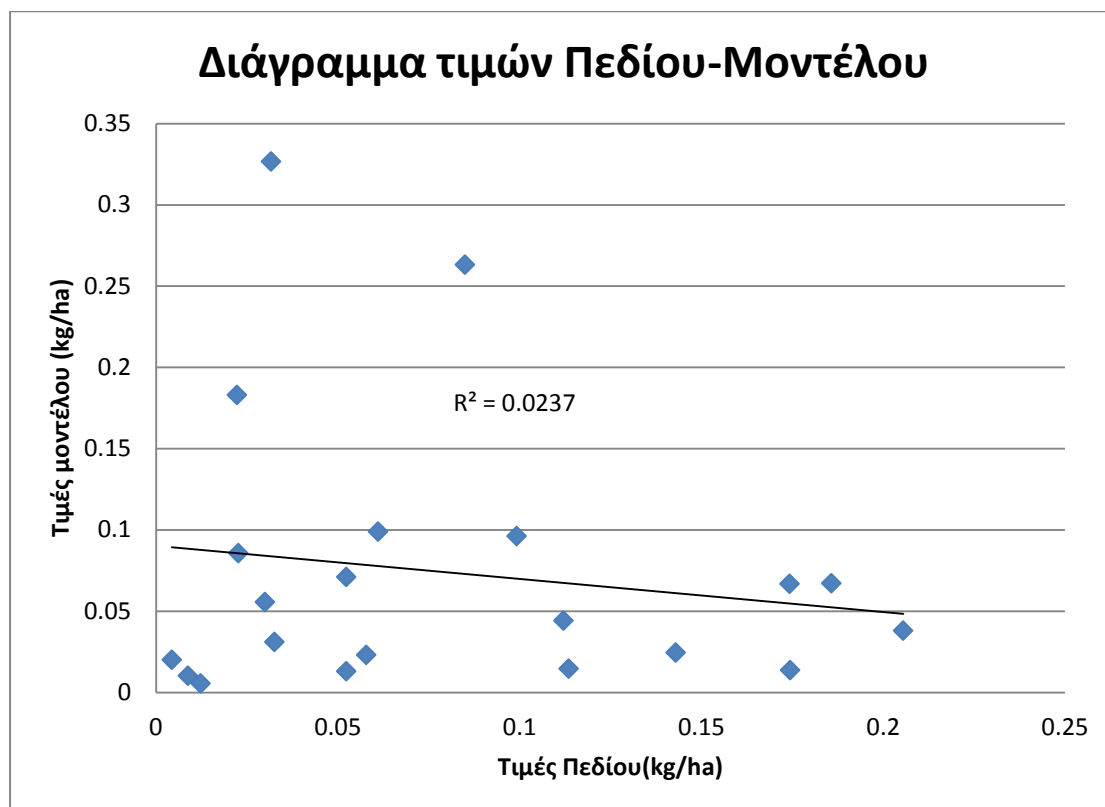
αντίστοιχη τιμή του μοντέλου ήταν 1.55 kg/ha για αντίστοιχες τιμές συγκέντρωσης 2.5 kg/ha και 72 kg/ha στη βροχόπτωση.

Στον πίνακα παρατίθενται κάποιες παράμετροι που μεταβλήθηκαν στην προσπάθεια βαθμονόμησης των νιτρικών:

Πίνακας 4-8 Παράμετροι βαθμονόμησης της χημείας

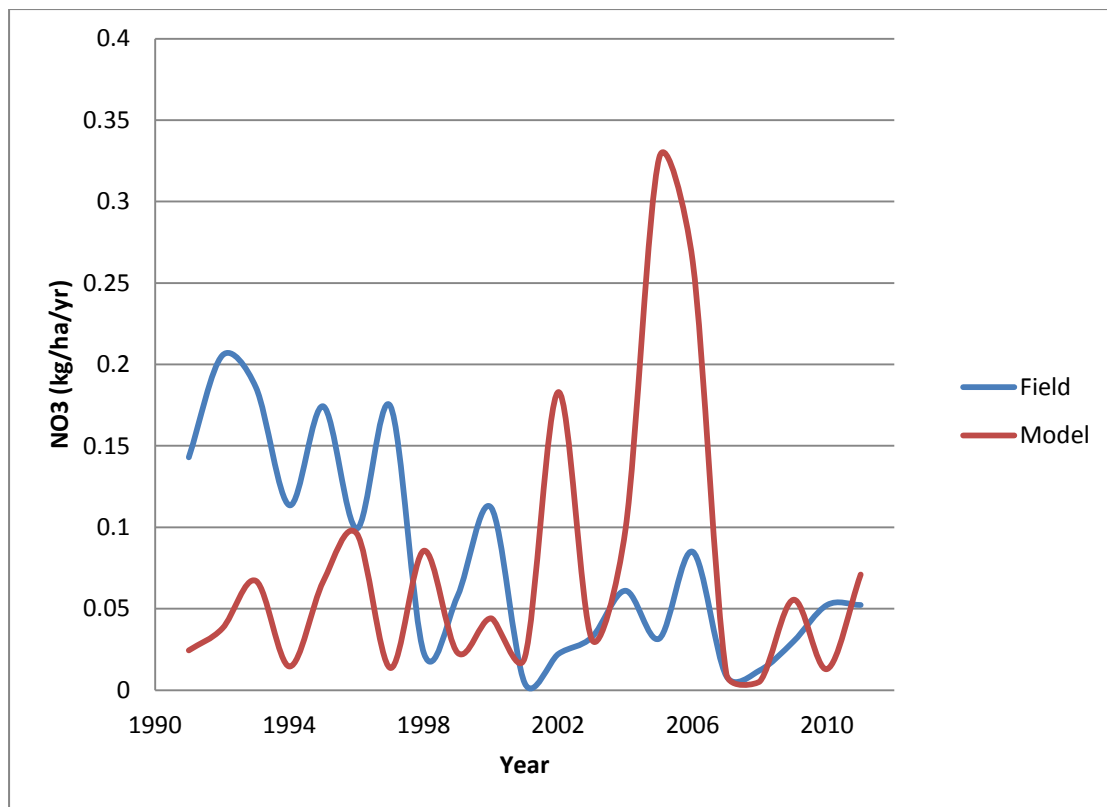
α/α	Παράμετρος	Περιγραφή	Τυπικό Εύρος στο SWAT
Πίνακας Εισαγωγής δεδομένων: General Watershed Data (.bsn)			
1	RCN_SUB	Ατμοσφαιρική Εναπόθεση NO ₃ Atmospheric deposition of nitrate	0-2
2	RCN	Συγκέντρωση N στη βροχόπτωση Nitrogen concentration in rainfall	0-15
3	N_UPDIS	Παράμετρος κατανομής πρόσληψης N Nitrogen uptake distribution parameter	0-100
4	HLIFE_NGW_BS N	Χρόνος ημιζωής N στον υπόγειο υδροφόρα Half-life of nitrogen in groundwater	0-500
Πίνακας Εισαγωγής δεδομένων: Groundwater (.gw)			
5	SHALLST_N	Συγκέντρωση NO ₃ στον αβαθή υδροφόρα Nitrate concentration in shallow aquifer	0-1000
6	HLIFE_NGW	Χρόνος ημιζωής NO ₃ στον αβαθή υδροφόρα Half-life of nitrate in shallow aquifer	0-200
7	LAT_ORGN	Συγκέντρωση οργανικού N στη μόνιμη ροή Organic N in baseflow	0-200
Πίνακας Εισαγωγής δεδομένων: Soil Chemical (.Chm)			
8	SOL_NO3	Αρχική συγκέντρωση NO ₃ στο έδαφος initial NO ₃ concntration in the soil layer	0-100
9	SOL_ORGN	Αρχική συγκέντρωση οργανικού N στο έδαφος initial organic N concentration in the soil layer	0-100
Πίνακας Εισαγωγής δεδομένων: Stream Water Quality (.Swq)			

10	BC1	Σταθερά ρυθμού οξείδωσης του NH ₄ σε NO ₂ στο ποτάμι στους 20 οC	0.2-2
11	BC2	Σταθερά ρυθμού οξείδωσης του NO ₂ σε NO ₃ στο ποτάμι στους 20 οC	0.2-0.4



Γράφημα 4-11 Σύγκριση τιμών πεδίου - μοντέλου

Όπως φαίνεται στο γράφημα 4-11 η τιμή του r^2 είναι πάρα πολύ μικρή κάτι που σημαίνει ότι το μοντέλο δεν προσομοίωσε σωστά τη συγκέντρωση των νιτρικών στο σύστημα.



Γράφημα 4-12 Συγκέντρωση νιτρικών ανά έτος

Όπως φαίνεται και στο Γράφημα 4-12 οι μετρήσεις πεδίου καθώς και τα αποτελέσματα που παρουσιάζει το μοντέλο δεν ταυτίζονται.

Τα πιθανά αίτια που δεν προσομοιάστηκε σωστά η χημεία, σύμφωνα με το αρχείο εξόδου του μοντέλου SWAT, οφείλεται στους παρακάτω παράγοντες:

1. Μεγάλη ποσότητα των νιτρικών χάθηκαν καθώς προσροφήθηκαν από τα δέντρα
2. Μεγάλη ποσότητα διέρρευσε εκτός λεκάνης απορροής
3. Το οργανικό άζωτο δε μετατράπηκε στον επιθυμητό βαθμό σε νιτρικά, με λίγα λόγια ούτε ο κύκλος του αζώτου προσομοιάστηκε καλά

5 Αποτελέσματα και Συμπεράσματα της Μοντελοποίησης της Υπολεκάνης της Lysina

Παρατηρώντας όλα τα παραπάνω διαγράμματα το συμπέρασμα που βγαίνει είναι το μοντέλο SWAT κατάφερε να αποδώσει ικανοποιητικά την υδρολογία της λεκάνης απορροής της Lysina. Παρά τις αποκλίσεις των στατιστικών δεικτών σε κάποια απ' τα παραπάνω διαγράμματα η προσομοίωση της υδρολογίας ήταν επιτυχημένη.

Απ' την άλλη όμως, συμπεραίνουμε ότι όσον αφορά τη χημεία και συγκεκριμένα τα νιτρικά η προσομοίωση ήταν ανεπιτυχής. Πιθανά αίτια η μεγάλη ποσότητα των νιτρικών που χάθηκαν καθώς προσροφήθηκαν από τα δέντρα, η μεγάλη ποσότητα που διέρρευσε εκτός λεκάνης απορροής και η δυσλειτουργία του κύκλου του αζώτου που είχε ως αποτέλεσμα το οργανικό άζωτο να μην μετατραπεί στον επιθυμητό βαθμό σε νιτρικά.

Από τη μελέτη της λεκάνης απορροής της Lysina μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η Lysina είναι μια περιοχή με πληθώρα δεδομένων, κάτι που σημαίνει ότι προσφέρεται για περεταίρω μελέτη και έρευνα
- Το υδατικό ισοζύγιο της περιοχής παρουσιάζει αυξανόμενη τάση τα τελευταία χρόνια στο διάστημα που μελετήθηκε (1989-2011)
- Το μοντέλο SWAT είναι ένα πολύ ευέλικτο και αξιόπιστο εργαλείο για την προσομοίωση της υδρολογίας μιας λεκάνης απορροής όπως φάνηκε και στην παρούσα εργασία και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στη λήψη αποφάσεων για τη διαχείριση υδάτινων πόρων
- Το SWAT όμως δεν μπόρεσε να απεικονίσει ικανοποιητικά την εικόνα της χημείας της Lysina. Το SWAT βρίσκει εφαρμογή κυρίως σε αγροτικές εκτάσεις με τεράστιες φορτίσεις χημικών λόγω των λιπασμάτων και όχι τόσο σε ατμοσφαιρικές εναποθέσεις τους.

Οι προτάσεις που μπορούν να γίνουν όσον αφορά τη λεκάνη της Lysina είναι οι ακόλουθες:

- Εγκατάσταση ενός βροχομετρικού σταθμού ακόμα πιο κοντά, αν όχι μέσα, στη λεκάνη απορροής. Έτσι θα μπορούσε να μελετηθεί ακόμα καλύτερα η υδρολογία και κατά συνέπεια θα μπορούσε να γίνει ακόμα καλύτερη προσομοίωση της υδρολογίας της περιοχής
- Τακτικότερη καταγραφή δεδομένων χημείας έτσι ώστε να επιτευχθεί ακόμα καλύτερη κατανόηση του συστήματος
- Συνδυασμός του SWAT με μοντέλο πρόβλεψης κλιματικής αλλαγής με σκοπό την πρόβλεψη απόκρισης της περιοχής στο μέλλον.
- Προσπάθεια προσομοίωσης και άλλων χημικών στοιχείων
- Καλύτερη προσπάθεια βαθμονόμησης της χημείας

6 Βιβλιογραφία

1. Abbaspour K. C., M. Vejdani, and S. Haghghat. 2007. SWAT-CUP calibration and uncertainty programs for SWAT. In Proc.Intl. Congress on Modelling and Simulation (MODSIM'07), 1603-1609. L. Oxley and D. Kulasiri, eds. Melbourne, Australia: Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand.
2. ASCE. 1993. Criteria for evaluation of watershed models. J. Irrig. Drainage Eng. 119(3): 429-442.
3. Anderson, S.P., Bales, R.C., Duffy, C.J., 2008. Critical zone observatories: building a network to advance interdisciplinary study of Earth surface processes. Mineral. Mag. 72, 7–10
4. Ansar, A., & Khad, F. (2005, December). Eutrophication: An Ecological Vision. The Botanical Review, 71(4), 449-82.
5. Arnold, J., Moriasi, D., Gassman, P., Abbaspour, K., White, M., Srinivasan, R., ... Jha, M. (2012). Swat: model use, calibration and validation, 55(4), 1491–1508.
6. Banwart, S., 2011. Save our soils. Nature 474, 151–152. Banwart, S., Bernasconi, S.M., Bloem, J., Blum, W., Brandao, M., Brantley, S., Chabaux, F., Duffy, C., Krám, P., Lair, G., Lundin, L., Nikolaidis, N., Novák, M., Panagos, P., Ragnarsdottir, K.V., Reynolds, B., Rousseva, S., de Ruiter, P., van Gaans, P., van Riemsdijk, W., White, T., Zhang, B., 2011. Soil processes and functions in critical zone observatories: hypotheses and experimental design. Vadose Zone J. 10, 974–987.
7. Barrett, L.R., Schaetzl, R.J., 1992. An examination of podzolization near Lake Michigan using chronofunctions. Can. J. Soil Sci. 72, 527–541.
8. Benčoková, A., Hruška, J., & Krám, P. (2011). Modeling anticipated climate change impact on biogeochemical cycles of an acidified headwater catchment. *Applied Geochemistry*.

9. Bencokova, A., Krám, P., & Hruska, J. (2011). Future climate and changes in flow patterns in Czech headwater catchments. *Climate Research*.
10. Beven K., (2001), Rainfall-Runoff modelling. The Primer. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 1-360 pp.
11. Biswas, A. K. (2004). Integrated Water Resources Management: A Reassessment. *Water International*, 29(2), 248–256.
12. Biswas, A.K. 2001. "Water Policies in the Developing World." In- ternational Journal of Water Resources Development 17, No. 4: 489-499.
13. Boyle, D. P., H. V. Gupta, and S. Sorooshian. 2000. Toward improved calibration of hydrologic models: Combining the strengths of manual and automatic methods. *Water Resour. Res.* 36(12): 3663-3674.
14. Bringmark, L., Lundin, L., Dieffenbach-Fries, H., Beudert, B., Grabner, M., Ruoho- Airola, T., Lyulko, I., Vána, M., Krám, P., Augustaitis, A., Schulte-Bisping, H., 2009. Heavy metal budgets and critical loads at ICP Integrated Monitoring sites. *Finnish Environment* 23, 64–70.
15. Büttcher, H. (2001). Random variability or reproducible spatial patterns? Investigating sulphate dynamics in forested catchments with a coupled transport sorption model.
16. Czech ILTER, 2011. International Long-Term Ecological Research in the Czech Republic. <<http://www.lter.cz>>.
17. Czech statistical office <http://www.czso.cz/eng/redakce.nsf/i/population>
18. Dimbleby, G.W., Gil, J.M., 1955. The occurrence of podzols under deciduous woodland in the New Forest. *Forestry* 28, 95–106.
19. Dvorak, V., Hladny, J., & Kasperek, L. (1997). Climate change hydrology and water resources impact and adaptation for selected river basins in the Czech Republic. *Climatic Change*.

20. Engel, B., Storm, D., White, M., Arnold, J., & Arabi, M. (2007). A Hydrologic/Water Quality Model Applicati1. *Journal of the American Water Resources Association*, 43(5), 1223–1236.
21. Fottová, D. (2003). Trends in sulphur and nitrogen deposition fluxes in the GEOMON network, Czech Republic, between 1994 and 2000. *Water, Air, and Soil Pollution*.
22. Fottová, D., & Skořepová, I. (1998). Changes in mass element fluxes and their importance for critical loads: GEOMON network, Czech Republic. *Water, air, and soil pollution*.
23. Franzmeier, D.P., Whiteside, E.P., 1963a. A chronosequence of podzols in northern Michigan: I. Ecology and description of pedons. *Mich. Q. Bull.* 46, 2–19.
24. Franzmeier, D.P., Whiteside, E.P., 1963b. A chronosequence of podzols in northern Michigan: II. Physical and chemical properties. *Mich. Q. Bull.* 46, 20–36
25. Franzmeier, D.P., Whiteside, E.P., Mortland, M.M., 1963. A chronosequence of podzols in northern Michigan: III. Mineralogy, micromorphology, and net changes occurring during soil formation. *Mich. Q. Bull.* 46, 37–57
26. Frigg, R., & Hartmann, S. (2006). Models in Science. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/entries/models-science/#RepModIModPhe>
27. Gan, T. Y., E. M. Dlamini, and G. F. Biftu. 1997. Effects of model complexity and structure, data quality, and objective functions on hydrologic modeling. *J. Hydrol.* 192(1): 81-103.
28. Google Earth. <http://www.google.com/earth/index.html>
29. Holvoet, K., van Griensven, a., Seuntjens, P., & Vanrolleghem, P. a. (2005). Sensitivity analysis for hydrology and pesticide supply towards the river in SWAT. *P*

30. Home - Czech Geological Survey. <http://www.geology.cz/extranet-eng>
31. Hrkal, Z., Prchalová, H., & Fottová, D. (2006). Trends in impact of acidification on groundwater bodies in the Czech Republic; an estimation of atmospheric deposition at the horizon 2015. *Journal of atmospheric chemistry*.
32. Hruška, J., Moldan, F., & Krám, P. (2002). Recovery from acidification in central Europe—Observed and predicted changes of soil and streamwater chemistry in the Lysina catchment, Czech Republic. *Environmental Pollution*.
33. <http://www.tjhsst.edu/~ibet/0506/science/tbrobst.htm>
34. Jauhiainen, E., 1973. Effect of climate on podzolisation in southwest and eastern Finland. *Commentat. Phys.-Math.* 43, 214–242.
35. Jenny, H., 1941. *Factors of Soil Formation. A System of Quantitative Pedology*. McGraw-Hill, New York.
36. Kliment, Z., Kadlec, J., & Langhammer, J. (2008). Evaluation of suspended load changes using AnnAGNPS and SWAT semi-empirical erosion models. *Catena*, 73(3), 286–299.
37. Krám, P. (2003). Modelling long-term changes in stream water and soil chemistry in catchments with contrasting vulnerability to acidification (Lysina and Pluhuv Bor, Czech Republic).
38. Krám, P. & Hruška, J. (1994). Influence of bedrock geology on elemental fluxes in two forested catchments affected by high acidic deposition. *Applied Hydrogeology*.
39. Krám, P., Hruška, J., & Wenner, B. (1997). The biogeochemistry of basic cations in two forest catchments with contrasting lithology in the Czech Republic. *Biogeochemistry*.

40. Krám, Pavel, Santorella, R. C., Driscoll, C. T., Aber, J. D., & Hruska, J. (1999). Application of the forest–soil–water model (PnET-BGC CHES) to the Lysina catchment, Czech Republic.
41. Lam, Q. D., Schmalz, B., & Fohrer, N. (2010). Modelling point and diffuse source pollution of nitrate in a rural lowland catchment using the SWAT model. *Agricultural Water Management*, 97(2), 317–325.
42. Lee, M., Park, G., Park, M., Park, J., Lee, J., & Kim, S. (2010). Evaluation of non-point source pollution reduction by applying Best Management Practices using a SWAT model and QuickBird high resolution satellite imagery. *Journal of Environmental Sciences*, 22(6), 826–833.
43. Legates, D. R., and G. J. McCabe. 1999. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resour. Res.* 35(1): 233-241.
44. Lundin, L.-C., Bergström, S., Erik, E., & Jan, S. (n.d.). HYDROLOGICAL MODELS AND MODELLING.
45. Lundström, U., Breemen, N. van, & Bain, D. (2000). The podzolization process. A review. *Geoderma*, 91–107.
46. Ma, L., J. C. Ascough II, L. R. Ahuja, M. J. Shaffer, J. D. Hanson, and K. W. Rojas. 2000. Root Zone Water Quality Model sensitivity analysis using Monte Carlo simulation. *Trans.*
47. McKeague, J.A., De Connick, F., Franzmeier, D.P., 1983. Spodosols. In: Wilding, L.P., Smeck, N.E., Hall, G.F. Eds. , *Pedogenesis and Soil Taxonomy*. Elsevier, New York, pp. 217–252.
48. Moldan, B.; Schnoor, J. L. Czechoslovakia-examining a critically ill environment. *Environ. Sci. Technol.* 1992, 26, 14–21

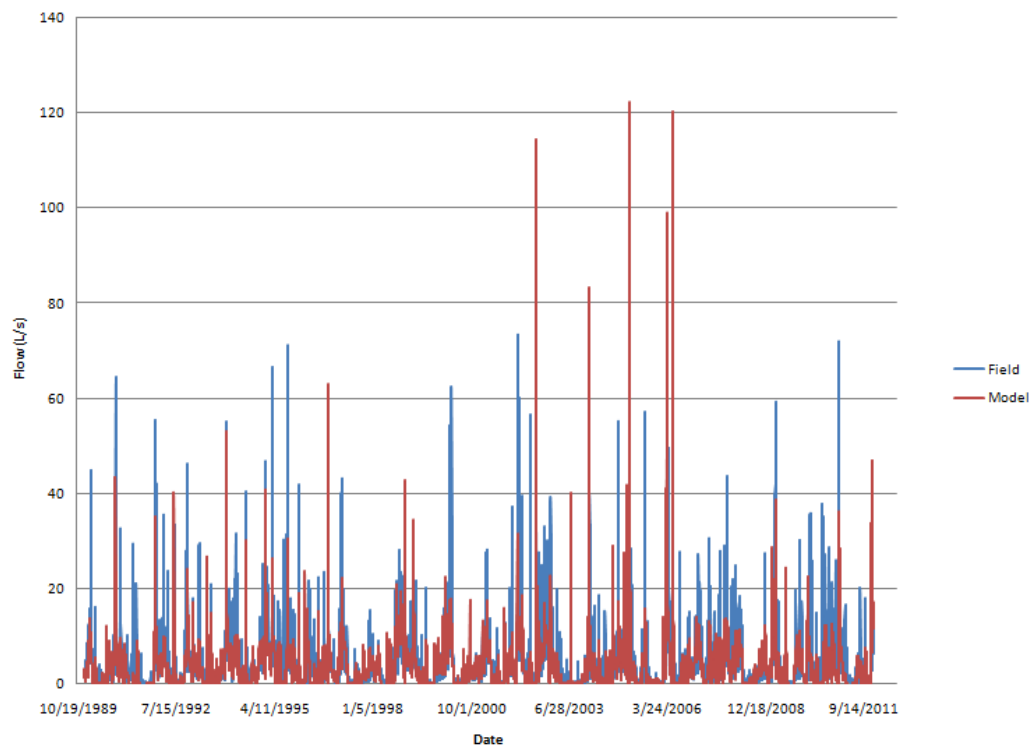
49. Moriasi, D., Arnold, J., Van Liew, M., Bingner, R., Harmel, R. D., & Veith, T. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations.
50. Nature Coservation and Landscape Protection in the Czech Republic
http://www.cittadella.cz/europarc/index.php?p=mapa&site=CHKO_slavkovsky_les_en
51. Navrátil, T., Kurz, D., Krám, P., Hofmeister, J., & Hruška, J. (2007). Acidification and recovery of soil at a heavily impacted forest catchment (Lysina, Czech Republic)—SAFE modeling and field results. *Ecological Modelling*, 205(3-4), 464–474.
52. Protz, R., 1982. Development of podzolic soils in the Hudson and James Bay, Lowlands, Ontario. *Nat. Can.* 109, 501–510.
53. Neitsch, S., Arnold, J., Kiniry, J., & Williams, J. (2005). Soil and water assessment tool: theoretical documentation, version 2005. *Texas,*
54. Nikolaidis P. Nikolaos, Environmental Modeling Notes
55. Nikolaidis, N. P., Bouraoui, F., & Bidoglio, G. (2012). Hydrologic and geochemical modeling of a karstic Mediterranean watershed. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 9(1), 1–27.
56. Novak, M., Kirshner, J. W., Groscheova, H., Havel, M., Cerny, J., Kreji, R., and Buzek, F., 2000: e´ Sulfur isotope dynamics in two Central European watersheds affected by high atmospheric depo- sition of Sox, *Geochim. Cosmochim. Acta* 64(3), 367–383.
57. Oeurng, C., Sauvage, S., & Sánchez-Pérez, J.-M. (2011). Assessment of hydrology, sediment and particulate organic carbon yield in a large agricultural catchment using the SWAT model. *Journal of Hydrology*, 401(3-4), 145–153.

58. Oulehle, F., & McDowell, W. (2008). Long-term trends in stream nitrate concentrations and losses across watersheds undergoing recovery from acidification in the Czech Republic. *Ecosystems*.
59. Pechlivanidis, I., Jackson, B., McIntyre, N., & Wheeler, H. (2011). hydrological modelling: a review of model types, calibration approaches and uncertainty analysis methods in the context of recent developments in technology. *Global Nest*
60. Petaja-Ronkainen, A., Peuraniemi, V., Aario, R., 1992. On podzolization in glaciofluvial material in northern Finland. *Ann. Acad. Sci. Fenn., Ser. A3, Geol.-Geogr.* 156.
61. Pisinaras, V., Petalas, C., Gikas, G. D., Gemitzi, A., & Tsihrintzis, V. a. (2010). Hydrological and water quality modeling in a medium-sized basin using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT). *Desalination*, 250(1), 274–286.
62. Prohlížení - Národní geoportál INSPIRE <http://geoportal.gov.cz/web/guest/map>
63. Refsgaard, J. C. 1997. Parameterisation, calibration, and validation of distributed hydrological models. *J. Hydrol.* 198(1): 69-97.
64. Romanowicz, a. a., Vanclooster, M., Rounsevell, M., & La Junesse, I. (2005). Sensitivity of the SWAT model to the soil and land use data parametrisation: a case study in the Thyle catchment, Belgium. *Ecological Modelling*, 187(1), 27–39.
65. Schmid-Araya. (2003, September). Biogeochemical Cycles: The Nitrogen and the Phosphorus Cycles.
66. Schnoor, J. (1993). The Czech Republic: Environmental Problems in Eastern Europe.
67. Schuol, J., Abbaspour, K. C., Srinivasan, R., & Yang, H. (2008). Estimation of freshwater availability in the West African sub-continent using the SWAT hydrologic model. *Journal of Hydrology*, 352(1-2), 30–49.

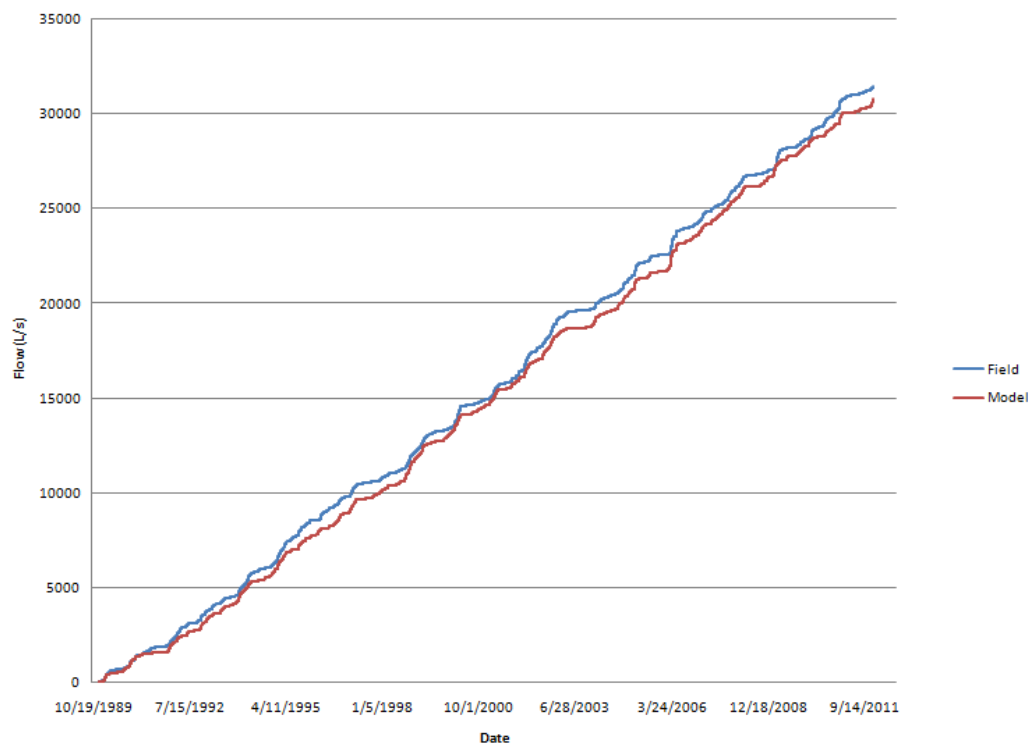
68. Science Library - Environmental Monitor
http://www.fondriest.com/news/category/science_library-htm
69. Singh V.P. and Frevert D., (2006), Watershed models. Boca Raton, Taylor & Francis.
70. Singleton, G.A., Lavkulish, L.M., 1987. A soil chronosequence on beach sands, Vancouver Island, British Colombia. *Can. J. Soil Sci.* 67, 795–810
71. SoilTrEC Project. (n.d.). <http://www.soiltrec.eu/>
72. Stanford Encyclopedia of Philosophy. (n.d.). Retrieved September 27, 2013, from <http://plato.stanford.edu/>
73. Steila, D., Pond, T.E., 1989. The Geography of Soils, Formation, Distribution, and Management. 2nd edn. Rowman and Littlefield, Savage, NJ.
74. Ullrich, A., & Volk, M. (2009). Application of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to predict the impact of alternative management practices on water quality and quantity. *Agricultural Water Management*, 96(8), 1207–1217.
75. van Griensven, A., and W. Bauwens. 2003. Multiobjective autocalibration for semidistributed water quality models. *Water Resour. Res.* 39(12): 1348-1356
76. Van Liew, M. W., J. G. Arnold, and D. D. Bosch. 2005. Problems and potential of autocalibrating a hydrologic model. *Trans. ASAE* 48(3): 1025-1040
77. Vancura ,K. (2003) Czech republic national report on Watershed management (an intrgrated approach toenvironment protection)
78. Wheater H.S., Jakeman A.J., Beven K.J., Beck M.B. and McAleer M.J., (1993), Progress and directions in rainfall-runoff modelling, *Modelling change in environmental systems*, New York, pp. 101-132

79. Wu, K., & Johnston, C. a. (2007). Hydrologic response to climatic variability in a Great Lakes Watershed: A case study with the SWAT model. *Journal of Hydrology*, 337(1-2), 187–199.
80. Yanamadala, V. (2005, November/December). Calcium Carbonate Phosphate Binding Ion Exchange Filtration and Accelerated Denitrification Improve Public Health Standards and Combat Eutrophication in Aquatic Ecosystems. *Water Environment Research*, 77(7), 3003-3012
81. Yu, X., Lamacova, A., Duffy, C., Krám, P., Hruška, J., White, T., & Bhatt, G. (n.d.). Modeling long term water yield effects of forest management in a Norway spruce forest.

7 Παράρτημα



Γράφημα 7-1 Hydrology Hindcast



Γράφημα 7-2 Συσσωρευτικό διάγραμμα για τα έτη 1989-2011

Αρχείο εξόδου της υδρολογίας

AVE ANNUAL BASIN VALUES

PRECIP = 1042.6 MM
SNOW FALL = 174.58 MM
SNOW MELT = 173.68 MM
SUBLIMATION = 0.03 MM
SURFACE RUNOFF Q = 41.60 MM
LATERAL SOIL Q = 26.83 MM
TILE Q = 0.00 MM
GROUNDWATER (SHAL AQ) Q = 280.80 MM
REVAP (SHAL AQ => SOIL/PLANTS) = 50.89 MM
DEEP AQ RECHARGE = 263.08 MM
TOTAL AQ RECHARGE = 673.58 MM
TOTAL WATER YLD = 335.29 MM
PERCOLATION OUT OF SOIL = 659.70 MM
ET = 309.6 MM
PET = 339.3MM
TRANSMISSION LOSSES = 13.94 MM
SEPTIC INFLOW = 0.00 MM
TOTAL SEDIMENT LOADING = 0.070 T/HA
POND BUDGET
EVAPORATION = 0.000 MM
SEEPAGE = 0.000 MM
RAINFALL ON POOL = 0.000 MM
INFLOW
WATER = 0.000 MM
SEDIMENT = 0.000 T/HA
OUTFLOW
WATER = 0.000 MM

SEDIMENT = 0.000 T/HA

RESERVOIR BUDGET

EVAPORATION = 0.000 MM

SEEPAGE = 0.000 MM

RAINFALL ON RESERVOIR = 0.000 MM

INFLOW

WATER = 0.000 MM

SEDIMENT = 0.000 T/HA

OUTFLOW

WATER = 0.000 MM

SEDIMENT = 0.000 T/HA

YIELD LOSS FROM PONDS

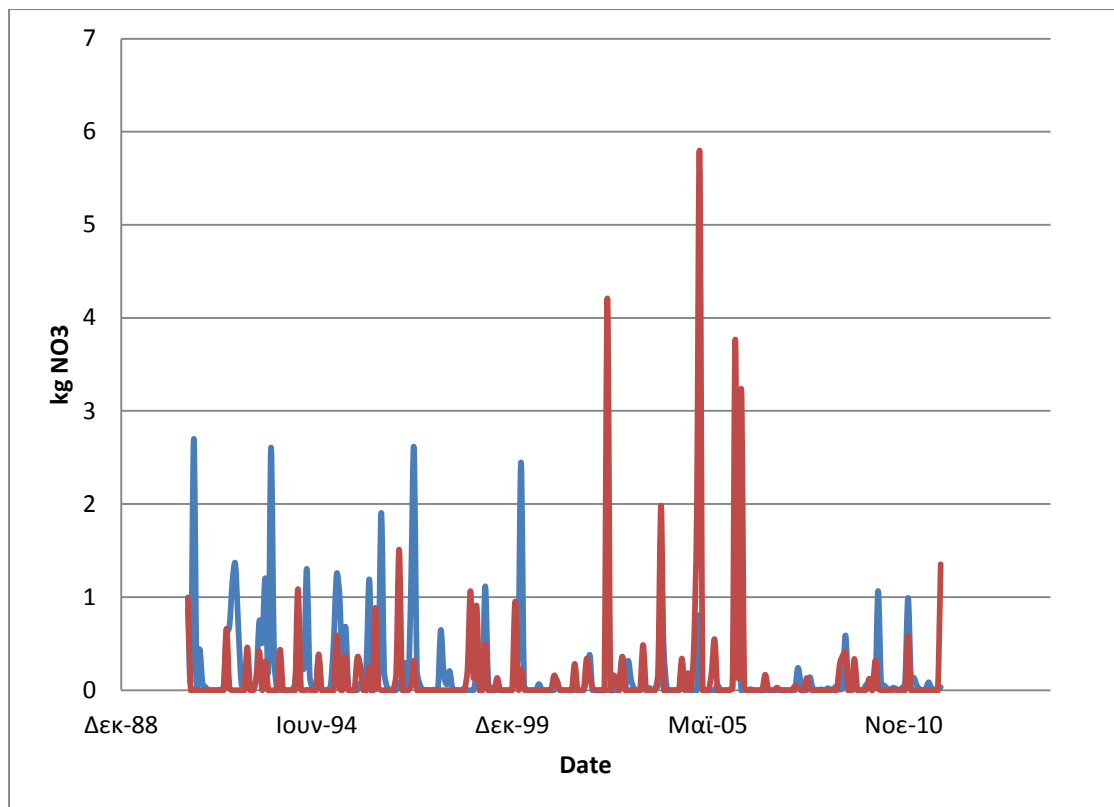
WATER = 0.000 MM

SEDIMENT = 0.000 T/HA

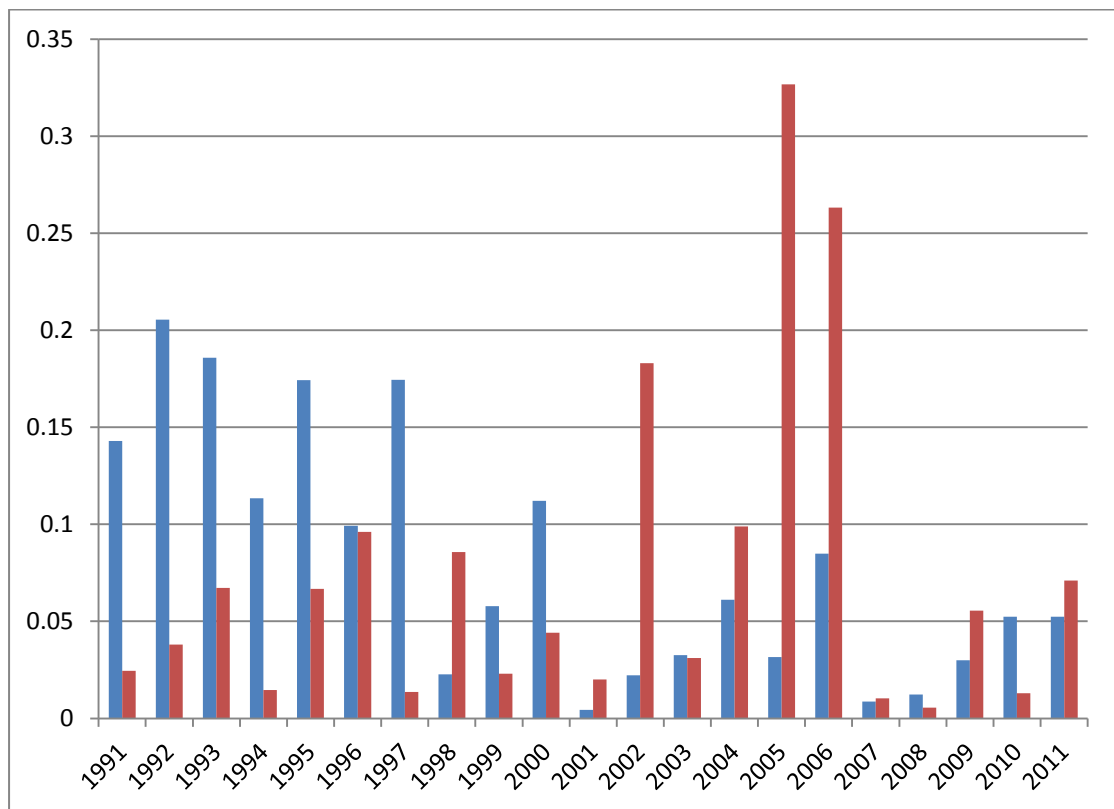
YIELD LOSS FROM RESERVOIRS

WATER = 0.000 MM

SEDIMENT = 0.000 T/HA



Γράφημα 7-3 Μηνιαία εναπόθεση NO₃



Γράφημα 7-4 Ετήσια εναπόθεση NO₃

Αρχείο εξόδου της χημείας

NUTRIENTS

ORGANIC N = 0.035 (KG/HA)
ORGANIC P = 0.002 (KG/HA)
NO3 YIELD (SQ) = 3.633 (KG/HA)
NO3 YIELD (SSQ) = 0.285 (KG/HA)
SOL P YIELD = 0.036 (KG/HA)
NO3 LEACHED = 3.290 (KG/HA)
P LEACHED = 0.421 (KG/HA)
N UPTAKE = 7.733 (KG/HA)
P UPTAKE = 1.870 (KG/HA)
NO3 YIELD (GWQ) = 0.161 (KG/HA)
ACTIVE TO SOLUTION P FLOW = -0.006 (KG/HA)
ACTIVE TO STABLE P FLOW = 0.049 (KG/HA)
N FERTILIZER APPLIED = 0.000 (KG/HA)
P FERTILIZER APPLIED = 0.000 (KG/HA)
N FIXATION = 0.000 (KG/HA)
DENITRIFICATION = 98.767 (KG/HA)
HUMUS MIN ON ACTIVE ORG N = 3.685 (KG/HA)
ACTIVE TO STABLE ORG N = -1.996 (KG/HA)
HUMUS MIN ON ACTIVE ORG P = 0.546 (KG/HA)
MIN FROM FRESH ORG N = 6.559 (KG/HA)
MIN FROM FRESH ORG P = 1.528 (KG/HA)
NO3 IN RAINFALL = 72.593 (KG/HA)
INITIAL NO3 IN SOIL = 1050.000 (KG/HA)
FINAL NO3 IN SOIL = 1.139 (KG/HA)
INITIAL ORG N IN SOIL = 1050.000 (KG/HA)
FINAL ORG N IN SOIL = 976.982 (KG/HA)
INITIAL MIN P IN SOIL = 330.000 (KG/HA)
FINAL MIN P IN SOIL = 325.480 (KG/HA)
INITIAL ORG P IN SOIL = 105.000 (KG/HA)

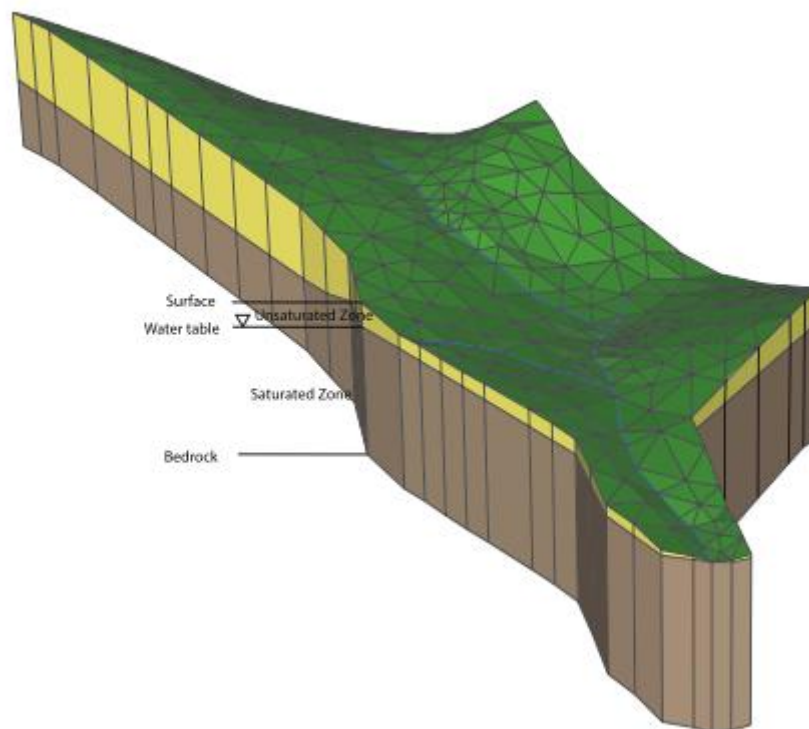
FINAL ORG P IN SOIL = 98.171 (KG/HA)
 NO3 IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 AMMONIA IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 ORG N IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 MINERAL P IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 ORG P IN FERT = 0.000 (KG/HA)
 N REMOVED IN YIELD = 0.000 (KG/HA)
 P REMOVED IN YIELD = 0.000 (KG/HA)
 AMMONIA VOLATILIZATION = 0.000 (KG/HA)
 AMMONIA NITRIFICATION = 0.000 (KG/HA)
 NO3 EVAP-LAYER 2 TO 1 = 0.003

DIE-GRO P Q = 0.0 (No/HA)
 DIE-GRO LP Q = 0.0 (No/HA)
 DIE-GRO P SED = 0.0 (No/HA)
 DIE-GRO LP SED = 0.0 (No/HA)
 BACT P RUNOFF = 0.0 (No/HA)
 BACT LP RUNOFF = 0.0 (No/HA)
 BACT P SEDIMENT = 0.0 (No/HA)
 BACT LP SEDIMENT = 0.0 (No/HA)
 BACT P INCORP = 0.0 (No/HA)
 BACT LP INCORP = 0.0 (No/HA)

NITRATE SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 AMMONIA SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 ORG N SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 FRESH ORGN SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 ORG P SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 FRESH ORGP SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 SOL P SEPTIC = 0.00 (kg/ha)
 BOD SEPTIC = 0.00 (kg/ha)



Εικόνα 7-1 Θέση υπολεκανών δικτύου GEOMON (Oulehle et al., 2008)



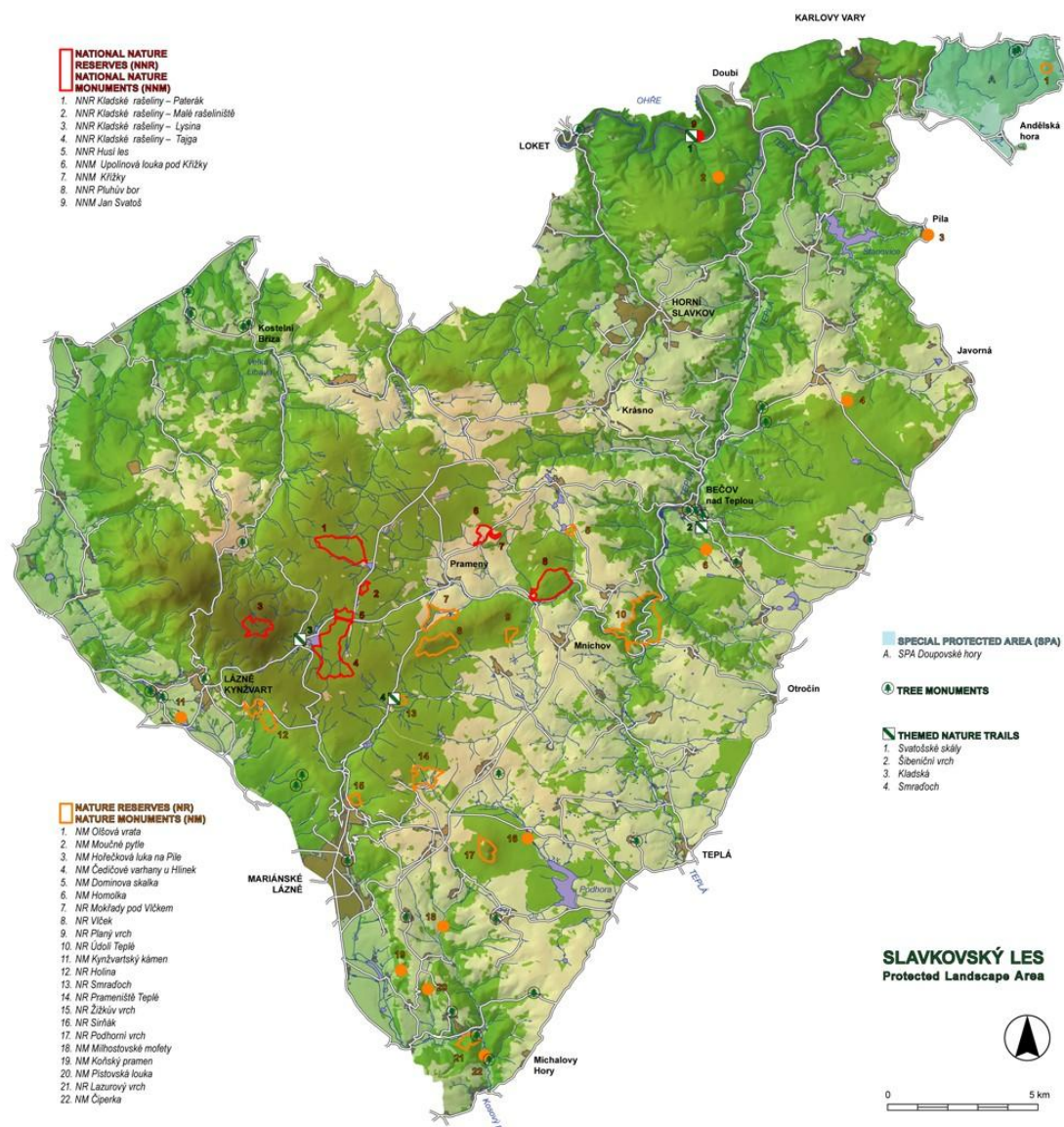
Εικόνα 7-2 Πλέγμα και όρια της λεκάνης απορροής Lysina. Η αύξηση του κατώτερου ορίου του διαπερατού βραχώδους υποστρώματος ορίστηκε 4 m κάτω από την επιφάνεια. Η ροή των υπογείων υδάτων στην υδρολογική λεκάνη είναι μέσα στο έδαφος (0-1,5 m) και του βραχώδους υποστρώματος (1,5-4 m). Οι μπλε γραμμές αντιπροσωπεύουν τα κανάλια του ρεύματος ροής, και τα πράσινα τρίγωνα αντιπροσωπεύουν την περιοχή της λεκάνης απορροής (Yu et al., n.d.).



Εικόνα 7-3 Μετρητής παροχής (πηγή SOILTREC)



Εικόνα 7-4 Ποντζόλα σε λευκογρανίτη (πηγή Ινστιτούτο Γεωλογικών Ερευνών Τσεχίας)



Εικόνα 7-5 Το δάσος Slavkon στο οποίο βρίσκεται η Lysina (πηγή Nature Coservation and Landscape Protection in the Czech Republic)