

Η υπο-ανασύσταση λίμνη
Κάρλα: Μαθηματική
προσομοίωση του κύκλου του
αζώτου

Λασπίδου Χρυσή
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Υγρότοποι: ορισμός και είδη

- Είναι φυσικές ή τεχνητές περιοχές, μονίμως ή προσωρινώς κατακλυσμένες με νερό, ρέον ή στάσιμο, γλυκό, υφάλμυρο ή αλμυρό και περιοχές που καλύπτονται από θαλάσσιο νερό του οποίου το βάθος δεν υπερβαίνει τα έξι μέτρα.
- Παράκτιοι υγρότοποι: τα ρηχά θαλασσινά νερά, τα δέλτα και οι εκβολές των ποταμών, τα αλμυρά έλη, οι κλειστές και ανοιχτές λιμνοθάλασσες.
- Εσωτερικοί υγρότοποι: τα ποτάμια και τα ρυάκια, οι λίμνες, τα έλη, τα υγρά λιβάδια, οι καλαμώνες καθώς και τα παραλίμνια ή παραποτάμια δάση.
- Τεχνητοί και ημι-τεχνητοί υγρότοποι, οι οποίοι κατασκευάζονται για αποθήκευση νερού, για ύδρευση, άρδευση, υδροηλεκτρική ενέργεια, αναψυχή, παραγωγή αλατιού και απομάκρυνση ρύπων .



Υγρότοποι: λειτουργίες

- Φυσικός καθαρισμός των υδάτων.
- Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων.
- Αποθήκευση νερού και τροποποίηση πλημμυρικών φαινομένων.
- Απορρόφηση διοξειδίου του άνθρακα.
- Αποθήκευση και ελευθέρωση θερμότητας.
- Δέσμευση ηλιακής ακτινοβολίας και στήριξη τροφικών πλεγμάτων.



Λίμνη Κάρλα: Ιστορική αναδρομή



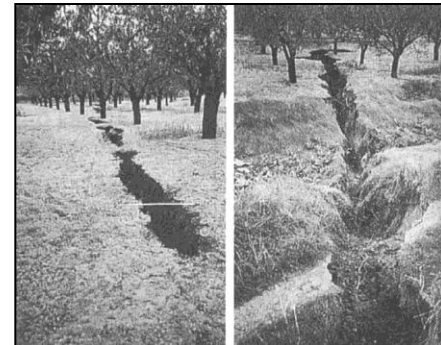
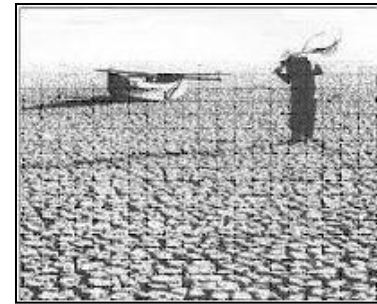
- Αρχαιολογικά ευρήματα αποδεικνύουν την κατοίκηση γύρω από την λίμνη από την νεολιθική εποχή.
- Η έκταση της διακυμαίνονταν από 45000 στρέμματα, το μόνιμο εμβαδό της, έως 180000 στρέμματα.
- Η αποξήρανση αποσκοπούσε σε:
 - αντιπλημμυρική προστασία της θεσσαλικής πεδιάδας
 - απόδοση γεωργικής γης στους φτωχούς αγρότες
 - αντιμετώπιση του προβλήματος της ελονοσίας
- Το 1962 πραγματοποιείται ολική αποστράγγιση της λίμνης



Επιπτώσεις της αποξήρανσης της λίμνης Κάρλας



- Επηρεάστηκαν τα μικροκλιματικά δεδομένα της περιοχής.
- Πτώση υπόγειας στάθμης, μέσω της απώλειας υδατικών πόρων και την υπεράντληση, και εισαγωγή θαλασσινού νερού στον υπόγειο υδροφόρα.
- Μετά την αποξήρανση εμφανίστηκαν ρήγματα στο έδαφος της ευρύτερης περιοχής.
- Μείωση του αγροτικού πληθυσμού
- Αποδήμιση της άγριας πανίδας.
- Καταστροφή της ιχθυοπαραγωγής της περιοχής.



Η λίμνη Κάρλα σήμερα

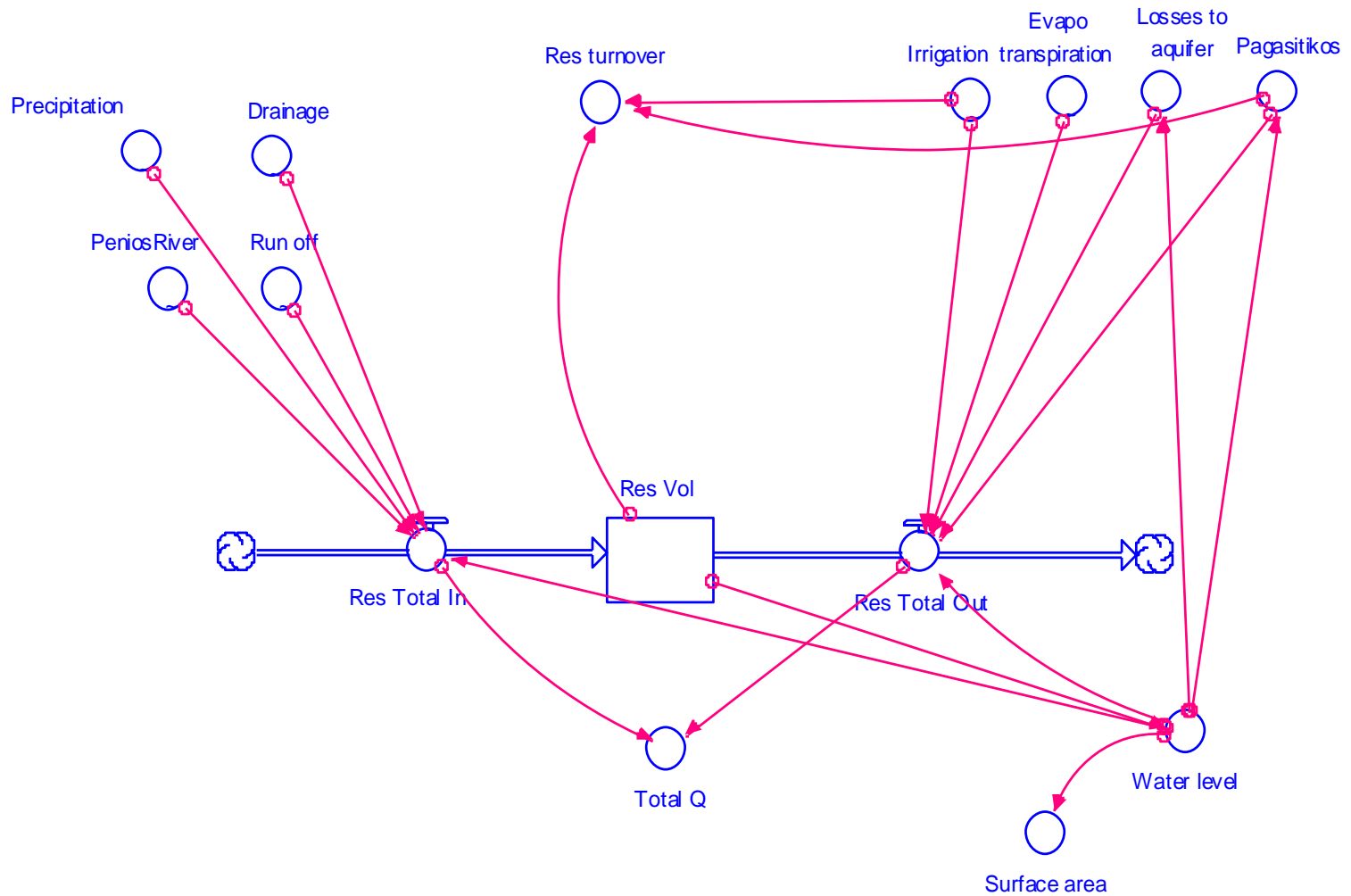


Στόχοι της εργασίας



- Στόχος: Επιλέγοντας το άζωτο σαν παράμετρο ποιότητας νερού, να αποκτήσουμε μια λεπτομερή εικόνα των μεταβολών που υφίσταται μέσα στον υγρότοπο (πού βρίσκεται αποθηκευμένο, σε τι ποσότητα και ποια είναι η επιρροή των υδρολογικών συνθηκών).
- Μεθοδολογία: Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου προσομοίωσης για την περιγραφή των φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών του υγροτόπου με σκοπό την προσομοίωση της ποιότητας νερού που εισρέει και απορρέει από αυτόν.
- Εργαλεία: Λογισμικό STELLA™ 9

Το υπο-μοντέλο υδρολογίας



Υπο-μοντέλο υδρολογίας: Μεταβλητή V



$$\frac{dV}{dt} = Q_{penios} + Q_{runoff} + Q_{drainage} + Q_{ppt} - Q_{irrig} - Q_{aquif} - Q_{Pagas} - ET$$

V	:Ο όγκος του νερού στον ταμιευτήρα	(m ³)
Q _{Penios}	:Η εισροή νερού στον υγρότοπο μέσω άντλησης από τον Πηνειό	(m ³ /week)
Q _{run off}	:Η εισροή νερού λόγω απορροών και πλημμύρων	(m ³ /week)
Q _{drainage}	:Η εισροή λόγω στραγγιδίων των αρδευόμενων περιοχών που απορρέουν στην Κάρλα	(m ³ /week)
Q _{ppt}	:Η εισροή νερού λόγω βροχόπτωσης	(m ³ /week)
Q _{irrig}	:Η εκροή νερού από τον υγρότοπο για την κάλυψη των αναγκών άρδευσης	(m ³ /week)
Q _{aquif}	:Η εκροή νερού λόγω διαφυγής στον υδροφορέα	(m ³ /week)
Q _{Pagas}	:Η εκροή νερού από τον υγρότοπο μέσω εκτροπής στον Παγασητικό	(m ³ /week)
ET	:Χάνεται στην ατμόσφαιρα λόγω εξατμισοδιαπνοής	(m ³ /week)

Δεδομένα Εισόδου – Υδατικό Ισοζύγιο Ταμιευτήρα Κάρλας



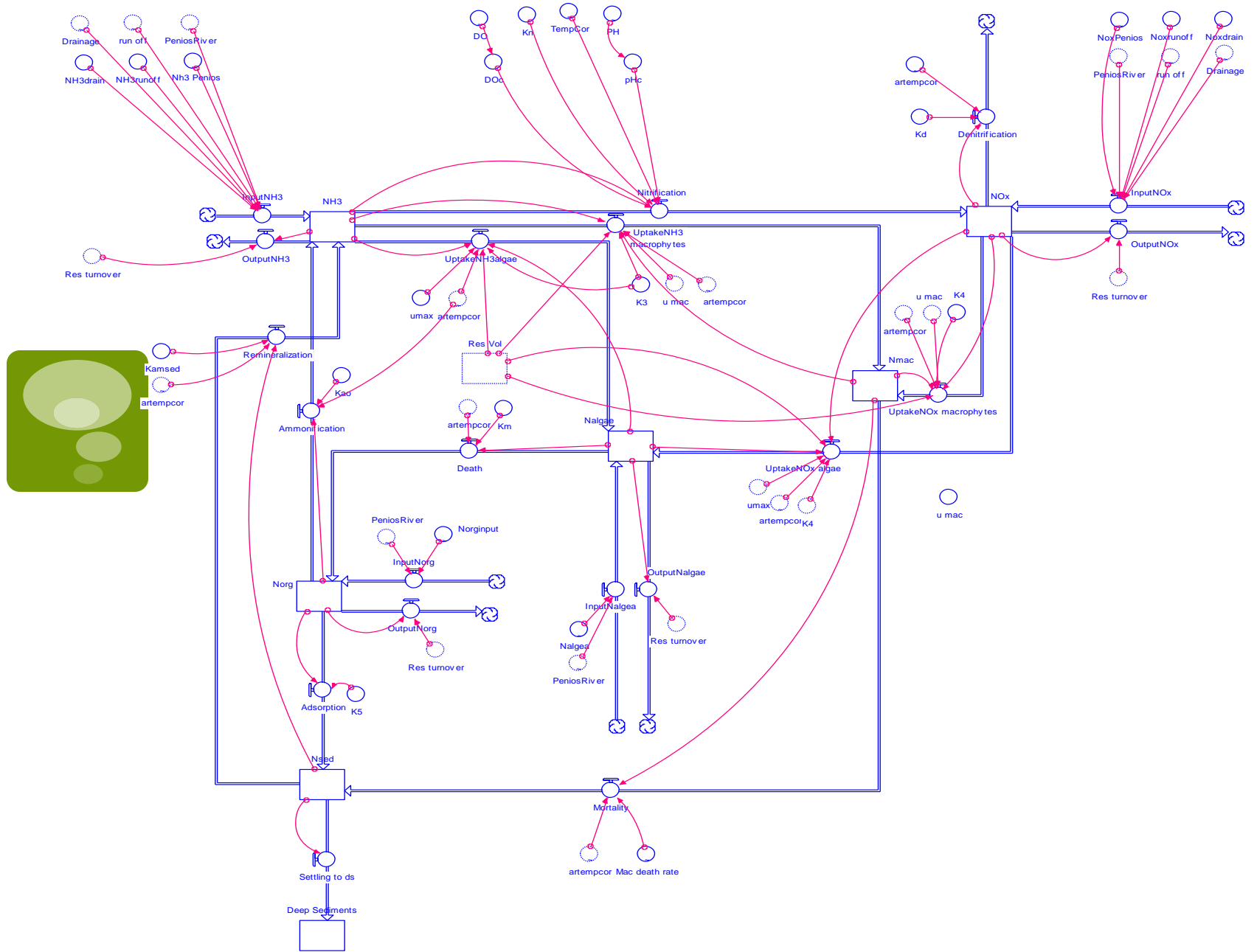
	Q_{Penios}	$Q_{run\ off}$	$Q_{drainage}$	Q_{ppt}	Q_{irrig}	Q_{ET}	Q_{aquif}
January	$2,65 \cdot 10^7$	$8,23 \cdot 10^6$	0,00	$3,48 \cdot 10^6$	0,00	$2,10 \cdot 10^6$	$1,64 \cdot 10^7$
February	$2,18 \cdot 10^7$	$8,23 \cdot 10^6$	0,00	$3,61 \cdot 10^6$	0,00	$2,10 \cdot 10^6$	$2,09 \cdot 10^7$
March	$1,37 \cdot 10^7$	$1,02 \cdot 10^7$	0,00	$2,61 \cdot 10^6$	0,00	$2,10 \cdot 10^6$	$2,20 \cdot 10^7$
April	$1,26 \cdot 10^7$	$7,75 \cdot 10^6$	$4,10 \cdot 10^5$	$2,11 \cdot 10^6$	$6,50 \cdot 10^6$	$4,20 \cdot 10^6$	$1,89 \cdot 10^7$
May	$1,38 \cdot 10^7$	$7,75 \cdot 10^6$	$1,09 \cdot 10^6$	$1,91 \cdot 10^6$	$1,74 \cdot 10^7$	$4,20 \cdot 10^6$	$1,45 \cdot 10^7$
June	$7,58 \cdot 10^6$	$4,36 \cdot 10^6$	$1,43 \cdot 10^6$	$2,61 \cdot 10^6$	$2,29 \cdot 10^7$	$4,20 \cdot 10^6$	$9,11 \cdot 10^6$
July	0,00	$5,81 \cdot 10^6$	$1,93 \cdot 10^6$	$1,93 \cdot 10^6$	$3,09 \cdot 10^7$	$4,20 \cdot 10^6$	$4,52 \cdot 10^6$
August	0,00	$2,91 \cdot 10^6$	$1,28 \cdot 10^6$	$1,99 \cdot 10^6$	$2,05 \cdot 10^7$	$4,20 \cdot 10^6$	$2,73 \cdot 10^6$
September	$1,10 \cdot 10^6$	$3,39 \cdot 10^6$	$5,90 \cdot 10^5$	$1,08 \cdot 10^6$	$9,40 \cdot 10^6$	$4,20 \cdot 10^6$	$2,17 \cdot 10^6$
October	$7,95 \cdot 10^6$	$1,37 \cdot 10^7$	0,00	$1,49 \cdot 10^6$	0,00	$2,10 \cdot 10^6$	$3,30 \cdot 10^6$
November	$1,65 \cdot 10^7$	$1,45 \cdot 10^7$	0,00	$7,50 \cdot 10^5$	0,00	$2,10 \cdot 10^6$	$5,80 \cdot 10^6$
December	$2,66 \cdot 10^7$	$1,02 \cdot 10^7$	0,00	$8,40 \cdot 10^5$	0,00	$2,10 \cdot 10^6$	$1,04 \cdot 10^7$

Το άζωτο: οι μορφές του στην Κάρλα

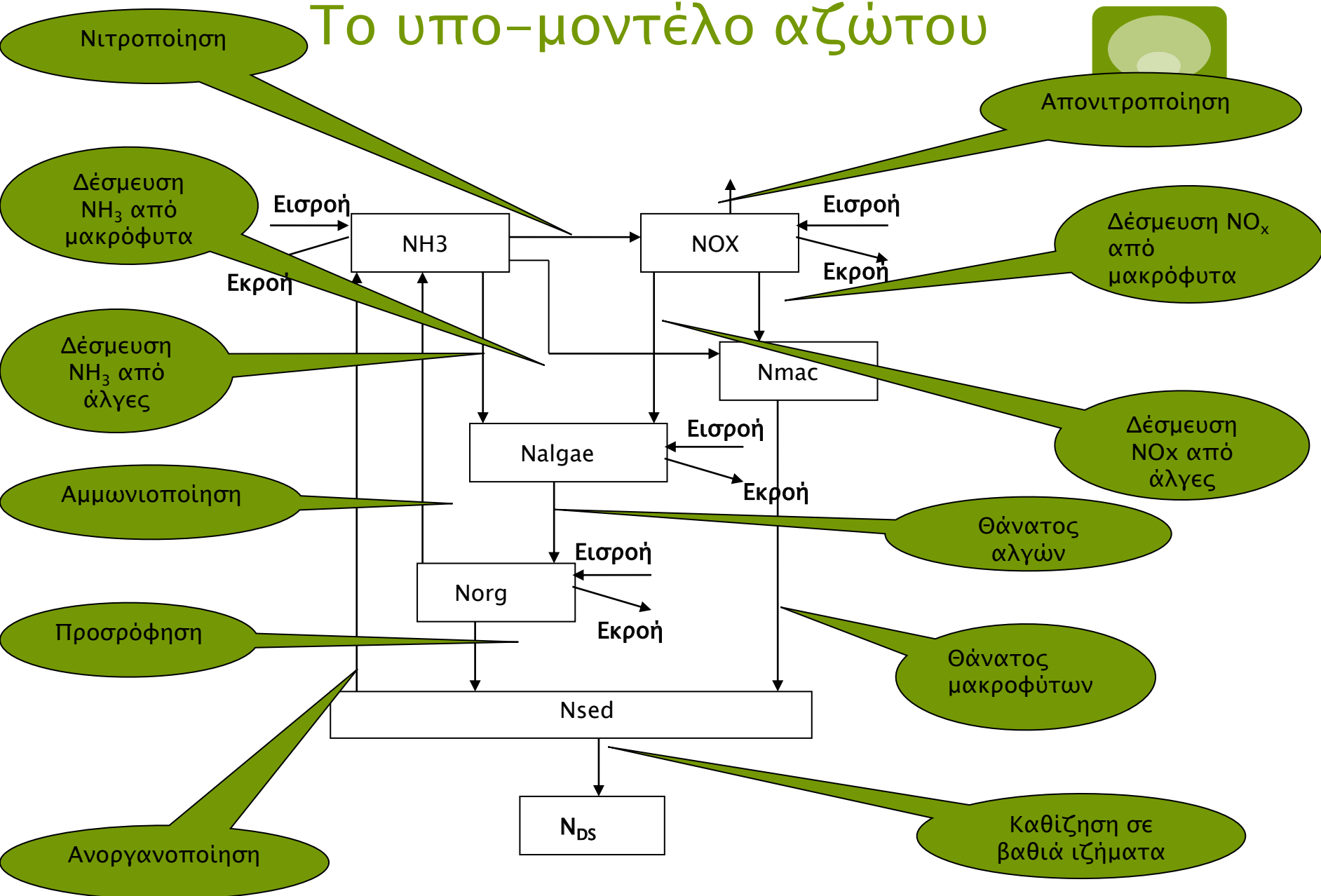


- Το αμμωνιακό άζωτο (NH_3)
- Το άζωτο στα νιτρώδη και τα νιτρικά (NO_x)
- Το άζωτο στα μακρόφυτα (N_{mac})
- Το άζωτο στην άλγη (N_{algae})
- Το οργανικό άζωτο (N_{org})
- Το άζωτο στα ενεργά ιζήματα (N_{sed})
- Το άζωτο στα βαθιά ιζήματα (N_{DS})

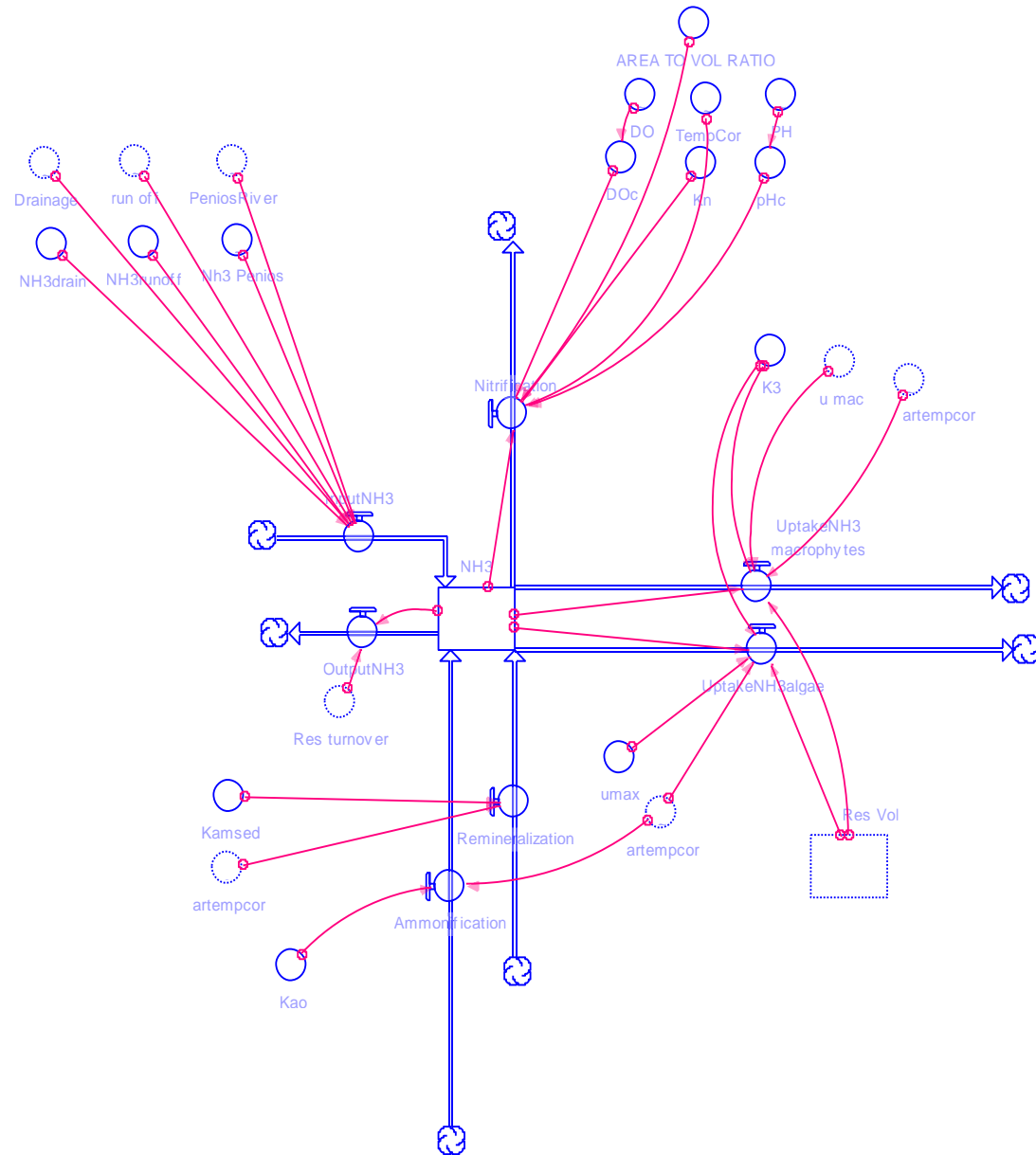
Το υπο-μοντέλο αζώτου



Το υπο-μοντέλο αζώτου



Το αμμωνιακό άζωτο (NH₃)

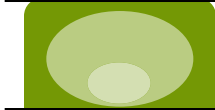


Η εξίσωση :

$$\frac{d(NH_3)}{dt} = (Q_{drainage} \cdot NH_{3drainage} + Q_{penios} \cdot NH_{3Penios} + Q_{runoff} \cdot NH_{3runoff}) - r_{nitrif} - r_{uptakeNH_3 \text{ algae}} - r_{uptakeNH_3 \text{ mac}} - r_{NH_3out} + r_{ammon} + r_{remin}$$

Όπου:

$$r_{nitrif} = NH_3 \cdot DO_c \cdot K_n \cdot pH_c \cdot TC \cdot \frac{A}{V}$$



$$r_{remin} = K_{amsed} \cdot \left(\theta_{Arrh}^{T-20} \right) \cdot N_{sed}$$

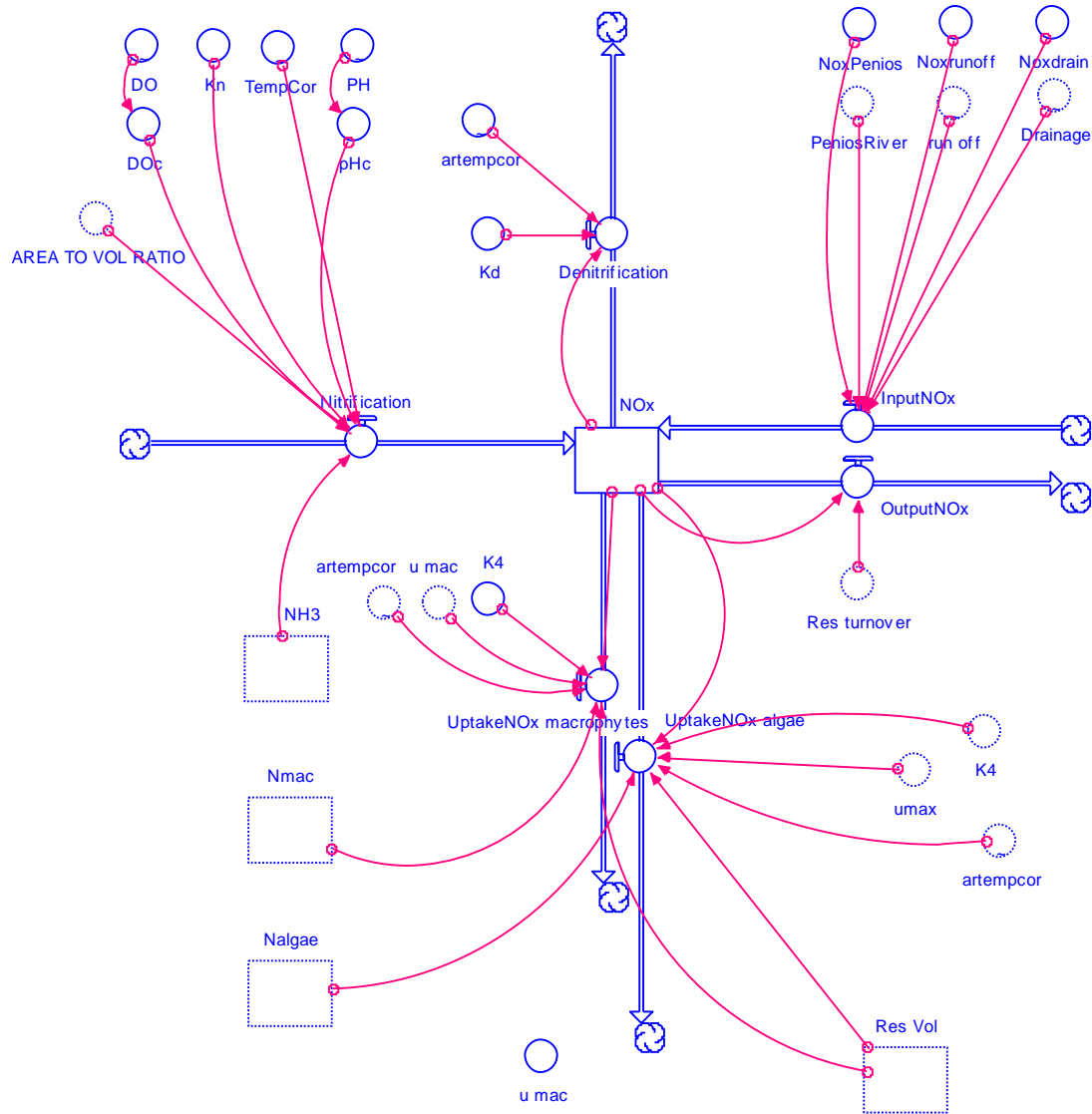
$$r_{ammon} = K_{ammon} \cdot \left(\theta_{Arrh}^{T-20} \right) \cdot N_{org}$$

$$r_{uptakeNH_3 \text{ algae}} = \mu_{max} \cdot \theta_{Arrh}^{T-20} \cdot \left(\frac{\frac{NH_3}{V}}{K_3 + \left(\frac{NH_3}{V} \right)} \right) \cdot N_{algae}$$

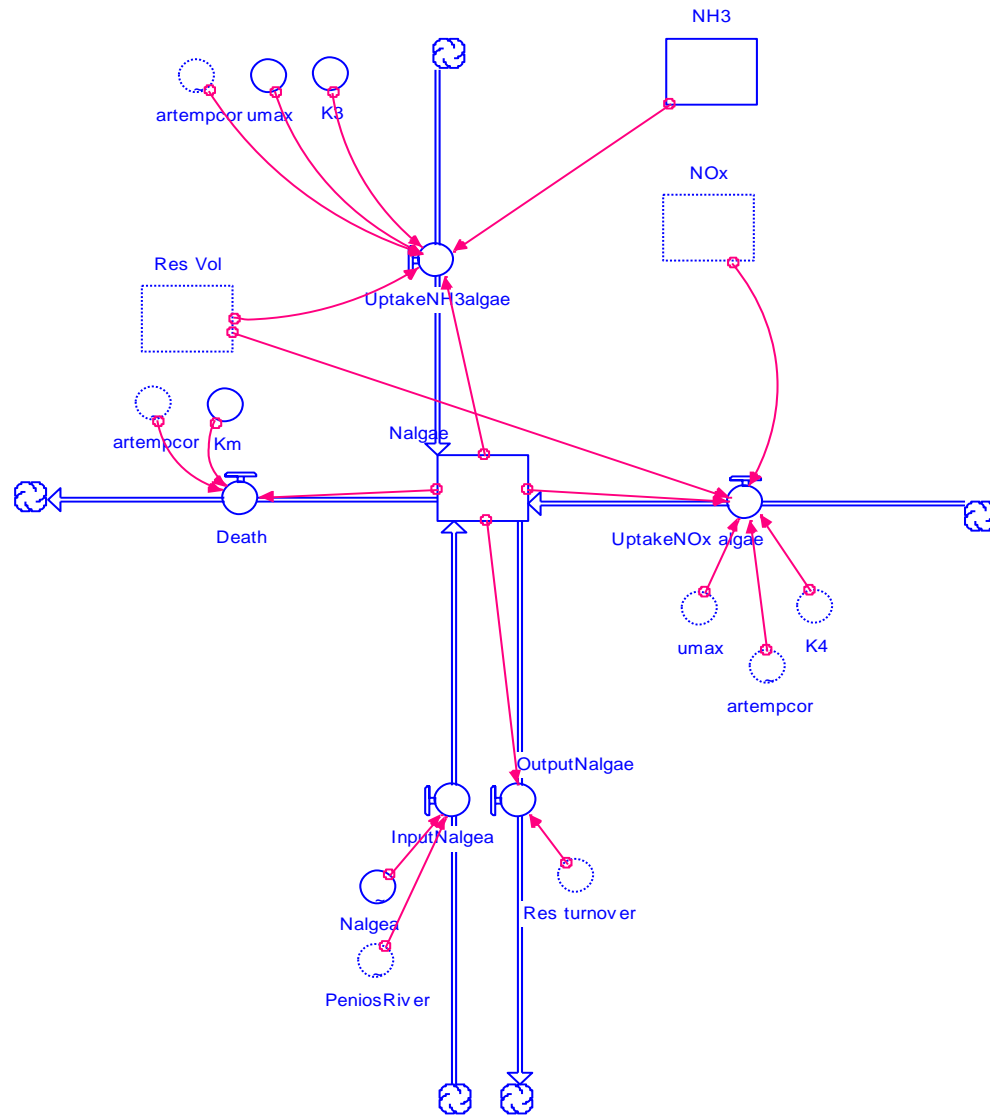
$$r_{uptakeNH_3 \text{ mac}} = \mu_{max} \cdot \theta_{Arrh}^{T-20} \cdot \left(\frac{\frac{NH_3}{V}}{K_4 + \left(\frac{NH_3}{V} \right)} \right) \cdot N_{mac}$$

$$r_{NH_3out} = NH_3 \cdot \left(\frac{Q_{irrig} + Q_{Pagas}}{V} \right)$$

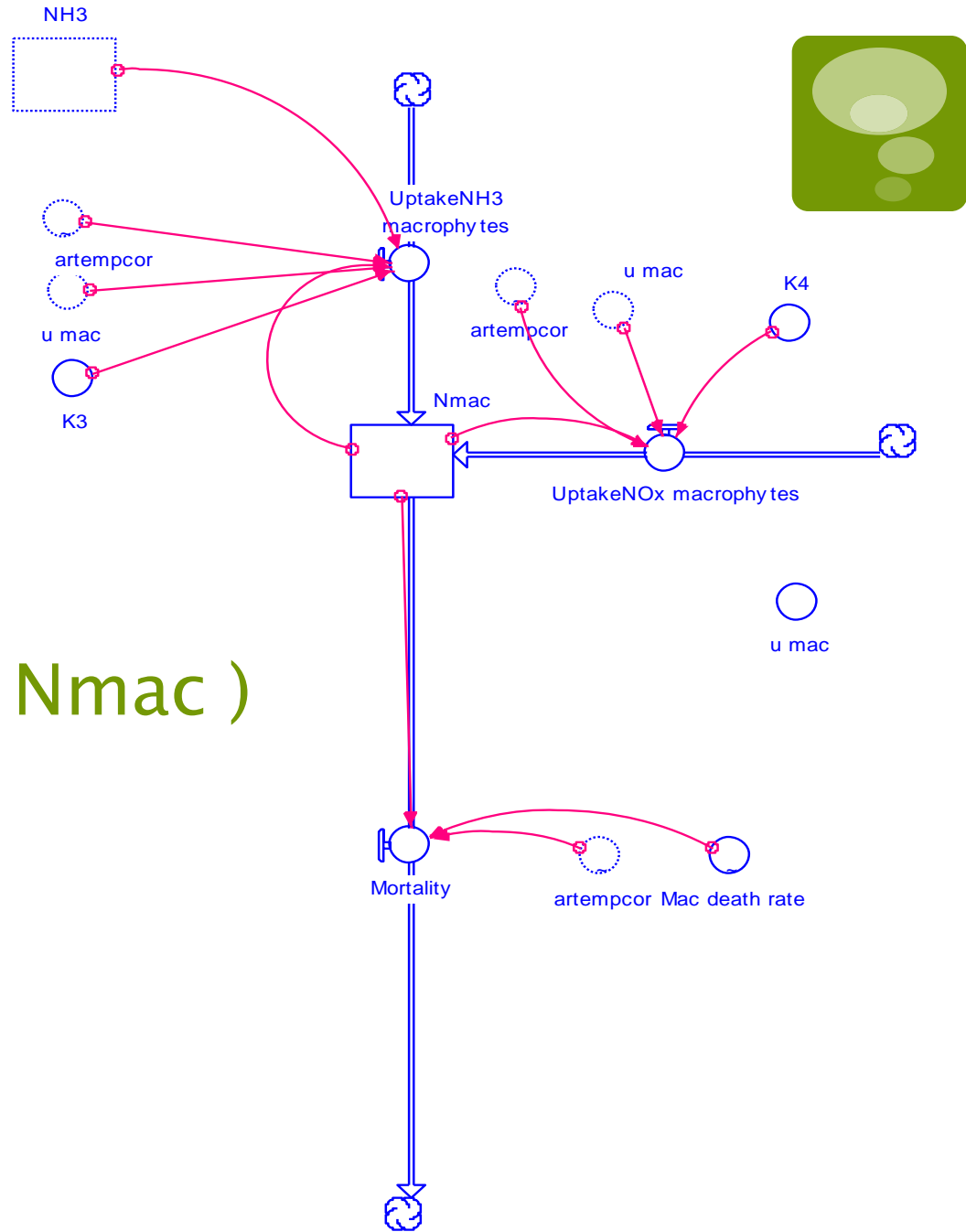
Τα νιτρώδη και τα νιτρικά (NO_x)



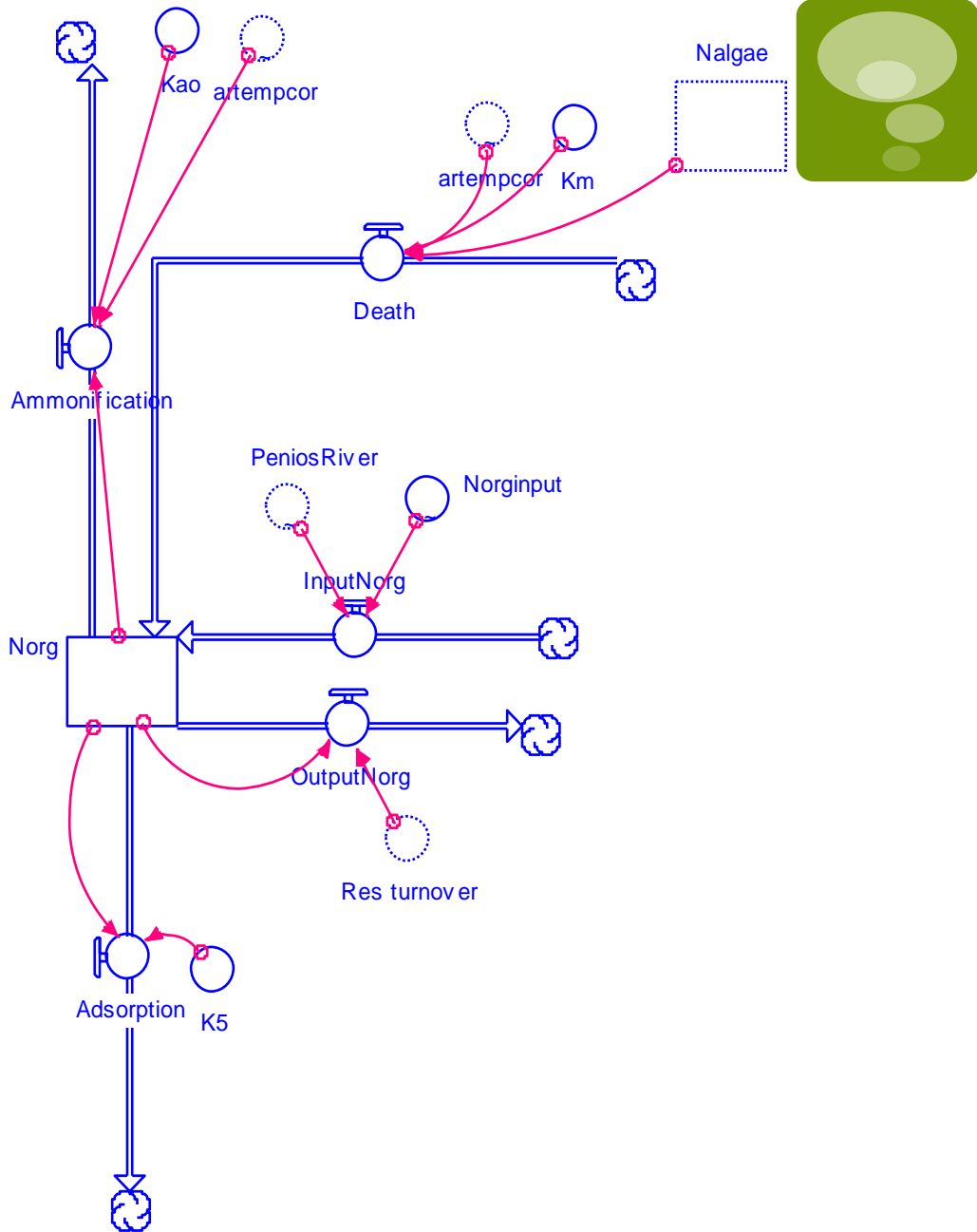
Η άλγη (Nalgae)



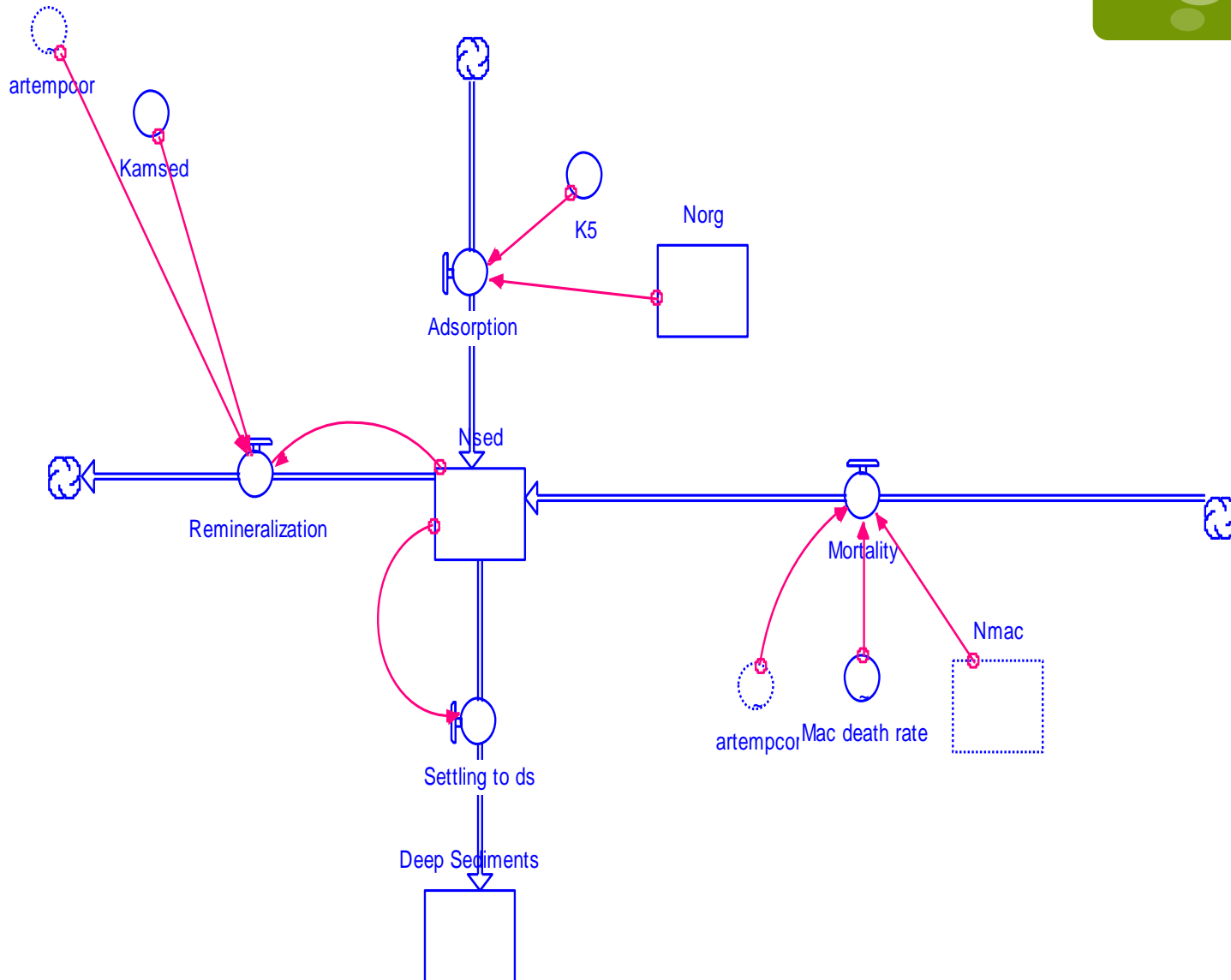
Τα μακρόφυτα (Nmac)



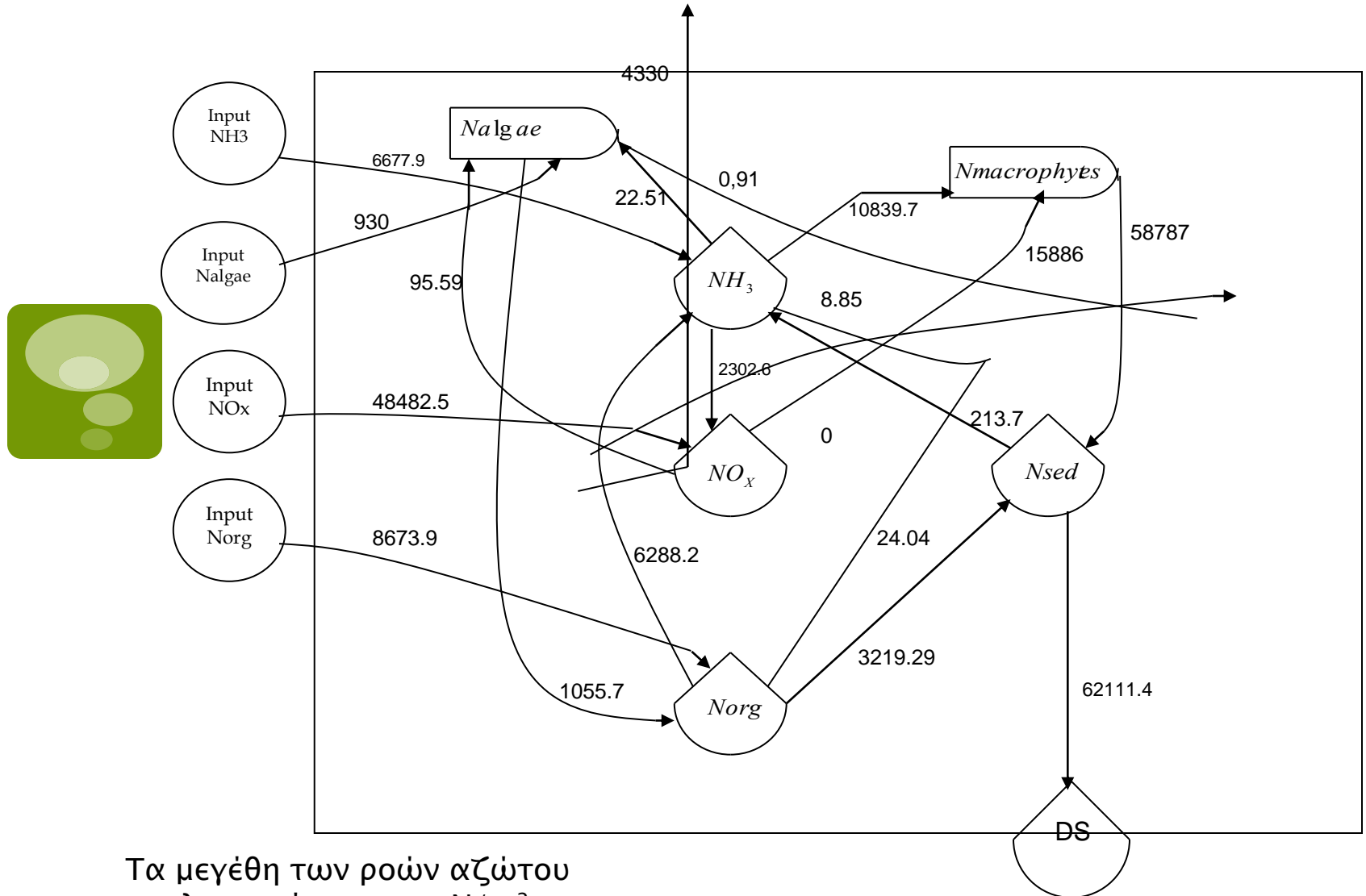
Το οργανικό άζωτο (Norg)



Το άζωτο στα ιζήματα (Nsed)

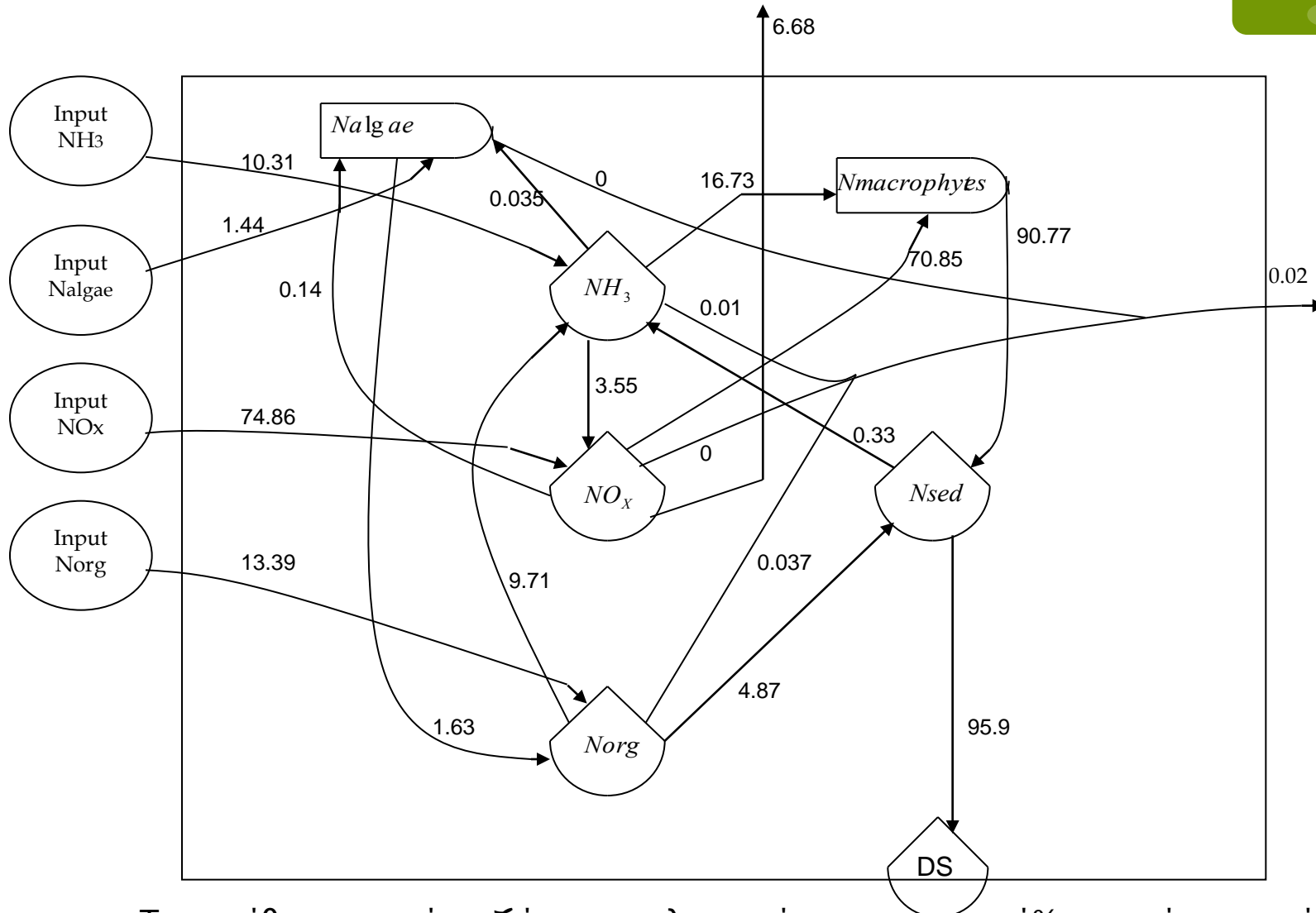


Διαγράμματα Odum για το άζωτο



Τα μεγέθη των ροών αζώτου υπολογισμένα σε mg N/m²-yr

Διαγράμματα Odum για το άζωτο



Τα μεγέθη των ροών αζώτου υπολογισμένα ως ποσοστό% της ετήσιας ροής φωσφόρου σε σχέση με την εισροή φωσφόρου

Ροή και αποθήκευση αζώτου στον ταμιευτήρα



- Συνολικά ο υγρότοπος κατακρατεί περίπου το 93% του αζώτου που εισέρχεται σε ένα έτος.
- Το 6.67% αυτού χάνεται μέσω της απονιτροποίησης, όπου το άζωτο μετατρέπεται σε αέριο κάτω από αναερόβιες συνθήκες και διαφεύγει στην ατμόσφαιρα.
- Οι ροές που φαίνονται στο διάγραμμα δείχνουν ότι ένα μεγάλο ποσοστό του αζώτου χάνεται, αφού αποθηκεύεται αρχικά προσωρινά και μετά μόνιμα στα ιζήματα.
- Το 90.77% του εισερχόμενου αζώτου μετατρέπεται σε ιζήματα κάθε χρόνο κατά την ιζηματοποίηση των νεκρών μακροφύτων .
- Μία άλλη σημαντική ροή είναι αυτή της βιολογικής αφομοίωσης αζώτου από μακρόφυτα (70%), η οποία μετατρέπεται σε ιζήματα μετά το θάνατό τους. Αν συγκρίνουμε την πρόσληψη αζώτου από τα μακρόφυτα με αυτή του φυτοπλαγκτού, βλέπουμε ότι τα μακρόφυτα προσλαμβάνουν συγκριτικά πολύ περισσότερο άζωτο, κάτι που είναι αναμενόμενο, λόγω της μεγαλύτερης βιομάζας τους.