



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ &
ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΛΑΦΩΝ**

Εργαστήριο 3^ο

**<< Δημιουργία και κωδικοποίηση εννοιολογικού μοντέλου συμπεριφοράς των
διαφορετικών μορφών του φωσφόρου σε λίμνη >>**

Παντής Άγγελος – 2018050055



Εισαγωγή

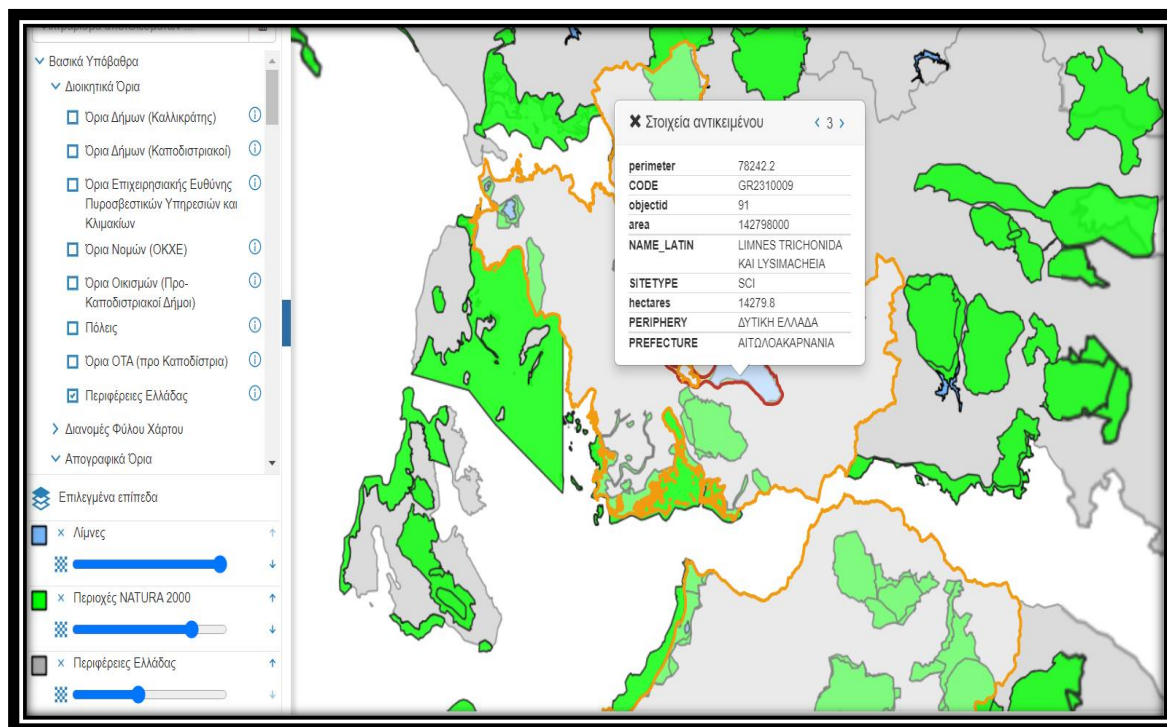
Η λίμνη Λυσιμαχεία ήταν αποδέκτης (μέχρι και το 2000) όλων των εκροών των ανεπεξέργαστων λυμάτων της πόλης του Αγρινίου που συγκεντρώνονταν στα καλυμμένα ρέματα και από εκεί διοχετεύονταν ανεπεξέργαστα στη λίμνη, με δυσμενείς επιπτώσεις όχι μόνο στην ίδια τη λίμνη, αλλά και για ολόκληρη την περιοχή.

Συγκεκριμένα, το ρυάκι Κατουρλής είναι το κυρίως υπεύθυνο για τα υψηλά επίπεδα των θρεπτικών, επειδή – παρά το σχετικά μικρό του μέγεθος – μεταφέρει τα μη επεξεργασμένα απόβλητα της πόλης του Αγρινίου. Μια άλλη πηγή ρύπανσης μπορεί να θεωρηθεί το ρυάκι Ερμίτσα, που μεταφέρει τα αστικά απόβλητα από τα χωριά Παναιτώλιο και Αβορανή, καθώς επίσης, σε μικρότερη έκταση, μερικά άλλα αποστραγγιστικά ή αρδευτικά κανάλια που καταλήγουν στη λίμνη.

Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκε βιολογικός σταθμός επεξεργασίας των αστικών λυμάτων, ο οποίος λειτουργεί από το 2000 και δέχεται τα λύματα της πόλης του Αγρινίου.

Ωστόσο, η λίμνη συνεχίζει να ρυπαίνεται με απόβλητα, που προέρχονται από τα γύρω χωριά, καθώς και από τα λύματα των ελαιοτριβείων και των κτηνοτροφικών μονάδων (χοιροτροφεία), που δραστηριοποιούνται κοντά σε αυτή. Ακόμα, στο σύνολο της παραλίμνιας περιοχής της λίμνης εμφανίζονται αγροτικές δραστηριότητες. Οι μικροκαλλιέργητές, που δραστηριοποιούνται στην περιοχή, ασκούν εντατικής μορφής καλλιέργειες, χρησιμοποιώντας μεγάλες ποσότητες ζιζανιοκτόνων και λιπασμάτων. Η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων για τις εντατικές καλλιέργειες, έχει δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα ευτροφισμού, λόγω της απόπλυσης των εδαφών.

Η λίμνη Λυσιμαχεία (μαζί με τη λίμνη Τριχωνίδα) ανήκει στο δίκτυο προστατευόμενων περιοχών NATURA 2000.



Πρόβλημα

Εργοστάσιο βιολογικού καθαρισμού εμπλουτίζει ένα ποτάμι με 6000 kg/year διαλυτό φωσφόρο. Το ποτάμι αυτό εισρέει στη λίμνη Λυσιμαχεία, που βρίσκεται στο νομό Αιτωλοακαρνανίας, με παροχή $6 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$. Η αρχική συγκέντρωση του διαλυτού φωσφόρου στη λίμνη είναι 8 $\mu\text{g/L}$. Ο όγκος της λίμνης είναι 10^7 m^3 . Η συγκέντρωση ισορροπίας του φωσφόρου σε σταθερή κατάσταση βρέθηκε 31,83 $\mu\text{g/L}$ και ο χρόνος παραμονής του νερού στη λίμνη 608 ημέρες. Από αναλύσεις του νερού βρέθηκε ότι το 90% του διαλυτού φωσφόρου είναι ανόργανο, ενώ το 10% οργανικό. Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης είναι 2,73 $\mu\text{g/L}$ και θεωρείται ίση με τη συγκέντρωση του φωσφόρου που έχει δεσμεύσει (δεν θεωρείται μέρος του διαλυτού P).

Δεδομένα και μετατροπές μονάδων

$w = \text{Φορτίο P (kg/year)}$	$\mu\text{g/day}$
6000	$1,644 \times 10^{10}$
Οργανικό κλάσμα w_o (0,1w)	$1,644 \times 10^9$
Ανόργανο κλάσμα w_i (0,9w)	$1,48 \times 10^{10}$

$Q = \text{Παροχή (m}^3/\text{y)}$	L/day
$6 \cdot 10^6$	$1,64 \times 10^7$

$C_o = \text{Αρχική Συγκέντρωση (}\mu\text{g/L)}$	mg/L
8	8×10^{-3}

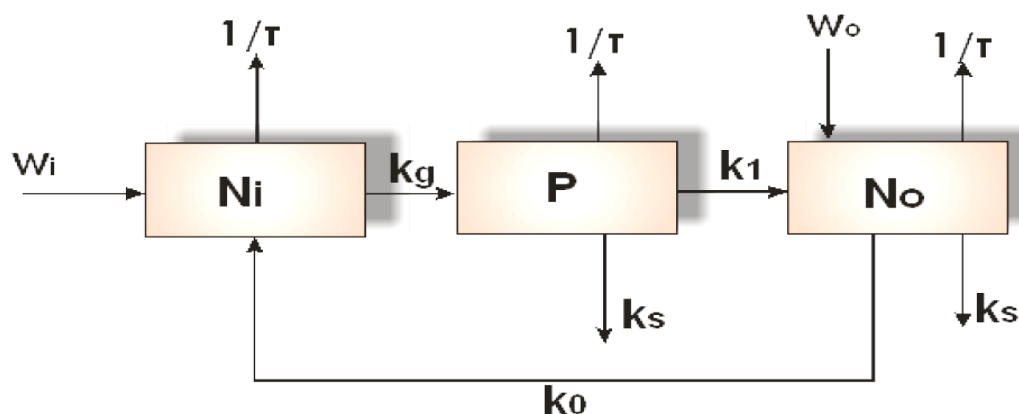
$V = \text{Όγκος λίμνης (m}^3)$	L
10^7	10^{10}

Σταθερά καθίζησης k_s	0,05/day
-------------------------	----------

Χρόνος παραμονής τ	608 days
-------------------------	----------

Μοντελοποίηση μεταβολών των διαφορετικών μορφών φωσφόρου

Σε πρώτο χρόνο προσδιορίζονται τα ισοζύγια που αφορούν τη μεταβολή του φωσφόρου σε κάθε του μορφή.



Ισοζύγιο ανόργανου φωσφόρου N_i

$$\frac{dN_i}{dt} = \frac{w_i}{V} - \frac{N_i}{\tau} - k_g N_i P + k_0 N_o \quad (1)$$

, όπου k_g η σταθερά μετατροπής ανόργανου φωσφόρου σε φυτοπλαγκτόν (days^{-1})

Η (1) για σταθερές συνθήκες (steady state) δίνει:

$$\frac{w_i}{V} - \frac{N_i}{\tau} - k_g N_i P + k_0 N_o = 0 \quad (1)'$$

Ισοζύγιο δεσμευμένου φωσφόρου από φυτοπλαγκτόν P

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{P}{\tau} + k_g N_i P - k_1 P - k_s P \quad (2)$$

, όπου K_1 η σταθερά μετατροπής φυτοπλαγκτόν σε οργανικό φώσφορο και k_s η σταθερά απωλειών φυτοπλαγκτόν (days^{-1})

Η (2) για σταθερές συνθήκες (steady state) δίνει:

$$-\frac{P}{\tau} + k_g N_i P - k_1 P - k_s P = 0 \quad (2)'$$

Ισοζύγιο οργανικού φωσφόρου N_o

$$\frac{dN_o}{dt} = \frac{w_o}{V} - \frac{N_o}{\tau} + k_1 P - k_0 N_o - k_s N_o \quad (3)$$

, όπου k_0 η σταθερά μετατροπής οργανικού φωσφόρου σε ανόργανο (days^{-1})

Η (3) για σταθερές συνθήκες (steady state) δίνει:

$$\frac{w_o}{V} - \frac{N_o}{\tau} + k_1 P - k_0 N_o - k_s N_o = 0 \quad (3)'$$

Αντικαθιστώντας στην (1)':

$$\frac{1,479 \times 10^{10} \frac{\mu g}{day}}{10^{10} L} - \frac{26,19 \frac{\mu g}{L}}{608 days} - 0,04 \frac{L}{\mu g day} \times 2,73 \frac{\mu g}{L} \times 26,19 \frac{\mu g}{L} + k_0 \times 2,91 \frac{\mu g}{L} = 0$$

$$\Rightarrow k_0 = 0,489 \text{ days}^{-1}$$

$$(2)': 26,19 \frac{\mu g}{L} = \frac{k_1 + k_s + 1,64 \times 10^{-3}}{0,04 \frac{L}{\mu g day}} \Rightarrow k_1 + k_s = \frac{1,046}{day} \quad (4)$$

$$(3)': \frac{1,64 \times 10^9 \mu g/day}{10^{10} L} - \frac{2,91 \mu g}{608 days} + k_1 \times 2,73 \frac{\mu g}{L} - 0,489 \times 2,91 \frac{\mu g}{L} - k_s \times 2,91 \frac{\mu g}{L} = 0$$

$$\Rightarrow 2,73 \times k_1 - 2,91 \times k_s = 1,26 \quad (5)$$

Από (4), (5) $\Rightarrow k_s = 0,283 \text{ days}^{-1}$ και $k_1 = 0,763 \text{ days}^{-1}$

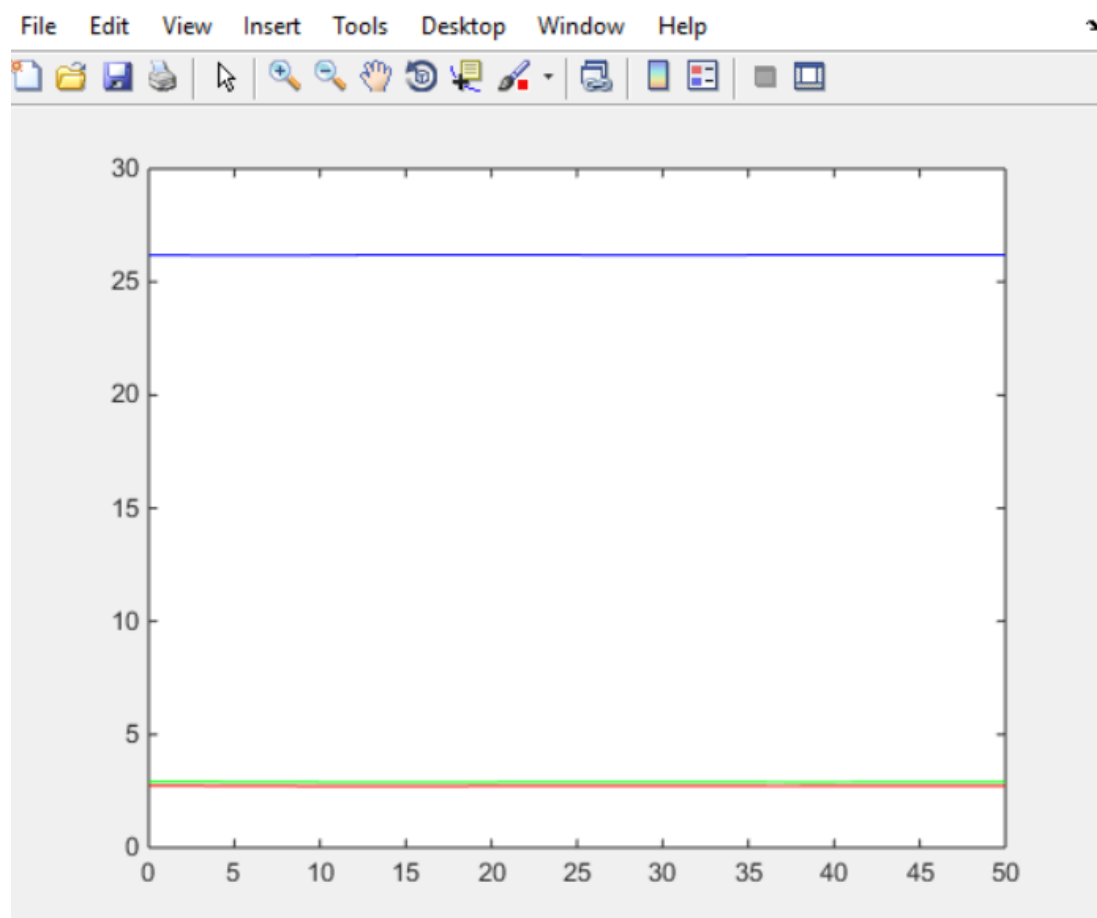
Η συγκέντρωση του δεσμευμένου φωσφόρου από φυτοπλαγκτόν είναι γνωστό ότι ισούται με $2,73 \mu g/L$. Οι συγκεντρώσεις του σε οργανική και ανόργανη μορφή υπολογίζονται γνωρίζοντας ότι αποτελούν αντίστοιχα το 10% και 90% του ολικού διαλυτού φωσφόρου. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι ο δεσμευμένος φώσφορος στα φυτοπλαγκτόν δεν είναι μέρος του διαλυτού, τότε:

$$N_i = 0,9 P_{total} = 0,9(31,83 - 2,73) = 26,19 \mu g/L$$

$$N_o = 0,1 P_{total} = 0,1(31,83 - 2,73) = 2,91 \mu g/L$$

Οι τιμές N_i , N_o και P , όπως ήταν αναμενόμενο, αθροίζουν στη συγκέντρωση του ολικού φωσφόρου σε σταθερή κατάσταση, δηλαδή $26,19 + 2,91 + 2,73 = 31,38 \mu\text{g/L}$.

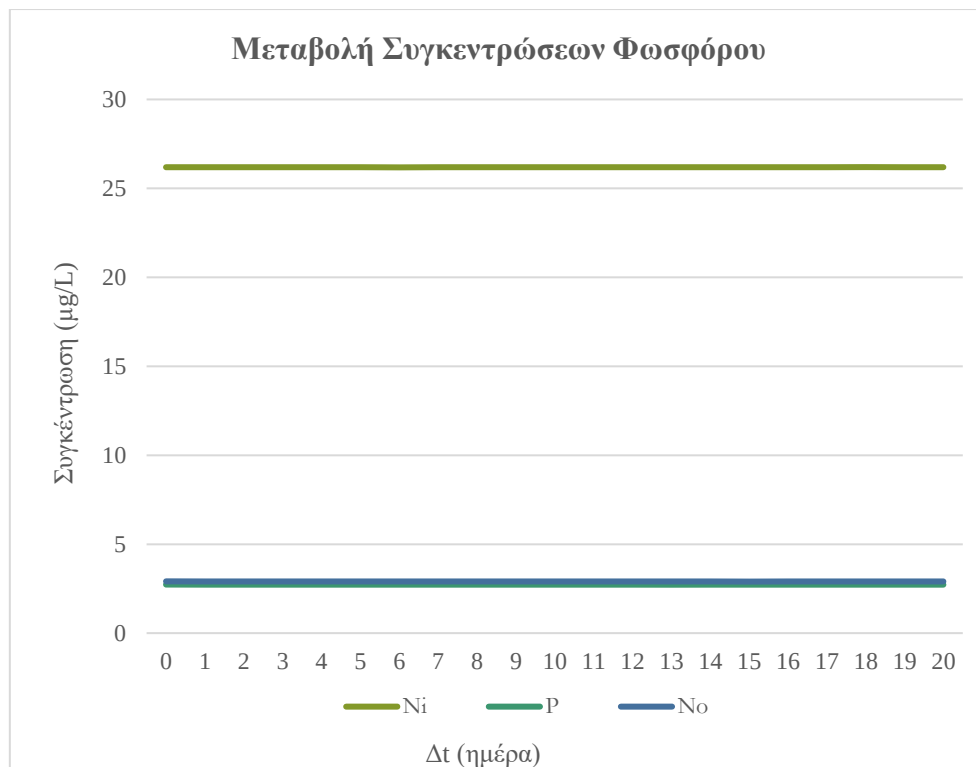
Ο κώδικας στο Matlab δίνει το διάγραμμα μεταβολής των συγκεντρώσεων των τριών μορφών του φωσφόρου με τον χρόνο, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Euler. Στον κώδικα γίνεται αντικατάσταση του όγκου με $V = 10^{10}$, της παροχής $Q = 1.64 \cdot 10^7$, του χρονικού βήματος $\Delta t = 1$, του φορτίου $L = 1.64 \cdot 10^{10}$, των αρχικών συγκεντρώσεων N_i , N_o , P της μεθόδου Euler με $N(1,1) = 26,19$, $P(1,1) = 2.73$, $N_o(1,1) = 2.91$. Τέλος γίνεται αντικατάσταση των τιμών των σταθερών που υπολογίστηκαν νωρίτερα $k_g = 0.04$, $k_0 = 0.489$, $k_1 = 0.763$ και $k_s = 0.283$. Το διάστημα των τιμών στον άξονα x (ημέρες) επιλέχθηκε $R = 50$. Το διάγραμμα που προέκυψε φαίνεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Μεταβολή συγκέντρωσης N_i , N_o και P

Σύμφωνα με την Εικόνα 1, οι μεταβολές των συγκεντρώσεων των τριών μορφών του φωσφόρου εντός της λίμνης παρουσιάζουν αμελητέες μεταβολές, με αποτέλεσμα να παραμένουν πρακτικά σταθερές και ίσες με τις αρχικές τιμές της μεθόδου Euler. Αυτές οι τιμές προέκυψαν βάσει της ολικής συγκέντρωσης φωσφόρου σε συνθήκες σταθερής κατάστασης ($31,38 \mu\text{g/L}$). Η εφαρμογή της μεθόδου Euler σε περιβάλλον Matlab για αυτές τις τιμές, επιβεβαιώνει την ορθότητά τους, υποδεικνύοντας ότι πράγματι αντιστοιχούν σε συνθήκες μόνιμης κατάστασης.

Το αποτέλεσμα μπορεί να επαληθευτεί και σε περιβάλλον Excel. Η διαδικασία είναι η ίδια, με τη διαφορά ότι ο κώδικας έχει αντικατασταθεί με πράξεις κελιών. Το γράφημα που προκύπτει φαίνεται στην Εικόνα 2.



Η εφαρμογή της μεθόδου Euler στο Excel έδωσε τα ίδια αποτελέσματα, τα οποία επιβεβαιώνουν και πάλι ότι οι εν λόγω συγκεντρώσεις αφορούν τη κατάσταση ισορροπίας. Το χρονικό διάστημα που γίνεται η αναπαράσταση δεν έχει σημασία, καθώς οι αρχικές τιμές ($\Delta t=0$) αναφέρονται ήδη σε σταθερές συνθήκες.

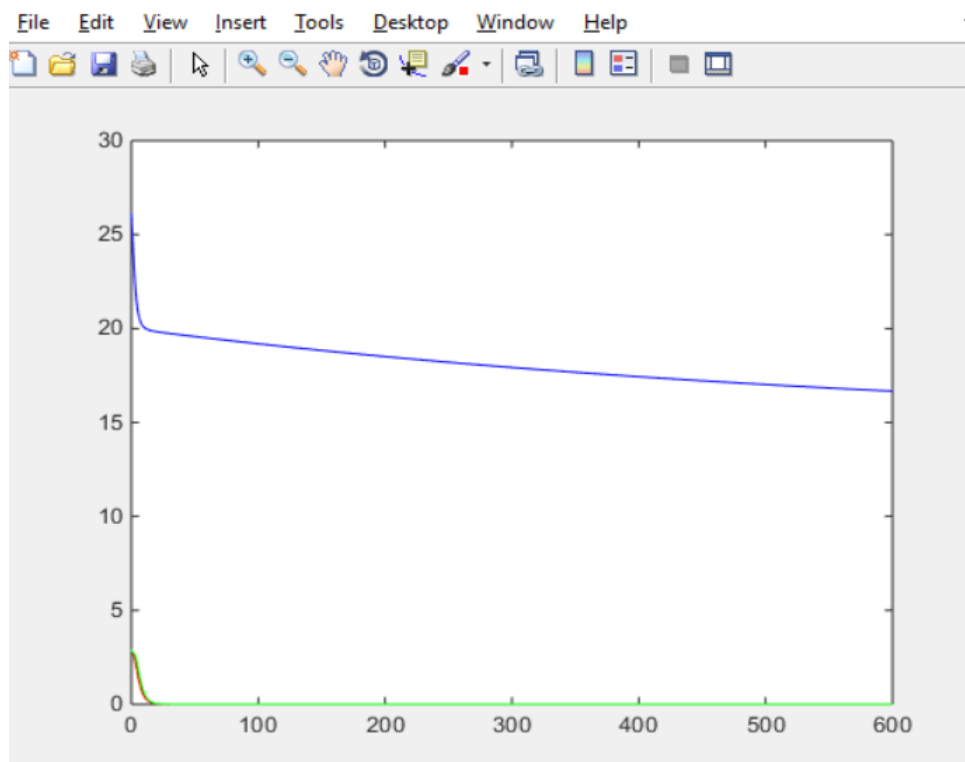
Σενάριο για μελλοντική κατάσταση λίμνης

Πόσο πρέπει να μειωθεί το συνολικό φορτίο ώστε η ολική συγκέντρωση του φωσφόρου σε σταθερή κατάσταση (C_{ss}) να μην ξεπερνά τα 15 $\mu\text{g/L}$ (μεσοτροφικό σύστημα);

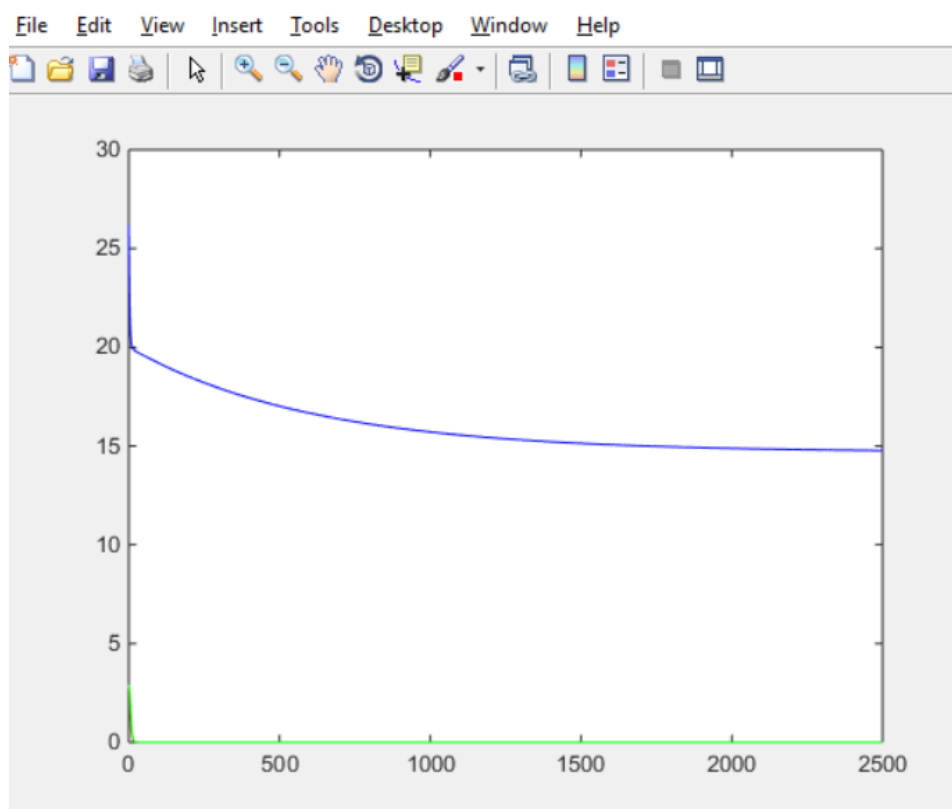
Το ζητούμενο είναι η κατάλληλη μείωση του φορτίου, επομένως γίνονται δοκιμές μείωσής του στον υπάρχων κώδικα. Το επιθυμητό φορτίο είναι αυτό με το οποίο η συγκέντρωση του φωσφόρου σε σταθερή κατάσταση δεν θα ξεπερνάει στο διάγραμμα τα 15 $\mu\text{g/L}$ (άξονας y). Έστω ότι αναζητείται η τιμή του φορτίου όπου θα δημιουργεί σε σταθερές συνθήκες $C_{ss} = 15 \mu\text{g/L}$. Αυτή, έπειτα από δοκιμές, βρέθηκε $2,5 \times 10^8 \mu\text{g/day}$. Το προφίλ της συγκέντρωσης των τριών μορφών φωσφόρου φαίνεται στις Εικόνες 2 και 3.

Στην Εικόνα 2 φαίνεται η μεταβολή για τις πρώτες 600 ημέρες, ενώ στην Εικόνα 3 η αναπαράσταση έχει γίνει για 2500 ημέρες, δηλαδή σχεδόν 7 χρόνια αργότερα. Η επιθυμητή συγκέντρωση των 15 $\mu\text{g/L}$ επιτυγχάνεται με μεγάλη ακρίβεια μετά από περίπου 1500 ημέρες, δηλαδή μετά από 4 χρόνια. Όμως, συγκέντρωση στο διάστημα των τεσσάρων χρόνων μετά την απόρριψη του νέου φορτίου θα είναι μεγαλύτερη από το επιθυμητό όριο.

Συνεπώς, το φορτίο που δημιουργεί συγκέντρωση φωσφόρου 15 $\mu\text{g/L}$ σε σταθερές συνθήκες – η οποία τέθηκε ως ανώτατο όριο – δεν φαίνεται να είναι η βέλτιστη επιλογή όσον αφορά τον χρόνο επίτευξης του στόχου.



Εικόνα 2: Φορτίο $2,5 \times 10^8 \mu\text{g/day}$ μετά από 600 ημέρες

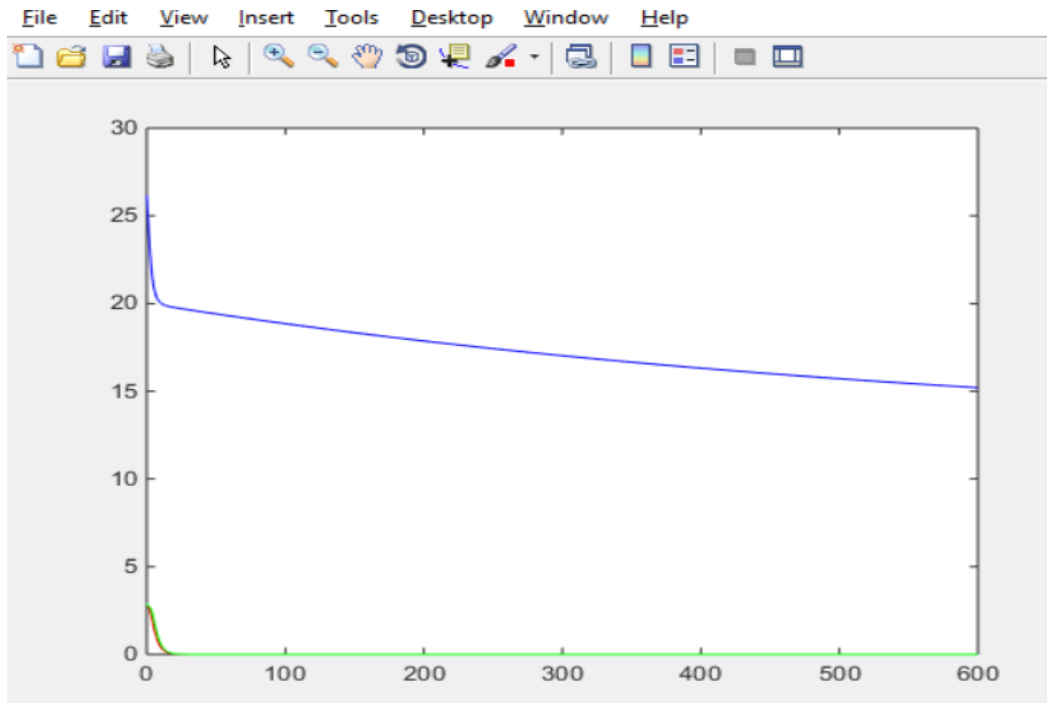


Εικόνα 3: Φορτίο $2,5 \times 10^8 \mu\text{g/L}$ μετά από 7 χρόνια

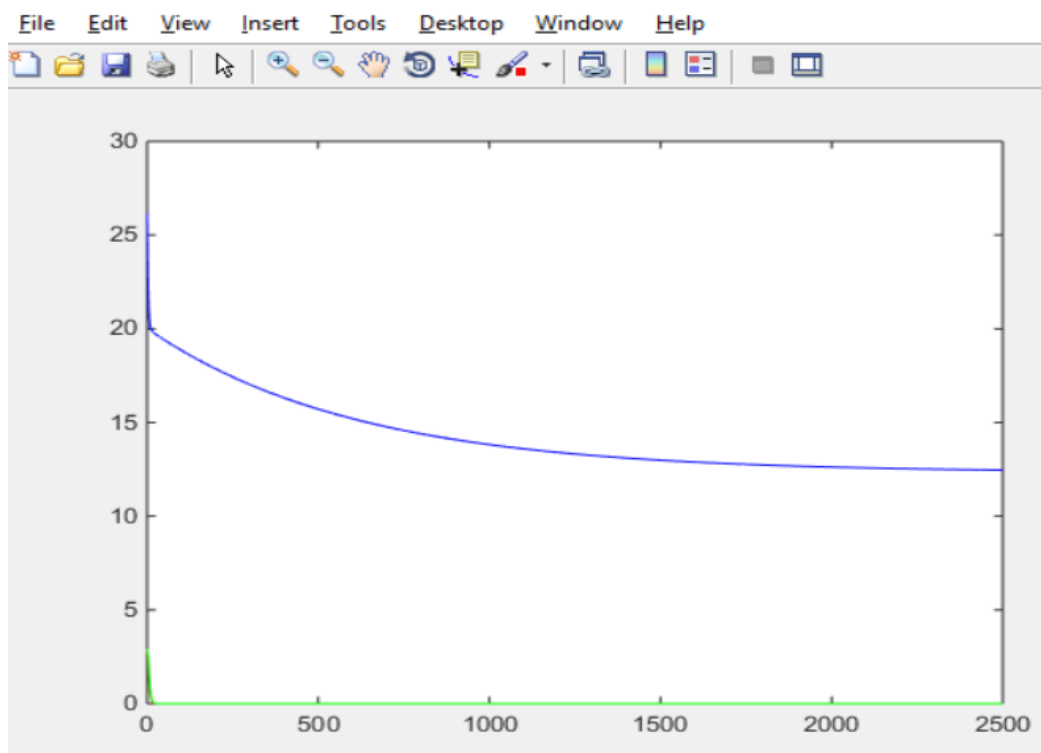
Το ζητούμενο είναι η λίμνη να μετατραπεί από εντροφική σε μεσοτροφική, με ανώτατο όριο συγκέντρωσης φωσφόρου (steady state) τα $15 \mu\text{g/L}$. Το όριο της συγκέντρωσης του φωσφόρου μιας μεσοτροφικής λίμνης είναι $10 - 20 \mu\text{g/L}$.

Επομένως, αυτό που αναζητείται στη 2^η δοκιμή είναι η τιμή του φορτίου που θα δημιουργεί μια συγκέντρωση φωσφόρου μεταξύ 10 – 15μg/L, σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα.

Μετά από δοκιμές, αυτό το σκοπό βρέθηκε ότι εξυπηρετεί το φορτίο $2,1 \times 10^8$ μg/day. Στις Εικόνες 4 και 5 φαίνονται αντίστοιχα οι μεταβολές των συγκεντρώσεων μετά από 600 ημέρες και 7 χρόνια.



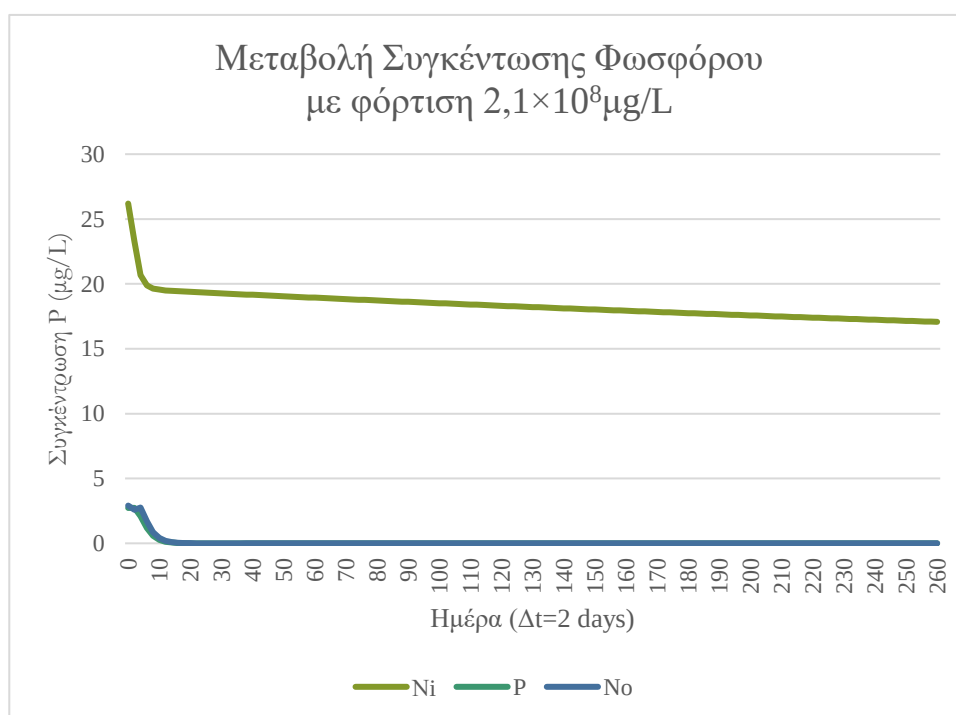
Εικόνα 4: Φορτίο $2,1 \times 10^8$ μg/L μετά από 600 ημέρες



Εικόνα 5 : Φορτίο $2,1 \times 10^8$ μg/L μετά από 7 χρόνια

Με το νέο φορτίο των $2,1 \times 10^8$ $\mu\text{g/L}$, το όριο των 15 $\mu\text{g/L}$ επιτυγχάνεται σε περίπου 600 ημέρες (1,65 χρόνια). Μακροπρόθεσμα, η συγκέντρωση ισορροπίας φαίνεται να είναι κάπου στη μέση των 10 και 15, δηλαδή 12,5 $\mu\text{g/L}$. Δηλαδή, το φορτίο καθιστά τη λίμνη μεσοτροφική σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Επομένως, η μείωση που πρέπει να υποστεί το φορτίο των $1,64 \times 10^{10}$ $\mu\text{g/day}$ ισούται με $1,64 \times 10^{10} - 2,1 \times 10^8 = 1,619 \times 10^{10}$ $\mu\text{g/day}$.

Ξανά, το αποτέλεσμα της μεθόδου Euler από το περιβάλλον της Matlab μπορεί να ελεγχθεί και σε περιβάλλον Excel. Θα γίνει αντικατάσταση του νέου φορτίου και οι πράξεις κελιών θα πραγματοποιηθούν όπως πριν. Η διαφορά με πριν είναι ότι η συγκέντρωση του φωσφόρου δεν θα βρίσκεται από την αρχή σε ισορροπία. Νωρίτερα δείχτηκε ότι οι σταθερές συνθήκες στο σύστημα του φωσφόρου θα δημιουργηθούν στη λίμνη περίπου σε 600 ημέρες. Επειδή η απεικόνιση διαγράμματος του Excel με τόσο μεγάλο πλήθος τιμών είναι χρονοβόρα, το διάγραμμα της Εικόνας 6 κατασκευάζεται ενδεικτικά για τις πρώτες 130 τιμές με χρονικό βήμα $\Delta t = 2$ ημέρες. Η συμπεριφορά των συγκεντρώσεων του φωσφόρου προκύπτει παρόμοια με αυτή που υποδεικνύει το διάγραμμα από Matlab.



Εικόνα 6

Η συγκέντρωση σε σταθερές συνθήκες παρατηρείται ότι καθορίζεται αποκλειστικά από το φώσφορο που βρίσκεται σε ανόργανη μορφή. Ο οργανικός φώσφορος και ο φώσφορος των φυτοπλαγκτόν – όπως είναι λογικό – απομακρύνεται πιο γρήγορα από το σύστημα. Συγκεκριμένα, μετά χρονικό διάστημα μικρότερο του ενός μήνα φαίνεται να υπάρχει φώσφορος μόνο σε ανόργανη μορφή.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα του μοντέλου στηρίχθηκαν σε κάποιες παραδοχές, οι κυριότερες από τις οποίες αφορούν την υπόθεση σταθερής ροής, πλήρους ανάμιξης της λίμνης και απουσίας ζωοπλαγκτόν.

Βιβλιογραφία

1. Jerald L. , Περιβαλλοντικά Μοντέλα, 2^η Έκδοση. Εκδόσεις Τζιόλα, 2017.
2. Γεροδημητρίου Δ. Παρμάκης Β. Ζαλώνης Ι. ,(2005). Ανθρωπογενής δραστηριότητες και οικολογικός χάρτης της λίμνης Λυσιμάχειας του νομού Αιτ/νίας.

Παράρτημα Ι – Κώδικας Euler στο Matlab

Για $C_{ss} = 31,83 \mu\text{g/L}$

```
V=10^10;
Q=(1.64)*10^7;
Dt=1; %Dt
R=50;
T=V/Q; %XRONOS PARAMONIS
L=(1.64)*10^10; %ug/day
W1=0.9*L;
W2=0.1*L;
N=zeros(1,R+1);
P=zeros(1,R+1);
No=zeros(1,R+1);
N(1,1)=26.19; %ug/L
P(1,1)=2.73; %ug/L
No(1,1)=2.91; %ug/L
Kg=0.04; %L/ug/day
Ko=0.489; %1/day
K1=0.763; %1/day
Ks=0.283; %1/day
for i=1:R
    DN(1,i)=W1/V-N(1,i)/T+Ko*No(1,i)-Kg*N(1,i)*P(1,i);
    DP(1,i)=Kg*N(1,i)*P(1,i)-(K1+Ks)*P(1,i)-P(1,i)/T;
    DNo(1,i)=W2/V-No(1,i)/T+K1*P(1,i)-(Ks+Ko)*No(1,i);
    N(1,i+1)=N(1,i)+DN(1,i)*Dt;
    P(1,i+1)=P(1,i)+DP(1,i)*Dt;
    No(1,i+1)=No(1,i)+DNo(1,i)*Dt;
end
x=zeros(1,R+1);
x(1,1)=0;
for i=1:R
    x(1,i+1)=x(1,i)+Dt;
end

figure;
plot(x,N,'b',x,P,'r',x,No,'g');
```

Σενάριο

Γίνεται αλλαγή:

```
R=600;
T=V/Q; %XRONOS PARAMONIS
L=(2.1)*10^8; %ug/day
```

Παράρτημα II – Μέθοδος Euler στο Excel

Λεδομένα

όγκος	10000000000	L
παροχή	16438356	L/day
φορτίο	16438356100	μg/day
τ	608,3333394	days
οργ. W	1643835610	μg/day
ανόργ. W	14794520490	μg/day
Ni	26,19	μg/L
No	2,91	μg/L
P	2,73	μg/L
kg	0,04	days ⁻¹
ks	0,283	days ⁻¹
k1	0,763	days ⁻¹
ko	0,489	days ⁻¹

Για $C_{ss} = 31,83 \mu\text{g/L}$

Χρόνος	N	P	No	Δt	dN/dt	dP/dt	dNo/dt
0	26,19	2,73	2,91	1	-0,00056	-0,00012	-0,00393
1	26,18944	2,72988	2,90607	1	-0,00229	-0,00018	-0,00098
2	26,18715	2,729699	2,905089	1	-0,00233	-0,00043	-0,00036
3	26,18481	2,729267	2,904728	1	-0,0018	-0,00069	-0,00041
4	26,18302	2,728581	2,904317	1	-0,00108	-0,00088	-0,00062
5	26,18194	2,7277	2,903701	1	-0,00034	-0,001	-0,00081
6	26,1816	2,7267	2,902889	1	0,000349	-0,00104	-0,00095
7	26,18195	2,725664	2,901942	1	0,000932	-0,001	-0,001
8	26,18288	2,724667	2,900938	1	0,001382	-0,0009	-0,00099
9	26,18426	2,723772	2,899949	1	0,001684	-0,00074	-0,00091
10	26,18595	2,723027	2,899043	1	0,001834	-0,00056	-0,00077
11	26,18778	2,722466	2,898269	1	0,001841	-0,00036	-0,0006
12	26,18962	2,722105	2,897666	1	0,001721	-0,00016	-0,00041
13	26,19134	2,721945	2,897254	1	0,001497	2,68E-05	-0,00022
14	26,19284	2,721971	2,897038	1	0,001198	0,00019	-2,8E-05
15	26,19404	2,722161	2,89701	1	0,000853	0,00032	0,000138
16	26,19489	2,722482	2,897148	1	0,000491	0,000413	0,000276
17	26,19538	2,722895	2,897424	1	0,000138	0,000467	0,000378
18	26,19552	2,723361	2,897802	1	-0,00018	0,000482	0,000442
19	26,19534	2,723843	2,898243	1	-0,00045	0,000462	0,000468
20	26,19489	2,724305	2,898711	1	-0,00066	0,000413	0,000458
21	26,19423	2,724719	2,899169	1	-0,00079	0,000342	0,000419
22	26,19344	2,72506	2,899588	1	-0,00086	0,000255	0,000356
23	26,19258	2,725316	2,899944	1	-0,00086	0,000162	0,000275
24	26,19173	2,725478	2,90022	1	-0,0008	6,86E-05	0,000186
25	26,19093	2,725546	2,900405	1	-0,00069	-1,8E-05	9,45E-05

Σενάριο – νέο φορτίο

Χρόνος	N	P	No	Δt	dN/dt	dP/dt	dNo/dt
0	26,19	2,73	2,91	2	-1,46111	-0,00012	-0,16621
2	23,26778	2,72976	2,577572	2	-1,29954	-0,3192	0,090784
4	20,6687	2,091363	2,75914	2	-0,39489	-0,46197	-0,53678
6	19,87893	1,167416	1,685575	2	-0,11781	-0,29476	-0,4112
8	19,6433	0,577902	0,863182	2	-0,04537	-0,15136	-0,22476
10	19,55256	0,275183	0,413669	2	-0,02618	-0,07307	-0,10797
12	19,5002	0,129038	0,197734	2	-0,01712	-0,03454	-0,05242
14	19,46597	0,059968	0,092895	2	-0,01437	-0,01613	-0,02401
16	19,43723	0,027704	0,04487	2	-0,01265	-0,00748	-0,01148
18	19,41193	0,012735	0,02192	2	-0,01218	-0,00345	-0,00514
20	19,38756	0,005829	0,011638	2	-0,0118	-0,00159	-0,00246
22	19,36396	0,002656	0,006725	2	-0,0117	-0,00073	-0,00108
24	19,34056	0,001205	0,004573	2	-0,01159	-0,00033	-0,00052
26	19,31738	0,000545	0,003537	2	-0,01155	-0,00015	-0,00022
28	19,29428	0,000245	0,003096	2	-0,01149	-6,8E-05	-0,00011
30	19,27129	0,00011	0,00288	2	-0,01146	-3E-05	-4,4E-05
32	19,24838	4,91E-05	0,002792	2	-0,01142	-1,4E-05	-2,2E-05
34	19,22555	2,18E-05	0,002747	2	-0,01138	-6,1E-06	-8,6E-06
36	19,20279	9,66E-06	0,00273	2	-0,01134	-2,7E-06	-4,6E-06
38	19,18011	4,26E-06	0,002721	2	-0,0113	-1,2E-06	-1,6E-06
40	19,1575	1,87E-06	0,002717	2	-0,01127	-5,3E-07	-9,3E-07
42	19,13497	8,18E-07	0,002716	2	-0,01123	-2,3E-07	-2,9E-07
44	19,11251	3,56E-07	0,002715	2	-0,01119	-1E-07	-1,9E-07
46	19,09013	1,54E-07	0,002715	2	-0,01116	-4,4E-08	-4,9E-08
48	19,06782	6,67E-08	0,002715	2	-0,01112	-1,9E-08	-4E-08
50	19,04558	2,87E-08	0,002714	2	-0,01108	-8,2E-09	-7E-09
52	19,02341	1,23E-08	0,002714	2	-0,01105	-3,5E-09	-8,7E-09
54	19,00132	5,24E-09	0,002714	2	-0,01101	-1,5E-09	-6,3E-10
56	18,9793	2,23E-09	0,002714	2	-0,01097	-6,4E-10	-2E-09
58	18,95736	9,43E-10	0,002714	2	-0,01094	-2,7E-10	9,03E-11
60	18,93548	3,97E-10	0,002714	2	-0,0109	-1,2E-10	-4,7E-10
62	18,91368	1,67E-10	0,002714	2	-0,01087	-4,8E-11	7,9E-11
64	18,89195	6,96E-11	0,002714	2	-0,01083	-2E-11	-1,2E-10
66	18,87029	2,9E-11	0,002714	2	-0,01079	-8,5E-12	3,31E-11
68	18,8487	1,2E-11	0,002714	2	-0,01076	-3,5E-12	-3,1E-11
70	18,82719	4,95E-12	0,002714	2	-0,01072	-1,5E-12	1,16E-11
72	18,80574	2,03E-12	0,002714	2	-0,01069	-6E-13	-8,6E-12
74	18,78436	8,32E-13	0,002714	2	-0,01065	-2,5E-13	3,78E-12
76	18,76306	3,39E-13	0,002714	2	-0,01062	-1E-13	-2,4E-12
78	18,74182	1,38E-13	0,002714	2	-0,01058	-4,1E-14	1,19E-12
80	18,72066	5,56E-14	0,002714	2	-0,01055	-1,7E-14	-7,1E-13
82	18,69956	2,24E-14	0,002714	2	-0,01051	-6,7E-15	3,64E-13
84	18,67854	8,97E-15	0,002714	2	-0,01048	-2,7E-15	-2,1E-13
86	18,65758	3,58E-15	0,002714	2	-0,01044	-1,1E-15	1,11E-13

88	18,63669	1,42E-15	0,002714	2	-0,01041	-4,3E-16	-6,2E-14
90	18,61587	5,62E-16	0,002714	2	-0,01038	-1,7E-16	3,34E-14
92	18,59512	2,22E-16	0,002714	2	-0,01034	-6,7E-17	-1,9E-14
94	18,57443	8,69E-17	0,002714	2	-0,01031	-2,6E-17	1E-14
96	18,55382	3,4E-17	0,002714	2	-0,01027	-1E-17	-5,5E-15
98	18,53327	1,32E-17	0,002714	2	-0,01024	-4E-18	3,01E-15
100	18,51279	5,12E-18	0,002714	2	-0,01021	-1,6E-18	-1,7E-15
102	18,49238	1,97E-18	0,002714	2	-0,01017	-6,1E-19	9,02E-16
104	18,47203	7,58E-19	0,002714	2	-0,01014	-2,3E-19	-5E-16
106	18,45176	2,9E-19	0,002714	2	-0,01011	-9E-20	2,71E-16
108	18,43154	1,1E-19	0,002714	2	-0,01007	-3,4E-20	-1,5E-16
110	18,4114	4,19E-20	0,002714	2	-0,01004	-1,3E-20	8,1E-17
112	18,39132	1,58E-20	0,002714	2	-0,01001	-4,9E-21	-4,4E-17
114	18,37131	5,95E-21	0,002714	2	-0,00997	-1,9E-21	2,41E-17
116	18,35136	2,23E-21	0,002714	2	-0,00994	-7E-22	-1,3E-17
118	18,33148	8,3E-22	0,002714	2	-0,00991	-2,6E-22	6,61E-18
120	18,31166	3,08E-22	0,002714	2	-0,00988	-9,7E-23	-3,4E-18
122	18,29191	1,14E-22	0,002714	2	-0,00984	-3,6E-23	2,06E-18
124	18,27222	4,19E-23	0,002714	2	-0,00981	-1,3E-23	-1,3E-18
126	18,2526	1,54E-23	0,002714	2	-0,00978	-4,9E-24	0
128	18,23304	5,61E-24	0,002714	2	-0,00975	-1,8E-24	0
130	18,21355	2,04E-24	0,002714	2	-0,00971	-6,5E-25	0
132	18,19412	7,37E-25	0,002714	2	-0,00968	-2,4E-25	0
134	18,17476	2,66E-25	0,002714	2	-0,00965	-8,5E-26	0
136	18,15546	9,52E-26	0,002714	2	-0,00962	-3,1E-26	0
138	18,13622	3,4E-26	0,002714	2	-0,00959	-1,1E-26	0
140	18,11704	1,21E-26	0,002714	2	-0,00956	-3,9E-27	0
142	18,09793	4,28E-27	0,002714	2	-0,00952	-1,4E-27	0
144	18,07888	1,51E-27	0,002714	2	-0,00949	-4,9E-28	0
146	18,0599	5,3E-28	0,002714	2	-0,00946	-1,7E-28	0
148	18,04097	1,85E-28	0,002714	2	-0,00943	-6E-29	0
150	18,02211	6,45E-29	0,002714	2	-0,0094	-2,1E-29	0
152	18,00331	2,23E-29	0,002714	2	-0,00937	-7,3E-30	0
154	17,98458	7,71E-30	0,002714	2	-0,00934	-2,5E-30	0
156	17,9659	2,65E-30	0,002714	2	-0,00931	-8,7E-31	0
158	17,94729	9,05E-31	0,002714	2	-0,00928	-3E-31	0
160	17,92873	3,08E-31	0,002714	2	-0,00925	-1E-31	0
162	17,91024	1,04E-31	0,002714	2	-0,00922	-3,5E-32	0
164	17,89181	3,53E-32	0,002714	2	-0,00919	-1,2E-32	0
166	17,87344	1,19E-32	0,002714	2	-0,00916	-3,9E-33	0
168	17,85513	3,97E-33	0,002714	2	-0,00913	-1,3E-33	0
170	17,83688	1,32E-33	0,002714	2	-0,0091	-4,4E-34	0
172	17,81869	4,38E-34	0,002714	2	-0,00907	-1,5E-34	0
174	17,80056	1,45E-34	0,002714	2	-0,00904	-4,9E-35	0
176	17,78248	4,76E-35	0,002714	2	-0,00901	-1,6E-35	0
178	17,76447	1,56E-35	0,002714	2	-0,00898	-5,2E-36	0

180	17,74652	5,07E-36	0,002714	2	-0,00895	-1,7E-36	0
182	17,72863	1,65E-36	0,002714	2	-0,00892	-5,6E-37	0
184	17,71079	5,32E-37	0,002714	2	-0,00889	-1,8E-37	0
186	17,69302	1,71E-37	0,002714	2	-0,00886	-5,8E-38	0
188	17,6753	5,47E-38	0,002714	2	-0,00883	-1,9E-38	0
190	17,65764	1,74E-38	0,002714	2	-0,0088	-6E-39	0
192	17,64004	5,54E-39	0,002714	2	-0,00877	-1,9E-39	0
194	17,6225	1,75E-39	0,002714	2	-0,00874	-6E-40	0
196	17,60501	5,5E-40	0,002714	2	-0,00871	-1,9E-40	0
198	17,58758	1,72E-40	0,002714	2	-0,00869	-5,9E-41	0
200	17,57021	5,37E-41	0,002714	2	-0,00866	-1,9E-41	0
202	17,5529	1,67E-41	0,002714	2	-0,00863	-5,8E-42	0
204	17,53564	5,15E-42	0,002714	2	-0,0086	-1,8E-42	0
206	17,51844	1,58E-42	0,002714	2	-0,00857	-5,5E-43	0
208	17,5013	4,85E-43	0,002714	2	-0,00854	-1,7E-43	0
210	17,48421	1,48E-43	0,002714	2	-0,00852	-5,1E-44	0
212	17,46718	4,48E-44	0,002714	2	-0,00849	-1,6E-44	0
214	17,45021	1,35E-44	0,002714	2	-0,00846	-4,7E-45	0
216	17,43329	4,07E-45	0,002714	2	-0,00843	-1,4E-45	0
218	17,41642	1,22E-45	0,002714	2	-0,0084	-4,3E-46	0
220	17,39962	3,63E-46	0,002714	2	-0,00838	-1,3E-46	0
222	17,38286	1,08E-46	0,002714	2	-0,00835	-3,8E-47	0
224	17,36617	3,18E-47	0,002714	2	-0,00832	-1,1E-47	0
226	17,34952	9,36E-48	0,002714	2	-0,00829	-3,3E-48	0
228	17,33294	2,74E-48	0,002714	2	-0,00827	-9,7E-49	0
230	17,3164	7,98E-49	0,002714	2	-0,00824	-2,8E-49	0
232	17,29992	2,31E-49	0,002714	2	-0,00821	-8,2E-50	0
234	17,2835	6,68E-50	0,002714	2	-0,00819	-2,4E-50	0
236	17,26713	1,92E-50	0,002714	2	-0,00816	-6,9E-51	0
238	17,25081	5,5E-51	0,002714	2	-0,00813	-2E-51	0
240	17,23455	1,56E-51	0,002714	2	-0,0081	-5,6E-52	0
242	17,21834	4,44E-52	0,002714	2	-0,00808	-1,6E-52	0
244	17,20218	1,25E-52	0,002714	2	-0,00805	-4,5E-53	0
246	17,18608	3,52E-53	0,002714	2	-0,00803	-1,3E-53	0
248	17,17003	9,83E-54	0,002714	2	-0,008	-3,5E-54	0
250	17,15403	2,74E-54	0,002714	2	-0,00797	-9,9E-55	0
252	17,13808	7,58E-55	0,002714	2	-0,00795	-2,7E-55	0
254	17,12219	2,09E-55	0,002714	2	-0,00792	-7,6E-56	0
256	17,10635	5,74E-56	0,002714	2	-0,00789	-2,1E-56	0
258	17,09056	1,57E-56	0,002714	2	-0,00787	-5,7E-57	0
260	17,07483	4,26E-57	0,002714	2	-0,00784	-1,6E-57	0