

Open Schools Journal for Open Science

Τόμ. 3, Αρ. 7 (2020)



Προσομοιώνοντας τις Αναδράσεις της Κλιματικής Αλλαγής

Κωνσταντίνος Ζαφειρόπουλος, Ευάγγελος Τσορμπατσόγλου, Δημήτριος Σαρτζετάκης, Γεώργιος Γκαράς, Δημήτριος Γιάτας

doi: [10.12681/osj.24345](https://doi.org/10.12681/osj.24345)

Copyright © 2020, Κωνσταντίνος Ζαφειρόπουλος, Ευάγγελος Τσορμπατσόγλου, Δημήτριος Σαρτζετάκης, Γεώργιος Γκαράς, Δημήτριος Γιάτας



Άδεια χρήσης [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Βιβλιογραφική αναφορά:

Ζαφειρόπουλος Κ., Τσορμπατσόγλου Ε., Σαρτζετάκης Δ., Γκαράς Γ., & Γιάτας Δ. (2020). Προσομοιώνοντας τις Αναδράσεις της Κλιματικής Αλλαγής. *Open Schools Journal for Open Science*, 3(7). <https://doi.org/10.12681/osj.24345>



Προσομοιώνοντας τις Αναδράσεις της Κλιματικής Αλλαγής

Ζαφειρόπουλος Κωνσταντίνος¹, Τσορμπατσόγλου Ευάγγελος¹, Σαρτζετάκης Δημήτριος¹, Γκαράς Γεώργιος², Γιάτας Δημήτριος³

¹ 1^ο Πειραματικό ΓΕΛ Αθήνας Γεννάδειο, Αθήνα, Ελλάδα,

² Φυσικός, 1^ο Πειραματικό ΓΕΛ Αθήνας Γεννάδειο, Αθήνα, Ελλάδα,

³ Καθηγητής Πληροφορικής, 1^ο Πειραματικό ΓΕΛ Αθήνας Γεννάδειο, Αθήνα, Ελλάδα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πλαίσιο του μαθήματος «Ερευνητική Εργασία» μελετήσαμε την Κλιματική Αλλαγή ως Πολύπλοκο Πρόβλημα με τη βοήθεια του μοντέλου “Climate Change” του λογισμικού NetLogo. Μελετήσαμε πως επιδρούν στο κλίμα της Γης η ηλιακή ακτινοβολία, τα αέρια του θερμοκηπίου, η νέφωση, και η λευκαύγεια της Γης. Από τη βιβλιογραφία μάθαμε ότι υπάρχει η πιθανότητα κατά τη διάρκεια της κλιματικής αλλαγής να συμβούν αναδράσεις οι οποίες είτε θα επιταχύνουν είτε θα αναστείλουν την κλιματική αλλαγή. Παρατηρήσαμε ότι το μοντέλο της Netlogo που χρησιμοποιήσαμε δεν προβλέπει αναδράσεις. Τέθηκε το ερώτημα μπορούμε να επεκτείνουμε εμείς το μοντέλο ώστε να περιλαμβάνει και αναδράσεις; Για τον σκοπό αυτό μελετήσαμε τη γλώσσα προγραμματισμού του λογισμικού NetLogo και τελικά καταφέρουμε να εισάγουμε στο μοντέλο θετικές και αρνητικές αναδράσεις με απλές εντολές ελέγχου αξιοποιώντας τις διαδικασίες του μοντέλου. Τα αποτελέσματα ήταν ενδιαφέροντα. Παρατηρήσαμε ότι κάποιες αναδράσεις είναι καταστροφικές για το κλίμα. Υπό ορισμένες όμως προϋποθέσεις μπορούν ίσως να δημιουργήσουν έναν θερμοστάτη.

ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ

Κλιματική Αλλαγή, Αναδράσεις, NetLogo, Κώδικας, Προσομοίωση.





ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κλιματική αλλαγή είναι η μεταβολή του παγκοσμίου κλίματος η οποία σχετίζεται με μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε φυσικές διαδικασίες, καθώς και σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Εξαιρουμένου του ανθρώπινου παράγοντα οι υπόλοιποι κυριότεροι παράγοντες είναι οι μετακινήσεις των ηπείρων στην επιφάνεια της γης, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας, και οι ανωμαλίες στην κίνηση της Γής (Ευαγγελόπουλος, 2012).

Οι άνθρωποι επηρεάζουν ολοένα και περισσότερο το κλίμα και τη θερμοκρασία της γης μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων, της αποψίλωσης των ομβρόφιλων δασών και της κτηνοτροφίας. Οι δραστηριότητες αυτές προσθέτουν τεράστιες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου στα αέρια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα, προκαλώντας αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου και υπερθέρμανση του πλανήτη. Εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής παρατηρούμε σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και στους ανθρώπινους πληθυσμούς – όπως η τήξη των θαλάσσιων πάγων στην Αρκτική – ακόμα και με τη σημερινή αύξηση της θερμοκρασίας στους 0,8 °C σε σύγκριση με τα προβιομηχανικά επίπεδα. Αυτές θα μπορούσαν να προκαλέσουν θετικές ανατροφοδοτήσεις που θα επιφέρουν ακόμα μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας και περαιτέρω δραματικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα του πλανήτη (Κατσαφάδος & Μαυροματίδης, 2015)

Η 4η Έκθεση Αξιολόγησης (AR4) της IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) προβλέπει επιπλέον (Βικιπαίδεια, Τέταρτη έκθεση αξιολόγησης της IPCC):

- Μέσα στις επόμενες δεκαετίες, τα αποθέματα νερού που είναι αποθηκευμένα στους παγετώνες και στις χιονισμένες περιοχές θα μειωθούν προκαλώντας ελλείψεις νερού σε περισσότερο από 1 δις ανθρώπους
- Το 20% με 30% όλων των ζωντανών οργανισμών στον πλανήτη θα αντιμετωπίζουν αυξημένο κίνδυνο εξαφάνισης, αν η άνοδος της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας ξεπεράσει τους 1,5-2,5°C.





- Σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη, και κυρίως σε ξηρές και τροπικές περιοχές, ακόμα και μικρές αυξήσεις της θερμοκρασίας της τάξης των 1°C - 2°C , αναμένεται να αυξήσουν τον κίνδυνο λιμών
- Μετά το 2080 πολλά εκατομμύρια ανθρώπων αναμένεται να επηρεαστούν από πλημμύρες στα σπίτια και τις επιχειρήσεις τους εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας κάθε χρόνο. Σε ιδιαίτερο κίνδυνο βρίσκονται πυκνοκατοικημένες περιοχές, καθώς και περιοχές που βρίσκονται σε χαμηλό υψόμετρο με περιορισμένες ικανότητες προσαρμογής.

Αξιοποιώντας το λογισμικό NetLogo καταφέραμε να μελετήσουμε την κλιματική αλλαγή και να προσομοιώσουμε μερικές από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η NetLogo είναι μια γλώσσα προγραμματισμού που σχεδιάστηκε από τον Uri Wilensky και πρωτοεμφανίστηκε το 1999. Η γλώσσα είναι αρκετά απλή καθώς χρησιμοποιεί πράκτορες (οι οποίοι διαφοροποιούνται σε χελώνες, μπαλώματα (patches), συνδέσμους και παρατηρητές), θέτοντας τις βάσεις για ένα περιβάλλον κατάλληλο για μοντελοποίηση και προσομοίωση. Με άλλα λόγια επιτρέπει την δημιουργία προσομοιώσεων, οι οποίες βασίζονται σε πραγματικές καταστάσεις και φαινόμενα, δημιουργώντας πολύπλοκα συστήματα παρόμοια με αυτά που βρίσκονται στην φύση (Tisue & Wilensky, 2004; Wilensky, 1999).

ΟΙ ΑΝΑΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

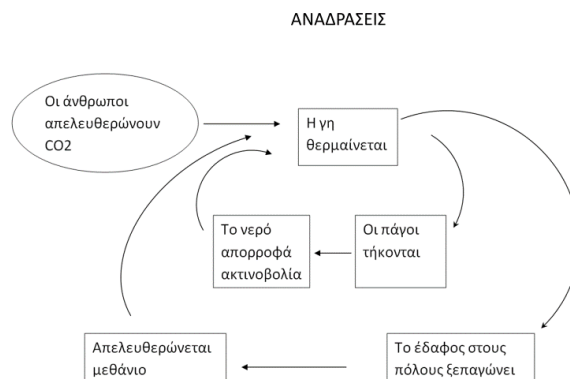
Το μοντέλο “Climate Change” της NetLogo με το οποίο εργαστήκαμε προσομοιώνει την επίδραση βασικών παραγόντων στο κλίμα της Γης όπως η ακτινοβολία του ήλιου, η λευκαύγεια της γης, τα αέρια του θερμοκηπίου και η νέφωση αλλά δεν προσομοιώνει τις αναδράσεις της κλιματικής αλλαγής, δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο η μεταβολή σε κάποια από τις παραπάνω μεταβλητές πιθανόν να οδηγεί στη μεταβολή της ίδιας ή κάποιας άλλης παραμέτρου. Π.χ. η αύξηση στη συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου (π.χ. του CO_2 , δεξ βιβλίο χημείας Β΄ λυκείου σελ. 67) οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας και αυτή με τη σειρά της οδηγεί στην αύξηση της συγκέντρωσης των υδρατμών που επίσης είναι αέριο του θερμοκηπίου. Το





φαινόμενο αυτό είναι μια θετική ανάδραση και έχει σαν αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας. Επίσης η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί στην αύξηση των νεφών που οδηγεί πιθανόν στην αύξηση της λευκαύγειας. Αυτό είναι μια αρνητική ανάδραση και οδηγεί σε μείωση ή σταθεροποίηση της θερμοκρασίας.

Στο Σχήμα 1 βλέπουμε μερικές από τις πιθανές αναδράσεις της κλιματικής αλλαγής. Η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί στην τήξη των πάγων στους πόλους και των παγετώνων – φαινόμενα που ήδη παρατηρούνται ιδιαίτερα έντονα – με αποτέλεσμα την μείωση της λευκαύγειας - αφού οι πάγοι ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία - και την περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας της Γης. Επίσης η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί στη θέρμανση περιοχών του πλανήτη όπως η Σιβηρία και στην απελευθέρωση, από την επί αιώνες θαμμένη οργανική ύλη η οποία τώρα θα αρχίσει να σαπίζει, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα. Το ίδιο συμβαίνει και με την αποψίλωση των δασών. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι μερικά από τα σενάρια είναι καταστροφικά και μπορούν να μετατρέψουν τη Γη σε νεκρό πλανήτη.



Σχήμα 1: Αναδράσεις της Κλιματικής Αλλαγής (Αναδημοσίευση από Gkaras, Yiatas & Dimitrakopoulou, 2018).

Επειδή όπως είπαμε το μοντέλο “Climate Change” της NetLogo δεν περιλαμβάνει τέτοιες αναδράσεις σκεφτήκαμε να επιχειρήσουμε να το «επεκτείνουμε» συμπεριλαμβάνοντας και

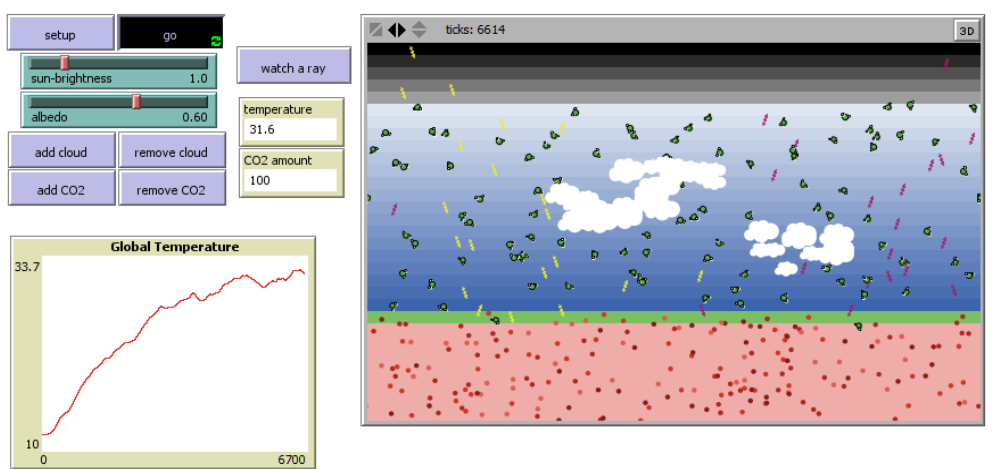




κάποιες από τις αναδράσεις. Αυτό αποτελεί και το ερευνητικό ερώτημα αυτής της εργασίας. «Μπορούν οι μαθητές της Α Λυκείου στο πλαίσιο ενός πρότζεκτ να επεκτείνουν ένα μοντέλο της NetLogo»; Για να πετύχουμε αυτό το σκοπό έπρεπε να κατανοήσουμε τη λειτουργία του μοντέλου και να μελετήσουμε τη γλώσσα προγραμματισμού της NetLogo.

ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Η NetLogo αποτελεί ελεύθερο ανοιχτό λογισμικό και οι κατασκευαστές του ενθαρρύνουν τη χρήση, την επέκταση και τη δημοσίευση εργασιών που αναφέρονται στο μοντέλο αυτό (GNU, 2017; Tinker & Wilensky, 2007; Wilensky, 1999). Στο Σχήμα 2 βλέπουμε την διεπιφάνεια προγράμματος - χρήστη του μοντέλου αυτού. Ο χρήστης επιλέγει τιμές για τις μεταβλητές sun-brightness, albedo, cloud και CO₂ οι οποίες αντιστοιχούν στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, στη λευκαύγεια (ικανότητα της γης να ανακλά την προσπίπτουσα ακτινοβολία) στη νέφωση και στη δράση των αερίων του θερμοκηπίου αντίστοιχα. Πρόκειται για ένα μοντέλο ενεργειακών ανταλλαγών αφού δείχνει την ενέργεια που εισέρχεται και αποβάλλεται από τη γη με αποτέλεσμα την σταθεροποίηση μιας «μέσης θερμοκρασίας». Ο χρήστης, παρατηρεί την ακτινοβολία του ήλιου να εισέρχεται, να απορροφάται και να ανακλάται, και στο διάγραμμα, τη μεταβολή της «μέσης θερμοκρασίας» της Γης. Η θερμοκρασία σταθεροποιείται, αν και με διακυμάνσεις, μετά από ένα «χρονικό διάστημα».



Σχήμα 2: Το μοντέλο “Climate Change” της NetLogo





Το μοντέλο βέβαια είναι πολύ απλοποιημένο σε σχέση με τα επιστημονικά μοντέλα που περιγράφουν το κλίμα της γης. Όμως πειραματιζόμενοι με αυτό μάθαμε πώς δημιουργείται το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τον ρόλο που παίζουν τα αέρια του θερμοκηπίου, η ηλιακή ακτινοβολία, η νέφωση και η επιφάνεια της Γης. Όμως η πραγματικότητα είναι πολύ πιο πολύπλοκη.

Ο ΚΩΔΙΚΑΣ

Με τη βοήθεια των καθηγητών μας μελετήσαμε τον Κώδικα του μοντέλου. Σε αυτό μας βοήθησε το γεγονός ότι ο κώδικας είναι γραμμένος με τρόπο φιλικό στον χρήστη. Τα ονόματα των μεταβλητών και των διαδικασιών βοηθούν πολύ στην κατανόηση της λειτουργίας του. Επίσης μας βοήθησε το γεγονός ότι έχουμε διδαχθεί τη γλώσσα *logo* στο γυμνάσιο και η NetLogo είναι συνέχεια της γλώσσας αυτής.

Στο Σχήμα 3 βλέπουμε την πρώτη σελίδα του κώδικα του μοντέλου “Climate Change” της NetLogo. Παρατηρούμε ότι ξεκινάμε με τον ορισμό των γενικών μεταβλητών “globals” και τον ορισμό των διαφόρων ειδών πρακτόρων “breeds” των οποίων η ταυτότητα δηλώνεται από το όνομά τους (ray, heat, CO₂, κλπ). Κατόπιν βλέπουμε τις ρουτίνες (διαδικασίες) που «στήνουν» την προσομοίωση “setup”. Στη συνέχεια η NetLogo χρησιμοποιεί μια κεντρική ρουτίνα “go” η οποία «τρέχει» το πρόγραμμα καλώντας τις υπόλοιπες υπορουτίνες (setup, setup-world, go, update-albedo, add-cloud, remove-cloud, create-sunshine, encounter-earth, run-heat, run-IR, add-CO₂, remove-CO₂, run-CO₂) των οποίων η λειτουργία αν και σχεδόν συνάγεται από τον τίτλο περιγράφεται και από τα ενσωματωμένα σχόλια.

Για να κατανοήσουμε τον κώδικα κάναμε πειραματισμούς αλλάζοντας στοιχεία του κώδικα. Έτσι αλλάξαμε τις θέσεις των στοιχείων του «κόσμου» της προσομοίωσης (π.χ. του ουρανού και της γης), το σχήμα και το χρώμα των σύννεφων κλπ. Πολλές φορές ανατρέξαμε στο manual του προγράμματος και της γλώσσας προγραμματισμού. Τελικά αφού κατανοήσαμε τον ρόλο κάθε υπορουτίνας αποφασίσαμε να κάνουμε τις παρεμβάσεις μας.





```
globals [
  sky-top      ;; y coordinate of top row of sky
  earth-top    ;; y coordinate of top row of earth
  temperature  ;; overall temperature
]

breed [rays ray]      ;; packets of sunlight
breed [IRs IR]       ;; packets of infrared radiation
breed [heats heat]   ;; packets of heat energy
breed [CO2s CO2]    ;; packets of carbon dioxide

breed [clouds cloud]
clouds-own [cloud-speed cloud-id]

;;
;; Setup Procedures
;;

to setup
  clear-all
  set-default-shape rays "ray"
  set-default-shape IRs "ray"
  set-default-shape clouds "cloud"
  set-default-shape heats "dot"
  set-default-shape CO2s "CO2-molecule"
  setup-world
  set temperature 12
  reset-ticks
end

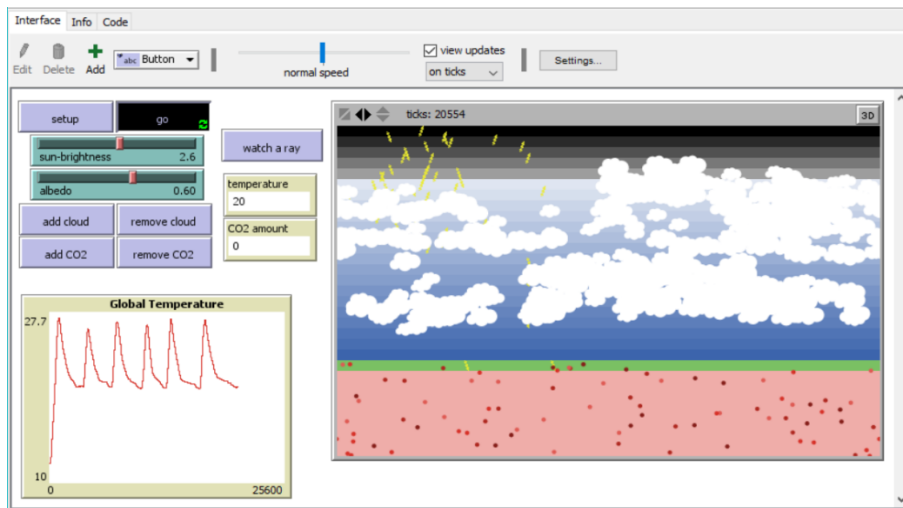
to setup-world
  set sky-top max-pycor - 5
  set earth-top 0
  ask patches [ ;; set colors for the different sections of the world
    if pycor > sky-top [ ;; space
      set pcolor scale-color white pycor 22 15
    ]
    if pycor <= sky-top and pycor > earth-top [ ;; sky
      set pcolor scale-color blue pycor -20 20
    ]
    if pycor < earth-top
      [ set pcolor red + 3 ] ;; earth
    if pycor = earth-top ;; earth surface
      [ update-albedo ]
  ]
end
```

Σχήμα 3: Μέρος Κώδικα από το μοντέλο “Climate Change” της NetLogo

ΠΑΡΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΚΩΔΙΚΑ

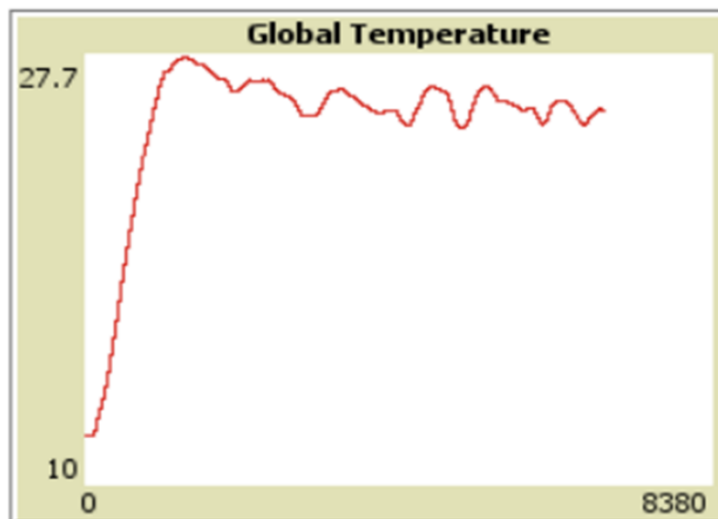
Στις παρεμβάσεις μας στον κώδικα χρησιμοποιήσαμε εντολές ελέγχου της NetLogo και αξιοποιήσαμε τις έτοιμες υπορουτίνες του μοντέλου.





Σχήμα 4: Εισαγωγή αναδράσεων στο μοντέλο "Climate Change" της NetLogo.

Με την εντολή «if temperature > 25 [add-cloud]» καταφέραμε να εισάγουμε σύννεφα στο μοντέλο όταν η θερμοκρασία ξεπερνούσε μια τιμή. Αυτό οδηγεί το μοντέλο σε «πτώση θερμοκρασίας» γι' αυτό εισήγαμε και την εντολή «if temperature < 20 [remove-cloud]» με αποτέλεσμα η θερμοκρασία να παρουσιάσει έντονες ταλαντώσεις όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 5: Εισαγωγή αναδράσεων στο μοντέλο "Climate Change" της NetLogo.

Καταφέραμε να κάνουμε τις ταλαντώσεις λιγότερο έντονες όταν εισήγαμε και αέρια θερμοκηπίου στις αναδράσεις με την εντολή «if temperature > 25 [add-cloud add-co2]». Το





τελικό αποτέλεσμα ήταν οι αναδράσεις να δημιουργήσουν έναν θερμοστάτη! (Σχήμα 5). Αντιθέτως μόνη η εντολή «if temperature > 25 [add-co2]» οδηγεί σε συνεχή αύξηση της θερμοκρασίας με καταστροφικά αποτελέσματα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρά τον περιορισμένο χρόνο ενός τετραμηνιαίου πρότζεκτ καταφέραμε να κατανοήσουμε σε έναν βαθμό μια νέα γλώσσα προγραμματισμού και να γράψουμε δικό μας κώδικα επεμβαίνοντας στον κώδικα ενός έτοιμου μοντέλου. Αυτό μας ενθαρρύνει να ασχοληθούμε με τον προγραμματισμό στο μέλλον. Βέβαια από την ανάλυση των καθηγητών μας για το τελικό αποτέλεσμα συνάγεται ότι οι παρεμβάσεις που κάναμε στον κώδικα δεν ήταν στη φιλοσοφία μιας προσομοίωσης πολλαπλών πρακτόρων όπως είναι οι προσομοιώσεις της NetLogo. Πέρα πάντως από αυτή την αδυναμία η όλη μας προσπάθεια ήταν ιδιαίτερα παραγωγική. Μάθαμε πολλά πράγματα για το κλίμα και την κλιματική αλλαγή και νέες έννοιες – όπως οι αρνητικές και θετικές αναδράσεις – οι οποίες ανήκουν στη σφαίρα των πολύπλοκων συστημάτων αλλά και της κυβερνητικής επιστήμης. Το ζήτημα του κλίματος είναι εξαιρετικά ενδιαφέρον και σίγουρα θα μας απασχολήσει και στο μέλλον.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε τους καθηγητές μας Γκαρά Γεώργιο, καθηγητή φυσικής και Γιάτα Δημήτριο, καθηγητή πληροφορικής που μας βοήθησαν κατά τη διάρκεια του πρότζεκτ και επέβλεψαν τη συγγραφή αυτής της εργασίας. Επίσης τους ευχαριστούμε για τα σχήματα που παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

[1] Gkaras, G., Yiatas, D., Dimitrakopoulou, K. (2018). Climate Change as a Tragedy of the Commons. A NetLogo Experience in School. 4th International Conference for the Promotion of Educational Innovation. Larisa. To be published.





- [2] GNU, (2017). General Public License. <http://www.gnu.org/licenses/gpl-2.0.html>. [Προσπέλαση 14-7-2018]
- [3] Jacobson, M. J., Wilensky, U. (2006). Complex Systems in Education: Scientific and Educational Importance and Implications for the Learning Sciences. *The journal of the Learning Sciences*, 15(1), 11–34, Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- [4] Tinker, R. & Wilensky, U. (2007). NetLogo Climate Change model. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/ClimateChange>. [Προσπέλαση 14-7-2018].
- [5] Tisue, S. & Wilensky, U. (2004). NetLogo: NetLogo: Design and implementation of a multi-agent modeling environment. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling Northwestern University, Evanston, Illinois presented at Agent 2004, Chicago, October 2004. Retrieved June 13, 2017, from <http://simulation.su/uploads/files/default/2013-tisue-wilensky.pdf> [Προσπέλαση 14-7-2018].
- [6] Wilensky, U. (1999). NetLogo. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/> [Προσπέλαση 14-7-2018].
- [7] Γκαράς, Γ., Γιάτας, Δ. & Βλάσση, Μ. (2015). Εισαγωγή στις θετικές και αρνητικές αναδράσεις της Κλιματικής Αλλαγής με προσομοίωση NetLogo. Στο Θ. Μαρδίρης, & Μ. Γρηγορίου (επιμ.), Ηλεκτρ. Πρακτικά. 7ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΠΕΕΚΠΕ Περιβαλλοντική Εκπαίδευση και Εκπαίδευση για την Αειφορία. Αλλάζοντας στάσεις και συμπεριφορές μέσα από εκπαιδευτικά προγράμματα, έρευνα, σχολικά δίκτυα, δράσεις και δραστηριότητες στην Ελλάδα. Βόλος.
- [8] Γκαράς, Γ., Γιάτας, Δ. (2018). Επεκτείνοντας ένα μοντέλο για την Κλιματική Αλλαγή. Πρακτικά Εργασιών 12ου Πανελληνίου Συνεδρίου Καθηγητών Πληροφορικής, Αθήνα 4-6 Μαΐου 2018. Προς δημοσίευση.
- [9] Ευαγγελόπουλος, Γ. (2012). Κλιματικές Αλλαγές - Ελληνικό Φοιτητικό Ντοκιμαντέρ. Πτυχιακή εργασία στα πλαίσια του οδηγού σπουδών του τμήματος Επιστημών της θάλασσας του Πανεπιστημίου του Αιγαίου. <https://www.youtube.com/watch?v=Z-8sZYGDLUQ> [Προσπέλαση 14-7-2018].





[10] Κατσαφάδος, Π., Μαυροματίδης, Η., 2015. Εισαγωγή στη φυσική της ατμόσφαιρας και την κλιματική αλλαγή. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/3708> [Προσπέλαση 14-7-2018]

