



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

Βελτιστοποίηση Συστημάτων Υδατικών Πόρων - Υδροπληροφορική: Μοντέλα ευφυών πρακτόρων

Ιφιγένεια Κουτίβα

ikoutiva@mail.ntua.gr

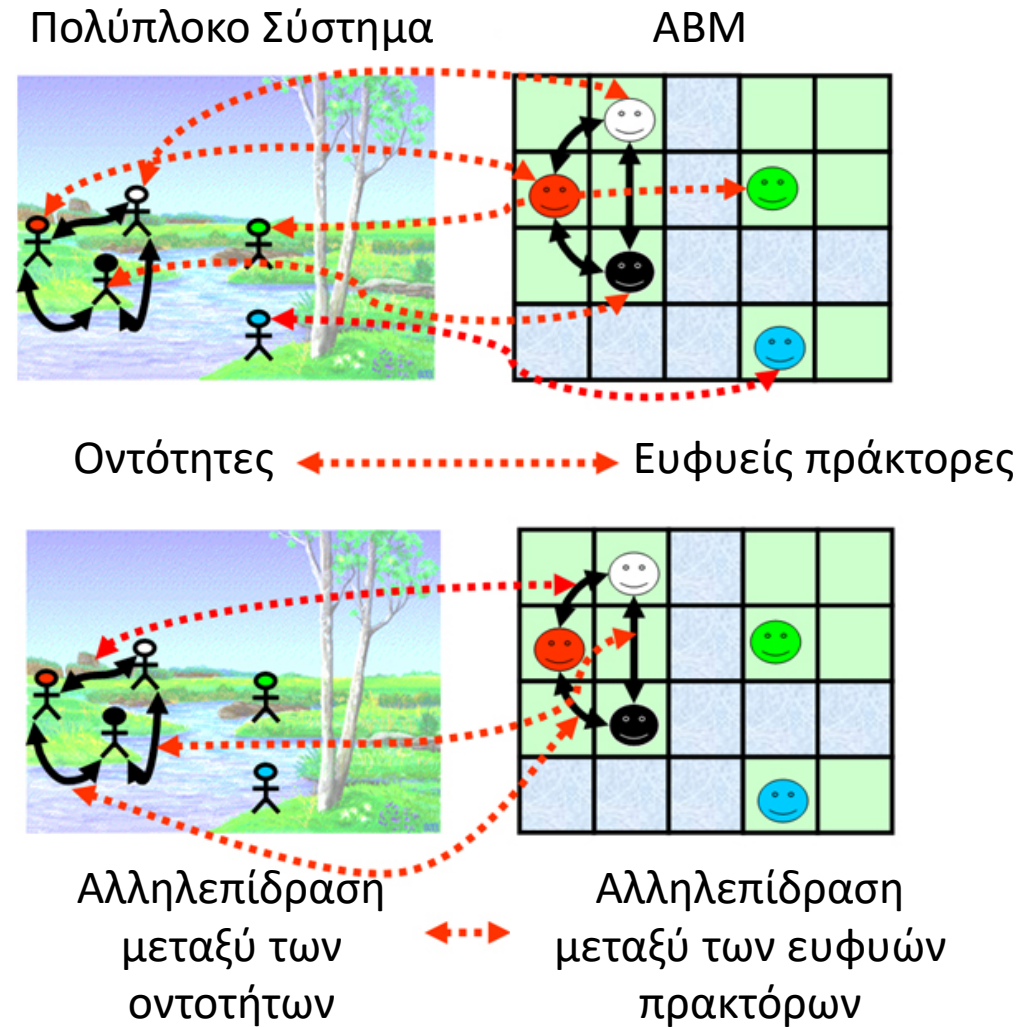
Χρήστος Μακρόπουλος

cmakro@mail.ntua.gr

Μοντέλα ευφυών πρακτόρων (Agent Based Modelling – ABM)

Μια υπολογιστική **μεθοδολογία** που επιτρέπει τη δημιουργία και τον πειραματισμό με **εικονικούς κόσμους** που περιέχουν **ευφυείς πράκτορες** ικανούς να **αλληλοεπιδρούν** μεταξύ τους και με το **περιβάλλον** τους **αυτόνομα**.

Η συνδυαστική συμπεριφορά των ευφυών πρακτόρων (μικρό-κλίμακα) διαμορφώνει τη συμπεριφορά του συστήματος (μακρό-κλίμακα) (emergence).



ABM – Απλά παραδείγματα

- Πολύ απλή μορφή ευφών πρακτόρων:

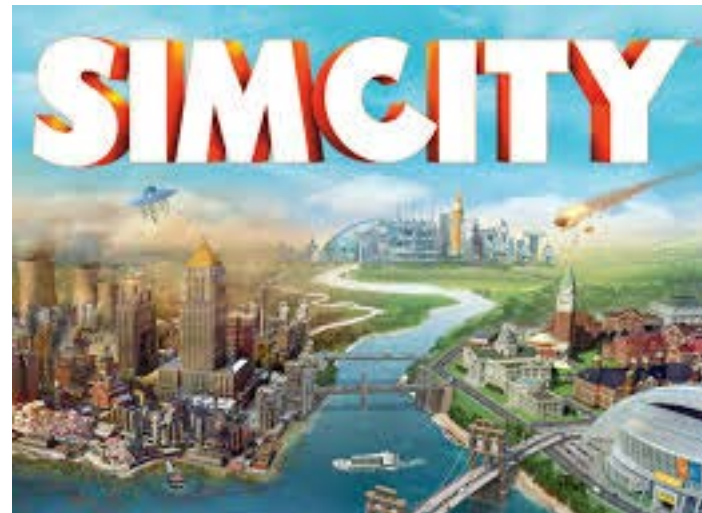
AntiVirus Software

- Παιχνίδια:

SimCity

The Sims

Farm Ville, City Ville και άλλα



THE SIMS 4

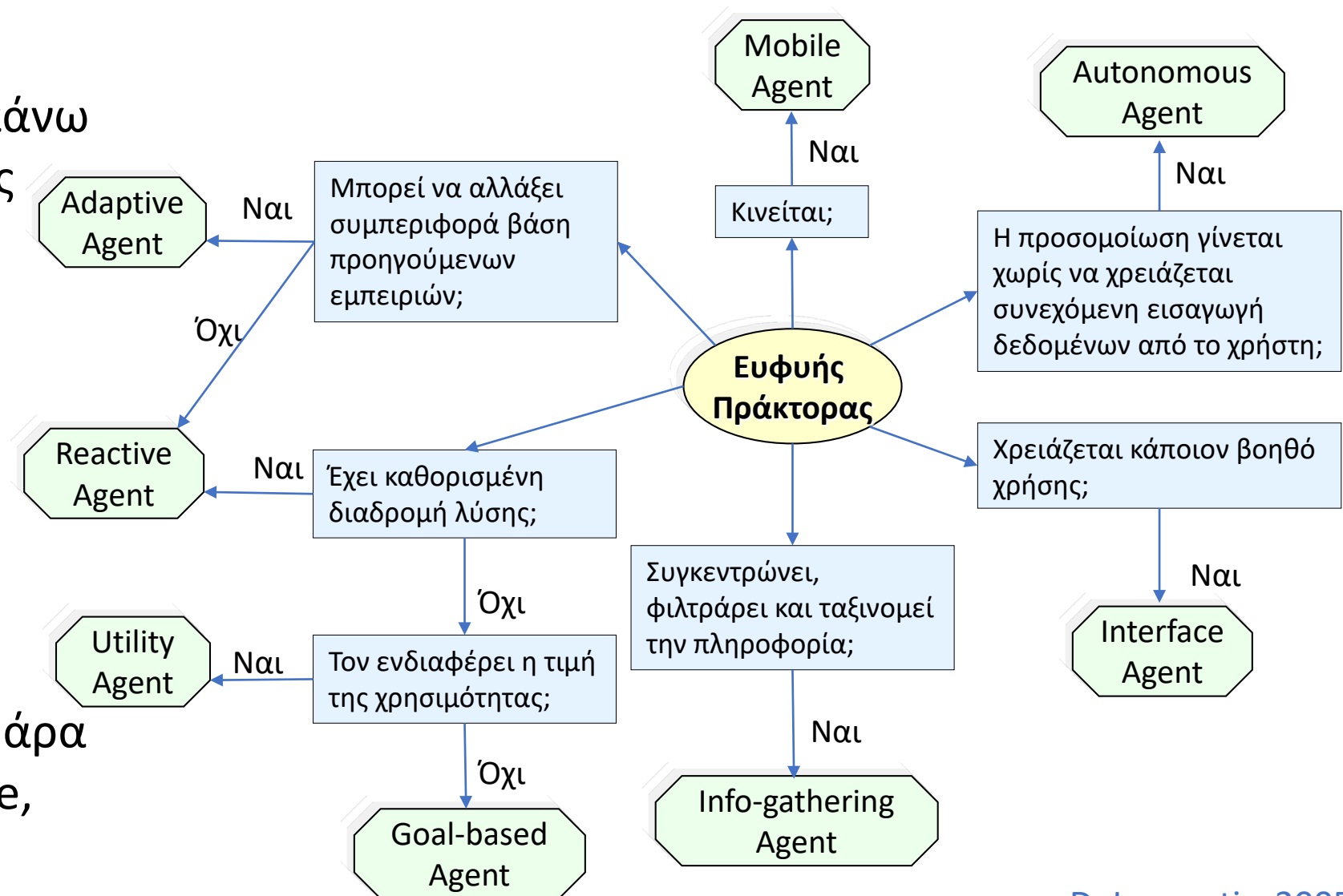


ABM – Βασικά Γνωρίσματα

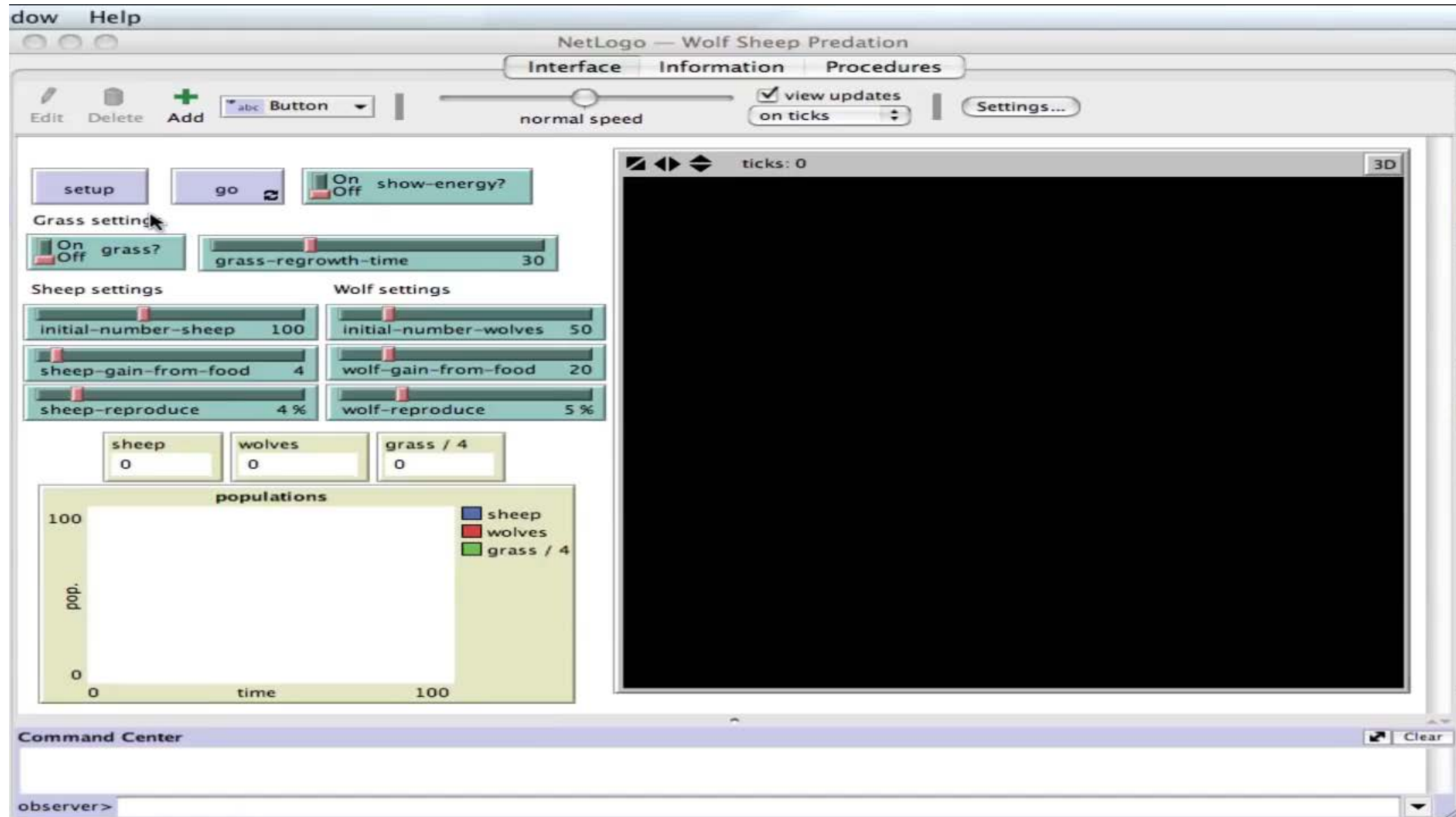
- 1. Ανομοιογένεια:** πολλοί πράκτορες, συχνά με διαφοροποιημένους ρόλους και διαφορετικά σύνολα κανόνων συμπεριφοράς.
- 2. Κανόνες συμπεριφοράς:** πολύπλοκοι και τυχαίοι
- 3. Μάθηση και προσαρμογή:** Οι πράκτορες μαθαίνουν για το περιβάλλον τους και την παρουσία άλλων πρακτόρων
- 4. Τοπολογία αλληλεπίδρασης:** Καθορίζοντας την μεταξύ τους επιρροή
- 5. Περιβάλλον μη-πρακτόρων:** Περιλαμβάνει αρχικές συνθήκες, διαδικασίες υποβάθρου και επικοινωνία με εξωτερικά του ABM εργαλεία

ABM – Τύποι ευφυών πρακτόρων

Οι πράκτορες μπορεί να κατηγοριοποιούνται σε παραπάνω από έναν τύπο πχ ένας ευφυής πράκτορας μπορεί να μη χρειάζεται συνεχή εισαγωγή δεδομένων από το χρήστη, να μπορεί να αλλάξει τη συμπεριφορά του, να τον ενδιαφέρει η τιμή της χρησιμότητας και να συγκεντρώνει, φιλτράρει και ταξινομεί την πληροφορία και άρα να είναι Autonomous, Adaptive, Utility και Info-gathering



ABM – Παράδειγμα τροφικής αλυσίδας



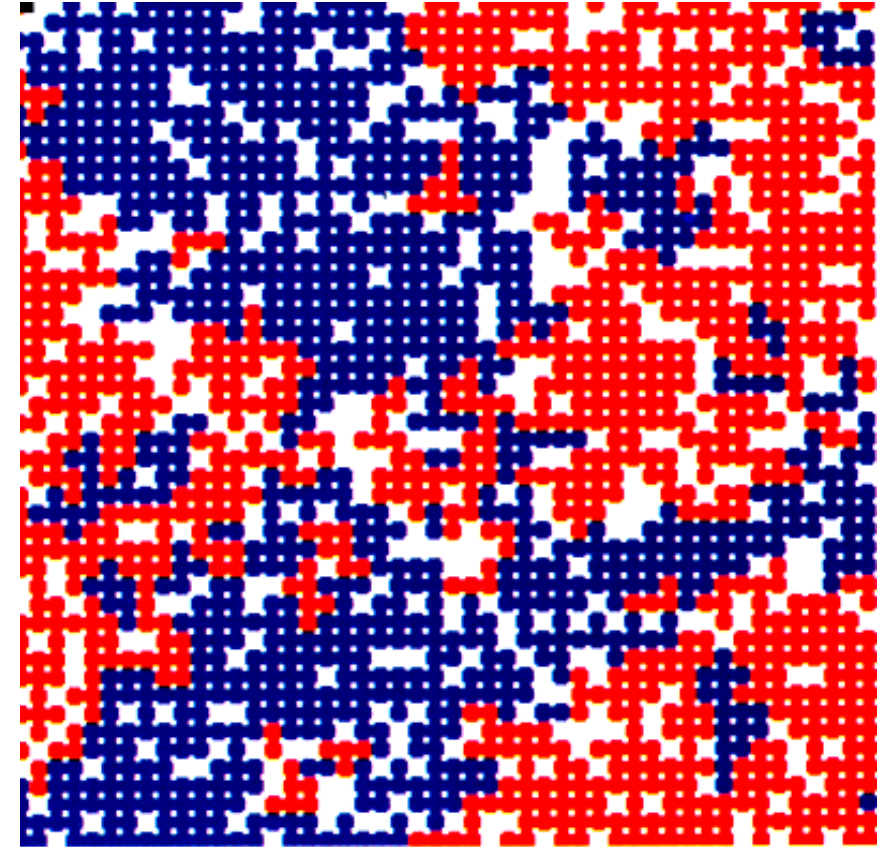
ABM – Παράδειγμα Μοντέλου διαχωρισμού Schelling

Μοντέλο Διαχωρισμού Schelling

Περιβάλλον μη-πρακτόρων χωρισμένο σε κελιά
Τυχαία διασπορά με ευφυείς πράκτορες που έχουν διαφορετικό χρώμα (μπλε και κόκκινο) σε όλα τα κελιά
Εφαρμογή "κανόνων κίνησης" επανειλημμένα για όλους τους πράκτορες

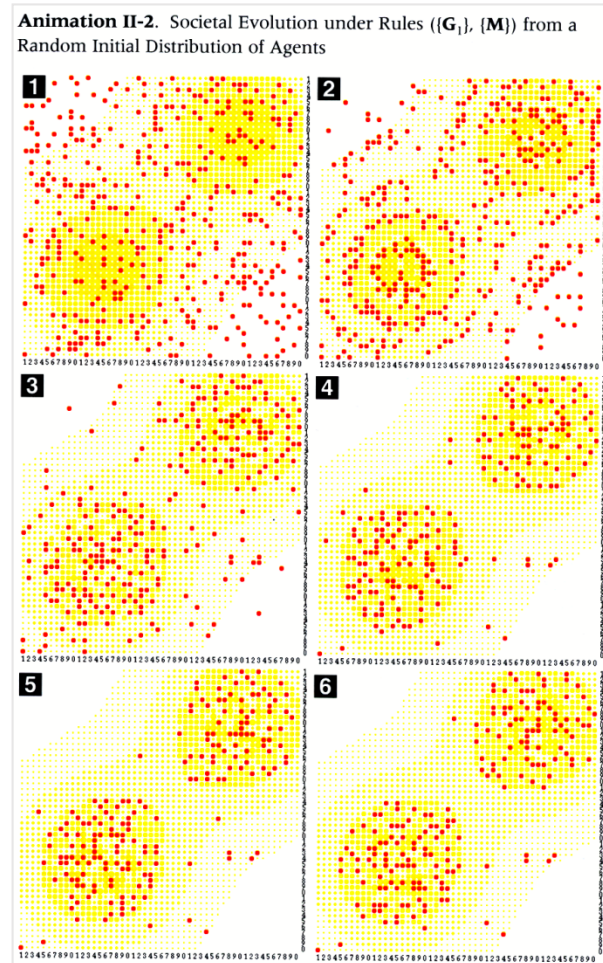
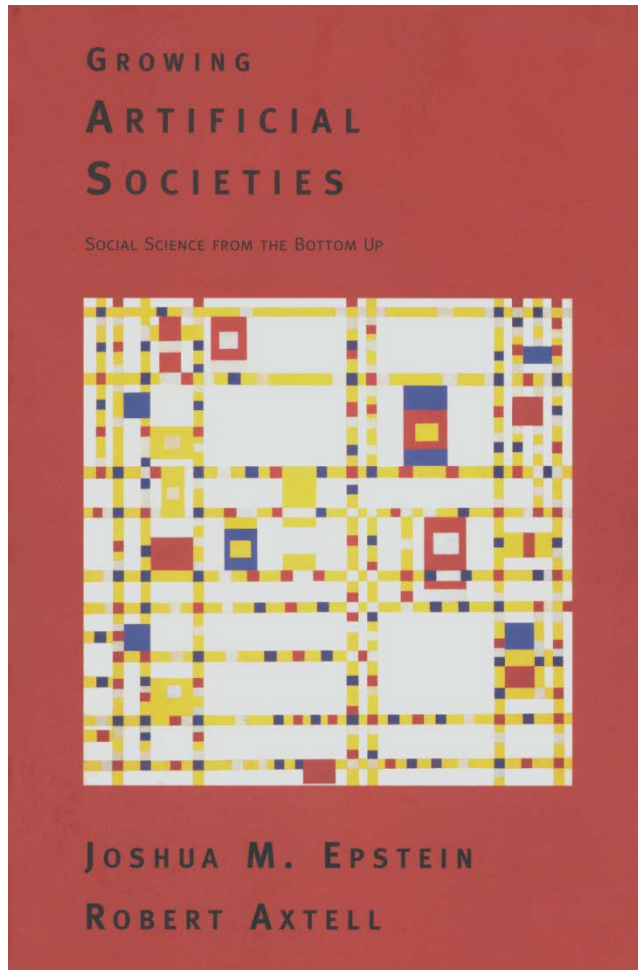
Κανόνες κίνησης στο μοντέλο Schelling:

- Υπολογισμός του κλάσματος των γειτόνων που έχουν ίδιο χρώμα με το δικό του
- Εάν ο αριθμός είναι μεγαλύτερος από την προτίμηση, ο πράκτορας είναι ικανοποιημένος – Δεν κινείται
- Αλλιώς, ο πράκτορας ψάχνει για τον πλησιέστερο μη κατειλημμένο κελί στο περιβάλλον που ικανοποιεί την προτίμησή του και κινείται εκεί



Αποτέλεσμα με Προτίμηση = 25%

ABM – Παράδειγμα Sugarscape



Η πρώτη ολοκληρωμένη υπολογιστική μελέτη μιας τεχνητής κοινωνίας

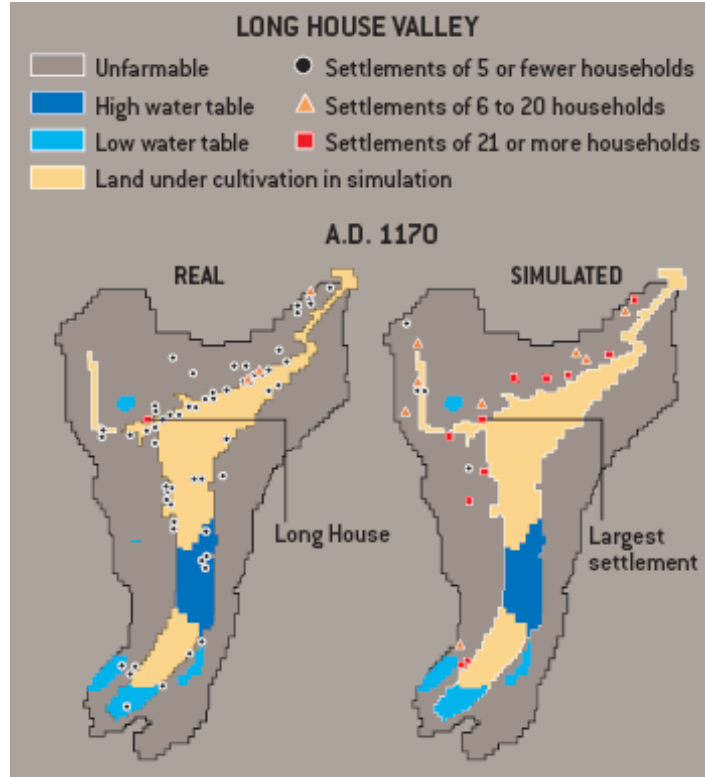
Οι ευφυείς πράκτορες έχουν κανόνες για:

- Διαβίωση:
 - Ζωή, Θάνατο, Αναπαραγωγή, Ασθένεια
- Κοινωνία και αλληλεπίδραση:
 - Εμπόριο: Ζάχαρης και Μπαχαρικών
 - Οικονομίας
 - Πολιτισμού
 - Πολέμου και συγκρούσεων

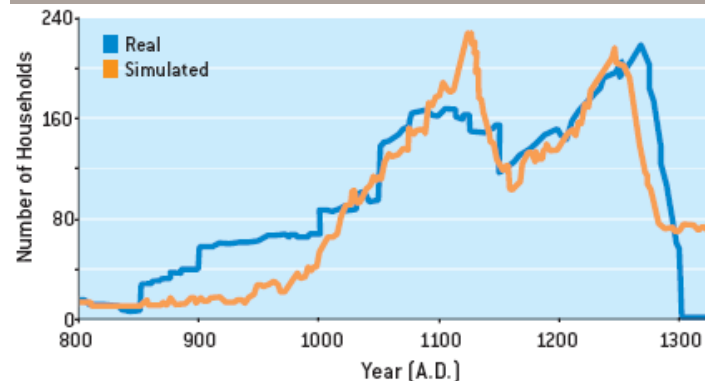
Περιβάλλον μη-πρακτόρων έχει κανόνες για:

- Ρύπανση
- Ανάπτυξη αγροτικών προϊόντων

ABM – Παράδειγμα Puebloan ABM



- Περιβάλλον μη-πρακτόρων ένας ψηφιοποιημένος χάρτης της κοιλάδας Puebloan, Νέο Μεξικό, ΗΠΑ.
- Ευφυείς πράκτορες προσομοιάζουν τους αυτόχθονες Ινδιάνους της περιοχής και τον τρόπο επιλογής του τόπου διαβίωσης τους βάσει κανόνων για την προσομοίωση της επιλογής γης
- Ιστορικές περιβαλλοντικές πληροφορίες-όπως βροχοπτώσεις, διακυμάνσεις των επιφανειακών υδάτων κα.
- Η προσομοίωση έδειξε τη συγκέντρωση του πληθυσμού των Ινδιάνων της περιοχής το **1170** κατά μήκος του βορειοδυτικού άκρου της κοιλάδας, που **ταιριάζει με τα ιστορικά δεδομένα**.
- Αν και οι προσομοιωμένοι οικισμοί είναι πιο συγκεντρωμένοι από τους πραγματικούς, η **θέση του μεγαλύτερου οικισμού στην προσομοίωση βρίσκεται σε απόσταση 100 μέτρων από το μεγαλύτερο ερειπωμένο εύρημα της κοιλάδας, το Long House**



ABM – Παράδειγμα διαφυγής από πλημμύρα



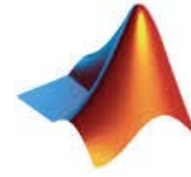
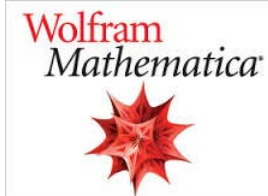
ABM – Μέθοδοι δημιουργίας

Γενικά εργαλεία και Γλώσσες προγραμματισμού

Λογιστικά φύλλα & μακρό-εντολές



Υπολογιστικά μαθηματικά συστήματα



Γλώσσες προγραμματισμού



Πλατφόρμες δημιουργίας μοντέλων ευφύων πρακτόρων (ABM Platforms)

Ελεύθερα



- Ελεύθερη – αλλά όχι ανοιχτού κώδικα
- Λειτουργεί σε Windows, MacOS, Linux
- Είναι φτιαγμένη σε Java περιβάλλον
- Καλή τεκμηρίωση και υλικό εκμάθησης
- Χρησιμοποιεί τη δική της, υψηλού επιπέδου γλώσσα προγραμματισμού

Εμπορικά



AnyLogic®



AgentSheets®

ABM – Προκλήσεις

Πώς μπορώ να σχεδιάσω και να δημιουργήσω ένα καλό πρόγραμμα ABM;

Συμβουλές για τον προγραμματισμό

- Χρήση ολόκληρων ονομασιών / αποφυγή ακρωνυμίων για όλες σχεδόν τις μεταβλητές
- Καταγραφή όλων των μεταβλητών στην αρχή του προγράμματος
- Σχολιασμός σε όλες τις διαδικασίες
- Πλήρης ονομασία αποτελεσμάτων
- Τήρηση εκδόσεων προγράμματος για κάθε αλλαγή κώδικα

Έλεγχος του τελικού προγράμματος

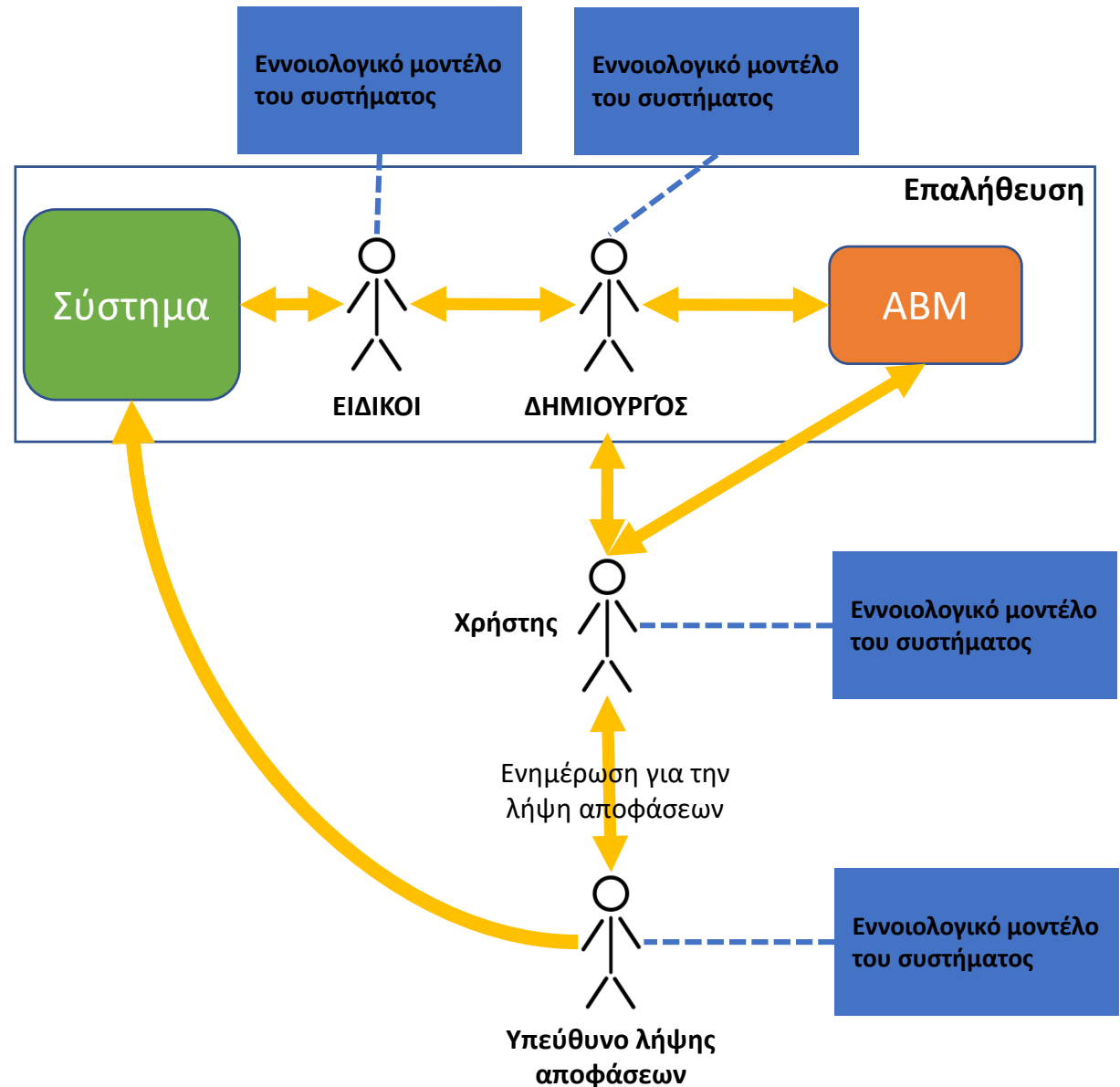
- Επαλήθευση προγράμματος
- Τεκμηρίωση
- Μείωση έκτροπων τιμών (outlier)
- Επικοινωνία με άλλους χρήστες

ABM – Επαλήθευση

Η επαλήθευση αποτελεί ένα βασικό στοιχείο της διαδικασίας ανάπτυξης ABM μοντέλων, για να είναι αυτά αποδεκτά και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη στήριξη της λήψης αποφάσεων

Επαλήθευση

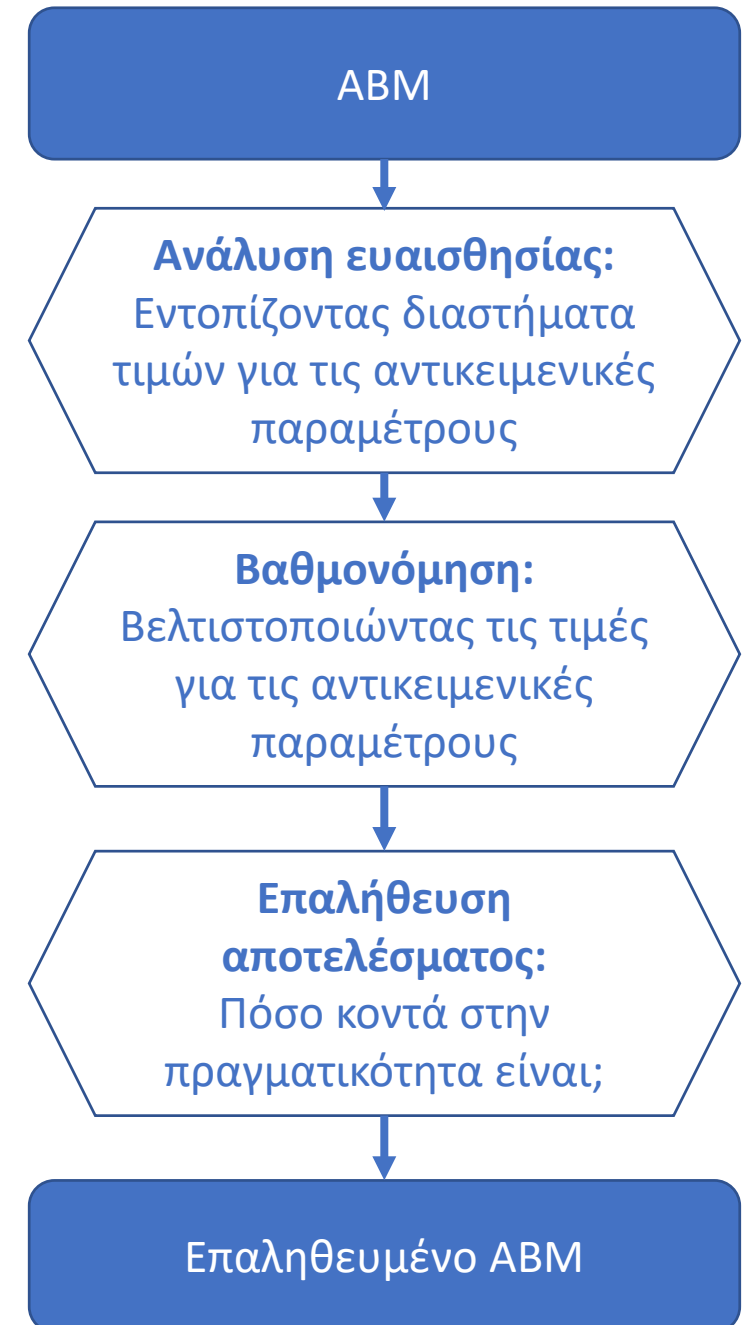
- Ότι το μοντέλο κάνει αυτό για το οποίο δημιουργήθηκε
- Ότι το μοντέλο είναι ορθό όσο αφορά τις χρησιμοποιούμενες μεθόδους και τα επιτευχθέντα αποτελέσματα



ABM – Επαλήθευση

Η επαλήθευση ενός μοντέλου **ABM** είναι δύσκολη, κυρίως λόγω της **πολυπλοκότητας** τους, του **μεγάλου αριθμού πρακτόρων** που περιλαμβάνουν, των **πολύπλοκων κανόνων** συμπεριφοράς και **αλληλεπιδράσεων** και τέλος λόγω του ότι τα ABM συνήθως κατασκευάζονται για να διερευνήσουν προηγουμένως άγνωστες διεργασίες και να αποτυπώσουν αναδυόμενα φαινόμενα (emergence) (Nikolic et al., 2013).

- Επαλήθευση σε πολλαπλές κλίμακες
 - Κανόνες πρακτόρων
 - Αλληλεπιδράσεις μεταξύ πράκτορα με πράκτορα
 - Αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον μη-πράκτορα και με εξωτερικά δεδομένα
- Επαλήθευση της **θεωρίας**, των **τεχνικών λεπτομερειών** του μοντέλου και τον τρόπο εφαρμογής των επιστημονικών θεωριών
- Χρησιμοποιώντας ειδικούς στο θέμα
 - Εκτιμήσεις, παιχνίδια ρόλων, συμμετοχική προσομοίωση



ABM – Στατιστικά σημαντικό δείγμα αποτελέσματος και μείωση έκτροπων τιμών (outlier)

Τα μοντέλα ABM χρειάζονται **δοκιμές μεταβλητότητας** για να εντοπιστεί ο **αριθμός των επαναλήψεων** μιας προσομοίωσης ώστε να **αποφευχθεί** η επιρροή των έκτροπων τιμών (**outlier**) στα αποτελέσματα

- Προσδιορισμός του αριθμού των επαναλήψεων μιας προσομοίωσης που παράγουν ένα στατιστικά σημαντικό δείγμα αποτελέσματος
- Επιλογή:
 - Με βάση του απαιτούμενου χρόνου μοντελοποίησης και
 - Με την απόδοση της περιγραφικής στατιστικής των αποτελεσμάτων
 - Έλεγχος μέσης και μέγιστης τυπικής απόκλισης, ασυμμετρίας, κυρτότητα

ABM – Προκλήσεις

Εγκυρότητα

- Πρέπει να κατασκευαστεί στο κατάλληλο επίπεδο περιγραφής και με την κατάλληλη πολυπλοκότητα
- Είναι το μοντέλο μια ακριβής αναπαράσταση του "πραγματικού κόσμου";
- Πρόβλημα: Εάν υπάρχουν απροσδόκητα αποτελέσματα, αυτά προέρχονται από λάθος;

Ευχρηστία και ευελιξία

- Προσαρμοστικό πρόγραμμα σε άλλες χρήσεις
- Κατανοητό πρόγραμμα, κατανοητοί κανόνες και εύκολα ερμηνεύσιμα αποτελέσματα
- Προσοχή: Διαφορετικές εκδόσεις του προγράμματος

Προσομοίωση ανθρώπινων παραγόντων

- Σύνθετη Ψυχολογία
- Παράλογη Συμπεριφορά
- Υποκειμενικές επιλογές

Ποιοτικά vs. Ποσοτικά δεδομένα

- Διαφορετικός βαθμός ακρίβειας και πληρότητας των δεδομένων
- Χρησιμοποιήστε ποιοτικά δεδομένα για να μάθετε για το σύστημα

Καταγραφή της συμπεριφοράς όλων των συστατικών του μοντέλου

- Εξαιρετικά υπολογιστικά έντονη και χρονοβόρα
- Ανομοιογενείς μονάδες

ABM - Τεκμηρίωση

ODD πρωτόκολλο τεκμηρίωσης μοντέλων ευφυσών πρακτόρων (Grimm et al., 2006)

Επισκόπηση	Σκοπός
	Μεταβλητές και κλίμακες
	Επισκόπηση διαδικασιών και προγραμματισμός
Σχεδιασμός	Γενίκευση (περίληψη των αναδυόμενων φαινομένων)
	Προσαρμοστικότητα (εάν οι πράκτορες έχουν την ικανότητα να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους)
	Στόχοι (μοντέλου και πρακτόρων)
	Πρόβλεψη (εάν οι πράκτορες προβλέπουν τον αντίκτυπο των αποφάσεών τους)
	Ανίχνευση (εάν οι πράκτορες νοιώσουν με κάποιο τρόπο το περιβάλλον τους)
	Αλληλεπιδράσεις
	Στοχαστικότητα
	Ανομοιογένεια
	Παρατήρηση
Λεπτομέρειες	Αρχικές συνθήκες
	Εισαγωγή εξωτερικών δεδομένων
	Υπο-μοντέλα

ABM – Παραδείγματα στον τομέα των υδατικών πόρων

UWAB και σύνδεση του με εργαλείο διαχείρισης αστικού συστήματος νερού

- ABM για τη συμπεριφορά χρήσης νερού των αστικών νοικοκυριών και την επιρροή τους στην συμπεριφοράς του αστικού συστήματος νερού

PEARL ABM SAS

- ABM για την προσομοίωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων που στοχεύει στην προετοιμασία μιας τοπικής κοινωνίας έναντι πλημμυρικών γεγονότων

Τι είναι η αστική ζήτηση;

Τι κάνατε από την ώρα που ξυπνήσατε
(και τι γινόταν γύρω σας);



Τι είναι η αστική ζήτηση;



Τι κάνατε από την ώρα που ξυπνήσατε
(και τι γινόταν γύρω σας);

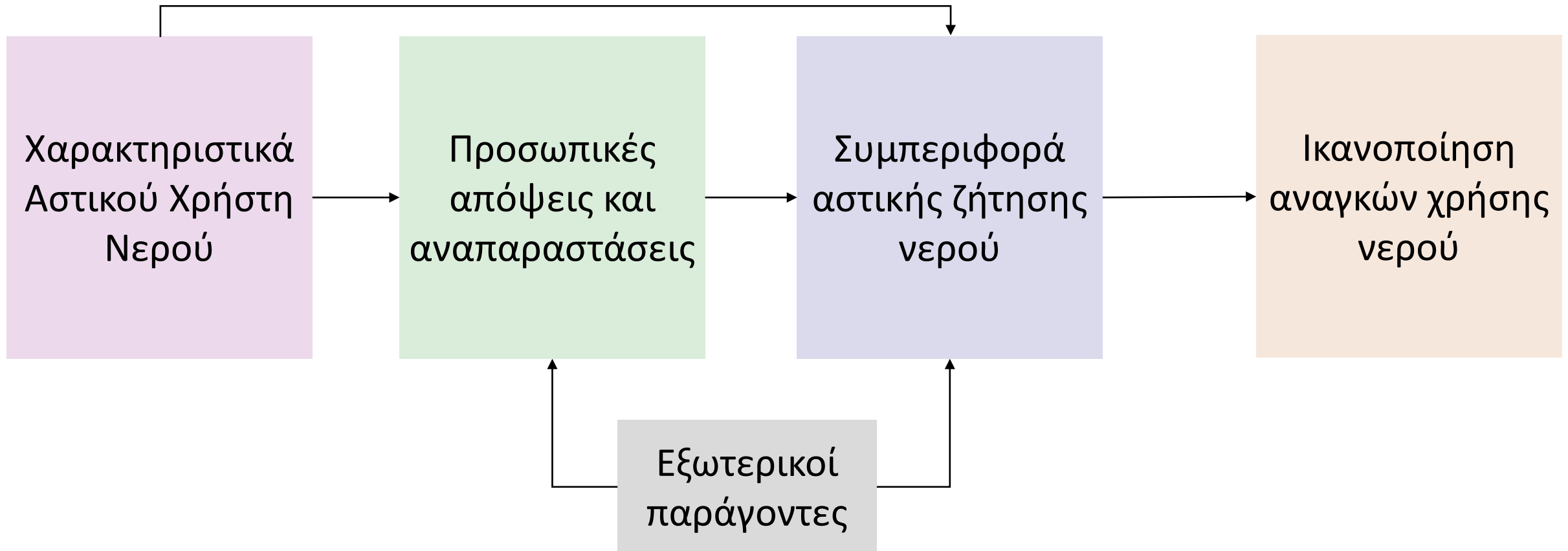
Τι σας επηρέασε?

- Ώρα και μέρα
 - Καθημερινή ή Σαββατοκύριακο
- Καιρός
 - Χειμώνας (κρύο) ή Καλοκαίρι (ζέστη)
- Μέρος
 - Σπίτι σας ή φιλοξενούμενοι
- Σκέψεις
 - Εξοικονόμησης νερού ή όχι
 - Περιβαλλοντικής συνείδησης ή όχι
- Άλλοι άνθρωποι
 - Γείτονες, φίλοι, συγκατοικοι, οικογένεια
- Πολιτικές διαχείρισης ζήτησης νερού
 - Περιορισμοί χρήσης νερού
- Τεχνολογίες νερού
 - Καζανάκι διπλής ροής
 - Ντους χαμηλής ροής

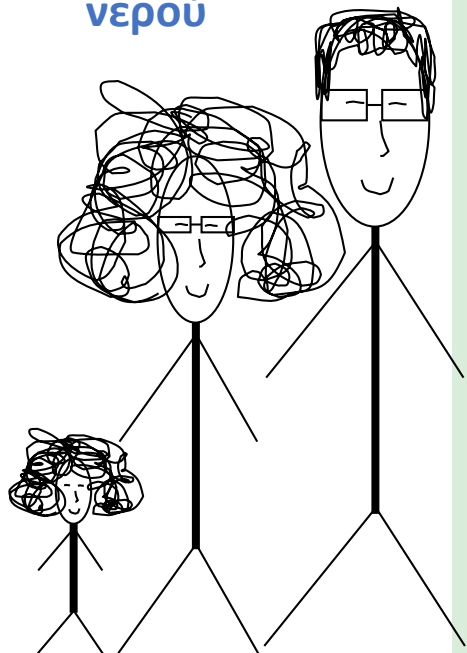
Πως διαμορφώνεται η αστική ζήτηση;

Η συμπεριφορά της αστικής ζήτησης νερού είναι **συνάρτηση** των **προσωπικών απόψεων, αναπαραστάσεων** και **χαρακτηριστικών** του χρήστη.

Επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες όπως: οι πολιτικές διαχείρισης, ο καιρός κ.α.



Μέσος χρήστης νερού



Χαρακτηριστικά

Μέση ηλικία
Μέσο εισόδημα
Υψηλή εκπαίδευση
Τριμελές νοικοκυριό

Στάσεις και αναπαραστάσεις

Περιβαλλοντική
συνείδηση

Υπέρ της
εξοικονόμησης νερού

Εξωτερικοί παράγοντες

Κοινωνικοί
Φίλοι, Οικογένεια,
Εργασιακό περιβάλλον,
Συνάδελφοι, ΜΜΕ,
Ίντερνετ

Πολιτικές διαχείρισης ζήτησης νερού

Τιμολογιακή πολιτική
Εκστρατείες
ενημέρωσης
Περιορισμοί χρήσης
νερού

Άλλοι
Καιρός
Γνώση για την επάρκεια
των υδατικών πόρων

Πραγματική συμπεριφορά

ΑΒΕΒΑΙΗ

Κάποιος αρρώστησε

Γιορτές, γενέθλια

Φιλοξενία

κ.ά.

Ικανοποίηση αναγκών χρήσης νερού

Βασικές
Υγιεινή
Μαγείρεμα
Καθάρισμα
Πλύσιμο ρούχων
Πλύσιμο πιάτων

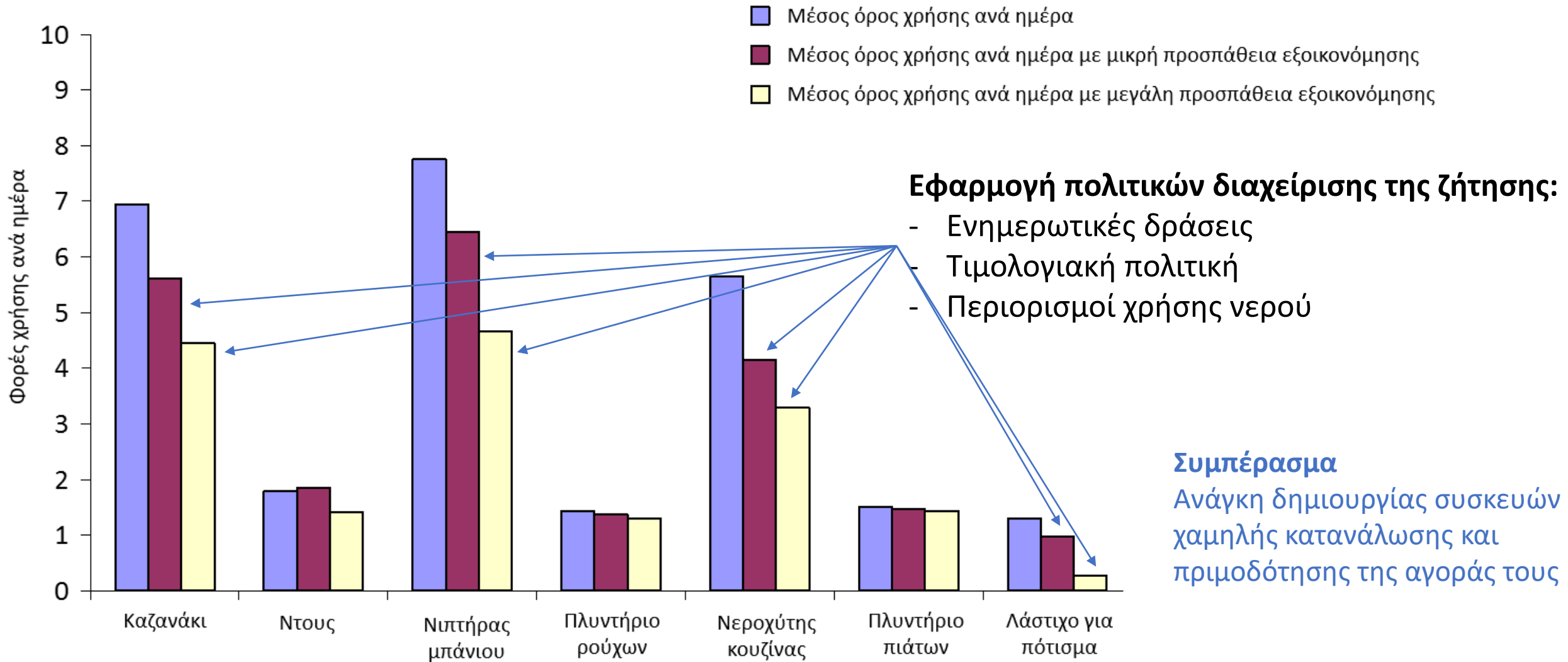
Προαιρετικές
Πλύσιμο μπαλκονιού
Πλύσιμο αυτοκινήτου
Πότισμα φυτών
Χαλάρωση με ντους
Νήπια και μωρά
Παιχνίδια στο νερό

Πως διαμορφώνεται η αστική ζήτηση;

Ικανοποίηση αναγκών χρήσης νερού	Λίτρα ανά χρήση	Μέσος όρος χρήσης ανά ημέρα	Συνολικά λίτρα ανά ημέρα	Μέσος όρος χρήσης ανά ημέρα με προσπάθεια εξοικονόμησης	Συνολικά λίτρα ανά ημέρα
Νεροχύτης κουζίνας	2,1	3,17	7	2,76	6
Νιπτήρας μπάνιου	2,1	5,29	11	4,81	10
Πλυντήριο πιάτων	35	0,05	2	0,05	2
Καζανάκι	9	7,38	66	5,98	54
Πλυντήριο ρούχων	60	0,15	9	0,14	8
Ντους	60	0,55	33	0,54	32
Λάστιχο για πότισμα	10	0,46	5	0,35	4
Συνολικά λίτρα ανά ημέρα			133		116
Ποσοστό μείωσης					13%

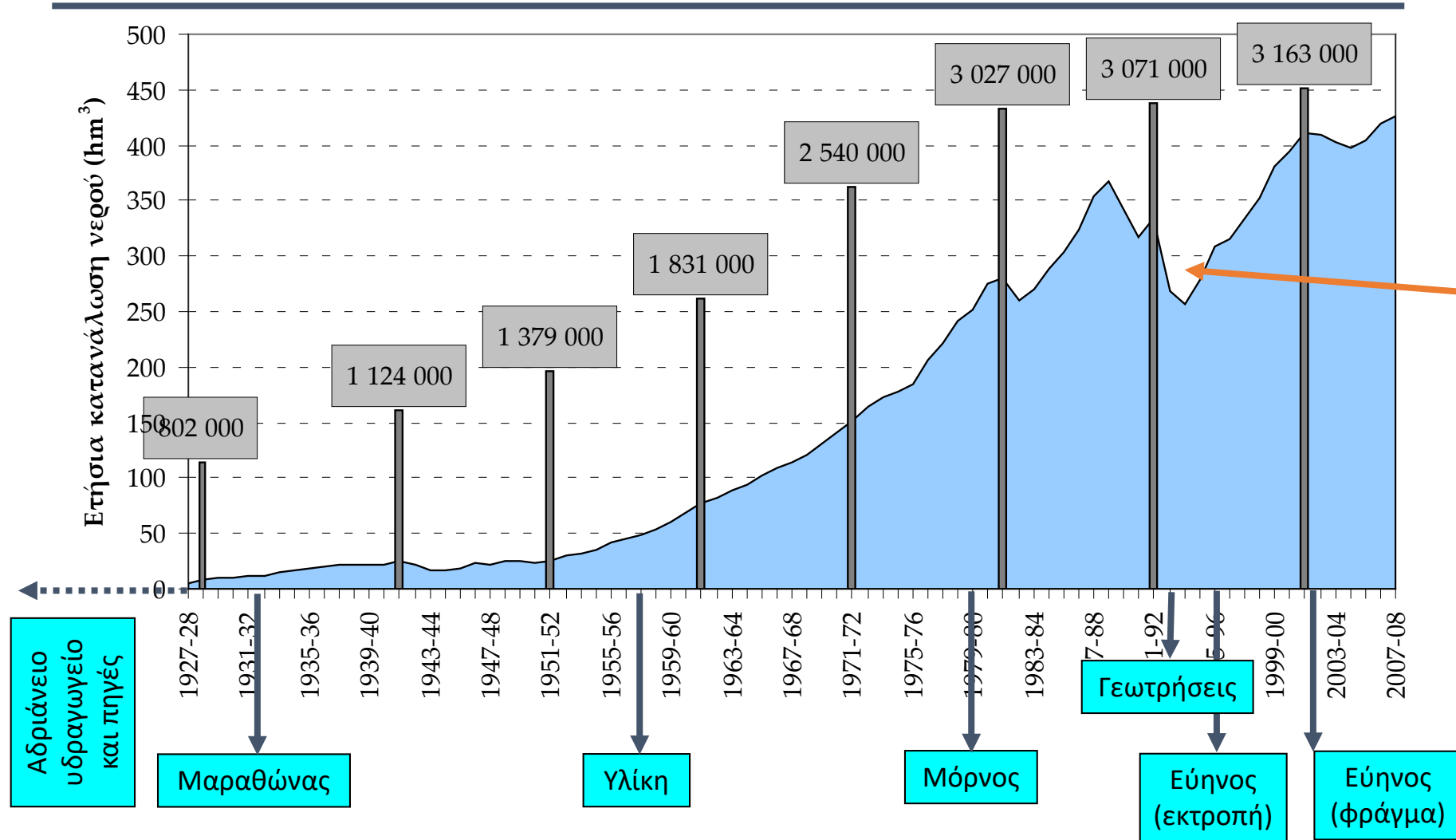
Πως διαμορφώνεται η αστική ζήτηση;

Διαδικτυακή έρευνα 2015 σε 100 κατοίκους της Αθήνας



Πως διαμορφώνεται η αστική ζήτηση;

Μία από τις κύριες προκλήσεις είναι να κατανοήσουμε την οικιακή **συμπεριφορά** ζήτησης νερού και τον τρόπο με τον οποίο οι **πολιτικές διαχείρισης** την επηρεάζει.



Εφαρμογή πολιτικών διαχείρισης της ζήτησης:

- Ενημερωτικές δράσεις
- Τιμολογιακή πολιτική
- Περιορισμοί χρήσης νερού

Το πρόβλημα προσομοίωσης της αστικής ζήτησης

Αστική ζήτηση νερού

- Διεπιφάνεια **κοινωνικών επιστημών** (συμπεριφορά χρήστη) και **επιστημών μηχανικού** (συμπεριφορά τεχνολογιών)

Συνήθεις τρόποι δημιουργίας χρονοσειράς αστικής ζήτησης νερού:

- Προβολή ιστορικών τάσεων
- Εφαρμόζοντας απλουστευμένες υποθέσεις (% μεταβολής)
- Στοχαστική μοντελοποίηση

Τι χρειαζόμαστε;

- Μια πιο δυναμική και προσαρμοστική προσομοίωση της **αστικής ζήτησης νερού** για να ενταχθεί εντός ενός **ολοκληρωμένου μοντέλου** του **κοινωνικό-τεχνικού αστικού συστήματος νερού**
- Εργαλεία **υπολογιστικής νοημοσύνης** είναι μια πιθανή λύση

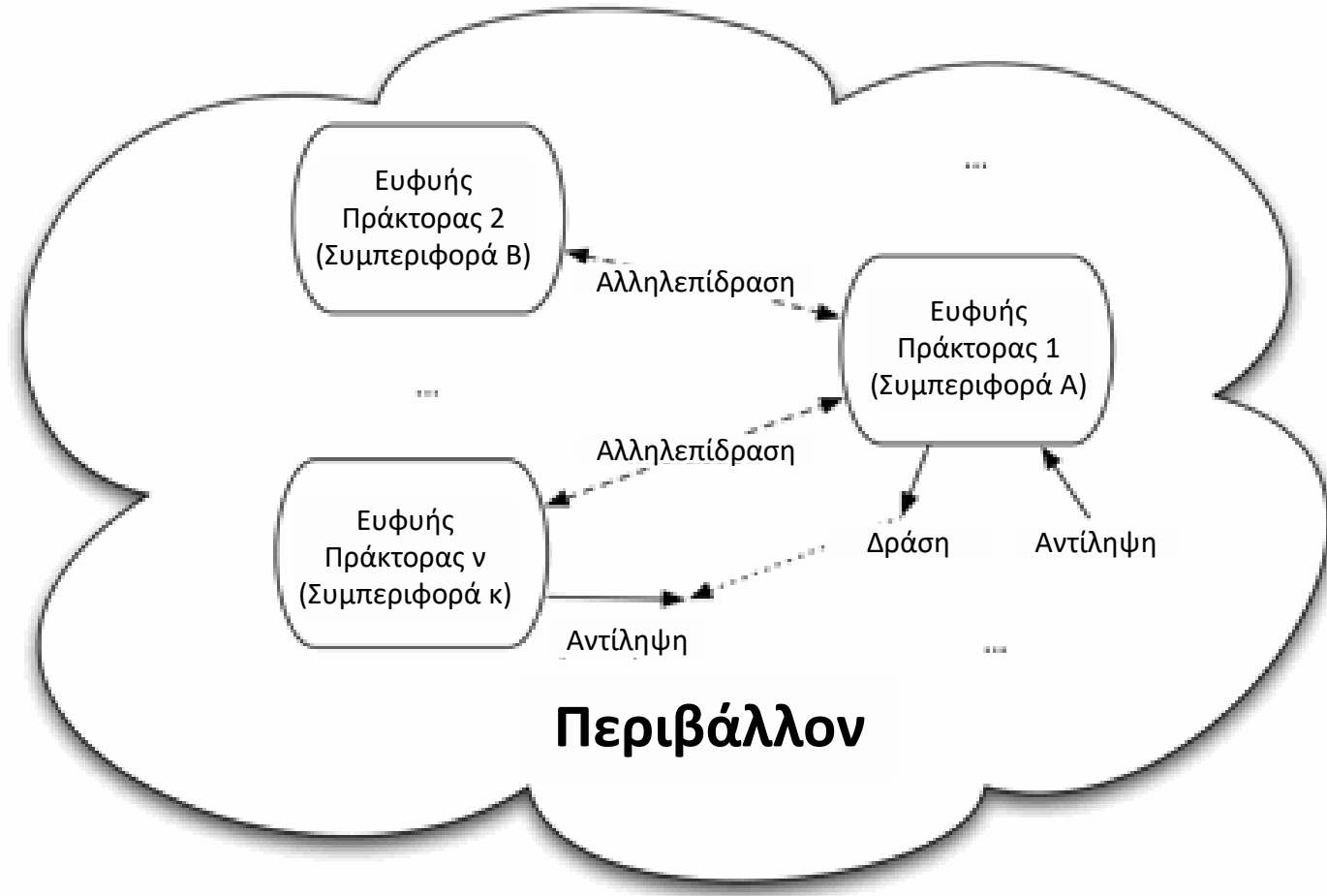
Εργαλεία υπολογιστικής νοημοσύνης

Εργαλεία Υπολογιστικής Νοημοσύνης	Χαρακτηριστικά της κοινωνικής συνιστώσας (Macy et al., 2001)		
	Πολύπλοκα	Μη γραμμική και εξαρτώμενη από τη διαδρομή	Αυτό-οργάνωση
ABM Agent Based Modelling	Όλα τα εργαλεία είναι σε θέση να αντιπροσωπεύουν σύνθετα συστήματα και τις αντιδράσεις τους, είτε με την παρατήρηση διαθέσιμων δεδομένων είτε με προσαρμογή		Οι πράκτορες αποφασίζουν αυτόνομα πώς να ανταποκριθούν στον καθορισμένο σκοπό τους. Ωστόσο, πρέπει να οριστούν οι διαφορετικές κατηγορίες πράκτορα και οι κανόνες συμπεριφοράς τους (άτομο, ίδρυμα κ.λπ.).
ANN Artificial Neural Networks			Μπορεί να εκπαιδευτεί παρατηρώντας δεδομένα . Ωστόσο, τα δεδομένα για την κοινωνικοοικονομική παράμετρο είναι λιγοστά και κυρίως ποιοτικά.
BBN Bayesian Belief Networks			Η αυτό-οργάνωση είναι δυνατή ανάλογα με το λογισμικό που χρησιμοποιείται
SDM System Dynamic Modelling			Οι μεταβλητές του συστήματος μπορούν να είναι δυναμικές και έτσι ικανές για αυτό-οργάνωση

ABM – Δυνατότητες;

Η χρήση ευφυών πρακτόρων μας βοηθάει να πειραματιστούμε:

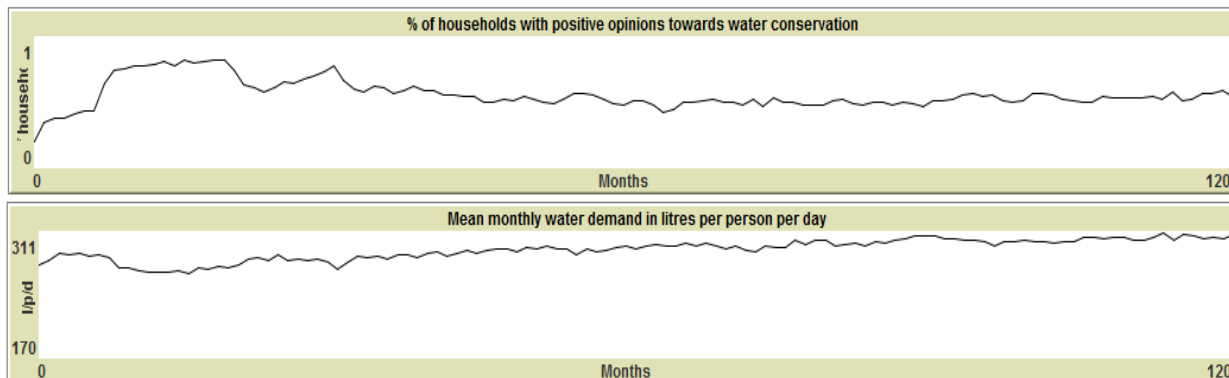
- Με τη συνολική συμπεριφορά ενός συστήματος
- Ορίζοντας τους κανόνες συμπεριφοράς των επιμέρους στοιχείων του συστήματος
- Αλλάζοντας αρχικές συνθήκες
- Αναλύοντας διαφορετικά σενάρια



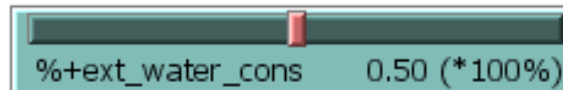
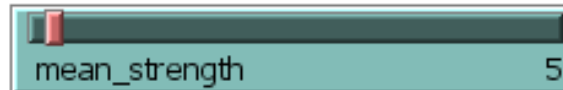
UWAB – Urban Water Agents' Behaviour

Προσομοίωση της συμπεριφοράς των νοικοκυριών σε σχέση με τη ζήτηση νερού και την επιρροή που ασκούν στη συμπεριφορά αυτή πολιτικές διαχείρισης και περιβαλλοντικές πιέσεις

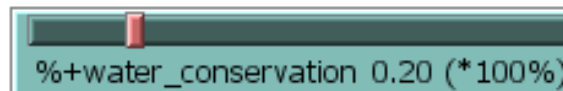
- Εστιάζει στον αστικό πληθυσμό που κατοικεί ή μετακινείται σε μια συγκεκριμένη περιοχή
- Οι πράκτορες αντιπροσωπεύουν τα νοικοκυριά της περιοχής
- Δεν περιλαμβάνει γεωγραφικές πληροφορίες
- Έχει μηνιαίο βήμα



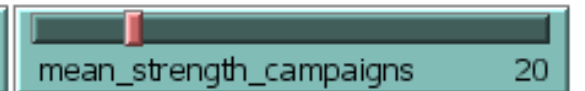
Social impact variables



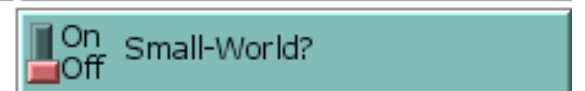
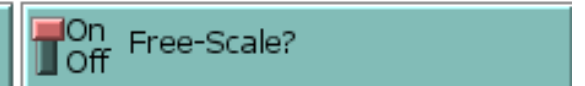
Household-agent characteristics



Water demand management variables

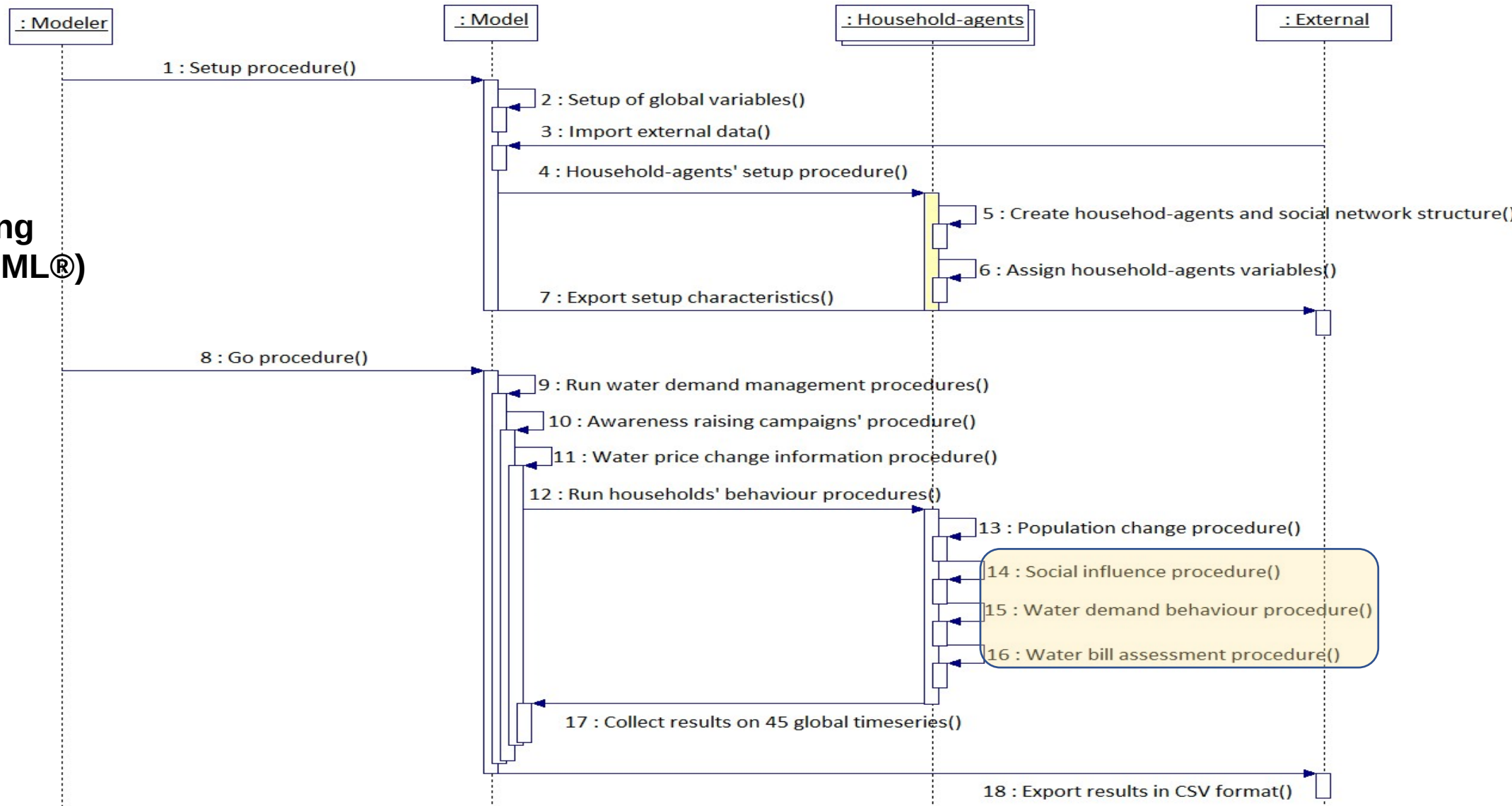


Social network structure



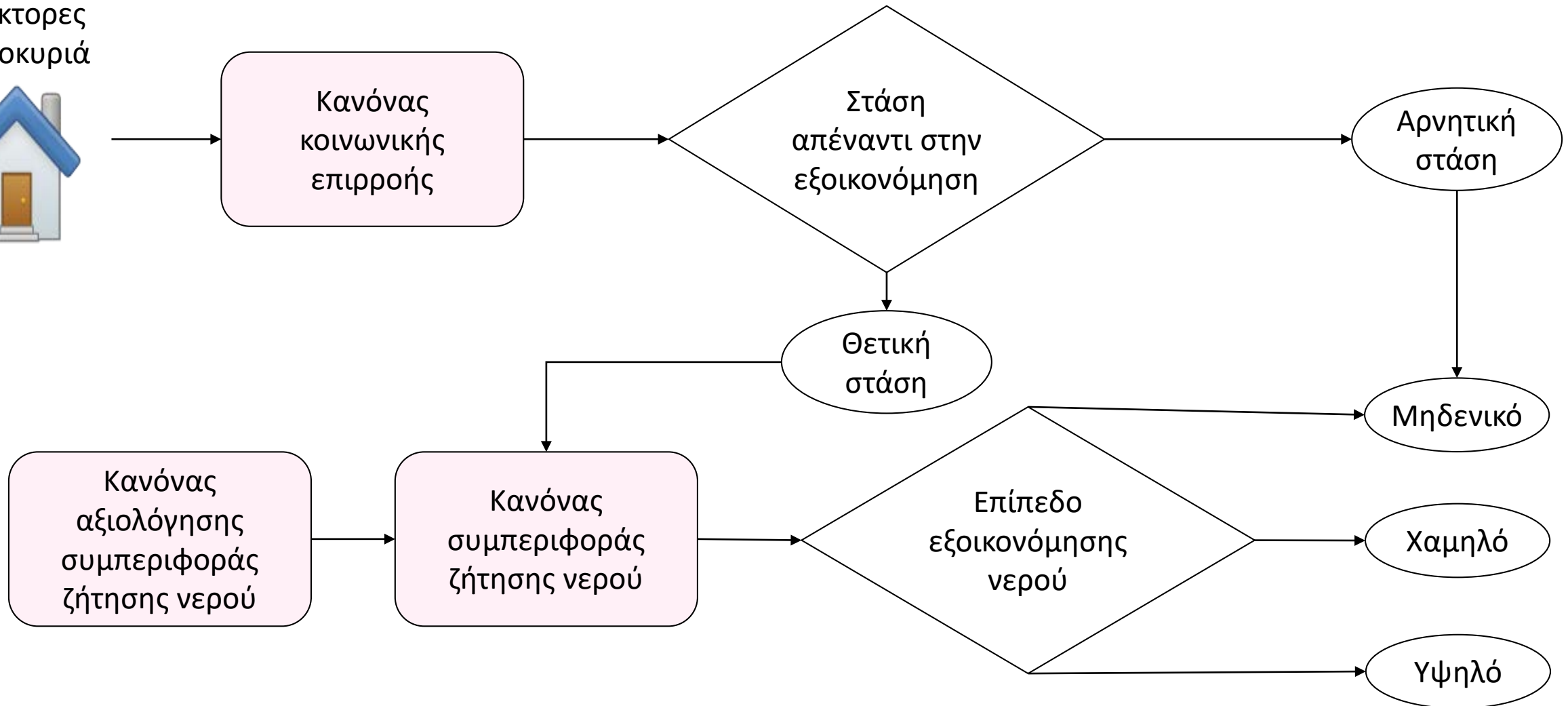
UWAB – Urban Water Agents' Behaviour

Unified Modeling
Language™ (UML®)



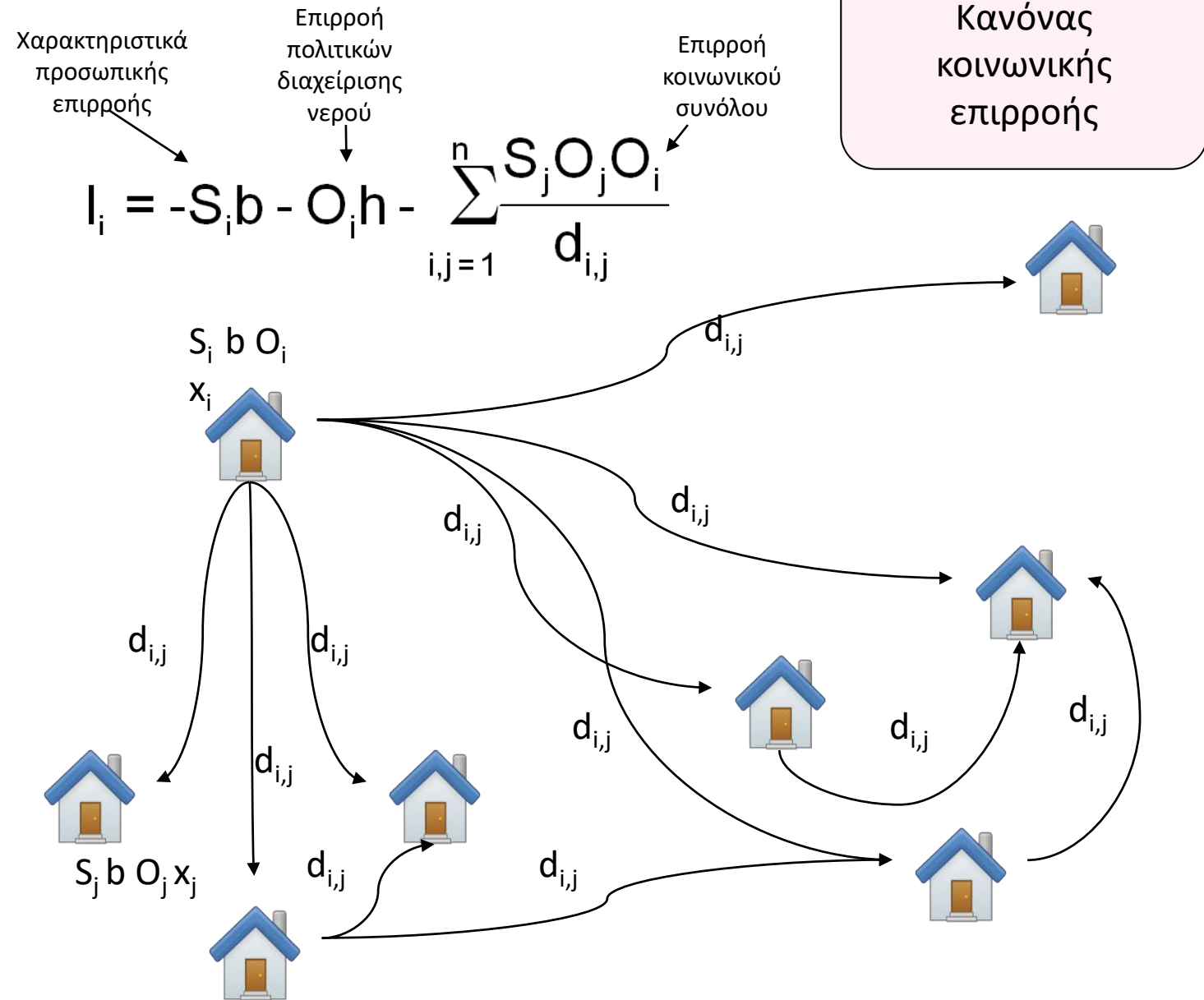
UWAB – Κανόνες συμπεριφοράς

Πράκτορες
Νοικοκυριά



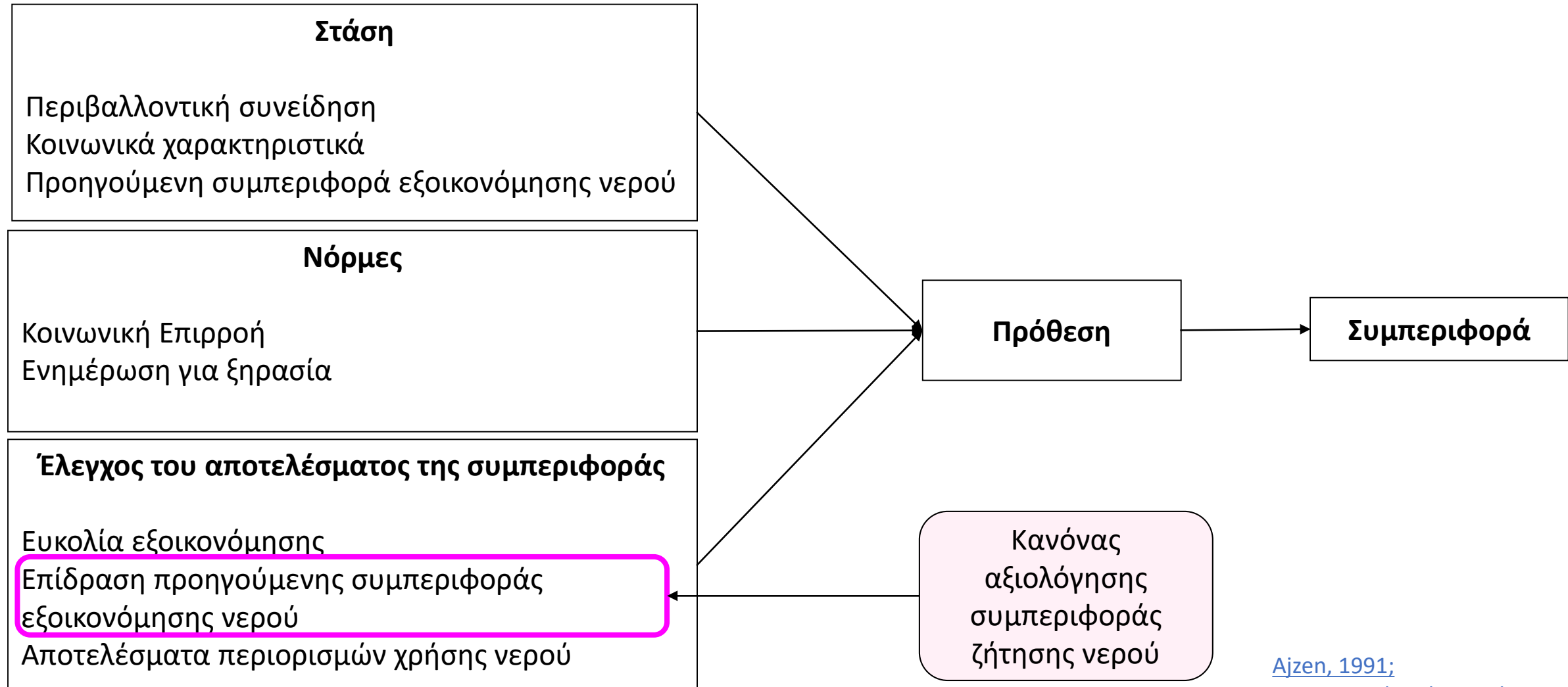
UWAB – Κανόνες συμπεριφοράς

- Εφαρμόζει τη **Θεωρία των Κοινωνικών Επιρροών** (Latane 1981), που αναπτύχθηκε για να διερευνήσει τις επιδράσεις των εξωτερικών επιρροών στάσεις και αναπαραστάσεις των ανθρώπων.
- Δημιουργεί ένα κοινωνικό δίκτυο συνδέοντας κάθε παράγοντα με τους πλησιέστερους γείτονές του (από κανένα έως οκτώ γείτονες).
- Οι πράκτορες λαμβάνουν μηνιαίες αποφάσεις σχετικά με τη στάση τους απέναντί στην εξοικονόμηση νερού (θετική (+1) / αρνητική (-1)).
- Οι αποφάσεις αυτές σχετίζονται με τον κοινωνικό αντίκτυπο που ασκείται στους πράκτορες από το κοινωνικό τους δίκτυο και από τις πολιτικές για το νερό.



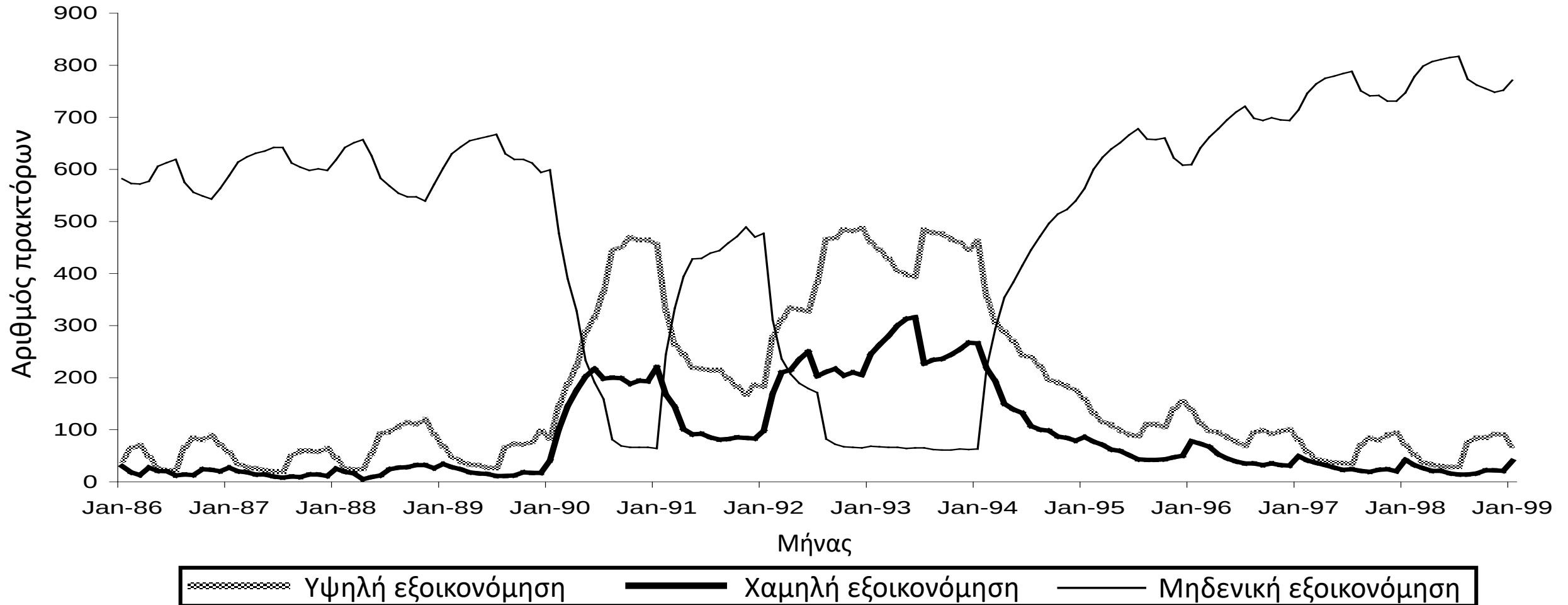
UWAB – Κανόνες συμπεριφοράς

Κανόνας
συμπεριφοράς
ζήτησης νερού



UWAB – Η ξηρασία στην Αθήνα 1988-1994

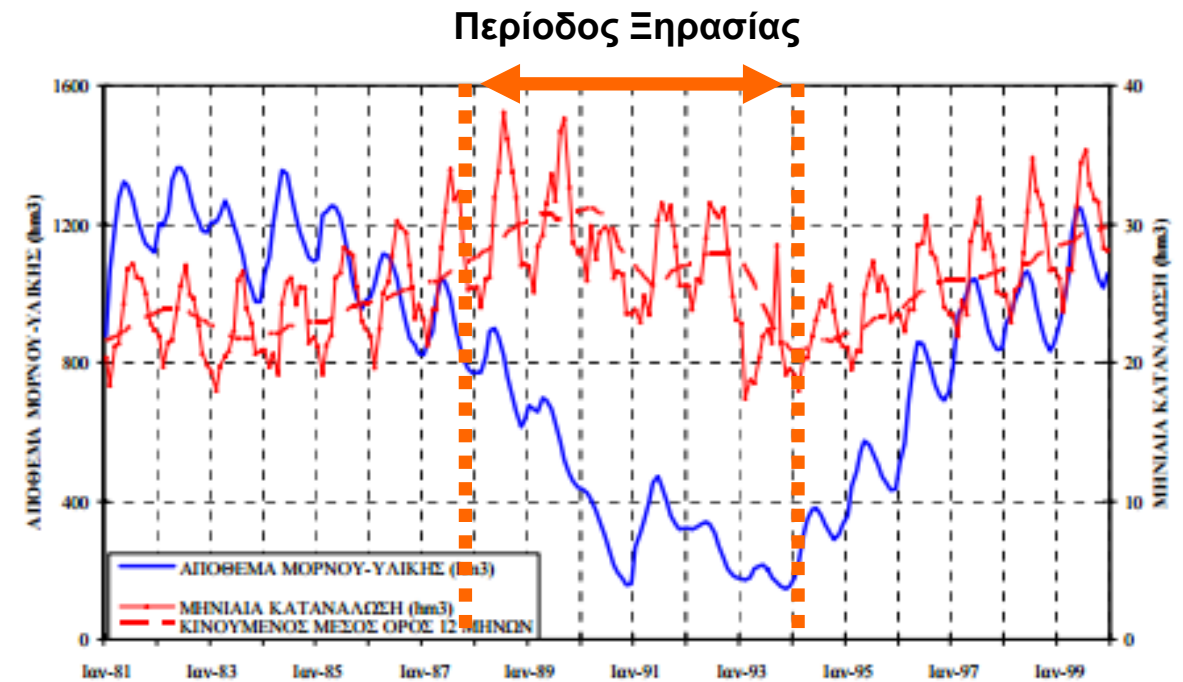
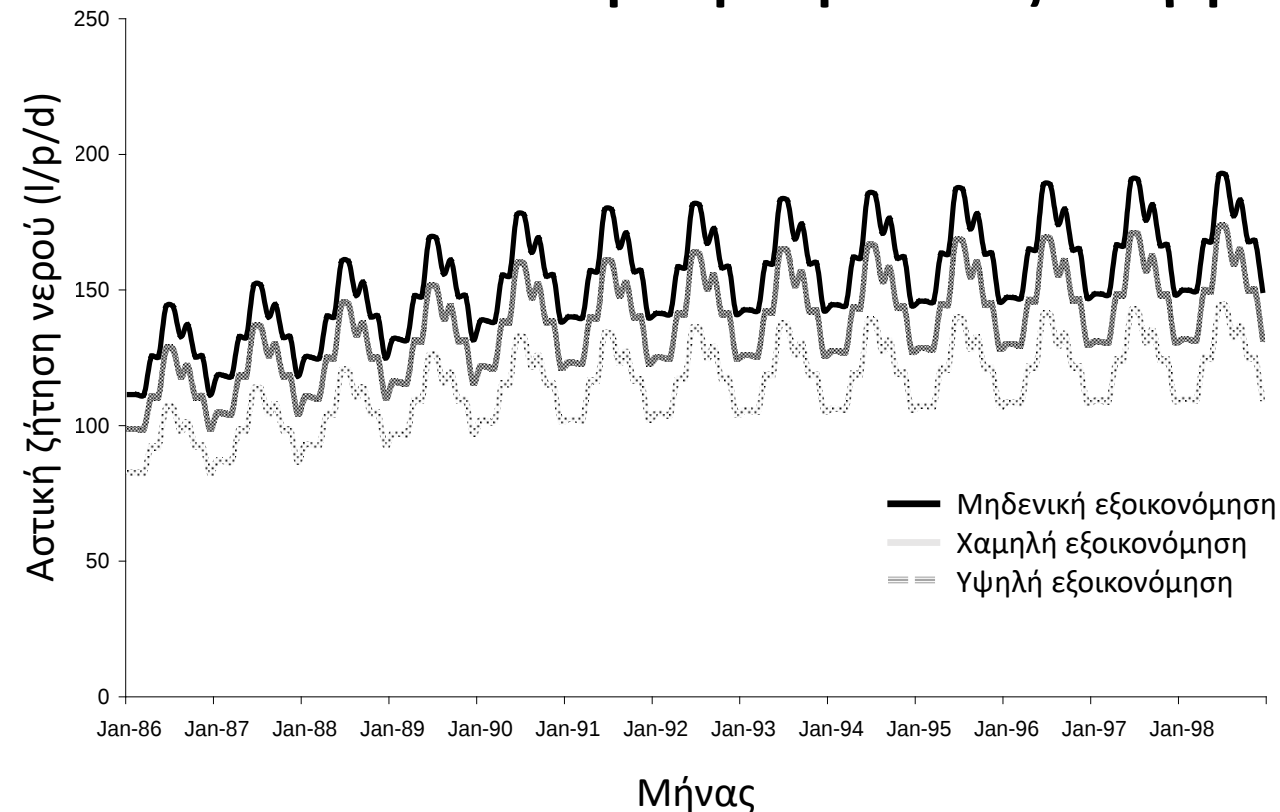
UWAB αποτελέσματα



UWAB και σύνδεση του με εργαλείο διαχείρισης αστικού συστήματος νερού

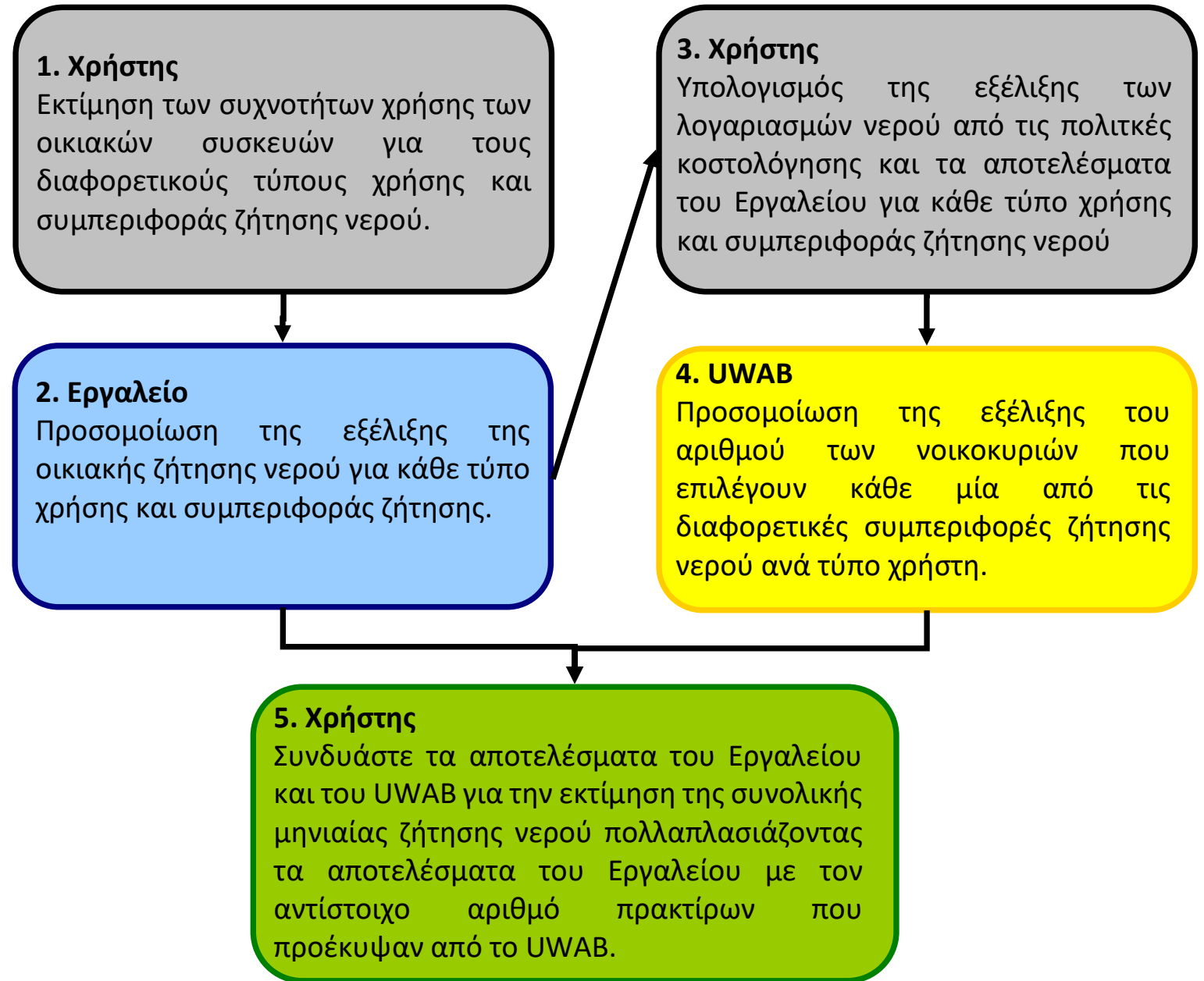
Μετατροπή συμπεριφοράς αστικών νοικοκυριών σε όγκο νερού και εξέταση της συμπεριφοράς του αστικού συστήματος νερού της Αθήνας την περίοδο της ξηρασίας 1988-1994

- Πόσο κοντά στην πραγματικότητα είναι αυτά τα αποτελέσματα;
- Εάν είναι κοντά μπορούμε να αξιολογήσουμε μελλοντικά σενάρια;



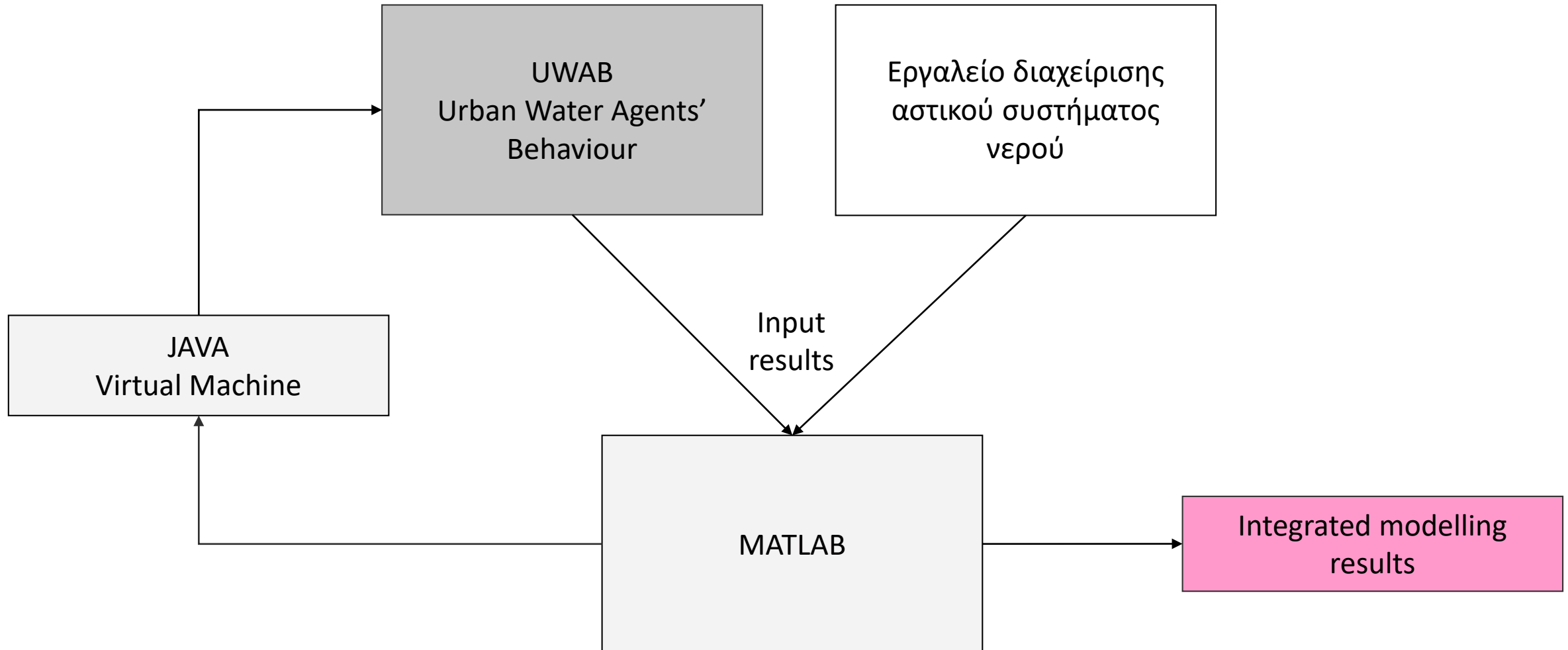
UWAB και σύνδεση του με εργαλείο διαχείρισης αστικού συστήματος νερού

Εννοιολογική σύνδεση



UWAB και σύνδεση του με εργαλείο διαχείρισης αστικού συστήματος νερού

Πρακτική σύνδεση



UWAB και σύνδεση του με εργαλείο διαχείρισης αστικού συστήματος νερού

Επιλογή αριθμού επαναλήψεων προσομοίωσης

- Στατιστική διερεύνηση των αποτελεσμάτων μίας προσομοίωσης που έχει επαναληφθεί 1000 φορές
 - **Μέση τυπική απόκλιση** $\approx 1 \text{ l} / \text{p} / \text{d}$
 - **Μέγιστη τυπική απόκλιση** $= 2 \text{ l} / \text{p} / \text{d}$
 - **Ασυμμετρία** = -0.06 παρουσιάζοντας μια ελαφρώς μακρύτερη αριστερή ουρά
 - **Κυρτότητα** = 3,08 παρουσιάζοντας μεγαλύτερη κορυφή από την κανονική κατανομή

Επιλογή 10 επαναλήψεων λόγω της μικρής απόκλισης μεταξύ των αποτελεσμάτων των 1000 επαναλήψεων μιας προσομοίωσης

UWAB και σύνδεση του με εργαλείο διαχείρισης αστικού συστήματος νερού

Επιλογή αντικειμενικών συναρτήσεων

Τροποποιημένος συντελεστής Nash – Sutcliffe

- Το εύρος του τροποποιημένου συντελεστή Nash - Sutcliffe βρίσκεται μεταξύ 0 (τέλεια εφαρμογή) και $+\infty$
- Για <1 τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι καλύτερη εκτιμήτρια τιμή από τη μέση τιμή των ιστορικών χρονοσειρών

$$\text{NS modified (pars}_k) = \frac{\sum_{i=1}^{156} \left(\frac{E_{\text{WD}_i} - M_{\text{WD}_i}(\text{pars}_k)}{E_{\text{WD}_i}} \right)^2}{\sum_{i=1}^{156} \left(\frac{E_{\text{WD}_i} - \bar{E}_{\text{WD}_i}}{\bar{E}_{\text{WD}_i}} \right)^2}$$

[Nash and Sutcliffe, 1970, as modified by Krause et al. \(2005\) and Herrera et al. \(2010\)](#)

Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο λάθος (MAPE)

- Για να μετρηθεί η απόκλιση των αποτελεσμάτων από τις ιστορικές τιμές κατά τη διάρκεια των πολιτικών εξοικονόμησης την περίοδο 1990-1993.

$$\text{MAPE (pars}_k)_j = \frac{\left| \sum_{\text{January}}^{\text{December}} \left(\frac{E_{\text{WD}_i} - M_{\text{WD}_i}(\text{pars}_k)}{E_{\text{WD}_i}} \right) \right|}{\text{Total number of months}}$$

UWAB και σύνδεση του με εργαλείο διαχείρισης αστικού συστήματος νερού

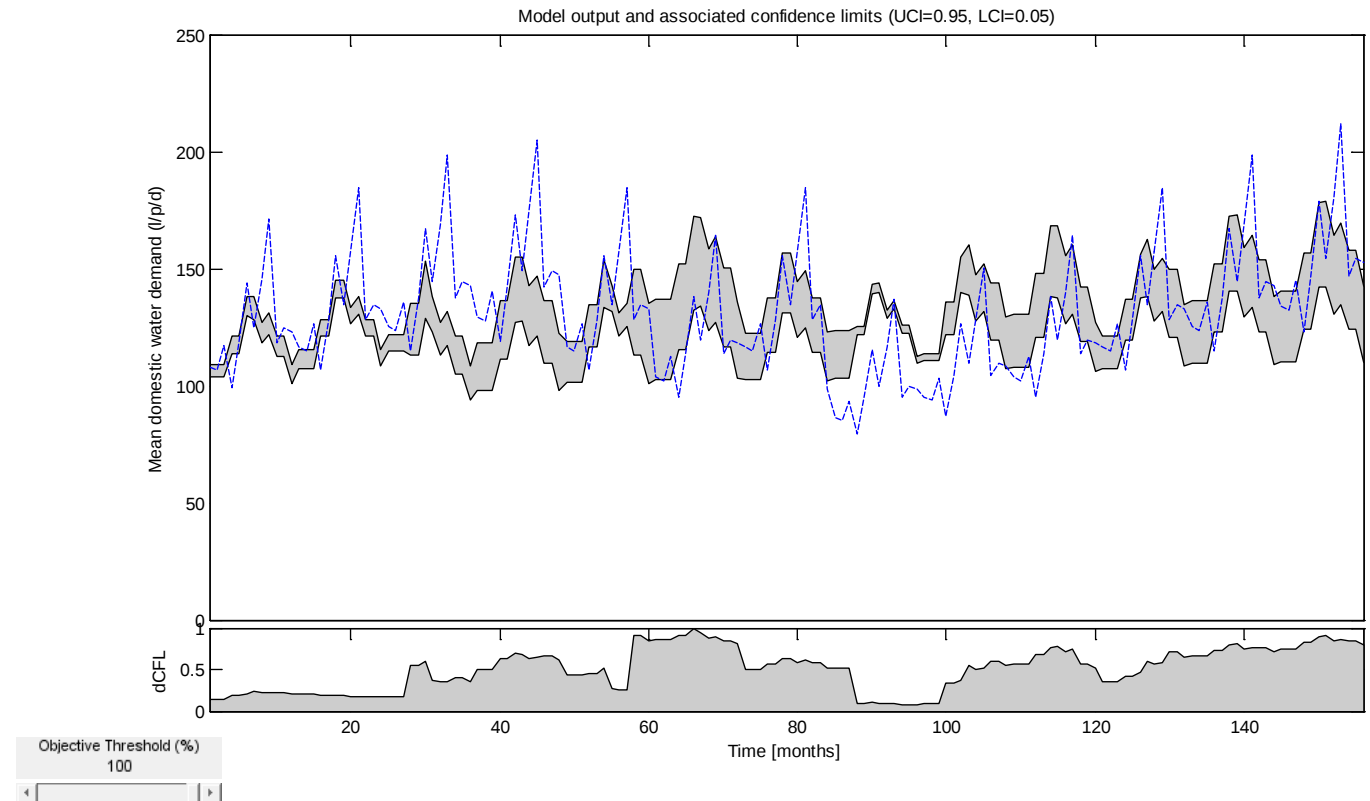
Ανάλυση ευαισθησίας εργαλειοθήκη MCAT (Wagener, 2004)

Generalised Likelihood Uncertainty Estimation (GLUE) για τον τροποποιημένο συντελεστή Nash – Sutcliffe

Εμφανίζει τα αποτελέσματα με επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Για κάθε χρονική στιγμή παράγεται μια συσσωρευμένη κατανομή συχνότητας χρησιμοποιώντας την αντικειμενική συνάρτηση και τα διαστήματα εμπιστοσύνης.

Προστίθεται ένα κατώτατο γράφημα για να διευκολυνθεί η ταυτοποίηση των περιοχών με μεγάλες αβεβαιότητες που δείχνουν τη διαφορά μεταξύ ανώτερων και κατώτερων ορίων εμπιστοσύνης, κανονικοποιημένες από τη μέγιστη διαφορά μεταξύ των δύο κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης χρονικής περιόδου (Wagener, 2004).



UWAB και σύνδεση του με εργαλείο διαχείρισης αστικού συστήματος νερού

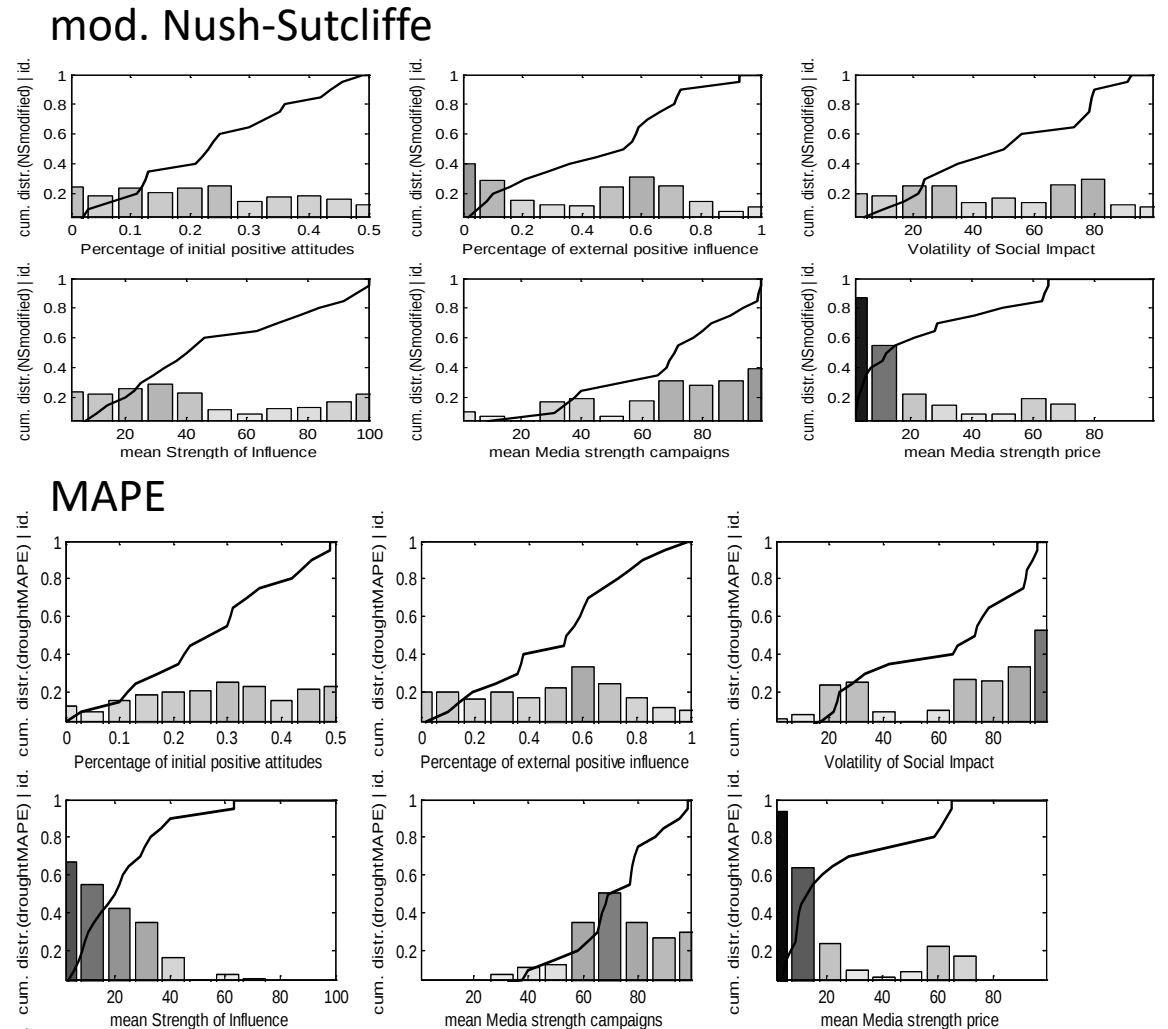
Ανάλυση ευαισθησίας εργαλειοθήκη MCAT (Wagener, 2004)

Τα διαγράμματα αναγνωρισιμότητας στοχεύουν στην παρουσίαση του εύρους τιμών των μεταβλητών που επηρεάζουν περισσότερο το αποτέλεσμα και μπορούν να εκτιμηθούν με κάποιο βαθμό βεβαιότητας.

Τα διαγράμματα αναγνωρισιμότητας δημιουργούνται επιλέγοντας το 10% με τις καλύτερες επιδόσεις κάθε πληθυσμού παραμέτρων και υπολογίζουν τη σωρευτική κατανομή της παραμέτρου.

Οι περιοχές παραμέτρων στη συνέχεια χωρίζονται σε 10 κλάσεις και η κλίση υπολογίζεται για κάθε κλάση.

Μια υψηλή κλίση, που παρουσιάζεται ως πιο σκούρα ράβδος με απότομη κλίση, δείχνει ότι η παράμετρος είναι πιο αναγνωρίσιμη σε αυτό το εύρος τιμών. (Wagener, 2004).



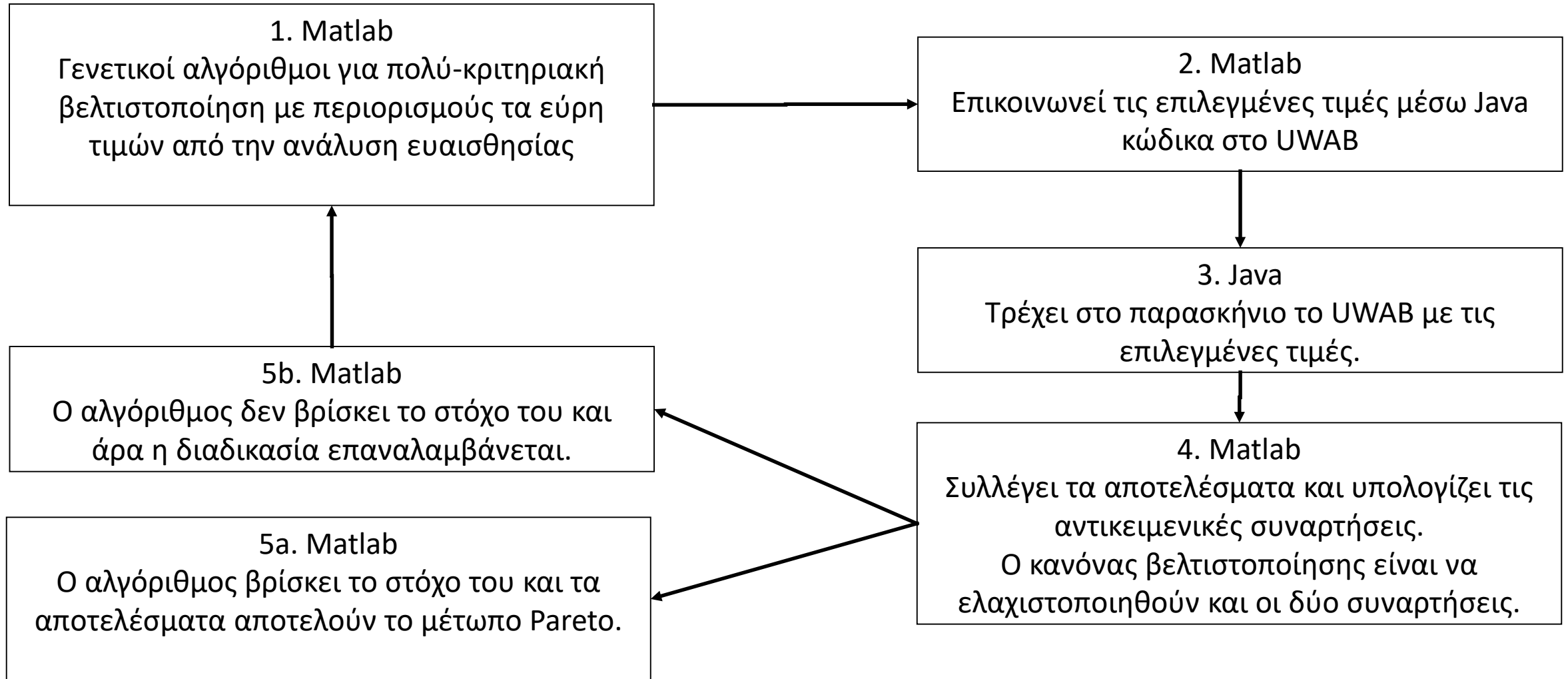
UWAB και σύνδεση του με εργαλείο διαχείρισης αστικού συστήματος νερού

Ανάλυση ευαισθησίας εργαλειοθήκη MCAT (Wagener, 2004)

Πειραματικός συντελεστής	Εύρος τιμών
External positive influence (epa%) (x 100%)	0.6 - 0.8
Initial positive attitude (ipa%) (x 100%)	0.3 - 0.4
Volatility of Social Impact (T)	10 – 40
Mean strength of influence (S)	0 – 30
Mean strength of influence regarding awareness raising campaigns (S_{AC})	60 – 80
Mean strength of influence regarding water price changes (S_{PC})	0 – 20
Number of months before and after a water price change that the information is transmitted (M)	0 – 3

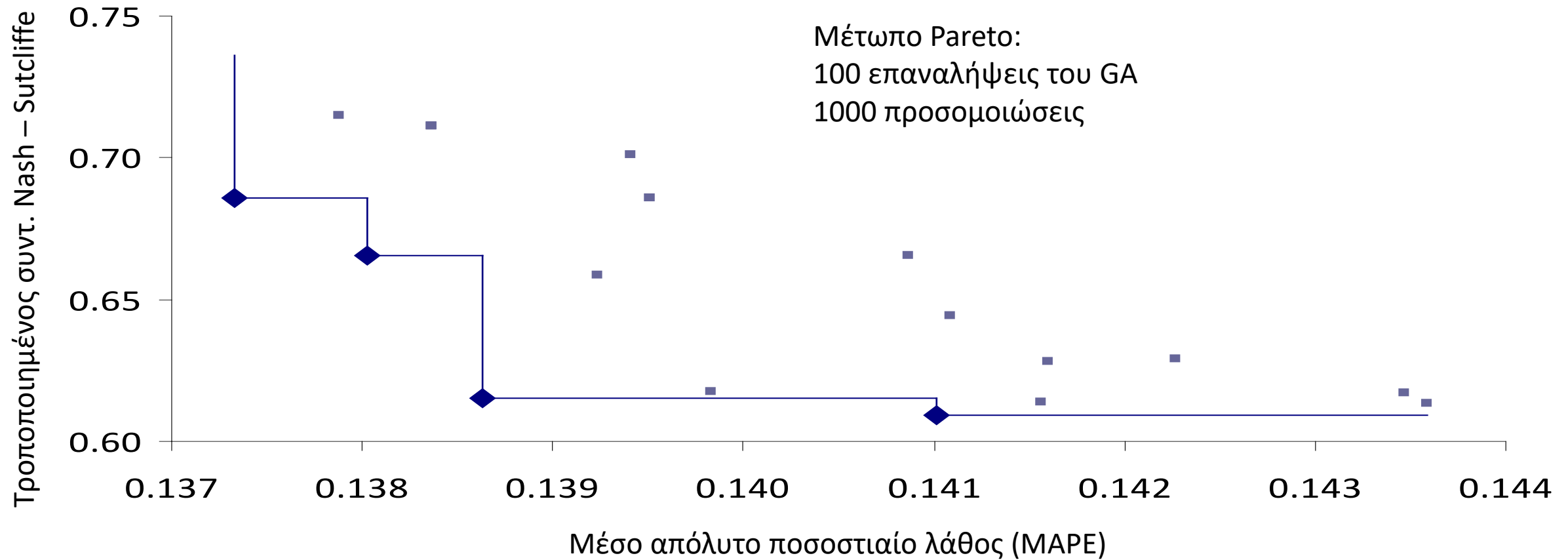
UWAB και σύνδεση του με εργαλείο διαχείρισης αστικού συστήματος νερού

Βαθμονόμηση με GA σε περιβάλλον Matlab



UWAB και σύνδεση του με εργαλείο διαχείρισης αστικού συστήματος νερού

Αποτελέσματα βαθμονόμησης



UWAB και σύνδεση του με εργαλείο διαχείρισης αστικού συστήματος νερού

Αποτελέσματα βαθμονόμησης

Μέσος τροποποιημένος συντελεστής Nash – Sutcliffe = 0.64

Το μοντέλο UWAB είναι παράγει καλύτερη εκτιμήτρια τιμή από τη μέση τιμή των ιστορικών χρονοσειρών

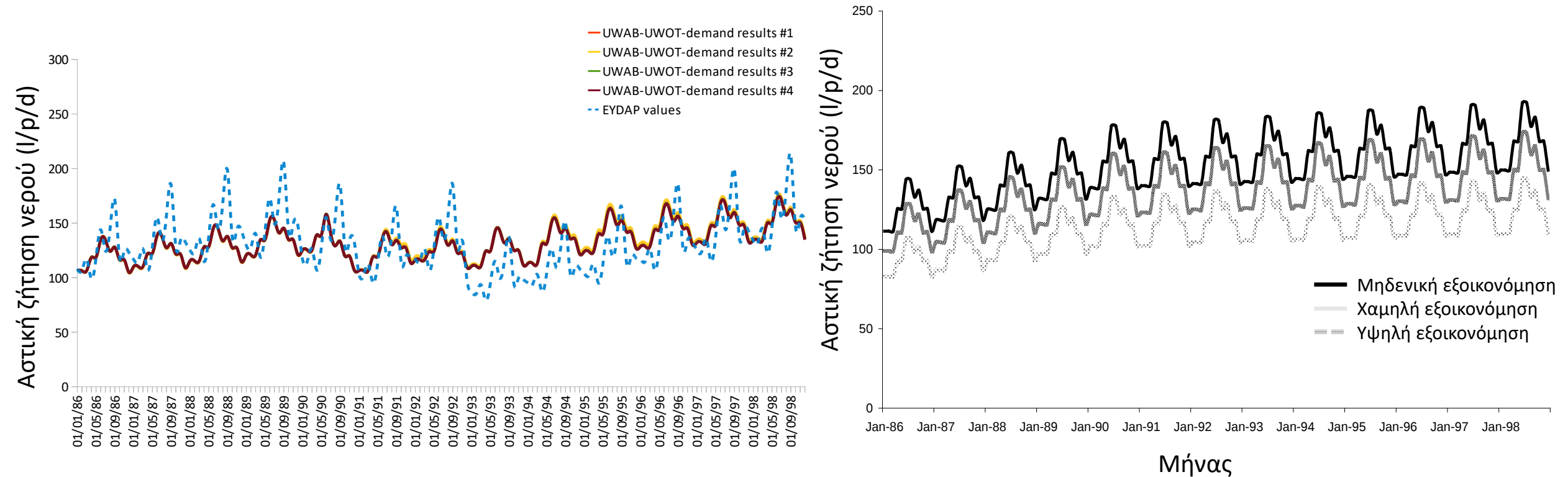
Μέσο απόλυτο ποσοστιαίο λάθος (MAPE) for 1990-1993 period = 14%

	ipa%	epa%	T	S	S _{AC}	S _{PC}	M
1000 model outputs (100 iterations)	0.255	0.685	10.416	2.925	71.37	0.815	2.359
	0.262	0.669	10.528	2.566	70.056	0.778	2.457
	0.246	0.684	10.441	3.363	70.248	0.88	2.29
	0.246	0.685	10.441	3.363	70.249	0.88	2.29

UWAB και σύνδεση του με εργαλείο διαχείρισης αστικού συστήματος νερού

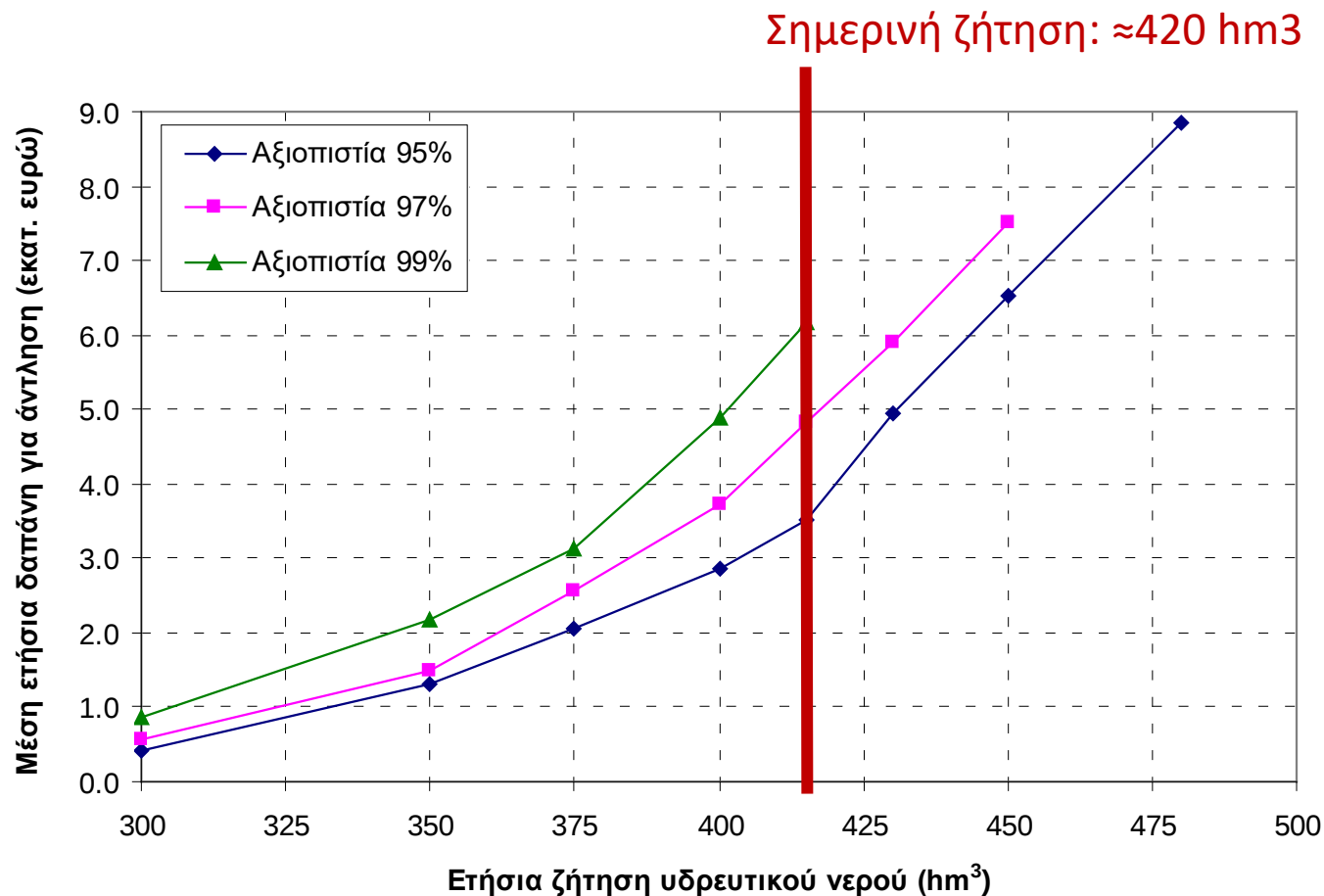
Αποτελέσματα βαθμονόμησης

Που θεωρείτε ότι οφείλονται οι περισσότερες αναντιστοιχίες;



UWAB και σύνδεση του με εργαλείο διαχείρισης αστικού συστήματος νερού

Χρήση του UWAB στην εκτίμηση σεναρίων ζήτησης



Μπορούμε να παρέχουμε για πάντα νερό στην πόλη της Αθήνας;

Και αν όχι, τι μπορούμε να κάνουμε γι αυτό;

UWAB και σύνδεση του με εργαλείο διαχείρισης αστικού συστήματος νερού

Χρήση του UWAB στην εκτίμηση σεναρίων ζήτησης

Έτος	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Δείκτης Επάρκειας Νερού										
Στρατηγική Α										
Στρατηγική Β										
Στρατηγική Γ										
Στρατηγική Δ										
Στρατηγική Ε										
Στρατηγική Στ										

Ενημερωτικές εκστρατείες

Αύξηση τιμών

Περιορισμοί χρήσης νερού

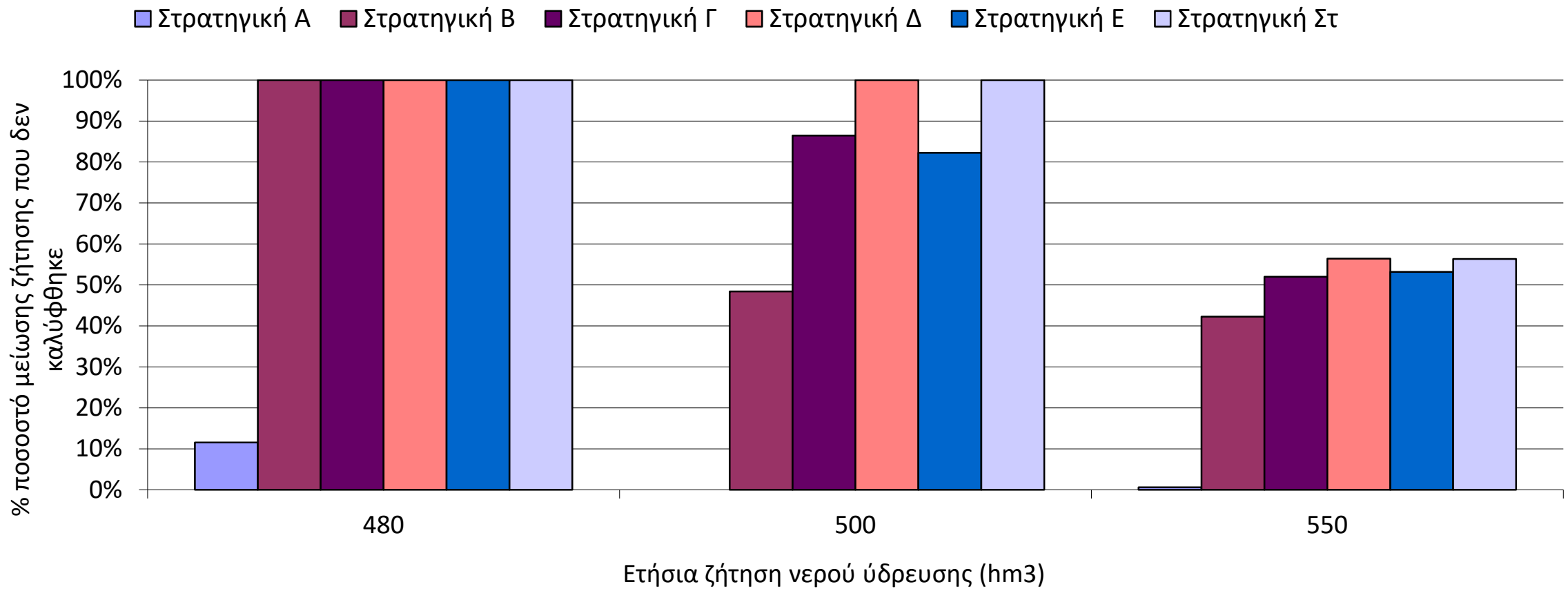
Δείκτης Επάρκειας Νερού

Επάρκεια

Μη Επάρκεια

UWAB και σύνδεση του με εργαλείο διαχείρισης αστικού συστήματος νερού

Χρήση του UWAB στην εκτίμηση σεναρίων ζήτησης



ABM – Παραδείγματα στον τομέα των υδατικών πόρων

UWAB και σύνδεση του με εργαλείο διαχείρισης αστικού συστήματος νερού

- ABM για τη συμπεριφορά χρήσης νερού των αστικών νοικοκυριών και την επιρροή τους στην συμπεριφοράς του αστικού συστήματος νερού

PEARL ABM SAS

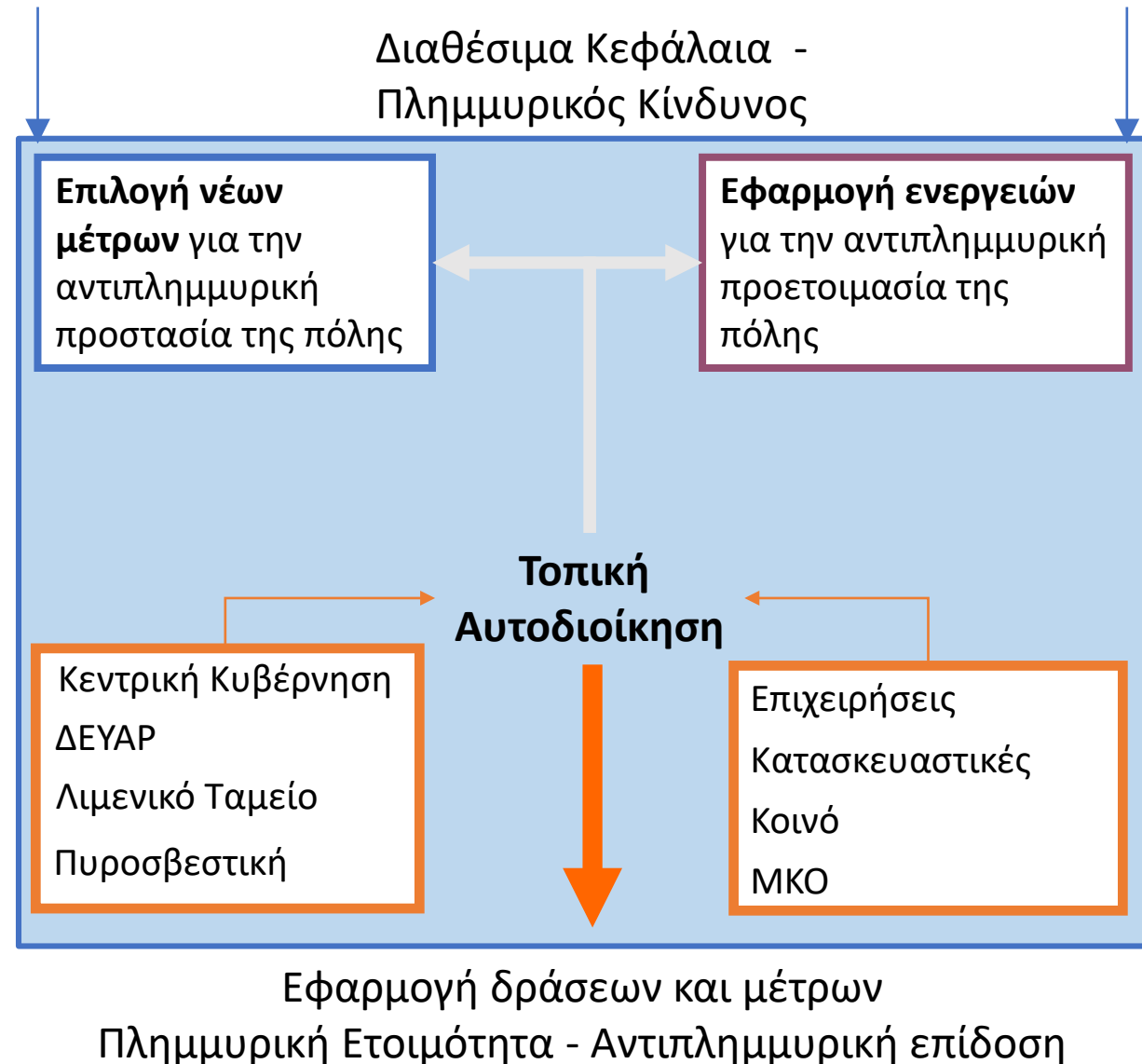
- ABM για την προσομοίωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων που στοχεύει στην προετοιμασία μιας τοπικής κοινωνίας έναντι πλημμυρικών γεγονότων

PEARL ABM SAS

Προσομοίωση της **διαδικασίας λήψης αποφάσεων** που στοχεύει στην **προετοιμασία** της τοπικής κοινωνίας έναντι πλημμυρικών γεγονότων

Το μοντέλο αποτελείται από ευφυείς πράκτορες που αντιπροσωπεύουν:

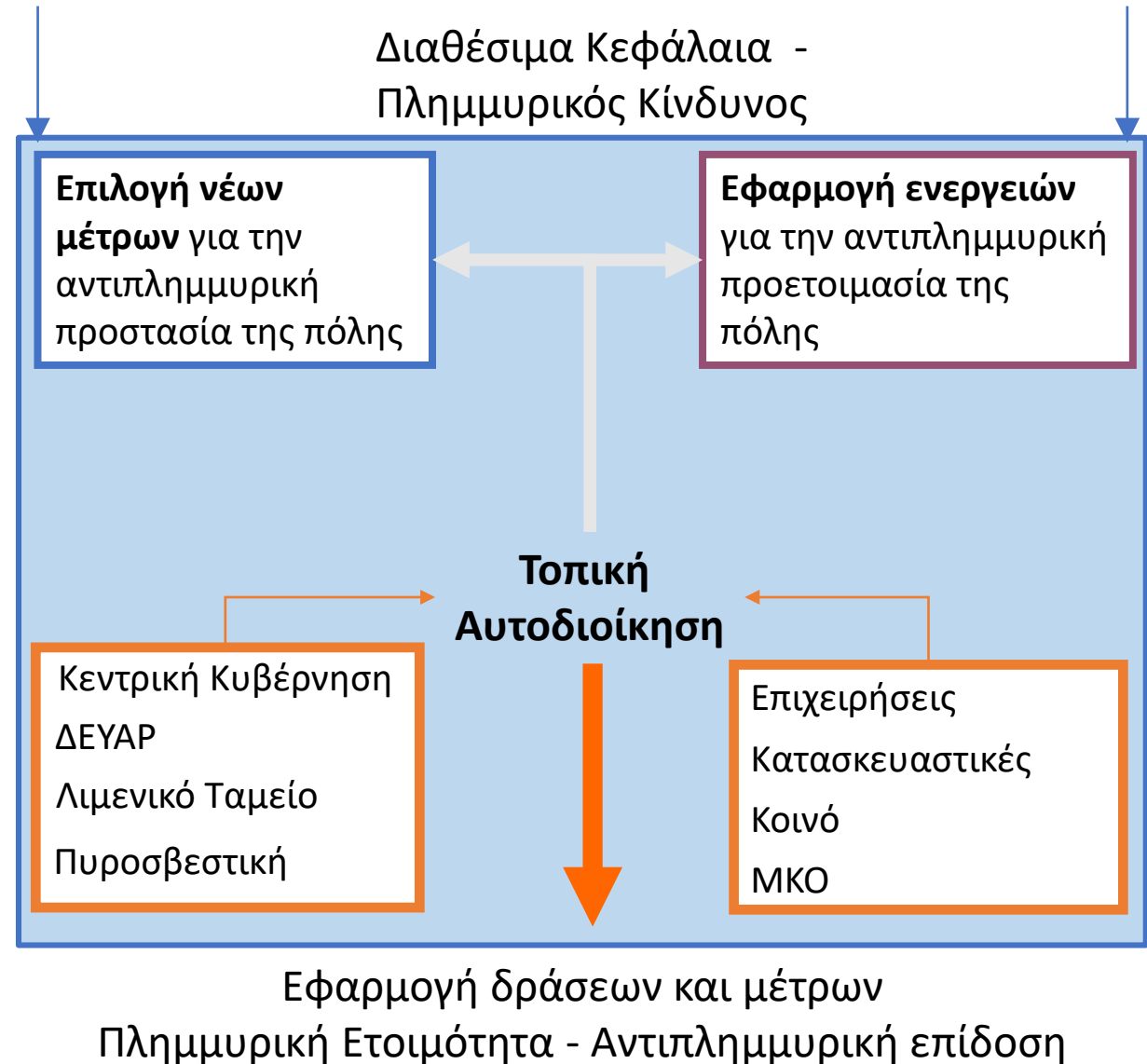
- Τις κεντρικές αρχές
- Τις τοπικές αρχές
- Τους ιδιοκτήτες των κρίσιμων υποδομών και άλλες ομάδες όπως οι ΜΚΟ, οι επιχειρήσεις, οι κατασκευαστικές εταιρείες και το ευρύ κοινό



PEARL ABM SAS

Οι ευφυείς πράκτορες έχουν:

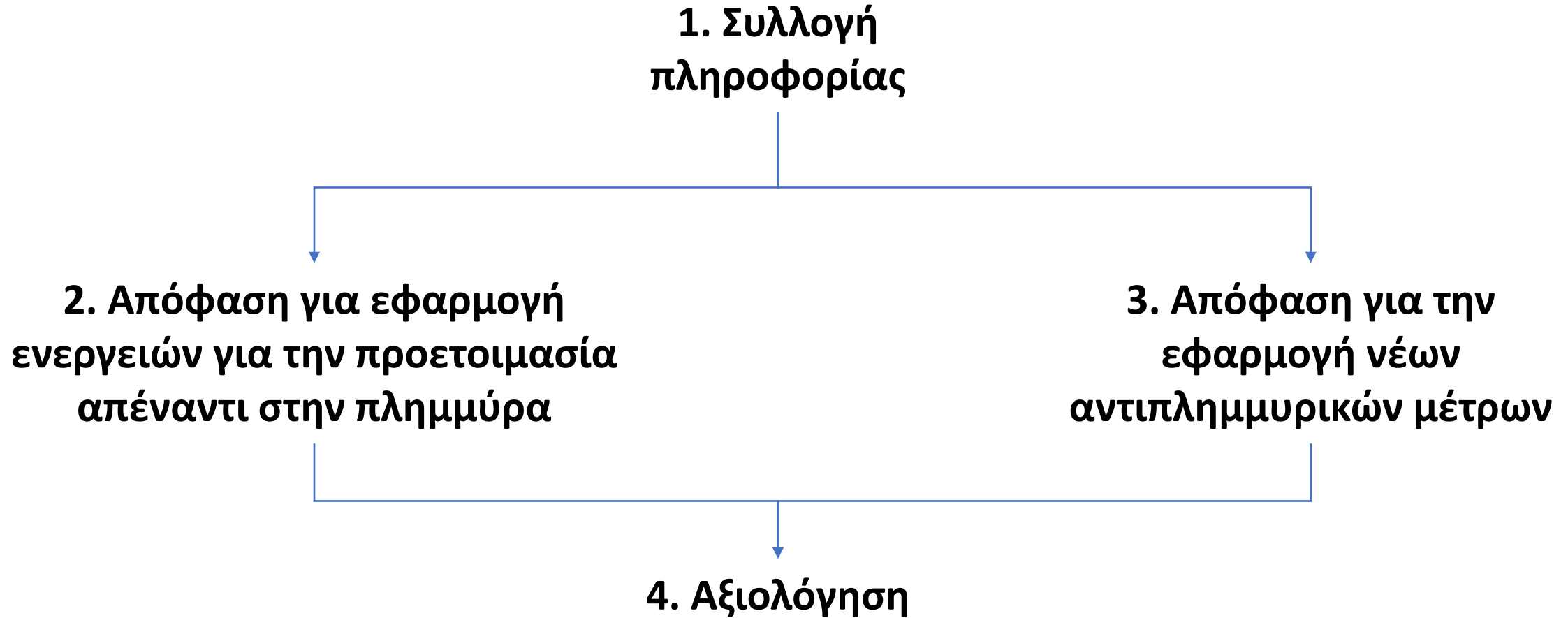
- **Προτιμήσεις** και **ενδιαφέρον** για την αντιπλημμυρική προστασία της πόλης
- **Κανόνες** συμπεριφοράς
 - Πληροφορούνται σχετικά με τις **διαθέσιμες πηγές χρηματοδότησης** και τα **χαρακτηριστικά των νέων μέτρων** από τις πλημμύρες
 - **Αλληλεπιδρούν** για την εφαρμογή ενεργειών για την προετοιμασία της πόλης έναντι πλημμυρικών γεγονότων
 - **Αποφασίζουν** να εφαρμόσουν **νέα μέτρα** προστασίας από τις πλημμύρες
 - **Επιθεωρούν** τα υπάρχοντα μέτρα
- **Μνήμη**: γνωρίζουν τι έγινε στο παρελθόν
- **Επαφή** με το περιβάλλον:
 - Διαθέσιμοι πόροι
 - Αντιδρούν στον πλημμυρικό κίνδυνο



PEARL ABM SAS

- Το μοντέλο περιλαμβάνει:
 - **Κανόνες συμπεριφοράς** των ευφυών πρακτόρων, που προσομοιώνουν τις αρμόδιες αρχές για την **εφαρμογή και τη συντήρηση μέτρων** για την αντιπλημμυρική προστασία της πόλης
 - **Πολύ-κριτηριακή μέθοδος ανάλυσης**
 - Χαρακτηριστικά μέτρων από τη Γνωσιακή Βάση του PEARL
 - Προτιμήσεις (βάρη) χαρακτηριστικών από τα αποτελέσματα του διαδικτυακού ερωτηματολογίου
- **Κανόνες συνεργασίας** μεταξύ των ευφυών πρακτόρων, που προσομοιώνουν τις αρμόδιες αρχές και την τοπική κοινωνία στηριζόμενοι στη θεωρία των παιγνίων

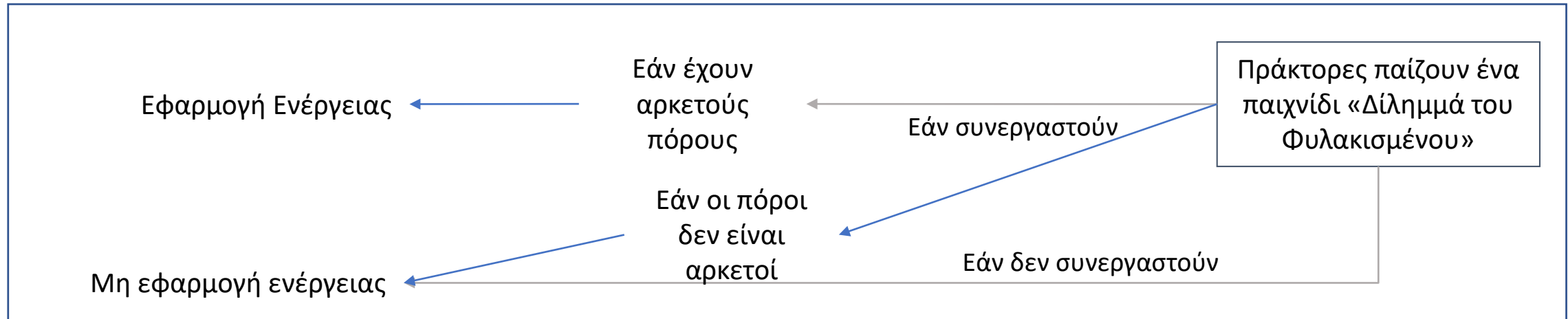
PEARL ABM SAS – Κανόνες συμπεριφοράς



PEARL ABM SAS – Κανόνες συμπεριφοράς

2. Απόφαση για εφαρμογή ενεργειών για την προετοιμασία απέναντι στην πλημμύρα

Οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων συνεργάζονται με τους ενδιαφερόμενους φορείς για την εφαρμογή ενεργειών προετοιμασίας απέναντι στις πλημμύρες. Οι ενέργειες, οι προτεραιότητές των υπεύθυνων και η αξιολόγηση των θετικών αποτελεσμάτων τους εντοπίζονται εκτός του ABM από ειδικούς ή με τη συμβολή των ενδιαφερόμενων μερών της περιοχής μελέτης.



PEARL ABM SAS

& σύνδεση με συμμετοχικές διαδικασίες

Αρκετές **παραδοχές** του μοντέλου στηρίζονται σε ένα **διαδικτυακό ερωτηματολόγιο** & σε **αποτελέσματα** από τη συνεργασία με τοπικούς φορείς

9. Προετοιμασία της αντιπλημμυρικής προστασίας της πόλης του Ρεθύμνου

Παρακάτω σας παραθέτουμε κάποιες ερωτήσεις σχετικά με τις ενέργειες που ακολουθούνται από τους υπεύθυνους φορείς για την προετοιμασία της αντιπλημμυρικής προστασίας της πόλης του Ρεθύμνου.

15. Ποιές ενέργειες θεωρείται ότι πρέπει να γίνονται κάθε χρόνο για την προετοιμασία της αντιπλημμυρικής προστασίας της πόλης του Ρεθύμνου. *

- ☐ Διευθέτηση ρεμάτων
- ☐ Καθαρισμός προσχώσεων ρεμάτων
- ☐ Επισκευή οδικού δικτύου
- ☐ Επιθεώρηση και επισκευή/άνοιγμα σχαρών δικτύου όμβριων
- ☐ Ενημέρωση καταστηματάρχων για το πόσο σημαντικό είναι να παραμένουν ακάλυπτες οι σχάρες κατά τη διάρκεια μιας βροχόπτωσης
- ☐ Πρόσληψη εποχιακού προσωπικού για την αντιμετώπιση πλημμυρικών φαινομένων
- ☐ Επιθεώρηση αντιπλημμυρικών μέτρων προστασίας
- ☐ Ενημέρωση εργολάβων για την ανάγκη χρήσης των δικών τους μηχανημάτων και προσωπικού για την αντιμετώπιση καταστροφών (διάνοιξη δρόμων κ.ά.) σε περίπτωση έντονων καιρικών φαινομένων
- ☐ Ενημέρωση εμπλεκόμενων φορέων υπό την αιγίδα της Πολιτικής Προστασίας
- ☐ Άλλο

16. Ποιές ενέργειες θεωρείτε ότι όντως γίνονται για την προετοιμασία της αντιπλημμυρικής προστασίας της πόλης του Ρεθύμνου *

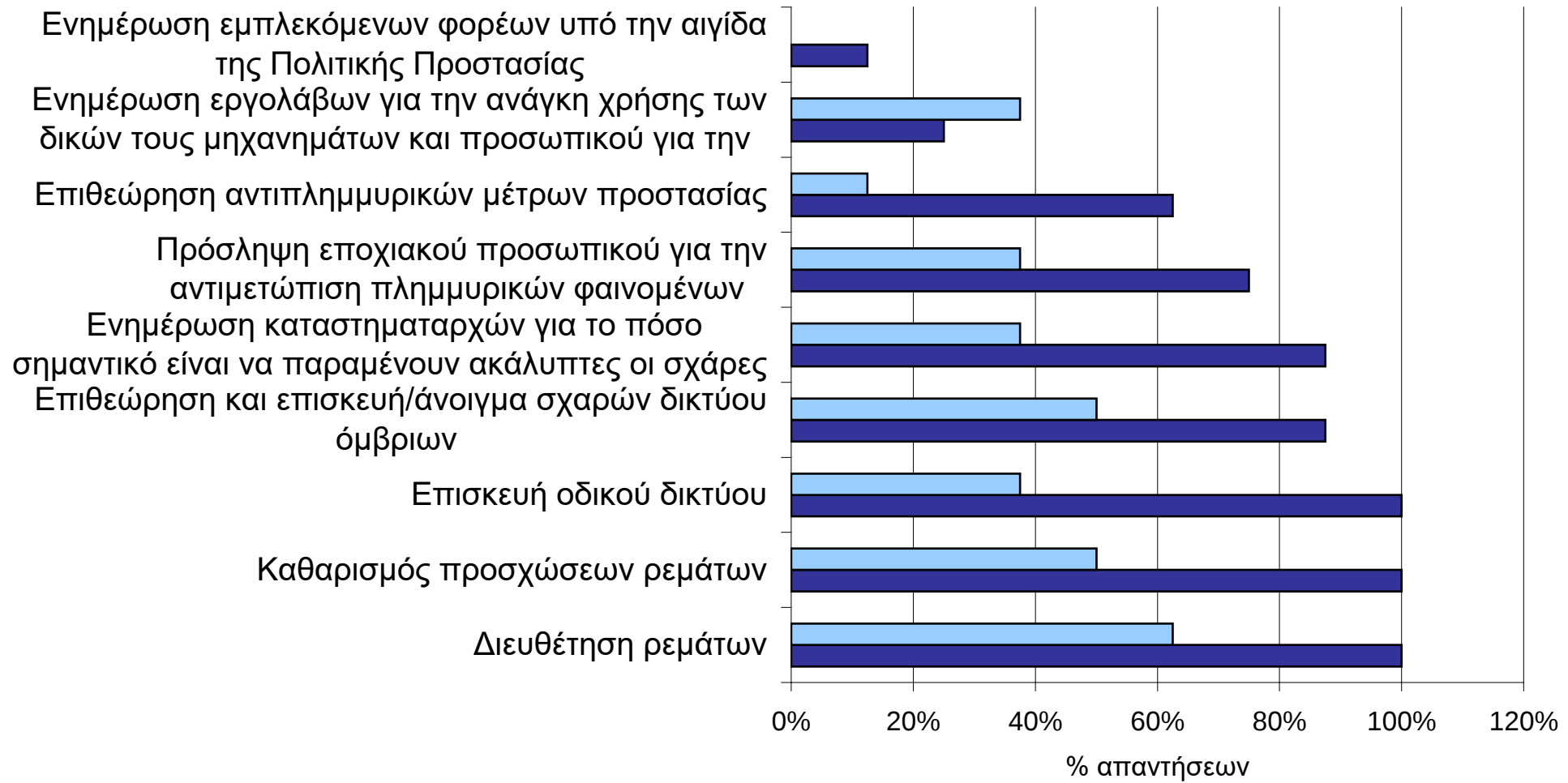
- ☐ Διευθέτηση ρεμάτων
- ☐ Καθαρισμός προσχώσεων ρεμάτων
- ☐ Επισκευή οδικού δικτύου
- ☐ Επιθεώρηση και επισκευή/άνοιγμα σχαρών δικτύου όμβριων
- ☐ Ενημέρωση καταστηματάρχων για το πόσο σημαντικό είναι να παραμένουν ακάλυπτες οι σχάρες κατά τη διάρκεια μιας βροχόπτωσης
- ☐ Πρόσληψη εποχιακού προσωπικού για την αντιμετώπιση πλημμυρικών φαινομένων
- ☐ Ενημέρωση εργολάβων για την ανάγκη χρήσης των δικών τους μηχανημάτων και προσωπικού για την αντιμετώπιση καταστροφών (διάνοιξη δρόμων κ.ά.) σε περίπτωση έντονων καιρικών φαινομένων
- ☐ Επιθεώρηση αντιπλημμυρικών μέτρων προστασίας
- ☐ Ενημέρωση εμπλεκόμενων φορέων υπό την αιγίδα της Πολιτικής Προστασίας
- ☐ Άλλο

PEARL ABM SAS & σύνδεση με συμμετοχικές διαδικασίες

■ Εφαρμόζονται

■ Χρειάζεται να εφαρμόζονται

Ενέργειες για την προετοιμασία της πόλης του Ρεθύμνου έναντι πλημμυρικών γεγονότων



PEARL ABM SAS – ABM Netlogo διεπιφάνεια

Ορισμός αρχικών
παραμέτρων και
συνθηκών

Choose whether funding for maintenance and implementation is sufficient or not.

Funds:

Choose whether communication between central authorities and local authorities regarding the availability of funds for flood protection is uncertain.

Uncertain communication:

Choose whether decisions are ordered by corruption.

Choose the priority for preparing the city against floods. 0 = not necessary, 1-8 priority (1: the highest priority and 8: the lowest priority)

Cleanup_streams:

Repair_sewage_network:

Inform_businesses_about_sewage_network:

Update_stakeholders:

Municipality_hires_seasonal_staff:

staff:

contractors:

Εφαρμοζόμενα
μέτρα

7 Reef breakwaters

7 Evacuation plan

7 Public awareness, information, education and communication

7 Flood detention reservoir

8 Flood forecasting and early warning

8 Increased capacity of sewer/drainage system

8 Reef breakwaters

8 Evacuation plan

8 Flood forecasting and early warning

8 Public awareness, information, education and communication

9 Evacuation plan

9 Flood forecasting and early warning

9 Public awareness, information, education and communication

9 Flood detention reservoir

9 Reef breakwaters

9 Increased capacity of sewer/drainage system

10 Flood forecasting and early warning

10 Increased capacity of sewer/drainage system

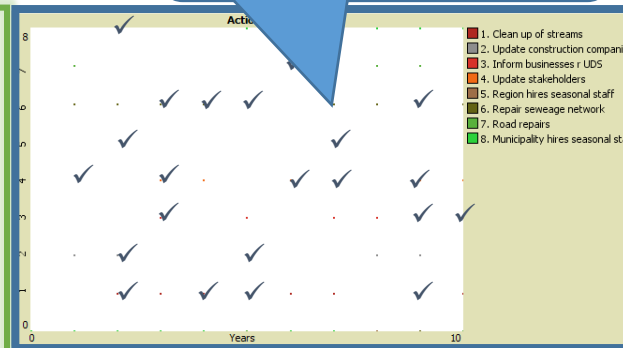
10 Evacuation plan

10 Flood detention reservoir

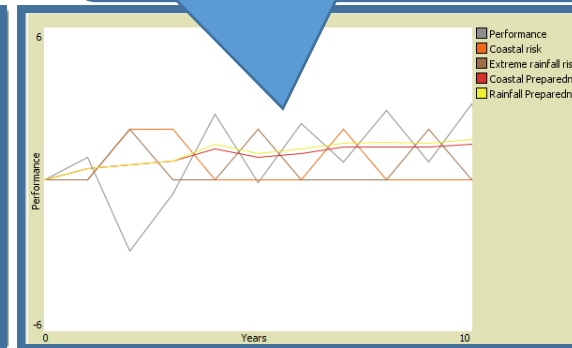
10 Reef breakwaters

10 Public awareness, information, education and communication

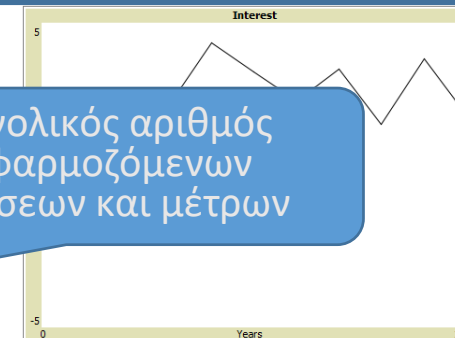
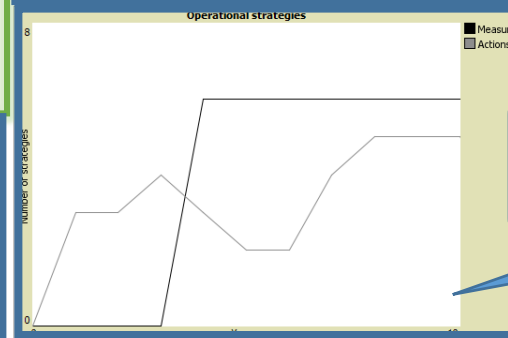
Δράσεις
αντιπλημμυρικής
προετοιμασίας



Εξέλιξη του πλημμυρικού κινδύνου
και της αντιπλημμυρικής
ετοιμότητας και επίδοσης

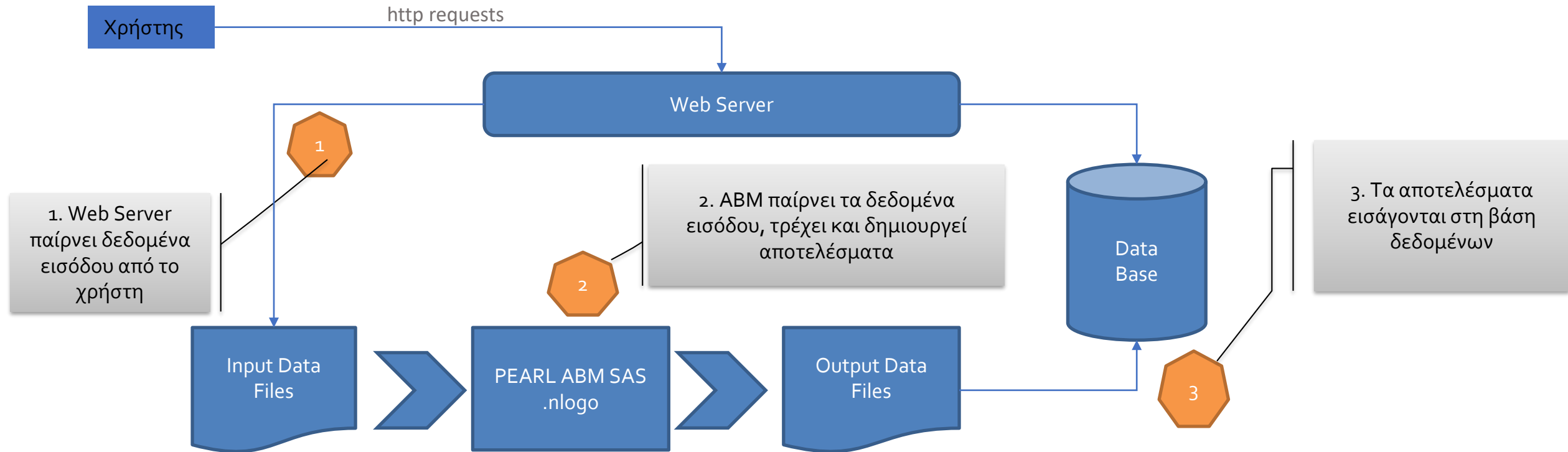


Συνολικός αριθμός
εφαρμοζόμενων
δράσεων και μέτρων



PEARL ABM SAS – ABM διαδικτυακή διεπιφάνεια

Με στόχο να καταστεί το αναπτυγμένο εργαλείο πιο φιλικό προς το χρήστη και διαθέσιμο στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων για χρήση



PEARL ABM SAS – ABM διαδικτυακή διεπιφάνεια



Knowledge Base 

Login

Search...



A Toolbox to discover methods and tools supporting selection of resilience strategies against extreme hydro-meteorological events in coastal regions

Apply Agent Based Models
Search for software tools
Find relevant publications



ABM PEARL SAS

Discover how Agent Based Models
(ABM) can simulate resilience
processes



TOOLS



PUBLICATIONS



The project received funding from the European Union's
Seventh Framework Programme for Research
Technological Development and Demonstration under
Grant Agreement No 603663



Glossary

About

Contact

Disclaimer

PEARL ABM SAS – ABM διαδικτυακή διεπιφάνεια



The PEARL institutional ABM simulating authorities' decision making for the selection of resilience strategies

logged in as: Anonymous
(Logout)

Homepage

Saved Sets

Parameters

Simulation Results

About

Welcome to the PEARL institutional ABM simulating authorities' decision making for the selection of resilient strategies.

The PEARL ABM SAS aim is to simulate how authorities prepare against flood risk. The model consists of agents representing: the central authorities, the local authorities (region, municipality), critical infrastructure owners (water utility company) and stakeholders (construction companies, general public).

The agents representing the authorities are presented with two different sets of resilience strategies: flood preparedness actions and flood protection measures. The first set consists of actions that a city needs to undertake every year to prepare for flood events, while the second set of measures includes strategies that strengthen its resilience. This model assumes that authorities are well informed regarding the characteristics of the resilience strategies. It aims to simulate the behaviour of authorities in changing socio-economic and environmental conditions and how this behaviour may affect the city's resilience.

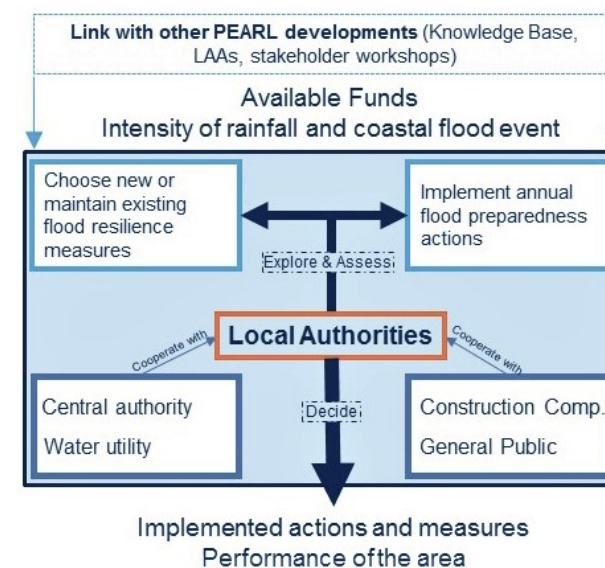
These agents have preferences and interests regarding the city's flood protection. They follow specific rules that allow them to get information regarding the available funding and the characteristics of the resilient strategies, interact with the stakeholders to prepare the city for flooding events and implement actions, decide to implement new measures of flood protection, inspect existing flood protection measures and maintain them.

To setup the PEARL ABM SAS model you need to:

1. Go to input parameters and fill in the model's social, economic, technical and environmental conditions under which you wish to run the simulation. Values have been preselected for all parameters to depict the results of the 1st and 2nd stakeholder workshop in the city of Rethymno, Greece.
2. Run the PEARL ABM SAS model simulating the authorities' decision making for the selection of resilient strategies.
3. Explore the results of the simulations with the higher and lower performance. Plots are produced presenting the annual implementation of preparedness actions and flood resilience measures, spending of funds, cooperation of authorities and performance in respect to flood events.
4. Repeat to explore different conditions.

Values have been preselected in all tabs to depict the results of the 1st and 2nd stakeholder workshop in the city of Rethymno, Greece.

You are free to change any of the values to explore the behaviour of the authorities.



THE PROJECT RECEIVED FUNDING FROM THE EUROPEAN UNION'S SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMME FOR RESEARCH TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT AND DEMONSTRATION UNDER GRANT AGREEMENT NO 603663



PEARL ABM SAS – ABM διαδικτυακή διεπιφάνεια

Δράσεις προετοιμασίας απέναντι στην πλημμύρα

Οι ετήσιες δράσεις προετοιμασίας προσδιορίζονται και ο χρήστης επιλέγει ποιες θα πρέπει να είναι διαθέσιμες, τις προτεραιότητές τους, το κόστος εφαρμογής, τους συνεργαζόμενους φορείς, τη συχνότητα συνεργασίας και αξιολογούν την αναμενόμενη θετική επίπτωση στην αντιμετώπιση της πλημμύρας.

Flood preparedness action	Select the priority (?)	Select the operational cost (?)	Select the responsible authority	Select the stakeholder (B) that needs to cooperate with the responsible authority (A) for the flood preparedness action to be implemented	Select the usual level of cooperation between the responsible authority (A) and the stakeholder (B)	Select the level of positive impact	
Inspection and repair of sewage network	1	High ▾	Municipal Authority ▾	Water utility ▾	Equally likely and unlikely ▾	High ▾	
Clean up of streams	2	High ▾	Regional Authority ▾	Municipal Authority ▾	Equally likely and unlikely ▾	High ▾	
Update contractors regarding the authorities' need to use their equipment and personnel in case of flooding events	4	Low ▾	Municipal Authority ▾	Construction companies ▾	Equally likely and unlikely ▾	Low ▾	
Informing local businessmen of the importance of keeping the sewage network maintained	3	Medium ▾	Municipal Authority ▾	Public ▾	Equally likely and unlikely ▾	Medium ▾	
Update stakeholders under the auspices of Civil Protection	5	Low ▾	Regional Authority ▾	Municipal Authority ▾	Always ▾	Low ▾	
Road repairs	6	High ▾	Regional Authority ▾	Construction companies ▾	Equally likely and unlikely ▾	Low ▾	
Municipality hires seasonal staff for flood preparedness	0	Medium ▾	Municipal Authority ▾	Regional Authority ▾	Always ▾	Low ▾	
Region hires seasonal staff for flood preparedness	0	Medium ▾	Municipal Authority ▾	Regional Authority ▾	Always ▾	Low ▾	

PEARL ABM SAS – ABM διαδικτυακή διεπιφάνεια

Αποτελέσματα προσομοίωσης

Το μοντέλο τρέχει για δέκα φορές και η βάση δεδομένων συλλέγει όλα τα αποτελέσματα. Από αυτές τις προσομοιώσεις, η βάση δεδομένων επιλέγει την υψηλότερη και χαμηλότερη απόδοση και την παρουσιάζει στη σελίδα αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

Δράσεις προετοιμασίας απέναντι στην πλημμύρα

[illegible]

Άλλα υπό ανάπτυξη ABM

- Προσομοίωση των απειλών από κυβερνό-κινδύνους σε αστικά συστήματα νερού
 - Σκοπός: υπολογισμός της πιθανότητας κυβερνό-επίθεσης σε σημαντικά σημεία του αστικού συστήματος νερού
 - Κανόνες: γιατί κάποιο σημείο είναι πιο ενδιαφέρον για μία κυβερνο-επίθεση (λιγότερο ασφαλές, μεγαλύτερη ζημιά, δυσκολότερη ανίχνευση κλπ)
- Προσομοίωση της συμπεριφοράς virtual παιχτών σε ηλεκτρονικά σοβαρά παιχνίδια
 - Σκοπός: Σύνδεση ενός ηλεκτρονικού σοβαρού παιχνιδιού με ένα ABM το οποίο θα καθορίζει την συμπεριφορά των virtual παιχτών
 - Κανόνες: Ενσωμάτωση των κανόνων του σοβαρού παιχνιδιού στη λειτουργία των virtual παιχτών με στόχο την αυτόνομη λειτουργία τους.

Βιβλιογραφία - ενδεικτική

- Axelrod, R. "Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences" Simulating Social Phenomena. Conte, R., R. Hegselmann and P. Terna, eds. Springer: Berlin.
- Axtell, R., R. Axelrod, J. Epstein and M. D. Cohen. 1996. "Aligning Simulation Models: A Case Study and Results" Computational and Mathematical Organization Theory 1:123-141.
- Athanasiadis, I., Montes, A., Mitkas, P., and Mylopoulos, Y. (2005), A hybrid agent based model for estimating residential water demand, Simulation 81(3)
- Barabási A.L. and Albert R. (1999), Emergence of Scaling in Random Networks, Science 15 October 1999: 286 (5439), 509-512
- Galán, J. M., López-Paredes, A., & Del Olmo, R. (2009). An agent-based model for domestic water management in Valladolid metropolitan area. Water Resources Research, 45(5).
- Castellano, C., Fortunato, S., & Loreto, V. (2009). Statistical physics of social dynamics. Reviews of modern physics, 81(2), 591.
- Epstein, J.M, and R. Axtell (1995), Growing Artificial Societies: Social Science From the Bottom Up. The Brookings Institution: Washington, D.C.
- Galán, José Manuel, Izquierdo, Luis R., Izquierdo, Segismundo S., Santos, José Ignacio, del Olmo, Ricardo, López-Paredes, Adolfo and Edmonds, Bruce (2009). 'Errors and Artefacts in Agent-Based Modelling'. Journal of Artificial Societies and Social Simulation 12(1)1 <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/1/1.html>>.
- Gilbert, N. (2008). Agent-based models (No. 153). Sage.
- Gilg A. and Barr S. (2006). Analysis: Behavioural attitudes towards water saving? Evidence from a study of environmental actions, Ecological Economics, 57, 400–414
- Gregory G. and di Leo M. (2003). Repeated Behavior and Environmental Psychology: The Role of Personal Involvement and Habit Formation in Explaining Water Consumption, Journal of Applied Social Psychology, 33(6), 1261 -1296
- <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- <http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/>
- <http://repast.sourceforge.net/>
- Koutiva, I., & Makropoulos, C. (2016) Exploring the effects of domestic water management measures to water conservation attitudes using agent based modelling, Water Science and Technology: Water Supply Sep 2016, ws2016161; doi:10.2166/ws.2016.161
- Koutiva, I., & Makropoulos, C. (2016) Modelling domestic water demand: An agent based approach, Environmental Modelling & Software, 79, 35-54, doi:10.1016/j.envsoft.2016.01.005
- Latane B. (1981), The psychology of social impact American Psychologist, 36, 343 – 365
- Polhill, J. G., Parker, D., Brown, D., & Grimm, V. (2008). Using the ODD protocol for describing three agent-based social simulation models of land-use change. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 11(2), 3.



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

Βελτιστοποίηση Συστημάτων Υδατικών Πόρων - Υδροπληροφορική: Μοντέλα ευφυών πρακτόρων

Ιφιγένεια Κουτίβα

ikoutiva@mail.ntua.gr

Χρήστος Μακρόπουλος

cmakro@mail.ntua.gr