



# Εκτίμηση επικινδυνότητας και βιολογικοί παράγοντες

Απόστολος Βανταράκης  
Μον. Περιβαλλοντικής Μικροβιολογίας  
Εργαστήριο Υγιεινής, Τμήμα Ιατρικής  
Πανεπιστήμιο Πατρών  
[www.avantarakis.gr](http://www.avantarakis.gr), [www.iwaterfood.gr](http://www.iwaterfood.gr)



Ως δυναμική διαδικασία, η εκτίμηση κινδύνου συνδέεται με :

- A) τη διαχείριση του κινδύνου και
- B) την ενημέρωση για τον κίνδυνο



## Στόχοι της εκτίμησης κινδύνου

- Η παρέμβαση με σκοπό την εξάλειψη ή αποφυγή των κινδύνων
- Η καταγραφή των μέτρων πρόληψης και λήψη συμπληρωματικών μέτρων
- Η ενημέρωση και κατάρτιση

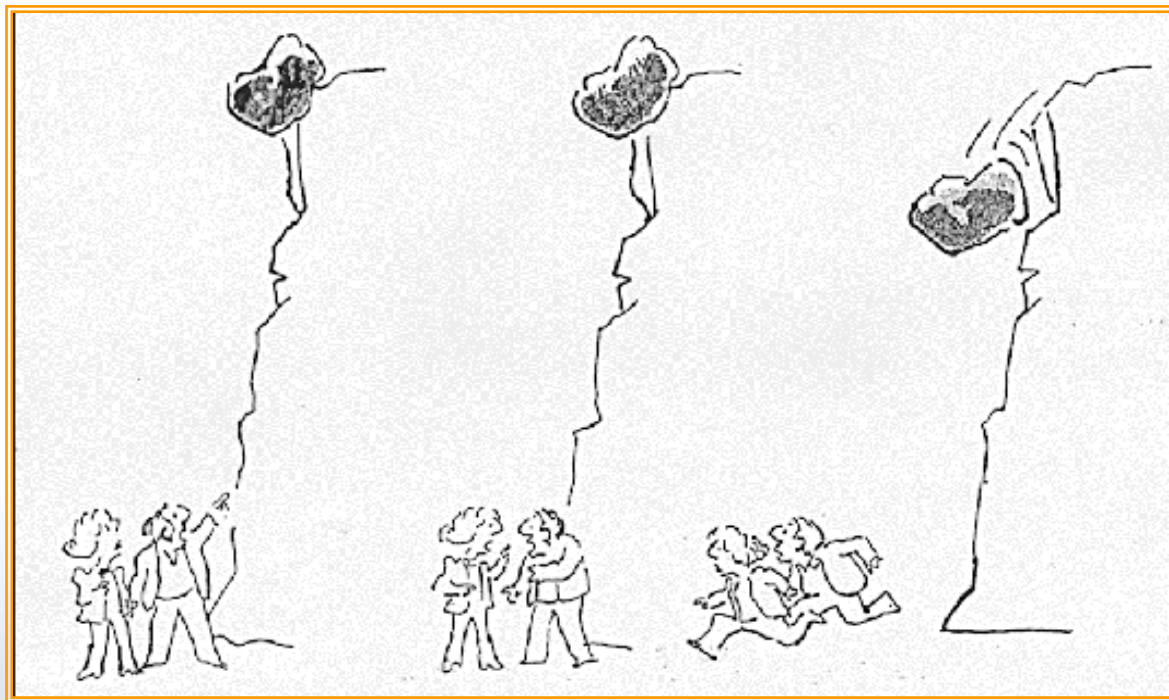


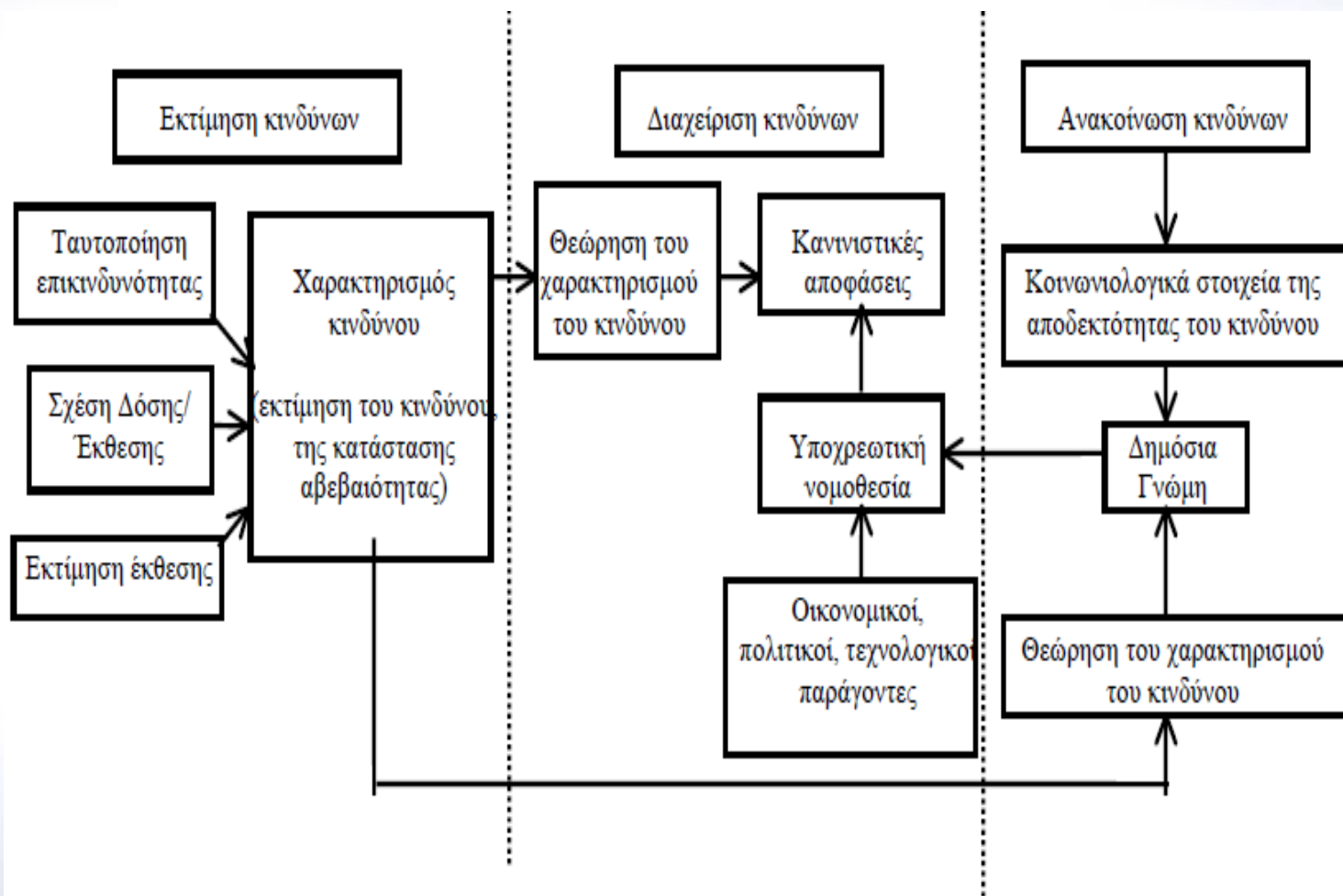
# Η εκτίμηση επικινδυνότητας είναι μια διαδικασία που αποτελείται από 3 συστατικά

Εκτίμηση

Επικοινωνία

Διαχείριση





Σχήμα 3. Στάδια διαδικασίας εκτίμησης κινδύνων



Παράμετροι	Αντικείμενο	Απαιτούμενες πληροφορίες
Ταυτοποίηση επικινδυνότητας/ Κινδύνου	Προσδιορισμός για το αν το μέσο θέτει πιθανό κίνδυνο στην υγεία ή όχι	Επιδημιολογικές μελέτες Χρόνιες δοκιμές σε πειραματόζωα Δοκιμές οξείας τοξικότητας
Εκτίμηση έκθεσης	Προσδιορισμός της έκτασης της έκθεσης του ανθρώπου σε τοξικά	Πορεία, μέγεθος, συχνότητα και διάρκεια έκθεσης Πηγές: αέρας, νερό, έδαφος και τρόφιμα
Επικινδυνότητας κίνδυνος	Προσδιορισμός της σχέσης μεταξύ μεγέθους έκθεσης και πιθανότητας εμφάνισης των επιπτώσεων της υγείας	Εκτίμηση δόσης-επίδρασης Προσδιορισμός κατωφλίου και μη κατωφλίου με χαμηλές δόσεις προέκτασης με τη βοήθεια μοντέλων
Χαρακτηρισμός κινδύνου	Συνδυασμός των παραπάνω αναλύσεων για να εκτιμηθούν οι κίνδυνοι υγείας που σχετίζονται με την έκθεση του ανθρώπου στο μέσο	Συλλογή και εκτίμηση των σχετικών δεδομένων Πιθανότητα επιβλαβών αποτελεσμάτων από έκθεση ορισμένου πληθυσμού στο μέσο

Πίνακας 4. Συστατικά των μελετών της εκτίμησης των κινδύνων





# Τι είναι το HACCP?

- Hazard
- Analysis
- Critical
- Control
- Point

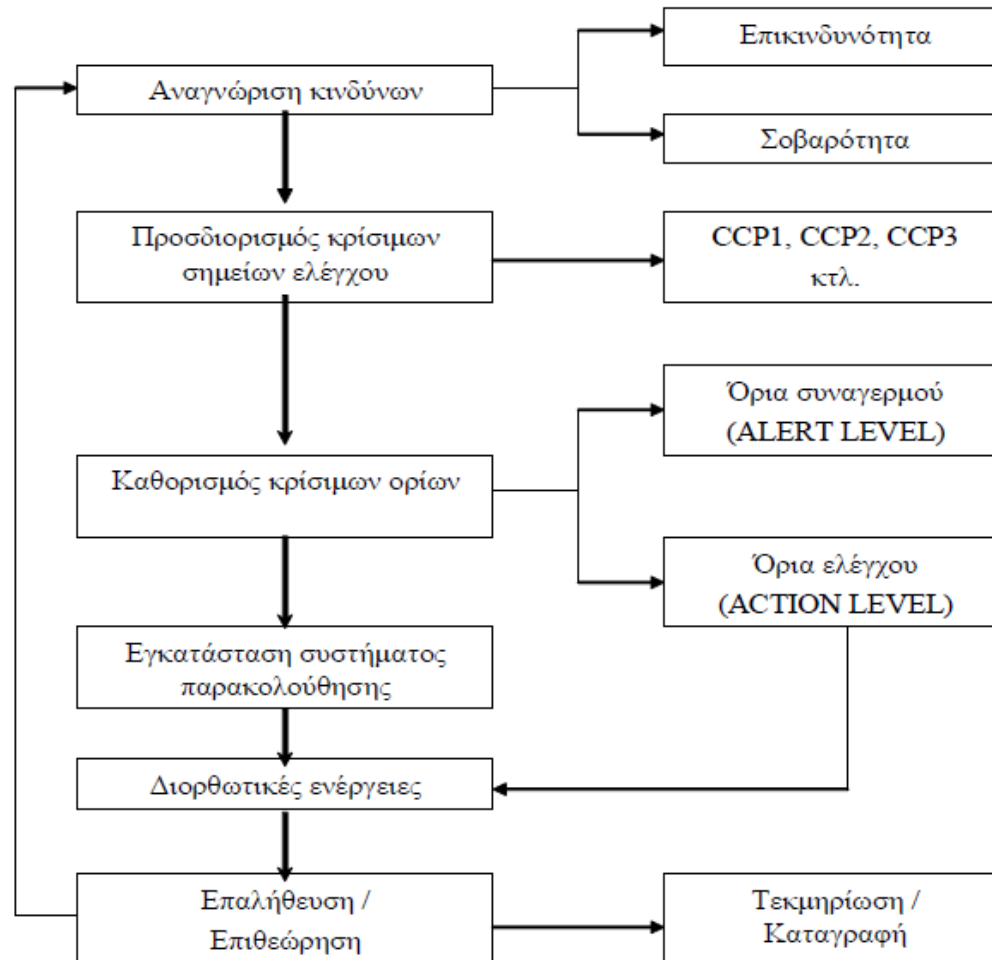
Μια συστηματική, προληπτική προσέγγιση στην ταυτοποίηση, αξιολόγηση και έλεγχο των σημαντικών κινδύνων



# ΗΑССР επισκόπηση- ένα θεωρητικό μοντέλο

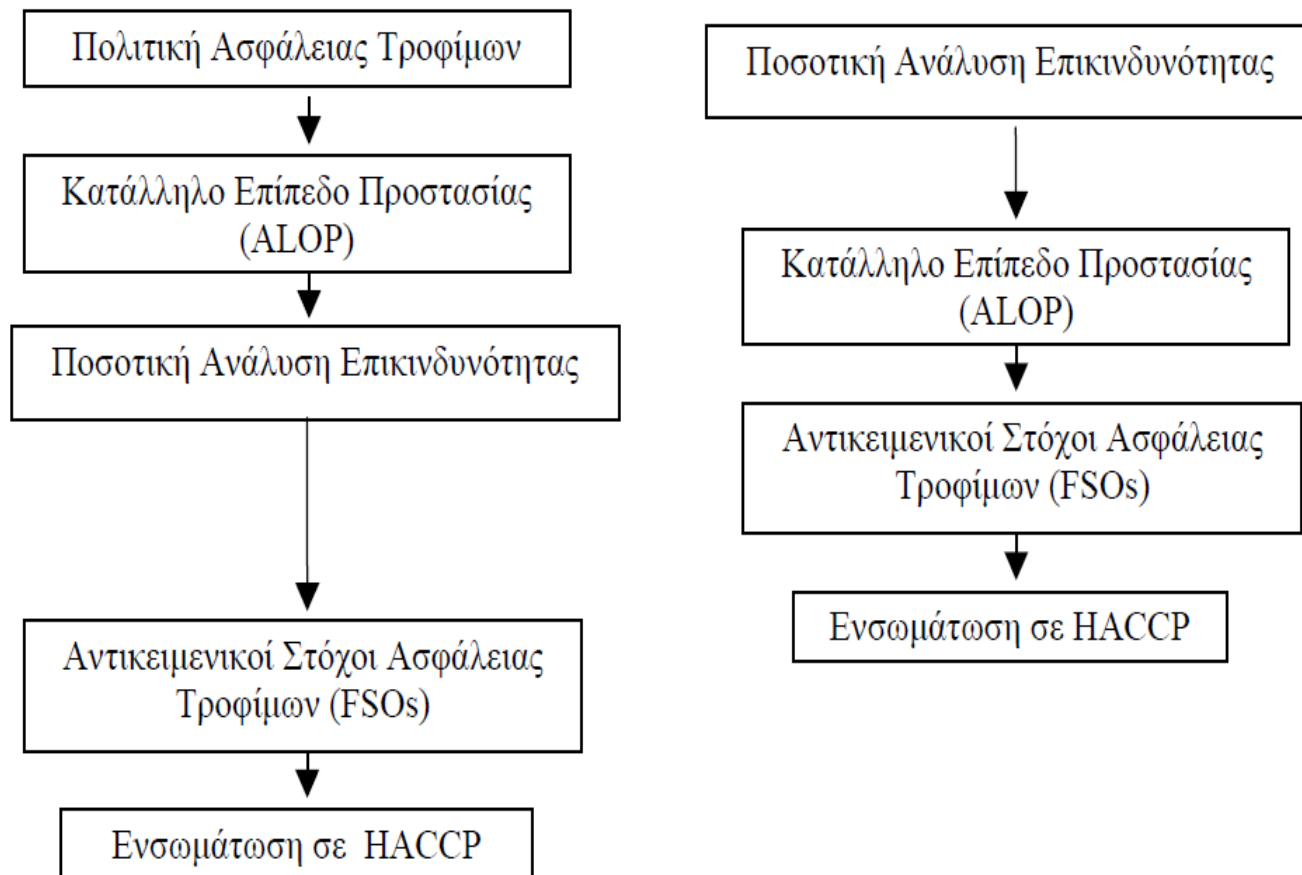


## Αρχές HACCP



Σχήμα 2. Εφαρμογή των αρχών HACCP





Σχήμα 4. Γενικό πλαίσιο των σύγχρονων συστημάτων ασφάλειας τροφίμων με βάση τους χημικούς ή μικροβιολογικούς κινδύνους



## Θετικά

- Ανάλυση κινδύνου
  - Πρόβλεψη της παρουσίας κινδύνων πριν συμβούν
  - Παρέχει την ώθηση για σημαντική επένδυση & συστηματικές αλλαγές
- Μετρήσεις
  - Για έλεγχο κινδύνων
  - Μετρησιμότητα



Κίνδυνος:

Ένας **βιολογικός**, χημικός, φυσικός ή ραδιενεργός παράγοντας σε συνθήκες σε τρόφιμα ή νερά που μπορεί να είναι ανασφαλή (μη αποδεκτά) για κατανάλωση

Επικίνδυνο γεγονός:

Μια κατάσταση, πρακτική, σενάριο ή γεγονός που οδηγεί στην παρουσία του κινδύνου



Παραδείγματα :

**Βιολογικός:** *E.coli*, *Giardia*, *Cryptosporidium*

Χημικός : Αρσενικό, Μόλυβδος

Φυσικός - pH,  
θερμοκρασία, Διαλυμένα σωματίδια

Ραδιενεργός – ουράνιο

Παραδείγματα:

Αντίστροφη ροή, αποτυχία κατά την επεξεργασία, χρήση μη εγκεκριμένων προϊόντων

# Ταυτοποίηση & εκτίμηση κινδύνων

Χρησιμοποιώντας ποιοτικές, ημιποσοτικές ή ποσοτικές τεχνικές

- **Ποιοτικές**

- Π.χ. Σπάνιο x Ασήμαντο = Χαμηλός κίνδυνος

- **Ημι-ποσοτικές**

- Risk score/factor e.g. 3(P) x 5(C) = 15(RS)

- **Ποσοτικές**

- Π.χ. Κίνδυνος θνησιμότητας = Αριθμός θανάτων/ έτος από δραστηριότητα/ Εκτεθειμένο πληθυσμό



## Πίνακας 1. Σημαντικότεροι επικίνδυνοι μικροοργανισμοί

I. ΥΨΗΛΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑΣ	II. ΜΕΤΡΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑΣ (με πιθανότητα εκτεταμένης εξάπλωσης)	III. ΜΕΤΡΙΑΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑΣ (με περιορισμένη εξάπλωση)
<p><i>Clostridium botulinum</i> types A, B, E and F <i>Shigella dysenteriae</i> <i>Salmonella typhi</i>, <i>paratyphi</i> A, B <i>Hepatitis A</i> and E <i>Brucella abortis</i> <i>Vibrio cholerae</i> 01 <i>Vibrio vulnificus</i> <i>Taenia solium</i> <i>Trichinella spiralis</i></p>	<p><i>Listeria monocytogenes</i> <i>Salmonella</i> spp. <i>Shigella</i> spp. <i>Enterovirulent Escherichia coli</i> (EEC) <i>Streptococcus pyogenes</i> <i>Rotavirus</i> <i>Norwalk virus</i> group <i>Entamoeba histolytica</i> <i>Diphyllobothrium latum</i> <i>Ascaris lumbricoides</i> <i>Cryptosporidium parvum</i></p>	<p><i>Bacillus cereus</i> <i>Campylobacter jejuni</i> <i>Clostridium perfringens</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Vibrio cholerae non-01</i> <i>Vibrio parahaemolyticus</i> <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Giardia lamblia</i> <i>Taenia saginata</i></p>



## Πίνακας 2. Κίνδυνοι τροφικών ασθενειών και όρια παθογένειάς τους

Βακτήρια - Ιοί	Όρια Παθογένειας (Αριθμός μικροοργανισμών/ g τροφίμου)
<i>Bacillus cereus</i>	$3,4 \times 10^4 - 9,5 \times 10^8$
<i>Campylobacter jejuni</i>	$5 \times 10^2$ σε 180 mL γάλα
<i>Clostridium botulinum</i>	$3 \times 10^3$
<i>Clostridium perfringens</i>	$10^6 - 10^7$
<i>E. coli</i>	$10^6 - 10^7$
<i>Salmonella spp.</i>	
✓ <i>S. anatum</i>	$10^5 > 10^8$
✓ <i>S. typhi</i>	$10^4 > 10^8$
<i>Shigella spp.</i>	
✓ <i>S. flexneri</i>	$10^2 > 10^9$
✓ <i>S. dysenteriae</i>	$10 - > 10^4$
<i>Staphylococcus aureus</i>	$10^5 - > 10^6$
<i>Vibrio cholerae</i>	$10^3$
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	$10^6 - 10^9$
<i>Yersinia enterocolitica</i>	$3,9 \times 10^7$
HAV	-
Ιοί τύπου Norwalk	-



Πίνακας 3. Σχέση ελάχιστης δόσης που προκαλεί ασθένεια και κριτήρια για τελικά προϊόντα

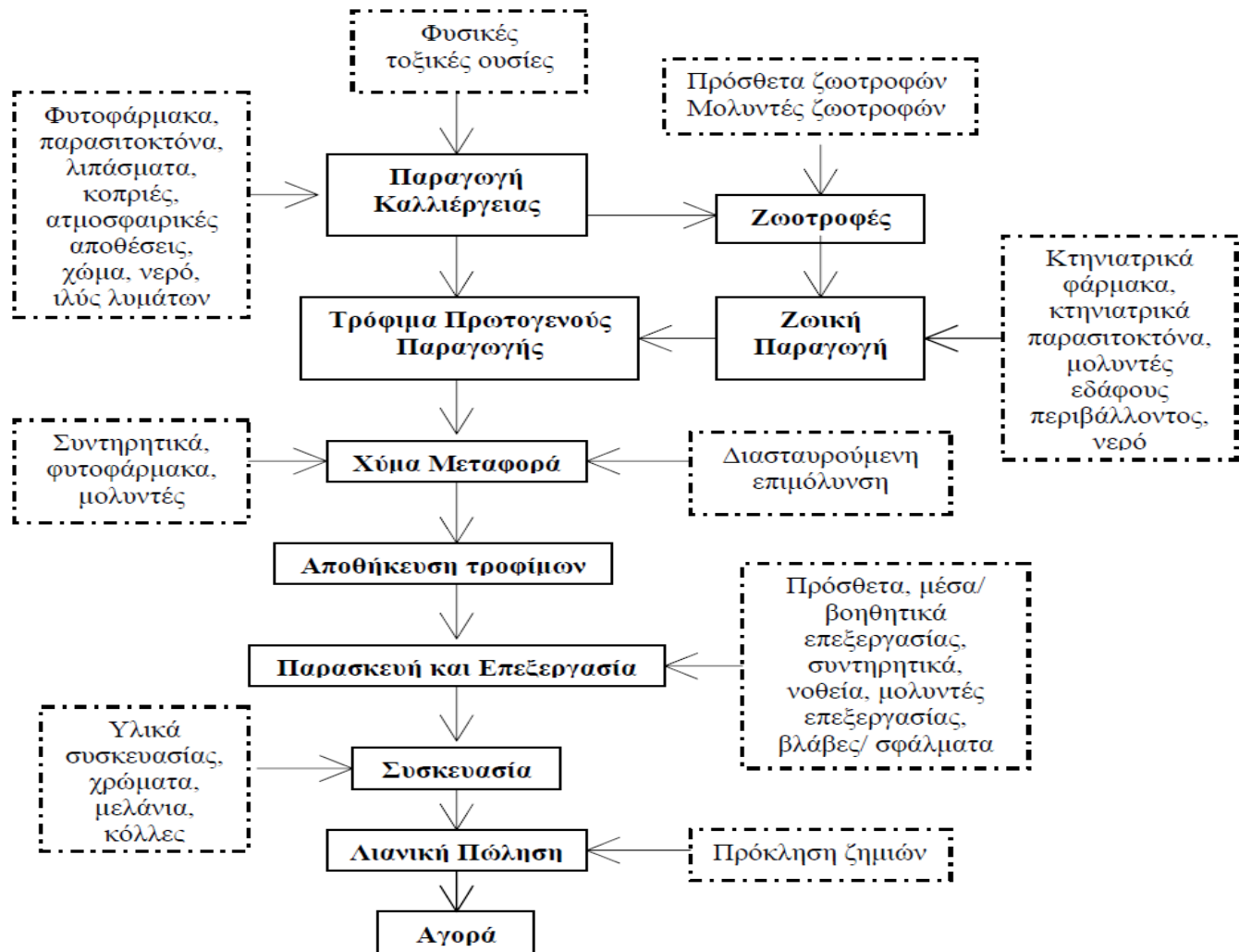
Παθογενείς Μικροοργανισμοί	Ελάχιστη δόση που θεωρείται ότι προκαλεί ασθένεια	Πιθανότητα μόλυνσης από έκθεση σε 1 οργανισμό	Γενικό κριτήριο για χρήση σε τελικό προϊόν
Μολυσματικοί μικροοργανισμοί			
<i>Shigella</i>	1	$1.0 \times 10^{-3}$	Απουσία /25g
<i>Salmonella</i>	1	$2.3 \times 10^{-3}$	Απουσία /25g
<i>Campylobacter</i>	1-10	$1.0 \times 10^{-3}$	Απουσία /25g
<i>Listeria Monocytogenes</i>	$> 10^3$		$< 100/g$
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	$> 10^4$		$< 10^3/g$
Τοξικού τύπου μικροοργανισμοί			
<i>Clostridium perfringens</i>	$> 10^6$		$< 10^5-10^6/g$
<i>Bacillus cereus</i>	$> 10^6$		$< 10^5-10^6/g$
Μικροοργανισμοί που προκαλούν δηλητηριάσεις			
<i>Staphylococcus aureus</i>	$> 10^6$		$< 10^5-10^6/g$



Σοβαρότητα (S)	Επικινδυνότητα - Πιθανότητα εμφάνισης κινδύνου (P)			
	Απίθανη (1)	Σποραδική (2)	Πιθανή (3)	Κοινή (4)
Πολύ υψηλή (4)	2	3	4	4
Υψηλή (3)	2	3	3	4
Μέτρια (2)	1	2	3	3
Χαμηλή (1)	1	1	2	2

Πίνακας 5. Σχήμα Βαθμολόγησης ημι-ποσοτικής εκτίμησης κινδύνων

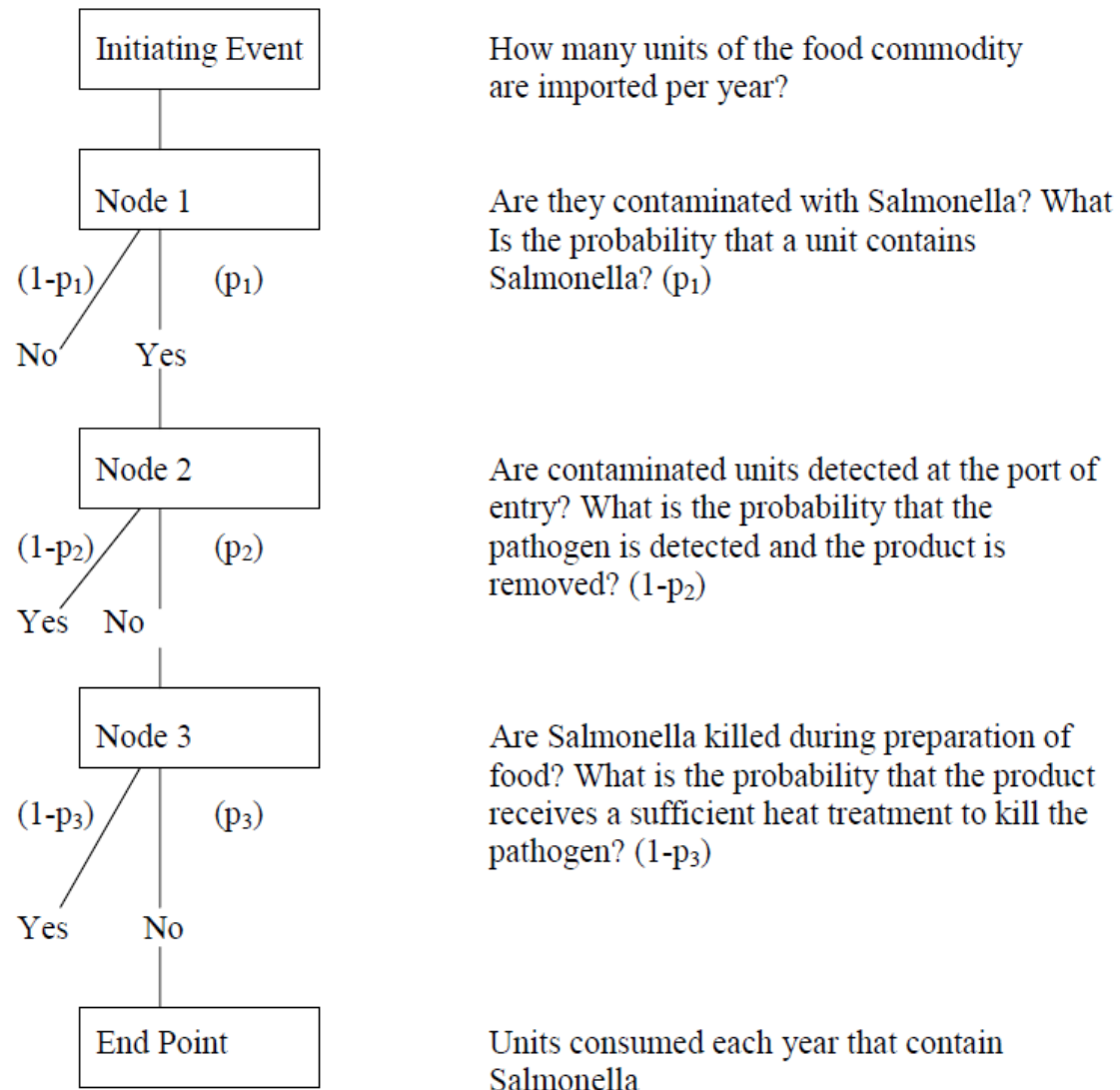




Σχήμα 1. Αλυσίδα τροφίμων



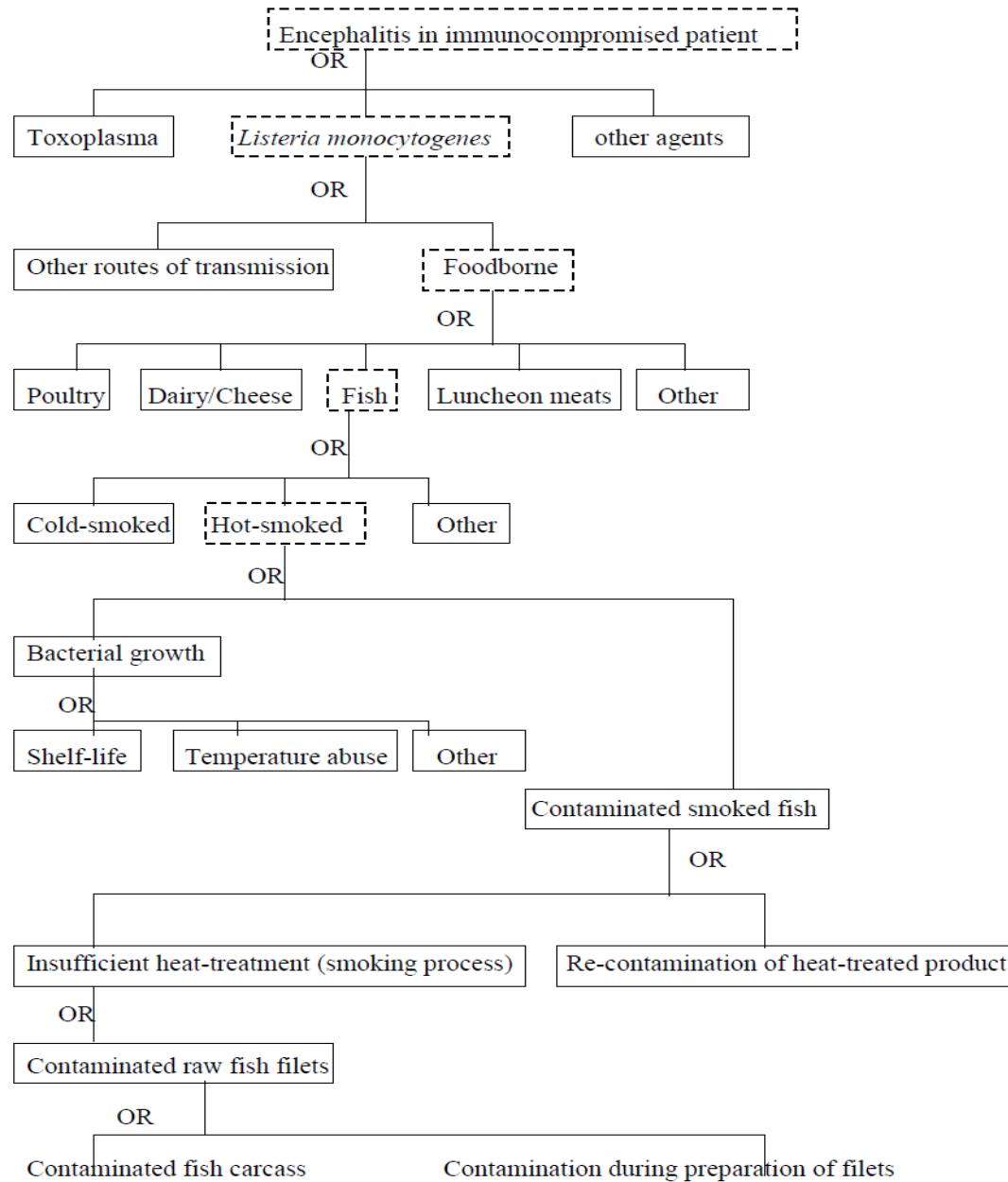
Figure 3.1a. Illustration of a simple Event Tree



p<sub>EP</sub>= Probability of endpoint  
 F<sub>EP</sub>= Frequency of endpoint



Figure 3.1b. Illustration of a Fault Tree



# Μοντελοποίηση κινδύνου

## 1. Εκτίμηση κινδύνου

- Ταυτοποίηση κινδύνου: Ταυτοποίηση υδατογενών μικροοργανισμών
- Χαρακτηρισμός κινδύνων: Μολυσματική δόση σε σχέση με το ξενιστή
- Αξιολόγηση έκθεσης: Κατανάλωση ιών στο νερό
- Ανάλυση κινδύνου: Υπολογισμός κινδύνου μόλυνσης

## 2. Διαχείριση κινδύνου

- Ανάλυση κόστους-επίπτωσης: Αξιολόγηση πιθανών παρεμβάσεων
- Εφαρμογή επιλεγμένων παρεμβάσεων
- Επιτήρηση: Αποτελεσματικότητα επιλεγμένων παρεμβάσεων

## 3. Ενημέρωση κινδύνου

- Ενημέρωση στα εμπλεκόμενα μέρη



## Σημαντικά βήματα στην QMRA

- Ταυτοποίηση κινδύνου
- Εκτίμηση έκθεσης
- Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας
- Αριθμός μικροοργανισμών σε μια ποσότητα νερού
- Πιθανότητες
- Κατανομές
- Ποικιλότητα και Αβεβαιότητα



# Παράδειγμα

- Πως μπορείς να επιστρέψεις από το ξενοδοχείο με ασφάλεια

Failure/problem	O	D	S	RPN = O x D x S
Trip or fall	2	5	3	30
Runover by bus	1	5	5	25
Runover by bike	3	5	3	45
Mugged	2	3	4	24
Lost	4	1	5	25
Shopping	5	1	2	10

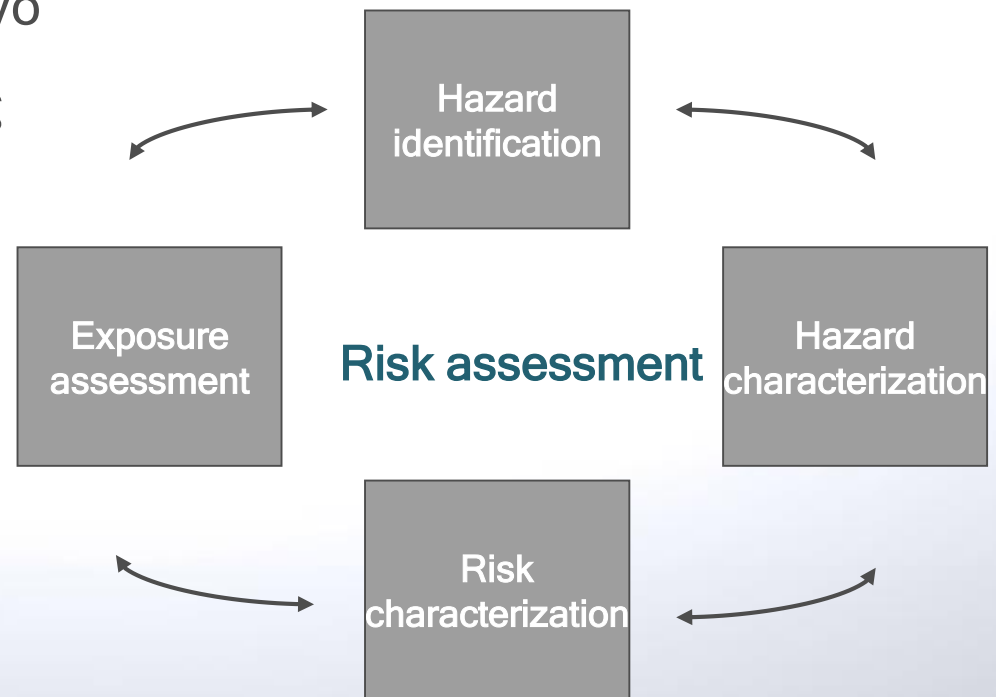


- O= Πιθανότητα να συμβεί, D= Πιθανότητα να καταγραφεί S= Σοβαρότητα

# Εκτίμηση κινδύνου (Risk)

Εκτίμηση επικινδυνότητας αποτελείται από τα παρακάτω βήματα :

- ταυτοποίηση κινδύνου
- Χαρακτηρισμός κινδύνου
- Αξιολόγηση έκθεσης στον κίνδυνο
- Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας



# Σκοπός της QMRA

Τα τρόφιμα ή το νερό δεν είναι πάντα ασφαλή

## Βιομηχανία

- Θέλει να παράγει ασφαλές προϊόν
- Θέλει να μειώσει τον κίνδυνο ανασφαλούς προϊόντος

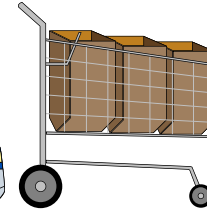
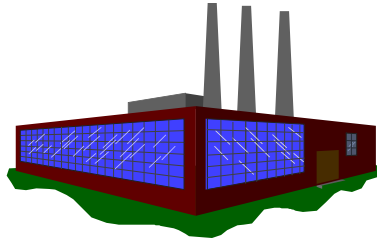
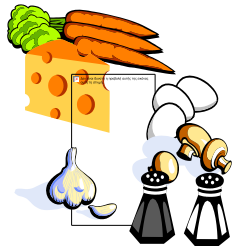
## Κυβέρνηση

- Χρειάζεται να προστατεύσει τον πληθυσμό από ασθένειες

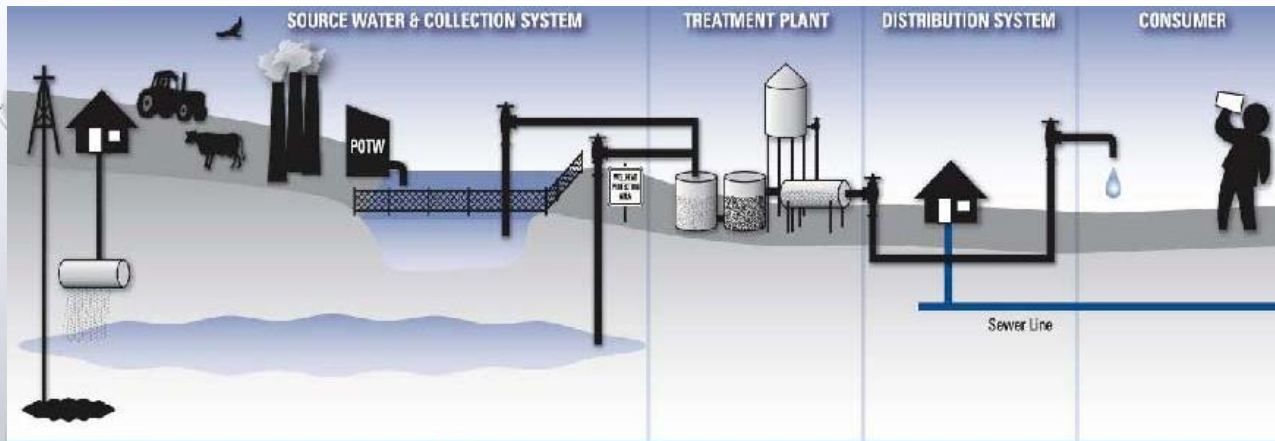
## Γενικά θέματα

- Αξιολόγηση της ασθένειας από ένα παθογόνο και / ή το συνδυασμό παθογόνου προϊόντος
- Αξιολόγηση των επιπτώσεων από στρατηγικές ελέγχου





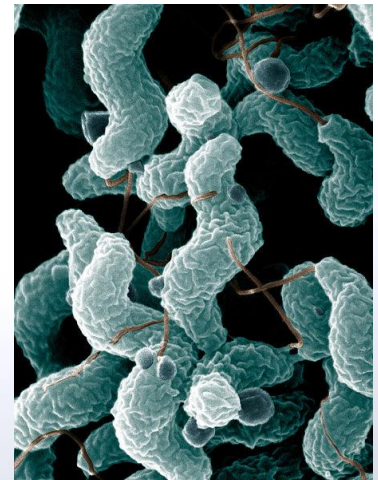
Για ένα απλό συνδυασμό τροφίμου/νερού και παθογόνου  
MRA μπορεί να περιλαμβάνει όλα τα στάδια



# Ταυτοποίηση κινδύνου

Για παράδειγμα: ένα διαρροϊκό παθογόνο μπορεί να βρίσκεται στο νερό και τα τρόφιμα

- Ποιος είναι ο παράγοντας?
  - Thermophilic *Campylobacter* spp.
- Ποιες είναι οι επιπτώσεις στην υγεία?
  - Διάρροια
  - Guillain-Barré syndrome
  - Αρθρίτιδα
  - Bowel Syndrome
  - ....
  - Θάνατος



Viruses (20-200 nm)

**noroviruses, enteroviruses, hepatitis A and E  
viruses**

Bacteria (1-3  $\mu\text{m}$ )

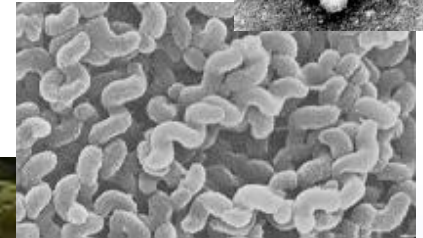
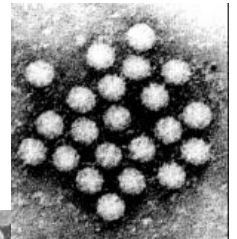
***Campylobacter, Salmonella, E. coli O157***

Parasitic protozoa (5-10  $\mu\text{m}$ )

***Cryptosporidium, Giardia***

Gastrointestinal illness (diarrhea, vomiting), but also severe illness  
Fecal origin (human and animal) $\Rightarrow$  excretion $\Rightarrow$ water

In water: NO replication (growth), but INACTIVATION  
(decay, die-off, faster at higher temperatures)



# Υδατογενείς παθογόνοι μικροοργανισμοί

Βρίσκονται φυσιολογικά στο νερό  
Μπορούν να αυξηθούν σε ιδανικές θερμοκρασίες

*Pseudomonas aeruginosa*  
(ear- and skin infections)



Cyanobacteria  
(blue algae, mycotoxins)



*Legionella pneumophila*  
(Legionair's disease)



Larvae of flatworm *Trichobilharzia ocellata*  
(swimmer's itch)





# Παραγωγή νερού στην Ολλανδία



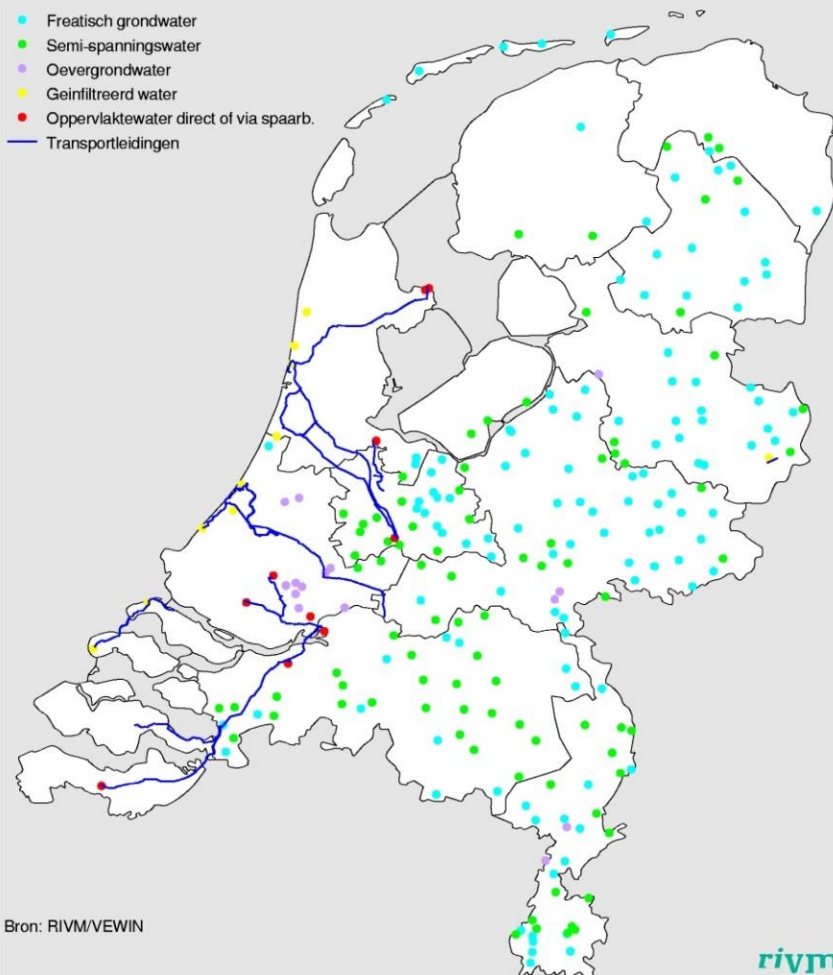
2/3 Groundwater  
1/3 Surface water (14 sites)

- unconfined aquifer
- (semi)confined aquifer
- river bank filtration
- artificial recharge
- surface water direct intake or storage reservoirs
- pipelines



## Winningstypen en transportleidingen 2001

- Freatisch grondwater
- Semi-spanningswater
- Oevergrondwater
- Geïnfiltreerd water
- Oppervlaktewater direct of via spaarb.
- Transportleidingen



Bron: RIVM/VEWIN

Datum: Thursday 27-Jun-02 15:48

## Ταυτοποίηση κινδύνου

Ποια παθογόνα είναι σχετικά

Συγκέντρωση παθογόνων στο νερό πηγής

Απομάκρυνση παθογόνου μέσω επεξεργασίας (απολύμανση/διήθηση)

Treatment efficiency from data on removal of indicator organisms

Υπολογισμός συγκέντρωσης πόσιμου νερού

## Πηγή συγκέντρωσης παθογόνου

$C_s$  = αριθμός παθογόνων ανά όγκο νερού

## Ικανότητα επανάκτησης

$R = 0 - 100\%$ . Δεν ανιχνεύεται κάθε παθογόνο σε ένα δείγμα

## Επεξεργασία: Απομάκρυνση

$Z = 0-1$  (ποσοστό μικροοργανισμών που ξεπερνάνε την επεξεργασία)

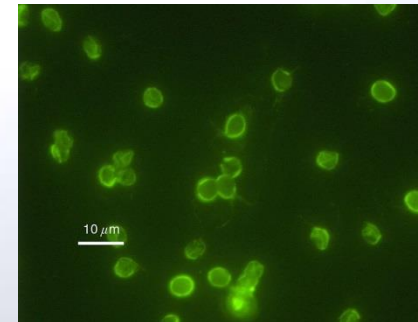
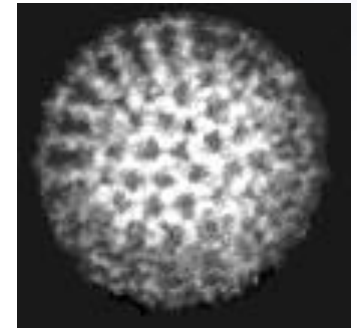
$Z=0.1 \Rightarrow 10\%$  περνάει; Απομάκρυνση 90%; Log removal=1

## Συγκέντρωση στο πόσιμο νερό

$C_{drw} = C_s / R \times Z (\approx 10^{-6} \text{ liter}^{-1})$



- Εκτίμηση κινδύνου  
 $C_{rw} = C_s / R \times Z$  ( $\approx 10^{-6}$  liter $^{-1}$ )
- Έκθεση  
 $D = C_{rw} \times V$
- Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας
  - Δεν προκαλεί ασθένεια κάθε παθογόνο. Μολυσματική δόση
  - Κίνδυνος μόλυνσης  $\geq$  Κίνδυνος ασθένειας
- Μολυσματικότητα  $r = 0-1$
- Κίνδυνος μόλυνσης/άτομο/ημέρα => ανά άτομο/έτος  
 $p_{inf} = D \times r \leq 10^{-4}$  /άτομο/έτος



- $p_{inf} = C_s / R \times Z \times V \times r$

# QMRA

## Ταυτοποίηση κινδύνου

$$C_{drw} = C_s / R \times Z (\approx 10^{-6} \text{ liter}^{-1})$$

## Έκθεση

Συγκέντρωση παθογόνου στο πόσιμο νερό

Όγκος πόσιμου νερού που καταναλώνεται

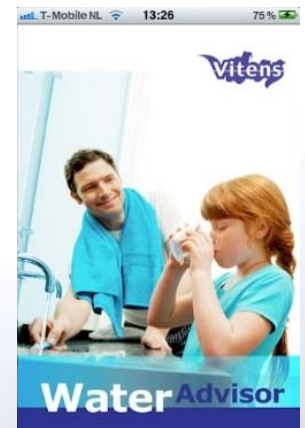
Προϊόν = δόση = αριθμός παθογόνων που καταπίνονται

## Κατανάλωση νερού

$V \approx 0.27$  λίτρα/άτομο/ημέρα

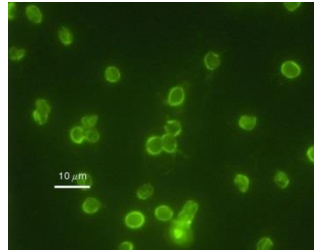
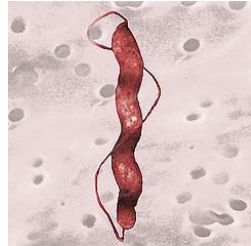
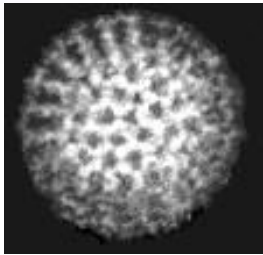
Δόση = Αριθμός παθογόνων που καταπίνονται/άτομο/ημέρα

$$D = C_{drw} \times V$$



▶ **Να γνωρίζουμε την ποιότητα του νερού προέλευσης= συγκεντρώσεις δεικτών παθογόνων**

▶ Enterovirus    *Campylobacter*    *Cryptosporidium*    *Giardia*



- ▶ Δείκτες παθογόνοι αντιπροσωπεύουν ιούς, βακτηρια και πρωτόζωα
- ▶ Γνωρίζουμε την απομάκρυνση παθογόνων με απολύμανση και διήθηση.
- ▶ Χρησιμοποιούμε δείκτες που συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο στο νερό;



Index pathogens		Indicator organisms	
Enteroviruses	20-200 nm	Bacteriophages	20-60 nm
<i>Campylobacter</i>	1-2 μm	<i>E.coli</i>	1-2 μm
<i>Cryptosporidium</i>	5-6 μm	Spores of sulphite	
<i>Giardia</i>	8-10 μm	reducing clostridia (SSRC)	1 μm

# QMRA Αξιολόγηση στην Ολλανδία



Drinking water companies

QMRA dossier  
1st time: Historic data  
New data every 3 years

Decision  
If not OK:  
Extra treatment /  
more data

RIVM

National Institute for Public  
Health and the Environment

Environmental  
Inspectorate

QMRA report  
Recommendations



# QMRA από το επιφανειακό στο πόσιμο νερό

- $C_{sw}$  = Συγκέντρωση του παθογόνου στην πηγή [N/liter]
  - $R$  = Ανάκτηση = Ποσοστό παθογόνων που ανιχνεύονται [-]
  - $Z$  = Ποσοστό των μικροοργανισμών που περνούν την επεξεργασία [-]
  - $C_{drw}$  = Συγκέντρωση παθογόνων στο πόσιμο νερό [N/liter]
  - $V$  = Κατανάλωση πόσιμου νερού [liter]
  - $r$  = Μολυσματικότητα παθογόνου [-]
  - $P_{inf}$  = κίνδυνος μόλυνσης [ $T^{-1}$ ]
- 
- $P_{inf,day} = C_{sw} \times 1/R \times Z \times V \times r$
  - $P_{inf,year} = 365 \times P_{inf,day}$

- $$P_{inf,year} = 1 - \prod_{i=1}^{365} (1 - P_{inf,day_i})$$



## Άσκηση

- $C_{sw}$  = 1 [N/liter]
- $R$  = 0.8 [-]
- $Z$  = 0.00001 [-]
- $C_{drw}$  =  $1.25 \times 10^{-5}$  [N/liter]
- $V$  = 0.25 [liter]
- $r$  = 0.5 [-]
  
- $P_{inf,day}$  =  $1.56 \times 10^{-6}$  [person<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>]
- $P_{inf,year}$  =  $5.7 \times 10^{-4}$  [person<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>]

$C_{sw}, R, Z, C_{drw}, V, r, P_{inf,day}, P_{inf,year}$

- Σταθερές τιμές
- Σημειακοί υπολογισμοί
- Μέσοι όροι τιμών

### Αλλά

- Όχι σταθερό
- Ποικίλο και αβέβαιο
- Έχει κατανομή



## Monte Carlo simulation

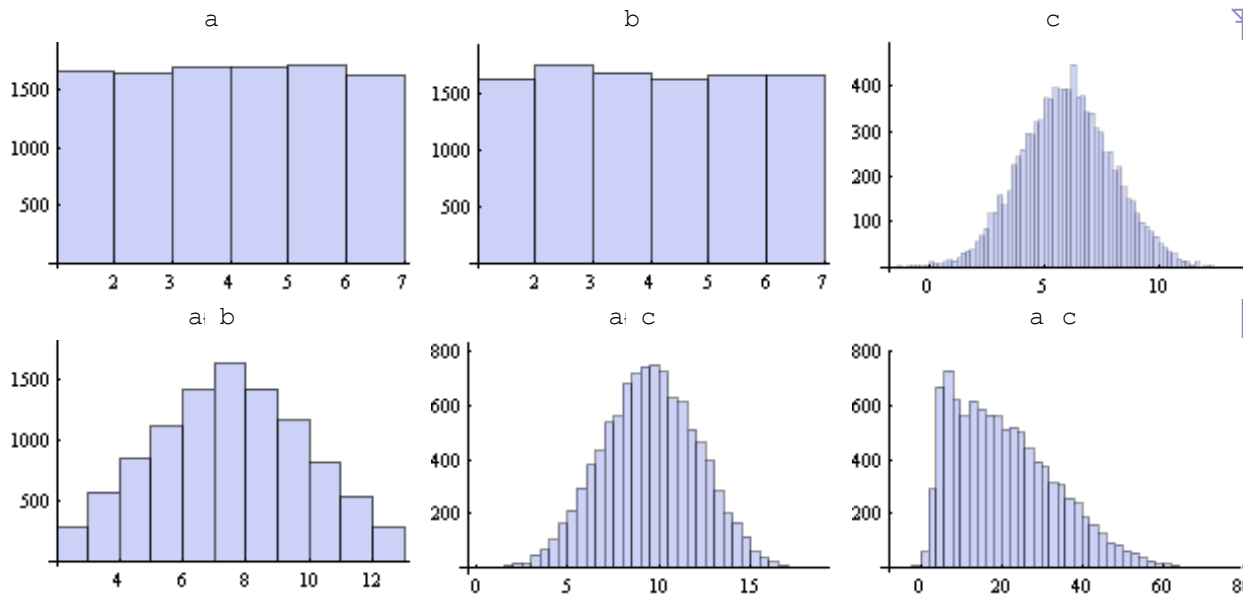
- QMRA
  - Όχι μονές τιμές / σημειακοί υπολογισμοί / μέσες τιμές
  - Κατανομές: Uniform/Normal/Lognormal/Poisson/Gamma/Beta/etc.
- Παράδειγμα Monte Carlo simulation (Mathematica code)
  - Δέκα ζαριές; Οι τιμές είναι ***a***  
***a = RandomInteger[{1,6},10] = {1,2,3,1,4,5,1,1,2,5}***
  - Φορέας ***b*** περιλαμβάνει άλλες δέκα ζαριές  
***b = RandomInteger[{1,6},10] = {2,5,5,6,3,1,4,1,6,1}***
  - Γινόμενο ***a*** και ***b***: i-th ψηφίο του ***a*** πολλαπλασιάζεται με το i-th ψηφίο του ***b***  
***ab = {2,10,15,6,12,5,4,1,12,5}***
  - Ο μέσος αριθμός των ***a*** φορών επί το μέσο του ***b*** είναι περίπου ο μέσος ***ab***  
***{Mean@a,Mean@b,Mean@a Mean@b,Mean@(a b)}=***  
***{2.5,3.4,8.5,7.2}***
  - Οι δυο τελευταίες μέσες τιμές διαφέρουν λιγότερο αν ο αριθμός των ζαριών είναι μεγαλύτερος. Αν οι συνδυασμοί περισσότερων και skewed κατανομών η μέση αξία της συνδυασμένης πιθανότητας μπορεί να διαφέρει σημαντικά από το συνδυασμό των ξεχωριστών μέσων όρων.



# Monte Carlo simulation

```
In[88]:= his[ data_ ] := Histogram[ data , ImageSize -> 200]
```

```
In[129]:= n: 10000 ;
a: RandomInteger[ { 1, 6 } , n ] ;
b: RandomInteger[ { 1, 6 } , n ] ;
c: RandomReal[ NormalDistribution[ 6, 2 ] , n ] ;
Grid[ {
  { "a", "b", "c" } ,
  { his[ a ], his[ b ], his[ c ] } ,
  { "a b", "a c", "a c" } ,
  { his[ a + b ] , his[ a + c ] , his[ a c ] } }
```



Out[133]=



## QMRA from surface water to drinking water

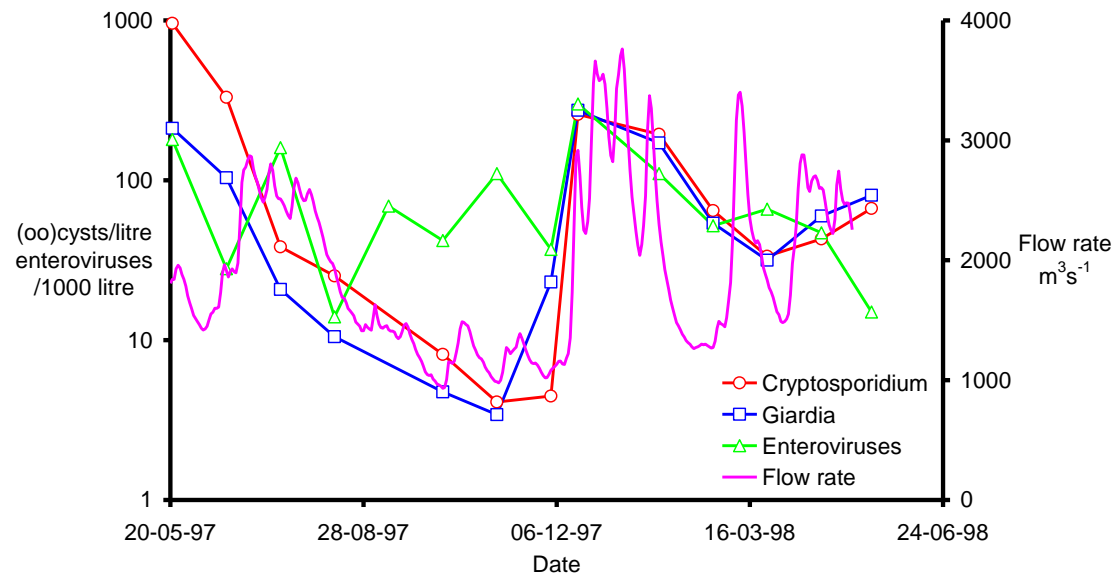
- $C_{sw}$  = Pathogen concentration in source water [N/liter]
  - $R$  = Recovery = fraction of detected pathogens [-]
  - $Z$  = Fraction of microorganisms passing treatment [-]
  - $C_{dw}$  = Pathogen concentration in drinking water [N/liter]
  - $V$  = Consumption of unboiled drinking water [liter]
  - $r$  = Infectivity of pathogen [-]
  - $p_{inf}$  = Infection risk [ $T^{-1}$ ]
- 
- Measure regularly, preferably at least monthly, pathogen concentrations in surface water
  - Also analyse samples of water at extreme events like heavy rainfall



## QMRA from surface water to drinking water

- $C_{SW}$  = Pathogen concentration in source water [N/liter]

- River Rhine at Lobith



- Example of concentration levels of index pathogens in a river.
- Levels depend on location and season



# QMRA from surface water to drinking water

- $C_{sw}$  = Pathogen concentration in source water [N/liter]
  - **$R$**  = Recovery = fraction of detected pathogens [-]
  - $Z$  = Fraction of microorganisms passing treatment [-]
  - $C_{dw}$  = Pathogen concentration in drinking water [N/liter]
  - $V$  = Consumption of unboiled drinking water [liter]
  - $r$  = Infectivity of pathogen [-]
  - $p_{inf}$  = Infection risk [ $T^{-1}$ ]
- Not all pathogens in a sample of water are detected (counted) because the detection method is not perfect
  - By spiking water with known numbers it is possible to determine the recovery efficiency of the detection method
  - If, for example, recovery is 10%, then the actual pathogen concentration is ten times higher

Enterovirus	40-90%	Rutjes et al, RIVM 3000 0007/2004
<i>Campylobacter</i>	Most Probable Number	
<i>Cryptosporidium</i>	0.7-88%	Schets et al, RIVM 3000 0008/2004
<i>Giardia</i>	1.8-22%	Schets et al, RIVM 3000 0008/2004

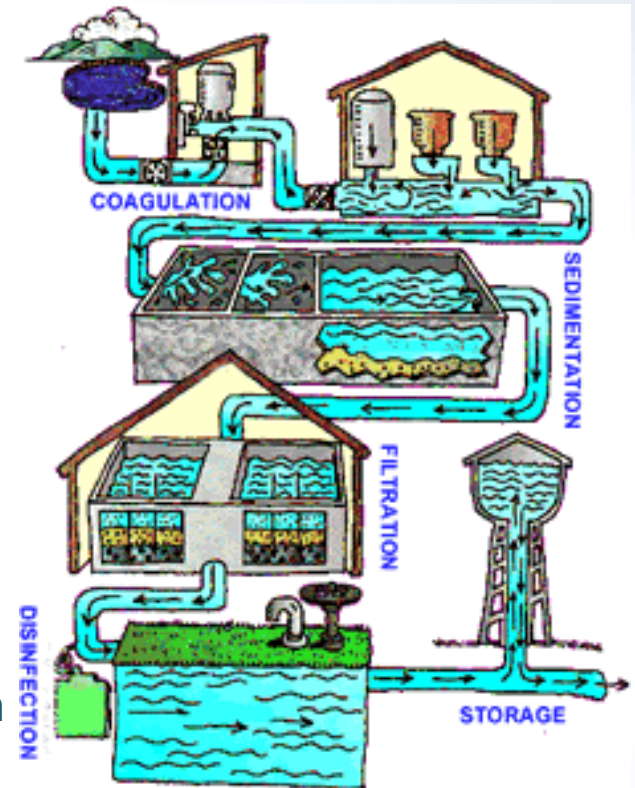
# QMRA from surface water to drinking water

- $C_{sw}$  = Pathogen concentration in source water [N/liter]
- $R$  = Recovery = fraction of detected pathogens [-]
- **$Z$**  = Fraction of microorganisms passing treatment [-]
- $\text{Log}_{10}Z$  is log removal by treatment
- Required removal
  - 4 – 8  $\text{log}_{10}$  = a concentration reduction of 10 000 – 100 000 000 times
  - Depends on time and location
  - Multiple barriers = series of treatment for robustness
- Disinfection
  - UV, ozone, chlorine
- Filtration
  - Membrane filtration, slow sand filtration, dune passage



# Drinking water treatment

- Disinfection
  - Damages (kills) microorganisms
- Filtration
  - Removes microorganisms
- Removal by treatment, example
  - 99% is removed/killed/retained
  - Fraction: 1% passes treatment
  - Removal  $2 \log_{10}$
- Source water (river, lake)
  - 1-100 pathogens per liter
- NL-safe drinking water: maximum one pathogen
- Need a series of treatment: Multibarriers
  - Commonly 4 to 8 log removal



# QMRA from surface water to drinking water

- $C_{sw}$  = Pathogen concentration in source water [N/liter]
- $R$  = Recovery = fraction of detected pathogens [-]
- $Z$  = Fraction of microorganisms passing treatment [-]
- $\text{Log}_{10}Z$  is log removal by treatment

## Data of indicator organisms

1. Raw data: Counts and sample sizes before and after treatment
2. Location specific conditions
3. Full scale
4. Pilot plant scale
5. Laboratory scale
6. Literature data from other locations and scales



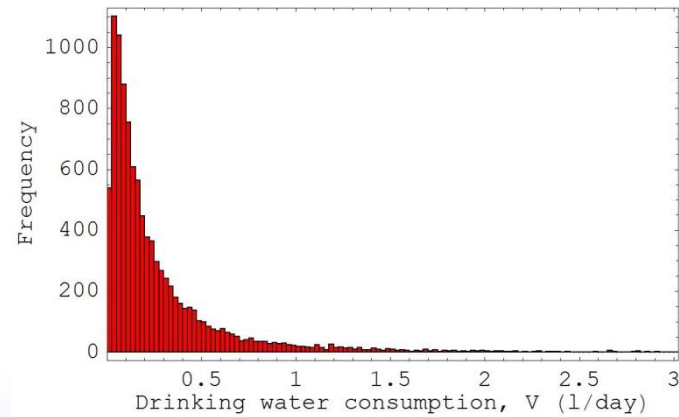
# QMRA from surface water to drinking water

- $C_{sw}$  = Pathogen concentration in source water [N/liter]
- $R$  = Recovery = fraction of detected pathogens [-]
- $Z$  = Fraction of microorganisms passing treatment [-]
- $C_{dw}$  = Pathogen concentration in drinking water [N/liter]
- $C_{dw} = C_{sw} \times 1/R \times Z$
- $C_{sw} \approx 0.01 - 100$  pathogens per liter
- $\text{Log}_{10} Z \approx 4 - 8 \text{ log}_{10}$
- $C_{dw} \approx 10^{-6}$  pathogens per liter



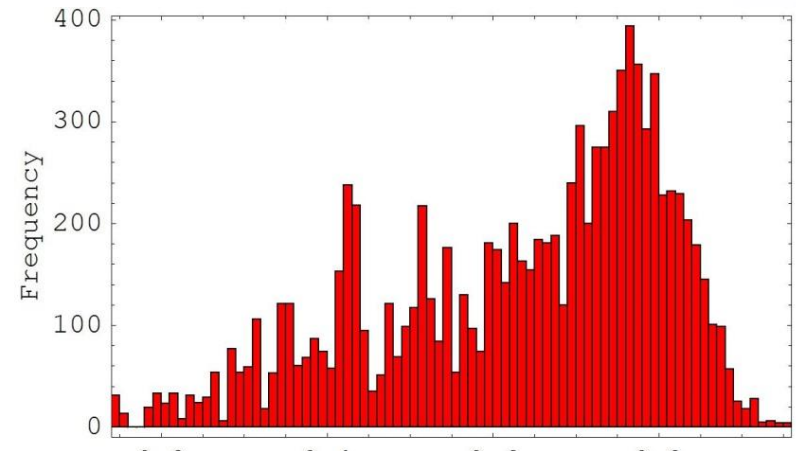
# QMRA from surface water to drinking water

- $C_{sw}$  = Pathogen concentration in source water [N/liter]
- $R$  = Recovery = fraction of detected pathogens [-]
- $Z$  = Fraction of microorganisms passing treatment [-]
- $C_{dw}$  = Pathogen concentration in drinking water [N/liter]
- $V$  = Consumption of unboiled drinking water [liter]
- Average per person 0.27 L/day in the Netherlands, up to a few liters.
- Average per person in US 1 L/day
- Exposure = Dose  $D$ 
  - $D = C_{dw} \times V$
  - = Numbers of ingested pathogens/day from unboiled tap water



# QMRA from surface water to drinking water

- $C_{sw}$  = Pathogen concentration in source water [N/liter]
- $R$  = Recovery = fraction of detected pathogens [-]
- $Z$  = Fraction of microorganisms passing treatment [-]
- $C_{dw}$  = Pathogen concentration in drinking water [N/liter]
- $V$  = Consumption of unboiled drinking water [liter]
- $r$  = Infectivity of pathogen [-]
- Not every pathogen causes infection
- Probability of infection
- Probability of illness  $\leq$  Probability of infection
- $r$  = fraction of infectious particles (dose response relation, Teunis et al., Risk Analysis, 1999, 19:1251-260)
- $r$  of enteroviruses highly variable
- Rotavirus most infectious virus



# QMRA from surface water to drinking water

- $C_{sw}$  = Pathogen concentration in source water [N/liter]
- $R$  = Recovery = fraction of detected pathogens [-]
- $Z$  = Fraction of microorganisms passing treatment [-]
- $C_{dw}$  = Pathogen concentration in drinking water [N/liter]
- $V$  = Consumption of unboiled drinking water [liter]
- $r$  = Infectivity of pathogen [-]
- $P_{inf}$  = Infection risk [ $T^{-1}$ ]
- $P_{inf,day} = C_{sw} \times 1/R \times Z \times V \times r$
- $P_{inf,year} = 365.25 \times P_{inf,day}$  or

$$P_{inf,year} = 1 - \prod_{i=1}^{365} (1 - P_{inf,day_i})$$



# Dose response relationship

- One pathogen may cause infection with probability  $r$
- One pathogen may not cause infection with probability  $1-r$
- $D$  pathogens may all not cause infection with probability  $(1-r)^D$
- At least one of  $D$  pathogens may cause infection with probability  $1-(1-r)^D \Rightarrow$  Binomial dose response relationship

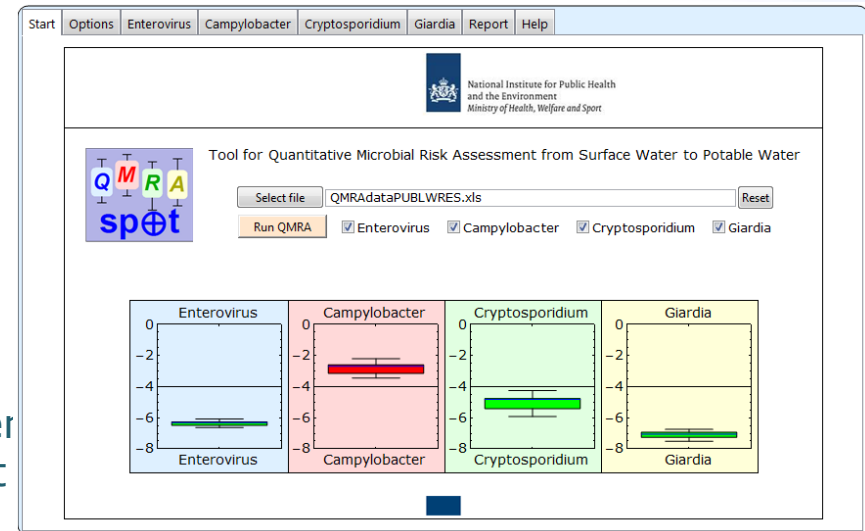
$D$ =dose =number of pathogens	$r$ Constant	$r$ Beta $[\alpha,\beta]$ distributed	
$D$ constant	Binomial $p_{inf}=1-(1-r)^D$	Betabinomial $p_{inf}=1-(B[\alpha,\beta+D]/B[\alpha,\beta])$	
$D$ Poisson Distributed	Exponential $p_{inf}=1-Exp[-rD]$	Hypergeometric $p_{inf}=1-{}_1F_1[\alpha, \alpha+\beta, -D]$	BetaPoisson $\alpha \ll \beta \lambda \beta \gg 1$ $p_{inf}=1-(1+D/\beta)^{-\alpha}$

- Teunis & Havelaar, Risk Analysis, 2000



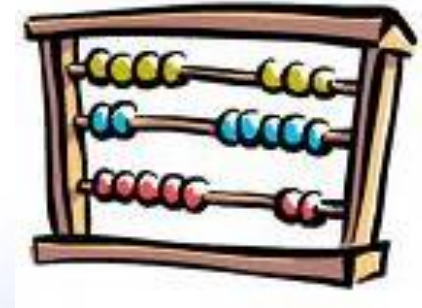
# QMRA from surface water to drinking water

- Tool QMRAspot presents infection risks as distributions (box whisker plot)
- QMRAspot is freely available
  - [QMRAspot@rivm.nl](mailto:QMRAspot@rivm.nl)
- Causes for risk exceeding target
  - Treatment efficiency has not been
  - Because of insufficient treatment
- Action
  - Characterize treatment better
  - Apply more treatment



# Microbiologic data for QMRA

- Inspectorate Guideline 5318: QMRA every three years
- 1<sup>st</sup> time of QMRA
  - Historic data
  - Reports with detailed descriptions of drinking water production sites
- 2<sup>nd</sup> time of QMRA (2010-2012)
  - New data from approved monitoring programs
- Raw data = unprocessed data
  - Quantitative methods => Counts (N) and Sample sizes (V)
  - Sample size: the actual analyzed size (volume) of the sample
  - Most Probable Number: MPN-scheme (sample sizes) with 0 or 1
- Spreadsheet
  - Scheme: Drinking water treatment and data selection
  - Raw data in columns
  - Set up after consulting drinking water companies
  - Adaptation of LIMS
- Computational tool: **QMRAspot**



# Index pathogen source water concentration,

$$C_{SW}$$

- Last open water before treatment
- Sample scheme in relation with production capacity
- Regular sampling
- Peak events
- Counts and volumes: Negative Binomial  $[r, 1/(1+\lambda V_i)]$
- Concentrations: Gamma  $[r, \lambda]$



National Institute for Public Health and the Environment  
Ministry of Health, Welfare and Sport

**QMRAspot** Tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from Surface Water to Potable Water www.rivm.nl

RIVM-Bilthoven

Data Options Enterovirus Campylobacter Cryptosporidium Giardia Report Help

Select file: QMRAdata-SEOUL.xls Elapsed time: 00:07

Run QMRA

Data	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Distribution parameters	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input type="checkbox"/>
	Treatment	<input type="checkbox"/>
Plots	Source water	<input type="checkbox"/>
	Treatment	<input type="checkbox"/>
Monte Carlo data	Source water concentration	<input type="checkbox"/>
	Recovery	<input type="checkbox"/>
	Corrected source water concentration	<input type="checkbox"/>
	Treatment	<input type="checkbox"/>
	Drinking water concentration	<input type="checkbox"/>
	Consumption	<input type="checkbox"/>
	Exposure	<input type="checkbox"/>
Infection risk per person day	<input type="checkbox"/>	
Infection risk per person year	<input type="checkbox"/>	

# Recovery efficiency of detection method, $R$

- Preferably determined for each sample
- Paired spike and recovery data
- $R$ : Beta  $[\alpha, \beta]$ , fraction (0-1)
- If no data  $R=1$

National Institute for Public Health and the Environment  
Ministry of Health, Welfare and Sport

## QMRAspot

Tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from Surface Water to Potable Water

www.rivm.nl

RIVM-Bilthoven

Data Options Enterovirus Campylobacter Cryptosporidium Giardia Report Help

Select file | QMRAdata-SEOUL.xls

Run QMRA Elapsed time: 00:42

Data	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Distribution parameters	Source water	<input type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input type="checkbox"/>
Plots	Source water	<input type="checkbox"/>
	Treatment	<input type="checkbox"/>
Monte Carlo data	Source water concentration	<input type="checkbox"/>
	Recovery	<input type="checkbox"/>
	Corrected source water concentration	<input type="checkbox"/>
	Treatment	<input type="checkbox"/>
	Drinking water concentration	<input type="checkbox"/>
	Consumption	<input type="checkbox"/>
	Exposure	<input type="checkbox"/>
Infection risk per person day	<input type="checkbox"/>	
Infection risk per person year	<input type="checkbox"/>	



# Treatment $Z_{1..6}$

- Unpaired influent and effluent data
- Beta  $[\alpha, \beta]$ , fraction (0-1)
- If only zero counts in influent then  $Z_i = 1$
- If only zero counts in effluent then  $Z_i$  can be estimated as well

National Institute for Public Health and the Environment  
Ministry of Health, Welfare and Sport

**QMRAspot** Tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from Surface Water to Potable Water www.rivm.nl

RIVM-Bilthoven

Data Options Enterovirus Campylobacter Cryptosporidium Giardia Report Help

Select file | QMRAdata-SEOUL.xls

Run OMRA Elapsed time: 00:44

Data	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Distribution parameters	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Plots	Source water	<input type="checkbox"/>
	Treatment	<input type="checkbox"/>
Monte Carlo data	Source water concentration	<input type="checkbox"/>
	Recovery	<input type="checkbox"/>
	Corrected source water concentration	<input type="checkbox"/>
	Treatment	<input type="checkbox"/>
	Drinking water concentration	<input type="checkbox"/>
	Consumption	<input type="checkbox"/>
	Exposure	<input type="checkbox"/>
	Infection risk per person day	<input type="checkbox"/>
Infection risk per person year	<input type="checkbox"/>	



# Plots

- Time plots of concentrations of index pathogens of indicator organisms
- Plots include a line for the mean concentration and a coloured area encompassing 95% of all concentrations
- Concentrations higher than the 95-percentile are considered as peak concentrations



National Institute for Public Health and the Environment  
Ministry of Health, Welfare and Sport

**QMRAspot** Tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from Surface Water to Potable Water www.rivm.nl

RIVM-Bilthoven

Data Options Enterovirus Campylobacter Cryptosporidium Giardia Report Help

Select file QMRAdata-SEOUL.xls Elapsed time: 00:48

Run OMRA

Data	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Distribution parameters	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Plots	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Monte Carlo data	Source water concentration	<input type="checkbox"/>
	Recovery	<input type="checkbox"/>
	Corrected source water concentration	<input type="checkbox"/>
	Treatment	<input type="checkbox"/>
	Drinking water concentration	<input type="checkbox"/>
	Consumption	<input type="checkbox"/>
	Exposure	<input type="checkbox"/>
	Infection risk per person day	<input type="checkbox"/>
Infection risk per person year	<input type="checkbox"/>	

# Monte Carlo data

- 10 000 samples from distributions from source water concentration and recovery
- Source water concentration  $\times$   $1/\text{Recovery}$  = Corrected source water concentration



National Institute for Public Health and the Environment  
Ministry of Health, Welfare and Sport

## QMRAspot

Tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from Surface Water to Potable Water

www.rivm.nl

RIVM-Bilthoven

Data Options Enterovirus Campylobacter Cryptosporidium Giardia Report Help

Select file QMRAdata-SEOUL.xls

Run QMRA Elapsed time: 00:51


Data	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Distribution parameters	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Plots	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Monte Carlo data	Source water concentration	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Corrected source water concentration	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input type="checkbox"/>
	Drinking water concentration	<input type="checkbox"/>
	Consumption	<input type="checkbox"/>
	Exposure	<input type="checkbox"/>
Infection risk per person day	<input type="checkbox"/>	
Infection risk per person year	<input type="checkbox"/>	



# Monte Carlo data

- 10 000 samples from distributions from source water concentration and recovery
- Source water concentration  $\times$   $1/\text{Recovery}$  = Corrected source water concentration





National Institute for Public Health and the Environment  
Ministry of Health, Welfare and Sport

## QMRAspot

Tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from Surface Water to Potable Water

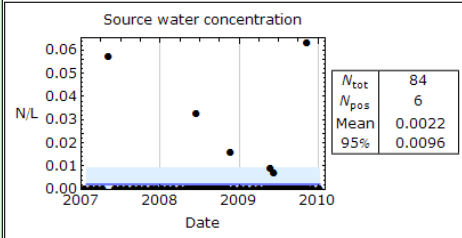
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

RIVM-Bilthoven

Data | Options | Enterovirus | Campylobacter | Cryptosporidium | Giardia | Report | Help

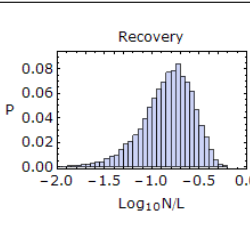
Treatment scheme | Source water | z1 | z2 | z3 | z4 | z5 | z6 | Exposure | Infection risk

Source water concentration



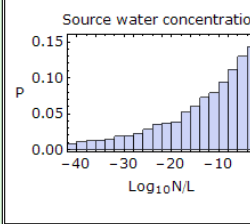
$N_{tot}$	84
$N_{pos}$	6
Mean	0.0022
95%	0.0096

Recovery



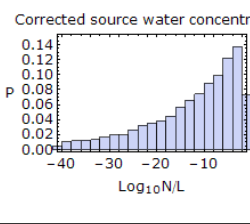
Beta distribution		
$\alpha$	2.7	
$\beta$	13.	
	x	logx
Mean	0.17	-0.76
5%	0.047	-1.3
50%	0.16	-0.8
95%	0.35	-0.46

Source water concentration



Gamma distribution		
r	0.033	
$\lambda$	0.069	
	x	logx
Mean	0.0022	-2.7
5%	$\leq 10^{-9}$	-41.
50%	$\leq 10^{-9}$	-10.
95%	0.0096	-2.

Corrected source water concentration



	x	logx
Mean	0.019	-1.7
5%	$\leq 10^{-9}$	-40.
50%	$\leq 10^{-9}$	-9.7
95%	0.062	-1.2

# Monte Carlo data

- 10 000 samples from treatment distributions
- Total treatment  
 $Z_{\text{tot}} = Z_1 \times \dots \times Z_6$

QMRAspot Tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from Surface Water to Potable Water

National Institute for Public Health and the Environment  
 Ministry of Health, Welfare and Sport

www.rivm.nl

RIVM-Bilthoven

Data Options Enterovirus Campylobacter **Cryptosporidium** Giardia Report Help

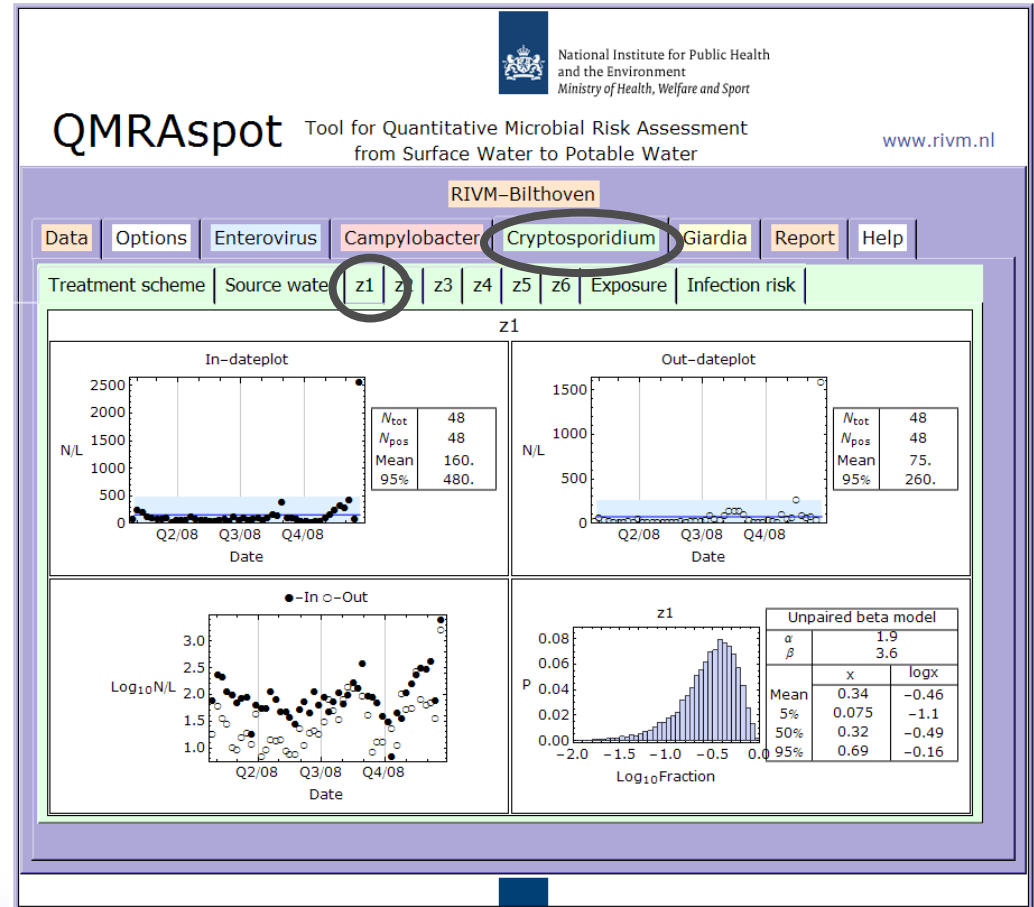
Select file QMRAdata-SEOUL.xls

Run OMRA Elapsed time: 01:10

Data	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Distribution parameters	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Plots	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Monte Carlo data	Source water concentration	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Corrected source water concentration	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
	Drinking water concentration	<input type="checkbox"/>
	Consumption	<input type="checkbox"/>
	Exposure	<input type="checkbox"/>
Infection risk per person day	<input type="checkbox"/>	
Infection risk per person year	<input type="checkbox"/>	



Z1



Z2

National Institute for Public Health and the Environment  
Ministry of Health, Welfare and Sport

## QMRAspot

Tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from Surface Water to Potable Water

[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

RIVM-Bilthoven

Data Options Enterovirus **Campylobacter** **Cryptosporidium** Giardia Report Help

Treatment scheme Source water z1 **z2** z3 z4 z5 z6 Exposure Infection risk

z2

In-dateplot

$N_{tot}$	48
$N_{pos}$	48
Mean	75.
95%	260.

Out-dateplot

$N_{tot}$	13
$N_{pos}$	13
Mean	0.26
95%	0.97

●-In ○-Out

z2

Unpaired beta model		
$\alpha$	0.42	
$\beta$	28.	
Mean	x	logx
5%	0.015	-1.8
50%	0.000024	-4.6
95%	0.006	-2.2
	0.062	-1.2



Z3



National Institute for Public Health and the Environment  
Ministry of Health, Welfare and Sport

## QMRAspot

Tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from Surface Water to Potable Water

www.rivm.nl

RIVM-Bilthoven

Data | Options | Enterovirus | Campylobacter | Cryptosporidium | Giardia | Report | Help

Treatment scheme | Source water | z1 | z2 | z3 | z4 | z5 | z6 | Exposure | Infection risk


z3

<p style="text-align: center;">In-dateplot</p> <table border="1" style="float: right; margin-top: 10px;"> <tr><td><math>N_{tot}</math></td><td>298</td></tr> <tr><td><math>N_{pos}</math></td><td>258</td></tr> <tr><td>Mean</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>95%</td><td>26.</td></tr> </table>	$N_{tot}$	298	$N_{pos}$	258	Mean	7.5	95%	26.	<p style="text-align: center;">Out-dateplot</p> <table border="1" style="float: right; margin-top: 10px;"> <tr><td><math>N_{tot}</math></td><td>582</td></tr> <tr><td><math>N_{pos}</math></td><td>49</td></tr> <tr><td>Mean</td><td>0.41</td></tr> <tr><td>95%</td><td>1.4</td></tr> </table>	$N_{tot}$	582	$N_{pos}$	49	Mean	0.41	95%	1.4								
$N_{tot}$	298																								
$N_{pos}$	258																								
Mean	7.5																								
95%	26.																								
$N_{tot}$	582																								
$N_{pos}$	49																								
Mean	0.41																								
95%	1.4																								
<p style="text-align: center;">● In ○ Out</p>	<p style="text-align: center;">z3</p> <table border="1" style="float: right; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Unpaired beta model</th> </tr> <tr> <th><math>\alpha</math></th> <td colspan="2">0.076</td> </tr> <tr> <th><math>\beta</math></th> <td colspan="2">2.5</td> </tr> <tr> <th></th> <th>x</th> <th>logx</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mean</td> <td>0.03</td> <td>-1.5</td> </tr> <tr> <td>5%</td> <td><math>\leq 10^{-9}</math></td> <td>-18.</td> </tr> <tr> <td>50%</td> <td>0.000034</td> <td>-4.5</td> </tr> <tr> <td>95%</td> <td>0.19</td> <td>-0.73</td> </tr> </tbody> </table>	Unpaired beta model			$\alpha$	0.076		$\beta$	2.5			x	logx	Mean	0.03	-1.5	5%	$\leq 10^{-9}$	-18.	50%	0.000034	-4.5	95%	0.19	-0.73
Unpaired beta model																									
$\alpha$	0.076																								
$\beta$	2.5																								
	x	logx																							
Mean	0.03	-1.5																							
5%	$\leq 10^{-9}$	-18.																							
50%	0.000034	-4.5																							
95%	0.19	-0.73																							

# Monte Carlo data

- Drinking water concentration  
 $C_{drw} = C_{source} \times 1/R \times Z_{tot}$
- Consumption,  $W$
- Exposure of dose, number of ingested pathogens per person per day  
 $D = C_{drw} \times W$





National Institute for Public Health and the Environment  
Ministry of Health, Welfare and Sport

## QMRAspot

Tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from Surface Water to Potable Water

[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

RIVM-Bilthoven

Data
Options
Enterovirus
Campylobacter
Cryptosporidium
Giardia
Report
Help

Select file: QMRAdata-SEOUL.xls

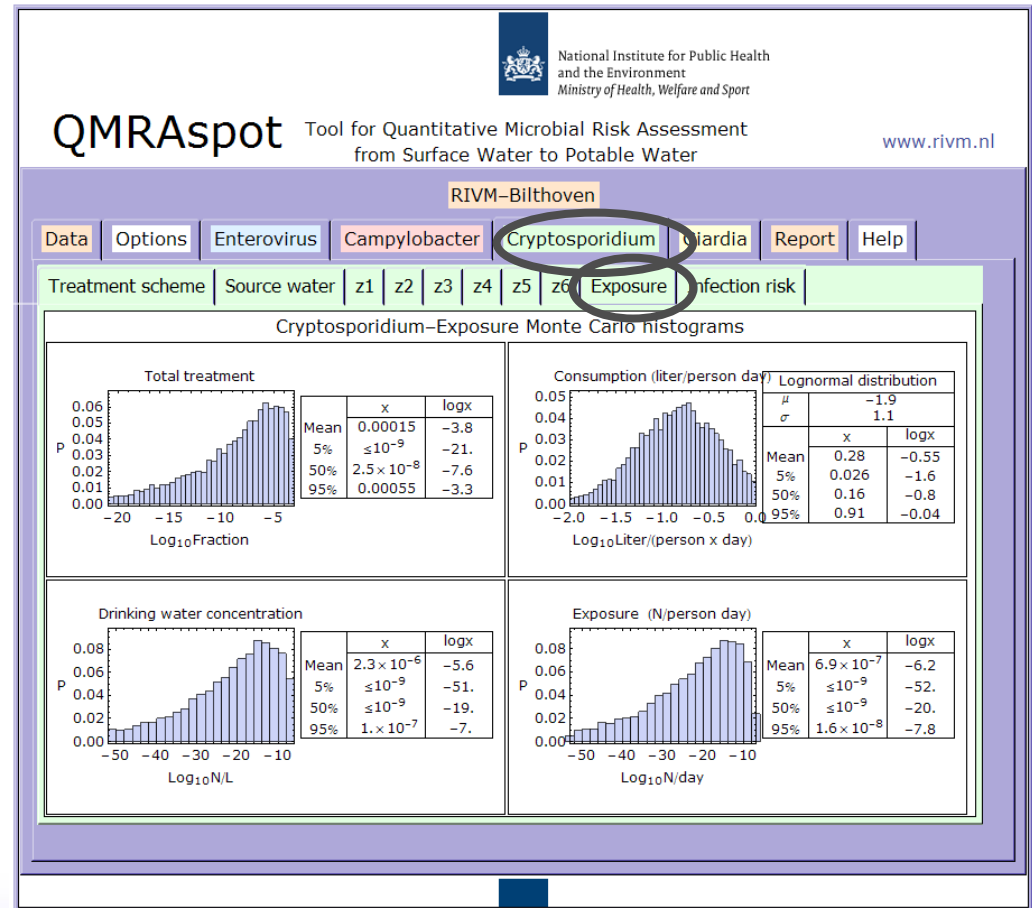
Run OMRA Elapsed time: 01:12

Data	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Distribution parameters	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Plots	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Monte Carlo data	Source water concentration	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Corrected source water concentration	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
	Drinking water concentration	<input checked="" type="checkbox"/>
	Consumption	<input checked="" type="checkbox"/>
	Exposure	<input checked="" type="checkbox"/>
	Infection risk per person day	<input checked="" type="checkbox"/>
	Infection risk per person year	<input type="checkbox"/>



# Monte Carlo data

- Drinking water concentration  
 $C_{drw} = C_{source} \times 1/R \times Z_{tot}$
- Consumption, W
- Exposure of dose, number of ingested pathogens per person per day  
 $D = C_{drw} \times W$



# Infection risk, $P_{inf}$

- Per person per day

$$P_{inf,day_i} = 1 - {}_1F_1(\alpha, \alpha + \beta; -D)$$

- $\alpha$  and  $\beta$  are infectivity parameters with between-strain variability
- Per person per year

$$P_{inf,year} = 1 - \prod_{i=1}^{365} (1 - P_{inf,day_i})$$



National Institute for Public Health and the Environment  
Ministry of Health, Welfare and Sport

## QMRAspot

Tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from Surface Water to Potable Water

www.rivm.nl

RIVM-Bilthoven

Data Options Enterovirus Campylobacter Cryptosporidium Giardia Report Help

Select file QMRAdata-SEOUL.xls

Run OMRA Elapsed time: 01:24

Data	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Distribution parameters	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Plots	Source water	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Monte Carlo data	Source water concentration	<input checked="" type="checkbox"/>
	Recovery	<input checked="" type="checkbox"/>
	Corrected source water concentration	<input checked="" type="checkbox"/>
	Treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
	Drinking water concentration	<input checked="" type="checkbox"/>
	Consumption	<input checked="" type="checkbox"/>
	Exposure	<input checked="" type="checkbox"/>
	Infection risk per person day	<input checked="" type="checkbox"/>
	Infection risk per person year	<input checked="" type="checkbox"/>

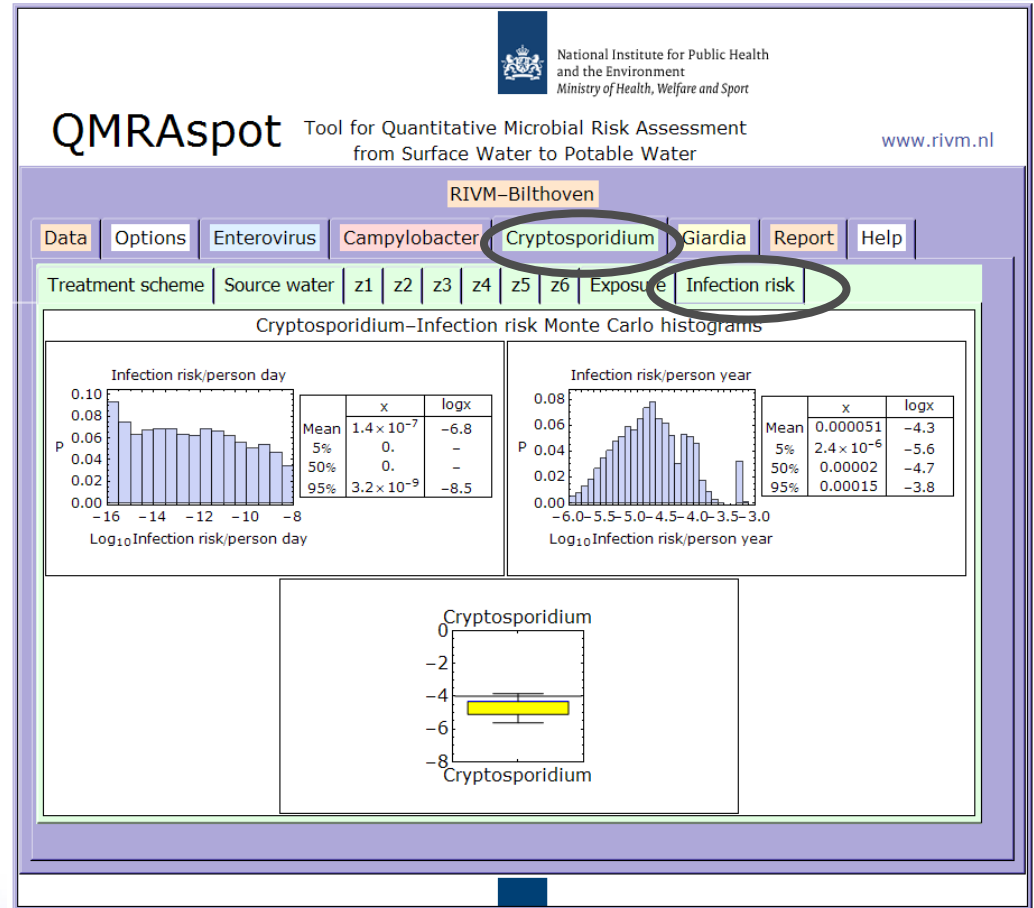
# Infection risk, $P_{inf}$

- Per person per day

$$P_{inf,day_i} = 1 - {}_1F_1(\alpha, \alpha + \beta, -D)$$

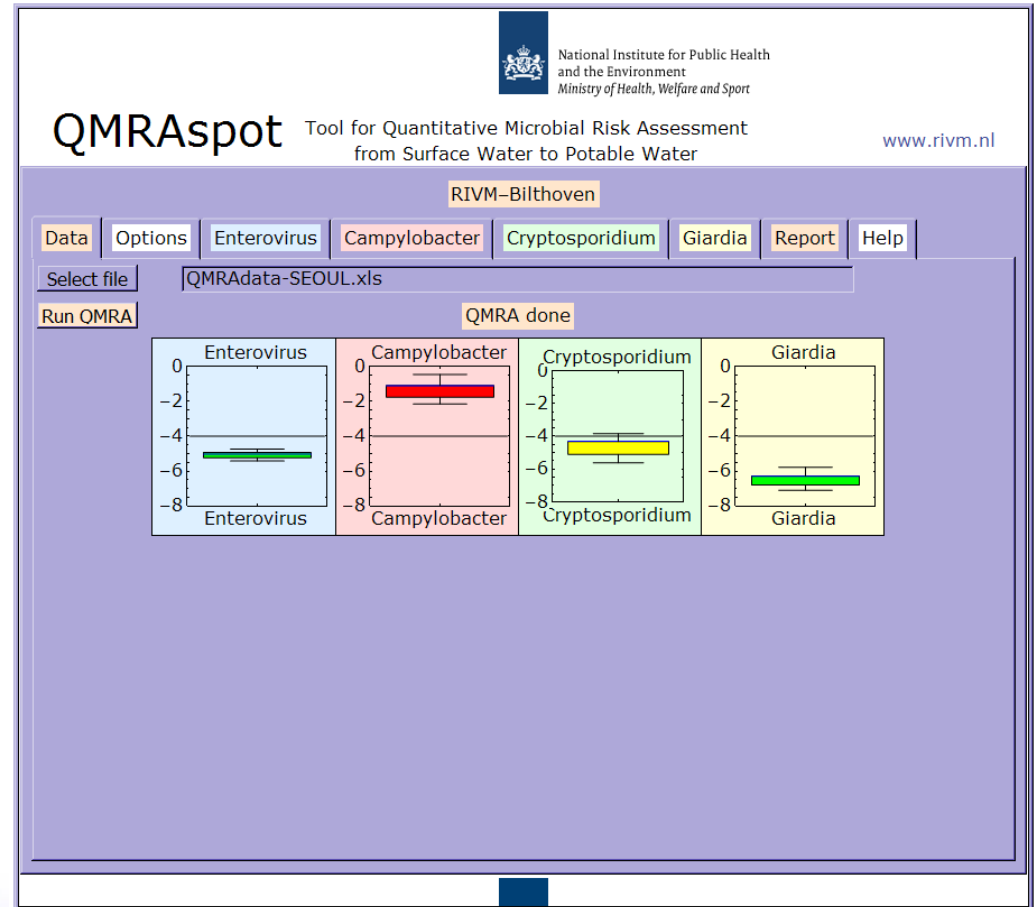
- $\alpha$  and  $\beta$  are infectivity parameters with between-strain variability
- Per person per year

$$P_{inf,year} = 1 - \prod_{i=1}^{365} (1 - P_{inf,day_i})$$



# Infection risk, $P_{inf}$


- BoxWhisker plots of infection risk per person per year for each index pathogen
- 95-percentile  $< 10^{-4}$  per person per year



# Options

- Index pathogens in source water
- Distribution parameters instead of RAW DATA
- Values from literature
- RAW DATA preferred





National Institute for Public Health  
and the Environment  
Ministry of Health, Welfare and Sport

## QMRAspot

Tool for Quantitative Microbial Risk Assessment  
from Surface Water to Potable Water

[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

Select QMRA Excel file

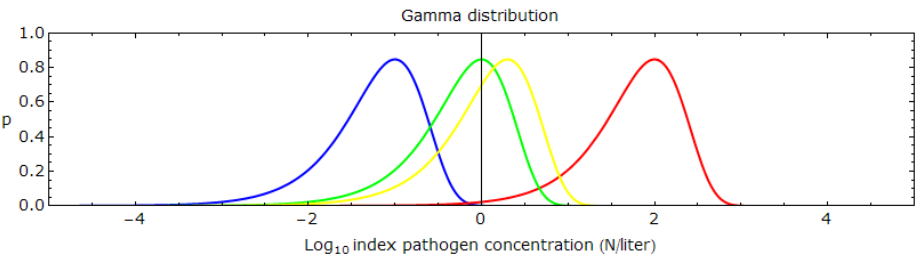
Data | Options | Enterovirus | Campylobacter | Cryptosporidium | Giardia | Report | Help

Index pathogens | Source water | Treatment | Consumption

Index pathogen concentration: Mean  $\mu$  (N/liter), standard deviation  $\sigma$  and Gamma distribution parameters  $r$  and  $\lambda$

Index pathogen	Data source	$r$	$\lambda$	$\mu$	$\sigma$	5%	95%
Enterovirus	Raw data	Raw data					
Campylobacter	$r, \lambda$	1	100	100	100	5.1	300.
Cryptosporidium	$\mu, \sigma$	1	1	1	1	0.051	3.
Giardia	Raw data	Raw data					

Gamma distribution




Log<sub>10</sub> index pathogen concentration (N/liter)

# Options

- Removal of indicator organisms by treatment
- Distribution parameters instead of RAW DATA
- Values from literature
- Database of distribution parameters for treatment steps as a function of process conditions





National Institute for Public Health and the Environment  
Ministry of Health, Welfare and Sport

## QMRAspot

Tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from Surface Water to Potable Water

[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

Select QMRA Excel file

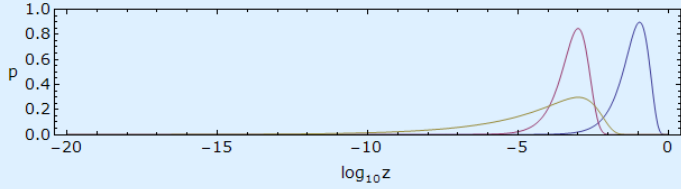
Data Options Enterovirus **Campylobacter** Cryptosporidium Giardia Report Help

Index pathogens Source water Treatment Consumption

Enterovirus **Campylobacter** **Cryptosporidium** Giardia

z	Check to set parameters	$\alpha$	$\beta$	Mean $\log_{10}z$	2.5%	97.5%
z1	<input checked="" type="checkbox"/>	1.	9.	-1	-2.6	-0.47
z2	<input checked="" type="checkbox"/>	1.	1000.	-3	-4.6	-2.4
z3	<input checked="" type="checkbox"/>	0.2	200.	-3	-10.	-2.1
z4	<input type="checkbox"/>	Use raw data				
z5	<input type="checkbox"/>	Use raw data				
z6	<input type="checkbox"/>	Use raw data				


Beta distribution



# Options

- Consumption of unboiled drinking water
- Lognormal distributions for the Netherlands and the USA
- WHO: Fixed volume of 2 liter per person per day
- Or distribution parameters for any other country and/or for any other subpopulation (children, women, the elderly)





National Institute for Public Health  
and the Environment  
*Ministry of Health, Welfare and Sport*

## QMRAspot

Tool for Quantitative Microbial Risk Assessment  
from Surface Water to Potable Water

[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

Select QMRA Excel file

Data
Options
Enterovirus
Campylobacter
Cryptosporidium
Giardia
Report
Help


Index pathogens
Source water
Treatment
Consumption

Lognormal distribution	
	Mean (liter)      1.3
<input type="radio"/> NL	2.5%                0.21
<input type="radio"/> USEPA	97.5%              4.4
<input type="radio"/> WHO	$\mu$ <input style="width: 50px;" type="text" value="-0.03598"/>
<input checked="" type="radio"/> Other	$\sigma$ <input style="width: 50px;" type="text" value="0.77218"/>

# CONCLUSIONS

- Quick-and-clean QMRA in a few minutes
- For worldwide use by any stakeholder (environmental inspector, engineer, employee of drinking water company) without extensive knowledge about QMRA
- Options: Scenario studies
- Base for mitigation strategies, preventive measures, prioritization of measures





National Institute for Public Health and the Environment  
Ministry of Health, Welfare and Sport

## QMRAspot

Tool for Quantitative Microbial Risk Assessment from Surface Water to Potable Water

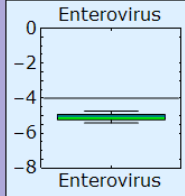
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

RIVM-Bilthoven

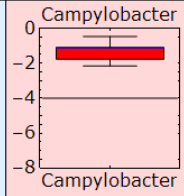
Data Options Enterovirus Campylobacter Cryptosporidium Giardia Report Help

Select file QMRAdata-SEOUL.xls

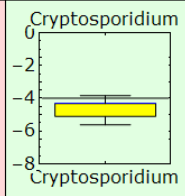
Run QMRA QMRA done



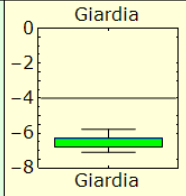
Enterovirus



Campylobacter



Cryptosporidium



Giardia

- QMRAspot is for free
- [QMRAspot@rivm.nl](mailto:QMRAspot@rivm.nl)
- [Jack.Schijven@rivm.nl](mailto:Jack.Schijven@rivm.nl)

# Distributions used in QMRASpot

- **Distributions**
- Wikipedia good source for description of distributions
- **Negative Binomial** distribution for raw data=counts+sample sizes (liter) for pathogens in surface water that is used for drinking water production
- Parameters from **Negative Binomial** distribution are basis for **Gamma** distribution to describe variability of pathogen number concentration
- Recovery data and treatment efficiencies are all fractions and may vary too. This variation is well described with a **Beta** distribution



# Legislative risk assessment

- QMRA conducted for 12 production locations

- Drinking water produced from surface water



on data c

erent treat  
ed

Treatment process	Locations
Activated Carbon	7
Chlorine dioxide	2
Dune infiltration	4
Hyperfiltration	1
Slow sand filtration	4
Ozonation	3
Rapid filtration	5
UV	4
UV/hydrogen peroxide	1
Coagulation/sedimentation	3
River bank filtration	3



# Outcome of the risk assessments

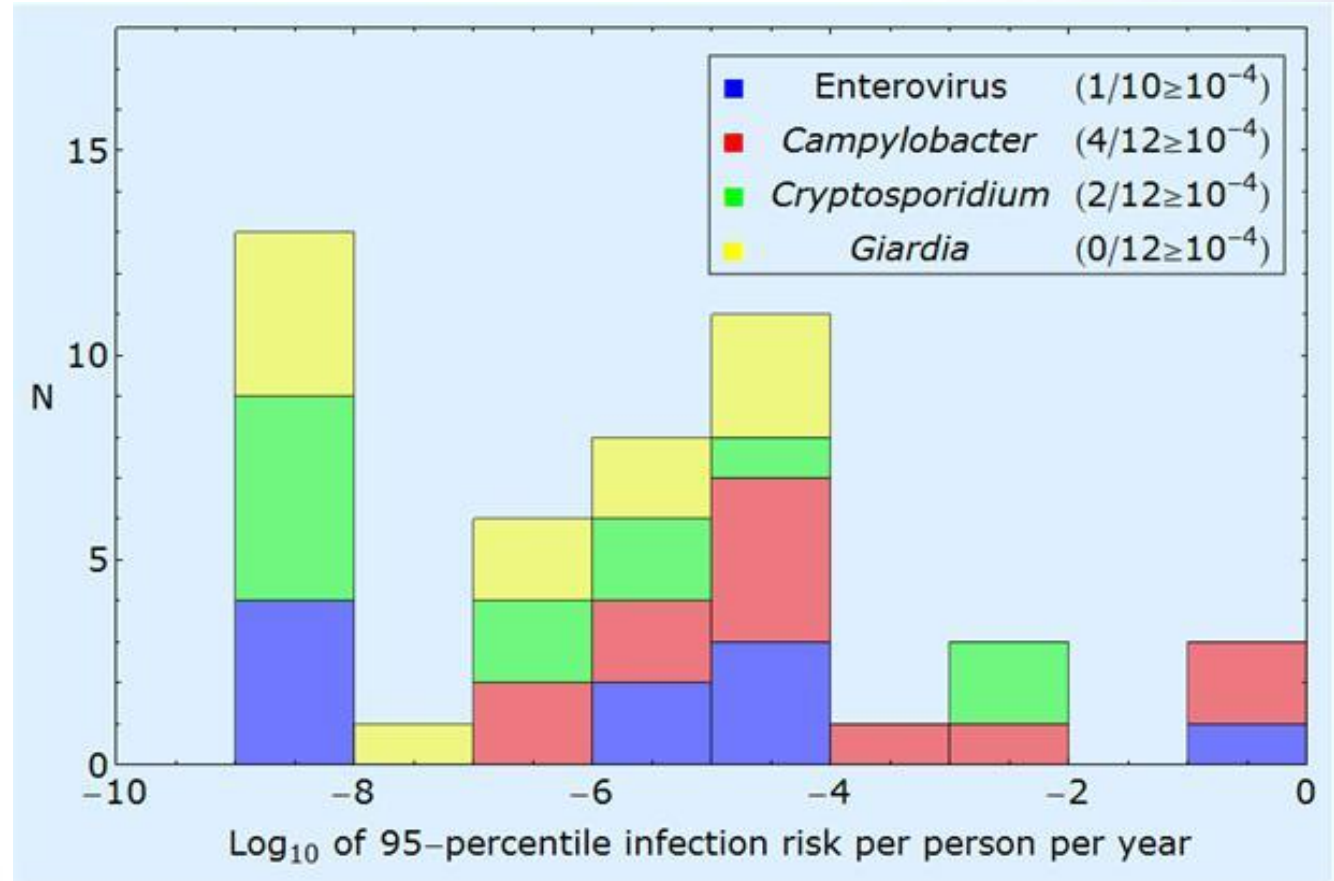
- 46 risk assessments have been conducted
  - Enterovirus – 10 locations
  - *Campylobacter*, *Cryptosporidium*, *Giardia* – 12 locations
- 39 risk assessments met infectious risk requirements of  $10^{-4}$  infections pppy
- 7 risk assessments did not meet the risk requirements

Infection risk	Total
95% < $10^{-4}$	39
Median < $10^{-4}$ ≤ 95%	0
Median ≥ $10^{-4}$	7
<b>Total</b>	<b>46</b>



# Infection risks per index pathogen (95%)

- 33% of 39 compliant IR  $\leq 10^{-9}$
- No  $\leq 10^{-9}$  IR for *Campylobacter*
- Treatment by dune infiltration associated with low risks ( $\leq 10^{-9}$ )



# Follow up of non-compliance per location

- Non-compliance of three index pathogens (1x)
  - Ultrafiltration treatment was not included in risk assessment
  - Based on particle counting 3.7–4 log reduction of index pathogens
  - Enterovirus and *Cryptosporidium* will possibly met requirements, *Campylobacter* still insufficiently reduced
  - Additional treatment needed, ClO<sub>2</sub>
- Non-compliance of two index pathogens (1x)
  - Index pathogens (*Campylobacter*, *Cryptosporidium*) were insufficiently reduced, additional treatment needed
  - Ozonation was substituted by UV treatment



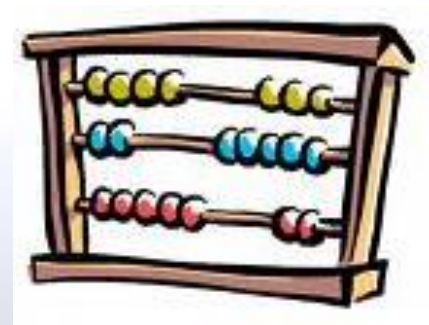
# Follow up of non-compliance per location

- Non-compliance of one index pathogen (*Campylobacter*) (2x)
  - Presence of birds in storage ponds or partially treated surface waters
  - Additional treatment is needed and/or protection of the source
    - ClO<sub>2</sub> addition or UV
    - Cover storage ponds to keep birds away



# Conclusions (I)

- 66% of 12 drinking water production locations met  $10^{-4}$  risk requirements for the 4 index pathogens
- *Campylobacter* is the pathogen with highest non-compliance rate
  - Additional actions are needed to reduce the risk
  - Since 2011 *Campylobacter* is included in Dutch Drinking Water Act
  - Not present in other drinking water legislation
- Non-compliances are partly explained by underestimation of the treatment efficiency due to insufficient characterization of the treatment steps concerned




# Conclusions (II)

- QMRA provides integral insight into the robustness of the drinking water treatment process
  - QMRAspot enables simulation of an additional treatment step, treatment failure or peak moments of high pathogen concentrations
  - QMRA may aid policy makers to prioritize measures to improve drinking water quality



# Quantitative Microbial Risk Assessment of Drinking Water

This website is part of the ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control) network. [Go to the ECDC network](#) Sign In



## E3 Geoportal

European Environment and Epidemiology Network


Home Search data Browse data Upload data News E3 Network **E3 Tools** Help Contact

You are here: [E3 Geoportal](#) > [E3Tools](#)

To support Public Health in European member states, ECDC project Impact of Climate Change on Food- and Water-borne Diseases in Europe developed a tool based on mathematical models. This decision-making tool for Food and Waterborne Diseases is based on quantitative microbial risk assessment (QMRA) that describes each hazard in a compartmental mathematical framework. The combination of these compartments aims to quantify the microbial risk associated under local parameters and climate scenarios. This tool supports the risk assessment of the impact of climate change on health in accordance with the White Paper on Climate Change Adaptation. More information on the ECDC quantitative microbial risk assessment (QMRA) tool is available in the [Technical report](#).

In order to run this tool you need to install the Wolfram CDF Player on your computer. Download the CDF player [here](#).

Welcome Introduction Help Climate scenario



### CC-QMRA

Climate Change Modules for Quantitative Microbial Risk Assessment

**Effect of climate change on infection risks from exposure to waterborne and foodborne pathogenic microorganisms**

- <https://e3geoportal.ecdc.europa.eu/SitePages/E3Tools.aspx>





“Η αξία του αναλυτικού μυαλού έγκειται βασικά στην ποιότητα της παρατηρήσεως. Αυτό που πραγματικά έχει σημασία είναι να ξέρεις τι θα πρέπει να προσέξεις...”

**Σας ευχαριστώ**

Απ. Βανταράκης (avanta@upatras.gr)  
Μον. Περιβαλλοντικής Μικροβιολογίας  
Εργαστήριο Υγιεινής  
Τμήμα Ιατρικής  
Πανεπιστήμιο Πατρών

