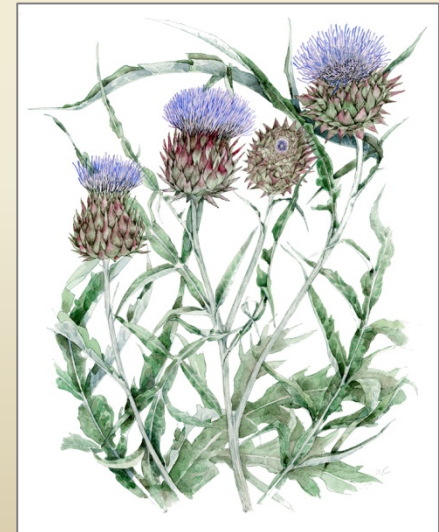
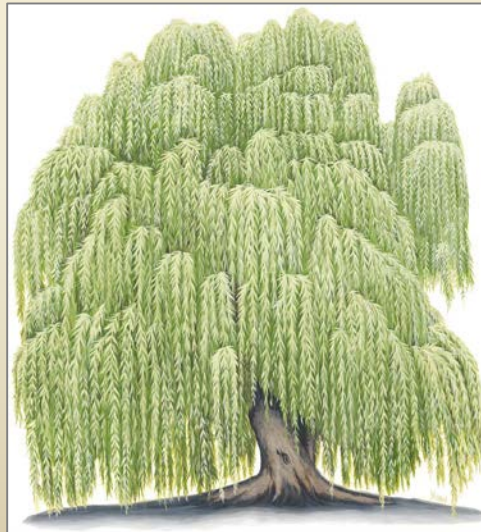




ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Ελένη Γ. Παπάζογλου, email: elrarazo@aua.gr

ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΠΟΝΙΑ



ΦΥΤΟΕΞΥΓΙΑΝΣΗ

χρήση φυτών για την απομάκρυνση ρυπαντών από το περιβάλλον ή για τη μετατροπή τους σε μη τοξικές και μη επικίνδυνες μορφές

Απομάκρυνση διαφόρων ρυπαντών

```
graph TD; A[Απομάκρυνση διαφόρων ρυπαντών] --> B[• ανόργανων:]; A --> C[• οργανικών:];
```

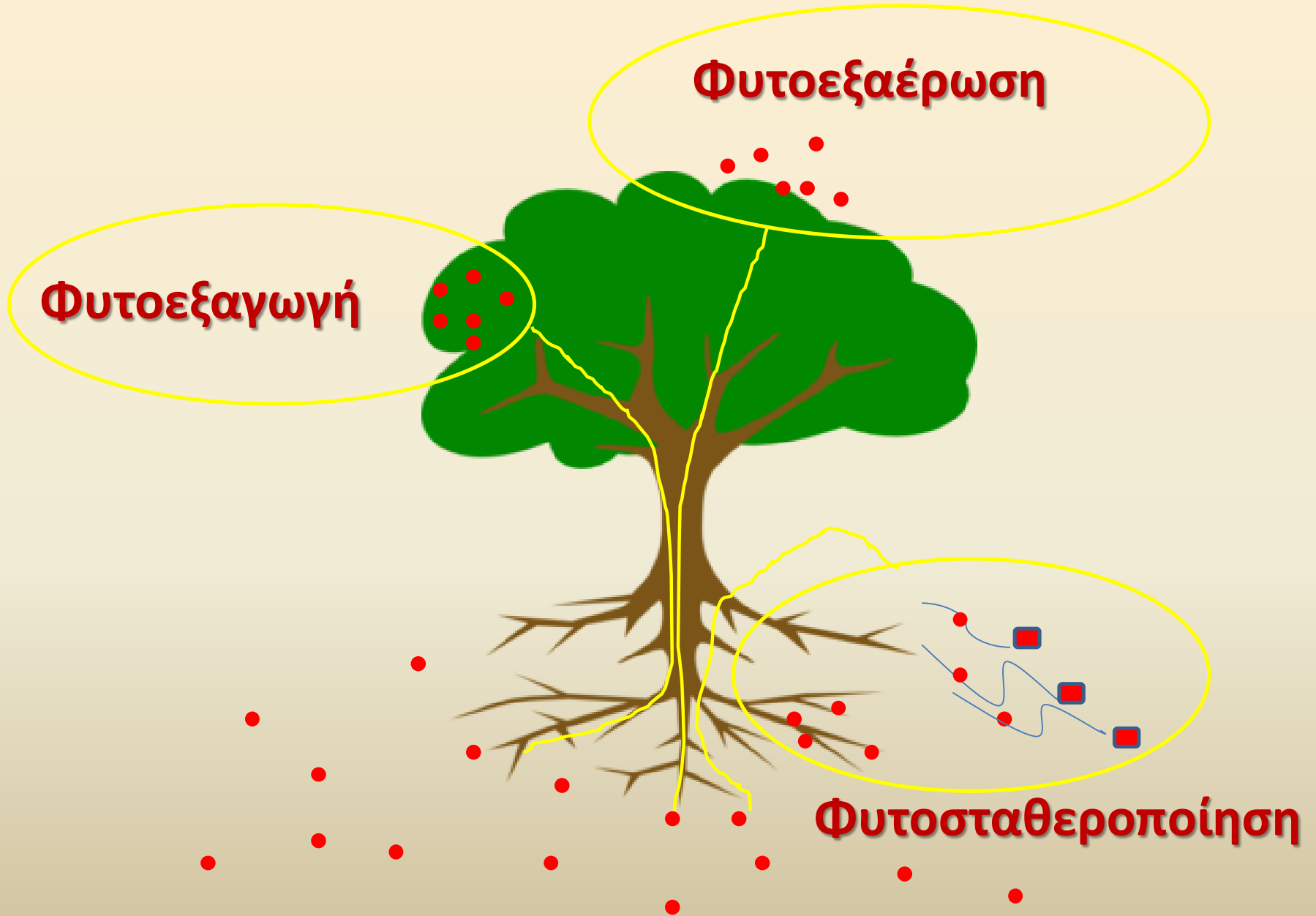
- **ανόργανων:**

- μέταλλα (Pb, Cd, Zn, Cr, Hg, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn)
- μεταλλοειδή (As, Sb)
- θρεπτικά (K, P, N, S)
- ραδιενεργά (Cs, U)

- **οργανικών:**

- πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs)
- Πολυκυκλικοί αρωματικοί Υδρογονάνθρακες
- τρινιτροτολουόλιο (TNT)
- πετρελαιοειδή
- φυτοφάρμακα, κ.ά.

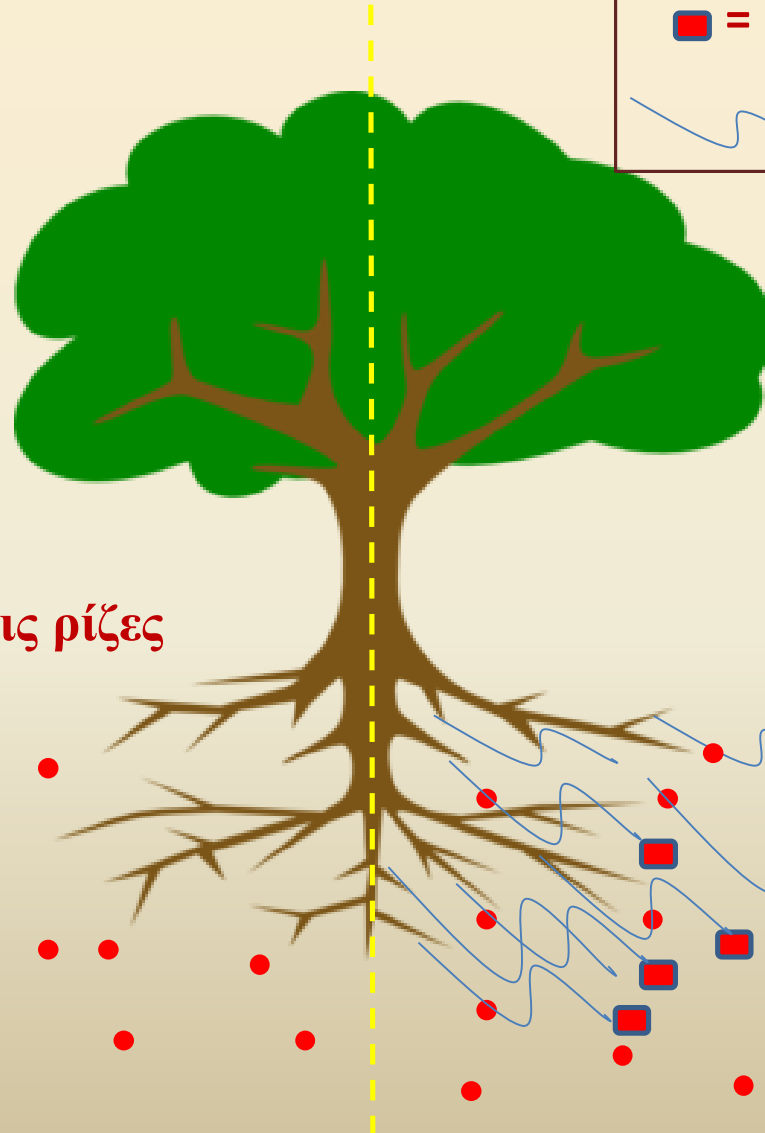
Φυτοεξυγίανση ανόργανων ρυπαντών



Φυτοσταθεροποίηση

Μειώνει την κινητικότητα και βιοδιαθεσιμότητα των ρυπαντών

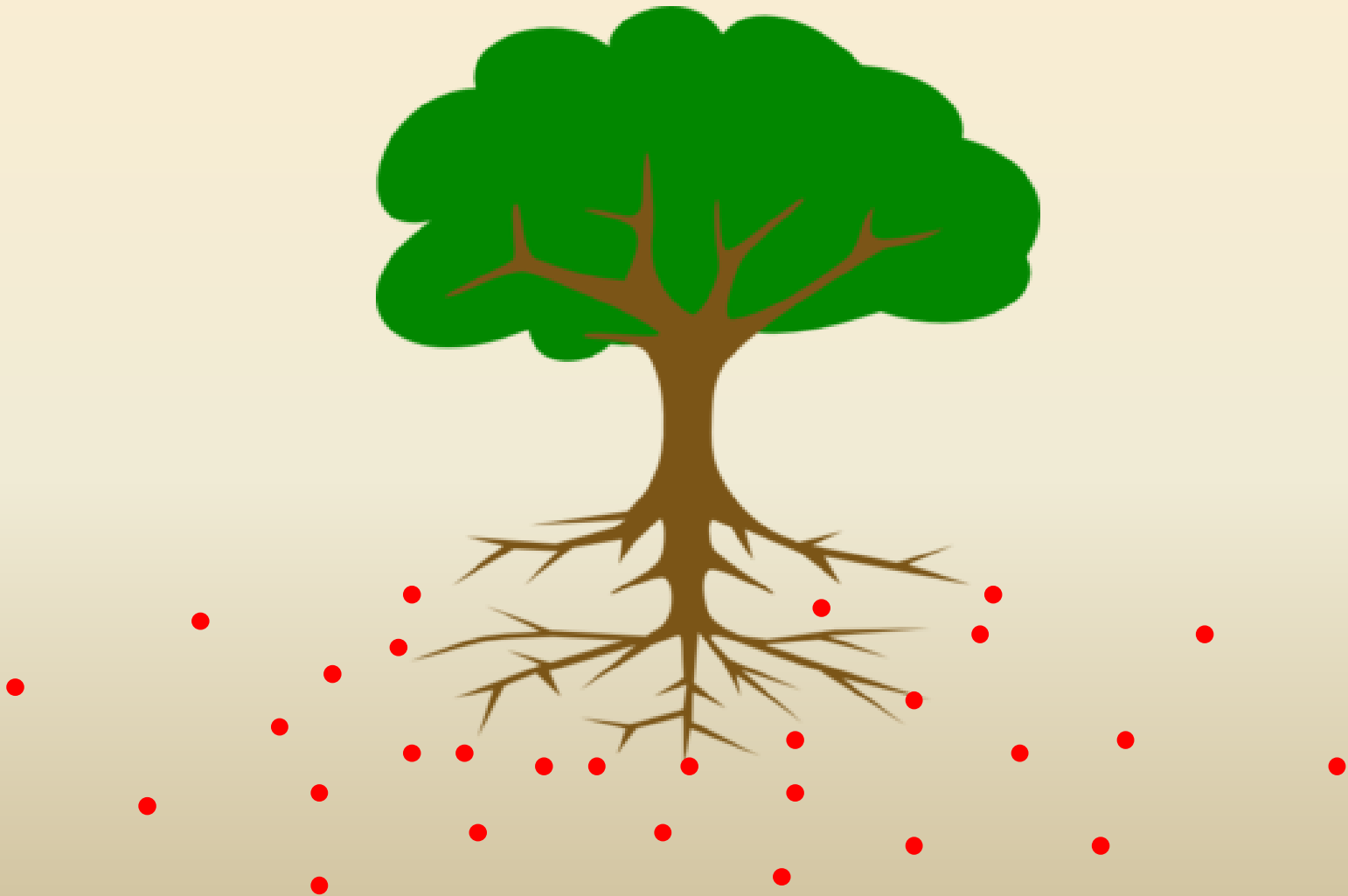
- = ρυπαντής
- = Ακίνητοποιημένοι ρυπαντές
- = Εκκρίσεις ριζών



Απορρόφηση από τις ρίζες

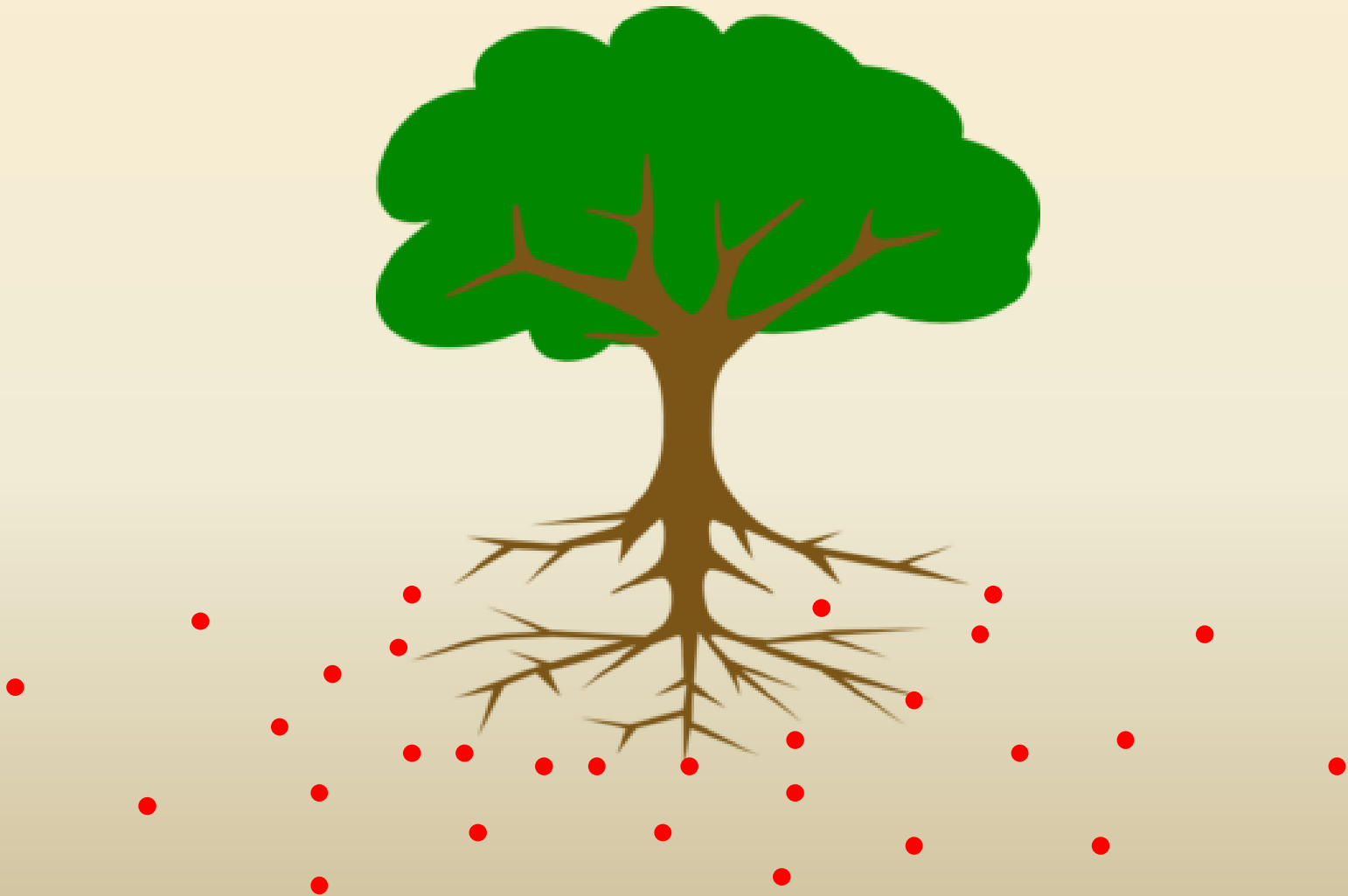
Φυτοεξαέρωση

Τα φυτά προσλαμβάνουν μέταλλα (π.χ. υδράργυρο, σελήνιο) και οργανικές ουσίες, τα μετατρέπουν σε πτητικές μορφές και τα ελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα



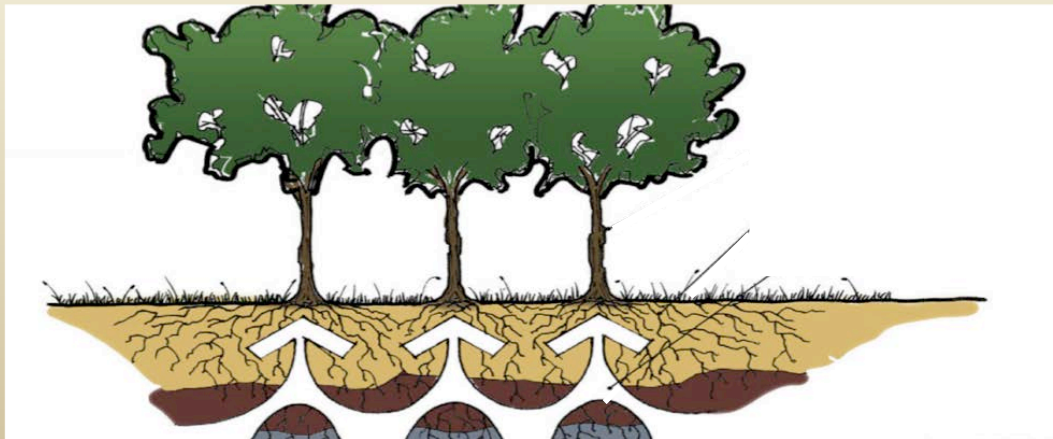
Φυτοεξαγωγή

φυτά που έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν και να συσσωρεύουν
ρυπαντές από το έδαφος στο υπέργειο τμήμα τους



Πλεονεκτήματα φυτοεξυγίανσης

- ✓ Πράσινη τεχνολογία, οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον
- ✓ Αποτελεί μια **συνεχή αντιμετώπιση** του προβλήματος, δεδομένου ότι είναι δυνατή η συνεχής απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων.
- ✓ **Δεν διαταράσσει το ανάγλυφο** μιας περιοχής: με τη μέθοδο αυτή το ανάγλυφο της επιβαρυμένης περιοχής δεν μεταβάλλεται και συγχρόνως καλύπτεται με φυτά, δημιουργώντας ένα αισθητικά αποδεκτό και ευχάριστο τοπίο.
- ✓ **Μειώνει τη μεταφορά των ρύπων** με τον αέρα ή με το νερό
- ✓ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για απορρύπανση περιοχών, στις οποίες **δεν είναι δυνατή η μηχανική εκσκαφή**, π.χ. με μεγάλες κλίσεις.



Χαμηλότερο κόστος από τις άλλες τεχνολογίες:

-**Δεν απαιτεί ακριβά** μηχανήματα και εξειδικευμένο προσωπικό
-οι κύριες λειτουργικές δαπάνες αφορούν στις **καλλιεργητικές τεχνικές** (όργωμα, προετοιμασία χώματος, φύτευση σπόρων, καταπολέμηση ζιζανίων και ασθενειών), στη **συγκομιδή** και στη **διάθεση** της παραγόμενης βιομάζας.

-το **κόστος απορρύπανσης** ενός αμμωπηλώδους εδάφους έκτασης 4 στρεμμάτων με βάθος ρύπανσης 50 cm υπολογίστηκε σε \$60,000-\$100,000, ενώ με την μέθοδο της εκσκαφής το αντίστοιχο κόστος ανέρχεται σε \$400,000 (<http://clu-in.org/techfocus>)

Υπάρχει η δυνατότητα η παραγόμενη βιομάζα των φυτών - υπερσυσσωρευτών να επαναχρησιμοποιηθεί και από αυτήν να ανακτηθούν και να ανακυκλωθούν ορισμένα βαριά μέταλλα, όπως το κάδμιο και ο ψευδάργυρος. Από έρευνες στις ΗΠΑ διαπιστώθηκε ότι για τα δύο αυτά μέταλλα υπάρχει αγοραστικό ενδιαφέρον και θα μπορούσαν να έχουν μία αξία μεταπώλησης, της τάξης των 1069 \$ ανά εκτάριο (Mulligan et al., 2001).

Phytomining (Φυτομεταλλεία)

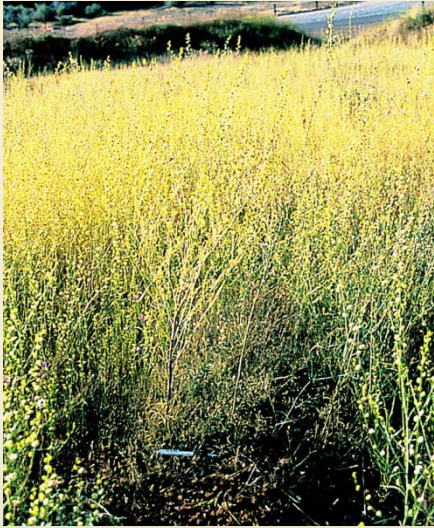
Παραγωγή ενός μετάλλου από τους φυτικούς ιστούς ενός φυτού υπερσυσσωρευτή

Νεβάδα ΗΠΑ

Streptanthus polygaloides

Brassicaceae

Υπερσυσσωρευτής Ni (0,35% Ni)



Τιμή Ni: 7,65\$/kg

Παραγόμενη βιομάζα: 10 t/ha

Παραγόμενο Ni: 35 kg / ha

Αξία πώλησης: $35\text{kg} \times 7,65 \text{ \$/kg} = 268 \text{ \$}$

Καύση βιομάζας για ηλεκτρισμό: 110 \$ /ha

Έσοδα: $268 \text{ \$/ha} + 110 \text{ \$/ha} = 378 \text{ \$/ha}$

Τοσκάνη Ιταλία

Alyssum bertolonii

Brassicaceae

Υπερσυσσωρευτής Ni (0,8% Ni)



Τιμή Ni: 7,65\$/kg

Παραγόμενη βιομάζα: 12 t/ha

Παραγόμενο Ni: 96 kg / ha

Αξία πώλησης: $96\text{kg} \times 7,65 \text{ \$/kg} = 734,5 \text{ \$}$

Καύση βιομάζας για ηλεκτρισμό: 131 \$/ha

Έσοδα: $734,5 \text{ \$/ha} + 131 \text{ \$/ha} = 865,5 \text{ \$/ha}$

Μειονεκτήματα φυτοεξυγίανσης

- **Είναι χρονοβόρα μέθοδος:** η εγκατάσταση των φυτών πρέπει να γίνεται μια συγκεκριμένη εποχή του έτους, ανάλογα με το είδος του φυτού και απαιτείται ένα χρονικό διάστημα για να ολοκληρωθεί η βλαστητική ανάπτυξη των φυτών
- **Δεν είναι δυνατή η πλήρης απομάκρυνση** των ρυπαντών, δεδομένου ότι όσο μειώνεται η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στο έδαφος, τόσο μειώνεται και η δυνατότητα πρόσληψής τους από τα φυτά.
- Είναι δυνατή η απορρύπανση μόνο ενός **επιφανειακού στρώματος** εδάφους, σε βάθος περίπου 1 m, όσο δηλαδή είναι συνήθως το ενεργό ριζόστρωμα
- Στην φυτοεξαγωγή, επειδή η συγκομιζόμενη βιομάζα είναι επιβαρυσμένη με βαριά μέταλλα, θα πρέπει να **διατίθεται σε ειδικούς χώρους**, οι οποίοι πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές της υγειονομικής ταφής, γεγονός που δημιουργεί ένα **πρόσθετο κόστος** στην εφαρμογή της μεθόδου.
- Η **πρόσβαση** στην περιοχή πρέπει να είναι **ελεγχόμενη** ώστε να μην χρησιμοποιηθούν τα φυτά ως τροφή (βόσκηση ή από ανθρώπους)
- Η **περιοχή** πρέπει να είναι **αρκετά μεγάλη** ώστε να εφαρμόζεται εκμηχάνιση για τη μείωση του κόστους παραγωγής

ΦΥΤΑ ΥΠΕΡΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

Αυτοφυή φυτά που ενδημούν σε μεταλλοφόρα εδάφη και συσσωρεύουν υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων στους ιστούς τους χωρίς καμιά γνωστή βιολογική επίπτωση.

Συσσωρεύουν στην υπέργεια βιομάζα τους 100-1000 φορές υψηλότερες συγκεντρώσεις από μη-υπερσυσσωρευτές



Ni-Thlaspi caerulescens



Cd-Cr-Bacopa monnieri



Cr-Pistia stratiotes

Περίπου 500 φυτικά είδη

Τα 110 ανήκουν στην οικογένεια Brassicaceae

Τα 340 είναι υπερσυσσωρευτές Ni

36 οικογένειες υπερσυσσωρευτών Ni

Acanthaceae, Adiantaceae, Anacardiaceae, **Asteraceae**, Boraginaceae, **Brassicaceae**, Buxaceae, Campanulaceae, Caryophyllaceae, Clusiaceae, Convolvulaceae, Cunoniaceae, Dichapetalaceae, Dipterocarpaceae, Escalloniaceae, Euphorbiaceae, **Fabaceae**, Flacourtiaceae, Juncaceae, Meliaceae, Myristicaceae, Myrtaceae, Ochnaceae, Oleaceae, Oncothecaceae, **Poaceae**, Ranunculaceae, Rubiaceae, Sapotaceae, Saxifragaceae, Scrophulariaceae, Stackhousiaceae, Tiliaceae, Turneraceae, Velloziaceae και Violaceae

Κατηγορίες:

Απόλυτα μεταλλόφυτα:

αναπτύσσονται **μόνο** σε περιοχές με μεγάλες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων



Armeria maritima ssp. halleri



Cardaminopsis halleri

Ψευδομεταλλόφυτα:

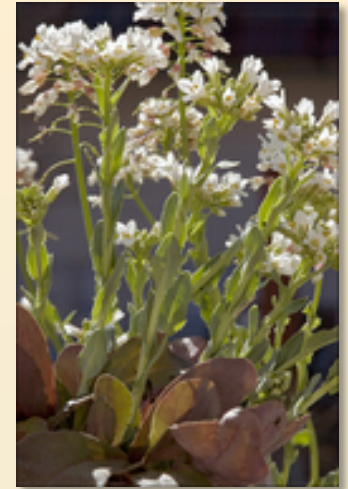
αναπτύσσονται τόσο σε επιβαρυμένα, όσο και σε μη επιβαρυμένα εδάφη



Agrostis tenuis

Χαρακτηριστικά υπερσυσσωρευτών

- Μικρά φυτά
- Αυτοφυή σε μεταλλοφόρα εδάφη
- Χωρίς γνωστές καλλιεργητικές πρακτικές



Cd-Thlaspi praecox
Brassicaceae



Cd-Arabitopsis halleri
Brassicaceae



Cd-Sedum alfredii
Crassulaceae



Cd-Solanum nigrum
Solanaceae

Κρίσιμες συγκεντρώσεις για να χαρακτηριστεί ένα φυτό υπερσυσσωρευτής

$\text{Cd} > 100 \text{ mg kg}^{-1}$ Ξ.Β. Φύλλων (0,01%)

As, Cr, Ni, Cu, Co, Pb, Sb, Se, Ti $> 1000 \text{ mg kg}^{-1}$ Ξ.Β. Φύλλων (0,1%)

Mn, Zn $> 10000 \text{ mg kg}^{-1}$ Ξ.Β. Φύλλων (1%)



Ni-Bornmuellera badaccii



Ni-Stackhousia tryonii



Ni-Pranunculus glacialis



Ni-Alyssum euboicum



Ni-Alyssum lesbiacum

Ποια φυτά είναι κατάλληλα για φυτοεξυγίανση;

Υ
Π
Ε
Ρ
Σ
Υ
Σ
Σ
Ω
Ρ
Ε
Υ
Τ
Ε
Σ



Cistus incanus



Thlaspi caerulescens



Alyssum euboicum



Phragmites australis



Pteris vittata



Populus sp.

VS

Φ
Υ
Τ
Α
Μ
Ε
Γ
Α
Λ
Η
Σ
Β
Ι
Ο
Μ
Μ
Α
Ζ
Α
Σ
Η
Σ

Το ιδανικό φυτό για φυτοεξαγωγή πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- να αντέχει σε υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων,
- να συσσωρεύει μεγάλες ποσότητες μετάλλων στα συγκομιζόμενα τμήματά του,
- να έχει γρήγορο ρυθμό ανάπτυξης,
- να παράγει μεγάλη ποσότητα βιομάζας,
- να έχει πλούσιο και βαθύ ριζικό σύστημα,
- να έχει γνωστές καλλιεργητικές τεχνικές

Συντελεστής Βιοσυσσώρευσης (Bioaccumulation Factor): είναι ο λόγος της συγκέντρωσης του μετάλλου στο φυτό προς την ολική συγκέντρωση του μετάλλου στο έδαφος.

Ο συντελεστής αυτός δείχνει την ικανότητα ενός φυτού να απορρυπαίνει ένα έδαφος από τα βαριά μέταλλα, δηλαδή την ικανότητά του να απορροφά τα βαριά μέταλλα από το έδαφος και να τα μεταφέρει στο υπέργειο τμήμα του.

Συντελεστή Βιοσυσσώρευσης $>1 = [BM] \text{ αέριας βιομάζας} / [BM] \text{ έδαφος} >1$

Συντελεστής Μεταφοράς (Translocation Factor): είναι ο λόγος της συγκέντρωσης του μετάλλου στο υπέργειο τμήμα προς τη συγκέντρωση του μετάλλου στο ριζικό σύστημα.

Ο συντελεστής αυτός δείχνει την ικανότητα του φυτού να μεταφέρει τα βαριά μέταλλα από το υπόγειο στο υπέργειο μέρος του και συνεπώς τη δυνατότητά του να δρα σαν φυτοεξυγιαντής του εδάφους.

Συντελεστής Μεταφοράς $>1 = [BM] \text{ αέριας βιομάζας} / [BM] \text{ ρίζας} >1$

ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΝΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΕΙ ΕΝΑ ΦΥΤΟ ΥΠΕΡΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗΣ

- Να είναι υπερανθεκτικό σε υψηλές συγκεντρώσεις ΒΜ
- Να συσσωρεύουν υψηλές συγκεντρώσεις ΒΜ στους φυτικούς ιστούς (>κρίσιμες συγκεντρώσεις)
- Να έχει Συντελεστή Βιοσυσσώρευσης >1
- Να έχει Συντελεστή Μεταφοράς >1

Cd > 100 mg kg⁻¹ Ξ.Β. Φύλλων (0,01%)

As, Cr, Ni, Cu, Co, Pb, Sb, Se, Ti > 1000 mg kg⁻¹ Ξ.Β. Φύλλων (0,1%)

Mn, Zn > 10000 mg kg⁻¹ Ξ.Β. Φύλλων (1%)

Συντελεστές Βιοσυσώρευσης (ΣΒ) του *Brassica juncea* (σινάπι)



Στοιχείο	Συντελεστής Βιοσυσώρευσης
Cr ⁶⁺	58
Cd ²⁺	52
Ni ²⁺	31
Cu ²⁺	7
Pb ²⁺	1,7
Cr ³⁺	0,1
Zn ²⁺	17

Η αυξημένη συγκέντρωση μετάλλων στο έδαφος βοηθάει στην επιβίωση των υπερσυσσωρευτών?

- λόγω της ύπαρξης μετάλλων στο έδαφος εμποδίζεται η ανάπτυξη άλλων μη ανθεκτικών φυτών γύρω τους → μειωμένος ανταγωνισμός
- οι υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων στο έδαφος περιορίζουν την ανάπτυξη μυκήτων και άλλων παθογόνων → προστατεύονται από μυκητολογικές κ.ά. ασθένειες, στις οποίες είναι ευαίσθητα όταν αναπτύσσονται σε μη μεταλλοφόρα εδάφη
- η αυξημένη συσσώρευση μετάλλων στα φύλλα μπορεί να συμβάλλει στην άμυνα εναντίον φυτοφάγων εντόμων και άλλων παθογόνων
- αποβάλλουν μια σημαντική ποσότητα μετάλλων με φυλλόπτωση → αύξηση της συγκέντρωσης των μετάλλων κάτω και γύρω από την κόμη → εμποδίζεται η βλάστηση σπόρων άλλων φυτών
- μικρές συγκεντρώσεις στις ρίζες και στα άλλα πολυετή αποθηκευτικά όργανα → τα προστατεύουν



Thlaspi caerulescens:

Zn/Cd υπερσυσσωρευτής

Παράγει βιομάζα περίπου 2-5 t/ha

Μπορεί να απομακρύνει 2000 g Cd / ha / έτος

(McGrath et al. Adv. Agronom. 2002)



Arundo donax:

Παράγει μεγάλη ποσότητα βιομάζας:

25-35 t ξηράς βιομάζας/ha

Μπορεί να απομακρύνει:

270 g Cd / ha / έτος

(E.G. Papazoglou, Fr. Environ. Bull. 2009)

Sebertia acuminata (Sapotaceae)

Ενδημικό στη Νέα Καληδονία

26% Ni στο κόμμι (Ξ.Β.)

0,17% Ni στους βλαστούς (Ξ.Β.)

1,2% Ni στα φύλλα (Ξ.Β.)

Ολική συγκέντρωση Ni / δένδρο: 37 kg

Τιμή Ni: 7,65\$/kg

Τιμή ανά δένδρο: 283 \$





Είδος	Στοιχείο	Συντελεστής Βιοσυσσώρευσης	
		Ξύλο	Φύλλα
Poplar (<i>Populus</i> spp.)	As	-	0.005
	Cd	0.25- 2.35	0.56- 4.63
	Cr	0.22-0.26	0.21
	Pb	0.004-0.02	0.006-0.01
	Zn	0.02-0.74	0.2- 1.47

Michael W.H. Evangelou, Eleni G. Papazoglou, Brett Robinson, Rainer Schulin, 2015. Phytomanagement: Phytoremediation and the production of biomass for economic revenue on contaminated land. In: Phytoremediation: Management of Environmental Contaminants, Volume 1 (Gill, Gill, Ansari, Lanza, and Newman, eds.), SPRINGER , USA.



Είδος	Τμήμα φυτού	Στοιχείο	Συντελεστής Βιοσυσώρευσης	
			Ξύλο	Φύλλα
Willow (<i>Salix</i> spp.)	ξύλο	As	-	0.01
		Cd	0.72-6.5	2.5-12.2
		Cr	0.16-0.22	0.18-0.24
		Pb	0.002-4.5	0.01-0.29
		Zn	0.28-1.62	0.28-4.00



Είδος	Τμήμα φυτού	Στοιχείο	Συντελεστής Βιοσυσσώρευσης	
			Ξύλο	Φύλλα
Eucalyptus (<i>Eucalyptus spp.</i>)	ξύλο	As	0.01	-
		Cd	0.1-0.90	0.32-0.94
		Cr	0.1	0.1- 1.2
		Pb	0.03	0.3
		Zn	0.05- 7.61	0.37- 6.14



Είδος	Τμήμα φυτού	Στοιχείο	Συντελεστής Βιοσυσώρευσης
			Shoot
Giant reed (<i>Arundo donax</i>)	Βλαστός	As	0.012
		Cd	0.01-0.17
		Ni	0.01-0.06
		Zn	0.04–0.008
		Pb	0.007–0.0005

Ευχαριστώ πολύ
