



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΜΕ ΦΥΤΟΕΞΥΓΙΑΝΣΗ
ΣΤΟ ΔΗΜΟ ΑΡΓΟΥΣ-ΜΥΚΗΝΩΝ»

ΣΤΑΜΑΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
"Εφαρμοσμένη Επιστήμη και Τεχνολογία στη Γεωπονία"

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021

ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

ΚΑΘ. ΚΟΣ ΛΟΥΛΑΚΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΚΑΘ. ΚΑ ΔΡΑΓΑΣΑΚΗ ΜΑΓΔΑΛΗΝΗ

ΚΑΘ. ΚΟΣ ΚΟΝΤΑΞΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην Ελληνική Επικράτεια ένα ποσοστό της τάξεως των 53% των συνολικών οικιακών αποβλήτων προορίζονται σε χώρους υγειονομικής ταφής οι οποίοι είναι οργανωμένοι, σε αντίθεση με το υπόλοιπο ποσοστό το οποίο καταλήγει σε χωματερές που δεν είναι δυνατό να τις εξακριβώσουν με έλεγχο. Αρκετές χωματερές παρουσιάζουν θέματα, τα οποία αφορούν τον τρόπο λειτουργίας, την συστηματική παρατήρηση των κινήσεων και τη φροντίδα για την εξέλιξη αυτής. Από το χώρο αυτό παρουσιάζεται παντελώς έλλειψη συστημάτων, όπως η διεργασία κατά την οποία τα οργανικά υλικά μετατρέπονται σε μια πλούσια σκούρα ουσία (κομποστοποίηση) και τη μελέτη μεθόδων που αφορούν τη θερμική επεξεργασία. Αποτέλεσμα αυτών των ανεξέλεγκτων χωματερών είναι η δημιουργία πιθανόν υγρών εκπλυμάτων και εκρηκτικών αερίων, τα οποία όταν δεν υποστούν τις απαραίτητες επεξεργασίες έχουν ως αποτέλεσμα τη ρύπανση τόσο της επιφάνειας της γης όσο και των υδάτων.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να δοθεί έκταση στον τρόπο αντιμετώπισης αυτής της ρύπανσης και συγκεκριμένα με την τεχνολογία της φυτοεξυγίανσης όσον αφορά το αστικό πράσινο στην περιοχή του Δήμου Άργους-Μυκηνών. Για την οριστική μορφή της μεταπτυχιακής εργασίας, έχουν επιλεγεί κάποια φυτικά είδη τα οποία ανταποκρίνονται σε ότι αφορά τη συγκεκριμένη τεχνολογία.

Γνωρίζουμε ότι ο αριθμός των φυτών που έχει την ικανότητα συσσώρευσης μετάλλων ανέρχεται στον αριθμό των τετακοσίων (400), οι οικογένειες που κυριαρχούν έναντι των άλλων είναι οι Euphobiaceae, Fabaceae, Asteraceae, Lamiaceae, Poaceae, Brassicaceae, Cunouniaceae Violaceae, Caryophyllaceae, Flacourtiaceae, Cyperaceae, τα περισσότερα φυτά που συσσωρεύουν μέταλλα ανήκουν στην οικογένεια Brassicaceae. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα φυτά του είδους *Thlaspi*, τα οποία συγκεντρώνουν μέταλλα και παίζουν καθοριστικό ρόλο στην επαναφορά μετάλλων στο σύνολο των φυσικών συνθηκών και παραγόντων που επιδρούν στους ζωντανούς οργανισμούς.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο: 1^ο

1.1 Εισαγωγή.....	18
-------------------	----

Κεφάλαιο 2^ο : Θεωρητικό πλαίσιο

2.1 Αστικό περιβάλλον.....	19
2.1.1 Υπαίθριοι αστικοί χώροι-Χώροι πρασίνου.....	22
2.1.1.1 Κοινωνικά οφέλη.....	24
2.1.1.2 Οικονομικά οφέλη.....	25
2.1.1.3 Οικολογικά οφέλη.....	26
2.1.2 Επίδραση χώρων πρασίνου στο αστικό περιβάλλον.....	27
2.1.3 Δείκτες-Προδιαγραφές αστικού πρασίνου.....	28
2.2 Ευρωπαϊκή πολιτική και δράσεις για το βιώσιμο αστικό περιβάλλον και την αστική κινητικότητα.....	29

Κεφάλαιο 3^ο : Φυτοεξυγίανση

3.1 Γενικά.....	30
3.1.1 Μέταλλα ως ρυπαντές του περιβάλλοντος.....	33
3.1.2 Πρόσληψη και μεταφορά.....	34
3.1.3 Καταπόνηση φυτών.....	38
3.1.4 Φυτοδιαθεσιμότητα βαρέων μετάλλων.....	41
3.1.5 Συστήματα φυτοεξυγίανσης.....	42
3.2 Τεχνολογίες φυτοεξυγίανσης.....	43
3.2.1 Γενικά.....	44
3.2.2 Φυτοσταθεροποίηση.....	46
3.2.3 Ριζοδιήθηση.....	48
3.2.4 Ριζοαποδόμηση.....	50
3.2.5 Φυτοεξάτμιση/Φυτοεξάερωση.....	51
3.2.6 Φυτοσυσσώρευση/Φυτοεξαγωγή.....	52
3.2.7 Φυτοαποδόμηση/Φυτοδιάσπαση.....	53
3.3 Ουσίες οι οποίες ρυπαίνουν το περιβάλλον και είναι ελεγχόμενες.....	53

Κεφάλαιο 4^ο : Αξιολόγηση τεχνολογιών φυτοεξυγίανσης

4.1 Γενικά.....	55
4.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Φυτοεξυγίανσης.....	56
4.2.1 Πλεονεκτήματα της φυτοεξυγίανσης.....	56
4.2.2 Μειονεκτήματα της φυτοεξυγίανσης.....	57
4.3 Οικονομική Αξιολόγηση της Φυτοεξυγίανσης.....	58
4.4 Διαγράμματα ελέγχου για την εφαρμογή της τεχνολογίας της φυτοεξυγίανσης.....	59

Κεφάλαιο 5^ο : Υφιστάμενη κατάσταση στο Δήμο Άργους-Μυκηνών

5.1 Γενικά.....	61
5.2 Στερεά απόβλητα.....	62
5.3 Ρύπανση του εδάφους.....	63
5.4 Οικολογική σημασία της βλάστησης στα ρυπασμένα περιβάλλοντα.....	66

Κεφάλαιο 6^ο : Τεχνολογίες αποκατάστασης υποβαθμισμένων εδαφών

6.1 Γενικά.....	66
6.2 Κριτήρια επιλογής φυτών.....	71
6.3 Χρονικό διάστημα φυτοεξυγίανσης.....	72
6.4 Η δραστηριοποίηση των φυτών στη φυτοεξυγίανση.....	72
6.5 Η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος.....	73
6.6 Φυτά κατάλληλα για φυτοεξυγίανση.....	73
6.6.1 <i>Amarita strobiliformis</i>	73
6.6.2 <i>Eichhornia crassipes</i>	74
6.6.3 <i>Lemna minor</i>	75
6.6.4 <i>Vallisneria Americana</i>	76
6.6.5 <i>Phragmites communis</i>	76
6.6.6 <i>Hydrilla verticillata</i>	77
6.6.7 <i>Myriophyllum aquaticum</i>	78
6.6.8 <i>Typha angustifolia</i>	79
6.6.9 <i>Phragmites australis</i>	80
6.6.10 <i>Festuca arundinacea</i>	81
6.6.11 <i>Agropyron repens</i>	81

6.6.12 <i>Buchloe dactyloides</i>	82
6.6.13 <i>Agrostis castellana</i>	83
6.6.14 <i>Deschampsia cesritosa</i>	84
6.6.15 <i>Cyperus esculentus</i>	85
6.6.16 <i>Festuca rubra</i>	86
6.6.17 <i>Cynodon dactylon</i>	86
6.6.18 <i>Bouteloua gracilis</i>	87
6.6.19 <i>Agrostis tenuis</i>	88
6.6.20 <i>Vetiveria zizanioides</i>	88
6.6.21 <i>Lolium perenne</i>	89
6.6.22 <i>Phalaris arundinacea</i>	90
6.6.23 <i>Panicum virgatum</i>	90
6.6.24 <i>Stenotaphrum secundatum</i>	91
6.6.25 <i>Salix viminalis</i>	92
6.6.26 <i>Acer rubrum</i>	93
6.6.27 <i>Morus rubra</i>	94
6.6.28 <i>Robinia pseudoacacia</i>	94
6.6.29 <i>Hybrid Poplars</i>	95
6.6.30 <i>Eucalyptus tereticornis</i>	96
6.6.31 <i>Liriodendron tulipifera</i>	96
6.6.32 <i>Betula pendula</i>	97
6.6.33 <i>Ocimum basilicum</i> "Genovese"	98
6.6.34 <i>Dactylis glomerata</i>	98
6.6.35 <i>Salix smithiana</i>	99
6.6.36 <i>Populus spp.</i>	100
6.6.37 <i>Liquidambar styraciflua</i>	101
6.6.38 <i>Gleditsia triacanthos</i>	101
6.6.39 <i>S. babylonica L.</i>	102
6.6.40 <i>Vicia spp.</i>	102
6.6.41 <i>Lupinus albus</i>	103
6.6.42 <i>Trifolium pretense</i>	104
6.6.43 <i>Medicago sativa</i>	105
6.6.44 <i>Trifolium repens</i>	105

6.6.45 <i>Melilotus officinalis</i>	106
6.6.46 <i>Cassia alata</i>	107
6.6.47 <i>Brassica napus</i>	108
6.6.48 <i>Thlaspi caerulescens</i>	108
6.6.49 <i>Helianthus annuus</i>	109
6.6.50 <i>Polygonum amphibium</i>	110
6.6.51 <i>Digitalis purpurea</i>	111
6.6.52 <i>Lotus corniculatus</i>	111
6.6.53 <i>Dianthus chinensis</i>	112
6.6.54 <i>Brassica rapa</i>	113
Κεφάλαιο 7^ο : Συμπεράσματα	114
Βιβλιογραφία	116

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικ. 1: Χώρος πρασίνου-πάρκο του πανεπιστημίου Dartmouth στο Ανόβερο των Η.Π.Α.....	23
Εικ. 2: Πνευματική ή ψυχική ξεκούραση σε ελεύθερους χώρους.....	25
Εικ. 3: Τα θετικά στοιχεία από την παρουσία δέντρων στον αστικό ιστό.....	28
Εικ. 4: Πλάτος συγκεντρώσεων καθορισμένων μετάλλων στα φυτά.....	34
Εικ. 5: Συγχώνευση και μετατόπιση των βαρέων μετάλλων στα φυτά διαμέσου των ριζών.....	38
Εικ. 6: Μέθοδοι φυτοεξυγίανσης.....	44
Εικ. 7: Οι μέθοδοι οι οποίοι αναμιγνύονται στη διεργασία της φυτοσταθεροποίησης.....	47
Εικ. 8: <i>Festuca rubra</i>	47
Εικ. 9: <i>Dactylis glomerata</i>	48
Εικ. 10: Διεργασία φυτοσταθεροποίησης.....	48
Εικ. 11: Διεργασία Ριζοδιήθησης.....	49
Εικ. 12: Διεργασία Ριζοαποδόμησης.....	51
Εικ. 13: Διεργασία της φυτοεξάτμισης.....	52
Εικ. 14: Διάγραμμα Φυτοαποδόμησης.....	53
Εικ. 15: <i>Amarita strobiliformis</i>	74
Εικ. 16: <i>Eichhornia crassipes</i> (Υάκινθος του Νερού).....	75
Εικ. 17: <i>Lemna minor</i> (φακή του νερού).....	75
Εικ. 18: <i>Vallisneria Americana</i>	76
Εικ. 19: <i>Phragmites communis</i> (Φραγκίτης).....	77
Εικ. 20: <i>Hydrilla verticillata</i>	78
Εικ. 21: <i>Myriophyllum aquaticum</i>	79
Εικ. 22: <i>Typha angustifolia</i>	80
Εικ. 23: <i>Phragmites australis</i>	80
Εικ. 24: <i>Festuca arundinacea</i>	81
Εικ. 25: <i>Agropyron repens</i>	82
Εικ. 26: <i>Buchloe dactyloides</i>	83
Εικ. 27: <i>Agrostis castellana</i>	84
Εικ. 28: <i>Deschampsia cesritosa</i>	85

Εικ. 29: <i>Cyperus esculentus</i>	85
Εικ. 30: <i>Festuca rubra</i>	86
Εικ. 31: <i>Cynodon dactylon</i>	87
Εικ. 32: <i>Bouteloua gracilis</i>	88
Εικ. 33: <i>Agrostis tenuis</i>	88
Εικ. 34: <i>Vetiveria zizanioides</i>	89
Εικ. 35: <i>Lolium perenne</i>	90
Εικ. 36: <i>Phalaris arundinacea</i>	90
Εικ. 37: <i>Panicum virgatum</i>	91
Εικ. 38: <i>Stenotaphrum secundatum</i>	92
Εικ. 39: <i>Salix viminalis</i>	92
Εικ. 40: <i>Acer rubrum</i>	93
Εικ. 41: <i>Morus rubra</i>	94
Εικ. 42: <i>Robinia pseudoacacia</i>	95
Εικ. 43: <i>Hybrid Poplars</i>	95
Εικ. 44: <i>Eucalyptus tereticornis</i>	96
Εικ. 45: <i>Liriodendron tulipifera</i>	97
Εικ. 46: <i>Betula pendula</i>	98
Εικ. 47: <i>Ocimum basilicum</i> "Genovese"	98
Εικ. 48: <i>Dactylis glomerata</i>	99
Εικ. 49: <i>Salix smithiana</i>	100
Εικ. 50: <i>Populus spp</i>	100
Εικ. 51: <i>Liquidambar styraciflua</i>	101
Εικ. 52: <i>Gleditsia triacanthos</i>	102
Εικ. 53: <i>S. babylonica L</i>	102
Εικ. 54: <i>Vicia sativa L</i>	103
Εικ. 55: <i>Lupinus albus</i>	104
Εικ. 56: <i>Trifolium pretense</i>	105
Εικ. 57: <i>Medicago sativa</i>	105
Εικ. 58: <i>Trifolium repens</i>	106
Εικ. 59: <i>Melilotus officinalis</i>	107
Εικ. 60: <i>Cassia alata</i>	107
Εικ. 61: <i>Brassica napus</i>	108

Εικ. 62: <i>Thlaspi caerulescens</i>	109
Εικ. 63: <i>Helianthus annuus</i>	110
Εικ. 64: <i>Polygonum amphibium</i>	110
Εικ. 65: <i>Digitalis purpurea</i>	111
Εικ. 66: <i>Lotus corniculatus</i>	112
Εικ. 67: <i>Dianthus chinensis</i>	112
Εικ. 68: <i>Brassica rapa</i>	113

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίν. 1: Τα πέντε αισθητηριακά συστήματα του ανθρώπου και οι επιδράσεις της πρόσληψης ερεθισμάτων από το περιβάλλον.....	21
Πίν. 2 : Είδη υπερ-συσσωρευτών μετάλλων και το ανάλογο δυναμικό βιοσυσσώρευσής τους.....	36
Πίν. 3: Συντελεστές μεταβολών των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων φυτικών οργανισμών.....	40
Πίν. 4-5 : Διαθέσιμες εφαρμογές τεχνικών φυτοεξυγίανσης ώστε να αντιμετωπιστούν τα διάφορα ρύπη σε ύδατα και εδάφη.....	44
Πίν. 6: Τύποι φυτικών ή ζωικών μικροοργανισμών που ζουν παρασιτικά ανά κατηγορία.....	50
Πίν. 7: Η ταυτόχρονη και παράλληλη εξέταση όσον αφορά το κόστος εφαρμογής της φυτοεξυγίανσης συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες επαναφοράς σε καλή κατάσταση προβληματικών επιφανειών της γης.....	58
Πίν. 8: Η διαδικασία του προκαθορισμού και της υπόδειξης μιας σειράς ενεργειών, σχετικά με την υλοποίηση φυτοεξυγίανσης.....	68
Πίν. 9: Χαρακτηριστικά παραδείγματα ειδών των οποίων είναι ικανή η χρήση τους σαν υπερσυσσωρευτές βαρέων μετάλλων στην επαναφορά σε καλή κατάσταση των επιφανειών της γης.....	69

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Συνδυασμοί μετακίνησης ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον από το τμήμα του στερεού φλοιού της γης που βρίσκεται κάτω από το έδαφος στο φυτό και από το φυτό στο μείγμα των αερίων που περιβάλλει τη γη ή άλλα ουράνια σώματα κατά τη διάρκεια εφαρμογής της μελέτης των μεθόδων που χρησιμοποιούνται στη φυτοεξυγίανση.....32

Σχήμα 2: Τα καλύτερα όρια βελτίωσης ενός φυτού και η παρουσίαση παθολογικών φαινομένων καταπόνησης κατά την αύξηση ή ελάττωση της έντασης του συντελεστή καταπόνησης.....39

Σχήμα 3: Γραφική παράσταση εξέλιξης της εφαρμογής της φυτοεξυγίανσης.....60

Σχήμα 4: Ταξινόμηση των στερεών ουσιών που παράγονται κατά τη βιομηχανική επεξεργασία και αποβάλλονται από τις βιομηχανίες ως άχρηστες.....63

Σχήμα 5: Σύνολο ενεργειών που αφορούν τη ρύπανση λαμβάνοντας υπόψη γεγονότα που έχουν συμβεί σε μια ορισμένη στιγμή.....65

ΛΙΣΤΑ ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΩΝ

Pd= Μόλυβδος

Co= Κοβάλτιο

Se= Σελήνιο

Cu= Χαλκός

Ni= Νικέλιο

Zn= Ψευδάργυρος

UGS= Η διάθεση των αστικών χώρων στο σύνολο των συνθηκών και των παραγόντων μέσα στο οποίο δημιουργείται, υπάρχει και αναπτύσσεται κάποιος

E.P.A = Η υπηρεσία που είναι υπεύθυνη για την προστασία του περιβάλλοντος των Η.Π.Α.

CO₂= Διοξείδιο του άνθρακα

Cr= Χρώμιο

Cd= Κάδμιο

Hg= Υδράργυρος

As= Αρσενικό

PH= Πεχά

NO₃= Νιτρικό

Mg= Μαγγάνιο

K= Κάλιο

Ca= Ασβέστιο

PCBs = Πολυχλωριωμένα διφαινύλια

PAHs = Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες

¹³⁷Cs= Καίσιο 137

⁹⁰Sr= Στρόντιο 90

²³⁸Pu=Pu=U= Πλουτόνιο

BTEX= Πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες

TPH= Σύνολο προϊόντων πετρελαίου (ολικοί υδρογονάνθρακες πετρελαίου)

PCB= Ανθεκτικοί οργανικοί ρύποι

TNT= 2,4,6-τρινιτροτολουόλιο ή τρινιτροτολουόλιο ή τρινιτροτολουόλη

DNT= Δινιτροτολουένιο

RDX= Κυκλονίτης ή εξαγόνο

HMX= Οκταγόνο/κυκλοτετραμεθυλενοτετρανιτραμίνη

TNB= Εκρηκτικά

Kow= Συντελεστής κατανομής οκτανόλης-νερού

Al= Αργίλιο

Ag= Άργυρος

HCB= Εξαχλωροβενζόλιο

Mn= Μαγνήσιο

TC= Αντιβιοτικά τετρακυκλίνης

AMD= φαινόμενο της εξάτμισης των υγρών αποβλήτων κατοικημένων περιοχών ή της αποξήρανσης ορυχείων οξέος

Fe= Σίδηρος

Ba= Βάριο

Mo= Μόλυβδος

EDTA= Αιθυλενοδιαμινοτετραοξικό οξύ

DTPA= Πεντικό οξύ ή Διαιθυλενοτριμινοπενταοξικό οξύ

B= Βόριο

P= Φώσφορος

TCA= Τριχλωροξικό οξύ ή 1, 1, 1 τριχλωροαιθάνιο (Αποτελεί μέρος της κατηγορίας των χλωριωμένων υδρογονανθράκων)

TCE= Τριχλωροαιθυλένιο (Αποτελεί μέρος της κατηγορίας των χλωριωμένων υδρογονανθράκων)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια μεγάλη αύξηση του πληθυσμού οι οποίοι διαμένουν σε πόλεις ή κωμοπόλεις. Στο εσωτερικό των πόλεων η παρουσία περισσότερων αστικών υπαίθριων χώρων και χώρων πρασίνου κρίνεται υποχρεωτική αφού η ύπαρξη αυτών συμμετέχει στη βελτίωση της υγείας, στις καλύτερες συνθήκες διαβίωσης και στην καλύτερευση της ψυχικής κατάστασης των ατόμων, στους οποίους χώρους, ο ανθρώπινος παράγοντας διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο.

Ένα σύνολο ανθρώπινων ενεργειών συμβάλλουν στη ρύπανση των επιφανειών της γης σε μεγάλο βαθμό, με αποτέλεσμα την εμφάνιση μορφών ρύπανσης, από οργανικούς ρυπαντές και από βαρέα μέταλλα. Μεταξύ των υπολοίπων, ένας παράγοντας ο οποίος συμμετέχει στη ρύπανση της επιφάνειας της γης και του νερού που βρίσκεται κάτω από αυτήν είναι η διαδικασία χειρισμού αστικών, βιομηχανικών και στερεών αποβλήτων.

Στην εποχή του σύγχρονου βιομηχανικού κόσμου και της εντατικής καλλιέργειας κάποιες εκτάσεις γης είναι αποδέκτες αποβλήτων με διαφορετικές διαδικασίες: α) με τρόπο που δεν έχει προβλεπτεί όπως είναι τα περιβαλλοντικά ατυχήματα και β) μεθοδευμένα, όπως οι βιομηχανικές ζώνες, οι διαφορετικές χωματερές που δεν υπόκεινται σε έλεγχο συσσώρευσης αποβλήτων και οι προβληματικές γεωργικές εκτάσεις.

Η ύπαρξη των εκτάσεων όπου εντοπίζεται το πρόβλημα της ρύπανσης, είναι ένα θέμα το οποίο τα τελευταία χρόνια έχει πολύ ενδιαφέρον όσον αφορά την ανθρώπινη υγεία καθώς και την υποβάθμιση της ομορφιάς του τοπίου. Πολλές εκτάσεις γης κατόπιν των ανθρωπίνων επεμβάσεων και εξαιτίας της εγκατάλειψης λόγω κοινωνικών και οικονομικών μεταβολών παρουσιάζουν υποβάθμιση περιλαμβάνοντας ανόργανες και οργανικές ουσίες που ρυπαίνουν το περιβάλλον.

Η ανάγκη εξυγίανσης είναι δεδομένη λόγω των ρυπασμένων περιοχών εξαιτίας της διατάραξης της ανθρώπινης υγείας, της επαναφοράς ρυπασμένων εδαφών στη φυσιολογική τους κατάσταση, της δημιουργίας ευνοϊκών συνθηκών για το περιβάλλον και τέλος για λόγους που σχετίζονται με την αισθητική.

Η προσπάθεια απαλλαγής από αυτήν τη δύσκολη κατάσταση, ενδέχεται να επιτευχθεί με μεθόδους επαναφοράς που μπορεί να εναλλάσσονται. Στις μεθόδους αυτές, οι οποίες μπορούν να χαρακτηριστούν ως σύγχρονες και καινοτόμες

κατατάσσεται η αποκατάσταση των οποιοδήποτε θεμάτων ανησυχίας που σχετίζονται με το περιβάλλον, με βιολογικούς τρόπους, δεδομένη ως βιοθεραπεία (bioremediation). Άλλη μια τεχνολογία αυτής της κατηγορίας είναι και η φυτοεξυγίανση (phytoremediation). Η μέθοδος αυτή αποτελεί αντικείμενο ανάπτυξης της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής. Με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται κάποια συγκεκριμένα φυτά, από τα οποία γίνεται χρήση των μηχανισμών απορρόφησης, συγκέντρωσης και διάσπασης των ανόργανων και οργανικών ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον.

Το οργανωμένο σύνολο κανόνων που αφορά τη φυτοεξυγίανση εκτός του ότι αποτελεί μία οικονομική εξέταση και ορθότητα της ήδη υπάρχουσας κατάστασης, αποσκοπεί στη μετακίνηση των ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον εντός της γης, χωρίς να προκαλεί την καταστροφή του εδάφους και από πλευράς αισθητικής να δημιουργεί καλή ψυχική διάθεση και να είναι αποδεκτό από τους κατοίκους των πόλεων.

Λέξεις κλειδιά: Φυτοεξυγίανση, βαρέα μέταλλα, φυτοσταθεροποίηση, φυτοσυσσώρευση, φυτοαποδόμηση.

ABSTRACT

In recent years there has been a large increase in the population living in cities or towns. Inside cities, the presence of more urban outdoor spaces and green spaces is considered mandatory as their existence contributes to improving health, better living conditions and improving the mental state of individuals, in which areas, the human factor plays a key role.

A set of human actions contribute to the pollution of the earth's surface to a great extent, resulting in the appearance of forms of pollution, from organic pollutants and heavy metals. Among the rest, one factor that contributes to the pollution of the earth's surface and the water beneath it is the process of handling municipal, industrial and solid waste.

In the age of the modern industrial world and intensive farming, some areas of land receive waste through different processes: a) in a way that is not foreseen such as environmental accidents and b) methodically, such as industrial zones, different landfills that are not subject to waste accumulation control and problem areas.

The existence of areas where the problem of pollution is located, is an issue that in recent years has been very interesting in terms of human health and the degradation of the beauty of the landscape. Many areas of land due to human intervention and due to abandonment due to social and economic changes are degraded to include inorganic and organic substances that pollute the environment.

The need for remediation is given due to the contaminated areas due to the disturbance of human health, the return of contaminated soils to their normal state, the creation of favorable conditions for the environment and finally for reasons related to aesthetics. The effort to get rid of this difficult situation may be achieved with interchangeable recovery methods.

These methods, which can be described as modern and innovative, include the rehabilitation of any issues of environmental concern, in biological ways, given as biotherapy (bioremediation). Another technology in this category is phytoremediation. This method is the subject of the development of the present postgraduate thesis. This method uses some specific plants, from which the Mechanisms of absorption, concentration and decomposition of the inorganic and organic substances that pollute the environment are used.

The organized set of rules concerning phytosanitary, apart from being an economic examination and correctness of the already existing situation, aims at the movement of substances that pollute the environment into the earth, without causing soil damage and from an aesthetic point of view to create good mental available and acceptable to city dwellers.

Keywords: Phytoremediation, heavy metals, phytostabilization, phytoextraction, phytodegradation.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 Εισαγωγή

Για την επιτυχία της κάλυψης των ψυχικών και υλικών αναγκών, οι οποίες είναι αποτέλεσμα της ίδιας του της φύσης, ο άνθρωπος αποφάσισε να διαμένει σε πόλεις και οικισμούς, ως μέλος μιας οργανωμένης κοινωνίας. Η πραγματοποίηση επιδίωξης των αναγκών του κατά αυτόν τον τρόπο εξαρτάται από την ποιότητα της ατμόσφαιρας αυτής, μέσα στην οποία διαμένει και από τη εσωτερική διάθρωση του χώρου που αναφέρεται στην πόλη. Επομένως, ένας βασικός σκοπός που αφορά τον πολεοδομικό σχεδιασμό είναι η πραγματοποίηση μιας γεωμορφολογίας η οποία σχετίζεται με την πόλη, με ωφέλιμες, περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές συνέπειες οι οποίες αφορούν το σύνολο του αστικού χώρου αλλά και κάθε προσωπικότητα χωριστά. Η ύπαρξη πράσινων ελεύθερων χώρων που βρίσκονται στις διαστάσεις που καταλαμβάνει ένα δομημένο περιβάλλον μιας πόλης, αποσκοπούν στην ποιότητα του αστικού περιβάλλοντος (Κόνιαρος και Πρινιάρης, 2013).

Η ανθρώπινη επαφή με το σύνολο των συνθηκών και των παραγόντων μέσα στο οποίο δημιουργείται, υπάρχει και αναπτύσσεται κάποιος, καθώς και η εκτίμηση προς αυτό, είναι κάτι το οποίο επιβάλλεται (Μπαρμπούτση, 2015).

Αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων είναι η απελευθέρωση σε καθημερινή βάση μεγάλων συγκεντρώσεων αέριων ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον στο μείγμα των αερίων που περιβάλλει τη γη ή άλλα ουράνια σώματα. Μεταξύ των ουσιών αυτών που παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον όσον αφορά την ρύπανση του περιβάλλοντος, αποτελούν τα βαρέα μέταλλα. Το μεγαλύτερο πρόβλημα εμφανίζεται στις εκτάσεις των πόλεων, οι οποίες είναι παραλήπτες βαρέων μετάλλων σε μεγάλο ποσοστό. Οι επιπτώσεις των στοιχείων αυτών παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον στην ανθρώπινη υγεία και παρατηρείται το φαινόμενο της τοξικής δράσης ακόμα και σε αμελητέες ποσότητες (Γεωργίου, 2014). Τα βαρέα μέταλλα δεν μπορούν να αποικοδομηθούν με αποτέλεσμα την παραμονή τους στο σύνολο των φυσικών συνθηκών και παραγόντων που επιδρούν στους ζωντανούς οργανισμούς για πάντα (Μα κ.α. 2016).

Για τη μετακίνηση σε μια απόσταση των ουσιών αυτών που ρυπαίνουν το περιβάλλον έχει καθοριστεί η χρησιμοποίηση φυτών και η μέθοδος η οποία ακολουθείται για την πραγματοποίηση αυτής είναι η μέθοδος της φυτοεξυγίανσης. Η φυτοεξυγίανση γνωστοποιεί τη διεργασία για την «ex situ» ή «in situ» επαναφορά σε

καλή κατάσταση επιφανειών της γης, υδάτων και υλικών, διαμέσου της απομάκρυνσης, χωρισμού ενός συνόλου σε μικρότερα τμήματα και επίτευξης σταθερότητας των ρυπαντικών ουσιών. Στηρίζεται στις φυσικοχημικές και βιολογικές διαδικασίες των φυτών. Η μελέτη των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της φυτοεξυγίανσης, είναι κατάλληλη για την προσπάθεια απαλλαγής από μια δύσκολη κατάσταση όσον αφορά τόσο ανόργανες όσο και οργανικές ρυπαντικές ουσίες (Γερωνυμάκης, 2017).

Υπάρχει ποικιλομορφία τεχνολογιών όσον αφορά τη φυτοεξυγίανση, όπως: η φυτοσταθεροποίηση, η ριζοδιήθηση, η ριζοαποδόμηση, η φυτοεξάτμιση, η φυτοσυσσώρευση και η φυτοαποδόμηση. Επίσης, αξίζει να αναφερθούμε και στη χρησιμοποίηση των φυτών υπερσυσσωρευτών τα οποία αποσκοπούν στη μετακίνηση ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον από επιφάνειες της γης οι οποίες είναι μολυσμένες και τη μεταβίβαση των ουσιών αυτών στους φυτικούς ιστούς τους που βρίσκονται επάνω από την επιφάνεια της γης. Συγκριτικά με άλλα φυτά, τα φυτά υπερσυσσωρευτές είναι φυτά τα οποία απορροφούν από την επιφάνεια της γης μέταλλα σε μη επιτρεπτές συγκεντρώσεις. Η πετυχημένη χρησιμοποίηση αυτών των φυτών στη φυτοεξυγίανση συνίσταται στο κλάσμα της βιομάζας η οποία παράγεται, σε συνύπαρξη με τη συγκέντρωση του στοιχείου που μεταφέρεται στο φυτό. Σε αρκετά προβληματικές επιφάνειες της γης, η μοναδική ίσως λύση είναι η χρησιμοποίηση των ανωτέρω φυτών. Είναι αρκετοί αυτοί από τους οποίους έχει γίνει νύξη για την επαναφορά μολυσμένων επιφανειών της γης με Pb, Co, Se, Cu, Ni, Zn (Ξηνού, 2011).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Θεωρητικό πλαίσιο

2.1 Αστικό περιβάλλον

Ο σημερινός τρόπος ζωής καθώς και τα πολυδιάστατα θέματα που παρουσιάζονται στις πόλεις, οδηγούν σε πολλές μη θετικές συνέπειες σε βάρος της ποιότητας του αστικού περιβάλλοντος. Ο περιορισμένος χρόνος που είναι στη διάθεσή μας για επικοινωνία με τη φύση και η απόσταση που μας χωρίζει από αυτήν, είναι η αιτία που ο άνθρωπος έχει απομακρυνθεί ριζικά από τα στοιχεία που μας δίνει η φύση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μη αναβάθμιση του φυσικού στοιχείου στην πόλη. Επιπλέον, εξαιτίας των πολλών διοικητικών, κοινωνικών, οικονομικών θεμάτων για τα οποία θα πρέπει να δώσει λύση ο πολεοδομικός σχεδιασμός, συχνά δεν έχει τη

δυνατότητα να εξασφαλίσει το απαραίτητο πράσινο στους αστικούς χώρους (Παπαρουσόπουλος, 2019).

Επομένως η παρουσία περισσότερων αστικών υπαίθριων χώρων και χώρων πρασίνων κρίνεται υποχρεωτική αφού η παρουσία αυτών των χώρων στο εσωτερικό της πόλης συμμετέχει στη βελτίωση της υγείας ,στις καλύτερες συνθήκες διαβίωσης και στην καλύτερευση της ψυχικής κατάστασης των ατόμων, ενώ παράλληλα επιδρά θετικά όσον αφορά την περιβαλλοντική προστασία, τη μη διατάραξη του συνόλου των γονιδίων, των βιολογικών ειδών και των οικοσυστημάτων μιας περιοχής καθώς και την αειφόρο ανάπτυξη (Ζήση, 2017).

Το ανθρωπογενές ή φυσικό περιβάλλον το οποίο περιβάλλεται μέσα στα όρια μιας πόλης χαρακτηρίζεται ως αστικό περιβάλλον (Αναστόπουλος, 2017). Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει μια μεγάλη αύξηση του πληθυσμού οι οποίοι διαμένουν σε κωμοπόλεις ή πόλεις, η οποία πλησιάζει το 50% (Michael, 2000). Η πόλη αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της ανθρώπινης δράσης, είναι η περιοχή μέσα στην οποία ξετυλίγεται ένα μεγάλο μέρος της κοινωνικής και πνευματικής ζωής, της παραγωγικής δραστηριότητας, που εμφανίζουν καθοριστικό ρόλο για την ιστορική εξέλιξη (Γκικόκας, 2015).

Οι μεγάλης έκτασης οικισμοί με θεσμοθετημένες λειτουργίες, αποτελούνται από πολύμορφα ζωντανά όντα όπως είναι τα φυτά, τα ζώα, ο άνθρωπος. Οι οργανισμοί αυτοί βρίσκονται σε αλληλεπίδραση με όλους τους μη ζώντες παράγοντες που επηρεάζουν το οικοσύστημα, όπως είναι το νερό, το σύνολο των ατμοσφαιρικών και μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούν σε έναν τόπο, η επιφάνεια της γης και η τοπογραφία (Ματζίρης, 2011) .

Οι ενέργειες που οφείλονται στην προσωπική κρίση και βούληση αυτού που ενεργεί για την δεντροφύτευση αστικών περιοχών, συμβάλλουν ενεργά έτσι ώστε οι αστικές εκτάσεις γης να αυξάνουν τη δυνατότητα κάποιου να επιβιώσει και να καλυτερεύσουν την οικονομική κατάσταση την άνετη ζωή καθώς και τη γενική αίσθηση πολύ καλής σωματικής κατάστασης κυρίως υγείας, με συνέπεια τη δημιουργία ευχάριστης ψυχικής διάθεσης (Salmont κ.α. 2016).

Σε ένα αστικό περιβάλλον τα δέντρα είναι απολύτως αναγκαία για δύο λόγους, πρώτον εξαιτίας της αισθητικής τους αξίας και ένας δεύτερος λόγος εξαιτίας της ψυκτικής τους επίδρασης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που συντελούν στη διαμόρφωση του τοπικού μικροκλίματος (Leuzinger κ.α. 2010).

Στη συνέχεια (Πίν. 1) θα αναφερθούν πιο λεπτομερειακά κάποια στοιχεία του αστικού περιβάλλοντος που έχουν είτε θετική είτε αρνητική ισχύ στο άτομο και στην γνώση που προέρχεται από την πρακτική ενασχόληση του μέσα σε αυτό (Παπαστεργίου, 2019).

Οπτικό Σύστημα.	Η αντίδραση του οπτικού συστήματος αφενός από το περιβάλλον το οποίο έχει δομηθεί και αφετέρου από το φυσικό περιβάλλον έχει τη δυνατότητα να κατέχει ιδιότητες επαναφοράς για το άτομο
	Οπτικά δεδομένα τα οποία εμφανίζονται είτε πολύπλοκα είτε μυστηριώδη, μπορεί να προξενήσουν το συναίσθημα της ευχαρίστησης και της περιέργειας, ειδικότερα σε περιπτώσεις όπου οι περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν είναι γνώριμες για τον κάτοικο
	Το αίσθημα του φόβου πολλαπλασιάζεται με την ένδειξη μη άριστης οπτικής εμβέλειας του ανθρώπου στο δημόσιο χώρο
Ακουστικό Σύστημα.	Η παρουσία κάποιων ήχων όπως αυτοί της φύσης οι οποίοι δεν είναι δυσάρεστοι για το άτομο και πιθανόν ωφέλιμοι για την πολύ καλή οικονομική κατάσταση και συνεπώς άνετη ζωή του, καθώς η υποβολή του σε αυτούς μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα
	Αντιθέτως, η υποβολή σε δυνατούς ήχους, όπως αυτοί που διαπιστώνονται στο αστικό περιβάλλον (συνωστισμός ανθρώπων, εργασίες, κίνηση αυτοκινήτων κ.ά.), συντελεί στην υποβάθμιση του επιπέδου της ποιότητας του συνόλου των βασικών και κοινών λειτουργιών του ανθρώπου
Απτικό Σύστημα.	Το απτικό σύστημα είναι ιδιαίτερος αξιόλογος για τη δυνατότητα κίνησης των ατόμων με θέματα όρασης. Κατόπιν τούτου οι απτικές επιφάνειες στον αστικό χώρο χαράζουν τα όρια των διαδρομών και βοηθούν ηθικά ή υλικά τα άτομα αυτά
	Η χρησιμοποίηση απτικών στοιχείων στο δημόσιο χώρο δίνει τη

	δυνατότητα στην προσέγγιση μεγαλύτερου πληθυσμού
Σύστημα Οσφρησης Γεύσης.	Οι ευωδιές της φύσης μπορεί να προξενήσουν ευχάριστα συναισθήματα, με αποτέλεσμα να διαμορφώνουν τον τρόπο με τον οποίο ενεργεί ένα άτομο, και τις αμοιβαίες επιδράσεις προσώπων
Βασικό Σύστημα Προσανατολισμού.	Ως επί το πλείστον, έχει σχέση με τη διάταξη στο χώρο σε σχέση με τα σημεία του ορίζοντα και αλληλοεξαρτάται από το έδαφος και την ελκτική δύναμη. Παράλληλα υπάρχει κι ο μη μόνιμος προσανατολισμός ο οποίος διαμορφώνεται από τους βαθμούς θερμότητας, τους ήχους, τις οσμές κ.ά.

Πίνακας 1: Τα πέντε αισθητηριακά συστήματα του ανθρώπου και οι επιδράσεις της πρόσληψης ερεθισμάτων από το περιβάλλον (Παπαστεργίου, 2019)

2.1.1 Υπαίθριοι αστικοί χώροι-Χώροι πρασίνου

Ως πράσινοι χώροι χαρακτηρίζονται όλες οι εγκαταστάσεις που βρίσκονται στην ύπαιθρο και είναι στη χρησιμοποίηση του πληθυσμού που είναι συγκεντρωμένος σε μια αστική περιοχή μέσα ή σε άμεση επαφή με την πόλη (Χατζηνείρος, 2008). Επίσης ως χώροι αστικού πρασίνου χαρακτηρίζονται οι ελεύθεροι κοινόχρηστοι χώροι ενός μεγάλου έκτασης οικισμού με θεσμοθετημένες λειτουργίες, οι οποίοι παρέχουν φιλοξενία κάποιας μορφής βλάστησης και στους οποίους προσεγγίζουν οι πολίτες (Γλαντζή και Ράμφου, 2012). Οι χώροι αυτοί είναι μέλη του αστικού ιστού, ο ρόλος τους είναι πολυσύνθετος και αποβλέπουν στο σύνολο ενεργειών ή πολλαπλών διαδικασιών, που προορίζονται να εκπληρώσουν ειδικούς σκοπούς όπως οικονομικές – κοινωνικές σχέσεις (Λαμπίδου, 2017). Είναι σημεία της πόλης όπου γίνεται ανταλλαγή απόψεων από τα άτομα που διαμένουν σε αυτήν και δίνεται η δυνατότητα σε ένα άτομο να εντάσσεται και να ενσωματώνεται μέσα στο κοινωνικό σύνολο (Κώτσιου, 2005).

Οι σύνθετες λειτουργίες με τις οποίες οι άνθρωποι μιας πόλης αποκτούν γνώση της πραγματικότητας επηρεάζονται έντονα από την ελκυστικότητα και από την εικόνα αυτής. Η ύπαρξη των πράσινων χώρων, η αποτελεσματικότητα και η λειτουργία τους, η έκταση που περιλαμβάνουν αποτελούν κριτήρια που παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον για τον προσδιορισμό της αξίας της ποιότητας των πολιτών (Ζωνζήλου, 2010). Οι δημόσιοι αυτοί χώροι προσφέρουν στους κατοίκους της περιοχής τη δυνατότητα να

πραγματοποιήσουν ανάγκες που παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον, να σχηματίσουν και να προφυλάσσουν κύρια δικαιώματα που αφορούν τον άνθρωπο, και να λειτουργήσουν έτσι ώστε να εξαπλωθούν εξαιρετικές έννοιες που αναφέρονται στον πολιτισμό (Μπαρηγουριώτης, 2016).

Οι χώροι αστικού πρασίνου (Εικ. 1), κατατάσσονται όπως παρακάτω:

- α) Οι υπαίθριοι χώροι οι οποίοι συνήθως αποτελούν τμήμα ενός ευρύτερου πάρκου και απευθύνονται στη διασκέδαση των παιδιών
- β) Οι δρόμοι μέσα σε πόλη ή χωριό
- γ) Τα υψηλότερα τμήματα ενός δρόμου τα οποία προορίζονται για τους πεζούς και είναι σε ένα υψηλότερο επίπεδο από το κεντρικό τμήμα
- δ) Περιφραγμένη δημόσια έκταση με πράσινο, στο κέντρο μιας πόλης
- ε) Οι μεγάλης έκτασης επίπεδοι, ακάλυπτοι και διαμορφωμένοι χώροι μέσα σε κατοικημένη περιοχή
- στ) Ο ανοικτός δημόσιος χώρος διαμορφωμένος σε κήπο ή μικρό τεχνητό δάσος μέσα ή κοντά σε πόλη
- ζ) Οι δρόμοι στους οποίους απαγορεύεται η κίνηση οχημάτων (Βιλάνου, 2014).



Εικόνα 1: Χώρος πρασίνου-πάρκο του πανεπιστημίου Dartmouth στο Ανόβερο των Η.Π.Α (Γλαντζή και Ράμφου, 2012).

Η ύπαρξη πρασίνου στην πόλη εξασφαλίζει οξυγόνο, ελαττώνει το θόρυβο, αλλάζει το κλίμα της έκτασης γης, αναβαθμίζει την αισθητική και συντελεί στην καλύτερευση της ποιότητας της ατμοσφαιρικής σύνθεσης (Χρονοπούλου, 2010). Τα

κέρδη τα οποία μπορούν να αποδοθούν στις πόλεις καθώς και οι διαστάσεις όπως οικονομικές, αισθητικές, περιβαλλοντικές, κοινωνικές από τους χώρους αστικού πρασίνου είναι πολλά (Νικολή, 2009).

2.1.1.1 Κοινωνικά οφέλη

Τα κέρδη τα οποία προσφέρουν οι αστικοί υπαίθριοι χώροι στους κατοίκους μιας περιοχής είναι αρκετά και κατά αυτόν τον τρόπο βελτιώνεται αισθητά η σωματική και ψυχική, ομαλή και υγιής κατάσταση του νου των ανθρώπων. Πιο εξειδικευμένα, τα κοινωνικά οφέλη των ελεύθερων κοινόχρηστων χώρων (Εικ. 2) αποτελούν:

- α) Η αίσθηση απουσίας περιορισμού
- β) Η άσκηση που αναφέρεται στο σώμα ενός ζωντανού οργανισμού και ειδικότερα του ανθρώπου
- γ) Η επαφή με τη φύση και η εξαρτώμενη σχέση των ανθρώπων από αυτήν
- δ) Η αύξηση του συναισθήματος του συνόλου προσώπων, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με πολύ στενό συγγενικό δεσμό
- ε) Η καλλιέργεια που ανήκει ή που αναφέρεται στην ικανότητα του ανθρώπινου μυαλού να σκέφτεται, να εκφράζει τις σκέψεις του και να δημιουργεί αντίστοιχα
- στ) Η σταδιακή βελτίωση, η πραγματοποίηση και η ορθότητα ικανοτήτων και δεξιοτήτων
- ζ) Η ανάκλαση των κοινωνικών και προσωπικών αξιών
- η) Η επαφή με νέα άτομα και στενούς φίλους που συμμετέχει στην αύξηση διαδράσεων μεταξύ κοινωνικών υποκειμένων που έχουν κάποιο βαθμό αλληλεξάρτησης
- θ) Η πραγματοποίηση και σταδιακή αύξηση δημιουργικών ιδιοτήτων που έχει κάποιος, από τη φύση του ή από το χαρακτήρα του, να πετυχαίνει ένα αποτέλεσμα ή στόχο
- ι) Η διαπίστωση αξιών και ικανοτήτων από το κοινωνικό περιβάλλον που συμμετέχει στην αύξηση της αξίας του ανθρώπου
- κ) Η απαλλαγή από κούραση τόσο σωματικά όσο και ψυχικά (Αναγνωστοπούλου, 2016).



Εικόνα 2: Πνευματική ή ψυχική ξεκούραση σε ελεύθερους χώρους (Pretty κ.α. 2005)

2.1.1.2 Οικονομικά οφέλη

Οι χώροι πρασίνου συσχετίζονται με οικονομικά οφέλη που παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον και είναι κοινώς αποδεκτά, τα οποία αναφέρονται στη συνέχεια:

α) Βελτίωση εικόνας της έκτασης γης

Η ύπαρξη χώρων πρασίνου σε μια έκταση γης, αναπτύσσει θετική δράση όσον αφορά την αξία της περιοχής για την αγορά διαμερίσματος ή μικρής έκτασης γης που είναι κατάλληλη για οικοδόμηση κτιρίου. Αρκετοί γνωρίζουν ότι οι γειτονιές που συναντώνται πλησίον του πρασίνου αποτελούν ελκτική έκταση γης όσον αφορά τις συνθήκες διαβίωσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την άνοδο της αξίας του τετραγωνικού μέτρου και εφόσον πρόκειται να επιτύχουν καλύτερες συνθήκες ζωής είναι πρόθυμοι να επωμιστούν το κόστος. Με βάση τα ανωτέρω ενισχύεται το σύνολο ενεργειών ομάδας που έχουν σχέση με την οικοδομική και άρα ισχυροποιείται η αγορά μέσω μεσίτη.

β) Βελτίωση ευκαιρίας ασχολίας σε επαγγελματικούς κλάδους που παρουσιάζουν κάποια ομοιότητα

Η ύπαρξη προσωπικού που έχουν τα απαραίτητα προσόντα, είναι αναγκαία για έναν πλήρη χώρο πρασίνου που έχει δομηθεί τόσο στη φάση βελτίωσης και λειτουργίας του όσο και στη διεργασία δημιουργίας και καλύτερευσης του. Πρακτικώς παραχωρεί ικανοποιητικές θέσεις εργασίας όπως οι δασοπόνοι, οι φύλακες, οι μηχανικοί, οι γεωπόνοι, οι κηπουροί και οι καθαριστές.

γ) Ελάττωση εξόδων στην κατανάλωση ενέργειας.

Γνωρίζουμε ότι στα οφέλη που αναφέρονται στο περιβάλλον των χώρων πρασίνου, οι θάμνοι και τα δέντρα είναι αυτά που έχουν την ευθύνη για τη δημιουργία ατμοσφαιρικών συνθηκών που διαφέρουν από εκείνες των γύρω περιοχών. Με το

σωστό καθορισμό της θέσης τους και με την κατάλληλη κατεύθυνσή τους, πιθανόν να οδηγήσουν στην ελάττωση κόστους για θέρμανση κατά τους χειμερινούς μήνες και για ψύξη του εσωτερικού ενός χώρου κατά τους θερινούς μήνες. Αυτό πετυχαίνεται με την παράταξη των δέντρων ως φράκτης που προφυλάσσει από τον άνεμο, με τα κτίσματα που καλύπτουν ανάγκες για σκιά, διαμέσου της εξατμιστικής διεργασίας της εφίδρωσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της ανάγκης για χρησιμοποίηση φυσικού αερίου ή ηλεκτρικής ενέργειας ελαττώνοντας τις εκπομπές άνθρακα και συντηρώντας τα διαθέσιμα καύσιμα που ήδη υπάρχουν (Παπαστεργιοπούλου, 2014).

Αξίζει να σημειώσουμε ότι το κοστολόγιο όσον αφορά τη διαχείριση των υπηρεσιών του οικοσυστήματος σε σχέση με τη σημασία των υπηρεσιών που εξασφαλίζουν οι αστικές εκτάσεις πρασίνου όταν κερδίζουν χρήματα, θα είναι πολύ μικρότερο (Zoest κ.α. 2014).

2.1.1.3 Οικολογικά οφέλη

Η ατομική ή ομαδική μετακίνηση των ανθρώπων από αγροτικές σε αστικές εκτάσεις γης επιβάλλει αξιόλογη πίεση στους αστικούς χώρους πρασίνου που συναντιούνται πλησίον των αστικών κέντρων (Dwivedi κ.α. 2009).

Οι μεγάλης έκτασης οικισμοί με θεσμοθετημένες λειτουργίες, που αποτελούν το διοικητικό, οικονομικό και πολιτιστικό κέντρο μιας ευρύτερης περιοχής και επομένως το μεγαλύτερο ποσοστό του ανθρώπινου γένους, τονίζονται από κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες που συντελούν αρνητικά στην ψυχολογική και σωματική ευμάρειά μας (Carreiro, 2008).

Η διαίρεση των αστικών χώρων πρασίνου σε μικρές εκτάσεις και η ελάττωση αυτών σε συνύπαρξη με την κλιματική αλλαγή και την ελαττωμένη ποιότητα του αστικού πρασίνου έχει επιδράσεις που παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον σε όλες τις οικολογικές διαδικασίες. Παρόλα αυτά η ύπαρξη πάρκων και παρτεριών, δεν είναι ικανοποιητική για έναν οικισμό με θεσμοθετημένες λειτουργίες να επιτύχει το πρότυπο που έχει δυνατότητες να επιζήσει. Ο συγχρονισμένος χωροταξικός διαχωρισμός των αστικών χώρων πρασίνου στο πολεοδομικό σύνολο του οποίου τα στοιχεία είναι συστηματικά τοποθετημένα, καθώς και η ένωσή τους με ζώνες και πράσινους διαδρόμους, πρέπει να ληφθούν υπόψη για τη δραστήρια και συντονισμένη αξιοποίησή τους. Κατά αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα δίκτυο το οποίο εκτείνεται (Βλαχάκη, 2015).

Το περιαστικό και αστικό πράσινο απαλλάσσει τον αέρα από ξένα, περιττά, ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά, όπως το καθάρισμα από τη σκόνη, η συγχώνευση των ασφυξιογόνων και ερεθιστικών αερίων, ισορροπία ανάμεσα άνθρακα και οξυγόνου (Ντιντή, 2012), προφυλάσσει την επιφάνεια της γης, αφομοιώνει και δεσμεύει τους ποικίλους ρυπαντές και παράγει βιότοπους για την πανίδα και χλωρίδα, καλυτερεύει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού, ελαττώνει τις παροχές που κατακλύζουν μια έκταση με νερό, ελαττώνει το κλίμα που έχει σχέση με έναν περιορισμένο σχετικά τόπο και όχι με μια ευρύτερη περιφέρεια (Λεχουρίτη, 2018).

2.1.2 Επίδραση χώρων πρασίνου στο αστικό περιβάλλον

Η δυνατότητα κάποιου να επιβιώσει στις πόλεις, τα τελευταία χρόνια αποκτά όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Σε μια πόλη θεωρείται τελείως απαραίτητο μια διαχείριση του χώρου που γίνεται με ακρίβεια, με σκοπό την ισορροπία μεταξύ στις συγκρουόμενες και πολλές ανάγκες της (Μιχαηλίδου, 2018). Για τον τρόπο που διαμορφώνονται και είναι λειτουργικοί οι οικισμοί με θεσμοθετημένες λειτουργίες, αποφασιστική σημασία έχει ο σχεδιασμός των κινήσεων και οι στόχοι που προτιμούμε για να οικοδομήσουμε τις πόλεις και τα μεγάλα κτίσματα, προορισμένα να καλύψουν στεγαστικές ανάγκες και τέλος ο τρόπος με τον οποίο μελετούμε και προετοιμάζουμε συστηματικά την εκτέλεση του έργου (Ζαχαροπούλου, 2012).

Μια έκταση γης για να χαρακτηριστεί βιώσιμη, θα πρέπει να δημιουργήσει τις ευκαιρίες για βιοποικιλότητα στον ανώτατο δυνατό βαθμό, παρόλο που σε μια βιώσιμη αστική γειτονιά μπορεί να υπάρχει έλλειψη μεγάλων εκτάσεων σε χώρους εκτός εγκεκριμένων ρυμοτομικών σχεδίων, οι οποίοι προβλέπονται από τον πολεοδομικό σχεδιασμό και νοούνται ως χώροι δημιουργίας πνευμόνων πρασίνου και αναψυχής, με στόχο τη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος. Αυτό πραγματοποιείται μέσω των δέντρων των πάρκων (Εικ. 3), των κήπων, των πλατειών, των αυλών, των δρόμων. Στις καινούργιες αστικές εκτάσεις γης, αυτό είναι το περιβάλλον το οποίο πρέπει να δημιουργούμε και ταιριάζει με τη συνδυαστική βελτίωση (Μπικιάκης, 2016).

Οι θάμνοι, η χαμηλή βλάστηση και τα δέντρα προφυλάσσουν από τη θερμότητα του ήλιου τα μεμονωμένα κτίρια κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, η εξατμισοδιαπνοή από τη βλάστηση υπάρχει περίπτωση να ελαττώσει τη θερμοκρασία σε ένα τμήμα ενός οικιστικού συνόλου με ασαφή όρια και

περιορισμένο αριθμό σπιτιών, που είναι χτισμένα το ένα κοντά στο άλλο αλλά και σε μια πόλη ολόκληρη (Ανδρέου, 2011).

Οι αστικοί υπαίθριοι χώροι και χώροι πρασίνου μπορεί να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες:

- α) Μικρά πάρκα γειτονιάς, τα «rocket-parks»
- β) Πλατείες, κοινόχρηστο πράσινο, δημόσιοι κήποι
- γ) Μεγάλα πάρκα έξω από την πόλη
- δ) Δρόμοι και λεωφόροι-πάρκα (parkways)
- ε) Παιδικές χαρές για μικρά παιδιά, παιδιά σχολικής ηλικίας και για εφήβους
- στ) Μεγάλα πάρκα μέσα στην πόλη (Παπαδοπούλου, 2018).

Ένας από τους παράγοντες που αποτελούν τη βάση αναβάθμισης της επιστήμης και της τέχνης της πρόληψης των ασθενειών και της επιμήκυνσης της ζωής και της προαγωγής της υγείας και ποιότητας της ζωής που έχει σχέση με τη συγκοινωνία ή την επικοινωνία μέσα σε μια πόλη πιστεύεται ότι είναι το πράσινο στις πόλεις (Λεκάτη, 2019).



Εικόνα 3: Τα θετικά στοιχεία από την παρουσία δέντρων στον αστικό ιστό (Ζαχαροπούλου, 2012)

2.1.3 Δείκτες-Προδιαγραφές αστικού πρασίνου

Η διάθεση των αστικών χώρων στο σύνολο των συνθηκών και των παραγόντων μέσα στο οποίο δημιουργείται, υπάρχει και αναπτύσσεται κάποιος (UGS) παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον από πλευράς σχεδιασμού και έρευνας εξαιτίας του καθοριστικού

ρόλου που έχουν οι χώροι πρασίνου στην πολύ καλή οικονομική κατάσταση και συνεπώς άνετη ζωή των κατοίκων της πόλης (Kabisch κ.α. 2016).

Για τον ποιοτικό έλεγχο του ανθρωπογενούς ή φυσικού περιβάλλοντος το οποίο περιβάλλεται μέσα στα όρια μιας πόλης και επομένως της ποιότητας της ζωής των κατοίκων γίνεται χρήση διαφόρων περιβαλλοντικών δεικτών. Με τη χρησιμοποίηση των δεικτών αυτών, πετυχαίνεται η απεικόνιση της κατάστασης που υπάρχει, η διατύπωση αποτελεσμάτων και τέλος η σχεδίαση και το πάρσιμο κατάλληλων αποφάσεων για την περιβαλλοντική καλυτέρευση (Αναστόπουλος, 2017)

Δύο από τους αξιόλογους διεθνείς οργανισμούς που εκδηλώνουν έντονο και έμπρακτο ενδιαφέρον για τους δείκτες πρασίνου είναι τα Ηνωμένα έθνη (United Nations) και ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (European Environmental Agency). Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος επιδιώκει την υποστήριξη της βιώσιμης βελτίωσης και του επιτεύγματος αξιόλογων και μετρήσιμων μεταβολών προς το καλύτερο όσον αφορά το περιβάλλον της Ευρώπης (Βιλάνου, 2014).

2.2 Ευρωπαϊκή πολιτική και δράσεις για το βιώσιμο αστικό περιβάλλον και την αστική κινητικότητα

Σχετικά με τον προβληματισμό που έχει σχέση με το σύνολο των εθνών για την αειφόρο ανάπτυξη και το αστικό περιβάλλον η Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε) ήταν παρών και συγκεκριμένα το ενδιαφέρον αυτής για τις αστικές εκτάσεις γης παρουσιάστηκε από τα τέλη της δεκαετίας του 1980. Το 1988 η ΕΕ εισάγει ένα θεσμό και τον επιβάλλει ως νόμο τον «Ευρωπαϊκό Χάρτη για τα Δικαιώματα των Πεζών» (Γαλάνης, 2011). Με το νόμο αυτό η ΕΕ υπερασπίζεται ότι η στρατηγική προς όφελος των πεζών είναι υποχρεωμένη να είναι το βασικό στοιχείο δράσης που θα επιδιώκει τη δημιουργία μιας καινούργιας, ανθρώπινης πολεοδομικής αντίληψης και άρα όσον αφορά τους τομείς πολεοδομίας, μεταφορών και οικοδομικών κατασκευών είναι υποχρεωμένη να συμβαδίζει σύμφωνα με τη στρατηγική των κρατών που απαρτίζουν αυτήν (Σταυριανίδη, 2010).

Ο Ευρωπαϊκός Χάρτης για τα Δικαιώματα των Πεζών περιγράφει τα εξής:

α) Οι άνθρωποι προχωρημένης ηλικίας, οι άνθρωποι αρσενικού ή θηλυκού γένους μικρής ηλικίας και τα άτομα τα οποία έχουν ένα ή πολλά μειονεκτήματα έχουν το νόμιμο δικαίωμα να απαιτήσουν μια πόλη που να είναι χώρος κοινωνικοποίησή τους και όχι χώρος χειροτέρευσης της υφιστάμενης κατάστασης.

β) Ο πεζός δικαιούται να βιώνει σε ένα περιβάλλον που είναι ωφέλιμος για την υγεία και να χαιρέται ελεύθερα τους δημόσιους κοινόχρηστους χώρους όπως κάθε είδους δρόμοι, πλατείες άλση και γενικά οι προοριζόμενοι για κοινή χρήση ελεύθεροι χώροι, που καθορίζονται από το εγκεκριμένο ρυμοτομικό σχέδιο του οικισμού ή έχουν τεθεί σε κοινή χρήση με οποιονδήποτε άλλο νόμιμο τρόπο, με συνθήκες τέτοιες ώστε να εξασφαλίζεται η ψυχική και η σωματική του υγεία (Αντωνίου, 2009).

γ) Ο πεζός δικαιούται να ζει σε μια περιοχή που συγκεντρώνει μεγάλο ποσοστό πληθυσμού ή σε οργανωμένα χωριά προς εξυπηρέτηση του ανθρώπου και όχι των μέσων μαζικής μεταφοράς, τα οποία να έχουν και να προσφέρουν προσιτές βάσεις τόσο στους ποδηλάτες όσο και στους πεζούς (Κανατζιά, 2017).

δ) Ο πεζός δικαιούται να κατέχει στην αποκλειστική του κυριότητα από την μια μεν αστικές ζώνες, εκτενής, οι οποίες δεν θα χρησιμοποιούνται απλά ως «νησίδες πεζών», αλλά θα παραχωρούνται στη γενική συγκρότηση της πόλης, από την άλλη δε λογικές, διασυνδεδεμένες και ασφαλείς μεταβάσεις από ένα σημείο σε ένα άλλο (Γαλάνης, 2011).

ε) Τα άτομα ειδικής κατηγορίας δικαιούνται μέτρα τα οποία αφορούν ορισμένο σκοπό, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη έλλειψη εξάρτησης σχετικά με την κινητικότητα διαμέσου τεχνικών συστημάτων κυκλοφορίας, κοινωνικών χώρων σημείων αναφοράς και συνάντησης και δημόσιων αστικών μέσων μαζικής μεταφοράς (Γαλάνης, 2011).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Φυτοεξυγίανση

3.1 Γενικά

Ο ανθρώπινος παράγοντας διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στους χώρους πρασίνου. Υπάρχει ένα σύνολο ανθρώπινων ενεργειών που συμβάλλουν στη ρύπανση των επιφανειών της γης σε μεγάλο βαθμό, με συνέπεια την εμφάνιση μορφών ρύπανσης, από οργανικούς ρυπαντές και από βαρέα μέταλλα. Η διαδικασία καθαρισμού εδαφών από τη ρύπανση, με μεθόδους που ακολουθούν κάποιο καθιερωμένο τύπο και που χαρακτηρίζονται συχνά από έλλειψη πρωτοτυπίας, δεν είναι μια απλή διεργασία, γιατί οι μέθοδοι αυτοί εκτός των προβλημάτων που παρουσιάζουν, είναι επικίνδυνες για τον άνθρωπο και πολύ δαπανηρές (Αργύρης, 2009).

Τα τελευταία χρόνια η επαναφορά ρυπασμένων εκτάσεων και η πρόληψη της ρύπανσης επιφανειών της γης αποτελούν προτεραιότητα για το σύνολο των φυσικών συνθηκών και παραγόντων που επιδρούν στους ζωντανούς οργανισμούς σε παγκόσμιο

επίπεδο. Προς αυτή την κατεύθυνση έχουν δημιουργηθεί τεχνολογίες συμπεριλαμβανομένης και της χρησιμοποίησης οργανισμών που αποτελούνται από τους μικροοργανισμούς του εδάφους έως τα ανώτερα φυτά, και είναι γνωστές ως φυτοτεχνολογίες (Δρούλια, 2011).

Η επαναφορά των εδαφών επιδιώκει τη μετακίνηση σε μια απόσταση των βαρέων μετάλλων από την επιφάνεια της γης ή τη μείωση της τοξικότητάς τους που μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους, α) με χημικές μεθόδους ή β) με φυσικές μεθόδους. Οι φυσικές μέθοδοι απαρτίζονται από μεθόδους που η εφαρμογή τους πραγματοποιείται επιτόπια (in situ) επιδιώκοντας σε μικρή ανωμαλία του εδαφικού περιβάλλοντος όπως:

Φυτοεξυγίανση: Χρησιμοποίηση κατάλληλων φυτών, τα οποία είναι ανθεκτικά σε μεγάλες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, με στόχο την απορρόφησή τους από την επιφάνεια της γης.

Υαλοποίηση: Χρησιμοποίηση ηλεκτρικού ρεύματος για το λιώσιμο των εδαφικών υλικών

Εκπλυση: Για τη μετακίνηση των ρύπων σε μια απόσταση, πραγματοποιείται μεταφορά και διανομή ειδικού υδατικού διαλύματος στην επιφάνεια της γης

Βιοαερισμός: Για την ενεργοποίηση της δράσης των μικροβίων για τη βιοαποδόμηση των ρύπων, πραγματοποιείται μεταφορά αέρα στην επιφάνεια της γης (Πράπας, 2017).

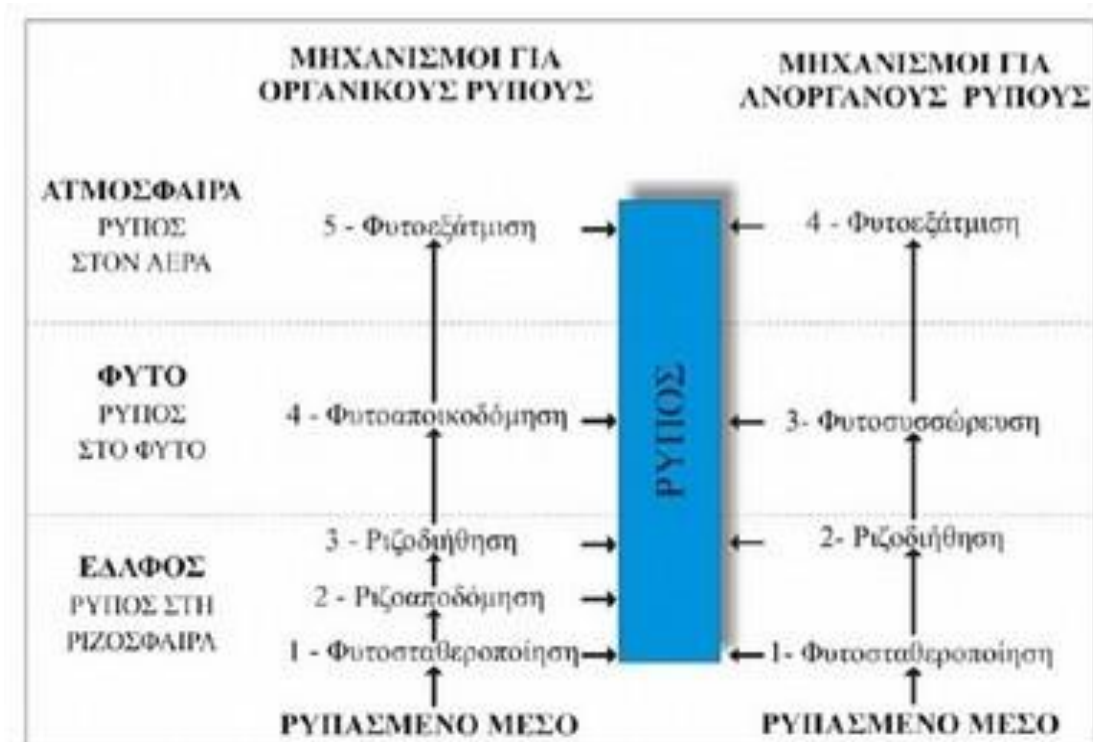
Ο όρος Φυτοεξυγίανση «phytoremediation» είναι απόγονος του ελληνικού προθέματος «phyto» που σημαίνει φυτό και της λατινικής λέξης «remedium» που σημαίνει εξαφάνιση των εστιών μόλυνσης που υπάρχουν σε ένα χώρο, ίαση, επάνοδος στην προηγούμενη κατάσταση (Δρούλια, 2011).

Η Φυτοεξυγίανση είναι μία μέθοδος απορρύπανσης της επιφάνειας της γης, με πολλά πλεονεκτήματα και αφορά τη χρήση φυτών που έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν μέταλλα. Τέτοια φυτά είναι: Το Πολύγωνο (*Polygonum rachalare*), το Άλυσσο (*Alyssim*), το Θλάσπι, τα Αγαθόφυτα (*Chenopodium*) και η τσουκνίδα, έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μετακίνηση σε μια απόσταση του ψευδαργύρου, καδμίου, νικελίου, χαλκού και μολύβδου (Ζώττα, 2018). Σαν μέθοδος χρησιμοποιείται τον τελευταίο καιρό, αλλά η σκέψη ότι μέσω κάποιων φυτών θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η περιβαλλοντική επαναφορά φαίνεται ότι υπάρχει εδώ και αρκετά χρόνια. Στη βιβλιογραφία γνωστοποιείται ότι στη Γερμανία περί τα τέλη του 16^{ου} αιώνα ,αρχές 17^{ου} ξεκίνησε το πρώτο σύστημα κατεργασίας μη στερεών αποβλήτων που

προέρχονται από τα σπίτια και την εμπορική δραστηριότητα ενός αστικού ιστού στηριζόμενο στη χρησιμοποίηση φυτών (Σοφογιάννη, 2014).

Η φυτοεξυγίανση σύμφωνα με την υπηρεσία που είναι υπεύθυνη για την προστασία του περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (E.P.A.), κατατάσσεται στην κατηγορία των πρωτοποριακών μεθόδων τεχνολογιών επεξεργασιών (Innovative treatment technologies). Αφορά το σύνολο των διαδικασιών που έχουν ως στόχο την κατεργασία βλαβερών ουσιών που παράγονται κατά τη βιομηχανική επεξεργασία και άλλων παραμέτρων που διευκολύνουν τη μόλυνση, δίχως να είναι γνωστά αφενός το ποσοστό απόδοσης σε συνθήκες επεξεργασίας που παρουσιάζουν διαφορές και αφετέρου το χρηματικό ποσό που πρέπει να δαπανηθεί. Αξίζει να σημειωθεί ότι για την καταπολέμηση αβαθών υδροφορέων χρησιμοποιούνται φυτά που έχουν ως στόχο τη μόλυνση που προξενούν ουσίες που παίζουν σημαντικό ρόλο στη φυσιολογική ανάπτυξη, υγεία, πρόληψη και θεραπεία ασθενειών όπως ο φώσφορος και το άζωτο και κυρίως τα χημικά παρασκευάσματα για την καταπολέμηση των εντόμων (Αναγνωσταράς, 2014).

Με τη μέθοδο αυτή υπάρχει η δυνατότητα να μην εμφανιστούν ίσως κάποια άλλα θέματα που δημιουργούνται από τις άλλες τεχνολογίες καθώς είναι μία άθικτη διαδικασία η οποία προσφέρει σεβασμό στο περιβάλλον (Πανόπουλος, 2016). Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμ. 1) αναγράφονται οι μηχανισμοί αντιμετώπισης των φυτών σε περιπτώσεις βλαβερών ουσιών για τον άνθρωπο και για άλλους ζωντανούς οργανισμούς (Αραβαντινός, 2016).



Σχήμα 1: Συνδυασμοί μετακίνησης ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον από το τμήμα του στερεού φλοιού της γης που βρίσκεται κάτω από το έδαφος στο φυτό και από το φυτό στο μείγμα των αερίων που περιβάλλει τη γη ή άλλα ουράνια σώματα κατά τη διάρκεια εφαρμογής της μελέτης των μεθόδων που χρησιμοποιούνται στη φυτοεξυγίανση (Αραβαντινός, 2016)

3.1.1 Μέταλλα ως ρυπαντές του περιβάλλοντος

Το περιεχόμενο της «ρύπανσης του περιβάλλοντος» είναι κάτι το οποίο μας απασχολεί εδώ και αρκετά χρόνια και η κατάληξη αυτού είναι ότι υπάρχουν αρκετοί επιστήμονες οι οποίοι ασχολούνται με τον όρο αυτό (Φράγκου, 2018). Με τον όρο ρύπανση του περιβάλλοντος χαρακτηρίζεται η κατάσταση κατά την οποία άγνωστες ουσίες συναντώνται στο μείγμα των αερίων που περιβάλλει τη γη ή άλλα ουράνια σώματα, στα ποτάμια, στις θάλασσες και στις λίμνες, και στην επιφάνεια της γης (Παποριδάκη, 2010).

Ο ανθρώπινος παράγοντας καθώς επίσης οι πολύ υψηλές συγκεντρώσεις συνθετικών ή φυσικών ουσιών παίζουν σπουδαίο ρόλο στις περισσότερες μορφές ρύπανσης. Οι ουσίες που προξενούν ρύπανση στο σύνολο των συνθηκών και των παραγόντων μέσα στο οποίο δημιουργείται, υπάρχει και αναπτύσσεται κάποιος και

προκαλούν βλάβη στους οργανισμούς και στον άνθρωπο, ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες.

- α) Η υποχρεωτική απομάκρυνση θερμικής ενέργειας σε υδάτινα συστήματα παράγει καταστάσεις θερμικής ρύπανσης.
- β) Η ανθρώπινη υγεία επηρεάζεται καθώς επίσης και οι βιολογικοί πόροι
- γ) Κατά την υποχρεωτική απομάκρυνση των φυσικών ενώσεων στο περιβάλλον με τη μορφή π.χ. CO₂, ενώσεις του θείου, αποτελούν ρυπαντική κατηγορία
- δ) Οξικές συνθετικές ουσίες όπως είναι ζιζανιοκτόνα, εντομοκτόνα, ενώσεις βαρέων μετάλλων κλπ (Παϊδά και Σωτηρίου, 2009).

Η ρύπανση που προξενείτε από τα βαρέα μέταλλα, αποτελεί έναν οικουμενικό γεγονός. Ανάμεσα στα βαρέα μέταλλα, αυτά που παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι το χρώμιο (Cr), ο χαλκός (Cu), ο μόλυβδος (Pb), το κάδμιο (Cd), ο ψευδάργυρος (Zn), ο υδράργυρος (Hg) και το αρσενικό (As) (Ξηροπόταμος, 2005).

Η έννοια βαρέα μέταλλα διατυπώνεται με σαφήνεια σε μια πολυάριθμη ομάδα ιχνοστοιχείων, τα οποία παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον τόσο από βιολογική όσο και από βιομηχανική πλευρά (Δανηλίδου, 2010).

Τα βαρέα μέταλλα είναι στοιχεία τα οποία μένουν αμετάβλητα στο σύνολο των φυσικών συνθηκών και παραγόντων που επιδρούν στους ζωντανούς οργανισμούς και συγκεντρώνονται εύκολα σε επίπεδα τοξικά (Στασινός, 2013). Ο τρόπος με τον οποίο αυτά λειτουργούν όσον αφορά τη τοξικότητα γίνεται εξαιτίας της δυνατής σχέσης που υπάρχει μεταξύ των μεταλλοκατιόντων τους με το θείο (Ρούτσιος, 2012). Έχουν σχετικά μεγάλο ατομικό βάρος άνω του 20 και η πυκνότητά τους είναι μεγαλύτερη των 5g/cm³ (Ζήκου, 2007).

Η ταυτόχρονη ύπαρξη βαρέων μετάλλων στο έδαφος, προξενεί αναστάτωση στη γεωργική παραγωγή εξαιτίας των μη θετικών επιδράσεων στα τρόφιμα, την ασφάλεια και την εμπορικότητα, στη σταδιακή βελτίωση των καλλιεργειών εξαιτίας της φυτοτοξικότητας και στην υγεία που αναφέρεται στο περιβάλλον των οργανισμών της επιφάνειας της γης (Nagajyoti κ.α. 2010).

Μεταξύ του μείγματος των αερίων που περιβάλλει τη γη ή άλλα ουράνια σώματα και των χερσαίων και υδάτινων οικοσυστημάτων, υπάρχει μεγαλύτερη διάθεση μετάλλων στα οικοσυστήματα υπό μορφή υλικού σώματος που δεν έχει ούτε ορισμένο σχήμα ούτε ορισμένο όγκο ή υπό μορφή κάθε μικροσκοπικής μονάδας ύλης (Ευθυμιάδης, 2011).

3.1.2 Πρόσληψη και μεταφορά

Ο τρόπος με τον οποίο δεσμεύονται τα βαρέα μέταλλα στο εδαφικό διάλυμα ορίζει με ακρίβεια τη διαθεσιμότητα αυτών για κάθε ζωντανό οργανισμό (Εικ. 4) που κατά κανόνα φυτρώνει στο έδαφος, αποτελείται από ρίζες, βλαστό και φύλλα και τρέφεται γενικά με ανόργανες ουσίες τις οποίες μετατρέπει σε οργανικές με τη βοήθεια φωτεινής (ηλιακής) ή χημικής ενέργειας (Καππάτος, 2015).

Είναι δεδομένο ότι τα φυτά για την αύξηση η οποία εξελίσσεται κανονικά και σταδιακή βελτίωσή τους θεωρούν απαραίτητο μια καθορισμένη ποσότητα θρεπτικών συστατικών, μεταξύ των οποίων και μερικά βαρέα μέταλλα όπως ο ψευδάργυρος, το κοβάλτιο, ο χαλκός σε πολύ μικρό αριθμό, σαν δομικά συστατικά ενζύμων και πρωτεϊνών και ως συνένζυμα (Παπαδημητρίου, 2013). Παρόλα αυτά έστω και αυτές οι μικρές ποσότητες βαρέων μετάλλων προκαλούν βιοχημικές, μορφολογικές, μοριακές, φυσιολογικές αντιδράσεις των φυτών (Σηνιολάκης, 2007).

Στοιχεία	Συγκέντρωση (mg kg ⁻¹ dry weight)
Zn	8-100
Cr	0.2-1
Pb	1-13
As	0.02-7
Sr	0.30
Cd	0.1-2.4
Fe	140
Hg	0.005-0.02
Cu	4.15
Ni	1
Co	0.05-0.05
Mo	1-10
Sb	0.02-0.06
Mn	15-100

Εικόνα 4: Πλάτος συγκεντρώσεων καθορισμένων μετάλλων στα φυτά (Ευθυμιάδης, 2011)

Η χλωρίδα ενός μικροβιότοπου, είτε οποιοδήποτε μικροσκοπικό φυτό που δεν είναι ορατό με γυμνό οφθαλμό, η ικανότητα κατιοντοανταλλαγής, το ΡΗ, είναι εδαφικές ιδιότητες οι οποίες συντελούν στη διαμόρφωση της πρόσληψης ενός μετάλλου από το φυτό όσο και το τελικό ποσοστό τοξικότητάς του. Οι παράμετροι από τους οποίους εξαρτάται η απόκτηση των μετάλλων από το ριζικό σύστημα είναι οι παρακάτω και οι οποίοι εξετάζουν:

- α) τη μετακίνηση του από το ριζικό σύστημα στα στελέχη
- β) τη μετακίνηση του μετάλλου προς το εσωτερικό της ρίζας από τη ριζική επιφάνεια
- γ) τη δυνατότητα κίνησης του μετάλλου από την επιφάνεια της γης προς τη ριζική επιφάνεια και
- δ) το σχήμα και τη συγκέντρωση του μετάλλου στην υδατική φάση του εδάφους (Δανηλίδου, 2010).

Τα φυτά παίρνουν και συγκεντρώνουν ελάχιστες ποσότητες των ιχνοστοιχείων αυτών (<10ppm), που δεν περνούν τις μεταβολικές τους ανάγκες. Ενώ κάποιος υπερσυσσωρευτής (Πίν. 2) έχει τη δυνατότητα να προσλαμβάνει μεγάλες ποσότητες (χιλιάδες ppm). Έρευνες έχουν παρομοιάσει τη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στα φύλλα των φυτών με τη δύναμη αντοχής τους σε διαταραχές της ομαλής λειτουργίας ενός ζωντανού οργανισμού και εχθρούς (βακτήρια, έντομα και μύκητες). Τέλος, οι υπερσυσσωρευτές εκτός από τα ιχνοστοιχεία τα οποία είναι απολύτως αναγκαία, παίρνουν και μη αναγκαία μέταλλα όπως το Cd. Με βάση τα ανωτέρω, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η πρόσληψη και η μεταφορά των μη αναγκαίων μετάλλων στο φυτό πραγματοποιείται με τους λειτουργικούς τρόπους μεταφοράς και πρόσληψης άλλων αναγκαίων ιχνοστοιχείων, (π.χ. το Cd με το μηχανισμό του Zn) (Γερασιμοπούλου, 2009).

Η αφομοίωση των μετάλλων από τα φυτά υπερσυσσωρευτές επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες:

- α) Ηλικία του οργανισμού που κατά κανόνα φυτρώνει στο έδαφος, αποτελείται από ρίζες, βλαστό και φύλλα
- β) Μορφή και τύπος του ζωντανού οργανισμού που κατά κανόνα φυτρώνει στο έδαφος, αποτελείται από ρίζες, βλαστό και φύλλα
- γ) Τύπος της επιφάνειας της γης, όπως επίσης χημικά και φυσικά διακριτικά στοιχεία της (π.χ. ΡΗ, περιεκτικότητα σε οργανική ουσία) (Χριστοφάκη, 2006).
- δ) Μορφή και συγκέντρωση του μετάλλου.

ε) Ρυθμός και το σύνολο των δεδομένων που διαμορφώνουν τη σταδιακή βελτίωση (Μασουράκη, 2006).

Είδος φυτικού οργανισμού	Μέταλλο	Περεχόμενο στο φύλλωμα (ppm)
<i>Sedertia acuminata</i>	Ni	25% ξηρού βάρους
<i>Thlaspi caerulescens</i>	Zn-Cd	36.900-1800
<i>Astragalus racemosus</i>	Se	14.900
<i>Ipomea alpina</i>	Cu	12.300
<i>Haumaniastrum robertii</i>	Co	10.200

Πίνακας 2:Είδη υπερ-συσσωρευτών μετάλλων και το ανάλογο δυναμικό βιοσυσσώρευσής τους (Γιδαράκος κ.α. 2008-2009)

Η λειτουργία και η μεταβολική πορεία ενός βαρέως μετάλλου ορίζεται με ακρίβεια από αρκετούς παραμέτρους όπως παρακάτω:

- α) Η απόκτηση των βαρέων μετάλλων και των μεταλλικών μικροθρεπτικών από τα φυτά πραγματοποιείται από τις ρίζες τους αλλά και από τη φυλλική τους επιφάνεια.
- β) Στο φυτό γίνονται ενζυματικές διεργασίες. Μορφές των μετάλλων και συγκεντρώσεις στο φυτό. Τοξικότητα και έλλειψη.
- γ) Αλληλεπιδράσεις ανάμεσα των μικροθρεπτικών και ανταγωνιστικά ιονικά φαινόμενα.
- δ) Μετακίνηση και πρόσληψη ή μη πρόσληψη των βαρέων μετάλλων και μεταλλικών μικροθρεπτικών στο φυτό (Μιχόπουλος, 2010).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν αποφασιστικά τη διατροφική απορρόφηση αυτών από τους ζωντανούς οργανισμούς που κατά κανόνα φυτρώνουν στο έδαφος είναι οι παρακάτω:

- α) Η μετακίνηση του μετάλλου από το έδαφος στο ριζικό σύστημα (Εικ. 5)
- β) Το στάδιο σταδιακής βελτίωσης του ζωντανού οργανισμού που κατά κανόνα φυτρώνει στο έδαφος, αποτελείται από ρίζες, βλαστό και φύλλα και τρέφεται γενικά με ανόργανες ουσίες τις οποίες μετατρέπει σε οργανικές με τη βοήθεια φωτεινής (ηλιακής) ή χημικής ενέργειας
- γ) Το μέγεθος του βαρέως μετάλλου που περιλαμβάνεται στην υδατική φάση του εδάφους

- δ) Η ικανότητα για κίνηση του μεταλλικού ιόντος στην υδατική φάση του εδάφους προς την επιφάνεια της ρίζας του φυτού
- ε) Το είδος και η μορφή του μετάλλου στο εσωτερικό του εδαφικού διαλύματος
- στ) Το είδος του ζωντανού οργανισμού που κατά κανόνα φυτρώνει στο έδαφος και η ιδιότητά του να δέχεται ή όχι μεταλλικά στοιχεία
- ζ) Το σύνολο των δεδομένων θερμοκρασίας και αερισμού που κυριαρχούν στην επιφάνεια της γης, καθώς και η τιμή του δυναμικού οξειδοαναγωγής της επιφάνειας της γης
- η) Η ύπαρξη διαφόρων ιόντων ή ιόντων υδρογόνου στην υδατική φάση του εδάφους (Μιχόπουλος, 2010).



Εικόνα 5: Συγχώνευση και μετατόπιση των βαρέων μετάλλων στα φυτά διαμέσου των ριζών (Παπαδημητρίου, 2013)

3.1.3 Καταπόνηση φυτών

Η καταπίεση είναι η εχθρική ενέργεια διαφόρων παραμέτρων, η οποία επιφέρει τη μη ομαλή δράση των φυτών όσον αφορά τους φυσιολογικούς μηχανισμούς (Σαραφίδου, 2019). Τα φυτά, κατά το χρονικό διάστημα του κύκλου ζωής τους (Σχήμ. 2), βρίσκονται τακτικά αντιμέτωπα με μη επιθυμητές συνθήκες, οι οποίες εμφανίζουν αρνητική ή και εχθρική διάθεση στη σταδιακή αύξησή τους (Παπαθεοδώρου, 2015).



Σχήμα 2: Τα καλύτερα όρια βελτίωσης ενός φυτού και η παρουσίαση παθολογικών φαινομένων καταπόνησης κατά την αύξηση ή ελάττωση της έντασης του συντελεστή καταπόνησης (Παπαθεοδώρου, 2015)

Σχετικά με τις συνθήκες καταπόνησης από τα βαρέα μέταλλα διακρίνονται δυο γενετικά καθορισμένες απαντήσεις των φυτών που αποτελούν την απαραίτητη προϋπόθεση για την περαιτέρω ανάπτυξη, α) η δύναμη που έχει ένας ζωντανός οργανισμός να αντιμετωπίζει τα μέταλλα και β) η ευπάθεια στα μέταλλα. Η ευπάθεια στα μέταλλα έχει ως αποτέλεσμα την κάκωση ή την εξαφάνιση των φυτών, ενώ η ανθεκτικότητα, αφήνει να εννοηθεί ότι παρόλο που τα φυτά διαφοροποιούνται, ο τρόπος με τον οποίο αντιδρούν είναι τέτοιος έτσι ώστε να επιβιώνουν σε υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων (Παπαδημητρίου, 2013).

Η ύπαρξη των βαρέων μετάλλων σε τοξικά επίπεδα στην επιφάνεια της γης, μειώνει άμεσα τη σταδιακή βελτίωση των φυτών με αποτέλεσμα να υπάρχουν βλαπτικές επιδράσεις στις μεταβολικές λειτουργίες όπως:

- α) Αξιόλογη απώλεια της δημιουργίας ενέργειας
- β) Εμπόδιση της δράσης της αλυσίδας μετακίνησης ηλεκτρονίων τόσο στη λειτουργία με την οποία οι ζωντανοί οργανισμοί παίρνουν οξυγόνο και αποβάλλουν διοξείδιο του άνθρακα όσο και στην παραγωγή θρεπτικών οργανικών ουσιών στα (πράσινα) φυτά με την επίδραση του (ηλιακού) φωτός

γ) Κακές λειτουργίες κατά την έξοδο και είσοδο ιόντων όπως NO₃, Mg, K, Ca διαμέσων των λεπτών στρωμάτων ιστού που υπάρχουν στο σώμα των ζωντανών οργανισμών

δ) Μη αναστρέψιμη εμπόδιση του τρόπου ενέργειας οργανικών ουσιών που παράγονται από ζώντα κύτταρα και δρουν ως καταλύτες των πολυάριθμων και πολύπλοκων βιοχημικών αντιδράσεων, χωρίς να παθαίνουν κάποια αλλοίωση (Μανουσάκη, 2008).

Οι ζωντανοί οργανισμοί που κατά κανόνα φυτρώνουν στο έδαφος και αποτελούνται από ρίζες, βλαστό και φύλλα κατά την έκθεση σε βαρέα μέταλλα αποκτούν οξειδωτικό στρες που καταλήγει σε κυτταρική βλάβη. Επίσης, τα φυτά συγκεντρώνουν μεταλλικά ιόντα τα οποία προκαλούν ανωμαλία στην κυτταρική ιοντική διατήρηση ορισμένων λειτουργιών. Για τον περιορισμό των βλαβερών επιδράσεων γίνεται χρήση των μηχανισμών αποτοξίνωσης. Οι τρόποι αυτοί λειτουργούν με βάση την υποκυτταρική διαμερισματοποίηση και την χηλικοποίηση (Yadav, 2010).

Οι μεταβολές των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των φυτών κατατάσσονται σε δύο κύριες κατηγορίες, τις αβιοτικές ή φυσικοχημικές καταπονήσεις οι οποίες είναι αποτέλεσμα ενός πλεονάσματος ή μιας ανεπάρκειας στο χημικό ή φυσικό περιβάλλον και τις βιοτικές καταπονήσεις οι οποίες είναι αποτέλεσμα άλλων οργανισμών. Στον παρακάτω πίνακα (Πίν. 3) θα δούμε τους παράγοντες καταπόνησης των φυτικών οργανισμών (Παπαθεοδώρου, 2015).

Αβιοτικοί		Βιοτικοί	
Φυσικοί	Χημικοί	Ανθρωπογενείς	
Ορατή ακτινοβολία Έλλειψη Περίσσεια UV-ακτινοβολία	Θρεπτικά συστατικά Έλλειψη Περίσσεια Μη ισορροπημένη σύσταση	Ρύπανση Φυτοφάρμακα Υποβάθμιση εδαφών Ιονίζουσες ακτινοβολίες Ηλεκτρομαγνητικά πεδία Πυρκαγιές	Φυτά Επικάλυψη Αλληλοπάθεια Παρασιτισμός
Θερμοκρασία Υπερθέρμανση Ψύχος Παγετός	Αλατότητα Βαρέα μέταλλα Όξινο pH Βασικό pH		Παθογόνα Προσβολές ιών, μυκήτων, βακτηρίων
Υδατικό περιβάλλον Ξηρή ατμόσφαιρα Ξηρό έδαφος Κατάκλιση	Αέριο περιβάλλον Έλλειψη οξυγόνου Αλλαγές στη σύσταση της ατμόσφαιρας		Ζώα Κατανάλωση Τραυματισμοί
<u>Μηχανική καταπόνηση</u> Άνεμος Κάλυψη Κάλυψη από χιόνι Σχηματισμός πάγου Τραυματισμοί			

Πίνακας 3: Συντελεστές μεταβολών των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων φυτικών οργανισμών (Παπαθεοδώρου, 2015)

3.1.4 Φυτοδιαθεσιμότητα βαρέων μετάλλων

Οι συνολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στην επιφάνεια της γης έχουν γίνει αντικείμενο ενασχόλησης πολλών ερευνητών, όσον αφορά το μέτρο ουσιών που είναι βλαβερές για τον άνθρωπο και για τους άλλους ζωντανούς οργανισμούς. Στην πραγματικότητα όμως, οι τιμές αυτές δεν είναι αξιόπιστες για τον υπολογισμό του κλασματικού μέρος ποσού των βαρέων μετάλλων που είναι απαραίτητως διαθέσιμο για τους ζωντανούς οργανισμούς που κατά κανόνα φυτρώνουν στο έδαφος και αποτελούνται από ρίζες, βλαστό και φύλλα (Δούσης, 2011).

Τις περισσότερες φορές η βιοδιαθεσιμότητα βαρέων μετάλλων σε επιφάνειες της γης οι οποίες έχουν μολυνθεί, παρουσιάζει διαφορές και για το ίδιο στοιχείο και διαμορφώνεται από τις καιρικές συνθήκες και από τον τύπο της επιφάνειας της γης (Μίχας, 2018).

Η διαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων στην επιφάνεια της γης επηρεάζεται από:

α) Την ποσότητα της οργανικής ουσίας η οποία περιέχεται το ανώτατο στρώμα του γήινου φλοιού: Η οργανική ουσία λειτουργεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να κρατήσει δυνατά τα στοιχεία αυτά, λόγω του ότι δημιουργεί σταθερές δυσδιάλυτες (χηλικές) ενώσεις ή σταθερές υδατοδιαλυτές, με συνέπεια την ελάττωση της διαθεσιμότητάς τους στους ζωντανούς οργανισμούς που κατά κανόνα φυτρώνουν στο έδαφος και αποτελούνται από ρίζες, βλαστό και φύλλα.

β) Το PH: Ελάττωση του εδαφικού PH, έχει ως αποτέλεσμα την προσαύξηση της κινητικότητας των μετάλλων

γ) Τις οξειδοαναγωγικές συνθήκες: Η διαθεσιμότητα και η κινητικότητα ιχνοστοιχείων (Cd,Cu,Pb, Zn) και πολλών μικροθρεπτικών στοιχείων αυξάνεται υπό αναγωγικές συνθήκες (Πόγκα, 2014).

Για τον υπολογισμό της έλλειψης σταθερότητας των βαρέων μετάλλων στην επιφάνεια της γης, ο τρόπος δράσης ο οποίος ακολουθείται είναι η έκπλυση των ανώτατων στρωμάτων του γήινου φλοιού με τη συνδρομή χημικών εκχυλιστικών ουσιών (Maiz κ.α. 2000).

3.1.5 Συστήματα φυτοεξυγίανσης

Η διαδικασία του προκαθορισμού και της υπόδειξης μιας σειράς ενεργειών ενός συστήματος φυτοεξυγίανσης, επηρεάζεται από διαφορετικούς παραμέτρους που έχουν σχέση με το είδος του ρυπαντή, τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες και από τα

φυτά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν (Βουλγαρίδου, 2015). Οι προκαταρκτικές εργαστηριακές έρευνες, παίζουν καθοριστικό ρόλο για την εφαρμογή της τεχνολογίας της φυτοαποκατάστασης. Οι έρευνες αυτές έχουν ως σκοπό τη χρησιμοποίηση ή μη βιολογικών διεργασιών της φυτοαποκατάστασης δίνοντας απαντήσεις όσον αφορά την ανεπιθύμητη αλλαγή της χημικής σύστασης, των ιδιοτήτων και της δομής ενός υλικού από τη δράση των ρυπαντών, το ρυθμό, την ένταση και το ποσοστό αυτών στην επιφάνεια της γης και το υπόγειο νερό και τέλος τον προσδιορισμό των καλύτερων συνθηκών για την σταδιακή αύξηση των φυτών. Γενικώς, οι συντελεστές σχεδίασης ποικίλουν αναλόγως της τεχνικής που χρησιμοποιείται. Ωστόσο μπορούν να καθοριστούν μερικοί συντελεστές σχεδίασης, οι οποίοι ανήκουν σε όλες τις περιπτώσεις όσον αφορά την εφαρμογή της τεχνολογίας της φυτοαποκατάστασης. Οι συντελεστές αυτοί συμπεριλαμβάνουν: (Τρουλλινός και Σωμαράκη, 2009).

α) Συγκομιδή του φυτικού υλικού

Τη στιγμή που τα φυτά συγκεντρώνουν τη ρυπαντική ουσία επιβάλλεται η συσσώρευση και η μετακίνησή τους από την έκταση γης. Όσα ακολουθούν σχετικά με τη διόρθωση του φυτικού υλικού, εξαρτώνται από την συγκέντρωσή τους στα φυτικά κύτταρα και από τη φύση των αγαθών που προέρχονται από το μεταβολισμό. Για τις οργανικές ρυπαντικές ουσίες οι οποίες χωρίζονται σε ουσίες που δεν ενεργούν ως δηλητήριο δεν κρίνεται απόλυτα αναγκαία η περαιτέρω διόρθωση του φυτικού υλικού. Αντιθέτως απαραίτητη θεωρείται όταν γίνεται συγκέντρωση η οποία παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον στην περιοχή της ρίζας. Η πιο εξοικειωμένη διεργασία διόρθωσης του φυτικού υλικού είναι η ελεγχόμενη καύση (controlled incineration). Επίσης, κάποιες μέθοδοι οι οποίες είναι εφαρμόσιμες όσον αφορά τη διόρθωση του φυτικού υλικού είναι η παραχώρηση σε χωματερές (landfilling) καθώς και η φυσική διαδικασία η οποία μετατρέπει τα οργανικά υλικά σε μια πλούσια σκούρα ουσία (composting) (Τρουλλινός και Σωμαράκη, 2009).

β) Έλεγχος της δυνατότητας χρησιμοποίησης των επιλεγμένων φυτών

Σε αυτή τη συγκεκριμένη περίοδο, γίνεται εξέταση όσον αφορά την τοξικότητα των ρυπαντικών ουσιών και των παραγόμενων αγαθών από την εφαρμογή της φυτοεξυγίανσης. Σε εργαστηριακές έρευνες, εφαρμόζονται διάφορες συγκεντρώσεις της ρυπαντικής ουσίας στα φυτά τα οποία είναι προτεινόμενα και εν συνεχεία εξετάζονται τα αγαθά τα οποία προέρχονται από το μεταβολισμό (Τρουλλινός και Σωμαράκη, 2009).

γ) Συντήρηση του συστήματος της Φυτοεξυγίανσης

Η διατήρηση του συστήματος φυτοεξυγίανσης περιέχει την προσπάθεια απαλλαγής από τους βιολογικούς εχθρούς των φυτών, την άρδευση των φυτών, συμπλήρωση λιπασμάτων που έχουν τις απαραίτητες ικανότητες για τη βελτίωσή τους χωρίς καθυστέρηση (Τρουλλινός και Σωμαράκη, 2009).

δ) Επιλογή του φυτικού υλικού

Η επιλογή των φυτών που κατά πάσα πιθανότητα θα μεταχειριστούν γίνεται με βάση το είδος του ρυπαντή και τον ελκυστικό μηχανισμό φυτοεξυγίανσης. Στις περιπτώσεις i) της φυτοεξαγωγής βαρέων μετάλλων και ii) του φυτομετασχηματισμού οργανικών ρυπαντών, από πλευράς των φυτών θα πρέπει να εμφανίζεται γρήγορος ρυθμός βελτίωσης, υψηλός ρυθμός εξατμισοδιαπνοής, ικανοποιητικά βαθύ ριζικό σύστημα στην περίπτωση των υπογείων υδάτων και μετατροπή του ρυπαντή σε παράγωγα που δεν ενεργούν ως δηλητήριο. (Τρουλλινός και Σωμαράκη, 2009). Επιστημονικές ενασχολήσεις εργαστηρίων έχουν διαπιστώσει ότι το φυτό σινάπι (Indian mustard) εμφανίζει τη δυνατότητα φυτοαποκατάστασης των Cr και Pb (Τσάκου, 2011).

Τα φυτά αυτά επίσης θα πρέπει να πληρούν κάποιες προϋποθέσεις όπως

- α) να παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στις τοξικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων
 - β) να δημιουργούν μεγάλη βιομάζα και
 - γ) να έχουν τη δυνατότητα να συγκρατήσουν και να μετακινήσουν τα μέταλλα από το σύστημα των ριζών στη βιομάζα που βρίσκεται επάνω από την επιφάνεια της γης (Χριστοφάκη, 2006).
- ε) Προσδιορισμός του επιπέδου της ρύπανσης

Κατά τη σχεδίαση του συστήματος της φυτοεξυγίανσης, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του βάθους στο οποίο επεκτείνεται η μόλυνση καθώς και η συγκέντρωση και το είδος των ρυπαντικών ουσιών. Όσον αφορά τις οργανικές ρυπαντικές ουσίες, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη στοιχείων για τη λιποφιλικότητα τους, για τη δομή τους καθώς επίσης και για τις ιδιότητες προσρόφησης τους (Τρουλλινός και Σωμαράκη, 2009).

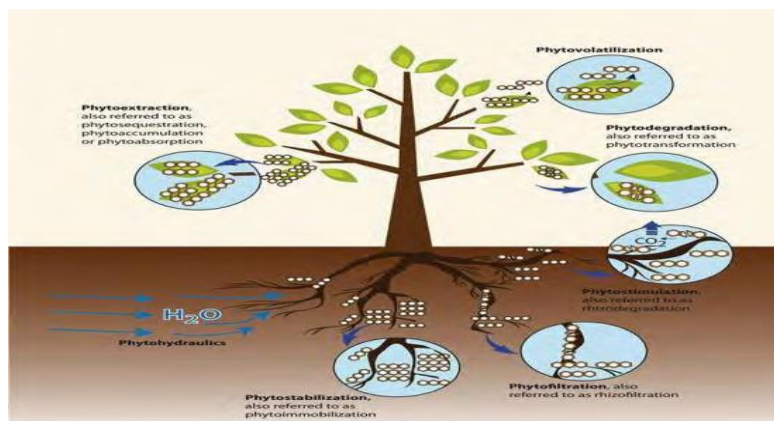
3.2 Τεχνολογίες Φυτοεξυγίανσης

3.2.1 Γενικά

Η μελέτη των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της φυτοεξυγίανσης (Εικ. 6) μετά από εργαστηριακά πειράματα είναι σύμφωνη για τη χρήση όσον αφορά τη συμπεριφορά τόσο των ανόργανων ρυπαντών όσο και των οργανικών (χημικά παρασκευάσματα για την καταπολέμηση των εντόμων, ουσίες, συνήθως υγρές, που χρησιμοποιούνται για τη διάλυση άλλων ουσιών, για τη δημιουργία δηλ. ενός διαλύματος, υδρογονάνθρακες πετρελαίου). Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της φυτοεξυγίανσης σύμφωνα με αρκετά πειράματα τα οποία εξελίσσονται και εξαιτίας αυτού, δεν στηρίζονται σε αδιάσειστα στοιχεία, σε ντοκουμέντα (Μαρούση, 2013).

Μολονότι στη δεδομένη στιγμή οι μελέτες των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της φυτοεξυγίανσης δεν εφαρμόζονται σε ολοκληρωμένη έκταση, οι επιστήμονες που ασχολούνται με την έρευνα πιστεύουν ότι γίνεται λόγος για μελέτες οι οποίες μελλοντικά θα παρουσιάζουν δυναμικές εξελίξεις με μεγάλο ενδιαφέρον (Βλαχάβας, 2014).

Το σύνολο των ενεργειών που παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον σχετικά με τη φυτοεξυγίανση είναι η φυτοσταθεροποίηση, η ριζοδιήθηση, η ριζοαποδόμηση, η φυτοεξάτμιση η φυτοσυσσώρευση και η φυτοαποδόμηση (Χαρβάλας, 2019). Τέλος οι διαθέσιμες εφαρμογές τεχνικών φυτοεξυγίανσης ώστε να αντιμετωπιστούν τα διάφορα ρύπη σε ύδατα και εδάφη αναφέρονται στον (Πίν. 4-5) που ακολουθεί (Γιδαράκος κ.α. 2008-2009)



Εικόνα 6: Μέθοδοι φυτοεξυγίανσης (Χαρβάλας, 2019)

Τεχνολογία	Φυτοεκχύλιση		Ριζοδιήθηση	Φυτοσταθεροποίηση
Ρύπος	Έδαφος	Νερό	Νερό	Έδαφος

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΜΕ ΦΥΤΟΕΞΥΓΙΑΝΣΗ ΣΤΟ ΔΗΜΟ
ΑΡΓΟΥΣ-ΜΥΚΗΝΩΝ <ΣΤΑΜΑΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ>**

Ραδιονουκλίδια	L	M	M	L
Χλωριωμένοι Διαλύτες	K			
Πετρελαϊκοί Υδρογονάνθρακες	K			
Μέταλλα	M	M	M	M
Φυτοφάρμακα				L
Μεταλλοειδή	K	M (Se)		K
PCP				L
Εκρηκτικά				L
PCB				
Μη μέταλλα	K			
ΡΑΗ				
Θρεπτικά			M	

Όπου: K-> Η εφαρμογή είναι σε θεωρητικό στάδιο

L-> Η εφαρμογή έχει εξεταστεί εργαστηριακά ή σε ειδικά θερμοκήπια

M-> Η εφαρμογή έχει εξεταστεί στο πεδίο, πιλοτικά ή σε πλήρη κλίμακα

Τεχνολογία	Ριζοαποδόμηση	Φυτοαποδόμηση		Φυτοεξάτμιση	
	Έδαφος	Έδαφος	Νερό	Έδαφος	Νερό
Ραδιονουκλίδια					
Χλωριωμένοι Διαλύτες	M	L	M	K	K
Πετρελαϊκοί Υδρογονάνθρακες	M	M	M	K	
Μέταλλα				K(Hg)	
Φυτοφάρμακα	M	M		K	
Μεταλλοειδή				L	M (Se)
PCP	M				
Εκρηκτικά	L	L	M		
PCB	M				
Μη μέταλλα			M/M		

ΡΑΗ	Μ				
Θρεπτικά	Λ				
Απορρυπαντικά	Κ				

Όπου: Κ-> Η εφαρμογή είναι σε θεωρητικό στάδιο

Λ-> Η εφαρμογή έχει εξεταστεί εργαστηριακά ή σε ειδικά θερμοκήπια

Μ-> Η εφαρμογή έχει εξεταστεί στο πεδίο, πιλοτικά ή σε πλήρη κλίμακα

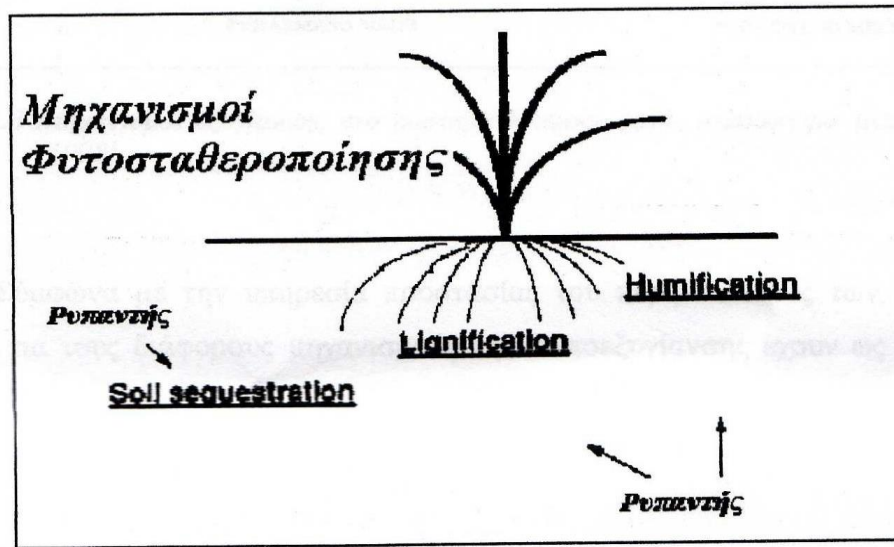
Πίνακας 4-5: Διαθέσιμες εφαρμογές τεχνικών φυτοεξυγίανσης ώστε να αντιμετωπιστούν τα διάφορα ρύπη σε ύδατα και εδάφη (Γιδαράκος κ.α. 2008-2009)

3.2.2 Φυτοσταθεροποίηση (Phytostabilization)

Με τον όρο φυτοσταθεροποίηση (Phytostabilization) (γνωστή και ως επί τούτου αδρανοποίηση ή φυτοακινητοποίηση) (Βελιάνος, 2010), εννοούμε τη χρησιμοποίηση φυτών που δεν υποκύπτουν στα μέταλλα, με σκοπό τον περιορισμό των δραστηριοτήτων των βαρέων μετάλλων, διαμέσου της συσσώρευσης και της απορρόφησής τους από τις ρίζες, της σύλληψής τους στη ριζόσφαιρα ή της προσρόφησής τους (adsorption) πάνω στις ρίζες (Εικ. 10). Αποτέλεσμα της διεργασίας αυτής είναι η ελάττωση της κινητικότητας των μετάλλων και της βιοδιαθεσιμότητας τους και η μη είσοδός τους στην ακολουθία της μεταφοράς ύλης και ενέργειας από οργανισμό σε οργανισμό με τη μορφή τροφής (Σωτηρόπουλος, 2005).

Η διεργασία της φυτοσταθεροποίησης συμπεριλαμβάνει τη φυσιολογική λειτουργία των φυτών κατά την οποία αποβάλλεται από τους πόρους, κυρίως των φύλλων, νερό υπό μορφή υδρατμών και σταδιακή δημιουργία ριζών. Περιορίζει τις δυνατότητες των μολυσματικών παραγόντων ελαττώνοντας την έκλυση, περιορίζοντας τη διάβρωση, διαμορφώνοντας ένα περιβάλλον αερόβιο στη ζώνη της ρίζας και τέλος αυξάνοντας την ποσότητα της οργανικής ύλης στο υπόστρωμα στο οποίο υπάρχει δέσμευση του μολυσματικού παράγοντα. Μικροβιακός τομέας δραστηριότητας που συσχετίζεται με τις ρίζες των φυτών ενδέχεται να επισπεύσει την υποβάθμιση των οργανικών ρύπων όπως οι οργανικές ενώσεις του άνθρακα με το υδρογόνο και τα φάρμακα που χρησιμοποιούνται για την πρόληψη ή για την καταπολέμηση των ασθενειών των φυτών σε μορφές που δεν ενεργούν ως δηλητήριο (Bolan κ.α. 2011).

Οι μηχανισμοί οι οποίοι συμπεριλαμβάνονται στη φυτοσταθεροποίηση, αποσκοπούν στην επίτευξη της αδρανοποίησης και απομόνωσης του ρυπαντή (Εικ. 7), με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της μετανάστευσής του (migration) από την επιφάνεια της γης στο υπόγειο νερό ή στο μείγμα των αερίων που περιβάλλει τη γη ή άλλα ουράνια σώματα (Κωστήρη, 2010).



Εικόνα 7: Οι μέθοδοι οι οποίοι αναμειγνύονται στη διεργασία της φυτοσταθεροποίησης (Ζαμπετάκης κ.α. 2006)

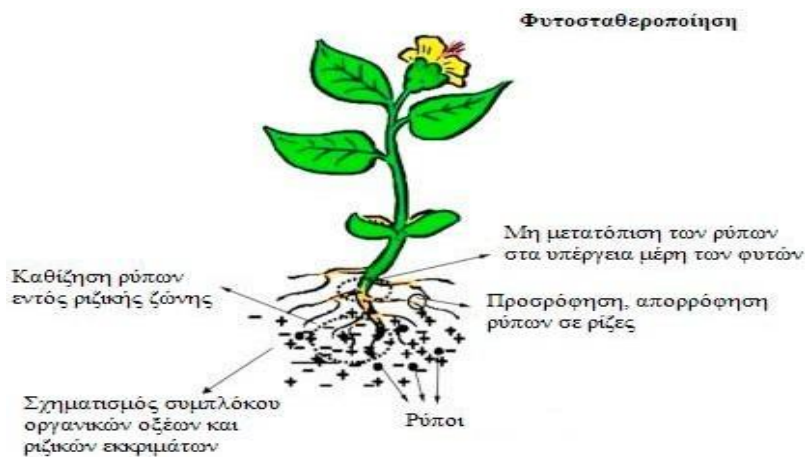
Οι επιφάνειες της γης οι οποίες έχουν μολυνθεί, είναι δυνατόν να επανέλθουν στη φυσιολογική τους κατάσταση με τη χρησιμοποίηση κάποιων φυτών, όπως τα *Festuca rubra* (Εικ. 8), *Dactylis glomerata* (Εικ. 9). Τέλος με τη χρήση των ανωτέρω επιτυγχάνεται η μη κυκλοφορία και η μη επέκταση των ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον στην επιφάνεια της γης (Efteruei, 2016).



Εικόνα 8: *Festuca rubra* (Διαδίκτυο)



Εικόνα 9: *Dactylis glomerata* (Διαδίκτυο)



Εικόνα 10: Διεργασία φυτοσταθεροποίησης (Περράκη, 2009)

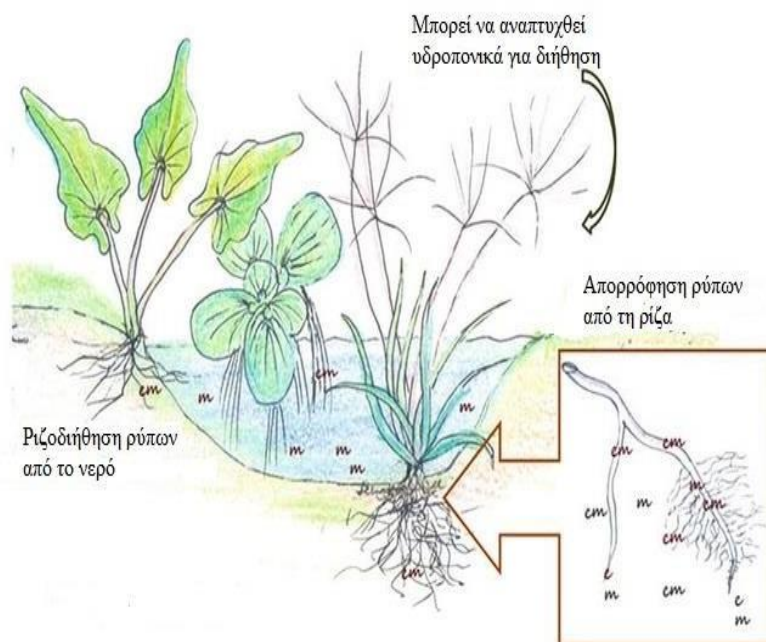
3.2.3 Ριζοδιήθηση (Rhizofiltration)

Η ριζοδιήθηση (Rhizofiltration) (γνωστή και ως φυτοδιήθηση) (Βελιάνος, 2010), κατατάσσεται στην κατηγορία των στοχευόμενων τεχνικών φυτοεξυγίανσης αφενός και αφετέρου αφορά τη χρησιμοποίηση φυτών για τη μετακίνηση ρύπων από το περιβάλλον που αποτελείται από νερό (Γουδέλη, 2017), είτε από το εδαφικό διάλυμα (Εικ. 11). Στην προκειμένη περίπτωση, παρατηρείται παραμονή του ρύπου στη ρίζα ή μετακίνηση προς διαφορετικά φυτικά τμήματα. Η ριζοδιήθηση βρίσκει εφαρμογή στη διόρθωση, τροποποίηση υγρών αποβλήτων με χαμηλό ποσοστό ρύπων και το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα εμφανίζεται στην περίπτωση παραγωγής τεχνικών υγροτόπων. Σε περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται όπως για τη διαδικασία καθαρισμού από

τη ρύπανση των εδαφικών διαλυμάτων ή στα υδάτινα οικοσυστήματα με πολύ μικρές αλλά με μεγάλο ενδιαφέρον ποσότητες βαρέων μετάλλων όπως Cr, Zn και Pb, μπορεί να χαρακτηριστεί ως μία ανταγωνιστική μέθοδος φυτοαποκατάστασης από πλευράς κόστους (Βουλγαρίδου, 2015).

Τα φυτά τα οποία χρησιμοποιούνται, δημιουργούνται σταδιακά σε θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις έχοντας τις ρίζες τους βυθισμένες μέσα σε ειδικά θρεπτικά διαλύματα. Για την εξοικείωση αυτών στο καινούργιο περιβάλλον γίνεται σταδιακά συμπλήρωση των ρυπασμένων υδάτων. Κατόπιν έχουμε τοποθέτηση των φυτών στην προς εξαφάνιση των εστιών μόλυνσης τοποθεσία στην οποία τα φυτά συγκεντρώνουν τους ρύπους διαμέσου του νερού. Όταν θα υπάρξει κορεσμός των ριζών από τους ρύπους, τα φυτά συγκεντρώνονται μαζί με τις ρίζες για τις περαιτέρω επεξεργασίες. Ένα παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου αυτής πραγματοποιήθηκε στο Τσέρνομπιλ της Ουκρανίας όπου έγινε χρήση ηλίανθων με τον ίδιο ακριβώς τρόπο για τη μετακίνηση ραδιενεργών ρύπων από τα υπόγεια ύδατα (Αραβαντινός, 2016).

Η διαδικασία καθαρισμού των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων από τη ρύπανση αλλά και των υγρών αποβλήτων τα οποία έχουν αλλοιωθεί από βαρέα μέταλλα, θρεπτικές ουσίες και ουσίες που εκπέμπουν ραδιενέργεια και ρυπαίνουν το περιβάλλον πραγματοποιείται με τη χρησιμοποίηση της μεθόδου αυτής (Favas κ.α. 2014). Τα φυτά τα οποία χρησιμοποιούνται είναι αυτά που ζουν ή που ευδοκιμούν μέσα ή πολύ κοντά στο νερό αλλά και αυτά που βρίσκονται στη ξηρά, όπως τα: *Oenathe javanica*, *Tobacco*, *Polygonum amphibium*, *Eichhornia crassipes*, *Sagittaria spp*, *Lemna minor*, *Calla palustris*, *Typha latifolia*, *Hydrocotyle umbellata*, *Glyceria fluitans*, *Indian mustard*, *Phragmites australis*, *Pistia stratiotes*, *Sunflower*, *Alisma plantago-aquatica* (Jacob κ.α. 2018).



Εικόνα 11: Διεργασία Ριζοδιήθησης (Νέστορας, 2019)

3.2.4 Ριζοαποδόμηση (Rhizodegradation)/Ριζοδιάσπαση

Αναφέρεται στη διάσπαση ή στο μετασχηματισμό των ρύπων στην επιφάνεια της γης, διαμέσου μικροβίων ιδίως παθογόνων όπως τα βακτήρια, μύκητες, τα οποία απλώνονται στη ριζόσφαιρα. Η ανάπτυξη των μικροβίων αυτών είναι αποτέλεσμα της χρήσης των ρυπογόνων ουσιών ως θρεπτικό υπόστρωμα και του νερού και του οξυγόνου που μετακινούνται μέσω του ριζικού συστήματος (Ζώττα, 2018).

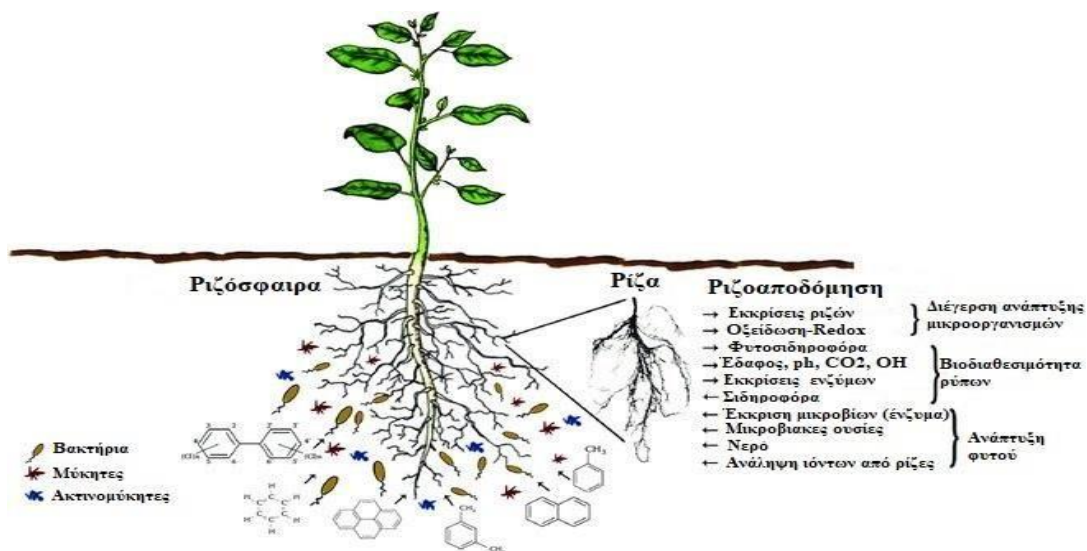
Η διεργασία αυτή βρίσκει εφαρμογή ιδίως σε οργανικούς ρύπους οι οποίοι συναντώνται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια της γης. Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίν. 6) αναφέρεται το υπόστρωμα-ρύπος για διαφορετικούς φυτικούς ή ζωικούς μικροοργανισμούς που ζουν παρασιτικά (Λαμπρόπουλος, 2019).

Βακτήριο	Υπόστρωμα
Nitrosomonas	Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες
Achromobacter	Υδρογονάνθρακες (BTXE)
Alcanigenes	Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες
Xantobacter	Αλιφατικές ενώσεις
Acenitobacter	Υδρογονάνθρακες
Nocardia	Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες

Azotobacter	Υδρογονάνθρακες
Pseudomonas	Υδρογονάνθρακες

Πίνακας 6: Τύποι φυτικών ή ζωικών μικροοργανισμών που ζουν παρασιτικά ανά κατηγορία (Λαμπρόπουλος, 2019)

Τα μικρόβια προσλαμβάνουν και μετασχηματίζουν ότι θεωρείται απαραίτητο για τη θρέψη τους από πλευράς οργανικών ουσιών, ενώ άλλα τις χωρίζουν κατευθείαν σε αγαθά μη βλαβερά. Παρατηρείται απελευθέρωση χημικών ενώσεων από πλευράς ριζών του φυτού, όπως οξέα, σάκχαρα και αλκοόλες, οι οποίες περιλαμβάνουν οργανικό άνθρακα. Αυτός μπορεί να αφομοιωθεί από κάθε μικρόβιο ιδίως παθογόνο της επιφάνειας της γης και αναπτύσσει ενισχυτική δράση (Μπαρμπούτση, 2015).



Εικόνα 12: Διεργασία Ριζοαποδόμησης (Νέστορας, 2019)

3.2.5 Φυτοεξάτμιση/ Φυτοεξαέρωση (Phytovolatilization)

Στη διάρκεια της φυτοεξάτμισης ομάδα χημικών στοιχείων που χαρακτηρίζονται από αντοχή, στιλπνότητα και μεγάλο ειδικό βάρος και είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού και της θερμότητας και σχηματίζουν οξείδια, όταν έλθουν σε επαφή με το οξυγόνο και οργανικές ουσίες οι οποίες λαμβάνονται από τα φυτά, αλλάζουν σε πτητικές μορφές και απελευθερώνονται στο μείγμα των αερίων που περιβάλλει τη γη ή άλλα ουράνια σώματα (Εικ. 13). Κατά αυτόν τον τρόπο ολοκληρώνεται η επιτυχία της

εξυγίανσης των υπόγειων υδάτων και ρυπασμένων εδαφών, δίχως να είναι απόλυτα αναγκαία η συγκέντρωση του φυτικού υλικού (Ζαμπετάκης κ.α. 2006)



Εικόνα 13: Διεργασία της φυτοεξάτμισης (Νέστορας, 2019)

3.2.6 Φυτοσυσσώρευση (Phytoextraction)

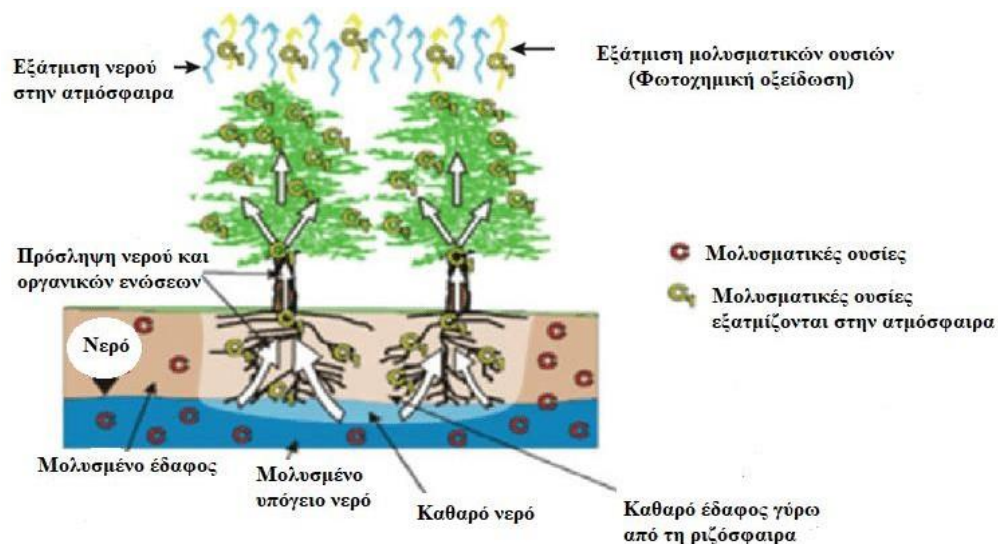
Ο όρος φυτοσυσσώρευση (γνωστή και ως φυτοεξαγωγή, φυτοδέσμευση, φυτοαπορρόφηση και φυτοεκμετάλλευση) (Βελιάνος, 2010), αναφέρεται στο μηχανισμό απόκτησης ρυπαντών από τις ρίζες των φυτών και μετακίνησής του στο φυτικό ιστό. Όσον αφορά το στάδιο απομάκρυνσης των ρυπαντών από το πεδίο, αυτό γίνεται με τη συλλογή και συγκέντρωση κυρίως του τμήματος των φυτών που βρίσκεται επάνω από την επιφάνεια της γης (Κοκκάλη, 2007).

Τα αναπτυσσόμενα φυτά μιας μονάδας που αποτελείται από το φυσικό περιβάλλον και τους οργανισμούς (ζώα, φυτά) που ζουν σε αυτό, είναι κατάλληλα για αυτήν την τεχνολογία. Επίσης, κάποιες οικογένειες υπερσυσσωρευτών θεωρούνται απαραίτητες για αυτήν τη μέθοδο όπως τα: Euphorbiaceae, Scrophulariaceae, Brassicaceae, Asteraceae και Lamiales. Επιπρόσθετα, κάποια φυτικά είδη όπως τα, *Vigna unguiculata*, *Swietenia macrophylla*, *Salix mucronata*, *Momordica charantia*, *Celosia argentea*, *Nicotiana tabacum*, *Kummerowia striata*, *Cassia alata*, *Solanum melonaena*, είναι κατάλληλα για τη διεργασία της φυτοσυσσώρευσης Cd (Raza κ.α. 2020).

3.2.7 Φυτοαποδόμηση/Φυτοδιάσπαση (Phytodegradation)

Αναφέρεται στη μεθοδευμένη σειρά ενεργειών υποβάθμισης των ρυπογόνων ουσιών της επιφάνειας της γης κατόπιν μεταβολικών διεργασιών ενζύμων και φυτών (Νέστορας, 2019).

Συμπεριλαμβάνει διεργασίες (Εικ. 14) που αποσκοπούν στη αποδόμηση/διάσπαση της ρυπαντικής ουσίας. Η διάσπαση της ουσίας μπορεί να πραγματοποιηθεί διαμέσου των ενζύμων στη ριζόσφαιρα ή διαμέσου των μεταβολικών διαδικασιών εντός του φυτού. Ύστερα από τη διαδικασία της διάσπασης της ρυπαντικής ουσίας, ακολουθεί η σύνδεσή της στους φυτικούς ιστούς. Τα αγαθά τα οποία προκύπτουν από τη διάσπαση, όχι πάντα, απελευθερώνονται στο σύνολο των φυσικών συνθηκών και παραγόντων που επιδρούν στους ζωντανούς οργανισμούς. Και αυτό εξαρτάται από την ρυπαντική ουσία και το είδος του φυτού. Η φυτοδιάσπαση, και μιλάμε για το μηχανισμό αυτής, εφαρμόζεται τόσο σε νερά που βρίσκονται άνω και κάτω από την επιφάνεια της γης, και σε επιφάνειες της γης εμπλουτισμένες με ρυπαντική ουσία. Στα υπόγεια ύδατα, επιβάλλεται να είναι σε επαφή ο υδροφορέας με το ριζικό σύστημα του φυτού, σε αντίθετη περίπτωση υπάρχει δυνατότητα πραγματοποίησης άντλησης και τοποθέτησης ύδατος σε δεξαμενές όπου βρίσκονται φυτικά είδη τα οποία έχουν τα απαραίτητα προσόντα (Κωστώρη, 2010).



Εικόνα 14: Διάγραμμα φυτοαποδόμησης (Phytotechnology, 2001)

3.3 Ουσίες οι οποίες ρυπαίνουν το περιβάλλον και είναι ελεγχόμενες

Με τη φυτοεξυγίανση υπάρχει μεγάλο ποσοστό επιτυχίας όσον αφορά τη διαχείριση των οργανικών και ανόργανων ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον. Μερικές από τις ουσίες αυτές αναφέρονται παρακάτω:

- α) Χλωριωμένα φυτοφάρμακα
- β) Θρεπτικά (άζωτο, αμμωνία, φώσφορος)
- γ) Βαρέα μέταλλα (Pb, Cd, Zn, As, Cu, Cr, Se, Ni)
- δ) Πολυχλωριωμένα διφαινύλια (Polychlorinated biphenils-PCBs)
- ε) Εκρηκτικά (TNT, DNT, TNB, RDX, HMX)
- στ) Χλωριωμένοι διαλύτες {trichloroethylene (TCE), perchloroethylene (PCE)},
- ζ) Πετρελαϊκοί υδρογονάνθρακες (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene-BTEX)
- η) Ραδιενεργά στοιχεία (¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, Ur)
- θ) Οργανοφωσφορικά ζιζανιοκτόνα (π.χ παραθείο)
- ι) Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (Polycyclic aromatic hydrocarbons-PAHs) (Κοσιώρη, 2017)

Τα PCBs ανήκουν στους χλωριωμένους υδρογονάνθρακες, δύσκολα παίρνουν φωτιά και τα χαρακτηρίζει η σταθερότητα τη στιγμή που θα ελευθερωθούν στο σύνολο των φυσικών συνθηκών και παραγόντων που επιδρούν στους ζωντανούς οργανισμούς. Μέρος αυτών έχει ερευνηθεί στην ατμόσφαιρα των αστικών κέντρων και αρκετοί πιστεύουν ότι η μετακίνηση διαμέσου της ατμόσφαιρας μετέχει ενεργά στην παγκοσμιοποίηση του αποτελέσματος των ουσιών που είναι βλαβερές για τον άνθρωπο και για τους άλλους ζωντανούς οργανισμούς από PCBs. Όσο για τους PAHs αυτοί ανήκουν στην κατηγορία των οργανικών χημικών ενώσεων και περιλαμβάνουν υδρογόνο και άνθρακα. Έχουν σχέση ιδίως με την αέρια ρύπανση, παρόλα αυτά εμφανίζονται και σε νερά που αναφέρονται στη φύση. Γνωστή ένωση των PAHs είναι το βενζο(α)πυρένιο (Ζαχαροπούλου, 2018).

Το TCE και το PCE θεωρούνται ως επικίνδυνες ουσίες όσον αφορά την εκτέλεση ενεργειών και την εξασφάλιση καλών όρων για τους υδατικούς πόρους. Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό κοινοβούλιο για τη διασφάλιση και σωστή λειτουργία των ανωτέρω, οι στόχοι ήταν τρεις:

- α) Η εξαφάνιση και η ελάττωση των ουσιών που μπορεί να δημιουργήσουν κινδύνους σε μεγάλο βαθμό

β) Σχετικά με τα υδάτινα οικοσυστήματα, προέχει η καλύτερευση αυτών, η προστασία σε καλή κατάσταση και η παρεμπόδιση της δημιουργίας κάποιας δυσάρεστης κατάστασης

γ) Η διατήρηση καλής κατάστασης των νερών που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της γης και τη μετακίνηση προς την αντίθετη κατεύθυνση της κάθε συσσώρευσης ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον και παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον (Αντωνίου, 2019).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: Αξιολόγηση Τεχνολογιών Φυτοεξυγίανσης

4.1 Γενικά

Για την πλήρη πραγματοποίηση της φυτοεξυγίανσης, η χρησιμοποίηση της τεχνολογίας η οποία διαθέτει όλα τα απαραίτητα προσόντα και η αποδοτικότητα στη μετακίνηση των ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον αχρήστων ουσιών από το αγροτικό τομέα, πιθανόν να εξαρτηθούν από διάφορους συντελεστές. Οι συντελεστές αυτοί εξαρχής είναι αυτοί οι οποίοι σχετίζονται με το φυτό και τη σταδιακή δημιουργία του, όπως είναι οι παρακάτω (Ασπρογέρακας, 2020).

α) Ο φυτικός τύπος

Από πλευράς φυτών θα πρέπει να υπάρχει ανθεκτικότητα στις δηλητηριώδεις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων, παραγωγή μεγάλης βιομάζας, απορρόφηση και μετακίνηση των μετάλλων από τη ρίζα στη βιομάζα που βρίσκεται επάνω από την επιφάνεια της γης (Βουράνη, 2009). Διαφορετικός τύπος φυτού θεωρείται πιο αποτελεσματικός για τη μετακίνηση ποσότητας συγκεκριμένου βαρέου μετάλλου ή φυτοφαρμάκου. Τέλος η χρήση γενετικών τροποποιημένων φυτών συντελεί στην μετακίνηση ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον διαμέσου της φυτικής εξάτμισης (Ασπρογέρακας, 2020).

β) Η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος του φυτικού οργανισμού

Η μετακίνηση των ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον είναι πιο αποτελεσματική όταν η κατακόρυφη απόσταση από την επιφάνεια του ριζικού συστήματος του φυτού είναι μεγαλύτερη και όταν αυτό έχει σημειώσει σημαντική αύξηση (π.χ. ριζοδιήθηση) (Ασπρογέρακας, 2020)

γ) Ποσότητα φυτών

Πλούσια φυτική μάζα έχει ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη συγκράτηση ρύπων και επομένως πιο μεγάλη παραγωγικότητα (Ασπρογέρακας, 2020)

δ) Τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης στην οποία θα αναπτυχθεί το φυτό
Μεγάλες ποσότητες θρεπτικών συστατικών στην επιφάνεια της γης, έχουν ως αποτέλεσμα το μεγάλο αριθμό μικροβίων ιδίως παθογόνων που ενδέχεται να αναπτυχθούν για να πραγματοποιηθεί η αποδόμηση των ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον (π.χ. φυτοαποδόμηση). Ωστόσο, επιφάνεια της γης με διαφορετικά χαρακτηριστικά εξυπηρετεί και τη βελτίωση διαφορετικών φυτών (π.χ. ιτιές για υδρόφιλες επιφάνειες της γης). Η χρησιμοποίηση ή μη εδαφοβελτιωτικών έχει καθοριστικό ρόλο στην καλυτέρευση της εδαφικής ποιότητας, όπως και στην αλλαγή διαφόρων παραγόντων (π.χ. PH) οι οποίοι συμμετέχουν με οποιονδήποτε τρόπο στην καλύτερη αποδοτικότητα της φυτοεξυγίανσης. Η εκμετάλλευση των δυνατοτήτων που παρέχουν τα εδαφοβελτιωτικά θα βοηθήσουν στην κατάλληλη αφομοίωση των ρυπαντικών ουσιών εκ μέρους των φυτών και στο μεγάλο ποσοστό επιτυχίας της διεργασίας.

ε) Η έκταση της επιφάνειας της γης στην οποία θα αναπτυχθεί το φυτό
Μεγάλη έκταση επιφάνεια της γης σημαίνει αποδοτικότερη μετακίνηση ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον από τα υγρά απόβλητα

στ) Το σύνολο των κλιματικών δεδομένων που διαμορφώνουν μια κατάσταση υποστηρίζουν τη βελτίωση του φυτού που έχει τα απαραίτητα προσόντα έτσι ώστε να μπορεί να μετακινήσει με αποτελεσματικό τρόπο τις ουσίες που ρυπαίνουν το περιβάλλον.

ζ) Η δύναμη που έχει ένα φυτό να αντιμετωπίζει αντίξοες συνθήκες, κατά την αφομοίωση ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον

Αξιόλογη δύναμη αντοχής σε ουσίες που ρυπαίνουν το περιβάλλον αποσκοπεί σε πιο μεγάλη αποδοτικότητα μετακίνησης των ουσιών αυτών

η) Η χρονική διάρκεια της διαδικασίας

Η μετακίνηση των ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον από τα υγρά απόβλητα των πόλεων, έχει καλύτερα αποτελέσματα όσο μεγαλύτερη είναι η χρονική διάρκεια διαδικασίας

θ) Η υδροφοβικότητα της ουσίας που ρυπαίνει το περιβάλλον η οποία ορίζεται με ακρίβεια από το συντελεστή K_{ow}

Η αύξηση του συντελεστή απορρόφησης της ουσίας που ρυπαίνει το περιβάλλον σε διάλυμα οκτανόλης/νερού, έχει ως αποτέλεσμα της αύξησης του ποσοστού μετακίνησης των ρύπων (Ασπρογέρακας, 2020).

4.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Φυτοεξυγίανσης

4.2.1 Πλεονεκτήματα Φυτοεξυγίανσης

Η χρησιμοποίηση φυτών για τη μετακίνηση των βαρέων μετάλλων από την επιφάνεια της γης και το νερό παραθέτει μια σειρά από πλεονεκτήματα, όπως: (Χαρβάλας, 2019).

α) Η πραγματοποίηση της φυτοεξυγίανσης δε ζητά επίμονα ειδικευμένο προσωπικό και δεν είναι απαραίτητος ο πολυδάπανος εφοδιασμός (Mwegola, 2008).

β) Οι επιδράσεις της στην επιφάνεια της γης έχουν ευεργετικό χαρακτήρα επειδή παρατηρείται βελτίωση των ποιοτικών της χαρακτηριστικών (Farraji κ.α. 2016)

γ) Το οργανωμένο σύνολο κανόνων που ρυθμίζει τη φυτοεξυγίανση είναι κοινωνικά αποδεκτό και δεν υποβαθμίζει το ποιοτικό επίπεδο της αισθητικής του χώρου που πραγματοποιείται (Mwegola, 2008).

δ) Επιτυγχάνεται η συγκέντρωση των ουσιών που ενεργούν ως δηλητήριο σε όγκο που περιλαμβάνει σχετικά λίγες μετρικές μονάδες (Βουλγαρίδου, 2015).

ε) Εμποδίζει την αύξηση της γεωγραφικής έκτασης των ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον, προφυλάσσει την επιφάνεια της γης από τους ανέμους, τις βροχές και ειδικότερα το φαινόμενο της διάβρωσης (Singh κ.α. 2003)

στ) Η πραγματοποίηση της τεχνολογίας γίνεται αμέσως στην ίδια θέση (Καμίτσα, 2018).

ζ) Παρατηρείται μικρότερο ποσοστό παραγωγής δευτερογενών ουσιών που παράγονται κατά τη βιομηχανική επεξεργασία και αποβάλλονται από τις βιομηχανίες ως άχρηστες (Καμίτσα, 2018).

4.2.2 Μειονεκτήματα Φυτοεξυγίανσης

α) Οι πιο πολλοί υπερσυσσωρευτές βλασταίνουν βραδέως (Ζώττα, 2018).

β) Εφόσον ολοκληρωθεί η διαδικασία, ο τακτικός έλεγχος θεωρείται τελείως απαραίτητος (Νέστορας, 2019).

γ) Η φυτοεξυγίανση πραγματοποιείται βραδέως. Η επιφάνεια της γης έως ότου επανέλθει στην αρχική της κατάσταση εξαιτίας των ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον, απαιτεί αρκετό χρόνο (Ali κ.α. 2013).

δ) Η φυτοεξυγίανση σαν νέα τεχνολογία δεν είναι δοκιμασμένη σε αρκετές έρευνες, οπότε η κατάληξη της διαδικασίας αυτής και μιλάμε πάντα σε ερευνητικό επίπεδο, ενδέχεται να διαφοροποιείται λόγω εξωτερικών συνθηκών (Χαρβάλας, 2019).

ε) Κατόπιν της βρώσης του φυτικού κεφαλαίου από ζώα ενδέχεται η τροφική αλυσίδα να δεχτεί ουσίες που ενεργούν ως δηλητήριο (Καμίτσα, 2018).

στ) Κάποιες συνθήκες οι οποίες αναφέρονται στην υδρολογία ή στο κλίμα ενός τόπου, ενδέχεται να προκαλέσουν αναστολή στη βελτίωση των φυτών που έχουν τα απαραίτητα προσόντα (Καμίτσα, 2018).

4.3 Οικονομική Αξιολόγηση της Φυτοεξυγίανσης

Αξιόλογο πλεονέκτημα της τεχνολογίας, είναι ότι σε σύγκριση με άλλες μεθόδους διαδικασίας καθαρισμού ενός χώρου από τη ρύπανση (Πίν. 7) παρουσιάζει πολύ μικρό κόστος, έως 60 με 80% . Το χρηματικό ποσό που πρέπει να δαπανηθεί σε κάθε μέθοδο φυτοεξυγίανσης διακρίνεται σε: (Ζώττα, 2018).

α) Στο χρηματικό ποσό σχεδίασης που πρέπει να δαπανηθεί σχετικά με τη μελέτη/μέτρηση που πρέπει να πραγματοποιηθεί έτσι ώστε να χαρακτηριστεί το πεδίο, στη διαδικασία του προκαθορισμού και της υπόδειξης μιας σειράς ενεργειών και στην ολοκλήρωση μιας διαδικασίας δοκιμασίας του πεδίου.

β) Στο χρηματικό ποσό που πρέπει να δαπανηθεί σχετικά με τις εκ των προτέρων ενέργειες του πεδίου (π.χ. μετακίνηση εμποδίων, περίφραξη, αχρήστων υλικών που προέρχονται ιδίως από κατεδάφιση οικοδομής) και προετοιμασία της επιφάνειας της γης (π.χ. χρησιμοποίηση εδαφοβελτιωτικών, δεντροφύτευση, σύνολο έργων με τα οποία προκαλείται η απομάκρυνση του νερού από τα εδάφη όπου αυτά πλεονάζουν, διοχέτευση με κατάλληλο τρόπο νερό για το πότισμα καλλιεργημένων εκτάσεων)

γ) Στο χρηματικό ποσό που πρέπει να δαπανηθεί για τη συντήρηση των φυτικών οργανισμών (π.χ. ο εμπλουτισμός του καλλιεργούμενου εδάφους με συστατικά που βελτιώνουν τη γονιότητά του, πότισμα, χρησιμοποίηση χηλικών μέσων ή και φυτοφαρμάκων), τη συστηματική παρατήρηση της διεργασίας (π.χ. καιρικές συνθήκες, συγκέντρωση θρεπτικών στους φυτικούς οργανισμούς, αλλαγές υγρασίας και PH, απελευθέρωση και διασκορπισμός αερίων, συγκέντρωση ρύπων στους φυτικούς οργανισμούς), και τελευταίο τη μετακίνηση των φυτικών οργανισμών και ίσως την μεταφύτευσή ή επαναφύτευση τους (Ζώττα, 2018).

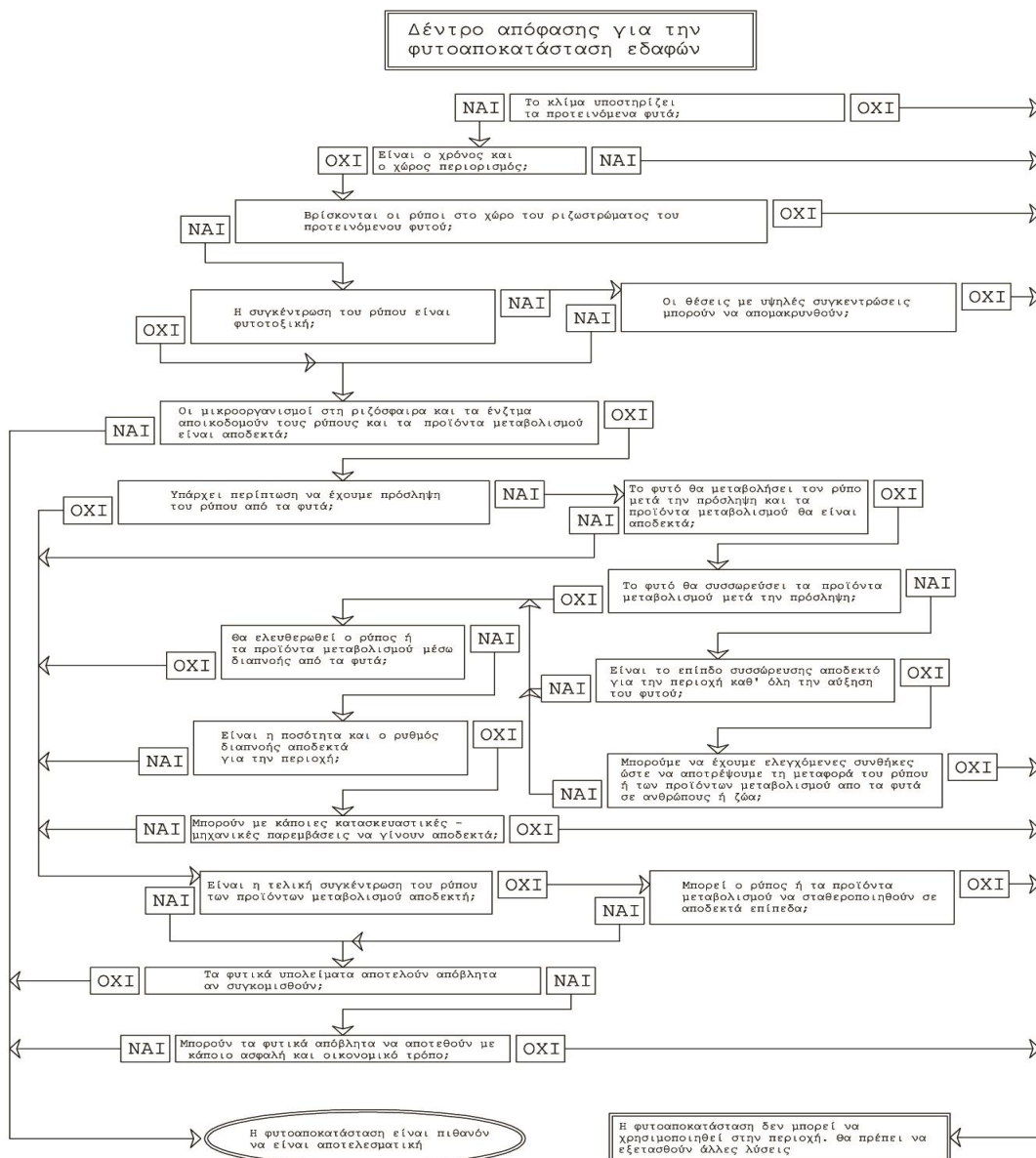
Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται τα χρηματικά ποσά που πρέπει να δαπανηθούν στις διάφορες μεθόδους διαδικασίας καθαρισμού ενός χώρου από τη ρύπανση.

Τεχνολογία	Κόστος (€/tn)
Φυτοεξυγίανση	7-25
Βιοαποδόμηση (in-situ)	36-108
Βιοαερισμός	14-158
Εδαφική πλύση	57-143
Σταθεροποίηση/στερεοποίηση	172-244
Αποτέφρωση	143-1075

Πίνακας 7: Η ταυτόχρονη και παράλληλη εξέταση όσον αφορά το κόστος εφαρμογής της φυτοεξυγίανσης συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες επαναφοράς σε καλή κατάσταση προβληματικών επιφανειών της γης (Γιδαράκης κ.α. 2008-2009)

4.4 Διαγράμματα ελέγχου για την εφαρμογή της τεχνολογίας της φυτοεξυγίανσης

Στη συνέχεια εμφανίζεται γραφική παράσταση ελέγχου και αφορά την πραγματοποίηση της τεχνολογίας της φυτοεξυγίανσης σε επιφάνειες της γης οι οποίες παρουσιάζουν δυσμενή μεταβολή με βλαβερές συνέπειες και σε νερά που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της γης. Από τη γραφική παράσταση καταλαβαίνουμε ότι, για την πραγματοποίηση της τεχνολογίας της φυτοεξυγίανσης απαιτούνται κάποιοι όροι, οι οποίοι προσδιορίζονται με ακρίβεια με την αρωγή πιλοτικών και εργαστηριακών ερευνών στις εκτάσεις γης οι οποίες έχουν υποστεί δυσμενής μεταβολές. Στο συνολικό κοστολόγιο της τεχνολογίας της φυτοεξυγίανσης συμπεριλαμβάνεται και το κοστολόγιο των πειραμάτων αυτών. Στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμ. 3) εμφανίζεται μία τυπική διεργασία επιλογής σχετικά με την επάρκεια υλοποίησης της φυτοεξυγίανσης, σύμφωνα με τις σύγχρονες πληροφορίες (Ζαμπετάκης κ.α. 2006)



Σχήμα 3: Γραφική παράσταση εξέλιξης της εφαρμογής της φυτοεξυγίανσης (Ντίντα, 2007)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: Υφιστάμενη κατάσταση στο Δήμο Αργούς-Μυκηνών

5.1 Γενικά

Οι χειρισμοί που αποσκοπούν στη διευθέτηση των σκουπιδιών-απορρίμματα αποτελούν ένα μείζων θέμα για τις σύγχρονες κοινωνίες. Είναι ένα θέμα το οποίο με την πάροδο του χρόνου προξενεί δυσαρέσκεια προοδευτικά όλο και περισσότερο στο σύνολο των κατοίκων, λόγω των επιδράσεων με αυξητικό ρυθμό τόσο στους ανθρώπους όσο και στο σύνολο των φυσικών συνθηκών και των παραγόντων μέσα στο οποίο δημιουργείται, υπάρχει και αναπτύσσεται κάποιος (Οικονόμου, 2008).

Οι μη κατάλληλες τεχνικές σχετικά με την απόρριψη υγρών αποβλήτων κατοικημένων περιοχών και απορριμμάτων που πραγματοποιήθηκαν τα προηγούμενα έτη, συντέλεσαν στην επιβάρυνση και ρύπανση της επιφάνειας της γης. Επίσης, την ίδια χρονική στιγμή σημειώθηκε αφενός μεγάλος όγκος απορριμμάτων και αφετέρου αυξητική τάση όσον αφορά τις επικίνδυνες ουσίες που περικλείονται σε αυτά (Παπαγιαννόπουλος, 2018).

Η διαχείριση των απορριμμάτων αποτελεί ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα στο Δήμο Αργους-Μυκηνών. Η χωματερή δουλεύει δίχως την τήρηση των στοιχειωδών κανόνων που αφορούν την υγειονομική ταφή. Μία οργανωμένη λεπτομερής εξέταση θα φανέρωνε, ότι η συνένωση από παράγοντες και υπηρεσίες κάνουν νόμιμη πράξη την παράβαση νόμου για τους εξής λόγους:

- α) Δίνουν τη δυνατότητα της συνέχισης των προγραμματισμένων και συντονισμένων μηχανικών κινήσεων χωματερής στο εσωτερικό των περιοχών όπου παρατηρούνται μικρού βάθους συγκεντρώσεις νερού, πλησίον ποταμών και λιμνών
- β) Παραχωρούνται διοικητικές πράξεις που δίνουν το δικαίωμα στη λειτουργία μιας χωματερής, ενώ δεν ανταποκρίνονται με επάρκεια σε κανένα τεχνικό χαρακτηριστικό
- γ) Παραχωρούνται διοικητικές πράξεις που δίνουν το δικαίωμα ελεγχόμενης καύσης απορριμμάτων σε χώρους με προορισμό τη μη ρύπανση κάνοντας νόμιμη την ανεξέλεγκτα καύση με τη αιτιολογία της μικρής χρονικής διάρκειας
- δ) Αντικαθιστούνται συνέχεια και για αρκετά χρόνια άδειες λειτουργίας που έχει συμφωνηθεί ή αποφασιστεί να διαρκέσουν μικρό χρονικό διάστημα (Δέδε, 2008).

Η υγειονομική ταφή μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα στάδιο με σημαντικό ρόλο στο σύνολο των ενεργειών που αποσκοπούν στη διευθέτηση των στερεών αποβλήτων, οπότε στο χώρο λοιπόν, ο οποίος δέχεται τα αποβλήτα αυτά θα πρέπει να υπάρχουν συστήματα σχετικά με:

- α) την αντιπυρική προστασία,
- β) τη ροή προς τα έξω όμβριων υδάτων και σύστημα διευθέτησης των στραγγισμάτων

- γ) με τη μόνωση και στεγανοποίηση προς αποφυγήν ρύπανσης των υδάτων που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της γης,
- δ) με την αξιοποίηση του βιοαερίου το οποίο παράγεται και
- ε) τον έλεγχο και τη συστηματική παρατήρηση των κινήσεων (Χαριτωνίδης, 2012)

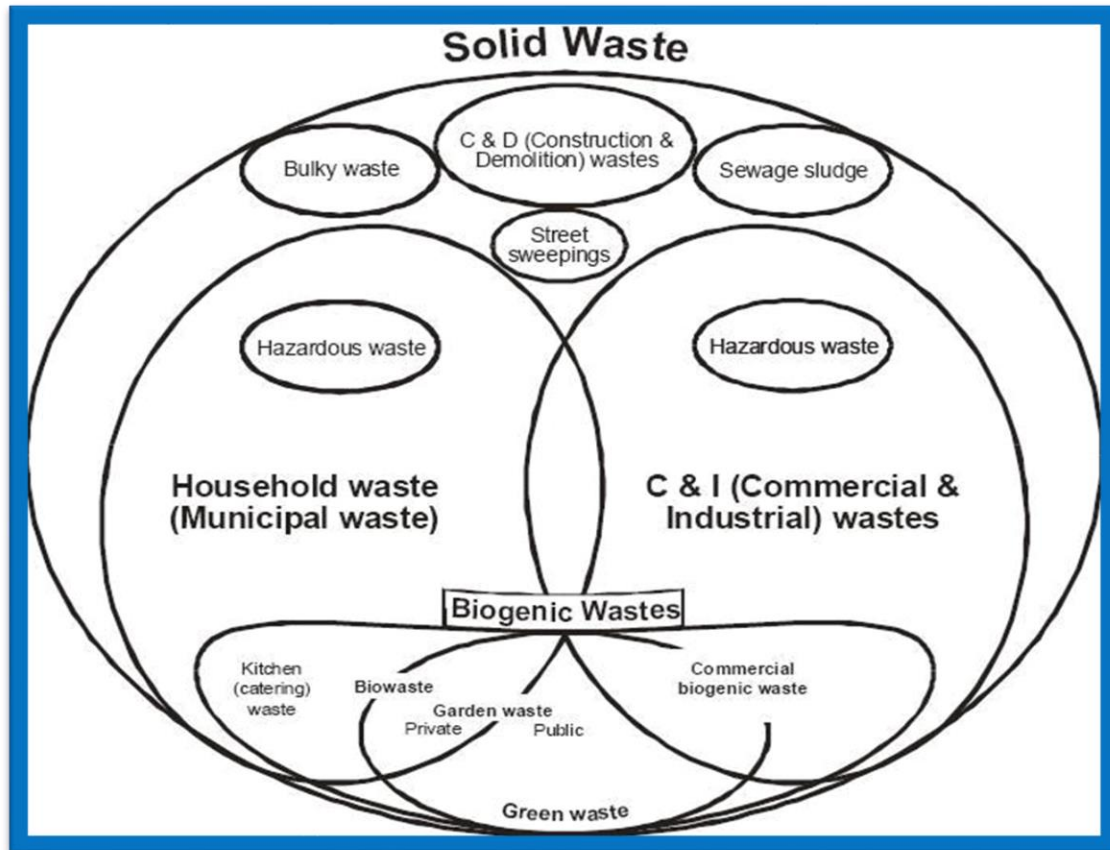
Η μη ύπαρξη και εφαρμογή των ανωτέρω στο Δήμο για τον οποίο μιλάμε έχει ως αποτέλεσμα τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Τώρα όσον αφορά την υπάρχουσα κατάσταση από πλευράς αστικού πρασίνου, εξαιτίας κάποιων παραγόντων (το φυτικό είδος, η δυνατότητα πρόσληψης των μετάλλων, την ποσότητα του μετάλλου στην επιφάνεια γης, οι συνθήκες αερισμού και θερμοκρασίας μέσα στην επιφάνεια γης, η κινητικότητα του μεταλλικού ιόντος στην επιφάνεια γης προς το ριζικό σύστημα του φυτικού οργανισμού) τα ήδη υπάρχοντα φυτά στο Δήμο Άργους-Μυκηνών δεν απορροφούν την κατάλληλη ποσότητα των βαρέων μετάλλων και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μερική αντικατάσταση αυτών έτσι ώστε να επιτύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα (Μπολανάκη, 2017).

5.2 Στερεά απόβλητα

Η κατηγορία των στερεών αποβλήτων συμπεριλαμβάνει απορρίμματα προερχόμενα από το σύνολο των ζωικών και ανθρώπινων ενεργειών που αφορούν ένα συγκεκριμένο τομέα, ή ημιστερεά υλικά ή στερεά και απομακρύνονται ως κάτι που προκαλεί δυσαρέσκεια ή ως μη χρήσιμα (Σχήμ. 4). Κύρια πηγή καταγωγής των αποβλήτων αυτών είναι τα δημοτικά, προερχόμενα από νοσοκομειακά κτίρια, τα απόβλητα που αναφέρονται στην πόλη και προέρχονται από τις εμπορικές επιχειρήσεις, τα απόβλητα τα οποία προέρχονται από την κτηνοτροφία και γεωργία, οι βιομηχανικές ουσίες ή αντικείμενα που εμφανίζονται κυρίως σε στερεά φυσική κατάσταση, από τις οποίες ο κάτοχος τους θέλει ή υποχρεούται να απαλλαγεί (Ντίντα, 2007). Γίνεται λόγος για υλικά ή για κάθε πράγμα ιδίως καθορισμένο από άποψη μορφής όπου αυτός που τα έχει στην κατοχή του, επιθυμεί να ανακουφισθεί από αυτά (Αντωνιάδης, 2010). Με άλλα λόγια η κατηγορία των αποβλήτων αυτών περιλαμβάνει υλικά που δημιουργούνται σε εκτάσεις γης πόλεων, αλλά και υλικά τα οποία προέρχονται από αγροτικές βιομηχανικές και εξορυκτικές δραστηριότητες (Βορνιωτάκη, 2012).

Εξαιτίας της πληθυσμιακής αύξησης και των δραστηριοτήτων που αναφέρονται στη σημερινή εποχή, έχει παρουσιαστεί τεράστιος όγκος στερεών απορριμμάτων ιδίως στις μεγαλουπόλεις. Επίσης, λόγω της αυξημένης χρησιμοποίησης ουσιών που

ενεργούν ως δηλητήριο και των προϊόντων αυτών, στις χωματερές εμφανίζονται ουσίες οι οποίες ρυπαίνουν το περιβάλλον (Tan, 1994).



Σχήμα 4: Ταξινόμηση των στερεών ουσιών που παράγονται κατά τη βιομηχανική επεξεργασία και αποβάλλονται από τις βιομηχανίες ως άχρηστες (Αντωνιάδης, 2010)

5.3 Ρύπανση του εδάφους

Στις εκτάσεις όπου συγκεντρώνονται τα απορρίμματα των πόλεων, αφού συμπιεστούν και θαφτούν, ακολουθεί η διαδικασία της ζύμωσης και της αλλοίωσης κάποιας οργανικής ουσίας, που οδηγεί στη σήψη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα α) τη δημιουργία βιοαερίου, β) την ύπαρξη καταλοίπων στην επιφάνεια της γης και γ) τη δημιουργία στραγγισμάτων. Οι περιοχές στις οποίες δραστηριοποιούνται ανεξέλεγκτες χωματερές αλλάζουν σε «βραδυφλεγείς» εκρηκτικούς μηχανισμούς οι οποίοι είναι έτοιμοι να εκραγούν οποιαδήποτε στιγμή κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες. Γενικά, ο όγκος των απορριμμάτων ο οποίος ζυμώνεται στις χωματερές δημιουργεί στραγγίσματα και κατατάσσονται στην κατηγορία των βαρέων βιομηχανικών αποβλήτων. Η ύπαρξη των στραγγισμάτων αυτών σε ανεξέλεγκτους χώρους έχει ως αποτέλεσμα τη διαφυγή

αυτών στον υδροφόρο ορίζοντα και κατά συνέπεια τη μόλυνση αυτού, ενώ παράλληλα εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα αφού πολλαπλασιαστούν με τα νερά της βροχής που χρησιμοποιείται για το πότισμα των καλλιεργητικών προϊόντων (Καρακασίδου, 2003).

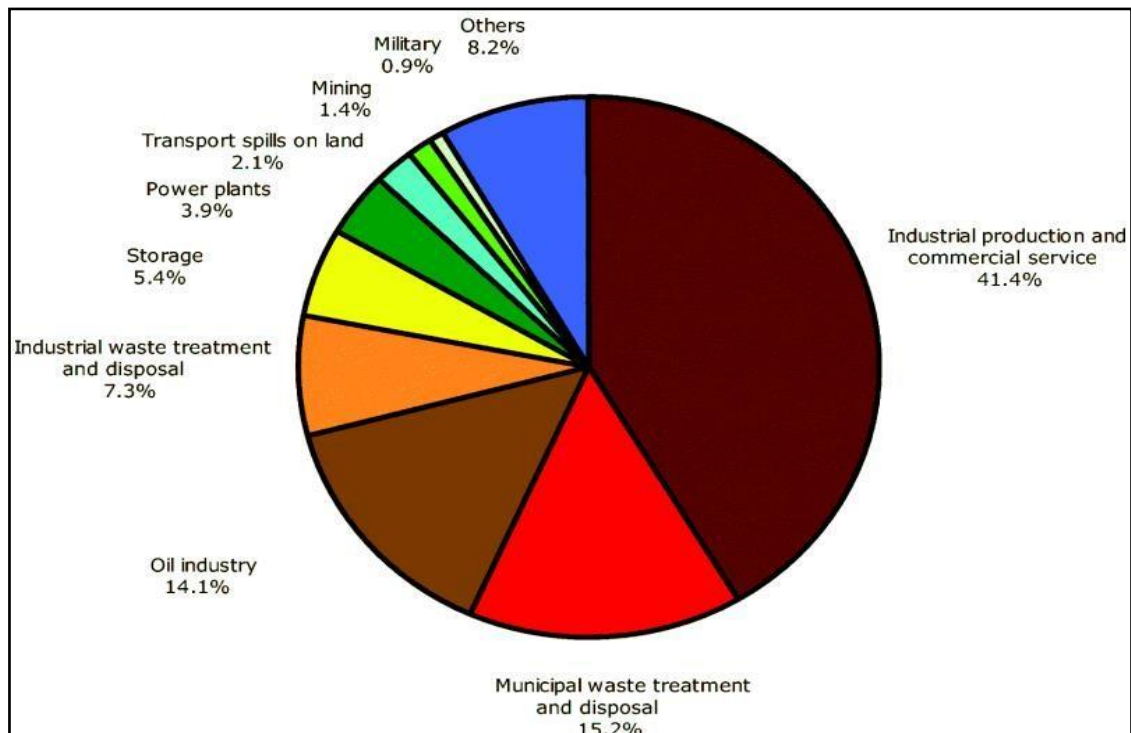
Η ύπαρξη στραγγισμάτων στις ανεξέλεγκτες χωματερές περιλαμβάνουν στη σύστασή τους βαρέα μέταλλα σε υψηλό ποσοστό συγκεντρώσεων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία περιβαλλοντικών προβλημάτων κατά τη εκβολή αυτών σε υπόγεια ή επιφανειακά νερά. Το ποσοστό των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων είναι σχέση αλληλεξάρτησης των ανθρακικών ενώσεων, του PH και των πολύπλοκων οργανικών ενώσεων. Χαμηλές τιμές PH έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσής τους και υψηλό ποσοστό συγκέντρωσης των ανθρακικών ενώσεων έχει ως συνέπεια τη μείωση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων (Μάγγου, 2013).

Το βιοαέριο το οποίο δημιουργείται από τη διαδικασία της ζύμωσης των απορριμμάτων περιέχει μεγάλη ποσότητα μεθανίου. Το μεθάνιο αρκετές φορές προκαλεί ανάφλεξη με αποτέλεσμα τις δασικές φωτιές. Εξίσου, οι επιδράσεις της καύσης των σκουπιδιών είναι βλαβερές. Η στάχτη που έχει απομείνει και ενεργεί ως δηλητήριο, μετακινείται με τα νερά της βροχής στα προϊόντα που καλλιεργούνται στο κήπο, ενώ οι διοξίνες κατευθύνονται στο μείγμα των αερίων που περιβάλλει τη γη ή άλλα ουράνια σώματα. Επιπροσθέτως, στο γύρω περιβάλλον των ανεξέλεγκτων χωματερών δημιουργούνται σταδιακά, μικρόβια, με τελικό αποδέκτη τον άνθρωπο διαμέσου τροφικής αλυσίδας (Καρακασίδου, 2003).

Επίσης, ένας παράγοντας ο οποίος επηρεάζει ή διαμορφώνει τα χαρακτηριστικά ή τη συμπεριφορά του περιβάλλοντος είναι το φαινόμενο της «τοξικής απειλής», η οποία εμφανίζεται στις χωματερές. Η εμφάνισή της οφείλεται στη μη ανακύκλωση των οικιακών συσκευών οι οποίες καταλήγουν στις χωματερές, με αποτέλεσμα τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων επικίνδυνων ουσιών όπως 25 τόνων αντιμονίου, 150 κιλών υδραγύρου, 200 κιλών βηρυλλίου, 200 τόνων μολύβδου και 850 κιλών καδμίου ανά έτος σύμφωνα από οργανωμένες ενέργειες του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών - Τομέας Υδραυλικής και Περιβαλλοντικής Μηχανικής (Τζανή, 2007).

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμ. 5) εμφανίζεται το σύνολο των ενεργειών που συμμετέχουν στη ρύπανση επιφάνειας της γης και του νερού που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια αυτής λαμβάνοντας υπόψη γεγονότα που έχουν συμβεί σε μια ορισμένη στιγμή και με βάση στοιχεία σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Περιβάλλοντος για το έτος 2006. Το σύνολο των ενεργειών είναι οι μονάδες βιομηχανικής παραγωγής

και οι υπηρεσίες (41,4 %), η σειρά ενεργειών που αφορούν τα αστικά στερεά απόβλητα (15,2 %), ο τομέας παραγωγής ελαίων (14,1 %), η παραχώρηση και η τροποποίηση που πραγματοποιείται σχετικά με τα βιομηχανικά απόβλητα (7,3 %), οι υπαίθριες εκτάσεις που αφορούν την αποθήκευση (5,4 %), οι ειδικές εγκαταστάσεις δημιουργίας της ενέργειας που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα, που αναφέρεται στην κινητική ενέργεια των κινούμενων ηλεκτρονίων (ηλεκτρικό ρεύμα), λόγω της ύπαρξης διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού (3,9 %), οι διαφυγές κατά τη μετακίνηση που πραγματοποιείται δια ξηράς (2,1 %), το σύνολο των εργασιών με τις οποίες βγάζουν από το υπέδαφος μεταλλεύματα ή χρήσιμα πετρώματα (1,4 %), οι τομείς στρατιωτικών δραστηριοτήτων (0,9 %) και διάφοροι άλλοι τομείς δραστηριοτήτων (8,2 %) (Ζαχαροπούλου, 2018).



Σχήμα 5: Σύνολο ενεργειών που αφορούν τη ρύπανση λαμβάνοντας υπόψη γεγονότα που έχουν συμβεί σε μια ορισμένη στιγμή (Ζαχαροπούλου, 2018)

5.4 Οικολογική σημασία της βλάστησης στα ρυπασμένα περιβάλλοντα

Οι οικολογικοί κίνδυνοι υπάρχει περίπτωση να περιοριστούν ή να ελαττωθούν και αυτό επιτυγχάνεται με τις λειτουργίες και τους μηχανισμούς φυτών. Υπάρχει η δυνατότητα ελάττωσης της τοξικότητας με τον τρόπο λειτουργίας της προσρόφησης και συγκέντρωσης ουσιών που μπορεί να δημιουργήσουν κινδύνους στους ιστούς των

φυτών. Η λειτουργία της δημιουργίας βλαστού και κυρίως των φυτών στην επαναφορά ρυπασμένων εκτάσεων γης ενδέχεται να παρουσιαστεί εν συντομία, στις κάτωθι ενέργειες των φυτών (Πεταλίδου, 2012).

α) Οι ζωντανοί οργανισμοί οι οποίοι είναι ριζωμένοι στο έδαφος, είναι κάτοχοι των απαραίτητων μηχανισμών για τις φυσιολογικές και βιοχημικές διεργασίες με τις οποίες ελαττώνεται η ιδιότητα των ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον να είναι τοξική.

β) Επιτρέπεται η απορρόφηση των αέριων ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον διαμέσου της επιδερμίδας και των στομάτων από τις μέγιστες επιφάνειες των φύλλων των φυτικών οργανισμών.

γ) Στους φυτικούς οργανισμούς, υπάρχουν ένζυμα τα οποία λαμβάνουν μέρος σαν καταλύτες στις αντιδράσεις ελάττωσης της τοξικότητας.

δ) Μέσω του ριζικού συστήματος δίνεται η δυνατότητα στα φυτά αφενός να χρησιμοποιούν τις επιφάνειες της γης σε διαφορετικά βάθη και αφετέρου να παράγουν αυτές τις συνθήκες οι οποίες επιτρέπουν την αναπαραγωγή κάθε μικροβίων ιδίως παθογόνων στη ριζόσφαιρα με την αρωγή των εκκρίσεων

ε) Οι ζωντανοί οργανισμοί οι οποίοι είναι ριζωμένοι στο έδαφος διαμέσου φυλλωμάτων και ριζικού συστήματος ασκούν αμοιβαία επίδραση με τις τρεις περιβαλλοντικές φάσεις, νερό-επιφάνεια γης-το μείγμα των αερίων της ατμόσφαιρας που περιβάλλει τη γη.

στ) Η αμοιβαία επίδραση ανάμεσα στους μικροοργανισμούς και στα φυτά προξενεί τη διαμόρφωση κάποιου μικρο-περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα να εξυπηρετεί τη συγκέντρωση και τη λαθραία είσοδο των ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον μέσα ή γύρω στις ρίζες.

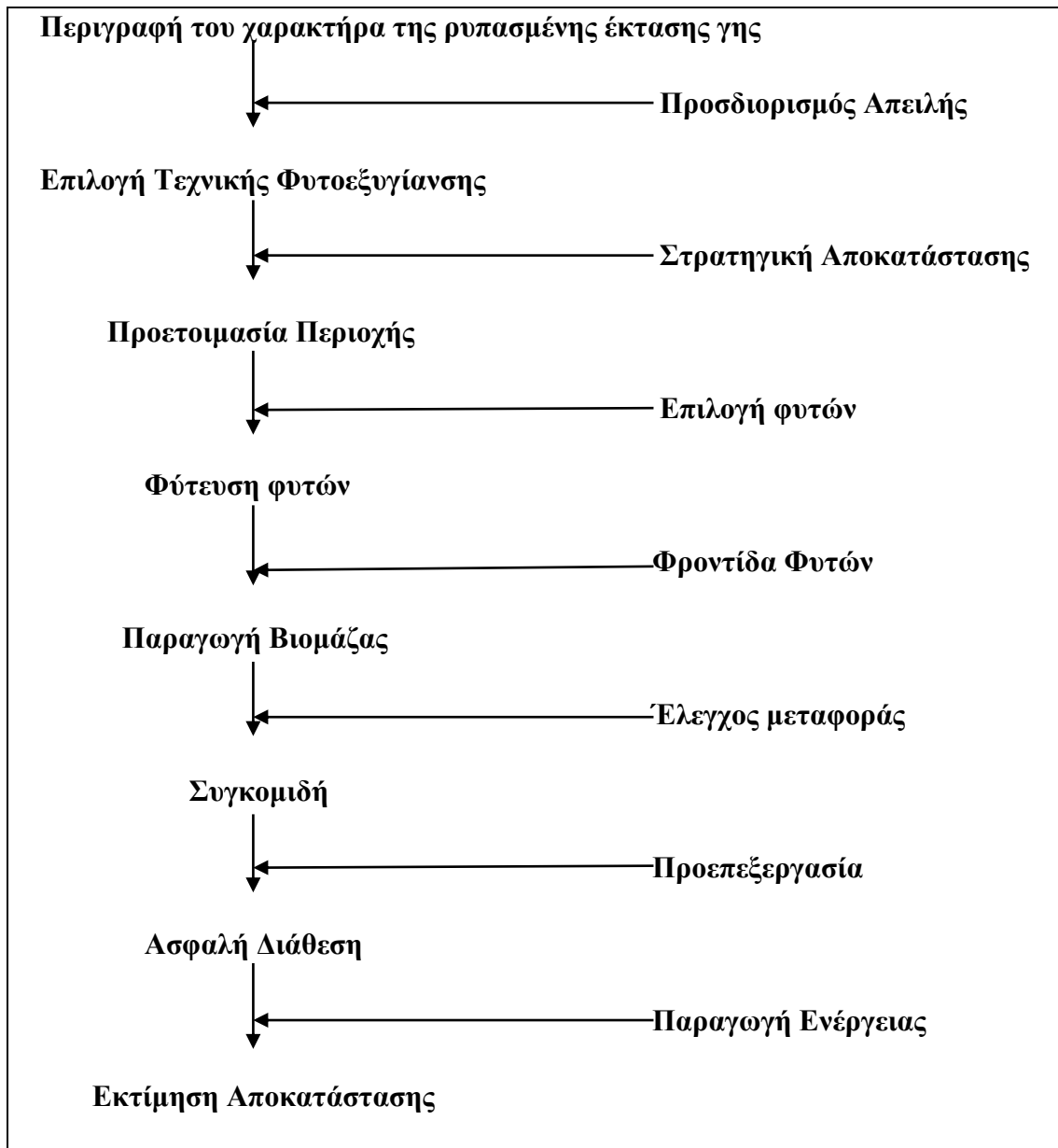
ζ) Υπάρχει κατανομή των ρύπων στα διαφορετικά μέρη του φυτού διαμέσου του συστήματος μετακίνησης των θρεπτικών ουσιών στο φυτό (Kvesitadze κ.α. 2006)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: Τεχνολογίες αποκατάστασης υποβαθμισμένων εδαφών

6.1 Γενικά

Για την εξυπηρέτηση που συμβάλλει στην καλύτερη και ευκολότερη ρύθμιση όσον αφορά την πραγματοποίηση της φυτοεξυγίανσης σε μια έκταση γης στην οποία παρουσιάζονται προβλήματα ρύπων, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη ενός σχεδίου ή κάποιου προγράμματος (Πιν. 8) βάση του οποίου θα καθορίζεται το πλαίσιο

των χρονικών ορίων και βημάτων για το ολοκλήρωμα επαναφοράς ρυπασμένων εδαφών. Σε πρώτη φάση, πραγματοποιείται προπαρασκευαστική μελέτη η οποία αποσκοπεί στην έκταση των ουσιών που είναι βλαβερές για τον άνθρωπο και για τους άλλους ζωντανούς οργανισμούς και στον τρόπο χαρακτηρισμού της έκτασης γης που παρουσιάζει προβλήματα ρύπων. Κατόπιν της μελέτης αυτής, αν θεωρηθεί ότι είναι απαραίτητη η επάνοδος στην προηγούμενη (καλή, ορθή, φυσιολογική) κατάσταση, κρίνεται αναγκαία η πραγματοποίηση μελέτης προσδιορισμού απειλής. Ο προσδιορισμός αυτός θα καθορίσει το ποσοστό επικινδυνότητας των ουσιών που είναι βλαβερές για τον άνθρωπο και για τους άλλους ζωντανούς οργανισμούς καθώς και αν επιβάλλεται ή όχι να προχωρήσουμε σε επαναφορά της έκτασης γης και με πιο μηχανισμό. Εν συνεχεία λαμβάνει μέρος η τελευταία έρευνα η οποία περιλαμβάνει το σύνολο των σταδίων εργασιών, έχοντας κατά νου κάποιους συντελεστές που συσχετίζονται με τα κριτήρια επιλογής φυτών, τη συστηματική παρατήρηση των δραστηριοτήτων της έκτασης γης, με τις εδαφικές καταστάσεις, με το χρονικό διάστημα και το χρηματικό ποσό που πρέπει να δαπανηθεί για την επάνοδο στην προηγούμενη (καλή, ορθή, φυσιολογική) κατάσταση, με τον εφοδιασμό που πρόκειται να μεταχειριστεί, με τον καθορισμό του τύπου και τη συνένωση των ουσιών που παράγουν και σκορπίζουν ρύπους στο περιβάλλον, την προφύλαξη των εργατών στο πεδίο (Νέστορας, 2019).



Πίνακας 8: Η διαδικασία του προκαθορισμού και της υπόδειξης μιας σειράς ενεργειών, σχετικά με την υλοποίηση φυτοεξυγίανσης (Νέστορας, 2019)

Η πραγματοποίηση της τεχνολογίας απαιτεί χρησιμοποίηση φυτών τα οποία μπορούν να μετακινήσουν τα μέταλλα που απορροφώνται από τη ρίζα στα τμήματα τους που βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια της γης και ιδίως στο φύλλωμά τους, διότι αυτά έχουν τη δυνατότητα συσσώρευσης (Ατσαλάκης, 2014). Σαν κατάταξη φυτών, οι υπερσυσσωρευτές (Πίν. 9), είναι κάτοχοι εξαιρετικής ικανότητας στο να διεισδύσουν και να συγκρατήσουν μέταλλα από το έδαφος και να τα μαζεύουν στα τμήματα τους που βρίσκονται πάνω από την επιφάνεια της γης, ανεξάρτητα αν οι συγκεντρώσεις των μετάλλων είναι υψηλού ή χαμηλού ποσοστού στην επιφάνεια της

γης (Yang κ.α. 2005). Τα φυτά για να ανήκουν σε αυτή την κατηγορία θα πρέπει να συγκεντρώνουν, σαν κλασματικό μέρος ποσού του ξηρού βάρους των φύλλων του, έως 0,1% Ni, Pb, Cr, Co, Cu, και Al ή έως 0,01% Cd και Se δίχως να εμφανίσουν παθολογικά φαινόμενα τοξικότητας, ή αλλιώς όταν μπορούν να αφομοιώσουν μέταλλα στους ιστούς τους σε ποσοστό συγκεντρώσεων 100 φορές μεγαλύτερο από τα υπόλοιπα είδη φυτών, χωρίς να παρουσιάσουν παθολογικά φαινόμενα τοξικότητας (Ατσαλάκης, 2014).

Καλλιεργημένες εκτάσεις καθώς και τα φυτά που καλλιεργούνται σε αυτές οι οποίες ανταποκρίνονται στις διαδικασίες φυτοσυγκέντρωσης μετάλλων είναι: η βρόμη (*Avena sativa*), το μπιζέλι (*Pisum sativa*), ο καπνός (*Nicotiana tabacum*), ο ηλιάνθος (*Helianthus annuus*), η καφέ ινδική μουστάρδα (*Brassica juncea*), το κριθάρι (*Hordeum vulgare*), ο αραβόσιτος (*Zea mays*) και το μπιζέλι (*Pisum sativa*) (Lofty & Mostafa, 2013). Επίσης, εξυγιαντές οι οποίοι φέρουν το αποτέλεσμα που επιδιώκεται σε φαινόμενα ρυπασμένων επιφανειών γης από μέταλλα, είναι και φυτά μη υπερσυσσωρευτές, όπως η ιτιά και η λεύκα, λόγω της μεγάλης βιομάζας τους και του διεσδυτικού ριζικού τους συστήματος (Peuke & Rennenberg, 2005).

Στοιχείο	Οικογένεια	Είδος
Cu	Brassicaceae	<i>Ipomea alpina</i>
		<i>Brassica juncea</i>
	Geraniaceae	<i>Pelargonium species</i>
	Commelinaceae	<i>Commelina communis</i>
	Ericaceae	<i>Erica andevalensis</i>
	Labiatae	<i>Elsholtzia splendens</i>
	Brassicaceae	<i>B. juncea</i> , <i>B. codii</i>
Ur	Brassicaceae	<i>Amaranthus species</i>
		<i>B. chinensis</i> , <i>B. juncea</i> , <i>B. narinosa</i>
Pb	Brassicaceae	<i>Thlaspi rotundifolium</i> , <i>Zea mays</i>
		<i>B. carinata</i> , <i>B. juncea</i> , <i>B. napus</i> , <i>B. nigra</i>
		<i>Helianthus annuus</i> , <i>Pisum sativum</i>
		<i>B. pekinesis</i> , <i>B. pekinesis</i> ,

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΜΕ ΦΥΤΟΕΞΥΓΙΑΝΣΗ ΣΤΟ ΔΗΜΟ
ΑΡΓΟΥΣ-ΜΥΚΗΝΩΝ <ΣΤΑΜΑΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ>

		B.campetris
	Leguminaceae	
	Fabaceae	Sesbania drummondii
	Compositae	Dittrichia viscosa
Th	Brassicaceae	Biscutela laevigata
		Iberis intermedia
Zn	Brassicaceae	Viola calaminaria
		B. juncea, B.napus, B.rap
		Thlaspi calaminare, Thlaspi areulescens
		Arabidopsis halleri
		Hordeum, vulgare, Avena sativa
	Crassulaceae	Sedum alfredii
As	Brassicaceae	Pteris vittata
		B. juncea
Ni	Brassicaceae	Berkheya codii
		Psychotria douarrei
		Streptanthus polygaloides
		Brassica juncea
		Alyssum bertoloni
		Thlaspi goesingense
Cr	Chenopodiaceae	Salsola kali
	Asteraceae	Helianthus annuus
	Geraniaceae	Pelargonium species
	Brassicaceae	Brassica juncea
	Convolvulaceae	Convolvulus arvensis
		Fabaceae Prosopis species
Se	Brassicaceae	Hibiscus cannabinus
		B.napus
		Festuca arundinacea
Cd	Hypericaceae	Hypericum perforatum
	Asteraceae	Chamomilla recutita, Helianthus

		annus
	Chenopodiaceae	Salsola kali
	Brassicaceae	Arabidopsis halleri Brassica juncea
		Thlaspi caerulescens
Co		Haumaniastrum roberti
Hg	Potederiaceae	Eichhornia crassipes

Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά παραδείγματα ειδών των οποίων είναι ικανή η χρήση τους σαν υπερσυσσωρευτές βαρέων μετάλλων στην επαναφορά σε καλή κατάσταση των επιφανειών της γης (Βουλγαρίδου, 2015)

6.2 Κριτήρια Επιλογής Φυτών

Η επίτευξη της φυτοεξυγίανσης εξαρτάται κυρίως από την εκλογή του φυτικού είδους (Odoh, κ.ά., 2019). Τα στοιχεία που χρησιμοποιεί κάποιος ως βάση για την επιλογή του φυτικού είδους συσχετίζονται με τα αντιπροσωπευτικά της επιφάνειας της γης, με τα γνωρίσματα των φυτών τα οποία εξελίσσονται κανονικά και το σύνολο των κλιματικών δεδομένων της έκτασης γης η οποία ενδέχεται να επανέλθει στη φυσιολογική κατάσταση (Jiang κ.α. 2015).

Ως τέλεια επιλογή αποτελούν τα φυτά τα οποία δημιουργούν σταδιακά βαθύς και πλούσιες ρίζες καταλαμβάνοντας μεγάλο μήκος επιφάνειας σύνδεσης με το έδαφος γιατί προφυλάσσουν και πετυχαίνουν τη σταθερότητα της επιφάνειας της γης από την εκσκαφή του εδάφους εξαιτίας της βροχής η οποία ενδέχεται να προκληθεί από τον αέρα και την κίνηση του νερού πάνω στην επιφάνεια της γης από υψηλότερα προς χαμηλότερα σημεία εξαιτίας της βαρύτητας (Sarma, 2011).

Τα φυτά τα οποία παράγονται και αναπτύσσονται στην περιοχή θεωρούνται τα πιο ιδανικά σε σύγκριση με αυτά που προέρχονται από μια ξένη χώρα και ο λόγος εστιάζεται στον καλύτερο και πιο εύκολο εγκλιματισμό όσον αφορά τα κλιματολογικά δεδομένα της έκτασης γης. Τα είδη που προέρχονται από μια ξένη χώρα, λαμβάνονται και αυτά υπόψη αλλά σε μικρότερο βαθμό. Μερικά από αυτά ενδέχεται να παρουσιάσουν πολύ καλύτερα αποτελέσματα σχετικά με τη μετακίνηση των ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον. Παρ όλα αυτά, προτού χρησιμοποιηθούν απαραίτητη προϋπόθεση είναι να μην προξενούν κινδύνους στη βασική οικολογική μονάδα που αποτελείται από το φυσικό περιβάλλον και τους οργανισμούς (ζώα, φυτά) που ζουν σ' αυτό (Suman κ.α. 2018).

Κατά τη διάρκεια της φυτοεξυγίανσης καθορίζουμε το ποσοστό της συγκέντρωσης και το είδος της ρυπαντικής ουσίας, καθώς και το βάθος των ουσιών οι οποίες είναι βλαβερές για τον άνθρωπο και για τους άλλους ζωντανούς οργανισμούς (Κακάλη, 2016).

6.3 Χρονικό διάστημα φυτοεξυγίανσης

Το χρονικό διάστημα που θεωρείται τελείως απαραίτητο για την ολοκλήρωση της φυτοεξυγίανσης μιας έκτασης γης, επηρεάζεται από διαφορετικούς συντελεστές, όπως:

- α) Το σύνολο των χαρακτηριστικών, το μέγεθος και το είδος των ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον
 - β) Ο στόχος της φυτοεξυγίανσης
 - γ) Το ύψος του κινδύνου που γίνεται ευνοϊκά δεκτός
 - δ) Ο τρόπος σχεδιασμού χρησιμοποίησης γης της περιοχής κατόπιν φυτοεξυγίανσης
- Πολλές έρευνες απέδειξαν ότι, όταν εγκατασταθεί η βλάστηση δώδεκα μήνες κατόπιν της προσθήκης των απαραίτητων βελτιωτικών εδάφους τα συμπεράσματα είναι ικανοποιητικά (Βουλγαρίδου, 2015).

6.4 Η δραστηριοποίηση των φυτών στη φυτοεξυγίανση

Οι ζωντανοί οργανισμοί που κατά κανόνα φυτρώνουν στο έδαφος είναι αρωγοί όσον αφορά την επαναφορά στη φυσιολογική κατάσταση των εκτάσεων γης που παρουσιάζουν προβλήματα, διαμέσου κάποιων οργανωμένων ενεργειών. Κάποια φυτά παρουσιάζουν ανθεκτικότητα σε υψηλά ποσοστά συγκεντρώσεων ποικίλων χημικών ουσιών, με απουσία της τοξικότητας, ενώ σε άλλα φυτά παρατηρείται η πρόσληψη και η μετατροπή χημικών ενώσεων σε μικρό ποσοστό τοξικών μορφών (Doganlar κ.α. 2012).

Τη χρονική στιγμή όπου εφαρμόζεται η μέθοδος της φυτοεξυγίανσης, τα φυτά, συνήθως μετά από μία περίοδο αύξησης, συγκεντρώνονται και εν συνεχεία ακολουθεί η αποτέφρωση σε ειδική κατασκευή η οποία κλείνει στεγανά και μέσα στην οποία αναπτύσσονται πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Ο σκοπός της αποτέφρωσης αφορά την ελάττωση του όγκου ο οποίος καταλαμβάνεται από τα φυτά. Αφού ολοκληρωθεί η αποτέφρωση, τοποθετούνται σε εκτάσεις οι οποίες είναι κατάλληλες δίχως να παράγονται περιβαλλοντικοί κίνδυνοι. Η διεργασία αυτή πραγματοποιείται αρκετές

φορές, μέχρι τα επίπεδα των ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον στις εκτάσεις γης επιστρέφουν σε κανονικά όρια (Βουλγαρίδου, 2015).

6.5 Η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος

Για τη διεργασία της φυτοεξυγίανσης απαραίτητος όρος είναι να υπάρχει ανάμεσα στην επιφάνεια της γης και στο ριζικό σύστημα, καθώς και στο ριζικό σύστημα με τα υλικά στα οποία βρίσκονται συσσωρευμένες οι ουσίες που ρυπαίνουν το περιβάλλον, αλληλοεξάρτηση. Από πλευράς φυτών σε αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα επέκτασης των ριζών τους σε ολόκληρο το τμήμα της ρυπασμένης επιφάνειας της γης. Ο όρος αυτός όμως πολλές φορές είναι μη πραγματοποιήσιμος. Εξαιτίας αυτού, σε μεγάλη συχνότητα προπορεύεται ένα βαθύ όργωμα, έτσι ώστε το υλικό να έρθει στο σημείο, όπου υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης των ριζών των φυτών (Βουλγαρίδου, 2015).

6.6 Φυτά κατάλληλα για φυτοεξυγίανση

Για τη τεχνολογία της φυτοεξυγίανσης απαιτούνται φυτά τα οποία διαθέτουν τα απαραίτητα προσόντα. Στη συνέχεια θα αναλύσουμε κάποια από αυτά παραθέτοντας εικόνες αυτών, τις ουσίες που ρυπαίνουν το περιβάλλον και απομακρύνονται από την επιφάνεια γης ή το νερό τα οποία παρουσιάζουν προβλήματα ρύπανσης, το επιστημονικό τους όνομα και μερικά σχόλια τα οποία προκύπτουν από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί (Φαραώνη, 2011).

6.6.1 *Amarita strobiliformis*

Το είδος μύκητα (Εικ. 15) που έχει χαμηλό βλαστό και κορυφή σε σχήμα ομπρέλας, είναι ετεροτροφικός ευκαρυωτικός οργανισμός, ταξινομείται στο βασίλειο των μυκήτων (Falandysz & Boronicka, 2013) και υποστηρίζεται από αρκετούς επιστήμονες ως ένα υλικό με ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά τη φυτοεξυγίανση εδαφών (Chen κ.α. 2018).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση με τη χρήση του μανιταριού *Amarita strobiliformis* η ρυπαντική ουσία η οποία απομακρύνεται είναι ο άργυρος (Ag), ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης ο οποίος ακολουθείται είναι η φυτοεκχύλιση και δύο μακροφύκη, τα *A. solitaria* και *A. Strobiliformis* υπερσυγκεντρώνουν τον άργυρο (Boronicka κ.α. 2007)



Εικόνα 15: *Amanita strobiliformis* (Διαδίκτυο)

6.6.2 *Eichhornia crassipes*

Το *Eichhornia crassipes* (Εικ. 16) συμπεριλαμβάνεται στα πλωτά υδρόβια ζιζάνια, το οποίο εξαιτίας της άφθονης βιομάζας και του μεγάλου ποσοστού ανεκτικότητας και συγκέντρωσης, διαθέτει υψηλές ικανότητες επαναφοράς εδάφους στη φυσιολογική κατάσταση λόγω Cd. Μετά από έρευνες διαπιστώθηκε ότι το φυτό σε υψηλά ποσοστά συγκέντρωσης Cd, χαρακτηρίζεται ως ανεκτικό, αλλά σε μεγάλες συγκεντρώσεις αυτού του μετάλλου σημειώθηκε ελάττωση στη βιομάζα, στην απόσταση της ρίζας ανάμεσα στα δύο άκρα της και στην περιοχή του φυλλώματος. Συγκεκριμένα στα φύλλα παρουσιάστηκε ελάττωση χλωροφύλλης, της διαλυτής πρωτεΐνης και της καροτενοειδούς, ενώ αντίθετα στην υπεροξείδωση των λιπιδίων παρουσιάστηκε ανοδική τάση. Ανάμεσα στους βλαστούς, ρίζες και φύλλα μεγαλύτερη συσσώρευση Cd παρατηρείται στους βλαστούς (Das κ.α. 2016).

Επιπροσθέτως, το *Eichhornia crassipes* είναι ένας αποτελεσματικός συσσωρευτής των Cu, Zn, Ag, Cr και Pb. Συν τοις άλλοις συγκεντρώνει τις ραδιενεργές ουσίες U, ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, καθώς και γεωργικά φάρμακα. Οι σπόροι αποτελούν καλή πηγή βιοενέργειας. Ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης ο οποίος ακολουθείται είναι η φυτοεκχύλιση/ρίζοαποδόμηση (Odjegda κ.α. 2007, και Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 16: *Eichhornia crassipes* (Διαδίκτυο)

6.6.3 *Lemna minor*

Τα υδρόβια φυτά έχουν τη δυνατότητα απομάκρυνσης της μόλυνσης βαρέων μετάλλων από τα γειτονικά νερά (Axtell, κ. ά., 2003). Η *Lemna minor* (Εικ. 17) μετά από πειράματα τα οποία πραγματοποιήθηκαν μεταξύ και άλλων φυτών, είχε τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την εξαγωγή Pb σε σχέση με άλλα μέταλλα (Bokhari κ.α. 2015).

Επίσης, είναι υπερσυσσωρευτής των Cr, Cu, και Zn. Ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης ο οποίος ακολουθείται είναι η φυτοεκχύλιση και τα μέταλλα είναι η ρυπαντική ουσία η οποία απομακρύνεται με τη χρησιμοποίηση αυτού του φυτού (Φαραώνη, 2011, και Ucuncu κ.α. 2013).



Εικόνα 17: *Lemna minor* (Διαδίκτυο)

6.6.4 *Vallisneria americana*

Στις περιοχές στις οποίες παρατηρούνται μικρού βάθους συγκεντρώσεις νερού, παρατηρείται το φαινόμενο της υποβάθμισης του νερού εξαιτίας της αστικοποίησης και της εκβιομηχάνισης. Τα βαρέα μέταλλα τα οποία προέρχονται από διάφορες πηγές αποτελούν κίνδυνο όχι μόνο για το οικοσύστημα αλλά και για την υγεία του ανθρώπου (Rai & Singh, 2015).

Τα υδρόβια φυτά έχοντας επιδερμίδα με πολύ μικρό πάχος, επιτρέπουν τη διείσδυση και τη συγκράτηση των βαρέων μετάλλων. Επίσης, διαθέτουν την ικανότητα της επιβίωσης σε δύσκολες συνθήκες και όσον αφορά τη φυτοεξυγίανση αποτελούν το ιδανικό είδος (Prasad, 2007).

Το *Vallisneria Americana* (Εικ. 18) είναι αποτελεσματικό στην απομάκρυνση των μετάλλων, ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης ο οποίος ακολουθείται είναι η φυτοεκχύλιση και υπερσυγκεντρώνει τα μέταλλα Pb, Cd και Cr (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 18: *Vallisneria americana* (Διαδίκτυο)

6.6.5 *Phragmites communis*

Η γερή σταδιακή αύξηση των φυτών συμβάλλει στην επιτυχία της εφαρμογής των τεχνολογιών της φυτοεξυγίανσης. Το *Phragmites communis*, κατατάσσεται στα υγρότοπα φυτά και αποτελέσματα πειραμάτων έχουν αποδείξει ότι συμβάλλει στη φυτοεξυγίανση του εξαχλωροβενζολίου (HCB) (Ma & Havelka 2009).

Είναι αποτελεσματικό στην απομάκρυνση των μετάλλων, ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης ο οποίος ακολουθείται και σε αυτή την περίπτωση είναι η φυτοεκχύλιση. Τα φυτά *Phragmites communis* (Εικ. 19) συσσωρεύουν σε μεγαλύτερο ποσοστό As, Fe, Mn, Cu, Pb, Zn, Ni, Cd στο ριζικό σύστημα και στα στελέχη σε σύγκριση με το φύλλωμα (Φαραώνη, 2011, & Sharma κ.α. 2020).



Εικόνα 19: *Phragmites communis* (Διαδίκτυο)

6.6.6 *Hydrilla verticillata*

Η μετάδοση και ο πολλαπλασιασμός μικροβίων με φαινόλη παρατηρείται συχνά σε ζωντανούς οργανισμούς που ζουν ή που ευδοκούν μέσα ή πολύ κοντά στο νερό και για την αντιμετώπισή τους θεωρούνται απαραίτητες πολιτικές, οι οποίες μεταχειρίζονται όχι ακριβές και φιλικά προς το περιβάλλον τεχνολογίες φυτοεξυγίανσης, με σκοπό την προσπάθεια απαλλαγής των δυσμενών ζητημάτων που έχουν σχέση με το περιβάλλον. Όσον αφορά το μολυσμένο υδάτινο σύστημα, το *Hydrilla verticillata* (Εικ. 20), έχει δείξει καλές κριτικές και αποτελεί ενεργό μέλος της φυτοεξυγίανσης (Chang κ.α. 2020).

Είναι αποτελεσματικό στην απομάκρυνση των μετάλλων, ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης ο οποίος ακολουθείται και σε αυτή την περίπτωση είναι η φυτοεκχύλιση. Είναι υπερσυσσωρευτής των Pb, Cd, Cr και Hg (Venkateswarlu κ.α. 2019, & Valujena κ.α. 2015).



Εικόνα 20: *Hydrilla verticillata* (Διαδίκτυο)

6.6.7 *Myriophyllum aquaticum*

Ένας λόγος που στα ύδατα παρουσιάζονται προβλήματα ρύπανσης, είναι τα βαρέα μέταλλα και τα αντιβιοτικά. Προκαλούν σημαντικές ανησυχίες και απαιτείται τρόπος εύρεσης απομάκρυνσής τους. Για τη φυτοεξυγίανση υγρών αποβλήτων κατοικημένων περιοχών τα οποία εμπεριέχουν χαλκό και αντιβιοτικά τετρακυκλίνης (TC), πραγματοποιήθηκαν μελέτες με βάση το *Myriophyllum aquaticum*. Τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά και οι υψηλές συγκεντρώσεις TCs συγκεντρώθηκαν στο ριζικό σύστημα του *Myriophyllum aquaticum*. (Guo κ.α. 2020).

Το *Myriophyllum aquaticum* (Εικ. 21) θεωρείται το καταλληλότερο φυτό για φυτοεξυγίανση σε μολυσμένο υδάτινο περιβάλλον με Zn, Ni και Pd. Ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης ο οποίος ακολουθείται σε αυτή την περίπτωση είναι η ριζοαποδόμηση/φυτοαποδόμηση, η ρυπαντική ουσία η οποία απομακρύνεται είναι το TNT το οποίο διασπάται με τη συνδρομή του ενζύμου νιτρορεδουκτάση (Harguintegui κ.α. 2015, & Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 21: *Myriophyllum aquaticum* (Διαδίκτυο)

6.6.8 *Typha angustifolia*

Τα βαρέα μέταλλα ως βιοτοξίνες προξενούν δυσαρέσκεια. Ο τρόπος διαχείρισης αυτών είναι η εξαφάνιση ή ο περιορισμός στο ελάχιστο των ουσιών που παράγονται κατά τη βιομηχανική επεξεργασία και αποβάλλονται από τις βιομηχανίες ως άχρηστες. Όμως, σε πολλές εκτάσεις γης και σε φυσικούς υγρότοπους τα φαινόμενα της εξάτμισης των υγρών αποβλήτων κατοικημένων περιοχών ή της αποξήρανσης ορυχείων οξέος (AMD) συνεχίστηκαν. Για τη φυτοεξυγίανση υγρών αποβλήτων μεταξύ άλλων δοκιμάστηκε και το *Typha angustifolia* (Εικ. 22) (Nabuyanda κ.α. 2019), το οποίο

κατόπιν κάποιων πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν, σε ότι αφορά τη φυτοεξυγίανση διαπιστώθηκε ότι πληρεί όλες εκείνες τις ικανότητες για τη συσσώρευση Cd και Zn, ανεκτικότητα στα μέταλλα και ολική πρόσληψη αυτών (Chayaran κ.α. 2015).

Τα μέταλλα είναι η ρυπαντική ουσία η οποία απομακρύνεται με τη χρησιμοποίηση του φυτού αυτού, ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης ο οποίος ακολουθείται είναι η φυτοεκχύλιση. Τέλος στις ρίζες παρατηρείται συσσώρευση μετάλλων όπως τα Pb, Ni, Cu, Cr και Fe (Φαραώνη, 2011, & Chandra κ.α. 2011).



Εικόνα 22: *Typha angustifolia* (Διαδίκτυο)

6.6.9 *Phragmites australis*

Τα βαρέα μέταλλα είναι ουσίες που ρυπαίνουν το περιβάλλον με αρνητικές επιπτώσεις στους οργανισμούς. Όσον αφορά τους υγρότοπους, αποτελούν μία οικονομική εναλλακτική λύση για την μετατόπιση των μετάλλων αυτών από το έδαφος. Όμως τα φυτά των περιοχών αυτών παρουσιάζουν ποικιλία όσον αφορά την πρόσληψη των βαρέων μετάλλων. Το συγκεκριμένο φυτό (Εικ. 23), κατόπιν πειραμάτων απέδειξε ότι είναι ένας πολύ καλός συσσωρευτής των βαρέων μετάλλων. Ειδικότερα τα μέταλλα τα οποία συσσωρεύει και μάλιστα κατά σειρά είναι: Al> Mn> Ba> Zn> Cu> Pb> Mo> Co> Cr> Cd> Ni. (Ahmad κ.α. 2014).

Τα μέταλλα και η φυτοεκχύλιση είναι η ρυπαντική ουσία η οποία μετακινείται και ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται αντίστοιχα με τη χρήση αυτού. Μετακινεί τα Ni, Cd, Pb από μολυσμένα νερά όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα οποία συσσωρεύονται στο ριζικό σύστημα, στο στέλεχος και στο φύλλωμα του (Φαραώνη, 2011, & Bello κ.α. 2018).



Εικόνα 23: *Phragmites australis* (Διαδίκτυο)

6.6.10 *Festuca arundinacea*

Το συγκεκριμένο φυτό (Εικ. 24) απομακρύνει τους υδρογονάνθρακες, βενζο(α)πυρένιο και η ριζοαποδόμηση/φυτοεκχύλιση είναι ο μηχανισμός της φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται με τη χρησιμοποίηση αυτού του φυτού (Φαραώνη, 2011). Πειράματα φυτοεξυγίανσης με τη χρήση του *Festuca arundinacea*, σε εδάφη μολυσμένα και με διαφορετικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων έδειξαν ότι πρόκειται για συσσωρευτή μετάλλων Pd, Cd και Ni ως εξής: Cd <Ni <Pb. Τελικά, αυτό που προέκυψε ήταν ελάττωση της τοξικότητας της επιφάνειας της γης κατά το πειραματικό μέρος φυτοεξυγίανσης, με συσσώρευση των παραπάνω μετάλλων κυρίως στις ρίζες (Steliga & Kluk, 2020). Επίσης από τα ρυπασμένα εδάφη παρατηρείται απομάκρυνση του Zn και τέλος έρευνες έχουν αποδείξει ότι ελαχιστοποιείται το επίπεδο των ανθεκτικών πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (Batty & Anslow, 2008, Sun κ.α. 2011).



Εικόνα 24: *Festuca arundinacea* (Διαδίκτυο)

6.6.11 *Agropyron repens*

Ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοσταθεροποίηση. Τα μέταλλα και η αλατότητα είναι αυτά τα οποία απομακρύνονται από το ρυπασμένο έδαφος ή νερό. Δείχνει ανοχή στα βαρέα μέταλλα και στην αλατότητα, συγκεντρώνοντας αρκετές ποσότητες στις εκβλαστήσεις ριζών που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της γης, οι οποίες μπορούν να μετακινηθούν μηχανικά από το ανώτατο στρώμα του γήινου φλοιού (Φαραώνη, 2011).

Σε μια έρευνα στην οποία μελετήθηκε η συσσώρευση Zn μεταξύ φυτών, ανάμεσα σε αυτά και το *Agropyron repens* (Εικ. 25) σε ρυπασμένο έδαφος, τα καλύτερα αποτελέσματα ως προς το ζητούμενο παρουσίασε ο συγκεκριμένος φυτικός οργανισμός (Eskandari & Amraie, 2016).



Εικόνα 25: *Agropyron repens* (Διαδίκτυο)

6.6.12 *Buchloe dactyloides*

Οι ουσίες που παράγονται κατά τη βιομηχανική επεξεργασία σχετικά με μεταλλεύματα ή πετρώματα, προξενούν δυσμενής επιδράσεις στο περιβάλλον. Για την αποκατάσταση των περιοχών αυτών και με τη τεχνολογία της φυτοεξυγίανσης έγινε χρήση του *Buchloe dactyloides* (Εικ. 26) το οποίο είναι ένα είδος ημιορεινών περιοχών που προέκυψε και αναπτύχθηκε στην ίδια περιοχή. Σε πειράματα φυτοεξυγίανσης για την απομάκρυνση κάποιων μετάλλων όπως Zn, As, Pb και Cd δεν υπήρχε το επιθυμητό αποτέλεσμα (Delgado-Caballero κ.α. 2017).

Αντιθέτως, οι υδρογονάνθρακες είναι αυτοί που απομακρύνονται με τη χρήση αυτού του φυτού και ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η

ριζοαποδόμηση/φυτοεκχύλιση. Έρευνες έχουν αποδείξει ότι ελαττώνει τους ΡΑΗs και ΤΡΗ από την επιφάνεια της γης (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 26: *Buchloe dactyloides* (Διαδίκτυο)

6.6.13 *Agrostis castellana*

Το *Agrostis castellana* (Εικ. 27) έχει δοκιμαστεί όσον αφορά τη φυτοεξυγίανση εδάφους σε αρκετές περιοχές της Ευρώπης. Ανταποκρίθηκε θετικά σχετικά με τη συσσώρευση βαρέων μετάλλων όπως As, Zn, Cd και Cu (Koe, 1994). Επίσης, συσσωρεύει και άλλα μέταλλα όπως είναι ο μόλυβδος. Οι ρύποι οι οποίοι απομακρύνονται με το ανωτέρω φυτό είναι τα μέταλλα, ραδιενεργά στοιχεία, η φυτοεκχύλιση είναι ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται (Φαραώνη, 2011, Parmar & Singh, 2015).

Ένας άλλος παράγοντας ο οποίος παίζει καθοριστικό ρόλο στην επαναφορά του εδάφους στη φυσιολογική του κατάσταση είναι οι χημικοί παράγοντες οι οποίοι προκαλούν εκρόφηση βαρέων μετάλλων που συνδέονται έντονα με τα σωματίδια του εδάφους και σχηματίζουν υδατοδιαλυτά σύμπλοκα με τα βαρέα μέταλλα στο έδαφος για να διευκολύνουν την πρόσληψη βαρέων μετάλλων στα φυτά. Μετά από έρευνες, στις οποίες έγινε χρήση δύο χημικών παραγόντων (EDTA, DTPA) και του *Agrostis castellana*, διαπιστώθηκε ότι το συγκεκριμένο φυτό όταν καλλιεργήθηκε σε έδαφος με συμπλήρωση EDTA συσσώρευσε μεγάλες συγκεντρώσεις χαλκού σε αντίθεση με τη DTPA (Pastor κ.α. 2007).



Εικόνα 27: *Agrostis castellana* (Διαδίκτυο)

6.6.14 *Deschampsia cesritosa*

Ο ρύπος ο οποίος απομακρύνεται με το φυτό αυτό είναι το Αρσενικό, η φυτοεκχύλιση είναι ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται και τέλος το *Deschampsia cesritosa* (Εικ. 28) απλώνεται σε μεγάλη έκταση ως καλλωπιστικό αγρωστώδης (Φαραώνη, 2011). Παρουσιάζει υψηλή ικανότητα φυτοεξυγίανσης (Gawronski κ.α. 2011).

Έρευνες απέδειξαν ότι το *Deschampsia cesritosa* κατατάσσεται στην κατηγορία των συσσωρευτών όσον αφορά το χαλκό και το νικέλιο. Μετά από πειραματικά στάδια τα οποία πραγματοποιήθηκαν αρκετές φορές παρατηρήθηκε αυξημένη συγκέντρωση των παραπάνω στοιχείων στο συγκεκριμένο φυτό (Com & Hutchinson, 1979).



Εικόνα 28: *Deschampsia cesritosa* (Διαδίκτυο)

6.6.15 *Cyperus esculentus*

Το *Cyperus esculentus* (Εικ. 29) κατάγεται από τη Νοτιοδυτική Ασία και την Ευρώπη. Πολλαπλασιάζεται πάνω από όλα από τους κονδύλους του που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της γης οι οποίοι φυτρώνουν τους ανοιξιάτικους μήνες και η ζωή του φυτού διαρκεί μέχρι το χειμώνα. Σε εκτάσεις γης με μεγάλο ποσοστό μόλυνσης προξενεί αξιόλογες ζημιές στις καλλιεργούμενες εκτάσεις και δύσκολα ελέγχεται (Follak κ.α. 2016).

Οι ρύποι οι οποίοι απομακρύνονται είναι τα μέταλλα, η φυτοεκχύλιση είναι ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται και τέλος ο *Cyperus esculentus* συγκεντρώνει τα περισσότερα βαρέα μέταλλα στις ρίζες, ενώ τα Mn και Fe μετατοπίζονται στα φύλλα (Φαραώνη, 2011, Chandra & Yaday, 2011).



Εικόνα 29: *Cyperus esculentus* (Διαδίκτυο)

6.6.16 *Festuca rubra*

Το *Festuca rubra* (Εικ. 30) έχει τη δυνατότητα να αναπτυχθεί σε ποικίλους τύπους εδαφών, Χαρακτηρίζεται ως πολυετές και δείχνει ευαισθησία σε συνθήκες του οικοσυστήματος που παρουσιάζουν διαφορές. Εξαιτίας του ότι το ριζικό σύστημα επεκτείνεται σε μεγάλη έκταση, της καλής κατάστασης του σπορόφυτου, της μεγάλης ταχύτητας που παρουσιάζει η σταδιακή αύξηση, του μεγάλου όγκου βιομάζας και λόγω της αντοχής σε διαφορετικές καιρικές συνθήκες, το φυτό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επαναφορά στη φυσιολογική κατάσταση ρυπασμένων εδαφών. Παρουσιάζει μεγάλο ποσοστό επιτυχίας όσον αφορά την φυτοεξυγίανση σχετικά με τα Se, As, Zn, B, Mo, Cu, Mn (Gajic κ.α. 2020).

Οι υδρογονάνθρακες και τα ραδιενεργά στοιχεία είναι οι ρύποι που απομακρύνονται με τη χρησιμοποίηση αυτού του φυτού, η

ριζοαποδόμηση/φυτοεκχύλιση είναι ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 30: *Festuca rubra* (Διαδίκτυο)

6.6.17 *Cynodon dactylon*

Οι υδρογονάνθρακες είναι οι ουσίες οι οποίες απομακρύνονται με τη χρησιμοποίηση του φυτού αυτού και ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η ριζοαποδόμηση/συσσώρευση (Φαραώνη, 2011). Το *Cynodon dactylon* (Εικ. 31) θεωρείται κατάλληλο για φυτοεξυγίανση όσον αφορά τα Mn, Cd, Zn, Pb και Zn (Sekabira κ.α. 2011).

Μετά από έρευνες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του *Cynodon dactylon* σχετικά με τη φυτοεξυγίανση, διαπιστώθηκε ότι ελαττώνει τους PAH (πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες) και TPH (ολικοί υδρογονάνθρακες πετρελαίου) από την επιφάνεια εδάφους (White κ.α. 2005).



Εικόνα 31: *Cynodon dactylon* (Διαδίκτυο)

6.6.18 *Bouteloua gracilis*

Η φυτοεξυγίανση σε προβληματικά μολυσμένα εδάφη λόγω υδρογονάνθρακα, είναι μια τεχνολογία με μέλλον με χαμηλό κόστος και αρκετά αποδοτική. Καθώς γνωρίζουμε ότι, οι υδρογονάνθρακες πετρελαίου είναι δεκτικοί σε μικροβιακή διάσπαση οργανικής ένωσης αφενός και αφετέρου η φυτοεξυγίανση τακτικά έχει ως αποτέλεσμα την αύξουσα μικροβιακή διάσπαση των οργανικών ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον στη ριζόσφαιρα, οι επιφάνειες γης οι οποίες παρουσιάζουν μόλυνση είναι κατάλληλες για φυτοεξυγίανση (Germida κ.α. 2002).

Με τη χρησιμοποίηση αυτού του φυτού (Εικ. 32) οι ρύποι οι οποίοι απομακρύνονται είναι οι υδρογονάνθρακες και ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η ριζοαποδόμηση (Φαραώνη, 2011). Στην ανάμειξη γρασιδιών εμπυχώνει τη διάλυση των PAHs (πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες) στην επιφάνεια της γης (Ikhaiagbe κ.α. 2017).



Εικόνα 32: *Bouteloua gracilis* (Διαδίκτυο)

6.6.19 *Agrostis tenuis*

Ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοσταθεροποίηση και οι ρύποι οι οποίοι απομακρύνονται είναι τα ραδιενεργά στοιχεία και μέταλλα (Dotaniya & Lata, 2012). Η φυτοσταθεροποίηση έχει ως αντικείμενο την απομάκρυνση των ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον από το έδαφος πλησίον του ριζικού συστήματος και όχι στους φυτικούς ιστούς (Donaniya & Lata, 2012).

Όσον αφορά το ποσοστό των συγκεντρώσεων κάποιων βαρέων μετάλλων όπως Cu, Zn, Pb και Cd, στο ριζικό σύστημα του φυτού (Εικ. 33) είναι πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με το φύλλωμα (Muller κ.α. 1999).



Εικόνα 33: *Agrostis tenuis* (Διαδίκτυο)

6.6.20 *Vetiveria zizanioides*

Η χημική μετάδοση και πολλαπλασιασμός μικροβίων της επιφάνειας της γης και του νερού που δεν μπορεί να αποικοδομηθεί καθώς και τα βαρέα μέταλλα αποτελούν σοβαρή περιβαλλοντική απειλή. Το *Vetiveria zizanioides* (Εικ. 34) είναι ένα γρασίδι το οποίο συνεισφέρει θετικά στην ελάττωση της βαθμιαίας ρύπανσης του περιβάλλοντος. Επίσης, η δραστηριότητά του ωφελεί στη διάσπαση πολλών ανόργανων ενώσεων όπως το βενζο[α]πυρένιο (Srivastava κ.α. 2008). Τέλος μετά από έρευνες έχει αποδειχθεί ότι το *Vetiveria zizanioides* έχει θετικά αποτελέσματα στην αφαίρεση οργανικών ουσιών και νιτρικού αζώτου (Almeida κ.α. 2019).

Οι ρύποι οι οποίοι απομακρύνονται με τη χρησιμοποίηση αυτού του γρασιδιού είναι τα μέταλλα και ο μηχανισμός της φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοσταθεροποίηση (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 34: *Vetiveria zizanioides* (Διαδίκτυο)

6.6.21 *Lolium perenne*

Σε μια έρευνα χρησιμοποιήθηκε το φυτό *Lolium perenne* (Εικ. 35) με στόχο τη δυνατότητα φυτοεξυγίανσης του όσον αφορά τη μετακίνηση του ανθρακένιου από το

έδαφος με την αρωγή βακτηρίων. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι το συγκεκριμένο φυτό είναι κατάλληλα υποψήφιο για τη φυτοεξυγίανση επιφανειών γης που παρουσιάζουν προβλήματα ρύπανσης (Yarahmadi κ.α. 2017).

Η φυτοεκχύλιση/ριζοαποδόμηση είναι ο μηχανισμός της φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται και συντελεί στην απομάκρυνση των μετάλλων, ραδιενεργών στοιχείων, υδρογονανθράκων (Φαραώνη, 2011).

Αποτελέσματα ερευνών έδειξαν ότι το *Lolium perenne* διασπά τους PAHs και TPH από την επιφάνεια της γης (Afegbua & Batty, 2018), καθώς και υπήρξε μεγάλη συσσώρευση στοιχείων όπως: Na, Mn, Cr, Cu, Fe, Ni, Zn, Pb, Mg, P, Ca και K (Suchkova κ.α. 2014).



Εικόνα 35: *Lolium perenne* (Διαδίκτυο)

6.6.22 *Phalaris arundinacea*

Τα ραδιενεργά στοιχεία και τα μέταλλα είναι οι ρύποι οι οποίοι απομακρύνονται με τη χρησιμοποίηση αυτού του φυτού και ο μηχανισμός της φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοεκχύλιση (Φαραώνη, 2011).

Το *Phalaris arundinacea* (Εικ. 36) έχει τη δυνατότητα να αναπτυχθεί σε επιφάνειες γης που είναι μολυσμένες με Ni, καθώς παρέχει προστασία όσον αφορά την εξάπλωση της βαθμιαίας ρύπανσης του περιβάλλοντος και τη διάβρωση της επιφάνειας γης (Korzeniowska & Glubiak, 2018). Επίσης, είναι υπερσυσσωρευτής των μετάλλων Zn και Cd (Rosikon κ.α. 2015).



Εικόνα 36: *Phalaris arundinacea* (Διαδίκτυο)

6.6.23 *Panicum virgatum*

Μετά από αρκετές έρευνες έχει αποδειχτεί ότι το *Panicum virgatum* (Εικ. 37) ανήκει στη κατηγορία των υπερσυσσωρευτών. Απορροφά αρκετά βαρέα μέταλλα τα οποία τα συσσωρεύει κατά ένα μέρος υπογείως και επάνω από την επιφάνεια της γης. Το μεγαλύτερο ποσοστό συσσώρευσης των μετάλλων αυτών παρατηρείται στη φυτομάζα (Kulyk κ.α. 2018).

Οι ρύποι οι οποίοι απομακρύνονται με τη χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου φυτού είναι οι υδρογονάνθρακες και ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η ριζοαποδόμηση (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 37: *Panicum virgatum* (Διαδίκτυο)

6.6.24 *Stenotaphrum secundatum*

Είναι ένα είδος (Εικ. 38) με ταχεία βελτίωση, προτιμά κυρίως τις τοποθεσίες που βρίσκονται υπό σκιά (Διαμαντής, & Γεωργιάδης, 2006) και παρουσιάζει άριστα αποτελέσματα όσον αφορά τη μετακίνηση των ρυπαντικών ουσιών και συγκεκριμένα,

συντελεί στην ελάττωση των ΤΡΗ και ΡΑΗ_s της επιφάνειας της γης (Nedunuri κ.α. 2000)

Η ριζοαποδόμηση/φυτοσυσσώρευση είναι ο μηχανισμός της φυτοεξυγίανσης ο οποίος ακολουθείται και παρατηρείται απομάκρυνση υδρογονανθράκων και διασταλαζόντων εκπλυμάτων (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 38: *Stenotaphrum secundatum* (Διαδίκτυο)

6.6.25 *Salix viminalis*

Η χρησιμοποίηση μεγάλου ποσοστού φυτικής καλλιέργειας, όπως η ιτιά *Salix viminalis* (Εικ. 39) για την απομάκρυνση μετάλλων και την επαναφορά της επιφάνειας της γης στη φυσιολογική κατάσταση, έχει υποστηριχτεί σαν μια λύση που μπορεί να χρησιμοποιείται αντί άλλου, σε σχέση με τα φυτά τα οποία εμφανίζουν χαμηλή συσσωρευτική παραγωγή. Η καλλιέργεια του συγκεκριμένου δέντρου έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση ρύπων όπως Cd, Cu, Hg και Zn. Τα ποσοστά των συγκεντρώσεων Zn και Cd είναι αρκετά υψηλά στους μίσχους και στο φύλλωμα . (Mieczek κ.α. 2010, Hammer κ.α. 2006).

Το *Salix viminalis* όσον αφορά το μέταλλο Ni, συσσωρεύει πολύ μικρές ποσότητες στο ριζικό σύστημα. Εντούτοις, χρησιμοποιείται για φυτοεξυγίανση εξαιτίας της μεγάλης ανεκτικότητας στο μέταλλο αυτό. Μπορεί να αναπτυχθεί σε εδάφη τα οποία είναι μολυσμένα με Ni, γιατί ενεργεί ως προστατευτικό μέσο της διάβρωσης ή της επέκτασης του προβλήματος σχετικά με τη μόλυνση (Korzenlowska & Stanislawski-Glubiak, 2018). Τέλος η φυτοεκχύλιση είναι ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 39: *Salix viminalis* (Διαδίκτυο)

6.6.26 *Acer rubrum*

Η ακτινοβολία, η ενέργεια προερχόμενη από τα σημεία υγειονομικής ταφής προξενεί δυσαρέσκεια, εξαιτίας των επιδράσεων που ενεργούν ως δηλητήριο όταν ελευθερώνονται κατά τρόπο ανεξέλεγκτο στο σύνολο των φυσικών συνθηκών και παραγόντων που επιδρούν στους ζωντανούς οργανισμούς. Επομένως, όσον αφορά τη διαχείριση ουσιών που παράγονται κατά τη βιομηχανική επεξεργασία και αποβάλλονται από τις βιομηχανίες ως άχρηστες δίνεται προτεραιότητα στη χρησιμοποίηση συστημάτων επαναφοράς με κριτήριο το έδαφος-φυτό (Jones κ.α. 2006).

Η φυτοεξυγίανση είναι μία μέθοδος η οποία ενδέχεται να επιφέρει θετικά αποτελέσματα όσον αφορά τα ραδιενεργά στοιχεία. Στην προκειμένη περίπτωση, το *Acer rubrum* (Εικ. 40), συσσωρεύει Pu, ⁹⁰Sr και ¹³⁷Cs (Holm κ.α. 2016). Για κάποια στοιχεία όπως είναι ο Zn και το Ni έχουμε να προσθέσουμε ότι σχετικά με το ποσοστό συγκεντρώσεων αυτών είναι αρκετά μικρό στους ιστούς των φυλλωμάτων, ριζών και κλαδιών (Kalubi κ.α. 2016).

Σε αυτήν την περίπτωση ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοεκχύλιση/ριζοδιήθηση/φυτοεξάτμιση/φυτοσταθεροποίηση και οι ρύποι οι οποίοι απομακρύνονται είναι τα ραδιενεργά στοιχεία και τα διασταλάζοντα (εκπλύματα) (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 40: *Acer rubrum* (Διαδίκτυο)

6.6.27 *Morus rubra*

Η μουριά *Morus rubra* (Εικ. 41) μπορεί να καλλιεργηθεί είτε μεμονωμένα είτε συγχρόνως με πολυετή *Lolium perenne*. Κατόπιν ερευνών αποδείχθηκε ότι το συγκεκριμένο δέντρο ελαττώνει τα ποσοστά των συγκεντρώσεων των PAHs σε προβληματικά εδάφη (Rezek κ.α. 2010). Η *Morus rubra* έχει τη δυνατότητα της έκκρισης σημαντικών ποσοτήτων φαινολικών ενώσεων, οι οποίες μεγαλώνουν τη δράση των βακτηρίων που διασπών τους PCB (Trapp & Karlson, 2001). Η ριζοαποδόμηση είναι ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 41: *Morus rubra* (Διαδίκτυο)

6.6.28 *Robinia pseudoacacia*

Φυτοεξυγίανση με *Robinia pseudoacacia* (Εικ. 42) έχει ως αποτέλεσμα την ανακούφιση της αλκαλοποίησης της επιφάνειας της γης και τη συμμετοχή στη συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών της επιφάνειας της γης. Η *Robinia pseudoacacia* θεωρείται κατάλληλη για την επαναφορά του εδάφους στη φυσιολογική του κατάσταση (Deng κ.α. 2020). Εξάγει μολυσματικά μέταλλα από την επιφάνεια της γης εξαιτίας του

μεγάλου ποσοστού βιομάζας και της γρήγορης σταδιακής αύξησής της (Yang κ.α. 2016).

Οι ρύποι οι οποίοι απομακρύνονται με τη χρησιμοποίηση αυτού του δέντρου είναι τα μέταλλα, οι οργανικοί ρύποι και ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοεκχύλιση/φυτοεξάτμιση (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 42: *Robinia pseudoacacia* (Διαδίκτυο)

6.6.29 Hybrid Poplars

Οι λεύκες είναι κατάλληλες για φυτοεξυγίανση εξαιτίας της μεγάλης ποσότητας νερού που απαιτείται, της ταχείας σταδιακής αύξησης και του βαθύ ριζικού συστήματος (Zalesny κ.α. 2006). Το *Hybrid Poplars* (Εικ. 43) έχει τα απαραίτητα προσόντα για την καταπολέμηση του ΤСА λόγω του ριζικού του συστήματος το οποίο έχει τη δυνατότητα να απορροφήσει την ουσία αυτή. Στη συνέχεια διασπά ή αποβάλλει το ΤСА. Η δημιουργία μυκκοριζών στις ρίζες έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας της φυτοεξυγίανσης (Φαραώνη, 2011).

Οι ουσίες που ρυπαίνουν το περιβάλλον και οι οποίες απομακρύνονται με τη χρήση του *Hybrid Poplars* είναι η ατραζίνη, τα μέταλλα, τα φυτοφάρμακα και το ΤСА. Ο δε μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοαποδόμηση/φυτοεξάτμιση/ριζοαποδόμηση (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 43: *Hybrid Poplars* (Διαδίκτυο)

6.6.30 *Eucalyptus tereticornis*

Η φυτοεξυγίανση βαρέων μετάλλων προβληματικών περιοχών με τη χρησιμοποίηση δέντρων θεωρείται καλύτερη σχετικά με τις καλλιέργειες και αυτό γιατί τα δέντρα έχουν την ικανότητα να συγκεντρώνουν βαρέα μέταλλα στο ξύλο το οποίο από βιολογικής πλευράς είναι ακίνδυνο. Μετά από έρευνες διαπιστώθηκε ότι το *Eucalyptus tereticornis* (Εικ. 44) αν και σε μικρά ποσοστά συσσωρεύει ποσότητες Cd από το έδαφος (Kaur κ.α. 2017).

Είναι ένα δέντρο το οποίο έχει τη δυνατότητα να συγκεντρώσει τα ραδιενεργά στοιχεία ^{137}Cs και ^{90}Sr . Η φυτοεκχύλιση είναι ο μηχανισμός της φυτοεξυγίανσης που χρησιμοποιείται και τα ραδιενεργά στοιχεία αποτελούν τους ρύπους που απομακρύνονται (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 44: *Eucalyptus tereticornis* (Διαδίκτυο)

6.6.31 *Liriodendron tulipifera*

Υπάρχουν περιπτώσεις που στο έδαφος έχει προκύψει μόλυνση λόγω των χαμηλών συγκεντρώσεων ραδιονουκλειδίων. Η μετακίνηση και η κατεργασία της ποσότητας των εδαφών είναι για πολλούς λόγους μη πραγματοποιήσιμη. Οπότε, για την αποκατάσταση των εδαφών αυτών η πιο πρακτική λύση είναι η χρησιμοποίηση φυτών

με τη τεχνολογία της φυτοεξυγίανσης. Η φυτοεξυγίανση των προβληματικών περιοχών δε θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις περιοχές που έχουν κατεργαστεί επειδή εδέχεται να πραγματοποιηθούν συνεχείς προσπάθειες επαναφοράς. Ξεκινώντας τη φυτοεξυγίανση θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η αύξηση της συγκέντρωσης των ραδιονουκλεϊδίων των φυτών με συμπλήρωση χηλικών παραγόντων ή οργανικών τροποποιήσεων, μυκορριζικών ή βακτηριακών εμβολίων (Enty κ.α. 1997).

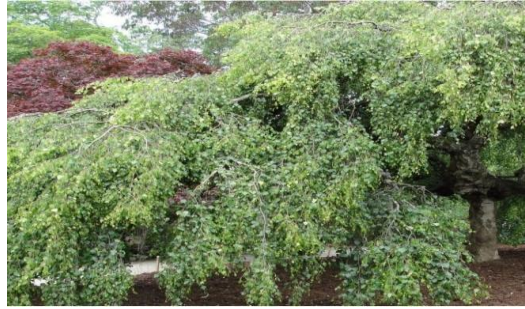
Με τη χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου φυτού (Εικ. 45) οι ρύποι οι οποίοι απομακρύνονται είναι τα ραδιενεργά στοιχεία και ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που χρησιμοποιείται είναι η φυτοεκχύλιση (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 45: *Liriodendron tulipifera* (Διαδίκτυο)

6.6.32 *Betula pendula*

Η χρησιμοποίηση της *Betula pendula* (Εικ. 46) σε μολυσμένα εδάφη με Zn κατόπιν ερευνών είχε άριστα αποτελέσματα όσον αφορά την επαναφορά στη φυσιολογική κατάσταση της επιφάνειας της γης. Κατόπιν τούτου το συγκεκριμένο δέντρο μπορεί να καταταγεί στην κατηγορία των υπερσυσσωρευτών του Zn (Dmuchowski κ.α. 2014). Επίσης, θετικά αποτελέσματα υπάρχουν όσον αφορά την απομάκρυνση των πολυκλωνικών αρωματικών υδρογονανθράκων (PAH_s) και PCB (Rezek κ.α. 2010). Η φυτοαπαδόμηση είναι ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης ο οποίος ακολουθείται (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 46: *Betula pendula* (Διαδίκτυο)

6.6.33 *Ocimum basilicum* "Genovese"

Για τα φυτά το Cd λειτουργεί ως δηλητήριο του οποίου οι συγκεντρώσεις στις επιφάνειες γης είναι αρκετά χαμηλές, σε αντίθεση με το Zn το οποίο αποτελεί μικρή ποσότητα χημικών στοιχείων που είναι απαραίτητες για τη σταδιακή αύξηση των φυτών και το ποσοστό συγκεντρώσεων στις επιφάνειες γης σε σχέση με το Cd είναι εκατό φορές μεγαλύτερο. Έρευνες απέδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις του Zn καθώς και του Cd στο φυτικό μέρος του *Ocimum basilicum* "Genovese" (Εικ. 47) ήταν πολύ υψηλές. Τα μέρη του φυτού στα οποία δεν παρουσιάστηκε συσσώρευση αυτών των μετάλλων είναι οι ταξιανθίες και το στέλεχος (Παπαδημητρίου, 2013).



Εικόνα 47: *Ocimum basilicum* "Genovese" (Διαδίκτυο)

6.6.34 *Dactylis glomerata*

Έρευνες πραγματοποιήθηκαν σε μολυσμένη επιφάνεια γης από πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAHs) χρησιμοποιώντας το συγκεκριμένο φυτό. Τα συμπεράσματα των ερευνών έδειξαν ότι με το *Dactylis glomerata* (Εικ. 48) όχι μόνο ελαττώθηκαν οι ποσότητες των PAHs (Galazka & Galazka, 2015), αλλά αποτελεί και

ένα πολύ καλό συσσωρευτή βαρέων μετάλλων σε μολυσμένα εδάφη όπως ο περιορισμός του Hg (Nefed'eva κ.α. 2020). Ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοσταθεροποίηση (Efteruei, 2016).



Εικόνα 48: *Dactylis glomerata* (Διαδίκτυο)

6.6.35 *Salix smithiana*

Οι ρύποι οι οποίοι απομακρύνονται είναι οι διοξίνες, τα μέταλλα, PAH και PCB. Ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοεκχύλιση. Το *Salix smithiana* (Εικ. 49) είναι ιδανικό για εκτάσεις γης πόλεων οι οποίες παρουσιάζουν προβλήματα ρύπανσης. Αξίζει να αναφέρουμε ότι, είναι υβρίδιο το οποίο αφομοιώνει τα βαρέα μέταλλα και συγκεντρώνει τους PCB και PAH και διοξίνες στους βλαστούς και στο φύλλωμα και για το λόγο ότι είναι φυλλοβόλο, οι ουσίες που ρυπαίνουν το περιβάλλον μετακινούνται με την πτώση των φύλλων. Το γένος *Salix* για φυτοεξαγωγή του Cd χρησιμοποιείται σε μεμονωμένες περιπτώσεις όπως, σε επιφάνειες γης πόλεων στις οποίες το ποσοστό των ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον είναι αρκετά χαμηλό και όχι για εκτάσεις γης όπου η εξυγίανση απαιτεί αρκετό χρόνο (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 49: *Salix smithiana* (Διαδίκτυο)

6.6.36 *Populus* spp.

Τα φυτά που ανήκουν στο γένος *Populus* (Εικ. 50) είναι κατάλληλα για φυτοεξυγίανση. Τα δέντρα αυτά χαρακτηρίζονται από μεγάλη δημιουργία βιομάζας, υψηλό ποσοστό διαπνοής, διάδοση που δεν απαιτεί πολύ κόπο και ριζικό σύστημα που απλώνεται σε μεγάλη έκταση. Επιπροσθέτως, λόγω της μεγάλης γενετικής ποικιλομορφίας η οποία συμπεριλαμβάνεται σε αυτό το είδος και της ανάπτυξης πάρα πολλών βιοτεχνολογιών και πολλαπλών πληροφοριών επιτρέπεται μια βελτίωση γενετική που στηρίζεται σε βιοτεχνολογικές και παραδοσιακές προσεγγίσεις. Αποτελέσματα μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί έχουν αποδείξει ότι οι λεύκες συσσωρεύουν Zn, Cu και Cd με διαφορετική ανεκτικότητα. Ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοσταθεροποίηση/φυτοεξαγωγή (Guerra κ.α. 2011).



Εικόνα 50: *Populus* spp. (Διαδίκτυο)

6.6.37 *Liquidambar styraciflua*

Με τη γρήγορη συγκέντρωση βιομάζας, το *Liquidambar styraciflua* (Εικ. 51) ενδέχεται να πληρεί τις προϋποθέσεις όσον αφορά τη φυτοεξυγίανση, κυρίως αν υπάρχει η δυνατότητα να παραχθεί με γονίδια που κάνουν περισσότερο ισχυρή την ανεκτικότητα ή και τη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων (Walsh & Merkle, 2003).

Με τη χρησιμοποίηση αυτού του φυτού οι ρύποι οι οποίοι απομακρύνονται είναι τα ραδιενεργά στοιχεία και υπερχλωρικά και ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που

ακολουθείται είναι η φυτοαποδόμηση/ριζοαποδόμηση/φυτοεκχύλιση. Είναι ένα φυτό ικανότατο για την φυτοεξυγίανση υπερχλωρικών και τα ραδιενεργά στοιχεία τα οποία μπορεί να συσσωρεύσει είναι τα ^{137}Cs , ^{238}Pu και ^{90}Sr (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 51: *Liquidambar styraciflua* (Διαδίκτυο)

6.6.38 *Gleditsia triacanthos*

Μελέτες που πραγματοποιήθηκαν και συγκεκριμένα στον αυτοκινητόδρομο Τεχεράνης-Κάρατζ εξετάστηκε η απορρόφηση των βαρέων μετάλλων από το *Gleditsia triacanthos*. Κατόπιν αυτών αποδείχθηκε ότι το *Gleditsia triacanthos* (Εικ. 52) είναι κατάλληλο για τη φυτοεξυγίανση μολύβδου και καδμίου σε προβληματικά εδάφη (Faraji κ.α. 2016). Ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοεκχύλιση (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 52: *Gleditsia triacanthos* (Διαδίκτυο)

6.6.39 *S. babylonica* L.

Το *S. babylonica L.* (Εικ. 53) είναι ένα φυτό το οποίο το χαρακτηρίζει η μεγάλη συσσώρευση και ανοχή Pb. Τα αποτελέσματα ερευνών σε ότι αφορά τη συγκέντρωση Pb και την εντόπιση στο ριζικό σύστημα του *S. babylonica L.*, ενισχύουν τη δυνατότητα να καταλάβει κάποιος το μέγεθος της τοξικότητας που προκαλείται από το Pb (Xue κ.α. 2020).

Ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται στην προκειμένη περίπτωση είναι η φυτοεκχύλιση και επίσης μία ρυπαντική ουσία η οποία απομακρύνεται με τη χρήση αυτού του φυτού είναι το Σιδηροκυανούχο άλας καλίου (Potassium ferrocyanide) (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 53: *S. babylonica L.* (Διαδίκτυο)

6.6.40 *Vicia spp.*

Ο (*Vicia sativa L.*) (Εικ. 54), κοινός βίκος κατατάσσεται στα είδη των οσπρίων με γεωργική χρήση που απλώνεται σε μεγάλη έκταση. Όμως, σε ότι αφορά τη φυτοεξυγίανση, για τις δυνατότητες αυτού του φυτού δεν έχει γίνει λεπτομερειακή εξέταση σε πρώτη φάση λόγω του ότι είναι άγνωστα τα ποσοστά αντοχής του σε οργανικούς και ανόργανους ρύπους. Η κατάληξη όμως, κάποιων πειραμάτων ήταν ότι ο κοινός βίκος ανταποκρίνεται στην προστασία απέναντι στην οξειδωτική βλάβη η οποία προξενείται από φαινόλη. Επίσης, θα υπήρχε η δυνατότητα της αντοχής και της μετακίνησης των υψηλών συγκεντρώσεων φαινόλης, προς αποφυγή σοβαρών φυτοτοξικών επιδράσεων. Με βάση τα ανωτέρω ο *Vicia sativa L.*, θα μπορούσε να είναι χρήσιμος σε ότι αφορά τη φυτοεξυγίανση (Ibanez κ.α. 2012).

Με τη χρησιμοποίηση των ανωτέρω φυτών ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η προσρόφηση, οι ρύποι οι οποίοι απομακρύνονται είναι τα θρεπτικά και τα μέταλλα, είναι φυτό πολυετές το οποίο δέχεται και αφομοιώνει κάλιο, άζωτο και φώσφορο. Τέλος, το είδος *V. Faba* συγκεντρώνει αργίλιο (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 54: *Vicia sativa* L (Διαδίκτυο)

6.6.41 *Lupinus albus*

Για την καλύτερη κατανόηση της καταλληλότητας του *Lupinus albus* (Εικ. 55) στη φυτοεξυγίανση των προβληματικών εδαφών σχετικά με βαρέα μέταλλα, πραγματοποιήθηκε μελέτη επίδρασης των ριζών της στις βιολογικές και χημικές ιδιότητες της ριζόσφαιρας που συντελούν στη διαφοροποίηση της κλασμάτωσης των μετάλλων επιφανειών γης. Η καλλιέργεια των φυτών πραγματοποιήθηκε σε δύο παρόμοιες επιφάνειες της γης, με μεγάλα ποσοστά Pd, Zn, Cu και Cd, αλλά και με διαφορετικό PH. Στην ριζόσφαιρα και των δύο επιφανειών της γης, το ριζικό σύστημα προξένησε αύξηση του υδατοδιαλυτού άνθρακα, από το οποίο στη συνέχεια επηρεάστηκε η κλασμάτωση βαρέων μετάλλων και η πρόσληψή τους από το ριζικό σύστημα των φυτών. Μεγάλα ποσοστά συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων παρουσιάστηκαν σε φυτά τα οποία δημιουργούνται σταδιακά σε όξινο έδαφος. Το μικρό ποσοστό βαρέων μετάλλων στο στέλεχος, βεβαιώνει ενδεχομένως το ρόλο του φυτού αυτού στην πρώτη φυτοκινητοποίηση βαρέων μετάλλων, κυρίως σε εδάφη αλκαλικά και ουδέτερα (Alcala κ.α. 2010).

Σε αυτή την περίπτωση ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοσταθεροποίηση και οι ρύποι οι οποίοι απομακρύνονται είναι το κάδμιο και το αρσενικό (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 55: *Lupinus albus* (Διαδίκτυο)

6.6.42 *Trifolium pretense*

Σε μια μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε εντός θερμοκηπίου, εξετάστηκε η πρόσληψη βενζο[α]πυρενίου και φαινανθρενίου ως αντιπρόσωποι των PAHs. Τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά όσον αφορά την συσσώρευση των παραπάνω στοιχείων από το συγκεκριμένο φυτό (Εικ. 56) και επομένως αποτελεί ένα είδος υποψήφιο για τη φυτοεξυγίανση (Gao κ.α. 2008).

Επομένως, οι ρύποι που απομακρύνονται είναι οι υδρογονάνθρακες και ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η ριζοαποδόμηση (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 56: *Trifolium pretense* (Διαδίκτυο)

6.6.43 *Medicago sativa*

Η φυτοεξυγίανση θεωρείται ως μία επιλογή η οποία μπορεί να διαρκέσει για την επαναφορά PAHs όταν υπάρχει αρκετός χρόνος εγκατάστασης εγκαταστάσεων και αποικοδόμησης ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον. Το συγκεκριμένο φυτό (Εικ. 57)

είναι κατάλληλο για την απομάκρυνση, εκχύλιση και τη δέσμευση τοξικών ουσιών από την επιφάνεια της γης (Sun, κ. ά., 2011). Με την ανάπτυξη του συγκεκριμένου φυτού υπάρχουν επιδράσεις πέντε βαρέων μετάλλων όπως των Cd, Zn, Cr, Ni και Cu (Peralta κ.α. 2001).

Εκτός των παραπάνω ρύπων, κάποιες ουσίες οι οποίες απομακρύνονται είναι οι TCA και TCE, και ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η ριζοαποδόμηση/φυτοεξάτμιση (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 57: *Medicago sativa* (Διαδίκτυο)

6.6.44 *Trifolium repens*

Η καλλιέργεια του *Trifolium repens* (Εικ. 58) παρουσιάζει θετικά αποτελέσματα στην απομάκρυνση των υδρογονανθράκων από το έδαφος (Germaine κ.α. 2015). Πλην αυτών, απομακρύνονται επίσης τα μέταλλα και οι ανθεκτικοί οργανικοί ρύποι (PCB). Ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται σε αυτή την περίπτωση είναι η φυτοεκχύλιση/ριζοαποδόμηση. Μελέτες έχουν αποδείξει ότι αυξάνει την αντοχή της μικροβιακής δραστηριότητας και διασπά τους ΡΑΗ. Επιπροσθέτως, δεσμεύει άζωτο και διασπά και συνθέτει τους PCB. Θεωρείται ιδανικό φυτό για τη φυτοεξυγίανση σε εδάφη που παρουσιάζουν πρόβλημα με τα μέταλλα. Συγκεκριμένα τα μέταλλα τα οποία συγκεντρώνει είναι τα Cd και Zn (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 58: *Trifolium repens* (Διαδίκτυο)

6.6.45 *Melilotus officinalis*

Μετά από μελέτες, διαπιστώθηκε ότι η χρησιμοποίηση του φυτού αυτού έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση των υδρογονανθράκων (Parrish κ.α. 2010). Ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η ριζοαποδόμηση. Επίσης, πειράματα έχουν αποδείξει ότι διασπά τους ΤΡΗ στην επιφάνεια της γης σε μίγματα γρασιδιού. Είναι αρωγός στη συγχώνευση καλίου, φωσφόρου και αζώτου (Φαραώνη, 2011).

Είναι φυτό το οποίο μπορεί να αναπτυχθεί σε μολυσμένα εδάφη. Τα αποτελέσματα μιας έρευνας σχετικά με τον προσδιορισμό της δυνατότητας συγκέντρωσης Cu και Mo για το *Melilotus officinalis* (Εικ. 59), έδειξαν ότι το συγκεκριμένο φυτό το οποίο αναπτύχθηκε σε μολυσμένη επιφάνεια γης το μεγαλύτερο ποσοστό συσσώρευσης βαρέων μετάλλων βρέθηκε στο ριζικό του σύστημα (Ghazaryan κ.α. 2019).



Εικόνα 59: *Melilotus officinalis* (Διαδίκτυο)

6.6.46 *Cassia alata*

Το κάδμιο(Cd) ανήκει στην κατηγορία των πιο τοξικών μετάλλων στο σύνολο των φυσικών συνθηκών και παραγόντων που επιδρούν στους ζωντανούς οργανισμούς με δυσμενής επιδράσεις στη σταδιακή αύξηση και τη δημιουργία των φυτών (Raza κ.α. 2020), και αποτελεί ένα στοχείο το οποίο συχνά εξετάζεται σε εκτάσεις γης οι οποίες παρουσιάζουν πρόβλημα λόγω των βαρέων μετάλλων. Έρευνες απέδειξαν ότι το *Cassia alata* (Εικ. 60) μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις φυτοεξυγίανσης, εφόσον απέδειξε ότι συσσωρεύει ποσότητες καδμίου (Silva κ.α. 2018). Ο μηχανισμός της φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοσυσσώρευση (Raza κ.α. 2020).



Εικόνα 60: *Cassia alata* (Διαδίκτυο)

6.6.47 *Brassica napus*

Η μετάδοση και πολλαπλασιασμός μικροβίων της επιφάνειας της γης από βαρέα μέταλλα αποτελεί ένα παγκόσμιο πρόβλημα. Υπό αυτές τις συνθήκες, υπάρχει η δυνατότητα κάποιων φυτών να δημιουργούνται σταδιακά, να εξοικειώνονται και να συγκεντρώνουν τα βαρέα μέταλλα. Το φυτό *Brassica napus* (Εικ. 61) δείχνει υπομονή στο σύνολο των ουσιών που είναι βλαβερές για τον άνθρωπο και για τους άλλους ζωντανούς οργανισμούς και συγκεκριμένα όσο αφορά το Zn, έχει την ικανότητα να επιτύχει μεγάλες ποσότητες βιομάζας παρουσία αυτού (Belouchrani κ.α. 2016).

Εκτός από το Zn, εφαρμόζεται η τεχνική της εκχύλισης στα Se, Ag, Pb και Hg. Ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοεκχύλιση και τα μέταλλα είναι οι ρύποι οι οποίοι απομακρύνονται με τη χρησιμοποίηση αυτού του φυτού (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 61: *Brassica napus* (Διαδίκτυο)

6.6.48 *Thlaspi caerulescens*

Η οικογένεια Brassicaceae περιλαμβάνει πολλά είδη φυτών τα οποία είναι υπερσυσσωρευτές μετάλλων όπως του γένους *Alyssum* και *Thlaspi*. Τα είδη τα οποία ανήκουν στο γένος *Thlaspi* έχουν την ικανότητα της υπερβολικής συσσώρευσης μολύβδου (Pb), ψευδαργύρου (Zn), καδμίου (Cd) και νικελίου (Ni). Ο *Thlaspi caerulescens* (Εικ. 62) μετά από μελέτες οι οποίες έγιναν απέδειξε μεγάλη ανεκτικότητα στα μέταλλα. Το συγκεκριμένο φυτό έχει αναπτυχθεί σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες και το οποίο συγκεντώνει υπερβολικές ποσότητες Cd και Zn (Brown κ.α. 1994). Εκτός από αυτά συσσωρεύει και τα παρακάτω, όπως: Co, Pd, Cu, Ni και Cr (Φαραώνη, 2011). Η μέθοδος φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοεξαγωγή (Lombi κ.α. 2000).



Εικόνα 62: *Thlaspi caerulescens* (Διαδίκτυο)

6.6.49 *Helianthus annuus*

Η πιθανότητα εξυγίανσης των επιφανειών της γης όπου μεταδίδονται και πολλαπλασιάζονται μικρόβια λόγω των βαρέων μετάλλων με υπερσυσσωρευτές, έχει αποδείξει μεγάλες πιθανότητες. Σε περιπτώσεις φυτοεξυγίανσης, ένα είδος το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί τελευταία είναι ο ηλίανθος (Εικ. 63). Κατά τη χρήση του αποδείχθηκε ότι είναι χρήσιμο για την συσσώρευση Ni, Cd και Cr (Turgut κ.α. 2004), As (January κ.α. 2008) και Zn, Pb, Mo, Cu και Mn (Φαραώνη, 2011).

Κρίθηκε κατάλληλο για τη διάσπαση των PAHs από την επιφάνεια της γης, γενικώς οι ρύποι οι οποίοι απομακρύνονται με τη χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου φυτού είναι τα ραδιενεργά στοιχεία, μέταλλα και PAHs. Ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοεκχύλιση/ριζοαποδόμηση/ριζοδιήθηση (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 63: *Helianthus annuus* (Διαδίκτυο)

6.6.50 *Polygonum amphibium*

Έρευνες πραγματοποιήθηκαν με το συγκεκριμένο φυτό για να αποδειχθεί εάν είναι χρήσιμο όσον αφορά τη φυτοεξυγίανση. Ανάμεσα στο φώσφορο και το άζωτο τα βαρέα μέταλλα τα οποία εξετάστηκαν ήταν ο υδράργυρος, το κάδμιο και ο μόλυβδος. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων έδειξαν ότι υπήρχε συσσώρευση των ανωτέρω στοιχείων στο φυτό αυτό και επομένως είναι κατάλληλο για τη φυτοεξυγίανση και συγκεκριμένα των μολυσμένων υδάτων. Η μέθοδος φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η ριζοθήτηση (Wang κ.α. 2002).

Μεταξύ των βαρέων μετάλλων χαλκού, νικελίου, χρωμίου και καδμίου το *Polygonum amphibium* (Εικ. 64) έχει τη δυνατότητα να συσσωρεύει περισσότερο χαλκό, έναντι των υπολοίπων (Taha κ.α. 2009).



Εικόνα 64: *Polygonum amphibium* (Διαδίκτυο)

6.6.51 *Digitalis purpurea*

Τα φυτά υπερσυγκέντρωσης χαρακτηρίζονται από ανεκτικότητα και διάσπαση των βαρέων μετάλλων, οπότε υπάρχει η δυνατότητα τα μέταλλα αυτά να διεισδύουν και να συγκρατούνται μέσα σε αυτά, με αποτέλεσμα την αποβολή των συσσωρευμένων μολυσματικών παραγόντων (Jatan & Singh, 2015).

Το *Digitalis purpurea* (Εικ. 65) μετά από έρευνες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στην Κεντρική Πορτογαλία σε εδάφη τα οποία ήταν προσβεβλημένα από ρύπους αποδείχθηκε πολύ καλός συσσωρευτής Pb (Pratas κ.α. 2013).

Επίσης, το συγκεκριμένο φυτό απομακρύνει το κάδμιο ως ρυπαντική ουσία, ο μηχανισμός της φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοεκχύλιση και αποτελέσματα ερευνών έχουν αποδείξει ότι στο φυτό αυτό έχει την ικανότητα να διεισδύει το κάδμιο μέσα σε αυτό και να το συγκρατεί (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 65: *Digitalis purpurea* (Διαδίκτυο)

6.6.52 *Lotus corniculatus*

Η χρησιμοποίηση φυτών που αποσκοπεί στην καταστροφή των νοσογόνων μικροβίων επιφάνειας γης και νερού τα οποία προέρχονται μέσω των ανόργανων και οργανικών ρύπων αποτελεί ένα σύνολο διαδικασιών ελπιδοφόρο για τη βιώσιμη γεωργία. Το *Lotus corniculatus* (Εικ. 66) είναι ένα είδος με θετικές προοπτικές όσον αφορά τη φυτοεξυγίανση των επιφανειών γης (Souito κ.α. 2015).

Συγκεκριμένα, οι υδρογονάνθρακες είναι οι ρυπαντικές ουσίες οι οποίες απομακρύνονται με τη χρήση αυτού του φυτού (Pawlik κ.α. 2017). Ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η ριζοαποδόμηση/φυτοεκχύλιση (Yousaf κ.α. 2010) και κατά την ανάμειξή του με γρασίδι παρατηρείται ελάττωση των TPΗ και PAHs (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 66: *Lotus corniculatus* (Διαδίκτυο)

6.6.53 *Dianthus chinensis*

Στο είδος αυτό, πραγματοποιήθηκε αρκετός αριθμός μελετών σχετικά με τις ικανότητές του για φυτοεξυγίανση μερικών επιφανειών γης που παράγουν και σκορπίζουν στο περιβάλλον ρύπους με βαρέα μέταλλα (Stratu κ.α. 2014).

Οι μελέτες αυτές απέδειξαν ότι η εφαρμογή EDTA στη φυτοεξαγωγή διαφορετικών και συνδυασμένων μετάλλων μολυσμένων επιφανειών γης χρησιμοποιώντας το *Dianthus chinensis* (Εικ. 67) ενδέχεται να επιφέρει σημαντική αύξηση των συγκεντρώσεων Pb και Cd, στο στέλεχος του φυτού (Lai & Shen, 2005). Επομένως, ρύποι που απομακρύνονται με τη χρήση αυτού του φυτού είναι το Cd (Lai κ.α. 2015), Pb και Zn (Φαραώνη, 2011). Ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται είναι η φυτοεκχύλιση (Φαραώνη, 2011).



Εικόνα 67: *Dianthus chinensis* (Διαδίκτυο)

6.6.54 *Brassica rapa*

Σχετικά με την ιδιότητα των Cu και Zn ως τοξικές ουσίες πραγματοποιήθηκαν έρευνες έτσι ώστε να αποδειχθεί αν το συγκεκριμένο φυτό (Εικ. 68) έχει ανεκτικότητα στα ανωτέρω μέταλλα αφενός και αφετέρου αν υπάρχει η δυνατότητα συσσώρευσης αυτών. Πράγματι, αποτελέσματα έδειξαν ότι το φυτό ικανοποιεί τις παραπάνω ανάγκες, οπότε τα παραπάνω στοιχεία είναι και οι ρύποι οι οποίοι απομακρύνονται (Ebbs & Kochian, 1997). Είναι αποδεδειγμένο ότι φέρνει το αποτέλεσμα που επιδιώκεται στη φυτοεκχύλιση του Zn, η οποία είναι και ο μηχανισμός φυτοεξυγίανσης που ακολουθείται, κατόπιν εφαρμογής του EDTA στην επιφάνεια γης (Φαραώνη, 2011).

Τέλος όσον αφορά το Cd το οποίο θεωρείται ένα από τα πιο επικίνδυνα στοιχεία που προξενεί προβληματισμούς τόσο περιβαλλοντικούς όσο και υγείας εξαιτίας της μεγάλης του τάσης για κίνηση στο σύστημα επιφάνεια γης φυτικός οργανισμός, το συγκεκριμένο φυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την φυτοεξυγίανση σε μολυσμένες επιφάνειες γης με Cd (Navarro-Leon κ.α. 2019).



Εικόνα 68: *Brassica rapa* (Διαδίκτυο)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : Συμπεράσματα

Η κάλυψη των υλικών και ψυχικών αναγκών των ανθρώπων που διαμένουν σε μεγάλα ή μικρά αστικά κέντρα εξαρτάται από την ποιότητα της ατμόσφαιρας και την εσωτερική διάθρωση του χώρου που αναφέρεται στην πόλη. Η παρουσία πράσινων ελεύθερων χώρων που βρίσκονται στις διαστάσεις που καταλαμβάνει ένα δομημένο περιβάλλον μιας πόλης, αποσκοπεί στην ποιότητα του περιβάλλοντος. Η ύπαρξη αυτών κρίνεται υποχρεωτική διότι συμμετέχουν στη βελτίωση υγείας, στις καλύτερες συνθήκες διαβίωσης, εξασφαλίζουν οξυγόνο, ελαττώνουν το θόρυβο, αλλάζουν το κλίμα της έκτασης γης, αναβαθμίζουν την αισθητική και συντελούν στην καλύτερευση της ποιότητας της ατμοσφαιρικής σύνθεσης.

Ο ανθρώπινος παράγοντας όσον αφορά τους χώρους πρασίνου, διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο. Συγκεκριμένα, ένα σύνολο ενεργειών συμβάλλουν στη ρύπανση του εδάφους σε μεγάλο βαθμό, με αποτέλεσμα την εμφάνιση μορφών ρύπανσης, από οργανικούς ρυπαντές και από βαρέα μέταλλα. Η επαναφορά ρυπασμένων εκτάσεων η οποία αποτελεί προτεραιότητα σε παγκόσμιο επίπεδο, πραγματοποιείται με χημικές και με φυσικές μεθόδους. Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε η μέθοδος της φυτοεξυγίανσης, η χρησιμοποίηση κατάλληλων φυτών, τα οποία είναι ανθεκτικά σε μεγάλες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, με σκοπό την απορρόφησή τους από το έδαφος.

Σε ένα σύστημα φυτοεξυγίανσης, η διαδικασία του προκαθορισμού και της υπόδειξης μιας σειράς ενεργειών, επηρεάζεται από διαφορετικούς παραμέτρους που έχουν σχέση με το είδος του ρυπαντή, τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες και από τα φυτά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Αξιόλογο πλεονέκτημα της τεχνολογίας αυτής, είναι ότι σε σύγκριση με άλλες μεθόδους διαδικασίας καθαρισμού ενός χώρου από τη ρύπανση, παρουσιάζει πολύ μικρό κόστος, έως 60 με 80%. Για την πλήρη πραγματοποίηση της φυτοεξυγίανσης, η χρησιμοποίηση της τεχνολογίας η οποία διαθέτει όλα τα απαραίτητα προσόντα και η αποδοτικότητα στη μετακίνηση των ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον εξαρτώνται από διάφορους συντελεστές όπως ο φυτικός τύπος, η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος του φυτικού οργανισμού, η ποσότητα φυτών, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και η έκταση αυτού στο οποίο θα αναπτυχθεί το φυτό, η χρονική διάρκεια της διαδικασίας, η ικανότητα που έχει ένα φυτό να αντιμετωπίζει αντίξοες συνθήκες κατά την αφομοίωση ουσιών που ρυπαίνουν

το περιβάλλον και τέλος η υδροφοβικότητα της ουσίας που ρυπαίνει το περιβάλλον η οποία ορίζεται με ακρίβεια από το παράγοντα K_{ow} . Οι τεχνολογίες που παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον όσον αφορά τη μέθοδο της φυτοεξυγίανσης είναι η φυτοαποδόμηση φυτοσταθεροποίηση, η ριζοδιήθηση, η ριζοαποδόμηση, η φυτοεξάτμιση και η φυτοσυσσώρευση.

Στο σύνολο των ενεργειών που συμμετέχουν στη ρύπανση επιφάνειας της γης και του νερού που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια αυτής λαμβάνοντας υπόψη γεγονότα που έχουν συμβεί σε μια ορισμένη στιγμή και με βάση στοιχείων σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Περιβάλλοντος για το έτος 2006 μεταξύ άλλων είναι και η σειρά ενεργειών που αφορούν τα αστικά στερεά απόβλητα.

Στο Δήμο Άργους-Μυκηνών η διαχείριση των απορριμμάτων αποτελεί ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα. Η χωματερή δουλεύει δίχως την τήρηση των στοιχειωδών κανόνων που αφορούν την υγειονομική ταφή με αποτέλεσμα τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Όσον αφορά την υπάρχουσα κατάσταση από πλευράς αστικού πρασίνου, εξαιτίας κάποιων παραγόντων (το φυτικό είδος, η δυνατότητα πρόσληψης των μετάλλων, την ποσότητα του μετάλλου στην επιφάνεια γης, οι συνθήκες αερισμού και θερμοκρασίας μέσα στην επιφάνεια γης, η κινητικότητα του μεταλλικού ιόντος στην επιφάνεια γης προς το ριζικό σύστημα του φυτικού οργανισμού) τα ήδη υπάρχοντα φυτά στο Δήμο Άργους-Μυκηνών δεν απορροφούν την κατάλληλη ποσότητα των βαρέων μετάλλων και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μερική αντικατάσταση αυτών έτσι ώστε να επιτύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Βάσει των ανωτέρω η εφαρμογή της μεθόδου φυτοεξυγίανσης για το Δήμο Άργους-Μυκηνών απαιτεί φυτά τα οποία διαθέτουν τα απαραίτητα προσόντα και δρουν αποτελεσματικά όσον αφορά την επαναφορά του εδάφους σε καλή κατάσταση. Στην κατηγορία αυτή των υπερσυσσωρευτών φυτών ανήκουν αρκετοί φυτικοί οργανισμοί, όπως το *Amarita strobiliformis* με ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά τη φυτοεξυγίανση εδαφών, καθώς παρατηρείται απομάκρυνση της ρυπαντικής ουσίας του αργύρου (Ag), το *Eichhornia crassipes* επίσης είναι ένας αποτελεσματικός συσσωρευτής των Cu, Zn, Ag, Cr και Pb, των ραδιενεργών ουσιών U, ^{137}Cs , ^{90}Sr , καθώς και των γεωργικών φαρμάκων και η *Lemna minor* δείχνει άριστα αποτελέσματα όσον αφορά τη συσσώρευση των Cr, Cu, και Zn.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Afegbua, L. S., & Batty, C. L., 2018. Effect of single and mixed polycyclic aromatic hydrocarbon contamination on plant biomass yield and PAH dissipation during phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research* (2018) 25:18596–18603.
- Ahmad, S. S., Reshi, A. Z., Shah, A. M., Rashid, I., Ara, R., Andrabi, M. A. S., 2014. Phytoremediation Potential of *Phragmites australis* in Hokersar Wetland - A Ramsar Site of Kashmir Himalaya. *International Journal of Phytoremediation*. Accepted author version posted online: 01 Aug 2013. Published online: 01 Aug 2013.
- Ali, P., Khan, E., Sajad, A. M., 2013. Phytoremediation of feavy metals-Concepts and applications. Volume 91, issue 7, May 2013, Pages 869-881.
- Almeida, A., Ribeiro, C., Carvalho, F., Durao, A., Bugajski, P., Kurek, K., Pochwatka, P., Jozwiakowski, K., 2019. Phytoremediation potential of *Vetiveria zizanioides* and *Oryza sativa* to nitrate and organic substance removal in vertical flow constructed wetland systems. *Ecological Engineering*. Volume 138, November 2019, Pages 19-27.
- Axtell, R. N., Sternberg, P. K. S., Claussen, K., 2003. Lead and nickel removal using *Microspora* and *Lemna minor*. *Bioresource Technology*. Volume 89, Issue 1, August 2003, Pages 41-48.
- Batty, C. L., & Anslow, M., 2008. Effect of a Polycyclic Aromatic Hydrocardon on the Phytoremediation of Zinc dy Two Plant Species (*Brassica Juncea* and *Festuca Arundinacea*). *International Journal of Phytoremediation*. Volume 10, 2008-Issue 3. Pages 236-251.

- Bello, O. A., Tawabini, S. B., Khalil, B. A., Boland, R. C., Saleh, A. T., 2018. Phytoremediation of cadmium-, lead- and nickel-contaminated water by *Phragmites australis* in hydroponic systems. *Ecological Engineering*. Volume 120, September 2018, Pages 126-133.
- Belouchrani, S. A., Mameri, N., Abdi, N., Grib, H., Lounici, H., Drouiche, N., 2016. Phytoremediation of soil contaminated with Zn using Canola (*Brassica napus* L). *Ecological Engineering*. Volume 95, October 2016, Pages 43-49.
- Bokhari, H. S., Ahmad, I., Mahmood-UI-Hassan, M., Mohammad, A., 2015. Phytoremediation potential of *Lemna minor* L. for heavy metals. *International Journal of Phytoremediation*.
- Bolan, S. N., Park, H. J., Robinson, B., Naidu, R., Huh, Y. K., Phytostabilization: A green approach to contaminant containment. Volume 112, 2011. Pages 145-204.
- Borovicka, J., Randa, Z., Jelinek, E., Kotrba, P., Dunn, C., 2007. Hyperaccumulation of silver by *Amanita strobiliformis* and related species of the section *Lepidella*. *Mycological research* 111 (2007) 1339–1344.
- Brown, L. S., Chaney, L. R., Angle, S. J., Baker, M. A., 1994. Phytoremediation Potential of *Thlaspi caerulescens* and Bladder Campion for Zinc- and Cadmium-Contaminated Soil. First published: 01 November 1994.
- Carreiro, M., 2008. Introduction: The Growth of Cities and Urban Forestry. *Ecology, Planning, and Management of Urban Forests* pp 3-9.
- Chandra, R., & Yadav, S., 2011. Phytoremediation of Cd, Cr, Cu, Mn, Fe, Ni, Pb and Zn from Aqueous Solution Using *Phragmites Cummunis*, *Typha Angustifolia* and *Cyperus Esculentus*. *International Journal of Phytoremediation*. Volume 13, 2011- Issue 6.

- Chang, G., Yue, B., Gao, T., Yan, W., Pan, G., 2020. Phytoremediation of phenol by *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle and associated effects on physiological parameters. *Journal of Hazardous Materials*. Volume 388, 15 April 2020.
- Chayapan, P., Kruatrachue, M., Meetam, M., Pokethitiyook, P., 2015. Phytoremediation potential of Cd and Zn by wetland plants, *L. Schott.*, *Lam.*, and *Typha angustifolia* L. grown in hydroponics. *Journal of Environmental Biology*. Volume 36, Number 5, September 2015, Pages 1179-1183.
- Chen, M., Zheng, X., Chen, L., Li, X., 2018. Cadmium-Resistant Oyster Mushrooms from North China for Mycoremediation. *Pedosphere*. Volume 28, Issue 6, December 2018, Pages 848-855.
- Com, M. R., & Hutchinson, C. T., 1979. Multiple Metal Tolerances in the Grass *Deschampsia Cespitosa* (L.) Beauv. From the Sudbury Smelting Area. *New Phytologist*, 1980, 84, 631-647.
- Das, S., Goswami, S., Talukdar, D. A., 2016. Physiological responses of water hyacinth, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, to cadmium and its phytoremediation potential. Received: 27.11.2014. Accepted/Published. Online: 09.05.2015. Final Version: 05.01.2016.
- Delgado-Caballero, M., Alarcon-Herrera, T. M., Valles-Aragon, C. M., Melgoza-Castillo, A., Ojeda-Barrios, L. D., Leyva-Chavez, A., 2017. Germination of *Bouteloua dactyloides* and *Cynodon dactylon* in a Multi-Polluted Soil. Received: 16 October 2016 / Revised: 3 January 2017 / Accepted: 3 January 2017 / Published: 9 January 2017.
- Deng, J., Yin, Y., Zhu, W., Zhou, Y., 2020. Response of soil environment factors and microbial communities to phytoremediation with *Robinia pseudoacacia* in an open-cut magnesite mine. Volume 31, Issue 16. October 2020. Pages 2340-2355.

Dmuchowski, W., Gozdowski, D., Bragoszewska, P., Baczewska, H. A., Suwara, I., 2016. Phytoremediation of zinc contaminated soils using silver birch (*Betula pendula* Roth). *Ecological Engineering*. Volume 71, October 2014, Pages 32-35.

Dotaniya, L. M., & Lata, M., 2012. Cleaning soils with Phytoremediation. Lands of India. [online] available from: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37695638/Cleaning_soils_with_phytoremediation.pdf?1432188357=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCleaning_soils_with_Phytoremediation.pdf&Expires=1611329312&Signature=fV2XLGYoulMTqQTP4TfhxtXHnEJ1iNA55imT5Km5wgR7rfXrMVPwzz~9QRtYMqRSE-rbp4fzbWpA6VCdLevhe3YNyWb4CRWPIDHWJSqa9NdYZGhfypbr6HWuCGLOo6D68ukyRF2yScvwXdang-ieqASZ3az-N2mIthPRIVIf4IH5xu500rHErGn8HazHU12k2oONTL2L9mFo1HL7aMnu34fv6Rvy2rrA6oKseECRYXXMcP8kqC4MgOcTCObvDaN7beesH9EQ5Qpq0j0hBTGaU7KBL8PsMB0Ci2o1LVia~kW2zsNjU4rsLuOvO0vFd9ep5VIM5tGJZynopM Gmi7auQ_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA> [accessed 18 July-August 2012]

Doganlar, B. Z., Doganlar, O., Erdogan, S., Onal, Y., 2012. Heavy metal pollution and physiological changes in the leaves of some shrub, palm and tree species in urban areas of Adana, Turkey. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 24(2): pp 65-78.

Dwivedi, P., Rathore, C. S., & Dubey, Y., 2009. Ecological benefits of urban forestry: The case of Kerwa Forest Area (KFA), Bhopal, India. *Applied Geography*, 29(2), 194–200. doi:10.1016/j.apgeog.2008.08.008.

Ebbs, D. S., & Kochian, V. L., 1997. Toxicity of Zinc and Copper to Brassica Species: Implications for Phytoremediation. Published May, 1997.

Eftetuei, A., 2016. Rhytoremediation. Research Institute. [online] available from:

< <https://www.permaculturenews.org/2016/11/14/phytoremediation/>> [accessed
14 November 2016]

Entry, A. J., Watrud, S. L., Manasse, S. R., Vance, C. N., 1997. Phytoremediation and Reclamation of Soils Contaminated with Radionuclides. *Phytoremediation of Soil and Water Contaminants*. Chapter 22pp 299-306. Publication Date: April 8, 1997.

Eskandari, H., & Amraie, A. A., 2016. Ability of some crops for phytoremediation of nickel and zinc heavy metals from contaminated soils. *Journal of Advances in Environmental Health Research*.

Falandysz, J., & Borovicka, J., 2013. Macro and trace mineral constituents and radionuclides in mushrooms: health benefits and risks. *Appl Microbiol Biotechnol* (2013) 97:477–501.

Faraji, E. D., Mohsen, K., Ahmad, K., Kalateh, S. J., 2016. Phytoremediation of lead and cadmium by thornless honey locust trees '(*Gleditsia triacanthos* L. var. *inermis*) in contaminated soil near the Tehran-Karaj highway. *Indian Journal of Agricultural Research*. Year:2016, Volume:50, Issue:6, Pages 579-583.

Farraji, H., Zaman, N., Tajuddin, M. R., Faraji, H., 2016. Advantages and disadvantages of phytoremediation: A concise review. *Int J Env Tech Sci* 2: 69–75 © 2016.

Favas, P., Pratas, J., Varum, M., Souza, R., 2014. Phytoremediation of Soils Contaminated with Metals and Metalloids at Mining Areas: Potential of Native Flora. In *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*.

- Follak, S., Belz, R., Bohren, C., Castro, D. O., Guacchio, D. E., Pascual-Seva, N., Schwarz, M., Verloove, F., Esslh, F., 2016. Biological flora of Central Europe: *Cyperus esculentus* L. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics. Volume 23, December 2016, Pages 33-51.
- Galazka, A., & Galazka, R., 2015. Phytoremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils Artificially Polluted Using Plant-Associated-Endophytic Bacteria and *Dactylis glomerata* as the Bioremediation Plant. Polish Journal of Microbiology. Vol. 64, No 3, Pages 241-252, 2015
- Gao, Y., Shen, Q., Ling, W., Ren, L., 2008. Uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons by *Trifolium pretense* L. from water in the presence of a nonionic surfactant. Chemosphere 72 (2008) 636–643.
- Gawronski, W. S., Greger, M., Gawronska, H. 2011. Plant Taxonomy and Metal Phytoremediation.
- Gajic, G., Mitrovic, M., Pavlovic, P., 20320. Feasibility of *Festuca rubra* L. native grass in phytoremediation. Department of Ecology, National Institute of Republic of Serbia, University of Belgrade, Belgrade, Serbia.
- Germaine, J. K., Byrne, J., Liu, X., Keohane, J., Culhane, J., Lally, D. R., Kiwanuka, S., Ryan, D., Dowling, N. D., 2015. Ecopiling: a combined phytoremediation and passive biopiling system for remediating hydrocarbon impacted soils at field scale. Front. Plant Sci., 05 January 2015.
- Germida, J. J., Frick, M. C., Farrell, E. R., 2002. Phytoremediation of oil-contaminated soils. Developments in Soil Science. Volume 28, Part2, 2002, Pages 169-186.
- Ghazatyan, A. K., Movsesyan, S. H., Minkina, M. T., Sushkova, N. S., Rajput, D. V., 2019. The identification of phytoextraction potential of *Melilotus officinalis* and *Amaranthus retroflexus* growing on copper- and molybdenum-polluted soils. Published: 28 May 2019.

Guerra, F., Gainza, F., Perez, R., Zamudio, F., 2011. Phytoremediation of Metals Using Poplars (*Populus Spp*): A Glimpse of the Plant Responses to Copper, Cadmium and Zing Stress. Handbook of Phytoremediation.

Guo, X., Liu, M., Zhong, H., Li, P., Zhang, C., Wei, D., Zhao, T., 2020. Potential of *Myriophyllum aquaticum* for phytoremediation of water contaminated with tetracycline antibiotics and copper. Journal of Environmental Management. Volume 270, 15 September 2020.

Hammer, D., Kayser, A., Keller, C., 2006. Phytoextraction of Cd and Zn with *Salix viminalis* in field trials. First published: 18 January 2006.

Harguintegui, C., Pignata, L. M., Cirelli, F. A., 2015. Nickel, lead and zinc accumulation and performance in relation to their use in phytoremediation of macrophytes *Myriophyllum aquaticum* and *Egeria densa*. Ecological Engineering. Volume 82, September 2015, Pages 512-516 September 2015.

Holm, E., Mantero, J., Thomas, R., Hogland, W., Jani, Y., Kaczala, F., Burlakovs, J., Mutafela, R., Marchand, C., 2016. Aspects on Phyto-Remediation of Radionuclides from Waste Deposits. Linnaeus ECO-TECH 2016 Kalmar, Sweden, November 21-23, 2016.

Ibanez, G. S., Sosa-Alderete, G. L., Medina, I. M., Agostini, E., 2012. Phytoremediation of phenol using *Vicia sativa* L. plants and its antioxidative response. Environ Sci Pollut Res (2012) 19:1555–1562.

Ikhajiagbe, B., Edegbai, O. B., Omoregie, O. G., Eweka, M. A., 2017. Assessment of the phytoreclamation of an oil-contaminated soil cultivated with *Cynodon dactylon*, *Eleusine indica* and *Eragrostis tenela*. Studia Universitatis Babes-Bolyai Biologia, LXII, 1, 2017 (p. 43-55).

Jacob, J. M., Karthik, C., Saratale, R. G., Kumar, S. S., Prabakar, D., Kadirvelu, K., Pugazhendhi, A., 2018. Biological approaches to tackle

heavy metal pollution: A survey of literature. *Journal of Environmental Management*, 217, 56–70.

January, C. M., Cutright, J. T., Keulen, V. H., Wei, R., 2008. Hydroponic phytoremediation of Cd, Cr, Ni, As, and Fe: Can *Helianthus annuus* hyperaccumulate multiple heavy metals? *Chemosphere*. Volume 70, Issue 3, January 2008, Pages 531-537.

Jatan, S. K., & Singh, P. R., 2015. *Phytoremediation Using Algae and Macrophytes: II*.

Jiang, Y., Lei, M., Duan, L., Longhurst, P. 2015. Integrating phytoremediation with biomass valorisation and critical element recovery: A UK contaminated land perspective. *Biomass and Bioenergy*, 83, 328–339.

Jones, L. D., Williamson, L. K., Owen, G. A., 2006. Phytoremediation of landfill leachate. *Waste Management*. Volume 26, Issue 8, 2006, Pages 825-837.

Kabisch, N., Strohbach, M., Haase, D., Kronenberg, J., 2016. Urban green space availability in European cities. *Ecological Indicators*, 70, 586-596.

Kalubi, N. K., Mehes-Smith, M., Omri, A., 2016. Comparative analysis of metal translocation in red maple (*Acer rubrum*) and trembling aspen (*Populus tremuloides*) populations from stressed ecosystems contaminated with metals. *Chemistry and Ecology*. ISSN: 0275-7540 (Print) 1029-0370 (Online) [Journal homepage](#).

Kaur, B., Singh, B., Kaur, N., Singh, D., 2017. Phytoremediation of cadmium-contaminated soil through multipurpose tree species. Received: 8 August 2016 / Accepted: 10 October 2017. Springer Science+Business Media B.V. 2017.

Koe, D. T., 1994. *Agrostis castellana* and *Agrostis delicatula* on heavy metal and arsenic enriched sites in NE Portugal. Science of The Total Environment. Volume 145, Issues 1-2, 2 May 1994, Pages 103-109.

Korzeniowska, J., & Glubiak-Stanislawski, E., 2018. Phytoremediation potential of *Phalaris arundinacea*, *Salix viminalis* and *Zea mays* for nickel-contaminated soils. International Journal of Environmental Science and Technology (2019) 16:1999–2008. Received: 3 March 2017 / Revised: 7 October 2017 / Accepted: 29 May 2018 / Published online: 4 June 2018.

Kulyk, I. M., Galytska, A. M., Samoylik, S. M., Zhornyk, I. I., 2018. Phytoremediation Aspects of Energy Crops Use in Ukraine. ISSN 2617-6106 (print) ISSN 2617-6114 (online) *Agrology*, 1(4), 373–381.

Kvesitadze, G., Khatisashvili, G., Sabunishvili, T., Ramsden, J. J., 2006. Biochemical Mechanisms of Detoxification in Higher Plants: Basis of Phytoremediation. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Lai, H. Y., & Chen, Z. S., 2005. The EDTA effect on phytoextraction of single and combined metals-contaminated soils using rainbow pink (*Dianthus chinensis*). *Chemosphere* 60 (2005) 1062–1071. Received 17 November 2004. Rereceived in revised form 30 December 2004. Accepted 14 January 2005. Available online 11 February 2005

Lai, H., Chen, B., Chen, Z., 2015. Effects of Biosolids on the Transpiration Rate of Rainbow Pink (*Dianthus chinensis*) Grown in Cadmium-Contaminated Soils. *Phytoremediation* p.p 191-197.

Leuzinger, S., Vogt, R., Körner, C., 2010. Tree surface temperature in an urban environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(1), 56-62. doi:10.1016/j.agrformet.2009.08.006.

- Lofty, M. S., & Mostafa, Z. A., 2013. Phytoremediation of contaminated soil with cobalt and chromium. *Journal of Geochemical Exploration* 144 (2014) 367–373.
- Lombi, E., Zhao, J. F., Dunham, J. S., McGrath, P. S., 2000. Cadmium accumulation in populations of *Thlaspi caerulescens* and *Thlaspi goesingense*. *New Phytol.* (2000), 145, 11–20
- Ma, Y., Oliveira, R., Freitas, H., Zhang, C., 2016. Biochemical and Molecular Mechanisms of Plant-Microbe-Metal Interactions: Relevance for Phytoremediation. Published: 23 June 2016. Doi: 10.3389/fpls.2016.00918.
- Ma, X., & Havelka, M. M., 2009. Phytotoxicity of Chlorinated Benzenes to *Typha angustifolia* and *Phragmites communis*. Received 26 December 2007; revised 27 February 2008; accepted 13 March 2008.
- Maiz, I., Arambarri, I., Garcia, R., & Millán, E., 2000. Evaluation of heavy metal availability in polluted soils by two sequential extraction procedures using factor analysis. *Environmental Pollution*, 110(1), 3–9. doi:10.1016/s0269-7491(99)00287-0.
- Martinez-Alcala, I., Walker, J. D., Bernal, P. M., 2010. Chemical and biological properties in the rhizosphere of *Lupinus albus* alter soil heavy metal fractionation. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73 (2010) 595–602.
- Michael, A., 2000. The urban environment and health in a world of increasing globalization: issues for developing countries. *Bulletin of the World Health Organization*.p.1117.
- Mleczek, M., Rutkowski, P., Rissmann, I., Kaczmarek, Z., Golinski, P., Szentner, K., Strazynska, K., Stachowiak, A., 2010. Biomass productivity and phytoremediation potential of *Salix alba* and *Salix viminalis*. *Biomass and Bioenergy*. Volume 34, Issue 9, September 2010. Pages 1410-1418.

- Muller-Dahmani, H., Oort, F., Gelie, B., Balabane, M., 2000. Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter. *Environmental Pollution* 109 (2000) 231-238.
- Mwegoha, J. S. W., 2008. The Use of Phytoremediation Technology for Abatement Soil and Groundwater Pollution in Tanzania: Opportunities and Challenges. *J. Sustain. Dev. Afr.* 10 (1), 140–156.
- Nabuyanda, M. M., Bruggen, V. J., Kelderman, P., Irvine, K., 2019. Investigating Co, Cu, and Pb retention and remobilization after drying and rewetting treatments in greenhouse laboratory-scale constructed treatments with and without *Typha angustifolia*, and connected phytoremediation potential. *Journal of Environmental Management*. Volume 236, 15 April 2019, Pages 510-518.
- Nagajyoti, C.P., Lee, D.K., Sreekanth, M.V.T., 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. Received: 31 March 2010 / Accepted: 13 July 2010 / Published online: 28 July 2010.
- Navarro-Leon, E., Oviedo-Silva, J., Ruiz, M. J., Blasco, B., 2019. Possible role of HMA4a TILLING mutants of *Brassica rapa* in cadmium phytoremediation programs. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Volume 180, 30 September 2019, Pages 88-94.
- Nedunuri, V. K., Govindaraju, S. R., Banks, K. M., Schwab, P. A., Chen, Z., 2000. Evaluation of Phytoremediation for Field-Scaledegradation of Total Petroleum Hydrocarbons. *Journal of Environmental Engineering*. Volume 126, Issue 6-June 2000. Received: March 22, 1999. Published online: June 01, 2000.
- Nefed'eva, E. E., Sevriukova, A. G., Zheltobryukhov, F. V., Gracheva, V. N., Abdulabbas, A. A., 2020. Assortment of herbaceous plants for remediation of soils contaminated with oil products and heavy metals. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 421 (2020) 06008.

- Odjegba, J. V., & Fasidi, O. E., 2007. Phytoremediation of heavy metals by *Eichhornia crassipes*. *Environmentalist* (2007) 27:349–355.
- Odoh, C. K., Zabbey, N., Sam, K., Eze, C. N., 2019. Status, progress and challenges of phytoremediation - An African scenario. *Journal of Environmental Management*, 237, 365–378
- Parmar, S., & Singh, V., 2015. Phytoremediation Approaches for Heavy Metal Pollution: A Review. *Journal of Plant Science & Research*. Volume 2, Issue 2-2015.
- Parrish, D. Z., Banks, K. M., Schwab, P. A., 2010. Effectiveness of Phytoremediation as a Secondary Treatment for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Composted Soil. Published online: 10 Aug 2010. Pages 119-137.
- Pastor, J., Aparicio, M. A., Gutierrez-Maroto, A., Hernandez, J. A., 2007. Effects of two chelating agents (EDTA and DTPA) on the autochthonous vegetation of a soil polluted with Cu, Zn and Cd. *Science of The Total Environment*. Volume 378, Issues 1-2, 25 May 2007, Pages 114-118.
- Pawlik, M., Cania, B., Thijs, S., Vangronsveld, J., Piotrowska-Seget, Z., 2017. Hydrocarbon degradation potential and plant growth-promoting activity of culturable endophytic bacteria of *Lotus corniculatus* and *Oenothera biennis* from a long-term polluted site. *Environ Sci Pollut Res* (2017) 24:19640–19652.
- Peralta, R. J., Gardea-Torresdey, L. J., Tiemann, J. K., Gomez, E., Arteaga, S., Rascon, E., Parsons, G. J., 2001. Uptake and Effects of Five Heavy Metals on Seed Germination and Plant Growth in Alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* (2001) 66:727–734 © 2001 Springer-Verlag New York Inc.
- Peuke, D. A, & Rennenberg., 2005. Phytoremediation: molecular biology, requirements for application, environmental protection, public attention and feasibility. *EMBO*, 6, 497-501.

- Prasad, MNV., 2007. *Emerging phytotechnologies for remediation of heavy metal contaminated/ polluted soil and water.*
- Pratas, J., Favas, J.C.P., D'Souza, R., Varum, M., Paul, S. M., 2013. Phytoremedial assessment of flora tolerant to heavy metals in the contaminated soils of an abandoned Pb mine in Central Portugal. *Chemosphere* 90 (2013) 2216-2225.
- Rai, K. P., & Singh, M. M., 2015. Wetland Plants: Green Bio-resource for heavy metals phytoremediation.
- Raza, A., Habib, M., Kakavand, N. S., Zahid, Z., Zahra, N., Sharif, R., Hasanuzzaman, M., 2020. Phytoremediation of Cadmium: Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms. Received: 16 June 2020; Accepted: 15 July 2020; Published: 21 July 2020.
- Rezek, J., Wiesche in der C., Mackova, M., Zadrazil, F., Macek, T., 2010. Biodegradation of Paha in Long-Term Contaminated Soil Cultivated with European White Birch (*Betula Pendula*) and Red Mulberry (*Morus Rubra*) Tree. *International Journal of Phytoremediation*. Volume 11, 2009, Issue 1.
- Rosikon, K., Fijalkowski, K., Kacprzak, M., 2015. Phytoremediation Potential of Selected Energetic Plants (*Miscanthus giganteus* L. and *Phalaris arundinacea* L.) in Dependence on Fertilization. Institute of Environmental Engineering, Czestochowa University of Technology, Czestochowa 42-200, Poland. *Journal of Environmental Science and Engineering A* 4 (2015) 587-595 .
- Salmond, J., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Andrew Coutts, A., Dirks, M., Heavisid, C., Lim, S., Macintyre, H., McInnes, R., Wheeler, B., 2016. Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment Salmond et al. *Environmental Health* 2016, 15(Suppl 1):36 DOI 10.1186/s12940-016-0103-6.

- Sarma, H., 2011. Metal Hyperaccumulation in Plants: A Review Focusing on Phytoremediation Technology. *Journal of Environmental Science and Technology*, 4(2), 118–138.
- Sekabira, K., Oryem-Origa, H., Mutumba, G., Kakudidi, E., Basamba, A. T., 2011. Heavy metal phytoremediation by *Commelina benghalensis* (L) and *Cynodon dactylon* (L) growing in Urban stream sediments. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry* Vol. 3(8), pp. 133-142, August 2011.
- Sharma, P., Tripathi, S., Chaturvedi, P., Chaurasia, D., Chahdra, R., 2020. Newly isolated *Bacillus* sp. PS-6 assisted phytoremediation of heavy metals using *Phragmites communis*: potential application in wastewater treatment. *Bioresourse Technology*. Available online 7 November 2020
- Silva, R. R. J., Fernandes, R. A., Silva Junior, L. M., Santos, C. R. C., Lobato, S. K. A., 2018. Tolerance mechanisms in *Cassia alata* exposed to cadmium toxicity – potential use for phytoremediation. *Phytosynthetica* 56 (2): 495-504, 2018.
- Singh, V. O., Labana, S., Pandey, G., Budhiraja, R., Jain, K. R., 2003. Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil. *Appl Microbiol Biotechnol* (2003) 61:405–412 DOI 10.1007/s00253-003-1244-4.
- Souto, M. K., Avila, A. L., Cassol, V. G., Oliveira-Machado, L. S., Marchesan, E., 2015. Phytoremediation of lowland soil contaminated with a formulated mixture of Imazethapyr and Imazapic. *Revista Ciencia Agronomica. Rev. Ciênc. Agron.* vol.46 no.1 Fortaleza Jan./Mar. 2015.
- Srivastava, J., Kayastha, S., Jamil, S., Srivastava, V., 2008. Environmental perspectives of *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. *Acta Physiol Plant* (2008) 30:413–417.

- Steliga, T., & Klul, D., 2020. Application of *Festuca arundinacea* in phytoremediation of soils contaminated with Pb, Ni, Cd and petroleum hydrocarbons. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Volume 194, May 2020, 110409.
- Stratu, A., Ungureanu, E., Costica, N., 2014. The Influence of Zinc on Seed Germination and Seedlings Growth of *Dianthus Chinensis* L. *Analele Științifice ale Universității „Al. I. Cuza” Iași s. II a. Biologie vegetală*, 2014, 60, 1: 46-51.
- Suchkova, N., Tsiripidis, I., Alifragkis, D., Ganoulis, J., Darakas, E., Sawidis, T., 2014. Assessment of phytoremediation potential of native plants during the reclamation of an area affected by sewage sludge. *Ecological Engineering*. Volume 69, August 2014, Pages 160-169.
- Suman, J., Uhlik, O., Viktorova, J., Macek, T., 2018. Phytoextraction of Heavy Metals: A Promising Tool for Clean-Up of Polluted Environment? *Frontiers in Plant Science*, 9, 1476.
- Sun, M., Fu, D., Teng, Y., Shen, Y., Luo, Y., Li, Z., Christie, P., 2011. In situ phytoremediation of PAH-contaminated soil by intercropping alfalfa (*Medicago sativa* L.) with tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) and associated soil microbial activity. Received: 15 March 2011 / Accepted: 15 May 2011 / Published online: 24 May 2011. Pages 980-989.
- Taha, R. Z., Al-Abdulameer, H. S., Salman, O. Z., 2009. Comparative Laboratory Study: Phytoremediation Ability for Lead, Cadmium, and Copper Using Three Aquatic Plants from the Tigris River in Baghdad City/Iraq. *Journal of Global Technology*.
- Tan, K. H., 1994. *Environmental Soil Science*. Chapter 10. Soil and Pollution.
- Trapp, S., & Karlson, U., 2001. *Aspects of Phytoremediation of Organic Pollutants*.

- Turgut, C., Pepe, K. M., Cutright, J. T., 2004. The effect of EDTA and citric acid on phytoremediation of Cd, Cr, and Ni from soil using *Helianthus annuus*. Environmental Pollution. Volume 131, Issue 1, September 2004, Pages 147-154.
- Uncusu, E., Tunca, E., Fikirdesici, S., Ozkan, D. A., Altindag, A., 2013. Phytoremediation of Cu, Cr and Pb Mixtures by *Lemna minor*. Bull Environ Contam Toxicol (2013) 91:600–604
- Valujena, K., Straupe, I., Grinfelde, I., 2015. The Use of Phytoremediation Method in Latvia. 5 th International Conference Civil Engineering`15 Proceedings Landscape, Environment and Land Management.
- Van Zoest, J., & Hopman, M., 2014. Taking the economic benefits of green space into account: The story of the Dutch TEEB for Cities project. Urban Climate, 7, 107–114. doi:10.1016/j.uclim.2014.01.005.
- Venkateswarly, V., Venkatrayulu, C., Bai, L. J., 2019. Phytoremediation of heavy metal Copper (II) from aqueous environment by using aquatic macrophytes *Hydrilla verticillata* and *Pistia stratiotes*. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies 2019; 7(4): 390-393.
- Walsh, J. M., & Merkle, A. S., 2003. Microprojectile-Mediated Genetic Transformation of Embryogenic Sweetgum Cultures.
- Wang, Q., Cui, Y., Dong, Y., 2002. Phytoremediation of Polluted Waters Potentials and Prospects of Wetland Plants. Acta Biotechnologica. First published: 28 May 2002.
- White, M. P., Wolf, C. D., Thoma, J. G., Reynolds, M. C., 2011. Phytoremediation of Alkylated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in a Crude Oil-Contaminated Soil. Received 27 March 2005; accepted 11 August 2005.

- Xue, W., Jiang, Y., Shang, X., Zou, J., 2020. Characterisation of early responses in lead accumulation and localization of *Salix babylonica* L. Roots. Xue et al. BMC Plant Biology (2020) 20:296.
- Yadav, S.K., 2010. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. South African Journal of Botany, 76(2), 167–179. doi:10.1016/j.sajb.2009.10.007.
- Yang, X., He, Z., Feng, Y., 2005. Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation. Journal of Trace Elements in Chemistry & Biology, 18, 339-353.
- Yang, Y., Liang, Y., Han, X., Chiu, T., Ghosh, A., Chen. H., Tang, M., 2016. The roles of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in phytoremediation and tree-herb interactions in Pb contaminated soil. Received: 25 June 2015 Accepted: 05 January 2016 Published: 04 February 2016.
- Yarahmadi, Z., Baharlouei, J., Shokoohi, R., Alikhani, Y. M., Shirmohammadi-Khorram, N., 2017. The efficiency of *Lolium perenne* for phytoremediation of anthracene in polluted soils in the presence of *Bacillus aerophilus*. Petroleum Science and Technology. Volume 35, 2017-Issue 7.
- Yousaf, S., Andria, V., Reichenauer, G. T., Smalla, K., Sessitsch, A., 2010. Phylogenetic and functional diversity of alkane degrading bacteria associated with Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) and Birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus*) in a petroleum oil-contaminated environment. Journal of Hazardous Materials. Volume 184, Issues 1-3, 15 December 2010, Pages 523-532.
- Zalesny, S. R., Wiese, H. A., Bauer, O. E., Riemenschneider, E. D., 2006. Sapflow of hybrid poplar (*Populus nigra* L.×*P. maximowiczii* A. Henry ‘NM6’) during phytoremediation of landfill leachate. Biomass and Bioenergy. Volume 30, Issues 8-9, August-September 2006, Pages 784-793.

Αναγνωσταράς, Ε., 2014. Αξιολόγηση μιας καλλιέργειας του ψευδοσιτηρού χωρίς γλουτένη κουνιάς (*Chenopodium Quinoa*) ως φυτό εξυγίανσης σε εδάφη με μεγάλη συγκέντρωση νιτρικών. Διατριβή Επιπέδου Μάστερ. Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου. Μάιος 2014, σελ 26.

Αναγνωστοπούλου, Ν., 2016. Ο ρόλος των μητροπολικών πάρκων σε πόλεις του κόσμου. Η περίπτωση του Πάρκου Τρίτση. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Αθήνα 2015, σελ 23.

Αναστόπουλος, Α., 2017. Αξιοποίηση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών-γεωβάσεων στην βελτίωση του αστικού πρασίνου.(Εφαρμογή στον Δήμο Αγίας Παρασκευής). Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 2017, σελ 13, 14, 26.

Ανδρέου, Ε., 2011. Η επίδραση της βλάστησης σε ένα αστικό περιβάλλον. Μια μελέτη για την περιοχή Τούρσοβ, Όσλο. Μεταπτυχιακή Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα 2011, σελ 12.

Αντωνιάδης, Α., 2010. Ανασκόπηση Τεχνολογιών Παραγωγής Ενέργειας από Αστικά Στερεά Απόβλητα. Πτυχιακή Εργασία. Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Μυτιλήνη 2010, σελ 4, 5.

Αντωνίου, Η. & Αντωνίου, Δ., 2009. Σχολική Πεζογέφυρα στα Ιωάννινα. Πτυχιακή Εργασία. Α.Τ.Ε.Ι Πειραιά. Ιωάννινα 2009, σελ 14.

Αντωνίου, Κ., 2019. Διερεύνηση Εφαρμοσιμότητας της επί Τόπου Βολογικής Εξυγίανσης Εδαφών και Υπόγειων Υδροφορέων Ρυπασμένων με Χλωριωμένους Υδρογονάνθρακες. Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα 2019, σελ 6.

Αραβαντινός, Κ., 2016. Προσθήκη Πυρολυμένης Βιομάζας (Biochar) για τη Βελτίωση Αστικών Εδαφών. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Πατρών. Πάτρα 2016, σελ 58.

Αργύρης , Χ., 2009. Φυτοεξυγίανση-Φυτοθεραπεία με τη βοήθεια του φυτού Jerusalem Artichoke από βαρέα μέταλλα που βρίσκονται σε μολυσμένο έδαφος. Πτυχιακή Εργασία. Τ.Ε.Ι. Καβάλας. Καβάλα 2009, σελ 4.

Ασπρογέρακας, Ν., 2020. Αξιολόγηση τεχνικών αποκατάστασης στη διαχείριση γεωργικών αποβλήτων επιφορτισμένων με υπολείμματα γεωργικών φαρμάκων. Διπλωματική Εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Πάτρα 2020, σελ 69, 70

Ατσαλάκης, Κ., 2014. Φυτοεξυγίανση Εδάφους από Κάδμιο με Χρήση του Αλόφυτου *Crithmum Maritimum* (L.). Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης. Χανιά 2014, σελ 38.

Βελιάνος, Κ., 2010. Μείωση της φυτοτοξικότητας Cu, Mn, Zn και άλλων βαρέων μετάλλων σε υλικά τελμάτων προερχομένων από την επεξεργασία μεταλλευμάτων. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη 2010, σελ 18.

Βιλάνου, Χ., 2014. Το αστικό πράσινο και η εκτίμηση επάρκειας σε ευρωπαϊκές πόλεις: Η περίπτωση της πόλης της Καβάλας. Διπλωματική Εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη 2014, σελ 7, 20.

Βλαχάβας, Π., 2014. Μέθοδοι Διαχείρισης Ρύπανσης Εδαφών και Υπόγειων Υδάτων. Πτυχιακή Εργασία. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καβάλας. Καβάλα 2014, σελ 40.

Βλαχάκη, Δ., 2015. Δασοκομικά πρότυπα διαχείρισης του αστικού πρασίνου στο Δήμο Θεσσαλονίκης. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη 2015, σελ 16.

Βορνωτάκη, Ε., 2012. Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων σε Αστικό Περιβάλλον. Πτυχιακή Εργασία. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καβάλας. Καβάλα 2012, σελ 12.

- Βουλγαρίδου, Ε., 2015. Αποκατάσταση των λειτουργιών του εδάφους σε ρυπασμένες από βαρέα μέταλλα περιοχές. Διδακτορική Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη 2015, σελ 31, 32, 33, 40.
- Βουράνη, Β., 2009. Περιβαλλοντική Αποκατάσταση Τοπίου Μεγαλόπολης με τη Χρήση Φυτών. Πτυχιακή Εργασία. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (ΤΕΙ) Καλαμάτας. Καλαμάτα 2009, σελ 79.
- Γαλάνης, Α., 2011. Συμβολή στη διαμόρφωση μεθοδολογίας ελέγχου και αξιολόγησης της οδικής ασφάλειας και κινητικότητας πεζών στο αστικό περιβάλλον. Ευρωπαϊκή πολιτική και δράσεις για το βιώσιμο αστικό περιβάλλον και την αστική κινητικότητα. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Βόλος 2011, σελ 36.
- Γερασιμοπούλου, Σ., 2009. Επίδραση καδμίου (Cd) σε μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά φυτών *Nicotiana Tabacum* και *Nicotiana Glauca*. Πτυχιακή Εργασία. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης. Ηράκλειο 2009, σελ 28.
- Γερωνυμάκης, Θ., 2017. Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων Υψηλής Περιεκτικότητας σε Αμμωνία με Χρήση Ενθυλακωμένων Μικροοργανισμών, με Παράλληλη Ανάκτηση Θρεπτικών για Παραγωγή Φυτικής Βιομάζας. Διπλωματική Εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης. Χανιά 2017, σελ 15.
- Γεωργίου, Σ., 2014. Αξιολόγηση Εδαφικής Αστικής Ρύπανσης από Βαρέα Μέταλλα. Πτυχιακή Εργασία. Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου. Λεμεσός 2014, σελ 4.
- Γκικόκας, Γ., 2015. Αστική ανάπλαση των πόλεων με τη βοήθεια των αστικών αποτυπωμάτων. Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Μυτιλήνη 2015, σελ 5.

- Γλαντζή, Α., & Ράμφου, Β., 2012. Αστικοί πράσινοι χώροι: ιστορική διερεύνηση της εξέλιξής τους και εισαγωγή στην έννοια της βιωσιμότητας. Διάλεξη. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Ιούνιος 2012, σελ 2.
- Γουδέλη, Ι., 2017. Τριτογενής επεξεργασία υγρών αποβλήτων με χρήση του υδροχαρούς φυτού *Lemna minor*. Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα 2017, σελ 16.
- Δανηλίδου, Ε., 2010. Πειραματική καλλιέργεια φυτών με στόχο εφαρμογές για την προστασία του περιβάλλοντος. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών. Πάτρα 2010, σελ 13,15.
- Δέδε, Α., 2008. ΟΤΑ και Περιβάλλον: Η Περίπτωση Αποκομιδής Απορριμμάτων στο Λεκανοπέδιο Αττικής. Πτυχιακή Εργασία. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (ΤΕΙ) Καλαμάτας. Καλαμάτα 2008, σελ 15.
- Διαμαντής, Θ., & Γεωργιάδης, Α., 2006. Εχθροί και Ασθένειες του Χλοστάπητα. Πτυχιακή Εργασία. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Μεσολογίου. Μεσολόγγι 2006, σελ 27.
- Δούσης, Π., 2011. Επίδραση του χρόνου και του οργανικού υποστρώματος στη διαθεσιμότητα των Zn, Cu, Pb, και Ni σε όξινο έδαφος. Μεταπτυχιακή Μελέτη. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 2011, σελ 33.
- Δρούλια, Φ., 2011. Μικρομετεωρολογικές συνθήκες και δυνατότητα απορρύπανσης του περιβάλλοντος με καλλιεργούμενα φυτά. Η περίπτωση της 3,4-Διχλωροανιλίνης. Διδακτορική Διατριβή. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 2011, σελ 16.
- Ευθυμιάδης, Ε., 2011. Μελέτη της αντοχής και της έκφρασης *gst* γονιδίων σε διαγονιδιακά φυτά καπνού (*Nicotiana tabacum* L.) σε καταπόνηση Zn και Cu. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη 2011, σελ 3.

Ζαμπετάκης, Α. Λ., Μανιός, Β. Θ., Καρατζάς, Γ., 2006. Καινοτομικές Μέθοδοι Εξυγίανσης Ρυπασμένων Εδαφών και Υπόγειων Υδάτων. Αθήνα 2006, σελ 6.

Ζαχαροπούλου, Α., 2012. Αστικές παρεμβάσεις ανάπλασης αδιαμόρφωτων χώρων. Δημιουργία βιώσιμου αστικού περιβάλλοντος και σύνδεση τριών κομβικών σημείων στην πόλη της Δράμας. Πτυχιακή Εργασία. Τ.Ε.Ι Καβάλας. Δράμα 2012, σελ 29.

Ζαχαροπούλου, Ε., 2018. Αποκατάσταση Ρυπασμένων Χώρων: Όρια Ρύπων σε Έδαφος και Υπόγειο Νερό. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα 2018, σελ 9, 18, 19, 20, 21.

Ζήση, Γ., 2017. Αστικοί Υπαίθριοι Χώροι και η Συμβολή τους στην Σύγχρονη Πόλη Μελέτη Περίπτωσης: Οι Υπαίθριοι Χώροι της Λάρισας. Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Βόλος 2017, σελ 20.

Ζήκου, Α., 2007. Η επίδραση των βαρέων μετάλλων στην ανθρώπινη υγεία. Πτυχιακή Εργασία. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης. Χανιά 2007, σελ 7.

Ζωνζήλου, Γ., 2010. Η διερεύνηση του χαρακτήρα, των χρήσεων και της κάλυψης των σύγχρονων αναγκών των επισκεπτών των χώρων πρασίνου του άλσους βεΐκιου, του πάρκου φλοίσβου και του κτήματος Συγκρού. Μεταπτυχιακά Διατριβή. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 2010, σελ35.

Ζώττα, Ε., 2018. Συγκριτική μελέτη τεχνολογιών φυτοεξυγίανσης ρυπασμένων εδαφών από βαρέα μέταλλα. Διπλωματική Εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Θεσσαλονίκη 2018, σελ 43, 61, 66, 88.

Κακάλη, Γ., 2016. Διαχείριση Αποβλήτων. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Αθήνα 2016, σελ 8.

- Καμίτσα, Π., 2018. Ρύπανση Εδαφών από Βαρέα Μέταλλα στην Ελλάδα, Επιπτώσεις στο Περιβάλλον και Αποκατάσταση. Διπλωματική Εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Πάτρα 2018, σελ 81, 82.
- Κανατζιά, Μ., 2017. Βιώσιμη κινητικότητα και μέτρα περιορισμού της χρήσης των Ι.Χ. αυτοκινήτων. Ερευνητική Εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη 2017, σελ 16.
- Καππάτος, Ν., 2015. Φυτοαπόσπαση βαρέων μετάλλων από ρυπασμένα εδάφη με ενεργειακά φυτά. Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα 2015, σελ 29.
- Καρακασίδου, Ε., 2003. Εκτίμηση Κινδύνου Ρύπανσης Υπόγειων Υδάτων από Χώρους Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Πειραιώς & Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα 2003, σελ 21, 22.
- Κοκκάλη, Φ., 2007. Φυτοεξαγωγή Μολύβδου (Pb) και Καδμίου (Cd) σε Υδροπονική Καλλιέργεια του Φυτού *Tamarix Smyrnensis*. Διπλωματική Εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης. Χανιά 2007, σελ 11.
- Κόνιαρος, Α., & Πρινιάρης, Τ., 2013. Σχεδιασμός και διαχείριση χώρων αστικού πρασίνου: η περίπτωση της Βέροιας. Διπλωματική Εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Βέροια 2013, σελ 8.
- Κοσιώρη, Α., 2017. Μέθοδοι και Τεχνολογίες Αποκατάστασης Ρυπασμένων Εδαφών. Βιοεξυγίανση με τη χρήση μικροοργανισμών (μυκήτων). Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Ιωάννινα 2017, σελ 65.
- Κωστάρη, Ε., 2010. Φυτοδιακόσμηση και Σύγχρονη Βελτίωση του Εσωτερικού Περιβάλλοντος. Πτυχιακή Εργασία. Ανώτατο Τεχνολογικό Ίδρυμα Κρήτης. Ηράκλειο 2010, σελ 24, 25, 26.

- Κώτσιου, Ε., 2005. Δημόσιοι Υπαίθριοι Χώροι: Ανασχεδιασμός και Επανάχρηση των Εγκαταστάσεων της "Δ.Ε.Θ" ως Μητροπολιτικό Πάρκο. Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Βόλος 2005, σελ 12.
- Λαμπίδου, Η., 2017. Περιβαλλοντικός σχεδιασμός και υπαίθριοι αστικοί χώροι. Μελέτη περίπτωσης: Ανάπλαση παραθαλάσσιας ζώνης του Δ.Δ Αγ. Τριάδας στο Δ. Θερμαϊκού. Διπλωματική Εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Πάτρα 2017, σελ 18.
- Λαμπρόπουλος, Ν., 2019. Ανάλυση Τεχνολογιών Βιο-αποκατάστασης Περιβαλλοντικών Συστημάτων. Πτυχιακή Εργασία. Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου. Πάτρα 2019, σελ 57.
- Λεκάτη, Σ., 2019. Επίδραση των Οργανωμένων χώρων υπερτοπικού πρασίνου στην ποιότητα ζωής των κατοίκων των ευρύτερων περιοχών. Έρευνα μέσω ερωτηματολογίων στους κατοίκους της ευρύτερης περιοχής (Δήμοι ΙΛΙΟΝ, ΑΓ. ΑΝΑΡΓΥΡΟΙ & ΚΑΜΑΤΕΡΟ) του Μητροπολιτικού Πάρκου Αντώνη Τρίτση στην Αθήνα. Διπλωματική Εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Πάτρα 2019, σελ 24.
- Λεχουρίτη, Μ., 2018. Χώροι πρασίνου στο Δήμο Πάτρας. Περιγραφή-Προτάσεις Βελτίωσης. Πτυχιακή Εργασία. ΑΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος, σελ13.
- Μάγγου, Β., 2013. Χαρακτηρισμός των στραγγισμάτων του ΧΥΤΑ της Αιγείρας στο Δήμο Αιγιαλείας και Προτάσεις για την Απορρύπανσή τους. Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Πατρών. Πάτρα 2013, σελ 44.
- Μανουσάκη, Ε., 2008. Χαρακτηρισμός της ικανότητας Μεσογειακών φυτών για απομάκρυνση Pb και Cd από ρυπασμένα εδάφη. Διδακτορική Διατριβή. Πολυτεχνείο Κρήτης. Χανιά 2008, σελ 40.

- Μαρούση, Μ., 2013. Η Επίδραση των Φυτών στην Βελτίωση του Εσωτερικού Περιβάλλοντος. Πτυχιακή Εργασία. Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καλαμάτας. Καλαμάτα 2013, σελ 19.
- Μασουράκη, Ε., 2006. Επίδραση Ψευδαργύρου και Μολύβδου στην Έκφραση της Γλουταμικής Αφυδρογονάσης και της Ωσμωτίνης σε in vitro καλλιέργειες *NicotianaI Glauca* και *Nicotiana Tabacum*. Πτυχιακή Εργασία. Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Ηράκλειο 2006, σελ17, 18.
- Ματζίρης, Ε., 2011. Χαρακτηριστικά των εδαφών της Θεσσαλονίκης και εκτίμησή τους ως μέσου ανάπτυξης του αστικού πρασίνου. Διδακτορική Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη 2011, σελ14.
- Μιχαηλίδου, Ι., 2018. Αστικό πράσινο και αξίες ακινήτων: Η εφαρμογή της ωφελμιστικής μεθόδου αποτίμησης στην πόλη της Βέροιας. Διπλωματική Εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη 2018, σελ 23.
- Μίχας, Γ., 2018. Η ικανότητα του Τριτικάλε (*Triticosecale Wittm*) και του Τριφυλλιού (*Trifolium repens*) να συσσωρεύουν Κάδμιο (Cd) Μόλυβδο (Pb) και Ψευδάργυρο (Zn) από ρυπασμένα εδάφη της Θεσσαλίας, με χρήση ζεόλιθου. Διπλωματική Εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Λάρισα 2018, σελ 70.
- Μιχόπουλος, Α., 2010. Ισόθερμες προσρόφησης του Cu(II), Zn(II), Ni(II), και Cd(II) από καολινίτη καθώς και από δύο εδάφη της τάξεως των Alfisols. Μεταπτυχιακή Μελέτη. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 2010, σελ 21, 22.
- Μπαρηγουργιώτης, Ν., 2016. Η Συμβολή των Υπαίθριων Χώρων και Χώρων Πρασίνου στο Αστικό Περιβάλλον και Διερεύνηση Δικτύωσής τους. Μελέτη Περίπτωσης : Αλεξανδρούπολη. Διπλωματική Εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Αθήνα 2016, σελ 36.

- Μπαρμπούτση, Μ., 2015. Φυτοαποκατάσταση Τοπίου στον Κρατικό Αερολιμένα Καλαμάτας. Πτυχιακή Εργασία. Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (Α.Τ.Ε.Ι.) Καλαμάτας. Καλαμάτα 2015, σελ 5, 49.
- Μπικάκης, Ε., 2016. Αστική και περιβαλλοντική εξυγίανση σε οικισμό-Δημιουργία πλέγματος πρασίνου και πολιτισμού, Μελέτη περίπτωσης: οικισμός Σκαλανίου Ηρακλείου Κρήτης. Διπλωματική Εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Πάτρα 2016, σελ 44.
- Μπολανάκη, Μ., 2017. Συσσώρευση Βαρέων Μετάλλων σε Ανώτερα Φυτά και Μονοκύτταρους Φωτοσυνθετικούς Οργανισμούς, Εκτεθειμένους σε Ρυπασμένο Περιβάλλον. Πτυχιακή Εργασία. ΤΕΙ Κρήτης. Χανιά 2017.
- Νέστορας, Ε., 2019. Φυτοεξυγίανση: Μια Αειφορική Τεχνολογία Αφαίρεσης Περιβαλλοντικών Ρυπαντών από το Έδαφος και το Νερό με τη χρήση Φυτών. Η Αποκατάσταση με Φυτοεξυγίανση στην Ελλάδα. Διπλωματική Εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Πάτρα 2019, σελ 73.
- Νικολή, Α., 2009. Το αστικό πράσινο στις σύγχρονες πόλεις: Θεσμικό πλαίσιο, οικονομική διάσταση και διαχείριση. Η περίπτωση της πόλης της Καστοριάς. Η συμβολή των χώρων αστικού πρασίνου στις σύγχρονες πόλεις, σελ 27.
- Ντίντα, Π., 2007. Μεθοδολογική προσέγγιση φυτοαποκατάστασης υποβαθμισμένων αγροοικοσυστημάτων από εκπλύματα χώρων διάθεσης απορριμμάτων. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Μυτιλήνη 2007, σελ 6.
- Ντιντή, Μ., 2012. Το πράσινο των σχολικών αυλών και η σύνδεσή του με τη περιβαλλοντική εκπαίδευση μέσω δημιουργίας εναλλακτικού εκπαιδευτικού υλικού για την κατανόηση των βασικών λειτουργιών των φυτών. Μεταπτυχιακή Εργασία. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 2012, σελ 14.

Ξηνού, Χ., 2011. Μελέτη της συμπεριφοράς του As σε τρεις κατηγορίες εδαφών πριν και μετά την προσθήκη εδαφοβελτιωτικών και καλλιέργειας. Μεταπτυχιακή Εργασία. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Βόλος 2011, σελ 17, 18.

Ξηροπόταμος, Σ., 2005. Οι επιπτώσεις του Cd στην βιοφυσιολογία του *Carassius auratus* και της *Atyaephyra desmaresti*. Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Ιωάννινα 2005, σελ 6.

Οικονόμου, Σ., 2008. Διερεύνηση των γνώσεων & αντιλήψεων μαθητών δημοτικού για τα απορρίμματα & τη διαχείρισή τους. Μεταπτυχιακή Εργασία. Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Ρόδος 2008, σελ 22.

Πανόπουλος, Ν., 2016. Διαθεσιμότητα βαρέων μετάλλων σε εδάφη της Λαυρεωτικής και Αξιολόγηση της φυτοεξυγίανσης ως πιθανής μεθόδου αποκατάστασης. Διπλωματική Εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Αθήνα 2016, σελ 49.

Παϊδά, Ε., & Σωτηρίου, Χ., 2009. Χωρική κατανομή του Pb και του Cd σε εδαφικά και φυτικά δείγματα από πάρκα και νησίδες της πόλης των Χανίων. Πτυχιακή Εργασία. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης. Χανιά 2009, σελ 5.

Παπαγιαννόπουλος, Δ., 2018. Ανάλυση Μεθόδων Αποκατάστασης Εδαφών από Βαρέα Μέταλλα. Πτυχιακή Εργασία. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας. Πάτρα 2018, σελ 7.

Παπαδημητρίου, Κ., 2013. Αλληλεπίδραση της προσθήκης Καδμίου (Cd) και Ψευδαργύρου (Zn), στη συγκέντρωση αυτών, σε φυτά *Ocimum basilicum* «Genovese». Μεταπτυχιακή Μελέτη. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 2013, σελ 16, 17, 51, 52.

Παπαδοπούλου, Σ., 2018. Αναβάθμιση ανενεργού αστικού αποθέματος στο πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης (Π.Σ.Θ) . Η περίπτωση αξιοποίησης των στρατοπέδων στη Θεσσαλονίκη. Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Μακεδονίας. Θεσσαλονίκη 2018, σελ 18.

- Παπαθεοδώρου, Σ., 2015. Διαθεσιμότητα βαρέων μετάλλων ενός έντονα ρυπασμένου εδάφους σε τρία είδη φυτών. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Βόλος 2015, σελ 4.
- Παπαρουσόπουλος Γ., 2019. Δίκτυα πρασίνου στα αστικά κέντρα. Στάσεις και απόψεις πολιτών. Μελέτη περίπτωσης στην πόλη της Βέροιας. Διπλωματική Εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Αθήνα 2019, σελ 2.
- Παπαστεργιοπούλου, Ε., 2014. Οικονομική αξιολόγηση έργων ανάπλασης αστικού πρασίνου στο Δήμο Ηλιούπολης. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα 2014, σελ 11, 12, 13.
- Παπαστεργίου, Ε., 2019. Περιβαλλοντική - Αστική - Ψυχολογία , Ποιότητα ζωής & Αστικός Σχεδιασμός. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη 2019, σελ 30.
- Παποριδάκη, Ε., 2010. Η καταστροφή του περιβάλλοντος ως οικονομικό πρόβλημα. Πτυχιακή Εργασία. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης. Ηράκλειο 2010, σελ 30.
- Πεταλίδου, Μ., 2012. Ο Ρόλος της Μυκόρριζας στη Μείωση της Φυτοτοξικότητας των Βαρέων Μετάλλων. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη 2012, σελ 21.
- Πόγκα, Ε., 2014. Επίδραση του χρόνου και του οργανικού υποστρώματος (γλυκόζης) στη διαθεσιμότητα βαρέων μετάλλων σε ένα έδαφος της τάξης Alfisols. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 2014, σελ 9, 10.
- Πράπας, Α., 2017. Φυτο-εξυγίανση εδαφών ρυπασμένων με βαρέα μέταλλα. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Βόλος 2017, σελ 8, 9.

- Ρούτσιος, Δ., 2012. Ανάπτυξη κυτταρικού βιοαισθητήρα για την ανίχνευση βαρέων μετάλλων. Ερευνητική Εργασία. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 2012, σελ 56.
- Σαραφίδου, Ν., 2019. Οικοφυσιολογική απόκριση του είδους *Aegilops triuncialis* σε συνθήκες αβιοτικής καταπόνησης. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη 2019, σελ3.
- Σηνιολάκης, Χ., 2007. Επίδραση των βαρέων μετάλλων Καδμίου (Cd) και χαλκού (Cu) στην ανάπτυξη καλλιεργούμενων (*Nicotiana tabacum*) και άγριων (*Nicotiana glauca*) φυτών καπνού. Πτυχιακή Εργασία. Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης. Ηράκλειο 2007, σελ21.
- Σοφογιάννη, Σ., 2014. Βιοσυσσώρευση Μαγγανίου, Σιδήρου, Χαλκού και Ψευδαργύρου στο Κοινό Κριθάρι (*Hordeum Vulgare*) και την Ήρα την πολυετή (*Lolium Perenne*) και η δυναμική τους χρήση στην φυτοεξυγίανση ρυπασμένων εδαφών. Διπλωματική Εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Θεσσαλονίκη 23014, σελ 35.
- Στασινός, Σ., 2013. Πρόσληψη βαρέων μετάλλων από φυτά-βολβούς καλλιεργούμενα σε ρυπασμένα εδάφη. Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα 2013, σελ 24.
- Σταυριανίδη, Β., 2010. Έρευνα κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων από την υπογειοποίηση της Λεωφόρου Μεσογείων στο ύψος της Αγίας Παρασκευής. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα 2010, σελ 25.
- Σωτηρόπουλος, Α., 2005. Ενδημικά φυτά των σερπεντινικών εδαφών ως βιολογικοί δείκτες των εδαφικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων και ως μέσο αποκατάστασης ρυπασμένων εδαφών. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Αιγαίου. Μυτιλήνη 2005, σελ 35.

- Τζανή, Σ., 2007. Μελέτη και Αποκατάσταση της Χωματερής «ΑΣΤΙΜΙΤΣΙ» στην Περιοχή Κορυτιάνης του Νομού Θεσπρωτίας. Πτυχιακή Εργασία. ΤΕΙ Ηρακλείου, Ηράκλειο 2007, σελ 11.
- Τρουλλινός, Κ., & Σωμαράκη, Β., 2009. Φυτοεξυγίανση εδαφών μολυσμένων με διασταλάζοντα υγρά χωματερών με τη χρήση ενδημικών κρητικών φυτών. Πτυχιακή Εργασία. Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Ηράκλειο 2009, σελ12, 13.
- Τσάκου, Κ., 2011. Διερεύνηση φαινομένων ρύπανσης υπόγειων υδροφορέων με χρώμιο. Μεταπτυχιακή Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα 2011, σελ95.
- Φαραώνη, Ε., 2011. Αποκατάσταση Ρυπασμένων Τοπίων με τη Μέθοδο της Φυτοεξυγίανσης. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Θεσσαλονίκη 2011, σελ 53, 54, 55, 56, 57, 58.
- Φράγκου, Χ., 2018. Ρύπανση του περιβάλλοντος: Μέθοδοι πληροφόρησης και επικοινωνίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Διπλωματική Εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Πάτρα 2018, σελ 12
- Χαρβάλας, Γ., 2019. Εξυγίανση ρυπασμένων εδαφών από αρσενικό (As) και μόλυβδο (Pb) με τη μέθοδο της φυτοσταθεροποίησης. Η περίπτωση του Λαυρίου. Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Βόλος 2019, σελ 32, 33, 35.
- Χαριτωνίδης, Κ., 2012. Το πρόβλημα των Απορριμμάτων στα Νησιά του Αιγαίου- Δημιουργία Θαλάσσιων Συνδέσεων με τα Χ.Υ.Τ.Α. της Χερσαίας Ελλάδας. Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Πειραιώς. Πειραιάς 2012, σελ 67.
- Χατζηγεϊρός, Χ., 2008. Βιοκλιματική προσέγγιση διαμόρφωσης ελεύθερων χώρων και χώρων πρασίνου σε πυκνοδομημένη αστική περιοχή . Μελέτη περίπτωσης: Προτάσεις για την περιοχή Δήμου Συκεών Θεσσαλονίκης. Διπλωματική Εργασία. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο. Θεσσαλονίκη 2008, σελ 33.

Χριστοφάκη, Μ., 2006. Διερεύνηση της καταλληλότητας των φυτικών ειδών *Nicotiana Glauca* και *Alyssum Baldacii* για βιοεξυγίανση ρυπασμένων εδαφών με βαρέα μέταλλα. Πτυχιακή Εργασία. Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Ηράκλειο 2006, σελ 10, 17.

Χρονοπούλου, Χ., 2010. Εκτίμηση της συμβολής του αστικού πρασίνου στο περιβάλλον του Δήμου Περιστερίου με την εφαρμογή του προγράμματος i-Tree Street. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα 2010, σελ 10.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Χώρος πρασίνου-πάρκο του πανεπιστημίου Dartmouth στο Ανόβερο των Η.Π.Α

<https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/6594>

Εικόνα 2: Πνευματική ή ψυχική ξεκούραση σε ελεύθερους χώρους

https://pdfs.semanticscholar.org/7eac/28fa1cb82450aba098f08e12c73fe6530647.pdf?_ga=2.145983219.650914683.1584428838-632058553.1584428838

Εικόνα 3: Τα θετικά στοιχεία από την παρουσία δέντρων στον αστικό ιστό

<http://digilib.teiimt.gr/jspui/bitstream/123456789/3836/1/072012Z01Z0003.pdf>

Εικόνα 4: Πλάτος συγκεντρώσεων καθορισμένων μετάλλων στα φυτά

<http://ikee.lib.auth.gr/record/127049/files/GRI-2011-7088.pdf>

Εικόνα 5: Συγχώνευση και μετατόπιση των βαρέων μετάλλων στα φυτά διαμέσου των ριζών

http://dspace.aua.gr/xmlui/bitstream/handle/10329/6195/Papadimitriou_K.pdf?sequence=1

Εικόνα 6: Μέθοδοι φυτοεξυγίανσης

<https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/50622/19325.pdf?sequence=1>

Εικόνα 7: Οι μέθοδοι οι οποίοι αναμγνύονται στη διεργασία της φυτοσταθεροποίησης

http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045_zabetakis1.pdf

Εικόνα 8: *Festuca rubra*

<https://www.gardenia.net/plant/festuca-rubra>

Εικ. 9: *Dactylis glomerata*

https://en.wikipedia.org/wiki/Dactylis_glomerata

Εικόνα 10: Διεργασία φυτοσταθεροποίησης

<http://artemis.library.tuc.gr/MT2009-0113/MT2009-0113.pdf>

Εικόνα 11: Διεργασία Ριζοδιήθησης

https://apothesis.eap.gr/bitstream/repo/41858/1/122929_%CE%9D%CE%95%CE%A3%CE%A4%CE%9F%CE%A1%CE%91%CE%A3_%CE%95%CE%A5%CE%98%CE%A5%CE%9C%CE%99%CE%9F%CE%A3.pdf

Εικόνα 12: Διεργασία Ριζοαποδόμησης

https://www.researchgate.net/publication/336304707_Phytoexygianse_Mia_aiephorike_technologia_aphaireses_periballontikon_rypanton_apo_to_edaphos_kai_to_nero_me_te_chrese_phyton_E_apokatastase_me_phytoexygianse_sten_Ellada

Εικόνα 13: Διεργασία της φυτοεξάτμισης

https://apothesis.eap.gr/bitstream/repo/41858/1/122929_%CE%9D%CE%95%CE%A3%CE%A4%CE%9F%CE%A1%CE%91%CE%A3_%CE%95%CE%A5%CE%98%CE%A5%CE%9C%CE%99%CE%9F%CE%A3.pdf

Εικόνα 14: Διάγραμμα Φυτοαποδόμησης

<https://clu-in.org/download/toolkit/thirdednew/phytotech.pdf>

Εικόνα 15: *Amarita strobiliformis*

<http://www.mycohellas.gr/mc/viewarticle.asp?a=611>

Εικόνα 16: *Eichhornia crassipes*

<https://www.invasive.org/browse/subinfo.cfm?sub=3020>

Εικόνα 17: *Lemna minor*

https://misirlis-aquarium.gr/50-zontanoi_organisnoi/2822-lemna-minor-cup-%CF%86%CE%B1%CE%BA%CE%AF%CF%86%CF%80.html

Εικόνα 18: *Vallisneria Americana*

https://www.google.com/search?q=vallisneria+americana+vallisneria+gigantea&rlz=1C2AVUC_eIGR873GR873&stick=H4sIAAAAAAAAAAONgFuLUz9U3SC43TDZQ4tZP1zc0MiovMTOu1JLzL0pPzMssznXOSSwuzkzLTE4syczPC85MSS1PrCxexKpVlpiTk1mcl1qUmaiQmAukkhPzEhWQRdMzgUaUpCbuYGUEAAOBcDFqAAAA&sxsrf=ALeKk032xIWgLn1ENQxeUFFaxd2XtK4zFw:1604938319992&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjIq8uT7fXsAhUYh1wKHWwsDCYQ_AUoAXoECCEQAw&biw=1366&bih=625#imgrc=6Z0Z2mKsbXv-kM

Εικόνα 19: *Phragmites communis*

<http://tropical.ferns.info/image.php?id=Phragmites+australis#plantimages/0/4/047b6d8cfbf4a02d009e2ba19068207666ff7a50.jpg>

Εικόνα 20: *Hydrilla verticillata*

<https://plants.ifas.ufl.edu/plant-directory/hydrilla-verticillata/>

Εικόνα 21: *Myriophyllum aquaticum*

https://www.google.com/search?q=Myriophyllum+aquaticum*&rlz=1C2AVUC_eIGR873GR873&biw=1366&bih=625&sxsrf=ALeKk03TZYIHhQ2UqGIWhCcYdI7fnyLQ4g:1604939841752&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=Ffx3ClxmDMYzVM%252C2nv7i bA4xyRX7M%252C_&vet=1&usg=AI4_-kTx1TWn2J5FGnd5EVQpdTqz5UMS4w&sa=X&ved=2ahUKEwio15zp8vXsAhVMxIUKHTfjBDAQ_h16BAgUEAs#imgrc=Z_CpyYkfOut8zM

Εικόνα 22: *Typha angustifolia*

https://en.wikipedia.org/wiki/Typha_angustifolia

Εικόνα 23: *Phragmites australis*

https://www.google.com/search?q=phragmites+australis&rlz=1C2AVUC_eLGR873GR873&biw=1366&bih=625&sxsrf=ALeKk00qSUobMEUwivDGwTDIRhi7S5x50Q:1604940414155&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=0c6GDFspuoO3aM%252ChCXINpcmfgOJNM%252C_&vet=1&usg=AI4_-kQ5JPQ-161kvJI1hPj-nmTqENlzag&sa=X&ved=2ahUKEwjeu5X69PXsAhUhmVwKHc0pADYQ_h16BAgWEAc#imgrc=0c6GDFspuoO3aM

Εικόνα 24: *Festuca arundinacea*

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f1/Festuca_arundinacea_-_Berlin_Botanical_Garden_-_IMG_8538.JPG

Εικόνα 25: *Agropyron repens*

<http://www.herb.gr/index.php/catalog/product/view/id/543/s/agriada/category/24/>

Εικόνα 26: *Buchloe dactyloides*

<https://www.morningskygreenery.com/product/bouteloua-dactyloides-buchloe-dactyloides/>

Εικόνα 27: *Agrostis castellana*

https://www.google.com/search?q=Agrostis+castellana&rlz=1C1AVUC_eLGR873GR873&sxsrf=ALeKk01gYWe6Wk_YsoTzS4sGkRQnDa1hpg:1605172615266&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=st1kcATjmv5JsM%252C9Yuw3gbkmBraqM%252C_&vet=1&usg=AI4_-kQMC1NlgOpdza5E63l5l1hjtqw_DQ&sa=X&ved=2ahUKEwi3uqT81fzsAhWHNOwKHZ3eA4AQ9QF6BAgKEDA&biw=1366&bih=625#imgrc=st1kcATjmv5JsM

Εικόνα 28: *Deschampsia cespitosa*

https://en.wikipedia.org/wiki/Deschampsia_cespitosa

Εικόνα 29: *Cyperus esculentus*

https://en.wikibooks.org/wiki/Horticulture/Cyperus_esculentus#/media/File:Cyperus_esculentus.jpg

Εικόνα 30: *Festuca rubra*

<https://uploads.wildseed.co.uk//737-1000-90.jpg>

Εικόνα 31: *Cynodon dactylon*

<http://pza.sanbi.org/cynodon-dactylon>

Εικόνα 32: *Bouteloua gracilis*

<http://www.newmoonnursery.com/plant/Bouteloua-gracilis>

Εικόνα 33: *Agrostis tenuis*

<https://www.semillasdalmau.com/productos/semillas-de-cesped/clima-templado/agrostis-tenuis/>

Εικόνα 34: *Vetiveria zizanioides*

<https://www.earthtokathy.com/vetiver-vetiveria-zizanioides-research/>

Εικόνα 35: *Lolium perenne*

<https://www.e-geoponos.gr/product/lolium-perenne-turfgold-25kg-%CE%BB%CF%8C%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CF%85%CE%BC-barenbrug/>

Εικόνα 36: *Phalaris arundinacea*

<https://www.cabi.org/isc/datasheet/55423#toPictures>

Εικόνα 37: *Panicum virgatum*

<https://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/FullImageDisplay.aspx?documentid=40624>

Εικόνα 38: *Stenotaphrum secundatum*

https://en.wikipedia.org/wiki/St._Augustine_grass#/media/File:Staugustinegrass.JPG

Εικόνα 39: *Salix viminalis*

https://en.wikipedia.org/wiki/Salix_viminalis#/media/File:Salix-viminalis.JPG

Εικόνα 40: *Acer rubrum*

https://en.wikipedia.org/wiki/Acer_rubrum#/media/File:2014-10-30_11_09_40_Red_Maple_during_autumn_on_Lower_Ferry_Road_in_Ewing,_New_Jersey.JPG

Εικόνα 41: *Morus rubra*

<http://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/FullImageDisplay.aspx?documentid=74581>

Εικόνα 42: *Robinia pseudoacacia*

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CE%BF%CE%B2%CE%AF%CE%BD%CE%B9%CE%B1_%CE%B7_%CF%88%CE%B5%CF%85%CE%B4%CE%BF%CE%B1%CE%BA%CE%B1%CE%BA%CE%AF%CE%B1

Εικόνα 43: *Hybrid Poplars*

https://www.google.com/search?rlz=1C2AVUC_eIGR873GR873&sxsrf=ALeKk03_5hilLC-tzZGULvkzQhLICChcQ:1606301413192&source=univ&tbn=isch&q=Hybrid+Poplars+%CE%B2%CE%B9%CE%BA%CE%B9%CF%80&sa=X&ved=2ahUKEwiBIIqJw53tAhVKzaQKHfeWDm8QjJkEegQIDBAB&biw=1366&bih=625#imgrc=Qsrd5ht_P5a6xM

Εικόνα 44: *Eucalyptus tereticornis*

https://en.wikipedia.org/wiki/Eucalyptus_tereticornis

Εικόνα 45: *Liriodendron tulipifera*

https://en.wikipedia.org/wiki/Liriodendron_tulipifera

Εικόνα 46: *Betula pendula*

<https://www.ornamental-trees.co.uk/betula-pendula-youngii-tree-p44>

Εικόνα 47: *Ocimum basilicum* "Genovese"

https://en.wikipedia.org/wiki/Genovese_basil#/media/File:Basilico_Genovese_di_Pr%C3%A0-2.jpg

Εικόνα 48: *Dactylis glomerata*

https://en.wikipedia.org/wiki/Dactylis_glomerata

Εικόνα 49: *Salix smithiana*

<https://www.gbif.org/occurrence/2815144824>

Εικόνα 50: *Populus spp.*

https://en.wikipedia.org/wiki/Populus#/media/File:Trembling_Aspen.jp

Εικόνα 51: *Liquidambar styraciflua*

<https://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/FullImageDisplay.aspx?documentid=8869>

Εικόνα 52: *Gleditsia triacanthos*

<https://www.fitoriatsakiris.gr/el/1435-gleditsia-triacanthos-sunburst.html>

Εικόνα 53: *S. babylonica* L

[https://en.wikipedia.org/wiki/Salix_babylonica#/media/File:Ch%C3%A2teau_de_Chenonceau_-_jardin_Russell-Page_\(01\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Salix_babylonica#/media/File:Ch%C3%A2teau_de_Chenonceau_-_jardin_Russell-Page_(01).jpg)

Εικόνα 54: *Vicia sativa* L

https://en.wikipedia.org/wiki/Vicia#/media/File:Vicia_orobus1_eF.jpg

Εικόνα 55: *Lupinus albus*

https://en.wikipedia.org/wiki/Lupinus_albus#/media/File:Lupinus_albus_000_223_259_O.jpg

Εικόνα 56: *Trifolium pretense*

<https://www.gardenia.net/plant/trifolium-pratense>

Εικόνα 57: *Medicago sativa*

<https://www.feedipedia.org/node/275>

Εικόνα 58: *Trifolium repens*

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9B%CE%B5%CF%85%CE%BA%CF%8C_%CF%84%CF%81%CE%B9%CF%86%CF%8D%CE%BB%CE%BB%CE%B9#/media/%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF:Trifolium_repens_Leaf_April_2,_2010.jpg

Εικόνα 59: *Melilotus officinalis*

https://en.wikipedia.org/wiki/Melilotus_officinalis#/media/File:20140613Melilotus_officinalis.jpg

Εικόνα 60: *Cassia alata*

[https://en.wikipedia.org/wiki/Senna_alata#/media/File:Senna_alata_\(1\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Senna_alata#/media/File:Senna_alata_(1).jpg)

Εικόνα 61: *Brassica napus*

<http://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/FullImageDisplay.aspx?documentid=17647>

Εικόνα 62: *Thlaspi caerulescens*

https://en.wikipedia.org/wiki/Thlaspi_caerulescens#/media/File:Gebirgs-Hellerkraut.jpg

Εικόνα 63: *Helianthus annuus*

https://en.wikipedia.org/wiki/Helianthus_annuus#/media/File:Sunflower_sky_backdrop.jpg

Εικόνα 64: *Polygonum amphibium*

https://en.wikipedia.org/wiki/Persicaria_amphibia#/media/File:Polygonum_coccineum.jpg

Εικόνα 65: *Digitalis purpurea*

https://en.wikipedia.org/wiki/Digitalis_purpurea#/media/File:Digitalis_purpurea_LC0101.jp

Εικόνα 66: *Lotus corniculatus*

https://en.wikipedia.org/wiki/Lotus_corniculatus#/media/File:Lotus_corniculatus10.JPG

Εικόνα 67: *Dianthus chinensis*

https://en.wikipedia.org/wiki/Dianthus_chinensis#/media/File:Dianthus_chinensis_korea_2010.JPG

Εικόνα 68: *Brassica rapa*

https://en.wikipedia.org/wiki/Brassica_rapa#/media/File:Brassica_rapa_plant.jpg

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Τα πέντε αισθητηριακά συστήματα του ανθρώπου και οι επιδράσεις της πρόσληψης ερεθισμάτων από το περιβάλλον

<http://ikee.lib.auth.gr/record/314091/files/GRI-2020-26648.pdf>

Πίνακας 2: Είδη υπερ-συσσωρευτών μετάλλων και το ανάλογο δυναμικό βιοσυσσώρευσής τους

http://www.epper.gr/elibrary/meleti_apokat_ripasm_xoron.pdf

Πίνακας 3: Συντελεστές μεταβολών των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων φυτικών οργανισμών

<http://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/46404/16128.pdf?sequence=1>

Πίνακας 4-5: Διαθέσιμες εφαρμογές τεχνικών φυτοεξυγίανσης ώστε να αντιμετωπιστούν τα διάφορα ρύπη σε ύδατα και εδάφη

http://www.epper.gr/elibrary/meleti_apokat_ripasm_xoron.pdf

Πίνακας 6: Τύποι φυτικών ή ζωικών μικροοργανισμών που ζουν παρασιτικά ανά κατηγορία

http://repository.library.teiwest.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/7961/%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97%20%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%91%CE%A3%CE%99%CE%91%20%CE%9B%CE%91%CE%9C%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%A0%CE%9F%CE%A5%CE%9B%CE%9F%CE%A3%20%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%9B%CE%91%CE%9F%CE%A3_%CE%91%CE%9C%205270.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Πίνακας 7: Η ταυτόχρονη και παράλληλη εξέταση όσον αφορά το κόστος εφαρμογής της φυτοεξυγίανσης συγκριτικά με άλλες τεχνολογίες επαναφοράς σε καλή κατάσταση προβληματικών επιφανειών της γης

http://www.epper.gr/elibrary/meleti_apokat_ripasm_xoron.pdf

Πίνακας 8: Η διαδικασία του προκαθορισμού και της υπόδειξης μιας σειράς ενεργειών, σχετικά με την υλοποίηση φυτοεξυγίανσης

https://apothesis.eap.gr/bitstream/repo/41858/1/122929_%CE%9D%CE%95%CE%A3%CE%A4%CE%9F%CE%A1%CE%91%CE%A3_%CE%95%CE%A5%CE%98%CE%A5%CE%9C%CE%99%CE%9F%CE%A3.pdf

Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά παραδείγματα ειδών των οποίων είναι ικανή η χρήση τους σαν υπερσυσσωρευτές βαρέων μετάλλων στην επαναφορά σε καλή κατάσταση των επιφανειών της γης

<http://ikee.lib.auth.gr/record/269916/files/GRI-2015-14698.pdf>

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Συνδυασμοί μετακίνησης ουσιών που ρυπαίνουν το περιβάλλον από το τμήμα του στερεού φλοιού της γης που βρίσκεται κάτω από το έδαφος στο φυτό και από το φυτό στο μείγμα των αερίων που περιβάλλει τη γη ή άλλα ουράνια σώματα κατά τη διάρκεια εφαρμογής της μελέτης των μεθόδων που χρησιμοποιούνται στη φυτοεξυγίανση

<https://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/9610/1/%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%92%CE%91%CE%9D%CE%A4%CE%99%CE%9D%CE%9F%CE%A3%20%CE%9A%CE%A9%CE%9D%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%9D%CE%A4%CE%99%CE%9D%CE%9F%CE%A3.pdf>

Σχήμα 2: Τα καλύτερα όρια βελτίωσης ενός φυτού και η παρουσίαση παθολογικών φαινομένων καταπόνησης κατά την αύξηση ή ελάττωση της έντασης του συντελεστή καταπόνησης

<https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/46404/16128.pdf?sequence=1>

Σχήμα 3: Γραφική παράσταση εξέλιξης της εφαρμογής της φυτοεξυγίανσης

<https://hellanicus.lib.aegean.gr/handle/11610/15396>

Σχήμα 4: Ταξινόμηση των στερεών ουσιών που παράγονται κατά τη βιομηχανική επεξεργασία και αποβάλλονται από τις βιομηχανίες ως άχρηστες

<https://hellanicus.lib.aegean.gr/bitstream/handle/11610/9974/file0.pdf?sequence=1>

Σχήμα 5: Σύνολο ενεργειών που αφορούν τη ρύπανση λαμβάνοντας υπόψη γεγονότα που έχουν συμβεί σε μια ορισμένη στιγμή

<http://dspace.lib.ntua.gr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/48599/%CE%9C%CE%95%CE%A4%CE%91%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97%CE%96%CE%91%CE%A7%CE%91%CE%A1%CE%9F%CE%A0%CE%9F%CE%A5%CE%9B%CE%9F%CE%A5.pdf?sequence=1&isAllowed=y>