



Co-funded by
the European Union

Ελένη-Αλεξία Γιούνη
Υποψήφια Διδάκτορας, Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης
και Τεχνολογίας,
Σχολή Χημικών Μηχανικών,
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
elalgiouni@mail.ntua.gr



UNIVERSITÀ
degli STUDI
di CATANIA

**Καινοτόμος μέθοδος αποτοξικοποίησης υγρών αποβλήτων από
φαρμακευτική βιομηχανία**

Επίδειξη μιας καινοτόμου μεθόδου αποτοξικοποίησης υγρών αποβλήτων από την φαρμακευτική βιομηχανία

Περιοχή Εφαρμογής: Λεμεσός Κύπρος, Duiven Ολλανδία

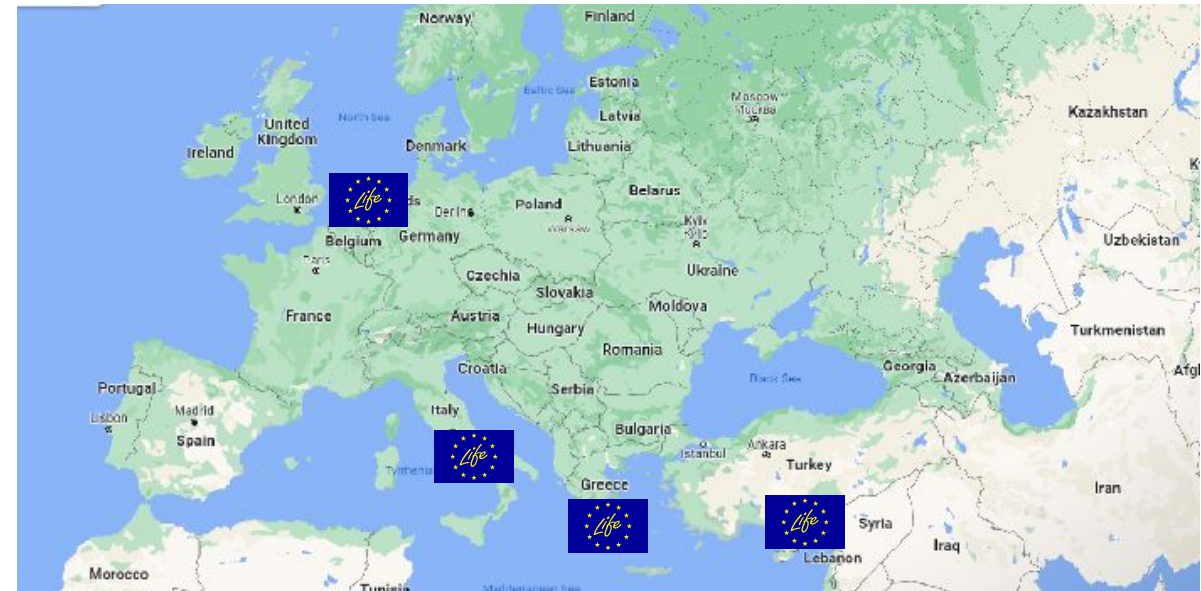
Προϋπολογισμός Έργου:
3,340,922€

Χρηματοδότηση
ΕΕ(LIFE+):
1,837,507€

Διάρκεια:
66 μήνες

Ημερομηνία
Έναρξης:
01/09/2021

Ημερομηνία
Λήξης:
28/02/2027



Εταίροι



Medochemie Ltd, Κύπρος



Novel Environmental
Solutions, Ελλάδα



Aarhus University,
Δανία



UNIVERSITÀ
degli STUDI
di CATANIA

University of Catania,
Ιταλία



National Technical
University of Athens, Ελλάδα

Καινοτόμος μέθοδος αποτοξικοποίησης υγρών αποβλήτων από
φαρμακευτική βιομηχανία

Προκλήσεις για τις Φαρμακευτικές Βιομηχανίες

01

Δεν υπάρχει καθολική τεχνολογία

Καμία μεμονωμένη εμπορικά διαθέσιμη τεχνολογία δεν απομακρύνει όλες τις κατηγορίες φαρμακευτικών ενώσεων από τα βιομηχανικά απόβλητα

02

Το κόστος είναι πολύ υψηλότερο από τις εκτιμήσεις των ρυθμιστικών αρχών

- Γερμανική Υπηρεσία Περιβάλλοντος: το κόστος τεταρτογενούς επεξεργασίας 885-1,025 εκατ. €/έτος – τετραπλάσιο της εκτίμησης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής των 238 εκατ. €
- Επιτόπια επεξεργασία φαρμακευτικών αποβλήτων: τυπικά 6-15 \$ ανά m³ που επεξεργάζεται

03

Ρυθμιστική αβεβαιότητα, αλλά η υποχρέωση έχει πλέον επιβεβαιωθεί

Η βιομηχανία προειδοποίησε για πιθανές ελλείψεις φαρμάκων και αποσύρσεις από την αγορά σε ορισμένες χώρες

04

Οι κανονισμοί Ορθής Παρασκευαστικής Πρακτικής (GMP) επιβάλλουν αυστηρά πρότυπα ποιότητας σε όλο το νερό που χρησιμοποιείται στην παραγωγή και στον καθαρισμό εξοπλισμού

05

Πολυπλοκότητα πολλαπλών APIs

Η Medochemie λειτουργεί 13 μονάδες παραγωγής με διαφορετικές σειρές προϊόντων, διαφορετικά προφίλ API και διαφορετικούς όγκους αποβλήτων

Life PHARMA-DETOX-Σκοπός του προγράμματος



Αποτοξικοποίηση υγρών αποβλήτων από την φαρμακευτική Βιομηχανία.



Επεξεργασία λυμάτων από τις παραγωγικές διαδικασίες για την ασφαλή επαναχρησιμοποίηση του νερού



Καινοτόμο και βιώσιμο σύστημα για τη μετατροπή φαρμακευτικών ενώσεων σε μη τοξικές ουσίες.



Το σύστημα εγκαταστάθηκε και λειτούργησε στις εγκαταστάσεις της Medochemie Ltd. στη Λεμεσό.



2^η φάση: Έχει μεταφερθεί στις εγκαταστάσεις της Medochemie Ltd. στην Ολλανδία

Σύγκριση με άλλες τεχνολογίες



Τεχνολογία	Απόδοση απομάκρυνσης APIs	Βασικές παρατηρήσεις
Ηλεκτροχημική οξείδωση	>99.9%	Υψηλή ενεργειακή απαίτηση· απαιτείται διαχείριση συμπυκνώματος· πολύπλοκη λειτουργία σε μεγάλη κλίμακα
Βιολογικός καθαρισμός (CAS, MBBR, υγρότοποι)	49-97%	Έντονη εξάρτηση από την ένωση· οι ανθεκτικές APIs διαφεύγουν της επεξεργασίας· ασυνεπής για φαρμακευτικά λύματα
Κοκκώδης / κονιοποιημένος ενεργός άνθρακας	83-99%	Η προσρόφηση εξαρτάται από την ένωση· η απόδοση εξαρτάται από τις ιδιότητες του άνθρακα· απαιτείται διάθεση εξαντλημένου άνθρακα
Βιολογικός + Προχωρημένος Καθαρισμός (MBBR + ozone/GAC)	79-97%	Οικονομικά αποδοτική με PAC· εξαρτάται από την ένωση· υψηλή απόδοση σε σχέση με τη βιολογική
Προχωρημένη οξείδωση (UV/PS, photo-Fenton)	75-95%	Αποτελεσματική για ανθεκτικές ενώσεις· η απόδοση εξαρτάται από τη δόση οξειδωτικού· τα παραπροϊόντα μπορεί να αποτελούν πρόκληση

Το Σύστημα PharmaDetox



Container



Non-Atex Zone

Ζώνη εκτός

~~ΑTEX~~ μονάδα Αντίστροφης Όσμωσης (RO) — ασφαλής χώρος για προεπεξεργασία με μεμβράνες και ανάκτηση νερού



Atex Zone

Ζώνη ATEX II

Καταλυτικός αντιδραστήρας, μονάδα ηλεκτρόλυσης και φιάλες αερίου H_2 — πιθανά επικίνδυνη ζώνη με πλήρη συμμόρφωση αντιακρηκτικής ασφάλειας



Πώς μπορούμε να μετρήσουμε την αποτοξικοποίηση των APIs από το σύστημα Pharma Detox;



Υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC)



Δοκιμές τοξικότητας σε μικροοργανισμούς *Daphnia magna*



Δοκιμές φυτοτοξικότητας

- *Sorghum saccharatum*
- *Lepidium sativum*
- *Sinapis alba*

Μείωση APIs: Αποτελέσματα απόδοσης Πιλοτικού Συστήματος-Λεμεσός



Co-funded by
the European Union

Σημείο δειγματοληψίας	Συγκέντρωση Αμοξικιλίνης (mg/L)	Απομάκρυνση vs προηγούμενο στάδιο
Εισροή (είσοδος)	27.5 ± 2.5	— (βάση αναφοράς)
Διήθημα RO	3.3 ± 0.3	88% απομάκρυνση
Συμπύκνωμα RO	64.0 ± 5.5	(συμπυκνωμένο από RO)
Μετά τον καταλυτικό αντιδραστήρα	1.9 ± 0.2	97% μείωση σε σχέση με το συμπύκνωμα >99% στις καλύτερες δοκιμές όριο ανίχνευσης <0.8 mg/L

Υπέρβαση των Ρυθμιστικών Ορίων
Η Οδηγία για την Επεξεργασία Αστικών
Λυμάτων 2024/3019 ορίζει ελάχιστη απόδοση
απομάκρυνσης 80% για τις προχωρημένες
τεχνολογίες επεξεργασίας.

Αντίστροφη Όσμωση
88% απομάκρυνση πληροί το όριο της
οδηγίας

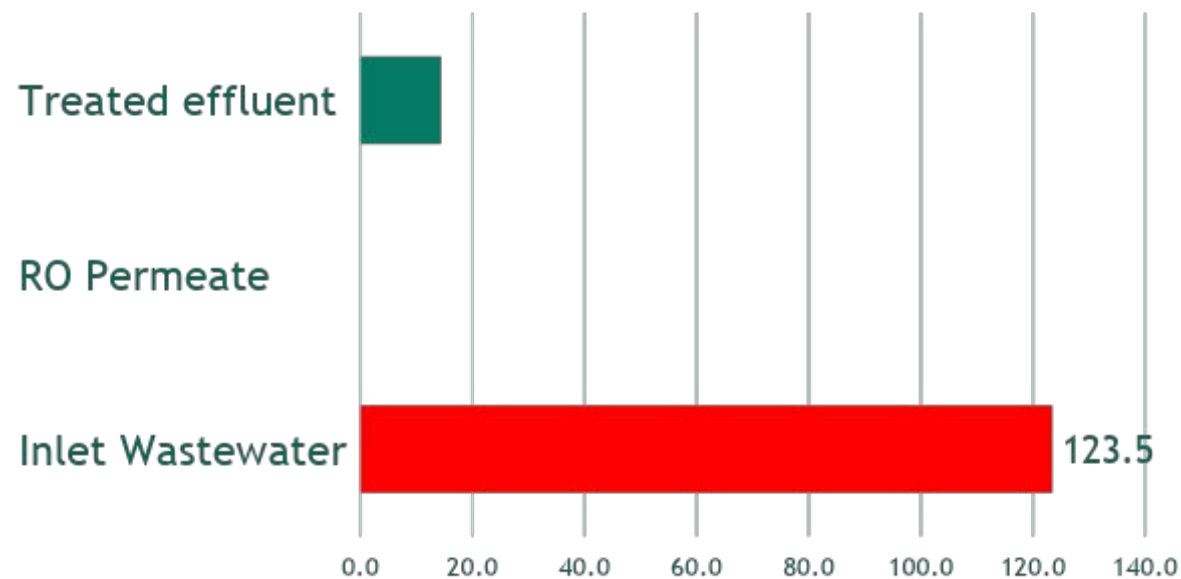
Καταλυτική
Αντίδραση 97% μείωση — υπερβαίνει σημαντικά το όριο της
οδηγίας

Οξεία Τοξικότητα- Επιβεβαίωση Ασφάλειας με *Daphnia magna* (ISO 6341)

- Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές οξείας τοξικότητας στην εισροή, στο διήθημα RO και στα ρεύματα επεξεργασμένης εκροής του αντιδραστήρα.
- Τα δείγματα μετά την επεξεργασία δεν εμφάνισαν οξείες τοξικές επιδράσεις στα υδρόβια ασπόνδυλα, επιβεβαιώνοντας ότι η καταλυτική υδρογόνωση εξαλείφει τα βιολογικά ενεργά φαρμακευτικά υπολείμματα αντί απλώς να τα συμπυκνώνει.



Η εκροή διηθήματος χαρακτηρίστηκε ως μη οξέως τοξική σύμφωνα με το ISO 6341, επιβεβαιώνοντας τη δυνατότητα ασφαλούς επαναχρησιμοποίησης στην άρδευση.



Φυτοτοξικότητα – Επιβεβαίωση Ασφάλειας σε Τρία Είδη Φυτών (ISO 18763)

Πρωτόκολλο

Δοκιμής

Οι δοκιμές μέτρησαν την αναστολή του ρυθμού βλάστησης και την αναστολή της επιμήκυνσης της ρίζας στην εισροή, στο διήθημα RO και στα ρεύματα εκροής του καταλυτικού αντιδραστήρα.



Όλες οι επεξεργασμένες εκροές πληρούσαν τα κριτήρια φυτοτοξικότητας του ISO 18763 – επικυρώνοντας το πλήρες προφίλ περιβαλλοντικής ασφάλειας του συστήματος.

Εισροή

Παρατηρήθηκε σημαντική φυτοτοξική αναστολή – επιβεβαιώνει ότι τα ανεπεξέργαστα απόβλητα δεν είναι ασφαλή για άμεση εφαρμογή στο έδαφος. (έως 80%)

Διήθημα RO

Ουσιαστικά μειωμένη φυτοτοξικότητα, το διήθημα είναι συμβατό με τα πρότυπα επαναχρησιμοποίησης για άρδευση. Καμία φυτοτοξική επίδραση, κατάλληλο για άρδευση.

Εκροή Καταλυτικού

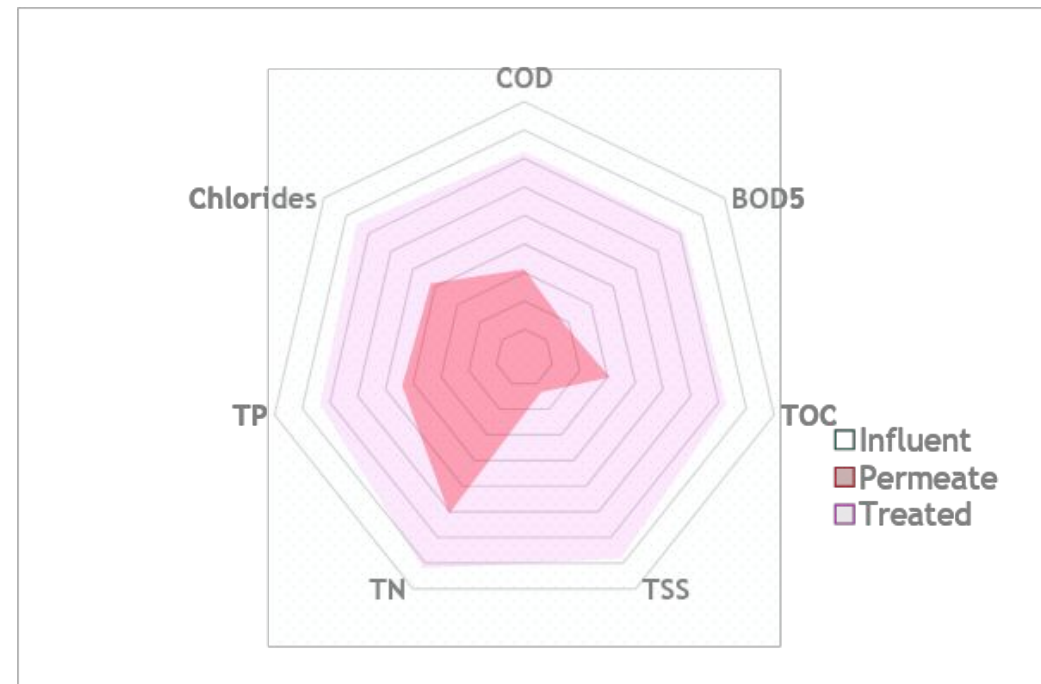
~~Αντιδραστήρα~~
Δεν ανιχνεύθηκε σημαντική φυτοτοξική επίδραση σε κανένα από τα τρία είδη (έως 16-20%). Το επεξεργασμένο συμπύκνωμα είναι περιβαλλοντικά ασφαλές. Κατάλληλο για επαναχρησιμοποίηση σε καθαρισμό

Αποτελέσματα φυσικοχημικής απόδοσης Πιλοτικού Συστήματος-Λεμεσός

Βασικά Ευρήματα

Το διάγραμμα ραντάρ απεικονίζει την κανονικοποιημένη μεταβολή των κύριων φυσικοχημικών παραμέτρων σε όλο το σύστημα επεξεργασίας.

- **Διήθημα RO:** Χαμηλότερες κανονικοποιημένες τιμές για όλες τις εξεταζόμενες παραμέτρους, υποδεικνύοντας αποτελεσματική απομάκρυνση οργανικού φορτίου, αιωρούμενων στερεών και διαλυμένων συστατικών από τη διεργασία RO.
- **Εκροή Καταλυτικού Αντιδραστήρα:** Υψηλότερες σχετικές τιμές λόγω της συσσώρευσης ρύπων που απορρίπτονται από τη μεμβράνη στο ρεύμα συμπυκνώματος.
- **Συνολικά:** Το διάγραμμα αναδεικνύει την υψηλή απόδοση καθαρισμού της μονάδας RO και τη συγκέντρωση των ρύπων στο ρεύμα απόρριψης.



Ποιότητα νερού— απόδειξη περιβαλλοντικής ασφάλειας

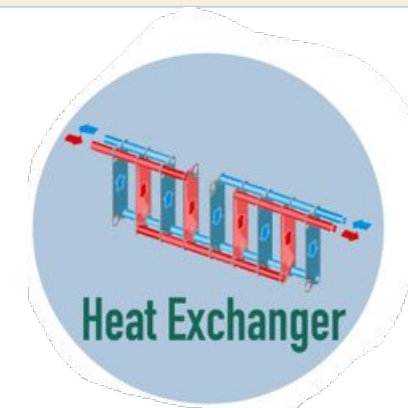
Ανακτημένο Νερό για Άρδευση

Διήθημα vs. Κανονισμός ΕΕ 2020/741- Κατηγορία Α
(Υψηλότερη Κλάση)

Παράμετρος	Αποτέλεσμα διηθήματος	Όριο ΕΕ Κατηγορίας Α	Κατάσταση
E. coli	≤10 CFU/100 mL	≤10 CFU/100 mL	ΠΛΗΡΟΙ
BOD ₅	6 mg/L	≤10 mg/L	ΠΛΗΡΟΙ
TSS	<0.050 mg/L	≤10 mg/L	ΥΠΕΡΚΑΛΥΠΤΕΙ
Θολότητα	<1 NTU	≤5 NTU	ΥΠΕΡΚΑΛΥΠΤΕΙ
Legionella	Δεν ανιχνεύθηκε	<1,000 CFU/L	ΠΛΗΡΟΙ

Το ρεύμα διηθήματος RO συγκρίθηκε με την πιο αυστηρή βαθμίδα του Κανονισμού της ΕΕ για την επαναχρησιμοποίηση νερού. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι το επεξεργασμένο διήθημα πληροί τα πρότυπα της Κατηγορίας Α για επαναχρησιμοποίηση σε γεωργική άρδευση, συμπεριλαμβανομένων ορίων για παθογόνα, θολότητα και χημική ποιότητα.

Επεξεργασμένο Νερό από τον Καταλυτικό Αντιδραστήρα
Χρησιμοποιείται πρώτα για Δευτερεύουσες Χρήσεις, και
στη συνέχεια διατίθεται σε ΕΕΛ



Δεν υπάρχει νομοθεσία για την επαναχρησιμοποίηση νερού· η ΕΕ το αφήνει στη διακριτική ευχέρεια κάθε κράτους μέλους.

Σύγκριση με άλλες τεχνολογίες



Co-funded by
the European Union

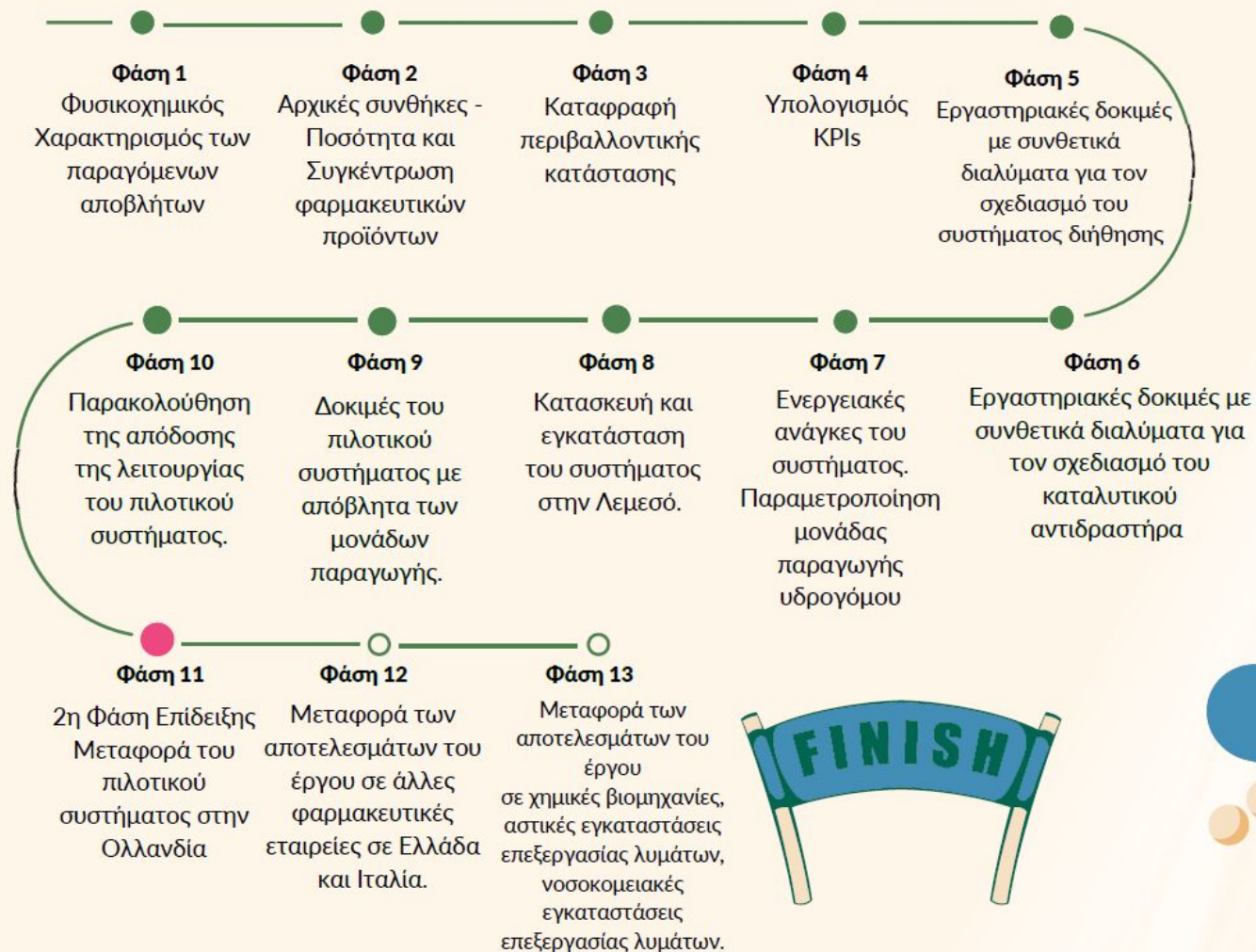
Τεχνολογία	Απόδοση απομάκρυνσης APIs	Βασικές παρατηρήσεις
Ηλεκτροχημική οξείδωση	>99.9%	Υψηλή ενεργειακή απαίτηση· απαιτείται διαχείριση συμπυκνώματος· πολύπλοκη λειτουργία σε μεγάλη κλίμακα
Βιολογική + προχωρημένη (MBBR + ozone/GAC)	79-97%	Οικονομικά αποδοτική με PAC· εξαρτάται από την ένωση· υψηλή απόδοση σε σχέση με τη βιολογική μόνη
Κοκκώδης / κονιοποιημένος ενεργός άνθρακας	83-99%	Η προσρόφηση εξαρτάται από την ένωση· η απόδοση εξαρτάται από τις ιδιότητες του άνθρακα· απαιτείται διάθεση εξαντλημένου άνθρακα
Βιολογική μόνη (CAS, MBBR, υγρότοποι)	49-97%	Έντονη εξάρτηση από την ένωση· οι ανθεκτικές APIs διαφεύγουν της επεξεργασίας· ασυνεπής για φαρμακευτικά λύματα
Προχωρημένη οξείδωση (UV/PS, photo-Fenton)	75-95%	Αποτελεσματική για ανθεκτικές ενώσεις· η απόδοση εξαρτάται από τη δόση οξειδωτικού· τα παραπροϊόντα μπορεί να αποτελούν πρόκληση

PHARMA-DETOX	97% μ.ό. >99% στις καλύτερες δοκιμές	Θερμοκρασία δωματίου · ατμοσφαιρική πίεση · ανανεώσιμη ενέργεια (φωτοβολταϊκά + H ₂) Χαμηλή χρήση χημικών · σε container 20 ποδιών · σταθερός καταλύτης σε όλους τους κύκλους λειτουργίας
--------------	---	--

Ελάχιστο όριο UWWTD 2024/3019: 80% απομάκρυνση — το PHARMA-DETOX το υπερβαίνει τόσο στο στάδιο RO (88%) όσο και στο καταλυτικό στάδιο (97%)

Επόμενα Βήματα

PHARMA DETOX ROADMAP





Co-funded by
the European Union

Μείντε ενημερωμένοι για τα Νέα και τις
Εκδηλώσεις του PHARMA DETOX
Επισκεφθείτε την Ιστοσελίδα μας
www.pharmadetox.eu

Συνδεθείτε μαζί
μας στα Μέσα
Κοινωνικής
Δικτύωσης:
LinkedIn &
Twitter

