



ΤΟ ΕΜΠ ΣΤΗΝ ΠΡΩΤΟΠΟΡΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΣΥΜΠΟΣΙΟ ΓΙΑ ΤΑ 170 ΕΤΗ ΕΜΠ

**ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΥΨΗΛΟΥ  
ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΑΠΟ  
ΤΗΝ ΕΡΥΘΡΑ ΙΛΥ-  
ΑΠΟΒΛΗΤΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΗΣ  
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ**

Μαρία Όξενκιουν – Πετροπούλου, Λαμπρινή –Αρετή Τσακανίκα,

Κώστας Χατζηλυμπέρης\*

*Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Χημικών Επιστημών, Εργ. Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας,  
Ερευνητική Ομάδα Φυσικών Μεθόδων Ανάλυσης – Περιβάλλοντος, \*Εργ. Τεχνικής Χημικών Διεργασιών*

Κλάους Όξενκιουν

*ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, Ινστιτούτο Φυσικοχημείας*

Αθήνα, 3-4 Δεκεμβρίου 2007

# ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ (ΕΠΕΤ II-ΕΡΓΟ 98ΒΙΑ-29)

- Εφαρμογή σε πιλοτική κλίμακα αναπτυχθείσας αρχικά σε εργαστηριακή κλίμακα, μεθόδου για την ανάκτηση στοιχείων υψηλού τεχνοοικονομικού ενδιαφέροντος όπως : **σκάνδιο, ύτριο και λανθανίδες** από την **ερυθρά ιλύ**, παραπροϊόν βιομηχανικής μεταλλουργικής δραστηριότητας.
- Βελτιστοποίηση των παραμέτρων των επιμέρους σταδίων της μεθόδου με σκοπό την ποσοτική ανάκτηση των στοιχείων και ιδιαίτερα του σκανδίου, του στοιχείου με το υψηλότερο τεχνοοικονομικό ενδιαφέρον.
- Διερεύνηση της οικονομικότητας της μεθόδου με βάση τις αποδόσεις των σταδίων της διεργασίας, το κόστος των αντιδραστηρίων και τις τιμές των παραγόμενων προϊόντων.

# ΕΡΥΘΡΑ ΙΛΥΣ

- ❖ Στερεό βιομηχανικό απόβλητο μεταλλουργικής κατεργασίας των βωξιτών για την παραγωγή αλούμινας, με τη μέθοδο Bayer
- ❖ Ετήσια παραγωγή 600.000 tn
- ❖ Υψηλό αλκαλικό φορτίο ( $\text{pH} > 10$ )
- ❖ Πλούσιο σε κύρια στοιχεία κυρίως Fe αλλά και Ca, Al, Ti, Si, Na
- ❖ Περιέχει σπάνιες γαίες σε συγκεντρώσεις συγκρίσιμες με αυτές στις οικονομικά εκμεταλλεύσιμες πηγές τους
- ❖ Απορρίπτεται ως απόβλητο

## Αξιοποίηση της ερυθράς ιλύος :

- Χρήση ως πρόσθετο σε κεραμικά, τσιμέντα για την βελτίωση των ιδιοτήτων τους.
- Ανάκτηση και εκμετάλλευση στοιχείων με μεγάλο εύρος εφαρμογών και οικονομικό όφελος.
- Μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης.

## Αξία Σκανδίου και Σπανίων Γαιών της ερυθράς ιλύος

Σ. Γ. (οξείδια)	Ενδεικτική τιμή (\$/kg οξειδίου)	Μέση περιεκτικότητα οξειδίων των Σ.Γ. στην Ε.Ι. ( g/tn Ε.Ι.)	Αξία (\$/ tn Ε.Ι.)
<b>Sc</b>	<b>6000</b>	<b>195 (15%)</b>	<b>1170 ( 95%)</b>
Y	88	127	11
La	23	175	4
Ce	31	490	15
Pr	37	30	1
Nd	28	134	4
Sm	435	34	15
Eu	990	6	6
Gd	130	27	3
Dy	120	15	2
Ho	440	5	2
Er	155	20	3
Lu	3500	2	7
ΣΥΝΟΛΟ		1260	1243

# ΠΗΓΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΣΚΑΝΔΙΟΥ ΚΑΙ ΣΠΑΝΙΩΝ ΓΑΙΩΝ



## Κύριες πηγές

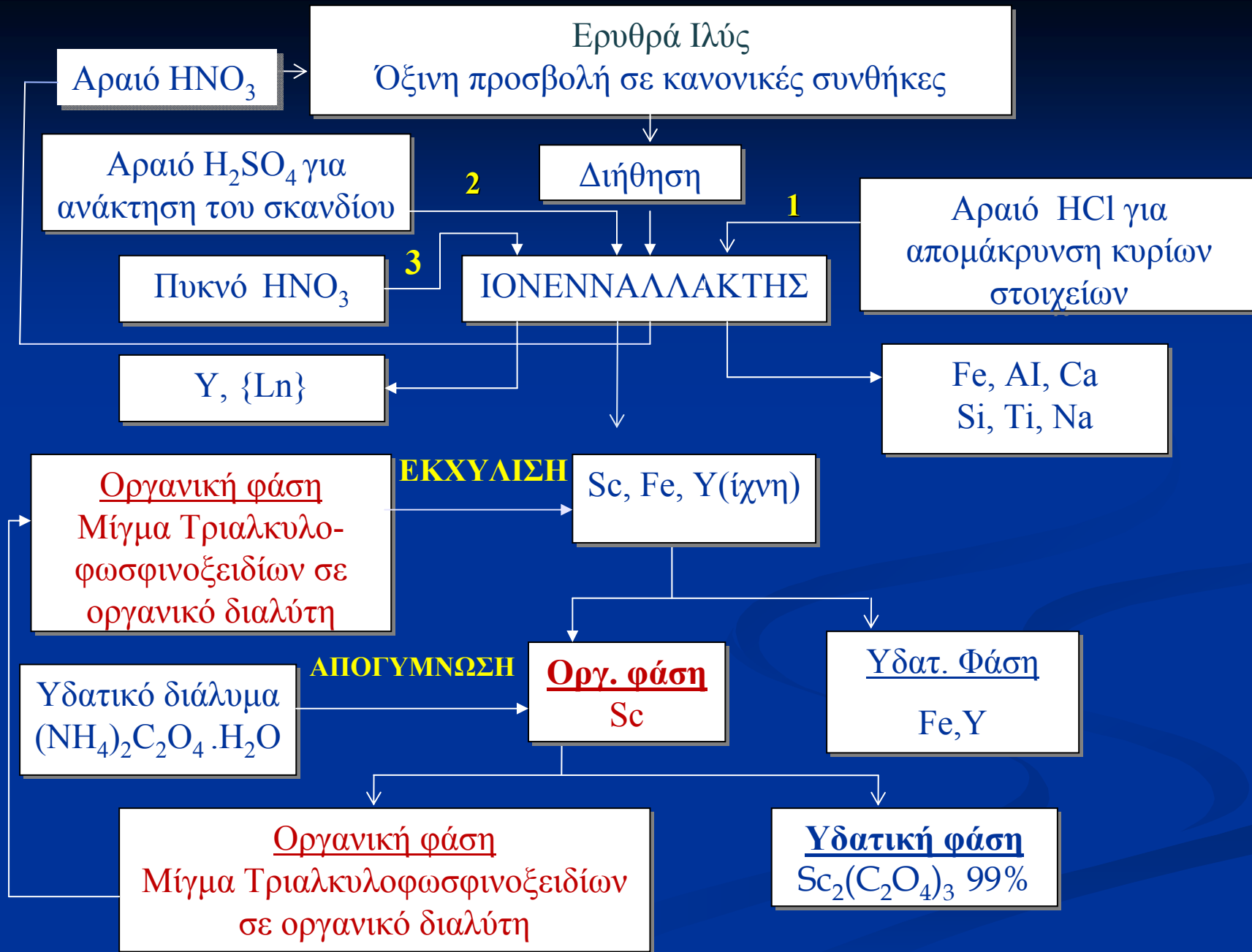
- ✓ Θορβείτης [ $\text{Sc}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ ] (Κύρια πηγή του σκανδίου, πολύ σπάνιο ορυκτό)
  - ✓ Βαστναιζίτης [(REE)(CO<sub>3</sub>)F]
  - ✓ Μοναζίτης [(REE)PO<sub>4</sub>]
  - ✓ Ξενότιμος [YPO<sub>4</sub>] (Βαριές λανθανίδες και ύτριο)
- } (Ελαφριές λανθανίδες,)

## Εναλλακτικές πηγές

- ✓ Απατίτες
- ✓ Παραπροϊόντα εκμετάλλευσης γαληνίτου, κασσιτέρου, ζirkονίου και τιτανίου
- ✓ Παραπροϊόντα επεξεργασίας ουρανίου (100 g Sc/tn), βολφραμίου (Sc)
- ✓ Φωσφορικά ορυκτά (Sc),
- ✓ Βωξίτες (χαμηλής περιεκτικότητας σε αργίλιο)
- ✓ Ερυθρά ιλύς, παραπροϊόν μεταλλουργικής βωξιτικής κατεργασίας.

# ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΚΑΝΔΙΟΥ ΚΑΙ ΣΠΑΝΙΩΝ ΓΑΙΩΝ

- Ως πρόσθετα σε κράματα  αύξηση μηχανικών αντοχών, θερμικών αντοχών (λόγω αύξησης του σημείου τήξεως).
    - μεταλλουργία του Al (κραματοποίηση του αργιλίου)
    - μεταλλουργία του Mg
    - εφαρμογές στην αεροναυπηγική και διαστημική τεχνολογία
    - κατασκευή αθλητικού εξοπλισμού.
  - Σε προηγμένα κεραμικά, ειδικά γυαλιά.
  - Στους κρυστάλλους laser.
  - Στους καταλύτες αυτοκινήτων και πετρελαίου
  - Ισχυροί μόνιμοι μαγνήτες (εφαρμογές στους υπολογιστές, στην μικροηλεκτρονική, σε συσκευές υψηλής τεχνολογίας).
  - Υπεραγωγοί Υψηλών θερμοκρασιών.
- 
- ❑ Σπανιότητα ορυκτών, δύσκολη ανάκτηση, μείωση των εκμεταλλεύσιμων πηγών ανάκτησης
  - ❑ Συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση  Υψηλή εμπορική αξία



Διάγραμμα ροής διαχωρισμού Sc, Y, λανθανιδών.

Πιλοτική μονάδα δυναμικότητας 5-10kg, διαλείποντος έργου(έρευνα)  
Συνεχές έργο (βιομηχανική κλίμακα, οικονομικότερη λειτουργία)  
Ημιβιομηχανικό εργαστήριο της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.





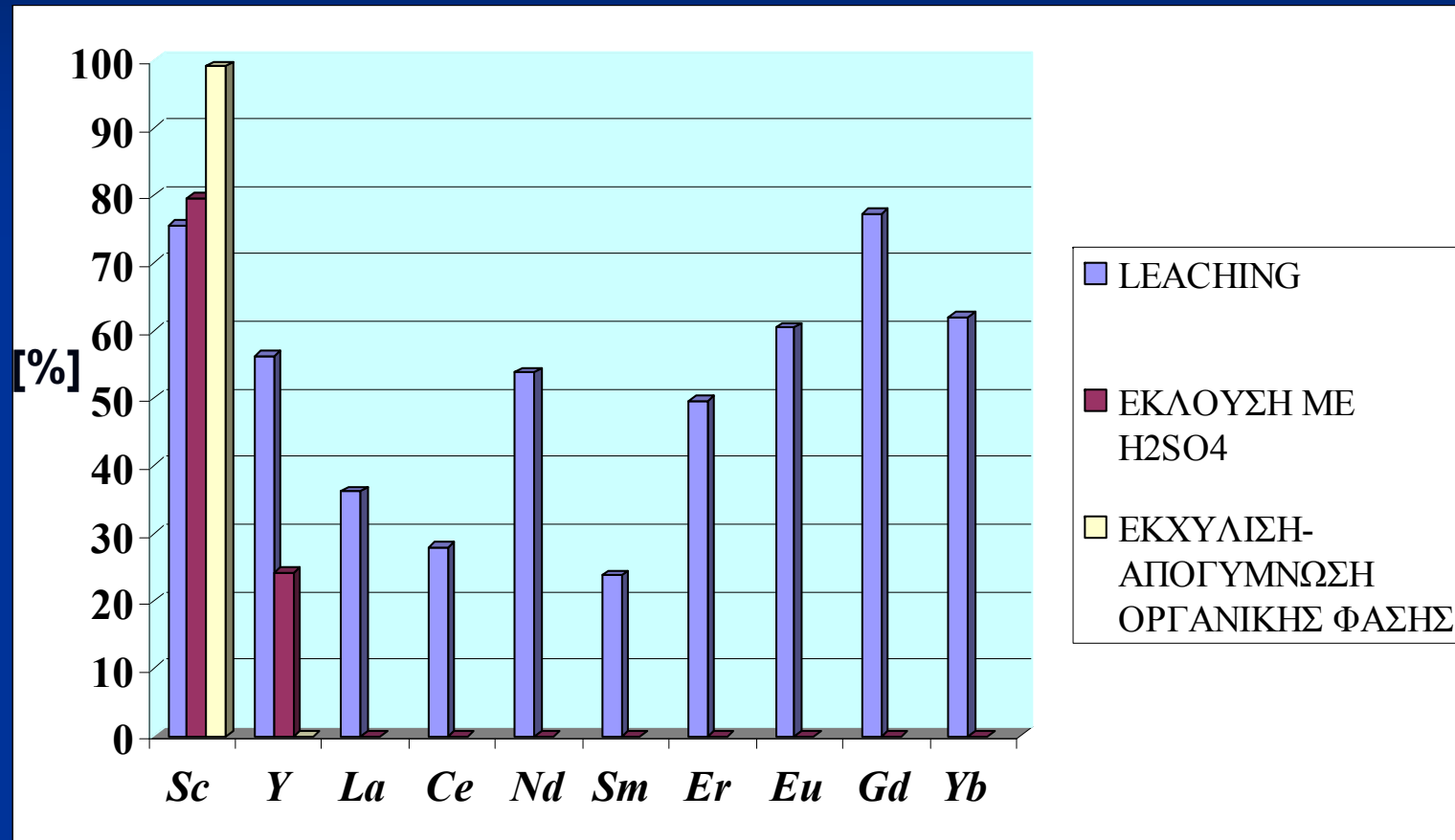
# ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ, ΕΝΔΙΑΜΕΣΩΝ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ

- ICP-AES
  - XRF
  - INAA
  - AAS
- (προσδιορισμός σκανδίου και σπανίων  
γαιών)
- (προσδιορισμός κυρίων στοιχείων)

## Ορυκτολογική μελέτη

- XRD
- SEM/EDX ή SEM/WDX

# ΣΤΑΔΙΟ ΥΔΡΟΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΗΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ, ΙΟΝΕΝΑΛΛΑΓΗΣ, ΕΚΧΥΛΙΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΓΥΜΝΩΣΗΣ ΠΟΣΟΣΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ



Εκτιμώμενο κόστος παρτίδας 2€/ 10 kg E.I./ 1 g Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

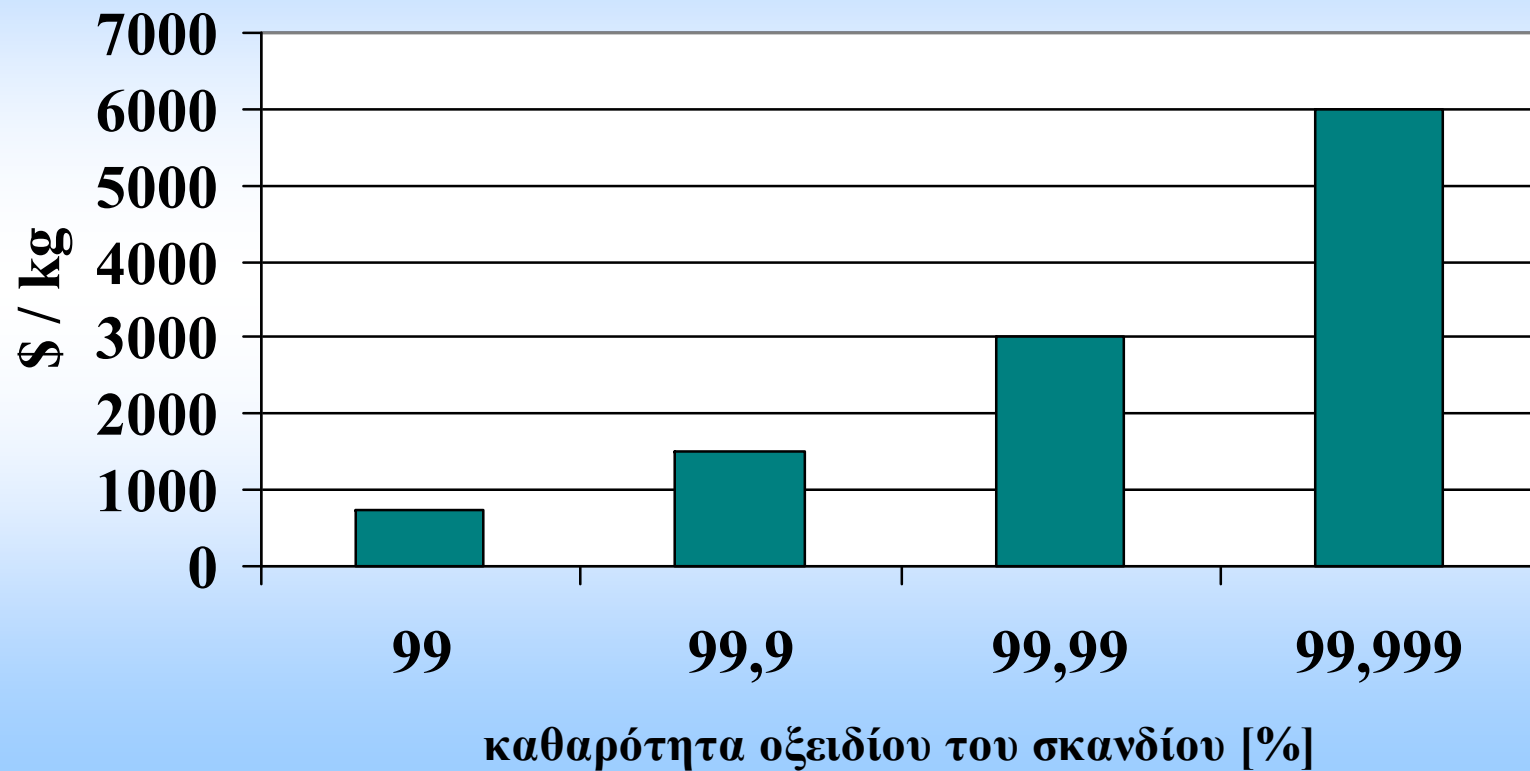
## Επίδραση της καθαρότητας και της σύστασης των τελικών προϊόντων στην οικονομικότητα της μεθόδου

### Παράγοντες που διαμορφώνουν την τιμή του σκανδίου ( ισχυρή διακύμανση των τιμών)

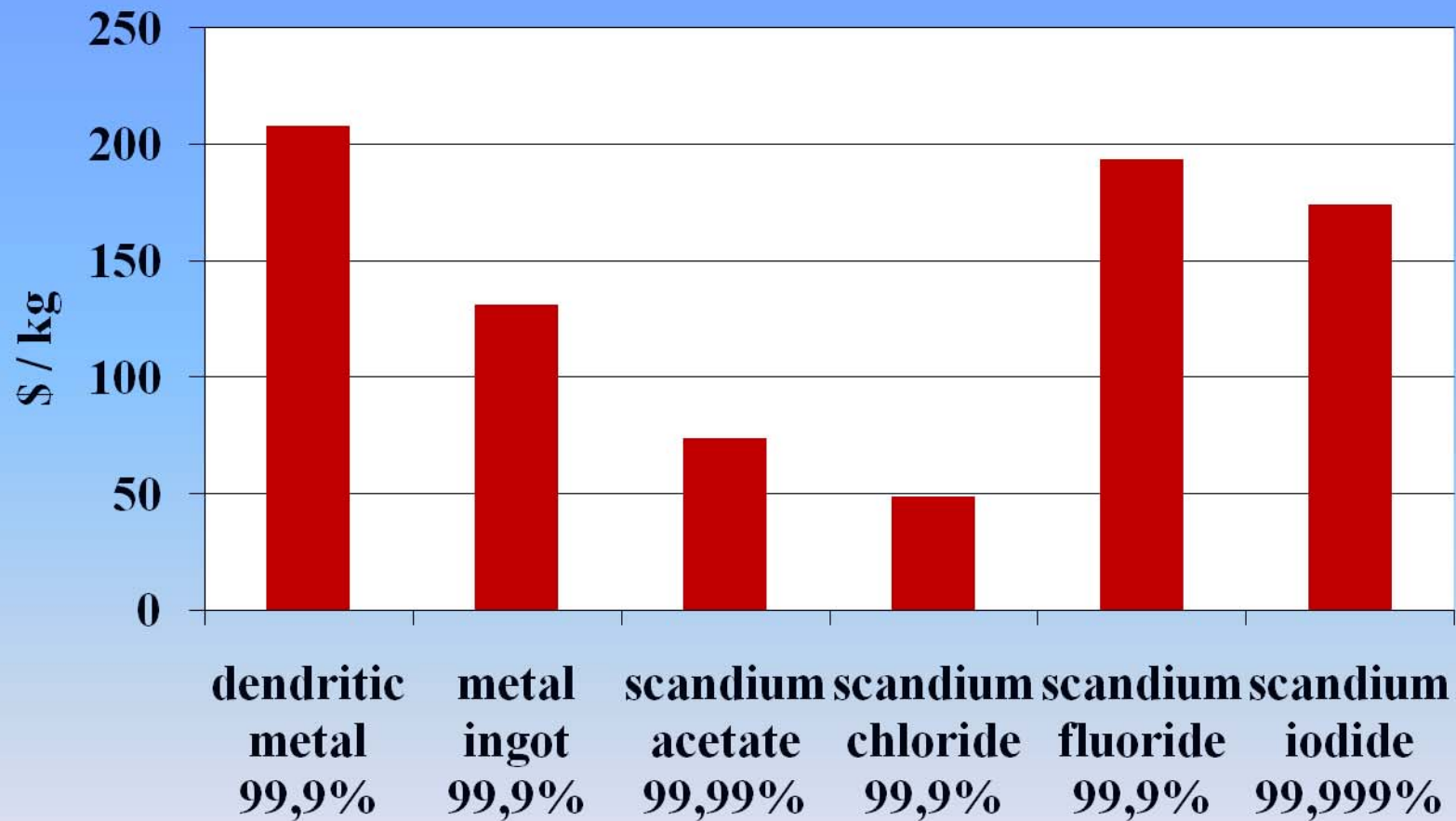
1. Καθαρότητα του τελικού προϊόντος
2. Εφαρμογή για την οποία προορίζεται (π.χ. αναλυτικά αντιδραστήρια)
3. Ποσότητα που διατίθεται
4. Μορφή και συσκευασία του προϊόντος

Τιμές διαμορφώνονται από 200 \$/g Sc έως 500 \$/kg  $\text{Sc}_2\text{O}_3$

## Τιμές οξειδίου του σκανδίου συναρτήσει της καθαρότητας



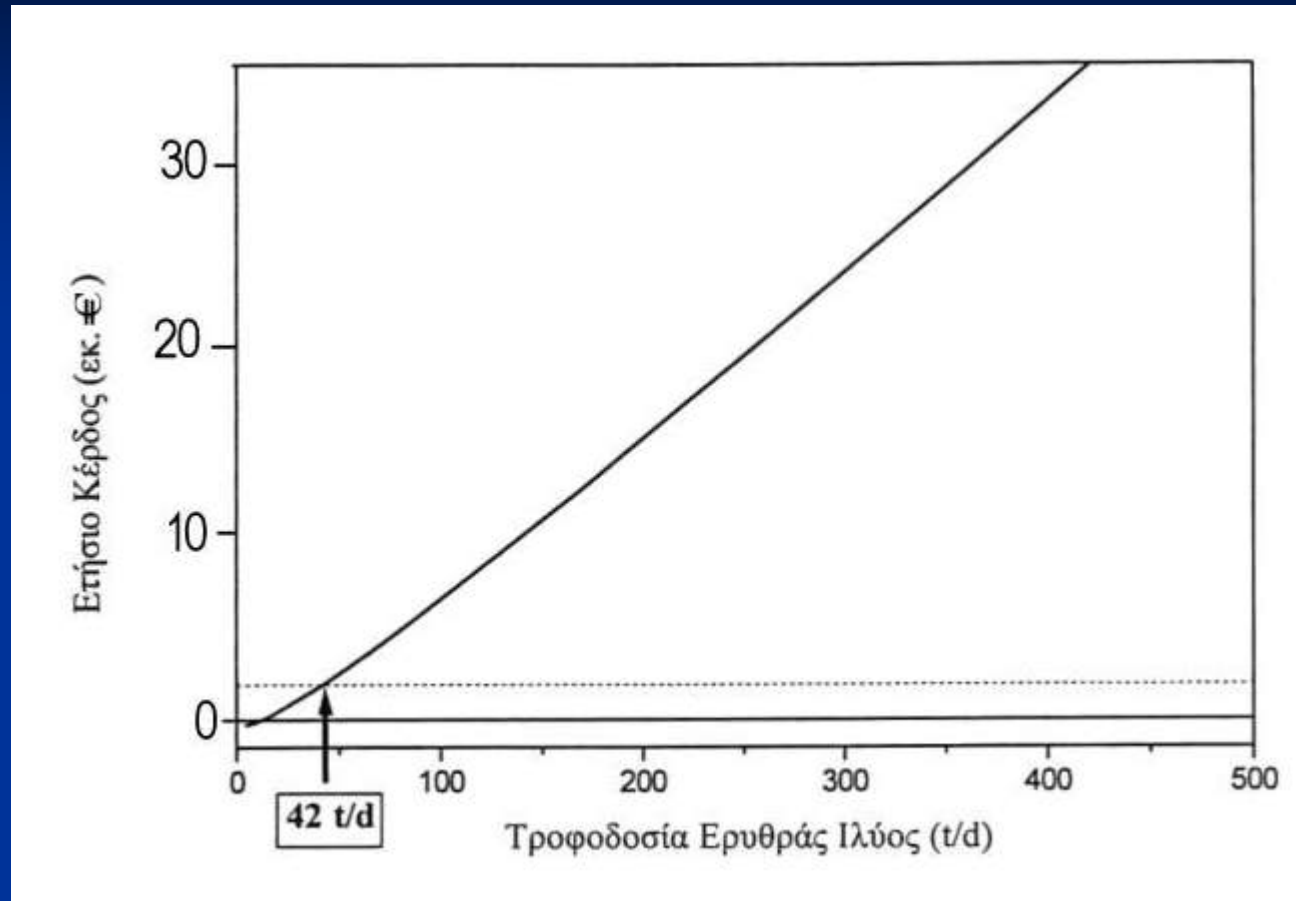
Πηγή: Alfa Aesar, a Johnson Matthey company



Τιμές (\$/kg) μετάλλου και άλλων ενώσεων του σκανδίου

Πηγή: Alfa Aesar, a Johnson Matthey company

## ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΥ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ



Μεταβολή του βέλτιστου κέρδους ως προς την ημερήσια τροφοδοσία ερυθράς ιλύος σε μονάδα βιομηχανικής κλίμακας

Στα πλαίσια του έργου πραγματοποιήθηκαν :

### **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ**

- ✓ **Ψαλλίδα Ανθή**, «Διαχωρισμός των λανθανιδών, υτρίου και σκανδίου απο τα κύρια στοιχεία κατεργασμένης ερυθράς ιλύος με ιονεναλλαγή και προσδιορισμός τους με φασματομετρο εκπομπής με διέγερση πλάσματος», Αθήνα 2000
- ✓ **Γκουρούσης Γιάννης**, «Διαχωρισμός σκανδίου από σίδηρο με εκλεκτική εκχύλιση από διεργασία αξιοποίησης της ερυθράς ιλύος», Αθήνα 2002
- ✓ **Παγώνας Παναγιώτης**, «Εφαρμογή σε πιλοτική κλίμακα πρωτότυπης εργαστηριακής μεθόδου διαχωρισμού και ανάκτησης σκανδίου από την ερυθρά ιλύ. Διερεύνηση της βελτιστοποίησης των σταδίων της διεργασίας», Αθήνα 2004
- ✓ **Ρεμπεστέκος Παναγιώτης**, «Διαχωρισμός των σπανίων γαιών με υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης», Αθήνα 2005

### **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ**

**Φουντουλάκης Εμμανουήλ**, «Μελέτη διαχωρισμού σπανίων γαιών απο μίγματά τους με εκλεκτική εκχύλιση και προσδιορισμός τους με φασματομετρικές μεθόδους», Αθήνα 2007

### **ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΕΣ ΔΙΑΤΡΙΒΕΣ**

- ✓ **Λυμπεροπούλου Θεοπίστη**, «Προσδιορισμός και ανάκτηση σπανίων γαιών από βωξίτες και ερυθρά ιλύ», Αθήνα 1996
- ✓ **Τσακανίκα Λαμπρινή – Αρετή**, «Διαχωρισμός και παραλαβή λανθανιδών από την ερυθρά ιλύ με εκχυλιστικές και χρωματογραφικές τεχνικές», (συγγραφή)

# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΣΤΟ ΕΡΓΟ

## ΕΜΠ, ΣΧΟΛΗ Χ. Μ.

### Μέλη ΔΕΠ

**Επιστ. Υπεύθ.: Μ. Όξενκιουν–Πετροπούλου**

Καθηγήτρια ΕΜΠ

†Γ.Παρισάκης, Ομότιμος Καθηγητής ΕΜΠ

Δ. Μαρίνος – Κουρής, Καθηγητής ΕΜΠ

### Μόνιμο Προσωπικό ΕΜΠ

Θ. Λυμπεροπούλου, Χημικός, ΕΕΔΙΠ

Κ. Χατζηλυμπέρης, Χ.Μ., ΙΔΑΧ

Λ. Μενδρινός, Χ.Μ., ΙΔΑΧ

Λ.-Α. Τσακανίκα, Χ.Μ., ΙΔΑΧ

Κ. Σαλμάς, Χ.Μ., ΙΔΑΧ Ε.

Α. Αβραμίδης, ΕΕΔΙΠ

## ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Ι. Νικολαΐδης, Χ.Μ., Προϊστάμενος Χημείου

Α. Τσιριγωτάκης, Χημικός

Π. Αργυρίου, Χ.Μ.

## ΕΚΕΦΕ ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ

Κλάους-Μιχαήλ Όξενκιουν, Χημικός

### Συνεργαζόμενοι Ερευνητές

Ρ. Αργυροπούλου, Χ.Μ.

Φ. Τσόπελας, Χ.Μ.

Μπαρδάκας, Χ.Μ.