



**Βελτιστοποίηση παραγωγής
αλουμινίου με τεchnο-οικονομικά &
περιβαλλοντικά κριτήρια**

Βιομηχανικοί Κλάδοι Δ. Σιδηράς & Α. Γεροντή 22-10-2025

1

Βωξίτες



2

2

Το ορυκτό...



- Το 1844 ο Γάλλος επιστήμονας Dufrenoy χαρακτήρισε το ορυκτό που μελετήθηκε το 1821 από το Γάλλο χημικό Berthier στο χωριό Les Baux, της Ν. Γαλλίας ως βωξίτη (bauxite).
- Είναι αργιλοπυριτικό ορυκτό το οποίο έχει υποστεί αποσάθρωση σε υψηλές θερμοκρασίες σχηματίζοντας υδροξείδια του αργιλίου ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ή $\text{Al}(\text{OH})_3$).

3

3

Χρώμα Βωξιτών

Το χρώμα των βωξιτών εξαρτάται από τη σύσταση τους και ιδιαίτερα από την παρουσία των οξειδίων ή υδροξειδίων του σιδήρου.

Διακρίνουμε:

- Κόκκινους ή καστανοκόκκινους (παρουσία αιματίτη)
- Κίτρινους (παρουσία γκαιτίτη)
- Γκρίζους με μικρό ποσοστό οξειδίων του σιδήρου
- Λευκούς (απουσία οξειδίων του σιδήρου)



4

Χρήσεις Βωξιτών

- Ο βωξίτης είναι το κυριότερο συστατικό για την παραγωγή αλουμίνας
- Στην παραγωγή αλουμινούχων τσιμέντων
- Στην παραγωγή ορυκτών ινών
- Ως συστατικό στην παραγωγή τσιμέντων τύπου Portland
- Ως ρυθμιστής της σκωρίας στην παραγωγή σιδήρου
- Άλλες χρήσεις, π.χ., λειαντικών, παραγωγή τεχνητού κορούνδιου

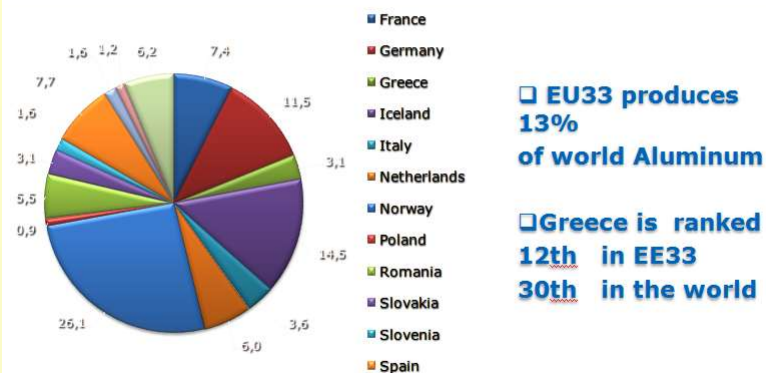
5

5

ΧΩΡΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΩΞΙΤΗ

Η Αυστραλία είναι η πρώτη χώρα σε παραγωγή αλουμινίου. Τα αποθέματα της σε βωξίτη εκτιμώνται σε 587 Mt.

European Aluminum production



www.oryktosploutos.net

6

6

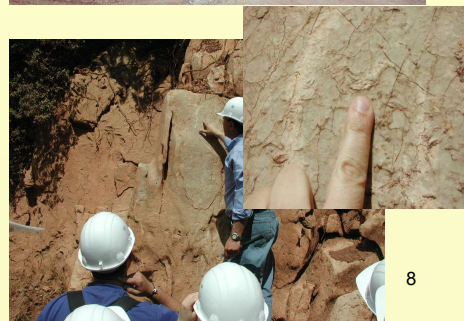
Ελληνικός Βωξίτης

- Ο βωξίτης στην Ελλάδα χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή αλουμίνας.
- Τα κυριότερα κοιτάσματα βρίσκονται στις ορεινές περιοχές Παρνασσού και Γκιώνας, στην κεντρική Ελλάδα, περίπου 200 χλμ. ΝΔ της Αθήνας, στην Εύβοια, στη Λοκρίδα, στο Δομοκό, στη ΝΑ Θεσσαλία, στο Καλλίδρομο και στη Σκόπελο, η εξόρυξη των οποίων γίνεται σε επιφανειακά και υπόγεια μεταλλεία.
- Στα κοιτάσματα του Παρνασσού η εκμετάλλευση του βωξίτη ξεκινά από τη δεκαετία του '30 και μέχρι το 1938 η παραγωγή είχε φτάσει το 5% της παγκόσμιας παραγωγής.
- Σήμερα η ελληνική παραγωγή φτάνει το 1,7% της παγκόσμιας παραγωγής και το 60% της Ευρωπαϊκής.
- Μετά την εξόρυξη, ο βωξίτης μεταφέρεται στην Ιτέα στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, διαχείρισης και φόρτωσης.

7

7

Ελληνικός Βωξίτης

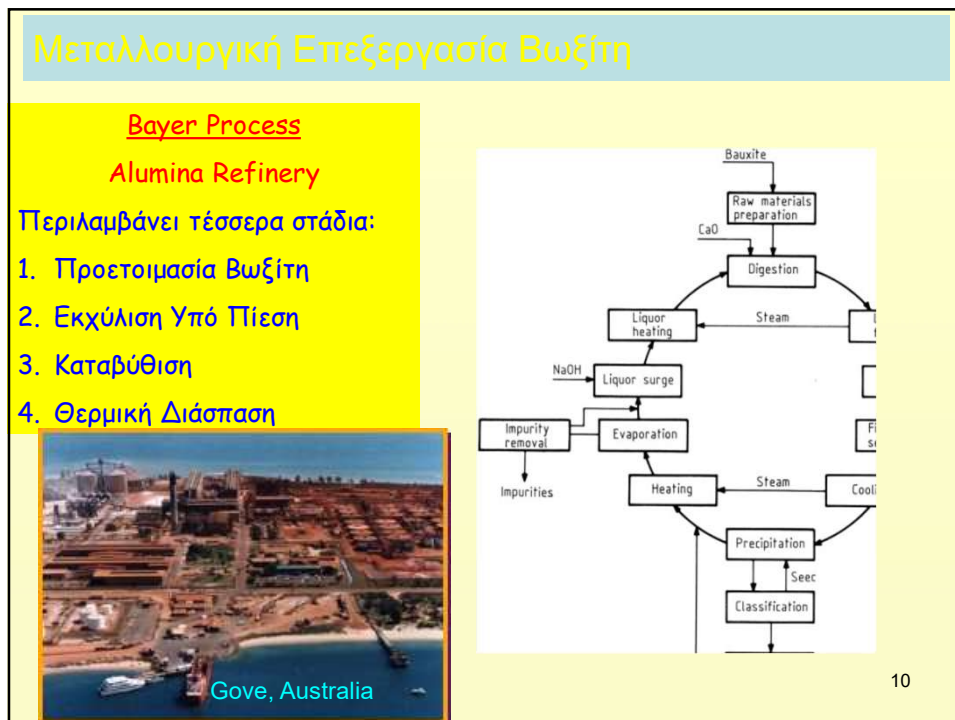


8

8



9



10

Μεταλλουργική Επεξεργασία Βωξίτη

Bayer Process

Εκχύλιση υπό πίεση με διάλυμα καυστικού νατρίου

Το πρώτο χημικό στάδιο της κατεργασίας βωξίτη είναι η διάλυση όλου του περιεχομένου σε αυτόν Al_2O_3 σε ισχυρά αλκαλικό διάλυμα NaOH .

Στόχοι:

1. Λήψη σταθερού διαλύματος με τη μέγιστη δυνατή συγκέντρωση σε Al .
2. Χρησιμοποίηση της ελάχιστης δυνατής ποσότητας ενέργειας.

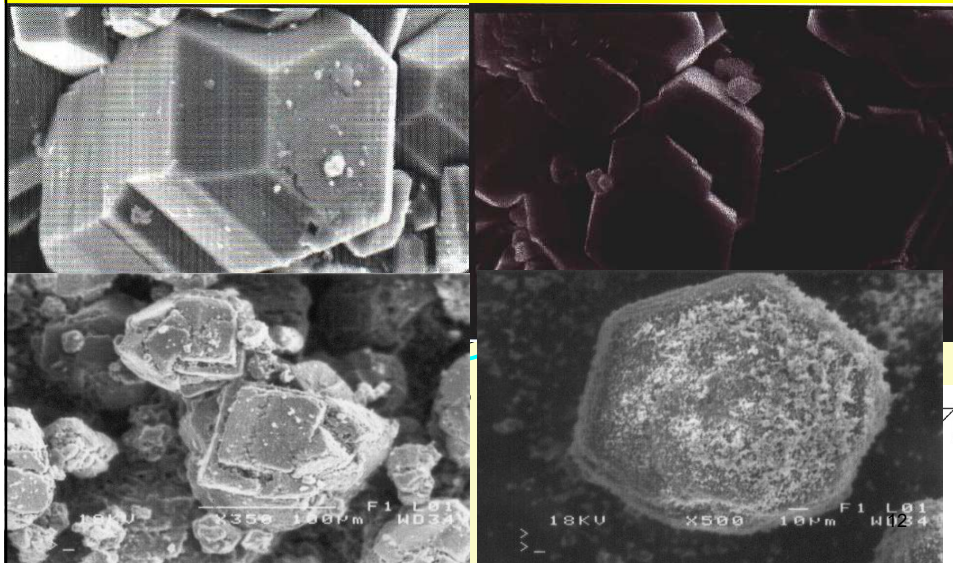
11

11

Μεταλλουργική Επεξεργασία Βωξίτη

Bayer Process

Στάδιο καταβύθισης ένυδρης αλουμίνας από το υπέρκορο αργίλικό διάλυμα

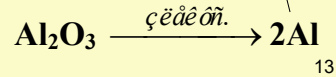
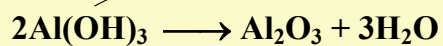
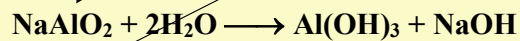
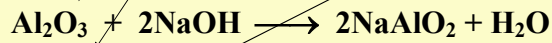
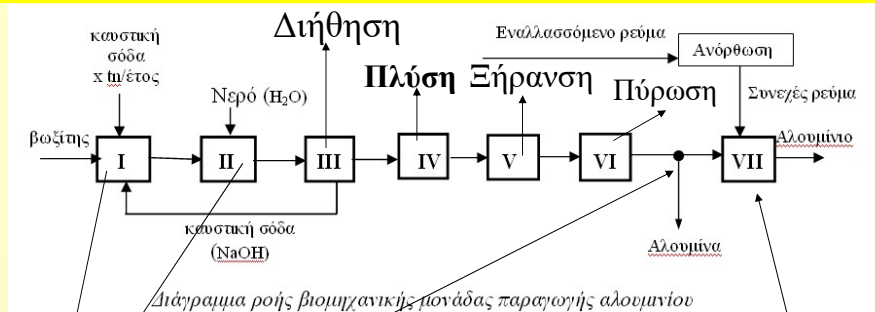


12

Παραγωγή αλουμινίου

Bayer Process

Εκχύλιση υπό πίεση με διάλυμα καυστικού νατρίου

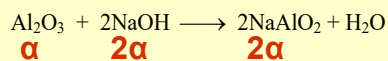


13

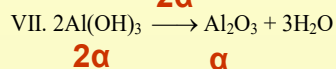
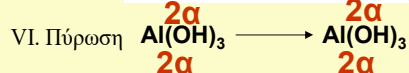
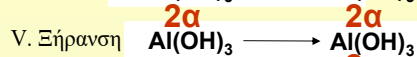
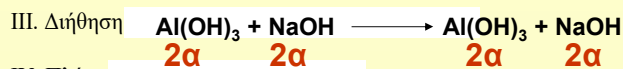
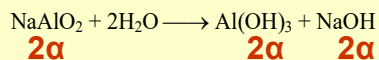
13

Το σύστημα

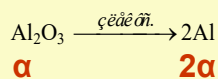
I. Διαλυτοποίηση βωξίτη



II. Υδρολυτική διάσπαση



VIII. Ηλεκτρόλυση



Βωξίτης με 50-60%
περιεκτικότητα σε
αλουμίνα

14

14

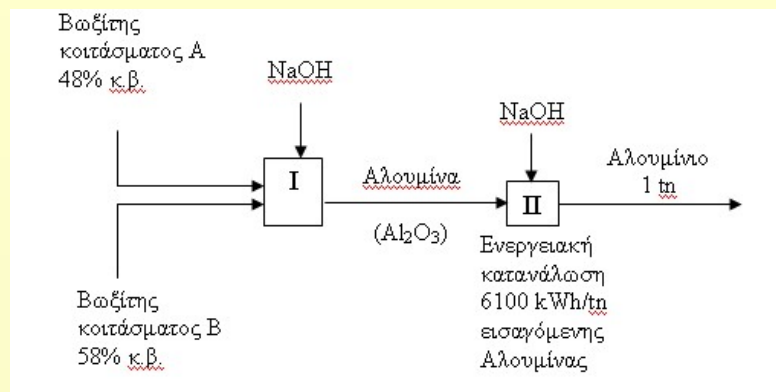
5.1 Εφαρμογές (1)

- Σχεδιάζεται η ίδρυση εργοστασίου καθετοποιημένης παραγωγής αλουμινίου (Al) από βωξίτη στη Βοιωτία.
- Υπάρχουν δύο προμηθευτές βωξίτη, Α και Β, που εκμεταλλεύονται αντίστοιχα κοιτάσματα.
- Να επιλέξετε προμηθευτή με κριτήριο τη μεγιστοποίηση του κέρδους.

15

15

5.1 Εφαρμογές (1)



16

16

5.1 Εφαρμογές (1)

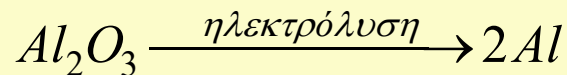
- Τιμή βωξίτη κοιτάσματος Α 30 ευρώ/tn.
- Τιμή βωξίτη κοιτάσματος Β 34 ευρώ/tn.
- Η τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι 0,07 ευρώ/kWh.
- Η τιμή ισορροπίας του αλουμινίου στο διεθνές χρηματιστήριο μετάλλων του Λονδίνου είναι 1350 ευρώ/tn Al.
- Οι λοιπές δαπάνες επεξεργασίας στο Στάδιο (I) είναι 10 ευρώ/tn βωξίτη.
- Οι λοιπές δαπάνες επεξεργασίας στο Στάδιο (II) (εκτός ηλεκτρικής ενέργειας) είναι 35 ευρώ/tn Al.

17

17

5.1 Εφαρμογές (1)

- Στάδιο I:
- Παραγωγή καθαρής αλουμίνας (Al_2O_3) απόδοση 85%
- Στάδιο II:
- Παραγωγή καθαρού αλουμινίου (Al): απόδοση 90%

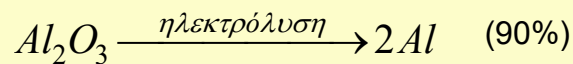


18

18

5.1 Εφαρμογές (1)

- Στάδιο I:
- Ακάθαρτη $Al_2O_3 \rightarrow$ καθαρή Al_2O_3 (85%)
 $2,142/0,85 = 2,52 \text{ tn} \quad 2,142 \text{ tn}$
- Στάδιο II:



$$0,037/(0,9 \times 2) = 0,021 \quad 0,037$$

$$\rightarrow MB: 102 \rightarrow m = 0,021 \times 102 = 2,142 \text{ tn}$$

Έστω 1 tn αλουμινίου

- AB: 27 $\rightarrow$ Mmoles = $1/27 = 0,037$

19

19

5.1 Εφαρμογές (1)

- Δηλ., για την παραγωγή 1 tn Al απαιτούνται 2,52 tn αλουμίνας σαν α΄ ύλη και ηλεκτρολύονται 2,142 tn αλουμίνας
- Προμηθευτής A:
- Α΄ ύλη που πρέπει να αγορασθεί: $2,52/0,48 = 5,25 \text{ tn}$
 - Κόστος αγοράς: $5,25 \times 30 = 157,5 \text{ €}$
 - Κόστος σταδίου I: $10 \times 5,25 = 52,5 \text{ €}$
- Τελικό προϊόν: 1 tn Al
 - Κόστος σταδίου II: 35 €
 - Κόστος ενέργειας: $(6100 \times 2,142) \times 0,07 = 914,6 \text{ €}$
- Συνολικά έξοδα: 1159,6 €
- Έσοδα: $1 \times 1350 = 1350 \text{ €}$
- Κέρδος: 190,4 €

20

20

5.1 Εφαρμογές (1)

- Δηλ., για την παραγωγή **1 tn Al** απαιτούνται **2,52 tn αλουμίνας** σαν α΄ ύλη και ηλεκτρολύονται **2,142 tn αλουμίνας**
- Προμηθευτής B:
- Α΄ ύλη που πρέπει να αγορασθεί: $2,52/0,58 = 4,34 \text{ tn}$
 - Κόστος αγοράς: $4,34 \times 34 = 147,56 \text{ €}$
 - Κόστος σταδίου I = $10 \times 4,34 = 43,4 \text{ €}$
- Τελικό προϊόν: **1 tn Al**
 - Κόστος σταδίου II: **35 €**
 - Κόστος ενέργειας: $(6100 \times 2,142) \times 0,07 = 914,6 \text{ €}$
- Συνολικά έξοδα: **1140,56 €**
- Έσοδα: $1 \times 1350 = 1350 \text{ €}$
- Κέρδος: **209,44 € > 190,4 €**

Προτιμάται ο προμηθευτής B

21

21

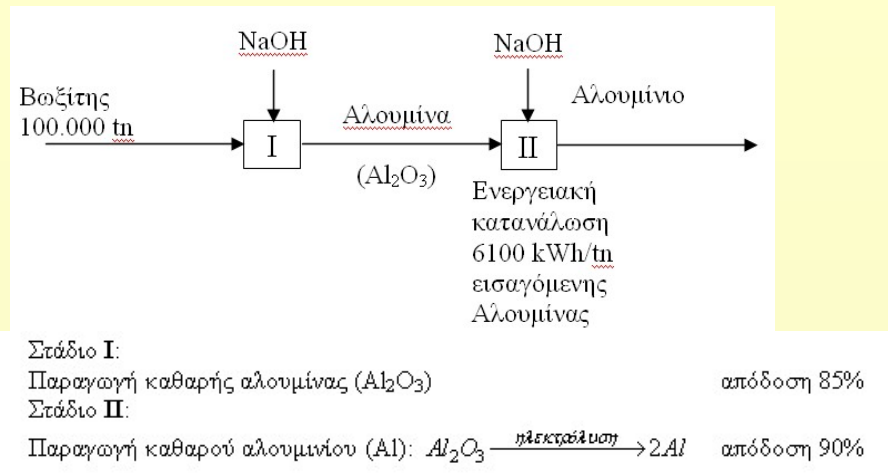
5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (1)

- Σχεδιάζεται η ίδρυση εργοστασίου καθετοποιημένης παραγωγής αλουμινίου (Al) ή μόνον αλουμίνας (Al_2O_3) από βωξίτη στη Βοιωτία, δυναμικότητας επεξεργασίας 100.000 tn βωξίτη ανά μήνα.
- Με ποια μέγιστη τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας συμφέρει (οριακά) η παραγωγή / πώληση αλουμινίου και όχι αλουμίνας;
- Καθαρότητα βωξίτη 52% κ.β. σε Al_2O_3 .
- Τιμή βωξίτη 30 ευρώ/tn.
- Τιμή πώλησης αλουμίνας 190 €/tn.
- Η τιμή ισορροπίας του αλουμινίου είναι 1350 ευρώ/tn Al.
- Οι λοιπές δαπάνες επεξεργασίας στο Στάδιο (I) είναι 10 ευρώ/tn βωξίτη.
- Οι λοιπές δαπάνες επεξεργασίας στο Στάδιο (II) (εκτός ηλεκτρικής ενέργειας) είναι 15 ευρώ/tn αλουμίνας.

22

22

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (1)



23

23

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (1)

- Αν παράγουμε αλουμίνα...
- 100.000 tn βωξίτη περιέχουν 52% αλουμίνα
 - Ακάθαρτη αλουμίνα: $0,52 \times 100000 = 52000$ tn
- Στάδιο I:
- Ακάθαρτη $Al_2O_3 \rightarrow$ καθαρή Al_2O_3 (85%)

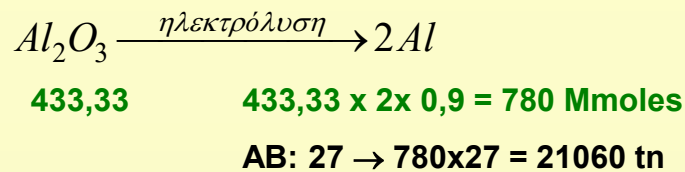
52.000tn **$52.000 \times 0,85 = 44200$ tn****Έξοδα:****Αΰλη:** $100.000 \times 30 = 3.000.000$ €**Κόστος σταδίου I:** $100000 \times 10 = 1.000.000$ €**Σύνολο:** 4.000.000 €**Έσοδα:** **$44200 \times 190 = 8.398.000$ €****Κέρδος:****4.398.000 €**

24

24

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (1)

- Αν συνεχίσουμε για αλουμίνιο...
- Κόστος μέχρι στάδιο I: 4.000.000 €
- Θα ηλεκτρολυθούν **44200 tn** αλουμίνας
 - MB: 102 → 44200/102 = 433,33 Mmoles
- Στάδιο II:



25

25

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (1)

- Αν συνεχίσουμε για αλουμίνιο...
- Κόστος μέχρι στάδιο I: **4.000.000 €**
- Θα ηλεκτρολυθούν **44200 tn** αλουμίνας
- Θα παραχθούν **21060 tn** αλουμινίου
- Έσοδα: 21060 x 1350 = **28.431.000 €**
- Έξοδα: μέχρι το στάδιο I + στάδιο II + ενέργεια
 - = 4.000.000 + (44200 x 15) + ενέργεια
 - = 4.000.000 + 663.000 + ενέργεια = **4.663.000 + ενέργεια**
- Κέρδος = έσοδα – έξοδα
 - = 28.431.000 – (4.663.000 + ενέργεια) = **23.768.000 - ενέργεια**

26

26

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (1)

- Για να είναι οριακά συμφέρουσα
 – $23.768.000 - \text{ενέργεια} = 4.398.000 \text{ €}$
 – $\Rightarrow \text{ενέργεια} = 19.370.000$
- Kwh που απαιτούνται για την παραγωγή 21060 tn αλουμινίου
 – $44200 \times 6100 = 269.620.000 \text{ Kwh}$
- Οι οποίες θα πρέπει να κοστίζουν $19.370.000 \text{ €}$
 – Τιμή kwh: $19.370.000 / 269.620.000 = 0,0718 \text{ €}$

27

27

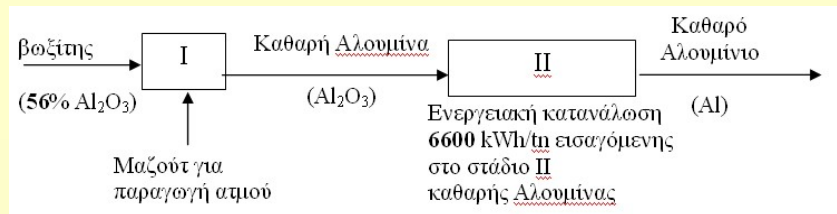
5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (2)

- Για την παραγωγή καθαρού αλουμινίου χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη βωξίτης Παρνασσού με περιεκτικότητα **56%**κ.β. σε αλουμίνα (Al_2O_3).
- Η απόδοση του σταδίου I, δηλ. η παραγωγή καθαρής αλουμίνας από βωξίτη, είναι **81%** και η απόδοση του σταδίου II, δηλ. η παραγωγή καθαρού αλουμινίου από αλουμίνα, είναι **93%**.

28

28

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (2)



29

29

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (2)

- Να υπολογίσετε το κόστος παραγωγής σε ευρώ ανά tn τελικού προϊόντος (καθαρού αλουμινίου).
 - Τιμή αγοράς βωξίτη 30 ευρώ/tn
 - Τιμή αγοράς kWh 0,05 ευρώ
 - Δαπάνη αγοράς μαζούτ 6 ευρώ/tn βωξίτη
 - Λοιπές δαπάνες επεξεργασίας στο Στάδιο I 10 ευρώ/tn βωξίτη
 - Λοιπές δαπάνες επεξεργασίας στο Στάδιο II 20 ευρώ/tn αλουμίνας

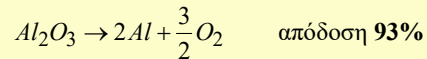
30

30

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (2)

Αν λόγω αύξησης της τιμής του πετρελαίου αυξηθεί κατά **30%** τόσο η τιμή του μαζούτ όσο και της kWh, να υπολογίσετε το ποσοστό (%) αύξησης του συνολικού κόστους του παραγόμενου προϊόντος (καθαρού αλουμινίου).

Δίνονται: Η ηλεκτροχημική αντίδραση στο Στάδιο II είναι:



Ατομικά βάρη Al: 27, O: 16

31

31

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (2)

- Έστω 1 tn παραγόμενου αλουμινίου

– AB: 27 → moles: $1/27 = 0,037$ Mmoles

Βωξίτης: $2,52/0,56 = 4,5$ tn

I. μεταλ. $Al_2O_3 \rightarrow$ καθ. Al_2O_3 (81%)

$2,04/0,81 = 2,52$ tn $2,04$ tn

II. $Al_2O_3 \rightarrow 2Al + \frac{3}{2}O_2$ (93%)

$0,037/(2*0,93) = 0,02$

$=0,02$

MB: $102 \rightarrow 102*0,02=2,04$ tn

32

32

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (2)

- Κόστος παραγωγής 1 tn αλουμινίου

- | | |
|--|---|
| – Κόστος αγοράς βωξίτη: | – Κόστος ηλεκτρόλυσης: |
| • $4,5 \text{ tn} * 30 \text{ €/tn} = 135 \text{ €}$ | • $6600 \text{ kwh/tn αλουμίνας} * 2,04 \text{ tn} =$ |
| – Δαπάνη αγοράς μαζούτ για στάδιο I: | 13464 kwh |
| • $6 \text{ €/tn βωξίτη} * 4,5 \text{ tn} = 27 \text{ €}$ | • Τιμή αγοράς kwh: |
| – Λοιπές δαπάνες σταδίου I: | – $0,05 \text{ €/kwh} * 13464 \text{ kwh} =$ |
| • $10 \text{ €/tn βωξίτη} * 4,5 \text{ tn} = 45 \text{ €}$ | 673,2 € |
| | – Λοιπές δαπάνες σταδίου II: |
| | • $20 \text{ €/tn αλουμίνας} * 2,04 = 40,8 \text{ €}$ |

I: 207 €

Σύνολο: 921 €

II: 714 €

33

33

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (2)

- *Αν αυξηθεί το πετρέλαιο*

- | | |
|--|---|
| – Κόστος αγοράς βωξίτη: | – Κόστος ηλεκτρόλυσης: |
| • $4,5 \text{ tn} * 30 \text{ €/tn} = 135 \text{ €}$ | • $6600 \text{ kwh/tn αλουμίνας} * 2,04 \text{ tn} =$ |
| – Δαπάνη αγοράς μαζούτ για στάδιο I: | 13464 kwh |
| • $1,3 * 6 \text{ €/tn βωξίτη} * 4,5 \text{ tn} =$ | • Τιμή αγοράς kwh: |
| 35,1 € | – $1,3 * 0,05 \text{ €/kwh} * 13464 \text{ kwh} =$ |
| | 875,16 € |
| | – Λοιπές δαπάνες σταδίου II: |
| | • $20 \text{ €/tn αλουμίνας} * 2,04 = 40,8 \text{ €}$ |

I: 215,1 € (↑4%)

Σύνολο: 1131,1 € (↑22,8%) 6 € (↑28%)

34

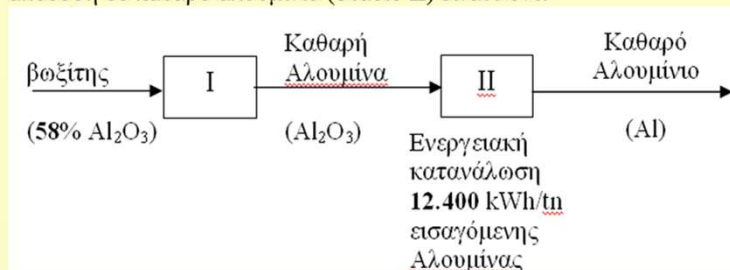
34

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (3)

Για την παραγωγή καθαρού αλουμινίου υπάρχουν 2 μέθοδοι:

Μέθοδος Α (με πρωτογενή πρώτη ύλη: μέταλλευμα βωξίτη)

Χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη βωξίτης Παρνασσού με περιεκτικότητα **58%** κ.β. σε αλουμίνη (Al_2O_3). Η απόδοση σε καθαρή αλουμίνη (στάδιο Ι) είναι **80%** και η απόδοση σε καθαρό αλουμίνιο (στάδιο ΙΙ) είναι **90%**.

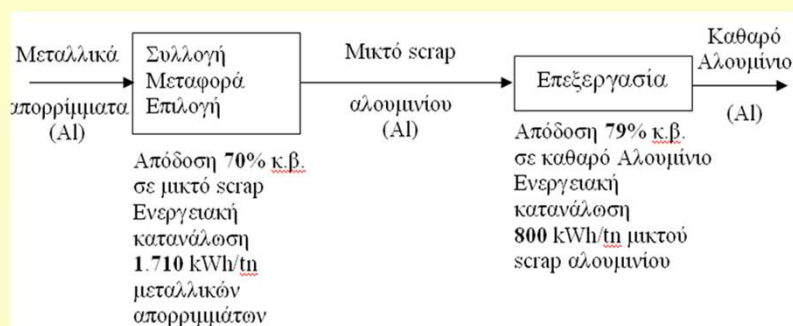


35

35

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (3)

Μέθοδος Β (με δευτερογενή πρώτη ύλη από ανακύκλωση)



36

36

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (3)

Να προσδιορίσετε:

- (α) την εξοικονόμηση ενέργειας σε kWh/tn Al και
- (β) την εξοικονόμηση υλικών σε tn βωξίτη/tn Al που επιτυγχάνονται

αν αντί βωξίτη (μέθοδος A) χρησιμοποιήσουμε scrap αλουμινίου (κυρίως από μεταλλικά κουτάκια αναψυκτικών) οπότε έχουμε παραγωγή αλουμινίου με ανακύκλωση (μέθοδος B).

37

37

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (3)

- Ζητούνται 2 παράμετροι
 - Η εξοικονόμηση ενέργειας
 - Οπότε πρέπει να βρεθεί η κατανάλωση ενέργειας στο στάδιο II της μεθόδου A και στα στάδια I & II της μεθόδου B
 - Θεωρώντας 1 tn παραγόμενου Al
 - Η εξοικονόμηση α' ύλης
 - Η ανακύκλωση δεν χρησιμοποιεί βωξίτη → οπότε εξοικονομείται όλη η ποσότητα βωξίτη που πρέπει να καταναλωθεί ώστε να παραχθεί 1 tn Al με την μέθοδο A.

38

38

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (3)

- Έστω 1 tn παραγόμενου αλουμινίου – Μέθοδος Α

– AB: 27 → moles: $1/27 = 0,037$ Mmoles

Βωξίτης: $2,6/0,58 = 4,5$ tn

I. μεταλ. $Al_2O_3 \rightarrow$ καθ. Al_2O_3

$2,091/0,80 = 2,6$ tn $2,091$ tn

Κατανάλωση υλικών:

4,5 tn βωξίτης

II. $Al_2O_3 \rightarrow 2 Al + 3/2 O_2$ (90%)

$0,037/(2*0,90) = 0,0205$

=0,0205

Κατανάλωση ενέργειας:

$12.400 \text{ kwh/tn αλουμίνης} * 2,091 =$

25928,4 kwh

MB: $102 \rightarrow 102*0,0205 = 2,091$ tn

39

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (3)

- Έστω 1 tn παραγόμενου αλουμινίου – Μέθοδος Β

– AB: 27 → moles: $1/27 = 0,037$ Mmoles

απορρίμματα: 1,8 tn

I. μεταλ. απορρίμ → μικτό

$1,26/0,70 = 1,8$ tn $1,26$ tn

Κατανάλωση υλικών:

0 tn βωξίτης

II. Scrap Al → Al (79%)

$1/0,79 =$

Κατανάλωση ενέργειας:

$(1710 \text{ kwh/tn απορ.} * 1,8) + (800 \text{ kwh/tn scrap} * 1,26)$

= 4086 kwh

40

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (3)

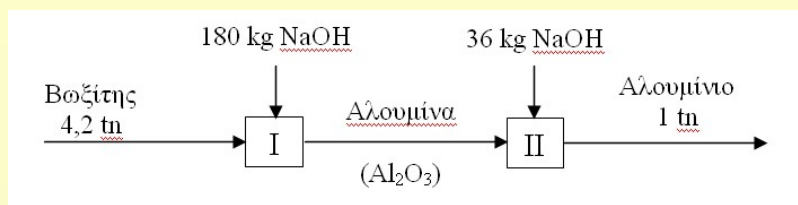
	Μέθοδος Α	Μέθοδος Β	εξοικονόμηση
Ορυκτές ύλες (tn βωξίτη/tn Al)	4,5 tn	0	4,5
Ενέργεια (kwh/tn Al)	25928,4	4086	21842,4

41

41

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (4)

- Σχεδιάζεται η ίδρυση εργοστασίου παραγωγής αλουμινίου (Al) από βωξίτη στη Βοιωτία, παραγωγικής ικανότητας (δυναμικότητας) επεξεργασίας 1.200.000 tn βωξίτη ανά έτος.

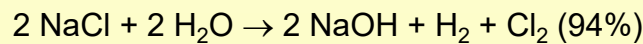


42

42

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (4)

- Μια από τις βασικές ύλες που χρησιμοποιούνται είναι η καυστική σόδα, η οποία παράγεται στο βιομηχανικό συγκρότημα των Ελληνικών Πετρελαίων (ΕΛΠΕ) στη Θεσσαλονίκη, με ηλεκτρόλυση χλωριούχου νατρίου (NaCl).



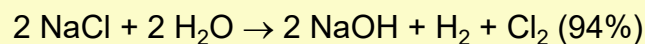
- Πόσο πρέπει να αυξηθεί η δυναμικότητα (σε tn NaCl ανά έτος) της βιομηχανικής μονάδας των ΕΛΠΕ, προκειμένου να αντιμετωπίσουν την αυξημένη ζήτηση NaOH, λόγω της ίδρυσης του νέου εργοστασίου στη Βοιωτία.

43

43

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (4)

- Σύμφωνα με την παραγωγή του εργοστασίου αλουμινίου, για κάθε 4,2 tn επεξεργαζόμενου βωξίτη απαιτούνται 180 kg NaOH για το στάδιο I + 36 kg NaOH για το στάδιο II
 - Σύνολο 216 kg ή 0,216 tn NaOH
- Για την ετήσια δυναμικότητα των 1.200.000 tn βωξίτη θα απαιτηθεί η προμήθεια
 - $0,216 * (1.200.000/4,2) = 61.714,3 \text{ tn NaOH}$
 - MB: 40 $\rightarrow$ Mmoles: $61.714,3/40 = 1543$



$$1543/0,94 = 1641,5 \quad 1543$$

$$\text{MB: } 58,5 \rightarrow 1641,5 * 58,5 = 96028 \text{ tn}$$

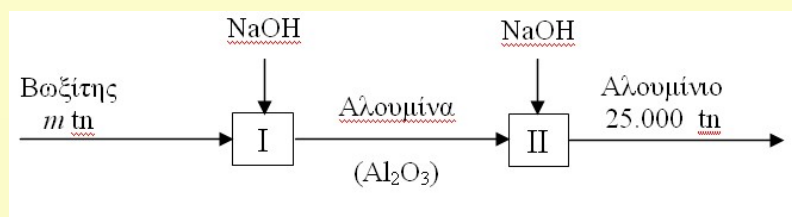
Άρα η ΕΛΠΕ πρέπει να αυξήσει την παραγωγή της κατά 96028 tn

44

44

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (5)

- Σχεδιάζεται η ίδρυση εργοστασίου παραγωγής αλουμινίου (Al) από βωξίτη στη Βοιωτία, παραγωγικής ικανότητας (δυναμικότητας) 25.000 tn αλουμινίου ανά μήνα.
- Να επιλέξετε προμηθευτή ώστε να ελαχιστοποιηθεί η συνολική μηνιαία δαπάνη αγοράς βωξίτη.



45

45

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (5)

Προμηθευτής	Καθαρότητα βωξίτη c (% κ.β. σε Al_2O_3)	Τιμή βωξίτη P (ευρώ/tn)	Απαιτούμενη μηνιαία ποσότητα Βωξίτη m (tn)	Μηνιαία δαπάνη αγοράς βωξίτη (ευρώ)
A	72	$85+80c+1,1 \cdot 10^6/m$		
B	88	$80+90c+1,0 \cdot 10^6/m$		

Ο τελευταίος όρος εξαρτάται από την ποσότητα βωξίτη που αγοράσθηκε

Στάδιο I:

Παραγωγή καθαρής αλουμίνας (Al_2O_3)

Στάδιο II:

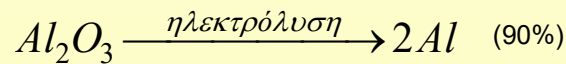
Παραγωγή καθαρού αλουμινίου (Al): $Al_2O_3 \xrightarrow{\text{ηλεκτρόλυση}} 2Al$ απόδοση 90%

46

46

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (5)

- Πρέπει να βρεθεί η ποσότητα βωξίτη που πρέπει να αγορασθεί από κάθε προμηθευτή ώστε να παραχθούν 25.000 tn Al μηνιαίως
 - AB: 27 → Mmoles: $25000/27 = 926$



$$926/(2 \times 0,9) = 514,4$$

$$926$$

$$MB: 102 \rightarrow 102 \times 514,4 = 52.469 \text{ tn}$$

προμηθευτής	c (%)	m (tn)
A	72	$52469/0,72 = 72873,6 \text{ tn}$
B	88	$52469/0,88 = 59623,9 \text{ tn}$

47

47

5.2.1 Τεχνο-οικονομικά κριτήρια παραγωγής (5)

Προμ.	c (%)	m (tn)	P (€/tn)	δαπάνη
A	72	72873,6 tn	157,7	11.492.167
B	88	59623,9 tn	177,6	10.589.205

$$85 + (80 \times 0,72) + \frac{1,1 \times 10^6}{72873,6} = 157,7$$

$$80 + (90 \times 0,88) + \frac{1,1 \times 10^6}{59623,9} = 177,6$$

Προτιμάται ο προμηθευτής B

48

48

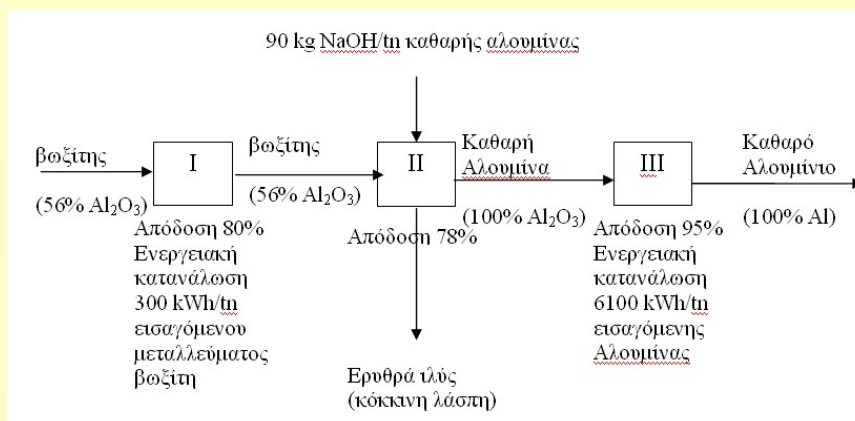
5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (1)

- Αλουμίνιο παράγεται από μέταλλευμα βωξίτη Παρνασσού περιεκτικότητα **56%**κ.β. σε αλουμίνα (Al_2O_3), σύμφωνα με την παρακάτω περιγραφόμενη διαδικασία τριών σταδίων.
- Να προσδιορίσετε το ποσοστό (%) της τιμής πώλησης, το οποίο δαπανάται για την αγορά/κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και ευρίσκεται με πρόσθεση των επιμέρους καταναλώσεων για
 - (α) προκατεργασία στο Στάδιο I
 - (β) παραγωγή του NaOH που παράγεται στο Στάδιο II
 - (γ) ηλεκτρόλυση (Στάδιο III)

49

49

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (1)



50

50

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (1)

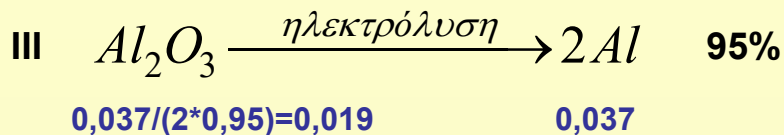
- Δίνεται ότι
 - (α) η τιμή αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από μεγάλες ηλεκτροβόρες βιομηχανικές μονάδες, όπως του αλουμινίου και της καυστικής σόδας (NaOH), είναι 0,05 ευρώ/kWh,
 - (β) η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή 1 tn NaOH είναι 1400 kWh και
 - (γ) η τιμή ισορροπίας του αλουμινίου στο διεθνές χρηματιστήριο μετάλλων του Λονδίνου είναι 1350 ευρώ/tn Al

51

51

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (1)

- Έστω 1 tn παραγόμενου αλουμινίου
 - AB: 27 → moles: $1/27 = 0,037$ Mmoles
 - Έσοδα: $1 * 1350 = 1350$ €



$$\text{MB: } 102 \rightarrow 0,019 * 102 = 1,94 \text{ tn}$$

$$\text{Ενέργεια III: } 1,94 * 6100 = 11834 \text{ Kwh}$$

52

52

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (1)

II βωξίτης $2,5/0,56 = 4,5 \text{ tn}$
 Ακ. αλουμίνα $1,94/0,78 = 2,5 \text{ tn}$
 NaOH $0,09 \cdot 1,94 = 0,1746 \text{ tn}$
 Καθ. αλουμίνα $1,94 \text{ tn}$

Ενέργεια II: $0,1746 \cdot 1400 = 244,44 \text{ Kwh}$

53

53

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (1)

I Βωξίτης πριν $4,5/0,8 = 5,625 \text{ tn}$
 Βωξίτης μετά $4,5 \text{ tn}$

Ενέργεια I: $5,625 \cdot 300 = 1687,5 \text{ Kwh}$

54

54

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (1)

Ενέργεια I: 1687,5 Kwh

Ενέργεια II: 244,44 Kwh

Ενέργεια III: 11834 Kwh

13765,9 Kwh

Κόστος Ενέργειας: $13765,9 * 0,05 = 688,3 \text{ €}$

Ποσοστό στην τιμή πώλησης: $688,3/1350 = 0,51$ ή 51%

55

55

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (2)

- Για την βιομηχανική παραγωγή αλουμίνας (Al_2O_3 , πρώτης ύλης παραγωγής αλουμινίου) ακολουθούνται τέσσερα στάδια.
- Κατά το στάδιο I, το αδιάλυτο οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3), το οποίο υπάρχει στο πρωτογενές μετάλλευμα (βωξίτης), μετατρέπεται σε διαλυτό αργιλικό νάτριο (NaAlO_2).
- Το προκύπτον διάλυμα διηθείται (στάδιο II)
- και στη συνέχεια αραιώνεται με καθαρό νερό, οπότε γίνεται υδρολυτική διάσπαση και λαμβάνεται αδιάλυτο υδροξείδιο του αργιλίου [$\text{Al}(\text{OH})_3$] (στάδιο III),
- το οποίο πυρώνεται, οπότε λαμβάνεται καθαρή αλουμίνα (Al_2O_3), στάδιο IV.

56

56

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (2)

- Για την επίτευξη εξωτερικών οικονομιών κλίμακας (external economies), που είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν λόγω παρακείμενης βιομηχανικής μονάδας παραγωγής ανθρακικής σόδας (Na_2CO_3),
- μελετάται το ενδεχόμενο χρήσης αυτού του φθηνού προϊόντος (μαζί με ασβεστόλιθο, ο οποίος αφθονεί στην Ελλάδα) αντί της καυστικής σόδας (NaOH), στο στάδιο I

57

57

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (2)

I	$\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH} \longrightarrow 2\text{NaAlO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	95%
II	Διήθηση	92%
III	Υδρολυτική διάσπαση	
IV	Πύρωση	
Iα	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow 2\text{NaAlO}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	85%
IIα	Διήθηση	82%

58

58

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (2)

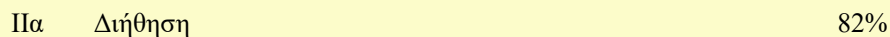
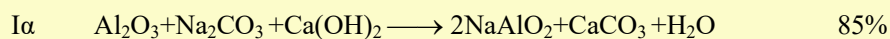
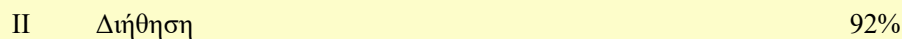
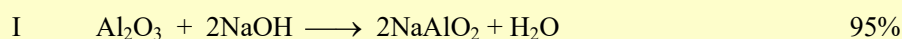
- Να προσδιορίσετε ποια από τις δυο διαδικασίες [δηλ. (I) & (II) ή (Iα) & (IIα)] είναι πλέον συμφέρουσα, με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του κόστους.
 - Τιμή αγοράς καυστικού νατρίου (NaOH) 1500 ευρώ/tn.
 - Κόστος διήθησης σταδίου II 40 ευρώ/tn αργιλικού νατρίου (NaAlO₂).
 - Τιμή αγοράς ανθρακικού νατρίου (Na₂CO₃) 500 ευρώ/tn.
 - Τιμή αγοράς καυστικού ασβεστίου [Ca(OH)₂] 400 ευρώ/tn.
 - Τιμή πώλησης ανθρακικού ασβεστίου (CaCO₃) 50 ευρώ/tn.
 - Κόστος διήθησης σταδίου IIα 100 ευρώ/tn αργιλικού νατρίου (NaAlO₂).

59

59

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (2)

- Ζητείται η επιλογή μεθόδου με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του κόστους σχετικά με 2 εναλλακτικές



- Για την ελαχιστοποίηση κόστους: έστω 1 tn οξειδίου αργιλίου

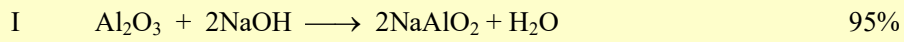
60

60

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (2)

- Μέθοδος I & II

– Al_2O_3 : MB=102 $\rightarrow$ Mmoles: $1/102=0,01$



0,01 **$2 \times 0,01 = 0,02$** **$2 \times 0,01 \times 0,95 = 0,019$**



MB αργιλικού νατρίου: 82 $\rightarrow 0,019 \times 82 = 1,558$ tn

Κόστος:

➤ NaOH: $1500 \times 0,8 = 1200$ €

➤ Στάδιο II: $40 \times 1,558 = 62,32$ €

1262,32 €

61

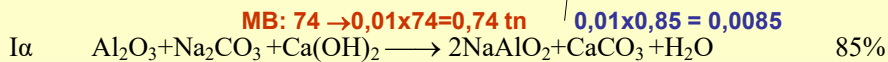
61

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (2)

- Μέθοδος Ια & ΙΙα

– Al_2O_3 : MB=102 $\rightarrow$ Mmoles: $1/102=0,01$

MB: 100 $\rightarrow 0,0085 \times 100 = 0,85$ tn



0,01 **0,01** **0,01** **$2 \times 0,01 \times 0,85 = 0,017$**

MB: 74 $\rightarrow 0,01 \times 74 = 0,74$ tn **$0,01 \times 0,85 = 0,0085$**

MB: 106 $\rightarrow 0,01 \times 106 = 1,06$ tn **MB αργιλικού νατρίου: 82 $\rightarrow 0,017 \times 82 = 1,394$ tn**

Κόστος:

➤ Na_2CO_3 : $500 \times 1,06 = 530$ €

➤ $\text{Ca}(\text{OH})_2$: $400 \times 0,74 = 296$ €

➤ Στάδιο Ια: $100 \times 1,394 = 139,4$ €

➤ Γύψος: $-(50 \times 0,85) = -42,5$ €

922 € < 1262,32 €

62

62

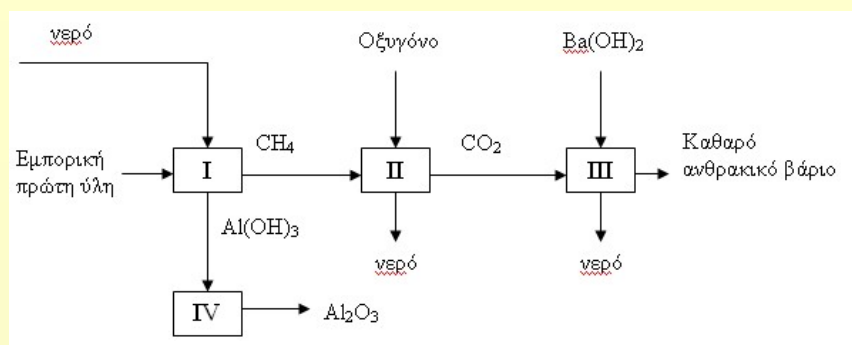
5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (3)

- Για την συμπαραγωγή μεθανίου (CH_4), υδροξείδιο του Αργιλίου ($\text{Al}(\text{OH})_3$), αλουμίνας Al_2O_3 και ανθρακικού βαρίου (BaCO_3), χρησιμοποιείται εμπορική πρώτη ύλη που περιέχει ανθρακαργίλιο (Al_4C_3) και ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία τριών σταδίων.
- Αν για κάθε 10 tn εμπορικής (μικτής) πρώτης ύλης παράγονται 4 tn καθαρού προϊόντος, να προσδιορίσετε την τιμή αγοράς p της πρώτης ύλης από τη διεθνή αγορά, η οποία δίνεται από τη σχέση $p = 20 + 12 \cdot x + 0,5 \cdot x^2$, όπου x η % κ.β. περιεκτικότητα ($0 < x < 100$) της εμπορικής πρώτης ύλης σε Al_4C_3 .

63

63

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (3)

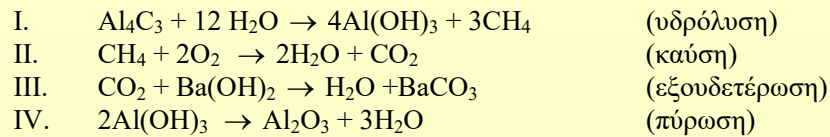


64

64

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (3)

Στάδια



65

65

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (3)

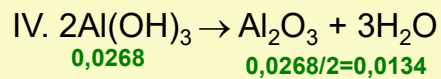
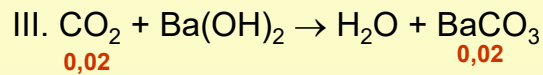
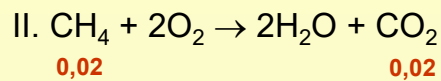
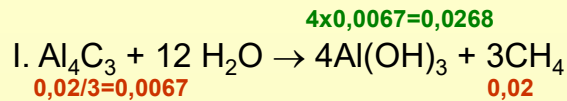
- Ποιο % ποσοστό των ενεργειακών απαιτήσεων του σταδίου IV μπορεί να καλύψει η εκλυόμενη από την καύση θερμική ενέργεια στο στάδιο II;
 - Εκλυόμενη από την καύση θερμική ενέργεια στο στάδιο II = 193 kcal/mol CH_4 .
 - Ενεργειακές απαιτήσεις του σταδίου IV = 3500 kWh/tn Al_2O_3 .
1 kWh = 864 kcal.

66

66

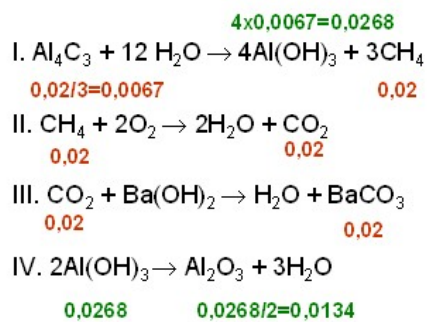
5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (3)

- Παράγονται 4 tn BaCO_3
 - MB: 197 $\rightarrow$ Mmoles = $4/197 = 0,02$



67

67



IV

 Al_2O_3 :MB: 102 $\rightarrow$ $0,0134 \times 102 = 1,37$ tnΕνέργεια: $3500 \text{ kwh} \times 1,37 = 4795$ kwhKcal: $4795 \times 864 = 4.142.880$ kcal

II

 $0,02 \times 10^6 \times 193 = 3.860.000$ kcal

Καλύπτονται: 93,17% ενέργειας (IV)

 Al_4C_3 MB: 144 $\rightarrow$ $0,0067 \times 144 = 0,96$ tnΑύλη: $100 \times (0,96/10) = 9,6\%$ Κόστος: $20 + (12 \times 9,6) + [0,5 \times (9,6)^2] = 181,28$ €

68

68

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (4)

- Βωξίτης Παρνασσού με περιεκτικότητα 56% κ.β. σε αλουμίνα (Al_2O_3) επεξεργάζεται με καυστική σόδα, οπότε παράγεται διαλυτό αργιλικό νάτριο (NaAlO_2) το οποίο στη συνέχεια διασπάται υδρολυτικά προς αδιάλυτο υδροξείδιο του αργιλίου [$\text{Al}(\text{OH})_3$].
- Αυτό το ενδιάμεσο προϊόν διηθείται, πλένεται, ξηραίνεται και πυρώνεται, οπότε προκύπτει καθαρή αλουμίνα, η οποία ηλεκτρολύεται προς καθαρό αργίλιο (αλουμίνιο) με κατανάλωση συνεχούς ρεύματος 12.800 kWh ανά τη τελικά παραγόμενου Al.

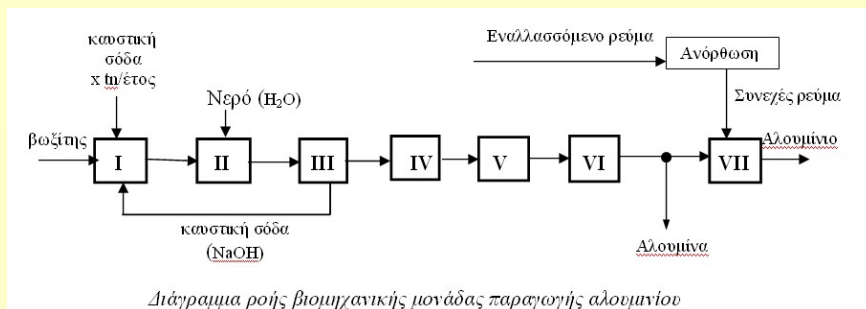
69

69

Στάδια	Αποδόσεις
I. Διαλυτοποίηση βωξίτη	
$\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{NaOH} \longrightarrow 2\text{NaAlO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	90%
II. Υδρολυτική διάσπαση	
$\text{NaAlO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{NaOH}$	95%
III. Διήθηση (απώλειες σε NaOH και $\text{Al}(\text{OH})_3$ 7%)	93%
IV. Πλύση (απώλειες σε $\text{Al}(\text{OH})_3$ 2%)	98%
V. Ξήρανση (αμελητέες απώλειες σε $\text{Al}(\text{OH})_3$)	100%
VI. Πύρωση	
$2\text{Al}(\text{OH})_3 \longrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$	96%
VIII. Ηλεκτρόλυση	
$\text{Al}_2\text{O}_3 \xrightarrow{\text{σέλενο}} 2\text{Al}$	98%

70

70



Τιμή πώλησης αλουμινίου 1600 EURO/tn.

Τιμή πώλησης αλουμίνας 190 EURO/tn.

Η ηλεκτρική απόδοση της μετατροπής του ηλεκτρικού ρεύματος από εναλλασσόμενο σε συνεχές (ανόρθωση) είναι 95% (δηλ. ενεργειακές απώλειες 5%).

71

71

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (4)

- Επειδή η μετατροπή της αλουμίνας σε αλουμίνιο είναι εξαιρετικά ηλεκτροβόρα διεργασία και το Αλουμίνιο της Ελλάδος αγοράζει ηλεκτρικό ρεύμα από τη ΔΕΗ σε προνομιακή τιμή, έχει συμφωνηθεί η τιμή αυτή να αυξάνεται σημαντικά αν η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (εναλλασσόμενου ρεύματος) υπερβαίνει τις **2,3.10⁹ kWh** ετησίως.
- Να προσδιορίσετε τα μέγιστα συνολικά μικτά έσοδα βιομηχανικού συγκροτήματος δυναμικότητας **1.250.000 tn βωξίτη** ετησίως, αν παράγει αλουμίνια και αλουμίνιο χωρίς να αγοράζει ηλεκτρική ενέργεια στην αυξημένη τιμή.

72

72

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (4)

- Παράγεται και αλουμίνα και αλουμίνιο
- Πόση αλουμίνα και πόσο αλουμίνιο;
- (α) βρίσκω την ποσότητα του αλουμινίου που απαιτεί ακριβώς **$2,3 \cdot 10^9$ kWh** και μετά την αλουμίνα που χρειάζεται
- (β) βρίσκω την αλουμίνα που παράγεται από **1.250.000 tn βωξίτη**
- (γ) κάνω την αφαίρεση

73

73

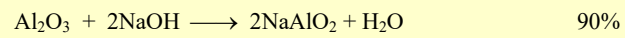
5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (4)

- Καταναλώνονται 12800 kwh /tn Al.
 - Ηλεκτρική απόδοση 95%
 - Κατανάλωση: $12800 / 0,95 = 13473,7$ kwh
- Διατίθενται: $2,3 \times 10^9$ kwh
- Παράγονται: 170.703 tn
 - AB: 27 $\rightarrow 170703/27 = 6322,3$ Mmoles

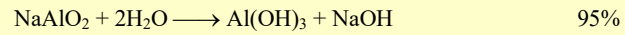
74

74

I. Διαλυτοποίηση βωξίτη



II. Υδρολυτική διάσπαση

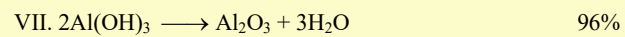


III. Διήθηση (απώλειες σε NaOH και $\text{Al}(\text{OH})_3$ 7%) 93%

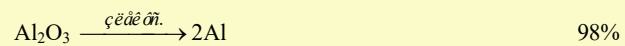
IV. Πλύση (απώλειες σε $\text{Al}(\text{OH})_3$ 2%) 98%

V. Ξήρανση (αμελητέες απώλειες σε $\text{Al}(\text{OH})_3$) 100%

VI. Πύρωση



VIII. Ηλεκτρόλυση



$$\begin{array}{c} \downarrow \\ \text{6322,3} \\ \text{6322,3/(2x0,98)} = 3226 \end{array}$$

$$\text{MB: } 102 \rightarrow 3226 \times 102 = 329052 \text{ tn}^{75}$$

75

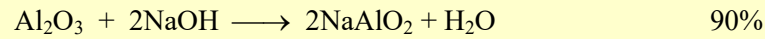
5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (4)

- Διατίθενται: 1250000 tn βωξίτη
 - Περιεκτικότητα 56% σε αλουμίνα
 - Αλουμίνα στην α' ύλη: $1250000 \times 0,56 = 700.000 \text{ tn}$
- MB: $102 \rightarrow 700000/102 = 6862,74 \text{ Mmoles}$

76

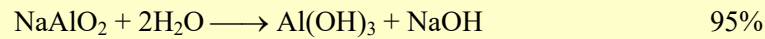
76

I. Διαλυτοποίηση βωξίτη



$$6862,74 \quad 2 \times 6862,74 \times 0,9 = 12353$$

II. Υδρολυτική διάσπαση



$$12353 \quad 12353 \times 0,95 = 11735$$

III. Διήθηση (απώλειες σε NaOH και $\text{Al}(\text{OH})_3$ 7%) 93%

$$11735 \rightarrow 11735 \times 0,93 = 10914$$

IV. Πλύση (απώλειες σε $\text{Al}(\text{OH})_3$ 2%) 98%

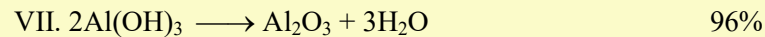
$$10914 \rightarrow 10914 \times 0,98 = 10695$$

V. Ξήρανση (αμελητέες απώλειες σε $\text{Al}(\text{OH})_3$) 100%

$$10695 \rightarrow 10695$$

VI. Πύρωση

$$\text{MB: } 102 \rightarrow 5133,6 \times 102 = 523.627 \text{ tn}$$



$$10695 \quad 0,96 \times 10695 / 2 = 5133,6$$

77

77

5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (4)

- Διατίθενται: 1250000 tn βωξίτη
 - Παράγονται
 - Αλουμίνα = 523.627 tn
 - Αλουμίνιο = 170.703
 - Αλουμίνα προς αλουμίνιο = 329.052 tn
 - Αλουμίνα προς πώληση = $523.627 - 329.052 = 194.575$
- Μεικτά κέρδη
 - Αλουμίνιο: $170703 \times 1600 = 273.124.800 \text{ €}$
 - Αλουμίνα: $194575 \times 190 = 36.969.250 \text{ €}$
 - Σύνολο: 310.094.050 €

78

78

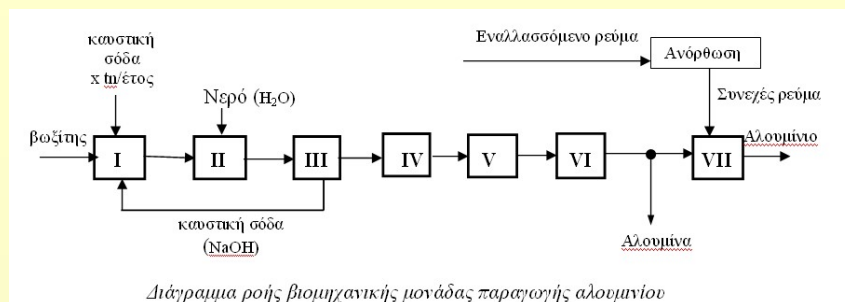
5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (5)

- Βωξίτης Παρνασσού με περιεκτικότητα 56% κ.β. σε αλουμίνα (Al_2O_3) επεξεργάζεται με καυστική σόδα (NaOH), οπότε παράγεται διαλυτό αργιλικό νάτριο (NaAlO_2) το οποίο στη συνέχεια διασπάται υδρολυτικά προς αδιάλυτο υδροξείδιο του αργιλίου $[\text{Al}(\text{OH})_3]$.
- Αυτό το ενδιάμεσο προϊόν διηθείται, πλένεται, ξηραίνεται και πυρώνεται, οπότε προκύπτει καθαρή αλουμίνα, η οποία ηλεκτρολύεται προς καθαρό αργίλιο (αλουμίνιο, Al) με κατανάλωση συνεχούς ρεύματος.
- Να υπολογιστεί η ποσότητα καυστικής σόδας, την οποία πρέπει να προμηθεύεται το εργοστάσιο ετησίως (x σε $\text{tn}/\text{έτος}$), αν η δυναμικότητά του είναι **900.000 $\text{tn}/\text{έτος}$ βωξίτη**.

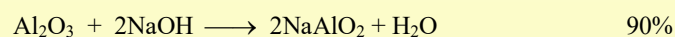
79

79

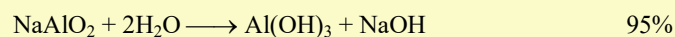
5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (5)



I. Διαλυτοποίηση βωξίτη



II. Υδρολυτική διάσπαση



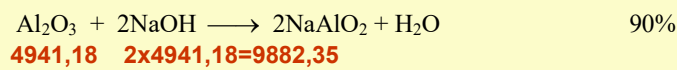
80

80

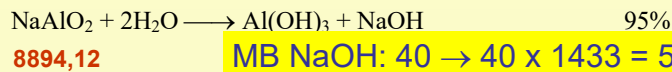
5.2.2 Ενεργειακό κόστος & εξοικονόμηση ενέργειας/υλών (5)

- **900.000 tn/έτος βωξίτη**
- Περιέχει αλουμίνα
 - $900.000 \times 0,56 = 504.000 \text{ tn}$
 - MB: 102 $\rightarrow$ Mmoles: $504000/102 = \mathbf{4941,18}$

I. Διαλυτοποίηση βωξίτη $\mathbf{2 \times 4941,18 \times 0,9 = 8894,12}$



II. Υδρολυτική διάσπαση



NaOH που πρέπει να προμηθευτεί: $9882,35 - 8449,41 = \mathbf{1433}$

81