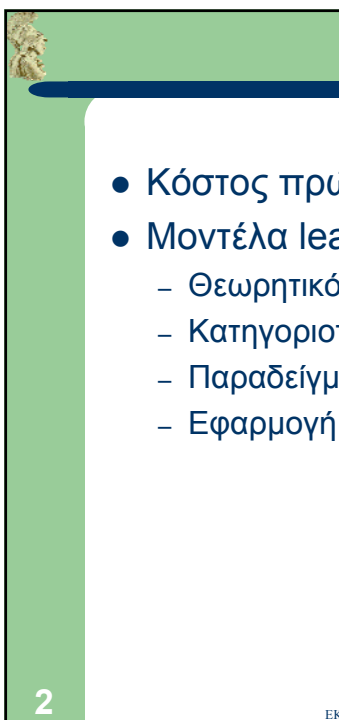


**Μάθημα**  
**Τεχνοοικονομική ανάλυση δικτύων**  
Ενότητα 5η  
Κόστος Πρώτης Εγκατάστασης  
Μοντέλα Μάθησης (learning curves)

Δρ. Δημήτρης Κατσιάνης

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών  
Τομέας Επικοινωνιών και Επεξεργασίας Σήματος

1



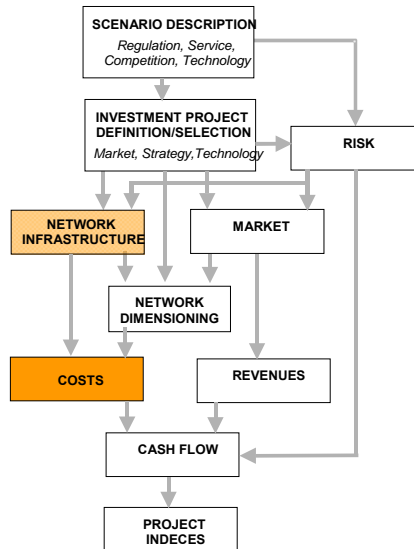
**Περιεχόμενα**

- Κόστος πρώτης εγκατάστασης
- Μοντέλα learning curves.
  - Θεωρητικό υπόβαθρο
  - Κατηγοριοποίηση υλικών
  - Παραδείγματα
  - Εφαρμογή για ανάδειξη παραμέτρων

2

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών Δρ. Δ. Κατσιάνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Δικτύων

## Η διαστασιοποίηση στην μοντελοποίηση της ανάλυσης επενδύσεων



3

## Κόστος Πρώτης Εγκατάστασης

- IFC (installed first cost),
- IFC υπολογίζεται σαν το άθροισμα των συνολικών επενδύσεων (discount rate?)
- Αποτελέσματα
  - Ετήσιες επενδύσεις ανά δομικό στοιχείο

4

## Κόστος Πρώτης Εγκατάστασης (2)

- Το πιο αξιόπιστο στοιχείο κάθε μελέτης
  - Για τα 1-2 πρώτα έτη
- Στηρίζεται στα δεδομένα των προμηθευτών
- Αποτελεί αποτέλεσμα της διαστασιοποίησης και του μοντέλου ζήτησης

5

## Κόστος κύκλου ζωής (Life Cycle Cost)

- Το Κόστος κύκλου ζωής προσδιορίζεται ως το άθροισμα όλων των επενδύσεων και των λειτουργικών εξόδων. Δηλαδή αντιπροσωπεύει το **συνολικό κόστος της κατασκευής** και της λειτουργίας του δικτύου (ανεξάρτητη ενότητα) καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης.
- Συχνά ο μοναδικός λόγος για μια τεχνοοικονομική μελέτη είναι το κόστος κατασκευής του προτεινόμενου δικτύου. Ο λόγος μπορεί να είναι ένα καινούριο δίκτυο ή η αναβάθμιση ενός υπάρχοντος. Σε αυτές τις περιπτώσεις δεν είναι πάντα απαραίτητο να προσθέσουμε έσοδα από υπηρεσίες στη μελέτη και το τελικό αποτέλεσμα της μελέτης μπορεί να είναι είτε το Κόστος πρώτης εγκατάστασης είτε το Κόστος κύκλου ζωής.
- Επιπλέον χρησιμοποιείται σε Συγκριτικές μελέτες ανάμεσα σε ανταγωνιστικές τεχνολογίες δικτύων.

6

## Εξέλιξη Τεχνολογίας – Περιορισμοί

- Στο παρελθόν, η πρόβλεψη της εκτίμησης του κόστους βασιζόταν σε πληροφορίες και στατιστικά δεδομένα προηγούμενων ετών.
- Η ταχεία εξέλιξη της τεχνολογίας έχει σαν αποτέλεσμα την έλλειψη ιστορικών στοιχείων
- Καθιστά τις προβλέψεις κόστους δύσκολες.

7

## T.P. Wright Εμπειρικός νόμος

- «Κάθε φορά που ο συσσωρευμένος όγκος παραγωγής ενός στοιχείου διπλασιάζεται, το κόστος του μειώνεται κατά ένα σταθερό ποσοστό»
- T.P. Wright, "Factors affecting the cost of airplanes", *J. Aeronautic Science*, vol. 3, no 4, 1936, pp 122-128.
- Στην βιβλιογραφία αναφέρεται και ως "learning curve", "experience curve", "learning by doing" ή "learning by use".
- Το πλεονέκτημα του παραπάνω μοντέλου είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και όταν υπάρχουν λίγα δείγματα και τα ιστορικά στοιχεία είναι ελλιπή ή μηδενικά όπως συνήθως ισχύει στις νέες τεχνολογίες.

8

## Καμπύλη μάθησης

$$T_n = n^{-\alpha} \cdot T_0 \quad \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n}$$

- $T_n$  είναι ο μέσος χρόνος παραγωγής για  $n$  μονάδες
- $t_n$  είναι ο χρόνος για να φτιαχτεί η  $n$ -ιοστή μονάδα και  $T_0$  ο χρόνος για να φτιαχτεί η πρώτη μονάδα.
- $n$  είναι ο αριθμός των κατασκευασμένων μονάδων
- $\alpha$  ρυθμός αύξησης

9

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κατσάνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Διεκτίων

## example

$$y = ax^{-b}$$

where

$y$  = input cost for the  $x^{\text{th}}$  unit

$x$  = cumulative number of units produced

$a$  = input cost for the first unit

$b$  = progress rate

### An Example

Say you have a production process with an input cost of £1,000 for the first unit and a 20% reduction in per unit cost for every doubling in the cumulative production output. The values for the parameters are then:

$$a = 1,000$$

$$b = \log(1000 - 0.2 * 1000 / 1000) / \log(2) =$$

$$= \log(1 - 0.2) / \log(2) = -0.322$$

10

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κατσάνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Διεκτίων

## Σχόλια

- Ο J. R. Crawford εφάρμοσε την ίδια σχέση, αλλά ερμήνευσε το  $T_n$  ως το χρόνο συμπλήρωσης της n-ιοστής μονάδας.
- Ο νόμος του Wright περιγράφει τη συσσωρευμένη επίδραση της μάθησης ενώ η σχέση του Crawford αναφέρεται στα φαινόμενα κλίμακας (scale effects).
- Νόμος του Wright - ισχυρή αυτοσυσχετιση (-)

11

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κατσάνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Διεθνών

Τι χρειαζόμαστε;

Κόστος συναρτήσεϊ του χρόνου

12

## Θεωρητικό Υπόβαθρο

Συνδυάζοντας:

α) μία συγκεκριμένη λογιστική καμπύλη ζήτησης (standard demand logistic curve) για την αύξηση του συσσωρευμένου όγκου στοιχείων συναρτήσει του χρόνου με

$$P_n = n^{-\alpha} \cdot P_0$$

β) μία καμπύλη μάθησης (learning curve) [2,3,4], κάθε στοιχείο μπορεί να χαρακτηριστεί από 4 παραμέτρους [1].

$$P(t) = n(t)^{-\alpha} \cdot P_0$$

1. B. T. Olsen, et al. «RACE 2087/OPTIMUM: Tool for Introduction scenarios and Techno-economic studies for the Access Network,» in Proc. RACE Open Workshop on Broadband Access, June 7-8, 1993, Nijmegen, the Netherlands
2. T.P. Wright, «Factors affecting the cost of airplanes,» Journal of Aeronautic Science, vol. 3, no 4, 1936, pp 122-128.
3. J.R. Crawford, «Learning curve, ship curve, ratios, related data,» Lockheed Aircraft Corporation, 1944.
4. L.E. Yelle, «The learning curve: historical review and comprehensive survey,» Decision Science, vol. 10, no 2, 1979, pp 302-328.

13

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κατσάνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Δικτύων

## Μοντέλο Κόστους

- $n_r(0)$  είναι ο σχετικός συσσωρευτικός (αθρ) όγκος παραγωγής
- $P(0)$  είναι η τιμή στο έτος αναφοράς, έστω 0
- $\Delta T$  είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε ο συσσωρευμένος όγκος παραγωγής να φτάσει από το 10% στο 90% και
- $K$  είναι ο παράγοντας μάθησης. Ουσιαστικά το  $K$  είναι ο παράγοντας που προκαλεί τη μείωση της τιμής όταν ο παραγόμενος όγκος διπλασιαστεί. Η τιμή του μπορεί να αποκτηθεί από την βιομηχανία και τους προμηθευτές.
- Αποδεικνύεται ότι

$$P(t) = P(0) \cdot \left[ n_r(0)^{-1} \cdot \left( 1 + e^{\left\{ \ln \left[ n_r(0)^{-1} - 1 \right] - \left[ \frac{2 \cdot \ln 9}{\Delta T} \right] \cdot t \right\}} \right)^{-1} \right]^{\log_2 \cdot K}$$

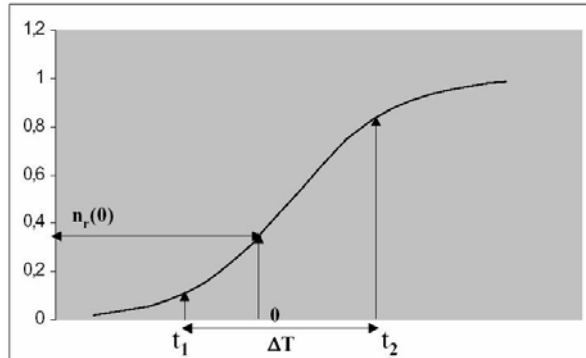
14

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κατσάνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Δικτύων

## Εξέλιξη του σχετικού αθροιστικού όγκου

• Το  $n_r(0)$  μπορεί να τεθεί ίσο με 0,5 για δομικά στοιχεία που βρίσκονται ήδη σε ώριμη θέση στην αγορά και η τιμή τους μειώνεται κυρίως λόγω «γήρανσης» και όχι λόγω παραγόμενου όγκου (πχ. πολύ παλιό προϊόν – πολλά χρόνια στην αγορά). Από εκτιμήσεις στην βιομηχανία τηλεπικοινωνιών για ένα δικτυακό δομικό στοιχείο το  $n_r(0)$  είναι 0,1 για ώριμα προϊόντα και 0,01 για νέες διατάξεις της αγοράς.



15

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

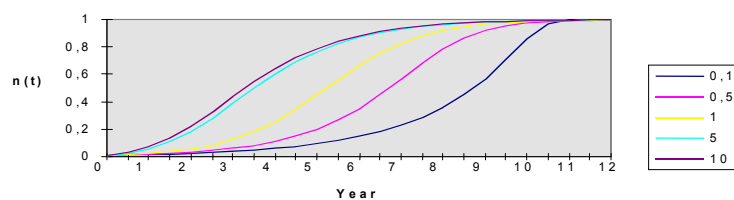
Δρ. Α. Κατσάνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Δικτύων

## Extended Learning Curves

$$P(t) = P(0) \cdot n_r(0)^{-1} \cdot \left[ 1 + e^{\left\{ \ln \left[ n_r(0)^{\frac{-1}{\gamma}} - 1 \right] + \left[ \frac{\ln 2}{\Delta t} \right] \cdot t \right\}} \right]^{-\gamma} \cdot \log_2 \cdot K$$

$n(0)=0,01$ ,  $\Delta t=5$  και διάφορα  $\gamma$ .

**Παράγοντας ασυμμετρίας –  $\gamma$**



16

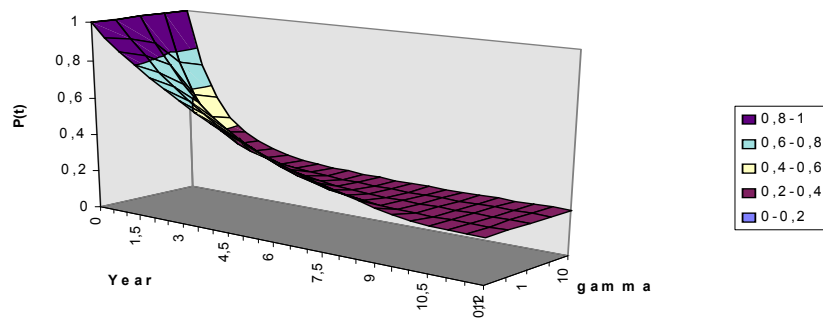
ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κατσάνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Δικτύων



## Παραδείγματα Extended LC

$P(0)=1$ ,  $n(0)=0,01$ ,  $t = 5$  και  $K=0,8$  και διαφορετικά  $\gamma$



17

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κατσάνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Δικτύων

## Μοντελοποίηση - Παράδειγμα

18

## Κατηγορίες- Κλάσεις

- Κατηγορία (κλάση) που εντάσσεται το δομικό στοιχείο (π.χ. ηλεκτρονικό, οπτικό)
  - Καμπύλη μάθησης (learning curve) που δηλώνει πόσο μειώνεται το κόστος ενός δομικού στοιχείου σε σχέση με την αύξηση της μαζικής βιομηχανικής παραγωγής του.
- Κλάση που εντάσσεται το δομικό στοιχείο σε σχέση με την εκτίμηση που γίνεται για την πτώση της τιμής προμήθειας του λόγω της ζήτησης που αναμένεται να έχει τα επόμενα χρόνια και είναι πάντα σε άμεση σχέση με τα χρόνια που διατίθεται στην αγορά
  - Ένα δομικό στοιχείο το οποίο διατίθεται στην αγορά για πρώτη φορά, αναμένεται να έχει μια αρχική τιμή που θα είναι υψηλή. Η εξέλιξη της τιμής του θα είναι γρήγορα πτωτική και πιο απότομη από ένα άλλο προϊόν που διατίθεται εδώ και ένα μεγάλο χρονικό διάστημα και έχει ήδη αρχίσει τη «συμπίεση» της τιμής του. Η επιλογή αυτών των παραμέτρων βοηθάει στην ομαδοποίηση των εξαρτημάτων ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου ώστε να είναι εύκολη και η εισαγωγή καινούργιων στοιχείων στη βάση. Το αποτέλεσμα λοιπόν είναι να δημιουργηθούν κατάλληλες ομάδες στοιχείων με κοινό χαρακτήρα και τεχνοοικονομική συμπεριφορά. Με αυτό τον τρόπο η σύγκριση της εξέλιξης των τιμών μεταξύ ποικίλων εξαρτημάτων είναι εύκολη ακόμα και αν αυτά υπηρετούν διαφορετικές λειτουργίες.

19

## Κλάσεις Όγκου Παραγωγής (παράδειγμα)

Όνομα Κατηγορίας	n(θ)	ΔΤ
Παλιός Ταχύς	0,5	5
Παλιός Μέσος	0,5	10
Παλιός Αργός	0,5	20
Παλιός ΠολύΑργός	0,5	40
Ωριμος Ταχύς	0,1	5
Ωριμος Μέσος	0,1	10
Ωριμος Αργός	0,1	20
Ωριμος ΠολύΑργός	0,1	40
Νέος Ταχύς	0,01	5
Νέος Μέσος	0,01	10
Νέος Αργός	0,01	20
Νέος ΠολύΑργός	0,01	40
Ανερχόμενος Ταχύς	0,001	5
Ανερχόμενος Μέσος	0,001	10
Ανερχόμενος Αργός	0,001	20
Ανερχόμενος ΠολύΑργός	0,001	40

20

## Κλάσεις Καμπύλων Μάθησης (Learning Curve Classes) (παράδειγμα)

Όνομα Κατηγορίας	K
Μοντέρνα_Οπτικά	0,7
Έργα_Πολ_Μηχανικού	1
Χάλκινα_Καλώδια	1
Ηλεκτρονικά	0,8
Οπτικά_Καλώδια	0,9
Εγκατάσταση	1
Εγκαταστάσεις	0,95

21

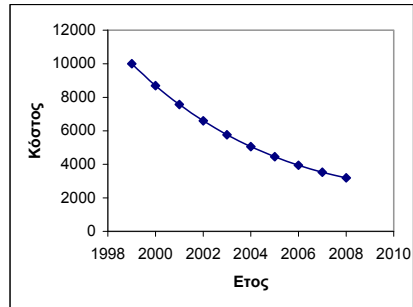
## Εφαρμογή

- Έτος αναφοράς: 1999
- Τιμή κατά το έτος αναφοράς:  $P(0) = 10000$  EURO
- Νέος\_Μέσος εξοπλισμός του πίνακα Όγκου παραγωγής.
- Στην κατηγορία Ηλεκτρονικά του πίνακα Καμπύλη Μάθησης.

22

## Εξέλιξη Κόστους

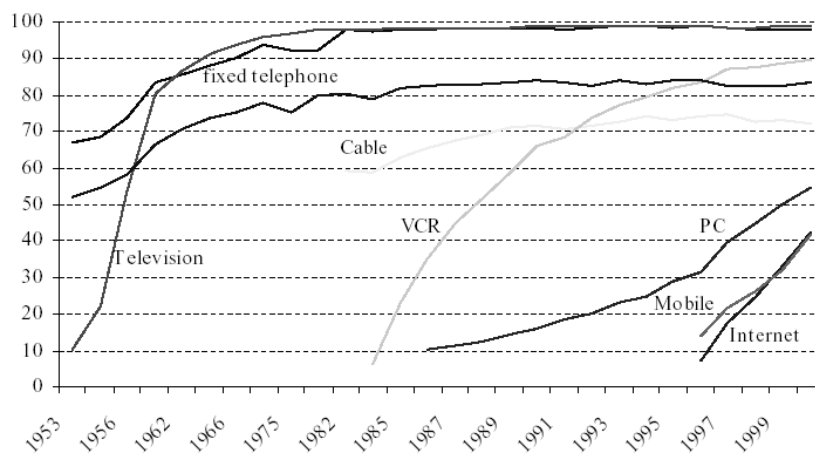
Έτος	Κόστος
1999	10000
2000	8696
2001	7569
2002	6598
2003	5764
2004	5053
2005	4450
2006	3946
2007	3532
2008	3198



- $n(0) = 0,01$  &  $\Delta T = 10$
- $K = 0,8$

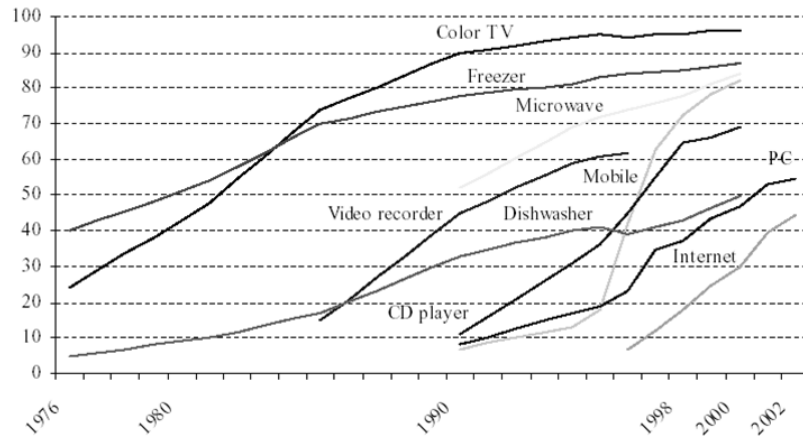
23

## Ιστορικά Δεδομένα Diffusions (Καναδάς)



24

## Ιστορικά Δεδομένα Diffusions (Φιλανδία)



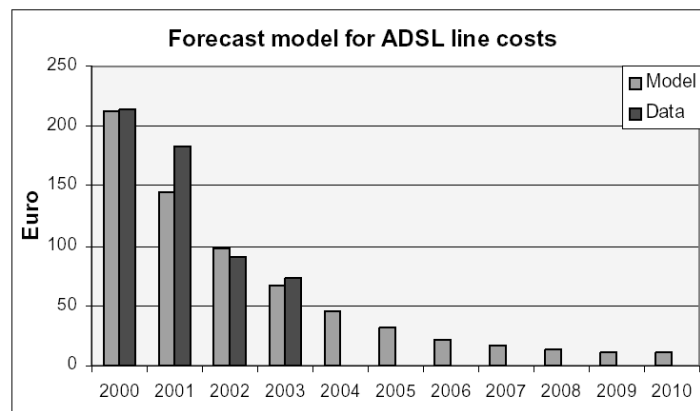
25

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κατσάνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Διεθνών

## ADSL Predictions

Kjell Stordahl, Telenor Networks, kjell.stordahl@telenor.com



$P(2000) = 212 \text{ Euro}$ ,  $\Delta T = 8$ ,  $n(2000) = 0,1\%$ ,  $K = 0,736$

26

ΕΚΠΑ - Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

Δρ. Α. Κατσάνης Τεχνοοικονομική Ανάλυση Διεθνών

### Literature Reviews

1. Broadband Access Networks Introduction strategies and techno-economic evaluation Edited by L.A. IMS Published within the Telecommunications Technology And Applications Series by Chapman & Hall 1998 ISBN 0 412 82820 0
2. Dutton, J.M. and Thomas, A. (1984) "Treating Progress Functions as a Managerial Opportunity", *Academy of Management Review* Vol. 9 No. 2, pp. 235-247.
3. Yelle, L.E. (1979) "The Learning Curve: Historical Review and Comprehensive Survey", *Decision Sciences* Vol. 10, pp. 302 – 328.

### References

1. Thorndike, E.L. (1898) "Animal Intelligence: An Experimental Study of the Associative Processes in Animals", *The Psychological Review: Monograph Supplements* Vol. 2, pp. 1-109.
2. Thurstone, L.L. (1919) "The Learning Curve Equation", *Psychological Monographs* Vol. 26, pp. 1-51.
3. Wright, T. (1936) "Factors Affecting the Cost of Airplanes", *Journal of Aeronautical Science* Vol. 4 No. 4, pp. 122-128.
4. Argote, L., Beckman, S.L. and Epple, D. (1990) "The Persistence and Transfer of Learning in Industrial Settings", *Management Science* Vol. 36 No. 2, pp. 140-154.
5. B. T. Olsen, et al. «RACE 2087/OPTIMUM: Tool for Introduction scenarios and Techno-economic studies for the Access Network.» in *Proc. RACE Open Workshop on Broadband Access*, June 7-8, 1993, Nijmegen, the Netherlands
6. J.R. Crawford, «Learning curve, ship curve, ratios, related data,» Lockheed Aircraft Corporation, 1944.

### References

1. <http://www1.jsc.nasa.gov/bu2/learn.html>