

## ΕΞΑΝΤΛΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ, ΚΑΝΟΝΑΣ ΤΟΥ HOTELLING ΚΑΙ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ\*

Του

*Μιχάλη Σ. Σκουρτου*

Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος

### Abstract

It is widely acknowledged in the literature that the derivation of Hotelling's Rule on the rate of appreciation of natural resources is subject to heroic assumptions. This article focusses on one of these limitations, that is the partial analytic framework. After a short description of the simple analytics of the basic model is given, a generalisation to a disaggregated model based on the theory of production prices of P. Sragga is attempted. It is shown that under more general assumptions concerning the general equilibrium interdependence of the economy the application of Hotelling's Rule depends essentially on the characterization of natural resources as non - basic commodities. The notion of exhaustability on natural resources under such circumstances is not uniquely defined depending on the distribution of income in the economy.

### 1. Εισαγωγή

Οι εκθετικοί ρυθμοί μεγέθυνσης του εθνικού προϊόντος χαρακτηρίζαν κατά την μεταπολεμική περίοδο τις αναπτυγμένες βιομηχανικά οικονομίες της Δύσης. Η σπουδαιότητα επίτευξης των υψηλών αυτών ρυθμών οικονομικής ανάπτυξης ήταν προφανής. Καθιστούσαν δυνατή την κατά κεφαλή αύξηση των πραγματικών εισοδημάτων, δημιουργούσαν νέες ευκαιρίες απασχόλησης και ανέλιξης, διαμόρφωναν κλίμα αισιοδοξίας και εμπιστοσύνης παρόλες τις υποθαλαπτόμενες πληθωριστικές πιέσεις, παρήχαν την δυνατότητα ειρηνικών επιλύσεων των κοινωνικών συγκρούσεων και ένα περιθώριο άσκησης μιας αναδιανεμητικής πολιτικής. Ήσαν η αιτία και ταυτόχρονα το αποτέλεσμα της ομαλής λειτουργίας της οικονομίας της αγοράς.

\* Θα ήθελα να ευχαριστήσω έναν ανώνυμο κριτή αυτού του περιοδικού για πολύτιμες παρατηρήσεις σε ένα προηγούμενο στάδιο της εργασίας αυτής. Ο συνάδελφος μου Θ. Παραδέλλης διάβασε το χειρόγραφο και έκανε πολύτιμες παρατηρήσεις σχετικά με το γλωσσικό ύφος. Τους ευχαριστώ και τους δύο αλλά διατηρώ ακέραια την ευθύνη για τυχόν παραμένοντα, όχι μόνο γλωσσικά, λάθη.

Τα τελευταία χρόνια η εικόνα έχει αλλάξει δραστικά. Μια σειρά γεγονότων εντός και εκτός των ανεπτυγμένων χωρών κατέστησε προφανή τόσο τον ουτοπικό χαρακτήρα των αισιόδοξων προβλέψεων για τους εφικτούς ρυθμούς αύξησης του ΑΕΠ όσο και την μειωμένη κοινωνική επιθυμητότητα για την επίτευξη τους. Η νέα γενιά τεχνικών δυναμικής προσομοίωσης, τα λεγόμενα παγκόσμια υποδείγματα, κατέδειξαν «με ένα τρόπο εντυπωσιακό για τον μη ειδικό και ύποπτο για τον επαίοντα...»<sup>1</sup> ότι εκθετικοί ρυθμοί αύξησης της παραγωγής τείνουν αργά ή γρήγορα να προσκρούσουν σε φυσικά και αμετακίνητα όρια. Είτε πρόκειται για εξάντληση των φυσικών αποθεμάτων είτε για υπερβολικούς δείκτες μόλυνσης του περιβάλλοντος είτε πάλι για αδυναμία διατροφής ενός αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού, οι προβλέψεις των υποδειγμάτων τείνουν προς το ίδιο συμπέρασμα: την πρακτική αδυναμία απεριόριστης μεγέθυνσης σ' έναν πεπερασμένο κόσμο<sup>2</sup>.

Κεντρική θέση στην συζήτηση γύρω από τα όρια της μεγέθυνσης καταλαμβάνει το πρόβλημα σαφούς ορισμού και εμπειρικής επαλήθευσης της έννοιας της εξάντλησιμότητας των φυσικών πόρων. Καταναλώνουμε όντως αποτελεσματικά από άποψη διαχρονικής κατανομής των πόρων τα φυσικά αποθέματα; Ενεργούμε μυωπικά απέναντι στο μέλλον αγνοώντας τις ανάγκες και τα δικαιώματα των μελλοντικών γενεών; Εάν ναι, είναι το σύστημα της αγοράς η αιτία και περρισσότερη κρατική παρέμβαση στις αγορές πρώτων υλών η θεραπεία<sup>3</sup>;

Η αισιοδοξία πολλών οικονομολόγων για την δυνατότητα βέλτιστης κατανομής της παραγωγικής κατανάλωσης των φυσικών πόρων μέσω της αγοράς βρίσκει το θεωρητικό της στήριγμα στον κανόνα του Hotelling<sup>4</sup>. Πιστεύεται ότι υπό συνθήκες λειτουργούντος ανταγωνισμού στις αγορές φυσικών πόρων ο ρυθμός εξόρυξης και κατανάλωσης των αποθεμάτων είναι τέτοιος έτσι ώστε η τιμή τους να αναπροσαρμόζεται διαχρονικά με ρυθμό ίσο με το μέσο ποσοστό απόδοσης του κεφαλαίου στην οικονομία. Έτσι, με την βοήθεια ενός προφανούς μηχανισμού arbitrage ο ιδιοκτήτης των φυσικών αποθεμάτων καταλήγει να είναι αδιάφορος μεταξύ εξόρυξης και πώλησης μιας οριακής φυσικής μονάδας του ορυκτού του και διατήρησης της μονάδας αυτής στο έδαφος. Υπό συνθήκες μάλιστα κατά τις οποίες αναμένεται ή επιδιώκεται - μέσω επιμερισμού της παραγωγής σε μονοπωλιακά διαρθρωμένες αγορές-υψηλός ρυθμός ανατίμησης του φυσικού πόρου καθίσταται συμφέρουσα η διατήρηση των αποθεμάτων in situ. Το άμεσο συμπέρασμα της παραπάνω σκέψης είναι ότι «ο μονοπωλητής μπορεί να είναι ο καλύτερος φίλος του οικολόγου»<sup>5</sup>. Στο επόμενο μέρος της εργασίας αυτής θα εξετάσουμε αναλυτικά τις προϋποθέσεις και την αναλυτική δομή του επιχειρήματος του Hotelling.

Το «θεώρημα» το οποίο προκύπτει από τον κανόνα του Hotelling, ότι δηλαδή η αγορά θα τείνει να αντανακλά σωστά την εξαντλησιμότητα των φυσικών πόρων μέσω της εξίσωσης του ρυθμού διαχρονικής ανατίμησης της τιμής τους με το μέσο ποσοστό απόδοσης του κεφαλαίου<sup>6</sup>, δεν κατέστη δυνατόν να επαληθευτεί εμπειρικά με απόλυτη βεβαιότητα<sup>7</sup>. Ο λόγος είναι η υπερβολικά περιορισμένη ισχύς των βασικών υποθέσεων του όπως π.χ. η πλήρης λειτουργία μελλοντικών αγορών, η ασάφεια σχετικά με την συμπεριφορά του βραχυχρόνιου και μακροχρόνιου οριακού κόστους εξόρυξης, η σταθερότητα των προσδοκιών, η μη επίδραση πολιτικών παραγόντων στην διαμόρφωση της προσφοράς και, last but not least, η θεώρηση του στα πλαίσια της ανάλυσης της μερικής ισορροπίας.

Στην συνέχεια αυτής της εργασίας θα επικεντρωθούμε αποκλειστικά στο τελευταίο αυτό σημείο αναλύοντας τις συνθήκες υπό τις οποίες είναι δυνατή η ισχύς του κανόνα του Hotelling σε ένα γενικευμένο γραμμικό υπόδειγμα παραγωγής  $n$  τομέων. Ο λόγος της προτίμησης αυτής έγκειται στο γεγονός ότι στην προβληματική της διαχρονικής κατανομής των φυσικών πόρων, πέρα από τα κριτήρια οικονομικής αποτελεσματικότητας, υπεισέρχονται πρόσφατα όλο και περισσότερο κριτήρια *δικαιοσύνης* στη διανομή του παραγόμενου κοινωνικού πλούτου. Την σημασία των κριτηρίων αυτών είχε ήδη επισημάνει ο ίδιος ο Hotelling όταν διαπίστωνε ότι η κοινωνική αξία ενός «ορυχείου» εξαρτάται «... upon the distribution of wealth, and is greater if the products of the mine benefit chiefly the poor than if they become articles of luxury»<sup>8</sup>.

Τα γενικευμένα, γραμμικά υποδείγματα παραγωγής καταδυναστεύουν με τον καλύτερο τρόπο την λογική της διαπλοκής σχηματισμού σχετικών τιμών και διανομής. Στα συστήματα αυτά η αξιακή έκφραση των εκάστοτε αποθεμάτων ενός φυσικού πόρου, και άρα η αγοραία έκφραση της εξαντλησιμότητας τους, εξαρτάται ουσιαστικά από την εκάστοτε διανομή του προϊόντος. Η διατήρηση της ισχύς του κανόνα του Hotelling στη περίπτωση αυτή καθίσταται δυνατή μόνο με «ηρωικές» υποθέσεις. Κλείνουμε με ανακεφαλαίωση των συμπερασμάτων.

## 2. Η ανατίμηση των φυσικών πόρων στα πλαίσια της μερικής ανάλυσης

Πριν προχωρήσουμε στο κύριο μέρος της ανάλυσης μας - (μέρος 3) - θα ήταν σκόπιμο να παρουσιάσουμε τον κανόνα του Hotelling στην παραδοσιακή του μορφή. Για τον σκοπό αυτό θα μεταφερθούμε στον κόσμο του ενός εμπορεύματος και της νεοκλασικής ανάλυσης της διαχρονικής ισορροπίας<sup>9</sup>.

Καταρχάς ως συγκεκριμενοποιήσουμε την έννοια του *εξαντλήσιμου* φυσικού πόρου. Ένας *φυσικός* πόρος είναι το αποτέλεσμα μη ανθρωπογενών φυσικών διερ-

γασιών και επιδράσεων. Σε αντιδιαστολή με τα συνήθη εμπορεύματα ο φυσικός πόρος - μη θεωρώντας για την ώρα την πράξη της εξόρυξης ως παραγωγή - «παράγεται» από την φύση. Κατά πόσο ένας συγκεκριμένος φυσικός πόρος είναι και εξαντλήσιμος προσδιορίζεται από την σύγκριση του ρυθμού αναπαραγωγής του με τον ρυθμό εξόρυξης και κατανάλωσης του. Έτσι, το φαινόμενο της Ρικαρντιανής γης αποτελεί ένα παράδειγμα φυσικού πόρου με μηδενικό μεν ρυθμό αύξησης αλλά και μηδενικό ρυθμό «κατανάλωσης». Προσομοιάζει για τον λόγο αυτό με «άφθαρτη μηχανή». Τα φυσικά αποθέματα ζωικών ειδών και τα δάση χαρακτηρίζονται μεν από σχετικά ταχείς ρυθμούς αναπαραγωγής αλλά σε πολλές περιπτώσεις από εξίσου ταχείς ρυθμούς κατανάλωσης. Στις περιπτώσεις αυτές το πρόβλημα ορθολογικής διαχείρισης τους έγκειται στην επιβολή ενός ρυθμού κατανάλωσης μικρότερου ή ίσου του ρυθμού φυσικής αναπαραγωγής<sup>10</sup>.

Η κατηγορία όμως με την οποία τείνει να ταυτιστεί η έννοια του φυσικού πόρου είναι η κατηγορία των ορυκτών αποθεμάτων. Εκείνων λοιπόν των φυσικών πόρων οι οποίοι χαρακτηρίζονται από μηδενικούς για τα ανθρώπινα μέτρα χρονικούς ρυθμούς αναπαραγωγής και από θετικούς ρυθμούς κατανάλωσης. Το πρόβλημα της εξαντλησιμότητας τίθεται εδώ στην πλέον οξυμένη του μορφή, όχι τυχαία αφού στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι κυριότεροι ενεργειακοί πόροι.

Από την παραπάνω ανάλυση δεν συνεπάγεται ότι μπορούμε με ευκολία να προσδιορίσουμε και να μετρήσουμε το φαινόμενο της εξαντλησιμότητας. Διότι ο ποσοτικός προσδιορισμός τόσο των αποθεμάτων όσο και της κατανάλωσης τους δυσχεραίνεται από την αβεβαιότητα που επικρατεί γύρω από την ύπαρξη και χωροθέτηση τους, τις μελλοντικές τεχνολογίες εξόρυξης και κατανάλωσης τους και την ανταγωνιστικότητα πιθανών υποκατάστατων. Η έννοια των φυσικών πόρων καταλήγει πέρα από κάθε γεωλογική περιγραφή τους να είναι μια σαφώς δυναμική έννοια<sup>11</sup>.

Σε τι μπορεί να διαφέρει ουσιαστικά η οικονομική σημασία ενός φυσικού πόρου από αυτή ενός συνήθους προϊόντος; Η απάντηση πηγάζει από το χαρακτηριστικό της μη *αναπαραγωγικότητας*: κάθε πράξη εξόρυξης και κατανάλωσης συνεπάγεται αυτομάτως την απώλεια πιθανής χρήσης στο μέλλον. Σε αντίθεση με τα, περισσότερο ή λιγότερο εύκολα, αναπαραγώγιμα προϊόντα της ανθρώπινης δραστηριότητας, η κατανάλωση μιας φυσικής μονάδας φυσικού πόρου σήμερα εκτός του κόστους εξόρυξης της συνεπάγεται και το κόστος ευκαιρίας της μη διαθεσιμότητας της αύριο. Εάν ο χρονικός ορίζοντας των αποφάσεων των υποκειμένων της οικονομικής διαδικασίας εκτείνεται στο μέλλον τότε το παραπάνω χαρακτηριστικό της χρήσης των φυσικών πόρων θα πρέπει να ενσωματώνεται στις σημερινές αποφάσεις τους. Θεωρητικά, στην περίπτωση που ο παράγω-

γός μεγιστοποιεί τα οφέλη του από τη διαχρονική κατανομή της χρήσης του φυσικού πόρου, η τιμή προσφοράς του τελευταίου σε κάθε χρονική περίοδο θα ισούται με το άθροισμα του οριακού κόστους εξόρυξης και του κόστους ευκαιρίας το οποίο συνεπάγεται η αδυναμία μελλοντικής χρήσης του.

Για την κατανόηση του κανόνα του Hotelling είναι απαραίτητη η αποσαφήνιση του ρόλου του δεύτερου συστατικού της τιμής το οποίο αναφέραμε παραπάνω και το οποίο δεν είναι τίποτα άλλο από το κόστος χρήσης (user cost) του Keynes ή τα σημερινά «δικαιώματα χρήσης» (royalty). Η εξαντλησιμότητα ενός φυσικού πόρου δεν εκφράζεται με την αύξηση του οριακού κόστους εξόρυξης του. Σε αντίθετη περίπτωση η σπανιότητα θα ήταν απλά μια έκφραση τεχνολογικής αδυναμίας παραγωγής όπως αυτή εκφράζεται με κάθε συνηθισμένη αύξουσα καμπύλη προσφοράς ενός (αναπαραγωγίσιμου) εμπορεύματος. Στους φυσικούς πόρους η εξαντλησιμότητα τους γίνεται αισθητή ακόμα και με μηδενικό κόστος εξόρυξης απλά και μόνο λόγω του κόστους που συνεπάγεται η απώλεια μελλοντικής χρήσης τους. Η διατήρηση λοιπόν μιας φυσικής μονάδας *in situ* είναι μια, εναλλακτική ως προς την εξόρυξη, επενδυτική πράξη, η ανταμοιβή για την οποία είναι ακριβώς το royalty. Εάν λοιπόν οι καταναλωτές θεωρήσουν ότι ένα κοιτάσμα *in situ* θα έπρεπε να εξορυχθεί αργότερα παρά ενωρίτερα, τότε αυτό θα εκδηλωθεί ως επιθυμία να πληρώσουν στους παραγωγούς αργότερα ένα μεγαλύτερο royalty απ' ότι σήμερα. Το royalty, με άλλα λόγια, αναπαριστά την τιμή του πόρου όταν *αυτός βρίσκεται υπό του εδάφους*. Ως τέτοιο είναι ουσιαστικά μια *λογιστική τιμή* (book value) και όχι μια πραγματική, προς διαπραγματεύση στην αγορά τιμή. Προσομοιάζει για τον λόγο αυτό με τις λογιστικές τιμές αποτίμησης των εν ενεργεία μηχανών στο τέλος του οικονομικού έτους μιας επιχείρησης.

Στο σημείο αυτό, και πριν προχωρήσουμε στην παρουσίαση του βασικού υποδείγματος του Hotelling, θα πρέπει ίσως να ξεκαθαρίσουμε ορισμένα σημεία σχετικά με την υπόθεση σταθερού κόστους εξόρυξης που κάνουμε στην παρούσα εργασία. Η πεποίθηση ότι τα *γεωλογικά* χαρακτηριστικά ενός φυσικού πόρου οδηγούν διαχρονικά σε αυξανόμενο κόστος εξόρυξης του ήταν ευρέως διαδεδομένη πολύ πριν τον Hotelling και μάλιστα υπήρξε ο άξονας της ρικαρντιανής προβληματικής στο θέμα αυτό. Η άρρητη υπόθεση πίσω από την παραδοχή αυτή υπήρξε το προφανές (;) γεγονός, ότι εδάφη ή κοιτάσματα χρησιμοποιούνται με φθίνουσα σειρά παραγωγικότητας.

Στην πράξη δεν παρατηρείται βέβαια μια τέτοια κανονικότητα στην εξέλιξη του κόστους εξόρυξης. Ο λόγος είναι τόσο η ταυτόχρονη εκμετάλλευση διαφορετικών ποιοτήτων κοιτασμάτων και η συνεχής ανακάλυψη νέων όσο και η επίδραση της τεχνικής προόδου στην τεχνολογία εξόρυξης<sup>12</sup>.

Ο λόγος για τον οποίο υποτίθεται εδώ σταθερό κόστος εξόρυξης είναι διττός: πρώτον, η υπόθεση αυξανόμενου κόστους εξόρυξης, αν και είναι ίσως η πλέον ρεαλιστική, δεν αλλάζει όπως θα δειχθεί στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου - ουσιωδώς τα αποτελέσματα του κανόνα του Hotelling. Δεύτερον, διότι ενώ θέλουμε να διατηρήσουμε στο έπακρον την συγκρισιμότητα της παραδοσιακής προσέγγισης της μερικής ισορροπίας του Hotelling με την ανάλυση των γενικευμένων γραμμικών υποδειγμάτων ρικαρντιανής προέλευσης, το ζητούμενο παραμένει η διαχρονική εξέλιξη της τιμής ενός φυσικού πόρου ως αποτέλεσμα ορθολογικής εκτίμησης του κόστους ευκαιρίας της παρούσας χρήσης και όχι ως αποτέλεσμα αυξανόντος κόστους.

Υποθέτουμε λοιπόν ένα κλάδο παραγωγής εξόρυξης ενός ομοιογενοποιημένου φυσικού πόρου  $q$  με πολυάριθμες, τέλεια ανταγωνιστικές επιχειρήσεις - ορυχεία. Υποθέτουμε επίσης εννιαία τεχνολογία και συνεπώς ταυτόσημες καμπύλες κόστους των επιχειρήσεων οι οποίες παράγουν με οριακό κόστος  $c_t$ . Έστω  $p_t$  η τιμή/φυσική μονάδα και  $r$  η μέση απόδοση του κεφαλαίου στην οικονομία ανά περίοδο.

Υπό συνθήκες τέλει ανταγωνισμού και πλήρης βεβαιότητας για το μέλλον η συμπεριφορά του κατόχου ενός κοιτάσματος δεν θα πρέπει να διαφέρει από την συμπεριφορά οποιουδήποτε πιθανού επενδυτή: μια φυσική μονάδα του κοιτάσματος θα διατηρηθεί στο έδαφος μόνο όταν η επιλογή αυτή υπόσχεται το ίδιο ή μεγαλύτερο κέρδος από την εναλλακτική επιλογή εξόρυξης και πώλησης της στην τρέχουσα τιμή. Εάν υποθέσουμε ότι ο κάτοχος του κοιτάσματος ενδιαφέρεται για την μεγιστοποίηση της ροής των καθαρών κερδών του καθόλη την χρονική περίοδο εκμετάλλευσης του ορυκτού, τότε σε κατάσταση ισορροπίας οι παρούσες αξίες των royalties  $p_t - c_t$ ,  $t = 1 \dots T$ , θα πρέπει να είναι ίσες, ήτοι:

$$p_0 - c_0 = (p_1 - c_1) (1 + r)^{-1} = (p_2 - c_2) (1 + r)^{-2} = \dots = (p_T - c_T) (1 + r)^{-T} \quad (1)$$

Από την σχέση (1) γίνεται σαφές ότι σε κατάσταση ισορροπίας τα δικαιώματα χρήσης ή royalties ανατιμώνται σύμφωνα με τον τύπο<sup>13</sup>:

$$p_t - c_t = (p_0 - c_0) (1 + r)^t \quad (2)$$

ή

$$\frac{p_t - c_t}{p_0 - c_0} = (1 + r)^t \quad (3)$$

Ο αριθμητής της σχέσης (3) δηλώνει την διαφορά μεταξύ της τιμής  $p_t$  και του οριακού κόστους  $c_t$ , ήτοι το ισχύον royalty την περίοδο  $t$ . Ο παρανομαστής

δηλώνει την διαφορά μεταξύ τιμής και οριακού κόστους, ήτοι το ισχύον royalty κατά την περίοδο 0. Συνεπώς, η σχέση (1) εκφράζει το ποσοστό μεταβολής του royalty μεταξύ των περιόδων 0 και t.

Η σχέση (3) συνεπάγεται έναν συγκεκριμένο ρυθμό εξόρυξης του φυσικού πόρου και ένα συγκεκριμένο ρυθμό ανατίμησης των αποθεμάτων in situ. Εάν ο επιχειρηματίας επιδιώξει την εξόρυξη μιας πρόσθετης μονάδας την περίοδο t και την επένδυση των εισπράξεων του τότε το κέρδος του την περίοδο t + 1 θα ήταν:

$$(p_t - c_t) (1 + r) \quad (4)$$

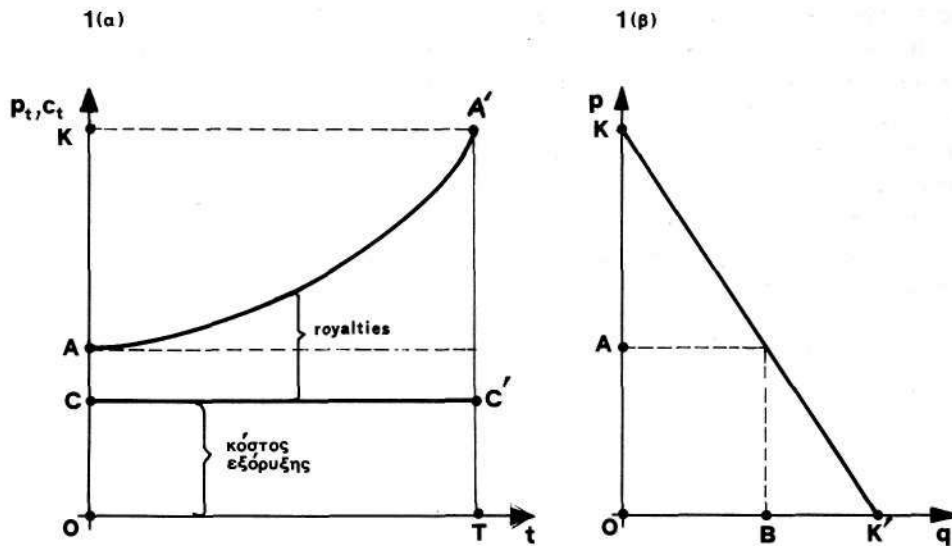
Εάν αντιθέτως ο επιχειρηματίας αποφασίσει την μείωση του ρυθμού εξόρυξης την περίοδο t κατά μια φυσική μονάδα με σκοπό να την εξορύξει την επόμενη περίοδο τότε το κέρδος που αναμένει την περίοδο t + 1 από την πράξη αυτή διατήρησης του φυσικού πόρου είναι:

$$(p_{t+1} - p_t) - (c_{t+1} - c_t) \quad (5)$$

Σε κατάσταση ισορροπίας ο επιχειρηματίας είναι αδιάφορος μεταξύ της διατήρησης ή εξόρυξης των αποθεμάτων του, θα πρέπει δηλαδή να ισχύει (4) = (5), σχέση από την οποία συνάγεται εύκολα η ισχύς της (3). Εάν το κόστος είναι αμελητέο σε σύγκριση με την τιμή (η περίπτωση του μεσανατολικού πετρελαίου) και, χάριν συγκρισιμότητας με την διατύπωση του Hotelling, υπολογίσουμε τις παραπάνω μεταβολές σε συνεχή χρόνο, τότε η σχέση (3) απλοποιείται στην:

$$p_t / p_0 = e^{rt} \quad \text{ή} \quad p_t = p_0 e^{rt} \quad (6)$$

Η σχέση (6) είναι η απλή μορφή του κανόνα του Hotelling και περιγράφει υπό τις προϋποθέσεις τέλει ανταγωνισμού και πλήρης βεβαιότητας τη διαχρονική εξέλιξη της τιμής ενός φυσικού πόρου. Η διαγραμματική της παρουσίαση θα βοηθήσει στη καλύτερη κατανόηση της παραπάνω επιχειρηματολογίας. Το διάγραμμα 1(α) παριστά την διαχρονική εξέλιξη της τιμής του φυσικού πόρου p καθώς και αυτήν του κόστους εξόρυξης c για την περίοδο t = 0...T. Θεωρούμε ότι το κόστος εξόρυξης παραμένει σταθερό και ίσο με το οριακό κόστος. Η απόσταση της ευθείας CC' από την καμπύλη AA' παριστά το royalty ή, σύμφωνα με τα παραπάνω, την τιμή του αποθέματος in situ. Η εξίσωση της καμπύλης AA' είναι η σχέση (6) μετατοπισμένη κατά OC. Η μέγιστη τιμή η οποία μπορεί να επιτευχθεί για τον φυσικό πόρο είναι η OK, η οποία και ισχύει κατά την περίοδο εξάντλησης των αποθεμάτων.



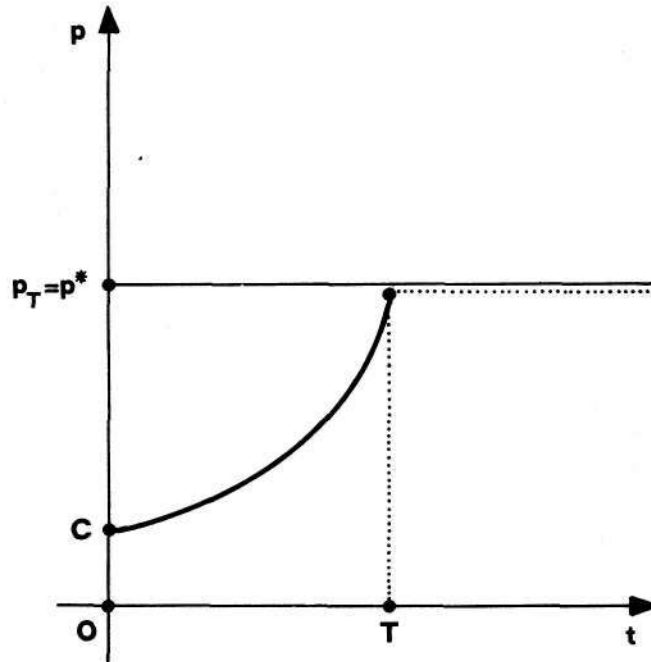
Διάγραμμα 1

Ο κανόνας του Hotelling μας πληροφορεί πως ανατιμάται η τιμή του φυσικού πόρου δεν παρέχει όμως μόνος του καμμία πληροφορία για την αρχική τιμή  $p_0$ . Την πληροφορία αυτή, ουσιαστική για το «κλείσιμο» του συστήματος, μας παρέχει η καμπύλη ζήτησης. Στο διάγραμμα 1(β) αναπαριστάται η αγοραία καμπύλη ζήτησης σταθερή κατά την διάρκεια των περιόδων  $t = 0 \dots T$ . Εάν οι συμμετέχοντες στην αγορά προβλέπουν σωστά την εξέλιξη της ζήτησης τότε η αρχική ζήτηση  $OB$  θα προσδιορίσει την αρχική τιμή  $p_0 = OA$ . Οι αυξήσεις της τιμής θα οδηγήσουν σε σταδιακή μείωση της ζητούμενης ποσότητας έως το σημείο όπου η ζητούμενη και παραγώμενη ποσότητα μηδενίζεται ( $p_T = OK$ ).

Από το διάγραμμα 1(α) μπορεί κανείς να φανταστεί την περίπτωση κατά την οποία η εξόρυξη συντελείται κάτω από συνθήκες αυξανόμενου κόστους. Στη περίπτωση αυτή η γραμμή  $CC'$  θα παρίσταται από μια ανερχόμενη καμπύλη, κυρτή ως προς την αρχή των αξόνων. Το royalty θα εξακολουθεί να παρίσταται από την διαφορά των καμπυλών  $AA'$  και  $CC'$  μόνο που τώρα η ανατίμηση του θα γίνεται όχι με ρυθμό  $r$  αλλά με ρυθμό  $r - k$  όπου  $k$  η ποσοστιαία αύξηση του κόστους εξόρυξης. Έτσι, στη περίπτωση αυτή ο ρυθμός ανατίμησης των αποθεμάτων *in situ*, του royalty, θα ισούται με το κόστος ευκαιρίας της αναβληθείσας εξόρυξης μιας φυσικής μονάδας: απολεσθέν εισόδημα από τόκους  $r$  μείον την εξοικονόμηση χρηματικών πόρων στα μελλοντικά κόστη εξόρυξης  $k^{14}$ .



Πρόσφατα, το πρόβλημα διαχρονικής εξέλιξης της τιμής ενός φυσικού πόρου συνδέθηκε άμεσα με την έννοια της τεχνολογίας backstop<sup>15</sup>. Ο όρος τεχνολογία backstop δηλώνει μία πρακτικά αστείρευτη δυνατότητα προσφοράς ενός υποκατάστατου για την χρήση των εξαντλήσιμων φυσικών πόρων. Η τιμή προσφοράς της τεχνολογίας backstop θεωρείται γνωστή και αρκετά υψηλότερη από την τιμή προσφοράς του παραδοσιακού φυσικού πόρου έτσι ώστε η χρησιμοποίηση της να αποτελεί μελλοντική δυνατότητα. Η τιμή του φυσικού πόρου αυξάνεται στην περίπτωση αυτή εκθετικά σύμφωνα με τον κανόνα του Hotelling με ρυθμό  $r$  έως το σημείο  $p_T = p^*$  όπου  $p^*$  παριστά την σταθερή τιμή προσφοράς της τεχνολογίας backstop.



Διάγραμμα 2

Η εισαγωγή της έννοιας της τεχνολογίας backstop στην προβληματική του κανόνα του Hotelling μετατόπισε την προσοχή των οικονομολόγων από την μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης της τιμής per se στη μελέτη της σχέσης μεταξύ των οικονομικών χαρακτηριστικών της τεχνολογίας backstop και της διαχρονικής εξέλιξης της τιμής του φυσικού πόρου. Ιδιαίτερα μελετήθηκε η επίδραση των προοπτικών εξέλιξης του κόστους της πυρηνικής τεχνολογίας παραγωγής ενέργειας – η τεχνολογία backstop εν προκειμένω – στην συμπεριφορά των παραγωγών πετρελαίου<sup>16</sup>.

Αν και η ερμηνευτική ικανότητα του κανόνα του Hotelling αμφισβητείται συχνά λόγω της μη δυνατότητας εμπειρικής επαλήθευσης του, η παιδαγωγική εμβέλεια του είναι μεγάλη και έγκειται στην οπτική γωνία θεώρησης των αποθεμάτων ως κεφαλαιουχικά αγαθά και της πράξης της διατήρησης των αποθεμάτων ως επένδυση.

### 3. Ο κανόνας του Hotelling σ' ένα γενικευμένο υπόδειγμα $n$ τομέων

Περνάμε τώρα στην εξέταση του κανόνα του Hotelling σε ένα γενικευμένο, γραμμικό υπόδειγμα παραγωγής<sup>17</sup>. Υποθέτουμε μια οικονομία  $n$  τομέων. Οι πρώτοι  $n-1$  τομείς παράγουν αναπαραγωγίμα προϊόντα ενώ ο τελευταίος τομέας η «παράγει» ένα φυσικό πόρο π.χ. πετρέλαιο ή κάποιο μέταλλευμα. Πρόκειται δηλαδή ουσιαστικά για μια επιχείρηση εξόρυξης, ένα ορυχείο. Υποθέτουμε ότι το πετρέλαιο χρησιμοποιείται ως παραγωγική εισροή και στους  $n$  τομείς, πρόκειται δηλαδή για ένα βασικό εμπόρευμα. Το ίδιο δεν μπορεί βέβαια να ισχύει για τα αποθέματα  $M$  του in situ πόρου τα οποία εξ ορισμού χρησιμοποιούνται μόνο στον τομέα εξόρυξης, άρα εμφανίζονται μόνο στην δική του εξίσωση τιμής<sup>18</sup>.

Έστω  $a_i = [a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{ni}]$  το  $1 \times n$  – διάνυσμα των τεχνολογικών συντελεστών ανά φυσική μονάδα παραγόμενου προϊόντος του τομέα  $i$ ,  $i = 1, \dots, n$ ,  $l' = [l_1, l_2, \dots, l_n]$  το  $n \times 1$  – διάνυσμα των αντιστοίχων απαιτήσεων σ' εργατοώρες και  $p' = [p_1, p_2, \dots, p_n]$  το  $n \times 1$  – διάνυσμα των τιμών. Επίσης, έστω  $M_{(t)}$  το διαθέσιμο απόθεμα του φυσικού πόρου in situ κατά την χρονική στιγμή  $t$ ,  $\pi_{(t)}$  η τιμή μιας φυσικής μονάδας του αποθέματος κατά την χρονική στιγμή  $t$ ,  $r$  και  $w$  το μέσο ποσοστό απόδοσης του κεφαλαίου και το ενιαίο ονομαστικό ωρομίσθιο αντιστοίχως.

Υποθέτουμε επίσης την ύπαρξη μιας τεχνολογίας backstop η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως μια πρακτικά αστείρευτη πηγή ενός υποκατάστατου του φυσικού πόρου και η οποία μπορεί να καταστεί ανταγωνιστική μόνο σε υψηλές τιμές του. Όπως και στα προηγούμενα λοιπόν η τεχνολογία backstop θέτει ένα ανώτατο όριο για την διαχρονική εξέλιξη της τιμής  $p_n$ . Μόλις αυτή πλησιάσει το κόστος παραγωγής της τεχνολογίας backstop τότε η οικονομία μεταπηδά στην χρήση του νέου υποκατάστατου.

Σύμφωνα με τα παραπάνω η τιμή παραγωγής του φυσικού πόρου δίδεται από την σχέση:

$$(1+r) [a_n p'_{(t)} + M_{(t)} \pi_{(t)}] + w_{(t)} l_n = p_{n(t)} + M_{(t+1)} \pi_{(t+1)} \quad (7)$$

Η ερμηνεία της σχέσης (7) είναι η εξής: η παραγωγή μιας φυσικής μονάδος π.χ. πετρελαίου σε μια χρονική περίοδο  $t$  απαιτεί, πέρα από τις παραγωγικές εισροές  $a_n$  και την εργασία  $l_n$ , την «συνεργασία» ολόκληρου του διαθέσιμου αποθέματος  $M_{(t)}$  του πόρου *in situ* αξίας  $\pi_{(t)}$  ανά μονάδα. Στην αρχή της επόμενης περιόδου έχει παραχθεί η ζητούμενη ποσότητα πετρελαίου *syn* μια νέα, προφανώς μικρότερη, ποσότητα αποθέματος *in situ*  $M_{(t+1)}$  αξίας  $\pi_{(t+1)}$ /μονάδα<sup>19</sup>. Όπως θα έχει σίγουρα παρατηρήσει ο αναγνώστης θεωρούμε ότι η μείωση των αποθεμάτων δεν συνεπάγεται ταυτόχρονα και αύξηση του κόστους εξόρυξης. Σε αντίθετη περίπτωση οι όροι  $a_n$  και  $l_n$  στην σχέση (7) δεν είναι σταθεροί αλλά ισχύει:  $a_{n(t)} < a_{n(t+1)}$  ή/και  $l_{n(t)} < l_{n(t+1)}$ .

Εάν συμβολίσουμε με  $G$  την συνολική πρόσοδο μιας μονάδας του φυσικού πόρου σε μια περίοδο τότε ισχύει:

$$(1 + r) a_n p_{(t)} + G + w_{(t)} l_n = p_{n(t)} \quad (8)$$

όπου

$$G = (1 + r) M_{(t)} \pi_{(t)} - M_{(t+1)} \pi_{(t+1)} = \sigma_{(t)} M_{(t)} \quad (9)$$

με  $\sigma_{(t)}$  την πρόσοδο/μονάδα αποθέματος κατά την περίοδο  $t$ .

Η έννοια της προσόδου η οποία χρησιμοποιείται εδώ δεν είναι ταυτόσημη με την Ρικαρντιανή έννοια της διαφορικής γαιοπροσόδου. Για να φανεί αυτό αρκεί να μετασχηματίσουμε την σχέση (9) σε:

$$G = [M_{(t)} \pi_{(t)} - M_{(t+1)} \pi_{(t+1)}] + r M_{(t)} \pi_{(t)} \quad (10)$$

Από την σχέση (10) και για  $M_{(t)} = M_{(t+1)} = M$  και  $\pi_{(t)} = \pi_{(t+1)} = \pi$  έχουμε την περίπτωση ενός «άφθαρτου» φυσικού πόρου, της Ρικαρντιανής γης. Το εισόδημα του ιδιοκτήτη της γης ισούται εδώ με

$$G = rM\pi = \sigma M \quad (11)$$

Η τελευταία αυτή διατύπωση παριστά και την παραδοσιακή Ρικαρντιανή γαιοπρόσοδο. Στην γενική περίπτωση ενός φυσικού πόρου με εξαντλήσιμα αποθέματα  $M_{(t)}$  η σχέση (10) μας δείχνει ότι η συνολική πρόσοδος του ιδιοκτήτη αποτελείται από δύο μέρη: το μέρος εκείνο το οποίο εκφράζει την μείωση της αξίας, δηλαδή την «απόσβεση» του αποθέματος και το οποίο συνιστά το γνωστό μας *royalty* και το μέρος εκείνο το οποίο παριστά το «κέρδος» του ιδιοκτήτη σύμφωνα με το μέσο ποσοστό απόδοσης στην οικονομία, την καθαρή γαιοπρόσοδο.

Υποθέτοντας σταθερό ρυθμό εξόρυξης διαχρονικά και ίσο με 1 φυσική μονάδα/περίοδο τότε η συνολική γαιοπρόσοδος θα πρέπει να παραμένει σταθερά. Τα συστατικά της όμως μέρη [βλ. σχέση (10)] θα μεταβάλλονται σε αντίθετη κατεύθυνση και συγκεκριμένα το royalty θα αυξάνεται με ταυτόχρονη μείωση της καθαρής γαιοπρόσόδου  $rM_{(t)}\pi_{(t)}$ .

Έστω:

$$(1+r) a_1 p'_{(t)} + w_{(t)} l_1 = p_{1(t)}$$

.....

.....

.....

$$(1+r) a_{n-1} p'_{(t)} + w_{(t)} l_{n-1} = p_{n-1(t)}$$

το σύστημα εξισώσεων των πρώτων,  $n-1$  «βιομηχανικών» τομέων. Το σύστημα (7), (12) μαζί με τις σχέσεις  $p_{1(t)} = 1$  – προσδιορισμός του numeraire – και  $r = r^*$  – εξωγενής προσδιορισμός της διανομής – αποτελεί ένα υπο – προσδιορισμένο γραμμικό σύστημα παραγωγής για την χρονική περίοδο  $t$ : διαθέτει  $n+2$  εξισώσεις για τον προσδιορισμό  $n+4$  αγνώστων, ήτοι των  $n$  τιμών και των  $r$ ,  $w$ ,  $\pi_{(t)}$  και  $\pi_{(t+1)}$ .

Η έλλειψη πληροφοριών για το «κλείσιμο» του συστήματος τιμών της περιόδου  $t$  μπορεί να ξεπεραστεί αν στρέψουμε την προσοχή μας στην τεχνολογία backstop. Η τεχνολογία αυτή μας δίνει δύο πρόσθετες πληροφορίες: Μία άμεση και μία έμμεση. Η άμεση πληροφορία αφορά το γεγονός ότι κατά την περίοδο  $T$ , περίοδο εξάντλησης του φυσικού πόρου, πρέπει να ισχύει:  $M_{(T+1)} = M_{(T+1)}$   $\pi_{(T+1)} = 0$ . Η έμμεση πληροφορία αφορά το γεγονός ότι κατά την ίδια περίοδο η τιμή του φυσικού πόρου  $p_{n(T)}$  θα πρέπει εξ υποθέσεως να ισούται με την τιμή του υποκατάστατου του  $p^*$ .

Την περίοδο  $T$  λοιπόν το σύστημα τιμών της οικονομίας μας δίνεται από τις σχέσεις:

$$(1+r) a_i p'_{(T)} + w_{(T)} l_i = p_{i(T)} \quad i = 1 \dots n-1 \quad (13)$$

$$(1+r) a^* p'_{(T)} + w_{(T)} l^* = p^* = p_{n(T)}$$

όπου  $[a^*, l^*]$  η – γνωστή – τεχνολογία backstop.

Από το σύστημα (13), μαζί με την εξίσωση τυποποίησης και το εξωγενώς δεδομένο  $r$ , προσδιορίζονται οι  $n$  τιμές  $p_{i(T)}$  και το ωρομίσθιο  $w_{(T)}$ . Παράλληλα με

το σύστημα (13) μπορούμε να προσδιορίσουμε από την εξίσωση (7) την αξία των αποθεμάτων την περίοδο  $T$ , δηλαδή:

$$(1+r) [a_n p'_T + M_{(T)} \pi_{(T)}] + w_{(T)} l_n = p_{n(T)} + M_{(T+1)} \pi_{(T+1)} \quad \text{ή}$$

$$\pi_{(T)} = \frac{p_{n(T)} - (1+r) a_n p'_T - w_{(T)} l_n}{(1+r) M_{(T)}} \quad (14)$$

#### 4. Τομεακή αλληλοεξάρτηση και το «κλείσιμο» του συστήματος

Στο προηγούμενο μέρος αυτής της εργασίας προσπαθήσαμε να προσδιορίσουμε τις τιμές των  $n$  εμπορευμάτων του συστήματος μας για μία χρονική περίοδο με απώτερο σκοπό την μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης της τιμής  $p_{n(t)}$ . Αυτό κατέστη δυνατό μόνο για την περίοδο  $T$  κατά την οποία τα αποθέματα του φυσικού πόρου  $n$  εξαντλούνται με παράλληλη δυνατότητα μεταπήδησης στην τεχνολογία *backstop*. Ο προσδιορισμός των τιμών για τις υπόλοιπες περιόδους  $T-1$  και συνεπώς η μελέτη της χρονικής εξέλιξης της τιμής του φυσικού πόρου θα πρέπει να στηριχθεί στο γεγονός ότι – στη βάση της προβληματικής που μας οδήγησε στη σχέση (2) και (3) – σε κατάσταση ισορροπίας και για κάθε ζευγάρι επακόλουθων χρονικών περιόδων  $t$  και  $t+1$  ισχύει:

$$\pi_{(t+1)} = (1+r) \pi_{(t)} \quad \text{ή} \quad \pi_{(t)} = \pi_{(t+1)} (1+r)^{-1} \quad (15)$$

Γνωρίζοντας την τιμή  $\pi_{(T)}$  από την σχέση (14) μπορούμε να υπολογίσουμε αναδρομικά τις υπόλοιπες τιμές από την σχέση (15):

$$\pi_{(T-1)} = \pi_{(T)} (1+r)^{-1}$$

$$\pi_{(T-2)} = \pi_{(T-1)} (1+r)^{-1}$$

.....

.....

ή στην γενική της μορφή:

$$\pi_{(t)} = (1+r)^{t-T} \pi_{(T)} \quad (16)$$

Από τις σχέσεις (7) και (16) έχουμε:

$$p_{n(t)} = w_{(t)} l_{(t)} + (1+r) [a_n p'_{(t)} + (1+r)^{t-T} \pi_{(T)} (M_{(t)} - M_{(t+1)})] \quad (17)$$

Μπορούμε να απλοποιήσουμε την σχέση (17) θέτοντας:

$$k_{(t)} = w_{(t)} l_{(t)} + (1+r) a_n p'_{(t)} \quad \text{και}$$

$$c_{(t)} = [M_{(t)} - M_{(t+1)}] \pi_{(T)} (1+r)^{t-T+1}$$

όπου  $k_{(t)}$  το «τεχνολογικό» – κόστος εργασίας και παραγωγικών εισροών – και  $c_{(t)}$  το «οικονομικό» – κόστος σημερινής χρήσης των αποθεμάτων – κόστος παραγωγής. Η σχέση (17) γράφεται τώρα:

$$p_{n(t)} = k_{(t)} + c_{(t)} \quad (18)$$

Η σχέση (18) θα μπορούσε κατ' αρχήν να χρησιμοποιηθεί όπως και η (16) για την μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης της τιμής  $p_{n(t)}$ . Το πρόβλημα έγκειται στην πολυπλοκότητα της σχέσης (18) η οποία με την σειρά της είναι συνέπεια του γεγονότος ότι ο φυσικός πόρος  $n$  είναι ένα βασικό εμπόρευμα. Συνεπώς τα μεγέθη  $k_{(t)}$  και  $c_{(t)}$  εξαρτώνται από το σύνολο των  $n$  τιμών συμπεριλαμβανομένης της τιμής  $p_{n(t)}$ . Παρόλη την αμεταβλητότητα των τεχνικών παραγωγής  $[a_i, l_i]$  οι μεταβολές μιας τιμής, της  $p_{n(t)}$ , συνεπάγονται περίπλοκες και εκ των προτέρων απρόβλεπτες κινήσεις των  $n-1$  σχετικών τιμών του συστήματος και του ωρομισθίου  $w_{(t)}$ <sup>20</sup>.

Η ουσία των δυσκολιών έγκειται, μεταξύ άλλων, στην υπόθεση μας ότι ο φυσικός πόρος είναι ένα βασικό εμπόρευμα, δηλαδή ότι υπεισέρχεται άμεσα ή έμμεσα στην παραγωγή όλων των υπολοίπων εμπορευμάτων της οικονομίας. Η ρεαλιστικότητα της υπόθεσης αυτής δεν χρειάζεται δικαιολόγηση ιδίως όταν ο υπό μελέτη φυσικός πόρος είναι ταυτόχρονα και πηγή ενέργειας. Στην αντίθετη περίπτωση όπου ο φυσικός πόρος δεν υπεισέρχεται ως παραγωγική εισροή σε κανένα κλάδο της οικονομίας, ούτε καν στον δικό του, καθίσταται δυνατή μεν η μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης της τιμής  $p_{n(t)}$  αλλά με προφανή μείωση της ισχύος των συμπερασμάτων μας.

Έστω λοιπόν ότι ο φυσικός πόρος  $n$  είναι ένα μη βασικό, καταναλωτικό αγαθό. Στις συνθήκες αυτές ο φυσικός πόρος δεν υπεισέρχεται ως μέσο παραγωγής στις εξισώσεις τιμών των  $n-1$  βιομηχανικών εμπορευμάτων και άρα η εξέλιξη της τιμής του δεν επηρεάζει τις σχετικές τιμές των τελευταίων. Για τον λόγο αυτό τα αξιακά μεγέθη  $k$  και  $c$  παραμένουν ανεξάρτητα από τις μεταβολές των τιμών  $p_{n(t)}$  και μπορούν να θεωρηθούν σταθερά στις εξισώσεις (18). Γνωρίζοντας ότι η τεχνολογία παραμένει σταθερή και υποθέτοντας ότι ο ρυθμός εξόρυξης είναι ο ίδιος κάθε περίοδο, τότε η σχέση (18) γίνεται:

$$p_{n(t)} + k + c(1+r)^{t-T} \quad (19)$$

όπου  $k$  το σταθερό τώρα «τεχνολογικό» κόστος και  $c = (1+r)[M_{(t)} - M_{(t+1)}] \pi_{(T)}$  το σταθερό μέρος του «οικονομικού» κόστους  $c_{(t)}$ . Εφαρμόζοντας πάλι τον αναδρομικό υπολογισμό των τιμών έχουμε για την τιμή  $p_{n(0)}$ :

$$p_{n(0)} = k + c(1+r)^{-T} \quad (20)$$

Από τις σχέσεις (19) και (20) απαλείφοντας το  $c$  έχουμε:

$$p_{n(t)} = k + (1+r)^t [p_{n(0)} - k] \quad (21)$$

Η σχέση (21) είναι η ζητούμενη διατύπωση του κανόνα του Hotelling στα πλαίσια του γραμμικού συστήματος  $n$  κλάδων και δηλώνει ότι η τιμή του φυσικού πόρου ισούται με το κόστος εξόρυξης  $k$  συν το κόστος ευκαιρίας για μελλοντικές χρήσεις, το royalty  $p_{n(0)} - k$ . Το τελευταίο αυτό κόστος ανατιμάται με ρυθμό ίσο με το ισχύον μέσο ποσοστό απόδοσης του κεφαλαίου  $r$ . Σε περίπτωση βέβαια μηδαιμινού κόστους εξόρυξης η σχέση (21) συμπίπτει με την σχέση (6).

## 5. Ανακεφαλαίωση και συμπεράσματα

Ας ανακεφαλαιώσουμε τα μέχρι τώρα βήματα μας. Ξεκινήσαμε από την διαπίστωση ότι η παραδοσιακή προσέγγιση των οικονομολόγων σε θέματα φυσικών πόρων επικεντρωνόταν στο πρόβλημα της Ρικαρντιανής γης μέχρις ότου ο Hotelling υπογράμμισε το πραγματικά οικονομικό πρόβλημα στην χρήση τους: Ποιο είναι το ratio πίσω από την παρατηρούμενη συμπεριφορά των ιδιοκτητών φυσικών αποθεμάτων οι οποίοι επιλέγουν να μην τα ρευστοποιήσουν στο σύνολο τους επενδύοντας τα έσοδα τους στους κλάδους με μέση απόδοση κεφαλαίου  $> 0$ ; Η απάντηση δεν μπορεί παρά να είναι ότι τόσο η επιλογή της εξόρυξης και πώλησης όσο και αυτή της διατήρησης των αποθεμάτων *in situ* αποτελούν εναλλακτικές κερδοφόρες δραστηριότητες. Αν ισχύει αυτό τότε σε κατάσταση ισορροπίας οι τιμές των φυσικών πόρων θα πρέπει να ανατιμώνται σύμφωνα με τον κανόνα του Hotelling με ρυθμό ίσο με το μέσο ποσοστό απόδοσης του κεφαλαίου.

Η αναλυτική εξαγωγή του κανόνα του Hotelling στα πλαίσια της νεοκλασικής μερικής ισορροπίας δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα αν αφήσουμε κατά μέρος προσωρινά την περιορισμένη ισχύ των βασικών υποθέσεων της ανάλυσης διαχρονικής ισορροπίας.

Στα πλαίσια των γραμμικών συστημάτων παραγωγής όμως στις ίδιες αυτές δυσκολίες προστίθεται και το γεγονός ότι ο χαρακτηρισμός του φυσικού πόρου ως βασικού εμπορεύματος αυξάνει την πολυπλοκότητα των διαχρονικών άλλη-

λοεξαρτήσεων. Η δυνατότητα πρόβλεψης του κόστους και του royalty για όλες τις T περιόδους καθίσταται έτσι πρακτικά αδύνατη για οποιονδήποτε μεμονωμένο παραγωγή ή/και σχεδιάζουσα αρχή. Η εξαγωγή του κανόνα του Hotelling στην περίπτωση ενός μη βασικού εμπορεύματος δεν αναιρεί τίποτα από τα παραπάνω.

Αν σκεφθεί κανείς και την αβεβαιότητα η οποία περιβάλλει την εξέλιξη του κόστους της τεχνολογίας *backstop* καθώς και την χρονική στιγμή κατά την οποία αυτή θα καταστεί εμπορεύσιμη τότε η πιθανότητα ισχύος του κανόνα του Hotelling στην πράξη καθίσταται ακόμα μικρότερη.

Η εξαντλησιμότητα λοιπόν όπως και η διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων παρουσιάζεται ως ένα αρκετά περίπλοκο διαχρονικό φαινόμενο το οποίο οι αγορές αντανακλούν μόνο εν μέρει. Από την μια μεριά, ακόμα και εάν επιτυγχάνονταν μέσω της αγοράς η βέλτιστη κατανομή των αποθεμάτων στον χρόνο η κατάσταση αυτή δεν εξασφαλίζει από μόνη της βιωσιμότητα της οικονομίας στο διηνεκές<sup>21</sup>. Το πρόβλημα δεν φαίνεται να είναι τόσο η ύπαρξη ή όχι απόλυτων και «φυσικών» ορίων της οικονομικής μεγέθυνσης όσο η δυνατότητα της οικονομίας και της κοινωνίας να κατανέμουν με αποδεκτό τρόπο ανάμεσα στα μέλη τους το βάρος της αναπόφευκτης αναπροσαρμογής τους στις νέες συνθήκες.

## ΥΠΟΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

1. B. Schefold, *Ecological Problems as a Challenge to Classical and Keynesian Economics*, *Metroeconomica*, vol. 37, 1985, p. 21.

2. Βλ. D.H. Meadows et al., *The Limits to Growth*, N. York 1972. Η βασική κριτική η οποία έχει ασκηθεί στα παγκόσμια υποδείγματα από την μεριά των οικονομολόγων είναι ότι οι αρχικές υποθέσεις είναι τέτοιες ώστε να υποβαθμίζεται δυσανάλογα η δυνατότητα τεχνολογικής προόδου με αποτέλεσμα μια αύξηση στην παραγωγή αγαθών να καθιστά απαραίτητη μια διογκούμενη ποσότητα εισροών. Ακόμα και στις περιπτώσεις κατά τις οποίες επιχειρείται το «τρέξιμο» του υποδείγματος με ενσωματωμένη την δυνατότητα τεχνολογικής προόδου η εικόνα δεν αλλάζει αισθητά λόγω της διατήρησης της υπόθεσης ενός εκθετικά αυξανόμενου πληθυσμού. Για μια πλήρη παρουσίαση και κριτική των παγκόσμιων υποδειγμάτων βλ. H. Meixner, *Technologische Entwicklung und natürliche Reproduktionsgrundlagen*, Frankfurt/M 1980. Επίσης, W.D. Nordhaus, *World Dynamics - Measurement without Data*, *Economic Journal*, vol. 83, 1973, pp. 1156–1183.

3. Οι βασικές απόψεις υπάρχουν διατυπωμένες στο: V.K. Smith (Ed.), *Scarcity and Growth reconsidered*, Baltimore/London 1979. Για ένα δείγμα της προβληματικής των αισιόδοξων προβλέψεων σχετικά με την διαθεσιμότητα των πόρων βλ. W.J. Baumol, *On the possibility of continuing expansion of finite resources*, *Kyklos*, vol. 39, pp. 167-179. Για μια κριτική βλ. H. Aage, *Economic arguments on the sufficiency of natural resources*, *Cambridge Journal of Economics*, vol. 8, 1984, pp. 105-113.



4. H. Hotelling, The economics of exhaustible resources, *Journal of Political Economy*, vol. 39, 1931, pp. 137-175. Η πατρότητα της λογικής του κανόνα του Hotelling αποδίδεται σήμερα στον L.C. Gray. Βλ. P. J. Crabbe, The Contribution of L.C. Gray to the Economic Theory of Exhaustible Natural Resources and its Roots in the History of Economic Thought, *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 10, 1983, pp. 195 - 220. Για μια σύνοψη των αποτελεσμάτων του Hotelling βλ. S. Devarajan/A.C. Fisher, Hotelling's "Economics of Exhaustible Resources": Fifty Years Later, *Journal of Economic Literature*, vol. XIX, 1981, pp. 65-73.

5. H. Hotelling, οπ. παρ. Επίσης J.A. Kay/J.A. Mirrlees, The desirability of natural resource depletion, στο: D.W. Pearce/J. Rose (Eds.). *The Economics of natural resource depletion*, N. York 1975, pp. 140- 176, A.C. Fisher, *Resource and environmental economics*, Cambridge U.P. 1981, p. 39.

6. Βέλτιστη κατανομή των φυσικών πόρων διαχρονικά στην βάση του κανόνα του Hotelling δεν σημαίνει βέβαια καμμία εκ των προτέρων εξασφαλισμένη βιωσιμότητα [sustainability] της οικονομίας στο διηνεκές. Εάν οι προτιμήσεις των μελών της παρούσας γενεάς είναι τέτοιες ώστε ο κοινωνικός ρυθμός αποπληθωρισμού του μέλλοντος να είναι υψηλός τότε είναι δυνατόν να έχουμε εξάντληση των φυσικών πόρων μετά από T χρονικές περιόδους με ταυτόχρονη βέλτιστη κατανομή τους στο διάστημα 0 έως T. Βλ. C.C.v. Wezsacker, *Leistet der Markt die optimale intertemporale Allokation der Ressourcen?* στο: H. Siebert (Hrsg.) *Erschopfbare Ressourcen*, Schriften des Vereins für Socialpolitik Bd. 108, Berlin 1980, p. 797.

7. Βλ. G. Heal, The long - run movement of the prices of exhaustible resources, στο: E. Malinvaud (Ed.) *Economic Growth and Resources. Vol. 1: The Major Issues*, London 1979, pp. 89 - 107, ιδιαίτερα σελ. 106: "The empirical studies cited are far from conclusive about any of the interesting issues, and suggest that the theory still remains to be tested seriously".

8. H. Hotelling, ο.π. παρ. σελ. 145. Ο συγγραφέας όμως στην συνέχεια επιλέγει να μην ασχοληθεί με θέματα διανομής του πλούτου και να παραμείνει στα πλαίσια της παραδοσιακής θεώρησης της οικονομικής αποτελεσματικότητας.

9. Για την ανάλυση που ακολουθεί βλ. οποιοδήποτε εμπεριστατωμένο νεοκλασικό εγχειρίδιο των οικονομικών των φυσικών πόρων όπως P.S. Dasgupta/G.M. Heal, *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge U.P. 1979, κεφ. 6, A.C. Fisher, *Resource and Environmental Economics*, οπ. παρ. κεφ. 2, D.W. Pearce/R. Kerry Turner, *Economics of Natural Resources and the Environment*, N. York 1990, κεφ. 12.

10. Θα πρέπει να προσθέσουμε εδώ ότι από την σκοπιά της οικονομικής αποτελεσματικότητας και μόνο δεν εξασφαλίζεται πάντα ως βέλτιστη λύση η διατήρηση ενός πληθυσμού. Για λεπτομέρειες βλ. C. Clark, *Mathematical Bioeconomics*, N. York 1976.

11. Βλ. J.E. Tilton/B.J. Skinner, The Meaning of Resources, στο: D.J. McLaren/B.J. Skinner (Eds) *Resources and World Development*, Dahlam Workshop Reports, John Wiley & Sons Ltd, Chichester 1978.

12. Μια πλέον προχωρημένη κριτική αναφέρεται στο γεγονός ότι αυτό το οποίο έχει σημασία για την εξέλιξη του κόστους εξόρυξης δεν είναι η θέση και τα γεωλογικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος αλλά οι οικονομικές συνθήκες οι οποίες καθορίζουν τις αποφάσεις για κεφαλαιακές επενδύσεις στην βραχυχρόνια και μακροχρόνια περίοδο. Τέτοιες συνθήκες μπορεί να είναι το κόστος απόκτησης του κεφαλαίου, οι οικονομίες κλίμακος, η αβεβαιότητα για την μελλοντική ζήτηση ή προσφορά κ.ά. Βλ. P.G. Bradley, Has the "Economics of Exhaustible Resources" Advanced the Economics of Mining? στο: A. Scott (Ed.), *Progress in Natural Resource Economics*, Oxford U.P. 1985, pp. 315-333.

13. Στο άρθρο του Hotelling αντί του όρου  $p_t - c_t$  για το royalty χρησιμοποιείται ως ταυτόσημη η έννοια της «καθαρής τιμής» (net price) η οποία και συμβολίζεται με  $p_t$ .

14. Βλ. Weinstein M.C./Zeckhauser, R.J., The Optimal Consumption of Depletable Natural Resources, *Quartely Journal of Economics*, vol. 89, 1975, pp. 371-92. Στην ακραία, Ρικαρντιανή προσέγγιση η διαχρονική αύξηση της τιμής προσφοράς ενός φυσικού πόρου είναι αποτέλεσμα μόνο των αυξανόμενων δαπανών τις οποίες συνεπάγεται η συνέχιση της εκμετάλλευσης του. Στην περίπτωση αυτή τα royalties δεν παίζουν κανέναν ρόλο. Βλ. H. Siebert, Ricardo una Hotelling - Paradigmen für die Preisbildung natürlicher Ressourcen, στο: H. Siebert (Hrsg.) *Angebotsentwicklung und Preisbildung natürlicher Ressourcen*, München 1986, pp. 1 - 17.

15. Βλ. W.D. Nordhaus, The Allocation of Energy Resources, *Brookings Papers*, n. 3, 1973, pp. 529-70.

16. Βλ. P. Dasgupta/G.M. Heal, Optimal Depletion of Exhaustible Resources, *Review of Economic Studies*, 1974, pp. 3-28.

17. Η πρώτη προσπάθεια στην βιβλιογραφία εξαγωγής του κανόνα του Hotelling σε n-τομεακά υποδείγματα βρίσκεται στον: S. Parrinello/C. Cecchi, Terra, στο: *Dizionario di Economia Politica*, G. Lughini (Ed.), vol. 1, Torino 1982, pp. 151 -214. Τα βασικά επιχειρήματα της παραπάνω εργασίας βρίσκονται σε αγγλική μετάφραση στο: S. Parinello, Exhaustible Natural Resources and the Classical Method of Long-Period Equilibrium, στο: J.A. Kregel (Ed.) *Distribution, Effective Demand and International Economic Relations*, London 1983, pp. 186- 199. Για περισσότερο επεξεργασμένες παρουσιάσεις βλ.: B. Schefold, Une digression sur les ressources épuisables: Existe-t-il une théorie classique des ressources épuisables?, στο: C. Bidard (Ed.) *La rente. Actualité de l'approche classique*, Paris 1987 pp. 83-97 και C. Perrings, *Economy and environment*, Cambridge U.P. 1987, pp. 132- 136.

18. Οι παραπάνω προσεγγίσεις στηρίζονται ουσιαστικά στη θεωρία των τιμών παραγωγής του P. Sraffa. Σύμφωνα με την θεωρία αυτή *βασικό εμπόρευμα* καλείται το εμπόρευμα το οποίο υπεισέρχεται άμεσα ή έμμεσα στην παραγωγή όλων των υπολοίπων εμπορευμάτων. Τα γραμμικά συστήματα παραγωγής a la Sraffa ονομάζονται *παραγωγικά* όταν η τεχνολογία τους επιτρέπει την παραγωγή ενός φυσικού πλεονάσματος εμπορευμάτων πέραν των αναγκαίων προς αποκατάσταση των φθαρέντων μέσω παραγωγής. Επίσης, στα πλαίσια της ίδιας θεώρησης οι καταβαλλόμενες εργασιακές αμοιβές θεωρούνται μέρος του φυσικού πλεονάσματος, λόγος για τον οποίο ο όρος  $w_{(t)}$ ; στις εξισώσεις τιμών που ακολουθούν δεν θεωρείται προκαταβαλλόμενος στην αρχή της περιόδου και άρα δεν πολλαπλασιάζεται με  $(1 + r)$ . Επίσης, ο λόγος για τον οποίο η τιμή του φυσικού πόρου στο δεξιό μέρος των εξισώσεων αυτών δεν αναφέρεται στην επόμενη περίοδο είναι ότι στα γραμμικά συστήματα παραγωγής κλασσικής προέλευσης η παραγωγή εμπορευμάτων δεν θεωρείται ως ένα είδος ανταλλαγής εισροών με εκροές στον χρόνο όπως στην νεοκλασσική θεωρία. Σ' ένα σύστημα ταυτόχρονων εξισώσεων όπως στη περίπτωση αυτή η διάσταση του χρόνου εκφράζεται *συγχρονικά* μέσω της ταυτόχρονης λειτουργίας όλων των κλάδων. Παρόλα αυτά τίποτα δεν θα άλλαζε στην ουσία του επιχειρήματος μας αν προτιμούσαμε στο σημείο αυτό την νεοκλασσική προσέγγιση. Ακόμα και τότε η γνώση της τιμής  $\rho_t = \rho^*$  θα καθιστούσε δυνατή τον αναδρομικό υπολογισμό των υπολοίπων τιμών. Βλ. B. Schefold, *Une digression...* p. 222.

19. Για την επίλυση γραμμικών συστημάτων παραγωγής του τύπου (10) θεωρούμε στην συνέχεια το μέσο ποσοστό απόδοσης  $r$  πάντα ως εξωγενώς δεδομένο. Συνεπώς μόνο το ωρομίσθιο  $w_{(t)}$  διαθέτει χρονικό δείκτη.

20. Βλ. B. Schefold, Relative Prices as a Function of the Rate of Profit, *Zeitschrift für Nationalökonomie*, vol. 36, 1976, pp. 21-48.

21. Βλ. υποσημείωση 6.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aage H.* (1984), Economic arguments on the sufficiency of natural resources, *Cambridge Journal of Economics*, vol. 18, pp. 105-113.
- Baumol W.J.* (1984), On the Possibility of Continuing Expansion of Finite Resources, *Kyklos*, vol. 39, pp. 167-179.
- Clare C.* (1976), *Mathematical Bioeconomics*, N. York.
- Crabbe P.J.* (1983), The Contribution of L.C. Gray to the Economic Theory of Exhaustible Natural Resources and its Roots in the History of Economic Thought, *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 10, pp. 195-220.
- Dasgupta P./Heal G.M.* (1974), Optimal Depletion of Exhaustible Resources, *Review of Economic Studies*, pp. 3-28.
- .../... (1979), *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge U.P.
- Devarajan S./Fisher A.C.* (1981), Hotelling's "Economics of Exhaustible Resources": Fifty Years Later, *Journal of Economic Literature*, vol. XIX, pp. 65-73.
- Fisher A.C.* (1981), *Resource and Environmental Economics*, Cambridge U.P.
- Heal G.M.* (1979), The long - run Movement of the Prices of Exhaustible Resources, στο: E. Malinvaud (Ed.) *Economic Growth and Resources. Vol. 1: The Major Issues*, London, pp. 89- 107.
- Hotelling H.* (1931), The Economics of Exhaustible Resources, *Journal of Political Economy*, vol. 39, pp. 137-175.
- Kay J.A./Mirrlees J.A.* (1975), The Desirability of Natural Resource Depletion, στο: D.W. Pearce/J. Rose (Eds) *The Economics of Natural Resource Depletion*, N. York, pp. 140- 176.
- Meadows D.H. et al.* (1972), *The Limits to Growth*, N. York.
- Mclaren D.J./Skinner B.J.* (1978) (Eds), *Resources and World Development*, Dahlam Workshop Reports, John Wiley & Sons Ltd, Chichester.
- Meixner H.* (1980), *Technologische Entwicklung und nauturliche Reproduktionsgrundlagen*, Frankfurt/M.
- Nordhaus W.D.* (1973a), Wold Dynamics - Measurement without Data, *Economic Journal*, vol. 83.
- .../... 1973(b), The Allocation of Energy Resources, *Brookings Papers*, n. 3, pp. 529-70.
- Parinello S.* (1983), Exhaustible Natural Resources and the Classical Method of Long - Period Equilibrium, στο: J.A. Kregel (Ed.) *Distribution, Effective Demand and International Economic Relations*, London, pp. 186-199.
- Parinello S./Cecchi C.* (1982), *Terra*, στο: *Dizionario di Economia Politica*, G. Lunghini (Ed.), vol. 1, Torino, pp. 151-214.
- Pearce D. W./Kerry Turner R.* (1990), *Economics of Natural Resources and the Environment*, N. York.
- Perrings C.* (1987), *Economy and Environment*, Cambridge U.P.
- Schefold B.* (1976), Relative Prices as a Function of the Rate of Profit, *Zeitschrift fur Nationalokonomie*, vol. 36, pp. 21-48.
- .../... (1985), Ecological Problems as a Challenge to Classical and Keynesian Economics, *Metroeconomica*, vol. 37.
- .../... (1987), Une digression sur les ressources epuisables: Existe-t-il une theorie classique des ressources epuisables?, στο: C. Bidard (Ed.) *La rente. Actualite de Γ approche classique*, Paris, pp. 83 - 97.

- Siebert H.* (1986), Ricardo - und Hotelling - Paradigmen für die Preisbildung natürlicher Ressourcen, στο: H. Siebert (Hrsg.) Angebotsentwicklung und Preisbildung natürlicher Ressourcen, München, pp. 1-17.
- Smith V.K.* (1979) (Ed.), Scarcity and Growth reconsidered, Baltimore/London.
- Weinstein MC./Zeckhauser R.J.* (1975), The Optimal Consumption of Depletable Natural Resources, *Quarterly Journal of Economics*, vol. 89, pp. 371-92.
- Weizsacker C.C.v.* (1980), Leistet der Markt die optimale intertemporale Allokation der Ressourcen? στο: H. Siebert (Hrsg.) Erschöpfbare Ressourcen, Schriften des Vereins für Socialpolitik Bd. 108, Berlin.