

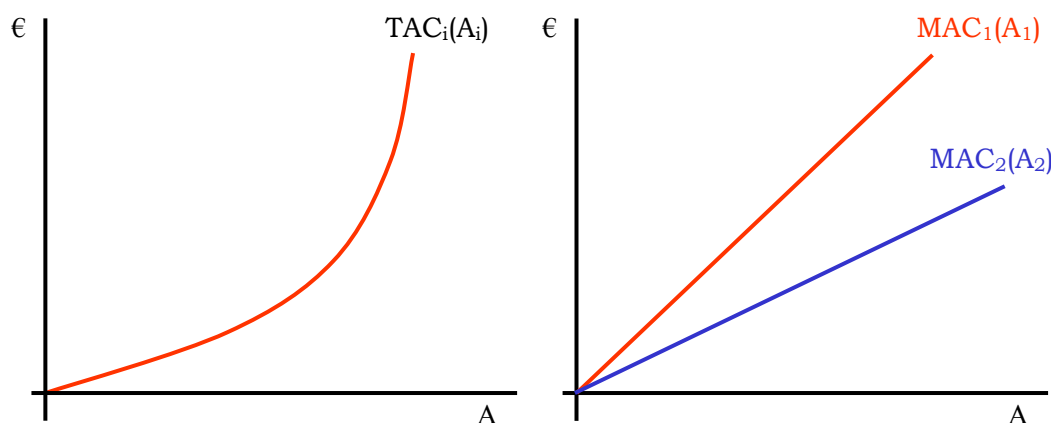
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΙΜΩΝ ΑΔΕΙΩΝ

Στο Παράρτημα αυτό θα εξετάσουμε ένα αριθμητικό παράδειγμα λειτουργίας μιας αγοράς μεταβιβάσιμων αδειών και θα γίνει σύγκριση με την πολιτική εντολών και ελέγχου. Θα χρησιμοποιήσουμε επίσης το παράδειγμα αυτό για να συνδέσουμε τη χρήση των διαγραμμάτων οριακού κόστους μείωσης των ρύπων. Θυμηθείτε ότι έχουμε χρησιμοποιήσει διαγράμματα στον οποίων τον οριζόντιο άξονα μετρούμε μείωση των ρύπων (για παράδειγμα τα διαγράμματα 7.2 και 7.3) και διαγράμματα στον οποίων τον οριζόντιο άξονα μετρούμε ποσότητα ρύπων (για παράδειγμα τα διαγράμματα 7.1 και 8.1).

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα κλάδο με δύο επιχειρήσεις, κάθε μία από τις οποίες έχει μία τεχνολογία μείωσης των ρύπων που δίνεται από την συνάρτηση:

$$TAC_i(A) = bA_i^2,$$

όπου με A συμβολίζουμε την ποσότητα κατά την οποία μειώνει η επιχείρηση i τους ρύπους της. Το μέρος (α) του διαγράμματος 8.A.1.1 απεικονίζει γραφικά αυτή την συνάρτηση η οποία μας δίνει μια συνεχώς αύξουσα καμπύλη. Το οριακό κόστος μείωσης των ρύπων είναι πάντα θετικό, $MAC_i(A) = 2bA$, όπως απεικονίζεται στο μέρος (β) του διαγράμματος 8.A.1.1. Είναι δηλαδή της μορφής που χρησιμοποιήσαμε στα διαγράμματα 7.2 και 7.3. Ας υποθέσουμε ότι το οριακό κόστος μείωσης των ρύπων είναι διαφορετικό για τις δύο επιχειρήσεις. Η επιχείρηση 1 έχει μεγαλύτερο οριακό κόστος μείωσης των ρύπων από την επιχείρηση 2, δηλαδή $MAC_1 > MAC_2$.



(α) Συνολικό

(β) Οριακό

Διάγραμμα 8.A.1.1. Συνολικό και οριακό κόστος μείωσης των ρύπων της επιχείρησης i σαν συνάρτηση της μείωσης των ρύπων.

Ας υποθέσουμε ότι οι δύο επιχειρήσεις έχουν τις παρακάτω συγκεκριμένες συναρτήσεις κόστους μείωσης των ρύπων τους:

Επιχείρηση 1: $TAC_1 = (2,15/5) A_1^2$

$$MAC_1 = (4,3/5) A_1$$

Επιχείρηση 2: $TAC_2 = (0,1) A_2^2$

$$MAC_2 = (0,2) A_2$$

Ας υποθέσουμε ότι χωρίς την παρέμβαση της κυβέρνησης και οι δύο επιχειρήσεις εκπέμπουν το μέγιστο ποσό ρύπων $\bar{E}_1 = \bar{E}_2 = 200$. Ας υποθέσουμε ότι η κυβέρνηση αποφασίζει να μειώσει τους συνολικούς ρύπους στο μισό.

Η ποσότητα των ρύπων που κάθε μία επιχείρηση θα έχει μετά την μείωση των ρύπων της κατά Α είναι:

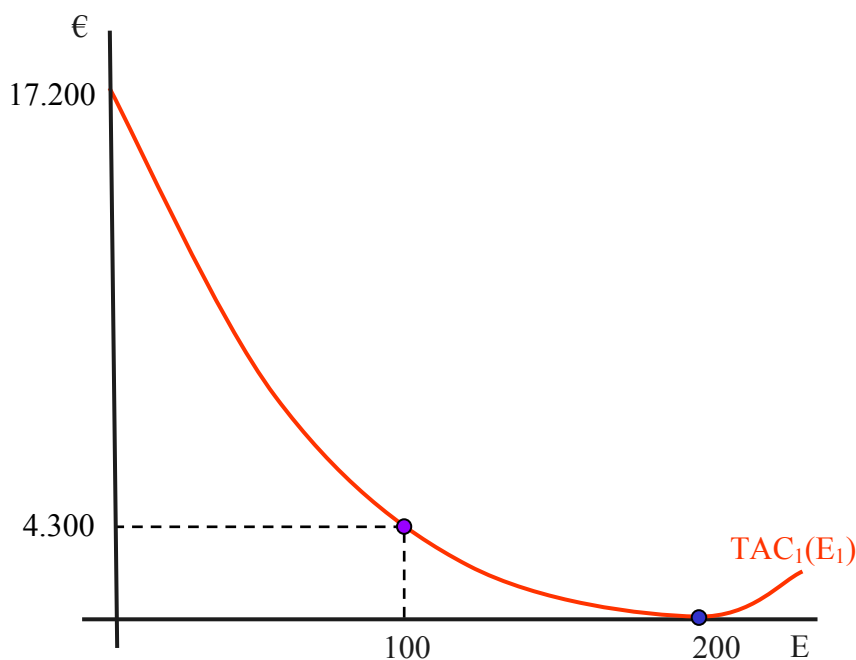
$$E_i = \bar{E}_i - A_i$$

Λύνοντας την σχέση αυτή ως προς A_i ($A_i = \bar{E}_i - E_i$) και αντικαθιστώντας στο συνολικό κόστος των επιχειρήσεων, μπορούμε να εκφράσουμε το κόστος μείωσης των ρύπων σαν συνάρτηση των συνολικών ρύπων μετά την μείωσή τους κατά A_i .

$$\begin{aligned} \text{Επιχείρηση 1: } TAC_1 &= (2,15/5)(\bar{E}_1 - E_1)^2 = (2,15/5) \bar{E}_1^2 - (4,3/5) \bar{E}_1 E_1 + (2,15/5) E_1^2 \\ &= 17.200 - 172 E_1 + (2,15/5) E_1^2 \\ MAC_1 &= -172 + (4,3/5) E_1 \end{aligned}$$

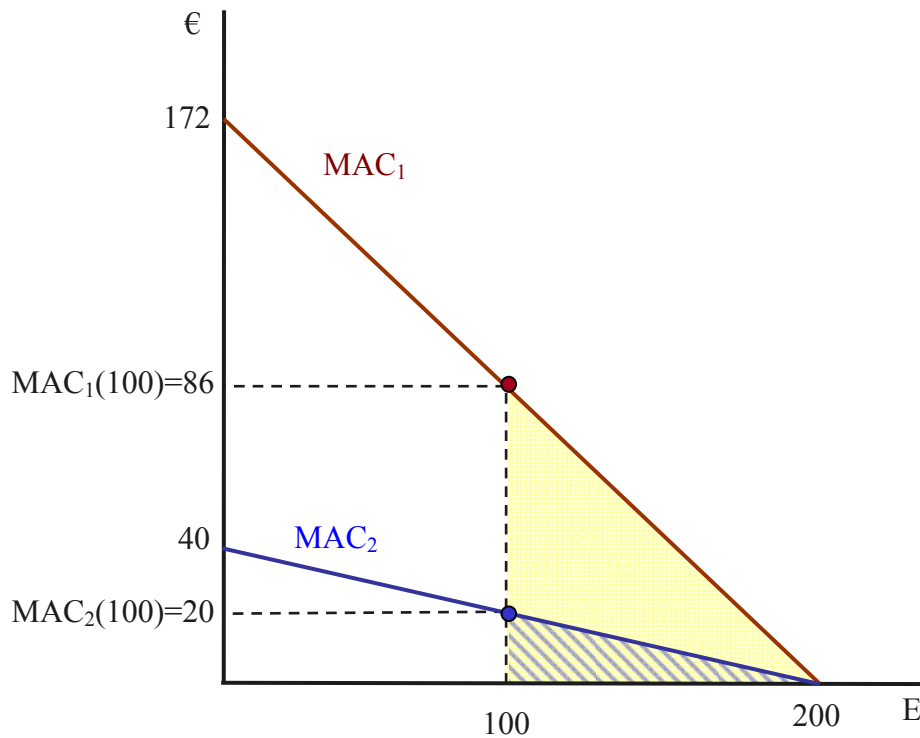
$$\begin{aligned} \text{Επιχείρηση 2: } TAC_2 &= (0,1) (\bar{E}_2 - E_2)^2 = (0,1) \bar{E}_2^2 - (0,2) \bar{E}_2 E_2 + (0,1) E_2^2 \\ &= 4.000 - 40 E_2 + (0,1) E_2^2 \\ MAC_2 &= -40 + (0,2) E_2 \end{aligned}$$

Στο διάγραμμα 8.A.1.2 περιγράφεται το συνολικό κόστος μείωσης των ρύπων της επιχείρησης 1, σαν συνάρτηση των συνολικών της ρύπων. Το συνολικό κόστος μειώνεται συνεχώς μέχρι το επίπεδο $\bar{E}_1 = 200$, σημείο στο οποίο έχει την ελάχιστη τιμή του που είναι ίση με το μηδέν. Παρόμοιο είναι και το διάγραμμα για την επιχείρηση 2.



Διάγραμμα 8.A.1.2. Συνολικό κόστος μείωσης των ρύπων της επιχείρησης 1 σαν συνάρτηση των ρύπων.

Το διάγραμμα 8.A.1.3 δίνει τα οριακά κόστη μείωσης των ρύπων των δύο επιχειρήσεων σαν συνάρτηση των ρύπων τους. Στο επίπεδο $\bar{E}_1 = 200$ των ρύπων το οριακό κόστος μηδενίζεται, δηλαδή $MAC_1(\bar{E}_1) = -172 + (4,3/5) 200 = 0$ και αντίστοιχα $MAC_2(\bar{E}_2) = 0$. Στο διάγραμμα 8.A.1.3 σχεδιάζουμε τις απόλυτες τιμές του οριακού κόστους.



Διάγραμμα 8.A.1.3. Οριακό κόστος μείωσης των ρύπων της επιχείρησης i σαν συνάρτηση των ρύπων.

Πολιτική εντολών και ελέγχου

Ας επιστρέψουμε τώρα στην κυβέρνηση που θέλει να περιορίσει τους ρύπους στο μισό. Για να επιβάλει την μείωση των ρύπων στο μισό, αρχικά η κυβέρνηση εφαρμόζει την πολιτική εντολών και ελέγχου. Στην περίπτωση αυτή η κάθε μία επιχείρηση πρέπει να μειώσει τους ρύπους της κατά 100 μονάδες, δηλαδή $A_1^C = A_2^C = E_1^C = E_2^C = 100$, όπου το C υποδεικνύει ότι εφαρμόζουμε πολιτική εντολών και ελέγχου. Το οριακό κόστος της τελευταίας μονάδας ($100^{\text{ης}}$ μονάδας) για κάθε επιχείρηση είναι

$$\begin{aligned} MAC_1(E_1^C) &= -172 + (4,3/5) 100 = -86 \\ MAC_2(E_2^C) &= -40 + (0,2) 100 = -20 \end{aligned}$$

Το συνολικό κόστος μείωσης των ρύπων για την επιχείρηση 1 είναι:

$$TCA_1^c = 17.200 - 172(100) + (2,15/5)(100)^2 = 4.300$$

Καθώς δεν υπάρχουν σταθερά κόστη, το συνολικό κόστος μπορεί επίσης να υπολογιστεί ως το εμβαδό της επιφάνειας του σκιασμένου τριγώνου στο διάγραμμα

8.A.1.3, (χρησιμοποιώντας την απόλυτη τιμή του οριακού κόστους) το οποίο είναι: $\frac{1}{2}(100)(86) = 4.300$. Σημειώστε ότι το συνολικό κόστος μείωσης των ρύπων μπορούμε να το υπολογίσουμε και από την συνάρτηση $TAC_1 = (2,15/5)A_1^2$, αντικαθιστώντας όπου $A_1 = \bar{E}_1 - E_1 = 200 - 100 = 100$. Και με την μορφή αυτή πάλι το συνολικό κόστος μείωσης των ρύπων είναι 4.300. Τέλος, το συνολικό κόστος μείωσης των ρύπων θα μπορούσε να υπολογιστεί και ως το εμβαδό της περιοχής κάτω από την καμπύλη του οριακού κόστους μείωσης των ρύπων από 0 έως 100 στο μέρος β του διαγράμματος 8.A.1.1.

Αντίστοιχα μπορούμε να βρούμε με έναν εκ των τεσσάρων τρόπων που αναφέραμε παραπάνω, το συνολικό κόστος της επιχείρησης 2, το οποίο είναι 1.000. Επομένως το συνολικό κόστος μείωσης των ρύπων από 400 σε 200 μονάδες είναι ίσο με:

$$TCA^c = TCA_1^c + TCA_2^c = 4.300 + 1.000 = 5.300.$$

Πολιτική μεταβιβάσιμων αδειών εκπομπών

Η κυβέρνηση θα μπορούσε να επιλέξει την πολιτική μεταβιβάσιμων αδειών εκπομπών. Στην περίπτωση αυτή η κυβέρνηση θα εξέδιδε 200 άδειες, κάθε μία από τις οποίες θα αντιστοιχούσε σε μία μονάδα ρύπων. Ας υποθέσουμε ότι η κυβέρνηση αρχικά μοιράζει τις άδειες ισόποσα στις δύο επιχειρήσεις, κάθε μία από τις οποίες λαμβάνει 100 άδειες. Μετά την αρχική κατανομή των αδειών οι επιχειρήσεις μπορούν να πωλούν η μία στην άλλη άδειες. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 8.A.1.4 το οριακό κόστος μείωσης της 100^{ης} μονάδας ρύπων είναι 86 για την επιχείρηση 1 και 20 για την επιχείρηση 2. Επομένως η μείωση των ρύπων κοστίζει πολύ λιγότερο στην επιχείρηση 2 από ότι στην επιχείρηση 1. Η επιχείρηση 1 μπορεί να πληρώσει στην επιχείρηση 2 ένα ποσό μεγαλύτερο του οριακού κόστους της 2 (μεγαλύτερο από 20) έτσι ώστε η επιχείρηση 2 να μειώσει κατά μία μονάδα παραπάνω τους ρύπους της (από 100 σε 101) και να πουλήσει στην επιχείρηση 1 μία άδεια έτσι ώστε η επιχείρηση 1 να χρειάζεται να μειώσει τους ρύπους της μόνο κατά 99 μονάδες. Με βάση τη λογική αυτή η επιχείρηση 2 θα πουλά άδειες στην επιχείρηση 1 μέχρις ότου τα οριακά κόστη των δύο επιχειρήσεων εξισωθούν.

Τα επίπεδα των ρύπων της κάθε επιχείρησης υπολογίζονται από την λύση του παρακάτω συστήματος δύο εξισώσεων, όπου το t υποδεικνύει ότι εφαρμόζουμε πολιτική μεταβιβάσιμων αδειών:

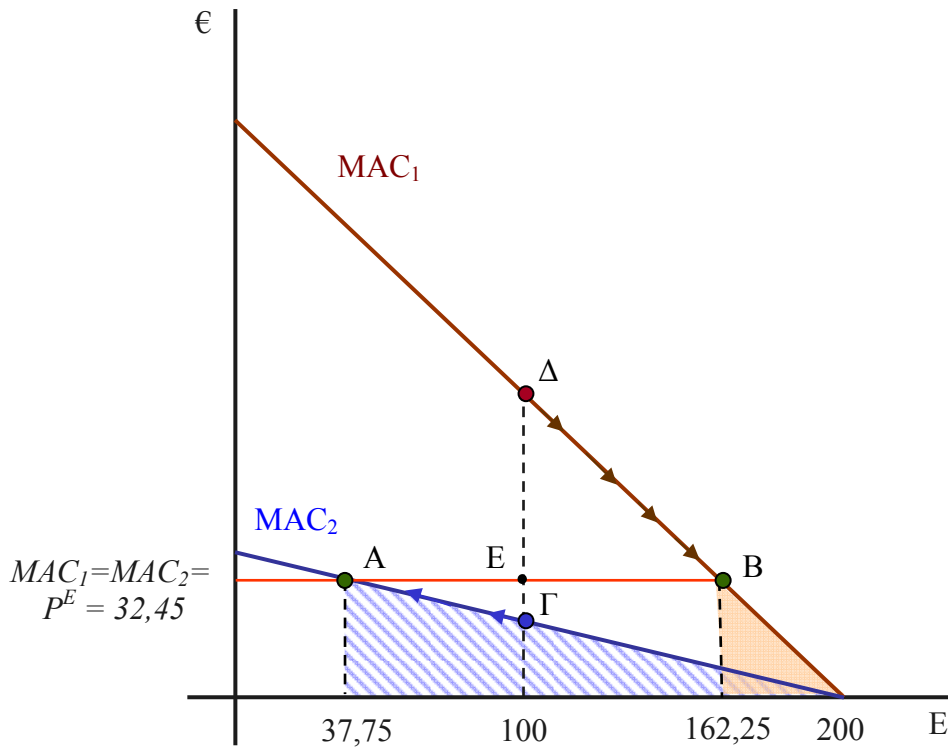
$$\begin{aligned} MAC_1(E_1^t) = MAC_2(E_2^t) &\Rightarrow -40 + (0,2)E_2 = -172 + (4,3/5)E_1 \\ E_2 + E_1 &= 200 \end{aligned}$$

Η λύση του παραπάνω συστήματος δίνει $E_1^t = 162,25$ και $E_2^t = 37,75$.

Αντικαθιστώντας παίρνουμε τα οριακά κόστη των επιχειρήσεων στην ισορροπία, τα οποία είναι ίσα μεταξύ τους και η απόλυτη τιμή τους ίση με την τιμή των αδειών P^E :

$$\begin{aligned} MAC_1(E_1^t) &= -172 + (4,3/5) 162,25 = -32,45 \\ MAC_2(E_2^t) &= -40 + (0,2) 37,75 = -32,45 \end{aligned}$$

Επομένως, $P^E = MAC_1(E_1^t) = MAC_2(E_2^t) = 32,45$.



Διάγραμμα 8.A.1.4. Κόστος μείωσης των ρύπων με πολιτική μεταβιβάσιμων αδειών.

Επομένως, στην ισορροπία η επιχείρηση 1, εκπέμπει ρύπους ίσους με $E_1^t = 162,25$ μονάδες, έχει μόνον 100 άδειες που της εκχώρησε η κυβέρνηση και επομένως αγοράζει 62,25 άδειες στην τιμή $P^E = 32,45$. επομένως, η επιχείρηση 1 δαπανά για άδειες $EA = 2.023,125€$. Επίσης καθώς η επιχείρηση 1 μειώνει τους ρύπους της κατά $A_1 = \bar{E}_1 - E_1 = 200 - 162,25 = 37,75$. Το συνολικό κόστος μείωσης των ρύπων μπορεί να υπολογιστεί με οποιονδήποτε από τους τέσσερις τρόπους που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Για παράδειγμα:

$$TAC_1 = (2,15/5) A_1^2 = (2,15/5)(37,75)^2 = 612,78$$

Η επιχείρηση 2 εκπέμπει ρύπους ίσους με $E_2^t = 37,75$, ενώ έχει στην κατοχή της από την αρχική κατανομή της κυβέρνησης 100 άδειες, και επομένως πουλά το πλεόνασμα των $100 - 37,75 = 62,25$ αδειών. Ως εκ τούτου, η επιχείρηση 2 η οποία πουλά άδειες έχει έσοδα από την πώληση αδειών ίσα με $EA = 2.023,125€$. Επίσης η επιχείρηση 2 μειώνει τους ρύπους της κατά $A_2 = \bar{E}_2 - E_2 = 200 - 37,75 = 162,25$ μονάδες. Ας υπολογίσουμε το συνολικό κόστος μείωσης των ρύπων της επιχείρησης 2 ως το εμβαδό της γραμμοσκιασμένης περιοχής στο διάγραμμα 8.A.1.4, το οποίο είναι:

$$TAC_2 = \frac{1}{2}(162,25)(32,45) = 2.632,5$$

Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να υπολογίσουμε το κόστος της επιχείρησης 1, το οποίο είναι $TAC_1 = 612,78$. Η επιχείρηση 1 έχει όμως έξοδα για την αγορά αδειών τα οποία είναι ίσα με τα έσοδα της επιχείρησης 2, δηλαδή είναι $EA = 2.023,125€$. Επομένως, σε επίπεδο επιχείρησης, το καθαρό συνολικό κόστος του προγράμματος μείωσης

εκπομπών για την επιχείρηση 2 είναι $NTAC_2 = 2.632,5 - 2.023,12 = 609,38$. Το αντίστοιχο καθαρό συνολικό κόστος για την επιχείρηση 1 είναι $NTAC_1 = 612,78 + 2.023,12 = 2.635,9$. Σε σχέση με την πολιτική εντολών και ελέγχου και οι δύο επιχειρήσεις μειώνουν το κόστος τους καθώς το κόστος της επιχείρησης 1 ήταν 4.000 και τώρα 2.635,9 και της επιχείρησης 2 ήταν 1.000 και τώρα 609,38.

Σε επίπεδο κοινωνικής ευημερίας η μεταβίβαση χρημάτων από την επιχείρηση 1 στην επιχείρηση 2 για την αγορά των αδειών δεν έχει καμμία επίπτωση και επομένως το συνολικό κοινωνικό κόστος επίτευξης του περιβαλλοντικού στόχου, δηλαδή της μείωσης των ρύπων από 400 σε 200 μονάδες είναι:

$$TCA' = TCA_1' + TCA_2' = 2.632,5 + 612,78 = 3.245,28.$$

Το συνολικό κόστος επίτευξης του περιβαλλοντικού στόχου μειώνεται σε σχέση με την πολιτική εντολών και ελέγχου, καθώς

$$€3.245,28 < €5.300 \Rightarrow TCA' < TCA^C.$$

Παρατηρείστε ότι στο συνολικό κόστος μείωσης των ρύπων στην περίπτωση των μεταβιβάσιμων αδειών δεν συνυπολογίζουμε τα έξοδα της επιχείρησης 1 για άδειες καθώς το ποσό αυτό είναι μια απλή μεταβίβαση από την επιχείρηση 1 στην επιχείρηση 2 και δεν εμπλέκει χρήση πόρων.

Ας δούμε τώρα από πού προέρχεται η διαφορά στα συνολικά κόστη. Από το διάγραμμα 8.A.1.4 παρατηρούμε ότι σε σχέση με την πολιτική εντολών και ελέγχου, τα κόστη μείωσης των ρύπων της επιχείρησης 2 αυξάνονται κατά το εμβαδόν του τραπεζιού με βάσεις $MAC_2 (E_2^C) = 20$ και $P^E = 32,45$ και ύψος τον αριθμό των αδειών που πωλούνται από την επιχείρηση 2 στην 1 ($100 - 37,75 = 62,25$). Δηλαδή η αύξηση του κόστους της επιχείρησης 2 είναι ίσο με:

$$\Delta TCA_2 = TCA_2' - TCA_2^C = \frac{1}{2}(20 + 32,45)62,25 = 1.632,5 \text{ €}$$

Καθώς η επιχείρηση 2 πουλά τις 62,25 άδειες που απελευθερώνει αυξάνοντας τη μείωση των ρύπων της από 100 σε 162,25, έχει έσοδα $EA = 2.023,125 \text{ €}$. Επομένως τα καθαρά έσοδα της επιχείρησης 2 από την συμμετοχή της στην αγορά των μεταβιβάσιμων αδειών είναι:

$$NB_2 = EA - \Delta TCA_2 = 2.023,125 - 1.632,5 = 390,625 \text{ €}$$

Το ποσό αυτό αντιστοιχεί στο εμβαδόν του τριγώνου ΑΓΕ στο διάγραμμα 8.A.1.4.

Παρομοίως, η επιχείρηση 1 μειώνει τα κόστη της σε σχέση με την περίπτωση της πολιτικής εντολών και ελέγχου κατά το εμβαδόν του τραπεζιού με βάσεις $MAC_1 (E_1^C) = 86$ και $P^E = 32,45$ και ύψος τον αριθμό των αδειών που αγοράζει η επιχείρηση 1 από την επιχείρηση 2 ($162,25 - 100 = 62,25$). Δηλαδή η μείωση του κόστους της επιχείρησης 1 είναι ίσο με:

$$\Delta TCA_1 = TCA_1^C - TCA_1' = \frac{1}{2}(86 + 32,45)62,25 = 3.686,76 \text{ €}$$

Καθώς η επιχείρηση 1 αγοράζει τις 62,25 άδειες χρειάζεται επιπλέον των 100 που ήδη έχει, καθώς μειώνει την προσπάθεια μείωσης των ρύπων της από 100 σε 37,75, έχει δαπάνες $ΔA = 2.023,125€$. Επομένως το καθαρό όφελος της επιχείρησης 1 από την συμμετοχή της στην αγορά των μεταβιβάσιμων αδειών είναι:

$$NB_1 = ΔTCA_1 - ΔA = 3.686,76 - 2.023,125 = 1.663,635€$$

Το ποσό αυτό αντιστοιχεί στο εμβαδόν του τριγώνου ΒΔΕ στο διάγραμμα 8.Α.1.4. Το άθροισμα των εμβαδών των τριγώνων ΑΓΕ και ΒΔΕ, δηλαδή των καθαρών οφελών των δύο επιχειρήσεων, είναι και το συνολικό καθαρό κοινωνικό όφελος από την χρήση της πολιτικής μεταβιβάσιμων αδειών σε σχέση με την πολιτική εντολών και ελέγχου.

$$NB_1 + NB_2 = TCA^C - TCA^A \\ 1.663,635 + 390,625 \approx 5.300 - 3.245,28$$

Μέσω της χρήσης των μεταβιβάσιμων αδειών, η κυβέρνηση κατορθώνει να επιμερίσει το βάρος μείωσης των ρύπων με τρόπο ώστε η πλέον αποτελεσματική επιχείρηση (αυτή με το μικρότερο οριακό κόστος) να αυξήσει την προσπάθεια μείωσης των ρύπων και αντίστοιχα η επιχείρηση με το μεγαλύτερο οριακό κόστος να μειώσει την προσπάθεια μείωσης των ρύπων.

Σχέση μεταβιβάσιμων αδειών και περιβαλλοντικού φόρου

Εάν η κυβέρνηση επέλεγε να επιβάλει έναν περιβαλλοντικό φόρο ίσο με $\tau = 32,25$, το απατέλεσμα στην ισορροπία θα ήταν ακριβώς το ίδιο με την περίπτωση των μεταβιβάσιμων αδειών. Στο μόνο που διαφέρει ο φόρος από τις άδειες, στην περίπτωση που οι άδειες δίνονται στις επιχειρήσεις χωρίς χρέωση, είναι ότι το μόνο κόστος των επιχειρήσεων είναι το κόστος μείωσης των ρύπων και το κόστος (ή κέρδος) από την αγορά (πώληση) των αδειών. Επομένως στην περίπτωση του φόρου η κυβέρνηση θα έχει έσοδα ίσα με:

$$\Phi E = \tau 200 = (32,25) 200 = 6.450 €$$

Ενώ στην περίπτωση των αδειών δεν θα έχει έσοδα.