



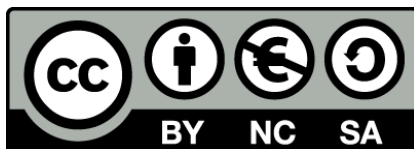
Θερμοδυναμική

Ενότητα 5: Παράδειγμα 1

Γεώργιος Κ. Χατζηκωνσταντής Επίκουρος Καθηγητής

Διπλ. Ναυπηγός Μηχανολόγος Μηχανικός

Μ.Sc. "Διασφάλιση Ποιότητας", Τμήμα Ναυπηγικών Μηχανικών ΤΕ



Το περιεχόμενο του μαθήματος διατίθεται με άδεια Creative Commons εκτός και αν αναφέρεται διαφορετικά



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

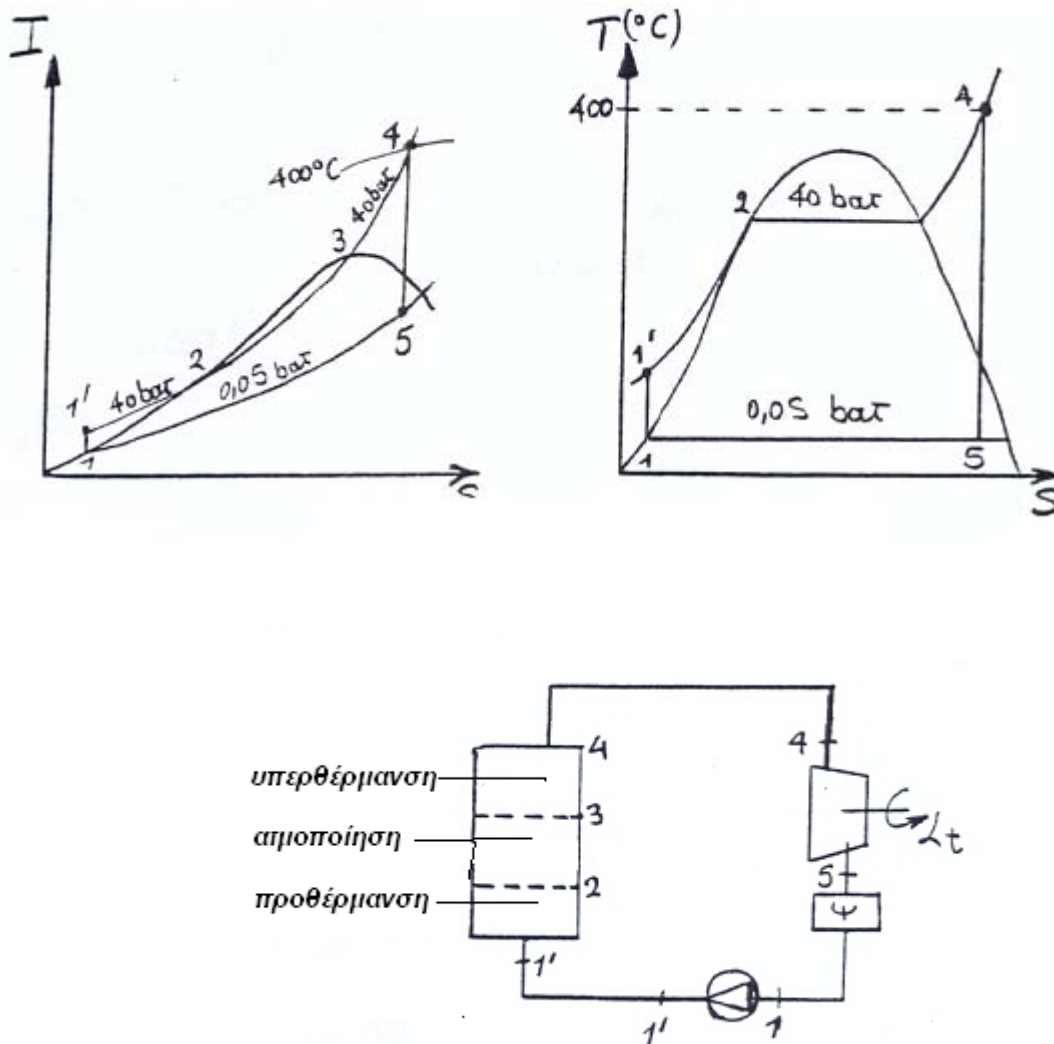
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΚΥΚΛΟΥ RANKINE

Σε ένα κύκλο RANKINE, το σύστημα (1 kg) εισέρχεται στο στρόβιλο σε κατάσταση υπέρθερμου ατμού σε πίεση 40 bar και θερμοκρασία 400 °C, η δε πίεση στο συμπυκνωτή είναι 0,05 bar. Να υπολογισθούν :

α) το χορηγούμενο ποσό θερμότητας, β) το αποβαλλόμενο ποσό θερμότητας, γ) το παραγόμενο έργο, δ) το έργο της αντλίας, ε) ο θερμοκός βαθμός απόδοσης, στ) η μέση θερμοκρασία κατά την οποία χορηγείται η θερμότητα.

Λύση

A. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το διαγραμματικό της εγκατάστασης και η απεικόνιση αυτής στο διάγραμμα (T-S) και στο διάγραμμα (I-S). θεωρώντας ιδανικές μεταβολές τη συμπίεση και την εκτόνωση.



Ακολουθούν οι υπολογισμοί των ζητούμενων στοιχείων.

α) Το ποσό θερμότητας που πρέπει να χορηγηθεί στην εγκατάσταση δίδεται από την παρακάτω σχέση :

$$Q_1 = I_4 - I_1$$

Από το διάγραμμα (I-S) για πίεση 40 bar και θερμοκρασία 400 °C, είναι :

$I_4 = 3211 \left(\frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} \right)$, τιμή που αναγράφεται και στον πίνακα του υπέρθερμου ατμού (ΠΙΝΑΚΑΣ 8).

Η τιμή της ενθαλπίας I_1 υπολογίζεται από τη σχέση της αντλίας :

$$N_{αντλ.} = m \cdot (I_1 - I_1) = m \cdot v_1 \cdot (p_1 - p_1) \Rightarrow I_1 = I_1 + v_1 \cdot (p_1 - p_1)$$

Από τον πίνακα -5- για πίεση κορεσμού 0,05 bar είναι :

$I_1 = 137,83 \left(\frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} \right)$, $v_1 = 0,0010053 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$, οπότε η ενθαλπία στο τέλος της συμπίεσης είναι :

$$I_1 = 137,83 + 0,0010053 \cdot (40 - 0,05) \cdot 10^2 = 141,846 \left(\frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} \right)$$

Οπότε το ποσό θερμότητας είναι :

$$Q_1 = (3211 - 141,846) = 3069,154 \left(\frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} \right)$$

β) Το ποσό θερμότητας που αποβάλλεται, ευρίσκεται από τη μεταβολή της συμπίκνωσης, ήτοι :

$$q = I_{τελ.} - I_{αρχ.} = I_1 - I_5$$

Η ενθαλπία I_5 είναι η ενθαλπία του μίγματος στην κατάσταση 5. Η κατάσταση αυτή είναι το τέλος της εκτόνωσης στο στρόβιλο και μπορεί να προσδιοριστεί γραφικά και αναλυτικά.

Γραφικός προσδιορισμός :

Χρησιμοποιείται το διάγραμμα (I-S), δεδομένου ότι στο διάγραμμα αυτό δίδονται απ' ευθείας οι τιμές της ενθαλπίας στον άξονα. Ο προσδιορισμός γίνεται ως εξής :

Από το σημείο 4 (κατάσταση υπέρθερμου ατμού) χαράσσεται κατακόρυφη γραμμή (κατακόρυφη διότι η εκτόνωση είναι ιδανική, άρα μεταβολή σταθερής εντροπίας) και το σημείο τομής αυτής με την οριζόντιο $p = 0,05$ bar είναι το ζητούμενο σημείο 5.

Στον κατακόρυφο άξονα του διαγράμματος δίδονται οι τιμές της ενθαλπίας και στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι : $I_5 \cong 2065 \left(\frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} \right)$

Αναλυτικός υπολογισμός :

Η κατακόρυφη από το σημείο 4 [είτε χαραχθεί στο διάγραμμα (T-S) είτε στο διάγραμμα (I-S)], τέμνει την ισοβαρή 0,05 bar στην περιοχή του μίγματος.

Η ενθαλπία του μίγματος δίδεται από την παρακάτω σχέση :

$$I_5 = I_1 + r \cdot x_5$$

Ο βαθμός ξηρότητας στο σημείο -5- δεν δίδεται. Εάν από το σημείο -5- επί της ισοβαρούς 0,05 bar διέρχεται κάποια καμπύλη βαθμού ξηρότητας, τότε αυτή η τιμή είναι το x_5 .

Εάν δεν είναι εφικτό να προσδιοριστεί το x_5 από το διάγραμμα, τότε υπολογίζεται αναλυτικά ως εξής :

Η εκτόνωση 45 έχει θεωρηθεί ιδανική, οπότε είναι και ισοεντροπική, δηλαδή :

Η τιμή της εντροπίας του υπέρθερμου ατμού (πίεση 40 bar και θερμοκρασία 400 °C) υπολογίζεται από τον πίνακα -8-, ήτοι $S_4 = 6,762 \left(\frac{KJoule}{kg \cdot ^\circ K} \right)$ και αυτή η εντροπία ισούται με την εντροπία στο σημείο 5 : $S_4 = S_5 = 6,762 \left(\frac{KJoule}{kg \cdot ^\circ K} \right)$. Στο σημείο 5 το σύστημα είναι μίγμα και η εντροπία μίγματος ισούται με :

$$S_4 = S_5 = S_1 + \left(\frac{r}{T} \right) \cdot x_5 \quad \text{και λύνοντας ως προς βαθμό ξηρότητας είναι : } x_5 = \frac{S_5 - S_1}{\left(\frac{r}{T} \right)},$$

όπου για πίεση κορεσμού = 0,05 bar από τον πίνακα νερού – ατμού σε συνθήκες κορεσμού (ΠΙΝΑΚΑΣ 5) είναι :

$$S_1 = 0,4761 \left(\frac{KJoule}{kg \cdot ^\circ K} \right), \quad r = 2423 \left(\frac{KJoule}{kg} \right), \quad T = 32,88 + 273,15 = 306,03 \text{ (} ^\circ K \text{)}$$

και αντικαθιστώντας προκύπτει : $x_5 = 0,794$

Οπότε η ενθαλπία του μίγματος είναι :

$$I_5 = I_1 + r \cdot x_5 = 137,83 + 2423 \cdot 0,794 = 2061,692 \left(\frac{KJoule}{kg} \right)$$

Και το ζητούμενο ποσό θερμότητας είναι :

$$q = I_{\text{τελ.}} - I_{\text{αρχ.}} = I_1 - I_5 = 137,83 - 2061,692 = -1923,862 \left(\frac{KJoule}{kg} \right)$$

Σημ. : το σημείο (-) δικαιολογείται διότι σύμφωνα με τη σύμβαση το ποσό θερμότητας που αποβάλλεται από το σύστημα θεωρείται αρνητικό.

γ) Το ποσό θερμικής ενέργειας στην εκτόνωση που διατίθεται για μηχανική ενέργεια, δίδεται από τη σχέση :

$$L_{45} = I_4 - I_5 = 3211 - 2061,692 = 1149,308 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right)$$

δ) Το απαιτούμενο έργο για τη λειτουργία της αντλίας, είναι :

$$L_{\text{αντλ.}} = I_1' - I_1 = 141,846 - 137,830 = 4,016 \left(\frac{\text{KJoule}}{\text{kg}} \right)$$

ε) Ο θερμικός βαθμός απόδοσης, είναι :

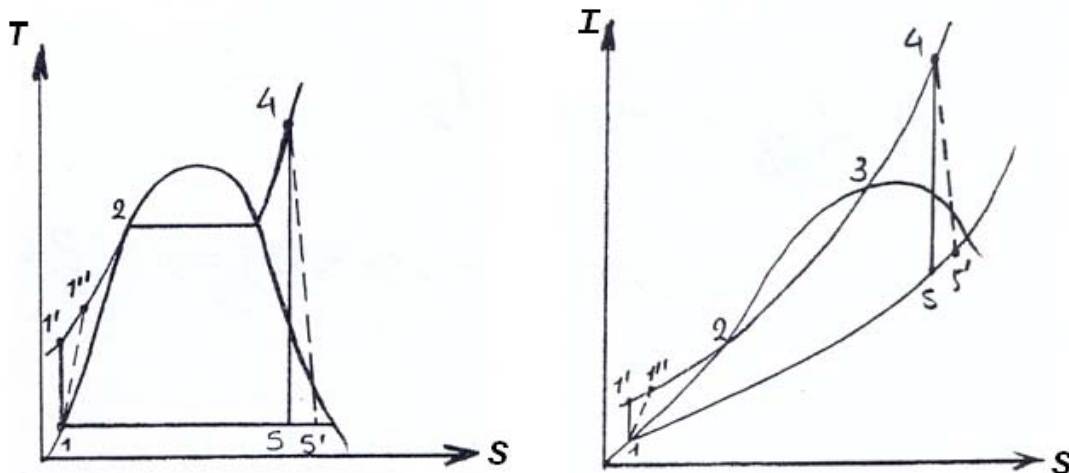
$$\eta_{\theta} = \frac{(I_4 - I_5) - (I_1' - I_1)}{I_4 - I_1'} = \frac{1149,308 - 4,016}{3211 - 141,846} = \frac{1145,292}{3069,154} = 0,373, \text{ ή } 37,3 \%$$

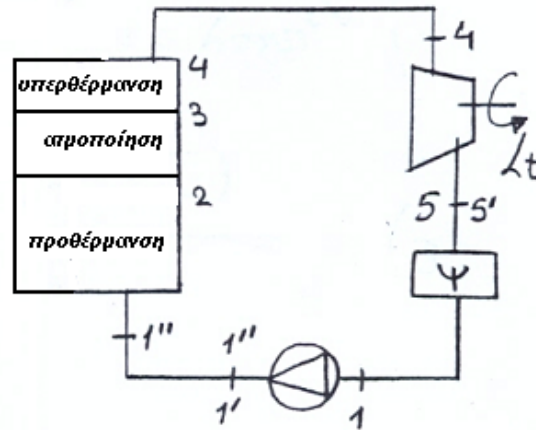
στ) Η θερμότητα χορηγείται κατά τη μεταβολή (1' 4). Από τη σχέση ορισμού της εντροπίας, είναι :

$$T = \frac{Q}{\Delta S} = \frac{I_4 - I_1'}{S_4 - S_1'} = \frac{3211 - 141,846}{6,762 - 0,4761} = 488,26 \text{ } ^{\circ}\text{K}$$

B. Θεωρώντας πραγματικές την εκτόνωση και τη συμπίεση, με βαθμούς απόδοσης 0,85 και 0,80, επαναλαμβάνονται οι υπολογισμοί των ίδιων μεγεθών σε κάθε ερώτημα.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το διαγραμματικό της εγκατάστασης και η απεικόνιση αυτής στο διάγραμμα (T-S) και στο διάγραμμα (I-S).θεωρώντας τώρα πραγματικές μεταβολές τη συμπίεση και την εκτόνωση.





α) Το ποσό θερμότητας που πρέπει να χορηγηθεί στην εγκατάσταση δίδεται από την παρακάτω σχέση :

$$Q_1 = I_4 - I_1'$$

Για την εύρεση της I_1' χρησιμοποιείται η σχέση του εσωτερικού βαθμού απόδοσης της αντλίας :

$$\eta_{αντλ.} = \frac{I_1' - I_1}{I_1' - I_1} \Rightarrow I_1' = I_1 + \frac{I_1 - I_1}{\eta_{αντλ.}} = 137,83 + \frac{141,846 - 137,830}{0,80} = 142,85 \left(\frac{KJoule}{kg} \right)$$

Οπότε το ποσό θερμότητας είναι :

$$Q_1 = 3211 - 142,85 = 3068,15 \left(\frac{KJoule}{kg} \right)$$

β) Το ποσό θερμότητας που αποβάλλεται, ευρίσκεται από τη μεταβολή της συμπύκνωσης, ήτοι :

$$q = I_{σελ.} - I_{αρχ.} = I_1 - I_5'$$

Η ενθαλπία I_5' χρησιμοποιείται ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης του στροβίλου :

$$\eta_{στρ.} = \frac{I_4 - I_5'}{I_4 - I_5} \Rightarrow I_5' = I_4 - (I_4 - I_5) \cdot \eta_{στρ.} = 3211 - (3211 - 2061,692) \cdot 0,85 = 2234,088 \left(\frac{KJoule}{kg} \right)$$

Οπότε είναι :

$$q = 137,83 - 2234,088 = -2096,258 \left(\frac{KJoule}{kg} \right)$$

Η θέση του σημείου $5'$ που αντιστοιχεί στο τέλος της πραγματικής εκτόνωσης, μπορεί να προσδιοριστεί ως εξής :

Συγκρίνοντας την τιμή της ενθαλπίας I_5 με την τιμή της ενθαλπίας του κεκορεσμένου(ξηρού) ατμού στην πίεση $p = 0,50 \text{ bar}$ μέχρι την οποία γίνεται η εκτόνωση, φαίνεται η θέση του σημείου 5', δηλαδή :

$$I_5 = 2234,088 \left(\frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} \right) < 2561,00 \left(\frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} \right) = (I_V)_{p=0,05 \text{ bar}}$$

συνεπώς το σημείο 5' ευρίσκεται στην περιοχή του μίγματος.

Ο βαθμός ξηρότητας που αντιστοιχεί στο σημείο 5' ευρίσκεται ως εξής :

$$I_5 = I_1 + r \cdot x_5 \Rightarrow x_5 = \frac{I_5 - I_1}{r} \Rightarrow x_5 = \frac{2234,088 - 137,83}{2423} = 0,865$$

Ο βαθμός ξηρότητας μπορεί να βρεθεί και γραφικά :

Με την τιμή της ενθαλπίας $I_5 = 2234,088 \left(\frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} \right)$ στο διάγραμμα του Mollier από

τον άξονα των ενθαλιών χαράσσεται ευθεία παράλληλη προς τον άξονα της εντροπίας μέχρι να βρεθεί η καμπύλη $p = 0,05 \text{ bar}$ οπότε το σημείο αυτής της τομής είναι το σημείο 5' και η καμπύλη του βαθμού ξηρότητας που περνά από το σημείο αυτό είναι η ζητούμενη τιμή του x_5 . Εάν δεν διέρχεται κάποια καμπύλη, τότε υπολογίζεται με αναλογίες η τιμή αυτή ή υπολογίζεται με τον αναλυτικό τρόπο που προηγουμένως περιγράφηκε.

γ) Το ποσό θερμικής ενέργειας στην εκτόνωση που διατίθεται για μηχανική ενέργεια, δίδεται από τη σχέση :

$$L_{45'} = I_4 - I_5 = 3211 - 2234,088 = 976,912 \left(\frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} \right)$$

δ) Το απαιτούμενο έργο για τη λειτουργία της αντλίας, είναι :

$$L_{αντλ.} = I_{1''} - I_1 = 142,85 - 137,830 = 5,02 \left(\frac{\text{kJoule}}{\text{kg}} \right)$$

ε) Ο θερμικός βαθμός απόδοσης, είναι :

$$\eta_\theta = \frac{(I_4 - I_5) - (I_{1''} - I_1)}{I_4 - I_1} = \frac{971,892}{3068,15} = 0,317 \Rightarrow 31,7 \%$$

στ) Η θερμότητα χορηγείται κατά τη μεταβολή (1''-4). Από τη σχέση ορισμού της εντροπίας, είναι :

$$T = \frac{Q}{\Delta S} = \frac{I_4 - I_1}{S_4 - S_1} = \frac{3211 - 142,85}{6,762 - 0,4776} = 488,21 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας

Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Αθήνας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Σημειώματα

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright TEI Αθήνας, Γεώργιος Χατζηκωνσταντής, 2014. Γεώργιος Χατζηκωνσταντής.
«Θερμοδυναμική. Ενότητα 5: Παράδειγμα 1». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: ocp.teiath.gr.

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

- Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:
 - Το Σημείωμα Αναφοράς
 - Το Σημείωμα Αδειοδότησης
 - Τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
 - Το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει) μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.