



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΜΕΙΓΜΑΤΩΝ
R404A ΚΑΙ R402B ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ
PENG-ROBINSON

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ Ι. ΜΠΕΓΚΟΣ

Επιβλέπουσα: ΑΘΗΝΑ ΣΑΓΙΑ
Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή.....σελ 2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Μαθηματική διατύπωση των κυριότερων θερμοδυναμικών μεγεθών του υπέρθερμου ατμού.....σελ 3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Εξίσωση Peng-Robinson (P.R.E.O.S).....σελ 8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Κώδικας "Environmental friendly refrigerants" που υπολογίζει θερμοφυσικές ιδότητες ψυκτικών μέσων.....σελ 16

*Εισαγωγή.....σελ 16

*Δομή του προγράμματος.....σελ 18

 Κυρίως πρόγραμμα.....σελ 18

 Υπορουτίνες.....σελ 18

*Συντελεστές και σταθερές των υπορουτίνων.....σελ 19

 Υπορουτίνα 'R404APR'.....σελ 19

 Υπορουτίνα 'R402BPR'σελ 22

* Πρόγραμμα "Environmental friendly refrigerants".....σελ 25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

* Χρήσεις των ψυκτικών μέσων.....σελ 75

ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ

* Διαγράμματα.....σελ 76

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

1)Εισαγωγή

Η συμπεριφορά του πραγματικού αερίου στην υπέρθερμη κατάσταση αποτελεί το αντικείμενο μελέτης πολλών επιστημόνων. Οι βασικές παράμετροι που περιγράφουν το πραγματικό αέριο είναι η Πίεση, ο Όγκος και η Θερμοκρασία. Μέσω πολλών πειραματικών μελετών έχουν δημιουργηθεί μοντέλα, τα οποία συνδέουν αυτές τις τρεις μεταβλητές και μας βοηθούν να προσεγγίσουμε τη συμπεριφορά των πραγματικών αερίων.

Οι τρεις αυτές μεταβλητές συνδυάζονται μέσω εξισώσεων που είναι γνωστές ως εξισώσεις κατάστασης. Επιπρόσθετα και με βάση τους νόμους και τις σχέσεις που διέπουν τη θερμοδυναμική ορίζουμε την ενθαλπία, την εντροπία, την εσωτερική ενέργεια, την ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο (το λόγο γ , τους ισηντροπικούς συντελεστές, τον συντελεστή συμπίεστικότητας, την ταχύτητα ήχου στον υπέρθερμο ατμό και άλλα δευτερεύοντα μεγέθη).

Δύο πολύ γνωστές εξισώσεις κατάστασης είναι η Martin-HOU και η Peng-Robinson. Στη Διπλωματική αυτή εργασία ασχολούμαστε με την εξίσωση Peng-Robinson (P.R.E.O.S).

Αρχικά παρουσιάζεται το μαθηματικό και θερμοδυναμικό υπόβαθρο για τα μεγέθη του υπέρθερμου ατμού του πραγματικού αερίου. Κατόπιν, τα παραπάνω μεγέθη ορίζονται πλήρως.

Αφού ολοκληρωθεί ο ορισμός των μεγεθών, εισάγεται το πρόγραμμα "Environmental friendly refrigerants", του οποίου ο τρόπος λειτουργίας και οι μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται, γίνονται εύκολα κατανοητές από το χρήστη με τη χρήση σχολίων.

Όλοι οι συντελεστές και οι σταθερές που έχουν χρησιμοποιηθεί σε κάθε ψυκτικό μέσο που εξετάζει το πρόγραμμα έχουν ληφθεί από τη γνωστή εταιρία παραγωγής ψυκτικών μέσων DuPont Refrigerants.

Τελειώνοντας παρατίθεται το πρόγραμμα "Environmental friendly refrigerants", το οποίο έχει γραφεί σε γλώσσα προγραμματισμού fortran.

Superheated gas behavior is a case of study for many scientists. The basic parameters that describe the real gas are: Pressure, Volume and temperature. Many models have been created through experimental studies, that combine these three variables and help us to approach real gas behavior.

These three variables are combined through equations that are widely known as equations of state. Moreover based on thermodynamic laws we define enthalpy, entropy, internal energy, C_v (factor γ , isentropic exponents, compressibility factor, sound velocity in superheated gas and other secondary importance sizes).

Two of the most used equations of state are: Martin-HOU and Peng-Robinson. In this study we concentrate on Peng-Robinson (P.R.E.O.S).

In the beginning we present the mathematical and thermodynamic base for the sizes quantities of superheated real gas. Afterwards we define these sizes.

After we complete the definition of the sizes, we create the "Environmental friendly refrigerants" programme, which uses easy to use environment for the controller through notes.

All the factors and constants that have been used in every refrigerant that the programme calculate its properties are taken from the company DuPont Refrigerants.

At the end we present the programme "Environmental friendly refrigerants", which is written in the Fortran computer language.

2) Μαθηματική διατύπωση των κυριότερων θερμοδυναμικών μεγεθών του υπέρθερμου ατμού

Οι εξισώσεις κατάστασης που έχουν τη μορφή $P=P(T,V)$ (2.1)

περιγράφουν τα πραγματικά αέρια, όπου P η πίεση, V ο όγκος, T η θερμοκρασία.

Η ειδική θερμοχωρητικότητα του αερίου υπό σταθερό όγκο ορίζεται σαν

$$C_v = T \left(\frac{\partial S}{\partial T} \right)_v \quad (2.2)$$

όπου C_v η ειδική θερμοχωρητικότητα του αερίου υπό σταθερό όγκο, S η εντροπία, και T η θερμοκρασία.

Χρησιμοποιώντας την ισοδύναμη σχέση [1]

$$C_v(T,V) = T \int_{\infty}^{V_0} \left(\frac{\partial^2 P}{\partial T^2} \right)_v dV + C_v(T, V \rightarrow \infty) \quad (2.3)$$

Οπότε καταφέρνουμε να απαλείψουμε την εντροπία S της σχέσης (2.2)

Οι παράμετροι P , V , T συνδέονται με την καταστατική εξίσωση, οπότε δύναται να βρεθεί το $C_v(T,V)$. Στον πρώτο όρο του δευτέρου μέλους της (2.3) η ολοκλήρωση γίνεται από άπειρο όγκο, δηλαδή μηδενική πίεση, έως τον όγκο που γίνεται ο υπολογισμός.

Οπότε προσθέτουμε τα στοιχειώδη C_v από $V \rightarrow \infty$ με $P=0$ μέχρι

$$V = V_0 \text{ με } P = P_0.$$

Άρα ο όρος $C_v(T, V \rightarrow \infty)$ αντιπροσωπεύει την ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο σε μηδενική πίεση ($P=0$) δηλαδή είναι το C_v θεωρώντας το αέριο ιδανικό.

Το C_v ιδανικού αερίου δίνεται από σχέσεις της μορφής :

$$C_{v_{id}}(T) = A + BT + CT^2 + f(T) \quad (2.4)$$

όπου

$$f(T) = \begin{cases} \frac{D}{T} \\ DT^3 + \frac{E}{T^2} \end{cases} \quad (2.5)$$

και είναι συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας.

Ύστερα από πειραματικές μετρήσεις προκύπτουν οι συντελεστές A,B,C,D και E. Ανάλογα με το ψυκτικό ο όρος $f(T)$ έχει μια από τις δύο εναλλακτικές μορφές της συνάρτησης (2.5).

Έτσι η σχέση (2.3) παίρνει τη μορφή [1]

$$C_v(T,V) = T \int_{\infty}^{V_0} \left(\frac{\partial^2 P}{\partial T^2} \right)_v dV + C_{v_{id}} \quad (2.6)$$

Η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση του ιδανικού αερίου δίνεται από τη σχέση $C_{P_{id}} = C_{v_{id}} + R$, όπου R η σταθερά του εξεταζόμενου αερίου.

Η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση του πραγματικού αερίου δίνεται από τη σχέση [1]

$$C_p(T,V) = C_v(T,V) - \frac{T \left[\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v \right]^2}{\left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_T} \quad (2.7)$$

Γνωρίζοντας τη μορφή της καταστατικής εξίσωσης μπορούμε με γνωστές τις δύο παραμέτρους της να υπολογίσουμε την τρίτη. Επιπρόσθετα αν γνωρίζουμε τους συντελεστές της εξίσωσης που δίνει το $C_{v_{id}}(T)$, μπορούμε να υπολογίσουμε τα $C_v(T,V)$ και $C_p(T,V)$ του πραγματικού αερίου.

Παρακάτω παρουσιάζονται σχέσεις μέσω των οποίων γίνεται καταγραφή των ιδιοτήτων του πραγματικού υπέρθερμου ατμού.

Συντελεστής συμπιεστότητας (Z)

Για το συντελεστή συμπιεστότητας υπάρχει η παρακάτω σχέση [1]

$$Z(T,P) = \frac{V(T,P)}{V_{id}(T,P)} \quad (2.8)$$

Ο παραπάνω συντελεστής είναι αδιάστατος και μέσω αυτού ορίζεται ο λόγος του πραγματικού ειδικού όγκου του αερίου προς αυτόν του τέλειου αερίου στην ίδια πίεση και θερμοκρασία.

Επιπρόσθετα μέσω της καταστατικής εξίσωσης για το τέλειο αέριο, η οποία είναι

$$PV_{id} = RT \quad (2.9)$$

Αντικαθιστώντας το V_{id} της εξίσωσης (2.8) στην (2.9) προκύπτει η σχέση

$$Z(T, P) = \frac{PV(T, P)}{RT} \quad (2.10)$$

Από το συντελεστή αυτό αντλούμε στην πράξη πληροφορίες όσον αφορά την απόκλιση της συμπεριφοράς του πραγματικού αερίου από αυτή του ιδανικού.

Λόγος γ

Από το πηλίκο της ειδικής θερμοχωρητικότητας υπό σταθερή πίεση με την ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο δίνεται ο λόγος [1]

$$\gamma(T, V) = \frac{C_p(T, V)}{C_v(T, V)} \quad (2.11)$$

Το κλάσμα αυτό είναι πάντα μεγαλύτερο της μονάδας αφού $C_p(T, V) > C_v(T, V)$ σχέση που προκύπτει από την εξίσωση (2.7) λαμβάνοντας υπόψιν ότι ο όρος $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T$ είναι πάντα αρνητικός αφού η πίεση είναι αντιστρόφως ανάλογη του όγκου.

Ισεντροπικοί Συντελεστές

Οι ισεντροπικοί συντελεστές αποτελούν τρία πάρα πολύ σημαντικά αδιάστατα μεγέθη που έχουν να κάνουν με την ισεντροπική συμπεριφορά του πραγματικού αερίου [2]

$$K_{pV} = -\frac{VC_p(T, V)}{P(T, V)C_v(T, V)}\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T \quad (2.12)$$

$$K_{TV} = 1 + \frac{V}{C_v(T, V)}\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \quad (2.13)$$

$$K_{PT} = \frac{T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V}{T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V + P(T,V) \left(\frac{C_v(T,V)}{C_p(T,V)} - 1 \right)} \quad (2.14)$$

Διαστολικότητα σε K^{-1}

Δίνεται από την σχέση [1]

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \quad (2.15)$$

όμως επειδή ο όρος $\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$ δεν είναι άμεσα υπολογίσιμος από την καταστατική εξίσωση καταφεύγουμε στη χρήση της ισοδύναμης σχέσης

$$\beta(T,V) = \frac{1}{V} \frac{\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V}{\left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_T} \quad (2.16)$$

Ισοθερμοκρασιακή συμπίεσιμότητα σε Pa^{-1}

Το κ ορίζεται μέσω της σχέσης [1]

$$\kappa = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T \quad (2.17)$$

Αντίστοιχα ο όρος $\left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$ όπως και πριν δεν είναι άμεσα υπολογίσιμος από την καταστατική εξίσωση, οπότε χρησιμοποιούμε τις ισοδύναμες σχέσεις

$$\kappa(T,V) = \frac{\beta(T,V)}{\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V} \quad (2.18)$$

και

$$\kappa(T,V) = \frac{VT[\beta(T,V)]^2}{C_p(T,V) - C_v(T,V)} \quad (2.19)$$

Ισεντροπική συμπίεστικότητα σε Pa^{-1}

Ορίζεται από τη σχέση [1]

$$a(T,V) = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_s \quad (2.20)$$

Μια παραλλαγή της παραπάνω σχέσης έχει την μορφή

$$a(T,V) = \frac{\kappa(T,V)}{\gamma(T,V)} \quad (2.21)$$

Εντροπία σε J/(kgK) [3]

$$dS = \frac{C_v(T,V)}{T} dT + \frac{\beta(T,V)}{\kappa(T,V)} dV \quad (2.22)$$

Ενθαλπία σε J/kg [4]

$$dh = C_p(T,V) dT + [1 - \beta(T,V)T] V dP \quad (2.23)$$

Εσωτερική ενέργεια σε J/kg [3]

$$du = C_v(T,V) dT + \left[\frac{\beta(T,V)}{\kappa(T,V)} T - P(T,V) \right] dV \quad (2.24)$$

Ταχύτητα ήχου στον υπέρθερμο ατμό σε m/s [1]

$$s_{vel} = \left[\frac{V\gamma(T,V)}{\kappa(T,V)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.25)$$

3) Εξίσωση Peng-Robinson (P.R.E.O.S)

Η εξίσωση Peng-Robinson παίρνει τη μορφή [4,5]

$$P(T,V) = \frac{RT}{V-b} - \frac{a(T)}{V^2 + 2bV - b^2} \quad (3.1)$$

όπου

- P η πίεση σε kPa
- T η θερμοκρασία σε K
- V ο όγκος $\frac{m^3}{mol}$
- R η σταθερά των αερίων ($R=0.008314 \frac{kJ}{molK}$)
- a(T) είναι σταθερά που είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και των ιδιοτήτων της ουσίας σε $\frac{kPam^6}{mol^2}$
- Το b είναι σταθερά συναρτήσει των ιδιοτήτων της ουσίας σε $\frac{m^3}{mol}$

Η εξίσωση αυτή αποτελείται από έξι όρους. Υπολογίζοντας τα a(T) και b και με δεδομένο ότι το R είναι γνωστός αριθμός, έχοντας γνωστούς τους δύο από τους τρεις υπόλοιπους όρους μπορούμε να υπολογίσουμε τον τρίτο.

Για τον όρο a(T) έχουμε :

Ορίζουμε τις συνιστώσες του μείγματος (δηλαδή από ποια αέρια αποτελείται) και τις εξής απαραίτητες φυσικές τους ιδιότητες.

- T_{c_i} κρίσιμη θερμοκρασία σε K
- P_{c_i} κρίσιμη πίεση σε kPa
- ω_i acentric factor
- κ_{ij} παράμετρος ρύθμισης
- w_i κατά βάρος σύσταση της συνιστώσας σε $\frac{kg}{kmol}$

Από τη παρακάτω σχέση ορίζονται οι γραμμομοριακές συστάσεις των συνιστωσών του μείγματος

$$x_i = \frac{\frac{w_i}{MB_i}}{\frac{w_1}{MB_1} + \frac{w_2}{MB_2} + \dots + \frac{w_n}{MB_n}} \quad (3.2)$$

Από τη θερμοκρασία του μείγματος και την κρίσιμη θερμοκρασία T_c της κάθε συνιστώσας υπολογίζεται η αντίστοιχη αδιάστατη μειωμένη θερμοκρασία :

$$T_{r_i} = \frac{T}{T_{c_i}} \quad (3.3)$$

Από τη φυσική παράμετρο ω_i και τη σχέση (3.3) υπολογίζεται το κ_{ij} μέσω της παρακάτω εμπειρικής σχέσης:

$$\kappa_{ij} = 0.378893 + 1.4897153\omega_i - 0.17131848\omega_i^2 + 0.019655\omega_i^3 \quad (3.4)$$

Ακόμη από το συνδυασμό των (3.4),(3.3) και της παραμέτρου ρύθμισης κ_{1i} υπολογίζεται το μέγεθος[4,5]

$$\kappa_1 = \kappa_{0i} + \kappa_{1i}[(1 + \sqrt{T_{r_i}})(0.7 - T_{r_i})] \quad (3.5)$$

Η σχέση (3.5) ισχύει για $T_{r_i} \leq 0.7$ διαφορετικά για $T_{r_i} > 0.7$ θεωρούμε $\kappa_1 = \kappa_{0i}$

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (3.3) και (3.5) ορίζουμε τα όμοια μεγέθη [3,4]

$$a_i = [1 + \kappa_i(1 - \sqrt{T_{r_i}})]^2 \quad (3.6)$$

$$a_j = [1 + \kappa_j(1 - \sqrt{T_{r_j}})]^2$$

όπου ο δείκτης i αναφέρεται στην i συνιστώσα και ο δείκτης j αναφέρεται στην j συνιστώσα του μείγματος.

Με αντίστοιχο τρόπο ορίζονται τα όμοια μεγέθη [4,5]

$$aa_i = \left(\frac{0.457235R^2T_{c_i}^2}{P_{c_i}} \right) a_i \quad (3.7)$$

$$aa_j = \left(\frac{0.457235R^2T_{c_j}^2}{P_{c_j}} \right) a_j$$

Η επιρροή που έχει η κάθε συνιστώσα στις άλλες συνιστώσες του μείγματος είναι σημαντική στην εξίσωση Peng-Robinson. Η παράμετρος k_{ij} υλοποιεί μαθηματικά την εξάρτηση των συνιστωσών μεταξύ τους και έχει προκύψει από πειραματικές μετρήσεις. Άρα αυτός ο όρος είναι γνωστός.

Παρακάτω ορίζεται πίνακας για λόγους εποπτείας και καλύτερης αντίληψης του όρου αυτού.

	A_1	A_2	A_3
A_1	0	$\kappa_{1,2}$	$\kappa_{1,3}$
A_2	$\kappa_{2,1}$	0	$\kappa_{2,3}$
A_3	$\kappa_{3,1}$	$\kappa_{3,2}$	0

Τα συμμετρικά στοιχεία του πίνακα $\kappa_{1,2} = \kappa_{2,1}$, $\kappa_{1,3} = \kappa_{3,1}$ και $\kappa_{2,3} = \kappa_{3,2}$ είναι ίσα, και A_1, A_2, A_3 είναι οι συνιστώσες του μείγματος (εδώ τρεις). Ο όρος $\kappa_{1,2}$ δείχνει την επιρροή της συνιστώσας 1 στην 2 και αντίστροφα. Η κύρια διαγώνιος του πίνακα είναι μηδενική για προφανείς λόγους.

Συνδυάζοντας την εξίσωση (3.7) με τα στοιχεία k_{ij} ορίζεται η σχέση [4,5]

$$a_{i,j} = \sqrt{aa_i aa_j} (1 - k_{ij}) \quad (3.8)$$

Για καθαρό αέριο η σχέση (3.8) αποτελεί τον όρο $\alpha(T)$ της εξίσωσης Peng-Robinson.

Όταν πρόκειται για μείγματα αερίων τότε με συνδυασμό της (3.8) και (3.2) προκύπτει ο όρος $\alpha(T)$

$$\alpha(T) = \sum_{i=1}^{\nu} \sum_{\xi=1}^{\nu} x_i x_j a_{i,j} \quad \sigma\epsilon \frac{kPam^6}{mol^2} \quad (3.9)$$

Όπου:

n ο αριθμός των συνιστωσών του μείγματος και,

x_i η γραμμομοριακή συγκέντρωση της αντίστοιχης συνιστώσας.

Υπολογίζουμε τον όρο b ως εξής :

Ορίζουμε τον όρο b_i [4,5]

$$b_i = \frac{0.077796RT_{c_i}}{P_{c_i}} \quad (3.10)$$

και μετά από τις σχέσεις (3.2) και (3.10) προκύπτει το

$$b = \sum_{i=1}^n x_i b_i \quad \text{σε} \quad \frac{m^3}{mol} \quad (3.11)$$

Οπότε μένουν πια μόνο τρεις άγνωστοι. Γνωρίζοντας οποιουδήποτε δύο μπορούμε να βρούμε τον τρίτο π.χ. για πίεση $P = P_0$ σε θερμοκρασία $T = T_0$ μπορούμε να υπολογίσουμε τον όγκο που αντιστοιχεί με μια απλή επαναληπτική διαδικασία στον υπολογιστή.

Για τους επόμενους υπολογισμούς είναι απαραίτητο να οριστούν από την καταστατική εξίσωση η μερική παράγωγος της πίεσης ως προς τον όγκο υπό σταθερή θερμοκρασία, η μερική παράγωγος της πίεσης ως προς τη θερμοκρασία υπό σταθερό όγκο και η δεύτερη μερική παράγωγος της πίεσης ως προς την θερμοκρασία υπό σταθερό όγκο. Και μέσω της σχέσης (3.1) έχουμε [2] :

$$\left(\frac{\partial P(T,V)}{\partial V} \right)_V = \frac{R}{V-b} - \frac{\frac{da(T)}{dT}}{V^2 + 2bV - b^2} \quad \text{σε} \quad \frac{kJ}{m^3 K} \quad (3.12)$$

$$\left(\frac{\partial^2 P(T,V)}{\partial T^2} \right)_V = \frac{\frac{d^2 a(T)}{dT^2}}{V^2 + 2bV - b^2} \quad \text{σε} \quad \frac{kJ}{m^3 K^2} \quad (3.13)$$

$$\left(\frac{\partial P(T,V)}{\partial V} \right)_V = \frac{RT}{(V-b)^2} + \frac{2a(T)(V+b)}{(V^2 + 2bV - b^2)^2} \quad \text{σε} \quad \frac{kJmol}{m^6} \quad (3.14)$$

Εισάγοντας τις εξισώσεις που ορίζουν το $\alpha(T)$ στο Mathcad μπορούμε να υπολογίσουμε την πρώτη και τη δεύτερη παράγωγο του $\alpha(T)$. Καταφεύγουμε στο Mathcad διότι ο τρόπος υπολογισμού του $\alpha(T)$ είναι αρκετά περίπλοκος και ακόμη πιο περίπλοκος είναι ο υπολογισμός της πρώτης και της δεύτερης παραγώγου του, αν απαιτηθεί αναλυτική λύση. Λαμβάνοντας υπόψη το εύρος των θερμοκρασιών για τις οποίες ισχύει η Peng-Robinson είναι περίπου μέχρι 200K υπερθέρμανση του ατμού, τιμές των παραγώγων από 250-450 K θα ήταν πολύ ικανοποιητικές. Μάλιστα θα έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα αν προσεγγίσουμε με καμπύλες τρίτου βαθμού μέσω excel τα σημεία που υπολογίζει το πρόγραμμα.

Οπότε από τα παραπάνω είμαστε σε θέση να έχουμε ακριβείς τιμές της πρώτης και δεύτερης παραγώγου του $\alpha(T)$. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε ψυκτικό μέσο οπότε και προκύπτουν διαφορετικοί συντελεστές. (Το πρόγραμμα Mathcad βρίσκεται στο τέλος του παραρτήματος 1)

$$\frac{da(T)}{dT} = A_1 + A_2T + A_3T^2 + A_4T^3 \quad \text{σε} \quad \frac{kPam^6}{mol^2K} \quad (3.15)$$

$$\frac{d^2a(T)}{dT^2} = B_1 + B_2T + B_3T^2 + B_4T^3 \quad \text{σε} \quad \frac{kPam^6}{mol^2K^2} \quad (3.16)$$

Για να είναι εφικτός ο υπολογισμός των θερμοδυναμικών παραμέτρων του υπέρθερμου ατμού κάποιου ψυκτικού μέσου, εκτός από την πλήρη μορφή με όλους τους συντελεστές της καταστατικής εξίσωσης, πρέπει να είναι γνωστό και ένα εκ των μεγεθών $C_{P_{id}}, C_{V_{id}}$. Για τα ψυκτικά μέσα που εξετάζονται προτείνονται σχέσεις της μορφής [3,4]

$$C_{P_i} = 4.184(A_i + B_iT + C_iT^2 + D_iT^3 + E_iT^4 + F_iT^5)$$

και

$$C_{P_{id}} = \sum_{i=1}^n x_i C_{P_i} \quad \text{σε} \quad \frac{J}{molK} \quad (3.17)$$

όπου $i=1 \dots n$ με το n να είναι ο αριθμός των συνιστωσών του μέσου A,B,C,D,E, και F $i=1 \dots n$ δεδομένοι συντελεστές και x_i να δίνεται από τη σχέση (3.2).

Το C_V του πραγματικού αερίου έχει ήδη ορισθεί και δίνεται από την σχέση (2.5)

$$C_V(T, V) = T \int_{\infty}^{V_0} \left(\frac{\partial^2 P}{\partial T^2} \right)_V dV + C_{V_{id}}$$

Εκτελώντας τις πράξεις και παίρνοντας τη σχέση $C_{P_{id}} = C_{V_{id}} + R$

προκύπτει η αναλυτική σχέση που ορίζει το C_v της εξίσωσης Peng-Robinson

$$C_v(T, V) = C_{P_{id}} - R - T \left(\frac{d^2 a(T)}{dT^2} \right) \left[\frac{1}{2b\sqrt{2}} \left(\frac{\ln \left| \frac{V_0 + b - b\sqrt{2}}{\infty + b - b\sqrt{2}} \right|}{\ln \left| \frac{V_0 + b + b\sqrt{2}}{\infty + b + b\sqrt{2}} \right|} \right) \right]$$

σε $\frac{J}{molK}$ (3.18)

Δεδομένου ότι το σύμβολο του απείρου δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αναλυτική σχέση, για την λύση της εξίσωσης (3.18) στη θέση του, χρησιμοποιούμε ένα πολύ μεγάλο αριθμό (όσο μεγαλύτερος ο αριθμός τόσο μικρότερο θα είναι το σφάλμα). Επειδή η εξίσωση είναι συγκλίνουσα δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα ορισμού του απείρου.

Για να μετατρέψουμε τα $\frac{J}{molK}$ σε $\frac{kJ}{kgK}$ που είναι οι κατεξοχήν μονάδες του C_v πολλαπλασιάζουμε την (3.18) με τον όρο $\frac{1000}{MB_{ουσιας}}$ όπου το $MB_{ουσιας}$ δίνεται από τη σχέση

$$MB_{ουσιας} = \sum_{i=1}^n x_i MB_i \quad \text{σε} \quad \frac{kg}{kmol} \quad (3.19)$$

Με την παραπάνω σχέση έχουν οριστεί όλες οι κύριες παράμετροι του υπέρθερμου ατμού της εξίσωσης Peng-Robinson. Τα υπόλοιπα μεγέθη που είχαν οριστεί στο Κεφάλαιο 2 προκύπτουν με κατάλληλους συνδυασμούς των βασικών αυτών παραμέτρων δίνοντας τις αναλυτικές λύσεις.

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (3.18), (3.12) και (3.14), υπολογίζεται η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση του πραγματικού αερίου από την παρακάτω σχέση.

$$C_p(T, V) = C_v(T, V) - \frac{T \left[\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V \right]^2}{\left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_T}$$

(3.20)

Ο συντελεστής (Z) δίνεται από τη σχέση (2.10)

$$Z(T, P) = \frac{PV}{RT}$$

Ο όρος $\gamma(T, V)$ δίνεται από τη σχέση (2.11) με συνδυασμό των (3.20) και (3.18)

$$\gamma(T, V) = \frac{C_p(T, V)}{C_v(T, V)} \quad (3.21)$$

Με συνδυασμό των (3.20), (3.18), (3.14) και όρων της καταστατικής εξίσωσης δίνεται ο ισεντροπικός συντελεστής K_{pV} από την παρακάτω σχέση

$$K_{pV} = -\frac{VC_p(T, V)}{P(T, V)C_v(T, V)} \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_T \quad (3.22)$$

Με συνδυασμό των (3.12) και (3.18) προκύπτει ο ισεντροπικός συντελεστής K_{TV}

$$K_{TV} = 1 + \frac{V}{C_v(T, V)} \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V \quad (3.23)$$

Και με τις (3.12), (3.18) και (3.20) προκύπτει ο K_{pT}

$$K_{pT} = \frac{T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V}{T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V P(T, V) \left(\frac{C_v(T, V)}{C_p(T, V)} - 1 \right)} \quad (3.24)$$

Από τον όγκο που υπολογίζεται από την καταστατική εξίσωση και τις παραγώγους των σχέσεων (3.12) και (3.14) βρίσκουμε την παρακάτω σχέση

$$\beta(T, V) = -\frac{1}{V} \frac{\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V}{\left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_T} \quad (3.25)$$

Η ισοθερμοκρασιακή συμπιεστότητα δίνεται από τις (3.25) και (3.12)

$$\kappa(T, V) = \frac{\beta(T, V)}{\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V} \quad (3.26)$$

Η ισεντροπική συμπίεστικότητα δίνεται από τις (3.26) και (3.21)

$$a(T, V) = \frac{\kappa(T, V)}{\gamma(T, V)} \quad (3.27)$$

και η ταχύτητα του ήχου στον υπέρθερμο ατμό από τις (3.26), (3.21) και τον αντίστοιχο, από την καταστατική εξίσωση, όγκο

$$s_{vel} = \left[\frac{V\gamma(T, V)}{\kappa(T, V)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.28)$$

4) Κώδικας " Enviromental friendly refrigerants" που υπολογίζει θερμοφυσικές ιδιότητες ψυκτικών μέσων

A)Εισαγωγή

Το πρόγραμμα " Enviromental friendly refrigerants" που παρατίθεται παρακάτω υπολογίζει τις θερμοφυσικές ιδιότητες του υπέρθερμου ατμού και του κορεσμένου υγρού και ατμού για τα ψυκτικά μέσα

- 'R402BPR'
- 'R404APR'

Το πρόγραμμα αυτό προσφέρει στον χρήστη τις εξής δυνατότητες :

- I. Επιλογής ψυκτικών μέσων τα οποία λύνονται με Peng-Robinson E.O.S. στην υπέρθερμη περιοχή,
- II. Επιλογής ισοθερμοκρασιακής ή ισόθλιπτης μεταβολής σε συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που ορίζει ο χρήστης και
- III. Επιλογής πέντε μεγεθών (από λίστα εικοσιδύο) τα οποία θα ήταν χρήσιμο να εμφανίζονται στον χρήστη.

Χρησιμοποιήσαμε τη γλώσσα προγραμματισμού Fortran. Ο χρήστης δεν μπορεί να παρέμβει σε αυτό. Όλες οι επιλογές γίνονται μέσω ενός περιβάλλοντος που δεν απαιτεί ειδικές γνώσεις για να το χρησιμοποιήσει. Επίσης, μέσα στον κώδικα υπάρχουν για κάθε εξίσωση και γενικά για κάθε λειτουργία του προγράμματος, σχόλια τα οποία είναι γραμμένα στα αγγλικά με σκοπό να βοηθήσουν αυτόν που θέλει να εξετάσει τον τρόπο λειτουργίας του.

Οι θερμοφυσικές ιδιότητες στο πρόγραμμα είναι :

- 1) Η πίεση (P) του ψυκτικού σε bar
- 2) Η θερμοκρασία (T) του ψυκτικού σε K
- 3) Ο όγκος (V) του υπέρθερμου ατμού σε $\frac{m^3}{kg}$
- 4) Η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο (C_v) του υπέρθερμου ατμού σε $\frac{J}{kgK}$
- 5) Η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση (C_p) του υπέρθερμου ατμού σε $\frac{J}{kgK}$
- 6) Ο αδιάστατος συντελεστής συμπιεστότητας (Z) του υπέρθερμου ατμού
- 7) Ο λόγος $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ του υπέρθερμου ατμού
- 8) Η ταχύτητα του ήχου (S_{vel}) στον υπέρθερμο ατμό σε $\frac{m}{s}$
- 9) Ο αδιάστατος συντελεστής (K_{pv}) του υπέρθερμου ατμού
- 10) Ο αδιάστατος συντελεστής (K_{TV}) του υπέρθερμου ατμού
- 11) Ο αδιάστατος συντελεστής (K_{pT}) του υπέρθερμου ατμού
- 12) Η θερμοκρασία βρασμού (T_b) του ψυκτικού σε K
- 13) Η θερμοκρασία συμπυκνώσεως (T_b) του ψυκτικού σε K
- 14) Η εντροπία του κορεσμένου υγρού ($s_{sat.liq}$) σε $\frac{kJ}{kgK}$
- 15) Η ενθαλπία του κορεσμένου υγρού ($h_{sat.liq}$) σε $\frac{kJ}{kg}$
- 16) Η εσωτερική ενέργεια του κορεσμένου υγρού σε kJ

Β) Δομή του προγράμματος

Αποτελείται από το κυρίως πρόγραμμα και δύο υπορουτίνες που περιγράφουν τα δύο διαθέσιμα ψυκτικά μέσα.

Κυρίως πρόγραμμα

Είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία του περιβάλλοντος στο οποίο θα εισάγονται οι επιλογές του χρήστη, για το κάλεσμα των υπορουτινών και για την δημιουργία των files όπου θα τυπώνονται τα αποτελέσματα των επιλογών μας.

Υπορουτίνες

Υπολογίζουν τα διάφορα μεγέθη με πανομοιότυπο τρόπο. Καταρχήν εισάγονται σε αυτές η πίεση και η θερμοκρασία σύμφωνα με τις επιλογές του χρήστη και δημιουργείται ο πίνακας με εικοσιδύο στήλες όπου θα φυλλάγονται τα αποτελέσματα.

Μετατρέπονται τα εισαχθέντα μεγέθη σε μονάδες με τις οποίες λειτουργεί η κάθε ρουτίνα π.χ. οι πιέσεις που εισάγει ο χρήστης είναι σε bar και θα πρέπει τα bar να γίνουν σε kPa.

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι θερμοκρασίες βρασμού και συμπυκνώσεως καθώς και η μέση τιμή των δύο. Η μέση αυτή θερμοκρασία προσδιορίζει την ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας της καταστατικής εξίσωσης.

Από την καταστατική εξίσωση που συνδέει πίεση ,θερμοκρασία και όγκο με γνωστές τις δύο πρώτες με επαναληπτική διαδικασία υπολογίζεται ο όγκος που αντιστοιχεί. Στη συνέχεια υπολογίζονται τα μεγέθη του υπέρθερμου ατμού σύμφωνα με τη θεωρία των κεφαλαίων 2,3 και φυλάγονται τα αποτελέσματα στις αντίστοιχες στήλες στον πίνακα.

Όταν οι συνθήκες δεν αντιστοιχούν σε υπέρθερμο ατμό τότε στις αντίστοιχες στήλες του πίνακα γράφονται μηδενικά για καθαρά συμβολικούς λόγους, ώστε ο χρήστης να αντιλαμβάνεται άμεσα κατά την ανάγνωση των αποτελεσμάτων την μετάβαση από την υπέρθερμη περιοχή στις περιοχές κορεσμού και υπόψυκτου υγρού.

Κατά την μετάβαση αυτή η ρουτίνα επεξεργάζεται τις σχέσεις που αντιστοιχούν σε κορεσμό υπολογίζοντας και φυλάγοντας τα αντίστοιχα μεγέθη. Δεν υπάρχει δυνατότητα υπολογισμού στην υπορουτίνα μεγεθών της υπόψυκτης φάσης.

Όλοι οι συντελεστές που έχουν χρησιμοποιηθεί καθώς και η μορφή των πολυωνυμικών εξισώσεων δίνονται για κάθε ψυκτικό.

Γ)Συντελεστές και σταθερές των υπορουτινών

Στην ενότητα αυτή θα δοθούν οι συντελεστές που έχουν χρησιμοποιηθεί στο πρόγραμμα για κάθε υπορουτίνα ξεχωριστά.

Υπορουτίνα R404APR

Είναι η υπορουτίνα που υπολογίζει το ψυκτικό μέσο R404A με χρήση της εξίσωσης Peng-Robinson [5]

Καταστατική εξίσωση

$$P(T,V) = \frac{RT}{V-b} - \frac{a(T)}{V^2 + 2bV - b^2}$$

$$R = 0.008314 \text{ σε } \frac{kJ}{molK}$$

Σταθερές των συνιστωσών του μείγματος για τον υπολογισμό των b και a(T) της καταστατικής εξίσωσης

Συνιστώσα	R125	R143a	R134a
$T_{c_i} (K)$	339.19	346.25	374.20
$P_{c_i} (kPa)$	3595.0	3758.1	4056.0
ω_i	0.3023	0.2529	0.3266
$K1_i$	0.0310	0.0450	-0.0060
W_i	0.44	0.52	0.04

Σταθερές που δίνουν μαθηματικά την αλληλεπίδραση των συνιστωσών μεταξύ τους.

	K1	K2	K3
K1	0.0000	-0.0111	-0.0024

K2	-0.0111	0.0000	0.0013
K3	-0.0024	0.0013	0.0000

Θερμοκρασία βρασμού του υγρού σε K (Bubble point)

$$A=5.56487 \text{ E}+01$$

$$B=-3.62385 \text{ E}+03$$

$$C=-6.58061 \text{ E}+00$$

$$D=1.27711 \text{ E}-05$$

$$P = EXP(A + B/T_b + C \ln(T_b) + DT_b^2)$$

Θερμοκρασία συμπύκνωσης του αερίου ψυκτικού σε K (Dew Point)

$$A=6.89227 \text{ E}+01$$

$$B=-4.06171 \text{ E}+03$$

$$C=-8.71773 \text{ E}+00$$

$$D=1.68264 \text{ E}-05$$

$$P = EXP(A + B/T_d + C \ln(T_d) + DT_d^2)$$

Ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση του τέλειου αερίου σε J/(kgK)

$$A1= 1.170144 \text{ E}+01$$

$$B1=0.216411 \text{ E}-01$$

$$C1=8.685258 \text{ E}-05$$

$$A2=1.372849 \text{ E}+00$$

$$B2= 0.750717 \text{ E}-01$$

$$C2=-6.206979 \text{ E}-05$$

$$A3=4.636855 \text{ E}+00$$

$$B3=0.617904 \text{ E}-01$$

$$C3=-3.099070 \text{ E}-05$$

$$D1=-1.127756 \text{ E}-07$$

$$E1=0.000000 \text{ E}+00$$

$$F1=0.000000 \text{ E}+00$$

$$D2=2.011233 \text{ E}-08$$

$$E2=0.000000 \text{ E}+00$$

$$F2=0.000000 \text{ E}+00$$

$$D3=0.000000 \text{ E}+00$$

$$E3=0.000000 \text{ E}+00$$

$$F3=0.000000 \text{ E}+00$$

$$C_p = 4.184(A_i + B_i T + C_i T^2 + D_i T^3 + E_i T^4 + F_i T^5)$$

$$C_{p_{id}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i C_{p_i}}{MB_{R404A}}$$

Συντελεστές για την πρώτη παράγωγο $\frac{da(T)}{dT}$

$$A = -8.024E-6$$

$$B = .408E-8$$

$$C = -6.988E-113$$

$$D = 5.593E-14$$

$$DADT = A + BT + CT^2 + DT^3$$

Συντελεστές για τη δεύτερη παράγωγο $\frac{d^2a(T)}{dT^2}$

$$A = 5.234E-8$$

$$B = -3.270E-10$$

$$C = 7.966E-13$$

$$D = -6.926E-16$$

$$DA2DT = A + BT + CT^2 + DT^3$$

Υπορουτίνα R402BPR

Είναι η υπορουτίνα που υπολογίζει το ψυκτικό μέσο R402B με χρήση της εξίσωσης Peng-Robinson [4]

Καταστατική εξίσωση

$$P(T,V) = \frac{RT}{V-b} - \frac{a(T)}{V^2 + 2bV - b^2}$$

$$R = 0.008314 \text{ σε } \frac{kJ}{molK}$$

Σταθερές των συνιστωσών του μείγματος για τον υπολογισμό των b και $a(T)$ της καταστατικής εξίσωσης

Συνιστώσα	R125	R290	R22
$T_{c_i} (K)$	339.19	369.90	369.16
$P_{c_i} (kPa)$	3595.0	4257.0	4977.0
ω_i	0.3010	0.1520	0.2214
$K1_i$	0.0390	0.0320	0.0360
W_i	0.38	0.02	0.60

Σταθερές που δίνουν μαθηματικά την αλληλεπίδραση των συνιστωσών μεταξύ τους

	K1	K2	K3
K1	0.0000	0.1478	0.0158
K2	0.1478	0.0000	0.0839
K3	0.0158	0.0839	0.0000

Θερμοκρασία βρασμού του υγρού σε K (Bubble point)

$$A=5.11244 \text{ E}+01$$

$$B=-3.47027 \text{ E}+03$$

$$C=-5.85217 \text{ E}+00$$

$$D=1.11710 \text{ E}-05$$

$$P = EXP(A + B/T_b + C \ln(T_b) + DT_b^2)$$

Θερμοκρασία συμπύκνωσης του αερίου ψυκτικού σε K (Dew Point)

$$A=6.67012 \text{ E}+01$$

$$B=-4.03132 \text{ E}+03$$

$$C=-8.32834 \text{ E}+00$$

$$D=1.54397 \text{ E}-05$$

$$P = EXP(A + B/T_d + C \ln(T_d) + DT_d^2)$$

Ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση του τέλειου αερίου σε J/(kgK)

$$A1=1.170140 \text{ E}+01$$

$$B1=0.216411 \text{ E}-01$$

$$C1=0.868526 \text{ E}-04$$

$$A2=-1.009000 \text{ E}+00$$

$$B2=0.731500 \text{ E}-01$$

$$C2=-0.378900 \text{ E}-04$$

$$A3=6.164370 \text{ E}+00$$

$$B3=0.173407 \text{ E}-01$$

$$C3=0.557618 \text{ E}-04$$

$$D1=-0.112776 \text{ E}-06$$

$$E1=0.000000 \text{ E}+00$$

$$F1=0.000000 \text{ E}+00$$

$$D2=0.767800 \text{ E}-08$$

$$E2=0.000000 \text{ E}+00$$

$$F2=0.000000 \text{ E}+00$$

$$D3=-0.140596 \text{ E}-06$$

$$E3=0.120557 \text{ E}-09$$

$$F3=-0.368814 \text{ E}-13$$

$$C_p = 4.184(A_i + B_i T + C_i T^2 + D_i T^3 + E_i T^4 + F_i T^5)$$

$$C_{p_{id}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i C_{p_i}}{MB_{R402B}}$$

Συντελεστές για την πρώτη παράγωγο $\frac{da(T)}{dT}$

$$A=-6.649E-6$$

$$B=2.572E-8$$

$$C=-4.888E-11$$

$$D=3.805E-14$$

$$DADT = A + BT + CT^2 + DT^3$$

Συντελεστές για τη δεύτερη παράγωγο $\frac{d^2a(T)}{dT^2}$

$$A=4.434E-8$$

$$B=-2.816E-10$$

$$C=7.241E-13$$

$$D=-6.745E-16$$

$$DA2DT = A + BT + CT^2 + DT^3$$

Πρόγραμμα "Environmental friendly refrigerants"

PROGRAM REFRIGERANTS

IMPLICIT REAL(K-N)

DIMENSION AA1(10000,22),BB1(10000,22),CC1(10000,22)

DIMENSION DD1(10000,22),EE1(10000,22),FF1(10000,22)

DIMENSION GG1(10000,22)

DIMENSION W(10),Q(5)

CHARACTER*15 MEGETH(22,2),NOSEN(5,2),SIZES(22,2)

CHARACTER*30 AB,A1,B1,C1,D1,E1,F1,G1

REAL PE,TE,AA1,BB1,DT

WRITE(*,*)'THE AVAILABLE REFRIGERANTS ARE:'

WRITE(*,*)'1)R-402B WITH PENG-ROBINSON E.O.S'

WRITE(*,*)'2)R-404A WITH PENG-ROBINSON E.O.S'

READ(*,*)W(1)

WRITE(*,*)'TYPE (1) FOR CONST PRESSURE OR (2) FOR COSNT TEMP'

READ(*,*) A

IF(A.EQ.1)THEN

WRITE(*,*)'PRESSURE P=,' BAR'

READ(*,*)PE

WRITE(*,*)'LOWEST TEMPERATURE TMIN=,' KELVIN'

READ(*,*)TMIN

```

WRITE(*,*)'HIGHEST TEMPERATURE TMAX=',' KELVIN'

READ(*,*)TMAX

WRITE(*,*)'STEP=',' KELVIN'

READ(*,*)STEP

DT=STEP

DP=0.0

!   DO 2 J2=1,3

      J2=1

      II1=0

      DO 3 ITE=INT(TMIN),INT(TMAX),INT(STEP)

        II1=II1+1

        TE=FLOAT(ITE)

        IF(W(J2).EQ.1)THEN

          CALL R402BPR(PE,TE,GG1,II1,DT,DP)

        ELSEIF(W(J2).EQ.2)THEN

          CALL R404APR(PE,TE,FF1,II1,DT,DP)

        ENDIF

3     CONTINUE

!2  CONTINUE

      END IF

IF(A.EQ.2)THEN

WRITE(*,*)'TEMPERATURE T=',' KELVIN'

      READ(*,*)TE

```

```

WRITE(*,*)'LOWEST PRESSURE PMIN=,' BAR'

  READ(*,*)PMIN

WRITE(*,*)'HIGHEST PRESSURE PMAX=,' BAR'

  READ(*,*)PMAX

  WRITE(*,*)'STEP=,' BAR'

  READ(*,*)STEP

DT=0.0

DP=STEP

J2=1

II1=0

  DO 5 IPE=INT(PMIN),INT(PMAX),INT(STEP)

    PE=FLOAT(IPE)

    II1=II1+1

    IF(W(J2).EQ.1)THEN

      CALL R402BPR(PE,TE,GG1,II1,DT,DP)

    ELSEIF(W(J2).EQ.2)THEN

      CALL R404APR(PE,TE,FF1,II1,DT,DP)

    ENDIF

5    CONTINUE

ENDIF

SIZES(1,1)='PRESSURE'

  SIZES(1,2)='BAR'

```

SIZES(2,1)='TEMPERATURE'
 SIZES(2,2)='K'
 SIZES(3,1)='VOLUME'
 SIZES(3,2)='M**3/KG'
 SIZES(4,1)='Cv'
 SIZES(4,2)='J/(KG*K)'
 SIZES(5,1)='Cp'
 SIZES(5,2)='J/(KG*K)'
 SIZES(6,1)='compres.factor'
 SIZES(6,2)='adiast'
 SIZES(7,1)='gamma (Cp/Cv)'
 SIZES(7,2)='adiast'
 SIZES(8,1)='velocity speed'
 SIZES(8,2)='m/s'
 SIZES(9,1)='KPV'
 SIZES(9,2)='ADIAST'
 SIZES(10,1)='KTV'
 SIZES(10,2)='ADIAST'
 SIZES(11,1)='KPT'
 SIZES(11,2)='ADIAST'
 SIZES(12,1)='BOIL TEMP.'
 SIZES(12,2)='K'
 SIZES(13,1)='COMPR TEMP'
 SIZES(13,2)='K'
 SIZES(14,1)='ENTROPY'

SIZES(14,2)='kJ/KgK'

SIZES(15,1)='ENTHALPY.'

SIZES(15,2)='kJ/Kg'

SIZES(16,1)='INTERNAL ENERGY'

SIZES(16,2)='Kj'

!

! TITLES OF FILES WHERE THE RESULTS WILL BE PRINTED

AB='_____'

G1='R-402B WITH PENG-ROBINSON EOS.dat'

F1='R-404A WITH PENG-ROBINSON EOS.dat'

! CREATION OF THE ENVIRONMENT IN THE SCREEN WHERE FIVE
UNITS WILL

! BE CHOSEN EACH TIME AND WILL BE PRINTED

WRITE(*,*)'1)PRESSURE 2)TEMPERATURE 3)VOLUME '

WRITE(*,*)'4)Cv 5)Cp 6)FACTOR. COMPR '

WRITE(*,*)'7)GAMMA (Cp/Cv) 8)VELOCITY SOUND 9)KPV '

WRITE(*,*)'10)KTV 11)KPT 12)BOIL TEMP '

WRITE(*,*)'13)TEMP SIMP 14)ENTROPY 15)ENTHALPY '

WRITE(*,*)'16)INTERNAL ENERGY'

DO 7 I=1,5

WRITE(*,*)'GIVE CODE OF ',I,' PARAMETER '

```

6  READ(*,*)Q(I)
   IF(Q(I).LT.1.OR.Q(I).GT.16)THEN
       WRITE(*,*)'GIVE AGAIN THE CODE OF ',I,' PARAMETER:'
       GOTO 6
   ENDIF

```

```

7  CONTINUE

```

```

!  _____

```

```

!  THE COMMANDS WHICH MAKE IT TO PRINT THE THERMOPHYSICAL
!  PROPERTIES OF THE CHOSEN QUANTITIES

```

```

DO 8 I=1,5

```

```

    DO 28 J=1,2

```

```

        NOSEN(I,J)=SIZES(INT(Q(I)),J)

```

```

28  CONTINUE

```

```

8   CONTINUE

```

```

DO 9 I=1,10

```

```

!  ACTIVATION OF FILE R-402B WITH PENG-ROBINSON E.O.S

```

```

IF(W(I).EQ.1)THEN

```

```

    OPEN(100,FILE='R-402B WITH PENG-ROBINSON.E.O.S')

```

```

    WRITE(100,*)G1

```

```

    WRITE(100,*)AB

```



```

IF(A.EQ.1)THEN

WRITE(100,*)'CURVES OF CONSTANT PRESSURE'

WRITE(100,*)'PRESSURE CHANGE:',PE,'bar'

WRITE(100,*)'TMAX=',TMAX,'K----TMIN=',TMIN,'K'

WRITE(100,'(/)')

ENDIF

```

```

IF(A.EQ.2)THEN

WRITE(100,*)'CURVES OF CONSTANT TEMPERATURE'

WRITE(100,*)'TEMPERATURE CHANGE:',TE,'K'

WRITE(100,*)'PMIN=',PMIN,'bar----PMAX=',PMAX,'bar'

WRITE(100,'(/)')

ENDIF

```

```

DO 10 IA=1,2

WRITE(100,*)(NOSEN(IB,IA),IB=1,5)

10 CONTINUE

DO 11 IJ=1,II1

WRITE(100,*)(GG1(IJ,INT(Q(J))),J=1,5)

11 CONTINUE

ENDIF

```

! ACTIVATION OF FILE R-404A WITH PENG-ROBINSON E.O.S

```

IF(W(I).EQ.2)THEN
    OPEN(101,FILE='R-404A WITH PENG-ROBINSON E.O.S')
    WRITE(101,*)F1
WRITE(101,*)AB

    IF(A.EQ.1)THEN
        WRITE(101,*)'CURVES OF CONSTANT PRESSURE'
        WRITE(101,*)'PRESSURE CHANGE:',PE,'bar'
        WRITE(101,*)'TMAX=',TMAX,'K----TMIN=',TMIN,'K'
        WRITE(101,'(/)')
    ENDIF

    IF(A.EQ.2)THEN
        WRITE(101,*)'CURVES OF CONSTANT TEMPERATURE'
        WRITE(101,*)'TEMPERATURE CHANGE:',TE,'K'
        WRITE(101,*)'PMIN=',PMIN,'bar----PMAX=',PMAX,'bar'
        WRITE(101,'(/)')
    ENDIF

    DO 12 IA=1,2
        WRITE(101,*)(NOSEN(IB,IA),IB=1,5)
12  CONTINUE
    DO 13 IJ=1,II1
        WRITE(101,*)(FF1(IJ,INT(Q(J))),J=1,5)

```

13 CONTINUE

ENDIF

9 CONTINUE

STOP

END

! _____

! END OF MAIN PROGRAM

! _____

! ****R-402B****PENG-ROBINSON E.O.S****R-402B****

! ****R-402B****PENG-ROBINSON E.O.S****R-402B****

SUBROUTINE R402BPR(PP,T,G1,I1,DT,DP)

IMPLICIT REAL (K-N)

DIMENSION G1(10000,22),CN(20,3),AB(3,3),CPI(6,3),BK(3,3)

REAL X,A,B,C,D,P,PP,TB,DT,DTT,DP,DPP,DS,DH,DVOL

ZERO=0

! CONVERSION OF PRESSURE THAT IS GIVEN IN THE MAIN PROGRAM
IN kPa THAT THE ROUTINE USES

P=PP*100

! -----

! CALCULATION OF BOILING TEMPERATURE OF LIQUID REFRIGERANT
R-402B TB IN Kelvin (BUBBLE POINT)

A=5.11244E+01

B=-3.47027E+03

C=-5.85217E+00

D=1.11710E-05

TB=400

21 TB=TB-0.01

PB=EXP(A+B/TB+C*LOG(TB)+D*TB**2)

IF(P.LT.PB)THEN

GOTO 21

ENDIF

! -----

! CALCULATION OF CONDENSATION TEMPERATURE OF SUPERHEATED
GAS VAPOUR

! OF THE REFRIGERANT TD IN KELVIN (DEW POINT)

A=6.67012E+01

B=-4.03132E+03

C=-8.32834E+00

D=1.54397E-05

```

    TD=400
22  TD=TD-0.01

    PD=EXP(A+B/TD+C*LOG(TD)+D*TD**2)

    IF(P.LT.PD)THEN

        GOTO 22

    ENDIF

! -----

! IN THE MATRIX G1 WILL BE KEPT ALL REFRIGERANT PARAMETERS

    G1(I1,1)=PP  !REFRIGERANT PRESSURES IN bar
    G1(I1,2)=T   !REFRIGERANT TEMPERATURES IN K
    G1(I1,12)=TB !REFRIGERANT BOIL TEMP. IN K
    G1(I1,13)=TD !REFRIGERANT COND TEMP. IN K

! *****

! *PARAMETERS DEFINITION OF THE*

! *REFRIGERANT IN THE PHAZE OF *

! *SUPERHEATED GAS          *

! *****

!  * * * * *
  _ _ _ _ _

    IF(TD.LT.T)THEN  !CONDITION IN WHICH PENG-ROBINSON
EQUATION

        !CAN BE USED IN SUPERHEATED GAS

!  * * * * *
  _ _ _ _ _

```

R=0.008314 !CONSTANT OF GASES IN kJ/(mol*K)

! CALCULATION OF THE VOLUME OF SUPERHEATED GAS OF R-402B

! AS A FUNCTION OF TEMPERATURE AND PRESSURE IN m**3/mol

V=0.5 !STARTING ESTIMATION OF VOLUME

1 V=V-0.00001 !CORRECTION OF INITIAL ESTIMATION

! CN IS THE MATRIX WHERE THE PARAMETERS OF THE COMPONENTS
OF THE REFRIGERANT WILL BE KEPT

! TO CALCULATE THE CONSTANTS a,b OF PENG-ROBINSON EQUATION

! THE FACTORS OF THE PURE COMPONENTS

! -----R-125----R-290-----R-22-----

! THE LINE WITH THE CRITICAL TEMPERATURES IN K

CN(1,1)=339.19

CN(1,2)=369.90

CN(1,3)=369.16 !TCi

! THE LINE WITH THE CRITICAL PRESSURES IN kPa

CN(2,1)=3595.0

CN(2,2)=4257.0

CN(2,3)=4977.0 !PCi

! THE LINE WITH ACENTRIC FACTOR OMEG

$$\text{CN}(3,1)=0.3010$$

$$\text{CN}(3,2)=0.1520$$

$$\text{CN}(3,3)=0.2214 \quad !\text{OMEG}$$

! THE LINE WITH THE FACTOR K1i

$$\text{CN}(4,1)=0.0390$$

$$\text{CN}(4,2)=0.0320$$

$$\text{CN}(4,3)=0.0360 \quad !\text{K1i}$$

! THE LINE WITH THE MOLE FRACTION OF THE MIXTURE COMPONENTS

$$\text{CN}(7,1)=0.29986$$

$$\text{CN}(7,2)=0.04296$$

$$\text{CN}(7,3)=0.65718 \quad !\% \text{K.B.i}$$

! _____

$$\text{MR125}=12*1+2*19+12+19*3$$

$$\text{MR290}=12*3+1*8$$

$$\text{MR22}=12+19+35+1+19$$

! -----

! MOLECULAR WEIGHT OF MIXTURE

$$\text{BRM}=\text{MR125}*\text{CN}(7,1)+\text{MR290}*\text{CN}(7,2)+\text{MR22}*\text{CN}(7,3)$$

! -----

! THE LINE WITH THE TEMPERATURES Tri

$$\text{DO } 3 \text{ I}=1,3$$

```

        CN(8,I)=T/CN(1,I)
3    CONTINUE
! -----

! THE LINE WITH FACTOR Koi

        DO 4 I=1,3

            CN(9,I)=0.378893+1.4897153*CN(3,I)-0.17131848*(CN(3,I)
&            **2+0.0196554*(CN(3,I))**3
4    CONTINUE

! -----

! THE LINE WITH FACTOR Ki

        DO 5 I=1,3

            IF(CN(8,I).GT.0.7) THEN

                CN(10,I)=CN(9,I)

            ELSE

                CN(10,I)=CN(9,I)+CN(4,I)*(1+SQRT(CN(8,I)))*(0.7-CN(8,I))

            ENDIF
5    CONTINUE

! -----

! THE LINE WITH FACTOR ái

        DO 6 I=1,3

            CN(11,I)=(1+CN(10,I)*(1-SQRT(CN(8,I))))**2

```



```

6    CONTINUE

! -----

! THE LINE WITH FACTOR ai

    DO 7 I=1,3

        CN(12,I)=(0.457235*(R*CN(1,I))**2/CN(2,I))*CN(11,I)

7    CONTINUE

! -----

! CALCULATION OF SECONDARY MATRIX BK

BK(1,1)=0.0 ; BK(1,2)=0.1478 ; BK(1,3)=0.0158

BK(2,1)=BK(1,2) ; BK(2,2)=0.0 ; BK(2,3)=0.0839

BK(3,1)=BK(1,3) ; BK(3,2)=BK(2,3) ; BK(3,3)=0.0

! -----

! CALCULATION OF SECONDARY MATRIX AB

    DO 8 I=1,3

        DO 28 J=1,3

            AB(I,J)=((CN(12,I)*CN(12,J))**0.5)*(1-BK(I,J))

28   CONTINUE

8    CONTINUE

! -----

! CALCULATION OF CONSTANT A OF MIXTURE

AA=0

    DO 9 I=1,3

```

```

DO 29 J=1,3

    TEMP=CN(7,I)*CN(7,J)*AB(I,J)

    AA=AA+TEMP

29  CONTINUE

9   CONTINUE

! -----

! THE LINE WITH FACTOR bi

    DO 10 I=1,3

        CN(13,I)=0.077796*R*CN(1,I)/CN(2,I)

10  CONTINUE

! -----

! CALCULATION OF CONSTANT B OF MIXTURE

BB=0

    DO 11 I=1,3

        BB=BB+CN(7,I)*CN(13,I)

11  CONTINUE

! -----

! AFTER THE TERMS A,B OF PENG-ROBINSON EQUATION BEING
CALCULATED

! WE CALCULATE THE PRESSURE FOR THE STARTING VOLUME FOR
THE GIVEN

! TEMPERATURE.OUR AIM IS THE PRESSURE TO BE EQUAL TO THE
EXAMINED ONE.

! AS A RESULT WE CORRECT FROM LINE 1 THE VOLUME UNTIL IT
BECOMES EQUAL TO THE DESIRED PRESSURE

```

$$PELEX=(R*T)/(V-BB)-AA/(V**2+2*BB*V-BB**2)$$

IF (PELEX.LT.P) THEN

GOTO 1

ENDIF

! -----

! CALCULATION OF THE FIRST DERIVATIVE OF THE TERM A(T) WITH
POLYNOMIAL APPROACH OF

! THIRD RANK TEMPERATURE CURVE da(T)/dT

$$A=-6.649E-6$$

$$B=2.572E-8$$

$$C=-4.888E-11$$

$$D=3.805E-14$$

$$DATDT=A+B*T+C*T**2+D*T**3$$

! -----

! CALCULATION OF THE SECOND DERIVATIVE OF THE TERM A(T)
WITH POLYNOMIAL

! APPROACH OF THIRD RANK TEMPERATURE CURVE d^2A(T)/dt^2

$$A=4.434E-8$$

$$B=-2.816E-10$$

$$C=7.241E-13$$

$$D=-6.745E-16$$

$$DA2DT=A+B*T+C*T**2+D*T**3$$

! -----

! CALCULATION OF $dP(T,V)/dT$ AT CONSTANT VOLUME IN $\text{kJ}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$

$$DPDT=R/(V-BB)-DATDT/(V**2+2*V*BB-BB**2)$$

! -----

! CALCULATION OF dP/dV AT CONSTANT TEMPERATURE IN $\text{kJ}\cdot\text{mol}/\text{m}^6$

$$DPDV=-R*T/((V-BB)**2)+AA*(2*V+2*BB)/((V**2+2*V*BB-BB**2)**2)$$

! -----

! CALCULATION OF C_{pideal} OF R-402B

! IN $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

$$CPI(1,1)=1.170140E+01$$

$$CPI(2,1)=0.216411E-01$$

$$CPI(1,2)=-1.009000E+00$$

$$CPI(2,2)=0.731500E-01$$

$$CPI(1,3)=6.164370E+00$$

$$CPI(2,3)=0.173407E-01$$

$$CPI(3,1)=0.868526E-04$$

$$CPI(4,1)=-0.112776E-06$$

$$CPI(3,2)=-0.378900E-04$$

$$CPI(4,2)=0.767800E-08$$

$$CPI(3,3)=0.557618E-04$$

$$CPI(4,3)=0.140596E-06$$

$$CPI(5,1)=0.000000E+00$$

CPI(6,1)=0.000000E+00

CPI(5,2)=0.000000E+00

CPI(6,2)=0.000000E+00

CPI(5,3)=0.120557E-09

CPI(6,3)=-0.368814E-13

PARAM=0

DO 12 I=1,3

PARAM=PARAM+CN(7,I)*4.184*(CPI(1,I)+CPI(2,I)*T+CPI(3,I)

& *T**2+CPI(4,I)*T**3+CPI(5,I)*T**4+CPI(6,I)*T**5)

12 CONTINUE

CPID=PARAM/BRM

! -----

! CALCULATION OF Cvideal OF R-402B IN kJ/(kg*K)

CVID=CPID-R*1000/BRM

! -----

! CALCULATION OF Cv OF R-402B IN kJ/(kg*K)

ALF=2

! APIR IS ONE CONSTANT TOO BIG AS A NUMBER THAT APPROACHES
THE INFINITE VOLUME

APIR=1E30

CV=CPID-R*1000/BRM-T*DA2DT*1000/(BRM*BB*SQRT(ALF**3))*

```

& (LOG(ABS((V+BB-BB*SQRT(ALF))/(V+BB+BB*SQRT(ALF))))-
& LOG(ABS((APIR+BB-BB*SQRT(ALF))/(APIR+BB+BB*SQRT(ALF)))))
! -----

! CALCULATION OF Cp OF R-402B IN kJ/(kg*K)
CP=CV-T/BRM*1000*DPDT**2*DPDV**(-1)
! -----

! -----

! CALCULATION OF DH BETWEEN THE EXAMINED STATE
! AND THE REFERENCE STATE (P0,T0) WHERE H0
! IS KNOWN

! REFERENCE STATE
T0=273.15      ! REFERENCE TEMPERTURE IN kelvin
P0=100.        ! REFERENCE PRESSURE IN kPa (1 bar)
! ESTIMATION OF REFERENCE VOLUME (V0) IN m**3/mol
V0=0.01       ! STARTING ESTIMATION OF VOLUME
52  V0=V0-0.0000001    ! CORRECTION OF INITIAL ESTIMATION
DO 53 I=1,3
    CN(8,I)=T0/CN(1,I)
53  CONTINUE
DO 54 I=1,3
    CN(9,I)=0.378893+1.4897153*CN(3,I)-0.17131848*(CN(3,I))
*      **2+0.019655*(CN(3,I))**3

```

```

54  CONTINUE
    DO 55 I=1,3
        IF(CN(8,I).GT.0.7) THEN
            CN(10,I)= CN(9,I)
        ELSE
            CN(10,I)=CN(9,I)+CN(4,I)*(1+SQRT(CN(8,I)))*(0.7-CN(8,I))
        ENDIF
    DO 55 I=1,3
55  CONTINUE
    DO 56 I=1,3
        CN(11,I)=(1+CN(10,I)*(1-SQRT(CN(8,I))))**2
    DO 56 I=1,3
56  CONTINUE
    DO 57 I=1,3
        CN(12,I)=(0.457235*(R*CN(1,I))**2/CN(2,I))*CN(11,I)
    DO 57 I=1,3
57  CONTINUE
    DO 58 I=1,3
        DO 58 J=1,3
            AB(I,J)=((CN(12,I)*CN(12,J))**0.5)*(1-BK(I,J))
        DO 58 J=1,3
58  CONTINUE
        AA0=0
        DO 59 I=1,3
            DO 59 J=1,3
                AA0=AA0+CN(7,I)*CN(7,J)*AB(I,J)
            DO 59 J=1,3
59  CONTINUE
        PELEX=(R*T0)/(V0-BB)-AA0/(V0**2+2*BB*V0-BB**2)
        IF (PELEX.LT.P0) THEN

```

GO TO 52

ENDIF

! -----

! CALCULATION OF THE FIRST DERIVATIVE OF THE TERM A(T) WITH
POLYNOMIAL APPROACH OF

! THIRD RANK TEMPERATURE CURVE

! da(T)/dT FOR T=T0 (IN REFERENCE TEMPERATURE)

A=-6.649E-6

B=2.572E-8

C=-4.888E-11

D=3.805E-14

DATDT0=A+B*T0+C*T0**2+D*T0**3

! -----

! CALCULATION OF THE 5 TERMS (A1,A2,A3,A4,A5) THAT DEFINE

! DH

A1=V*(R*(T-T0)*(V**2+2*V*BB-BB**2)-(AA-AA0)*(V-BB))/((V**2
* +2*V*BB-BB**2)*(V-BB))

A1=A1*1000/BRM

A2=(T/(2*BB))*(2*LOG(ABS((V-BB)/(V0-BB)))*R*BB+SQRT(ALF)/2.

* *DATDT*LOG(ABS(((SQRT(ALF)*BB+V+BB)*(SQRT(ALF)*BB-V0-BB)
*)/((SQRT(ALF)*BB+V0+BB)*(SQRT(ALF)*BB-V-BB))))

$$A2=A2*1000/BRM$$

$$A3=(1./(2*BB))* (2*LOG(ABS((V0-BB)/(V-BB)))*R*BB*T+SQRT$$

$$* (ALF)/2.*AA*LOG(ABS(((SQRT(ALF)*BB-V-BB)*(SQRT(ALF)*BB+$$

$$* V0+BB))/((SQRT(ALF)*BB-V0-BB)*(SQRT(ALF)*BB+V+BB))))$$

$$A3=A3*1000/BRM$$

$$A4=((R*T*(BB**3-BB*V**2-2*BB**2*V)+AA*V*(V-BB))/((V**2+2*$$

$$* V*BB-BB**2)*(BB-V)))-((R*T*(BB**3-BB*V0**2-2*BB**2*V0)$$

$$* +AA*V0*(V0-BB))/((V0**2+2*V0*BB-BB**2)*(BB-V0)))$$

$$A4=A4*1000/BRM$$

! CALCULATION OF Cpideal OF R-402B IN kJ/(kg*K)

$$CPI(1,1)=1.170140E+01$$

$$CPI(2,1)=0.216411E-01$$

$$CPI(1,2)=-1.009000E+00$$

$$CPI(2,2)=0.731500E-01$$

$$CPI(1,3)=6.164370E+00$$

$$CPI(2,3)=0.173407E-01$$

$$CPI(3,1)=0.868526E-04$$

$$CPI(4,1)=-0.112776E-06$$

$$CPI(3,2)=-0.378900E-04$$

$$CPI(4,2)=0.767800E-08$$

$$CPI(3,3)=0.557618E-04$$

CPI(4,3)=0.140596E-06

CPI(5,1)=0.000000E+00

CPI(6,1)=0.000000E+00

CPI(5,2)=0.000000E+00

CPI(6,2)=0.000000E+00

CPI(5,3)=0.120557E-09

CPI(6,3)=-0.368814E-13

! CALCULATION OF INTEGRAL Cpid FROM T0 TO T

PARAM=0

DO 101 I=1,3

PARAM=PARAM+CN(7,I)*4.184*(CPI(1,I)*(T-T0)+CPI(2,I)/2.*

* (T**2-T0**2)+CPI(3,I)/3.*(T**3-T0**3)+CPI(4,I)/4.*

* (T**4-T0**4)+CPI(5,I)/5.*(T**5-T0**5)+CPI(6,I)/6.*

* (T**6-T0**6))

101 CONTINUE

SCPID=PARAM/BRM

SCVID=SCPID-R*1000*(T-T0)/BRM

! CALCULATION OF INTEGRAL Cpid/T FROM T0 TO T

PARAM=0

DO 102 I=1,3

PARAM=PARAM+CN(7,I)*4.184*(CPI(1,I)*LOG(T/T0)+CPI(2,I)*(T-T0)

* +CPI(3,I)/2.*(T**2-T0**2)+CPI(4,I)/3.*(T**3-T0**3)+

```

*      CPI(5,I)/4.*(T**4-T0**4)+CPI(6,I)/5.*(T**5-T0**5))
102  CONTINUE

      OCPID=PARAM/BRM

!    CALCULATION OF INTEGRAL OF THE TERM T*(d^2a(T)/dT^2) FROM
!    T0 TO T

      A=4.434E-8

      B=-2.816E-10

      C=7.241E-13

      D=-6.745E-16

      OLOK=A/2.*(T**2-T0**2)+B/3.*(T**3-T0**3)+C/4.*(T**4-T0**4)+D
*      /5.*(T**5-T0**5)

      A5=SCVID-
1000*OLOK/(BRM**2*SQRT(ALF)*BB)*LOG(ABS(((SQRT(ALF)
*      *BB-V-BB)*(SQRT(ALF)*BB+APIR+BB))/((SQRT(ALF)*BB+V+BB)*
*      (SQRT(ALF)*BB-APIR-BB))))

      DH=A1+A2+A3+A4+A5

!    -----

!    REFERENCE ENTHALPY H0 kJ/kg

      H0= 377.8

!    -----

!    ENTHALPY CALCULATION OF SUPERHEATED

```

! GAS

$$H=H_0+DH$$

! -----

! CALCULATION OF DS BETWEEN THE

! EXAMINED STATE AND THE REFERENCE STATE (P0,T0) WHERE S0

! IS KNOWN

$$A6=OCPID-1000/BRM*(R*LOG(T/T_0)+(LOG(ABS(((SQRT(ALF)$$

$$* *BB-V-BB)*(SQRT(ALF)*BB+APIR+BB)))/((SQRT(ALF)*BB+V+BB)*$$

$$* (SQRT(ALF)*BB-APIR-BB)))))/(2*BB*SQRT(ALF))*(DATDT-DATDT_0))$$

$$A7=1000/BRM*(R*LOG(ABS((V-BB)/(V_0-BB)))+DATDT/(2*SQRT(ALF)$$

$$* *BB)*LOG(ABS(((SQRT(ALF)*BB+V+BB)*(SQRT(ALF)*BB-V_0-BB)$$

$$*)/((SQRT(ALF)*BB+V_0+BB)*(SQRT(ALF)*BB-V-BB))))))$$

$$DS=A6+A7$$

! -----

! REFERENCE ENTROPY S0 kJ/(kg*K)

$$S_0=1.6528$$

! -----

! ENTROPY CALCULATION OF SUPERHEATED

! GAS

$$S=S_0+DS$$

! -----

! CALCULATION OF INTERNAL ENERGY OF SUPERHEATED GAS

! IN kJ/kg

$$U=H-P*V*1000/BRM$$

! COMPRESSIBILITY FACTOR Z

$$Z=P*V/(R*T)$$

! -----

! RATIO OF γ FUNCTION

$$GMA=CP/CV$$

! -----

! EXPANSIVITY VOLUME IN K^{-1}

$$BHTA=-1/V*DPDT*DPDV^{(-1)}$$

! -----

! CONSTANT TEMPERATURE COMPRESSIBILITY IN Pa^{-1}

$$KAPA=V*T*BHTA^{*2}/((CP-CV)*BRM)$$

! -----

! CONSTANT ENTROPY COMPRESSIBILITY IN Pa^{-1}

$$ALFA=KAPA*CV/CP$$

! -----

! SOUND VELOCITY IN m/s

$$SVEL=SQRT(V*1000/BRM*CP/(CV*KAPA))$$

! -----

! ISENTROPIC EXPONENT KPV,KPT

$$KPV=-V*CP/(P*CV)*DPDV$$

$$KTV=1+V*1000/BRM*DPDT/CV$$

$$KPT=T*DPDT/(T*DPDT+P*(CV/CP-1))$$

! -----

! CONVERSION OF VOLUME FROM m**3/mol TO m**3/kg

$$V=V*1000/BRM$$

! -----

! ALL RESULTS OF REFRIGERANT PROPERTIES ARE INTRODUCED IN MATRIX D1

G1(I1,3)=V !COLOUMN WITH VOLUME OF SUPERHEATED GAS IN m**3/kg

G1(I1,4)=CV !COLOUMN WITH CV OF SUPERHEATED GAS IN J/(kg*K)

G1(I1,5)=CP !COLOUMN WITH CP OF SUPERHEATED GAS IN J/(kg*K)

G1(I1,6)=Z !COLOUMN WITH COMPRESSIBILITY FACTOR OF SUPERHEATED GAS

G1(I1,7)=GMA !COLOUMN WITH CP/CV OF SUPERHEATED GAS

G1(I1,8)=SVEL !COLOUMN WITH SOUND VELOCITY OF SUPERHEATED GAS IN m/s

```

    G1(I1,9)=KPV  !COLOUMN WITH ISENTROPIC EXPONENT KPV OF
SUPERHEATED GAS

    G1(I1,10)=KTV !COLOUMN WITH ISENTROPIC EXPONENT KTV OF
SUPERHEATED GAS

    G1(I1,11)=KPT !COLOUMN WITH ISENTROPIC EXPONENT KPT OF
SUPERHEATED GAS

    G1(I1,14)=S   !COLOUMN WITH ENTROPY S OF SUPERHEATED GAS

    G1(I1,15)=H   !COLOUMN WITH ENTHALPY H OF SUPERHEATED
GAS

    G1(I1,16)=U   !COLOUMN WITH INTERNAL ENERGY U OF
SUPERHEATED GAS

    ELSE

!   IF THE REFRIGERANT IS NOT IN SUPERHEATED CONDITION

!   PUT 0

!   IN

!   COLOUMNS 3-11

    DO 13 I=3,11

        G1(I1,I)=ZERO

13 CONTINUE

!   * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
!   _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _
!
!   ENDIF  !END OF EQUATIONS FOR SUPERHEATED GAS
!
!   * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
!   _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

RETURN

END

```

! ****R-404A****PENG-ROBINSON E.O.S****R-404A****

! ****R-404A****PENG-ROBINSON E.O.S****R-404A****

SUBROUTINE R404APR(PP,T,F1,I1,DT,DP)

IMPLICIT REAL (K-N)

DIMENSION F1(10000,22),CN(20,3),AB(3,3),CPI(6,3),BK(3,3)

REAL P,PP,T,G1,A,B,C,D,X,DT,DTT,DP,DPP,DS,DH,DVOL

ZERO=0

! CONVERSION OF PRESSURE

IN kPa

P=PP*100

! -----

! CALCULATION OF BOILING TEMPERATURE OF LIQUID REFRIGERANT
R-404A TB IN Kelvin (BUBBLE POINT)

A=5.56487E+01

B=-3.62385E+03

C=-6.58061E+00

D=1.27711E-05

TB=400

21 TB=TB-0.01


```

PB=EXP(A+B/TB+C*LOG(TB)+D*TB**2)

IF(P.LT.PB)THEN

GOTO 21

ENDIF

! -----

! CALCULATION OF CONDENSATION TEMPERATURE OF SUPERHEATED
GAS VAPOUR

! OF THE REFRIGERANT TD IN KELVIN (DEW POINT)

A=6.89227E+01

B=-4.06171E+03

C=-8.71773E+00

D=1.68264E-05

TD=400

22 TD=TD-0.01

PD=EXP(A+B/TD+C*LOG(TD)+D*TD**2)

IF(P.LT.PD)THEN

GOTO 22

ENDIF

! -----

! IN THE MATRIX F1 WILL BE KEPT ALL REFRIGERANT PARAMETERS

F1(I1,1)=PP !REFRIGERANT PRESSURES IN bar

```

```

F1(I1,2)=T    !REFRIGERANT TEMPERATURES IN K

F1(I1,12)=TB  !REFRIGERANT BOIL TEMP. IN K

F1(I1,13)=TD  !REFRIGERANT COND TEMP. IN K

! *****

! *PARAMETERS DEFINITION OF THE*

! *REFRIGERANT IN THE PHASE OF *

! *SUPERHEATED GAS          *

! *****

!  _ _ * _ * _ * _ * _ * _ * _ * _ * _ * _ *

IF(TD.LT.T)THEN !CONDITION IN WHICH PENG-ROBINSON
EQUATION

           !CAN BE USED IN SUPERHEATED GAS

!  _ _ * _ * _ * _ * _ * _ * _ * _ * _ *

R=0.008314  !CONSTANT OF GASES IN kj/(mol*K)

! CALCULATION OF THE VOLUME OF SUPERHEATED GAS OF R-404

! AS A FUNCTION OF TEMPERATURE AND PRESSURE IN m**3/mol

V=0.5      !STARTING ESTIMATION OF VOLUME

1    V=V-0.00001 !CORRECTION OF INITIAL ESTIMATION

! CN IS THE MATRIX WHERE THE PARAMETERS OF THE COMPONENTS
OF THE REFRIGERANT WILL BE KEPT

! TO CALCULATE THE CONSTANTS a,b OF EQUATION PENG-ROBINSON

```

! THE FACTORS OF THE PURE COMPONENTS

! -----R-125----R-143a-----R-134a-----

! THE LINE WITH THE CRITICAL TEMPERATURES IN K

CN(1,1)=339.19

CN(1,2)=346.25

CN(1,3)=374.20 !TCi

! THE LINE WITH THE CRITICAL PRESSURES IN kPa

CN(2,1)=3595.0

CN(2,2)=3758.1

CN(2,3)=4056.0 !PCi

! THE LINE WITH ACENTRIC FACTOR OMEG

CN(3,1)=0.3023

CN(3,2)=0.2529

CN(3,3)=0.3266 !OMEG

! THE LINE WITH THE FACTOR K1i

CN(4,1)=0.0310

CN(4,2)=0.0450

CN(4,3)=-0.0060 !K1i

! THE LINE WITH THE MOLE FRACTION MIXTURE COMPONENTS

CN(7,1)=0.35782

CN(7,2)=0.60392

CN(7,3)=0.03826 !%K.B.i

! _____

$$\text{MR125}=12*1+2*19+12+19*3$$

$$\text{MR143a}=12*2+1*3+19*3$$

$$\text{MR134a}=12*2+19+1*2+19*4$$

! -----

! MOLECULAR WEIGHT OF MIXTURE

$$\text{BRM}=\text{MR125}*\text{CN}(7,1)+\text{MR143a}*\text{CN}(7,2)+\text{MR134a}*\text{CN}(7,3)$$

! -----

! THE LINE WITH THE TEMPERATURES Tri

DO 3 I=1,3

$$\text{CN}(8,\text{I})=\text{T}/\text{CN}(1,\text{I})$$

3 CONTINUE

! -----

! THE LINE WITH FACTOR Koi

DO 4 I=1,3

$$\text{CN}(9,\text{I})=0.378893+1.4897153*\text{CN}(3,\text{I})-0.17131848*(\text{CN}(3,\text{I}))$$

$$\& \quad **2+0.0196554*(\text{CN}(3,\text{I}))**3$$

4 CONTINUE

! -----

! THE LINE WITH FACTOR Ki

```

DO 5 I=1,3
IF(CN(8,I).GT.0.7) THEN
CN(10,I)=CN(9,I)
ELSE
CN(10,I)=CN(9,I)+CN(4,I)*(1+SQRT(CN(8,I)))*(0.7-CN(8,I))
ENDIF
5 CONTINUE
! -----

! THE LINE WITH FACTOR ái
DO 6 I=1,3
CN(11,I)=(1+CN(10,I)*(1-SQRT(CN(8,I))))**2
6 CONTINUE
! -----

! THE LINE WITH FACTOR ai
DO 7 I=1,3
CN(12,I)=(0.457235*(R*CN(1,I))**2/CN(2,I))*CN(11,I)
7 CONTINUE
! -----

! CALCULATION OF SECONDARY MATRIX BK
BK(1,1)=0.0 ; BK(1,2)=-0.0111 ; BK(1,3)=-0.0024
BK(2,1)=BK(1,2) ; BK(2,2)=0.0 ; BK(2,3)=-0.0013
BK(3,1)=BK(1,3) ; BK(3,2)=BK(2,3) ; BK(3,3)=0.0

```

```

! -----
!  CALCULATION OF SECONDARY MATRIX AB
      DO 8 I=1,3
      DO 28 J=1,3
          AB(I,J)=((CN(12,I)*CN(12,J))**0.5)*(1-BK(I,J))
28  CONTINUE
8   CONTINUE
! -----

!  CALCULATION OF CONSTANT A OF MIXTURE
AA=0
      DO 9 I=1,3
      DO 29 J=1,3
          TEMP=CN(7,I)*CN(7,J)*AB(I,J)
          AA=AA + TEMP
29  CONTINUE
9   CONTINUE

! -----

!  THE LINE WITH FACTOR bi
      DO 10 I=1,3
          CN(13,I)=0.077796*R*CN(1,I)/CN(2,I)
10  CONTINUE
! -----

```

! CALCULATION OF CONSTANT B OF MIXTURE

BB=0

DO 11 I=1,3

BB=BB+CN(7,I)*CN(13,I)

11 CONTINUE

! -----

! AFTER THE TERMS A,B OF PENG-ROBINSON EQUATION BEING
CALCULATED

! WE CALCULATE THE PRESSURE FOR THE STARTING VOLUME FOR
THE GIVEN

! TEMPERATURE.OUR AIM IS THE PRESSURE TO BE EQUAL TO THE
EXAMINED ONE.

! AS A RESULT WE CORRECT FROM LINE 1 THE VOLUME UNTIL IT
BECOMES EQUAL TO THE DESIRED PRESSURE

PELEX=(R*T)/(V-BB)-AA/(V**2+2*BB*V-BB**2)

IF (PELEX.LT.P) THEN

GOTO 1

ENDIF

! -----

! CALCULATION OF THE FIRST DERIVATIVE OF THE TERM A(T) WITH
POLYNOMIAL APPROACH OF

! THIRD RANK TEMPERATURE CURVE da(T)/DT

A=-8.024E-6

B=3.408E-8

C=-6.988E-11

$$D=5.593E-14$$

$$DATDT=A+B*T+C*T**2+D*T**3$$

! -----

! CALCULATION OF THE SECOND DERIVATIVE OF THE TERM A(T)
WITH POLYNOMIAL

! APPROACH OF THIRD RANK TEMPERATURE CURVE $d^2A(T)/dt^2$

$$A=5.234E-8$$

$$B=-3.270E-10$$

$$C=7.966E-13$$

$$D=-6.926E-16$$

$$DA2DT=A+B*T+C*T**2+D*T**3$$

! -----

! CALCULATION OF $dP(T,V)/dT$ AT CONSTANT VOLUME IN $\text{kJ}/(\text{m}^3\text{K})$

$$DPDT=R/(V-BB)-DATDT/(V**2+2*V*BB-BB**2)$$

! -----

! CALCULATION OF dP/dV AT CONSTANT TEMPERATURE IN $\text{kJ}\cdot\text{mol}/\text{m}^6$

$$DPDV=-R*T/((V-BB)**2)+AA*(2*V+2*BB)/((V**2+2*V*BB-BB**2)**2)$$

! -----

! CALCULATION OF C_{pideal} OF R-402A

! IN $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

CPI(1,1)=1.170144E+01

CPI(2,1)=0.216411E-01

CPI(1,2)=1.372849E+00

CPI(2,2)=0.750717E-01

CPI(1,3)=4.636855E+00

CPI(2,3)=0.617904E-01

CPI(3,1)=8.685258E-05

CPI(4,1)=-1.127756E-07

CPI(3,2)=-6.206979E-05

CPI(4,2)=2.011233E-08

CPI(3,3)=-3.099070E-05

CPI(4,3)=0.000000E+00

CPI(5,1)=0.000000E+00

CPI(6,1)=0.000000E+00

CPI(5,2)=0.000000E+00

CPI(6,2)=0.000000E+00

CPI(5,3)=0.000000E+00

CPI(6,3)=0.000000E+00

PARAM=0

DO 12 I=1,3

PARAM=PARAM+CN(7,I)*4.184*(CPI(1,I)+CPI(2,I)*T+CPI(3,I)

```

&      *T**2+CPI(4,I)*T**3+CPI(5,I)*T**4+CPI(6,I)*T**5)
12  CONTINUE

      CPID=PARAM/BRM

! -----

!  CALCULATION OF Cvideal OF R-404A IN kJ/(kg*K)

      CVID=CPID-R*1000/BRM

! -----

!  CALCULATION OF Cv OF R-404A IN kJ/(kg*K)

      ALF=2

!  APIR IS ONE CONSTANT TOO BIG AS A NUMBER THAT APPROACHES
THE INFINITE VOLUME

      APIR=1E30

      CV=CPID-R*1000/BRM-T*DA2DT*1000/(BRM*BB*SQRT(ALF**3))*
& (LOG(ABS((V+BB-BB*SQRT(ALF))/(V+BB+BB*SQRT(ALF))))-
& LOG(ABS((APIR+BB-BB*SQRT(ALF))/(APIR+BB+BB*SQRT(ALF)))))

! -----

!  CALCULATION OF Cp OF R-404A IN kJ/(kg*K)

      CP=CV-T/BRM*1000*DPDT**2*DPDV**(-1)

! -----

!  CALCULATION OF DH BETWEEN THE

```

! EXAMINED STATE AND THE REFERENCE STATE (P0,T0) WHERE H0
! IS KNOWN

! REFERENCE STATE

T0=273.15 ! REFERENCE TEMPERATURE IN kelvin

P0=100. ! REFERENCE PRESSURE IN kPa (1 bar)

! ESTIMATION OF REFERENCE VOLUME V0 IN m**3/mol

V0=0.01 ! INITIAL ESTIMATION OF VOLUME

52 V0=V0-0.0000001 ! CORRECTION OF INITIAL ESTIMATION

DO 53 I=1,3

CN(8,I)=T0/CN(1,I)

53 CONTINUE

DO 54 I=1,3

CN(9,I)=0.378893+1.4897153*CN(3,I)-0.17131848*(CN(3,I)

* **2+0.019655*(CN(3,I))**3

54 CONTINUE

DO 55 I=1,3

IF(CN(8,I).GT.0.7) THEN

CN(10,I)= CN(9,I)

ELSE

CN(10,I)=CN(9,I)+CN(4,I)*(1+SQRT(CN(8,I)))*(0.7-CN(8,I))

ENDIF

55 CONTINUE

DO 56 I=1,3

CN(11,I)=(1+CN(10,I)*(1-SQRT(CN(8,I))))**2

```

56  CONTINUE
      DO 57 I=1,3
          CN(12,I)=(0.457235*(R*CN(1,I))**2/CN(2,I))*CN(11,I)
57  CONTINUE
      DO 58 I=1,3
          DO 58 J=1,3
              AB(I,J)=((CN(12,I)*CN(12,J))**0.5)*(1-BK(I,J))
58  CONTINUE
      AA0=0
      DO 59 I=1,3
          DO 59 J=1,3
              AA0=AA0+CN(7,I)*CN(7,J)*AB(I,J)
59  CONTINUE
      PELEX=(R*T0)/(V0-BB)-AA0/(V0**2+2*BB*V0-BB**2)
      IF (PELEX.LT.P0) THEN
          GO TO 52
      ENDIF
! -----
!  CALCULATION OF THE FIRST DERIVATIVE OF THE TERM A(T0) WITH
!  POLYNOMIAL APPROACH OF
!  THIRD RANK TEMPERATURE CURVE
!  da(T)/dT FOR T=T0 (ON REFERENCE TEMPERATURE)
      A=-8.024E-6
      B=3.408E-8

```

$$C=-6.988E-11$$

$$D=5.593E-14$$

$$DATDT0=A+B*T0+C*T0**2+D*T0**3$$

! -----

! CALCULATION OF THE 5 TERMS (A1,A2,A3,A4,A5) THAT DEFINE

! DH

$$A1=V*(R*(T-T0)*(V**2+2*V*BB-BB**2)-(AA-AA0)*(V-BB))/((V**2+2*V*BB-BB**2)*(V-BB))$$

$$A1=A1*1000/BRM$$

$$A2=(T/(2*BB))*(2*LOG(ABS((V-BB)/(V0-BB)))*R*BB+SQRT(ALF)/2.$$

$$* *DATDT*LOG(ABS(((SQRT(ALF)*BB+V+BB)*(SQRT(ALF)*BB-V0-BB)))/((SQRT(ALF)*BB+V0+BB)*(SQRT(ALF)*BB-V-BB))))$$

$$A2=A2*1000/BRM$$

$$A3=(1./(2*BB))* (2*LOG(ABS((V0-BB)/(V-BB)))*R*BB*T+SQRT$$

$$* (ALF)/2.*AA*LOG(ABS(((SQRT(ALF)*BB-V-BB)*(SQRT(ALF)*BB+V0+BB)))/((SQRT(ALF)*BB-V0-BB)*(SQRT(ALF)*BB+V+BB))))$$

$$A3=A3*1000/BRM$$

$$A4=((R*T*(BB**3-BB*V**2-2*BB**2*V)+AA*V*(V-BB))/((V**2+2*$$

$$* V*BB-BB**2)*(BB-V))-((R*T*(BB**3-BB*V0**2-2*BB**2*V0)$$

$$* +AA*V0*(V0-BB))/((V0**2+2*V0*BB-BB**2)*(BB-V0)))$$

$$A4=A4*1000/BRM$$

! CALCULATION OF Cpideal OF R-402A IN kJ/(kg*K)

$$CPI(1,1)=1.170144E+01$$

$$CPI(2,1)=0.216411E-01$$

$$CPI(1,2)=1.372849E+00$$

$$CPI(2,2)=0.750717E-01$$

$$CPI(1,3)=4.636855E+00$$

$$CPI(2,3)=0.617904E-01$$

$$CPI(3,1)=8.685258E-05$$

$$CPI(4,1)=-1.127756E-07$$

$$CPI(3,2)=-6.206979E-05$$

$$CPI(4,2)=2.011233E-08$$

$$CPI(3,3)=-3.099070E-05$$

$$CPI(4,3)=0.000000E+00$$

$$CPI(5,1)=0.000000E+00$$

$$CPI(6,1)=0.000000E+00$$

$$CPI(5,2)=0.000000E+00$$

$$CPI(6,2)=0.000000E+00$$

$$CPI(5,3)=0.000000E+00$$

$$CPI(6,3)=0.000000E+00$$

! CALCULATION OF INTEGRAL Cpideal FROM T0 TO T

```

PARAM=0

DO 101 I=1,3

    PARAM=PARAM+CN(7,I)*4.184*(CPI(1,I)*(T-T0)+CPI(2,I)/2.*
*       (T**2-T0**2)+CPI(3,I)/3.*(T**3-T0**3)+CPI(4,I)/4.*
*       (T**4-T0**4)+CPI(5,I)/5.*(T**5-T0**5)+CPI(6,I)/6.*
*       (T**6-T0**6))

101 CONTINUE

SCPID=PARAM/BRM

SCVID=SCPID-R*1000*(T-T0)/BRM

! CALCULATION OF INTEGRAL Cpid/T FROM T0 TO T

PARAM=0

DO 102 I=1,3

    PARAM=PARAM+CN(7,I)*4.184*(CPI(1,I)*LOG(T/T0)+CPI(2,I)*(T-T0)
*       +CPI(3,I)/2.*(T**2-T0**2)+CPI(4,I)/3.*(T**3-T0**3)+
*       CPI(5,I)/4.*(T**4-T0**4)+CPI(6,I)/5.*(T**5-T0**5))

102 CONTINUE

OCPID=PARAM/BRM

! CALCULATION OF INTEGRAL OF THE TERM T*(d^2a(T)/dT^2) FROM
! T0 TO T

A=5.234E-8

B=-3.270E-10

C=7.966E-13

D=-6.926E-16

```

$$O\text{LOK} = A/2 \cdot (T^{**2} - T_0^{**2}) + B/3 \cdot (T^{**3} - T_0^{**3}) + C/4 \cdot (T^{**4} - T_0^{**4}) + D$$

$$* /5 \cdot (T^{**5} - T_0^{**5})$$

$$A_5 = \text{SCVID} - 1000 \cdot O\text{LOK} / (\text{BRM}^{**2} \cdot \text{SQRT}(\text{ALF}) \cdot \text{BB}) \cdot \text{LOG}(\text{ABS}(\text{SQRT}(\text{ALF})$$

$$* (\text{BB} - \text{V} - \text{BB}) \cdot (\text{SQRT}(\text{ALF}) \cdot \text{BB} + \text{APIR} + \text{BB}) / ((\text{SQRT}(\text{ALF}) \cdot \text{BB} + \text{V} + \text{BB}) \cdot$$

$$* (\text{SQRT}(\text{ALF}) \cdot \text{BB} - \text{APIR} - \text{BB}))))$$

$$DH = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5$$

! -----

! REFERENCE ENTHALPY H0 kJ/kg

$$H_0 = 364.25$$

! -----

! CALCULATION OF ENTHALPY OF SUPERHEATED

! GAS

$$H = H_0 + DH$$

! -----

! CALCULATION OF DS BETWEEN THE EXAMINED

! STATE AND THE REFERENCE STATE (P0,T0) WHERE S0

! IS KNOWN

$$A_6 = \text{OCPID} - 1000 / \text{BRM} \cdot (R \cdot \text{LOG}(T/T_0) + (\text{LOG}(\text{ABS}(\text{SQRT}(\text{ALF})$$

$$* (\text{BB} - \text{V} - \text{BB}) \cdot (\text{SQRT}(\text{ALF}) \cdot \text{BB} + \text{APIR} + \text{BB}) / ((\text{SQRT}(\text{ALF}) \cdot \text{BB} + \text{V} + \text{BB}) \cdot$$

$$* (\text{SQRT}(\text{ALF}) \cdot \text{BB} - \text{APIR} - \text{BB})))) / (2 \cdot \text{BB} \cdot \text{SQRT}(\text{ALF})) \cdot (\text{DATDT} - \text{DATDT}_0))$$

$$A7=1000/BRM*(R*LOG(ABS((V-BB)/(V0-BB)))+DATDT/(2*SQRT(ALF)$$

$$* *BB)*LOG(ABS(((SQRT(ALF)*BB+V+BB)*(SQRT(ALF)*BB-V0-BB)$$

$$*)/((SQRT(ALF)*BB+V0+BB)*(SQRT(ALF)*BB-V-BB))))$$

$$DS=A6+A7$$

! -----

! REFERENCE ENTROPY S0 IN kJ/(kg*K)

$$S0= 1.6252$$

! -----

! CALCULATION OF ENTROPY OF THE SUPERHEATED
! GAS

$$S=S0+DS$$

! -----

! CALCULATION OF INTERNAL ENERGY OF THE SUPERHEATED GAS
! IN kJ/kg

$$U=H-P*V*1000/BRM$$

! COMPRESSIBILITY FACTOR Z

$$Z=P*V/(R*T)$$

! -----

! RATIO OF ξ FUNCTION

$$GMA=CP/CV$$

! -----

! EXPANSIVITY OF VOLUME IN K^{-1}

$$BHTA=-1/V*DPDT*DPDV^{(-1)}$$

! -----

! CONSTANT TEMPERATURE COMPRESSIBILITY IN Pa^{-1}

$$KAPA=V*T*BHTA^{**2}/((CP-CV)*BRM)$$

! -----

! CONSTANT ENTROPY COMPRESSIBILITY IN Pa^{-1}

$$ALFA=KAPA*CV/CP$$

! -----

! SOUND VELOCITY IN m/s

$$SVEL=SQRT(V*1000/BRM*CP/(CV*KAPA))$$

! -----

! ISENTROPIC EXPONENT KPV, KPT

$$KPV=-V*CP/(P*CV)*DPDV$$

$$KTV=1+V*1000/BRM*DPDT/CV$$

$$KPT=T*DPDT/(T*DPDT+P*(CV/CP-1))$$

! CONVERSION OF VOLUME FROM m^{**3}/mol IN m^{**3}/kg

$$V=V*1000/BRM$$

! -----

! ALL RESULTS OF REFRIGERANT PROPERTIES ARE INTRODUCED IN MATRIX F1

F1(I1,3)=V !COLOUMN WITH VOLUME OF SUPERHEATED GAS IN m^{**3}/kg

F1(I1,4)=CV !COLOUMN WITH CV OF SUPERHEATED GAS IN $J/(kg*K)$

F1(I1,5)=CP !COLOUMN WITH CP OF SUPERHEATED GAS IN $J/(kg*K)$

F1(I1,6)=Z !COLOUMN WITH COMPRESSIBILITY FACTOR OF SUPERHEATED GAS

F1(I1,7)=GMA !COLOUMN WITH CP/CV OF SUPERHEATED GAS

F1(I1,8)=SVEL !COLOUMN WITH SOUND VELOCITY OF SUPERHEATED GAS IN m/s

F1(I1,9)=KPV !COLOUMN WITH ISENTROPIC EXPONENT KPV OF SUPERHEATED GAS

F1(I1,10)=KTV !COLOUMN WITH ISENTROPIC EXPONENT KTV OF SUPERHEATED GAS

F1(I1,11)=KPT !COLOUMN WITH ISENTROPIC EXPONENT KPT OF SUPERHEATED GAS

F1(I1,14)=S !COLOUMN WITH ENTROPY S OF SUPERHEATED GAS

F1(I1,15)=H !COLOUMN WITH ENTHALPY H OF SUPERHEATED GAS

F1(I1,16)=U !COLOUMN WITH INTERNAL ENERGY U OF SUPERHEATED GAS

ELSE

5)Χρήσεις των ψυκτικών μέσων

Τα ψυκτικά μέσα R402B ,R404A της εταιρίας Suva® HP μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν σε όλες τις συσκευές που χρησιμοποιούν το R-502, είτε με απλή αναβάθμιση των ήδη υπάρχουσών συσκευών είτε σε καινούργιες συσκευές που χρησιμοποιούν τα ανωτέρω ψυκτικά μέσα.

Το R-502 συναντάται σε μεγάλο εύρος συσκευών στη βιομηχανία των ψύξης. Παράλληλα χρησιμοποιείται από πολλές συσκευές αποθήκευσης και μεταφοράς προϊόντων σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.

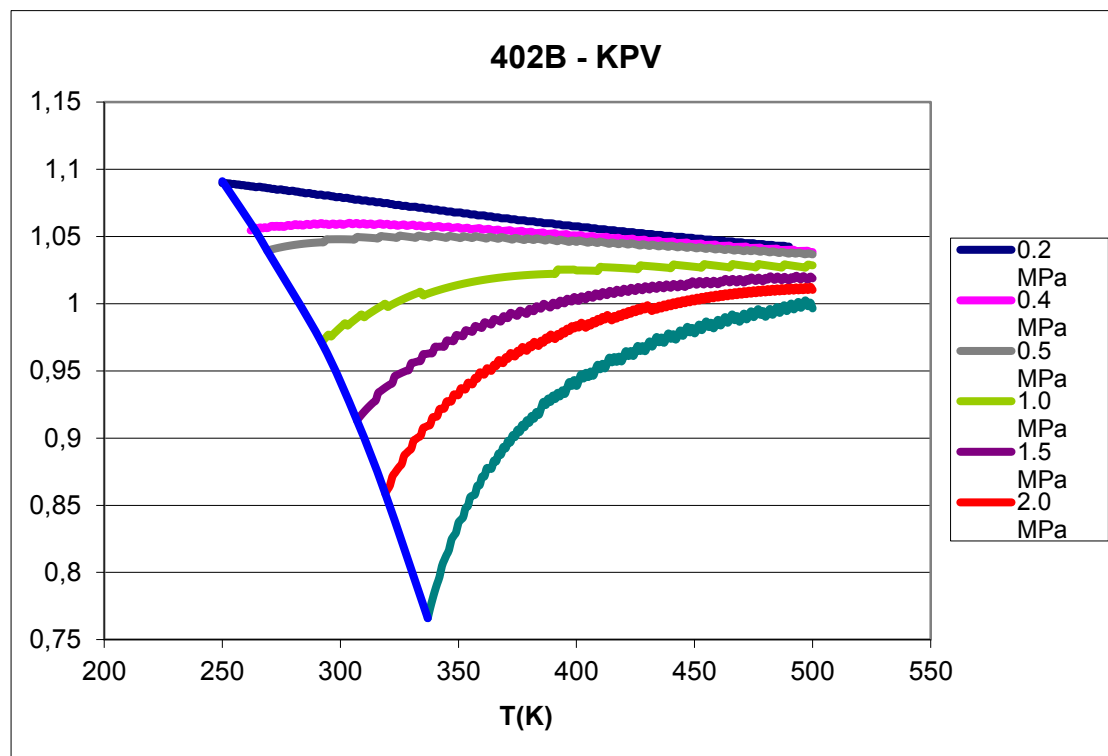
Τα Suva® HP80(R402A) και Suva® HP81(R402B) τα οποία περιέχουν το HCFC-22, είναι διαμορφωμένα να βελτιστοποιούν τα αποτελέσματα χρήσης για διάφορες αποδόσεις.

Το DuPont™ Suva® 404A (HP62) συνεχίζει να βρίσκεται στην κορυφή των ψυκτικών μέσων στην παγκόσμια βιομηχανία ως το σύνηθες εργαζόμενο μέσο σε οικιακές συσκευές. Το Suva® 404A (HP62) λόγω της υψηλής του απόδοσης ως αντικαταστάτης των R-502 και R-22 προτιμάται από τους μεγαλύτερους κατασκευαστές συμπιεστών.

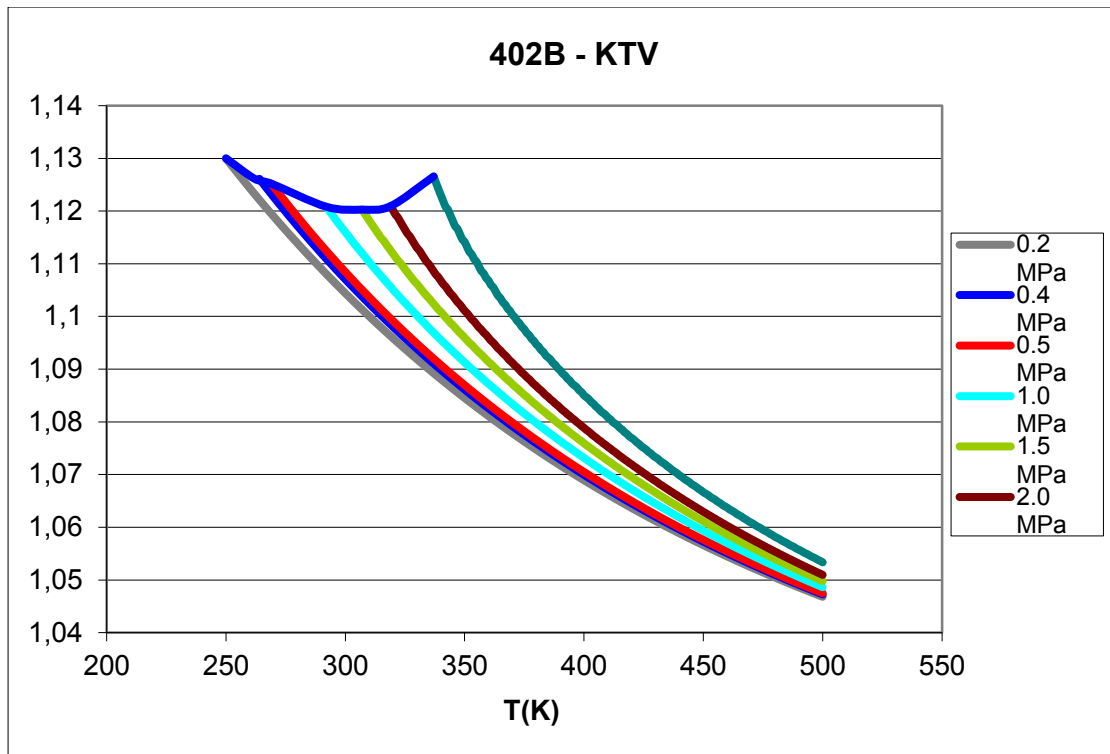
Το DuPont™ Suva® HP81 είναι ένα μείγμα ψυκτικών μέσων τροποποιημένο έτσι ώστε να αντικαταστήσει το R-502 σε συσκευές όπου απαιτείται αύξηση 10°F με 20°F (5.5°C με 11°C) στη θερμοκρασία συμπίεσης, όπως για παραδειγμα είναι κάποιες μηχανές παραγωγής πάγου. Στην εφαρμογή του R402B έχει παρατηρηθεί ότι δεν χρειάζεται αλλαγή λαδιών σε πολλές βιομηχανικές μονάδες και συστήματα διατήρησης της ψύξης.

Γραφικές Παραστάσεις

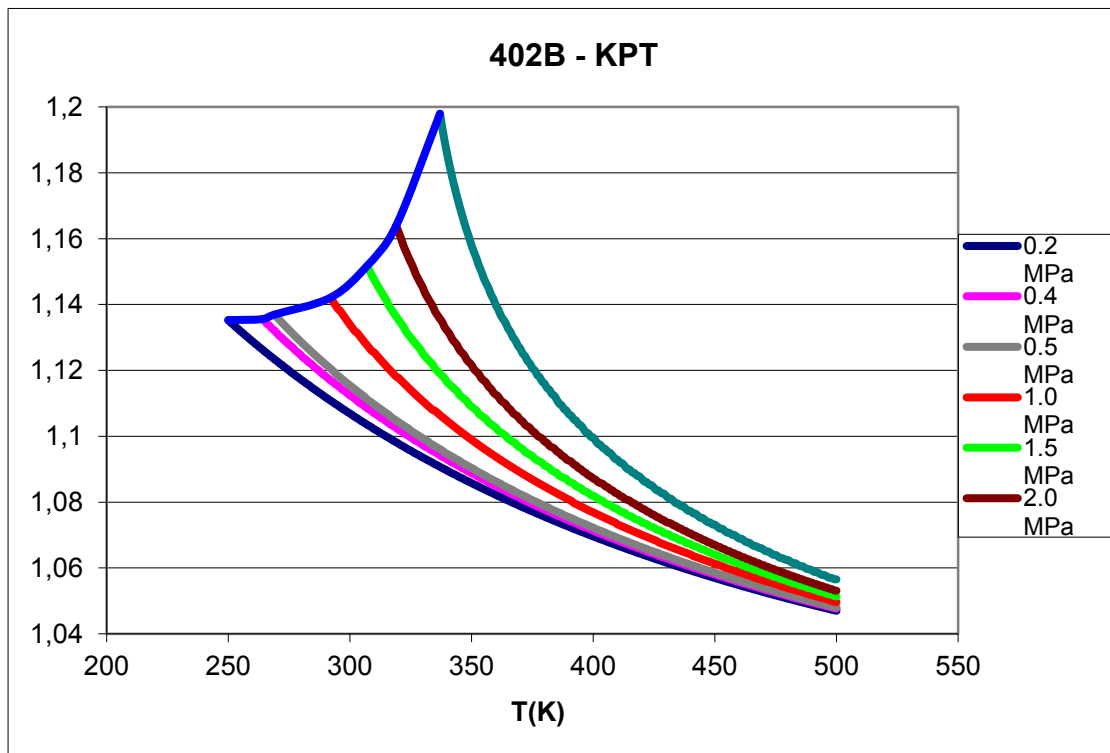
Παρακάτω παρατίθενται οι γραφικές παραστάσεις $K_{pV} - T$, $K_{TV} - T$, $K_{pT} - T$, $T - H$ και $T - S$ για τα εξεταζόμενα αέρια σε διάφορες πιέσεις. Για την πιστοποίηση της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων έχει χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα REFPROP.



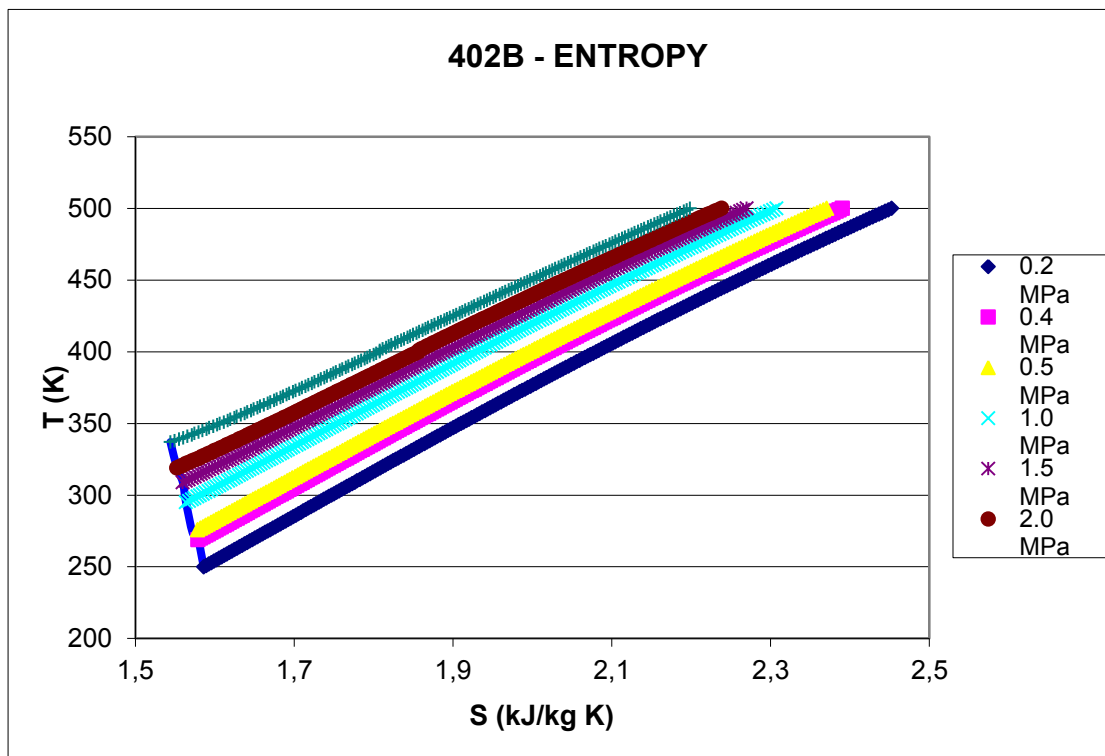
Διάγραμμα 1 : K_{pV} - Θερμοκρασίας του αερίου 402-B



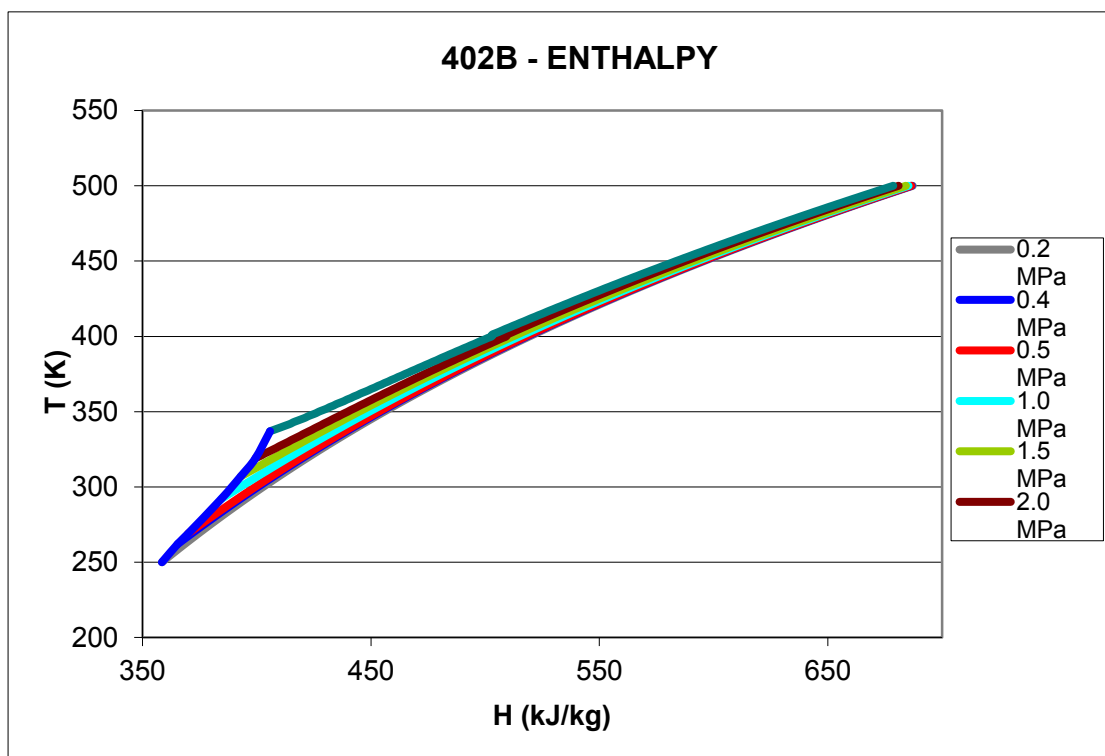
Διάγραμμα 2 : K_{TV} - Θερμοκρασίας του αερίου 402-B



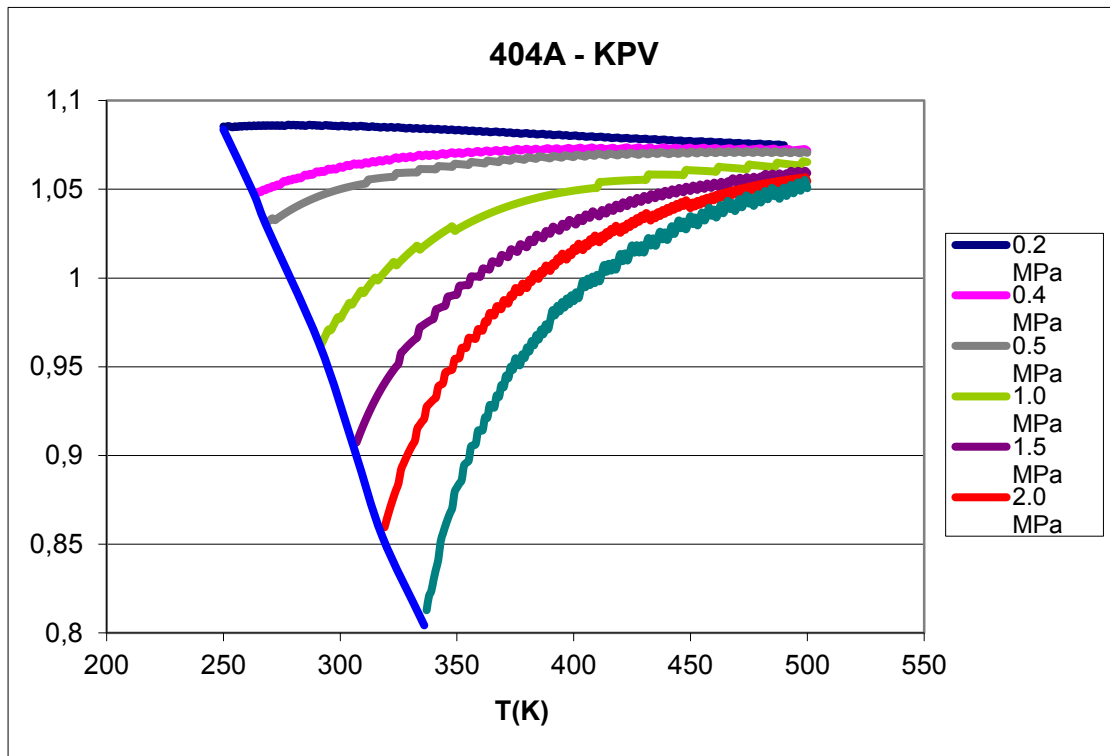
Διάγραμμα 3 : K_{PT} - Θερμοκρασίας του αερίου 402-B



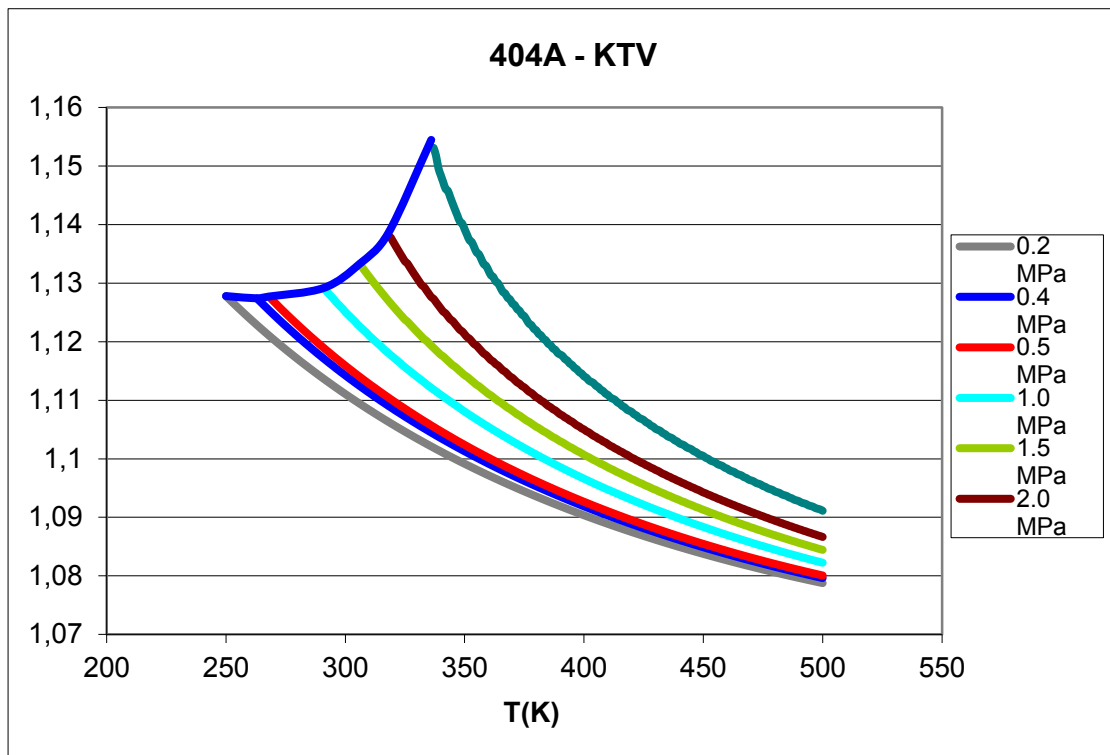
Διάγραμμα 4 : Θερμοκρασίας-Εντροπίας του αερίου 402-B



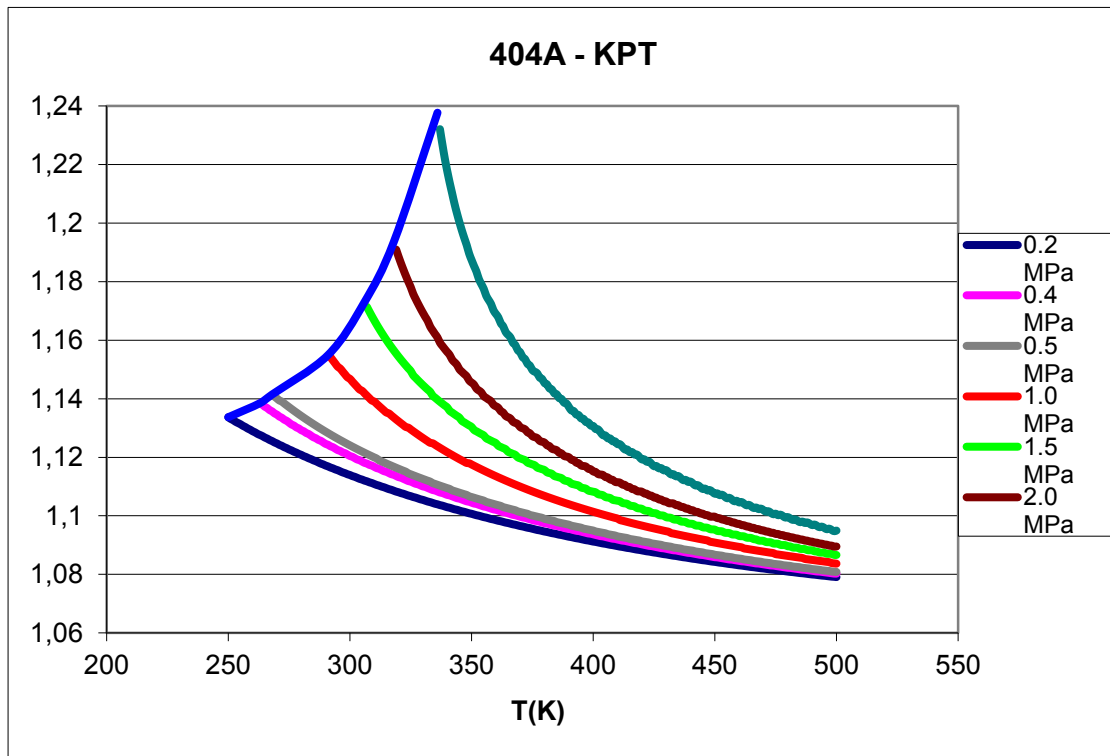
Διάγραμμα 5 : Θερμοκρασίας-Ενθαλπίας του αερίου 402-B



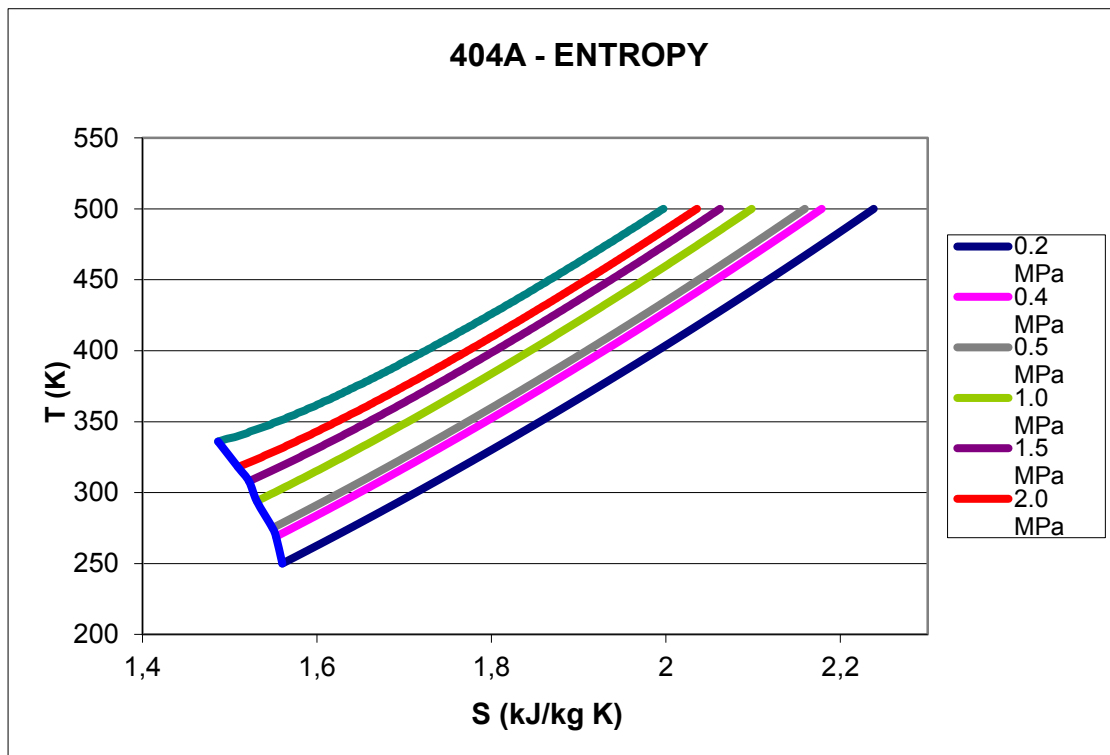
Διάγραμμα 6 : K_{pV} - Θερμοκρασίας του αερίου 404-A



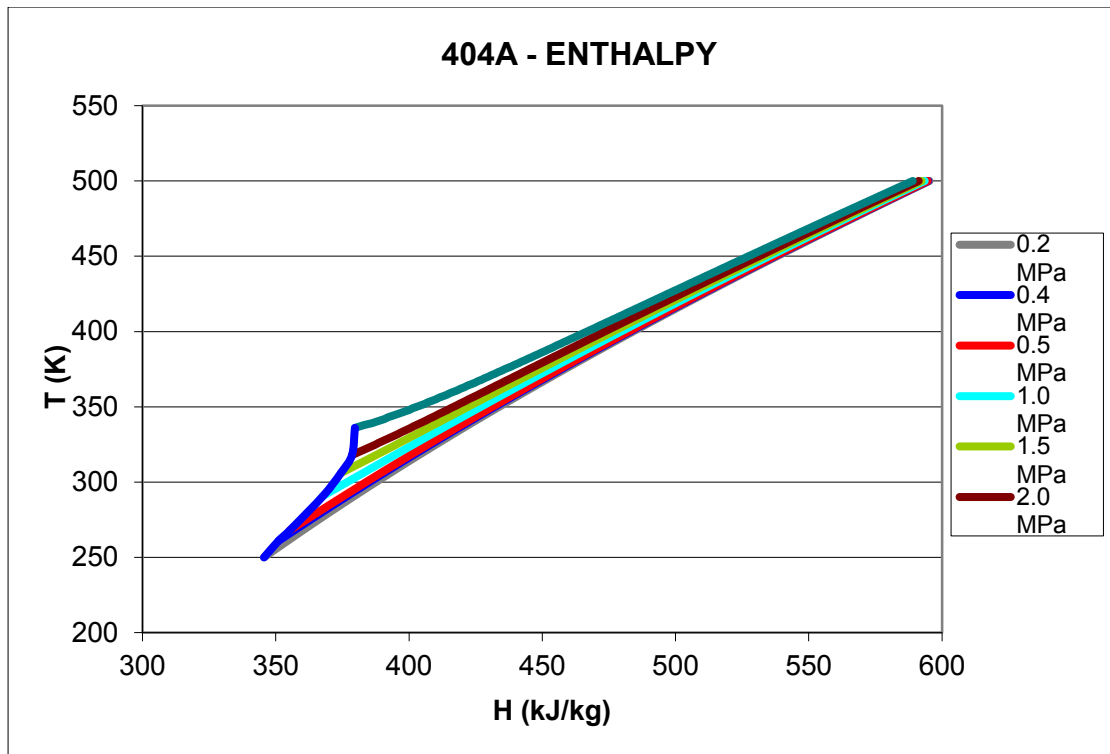
Διάγραμμα 7 : K_{TV} - Θερμοκρασίας του αερίου 404-A



Διάγραμμα 8 : K_{PT} - Θερμοκρασίας του αερίου 404-A



Διάγραμμα 9 : Θερμοκρασίας-Εντροπίας του αερίου 404-A



Διάγραμμα 10 : Θερμοκρασίας-Ενθαλπίας του αερίου 404-A

Βιβλιογραφία

1. de Monte F. Calculation of thermodynamic properties of R407C and R410A by Martin-Hou equation of state .Part 1:theoretical development. international Journal of refrigeration 25(2002) 306-313.2 August 2001
2. Stegou-Sagia A.,X Kakatsios, M Damanakis. 'Ozone friendly binary blends R32/R134a and the ternary R407b'.Proceedings of Ecos 2002.July 3-5,2002,Berlin,Germany Vol.I p.p 507-514.
3. de Monte F. Analysis of gas compressibility effects on the constant reversible processes of refrigerants and refrigerant mixtures.Submitted for consideration for publication to international Journal of refrigeration 25(2002) 765-779.2 August 2001
4. Dupont Refrigerants.Thermodynamic properties of SUVA HP81 Refrigerant [R-402B] Technical Information
5. Dupont Refrigerants.Thermodynamic properties of SUVA HP62 Refrigerant [R-404A] Technical information.
6. Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th Edition by James O. Maloney
7. Development in Refrigeration:technical advances and opportunities for the 1990s' by H.O. Spauschus Georgia Technical Research Institute, Atlanta , GA 30332, USa Received 27 May 1987
8. Reid RC, Prausnitz JM,Poling BE(1988) The properties of gases and liquids, 4th edn. McGraw-Hill Book Co.,Singapore
9. Smith JM, Van Ness HC(1975) Introduction to chemical engineering thermodynamics, 3rd edn. Chemical Engineering Series. McGraw-Hill, New York
- 10.Baehr HD (1989) Thermodynamik, Siebente Auflage. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg