

ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ ΦΟΡΤΗΓΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ

Υπό

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΚΟΥΤΣΟΥΡΙΑΗ*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σ' αυτήν την εργασία επιχειρήται ή μελέτη και ή εύρεσις του βελτίστου χρόνου αντικατάστασεως φορτηγών αυτοκινήτων με την χρήσιν του net present cost και του όριου έπισκευής.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μιά τακτική που υίοθετείται συχνά από ιδιοκτήτες φορτηγών αυτοκινήτων είναι να αντικαθιστούν τα αυτοκίνητά τους σε σταθερά χρονικά διαστήματα, ως υποθέσουμε κάθε n χρόνια. Αυτό δε καλείται οικονομική ζωή του φορτηγού.

Ο Hasting στην εργασία του που σχετίζεται με την αντικατάσταση Land Rovers στον Βρεταννικό Στρατό παρατηρεί «The strategy of replacing equipment only when it reaches a certain age has short comings which remain no matter how skilfully the appropriate age may be determined».

Η εξήγηση σ' αυτό τό σχόλιο βασίζεται στο γεγονός ότι ό ιδιοκτήτης δέν χρησιμοποιεί τό καλό φορτηγό πέραν της οικονομικής ζωής ούτε αντικαθιστά ένα όχι καλό φορτηγό ένωρίτερα.

Σ' αυτήν την εργασία ή μέθοδος του net present cost χρησιμοποιείται και αναλύεται στην παρ. 4.2. Στις επόμενες ένότητες όρίζεται, εισάγεται τό πρόβλημα και αναλύονται οί διάφορες έννοιες.

*University of Natal.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Μία εταιρεία διαθέτει διάφορα είδη αυτοκινήτων, τα οποία εργάζονται σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές. Διά σκοπούς, που αφορούν τον σχεδιασμό και τον προϋπολογισμό, η εταιρία θέλει να διαπιστώσει ποιός είναι ο βέλτιστος χρόνος αντικαταστάσεως για την ομάδα των φορτηγών σαν σύνολο.

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ

3.1 Βέλτιστη ηλικία αντικατάστασης

Υπάρχει πραγματικά μιὰ τέτοια ηλικία. Είναι φανερό ότι όταν τὸ φορτηγὸ εἶναι καινούργιο τὸ κόστος συντήρησης εἶναι σχετικὰ μικρὸ, κατὰ συνέπεια κάτω ἀπὸ κανονικὲς συνθήκες δὲν ὑπάρχει κανένας λόγος γιὰ τὴν διάλυσή του. Τοῦτο ὀφείλεται στὸ γεγονός ὅτι ἔχουμε φορολογικὰ ὀφέλη ἀπὸ τὸ Book value depreciation. Καθὼς τὸ φορτηγὸ παλαιώνει τὸ κόστος συντηρήσεως αὐξάνει ἐνῶ τὰ φορολογικὰ ὀφέλη ἐλαττοῦνται. Τελικὰ ἔρχεται ἓνα σημεῖο πὸ εἶναι ἀσύμφορο νὰ συνεχίσουμε τὴ χρησιμοποίησή του. Αὐτὴ εἶναι ἡ βέλτιστη ηλικία αντικαταστάσεως.

Εἶναι ἐπίσης γνωστὸ ὅτι ἂν αντικαταστήσουμε τὸ φορτηγὸ ἐνωρίτερον ἐπενδύουμε κεφάλαιο, ἐνῶ ἂν τὸ διατηρήσουμε πέραν τοῦ κανονικοῦ αὐξάνεται τὸ κόστος συντήρησής του. Ἡ πιὸ πάνω εἰκόνα εἶναι ἀρκετὰ ἀπλοποιημένη, διότι ὑπεισέρχονται καὶ ἄλλοι παράγοντες, ὡς ὁ πληθωρισμὸς, τὸ κόστος λόγω τῶν down hours, τὸ scrap value καὶ τέλος ἡ τιμὴ καὶ τὰ χαρακτηριστικὰ τοῦ νέου φορτηγοῦ.

Σημειώνεται ὅτι ἡ βέλτιστη ηλικία αντικατάστασης παριστᾶ ἓνα μέσο ὄρο γιὰ τὴν ὁμάδα τῶν φορτηγῶν πὸ ἐξετάζουμε.

3.2 Ὁριο Ἐπισκευῆς

Ὁ καθορισμὸς τῆς ΒΗΑ (βέλτιστης ηλικίας αντικαταστάσεως) βασίζεται στὸ μέσο ἢ ἀναμενόμενο κόστος· εἶναι φυσικὸ ὅτι μερικὰ αὐτοκίνητα θὰ αντικατασταθοῦν ἐνωρίτερα τῆς μέσης ηλικίας ἐνῶ ἄλλα θὰ διατηρηθοῦν καὶ πέραν αὐτῆς.

Ἡ βασικὴ ἀρχὴ πάνω στὴν ὁποία βασίζεται ἡ ἀπόφαση πότε θὰ αντικατασταθῆ ἓνα φορτηγὸ ἔχει ὡς ἀκολούθως: Ἄν τὸ φορτηγὸ δύναται νὰ χρησιμοποιηθῆ καὶ δὲν χρῆζει μεγάλης ἐπισκευῆς τότε τὸ διατηροῦμε, ἐὰν ὅμως τὸ κόστος μιᾶς ἀναγκαίας ἐπισκευῆς ὑπερβαίνει τὰ ὀφέλη τὰ ὁποῖα θὰ προκύψουν ἀπὸ τὴν διατήρησή του, τότε ἡ ἐπισκευὴ δὲν γίνεται καὶ τὸ φορτηγὸ ἀντικαθί-

σταται. Ἡ ἐρώτηση πού γεννᾶται τώρα εἶναι πού συμβαίνει τὸ break even point μεταξύ μιᾶς οικονομικῆς ἐπισκευῆς καὶ μιᾶς πού δὲν εἶναι; Αὐτὸ τὸ break even point καλεῖται ὄριο ἐπισκευῆς.

Τὸ ὄριο ἐπισκευῆς θὰ χρησιμοποιεῖται ὡς ἀκολουθῶς : "Ἄν τὸ ἐκτιμώμενο κόστος μιᾶς ἐπισκευῆς εἶναι μικρότερο ἀπὸ τὸ ὄριο ἐπισκευῆς τότε ἡ ἐπισκευὴ θὰ γίνεταί· διαφορετικὰ δὲν θὰ γίνεταί καὶ τὸ φορτηγὸ θὰ ἀντικαθίσταται.

Τὸ σκεπτικὸ πάνω στὸ ὁποῖο βασίζεται τὸ ὄριο ἐπισκευῆς ἔχει ὡς ἐξῆς : "Ἄν ἐπισκευὴ τῆς ὁποίας τὸ κόστος ἦταν μεγαλύτερο ἀπὸ τὸ ὄριο ἐπισκευῆς γινόταν τότε τὸ net present cost τοῦ ἀναμενομένου μελλοντικοῦ cash flow θὰ ἦταν μεγαλύτερο τοῦ net present cost τοῦ μελλοντικοῦ cash flow μὲ ἄμεση ἀντικατάσταση, ἀνεξάρτητα ἂν τὸ ἐπισκευασμένο φορτηγὸ ἀντικατασταθεῖ ἢ ὄχι.

3.3 Μεταβλητές

Διὰ τὸν ὑπολογισμό τῆς ΒΗΑ καὶ τοῦ ὁρίου ἐπισκευῆς ἀπαιτοῦνται τὰ ἀκόλουθα μεγέθη :

(i) Ἡ πραγματικὴ τιμὴ ἀγορᾶς καὶ ὁ χρόνος ἀγορᾶς ἐνὸς τυπικοῦ φορτηγοῦ τῆς ομάδος. Τὸ τυπικὸ φορτηγὸ ἐκλέγεται σὰν ἀντιπρόσωπος· ἐναλλακτικὰ μὲ μέρη τιμὴ ἀγορᾶς θὰ πρέπει νὰ χρησιμοποιεῖται.

(ii) Ἡ ἐξίσωση τοῦ κόστους συντήρησης, ὡς καὶ ἡ ἐξίσωση τῶν down hours κάμνοντας χρῆση τῆς μεθόδου τῶν ἐλαχίστων τετραγώνων.

(iii) Τὸ κόστος μιᾶς down hour.

(iv) Οἰκονομικὲς τιμές.

(α) Ἡ τιμὴ τοῦ depreciation κατ' ἔτος.

(β) Ἡ τιμὴ τοῦ πληθωρισμοῦ.

(γ) Τὸ ἐτήσιο discount rate γιὰ τὸν ὑπολογισμό τοῦ net present cost πού δίνεται ἀπὸ τὴν σχέση $(1 \div i)^n$ ὅπου i εἶναι τὸ interest rate καὶ πού ἀποφασίζεται ἀπὸ τὴν ἐταιρία.

(δ) Ἡ φορολογία.

(v) Τὰ χαρακτηριστικὰ τοῦ νέου φορτηγοῦ. Ἄν τὸ νέο φορτηγὸ ἔχει χαρακτηριστικὰ πού διαφέρουν κατὰ πολὺ ἀπὸ τὰ τοῦ χρησιμοποιουμένου μέχρι τώρα τότε ἀπαιτοῦνται ἐπιπρόσθετα οἱ ἀκόλουθες πληροφορίες.

(1) Ἡ τιμὴ ἀγορᾶς τοῦ νέου φορτηγοῦ.

(2) Ἡ ἐξίσωση παλινδρόμησης γιὰ τὴν πρόγνωση τοῦ κόστους συντήρησης τοῦ νέου φορτηγοῦ.

(3) Ἡ προτεινομένη ἡλικία ἀντικαταστάσεως. Τοῦτο μπορεῖ νὰ ἐπιτευχθῆ κάμνοντας χωριστὴ ἀνάλυση στὸ νέο φορτηγό.

3.4 Ἡ ἔννοια τῆς ἀντικαταστάσεως

Ὅλοι οἱ ὑπολογισμοὶ ποὺ ἀφοροῦν τῇ ΒΗΑ καὶ τὸ ὄριο ἐπισκευῆς (ΟΠ) βασίζονται στὸ γεγονός ὅτι τὸ φορτηγὸ χρησιμοποιεῖται κανονικά. Ἐὰν ἡ χρῆσις τοῦ φορτηγοῦ ἀλλάξῃ τότε ὅλα τὰ ἀποτελέσματα παύουν νὰ ἰσχύουν. Αὐτὸ μᾶς ὀδηγεῖ νὰ χρησιμοποιοῦμε τὸν ὄρο ἀντικατάσταση ὑπὸ εὐρύτερη ἔννοια, δηλαδὴ ὅταν λέγουμε ὅτι τὸ φορτηγὸ ἀντικαθίσταται δὲν εἶναι ἀνάγκη νὰ διαλυθῆ ἀλλὰ μπορεῖ νὰ χρησιμοποιηθῆ γιὰ ἐλαφρότερες ἐργασίες.

Ἡ μέθοδος ποὺ ἀναπτύσσεται ὑποδεικνύει ποῖα φορτηγὰ πρέπει νὰ ἀντικατασταθοῦν· δὲν κάνει καμιά ὑπόθεση τι πρέπει νὰ γίνῃ μὲ αὐτὰ τὰ φορτηγὰ. Πρέπει νὰ σημειωθῆ ὅτι ἂν ἡ μέθοδος ὑποδείξει ὅτι ἓνα φορτηγὸ πρέπει νὰ ἀντικατασταθῆ σὲ νεαρὰ ἡλικία τότε εἶναι φανερὸ ὅτι τὸ φορτηγὸ χρησιμοποιήθηκε πάρα πολὺ ἢ ὅτι δὲν εἶναι κατάλληλο γιὰ τὴν ἐργασία ποὺ ἐκτελεῖ. Κατὰ συνέπεια μὲ μιὰ ἔγκαιρο μετακίνηση τοῦ φορτηγοῦ σὲ ἄλλου εἴδους ἐργασία θὰ δυνάμεθα νὰ τὸ χρησιμοποιήσουμε περισσότερο χρόνο καὶ νὰ ἀποφύγουμε μὴ ἀναγκαῖα ἐξοδα. Γιὰ τέτοιες ἀνακατανομὲς πιθανὸν νὰ χρειασθῆ νὰ λάβουμε ὑπ' ὄψιν μας τὸ μέσον ἐτήσιο κόστος ἐπισκευῆς ὡς καὶ τὸ τρέχον μέσο κόστος ἐπισκευῆς γιὰ κάθε χιλιόμετρο.

4. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

4.1 Ἐξισώσεις παλινδρομήσεως

Ἡ ἐξίσωση παλινδρομήσεως τοῦ κόστους συναρτήσεως τῆς ἡλικίας δίδεται ἀπὸ τὴν :

$$C = B_0 + B_1 T \quad (4.1.1)$$

ὅπου C τὸ μέσον ἐτήσιο κόστος συντήρησης καὶ T ἡ ἡλικία σὲ ἔτη.

Ἡ ἐξίσωση τοῦ down hours συναρτήσεως τοῦ κόστους δίδεται ἀπὸ τὴν :

$$H = a_0 + a_1 C \quad (4.1.2)$$

όπου H ο αριθμός των down hours και C ως την (4.1.1.)

Εάν το κόστος μιας down hour είναι S \$ τότε το κόστος των down hours ετησίως είναι :

$$SH = Sa_0 + Sa_1 C \quad (4.1.3.)$$

και το όλικό κόστος συντήρησης και down hours είναι :

$$C + SH = B_0 + B_1 T + Sa_0 + Sa_1 C \quad (4.1.4)$$

εάν θέσω $\gamma_0 = B_0 (1 + Sa_1) + Sa_0$ και $\gamma_1 = B_1 (1 + Sa_1)$ τότε γ_0 και γ_1 τούς συντελεστές της εξίσωσης παλινδρομήσεως του συνολικού κόστους σε συνάρτηση με την ηλικία, δηλαδή έχουμε :

$$C_{ολ} = \gamma_0 + \gamma_1 T \quad (4.1.5)$$

4.2 Υπολογισμός της BHA

Εάν (α) P = ή τιμή αγοράς του φορτηγού

(β) d = ή τιμή του depreciation

(γ) $f = 1 + i$ όπου i ο πληθωρισμός

(δ) ρ = discount rate (= $1 / 1 + j$ όπου j = discount factor)

(ε) ϵ = ή φορολογία

τότε το net present cost ενός φορτηγού που αντικαθίσταται σε ηλικία v είναι :

$$N = P + (1 - E) \sum_{T=1}^v (\gamma_0 + \gamma_1 T) (fp)^T - E \sum_{T=1}^v Pd^{T-1} (1 - d)p^T - Pd^v p^v \quad (4.2.1.)$$

[0,1].

όπου το scrap value είναι ίσον με το book value και το fpE

Υποθέτοντας stationarity και unbounded horizon έχουμε :

$$Nv = N + N(fp)^v + N(fp)^{2v} + \dots \quad (4.2.2)$$

$$\eta \quad N_v = \frac{N}{1-(fp)^v}$$

Από την (4.2.1) και (4.2.3) θέτοντες $\lambda = fp_1$ λαμβάνοντες την φορολογία ίση με 50% για χάριν ευκολίας στα έποµενα και χωρίς να αλλοιώνεται η γενικότητα έχοµεν :

$$N_v = \frac{1}{2} \frac{\lambda}{1-\lambda} (\gamma_0 + \gamma_1/1-\lambda) + P \frac{1-(dp)^v}{1-\lambda v} \left(1 - \frac{p}{2} \frac{1-d}{1-dp} - \frac{1}{2} \frac{\gamma_1 v \lambda^{v+1}}{(1-\lambda)(1-\lambda^v)} \right) \quad (4.2.4)$$

η τιμή του N_v υπολογίζεται δια διάφορα $v \in [1, \infty]$, εκείνο το v έστω v^* δια το όποιον το N_v γίνεται ελάχιστο είναι η βέλτιστη ηλικία αντικαταστάσεως. Ας καλέσωµεν $\min N_v = N^*$

Εάν τώρα το νέο φορηγό είναι διαφορετικό από το χρησιμοποιούµενο και καλέσω το *net present cost* άπειριστων µελλοντικών χρήσεων του νέου φορηγού µε R τότε έχοµεν :

$$N_v = P + \frac{1}{2} \sum_{T=1}^v (\gamma_0 + \gamma_1 T) (fp)^T - \frac{1}{2} \sum_{T=1}^v P d^{T-1} P^T - P(dp)^v + R(fp)^v = \quad (4.2.5)$$

$$= \frac{1}{2} \lambda / 1-\lambda (\gamma_0 + \gamma_1 / 1-\lambda) + P(1-(dp)^v) \left(1 - \frac{1}{2} \frac{(1-d)p}{1-dp} \right) \frac{1}{2} \frac{\lambda^{v+1}}{1(-\lambda)}$$

$$\left(\gamma_0 + \frac{\gamma^1}{1-\lambda} + \gamma^{1v} \right)$$

και η BHA όρίζεται ως άνωτέρω.

4.3 Υπολογισµός του όριου έπισκευής

Όρίζω V_μ το *net present cost* του μεταβλητου κόστους που άναµένεται για ένα φορηγό ηλικίας μ υποτιθεµένου ότι το φορηγό θα αντικατασταθί σε ηλικία v^* .

$$\text{Τότε έχοµεν : } V_v - 1 = \frac{1}{2} (\gamma_0 + \gamma_1 v^*) fp$$

$$V_{v^*-2} = \frac{1}{2} (\gamma_0 + \gamma_1 (v^*-1) fp) + V_{v^*-1} fp \quad (4.3.1)$$

γενικά

$$Vv^{*-k} = Vv^{*-1} - \frac{1}{2} (k-1) \gamma_1 fp + Vv^{*-k+1} fp \quad k=2,3 \quad (4.3.2)$$

Ορίζω F_μ το net present cost του σταθερού κόστους που αναμένεται για ένα φορηγό ηλικίας μ , υποτιθεμένου ότι θα αντικατασταθῆ σὲ ηλικία v^* . Τότε ἔχομεν:

$$Fv^{*-1} = P \left(\frac{1}{f} \right) d^{v^*-1} - P \left(\frac{p}{f} \right) d^{v^*-1} p - \frac{1}{2} p \left(\frac{1}{f} \right)^{v^*-1} (1-d) d^{v^*-1} p = \\ P \left(\frac{d}{f} \right)^{v^*-1} (1 - \frac{1}{2} p (d+1)) \quad (4.3.3)$$

$$Fv^{*-2} = Fv^{*-1} \left(\frac{f}{d} \right) + Fv^{*-1} (fp) \quad (4.3.4)$$

γενικά

$$Fv^{*-k} = Fv^{*-1} \left(\frac{f}{d} \right)^k + Fv^{*-1} (fp)^k, \quad k=2,3. \quad (4.3.5)$$

Ἄν καλέσω L_μ τὸ ὄριο ἐπισκευῆς στὸν μ χρόνο τότε ἔχομεν :

$$N^* = \frac{1}{2} Lv^*fp + Fv^{*-1} + N^*fp \quad (4.3.6)$$

ἀπὸ τὴν (4.3.6) ἔχομεν

$$Lv^* = 2 / fp \{ N^*(1-fp) - Fv^{*-1} \} \quad (4.3.7)$$

ἔχομεν ἐπίσης

$$N^* = \frac{1}{2} Lv^*-1 fp + Vv^{*-1} fp + Fv^{*-2} + N^* (fp)^2 \quad (4.3.8)$$

ἢ

$$Lv^*-1 = 2 / fp \{ N^* (1-(fp)^2) - Fv^{*-2} - Vv^{*-1} fp \} \quad (4.3.9)$$

Γενικά

$$Lv^*-k = 2 / fp \{ N^* (1-(fp)^{k+1}) - Fv^{*-k-1} - Vv^{*-k} fp \} \quad (4.3.10)$$

ὅπου

$$Vv^* = 0 \quad \text{καὶ} \quad k = 0, 1, \dots$$

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

(1) Έάν τὸ φορτηγὸ ποὺ θὰ ἀντικαταστήσῃ τὸ παλαιὸ εἶναι τὸ ἴδιο τότε τὸ N_v ἀρχικὰ ἐλαττοῦται ὅταν τὸ v αὐξάνει, γίνεται ἐλάχιστο γιὰ τὴν τιμὴ v^* καὶ κατόπιν αὐξάνει.

(2) Έάν τὸ νέο φορτηγὸ εἶναι διαφορετικὸ ἀπὸ τὸ χρησιμοποιούμενο τότε τὸ N_v αὐξάνει, φθάνει σὲ ἓνα τοπικὸ μέγιστο, κατόπιν ἐλαττοῦται γιὰ νὰ φθάσῃ σὲ ἓνα τοπικὸ ἐλάχιστο καὶ κατόπιν αὐξάνει.

(3) Έάν τὸ νέο φορτηγὸ εἶναι φθηνότερο ἀπὸ τὸ τωρινὸ τότε τὸ $v^* = 0$. Αὐτὴ ἢ περίπτωσις ἀποκλείεται ἀλλὰ εἶναι δυνατὸ $N_1 < N^*$ ὅπου N^* τὸ τοπικὸ ἐλάχιστο. Εἶναι πολὺ δύσκολο νὰ δικαιολογηθῇ ἀντικατάστασις αὐτοκινήτου ποὺ ἡ ἡλικία του εἶναι ἓν ἔτος.

(4) Ὁ ὑπολογισμὸς τοῦ ΟΠ μετὰ τὴν ΒΗΑ δηλαδὴ ὅταν $k > v^*$ γίνεται ἀπὸ τὴν σχέσις

$$N^* = \frac{1}{2} Lkfp + P(d/r)^{k-1} (1 - f/2 p(d+1)) + N^*fp$$

(βλ. καὶ (4.3.1))

(5) Δυνάμεθα νὰ ὑπολογίσωμεν τὴν ΒΗΑ καὶ τὸ ΟΠ κάθε τέσσαρες μῆνες μὲ κατάλληλη τροποποίηση τῶν ἀντιστοίχων σχέσεων.

(6) Ἐπιτυγχάνωμεν τὰ αὐτὰ ἀποτελέσματα ὅταν μεγιστοποιοῦμε τὸ net present value ἀντὶ νὰ ἐλαχιστοποιοῦμε τὸ net present cost.

(7) Ἔχομεν ὑποθέσει ὅτι δυνάμεθα νὰ ὑπερπηδήσωμεν τὴν δυσκολίαν ὅταν κάμνοντες χρῆσιν τῆς συναρτήσεως

$$g = (1 - fp)Nv^*$$

ἀντὶ τῆς

$$Nv^* = \min_v Nv = \min_v N / 1 - (fp)^v$$

τότε ἔχομεν

$$g = \min_v [N / 1 + fp + \dots + (fp)^{v-1}] =$$

1.2.

$$= \min_v N/v$$

v

1,2

Βλέπε Wagner p. 401.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Hasting, N. A. J. (1970). Equipment replacement and the repair limit method in operational research in maintenance, Ed. Ak. S. Jardine, Manchester University Press, New York.
2. Jardine, A. K. S. (1977). Recent development in setting component and vehicle replacement times. The transport engineer p.p. 7 - 9.
3. Wagner, M. H. (1975). Principles of operations research with applications to managerial decisions.