

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θέμα εργασίας: **ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΩΝ
ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΣΕ
ΛΙΜΑΝΙΑ**

Όνομα υπεύθυνου
φοιτητή: **ΛΥΓΟΥΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

Εξεταστική επιτροπή : **Η. ΚΟΣΜΑΤΟΠΟΥΛΟΣ (επιβλέπων)
Μ. ΔΟΥΜΠΟΣ
Η. ΝΙΚΟΛΟΣ**

**ΧΑΝΙΑ
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2004**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή

Κεφάλαιο 1^ο

- 1.1 Συστήματα αποθήκευσης και ανάκτησης**
- 1.2 Τεχνολογίες κοντέινερ**
 - 1.2.1 Εισαγωγή**
 - 1.2.2 Τύποι Κοντέινερ**
 - 1.2.3 Άλλοι τύποι κοντέινερ**

Κεφάλαιο 2^ο

Αυτοματοποιημένα κατευθυνόμενα οχήματα για εφαρμογές λιμανιών

- 2.1 Εισαγωγή**
- 2.2 Έλεγχος και σύστημα διαχείρισης AGV**
 - 2.3.1 Συστήματα πλοήγησης**
 - 2.3.2 Σχεδιασμός**
 - 2.3.3 Προγραμματισμός**
 - 2.3.4 Εκτέλεση**

Κεφάλαιο 3^ο

Διάταξη του τερματικού σταθμού και συμβάσεις για τις κινήσεις των AGVs

- 3.1 Διάταξη του τερματικού σταθμού**
- 3.2 Συμβάσεις προς αποφυγή συγκρούσεων**
- 3.3 Έλεγχος για την κίνηση των AGVs**
- 3.4 Παράδειγμα λειτουργίας αλγορίθμου**

Κεφάλαιο 4^ο

Σενάρια προσομοίωσης

4.1 1ο Σενάριο

4.2 2ο Σενάριο

4.2.1 Κατηγορία 1^η

4.2.2 Κατηγορία 2^η

Κεφάλαιο 5^ο

Κριτήρια αξιολόγησης, αποτελέσματα, αξιολόγηση

5.1 Κριτήρια αξιολόγησης

5.2 Αποτελέσματα

5.3 Αξιολόγηση

Εισαγωγή

Ολοένα και περισσότερο ποσοστό των θαλάσσιων μεταφερόμενων φορτίων , παγκοσμίως , μεταφέρεται με κοντέινερ .Οι μελλοντικές απαιτήσεις καθιστούν την αυτοματοποίηση των τερματικών σταθμών ώστε να αυξηθεί ικανοποιητικά η απόδοσή τους.

Το αντικείμενο αυτής της διπλωματικής είναι η αυτοματοποίηση των τερματικών σταθμών των λιμανιών που διαχειρίζονται κοντέινερ. Με την βοήθεια της προσομοίωσης εξετάζουμε αλγόριθμους για την βελτιστοποίηση της διαδικασίας φόρτωσης/ εκφόρτωσης των τερματικών σταθμών.

Έγινε προσπάθεια βελτιστοποίησης ενός αλγορίθμου που είχε σαν βασική αρχή του την πολιτική της τυχαίας ανάθεσης, οπότε προέκυψαν πιο περίπλοκοι αλγόριθμοι οι οποίοι λάμβαναν υπ' όψιν τους πιο σύνθετες παραμέτρους από αυτόν της τυχαίας ανάθεσης. Αναμενόταν ότι οι δεύτεροι θα έδιναν καλύτερα αποτελέσματα, πράγμα που δεν έγινε διότι ο τερματικός σταθμός που χρησιμοποιήθηκε σαν μοντέλο θα έπρεπε να ήταν πολύ μεγαλύτερης χωρητικότητας σε κοντέινερ ώστε να αποδώσουν καλύτερα και οι αλγόριθμοι.

Κεφάλαιο 1^ο

1.1 Συστήματα αποθήκευσης και ανάκτησης

Από την εμφάνιση των μεταφορών με κοντέινερ και έπειτα έχουν υπάρξει αλλαγές στον τρόπο με τον οποίο το φορτίο μετακινείται από τον αποθηκευτικό χώρο στο πλοίο και από τον αποθηκευτικό χώρο στις πύλες εισόδου εξόδου . Στην περίπτωση των κοντέινερ η μετακίνηση από και προς τον αποθηκευτικό χώρο γίνεται με την χρήση χειροκίνητων μηχανημάτων όπως φορτηγά γερανογέφυρες με ελαστικά, τρέηλερ διασκελισμένους γερανούς, κ.α.

Ωστόσο πολλές ενδιαφέρουσες εξελίξεις βρίσκονται καθ' οδών και έχουν ως στόχο την μεγιστοποίηση της απόδοσης τέτοιων συστημάτων. Αυτές οι εξελίξεις περιλαμβάνουν την χρήση αυτοματοποιημένων κατευθυνόμενων οχημάτων (AGV's – Automated Guided Vehicles), συστημάτων αυτόματης αποθήκευσης κοντέινερ , αυτοματοποιημένοι γερανοί , κ.α. Σε αυτή την εργασία θα ασχοληθούμε κυρίως με τα AGV's .

Η διαδικασία μεταφοράς των κοντέινερ διαμέσου του τερματικού είναι η εξής:

Τα κοντέινερ προς εισαγωγή:

1. περνάνε τη πύλη
2. αποθηκεύονται στον τερματικό
3. ανακτώνται από τον τερματικό και έρχονται στο πλοίο
4. φορτώνονται στο πλοίο

Τα κοντέινερ προς εξαγωγή:

1. ξεφορτώνονται από το πλοίο
2. αποθηκεύονται στο τερματικό
3. ανακτώνται από τον τερματικό
4. περνάνε τη πύλη

Σε ορισμένες περιπτώσεις η αποθήκευση στον τερματικό μπορεί να παραληφθεί τόσο για τα εξαγόμενα όσο και για τα εισαγόμενα κοντέινερ

1.2 Τεχνολογίες κοντέινερ

1.2.1 Εισαγωγή

Η χρήση των κοντέινερ αυξήθηκε σημαντικά μετά το τέλος του πόλεμου της Κορέας το 1960. Σήμερα για το 70% των φορτίων που μεταφέρονται δια θαλάσσης χρησιμοποιούνται κοντέινερ. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι τα κοντέινερ έχουν τυποποιημένη φόρμα και απαιτούνται σχετικά λίγα είδη εξοπλισμού για τη διαχείριση τους, ανεξάρτητα με το είδος του φορτίου μέσα στο κοντέινερ. Με τη χρήση των κοντέινερ πολλά μικρά δέματα συνδυάζονται σε μια μεγαλύτερη μονάδα απλοποιώντας το χειρισμό της και μειώνοντας το κόστος διαχείρισης της. Επιπρόσθετα, τα φορτία σε κοντέινερ είναι ασφαλή κατά την αποθήκευση και την μεταφορά και έχουν λιγότερες πιθανότητες να πάθουν ζημιά, σε σχέση με τα φορτία που δεν μετακινούνται με κοντέινερ. Αυτό είναι αρκετά σημαντικό όταν το φορτίο περιέχει εκρηκτικό ή εύφλεκτο υλικό ή όταν τα μεταφερόμενα προϊόντα πρέπει να διατηρούνται σε χαμηλή ή υψηλή θερμοκρασία.

Από την άλλη πλευρά, τα κοντέινερ είναι ακριβά για να αγοραστούν και να συντηρηθούν και επίσης χρειάζεται ένας μεγάλος αριθμός από αυτά για να επιτευχθεί ένα αποδοτικό επίπεδο υπηρεσίας. Αν το εμπόριο μεταξύ δυο περιοχών είναι μεταβλητό, ο αριθμός των άδειων, και γι' αυτό μη κερδοφόρων, κοντέινερ μπορεί να αυξηθεί δραστικά στην περιοχή που μειονεκτεί στην εξαγωγή. Γι' αυτό η χρήση κοντέινερ είναι ιδανική ανάμεσα σε δυο περιοχές όπου η ροή των προϊόντων είναι αμφίδρομη ίση.

1.2.2 Τύποι Κοντέηνερ

- **Κοντέηνερ γενικού φορτίου**



Εικόνα 1: Κοντέηνερ γενικού φορτίου

Κοντέηνερ γενικού τύπου (general cargo κοντέηνερ) είναι κάθε κοντέηνερ που δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για αερομεταφορά και που δεν έχει αρχικά κατασκευαστεί για τη μεταφορά φορτίων όπως υγρών, αερίων ή χύμα φορτίων. Τα κοντέηνερ γενικού φορτίου χωρίζονται σε κοντέηνερ γενικού σκοπού (general purpose), ειδικού σκοπού (specific purpose) και ειδικού φορτίου κοντέηνερ (specific cargo κοντέηνερ).

- **Γενικού σκοπού κοντέηνερ**

Τα κοντέηνερ γενικού σκοπού είναι ανεπηρέαστα από τις καιρικές συνθήκες με άκαμπτη οροφή, πάτωμα και πλαϊνά τοιχώματα. Αυτά τα κοντέηνερ προορίζονται να είναι κατάλληλα για την μεταφορά ποικίλων φορτίων. Η πλειοψηφία αυτού του είδους των κοντέηνερ έχουν διαστάσεις 20 και 40 πόδια μήκος και 8.6 ύψος. Το 1992 υπήρχαν 3.160.000 20άρια γενικού σκοπού κοντέηνερ, αντιπροσωπεύοντας το 49% του συνολικού αριθμού παγκοσμίως, και 1.650.000 40άρια γενικού σκοπού κοντέηνερ, αντιπροσωπεύοντας το 26%. Ένας άλλος τύπος κοντέηνερ που έχει σημαντικό ποσοστό στον συνολικό Τεχνολογίες αυτόματων τερματικών σταθμών σε λιμάνια

αριθμό παγκοσμίως είναι αυτά που έχουν ύψος 9.6 πόδια και λέγονται κοντέηνερ υψηλού κύβου (high cube κοντέηνερς). Αυτού του είδους τα 20άρια και 40άρια κοντέηνερ γενικού σκοπού αντιπροσώπευαν το 7% του συνολικού αριθμού (457.000) το 1992. Τα κοντέηνερ υψηλού κύβου παρέχουν επιπλέον όγκο για ελαφρύ, ογκώδες φορτίο για περισσότερη άνεση και απόδοση. Επίσης υπάρχουν τα 45άρια (μήκος) υψηλού κύβου κοντέηνερ. Στην πραγματικότητα τα περισσότερα 45άρια είναι υψηλού κύβου. Τα κοντέηνερ γενικού σκοπού κατασκευάζονται από αλουμίνιο ή ατσάλι. Τα κοντέηνερ αλουμινίου έχουν λίγο μεγαλύτερη χωρητικότητα από τα ατσάλινα, ενώ τα ατσάλινα έχουν μεγαλύτερο ωφέλιμο φορτίο από τα αλουμινένια.

- **Ειδικού σκοπού κοντέηνερ**

Τα κοντέηνερ ειδικού σκοπού έχουν ειδικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά. Οι διαστάσεις τους είναι συνήθως συμβατές με αυτά του γενικού σκοπού έτσι ώστε να χωράνε στον αποθηκευτικό χώρο ενός συμβατικού πλοίου κοντέηνερ και να διαχειρίζονται από συμβατικό εξοπλισμό φόρτωσης - εκφόρτωσης. Παρακάτω περιγράφουμε διάφορους τύπους ειδικού σκοπού κοντέηνερ.

1. Κλειστά με αεραγωγούς/ αεριζόμενα κοντέηνερ
2. Κοντέηνερ ανοιχτής οροφής
3. Κοντέηνερ με βάση πλατφόρμας
4. Κοντέηνερ πλατφόρμα

- **Κοντέηνερ ειδικού φορτίου**

Τα κοντέηνερ ειδικού φορτίου (specific cargo κοντέηνερ) είναι τύποι κοντέηνερ οι οποίοι προορίζονται εξ αρχής για μεταφορά συγκεκριμένων κατηγοριών φορτίου. Παρόμοια με τα κοντέηνερ ειδικού σκοπού, οι διαστάσεις τους είναι όμοιες με αυτές των γενικού σκοπού κοντέηνερ. Παρακάτω περιγράφουμε συνοπτικά τα κυριότερα είδη των κοντέηνερ ειδικού τύπου:

- Θερμικά κοντέηνερ:
- Μονωμένα κοντέηνερ:
- Καταψυχόμενα κοντέηνερ:.
- Μηχανικά καταψυχόμενα κοντέηνερ:.
- Θερμαινόμενα κοντέηνερ:.
- Θερμαινόμενα και καταψυχόμενα κοντέηνερ:

1.2.3 Άλλοι τύποι κοντέηνερ

Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι κοντέηνερ που δεν ανήκουν στην κατηγορία γενικού φορτίου:

- **Κοντέηνερ ντεπόζιτα:** Τα κοντέηνερ ντεπόζιτα (tank κοντέηνερς –) έχουν δυο βασικά στοιχεία, το ή τα ντεπόζιτα και το πλαίσιο. Αυτά τα κοντέηνερ χρησιμοποιούνται κατά βάση για την μεταφορά υγροποιημένων φορτίων.
- **Κοντέηνερ χύμα φορτίου:** Τα κοντέηνερ χύμα φορτίου (dry bulk κοντέηνερς) χρησιμοποιούνται για την μεταφορά στερεών σε χύμα μορφή χωρίς συσκευασία. Αποτελούνται από μια κατασκευή μεταφοράς φορτίου ασφαλισμένη καλά μέσα σε ένα πλαίσιο.
- **Κοντέηνερ ονομαστικού φορτίου:** Τα κοντέηνερ ονομαστικού φορτίου (named cargo κοντέηνερς) είναι αρκετά είδη κοντέηνερ όπως κοντέηνερ αυτοκινήτων, κοντέηνερ ζώων φάρμας, κ.α.

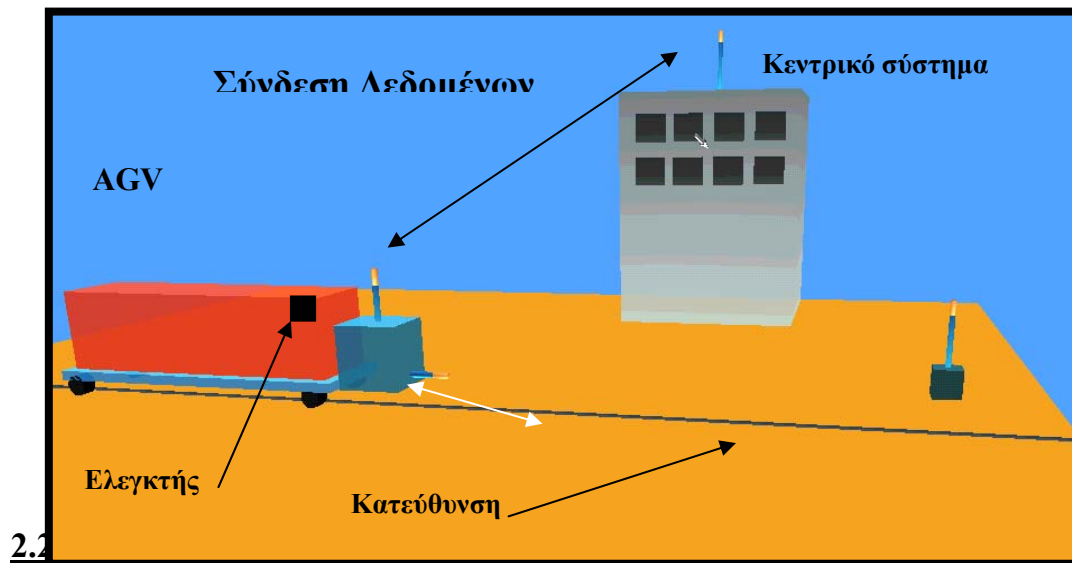
Κεφάλαιο 2^ο

Αυτοματοποιημένα κατευθυνόμενα οχήματα για εφαρμογές λιμανιών

2.1 Εισαγωγή

Οι πιο ενδιαφέρουσες εξελίξεις στον εξοπλισμό χειρισμού φορτίων είναι αυτές που σχετίζονται με τα αυτοματοποιημένα κατευθυνόμενα οχήματα (AGVs). Τα AGVs την τελευταία δεκαετία παρουσίασαν μια εκρηκτική ανάπτυξη, κυρίως στον τομέα της βιομηχανικής αυτοματοποίησης. Οι προοπτικές στα AGVs προέρχονται από την μεγάλη ελεγκσιμότητα, και το βαθμό που μπορούν να εκτελέσουν τις ίδιες εργασίες που τώρα απαιτούν τη χρήση σημαντικού εργατικού δυναμικού. Στην περίπτωση της διαχείρισης κοντέινερ, τα AGVs είναι κατάλληλα για να αλληλεπιδράσουν με μια αυτοματοποιημένη μονάδα αποθήκευσης και ανάκτησης. Προς το παρόν υπάρχουν εφαρμογές των AGVs σε λιμάνια όπως στο Ρότερνταμ, στις Κάτω Χώρες και στην Αγγλία. Προκαταρκτικά βήματα βρίσκονται σε εξέλιξη στα λιμάνια της Σιγκαπούρης και στο Καοσίουνγκ στην Ταϊβάν.

Το σύστημα του AGV (φαίνεται στην εικόνα 2) αποτελείται από το όχημα, έναν ελεγκτή πάνω στο όχημα, μια σύνδεση δεδομένων με ένα κεντρικό σύστημα διαχείρισης, και ένα σύστημα πλοήγησης. Τα οχήματα κινούνται με ηλεκτρική ενέργεια και είναι κατασκευασμένα με ετοιμοπαράδοτα υλικά. Ο ελεγκτής πάνω στο όχημα διαχειρίζεται την ώθηση, το τιμόνι, τα φρένα και άλλες λειτουργίες του οχήματος. Το σύστημα διαχείρισης ασχολείται με την ανάθεση, δρομολόγηση και τον έλεγχο της κυκλοφορίας. Το σύστημα πλοήγησης χρησιμοποιείται για την καθοδήγηση του οχήματος στον προορισμό του.



Εικόνα 2: Παράδειγμα βασικού συστήματος AGV

Καθώς το AGV λειτουργεί σε συγκεκριμένο περιβάλλον απαιτεί ένα ελεγκτή ενσωματωμένο στο όχημα και/ ή έναν κεντρικό υπολογιστή για να συντονίζει τις κινήσεις του σε σχέση με άλλα μηχανήματα διαχείρισης φορτίου ή άλλα AGVs. Γι αυτό πρέπει να δούμε το σύστημα του AGV σαν εποπτικό σύστημα το οποίο έχει ιεραρχική δομή.

Το χαμηλότερο επίπεδο σε αυτή την ιεραρχία ανήκει στον ενσωματωμένο ελεγκτή του οχήματος, ο οποίος αποτελείται από το σύστημα ελέγχου οδήγησης (π.χ. μηχανή, μετάδοση, φρένα, κ.α.) και το σύστημα πλοήγησης. Το υψηλότερου επιπέδου σύστημα ελέγχου είναι υπεύθυνο για την διαχείριση και την αλληλεπίδραση της θέσης των οχημάτων. Αποτελείται από τον σχεδιασμό, τον προγραμματισμό και την εκτέλεση των κινήσεων.

2.3.1 Συστήματα πλοήγησης

Τα συστήματα πλοήγησης των AGVs εξελίσσονται από συστήματα καθοδήγησης με καλώδιο σε συστήματα ελεύθερης εμβέλειας. Μέχρι πρόσφατα, τα AGVs ακολουθούσαν ένα καλώδιο οδήγησης (Εικόνα 2) ή μια οπτικά ορατή γραμμή, βαμμένη ή φτιαγμένη από ταινία, στο έδαφος. Σήμερα τα AGVs χρησιμοποιούν νέες μεθόδους . Παρακάτω παρουσιάζουμε επιγραμματικά μερικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται ή θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από τα AGVs για καθοδήγηση και έλεγχο:

1. *Σύστημα Καθοδήγησης με Καλώδιο.*
2. *Μαγνητικά Συστήματα.*
3. *Πλέγμα Ελεύθερης Εμβέλειας.*
4. *Καθοδήγηση με Λείζερ.*
5. *Ραντάρ Κυμάτων - Millimeter Wave Radar (MMWR)*
6. *Διαφορικό GPS..*
7. *Υπολογισμός Θέσης από Αναμέτρηση.*
8. *Μηχανική Όραση.*
9. *Μαγνητικά καρφιά.*

2.3.2 Σχεδιασμός

Ο σχεδιασμός έχει να κάνει με την επιλογή ενός οχήματος και τον προσδιορισμό της πορείας του. Ο σχεδιασμός αναφέρεται συχνά σαν δρομολόγηση και ανάθεση όσον αφορά τα AGVs. Ανάθεση είναι η διαδικασία της επιλογής και ανάθεσης εργασίας στα οχήματα. Δυο περιπτώσεις είναι δυνατές όταν υπάρχει ζήτηση για ανάθεση μιας εργασίας σε ένα όχημα: εργασία με βάση σταθμούς εργασίας και εργασία με βάση τα οχήματα. Στην εργασία με βάση τα οχήματα, ένα όχημα επιλέγεται από μια ομάδα ανταγωνιστικών αδρανών οχημάτων. Διαφορετικοί κανόνες μπορούν να εφαρμοστούν για να δοθούν προτεραιότητες στα οχήματα. Τέτοιοι κανόνες είναι ο κανόνας του τυχαίου οχήματος, του κοντινότερου οχήματος ή του λιγότερου χρησιμοποιούμενου οχήματος. Στην εργασία με βάση τους σταθμούς

εργασίας, ένας σταθμός εργασίας θα ανατεθεί σε ένα όχημα από μια ομάδα ανταγωνιστικών σταθμών. Υπάρχουν αρκετοί κανόνες για την ανάθεση σταθμού σε ένα όχημα. Τέτοιοι είναι ο κανόνας τυχαίου σταθμού εργασίας, μικρότερου χρόνου ταξιδιού/ απόστασης, μέγιστης εξερχόμενης σειράς και ο τροποποιημένος κανόνας first come first served. Η δρομολόγηση είναι η επιλογή συγκεκριμένων διαδρομών για τα οχήματα ώστε να φτάσουν στους προορισμούς τους. Ένα σύστημα με AGVs μπορεί να μοντελοποιηθεί σαν γράφημα που αποτελείται από κόμβους που συνδέονται από μια ομάδα τόξων. Δεδομένου της θέσης ενός AGV και του προορισμού του, ο διαχειριστής των διαδρομών μπορεί να βρει την ακολουθία των κόμβων που περιγράφουν τη διαδρομή του οχήματος. Εναλλακτικές διαδρομές μπορούν να υπολογιστούν με βάση το συνολικό άθροισμα των τόξων για τη μετάβαση από τους κόμβους της ακολουθίας.

2.3.3 Προγραμματισμός

Ο προγραμματισμός περιλαμβάνει τον συνδυασμό όλων των διαδρομών των οχημάτων σε μια συνολική ακολουθία με επιμέρους τμήματα τις προτεραιότητες των οχημάτων. Με άλλα λόγια, ο σχεδιασμός είναι υπεύθυνος να αναλύει τις διαδρομές των οχημάτων σε μικρότερα τμήματα ενώ ο προγραμματισμός είναι υπεύθυνος να ορίζει την ακολουθία της πρόσβασης των οχημάτων σε κάθε τμήμα. Η λειτουργία του προγραμματισμού είναι επίσης υπεύθυνη για να αποτρέπει συγκρούσεις ή αποκλεισμούς των AGVs και να δημιουργεί/ ενημερώνει τους αναμενόμενους χρόνους εκκίνησης και άφιξης για τις επιλεγμένες διαδρομές.

2.3.4 Εκτέλεση

Η εκτέλεση παρέχει την διασύνδεση του φυσικού συστήματος (σύστημα ελέγχου οδήγησης και πλοήγηση) με το σύστημα ελέγχου υψηλότερου επιπέδου. Για το λόγο αυτό είναι υπεύθυνο για την αλληλεπίδραση των ελεγκτών των οχημάτων, των διαδικασιών εκκίνησης και κλεισίματος του συστήματος, την έκδοση εντολών για ανατεθείσες εργασίες και για την παρακολούθηση για την ανίχνευση λαθών και διόρθωσης τους.

Κεφάλαιο 3^ο

Διάταξη του τερματικού σταθμού και συμβάσεις για τις κινήσεις των AGVs

3.1 Διάταξη του τερματικού σταθμού

Σε αυτή τη διπλωματική προτείνεται το μοντέλο ενός τερματικού σταθμού κοντέινερ που χρησιμοποιεί εξελιγμένους γεραμούς και AGV's για την αυτοματοποιημένη φόρτωση και εκφόρτωση κοντέινερ. Το σχέδιο του αυτοματοποιημένου τερματικού που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση φαίνεται στην εικόνα 20. Οι διαστάσεις του είναι 170 μέτρα πλάτος και 570 μέτρα μήκος.

Το τερματικό αποτελείται από 4 κύρια κομμάτια. Κάθε κομμάτι έχει 4 αποθηκευτικές στοίβες και κάθε στοίβα έχει 10 στήλες και 5 γραμμές. Υποθέτουμε ότι κάθε κελί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση ενός κοντέινερ διαστάσεων 40' x 8,6' ή δύο διαστάσεων 20' x 8,6' . Οπότε, η χωρητικότητα του τερματικού είναι 1600 TEUs.(Twenty foot Equivalent Unit)

Κάθε στοίβα χωρίζεται από την άλλη με ένα δρόμο στον οποίο θα αναφερόμαστε σαν **δρόμο εργασίας**. Ένας διπλός δρόμος χωρίζει τα κύρια κομμάτια μεταξύ τους και θα αναφερόμαστε σε αυτόν σαν **δρόμο διέλευσης**. Επίσης δρόμοι διέλευσης είναι και οι δρόμοι δεξιά και αριστερά του

τερματικού καθώς και οι δρόμοι προσκείμενοι στην πύλη και στους γεραμούς του πλοίου.

3.2 Συμβάσεις προς αποφυγή συγκρούσεων

Για να εμποδίσουμε την κυκλοφοριακή συμφόρηση και το μπλοκάρισμα υποθέτουμε ότι οι δρόμοι εργασίας χρησιμοποιούνται μόνο για δραστηριότητες αποθήκευσης και ανάκτησης κοντέινερ, ενώ οι δρόμοι διέλευσης χρησιμοποιούνται για να προσεγγιστεί ένας δρόμος εργασίας, η πύλη και οι γερανοί του πλοίου. Επίσης υποθέτουμε ότι οι δρόμοι εργασίας είναι μονόδρομοι και έχουν κατεύθυνση προς τα δεξιά όταν βρισκόμαστε δεξιά από τον μεσαίο δρόμο διέλευσης και αριστερά στην αντίθετη περίπτωση.

Αυτή η σύμβαση γίνεται για δυο λόγους :

1. Ο πρώτος λόγος είναι ότι με αυτόν τον τρόπο γνωρίζουμε από πριν την διαδρομή που θα ακολουθήσει το όχημα για να προσεγγίσει ένα συγκεκριμένο κοντέινερ. Αυτή η διαδρομή είναι συνεχής και το όχημα δεν χρειάζεται να κάνει επιτόπου στροφή μέχρι το τέλος της κίνησης.
2. Ο δεύτερος λόγος είναι η ασφάλεια μέσα στον τερματικό σταθμό, που είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας. Εάν συμβεί μια βλάβη σε ένα δρόμο εργασίας, είναι δυνατόν να σταματήσουν όλες οι δραστηριότητες σε αυτόν τον δρόμο, και να προσεγγιστεί το όχημα από επισκευαστικό συνεργείο χωρίς να υπάρχει κίνδυνος ατυχήματος από άλλα κινούμενα οχήματα. Τέλος όσον αφορά τους κατακόρυφους δρόμους διέλευσης, πρέπει να πούμε ότι είναι διπλής κατεύθυνσης και τα AGV κινούνται στο δεξί ρεύμα όταν ανεβαίνουν και στο αριστερό όταν κατεβαίνουν.

Επίσης υποθέτουμε ότι κάθε στοίβα εξυπηρετείται από μόνο ένα γερανό, και αυτός ο γερανός μεταφέρει κοντέινερ από και προς τον δρόμο εργασίας που βρίσκεται από κάτω από τη στοίβα. Στον τερματικό σταθμό υπάρχουν επίσης τέσσερις γερανοί πλοίου. Οι γερανοί στις στοίβες είναι υπεύθυνοι για την

φόρτωση / εκφόρτωση των AGVs, ενώ οι γερανοί πλοίου είναι υπεύθυνοι για την φόρτωση / εκφόρτωση κοντέινερ προς / από το πλοίο και στην φόρτωση / εκφόρτωση προς / από τα AGVs. Οι δύο γερανοί πλοίου που βρίσκονται στα αριστερά εξυπηρετούν τα AGVs που φορτώνουν / εκφορτώνουν κοντέινερ στο αριστερό μέρος του τερματικού (αριστερά από τον μεσαίο δρόμο διέλευσης). Το αντίστοιχο συμβαίνει για τους δυο γερανούς δεξιά.

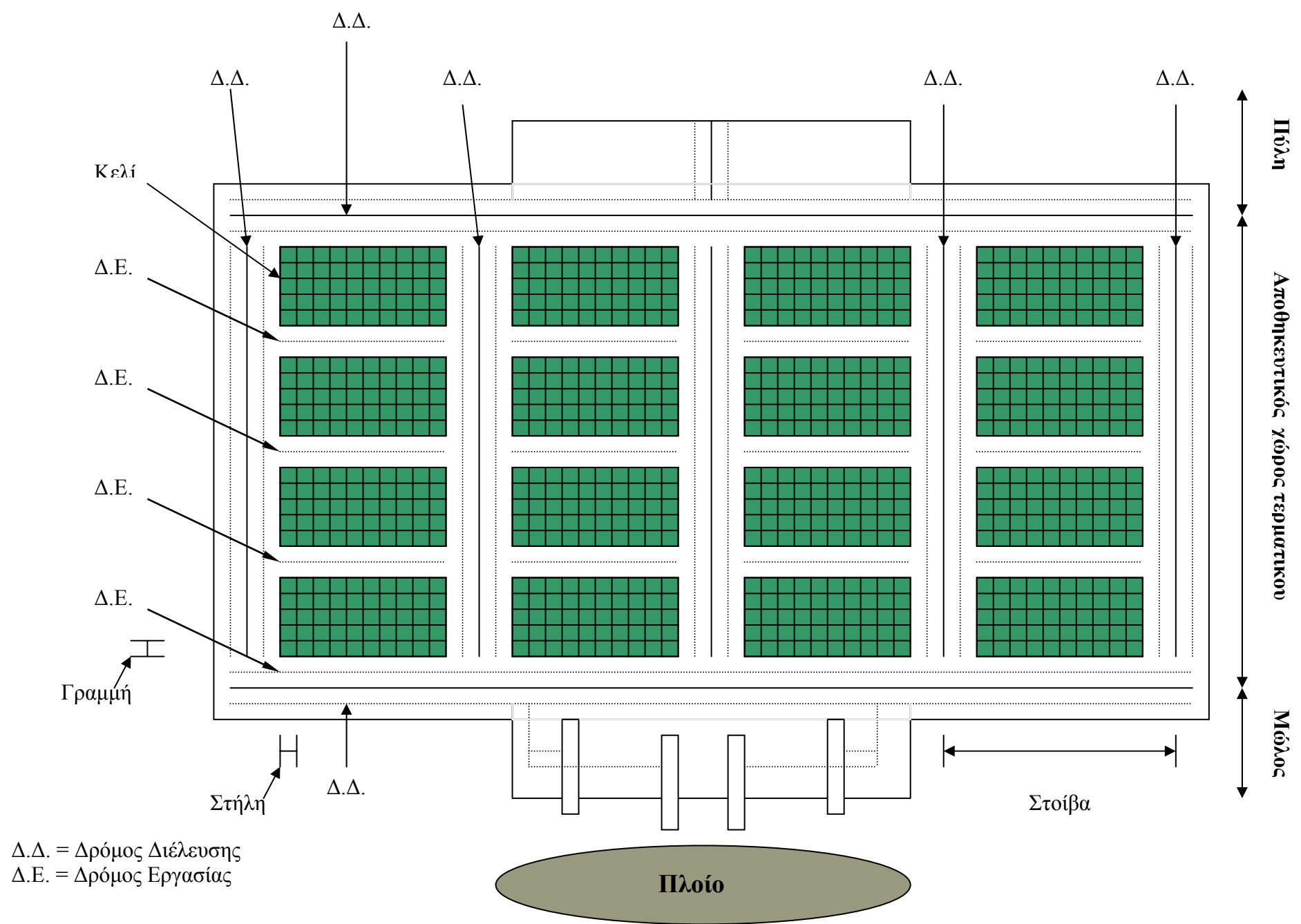
Υπάρχουν δυο ουρές μπροστά στους γερανούς. Μια ουρά για τους δυο γερανούς δεξιά και άλλη μια για αυτούς αριστερά. Κάθε AGV εξυπηρετείται σύμφωνα με την σειρά άφιξης στην ουρά και επιλέγει τον γερανό που είτε δεν εξυπηρετεί κανένα AGV ή ολοκληρώνει γρηγορότερα την εξυπηρέτηση προηγούμενου οχήματος.

Οι παραπάνω κανόνες για τις κινήσεις των AGVs δεν είναι μοναδικοί. Βασίζονται στη διαίσθηση και μπορεί να μην εξασφαλίζουν τις βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας.

Στην ανάλυση και εκτίμηση του τερματικού θεωρούμε τα παρακάτω χαρακτηριστικά για τον εξοπλισμό του:

- Για τον μέσο χρόνο που χρειάζονται οι γερανοί του τερματικού για φόρτωση ή εκφόρτωση λάβαμε τιμές από 50 sec έως και 1000 sec.
- Μέσος χρόνος για τους γερανούς στο μόλο για φόρτωση ή εκφόρτωση: 48 sec που αντιστοιχεί σε 75 κινήσεις την ώρα. Θεωρούμε ότι έχουμε αρκετά γρήγορους γερανούς στο μόλο γιατί δεν θέλουμε να έχουμε καθυστερήσεις εξαιτίας αυτών αλλά να ελέγξουμε τις εργασίες μέσα στον τερματικό σταθμό.
- Ταχύτητα για τα φορτωμένα AGV: 8.28 χιλιόμετρα / ώρα.
- Ταχύτητα για τα άδεια AGV: 16.56 χιλιόμετρα / ώρα.

Ακολουθεί σχεδιάγραμμα του αυτοματοποιημένου τερματικού σταθμού.



Εικόνα 3: Σχεδιάγραμμα του αυτοματοποιημένου τερματικού σταθμού

3.3 Έλεγχος για την κίνηση των AGVs

Ο έλεγχος για την κίνηση των AGVs πρέπει να αποτρέπει κάθε πιθανή σύγκρουση μεταξύ των οχημάτων, μέσα στον τερματικό σταθμό, καθώς και την περίπτωση να βρεθεί ένα ή περισσότερα οχήματα σε αδιέξοδο.

Σύγκρουση μεταξύ δύο ή περισσότερων AGVs έχουμε στις εξής περιπτώσεις:

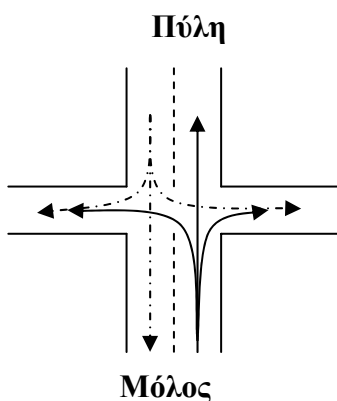
1. Όταν το AGV βρίσκεται μπροστά του άλλο AGV που κινείται με μικρότερη ταχύτητα ή είναι σταματημένο

Τέτοιες συγκρούσεις είναι δυνατόν να συμβούν επειδή τα φορτωμένα AGV έχουν μικρότερη ταχύτητα από τα ξεφόρτωτα. Επίσης κάποιο AGV κατά την πορεία του μπορεί να συναντήσει ένα άλλο AGV που φορτώνει ή ξεφορτώνει κοντήνερ μέσα στον τερματικό σταθμό. Σε αυτή την περίπτωση το AGV που κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα όταν πλησιάσει και περάσει μια απόσταση ασφαλείας (π.χ. 3 μέτρα) επιβραδύνει και αποκτάει την ταχύτητα του μπροστινού AGV.

2. Άφιξη σε διασταύρωση από διαφορετικούς δρόμους ταυτόχρονα

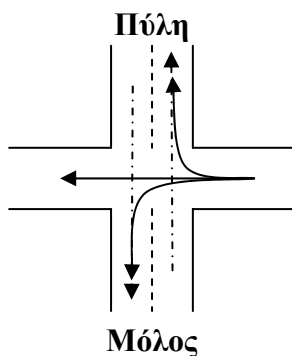
Σε αυτή την περίπτωση, δεδομένου ότι γνωρίζουμε εκ των προτέρων τις πιθανές κατευθύνσεις των AGVs σε κάθε διασταύρωση, ξεχωρίζουμε τρεις υποπεριπτώσεις. Την περίπτωση των διασταυρώσεων στον κεντρικό δρόμο διέλευσης, την περίπτωση των διασταυρώσεων δεξιά από τον κεντρικό δρόμο διέλευσης και την περίπτωση των διασταυρώσεων στα αριστερά του. Αυτή η λογική ελέγχου παρότι είναι περίπλοκη μας δίνει την δυνατότητα να δίνουμε προτεραιότητα κάθε φορά στο όχημα που είναι ξεφόρτωτο και άρα πιο γρήγορο. Με τον τρόπο αυτό ελαχιστοποιούμε την πιθανότητα να καθυστερεί ένα ξεφόρτωτο όχημα πίσω από ένα φορτωμένο.

Με αυτή την λογική για την πρώτη περίπτωση που φαίνεται και στην εικόνα 21 προτεραιότητα έχουν τα οχήματα που έρχονται από τον μόλο.



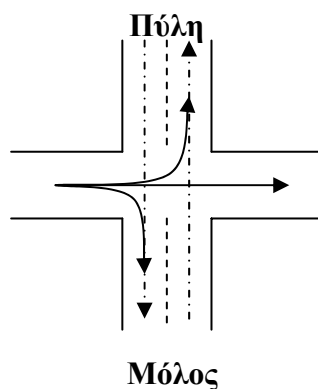
Εικόνα 4: Πιθανές κατευθύνσεις των AGVs σε διασταύρωση

Στην δεύτερη περίπτωση, για τις διασταυρώσεις στα δεξιά του κεντρικού δρόμου διέλευσης, που φαίνεται στη εικόνα 22, προτεραιότητα έχουν οι κατακόρυφες κατευθύνσεις. Εδώ δεν δίνεται προτεραιότητα στα AGVs που κινούνται πιο γρήγορα, αλλά ωστόσο δεν υπάρχει περίπτωση να «κολλήσει» ένα γρήγορο AGV πίσω από ένα αργό.



Εικόνα 5: Πιθανές κατευθύνσεις των AGVs σε διασταύρωση

Στην τρίτη περίπτωση, για τις διασταυρώσεις αριστερά του κεντρικού δρόμου διέλευσης, δίνεται προτεραιότητα στις κατακόρυφες κατευθύνσεις, όμοια με την παραπάνω περίπτωση.



Εικόνα 6: Πιθανές κατευθύνσεις των AGVs σε διασταύρωση

3.5 Παράδειγμα λειτουργίας αλγορίθμου

Έχοντας εξετάσει τις συμβάσεις για τις κινήσεις των AGV's μέσα στον τερματικό σταθμό ακολουθεί ένα απλό παράδειγμα που δείχνει την βασική λειτουργία του αλγορίθμου που χρησιμοποιήθηκε.

Στην εικόνα 7 που ακολουθεί είναι χαραγμένη με βέλη η πορεία που θα ακολουθήσει το AGV στο οποίο έχει γίνει ανάθεση, για να ανακτήσει ένα τυχαίο κοντέινερ, που για το συγκεκριμένο παράδειγμα βρίσκεται στη θέση με κόκκινο χρώμα, και να το φέρει στο χώρο φόρτωσης του караβιού.

Θα περιγραφούν δύο περιπτώσεις. Στην μια δεν θα ληφθούν υπ' όψιν τυχόν επιπλέον καθυστερήσεις πέραν αυτών λόγω των διασταυρώσεων και της αναμονής στην ουρά μπροστά στους γερανούς του λιμανιού. Ενώ στην δεύτερη θα συμπεριληφθούν και καθυστερήσεις που οφείλονται σε συνάντηση:

- i. Με σταματημένο AGV(το οποίο βρίσκεται σε διαδικασία φόρτωσης)

ii. Με φορτωμένο προπορευόμενο AGV που κινείται πιο αργά

Στην πρώτη περίπτωση η αρχική θέση του AGV είναι το κέντρο των γερανών του μόλου. Πιο αναλυτικά για το AGV γίνεται προσομοίωση στις παρακάτω ενέργειες:

- Κινείται στον κατακόρυφο άξονα μέχρι το ύψος που είναι τοποθετημένο το κοντέινερ προς ανάκτηση.
- Κινείται στον οριζόντιο άξονα μέχρι την ακριβή θέση που βρίσκεται το κοντέινερ
- Γίνεται φόρτωση του κοντέινερ
- Κινείται στον οριζόντιο άξονα μέχρι να φτάσει στον αριστερό δρόμο διέλευσης
- Ακολουθεί κατακόρυφη πορεία κατεβαίνοντας στον επίπεδο των γερανών του λιμανιού
- Και τελικά κινείται οριζόντια προς τους γερανούς όπου και ξεφορτώνεται.

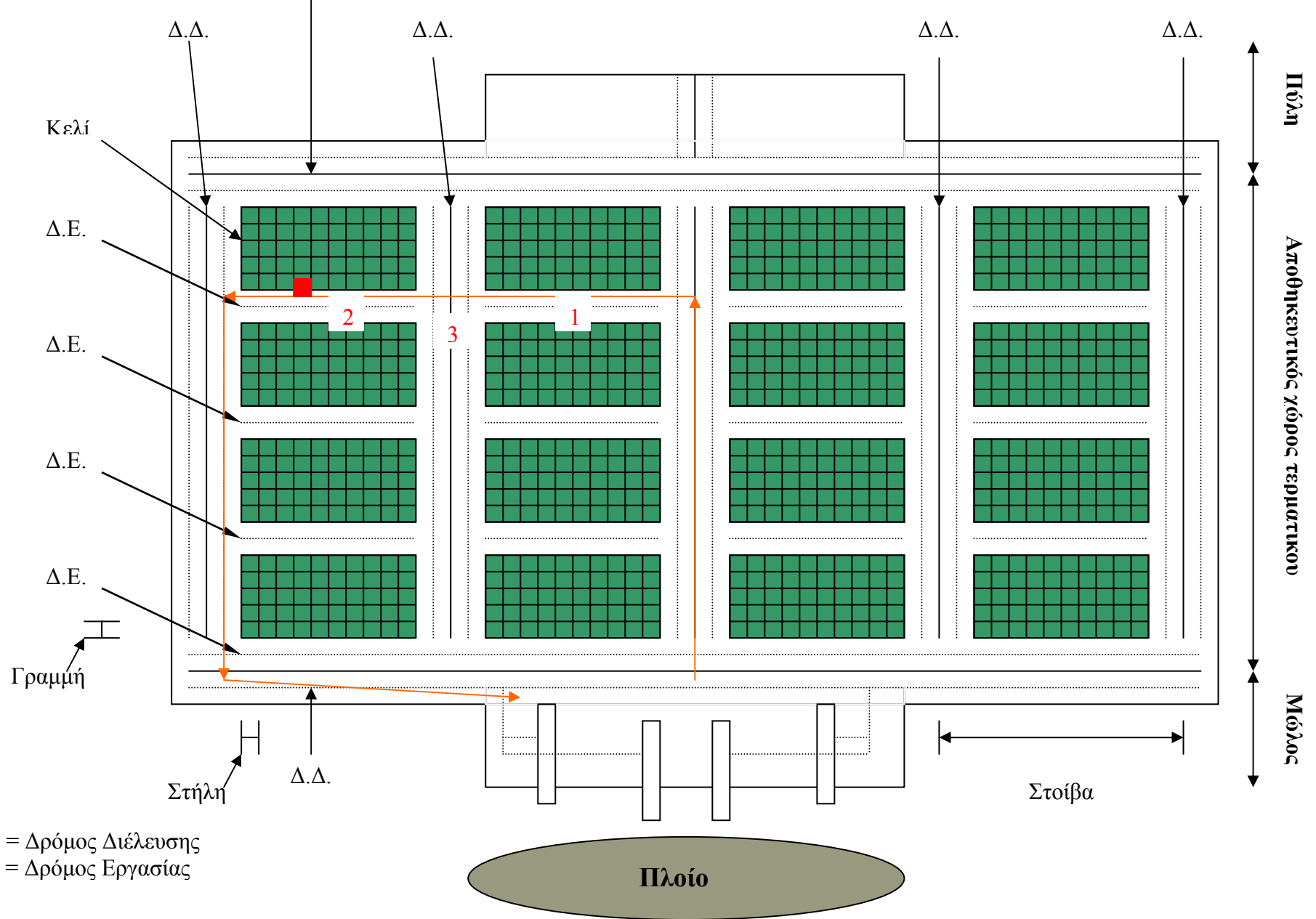
Στην δεύτερη περίπτωση οι κινήσεις και οι διαδικασίες που ακολουθούν τα AGVs είναι ίδιες με την προηγούμενη. Η μόνη διαφοροποίηση είναι οι δύο περιπτώσεις συναντήσεων που προαναφέρθηκαν και στο συγκεκριμένο παράδειγμα συμβαίνουν στα **σημεία 1** και **2** όπως είναι σημειωμένα στην εικόνα 7. Τα AGVs για λόγο συντομίας τα διαχωρίζουμε σε :

AGV(i) (αυτά που εισέρχονται στον τερματικό σταθμό) και

AGV(j) (αυτά που είδη κινούνται εντός του σταθμού).

Το AGV(i) θα συναντήσει στο δρόμο του το προπορευόμενο AGV(j) στο σημείο **1** ή όταν το δεύτερο φορτώνει είτε αυτό είναι φορτωμένο και κατευθύνεται προς το λιμάνι. Αυτό σημαίνει ότι το AGV(i) θα καθυστερήσει όσο χρόνο χρειάζεται για να ολοκληρώσει τη φόρτωσή του το AGV(j) . Επιπλέον καθυστερεί ακολουθώντας το με ταχύτητα μισή από αυτή που θα είχε αν ακολουθούσε την πορεία του χωρίς εμπόδιο. Αυτό συμβαίνει μέχρι το AGV(j) να συναντήσει τον δρόμο διέλευσης (**σημείο 3**) οπότε και θα φύγει προς τα λιμάνι και θα σταματήσει να το εμποδίζει.

Μια αντίστοιχη διαδικασία συμβαίνει όταν το συναντήσει στο **σημείο 2**. Σε αυτή την περίπτωση δεν θα χρειαστεί το AGV(i) να ακολουθεί το AGV(j) μέχρι το δεύτερο να φτάσει σε δρόμο εργασίας γιατί θα έχει φτάσει είδη στον προορισμό του και θα αρχίσει την φόρτωση του κοντέηνερ που του έχει ανατεθεί. Οι ίδιες καθυστερήσεις υφίστανται συμμετρικά για τις στοίβες του τερματικού που βρίσκονται στα δεξιά του τερματικού σταθμού.



Εικόνα 7: Παράδειγμα λειτουργίας αλγορίθμου

Κεφάλαιο 4^ο

Σενάρια προσομοίωσης

4.1 1ο Σενάριο

Παρακάτω στο μοντέλο της προσομοίωσης που περιγράψαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο εφαρμόζουμε διάφορα σενάρια. Σε όλα τα σενάρια θεωρούμε ότι ο τερματικός σταθμός είναι γεμάτος με κοντέινερ και γι αυτό χρησιμοποιούνται μόνο AGVs και καθόλου φορτηγά. Τα φορτηγά θα χρησιμοποιούνταν σε συνδυασμό με τα AGVs σε περίπτωση που θεωρούσαμε ότι ο τερματικός σταθμός ήταν άδειος και θα απαιτούνταν η τροφοδοσία του απ' έξω. Το μοντέλο που έχουμε κατασκευάσει έχει την δυνατότητα να προσομοιώσει παράλληλα τις εργασίες των φορτηγών και των AGVs καθώς και την διαδικασία διαχείρισης των εισερχόμενων φορτηγών από την πύλη, η οποία είναι παρόμοια με την εργασία των γερανών του μόλου (αριθμός εξυπηρετούντων, ουρές ,χρόνοι εξυπηρέτησης). Ωστόσο δεν το κάνει διότι θεωρήσαμε ότι αυτό θα αύξανε τον υπολογιστικό φόρτο χωρίς ουσιαστική μεταβολή των τελικών αποτελεσμάτων.

Το σενάριο που εφαρμόστηκε προσομοιώνει τις λειτουργίες φόρτωσης του τερματικού σταθμού. Θεωρούμε δηλαδή ότι τα κοντέινερ προς εξαγωγή βρίσκονται και στις 16 στοίβες του τερματικού και πως όλος ο εξοπλισμός του τερματικού, δηλαδή οι 16 γερανοί στις στοίβες, οι τέσσερις γερανοί στο μόλο και τα AGV που χρησιμοποιούνται κάθε φορά, χρησιμοποιείται για την φόρτωση του πλοίου.

Επίσης χρησιμοποιούμε την πολιτική τυχαίας ανάθεσης (**Random**) των AGVs σε κοντέινερ που σημαίνει ότι βρίσκονται αποθηκευμένα τυχαία μέσα στη γυάρδα και όχι σε συγκεκριμένες θέσεις. Αυτή η πολιτική εφαρμόστηκε πρώτη φορά από την εταιρία August Design-Sealand.

Επιπλέον όταν γίνεται ανάθεση σε ένα AGV ένα τυχαίο κοντέινερ , γνωρίζουμε τις συντεταγμένες του επομένως και την **διαδρομή** που θα πρέπει να ακολουθήσει το AGV για να φτάσει ως εκεί. Για την τυχαία ανάθεση κοντέινερ προστέθηκε ένας πίνακας [160,1] όπου όλα του τα στοιχεία έχουν την τιμή 3, υποθέτοντας ότι σε κάθε στήλη τοποθετούνται τρία κοντέινερ. Ο πίνακας αυτός αντιστοιχεί σε όλα τα κοντέινερ, 480 τον αριθμό, που είναι αρχικά τοποθετημένα στον τερματικό σταθμό θεωρώντας ότι είναι γεμάτος. Κάθε θέση του πίνακα είναι αντίστοιχη με ένα κοντέινερ.

Κάθε φορά που επιλέγεται τυχαία ένα κοντέινερ , ελέγχεται αν υπάρχει στο αντίστοιχο στοιχείο του πίνακα τιμή θετική, που σημαίνει ότι υπάρχει κοντέινερ στην αντίστοιχη θέση του τερματικού σταθμού. Αν υπάρχει, τότε μειώνεται κατά ένα αυτή η τιμή και συνεχίζει ο αλγόριθμος. Σε αντίθετη περίπτωση επιλέγεται τυχαία το επόμενο κοντέινερ. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου γίνουν όλα τα στοιχεία του πίνακα μηδέν, οπότε θα έχει αδειάσει ο τερματικός σταθμός και θα τερματίσει ο αλγόριθμος. Ο **χρόνος** που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία είναι το βασικό μέγεθος για το οποίο εφαρμόστηκε το παραπάνω και τα ακόλουθα σενάρια με σκοπό την βελτιστοποίηση του.

4.2 2ο Σενάριο

Γνωρίζοντας τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε ,και υπολογίζουμε τον χρόνο T_{2i} που θα χρειαστεί για να ολοκληρώσει την **διαδρομή**, περιλαμβανομένου και του χρόνου φόρτωσης μέχρι να φτάσει στην ουρά του γερανού. Για τον υπολογισμό του T_2 θεωρούμε ότι δεν υπάρχουν συγκρούσεις εντός του τερματικού σταθμού. Στην συνέχεια γίνεται σύγκριση με τους αντίστοιχους χρόνους T_{2j} των υπολοίπων AGV που κινούνται στον τερματικό σταθμό.

Επίσης μπορούμε να υπολογίσουμε τους χρόνους καθυστέρησης T_1 των AGVs που οφείλονται σε συνάντηση/ σύγκρουση (όπως προαναφέρθηκαν σε παράδειγμα):

- Με σταματημένο AGV(το οποίο βρίσκεται σε διαδικασία φόρτωσης)
- Με φορτωμένο προπορευόμενο AGV που κινείται πιο αργά

(βλ. εικόνα7 , σημεία 1, 2)

Η πρώτη συνάντηση έχει σαν συνέπεια την δεύτερη και επηρεάζουν τον συνολικό χρόνο ολοκλήρωσης της διαδρομής.

Η απόλυτη διαφορά αυτών των χρόνων

$$T_3 = | T_{2i} - T_{2j} |$$

μας δίνει την χρονική απόσταση του οχήματος i (που εισέρχεται στον τερματικό σταθμό) από τα οχήματα j (που είδη κινούνται εντός του σταθμού). Στην περίπτωση που λαμβάνονται υπ' όψιν οι συγκρούσεις ο χρόνος T_3 γίνεται

$$T_3 = \left| (T_{2i} - T_{2j}) + T_1 \right|$$

Πιο αναλυτικά

Στην συνέχεια εφαρμόστηκαν δύο κατηγορίες σεναρίων ανάλογα με τις συνθήκες που ελήφθησαν υπ' όψιν κάθε φορά :

1. Συνθήκη για τον ελάχιστο από τους χρόνους T_3 χωρίς να ληφθούν υπ' όψιν οι συγκρούσεις
2. Συνθήκη για τον ελάχιστο από τους χρόνους T_3 συμπεριλαμβανόμενων και των συγκρούσεων

4.2.1 Κατηγορία 1^η

Σε αυτή την κατηγορία εφαρμόστηκαν δύο σενάρια που για λόγους συντομίας θα τα ονομάσουμε A_1 και A_2 . Στο A_1 θέλουμε ο ελάχιστος από τους χρόνους T_3 να είναι ίσος ή μεγαλύτερος από τον χρόνο που χρειάζεται ένας γερανός για να εξυπηρετήσει ένα AGV. Με αυτή την συνθήκη προσπαθούμε να εξαλείψουμε τον σχηματισμό ουράς στο σημείο φόρτωσης του καραβιού. Αν ο ελάχιστος από τους χρόνους T_3 δεν ικανοποιεί την συνθήκη αυτή γίνεται ανάθεση στο AGV ένα άλλο τυχαίο κοντέινερ, και υπολογίζονται ξανά όλοι οι χρόνοι από την αρχή έως ότου ικανοποιηθεί η συνθήκη. Με τον τρόπο αυτό αναμενόταν να μειωθεί το μέγεθος της ουράς και να επιτύχουμε καλύτερη απόδοση του τερματικού σταθμού.

Στο A_2 θέλουμε ο ελάχιστος από τους χρόνους T_3 να είναι ίσος ή μικρότερος από τον χρόνο που χρειάζεται ένας γερανός για να εξυπηρετήσει ένα AGV. Με τον τρόπο αυτό να μην δεν μειώνεται το μέγεθος της ουράς αλλά γίνεται προσπάθεια να υπάρχει συνεχής τροφοδοσία των γερανών ώστε να μειώσουμε το χρόνο αδράνειας των γερανών και να αυξήσουμε την απόδοση του τερματικού σταθμού.

4.2.2 Κατηγορία 2^η

Σε αυτή την κατηγορία εφαρμόζουμε τα σενάρια A_3 και A_4 τα οποία είναι αντίστοιχα με τα A_1 και A_2 με την διαφορά ότι σε αυτήν την περίπτωση στον χρόνο T_3 υπολογίζονται και οι καθυστερήσεις λόγω των συγκρούσεων.

Κεφάλαιο 5^ο

Κριτήρια αξιολόγησης, αποτελέσματα, αξιολόγηση

5.1 Κριτήρια αξιολόγησης

Βασικά κριτήρια αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι χρόνοι αδράνειας των AGVs και των γερανών του μόλου και ο συνολικός χρόνος που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί μια προσομοίωση καθώς και ο χρόνος φόρτωσης (που αναφέρεται στους γερανούς του τερματικού) .

Χρόνος αδράνειας των AGVs ορίζεται το ποσοστό επί του συνολικού χρόνου που ένα AGV καθυστερούσε λόγω σύγκρουσης ή λόγω αναμονής στην ουρά των γερανών του μόλου, δηλαδή:

$$X.A.AGV = \frac{\text{ΧρονοςΚαθυστερησηΑποΣυγκρούσεις} + \text{ΧρονοςΑναμονηςΣεΟυρά}}{\text{ΣυνολικόςΧρονος[ώρες]}}$$

όμοια χρόνος αδράνειας για τους γερανούς του μόλου ορίζεται το ποσοστό επί του συνολικού χρόνου που οι γερανοί δεν εξυπηρετούν κάποιο όχημα, δηλαδή:

$$X.A.Γερανών = \frac{\text{ΧρονοςΜηΛειτουργίαςΓερανών}}{\text{ΣυνολικόςΧρονος[ώρες]}}$$

Εκτελέστηκαν προσομοιώσεις με χρήση του μοντέλου που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο .Ο αριθμός των AGVs που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε σενάριο ξεκινούσε από 21 και αυξανόταν κατά 3 μέχρι τα 42. Επιλέχθηκαν σαν αρχή τα 21 AGVs διότι ύστερα από προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν ξεκινώντας από 3 AGVs διαπιστώθηκε ότι οι διαφοροποιήσεις συγκριτικά στους τελικούς χρόνους των διαφορετικών σεναρίων είναι πάρα πολύ μικρή και άρα δεν προσφέρουν τίποτα στην εξαγωγή συμπερασμάτων.

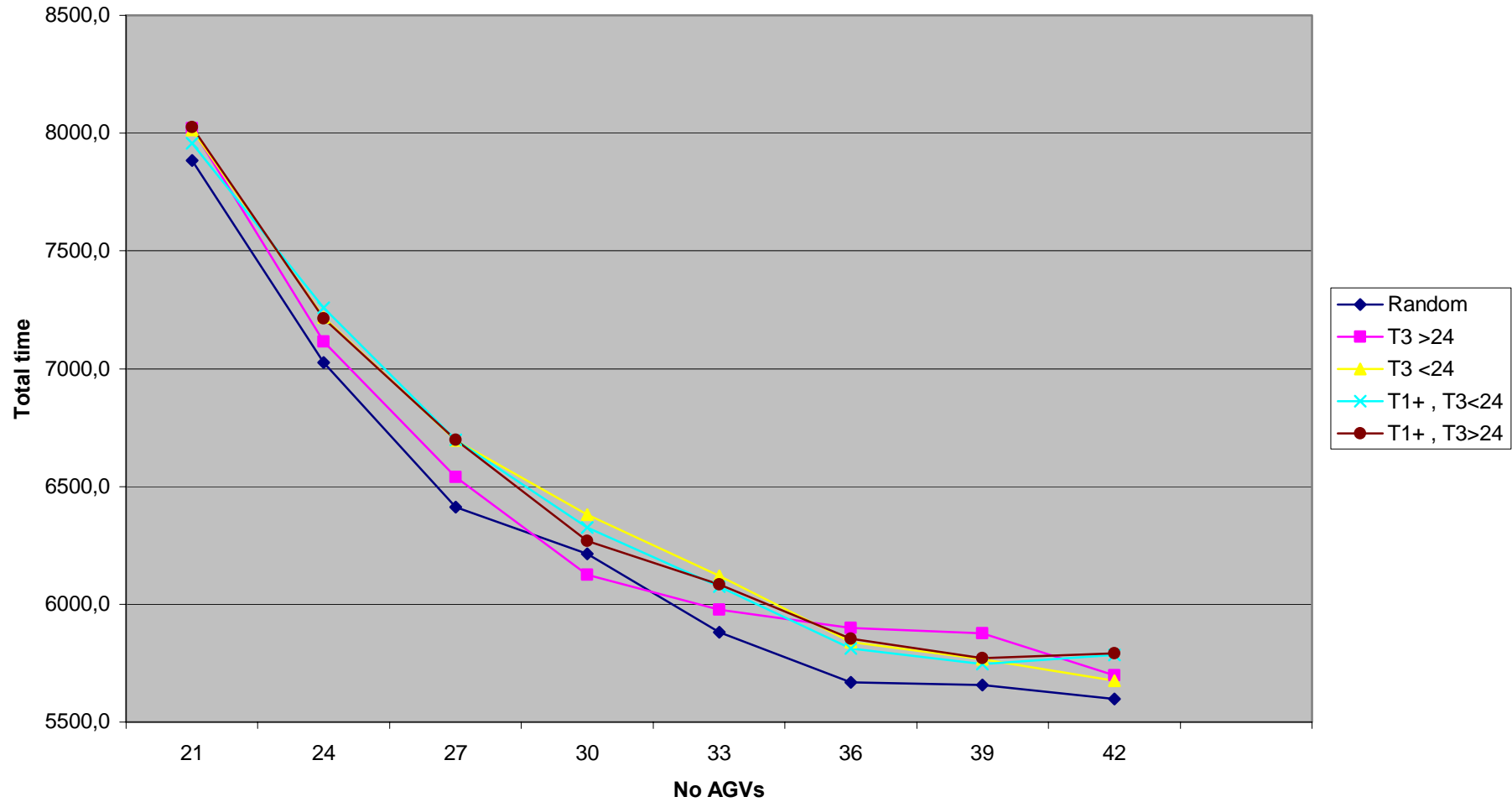
Μια άλλη παράμετρος που διαφοροποιήθηκε είναι ο χρόνος που χρειάζονται για φόρτωση οι γερανοί του τερματικού σταθμού. Αυτή η παράμετρος χρησιμοποιήθηκε για να εξεταστεί ο αλγόριθμος σε πιο ρεαλιστικές συνθήκες δηλαδή πιο αργούς γερανούς τερματικού. Έτσι λοιπόν δόθηκαν τιμές από 50 δευτερόλεπτα έως 1000.

Ακολουθούν τα διαγράμματα των βασικών κριτηρίων που προαναφέρθηκαν όπως αυτά προέκυψαν από προσομοιώσεις που εκτελέστηκαν. Σε αυτά αναφέρονται τα σενάρια που εφαρμόστηκαν , ως εξής:

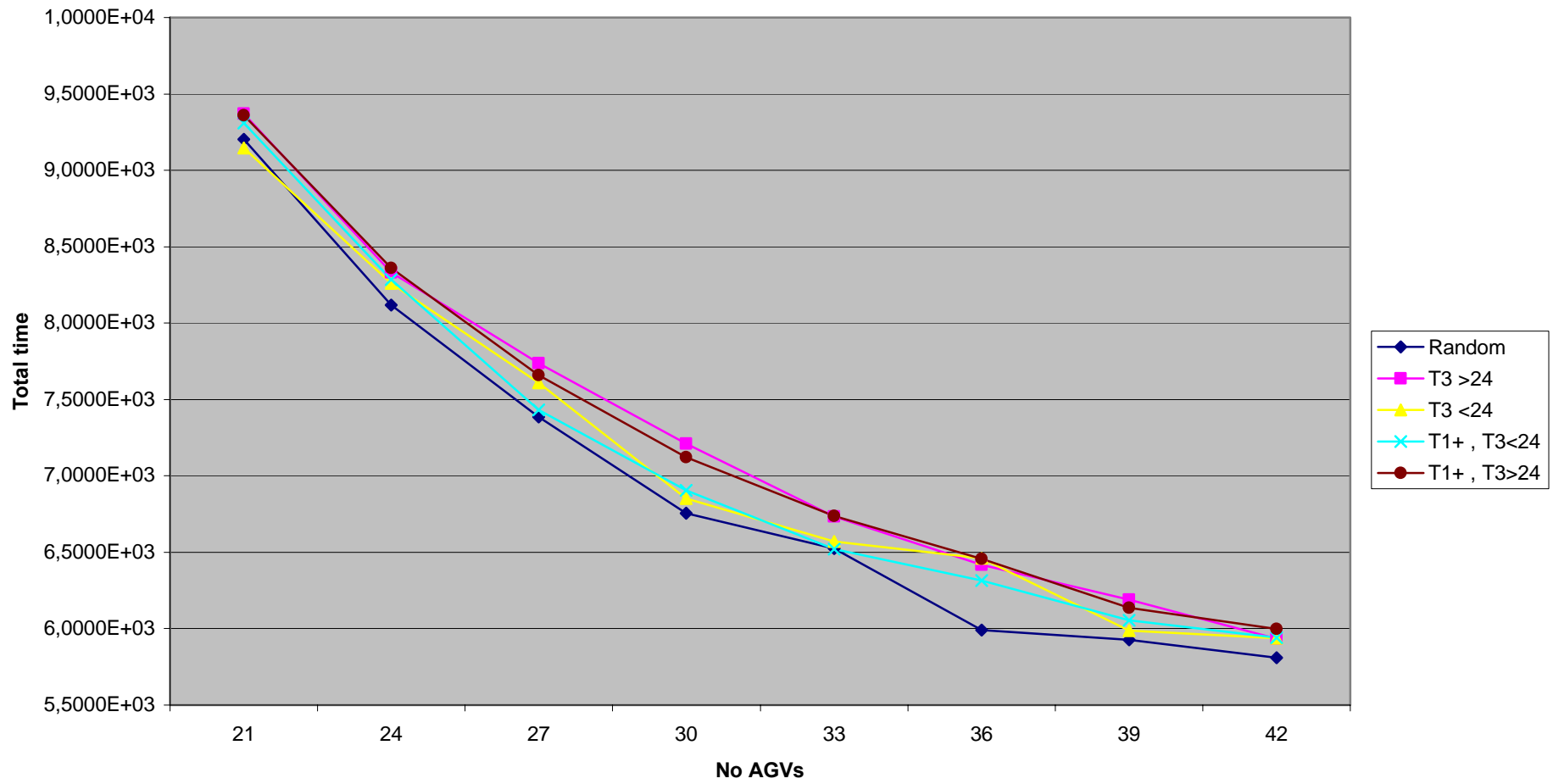
Σενάρια που εφαρμόστηκαν	Πως εμφανίζονται στα διαγράμματα
Τυχαίας ανάθεσης	Random
A ₁	T ₃ >24
A ₂	T ₃ <24
A ₃	T ₁ + T ₃ >24
A ₄	T ₁ + T ₃ <24

5.2 Αποτελέσματα

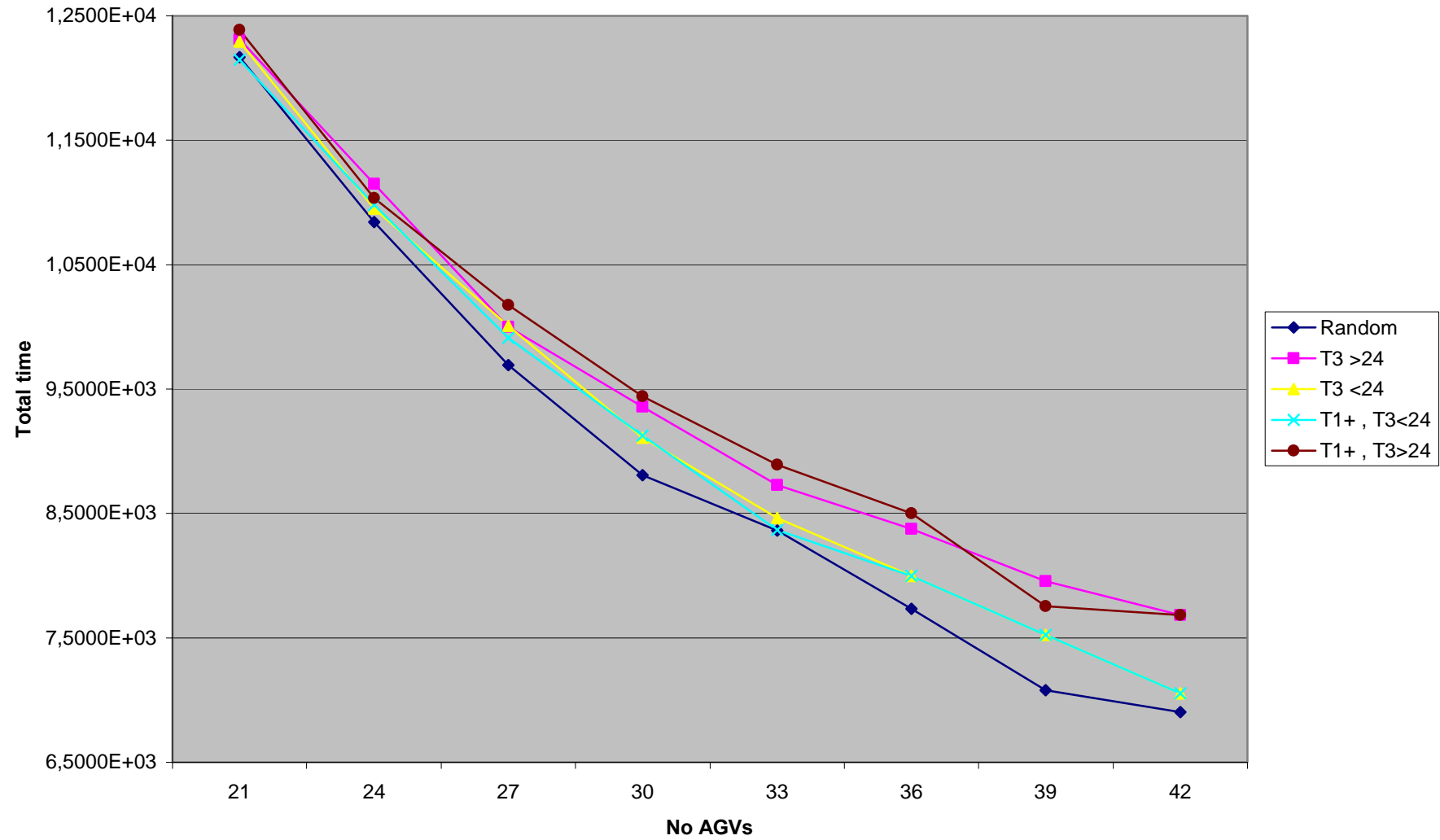
Χρόνος φόρτωσης κοντήνερ 50sec



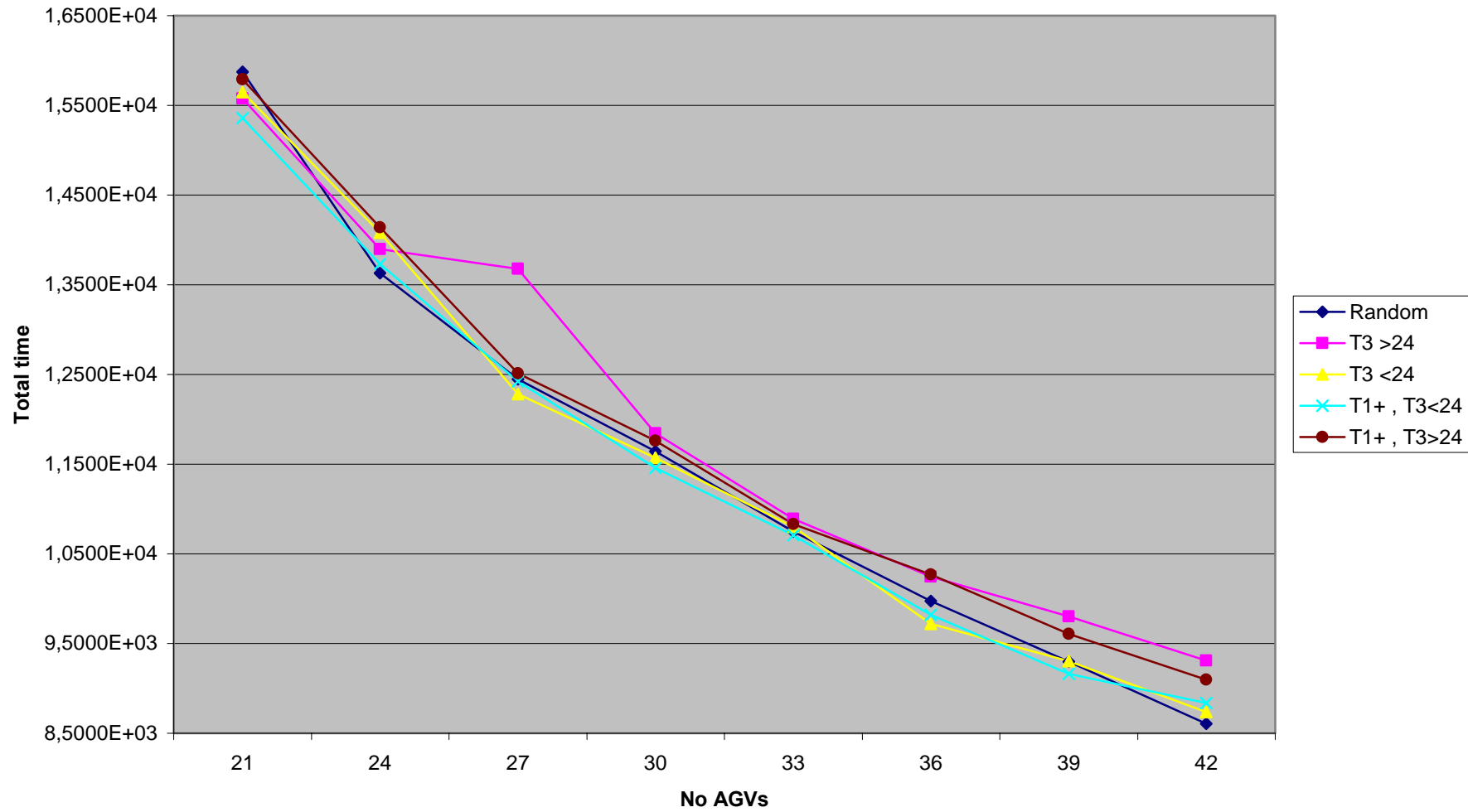
Χρόνος φόρτωσης κοντέινερ 100 sec



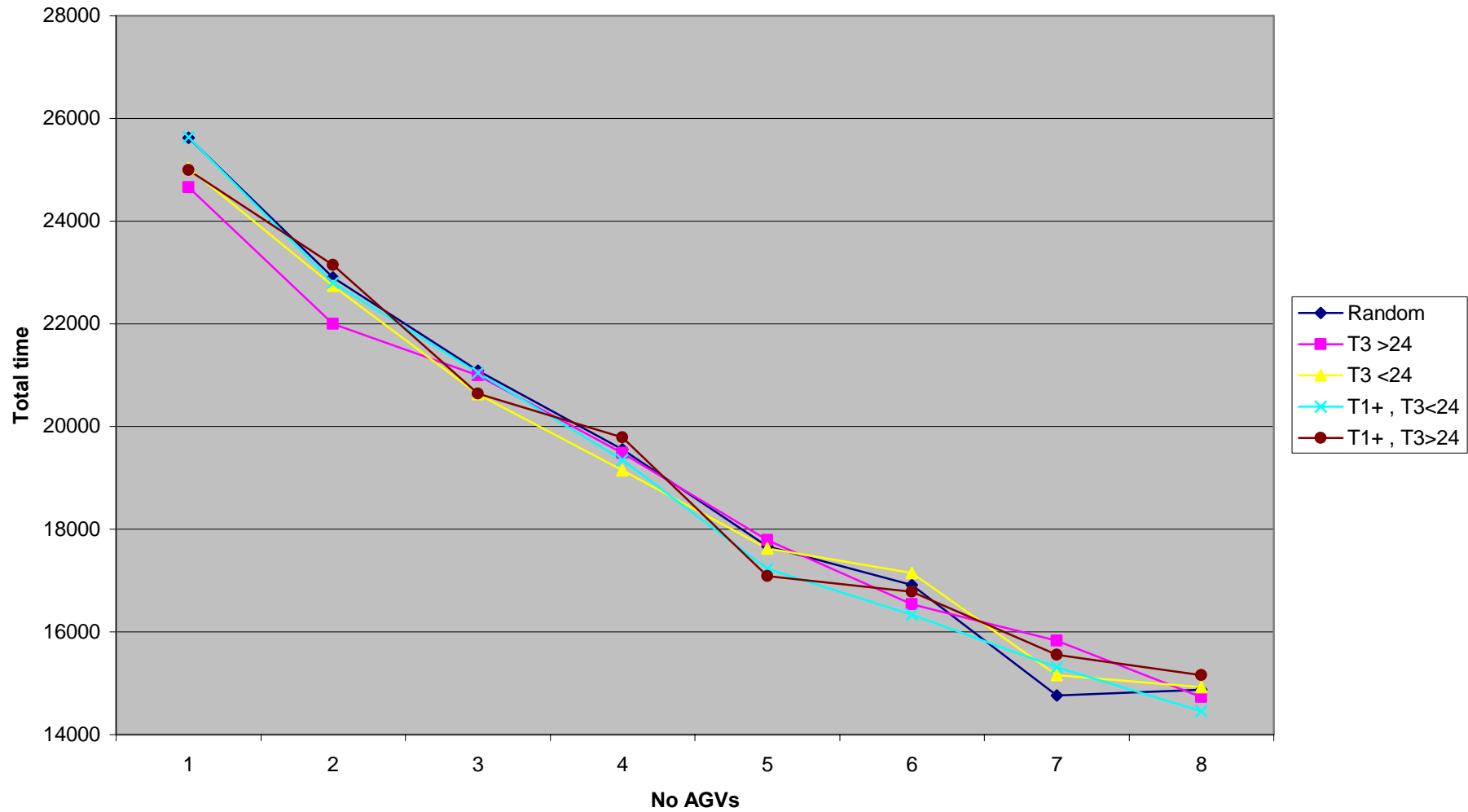
Χρόνος φόρτωσης κοντέινερ 200 sec



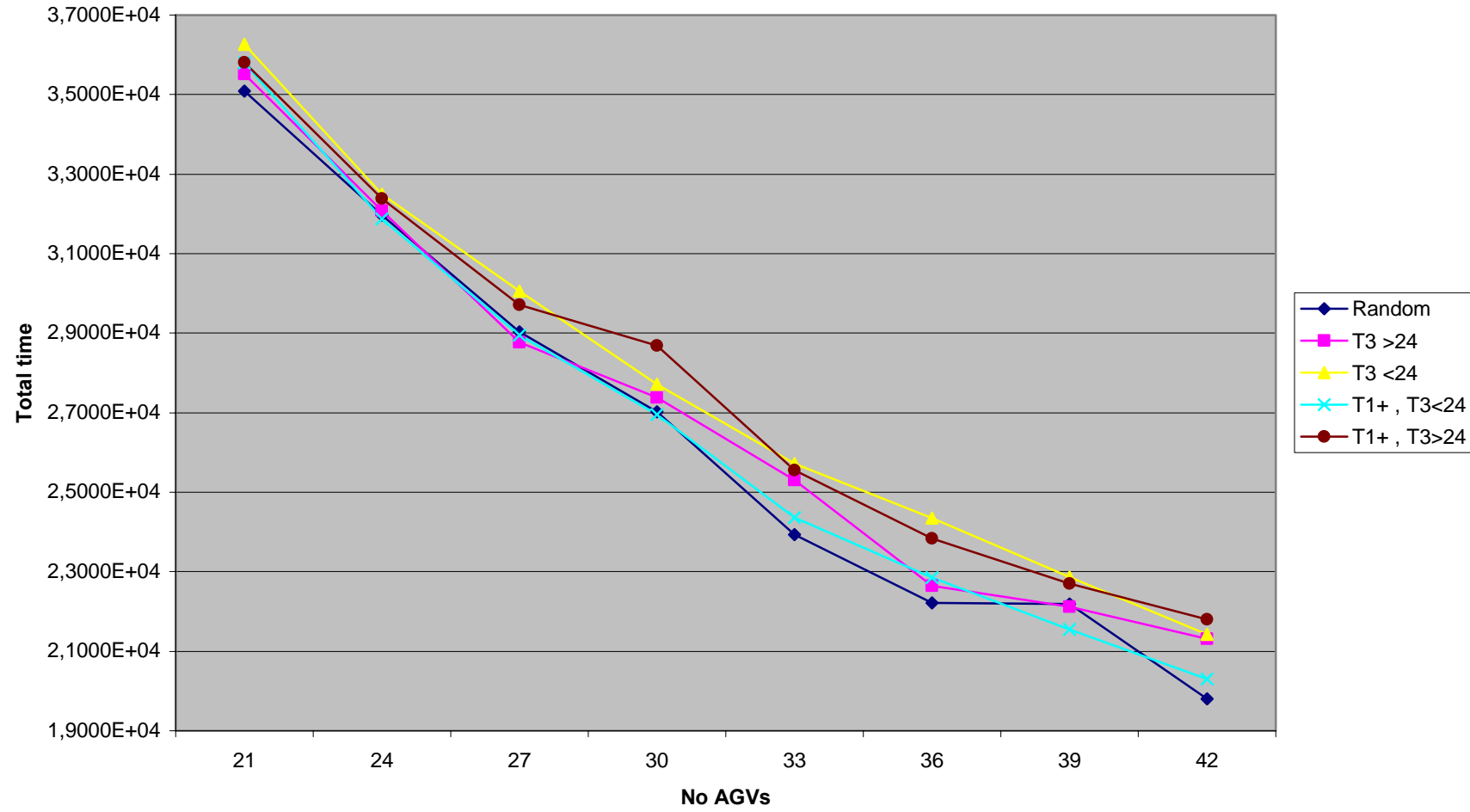
Χρόνος φόρτωσης κοντέινερ 300 sec



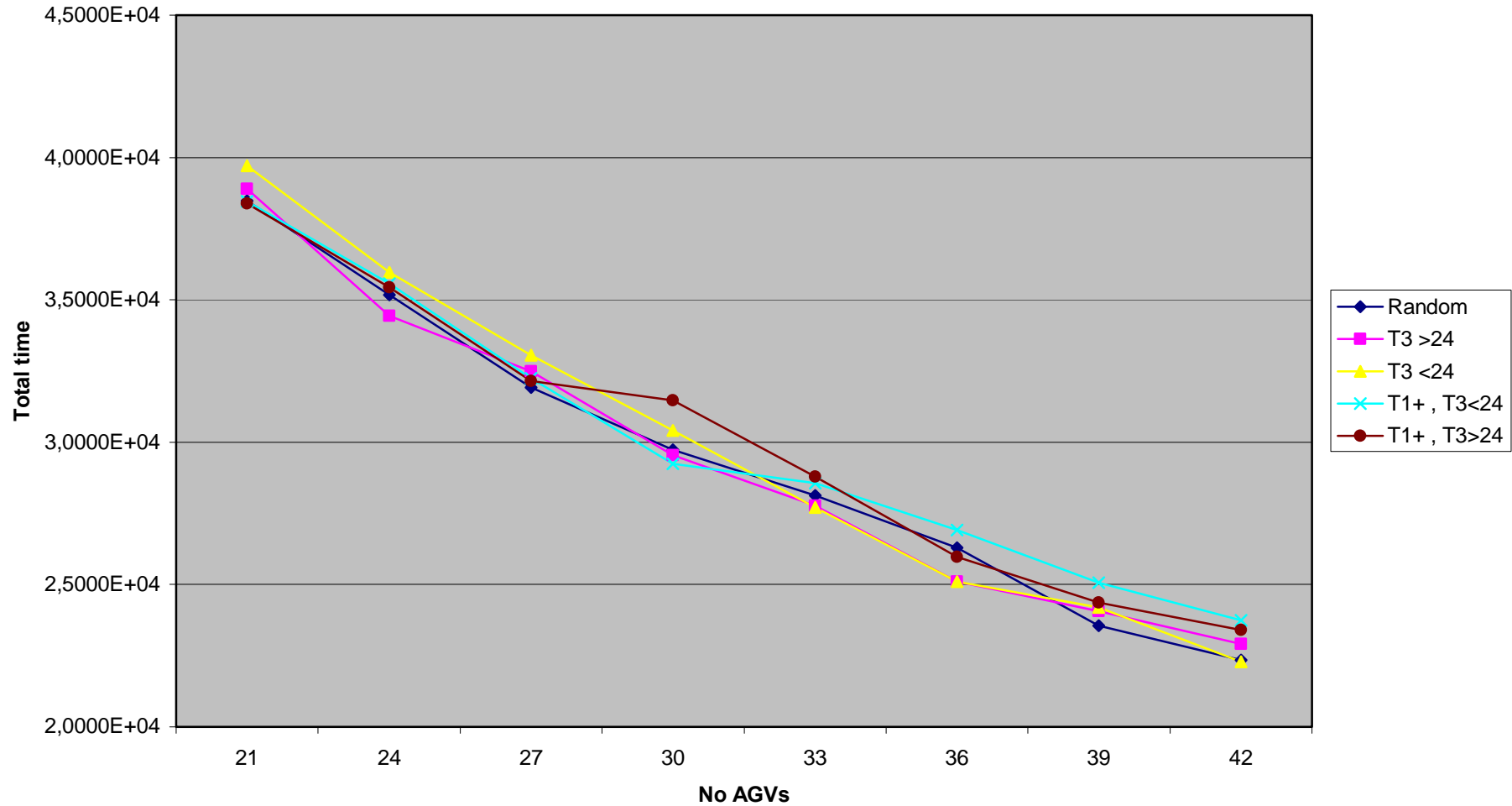
Χρόνος φόρτωσης κοντέινερ 600 sec



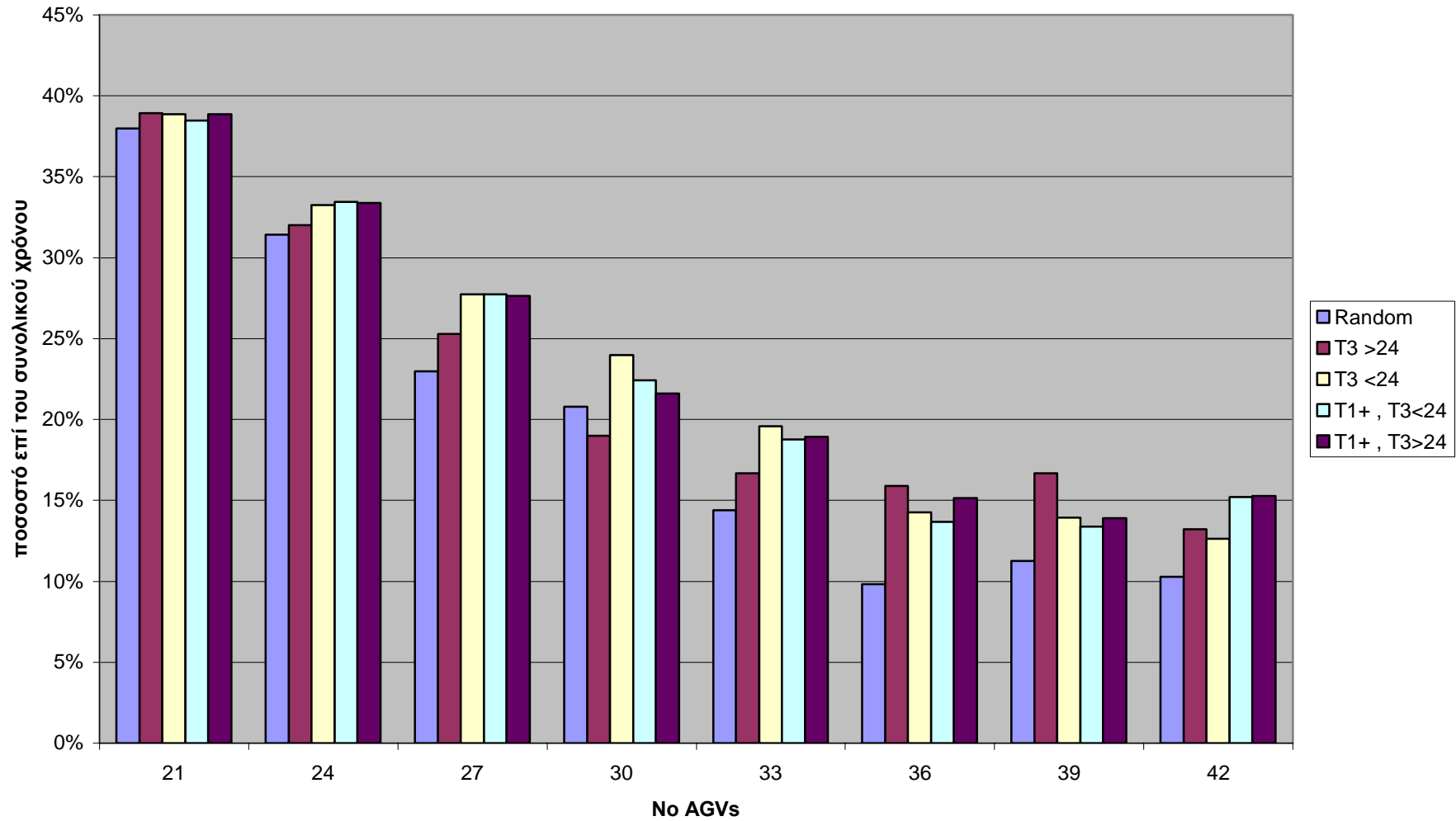
Χρόνος φόρτωσης κοντέινερ 900 sec



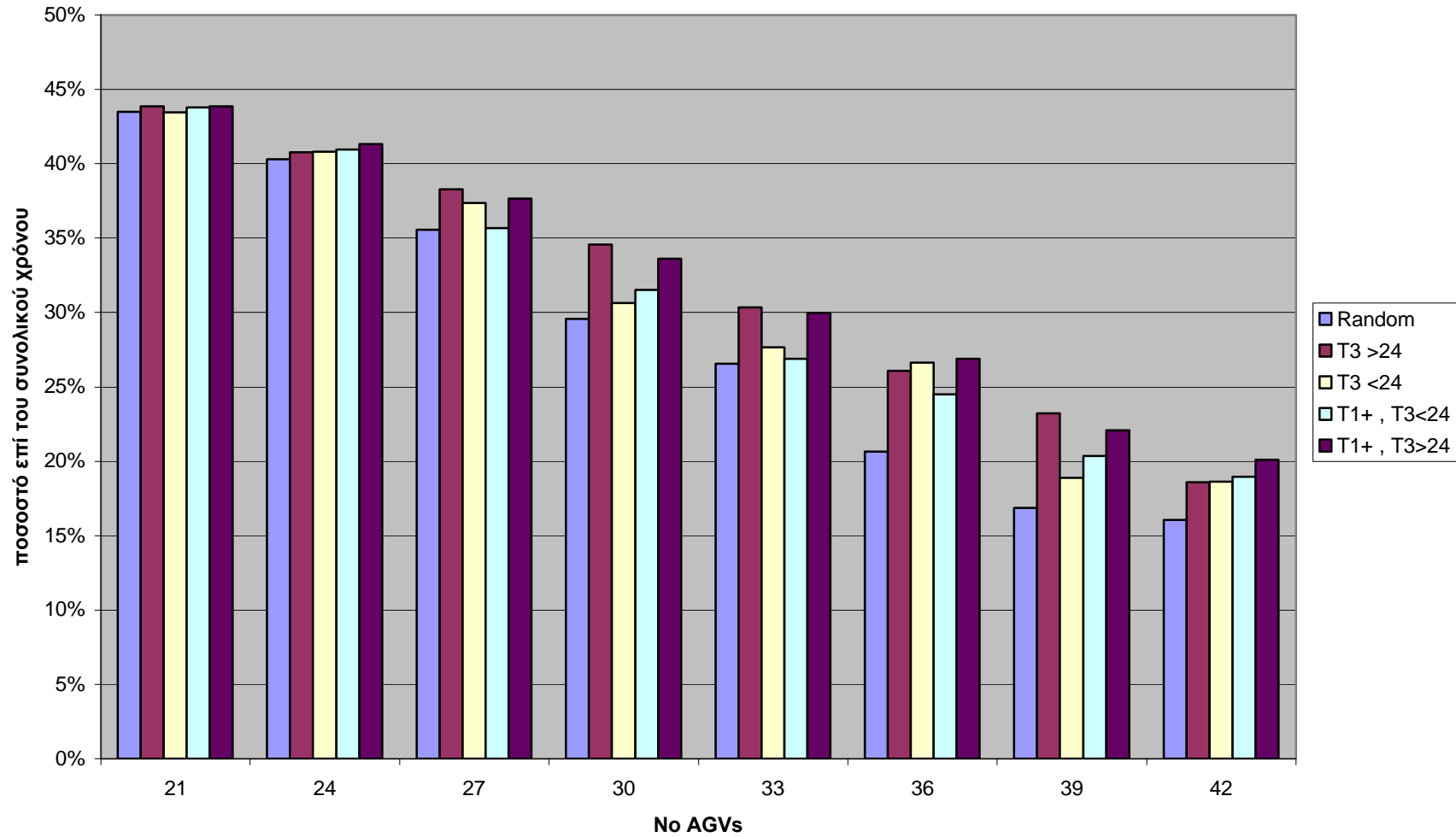
Χρόνος φόρτωσης κοντέινερ 1000 sec



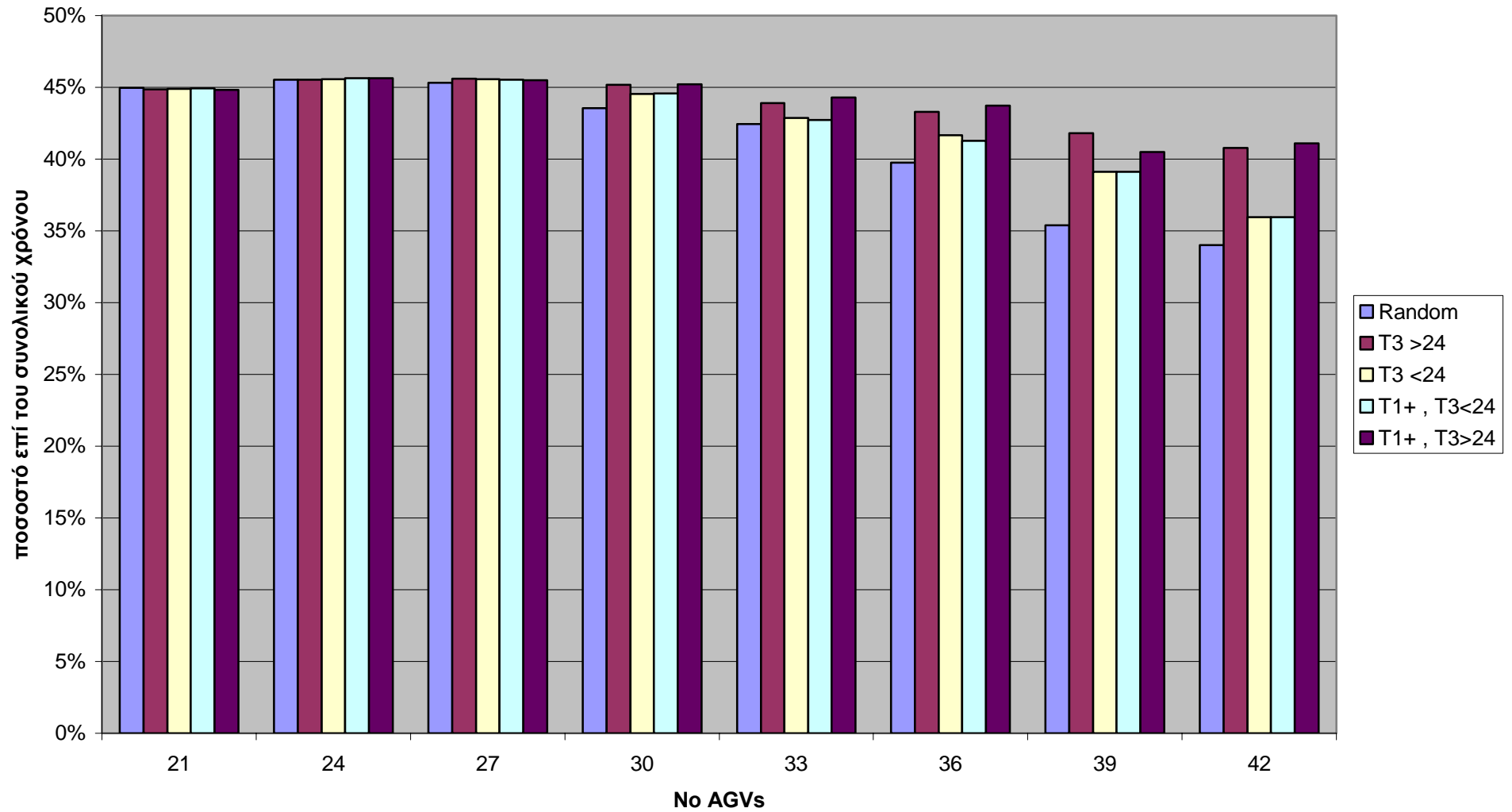
Χρόνος αδράνειας για τους γερανούς του μόλου με χρόνο φόρτωσης κοντέινερ 50sec



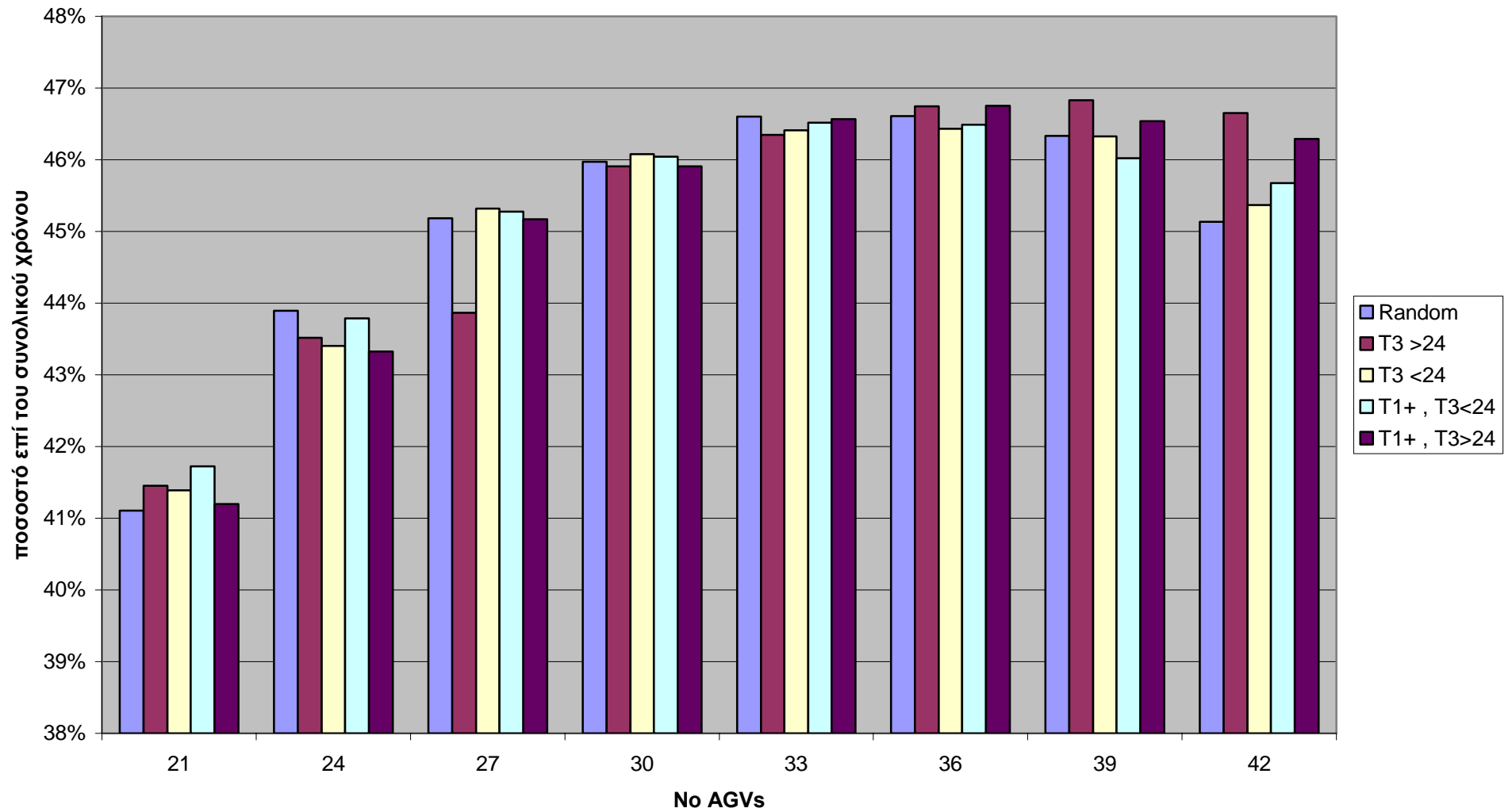
Χρόνος αδράνειας για τους γερανοί του μόλου με χρόνο φόρτωσης κοντέινερ 100 sec



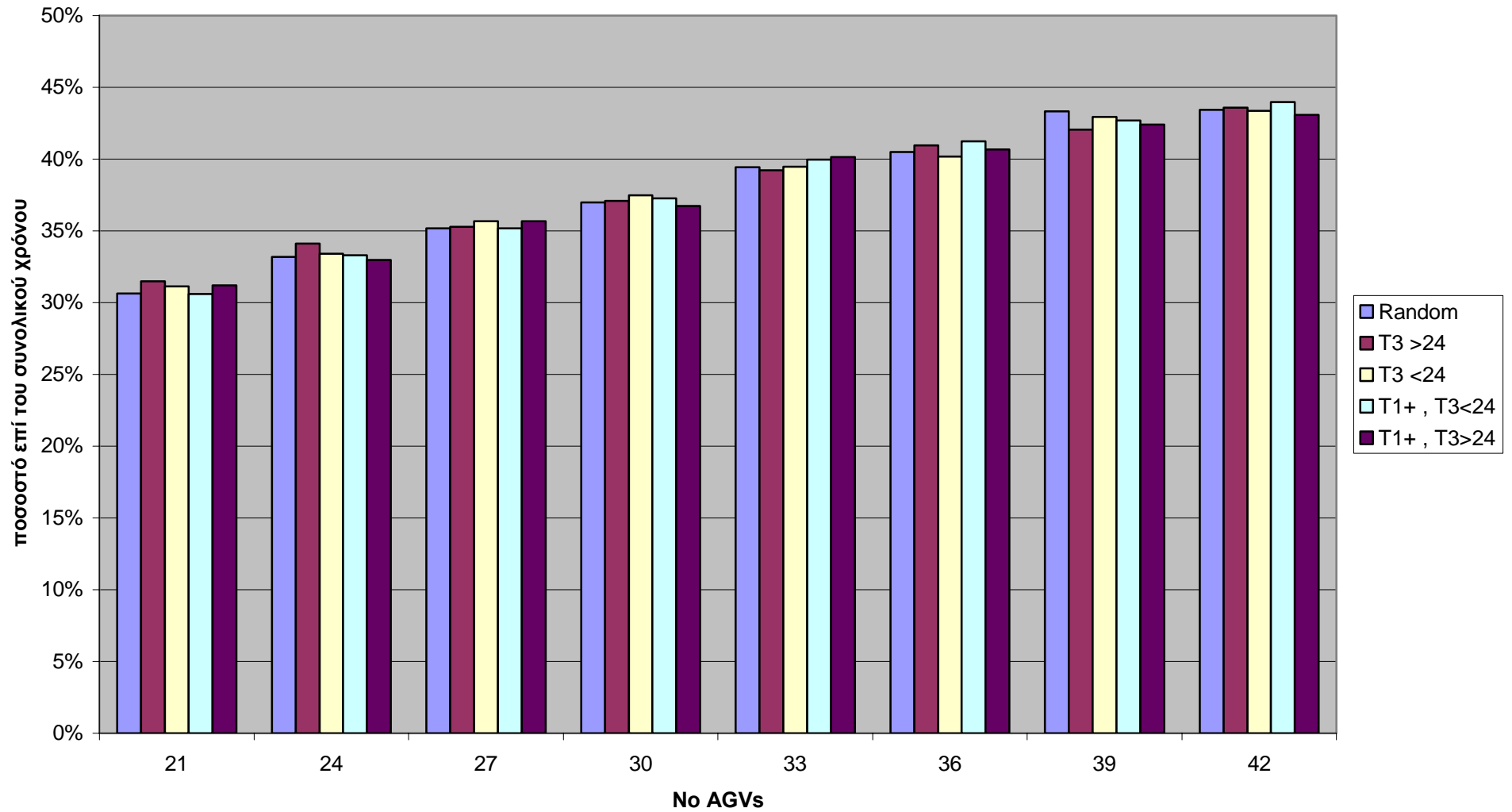
Χρόνος αδράνειας για τους γερανούς του μόλου με χρόνο φόρτωσης κοντέινερ 200 sec



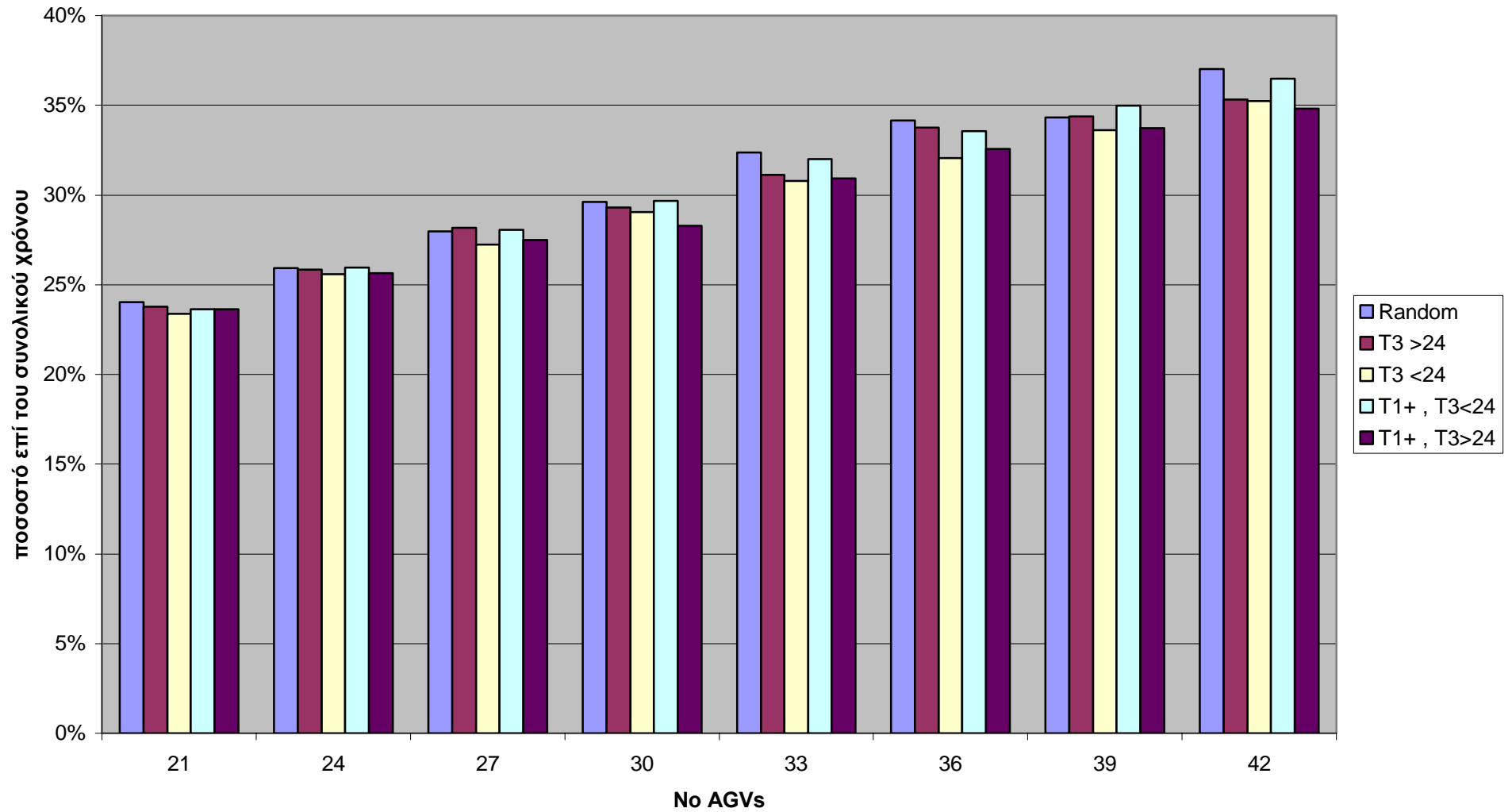
Χρόνος αδράνειας για τους γεραμούς του μόλου με χρόνο φόρτωσης κοντέινερ 300sec



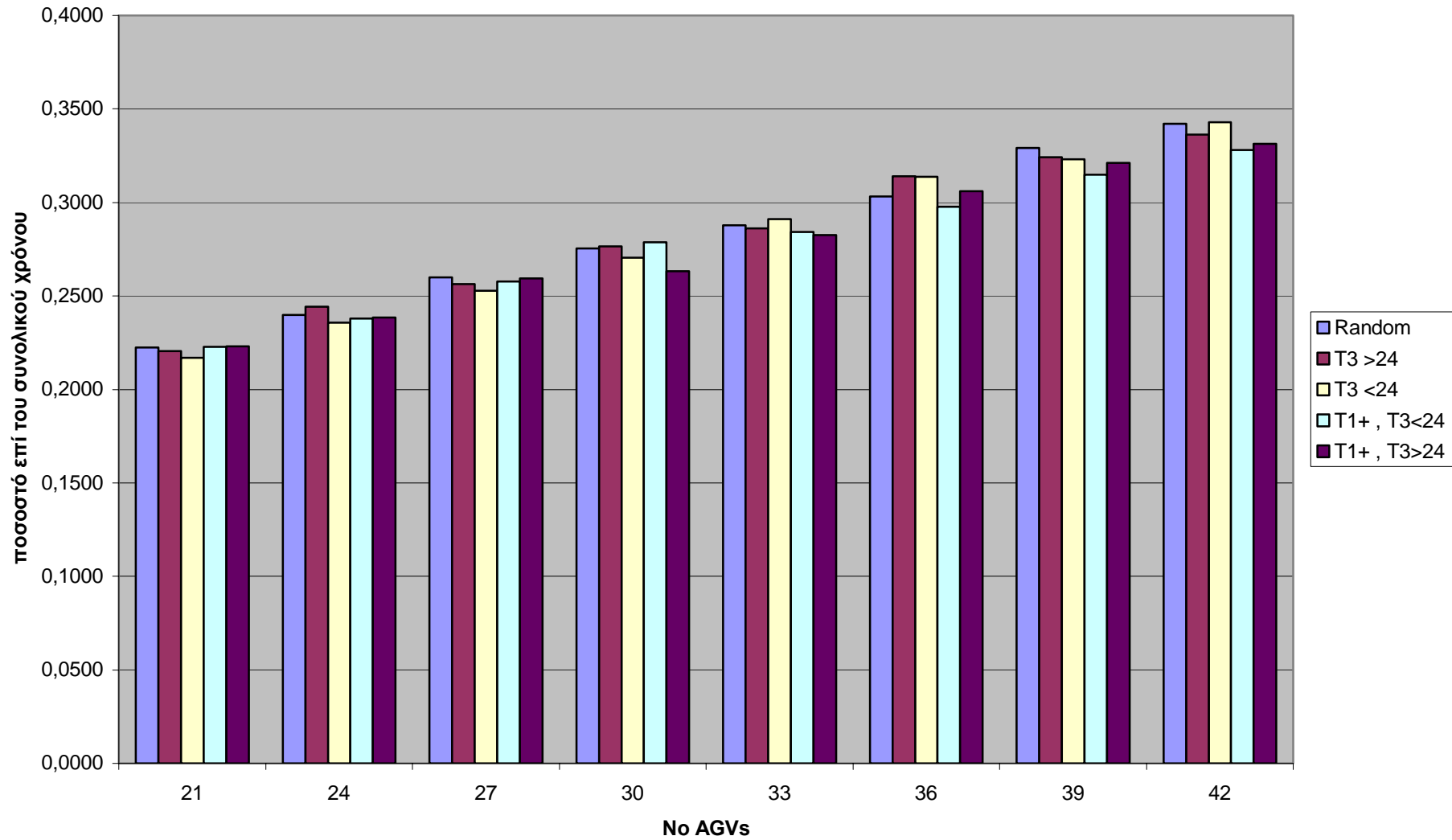
Χρόνος αδράνειας για τους γερανούς του μόλου με χρόνο φόρτωσης κοντέινερ 600sec



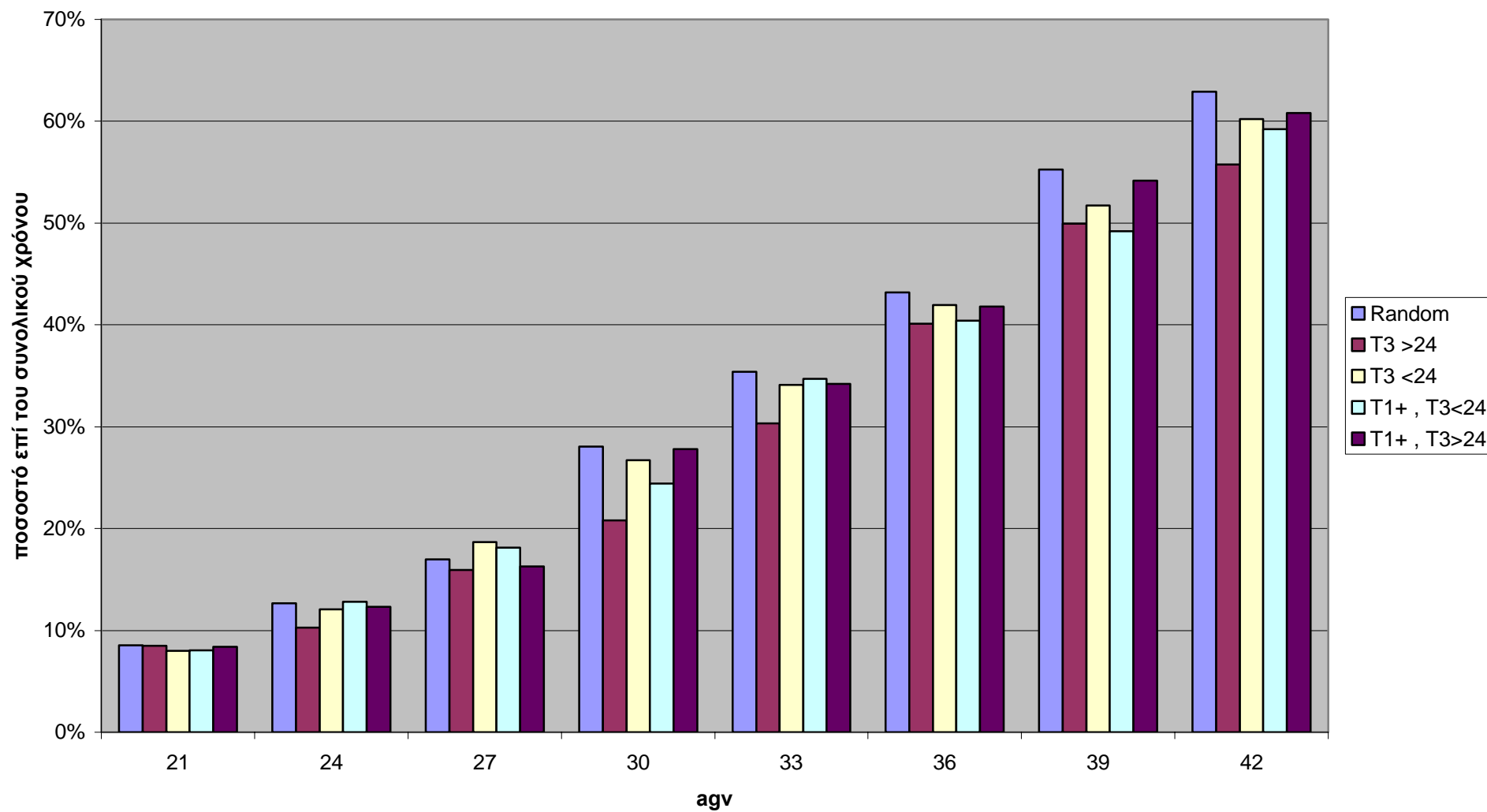
Χρόνος αδράνειας για τους γεραμούς του μόλου με χρόνο φόρτωσης κοντέινερ 900sec



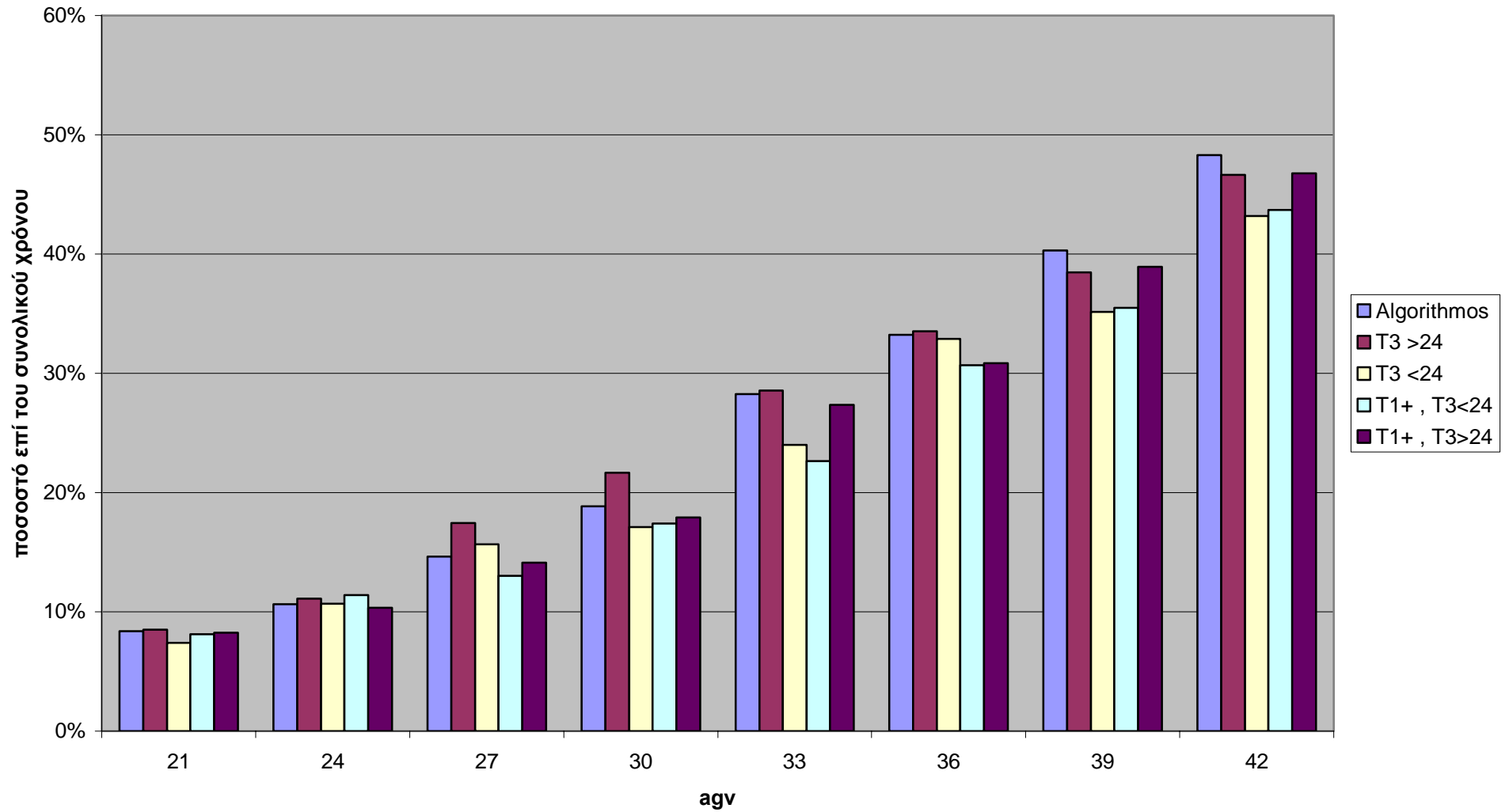
Χρόνος αδράνειας για τους γερανούς του μόλου με χρόνο φόρτωσης κοντέινερ 1000sec



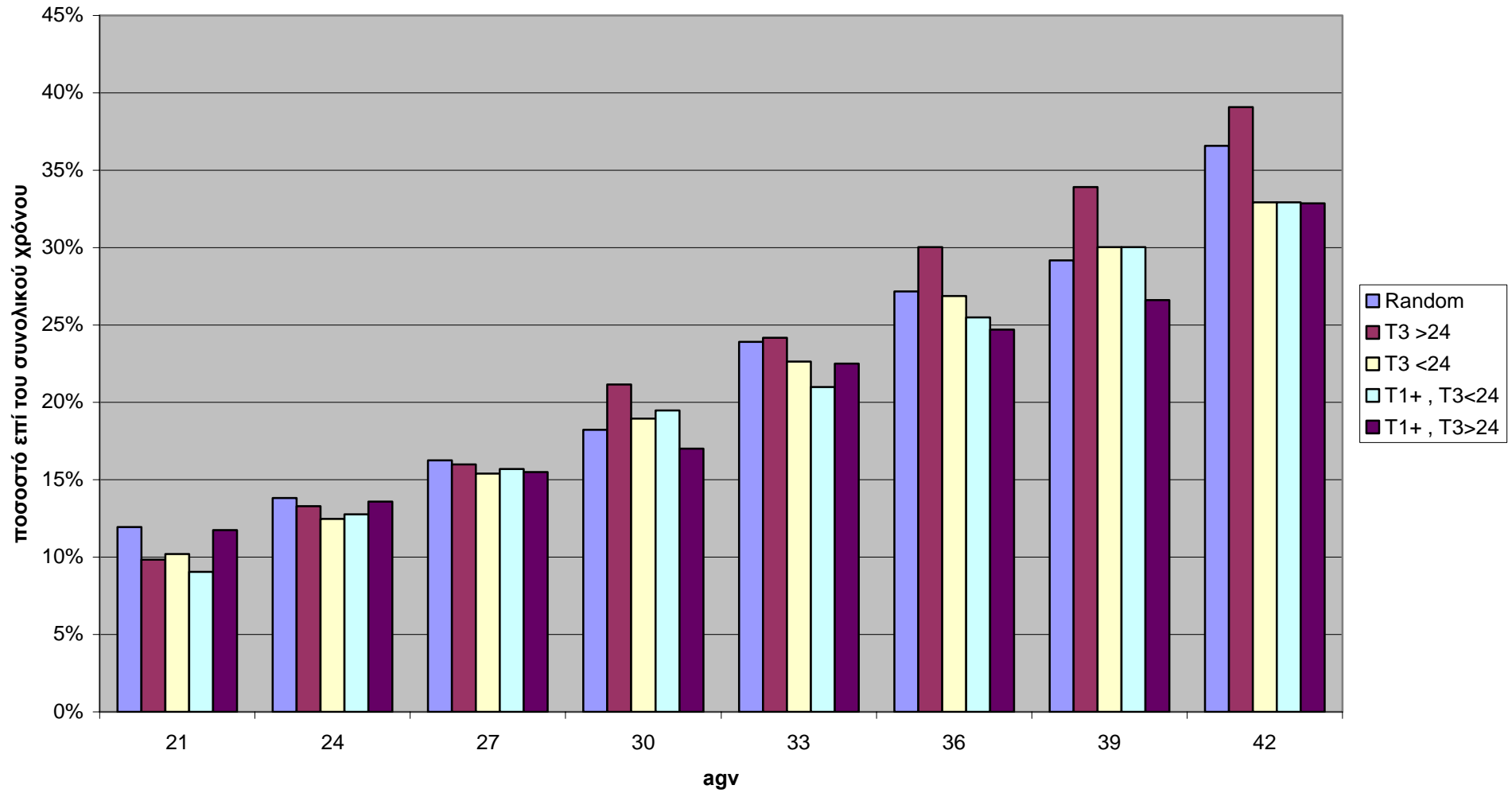
Χρόνος αδράνειας για τα AGV με χρόνο φόρτωσης 50 sec



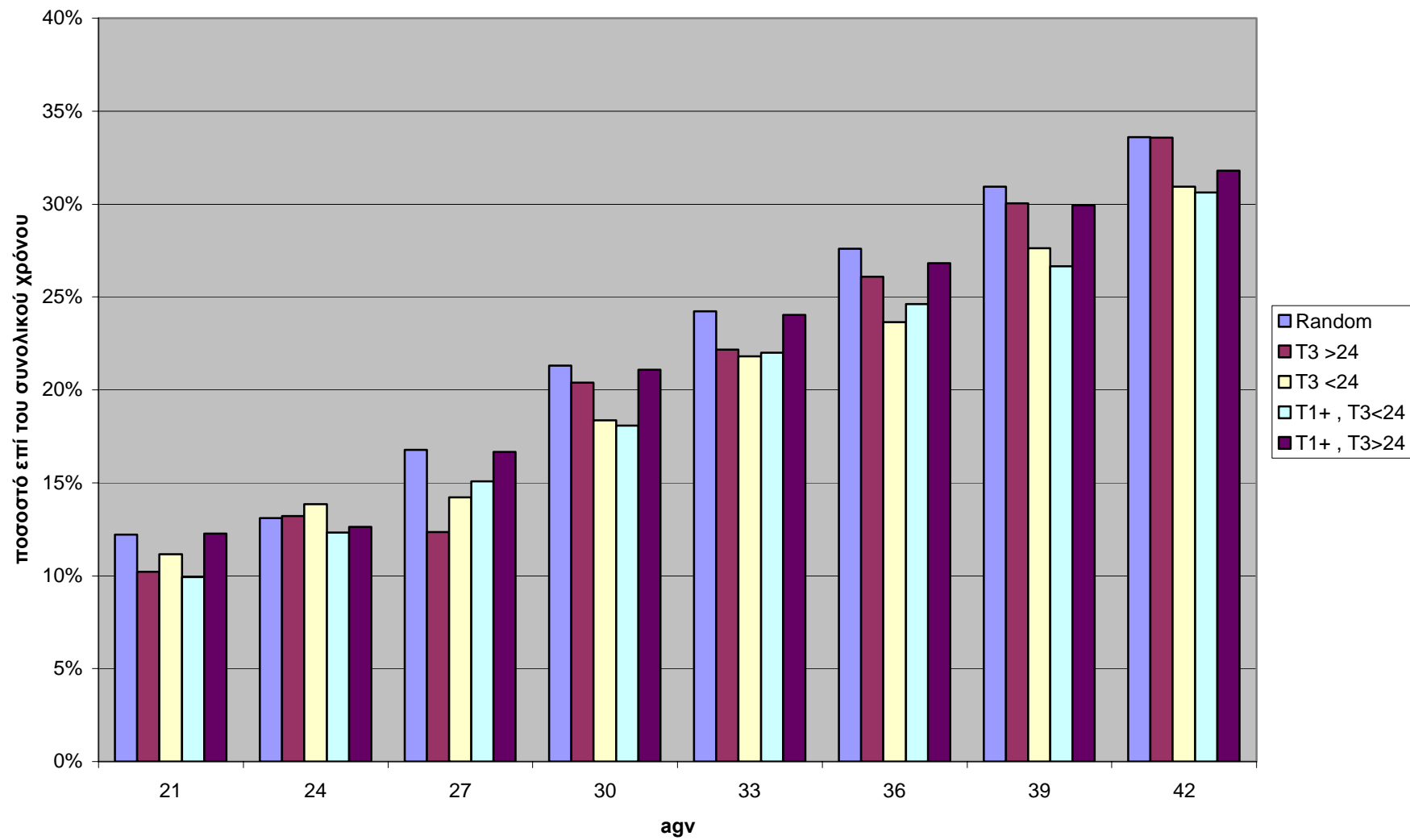
Χρόνος αδράνειας για τα AGV με χρόνο φόρτωσης 100 sec



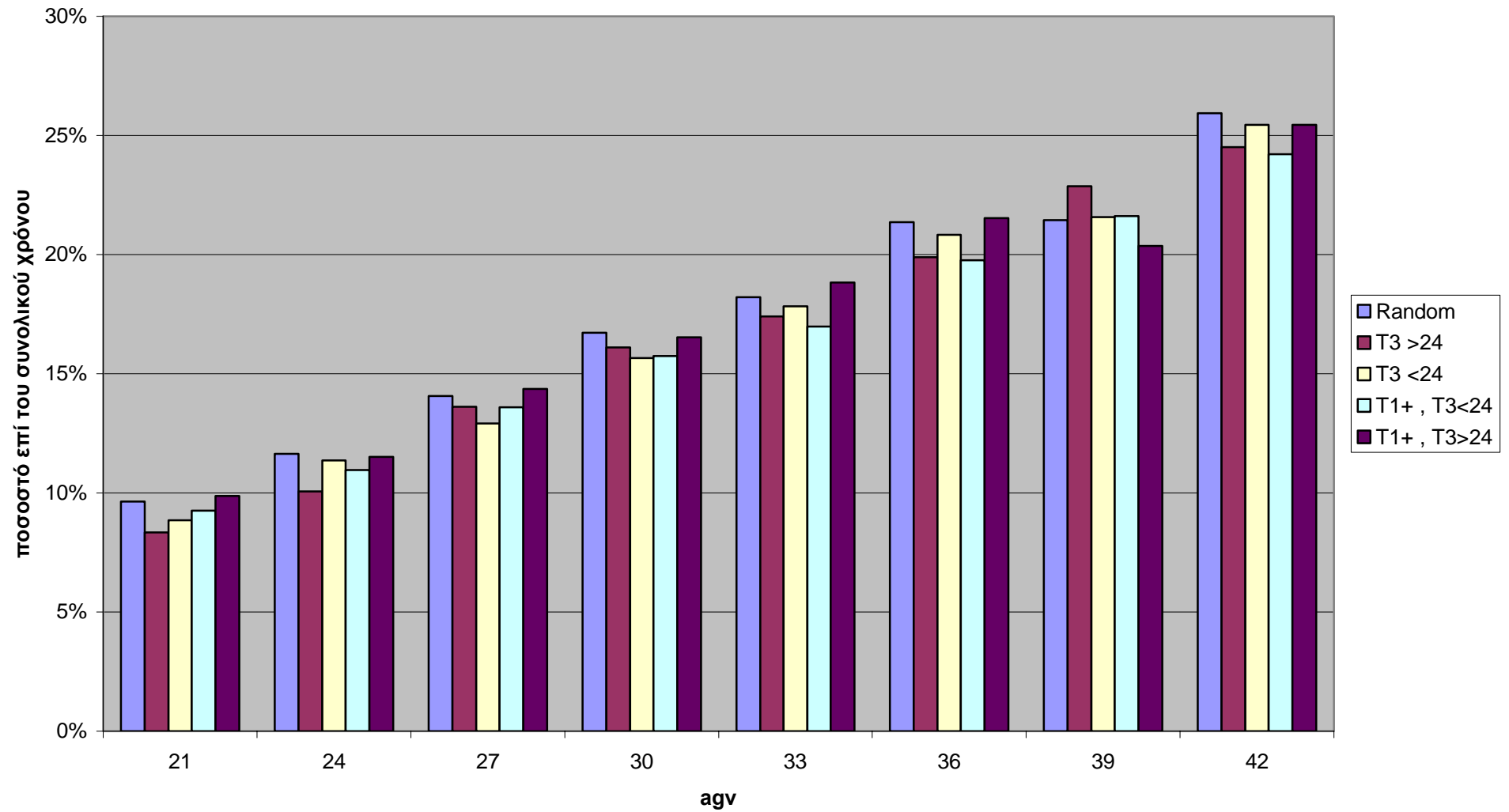
Χρόνος αδράνειας για τα AGV με χρόνο φόρτωσης 200 sec



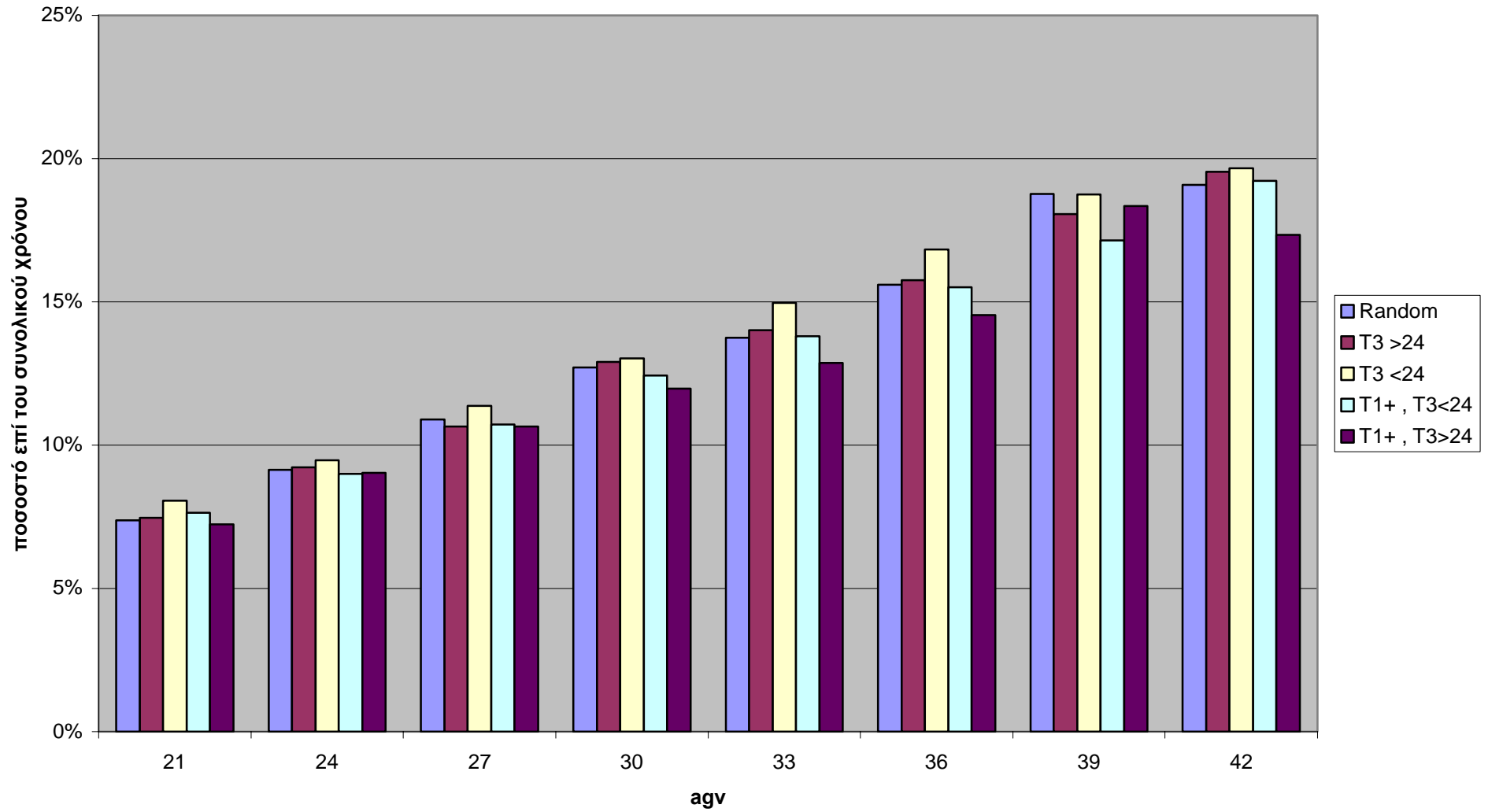
Χρόνος αδράνειας για τα AGV με χρόνο φόρτωσης 300 sec



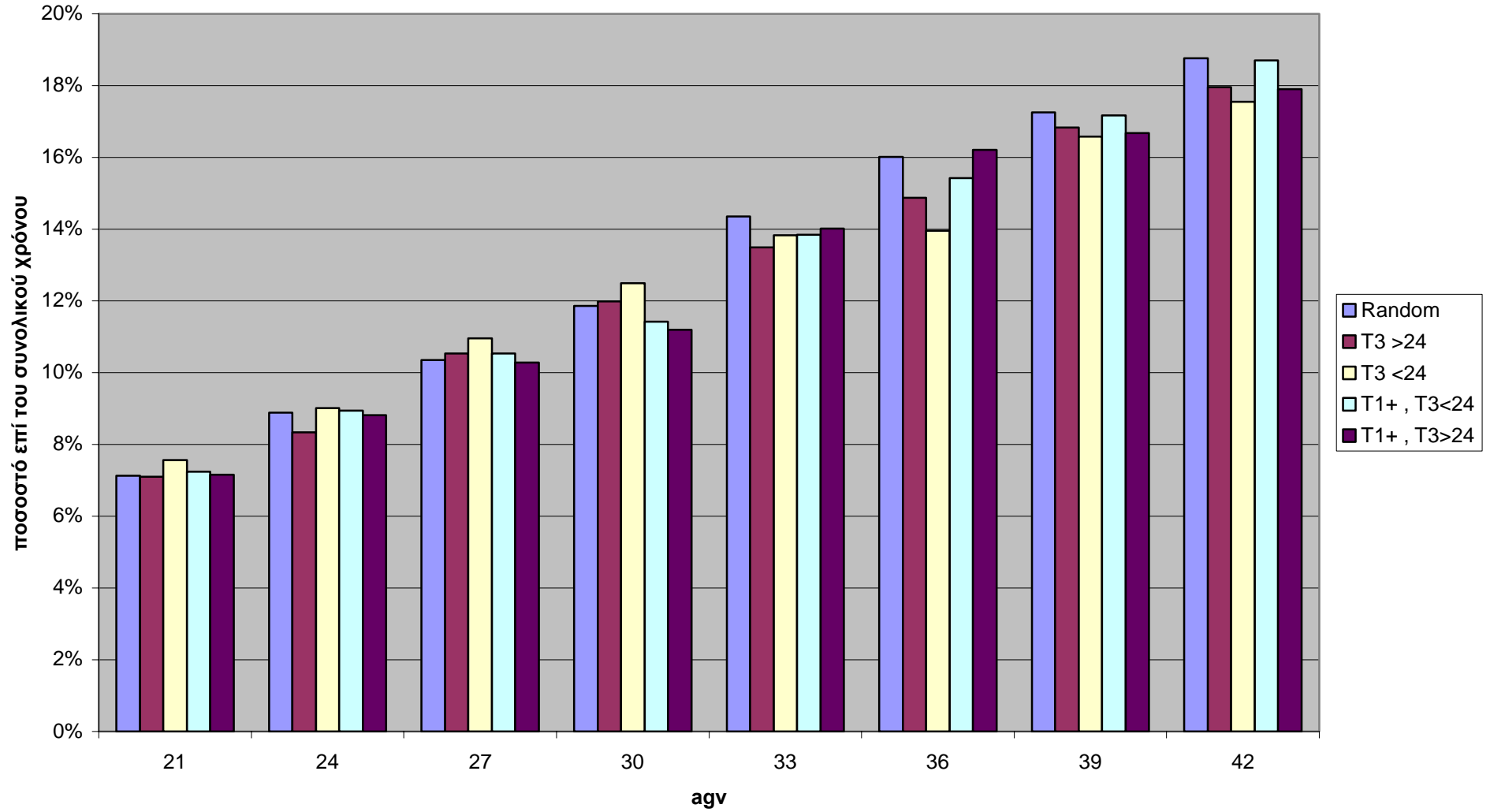
Χρόνος αδράνειας για τα AGV με χρόνο φόρτωσης 600 sec



Χρόνος αδράνειας για τα AGV με χρόνο φόρτωσης 900 sec



Χρόνος αδράνειας για τα AGV με χρόνο φόρτωσης 1000 sec



5.3 Αξιολόγηση

Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε και στο οποίο εφαρμόστηκαν τα παραπάνω σενάρια ανταποκρίνεται σε ρεαλιστικές συνθήκες, εκτός από τον random. Παρ' όλο που το αναμενόμενο θα ήταν να πάρουμε καλύτερους χρόνους από τα σενάρια στα οποία λαμβάναμε υπ' όψη μας τις καθυστερήσεις λόγω συγκρούσεων, μελετώντας τα διαγράμματα συνολικού χρόνου (total time) παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος τυχαίας επιλογής είναι σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις καλύτερος από τα υπόλοιπα σενάρια που εφαρμόστηκαν.

Πιο αναλυτικά βλέπουμε πως ο αλγόριθμος τυχαίας επιλογής για χρόνους φόρτωσης από 50 έως και 200 δευτερόλεπτα είναι καλύτερος για κάθε αριθμό AGVs που χρησιμοποιήθηκε. Στα 300 δευτερόλεπτα τα σενάρια A_1 και A_3 δίνουν καλύτερους χρόνους με μικρή όμως διαφορά από τον random. Στα υπόλοιπα διαγράμματα παρατηρούμε όλα τα σενάρια να δίνουν σχεδόν τους ίδιους χρόνους, με τον random σε αρκετές περιπτώσεις να δίνει καλύτερους χρόνους. Για παράδειγμα με χρόνο φόρτωσης 900 δευτερόλεπτα ο random δίνει καλύτερους χρόνους για 33, 36 και 42 AGVs.

Οι αλγόριθμοι στους οποίους βασίζονται τα σενάρια A_1 έως A_4 λόγω των περιορισμών και των προϋποθέσεων που περιέχουν όσον αφορά τους χρόνους και τις καθυστερήσεις χρειάζονται να έχουν μεγάλο πεδίο δράσης. Αυτό θα έπρεπε να συνέβαινε ούτως ώστε να υπάρχουν πάρα πολλές επιλογές προκειμένου να υπάρχει πάντα αυτή, για την οποία θα ικανοποιούνταν όλες οι προϋποθέσεις. Στην περίπτωση που εξετάζουμε, όπως αποδείχτηκε, ο τερματικός σταθμός δεν ήταν τόσο μεγάλης χωρητικότητας όσο θα χρειαζόταν. Το αποτέλεσμα ήταν ο αλγόριθμος να μην βρίσκει πάντα την βέλτιστη λύση και να κάνει αναθέσεις αναγκαστικά που είτε δεν είναι βέλτιστες ή να καθυστερεί αρκετά περιμένοντας να ικανοποιηθούν οι περιορισμοί. Έχοντας συμβεί ένα από τα προηγούμενα γεγονότα επηρεάζετε και η συνέχεια του αλγορίθμου, διότι συνεχίζει να μπορούσαμε να πούμε από ένα λάθος σημείο που το οδηγεί σε λάθος δρόμο. Έτσι τα αποτελέσματα των τελικών χρόνων δεν είναι τα αναμενόμενα, αλλά χειρότερα.