



ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ  
ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΓΙΑ  
ΑΔΟΜΗΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΝΘΕΚΤΙΚΑ  
ΣΤΗΝ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ**

ΠΑΠΑΝΕΟΦΥΤΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ  
Α.Μ. 4311

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ ΖΑΡΟΛΙΑΓΚΗΣ  
ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΔΡ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΧΑΤΖΗΓΙΑΝΝΑΚΗΣ



## **Ευχαριστίες**

Θερμά ευχαριστώ για τη στήριξη και συνεργασία τους κυρίους (αλφαριθμητικά):

**Αντωνίου Αθανάσιο**

**Ζαρολιάγκη Χρήστο**

**Χατζηγιαννάκη Ιωάννη**

Ευχαριστώ, επίσης, τους γονείς μου για την υπομονή τους.

Παπανεοφύτου Γεωργία,  
Μάρτιος 2015

## **Περίληψη**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετούμε κάποιους από τους βασικότερους υπάρχοντες κατανεμημένους αλγορίθμους, που σχεδιάστηκαν με σκοπό τη μετάδοση πληροφοριών ανάμεσα σε κόμβους αδόμητων κινητών δικτύων ανθεκτικών σε καθυστερήσεις.

Δίνουμε αρχικά στον αναγνώστη τις απαραίτητες πληροφορίες για τα αδόμητα δίκτυα ανθεκτικά σε καθυστέρηση και στη συνέχεια παρουσιάζουμε μερικούς από τους αλγορίθμους, που αναπτύχθηκαν για χρήση σε αυτά.

Τέλος αξιολογούμε πειραματικά τους εν λόγω αλγορίθμους, με τη βοήθεια του προσωμοιωτή ONE, χρησιμοποιώντας πραγματικά και τεχνητά δεδομένα και παραθέτουμε αναλυτικά τα αποτελέσματά μας.

**Λέξεις κλειδιά:** Delay Tolerant Networks, Disruption Tolerant Networks, Probabilistic Routing, Epidemic Routing, Spray and Wait, PRoPHET, MaxProp, Opportunistic Network Environment

# **Περιεχόμενα**

<b>Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....</b>	<b>6</b>
1.1 Κίνητρο και σημασία .....	6
1.2 Στόχος .....	8
1.3 Συνεισφορά .....	8
1.4 Δομή .....	10
<b>Κεφάλαιο 2: Κατανεμημένοι αλγόριθμοι δρομολόγησης για δίκτυα ανθεκτικά σε καθυστέρηση.....</b>	<b>11</b>
2.1 Άμεση παράδοση (Direct Delivery) .....	11
2.2 Επιδημικό πρωτόκολλο (Epidemic).....	12
2.3 Spray and Wait.....	12
2.4 PRoPHET και PRoPHETv2.....	12
2.5 MaxProp .....	14
<b>Κεφάλαιο 3: Ο προσομοιωτής ONE (Opportunistic Network Environment) .....</b>	<b>16</b>
3.1 Περιγραφή λειτουργίας .....	16
3.2 Περιγραφή γραφικού περιβάλλοντος .....	18
<b>Κεφάλαιο 4: Πειραματική αξιολόγηση.....</b>	<b>20</b>
4.1 Περίπτωση 1: Συνέδριο .....	21
4.1.1 Μέρα 1 .....	21
4.1.2 Μέρα 2 .....	28
4.1.3 Μέρα 3 .....	44
4.1.4 Μέρα 4 .....	57
4.2 Περίπτωση 2: Περιβάλλον εργασίας .....	63
4.3 Περίπτωση 3: Επαφές σύμφωνα με πρόγραμμα .....	80
4.4 Περίπτωση 4: Καθημερινή ζωή 1 .....	95
4.5 Περίπτωση 5: Καθημερινή ζωή 2 .....	118
<b>Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και μελλοντικές κατευθύνσεις.....</b>	<b>125</b>
5.1 Τελικά συμπεράσματα .....	125
5.2 Μελλοντικές κατευθύνσεις .....	127
<b>Ευρετήριο Σχημάτων και Πινάκων.....</b>	<b>128</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>133</b>

# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

## 1.1 Κίνητρο και σημασία

Η ραγδαία ανάπτυξη των μικρο-ηλεκτρονικών έχει οδηγήσει στην εξίσου εκπληκτική πρόοδο των φορητών συσκευών με συνεχώς αυξανόμενες δυνατότητες και έχει καταστήσει πολλές συσκευές κινούμενα κανάλια επικοινωνίας. Τα ασύρματα δίκτυα είναι πλέον αναπόσπαστο μέρος της καθημερινής ζωής του σύγχρονου ανεπτυγμένου κόσμου. Η συνδεσιμότητα, όμως, αυτή επιτυγχάνεται κατά κύριο λόγο με την ύπαρξη κάποιου παροχέα υπηρεσιών τηλεφωνίας και διαδικτύου, που μέσω καλωδίων έχει συνδεδεμένο το κατάλληλο υλικό δημιουργώντας έτσι το δίκτυό του και κατ' επέκταση το διαδικτύο.

Τι γίνεται όμως σε περίπτωση μη ύπαρξης ή απώλειας του δικτύου κορμού; Πώς αλλιώς μπορεί να καταστεί εφικτή η επικοινωνία μεταξύ των συσκευών; Λύση σε αυτό το πρόβλημα καλούνται να δώσουν τα αδόμητα κινητά δίκτυα, δίκτυα δηλαδή που σχηματίζονται δυναμικά μεταξύ κόμβων, χωρίς καλωδιώσεις και κεντρικά σημεία πρόσβασης. Σε τέτοια ευκαιριακά δίκτυα είναι σαφές πως υπάρχουν διαρκείς αλλαγές, με πολλές απροειδοποίητες διακοπές και αποκοπές σύνδεσης και επομένως δεν υπάρχει κατά ανάγκη σύνδεση από άκρο εις άκρο του αποστολέα ενός μηνύματος με τον παραλήπτη. Σε αρκετές περιπτώσεις η πηγή και ο προορισμός χωρίζονται από τεράστιες φυσικές αποστάσεις και άρα, για τη μετάδοση των δεδομένων, απαιτείται η αποστολή αντιγράφων και σε άλλους ενδιάμεσους κόμβους (relays), οι οποίοι αναλαμβάνουν να παραδώσουν το μήνυμα χρησιμοποιώντας τη μέθοδο αποθήκευσης-μεταφοράς-προώθησης. Αντιλαμβανόμαστε, λοιπόν, πως σε τέτοιες περιπτώσεις ο χρόνος παράδοσης ενός μηνύματος είναι ακαθόριστος και μπορεί να διαρκέσει ακόμα και μέρες.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα αδόμητων κινητών δικτύων ανθεκτικών σε καθυστέρηση, για την καλύτερη κατανόηση του θέματος:

A) Διαπλανητική επικοινωνία: Η έρευνα για τα δίκτυα ανθεκτικά σε καθυστέρηση προέκυψε από την ανάγκη επικοινωνίας μεταξύ πλανητών και δορυφόρων, για τη συλλογή πληροφοριών. Οι τεράστιες φυσικές αποστάσεις και οι σπάνιες οπτικές επαφές στο διάστημα, οδήγησαν στη δημιουργία μιας άλλης κατηγορίας πρωτοκόλλων επικοινωνίας, που να μπορούν να αντιμετωπίσουν τη μεγάλη καθυστέρηση και τα πολλά σφάλματα μετάδοσης.

B) Δίκτυα σε περιπτώσεις πολέμου ή φυσικών καταστροφών: Οι υποδομές πολλές φορές καταστρέφονται, καθιστώντας την επικοινωνία αδύνατη μέσω των παραδοσιακών δικτύων. Έτσι, θα ήταν χρήσιμο να μπορεί να γίνεται χρήση κινητών δρομολογητών που να βρίσκονται για παράδειγμα σε στρατιωτικά οχήματα, πλοία ή στα χέρια του προσωπικού άμεσης ανάγκης σε ένα σεισμό.

Γ) Σύνδεση απόμακρων περιοχών χωρίς υποδομές: Τα δίκτυα ανθεκτικά σε καθυστέρηση μπορούν να προσφέρουν συνδεσιμότητα, χαμηλή σε κόστος, σε αγροτικές ή άλλες περιοχές που δεν έχουν τα κατάλληλα μέσα επικοινωνίας. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να γίνει εκμετάλλευση των μεταφορικών μέσων, όπως

λεωφορεία ή πλοιά, που σε κάθε επίσκεψή τους στην περιόχη θα μαζεύουν τα μηνύματα προς αποστολή και θα τα μεταδίδουν σε άλλες περιοχές με πρόσβαση στο διαδίκτυο.

**Δ) Άνθρωποι με φορητές συσκευές:** Μπορεί να δημιουργηθεί ένα δίκτυο για τη μεταξύ τους επικοινωνία ή ακόμα και για την πρόσβαση στο διαδίκτυο ή άλλους πόρους, όταν αυτή δεν είναι εφικτή για όλους τους κόμβους. Αυτοί που κατέχουν τους πόρους ή βρίσκονται συνδεδεμένοι σε ένα δίκτυο 802.11, μπορούν να προσφέρουν υπηρεσίες στους υπόλοιπους.

Πολλά άλλα παραδείγματα μπορούν να αναφερθούν, όπως είναι τα δίκτυα αισθητήρων ή δίκτυα για τη μελέτη της συμπεριφοράς άγριων ζώων (π.χ ZebraNet, SWIM), επικοινωνία ανάμεσα σε ταξί κλπ.

Έχοντας δώσει τη γενική εικόνα, μπορούμε πλέον να ορίσουμε τα κυριότερα **χαρακτηριστικά** των DTN, που αποτελούν και τις προκλήσεις που έχουν να αντιμετωπίσουν οι αλγόριθμοι δρομολόγησης για αυτή την κατηγορία δικτύων:

**Α) Τυχαίες, δυναμικές τοπολογίες:** Οι κόμβοι έρχονται και παρέρχονται αυθαίρετα, χωρίς να υπάρχει εκ των προτέρων γνώση των κινήσεων τους. Ο κάθε κόμβος, ανάλογα με το είδος του (πχ. όχημα, άνθρωπος, ζώο) εκτελεί τη δικιά του κίνηση, με διαφορετική ταχύτητα και προς άγνωστη κατεύθυνση για τους υπόλοιπους. Έχουμε, έτσι, ένα ασταθές, συνεχώς μεταβαλλόμενο δίκτυο με διακοπόμενες συνδέσεις και μεγάλες καθυστερήσεις. Η έλλειψη γνώσης της τοπολογίας του δικτύου είναι και ο κύριος παράγοντας αποτυχίας των παραδοσιακών πρωτοκόλλων, που βασίζονται σε αυτή για τις αποφάσεις δρομολόγησης των δεδομένων. Τα δυναμικά πρωτόκολλα, όπως θα δούμε στη συνέχεια, τείνουν να χρησιμοποιούν τοπικές μετρήσεις (πχ. αριθμός συναντήσεων με άλλους κόμβους) για την καλύτερη προώθηση των μηνυμάτων.

**Β) Άγνωστα χαρακτηριστικά επαφών:** Πέραν της άγνοιας των μελλοντικών επαφών, άγνωστη είναι και η διάρκεια, καθώς και η χωρητικότητά τους. Η χωρητικότητα μιας επαφής εξαρτάται από την απόσταση ανάμεσα στους δύο εμπλεκόμενους κόμβους, την ταχύτητα μετάδοσης και τη διάρκεια της σύνδεσης. Με την έντονη κινητικότητα που χαρακτηρίζει τα δίκτυα που μελετούμε, είναι δύσκολο να γίνει πρόβλεψη του μεγέθους αυτού. Έτσι, ο αλγόριθμος δρομολόγησης έχει δύσκολο έργο στο να αποφασίσει σε ποιον κόμβο θα αποστείλει τα δεδομένα, αν πρέπει να στείλει όλα ή μέρος τους και ποιο μέρος θα είναι αυτό.

**Γ) Περιορισμένοι πόροι:** Οι κινητές συσκευές έχουν συνήθως περιορισμένη χωρητικότητα μνήμης, υπολογιστική ικανότητα και διαθέσιμη ενέργεια. Πρέπει, λοιπόν, να γίνεται η όσο το δυνατόν αποδοτικότερη αξιοποίηση του υλικού των κόμβων. Διάφοροι τρόποι έχουν προταθεί, που στοχεύουν στην καλύτερη διαχείριση της μνήμης και τη μείωση των μεταδόσεων, όπως φαίνεται και στο επόμενο κεφάλαιο.

Στη διπλωματική αυτή καλούμαστε να μελετήσουμε και να ελέγξουμε πειραματικά τέσσερις από τους δημοφιλέστερους κατανεμημένους αλγορίθμους

δρομολόγησης, που έχουν αναπτυχθεί με στόχο την καλύτερη δυνατή επικοινωνία μεταξύ των κόμβων ενός αδόμητου κινητού δικτύου, εφαρμόζοντάς τους σε διάφορα σενάρια. Εξετάζουμε το Επιδημικό πρωτόκολλο που είναι ένας αλγόριθμος πλημμύρας, το πρωτόκολλο Spray and Wait που «ψεκάζει» στο δίκτυο περιορισμένο αριθμό αντιγράφων, το πρωτόκολλο PRoPHET, που βασίζεται στην πιθανοτική δρομολόγηση με βάση το ιστορικό επαφών των κόμβων και βρίσκεται στη δεύτερη έκδοση και τέλος τον αλγόριθμο MaxProp, που εκτιμά την πιθανότητα παράδοσης ενός μηνύματος από κάποιο κόμβο πριν προχωρήσει σε αναμετάδοση.

Κίνητρο αποτέλεσε η ανεπαρκής ύπαρξη μελετών, που να καταπιάνονται με την εκτέλεση των προτεινόμενων αλγορίθμων σε πραγματικές συνθήκες και τη σύγκρισή τους στις περιπτώσεις αυτές, καθώς και τα ελλειπή πειράματα με τη διαφοροποίηση επιμέρους παραμέτρων και της εξέτασης του αντίκτυπού τους στα σενάρια αυτά.

## 1.2 Στόχος

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση μερικών από τα πρωτόκολλα δρομολόγησης μηνυμάτων σε δίκτυα ανθεκτικά σε καθυστερήσεις. Εκτελούνται πειράματα, κυρίως με πραγματικά δεδομένα κίνησης, με σκοπό την απόδοση μιας πιο ρεαλιστικής εικόνας της συμπεριφοράς αυτών των αλγορίθμων στην πράξη.

## 1.3 Συνεισφορά

Η εργασία αυτή έρχεται για να συνεισφέρει στο πεδίο των δικτύων ανθεκτικών σε καθυστερήσεις με την πειραματική εκτέλεση κάποιων δημοφιλών κατανευμημένων αλγορίθμων δρομολόγησης μηνυμάτων. Εφαρμόζουμε τα πρωτόκολλα Επιδημικό, Spray and Wait, PRoPHETv2 και MaxProp σε πέντε διαφορετικά κινητικά μοντέλα, σε ένα πλήθος σεναρίων, τα δεδομένα των οποίων –πλην ενός– προέρχονται από πραγματικά περιβάλλοντα κίνησης κόμβων. Στο πρώτο μοντέλο έχουμε δεδομένα κίνησης από τους συμμετέχοντες σε ένα συνέδριο και στο δεύτερο από υπαλλήλους μιας εταιρείας που κινούνται στο εργασιακό περιβάλλον. Στο τρίτο μοντέλο φοιτητές ακολουθούν ένα πρόγραμμα μαθημάτων και στο τέταρτο οι συμμετέχοντες είναι σπουδαστές στο ίδιο πανεπιστήμιο και κινούνται στην πόλη τους κάνοντας τις καθημερινές τους δραστηριότητες. Το πέμπτο και τελευταίο περιβάλλον είναι τεχνητό, αρκετά όμως ρεαλιστικό, και διαδραματίζεται στην πόλη του Ελσίνκι με τη συμμετοχή κόμβων διαφόρων ιδιοτήτων, όπως είναι ομάδες ανθρώπων, αυτοκίνητα και τραμ.

Σε κάθε μοντέλο κίνησης εκτελείται μια πληθώρα πειραμάτων με διαφοροποιημένες τις υπόλοιπες παραμέτρους των σεναρίων. Δηλαδή, γίνεται έλεγχος της επιρροής του μεγέθους του χώρου αποθήκευσης των συσκευών, του χρόνου ζωής των μηνυμάτων και του φόρτου μηνυμάτων στο δίκτυο. Στο πρώτο μοντέλο έχουμε, επίσης, δεδομένα για τέσσερις διαφορετικές μέρες, όπου είναι διαφορετικός και ο αριθμός των κόμβων. Επιπλέον, μελετούμε την επίδοση του Spray and Wait με εναλλακτικό αριθμό αντιγράφων και του PRoPHETv2 με πολλαπλές χρονικές μονάδες.

Τα πειράματα πραγματοποιούνται με τη βοήθεια του προσομοιωτή ONE, από

τα αρχικά Opportunistic Network Environment, που αναπτύχθηκε ειδικά για τη μελέτη των δικτύων ανθεκτικών σε καθυστέρηση και είναι υλοποιημένος στη γλώσσα προγραμματισμού Java. Στα πλαίσια αυτά, προσθέσαμε μια επιπλέον μονάδα στα μοντέλα κίνησης που παρέχει ο προσομοιωτής, για να καταστεί εφικτή η εκτέλεση των σεναρίων μας. Αναπτύξαμε ένα νέο μοντέλο κίνησης που να βασίζεται σε εξωτερικά δεδομένα κόμβων, οι οποίοι ακολουθούν προκαθορισμένες διαδρομές πάνω σε χάρτη και σε ορισμένες χρονικές στιγμές.

Μέσα από τις αναφορές που μας παρέχονται από τον προσομοιωτή, παρατηρούμε τα αποτελέσματα και των τεσσάρων υπό εξέταση πρωτοκόλλων στις ίδιες συνθήκες. Συγκρίνουμε τα πρωτόκολλα μεταξύ τους και παρακολούθούμε τον αντίκτυπο των υπόλοιπων παραμέτρων στα μέτρα αξιολόγησης των αλγορίθμων. Κρίνουμε τις επιδόσεις τους ως προς την επιτυχία παράδοσης των μηνυμάτων, την επιβάρυνση που προκαλούν στο δίκτυο και τη μέση καθυστέρηση παράδοσης των πληροφοριών.

Σε αυτό το σημείο, χωρίς να γινόμαστε εξαντλητικοί ως προς την ανάλυση, δίνουμε τη γενική εικόνα των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται σε κάθε μοντέλο κινητικότητας, που χρησιμοποιήσαμε. Στην περίπτωση του συνεδριακού κέντρου, το πρωτόκολλο MaxProp έχει τη μεγαλύτερη πιθανότητα παράδοσης με το Spray and Wait να ακολουθεί. Όταν οι διαφορές είναι μικρές, βλέπουμε ότι το πρώτο δημιουργεί περισσότερα αντίγραφα από το δεύτερο. Τα άλλα δύο πρωτόκολλα αποτυγχάνουν όταν οι πόροι είναι περιορισμένοι. Όταν, όμως, η μνήμη γίνεται απεριόριστη το Επιδημικό πρωτόκολλο γίνεται επίσης βέλτιστο, έχοντας και τη μικρότερη μέση καθυστέρηση παράδοσης. Το πρωτόκολλο PRoPHETv2, όταν έχει παρόμοιες επιδόσεις με τα υπόλοιπα, έχει αρκετά χαμηλά ποσοστά υπερφόρτωσης.

Στο δεύτερο μοντέλο, που είναι ένα εργασιακό περιβάλλον, τα πρωτόκολλα με βάση την πιθανότητα παράδοσης κατατάσσονται ως εξής, όταν η μνήμη είναι περιορισμένη: MaxProp, Spray and Wait, PRoPHETv2 και Επιδημικό. Όταν η μνήμη αυξάνεται και όλα τα πρωτόκολλα έχουν παρόμοιο αποτέλεσμα, τη μεγαλύτερη υπερφόρτωση παρουσιάζουν τα Επιδημικό και MaxProp, ενώ τη χαμηλότερη το PRoPHETv2. Οι καθυστερήσεις είναι στο ίδιο επίπεδο για όλα τα πρωτόκολλα.

Στο μοντέλο όπου οι επαφές γίνονται με βάση πρόγραμμα, για μικρό μέγεθος μνήμης το MaxProp προηγείται του Spray and Wait ως προς τα ποσοστά παράδοσης μηνυμάτων και ακολουθούν το Επιδημικό και μετά το PRoPHETv2 με πολύ χαμηλότερα ποσοστά και για τα δύο. Όταν αυξάνεται η μνήμη, το Επιδημικό έχει την ίδια επίδοση με το MaxProp ως προς την παράδοση, την καθυστέρηση και την υπερφόρτωση. Λίγο χαμηλότερη πιθανότητα παράδοσης έχουν τα Spray and Wait και PRoPHETv2, που είναι σχεδόν ίδια μεταξύ τους, αλλά με χαμηλότερα ποσοστά υπερφόρτωσης του δικτύου από τη μεριά του PRoPHETv2.

Περνάμε στην τέταρτη περίπτωση, με τις καθημερινές δραστηριότητες σπουδαστών. Εδώ όταν ο φόρτος στο δίκτυο είναι τεράστιος, το πρωτόκολλο PRoPHETv2 δημιουργεί τη μικρότερη επιβάρυνση και έχει ένα μικρό προβάδισμα έναντι των υπολογίων. Όταν και η μνήμη είναι πολύ μικρή, ακολουθεί το Spray and Wait που χρησιμοποιεί έναν πολύ περιορισμένο αριθμό μηνυμάτων, ενώ όταν η μνήμη αυξάνεται τη δεύτερη καλύτερη επίδοση έχει το MaxProp. Σε κάποιες υποπεριπτώσεις το MaxProp παρουσιάζει ιδιαίτερες καθυστερήσεις. Όταν ο φόρτος μειώνεται, το MaxProp έχει πλέον τη μεγαλύτερη πιθανότητα παράδοσης και ακολουθεί το PRoPHETv2. Τα Spray and Wait και Επιδημικό ανταγωνίζονται για την τρίτη θέση, αναλόγως της περίπτωσης. Σημειώνουμε ότι το δίκτυο είναι πολύ αραιό

και η πιθανότητα παράδοσης αρκετά χαμηλή, οπότε αντίστοιχα μικρές είναι και οι διαφορές.

Στο τελευταίο μοντέλο κινητικότητας, που παρουσιάζει μια καθημερινή μέρα στο Ελσίνκι, βλέπουμε το πρωτόκολλο MaxProp να είναι βέλτιστο σε όλες τις περιπτώσεις. Έχει τη μέγιστη πιθανότητα παράδοσης και την ελάχιστη δυνατή καθυστέρηση. Το Spray and Wait πλησιάζει τη μέγιστη πιθανότητα όσο αυξάνεται ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων. Όταν, λοιπόν, είναι στα ίδια επίπεδα και μπορούμε να συγκρίνουμε τους δύο αλγορίθμους, παρατηρούμε πως ο δεύτερος δημιουργεί ελαφρώς μικρότερη υπερφόρτωση, αν και ο πρώτος παραδίδει τα μηνύματα πιο γρήγορα. Επιδημικό και PRoPHETv2 χρειάζονται απεριόριστη μνήμη για να γίνουν ανταγωνιστικά και να φτάσουν το βέλτιστο. Σε αυτή την περίπτωση το Επιδημικό δημιουργεί τη μεγαλύτερη επιβάρυνση στο δίκτυο, ενώ το PRoPHETv2 παρουσιάζει ιδιαίτερα μεγάλη καθυστέρηση σε σχέση με τα υπόλοιπα.

Έχοντας κατά νου όλα τα συμπεράσματα και τις παρατηρήσεις, κλείνουμε την εργασία μας, δίνοντας στον αναγνώστη πληροφορίες, που μπορούν να φανούν χρήσιμες στην επιλογή του καταλληλότερου αλγορίθμου δρομολόγησης σε συγκεκριμένες συνθήκες ή ακόμα και να καταστούν κατευθυντήριες γραμμές για τη βελτίωση των ίδιων των πρωτοκόλλων.

## 1.4 Δομή

Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύεται και εξηγείται με τη σειρά η λειτουργία των αλγορίθμων δρομολόγησης: Άμεση Παράδοση, Επιδημικό, Spray and Wait, PRoPHET και MaxProp. Το πρωτόκολλο άμεσης παράδοσης αναφέρεται στην απευθείας παράδοση ενός μηνύματος από την πηγή στον προορισμό και αποτελεί μέρος άλλων αλγορίθμων, γι' αυτό και περιλαμβάνεται.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται γνωριμία με τον προσωμοιωτή ONE, που χρησιμοποιήσαμε για την εκτέλεση των πειραμάτων μας. Κάνουμε μια γενική παρουσίαση της αρχιτεκτονικής του, αλλά και του γραφικού περιβάλλοντος που το συνοδεύει.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται αναλυτικά, με όλες τις απαραίτητες γραφικές παραστάσεις, τα αποτελέσματα των πειραμάτων μας και καταγράφονται οι παρατηρήσεις μας στην εκάστοτε περίπτωση. Γίνεται άμεση σύγκριση των πρωτοκόλλων και της επίδρασης των διαφόρων τιμών των επιμέρους παραμέτρων.

Τέλος, στο κεφάλαιο 5, παρατίθενται τα τελικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την εργασία αυτή, καθώς και μελλόντικες κατευθύνσεις για το πεδίο της έρευνας των δικτύων ανθεκτικών σε καθυστερήσεις.

## **Κεφάλαιο 2: Κατανεμημένοι αλγόριθμοι δρομολόγησης για δίκτυα ανθεκτικά σε καθυστέρηση**

Για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά των δικτύων ανθεκτικών σε καθυστέρηση, όπως παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 2, έχουν προταθεί διάφοροι αλγόριθμοι. Κάθε δίκτυο έχει φυσικά τα δικά του επιπρόσθετα χαρακτηριστικά, όπως είναι το μέγεθος και η μορφολογία της περιοχής που καλύπτει, ο αριθμός και η πυκνότητα των κόμβων, το είδος των κόμβων κλπ. Δεν υπάρχει, λοιπόν, ένας και μοναδικός αλγόριθμος, που να ταιριάζει απόλυτα σε όλες τις περιπτώσεις. Σε κάθε ένα σενάριο ξεχωριστά, πρέπει να ληφθούν υπόψη η κινητικότητα, η συνδεσιμότητα και οι δυνατότητες του υλικού των συμμετέχοντων κόμβων.

Τα κριτήρια, βάση των οποίων γίνεται η αξιολόγηση των πρωτοκόλλων είναι τα ακόλουθα:

- A) Ποσοστό παράδοσης μηνυμάτων: Είναι ο αριθμός των μηνυμάτων που παραδόθηκαν επιτυχώς στον τελικό δέκτη, σε σχέση με το συνολικό αριθμό των μηνυμάτων που δημιουργήθηκαν σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
- B) Πλήθος μεταδόσεων: Δείχνει την υπερφόρτωση που προκαλείται στο δίκτυο, από τις μεταδόσεις σε ενδιάμεσους κόμβους. Μεγαλύτερο πλήθος μεταδόσεων σημαίνει ταυτόχρονα και μεγαλύτερη χρήση υπολογιστικών πόρων, καθώς και κατανάλωση επιπρόσθετης ενέργειας.
- Γ) Καθυστέρηση παράδοσης: Είναι ο χρόνος που χρειάστηκε το μήνυμα να φτάσει από τον αποστολέα στον παραλήπτη. Δεν είναι το σημαντικότερο μέτρο επίδοσης, αλλά σε κάποιες εφαρμογές έχει νόημα η παράδοση να γίνεται εντός συγκεκριμένου χρονικού πλαισίου. Σαν παράδειγμα μπορούμε να σκεφτούμε τα δίκτυα έκτακτης ανάγκης.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποια από τα δημοφιλέστερα πρωτόκολλα δρομολόγησης για δίκτυα ανθεκτικά σε καθυστέρηση.

### **2.1 Άμεση παράδοση (Direct Delivery)**

Η απλούστερη μορφή μετάδοσης ενός μηνύματος, από τον αποστολέα κατευθείαν στον παραλήπτη. Δεν δημιουργεί αντίγραφα, δεν καταναλώνει πολλούς πόρους και χρησιμοποιεί μια μόνο μετάδοση. Η επιτυχία της εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από το αν θα υπάρξει επαφή της πηγής με τον προορισμό. Ισως είναι ιδανικό σε περιπτώσεις έντονης κινητικότητας κόμβων, όπου οι γείτονες αλλάζουν διαρκώς. Σε κάθε άλλη περίπτωση, υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα αποτυχίας παράδοσης και μεγαλύτερης καθυστέρησης, σε σχέση με άλλα σχήματα.

## 2.2 Επιδημικό πρωτόκολλο (Epidemic)

Σε αυτό το πρωτόκολλο, κάθε κόμβος διατηρεί ένα διάνυσμα σύνοψης (summary vector) με τα μηνύματα που κατέχει, τα οποία είναι ταυτοποιημένα μοναδικά. Σε κάθε επαφή ανάμεσα σε δύο κόμβους, ανταλλάζεται αυτό το διάνυσμα για διαπίστωση των μηνυμάτων που υπολείπεται ο καθένας. Στη συνέχεια ανταλλάσσονται τα εν λόγω μηνύματα. Σε περίπτωση πληρότητας μνήμης διαγράφεται το παλαιότερο μήνυμα (τεχνική FIFO).

'Όταν η μνήμη είναι απεριόριστη, αυτός ο αλγόριθμος έχει τη μικρότερη δυνατή καθυστέρηση στην παράδοση, αλλά και τη μέγιστη κατανάλωση πόρων. 'Όταν υπάρχουν περιορισμοί αποθήκευσης, η απόδοσή του μειώνεται.

Για τη μείωση των μεταδόσεων έχουν προταθεί διάφοροι μηχανισμοί, όπως ο περιορισμός των βημάτων (hops) που μπορεί να εκτελεί ένα μήνυμα, ο περιορισμός στο χρόνο στον οποίο γίνεται η αντιγραφή του ή η διατήρηση ενός ακόμα διανύσματος με τα παραδοθέντα μηνύματα, το οποίο συμπληρώνεται με τη χρήση μηνυμάτων αναγνώρισης (acknowledgments). Θα μπορούσε ακόμα να χρησιμοποιηθεί κάποιος μηχανισμός διαχείρισης μνήμης για τη βελτίωση αυτού του πρωτοκόλλου.

## 2.3 Spray and Wait

Έχει προταθεί με σκοπό τη μείωση των μεταδόσεων και κατ' επέκταση της κατασπατάλησης πόρων, που προκαλεί το Επιδημικό πρωτόκολλο, προσπαθώντας ταυτόχρονα να διατηρήσει την υψηλή του επίδοση.

Αποτελείται από δύο φάσεις. Την spray φάση κατά την οποία για κάθε μήνυμα, δημιουργούνται L αντίγραφα του μηνύματος στην πηγή και προωθούνται σε γείτονες κόμβους μέχρι όλοι να έχουν από ένα αντίγραφο, και τη φάση αναμονής, όπου αν δεν έχει ήδη βρεθεί ο κόμβος – προορισμός στην προηγούμενη φάση, οι κόμβοι που έχουν αντίγραφο του μηνύματος προσπαθούν να εντοπίσουν τον προορισμό και να του προωθήσουν το μήνυμα κατευθείαν (direct transmission).

Η πρώτη φάση μπορεί να υλοποιηθεί με διάφορους τρόπους. 'Ενας από αυτούς είναι η πηγή που δημιουργεί τα L αντίγραφα, να τα προωθεί στους L πρώτους διαφορετικούς κόμβους που συναντά. Αυτή η εκδοχή αναφέρεται με το όνομα vanilla. 'Ένας άλλος τρόπος είναι το δυαδικό spray-and-wait (binary) κατά το οποίο η πηγή δημιουργεί L αντίγραφα και στη συνέχεια προωθεί σε όποιο γείτονα κόμβο συναντήσει που δεν έχει αντίγραφο του μηνύματος, τα μισά αντίγραφα που διαθέτει μέχρι να της απομείνει ένα αντίγραφο. Το ίδιο πράττουν και οι υπόλοιποι κόμβοι. Στη συνέχεια προσπαθούν να παραδώσουν το μήνυμα απευθείας στον προορισμό.

Ανοιχτό παραμένει το θέμα του αριθμού L των αντιγράφων που πρέπει να δημιουργηθούν.

## 2.4 PRoPHET και PRoPHETv2

Το πρωτόκολλο PRoPHET (Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity) προσπαθεί να αυξήσει το ποσοστό παράδοσης μηνυμάτων, κρατώντας τη χρήση αποθηκευτικού χώρου και τη συμφόρηση του δικτύου σε χαμηλά επίπεδα. Θεωρεί ότι οι κόμβοι δεν κινούνται τυχαία, αλλά

αντίθετα προκύπτουν κάποια μοτίβα από την κίνηση τους, όπως για παράδειγμα αν ένας κόμβος έχει επισκεφτεί μια περιοχή αρκετές φορές, είναι πολύ πιθανόν να την ξαναεπισκεφτεί σύντομα. Εκμεταλλεύεται, λοιπόν, τις παρατηρήσεις αυτές της κινητικότητας και χρησιμοποιεί σαν μέτρο την “προβλεψιμότητα παράδοσης” για να αυξήσει την αποδοτικότητα της δρομολόγησης. Το μέτρο αυτό δείχνει την πιθανότητα που έχει ένας κόμβος που συναντούμε να παραδώσει το μήνυμα στον παραλήπτη και ενημερώνεται στις εξής τρεις περιπτώσεις:

- Σε κάθε συνάντηση με έναν κόμβο ενημερώνουμε την πρόβλεψη παράδοσης με τον τύπο  $P_{(a,b)} = P_{(a,b)_{old}} + (1 - P_{(a,b)_{old}}) * P_{init}$ , όπου  $P_{(a,b)} \in [0,1]$  η πιθανότητα ο κόμβος a να παραδώσει ένα μήνυμα στον κόμβο b. Έτσι, για τους κόμβους που συναντώνται συχνά, έχουμε υψηλότερη τιμή στην πρόβλεψη παράδοσης.
- Εάν έχει παρέλθει κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και δυο κόμβοι δεν έχουν συναντηθεί, τότε το μέτρο μειώνεται σύμφωνα με τη σχέση:  $P_{(a,b)} = P_{(a,b)_{old}} * \gamma^k$ , όπου γ σταθερά γήρανσης και k οι χρονικές μονάδες που έχουν απέλθει από την τελευταία φορά που άλλαξε η τιμή της πρόβλεψης.
- Τέλος, λαμβάνεται υπόψη η μεταβατικότητα, σύμφωνα με την οποία αν ένας κόμβος A συναντά συχνά ένα κόμβο B, κι αυτός ο κόμβος B έρχεται συχνά σε επαφή με έναν άλλο κόμβο Γ, τότε είναι πολύ πιθανόν ο Γ να μπορέσει να προωθήσει μηνύματα που προορίζονται για τον A. Χρησιμοποιείται η σχέση:  $P_{(a,c)} = P_{(a,c)_{old}} + (1 - P_{(a,c)_{old}}) * P_{(a,b)} * P_{(b,c)} * \beta$ ,  $\beta \in [0,1]$ .

Οι σταθερές  $P_{init}$ ,  $\beta$ , γ επιλέγονται από το σχεδιαστή του συστήματος.

Το διάνυσμα με τις προβλέψεις αυτές ανταλλάσσεται σε κάθε συνάντηση κόμβων, επιπρόσθετα με το διάνυσμα σύνοψης. Έτσι το κάθε μήνυμα δεν προωθείται σε όλους τους κόμβους που συναντούμε, όπως γίνεται στην Επιδημική Δρομολόγηση, αλλά μόνο όταν ένας κόμβος έχει καλύτερη τιμή του μέτρου προβλεψιμότητας. Σαν μηχανισμός διαχείρισης μνήμης παραμένει η τεχνική First-In-First-Out.

## PRoPHETv2

Μετά από πειράματα σε παραγματικά περιβάλλοντα, παρατηρηθήκαν σοβαρά προβλήματα στο αρχικό πρωτόκολλο. Όταν υπήρχαν πολύ συχνές επαφές που αύξαναν το μέτρο προβλεψιμότητας με βάση τη μεταβατικότητα, οι προβλέψεις κατέληγαν να μην αντικατοπτρίζουν την πραγματική τοπολογία του δικτύου, με αποτέλεσμα να λαμβάνονται λάθος αποφάσεις. Πρόβλημα προκύπτει, επίσης, όταν ανταλλάσσονται τα διανύσματα δύο κόμβων πολλές φορές σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Κάτι τέτοιο συμβαίνει όταν δύο κόμβοι βρίσκονται σε οπτική επαφή, αλλά για κάποιο λόγο αποσυνδέονται για μερικά δευτερόλεπτα. Με την επανασύνδεση θεωρούνταν ότι υπήρχε νέα συνάντηση και γινόταν και πάλι ανταλλαγή διανυσμάτων. Αποτέλεσμα αυτού η συνεχής αύξηση του μέτρου προβλεψιμότητας, χωρίς να υπάρχει στην πραγματικότητα νέα συνάντηση.

Για την επίλυση του τελευταίου προβλήματος, το πρωτόκολλο βελτιώνεται λαμβάνοντας υπόψη το χρόνο από την τελευταία ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ δύο συγκεκριμένων κόμβων. Πλέον χρησιμοποιούνται οι παρακάτω εξισώσεις:

$$P_{(a,b)} = P_{(a,b)old} + (1 - P_{(a,b)old}) * P_{enc}, \quad \text{όπου} \quad P_{enc} = P_{\max} * \left( \frac{\text{Intvl}_B}{I_{\text{typ}}} \right), \quad \text{εαν } 0 \leq \text{Intvl}_B \leq I_{\text{typ}}$$

$$P_{enc} = P_{\max}, \quad \text{αλλιως}$$

$I_{\text{typ}}$  είναι το αναμενόμενο χρονικό διάστημα ανάμεσα στις συνδέσεις δύο κόμβων και επιλέγεται με βάση το εκάστοτε σενάριο και  $\text{Intvl}_B$  είναι ο χρόνος από την τελευταία συνάντηση με τον κόμβο B.

Η μεταβατικότητα επηρεάζει με τον ακόλουθο τρόπο:

$$P_{(a,c)} = \max(P_{(a,c)old}, \quad P_{(a,b)} * P_{(b,c)} * \beta), \quad \beta \in [0,1] \text{ με προτεινομένη τιμή το 0.9$$

## 2.5 MaxProp

Ο αλγόριθμος δρομολόγησης MaxProp σχεδιάστηκε με στόχο να αυξήσει την πιθανότητα παράδοσης και να ελαχιστοποιήσει την καθυστέρηση. Λαμβάνοντας υπόψη την περιορισμένη χωρητικότητα αποθήκευσης μηνυμάτων και τη συνήθως μικρή διάρκεια των επαφών, ιεραρχεί τα πακέτα που πρέπει να μεταδοθούν από έναν κόμβο σε άλλο, καθώς και τα πακέτα που πρέπει να απορριφθούν από τη μνήμη.

Για την επίτευξη των στόχων αυτών, το MaxProp χρησιμοποιεί τους παρακάτω μηχανισμούς:

- Υπολογισμός πιθανότητας παράδοσης κι ανάθεση κόστους στην πιθανή διαδρομή:

'Εστω  $s$  κόμβοι στο δίκτυο. Κάθε κόμβος  $i \in s$  υπολογίζει την πιθανότητα να συναντήσει έναν άλλο κόμβο  $j \in s$ . Αρχικά η πιθανότητα τίθεται ίση με  $\frac{1}{(|s|-1)}$  για όλους τους κόμβους. 'Όταν συναντηθούν οι δύο κόμβοι, αυξάνεται η πιθανότητα κατά μια μονάδα και η λίστα πιθανοτήτων κανονικοποιείται. 'Ετσι οι κόμβοι που συναντώνται συχνά έχουν μεγαλύτερες τιμές πιθανότητας και άρα το ποσοστό επιπυχούς παράδοσης αυξάνεται, ενώ αντίθετα οι κόμβοι που απαντώνται σπάνια παίρνουν χαμηλότερες τιμές με το πέρασμα του χρόνου.

Σε κάθε συνάντηση, οι κόμβοι ανταλλάζουν τις λίστες τους κι έτσι δημιουργούνται κι άλλα μονοπάτια προς τον κάθε κόμβο του δικτύου, έχοντας ως κόστος διαδρομής το άθροισμα των πιθανοτήτων μη εμφάνισης μιας σύνδεσης ανάμεσα σε δύο κόμβους που οδηγούν στον προορισμό. Δηλαδή, αν από τον κόμβο i θέλω να φτάσω στον κόμβο d για τον οποίο χρειάζεται να περάσω από τους κόμβους i,  $i+1, \dots, d$  το κόστος της διαδρομής αυτής είναι  $c(i, i+1, \dots, d) = \sum_{x=i}^{d-1} [1 - f_{x+1}^x]$ , όπου  $f_j^i$  η πιθανότητα ο κόμβος i να συναντήσει τον j. Σαν κόστος για τον προορισμό d από τον i, επιλέγεται το ελάχιστο κόστος μονοπατιού από όλες τις πιθανές διαδρομές.

- Ιεράρχηση πακέτων προς μετάδοση

Ο επόμενος μηχανισμός που χρησιμοποιεί το MaxProp πρωτόκολλο είναι η ιεράρχηση πακέτων, που αποτελείται από μια σειρά κανόνων. Σε κάθε ευκαιρία ανταλλαγής πληροφοριών μεταξύ δύο κόμβων, τα πακέτα με προτεραιότητα

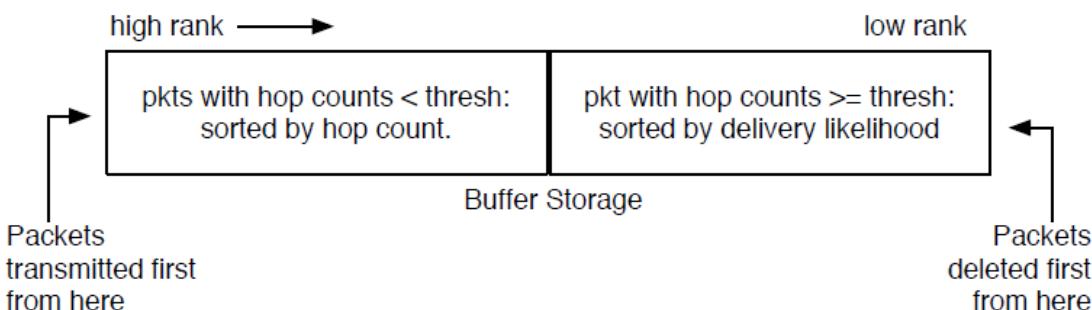
μεταδίδονται πρώτα και σε περίπτωση έλλειψης αποθηκευτικού χώρου τα πρώτα που απορρίπτονται είναι αυτά με τη χαμηλότερη προτεραιότητα. Σε περίπτωση πακέτων που έχουν το ίδιο κόστος, δίνεται προτεραιότητα σε αυτό που έχει ταξιδέψει λιγότερο (μικρότερος αριθμός hops).

Πιο συγκεκριμένα, η σειρά με την οποία ανταλλάσσονται τα πακέτα σε μια συνάντηση δύο κόμβων έχει ως εξής:

- Πακέτα που προορίζονται για τον κόμβο με τον οποίο βρισκόμαστε σε επικοινωνία
- Οι λίστες με τις πιθανότητες συνάντησης με άλλους κόμβους
- Ενημερώσεις (acknowledgments) για δεδομένα που έχουν παραδοθεί στο δίκτυο ανεξάρτητα από την πηγή και τον προορισμό τους. Οι ενημερώσεις αυτές περιέχουν βασικές πληροφορίες και είναι μικρές σε μέγεθος (γύρω στα 128 bits) και έχουν ως στόχο την απαλλαγή των buffers από παλιά δεδομένα, ούτως ώστε να έχουν χώρο για νέα, καθώς και την αποσυμφόριση του δικτύου από δεδομένα που δεν χρειάζονται πια.
- Αντίγραφα των υπόλοιπων πακέτων, που δεν κατέχει ο γείτονας κόμβος, με τη σειρά ταξινόμησής τους στη μνήμη.
- Διαχείριση αποθηκευτικού χώρου

Αν ένα μήνυμα απορριφθεί λόγω έλλειψης χώρου, τότε μπορεί να μη φτάσει ποτέ στον προορισμό του. Γί' αυτό και το MaxProp εφαρμόζει διάφορες τεχνικές, για να κρατήσει τα καταλληλότερα πακέτα σε περίπτωση πλήρωσης της μνήμης. Κύριο χαρακτηριστικό του είναι ο μετρητής βημάτων (hops) που χρησιμοποιεί. Με τη λογική ότι όσα πιο πολλά βήματα έχει εκτελέσει ένα μήνυμα, τόσο πιθανότερο είναι να έχει παραδοθεί στον προορισμό, τα πακέτα απορρίπτονται με την ακόλουθη σειρά:

- Πακέτα για τα οποία έχουμε λάβει αναφορά παράδοσης (acknowledgments)
- Πακέτα που έχουν ξεπεράσει ένα δοσμένο κατώφλι βημάτων και έχουν τη χαμηλότερη πιθανότητα παράδοσης
- Πακέτα με μικρότερο αριθμό βημάτων από αυτόν που ορίζει το κατώφλι. Διαγράφεται αυτό που έχει ταξιδέψει περισσότερο.

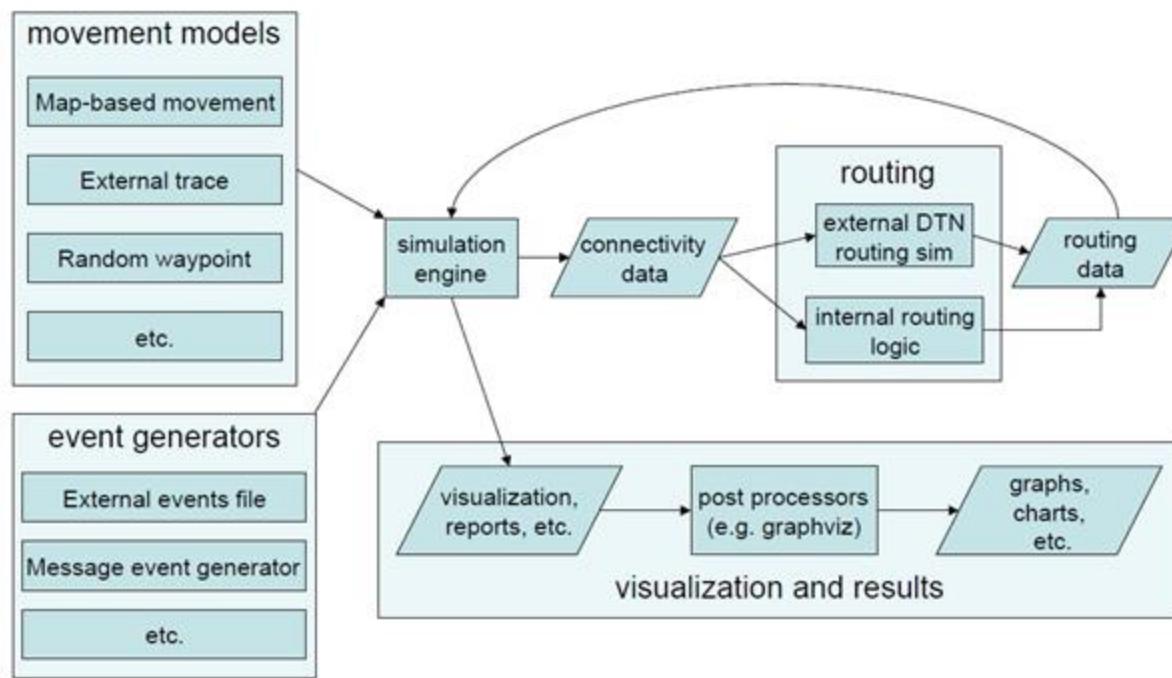


**Εικόνα 2.5.a: Διαχείριση ουράς του MaxProp [3]**

# Κεφάλαιο 3: Ο προσομοιωτής ONE (Opportunistic Network Environment)

## 3.1 Περιγραφή λειτουργίας

Ο προσομοιωτής ONE δημιουργήθηκε από το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο του Ελσίνκι, με σκοπό την αναπαράσταση ευκαιριακών δικτύων και την αξιολόγηση DTN πρωτοκόλλων. Επιπρέπει τη δημιουργία σεναρίων με τεχνητά ή πραγματικά μοντέλα κίνησης και την ανάπτυξη αλγορίθμων δρομολόγησης. Έχει υλοποιηθεί σε Java και είναι εύκολα επεκτάσιμος.



Εικόνα 3.1.α: Επισκόπηση του περιβάλλοντος προσομοίωσης του ONE <sup>[1]</sup>

Οι κύριες λειτουργίες του ONE είναι η μοντελοποίηση της κίνησης των κόμβων, η επικοινωνία μεταξύ τους, η δημιουργία και η δρομολόγηση των μηνυμάτων. Είναι, επίσης, εφικτή η οπτικοποίηση του σεναρίου και η δημιουργία αναφορών με τα αποτελέσματα της εκτέλεσης.

### Μοντέλα κινητικότητας

Η κίνηση των κόμβων υλοποιείται μέσω των μοντέλων κινητικότητας. Στον προσομοιωτή περιλαμβάνονται μοντέλα που δημιουργούν τυχαία ελεύθερη κίνηση, μοντέλα βασισμένα σε χάρτη με κόμβους που κινούνται τυχαία πάνω στα μονοπάτια ή με συγκεκριμένους προορισμούς, καθώς και πιο ρεαλιστικά μοντέλα βασισμένα σε τυπικές ανθρώπινες συμπεριφορές, όπως είναι η δουλειά, ο ύπνος και οι βραδινές

έξοδοι με φίλους. Τέλος υπάρχει το μοντέλο Εξωτερικής κίνησης (External Movement), μέσω του οποίου μπορούμε να εισάγουμε εξωτερικά δεδομένα για την κίνηση των κόμβων που θέλουμε να προσομοιώσουμε.

'Όλα τα μοντέλα, εκτός από αυτό της Εξωτερικής κίνησης, έχουν ρυθμιζόμενες κατανομές ταχύτητας και χρόνου παύσης για τους κόμβους. Τα αρχεία για τους χάρτες πρέπει να βρίσκονται σε μορφή Well Known Text (WKT).

Για τις ανάγκες αυτής της εργασίας έχουμε αναπτύξει ένα νέο μοντέλο, το οποίο ονομάσαμε External Map Movement και υλοποιεί την κίνηση πάνω σε χάρτη, δοθέντων εξωτερικών συντεταγμένων και του χρόνου που πρέπει να βρίσκεται ο κόμβος σε κάθε μία από αυτές. Ο κώδικας βρίσκεται στο Παράρτημα A.

### Σχήματα δρομολόγησης

Η δρομολόγηση μηνυμάτων υλοποιείται, επίσης, με παρόμοιο τρόπο. Ο προσομοιωτής στην παρούσα έκδοση (1.5.1) περιλαμβάνει εννέα πρωτόκολλα δρομολόγησης: (α)Απευθείας παράδοση, (β)Πρώτη επαφή, (γ)Spray and Wait (vanilla ή δυαδικό μέσω μιας μεταβλητής), (δ)PRoPHET, (ε)PRoPHETv2, (στ)MaxProp, (ζ)Επιδημικό, (η)WaveRouter που προωθεί τα μηνύματα σε κύματα και (θ)LifeRouter που κάνει πρώθηση μίμουμενο τη συμπεριφορά του Game-of-Life. Περιλαμβάνει, επίσης, έναν παθητικό δρομολογητή (PassiveRouter) για την εισαγωγή εξωτερικών δεδομένων.

### Δημιουργία συμβάντων

Με την έννοια συμβάν (event) αναφερόμαστε στη δημιουργία και τη διακοπή μιας σύνδεσης ανάμεσα σε δύο κόμβους ή στη δημιουργία, αποστολή και διαγραφή από τη μνήμη μηνυμάτων. Μπορούμε να επιλέξουμε τα συμβάντα να δημιουργούνται αυτόματα από τον προσομοιωτή ONE, με βάση φυσικά την κίνηση των κόμβων και τις διασυνδέσεις που διαθέτουν ή να τα εισάγουμε εξωτερικά με δικό μας αρχείο. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιούμε την κλάση MessageEventGenerator, η οποία δημιουργεί μηνύματα με ρυθμιζόμενο μέγεθος και χρονικό διάστημα μεταξύ της δημιουργίας τους και στη δεύτερη την ExternalEventsQueue.

### Δημιουργία αναφορών

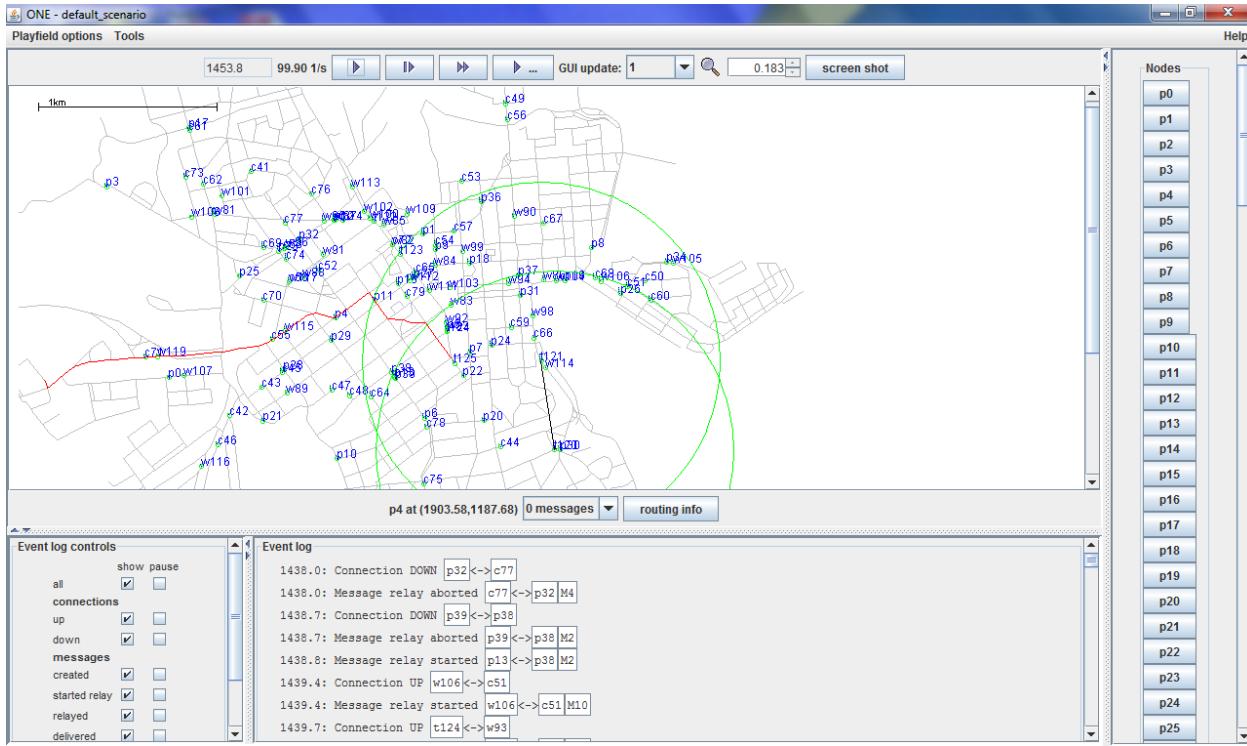
Επιπλέον, ο ONE είναι δυνατόν να παράξει αναφορές, που βοηθούν στην αξιολόγηση των πρωτοκόλλων και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Μπορεί να δώσει αναλυτικές αναφορές των συνδέσεων και των μηνυμάτων παραδόθηκαν κάθε σεναρίου.

Εμείς χρησιμοποιήσαμε την αναφορα MessageStatsReport η οποία, ανάμεσα σε άλλα, μας ενημερώνει για το πόσα μηνύματα δημιουργήθηκαν, παραδόθηκαν ή διαγράφηκαν από τη μνήμη, την πιθανότητα παράδοσης, την αναλογία αντιγράφων – παραδοθέντων, τη μέση καθυστέρηση στην παράδοση, το μέσο αριθμό βημάτων που εκτελούν τα πακέτα και το μέσο χρόνο παραμονής τους στη μνήμη.

Τέλος να σημειώσουμε ότι τα σενάρια προσομοίωσης αποτελούνται από ομάδες (groups) κόμβων, όπου η κάθε ομάδα μπορεί να έχει διαφορετικές ιδιότητες. Βασικές ιδιότητες είναι η διασύνδεση (τύπος, ακτίνα κάλυψης, ταχύτητα μετάδοσης), η μνήμη, η κίνηση και η δρομολόγηση μηνυμάτων και ρυθμίζονται μέσω διαφόρων παραμέτρων που δίνονται στο αρχείο ρυθμίσεων που λαμβάνει ως αρχική είσοδο ο προσομοιωτής.

## 3.2 Περιγραφή γραφικού περιβάλλοντος

Παρακάτω δείχνουμε στιγμιότυπα από το προκαθορισμένο σενάριο του προσομοιωτή.



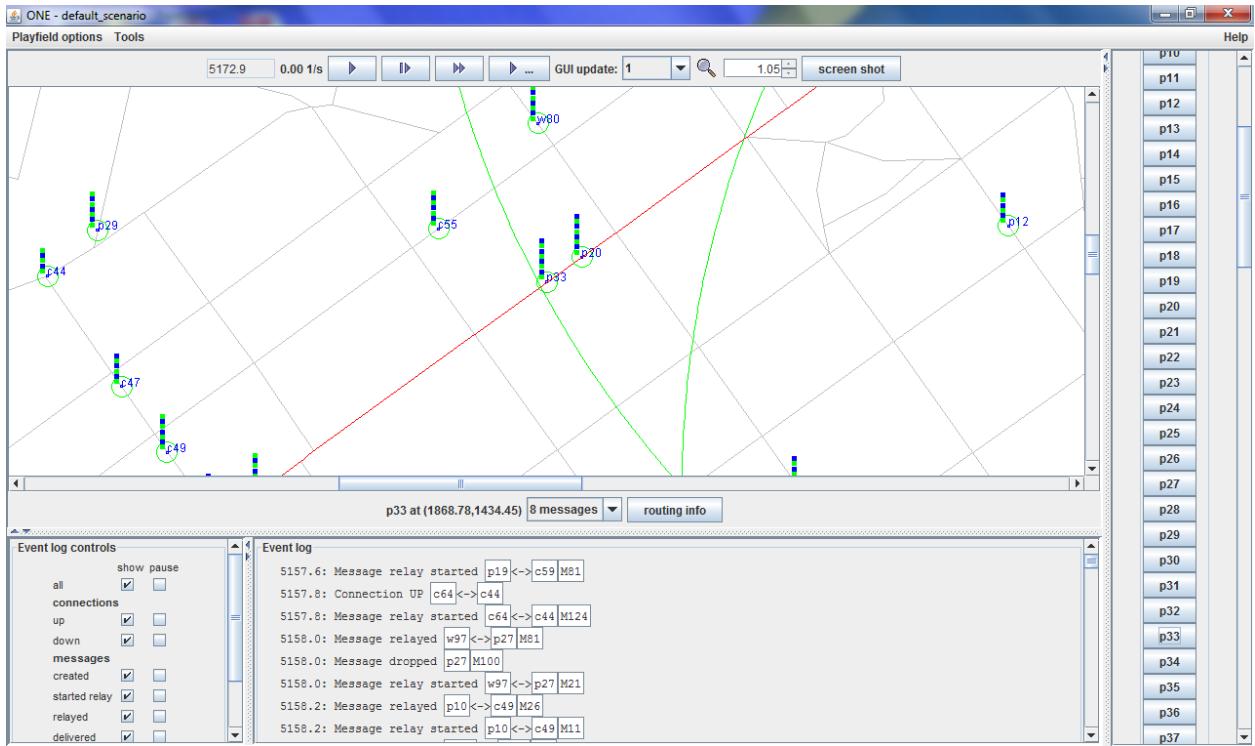
Εικόνα 3.2.α

Στην παραπάνω εικόνα υλοποιείται κίνηση βασισμένη σε χάρτη, γι' αυτό και βλέπουμε τα μονοπάτια.

Τα γράμματα με τους αριθμούς υποδηλώνουν τις ταυτότητες των κόμβων.

Οι πράσινοι κύκλοι δίνουν την ακτίνα κάλυψης των διασυνδέσεων. Εδώ οι περισσότεροι κόμβοι έχουν μικρή ακτίνα στη συγκεκριμένη κλίμακα, γι' αυτό και τα κυκλάκια τους είναι πολύ μικρά, ενώ υπάρχουν και δύο κόμβοι με πολύ μεγάλη ακτίνα. Όπως βλέπουμε από τη μαύρη γραμμή ανάμεσά τους βρίσκονται σε σύνδεση.

Η κόκκινη γραμμή μας δείχνει το μονοπάτι που ακολουθεί ο κόμβος p4 από την τελευταία του θέση στον επόμενο προορισμό. Έχουμε επιλέξει τον κόμβο από τη δεξιά στήλη.



**Εικόνα 3.2.β**

Εδώ έχουμε μεγεθύνει την εικόνα και διακρίνουμε τα πακέτα που έχει ο κάθε κόμβος, που φαίνονται με πράσινο και μπλε χρώμα.

Έχουμε επιλεγμένο τον κόμβο p33 και κάτω από την εικόνα του δικτύου μπορούμε να δούμε τις συντεταγμένες του, καθώς και τον αριθμό των μηνυμάτων που κατέχει. Με την επιλογή του κουμπιού *routing info*, μπορούμε επίσης να ενημερωθούμε για τις συνδέσεις του, τα εισερχόμενα μηνύματα και αυτά που έχει παραδώσει.

Στο κάτω αριστερά μέρος του προσομοιωτή μπορούμε να ρυθμίσουμε ποια συμβάντα θέλουμε να εμφανίζονται στο παράθυρο και δίπλα βλέπουμε τι συμβαίνει κάθε στιγμή.

## Κεφάλαιο 4: Πειραματική αξιολόγηση

Για τους σκοπούς αυτής της εργασίας εξετάζουμε πέντε διαφορετικές περιπτώσεις. Τέσσερις από αυτές είναι με πραγματικά δεδομένα κίνησης και στην τελευταία χρησιμοποιούμε το προκαθορισμένο τεχνητό σενάριο του προσομοιωτή ONE. Τα πραγματικά δεδομένα είναι από την ερευνητική μονάδα 1 του Ινστιτούτου Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών και από τον ιστότοπο του CRAWDAD.

Για όλα τα σενάρια εξετάζονται τα πρωτόκολλα Epidemic, MaxProp, PRoPHETv2 και Spray and Wait. Για το Spray and Wait εξετάζονται οι εκδοχές vanilla και δυαδικό, καθώς και διαφορετικός αριθμός αντιγράφων. Στο PRoPHETv2 κρατάμε σταθερές στις προκαθορισμένες τιμές όλες τις παραμέτρους που εξηγήθηκαν στο κεφάλαιο 2, εκτός από τη σταθερά  $k$ , που εδώ έχει το όνομα secondsInTimeUnit. Οι επιλογές των τιμών αυτών είναι διαφορετικές και δίνονται ξεχωριστά για κάθε σενάριο.

Σε όλες, επίσης, τις περιπτώσεις εξετάζουμε την επιρροή του μεγέθους μηνύματος χρησιμοποιώντας τέσσερις ενδεικτικές τιμές: 500 bytes, 50 Kbytes, 500 Kbytes και 5 Mbytes. Για τα τρία πρώτα, ανάλογα και με το πόσα μηνύματα δημιουργούνται σε κάθε περίπτωση, χρησιμοποιούμε προσωρινή μνήμη ικανή να κρατήσει 5, 50 και 500 μηνύματα και για τα 5M 5 και 50. Για όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιούμε και τη μέγιστη χωρητικότητα μνήμης που επιτρέπει ο προσομοιωτής και είναι τα 2 δισεκατομμύρια bytes. Συνεπάγεται ότι σε αυτή την περίπτωση υπάρχει χωρητικότητα 4000000, 40000, 4000 και 400 μηνύματα αντίστοιχα για κάθε μέγεθος.

Στο κάθε σενάριο παράγουμε μηνύματα ανά 120, 1200 ή και 12000 δευτερόλεπτα, ανάλογα με τη διάρκεια του σεναρίου. Τα μηνύματα δημιουργούνται από την έναρξη της προσομοίωσης μέχρι και περίπου το 80% του χρόνου εκτέλεσης.

Σε όλα τα σενάρια οι κόμβοι επικοινωνούν με τεχνολογία Bluetooth με γείτονες που βρίσκονται σε ακτίνα 10 μέτρων και με ταχύτητα μετάδοσης τα 250Kbps. Στο τελευταίο μόνο σενάριο χρησιμοποιούνται και διασυνδέσεις με ακτίνα κάλυψης τα 1000 μέτρα και ταχύτητα μετάδοσης 10Mbps.

Περισσότερες λεπτομέρειες για τις ρυθμίσεις δίνονται στην περιγραφή του κάθε σεναρίου ξεχωριστά.

Εξετάζουμε τα αποτελέσματα ως προς τα ακόλουθα:

- Πιθανότητα παράδοσης:  $\frac{\text{Delivered}}{\text{Created}}$
- Υπερφόρτωση:  $\frac{(\text{Relayed} - \text{Delivered})}{\text{Delivered}}$
- Μέση καθυστέρηση παράδοσης (υπολογίζονται φυσικά μόνο τα παραδοθέντα)
- Μέσο χρόνο παραμονής μηνυμάτων στη μνήμη

'Οπου Delivered: μηνύματα που παραδόθηκαν στον τελικό προορισμό

Created: μηνύματα που δημιουργήθηκαν

Relayed: μηνύματα που μεταδόθηκαν

## 4.1 Περίπτωση 1: Συνέδριο

Δεδομένα που συλλέκτηκαν από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών, κατά το συνέδριο FET (Future and Emerging Technologies), που διεξήχθηκε το 2011 στο Συνεδριακό Κέντρο της Βουδαπέστης στην Ουγγαρία. Τα δεδομένα αφορούν τέσσερις διαφορετικές ημέρες και 68 διαφορετικούς κόμβους. Έχουμε αποδώσει μια συντεταγμένη στο κάθε δωμάτιο του συνεδριακού κέντρου και έχοντας καταγεγραμμένους τους θαλάμους που εντοπίζεται ανά πάσα στιγμή ο κάθε κόμβος, βρίσκουμε στο περίπου τις συντεταγμένες του στο χώρο. Για την αξιοποίηση αυτών των δεδομένων έχει αναπτυχθεί κώδικας στον προσομοιωτή ONE, ο οποίος υποστηρίζει εξωτερική κίνηση σε δεδομένα μονοπάτια ενός χάρτη. Ο κώδικας παρατίθεται στο παράρτημα A. Ως χάρτης, φυσικά, χρησιμοποιείται η κάτοψη του χώρου του συνεδριακού, στον οποίο έχουμε σχεδιάσει μονοπάτια στους διαδρόμους, που μπορούν να ακολουθούν οι κόμβοι για να μετακινούνται ανάμεσα στα δωμάτια.

### 4.1.1 Μέρα 1

Έχουμε 8 κόμβους. Η προσομοίωση διαρκεί 121 λεπτά και μηνύματα παράγονται μέχρι το  $5808^{\circ}$  δευτερόλεπτο (80% του συνολικού χρόνου).

Ειδικές παράμετροι του σεναρίου που εξετάστηκαν:

Πρωτόκολλο	Mode	nrofCopies	secondsInTimeUnit
Epidemic	-	-	-
MaxProp	-	-	-
Spray and Wait	False	2 (25%)	-
Spray and Wait	True	2	-
Spray and Wait	False	4 (50%)	-
Spray and Wait	True	4	-
PRoPHETv2	-	-	30
PRoPHETv2	-	-	300
PRoPHETv2	-	-	1200

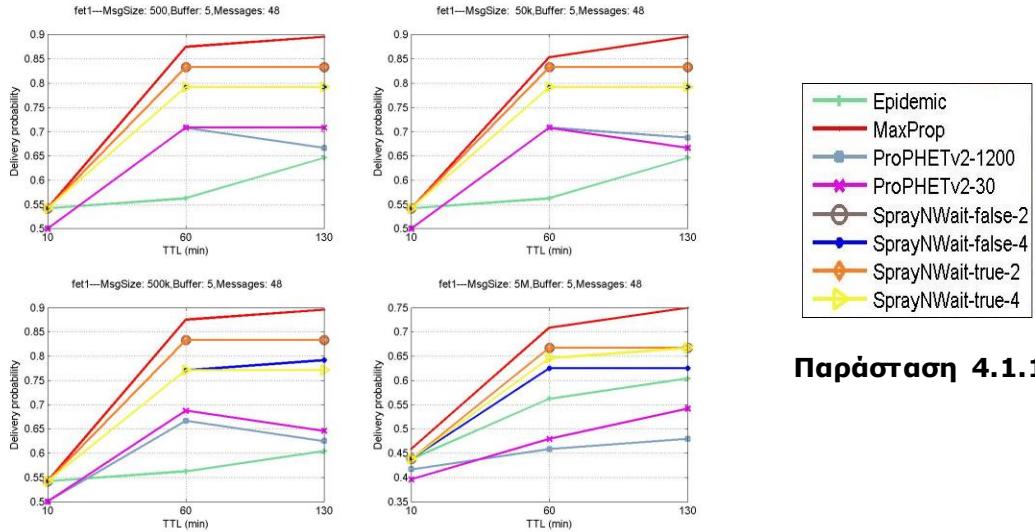
msgTTL (min)
10
60
130 (inf)

Πίνακας 4.1.1.β

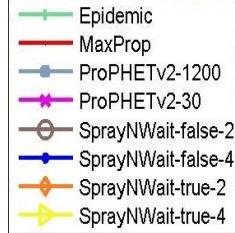
Πίνακας 4.1.1.α

msgSize	msgInterval	
	120 (totalMsgs: 48)	
msgSize	Buffer	
500b	5	50 (inf)
50Kb	5	50 (inf)
500Kb	5	50 (inf)
5Mb	5	50 (inf)

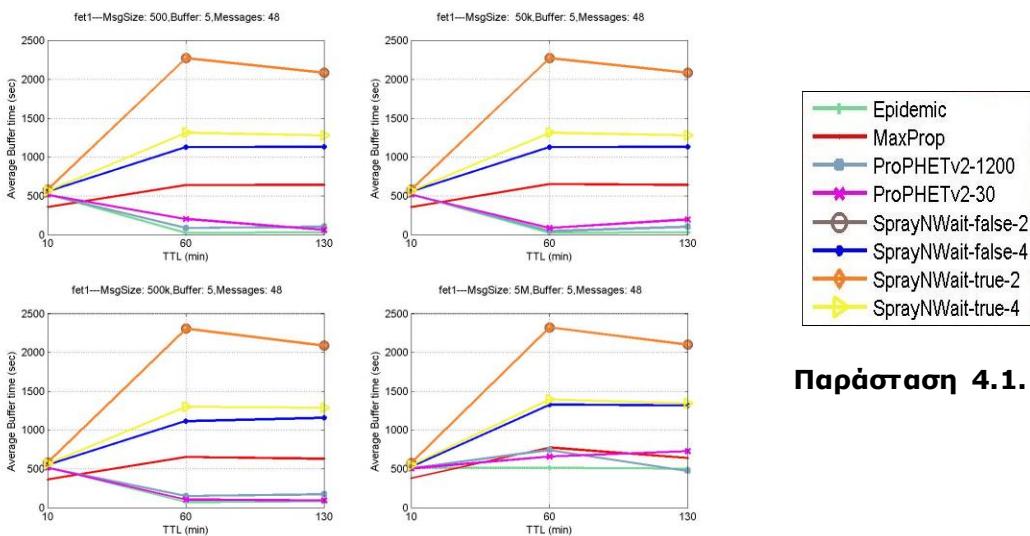
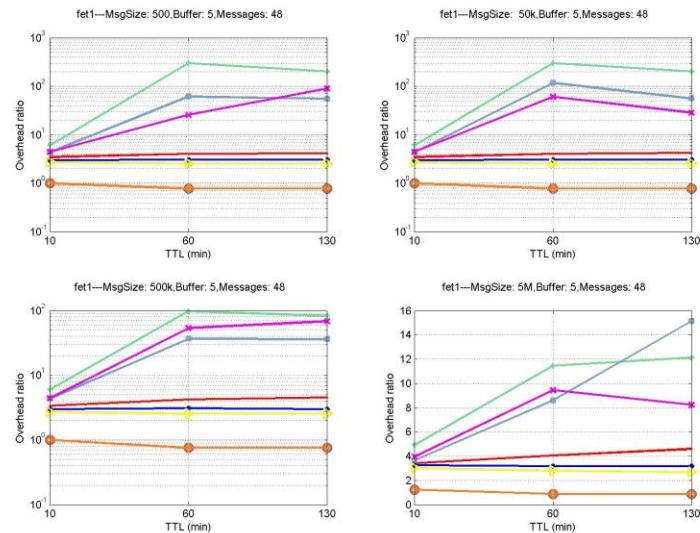
Πίνακας 4.1.1.γ



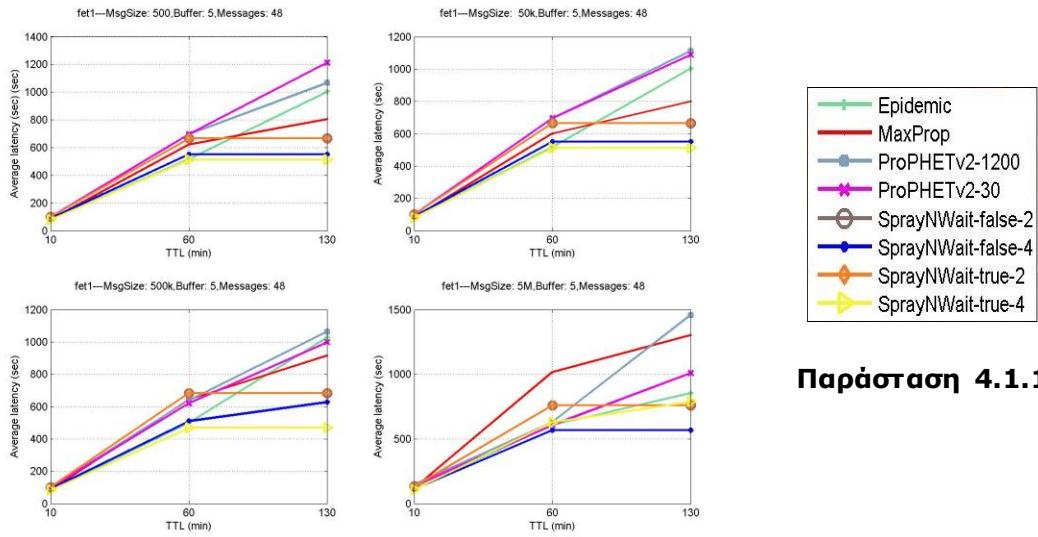
**Παράσταση 4.1.1.α**



**Παράσταση 4.1.1.β**



**Παράσταση 4.1.1.γ**



#### Παράσταση 4.1.1.δ

Στην παράσταση 4.1.1.α βλέπουμε την πιθανότητα παράδοσης μηνυμάτων για μέγεθος προσωρινής μνήμης ίσο με 5 μηνύματα, στην 4.1.1.β την επιβάρυνση που δημιουργείται στο δίκτυο, στην 4.1.1.γ το μέσο χρόνο παραμονής των μηνυμάτων στην προσωρινή μνήμη και στην 4.1.1.δ τη μέση καθυστέρηση παράδοσης των μηνυμάτων σε δευτερόλεπτα. Σε κάθε εικόνα δείχνουμε μία παράσταση για κάθε ένα από τα τέσσερα μεγέθη μηνύματος που αναφέραμε (500b, 50Kb, 500Kb, 5Mb).

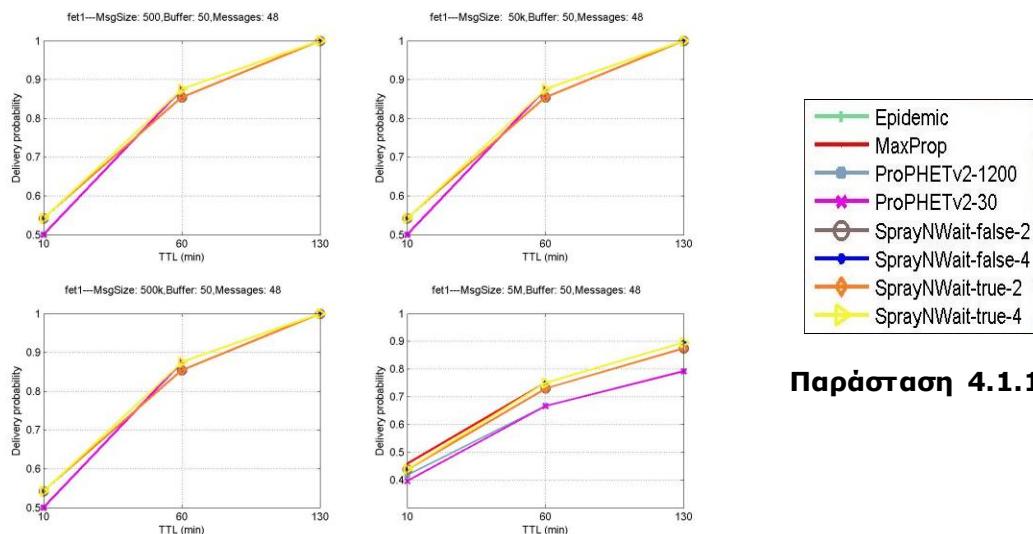
#### Παρατηρήσεις:

- Αρχικά παρατηρούμε πως για μέγεθος μηνύματος ίσο με 5M, τα ποσοστά παράδοσης μειώνονται για όλα τα πρωτόκολλα, ενώ για τα άλλα τρία μεγέθη οι τιμές είναι περίπου ίδιες. Αυτό προφανώς οφείλεται στο γεγονός ότι, για τέτοιο μέγεθος, ο χρόνος μετάδοσης είναι σημαντικά μεγαλύτερος και ο χρόνος επαφής ανάμεσα σε δύο κόμβους δεν είναι πάντα αρκετός για την ολοκλήρωση της μετάδοσης.
- Το πρωτόκολλο MaxProp έχει τη μέγιστη επίδοση σε σχέση με τα υπόλοιπα σε όλες τις περιπτώσεις. Η πιθανότητα παράδοσης αγγίζει το 0.9, ακόμη και γι' αυτό το μικρό μέγεθος μνήμης, πράγμα που δείχνει πως κάνει αρκετά αποτελεσματική διαχείριση της ουράς. Σημειωτέα είναι, επίσης, η πολύ μικρή επιβάρυνση που δημιουργεί στο δίκτυο.
- Τη δεύτερη καλύτερη επίδοση έχει το πρωτόκολλο Spray and Wait. Μάλιστα, η περίπτωση με τα δύο αντίτυπα, φαίνεται να λειπουργεί καλύτερα από αυτή των τεσσάρων. Αυτό οφείλεται ακριβώς στο γεγονός πως συνολικά δημιουργούνται λιγότερα μηνύματα και άρα ο ανταγωνισμός για μια θέση στην περιορισμένη μνήμη της συσκευής είναι μικρότερος. Παραμένουν, λοιπόν, εκεί για περισσότερο χρόνο -ζουν, δηλαδή, περισσότερο-, όπως φανερώνεται κι από την παράσταση 4.1.1.γ, και έχουν καλύτερες πιθανότητες παράδοσης.
- Το Επιδημικό πρωτόκολλο έχει τη χειρότερη επίδοση στις πλείστες περιπτώσεις. Καταφέρνει μόνο να ξεπεράσει το PRoPHETv2 στην περίπτωση μεγέθους

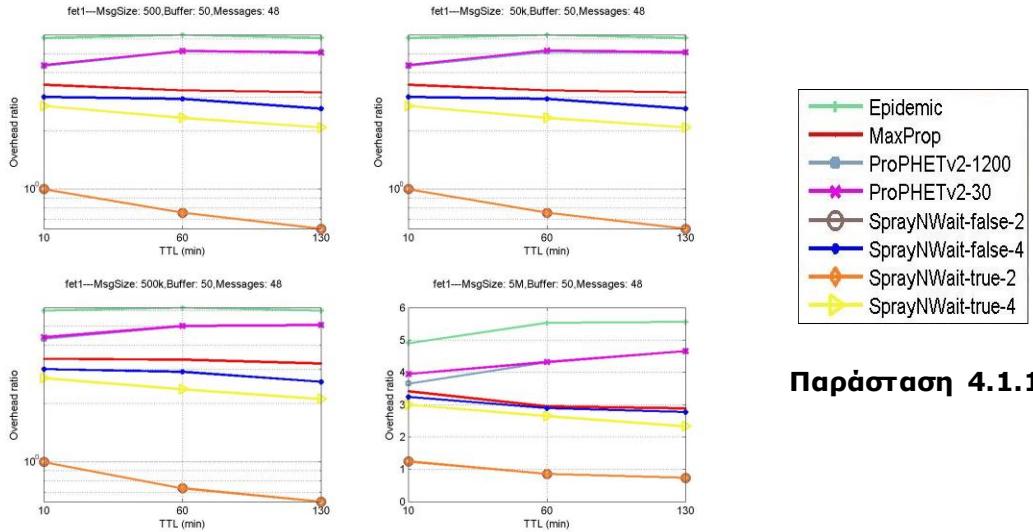
μηνύματος 5M, όπου εκεί σημαντικό ρόλο παίζει ο χρόνος που βρίσκονται σε επαφή οι κόμβοι. Η αποτυχία αυτή οφείλεται στη μη ύπαρξη εξελιγμένου μηχανισμού διαχείρισης μνήμης και στην απλή χρήση της τακτικής First-In-First-Out, καθώς και στη μεγάλη υπερφόρτωση με μηνύματα του δικτύου, που έχουν ως αποτέλεσμα τη γρήγορη απόρριψη μηνυμάτων χωρίς αυτά να έχουν παραδοθεί.

- Το πρωτόκολλο PRoPHETv2, επίσης δεν φαίνεται να λειπουργεί και πολύ καλά εδώ. Δημιουργεί τη δεύτερη μεγαλύτερη υπερφόρτωση στο δίκτυο και η διάρκεια ζωής των μηνυμάτων στη μνήμη δεν είναι αρκετή για να παραδοθούν.
- Όσον αφορά τις καθυστερήσεις, παρατηρούμε ότι τις χαμηλότερες τιμές έχουν τα Spray and Wait των τεσσάρων αντιγράφων, ενώ πολύ μεγάλες καθυστερήσεις παρουσιάζουν τα Επιδημικό και PRoPHETv2, ιδιαίτερα για μεγάλο χρόνο ζωής μηνύματος. Το MaxProp έχει μια περίπου μέση καθυστέρηση σε σχέση με τα υπόλοιπα, εκτός από το μέγεθος των 5M όπου φαίνεται αυξημένη. Πρέπει όμως να συνδυάσουμε την καθυστέρηση αυτή και με τα αυξημένα ποσοστά παράδοσης, που στην τελευταία περίπτωση είναι γύρω στο 10% περισσότερο από το δεύτερο πρωτόκολλο.

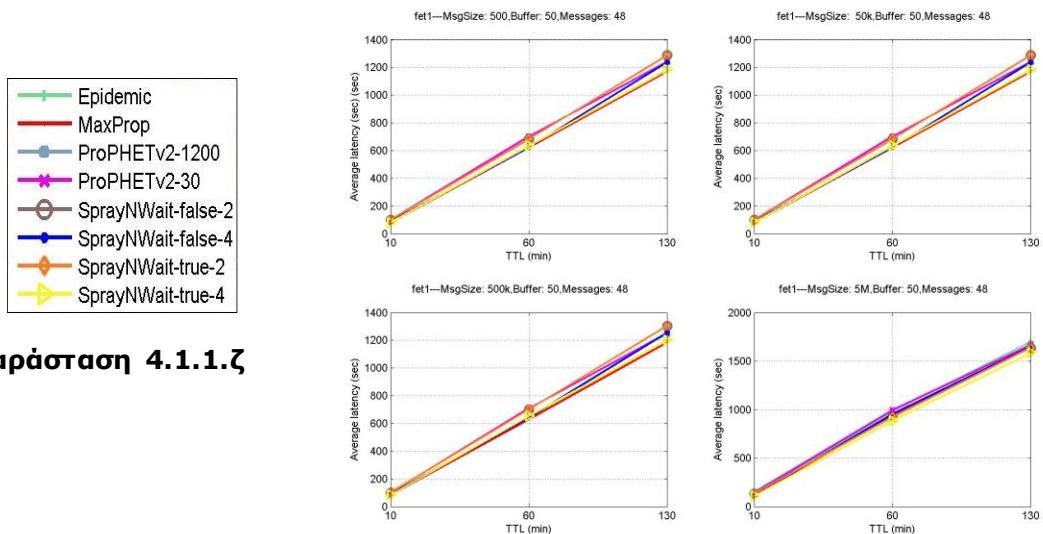
Ακολουθούν τα αποτελέσματα για μέγεθος μνήμης 50 μηνυμάτων, που στην προκειμένη περίπτωση είναι αρκετό να χωρέσει όλα τα δημιουργηθέντα μηνύματα. Για το λόγο αυτό δεν παρουσιάζεται η παράσταση του μέσου χρόνου παραμονής στη μνήμη, εφόσον όλα τα μηνύματα έχουν το χρόνο που χρειάζονται.



**Παράσταση 4.1.1.ε**



### Παράσταση 4.1.1.στ

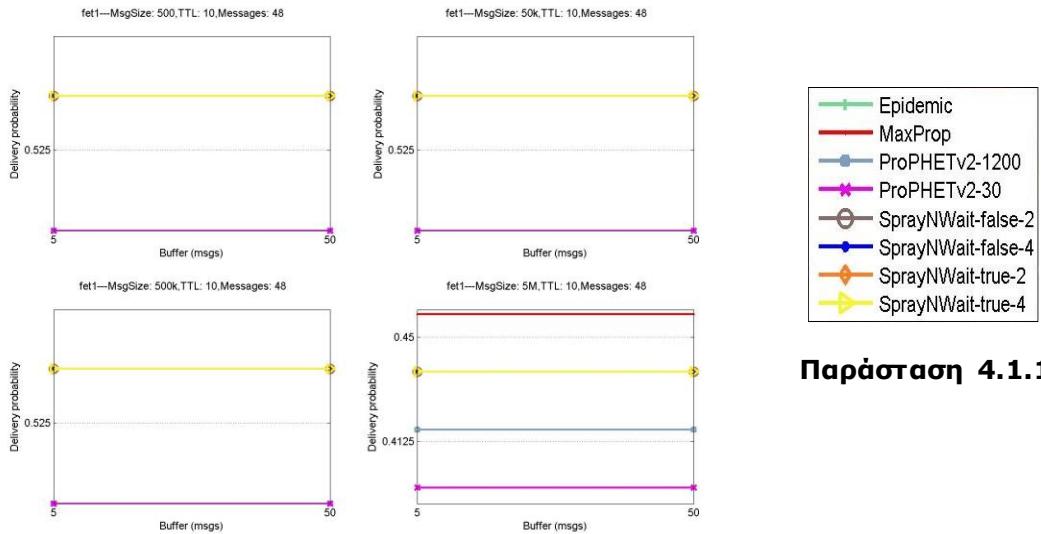


### Παράσταση 4.1.1.ζ

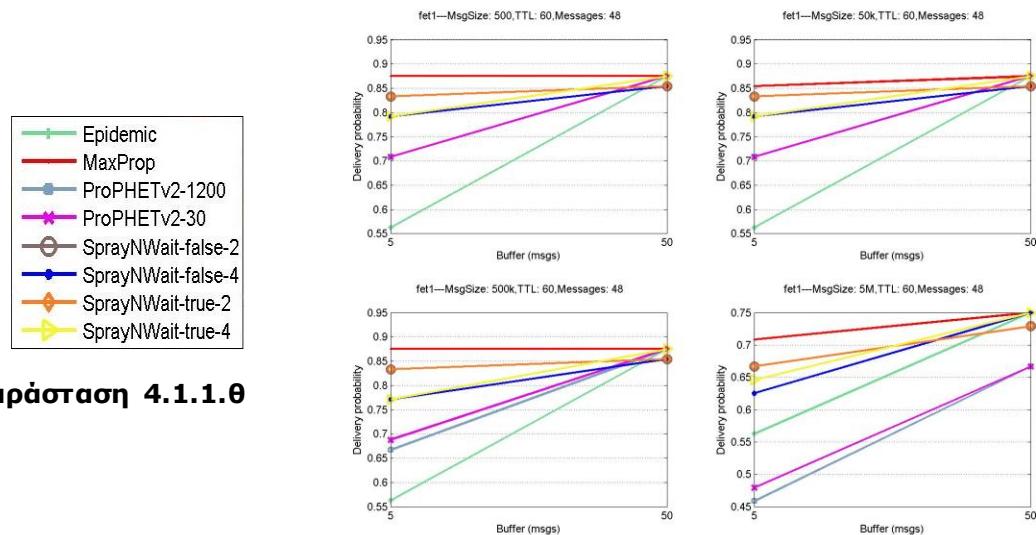
Στην παράσταση 4.1.1.ε έχουμε το ποσοστό παράδοσης, στην 4.1.1.στ την επιβάρυνση και στην 4.1.1.ζ τη μέση καθυστέρηση παράδοσης των μηνυμάτων.

#### Παρατηρήσεις:

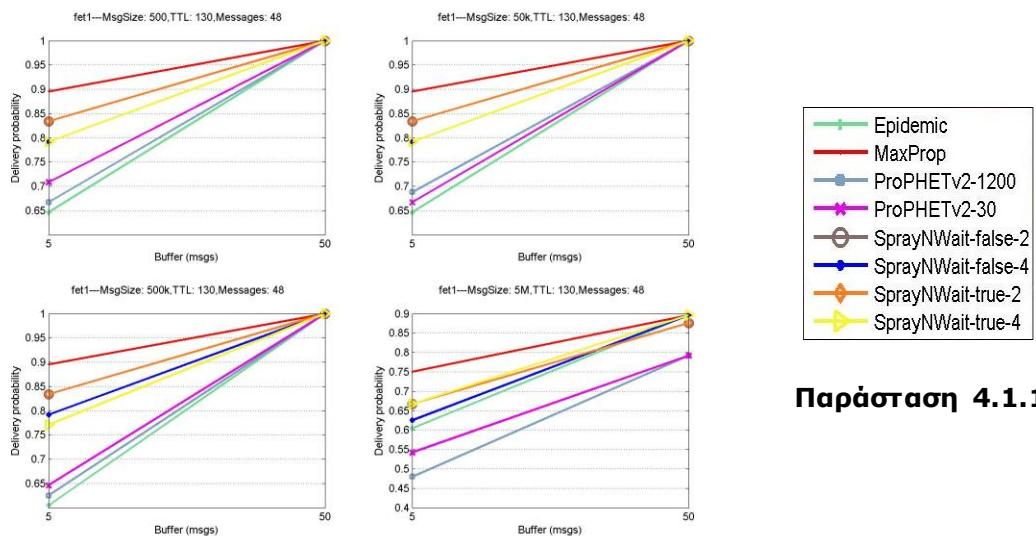
- Και εδώ τα ποσοστά παράδοσης για μέγεθος μηνύματος ίσο με 5M είναι χαμηλότερα σε σχέση με αυτά των άλλων τριών μεγεθών, για το λόγο που εξηγήσαμε προηγουμένως.
- Τώρα που η μνήμη είναι απεριόριστη, όλα τα πρωτόκολλα επιτυγχάνουν τα ίδια ή με μικρές διαφορές ποσοστά. Η όποια αποτυχία οφείλεται αποκλειστικά στο χρόνο ζωής των μηνυμάτων και τη μη επίτευξη των κατάλληλων επαφών σε αυτό το διάστημα. Κοντά είναι και οι τιμές των καθυστερήσεων.
- Στην περίπτωση αυτή το πρωτόκολλο Spray and Wait με τα τέσσερα αντίτυπα υπερτερεί αυτού με τα δύο, εφόσον πλέον δεν απορρίπτεται κανένα μήνυμα λόγω έλλειψης χωρητικότητας.



**Παράσταση 4.1.1.η**



**Παράσταση 4.1.1.θ**

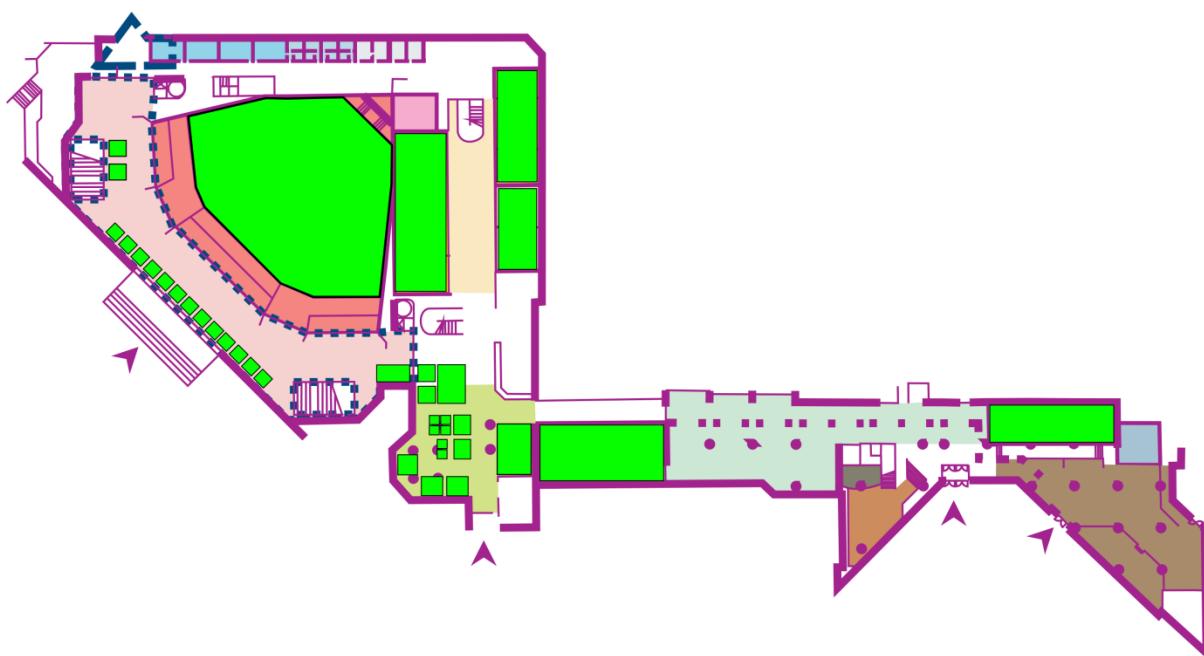


**Παράσταση 4.1.1.ι**

Στις παραπάνω παραστάσεις κάνουμε σύγκριση των δύο μεγεθών μνήμης για τα διάφορα TTL. Η παράσταση 4.1.1.η παρουσιάζει την πιθανότητα παράδοσης για TTL = 10 λεπτά. Οι επόμενες δύο παραστάσεις την πιθανότητα παράδοσης για TTL = 60 και 130 λεπτά.

#### Παρατηρήσεις:

- Για TTL = 10, τα μηνύματα δεν έχουν την ευκαιρία να διαδοθούν αρκετά, γι' αυτό και οι τιμές είναι ακριβώς ίδιες και για τα δύο μεγέθη μνήμης. Απορρίπτονται από τη μνήμη -πριν καν αυτή γεμίσει- λόγω λήξης του χρόνου ζωής.
- Στους άλλους δύο χρόνους ζωής μηνυμάτων, βλέπουμε ότι όλα τα πρωτόκολλα ευνοούνται από την αύξηση μνήμης, με τη μεγαλύτερη βελτίωση να παρατηρείται στο Επιδημικό πρωτόκολλο, αλλά και στο PRoPHETv2. Αυτό οφείλεται στη δραματική πτώση της υπερφόρτωσης, που επιτυγχάνεται με την αύξηση της χωρητικότητας, με τα ποσοστά αυτά να πέφτουν περισσότερο κι από μία τάξη μεγέθους για τα δύο πρωτόκολλα.



**Εικόνα 4.1.1.α: Η κάτοψη του Συνεδριακού κέντρου.**

Με πράσινο χρώμα παρουσιάζονται οι θάλαμοι στους οποίους κινούνται οι κόμβοι.

#### 4.1.2 Μέρα 2

Έχουμε 59 κόμβους. Η προσομοίωση διαρκεί 650 λεπτά και μηνύματα παράγονται για το 80% του συνολικού χρόνου.

Ειδικές παράμετροι του σεναρίου που εξετάστηκαν:

Πρωτόκολλο	Mode	nrofCopies	secondsInTimeUnit
Epidemic	-	-	-
MaxProp	-	-	-
Spray and Wait	False	5 (~8%)	-
Spray and Wait	True	5	-
Spray and Wait	False	20 (~34%)	-
Spray and Wait	True	20	-
Spray and Wait	False	40 (~68%)	-
Spray and Wait	False	40	-
PRoPHETv2	-	-	30
PRoPHETv2	-	-	1200
PRoPHETv2	-	-	3600

msgTTL (min)
10
60
240
650 (inf)

Πίνακας 4.1.2.β

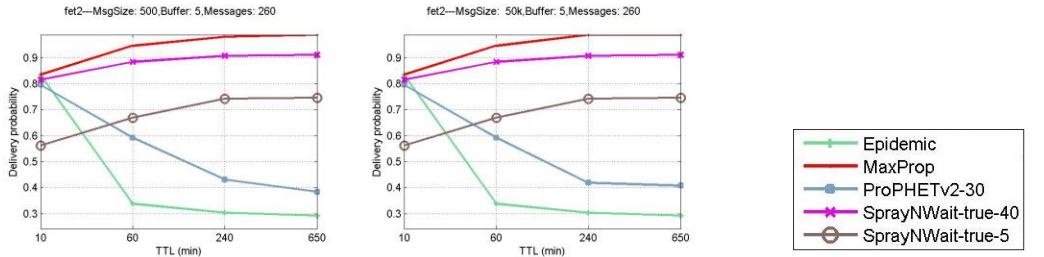
Πίνακας 4.1.2.α

msgSize	msgInterval				
	120 (totalMsgs: 260)		1200 (totalMsgs: 26)		
Buffer					
500b	5	50	2G (inf)	5	50 (inf)
50Kb	5	50	2G (inf)	5	50 (inf)
500Kb	5	50	2G (inf)	5	50 (inf)
5Mb	5	50	2G (inf)	5	50 (inf)

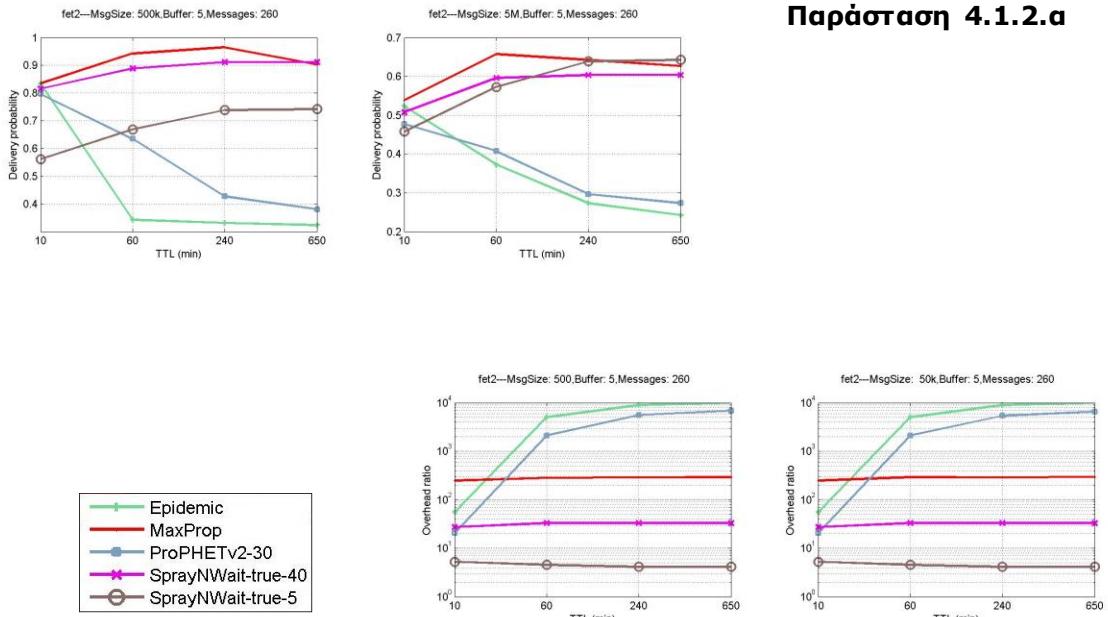
Πίνακας 4.1.2.γ

Για λόγους ευκρίνειας παρουσιάζουμε δύο ξεχωριστές παραστάσεις για κάθε μέγεθος μνήμης. Στην πρώτη έχουμε δύο περιπτώσεις με διαφορετικό αριθμό αντιγράφων από το Spray and Wait και μία από το PRoPHETv2, μαζί με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα. Στη δεύτερη είναι οι υπόλοιπες εκδοχές των δύο συγκεκριμένων πρωτοκόλλων.

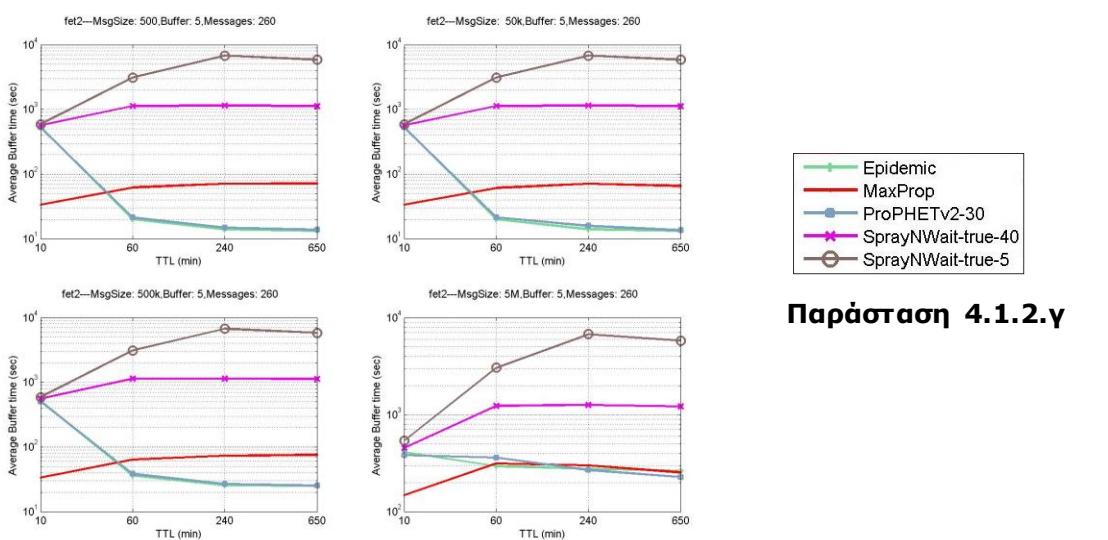
Για 260 μηνύματα:



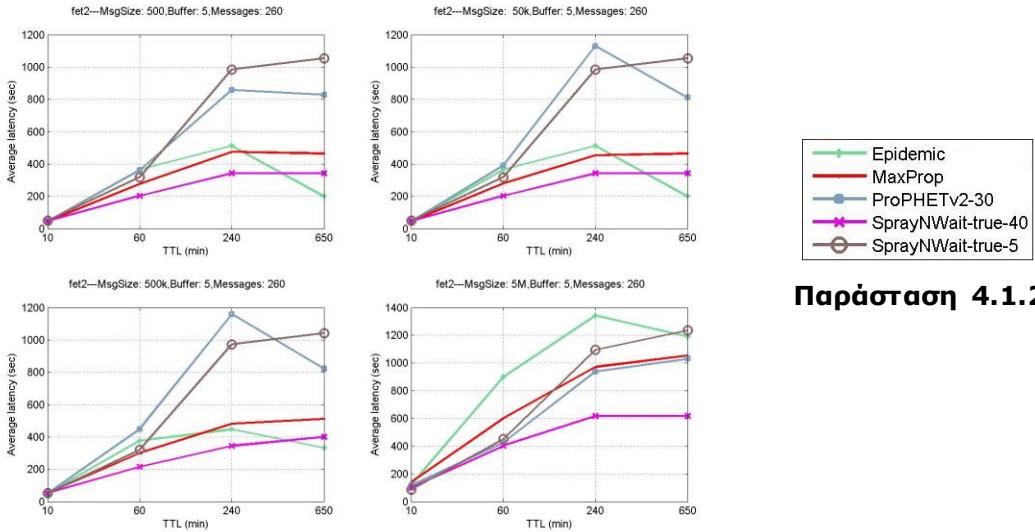
**Παράσταση 4.1.2.α**



**Παράσταση 4.1.2.β**



**Παράσταση 4.1.2.γ**



### Παράσταση 4.1.2.δ

Στην παράσταση 4.1.2.α βλέπουμε το ποσοστό παράδοσης μηνυμάτων για μέγεθος προσωρινής μνήμης ίσο με 5 μηνύματα, στην 4.1.2.β την επιβάρυνση που δημιουργείται στο δίκτυο, στην 4.1.2.γ το μέσο χρόνο παραμονής των μηνυμάτων στην προσωρινή μνήμη και στην 4.1.2.δ τη μέση καθυστέρηση παράδοσης.

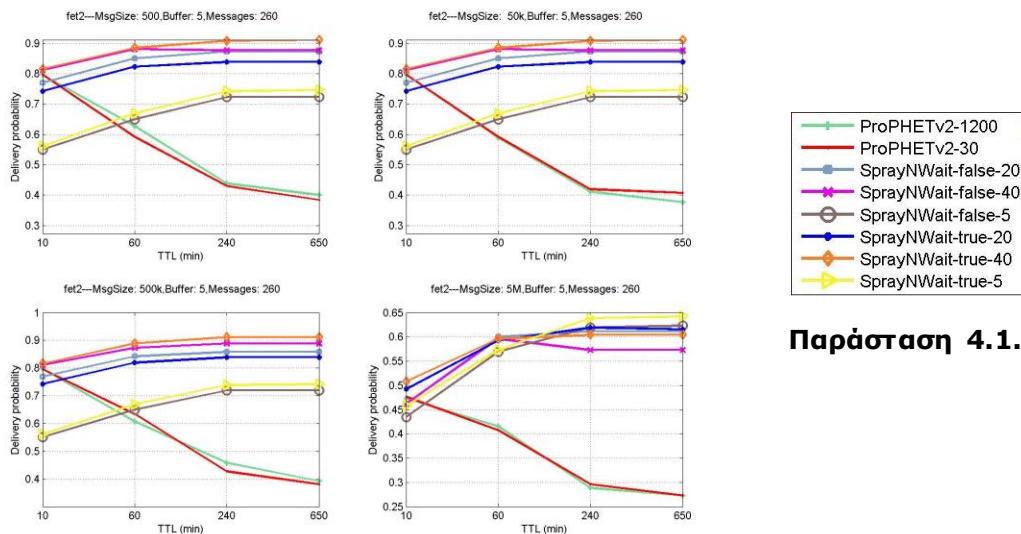
#### Παρατηρήσεις:

- Το πρωτόκολλο MaxProp έχει κατά γενική ομολογία τη μέγιστη επίδοση σε σχέση με τα υπόλοιπα. Για τα δύο πρώτα μεγέθη καταφέρνει να παραδώσει όλα τα μηνύματα επιτυχώς, όταν ο χρόνος ζωής τους είναι αρκετός. Στα μεγαλύτερα μεγέθη υπάρχει πτώση της πιθανότητας παράδοσης μετά από κάποιο σημείο, που στην περίπτωση του μεγέθους μηνύματος ίσο με 500kb είναι τα 240 λεπτά και για τα 5M τα 60. Αυτό οφείλεται στις αποφάσεις του πρωτοκόλλου για το ποια μηνύματα θα παραμείνουν στη μνήμη όταν υπάρχει ανταγωνισμός και τις επαφές που ακολουθούν, στις οποίες μπορεί να μην υπάρχει ο κατάλληλος χρόνος για μετάδοση των μηνυμάτων.
- Τη δεύτερη καλύτερη επίδοση έχει το πρωτόκολλο Spray and Wait. Η περίπτωση των σαράντα αντιγράφων -που καλύπτει περίπου το 67% του αριθμού των συσκευών- έχει πολύ καλά αποτελέσματα, με πολύ χαμηλό ποσοστό υπερφόρτωσης.
- Για μέγεθος μηνύματος 5M και για αρκετά μεγάλο χρόνο ζωής, βλέπουμε πως το Spray and Wait με τα μόλις πέντε αντιγραφα, έχει τις καλύτερες επιδόσεις από όλα τα πρωτόκολλα. Αυτό οφείλεται στο μικρό, σταθερό αριθμό μηνυμάτων που δημιουργούνται και εν τέλει διακινούνται στο δίκτυο με τη χρήση του πρωτοκόλλου αυτού και που του επιτρέπουν να επωφελείται ιδιαίτερα από την αύξηση του χρόνου ζωής των μηνυμάτων (όσο φυσικά η μνήμη είναι αρκετή).
- Το Επιδημικό πρωτόκολλο έχει τη χειρότερη επίδοση στις πλείστες περιπτώσεις, με το PRoPHETv2 να ακολουθεί. Τα δύο αυτά πρωτόκολλα έχουν εξαιρετικά υψηλά ποσοστά υπερφόρτωσης, όσο αυξάνεται ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων και χαμηλό μέσο χρόνο παραμονής στη μνήμη. Απορρίπτουν τα περισσότερα

μηνύματα πριν προλάβουν να φτάσουν στον προορισμό τους. Η πιθανότητα παράδοσης των πρωτοκόλλων αυτών είναι πολύ μεγαλύτερη για το μικρότερο TTL που χρησιμοποιήθηκε στις προσομοιώσεις μας.

- Αξίζει να σημειωθούν οι σχετικά χαμηλοί χρόνοι καθυστέρησης των Spray and Wait σαράντα αντιτύπων και MaxProp. Το Spray and Wait πέντε αντιγράφων, όπως είναι φυσικό, έχει αρκετή καθυστέρηση. Τα Epidemic και PRoPHETv2 με βάση τις πιθανότητες παράδοσης και την καθυστέρηση που παρουσιάζουν, δεν είναι προφανώς ιδανικά γι' αυτό το σενάριο.

Στη συνέχεια δίνεται η παράσταση με τις υπόλοιπες εκδοχές των πρωτοκόλλων Spray and Wait και PRoPHETv2:

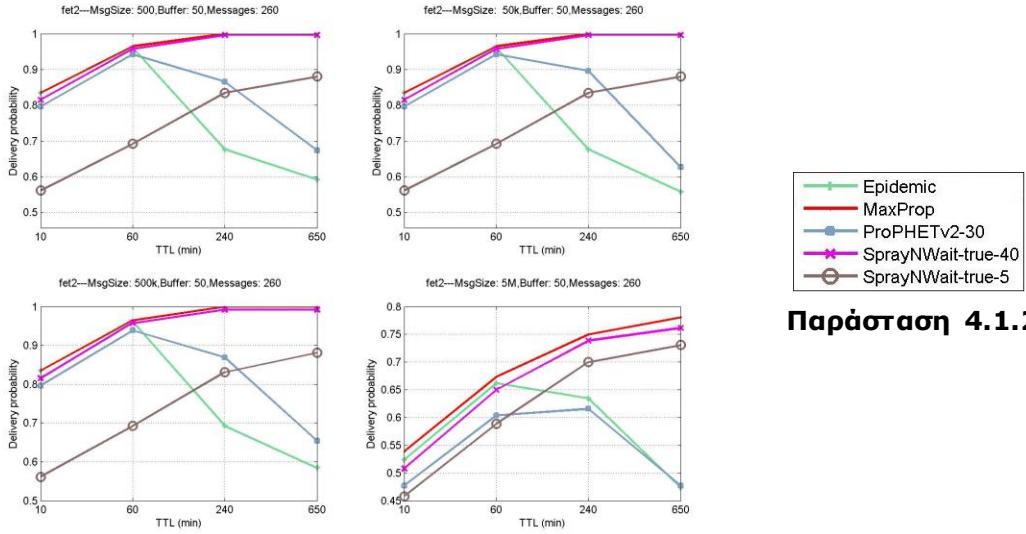


#### Παράσταση 4.1.2.ε

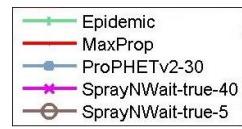
#### Παρατηρήσεις:

- Μπορούμε να δούμε τις μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ των πρωτοκόλλων Spray and Wait ιδίου αριθμού αντιτύπων. Για τα πέντε και σαράντα αντίγραφα, η δυαδική εκδοχή του πρωτοκόλλου φαίνεται να είναι λίγο καλύτερη, αλλά το αντίθετο συμβαίνει για τα 20 αντίγραφα.
- Οι διαφορές είναι ελάχιστες για το PRoPHETv2.

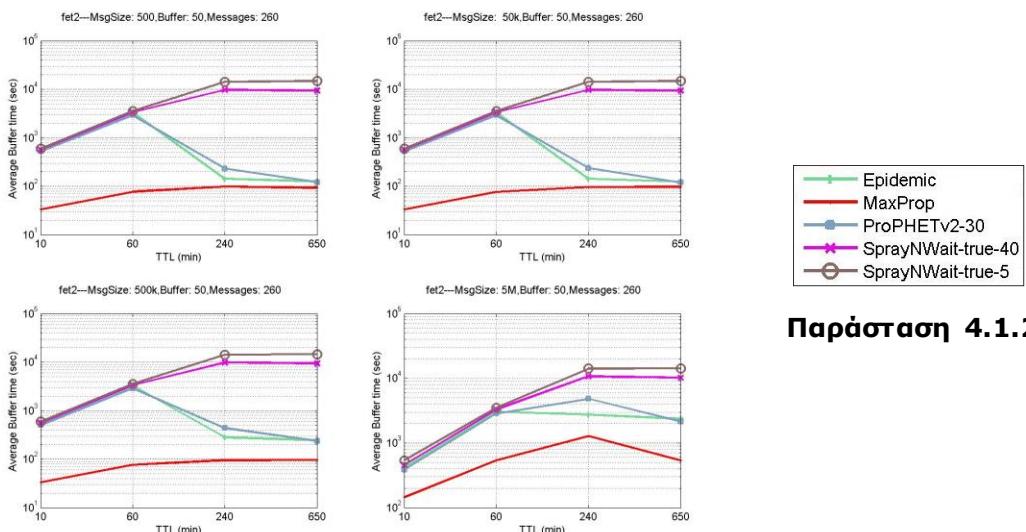
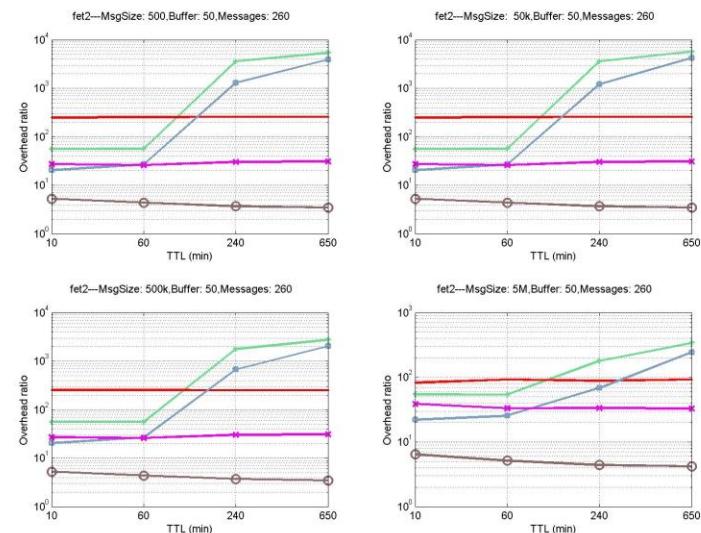
Αυξάνουμε τη χωρητικότητα μνήμης στα 50 μηνύματα κι έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:



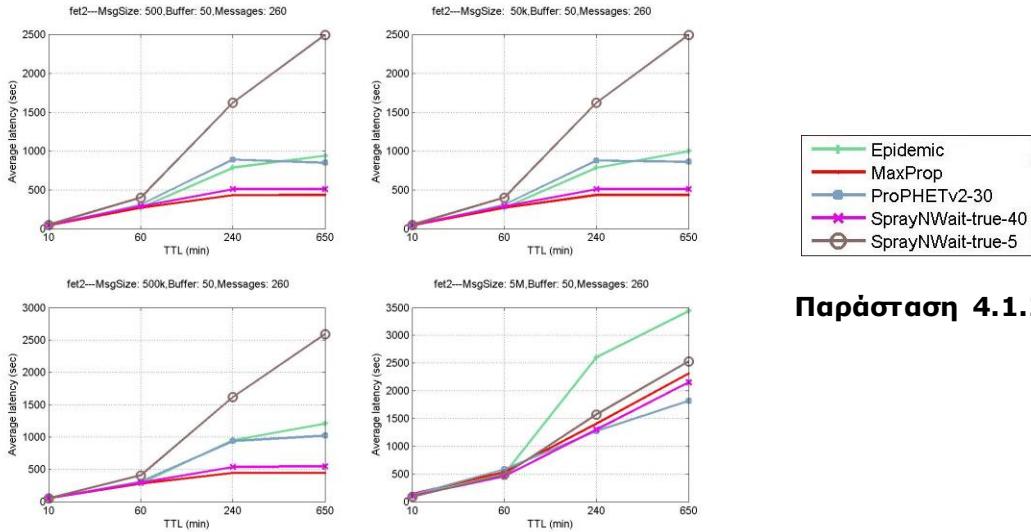
**Παράσταση 4.1.2.στ**



**Παράσταση 4.1.2.ζ**



**Παράσταση 4.1.2.η**



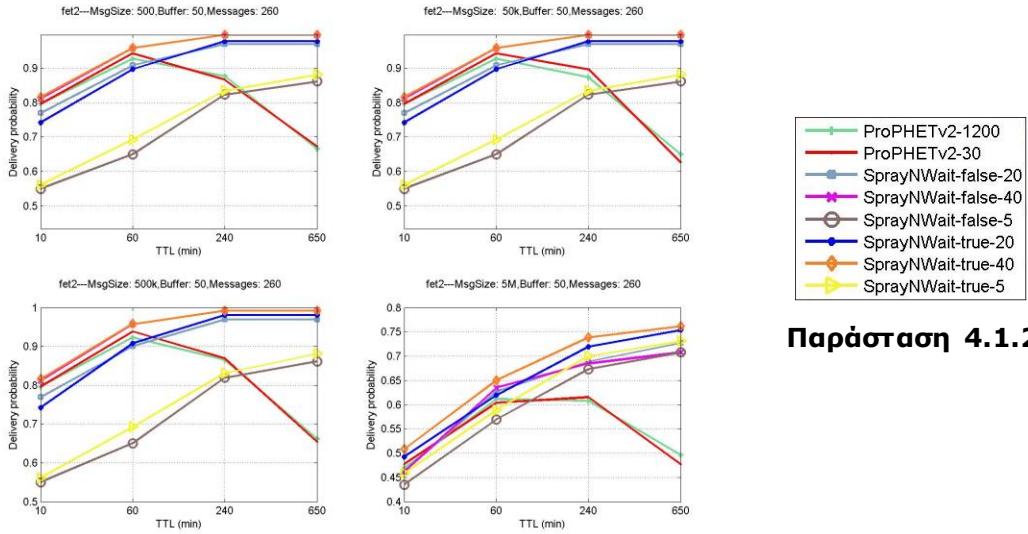
#### Παράσταση 4.1.2.θ

Στην παράσταση 4.1.2.στ έχουμε την πιθανότητα παράδοσης για μέγεθος μνήμης 50 μηνυμάτων, στην 4.1.2.ζ την επιβάρυνση, στην 4.1.2.η το μέσο χρόνο παραμονής των μηνυμάτων στη μνήμη και στην 4.1.2.θ τη μέση καθυστέρηση παράδοσης.

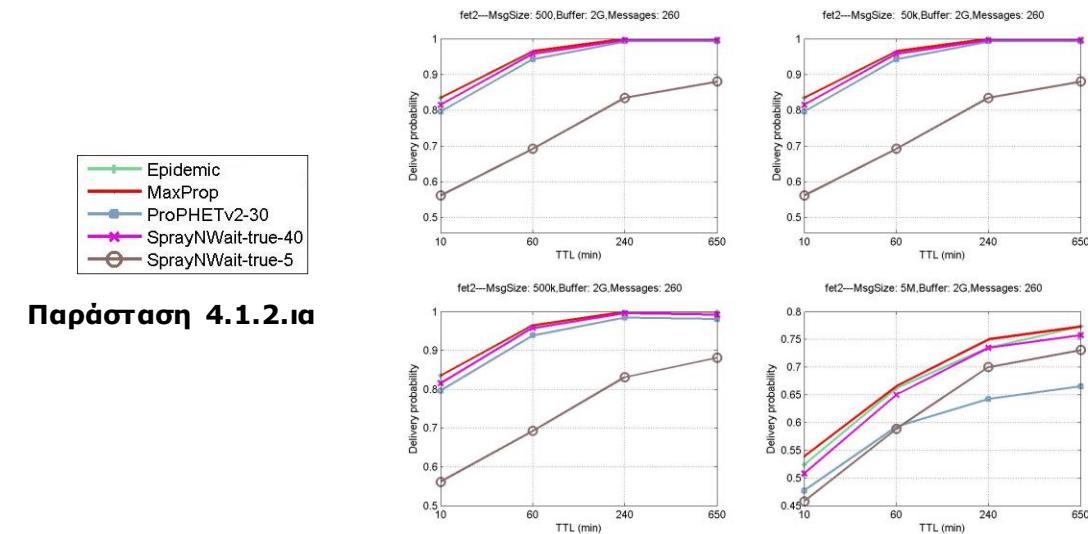
#### Παρατηρήσεις:

- Βλέπουμε πως η αύξηση της μνήμης έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πιθανότητας παράδοσης για όλα τα πρωτόκολλα και πως τα MaxProp και Spray and Wait φτάνουν την πιθανότητα 1 και για το μέγεθος μηνύματος 500kb, με τον άναλογο χρόνο ζωής, πράγμα στο οποίο αποτύγχαναν προηγουμένως.
- Σημειωτέα είναι η αύξηση των επιδόσεων των PRoPHETv2 και Epidemic. Τώρα που περισσότερα μηνύματα έχουν την ευχέρεια να παραμείνουν στη μνήμη, η πιθανότητα παράδοσης αυξάνεται μέχρι χρόνο ζωής 60 λεπτά και μειώνεται μετά.
- Μιας και ο ανταγωνισμός για μια θέση στη μνήμη έχει μειωθεί σε σχέση με προηγουμένως, το Spray and Wait των πέντε αντιγράφων υστερεί σε σχέση με αυτό των σαράντα αντιπύπων και του MaxProp, ακόμα και στο μέγεθος των 5M.

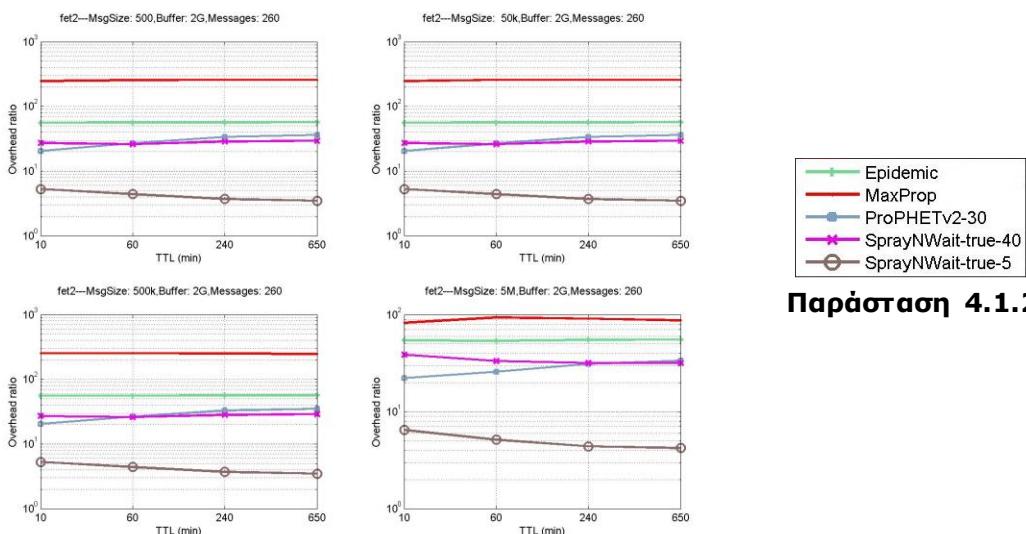
Παρακάτω βλέπουμε τις υπόλοιπες εκδοχές των πρωτοκόλλων που εξετάστηκαν:



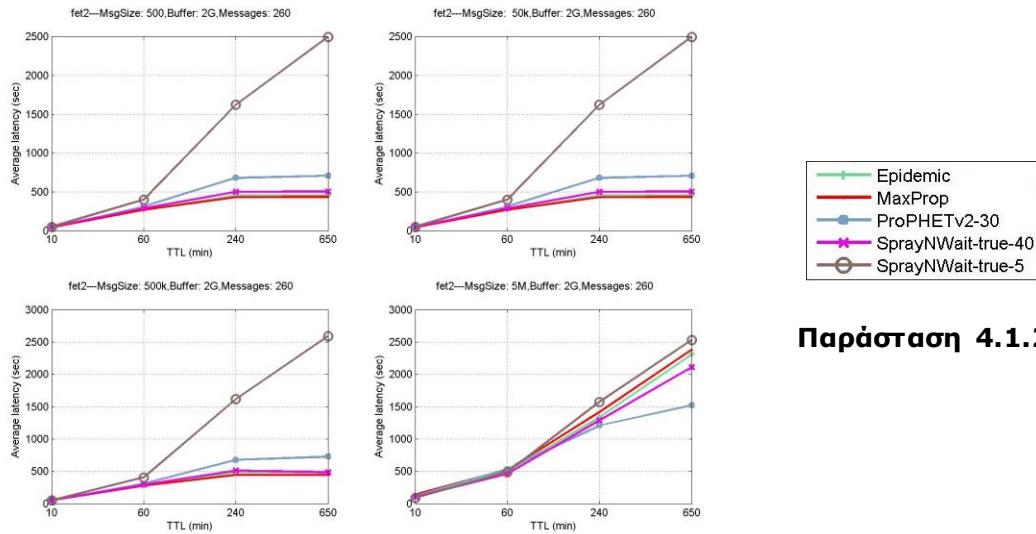
**Παράσταση 4.1.2.ι**



**Παράσταση 4.1.2.ια**



**Παράσταση 4.1.2.ιβ**



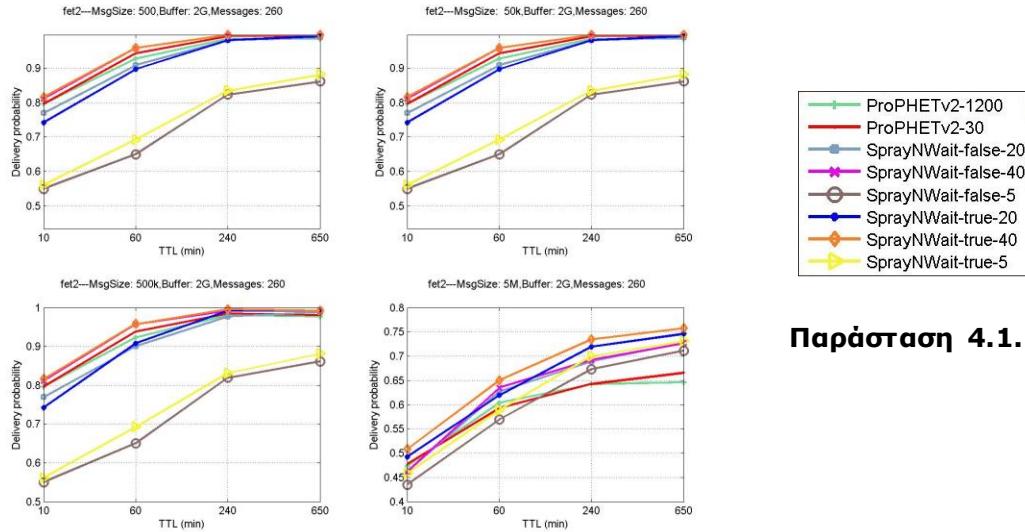
#### Παράσταση 4.1.2.ιγ

Στην παράσταση 4.1.2.ια έχουμε την πιθανότητα παράδοσης για απεριόριστο μέγεθος μνήμης, στην 4.1.2.ιβ την επιβάρυνση και στην 4.1.2.ιγ τη μέση καθυστέρηση παράδοσης.

#### Παρατηρήσεις:

- Εδώ αίρονται όλοι οι περιορισμοί στη χωρητικότητα των κόμβων και μεγαλύτερο ρόλο έχει ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων. Όσο αυτός αυξάνεται, αυξάνεται και η πιθανότητα παράδοσής τους. Το μόνο πρωτόκολλο που υστερεί είναι το Spray and Wait των πέντε αντιγράφων, πράγμα αναμενόμενο.
- Το Επιδημικό πρωτόκολλο ανταγωνίζεται πλεόν το MaxProp, ενώ και το PRoPHETv2 πλησιάζει, εκτός βέβαια της περίπτωσης του μεγέθους μηνύματος 5M.
- Σε αυτή την περίπτωση το MaxProp έχει τη μεγαλύτερη επιβάρυνση, περισσότερη και από το Επιδημικό πρωτόκολλο. Αυτό συμβαίνει γιατί το μήνυμα αναπαράγεται εως ότου παραδοθεί και ληφθεί η επιβεβαίωση. Αντίθετα στο Επιδημικό πρωτόκολλο τα μηνύματα βρίσκονται πλέον σε όλους τους κόμβους, χωρίς να πρέπει κάποιο μήνυμα να μεταδοθεί πάνω από μια φορά στον ίδιο κόμβο, κι έτσι παραδίδονται στην πρώτη επαφή με τον παραλήπτη. Παρόλα αυτά οι καθυστέρησεις είναι ελάχιστα διαφοροποιημένες.

Στην επόμενη σελίδα δίνεται η παράσταση για τις υπόλοιπες εκδοχές των πρωτοκόλλων, που παραλείφθηκαν προηγούμενως.

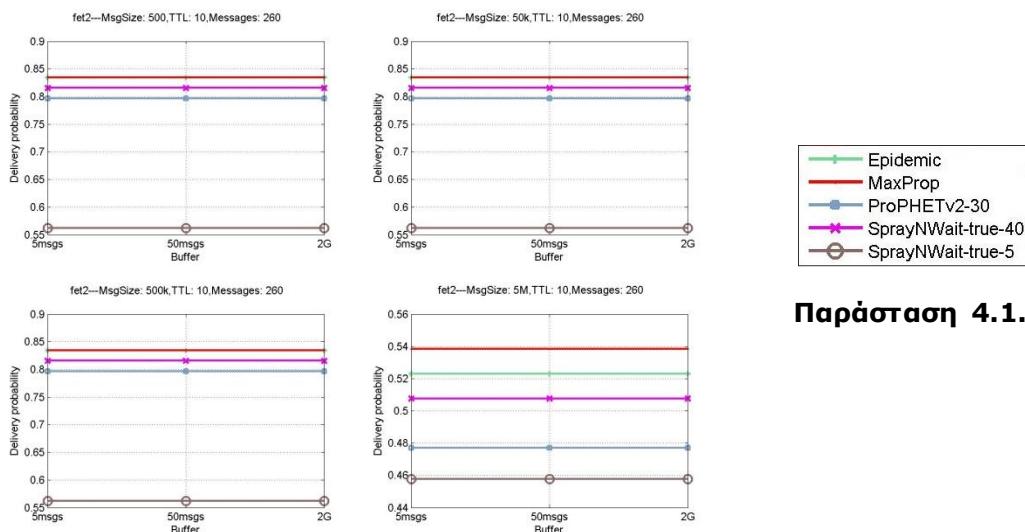


#### Παράσταση 4.1.2.ιδ

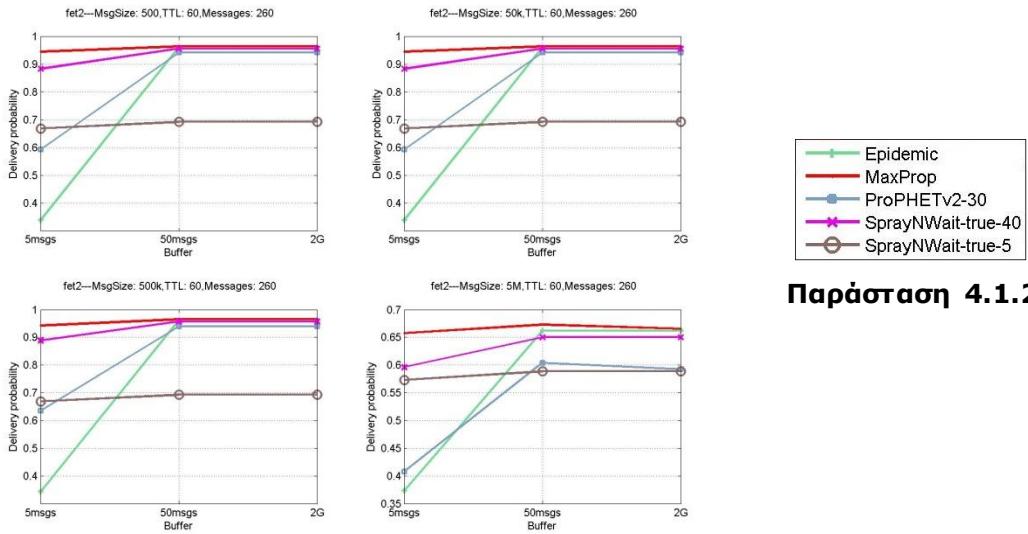
#### Παρατηρήσεις:

- Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων η ψαλίδα ανάμεσα στα διαφοροποιημένα, κατά αριθμό αντιγράφων πρωτόκολλα Spray and Wait, κλείνει. Εννοείται, φυσικά, πως τα λιγότερα αντίγραφα, χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να παραδώσουν τα μηνύματα.

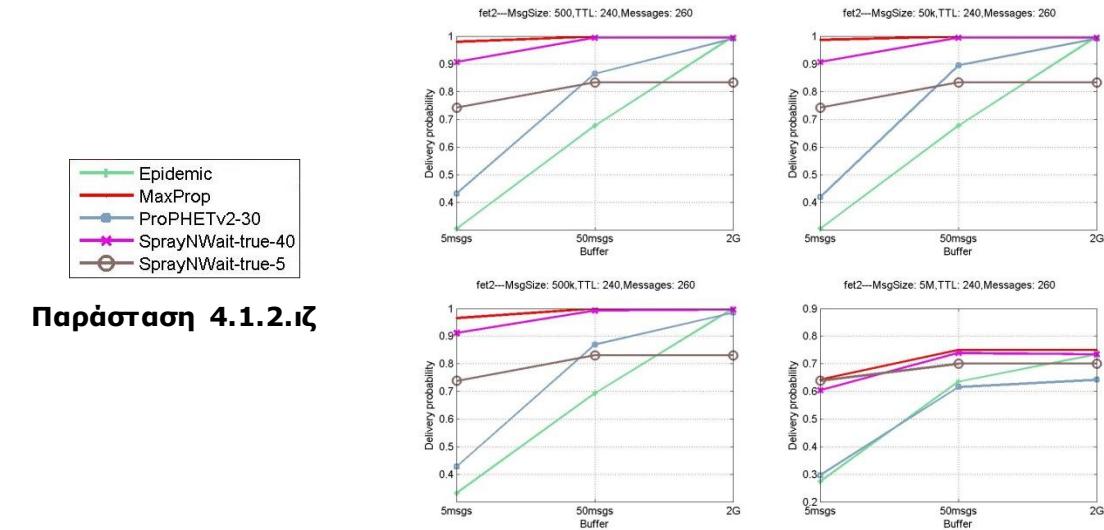
Ακολούθων παραστάσεις σύγκρισης των τριών μεγεθών μνήμης για τα διάφορα TTL:



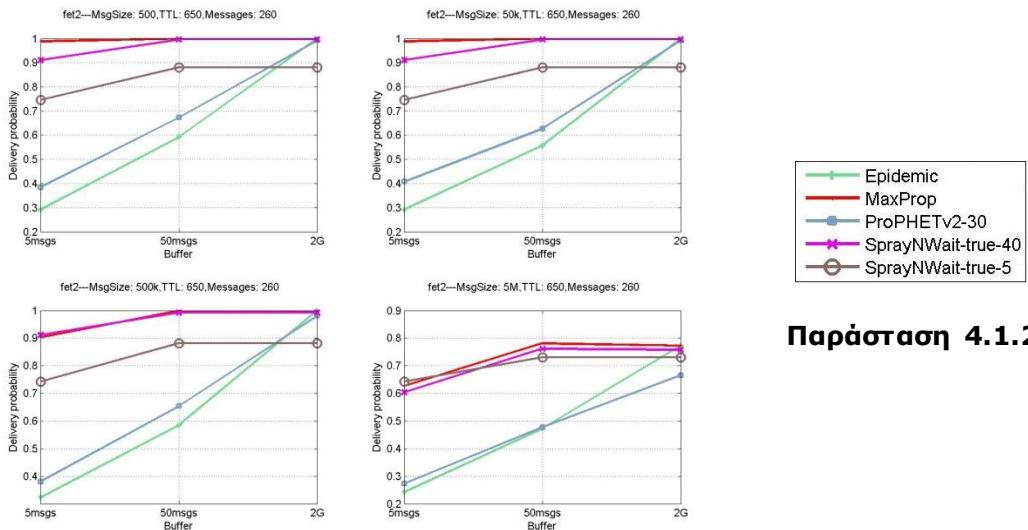
#### Παράσταση 4.1.2.ιε



**Παράσταση 4.1.2.ιτ**



**Παράσταση 4.1.2.ιζ**



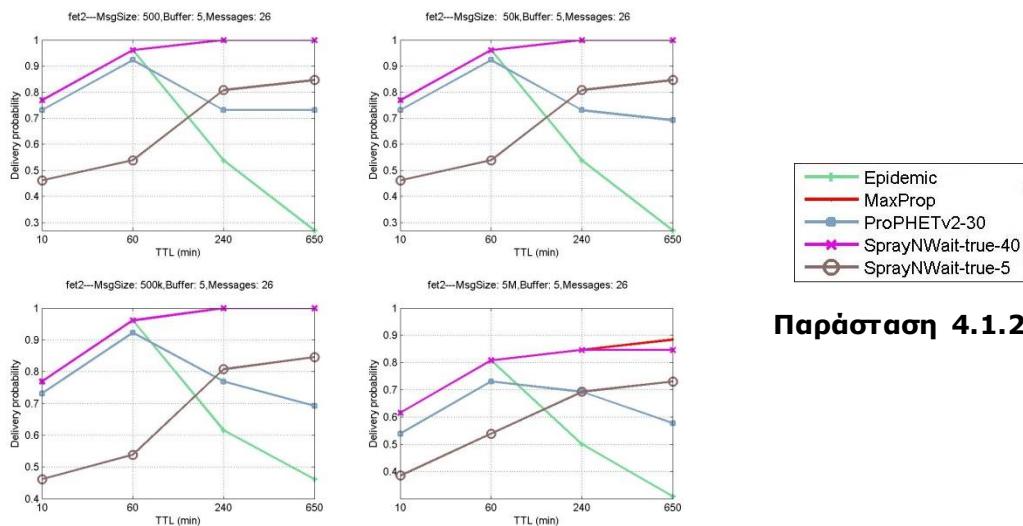
**Παράσταση 4.1.2.ιη**

### Παρατηρήσεις:

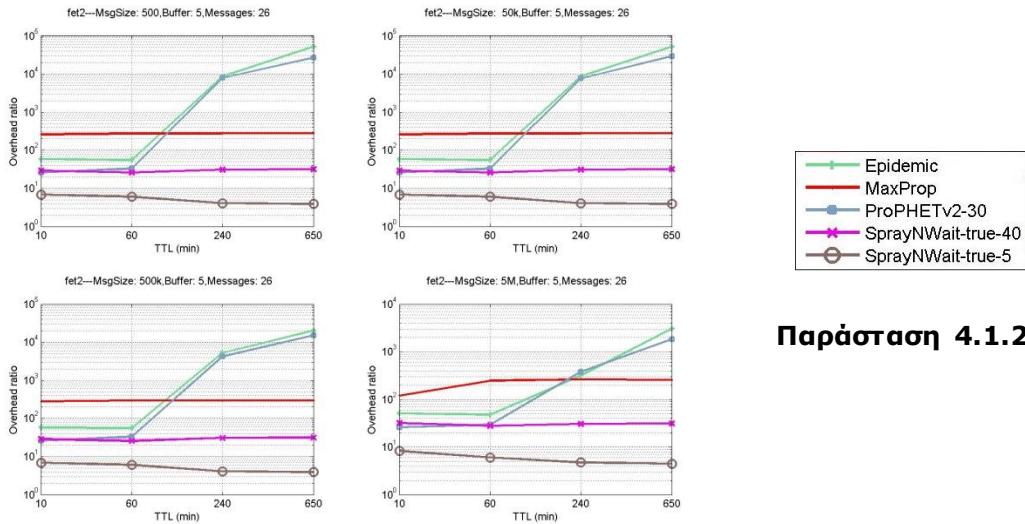
- Για χρόνο ζωής μηνύματος ίσο με δέκα λεπτά, η μνήμη των συσκευών δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα.
- Για τις άλλες τρεις περιπτώσεις, παρατηρούμε ότι τη λιγότερη βελτίωση παρουσιάζει το πρωτόκολλο MaxProp, τα ποσοστά του όποιου είναι κοντά στο μέγιστο εφικτό και για το μικρό μέγεθος μνήμης πέντε μηνυμάτων. Πιο πολύ ευνοείται στα μεγαλύτερα TTL και για μεγαλύτερα μεγέθη μηνύματος.
- Το Spray and Wait παρουσιάζει, επίσης, μικρή βελτίωση με την αύξηση της μνήμης.
- Θεαματική είναι η αλλαγή προς το καλύτερο των αποτελεσμάτων των πρωτοκόλλων Epidemic και PRoPHETv2, ιδιαίτερα όσο αυξάνεται ο χρόνος ζωής τους.

### Για 26 μηνύματα:

Στις παραστάσεις 4.1.2.iθ-κβ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για χωρητικότητα μνήμης πέντε μηνυμάτων. Βλέπουμε με τη σειρά την πιθανότητα παράδοσης, την επιβάρυνση που δημιουργείται στο δίκτυο, το μέσο χρόνο παραμονής των μηνυμάτων στη μνήμη και τη μέση καθυστέρηση παράδοσης.



### **Παράσταση 4.1.2.iθ**



### Παράσταση 4.1.2.κ

Epidemic

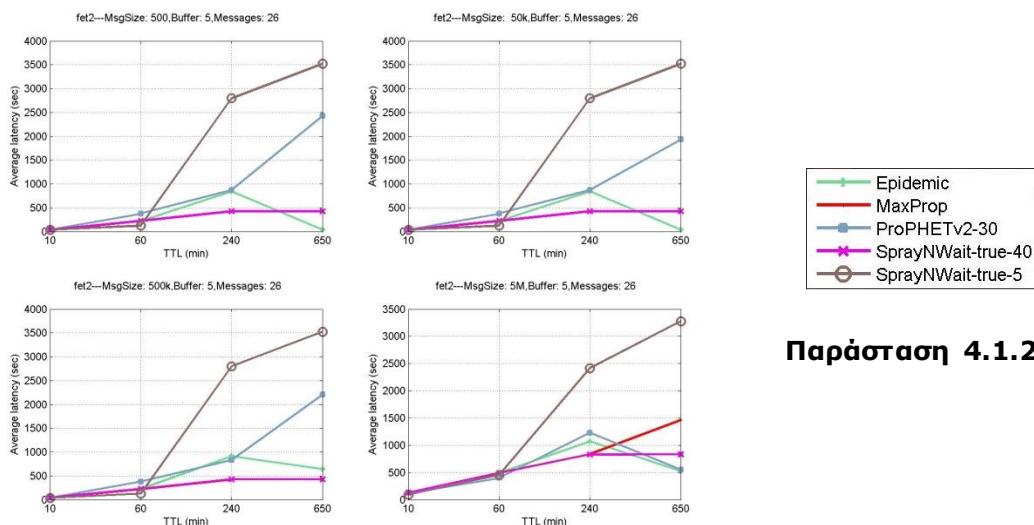
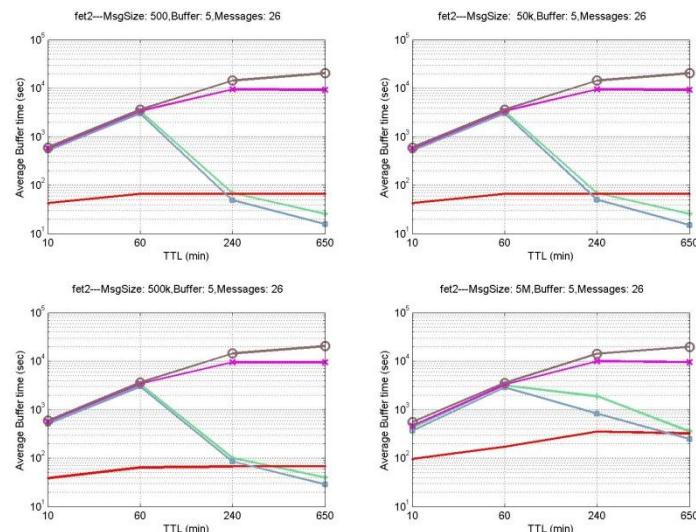
MaxProp

ProPHETv2-30

SprayNWait-true-40

SprayNWait-true-5

### Παράσταση 4.1.2.κα

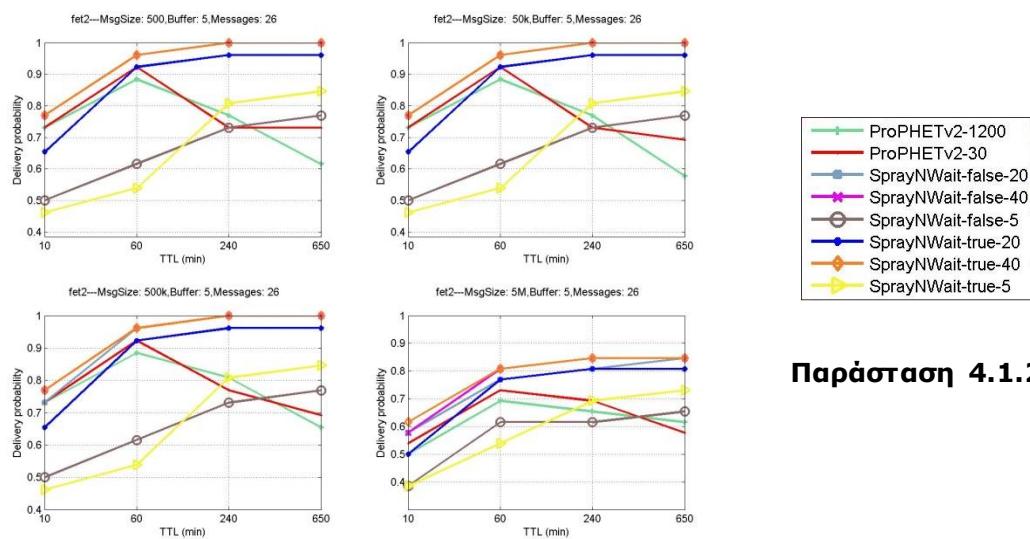


### Παράσταση 4.1.2.κβ

### Παρατηρήσεις:

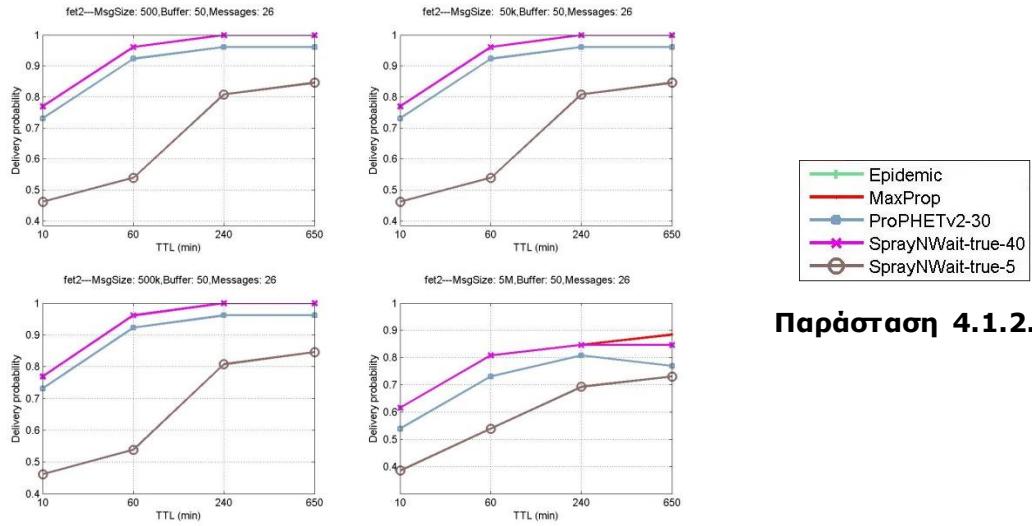
- Το Spray and Wait των σαράντα αντιγράφων έχει τα ίδια αποτελέσματα με το MaxProp, αλλά με χαμηλότερη υπερφόρτωση. Παρόλα αυτά και η καθυστέρηση παράδοσης είναι ίδια.
- Το Επιδημικό πρωτόκολλο και πάλι αποτυγχάνει όταν ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων είναι αυξημένος. Το ίδιο και το PRoPHETv2, με καλύτερα βέβαια αποτελέσματα.
- Το Spray and Wait πέντε αντιγράφων βελτιώνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων, έστω και με μεγάλες καθυστερήσεις, αλλά και πάλι η πιθανότητα παράδοσης του δεν είναι αρκετή για να συγκριθεί με αυτές των Spray and Wait σαράντα αντιγράφων και MaxProp. Συνεχίζει βέβαια να έχει το πλεονέκτημα της πολύ χαμηλής υπερφόρτωσης και κατ' επέκταση της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.

Παρακάτω δίνεται η παράσταση με τις υπόλοιπες εκδοχές των πρωτοκόλλων Spray and Wait και PRoPHETv2:

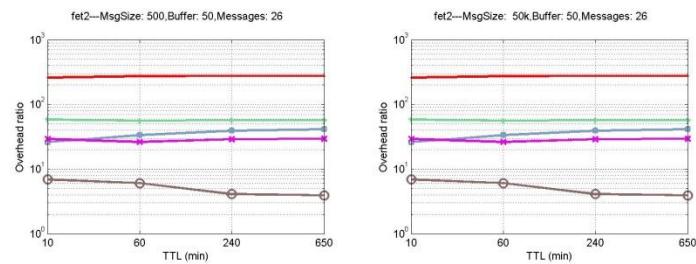
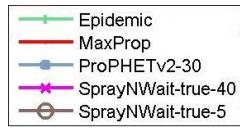


### **Παράσταση 4.1.2.κγ**

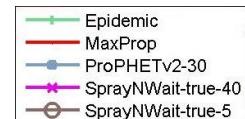
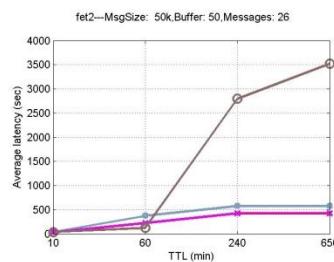
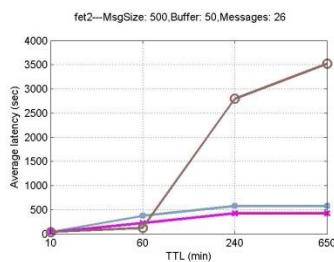
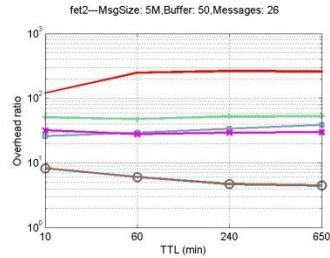
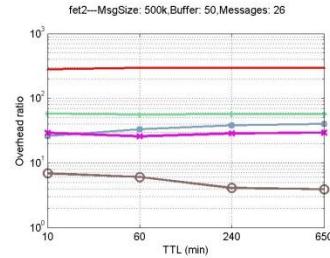
Θέτουμε τη μνήμη των κόμβων απεριόριστη και λαμβάνουμε τα επόμενα αποτελέσματα:



**Παράσταση 4.1.2.κδ**



**Παράσταση 4.1.2.κε**

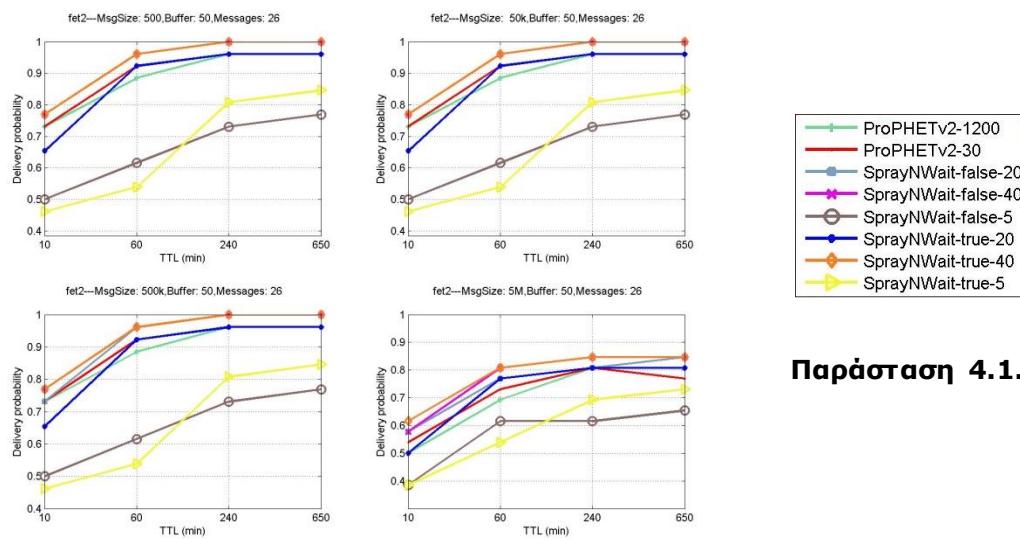


**Παράσταση 4.1.2.κστ**

### Παρατηρήσεις:

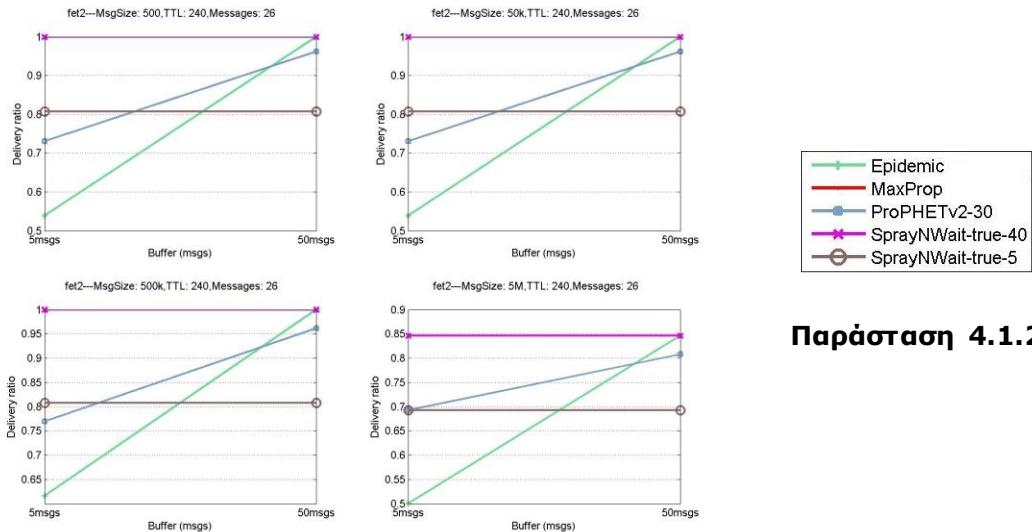
- Τα ίδια αποτελέσματα με το Spray and Wait σαράντα αντιτύπων και το MaxProp, έχει τώρα και το Επιδημικό πρωτόκολλο. Τη μεγαλύτερη υπερφόρτωση από τα τρία έχει το MaxProp, για το οποίο να θυμίσουμε τα μηνύματα αναπαράγονται μέχρι να ληφθεί από τους κόμβους και η επιβεβάιωση παράδοσης. Ακολουθεί το Επιδημικό πρωτόκολλο και τέλος το Spray and Wait. Οι καθυστερήσεις παράδοσης είναι ίδιες.
- Το PRoPHETv2 έχει επίσης βελτιωθεί με την απεριόριστη μνήμη και ακολουθεί ανοδική πορεία όσο αυξάνεται ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων. Παρόλα αυτά η πιθανότητα παράδοσης του είναι χαμηλότερη των άλλων τριών.

Η επόμενη παράσταση παρουσιάζει τις υπόλοιπες εκδοχές των πρωτοκόλλων Spray and Wait και PRoPHETv2:

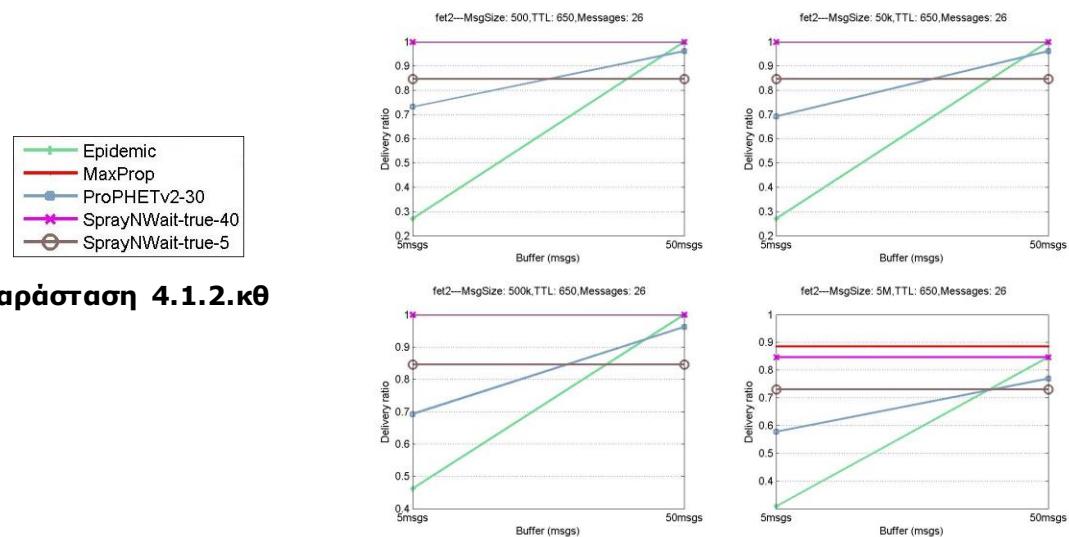


### **Παράσταση 4.1.2.κζ**

Ακολουθούν παραστάσεις σύγκρισης για τα δύο μεγέθη μνήμης για χρόνους ζωής μηνύματος 240 και 650 λεπτά αντίστοιχα. Για 10 και 60 λεπτά, τα αποτελέσματα είναι τα ίδια και για τα δύο μεγέθη μνήμης, γι' αυτό και δεν παρουσιάζονται.



#### Παράσταση 4.1.2.κη



#### Παράσταση 4.1.2.κθ

#### Παρατηρήσεις:

- Τα Spray and Wait και MaxProp δεν επιηρεάζονται από την αύξηση της μνήμης. Για αυτά τα πρωτόκολλα η μνήμη πέντε μηνυμάτων είναι αρκετή για τον συνολικό αριθμό μηνυμάτων που δημιουργήθηκαν. Το Επιδημικό πρωτόκολλο και το PRoPHETv2, που δημιουργούν μεγάλη υπερφόρτωση όταν η μνήμη είναι περιορισμένη, ευνοούνται δραστικά όταν αυτή γίνεται απεριόριστη.

#### 4.1.3 Μέρα 3

Έχουμε 46 κόμβους. Η προσομοίωση διαρκεί 478 λεπτά και μηνύματα παράγονται για το 80% του συνολικού χρόνου.

Ειδικές παράμετροι του σεναρίου που εξετάστηκαν:

Πρωτόκολλο	Mode	nrofCopies	secondsInTimeUnit
Epidemic	-	-	-
MaxProp	-	-	-
Spray and Wait	False	5 (~11%)	-
Spray and Wait	True	5	-
Spray and Wait	False	15 (~33%)	-
Spray and Wait	True	15	-
Spray and Wait	False	30 (~65%)	-
Spray and Wait	False	30	-
PRoPHETv2	-	-	30
PRoPHETv2	-	-	1200
PRoPHETv2	-	-	2400

msgTTL (min)
10
60
180
480 (inf)

Πίνακας 4.1.3.β

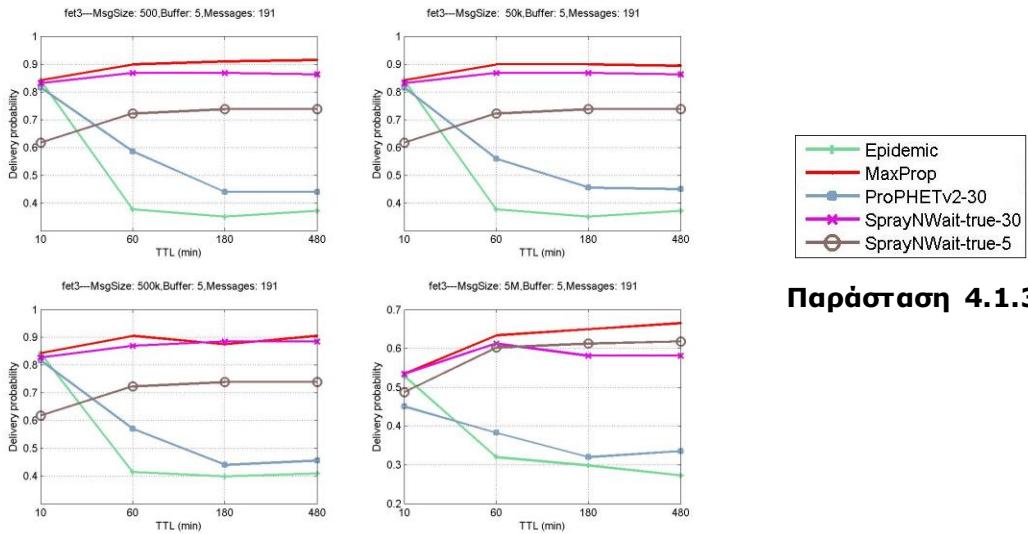
Πίνακας 4.1.3.α

msgSize	msgInterval					
	120 (totalMsgs: 191)			1200 (totalMsgs: 19)		
Buffer						
500b	5	50	2G (inf)	5	50 (inf)	
50Kb	5	50	2G (inf)	5	50 (inf)	
500Kb	5	50	2G (inf)	5	50 (inf)	
5Mb	5	50	2G (inf)	5	50 (inf)	

Πίνακας 4.1.3.γ

#### Για 191 μηνύματα:

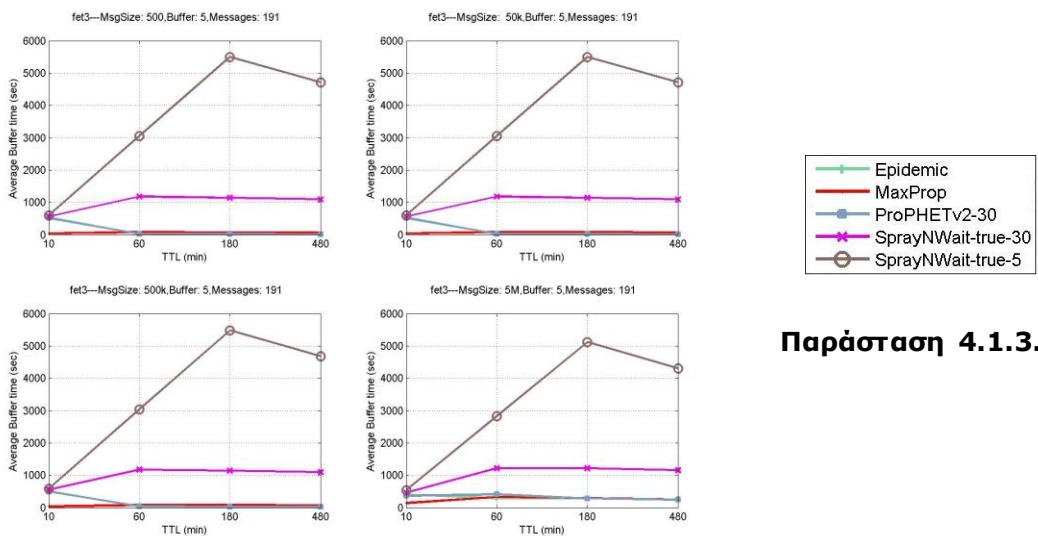
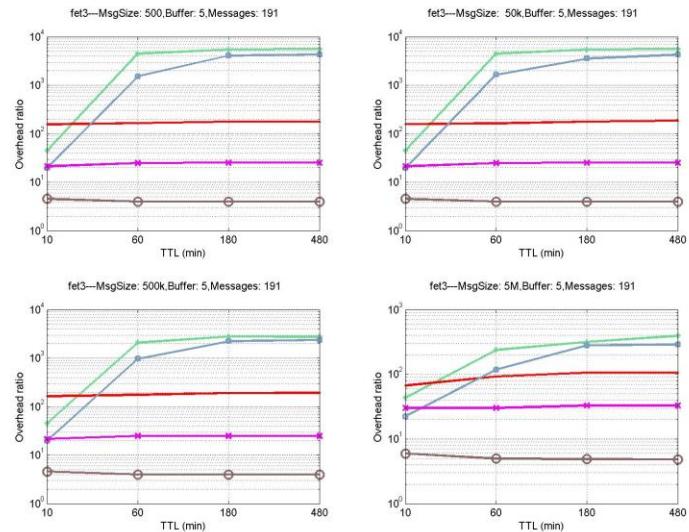
Στην παράσταση 4.1.3.α βλέπουμε την πιθανότητα παράδοσης μηνυμάτων για μέγεθος προσωρινής μνήμης ίσο με πέντα μηνύματα, στην 4.1.3.β την επιβάρυνση που δημιουργείται στο δίκτυο, στην 4.1.3.γ το μέσο χρόνο παραμονής των μηνυμάτων στην προσωρινή μνήμη και στην 4.1.3.δ τη μέση καθυστέρηση παράδοσης.



**Παράσταση 4.1.3.α**

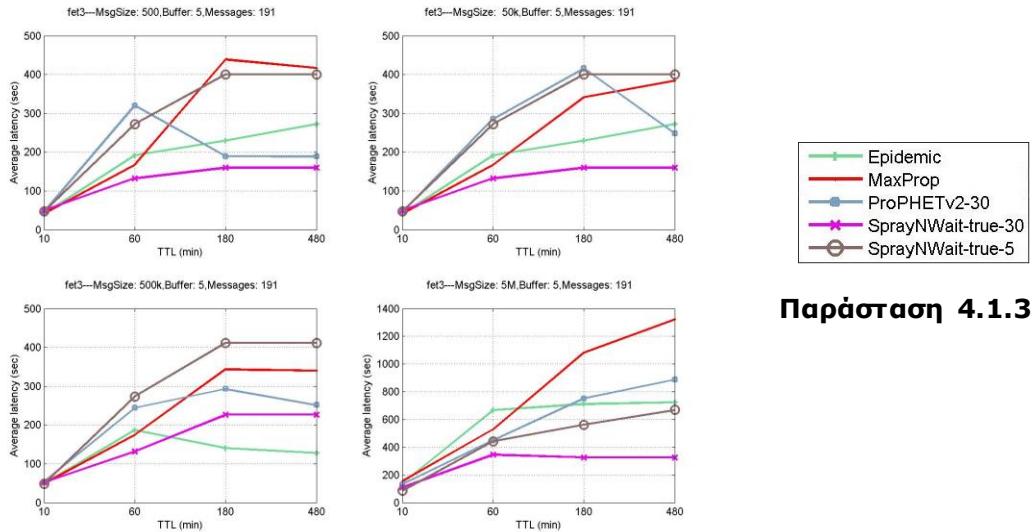
Epidemic  
 MaxProp  
 ProPHETv2-30  
 SprayNWait-true-30  
 SprayNWait-true-5

**Παράσταση 4.1.3.β**



**Παράσταση 4.1.3.γ**

Epidemic  
 MaxProp  
 ProPHETv2-30  
 SprayNWait-true-30  
 SprayNWait-true-5

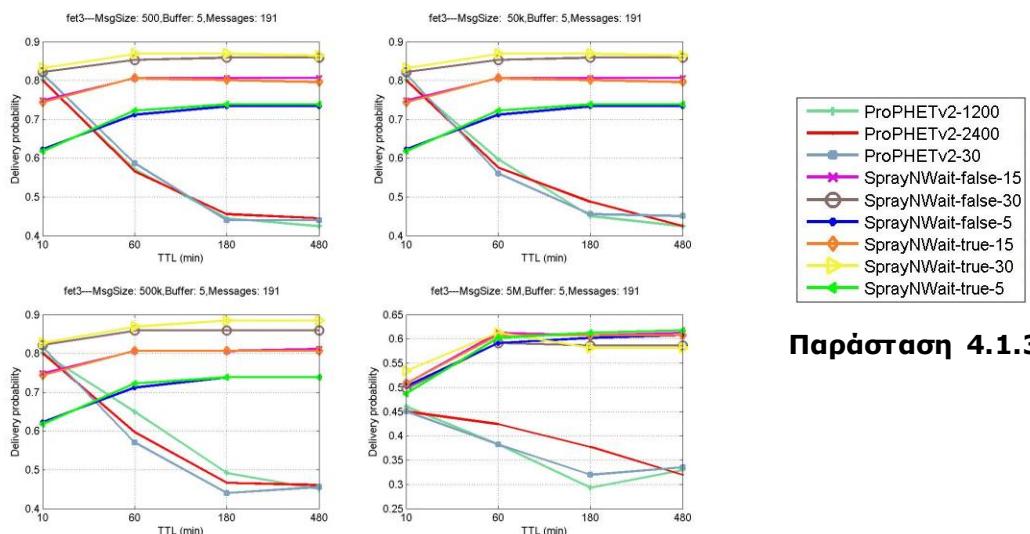


### Παράσταση 4.1.3.δ

#### Παρατηρήσεις:

- Το πρωτόκολλο MaxProp έχει την υψηλότερη πιθανότητα παράδοσης με το Spray and Wait να ακολουθεί με μικρή διαφορά. Για μεγέθη μηνύματος 500bytes, 50kb και 500kb, καλύτερη επίδοση έχει το Spray and Wait τριάντα αντιγράφων, ενώ για μέγεθος 5M καλύτερο είναι αυτό των μόλις πέντε αντιγράφων. Σημειωτέα είναι η διαφορά υπερφόρτωσης που προκαλούν τα δύο πρωτόκολλα, με το δεύτερο να είναι σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα, καθώς και η καθυστέρηση στην παράδοση, με το MaxProp να αργεί περισσότερο. Όσο δε αυξάνεται ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων η ψαλιδία ανάμεσα στα δύο ανοίγει.
- Το Επιδημικό πρωτόκολλο και το PRoPHETv2 και πάλι αποτυγχάνουν, έχοντας πολύ μικρά ποσοστά παράδοσης, γεγονός που οφείλεται, όπως εξηγήσαμε και προηγούμενως, στα υψηλά ποσοστά υπερφόρτωσης που δημιουργούνται όσο αυξάνεται ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων.

Ακολουθεί γραφική παράσταση με τις υπόλοιπες εκδοχές των πρωτοκόλλων Spray and Wait και PRoPHETv2:

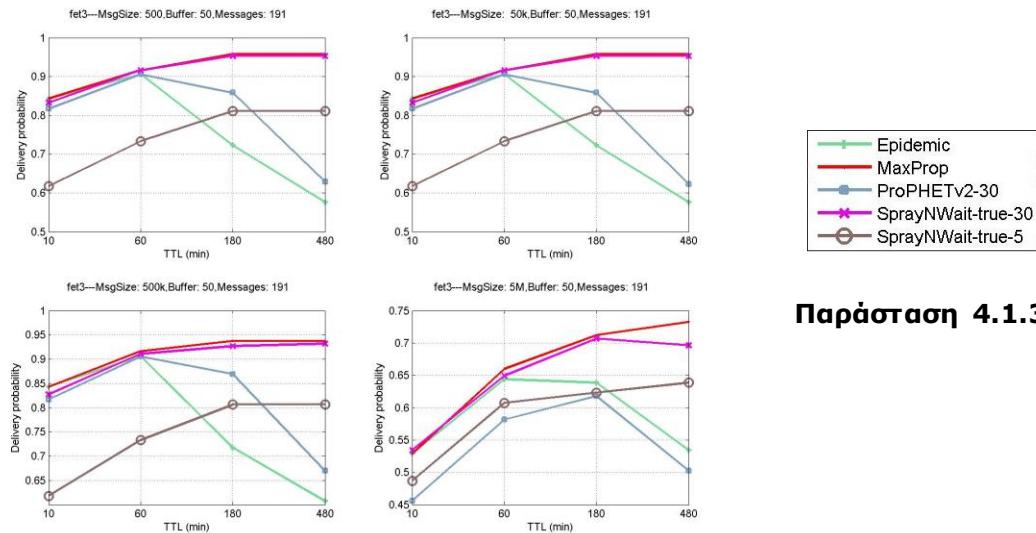


### Παράσταση 4.1.3.ε

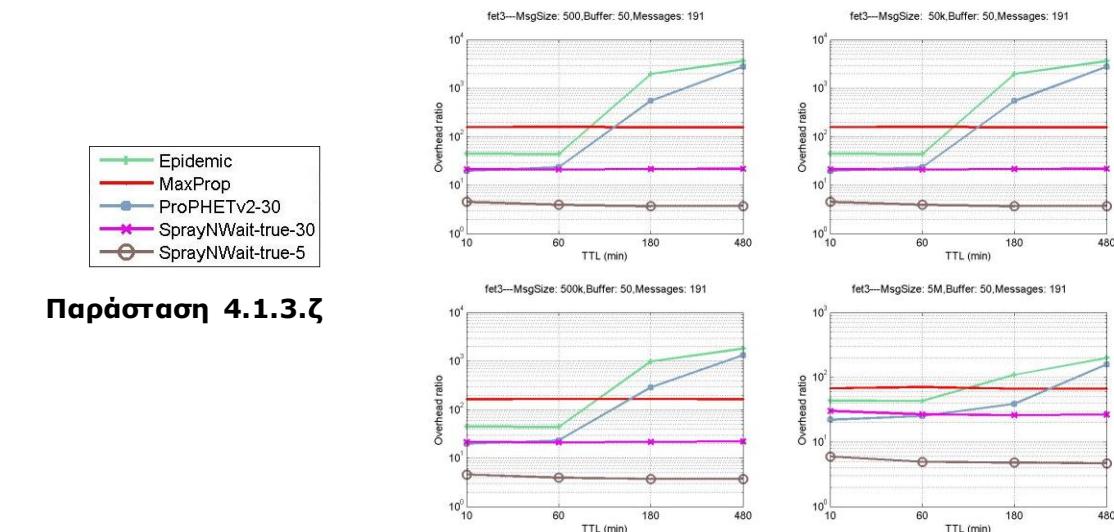
### Παρατηρήσεις:

- Για τα τρία πρώτα μεγέθη μηνύματος, η επίδοση του Spray and Wait αυξάνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των αντιγράφων. Για μέγεθος 5M, έχουν αντίθετη κατάταξη, με ελάχιστες βέβαια διαφορές. Ανάμεσα σε δυαδικές και μη εκδοχές δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις.
- Στην περίπτωση του PRoPHETv2, οι διαφορές είναι επίσης μικρές και παρουσιάζονται περισσότερο στα μεγαλύτερα μεγέθη μηνύματος.

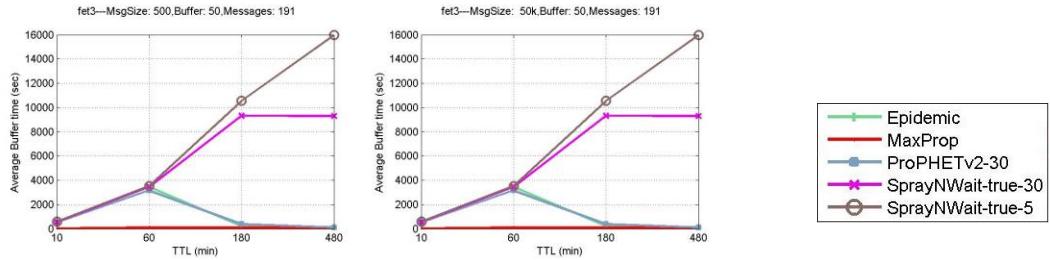
Ακολουθούν οι παραστάσεις 4.1.3.στ – θ, όπου παρουσιάζονται αντίστοιχα η πιθανότητα παράδοσης των μηνυμάτων για μέγεθος μηνής 50 μηνυμάτων, η επιβάρυνση στο δίκτυο, ο μέσος χρόνος παραμονής των μηνυμάτων στη μηνή και η μέση καθυστέρηση παράδοσης.



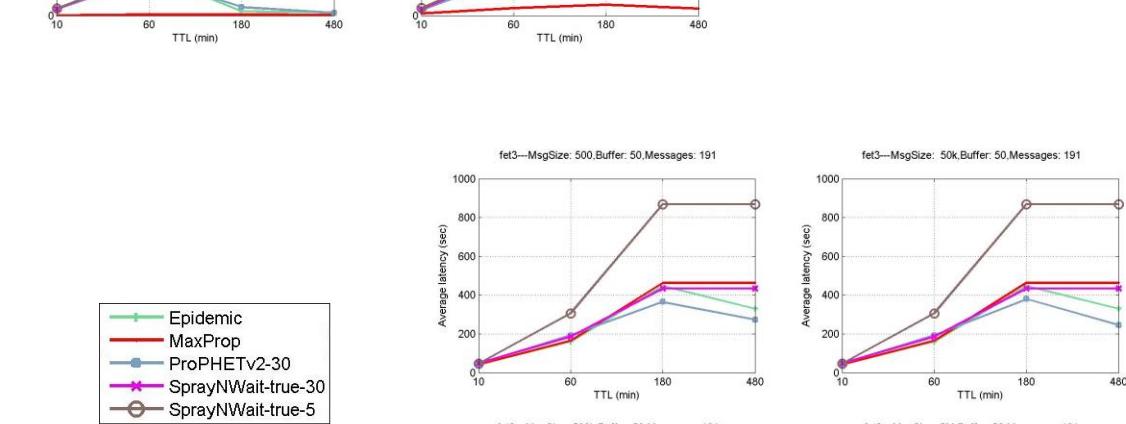
### Παράσταση 4.1.3.στ



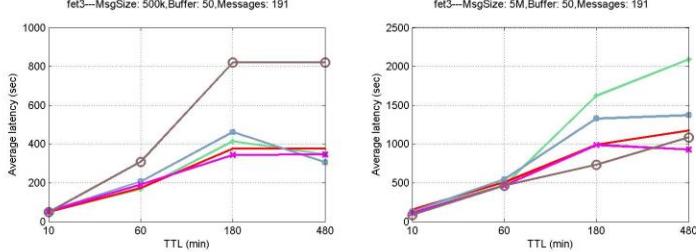
### Παράσταση 4.1.3.ζ



### Παράσταση 4.1.3.η



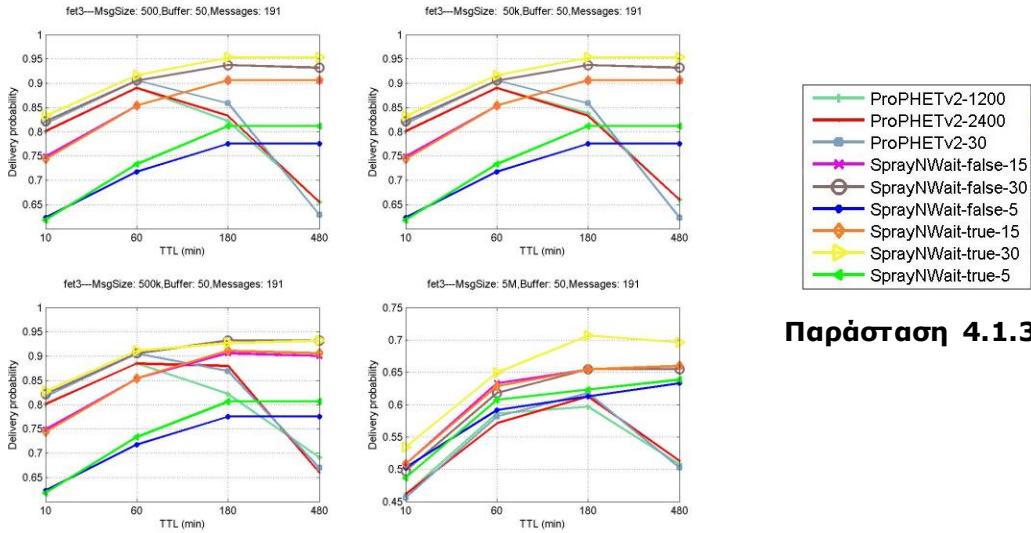
### Παράσταση 4.1.3.θ



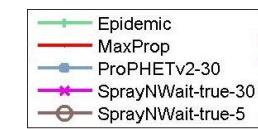
#### Παρατηρήσεις:

- Παρατηρούμε πως οι πιθανότητες παράδοσης των MaxProp και Spray and Wait τριάντα αντιγράφων σχεδόν ταυτίζονται, με ανάλογες καθυστερήσεις, αλλά και πολύ χαμηλότερη επιβάρυνση του δικτύου από το δεύτερο.
- Πλέον το Spray and Wait των τριάντα αντιπύπων υπερτερεί αυτού των πέντε και στο μέγεθος των 5M.
- Σημειωτέα είναι η αύξηση των επιδόσεων των PRoPHETv2 και Epidemic. Τώρα που περισσότερα μηνύματα έχουν την ευχέρεια να παραμείνουν στη μνήμη, η πιθανότητα παράδοσης αυξάνεται μέχρι χρόνο ζωής 60 λεπτά και μειώνεται μετά.

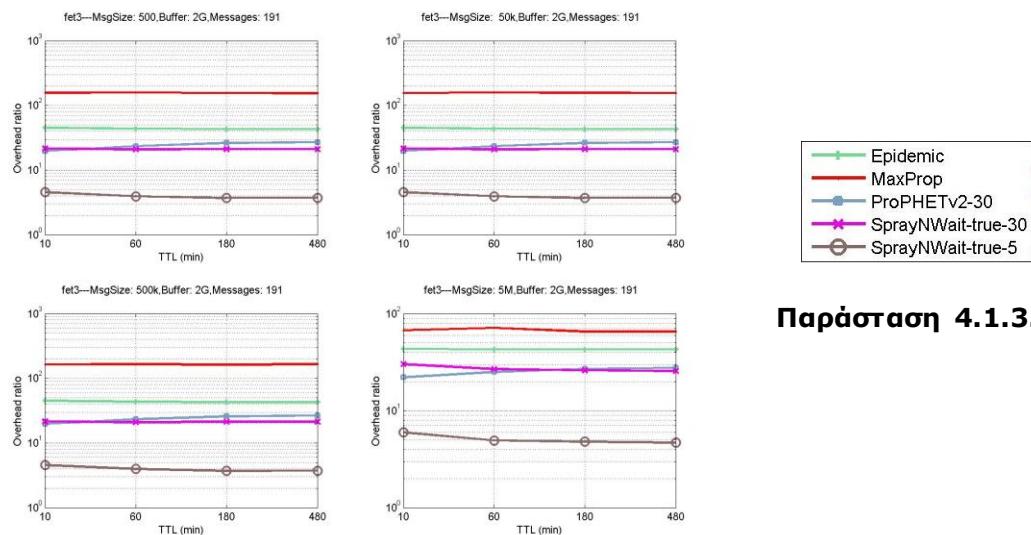
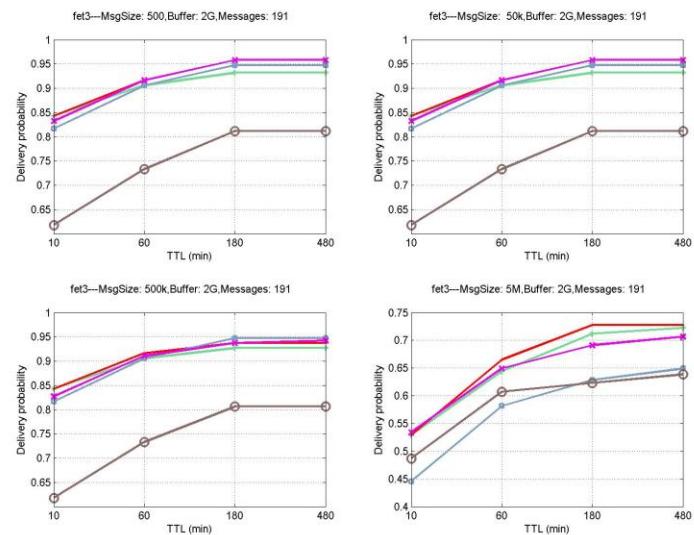
Δίνεται η παράσταση με τις υπόλοιπες εκδοχές των πρωτοκόλλων που ελέγχθηκαν:



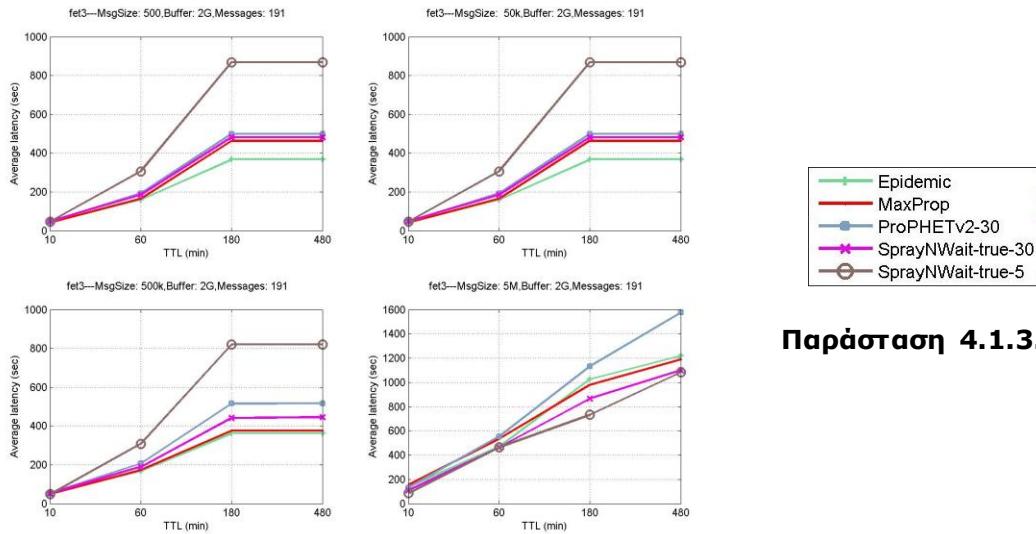
**Παράσταση 4.1.3.ι**



**Παράσταση 4.1.3.ια**



**Παράσταση 4.1.3.ιβ**



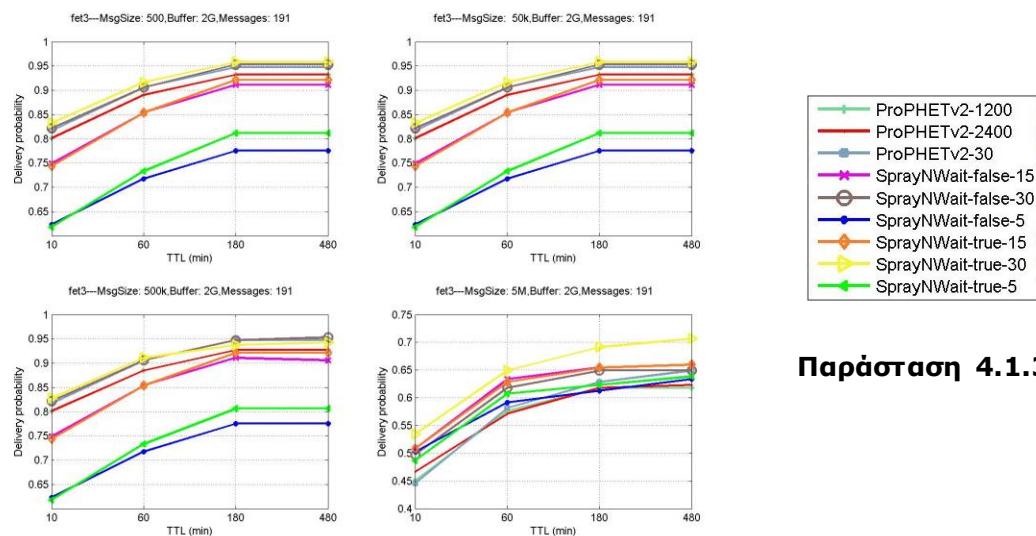
### Παράσταση 4.1.3.ιγ

Στην παράσταση 4.1.3.ια έχουμε την πιθανότητα παράδοσης για απεριόριστο μέγεθος μνήμης, στην 4.1.3.ιβ την επιβάρυνση και στην 4.1.3.ιγ τη μέση καθυστέρηση παράδοσης.

#### Παρατηρήσεις:

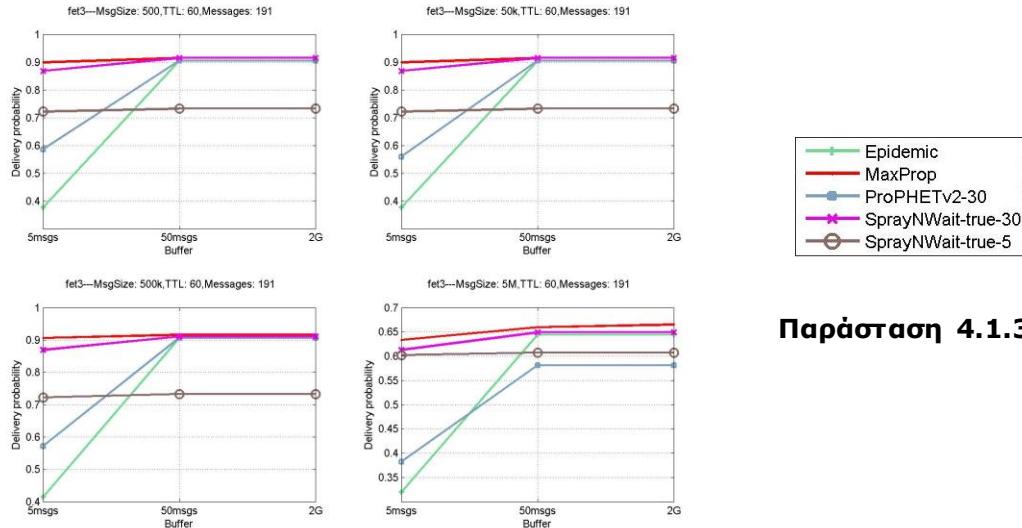
- Με την άρση του περιορισμού της μνήμης το Επιδημικό πρωτόκολλο, καθώς και το PRoPHETv2, πλησιάζουν τα ποσοστά των άλλων δύο και μάλιστα με χαμηλότερη επιβάρυνση στο δίκτυο από το MaxProp. Ειδικά το PRoPHETv2 έχει πολύ χαμηλά ποσοστά υπερφόρτωσης, παρόμοια με του Spray and Wait.
- Η καθυστέρηση παράδοσης και των τεσσάρων πρωτοκόλλων είναι πολύ κοντά, με μόνο το Επιδημικό να υστερεί λίγο στα δύο μικρότερα μεγέθη.
- Για μέγεθος μηνύματος 5M, το PRoPHETv2 έχει μια πιθανότητα παράδοσης κατά 0.5-0.75 μικρότερη των υπολοίπων και παρουσιάζει μεγαλύτερη καθυστέρηση.

Παράσταση για τις υπόλοιπες εκδοχές των πρωτοκόλλων:



### Παράσταση 4.1.3.ιδ

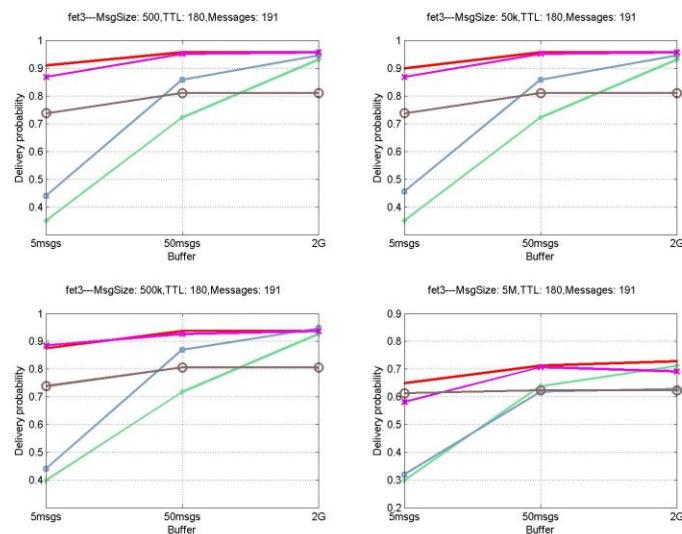
Στις επόμενες παραστάσεις, 4.1.3.ιε – ιζ, παρουσιάζεται η επίδραση που έχει το μέγεθος μνήμης για χρόνο ζωής μηνύματος ίσο με 60, 180 και 480 λεπτά αντίστοιχα. Για χρόνο ζωής ίσο με δέκα λεπτά δεν παρουσιάζονται μεταβολές για αυτό και η παράσταση δεν δίνεται.

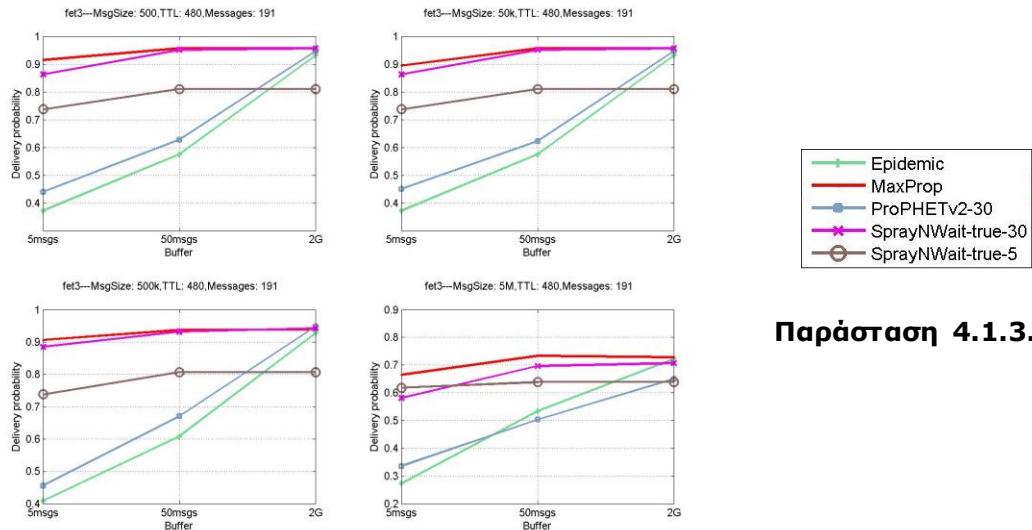


### Παράσταση 4.1.3.ιε



### Παράσταση 4.1.3.ιστ



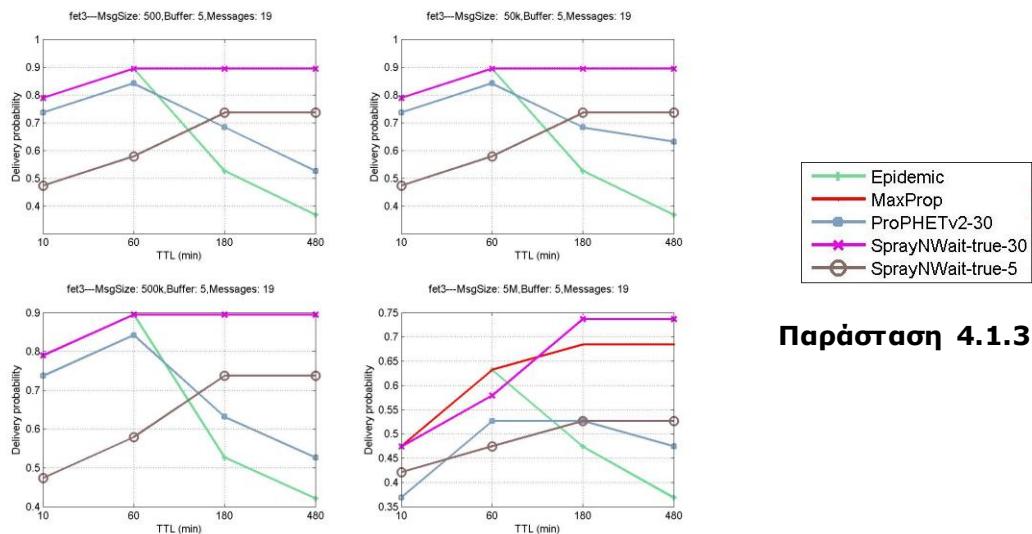


### Παράσταση 4.1.3.ζ

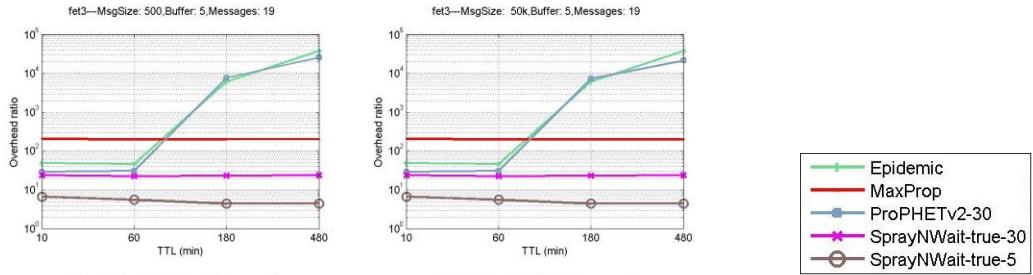
#### Παρατηρήσεις:

- Και στις τρεις παραπάνω παραστάσεις παρατηρούμε πως η αύξηση μνήμης προκαλεί μεγάλες διαφορές για τα πρωτόκολλα Epidemic και PRoPHETv2, ενώ MaxProp και Spray and Wait δεν επηρεάζονται τόσο. Αυτό οφείλεται για το μεν πρώτο στον εξελιγμένο μηχανισμό διαχείρισης μνήμης και για το δεύτερο στη χαμηλή επιβάρυνση που προκαλεί στο δίκτυο.

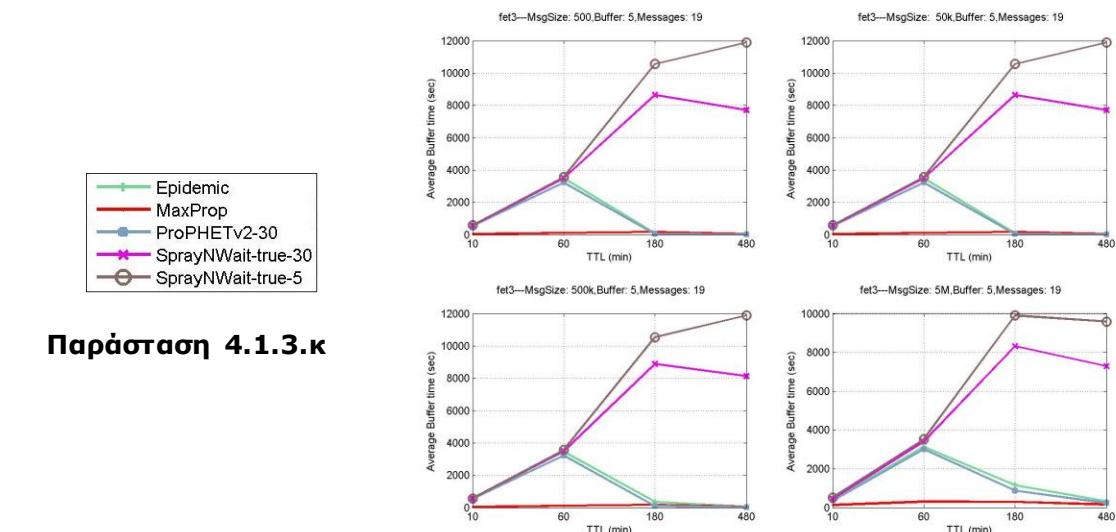
#### Για 19 μηνύματα:



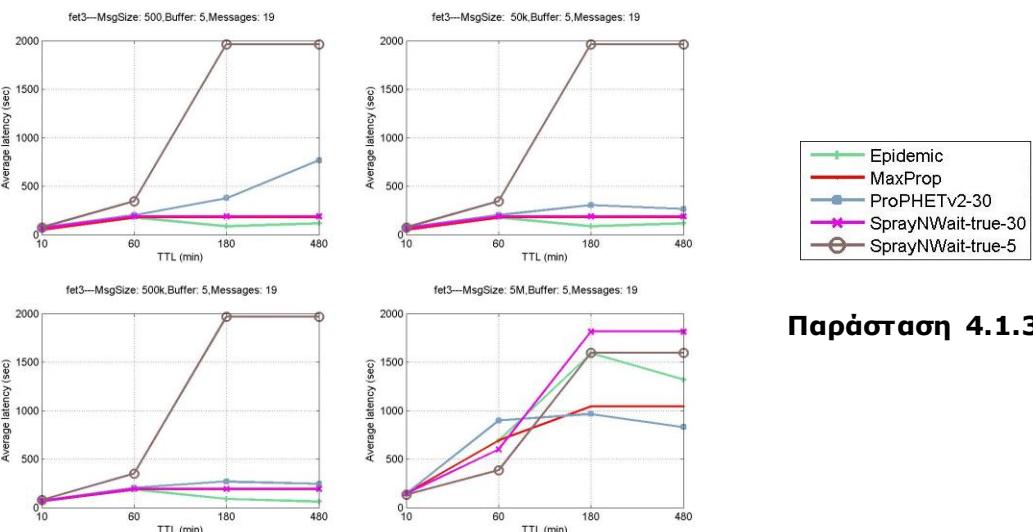
### Παράσταση 4.1.3.η



### Παράσταση 4.1.3.ιθ



### Παράσταση 4.1.3.κ

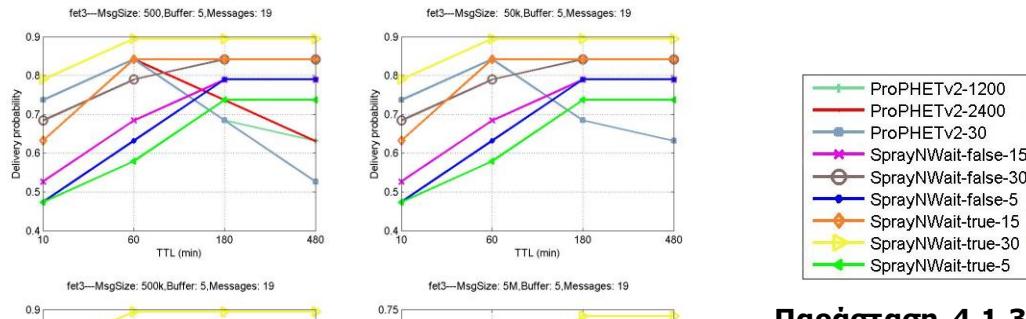


### Παράσταση 4.1.3.κα

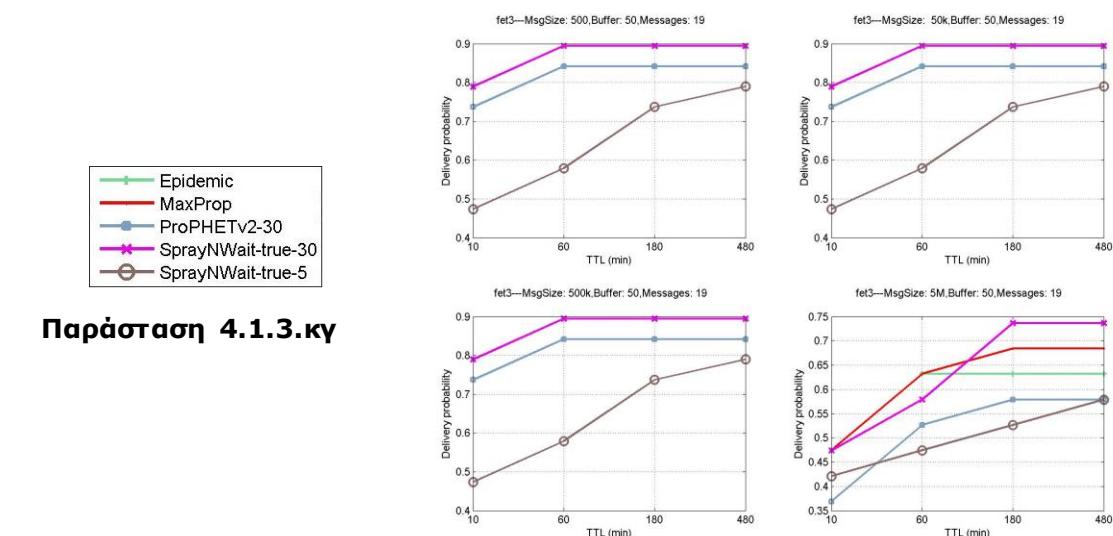
### Παρατηρήσεις:

- Το Spray and Wait των τριάντα αντιγράφων έχει την ίδια πιθανότητα παράδοσης και την ίδια μέση καθυστέρηση με το MaxProp, αλλά με χαμηλότερη υπερφόρτωση, για τα τρία πρώτα μεγέθη μηνύματος. Στα 5M και για TTL = 60 το MaxProp έχει μεγαλύτερη πιθανότητα παράδοσης κατά 0.5, ενώ το αντίστροφο γίνεται για TTL = 180,480.
- Το Spray and Wait πέντε αντιγράφων έχει αρκετά χαμηλά αποτελέσματα σε σχέση με τα πρώτα δύο για όλους τους χρόνους ζωής μηνύματος.
- Το Επιδημικό πρωτόκολλο και πάλι αποτυγχάνει όταν ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων είναι αυξημένος. Το ίδιο και το PRoPHETv2.

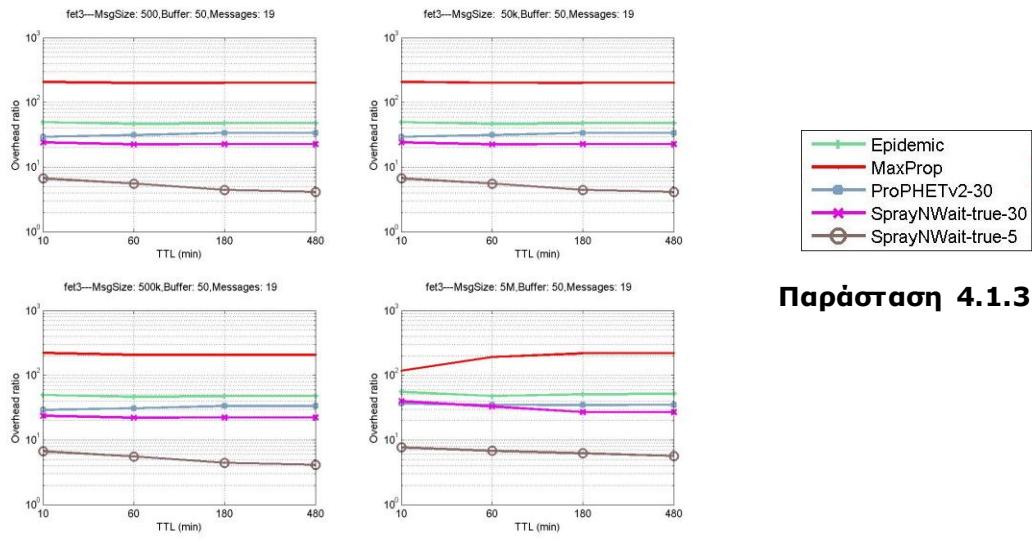
Παρακάτω δίνεται η παράσταση με τις υπόλοιπες εκδοχές των πρωτοκόλλων Spray and Wait και PRoPHETv2:



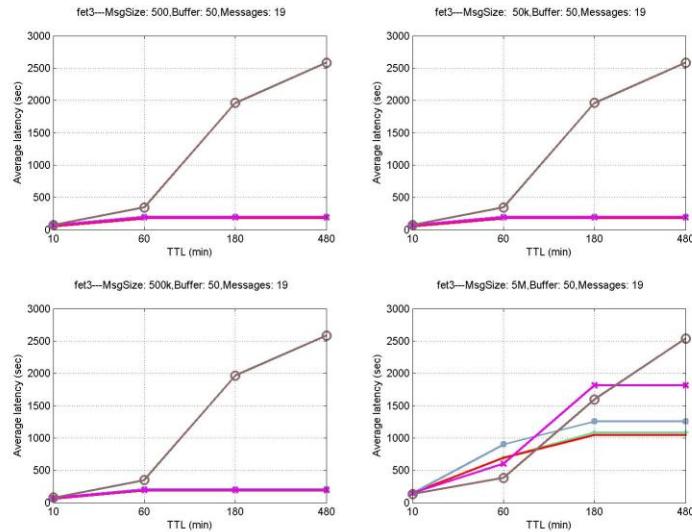
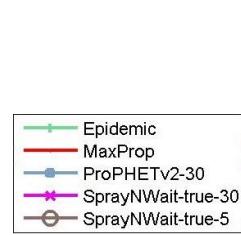
**Παράσταση 4.1.3.κβ**



**Παράσταση 4.1.3.κγ**



### Παράσταση 4.1.3.κδ

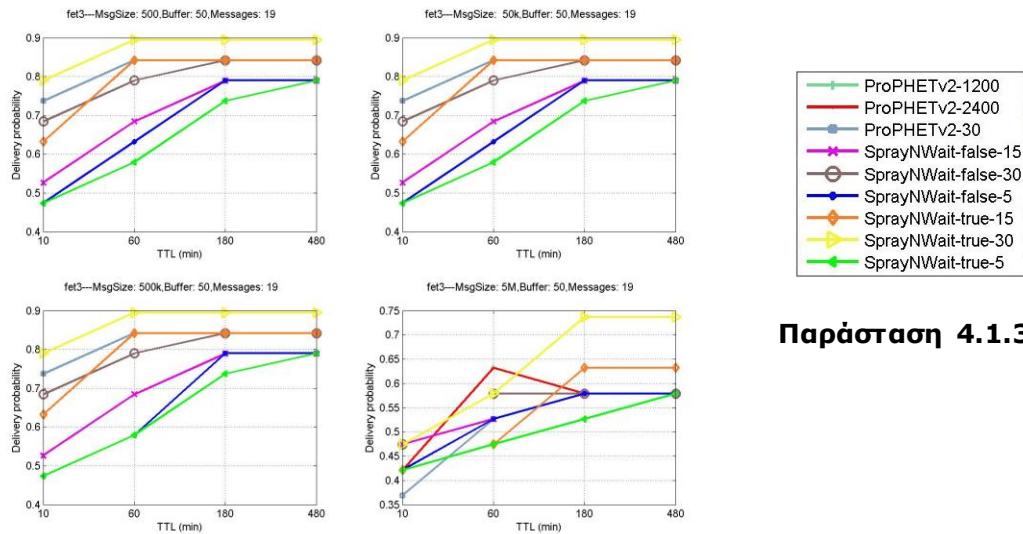


### Παράσταση 4.1.3.κε

#### Παρατηρήσεις:

- Όπως και προηγούμενα, η αύξηση της μνήμης ευνοεί τα Επιδημικό και PRoPHETv2 πρωτόκολλα και συγκεκριμένα οι τιμές αλλάζουν για TTL = 180, 480.
- Epidemic, MaxProp και Spray and Wait 30 έχουν τώρα την ίδια πιθανότητα παράδοσης με την ίδια μέση καθυστέρηση για μεγέθη μηνύματος 500b, 50kb, 500kb. Τη μεγαλύτερη όμως υπερφόρτωση με διαφορά έχει το MaxProp, ακολουθεί το Epidemic και μετά το Spray and Wait. Στα 5M οι τιμές διαφοροποιούνται με τα MaxProp και Epidemic να είναι λίγο καλύτερα για χρόνο ζωής ίσο με 60 λεπτά, αλλά να υστερούν -το πρώτο λιγότερο του δέυτερου- για χρόνο ζωής 180 και 480 λεπτά.
- Το PRoPHETv2 έχει μια διαφορά 0.5 μονάδων από τα άλλα τρία πρωτόκολλα στα τρία πρώτα μεγέθη μηνύματος.

Η επόμενη παράσταση παρουσιάζει τις υπόλοιπες εκδοχές των πρωτοκόλλων Spray and Wait και PRoPHETv2:



#### Παράσταση 4.1.3.κστ

#### Παρατηρήσεις:

- Τα PRoPHETv2 δεν παρουσιάζουν διαφορές.
- Οι δυαδικές εκδοχές του πρωτοκόλλου Spray and Wait έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα παράδοσης σε σχέση με τις αντίστοιχες μη-δυαδικές.
- Τα περισσότερα αντίγραφα, παραδίδουν και περισσότερα μηνύματα στον τελικό προορισμό.

#### 4.1.4 Μέρα 4

Έχουμε 28 κόμβους. Η προσομοίωση διαρκεί 229 λεπτά και μηνύματα παράγονται για το 80% του συνολικού χρόνου.

Ειδικές παράμετροι του σεναρίου που εξετάστηκαν:

<b>Πρωτόκολλο</b>	<b>Mode</b>	<b>nrofCopies</b>	<b>secondsInTimeUnit</b>
Epidemic	-	-	-
MaxProp	-	-	-
Spray and Wait	False	5 (~18%)	-
Spray and Wait	True	5	-
Spray and Wait	False	15 (~54%)	-
Spray and Wait	True	15	-
PRoPHETv2	-	-	30
PRoPHETv2	-	-	600
PRoPHETv2	-	-	1200

<b>msgTTL (min)</b>
10
60
229 (inf)

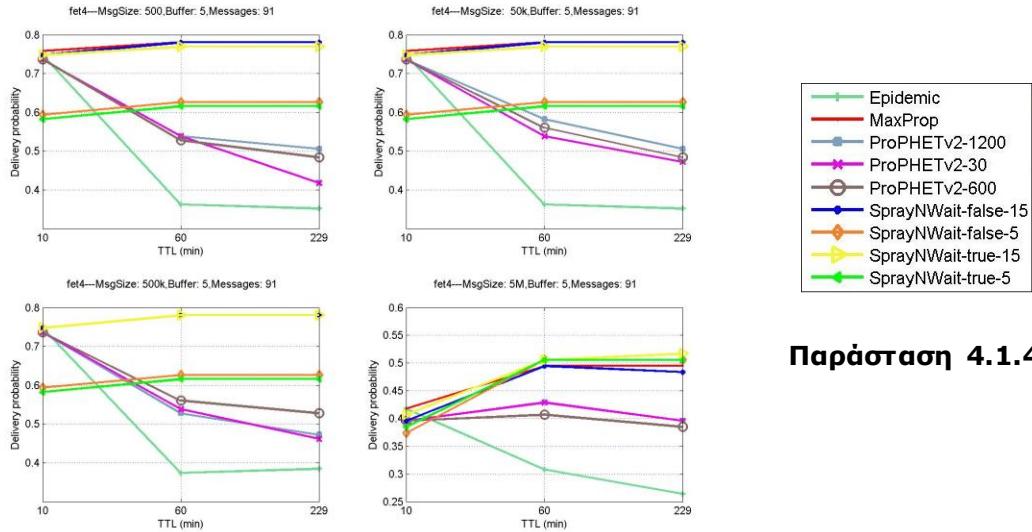
**Πίνακας 4.1.4.β**

**Πίνακας 4.1.4.α**

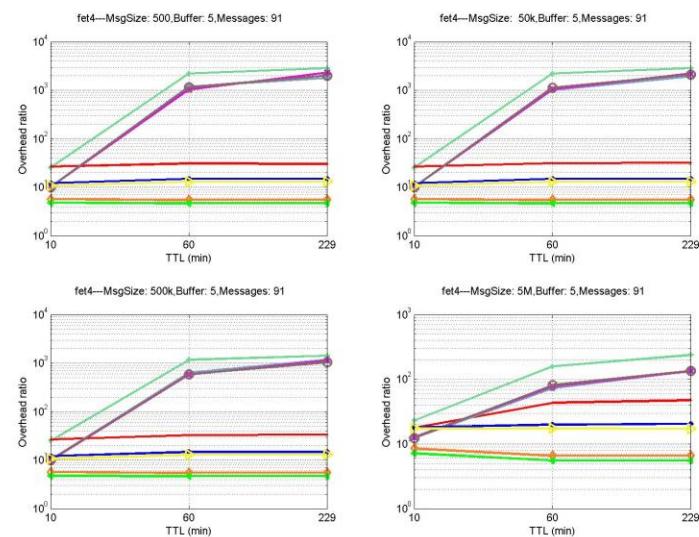
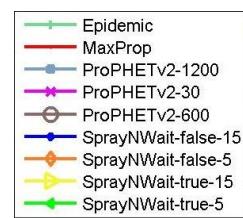
	<b>msgInterval</b>		
	120 (totalMsgs: 91)		
<b>msgSize</b>	<b>Buffer</b>		
500b	5	50	2G (inf)
50Kb	5	50	2G (inf)
500Kb	5	50	2G (inf)
5Mb	5	50	2G (inf)

**Πίνακας 4.1.4.γ**

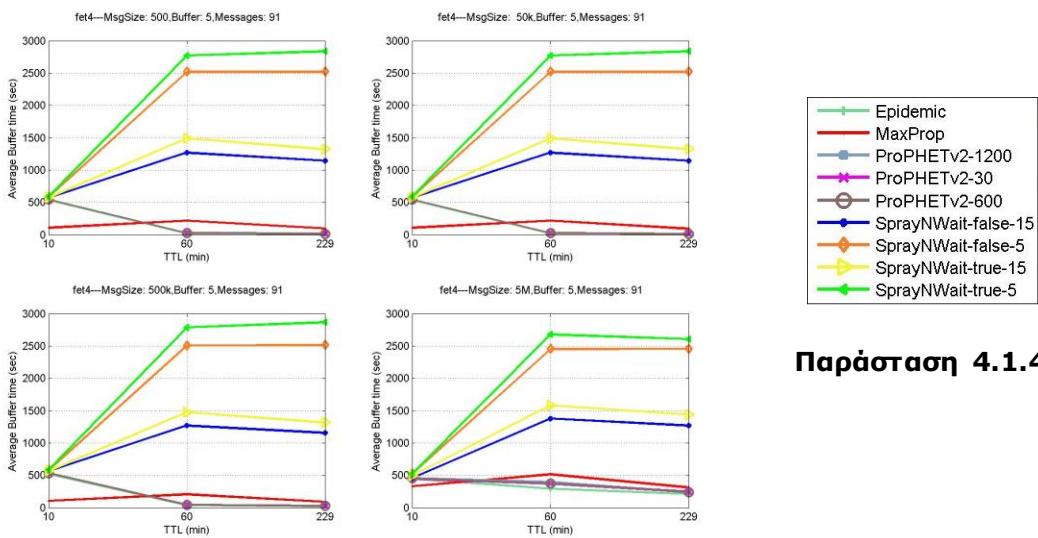
Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις πιθανότητας παράδοσης, ποσοστού υπερφόρτωσης του δικτύου, μέσου χρόνου παραμονής των μηνυμάτων στη μνήμη και καθυστέρησης παράδοσης για μέγεθος μνήμης ίσο με πέντε μηνύματα.



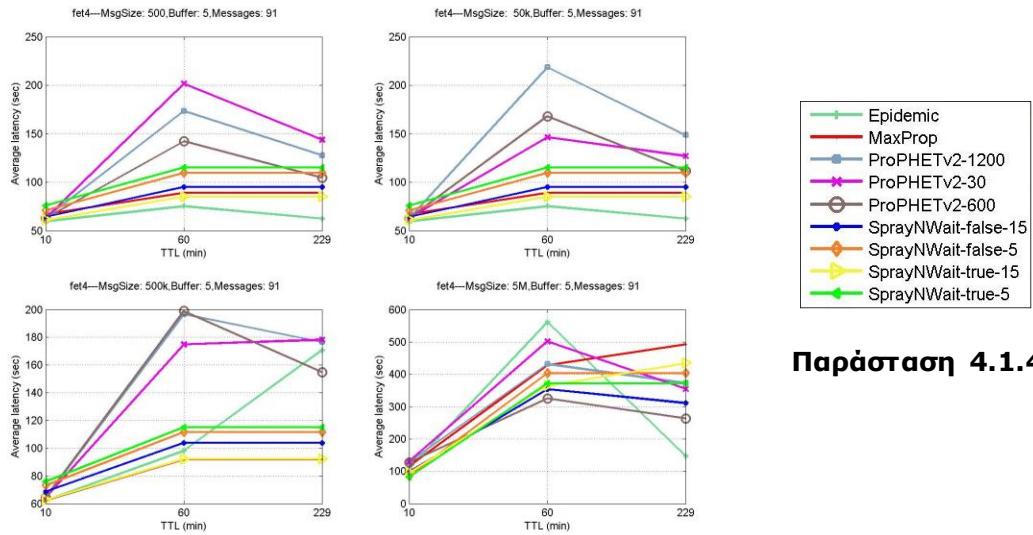
**Παράσταση 4.1.4.α**



**Παράσταση 4.1.4.β**



**Παράσταση 4.1.4.γ**

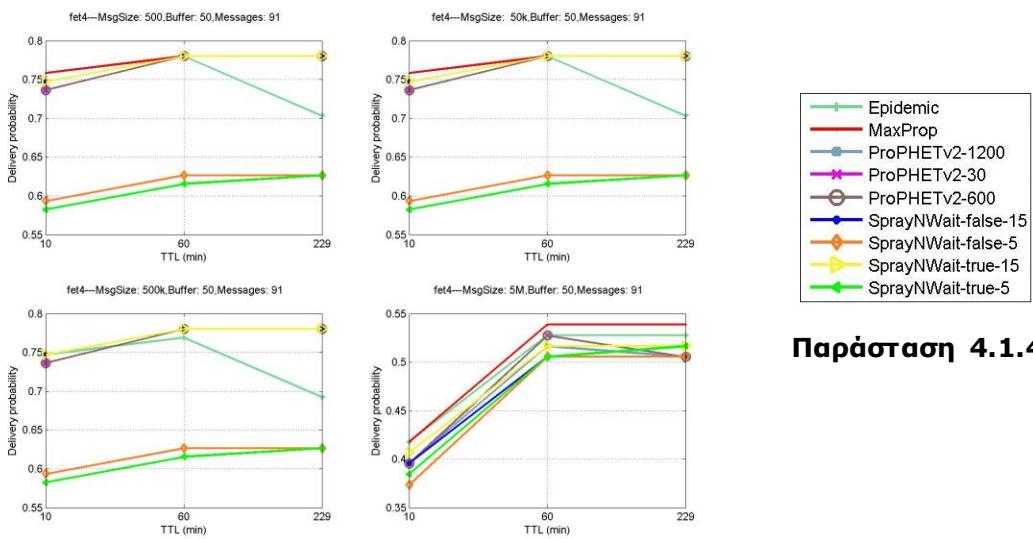


#### Παράσταση 4.1.4.δ

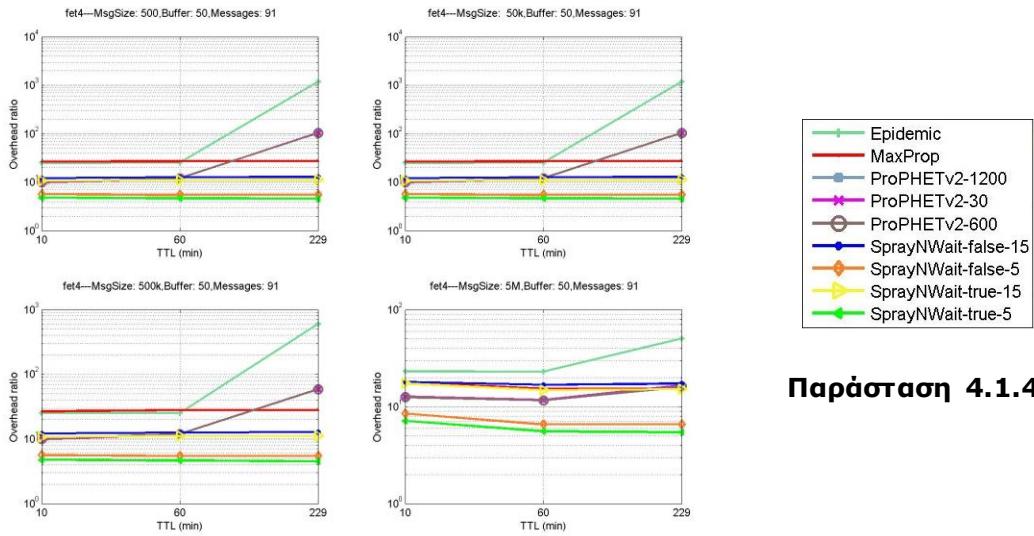
##### Παρατηρήσεις:

- MaxProp και Spray and Wait 15 έχουν την καλύτερη επίδοση για τα τρία πρώτα μεγέθη μηνύματος, ενώ το δεύτερο προκαλεί χαμηλότερη υπερφόρτωση.
- Όπως και προηγούμενα, Επιδημικό πρωτόκολλο και PRoPHETv2 έχουν μειωμένες επιδόσεις με την αύξηση του χρόνου ζωής των μηνυμάτων.
- Για μέγεθος μηνύματος 5M, τα Spray and Wait 5 και 15 αντιγράφων έχουν παρόμοια αποτελέσματα, με το πρώτο να δημιουργεί μικρότερη επιβάρυνση στο δίκτυο. Μικρές διαφορές παρουσιάζονται στην καθυστέρηση παράδοσης.

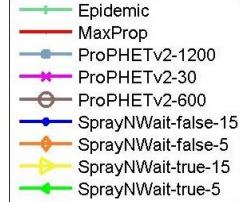
Ακολουθούν ανάλογες παραστάσεις για μέγεθος μηνήμη 50 μηνυμάτων:



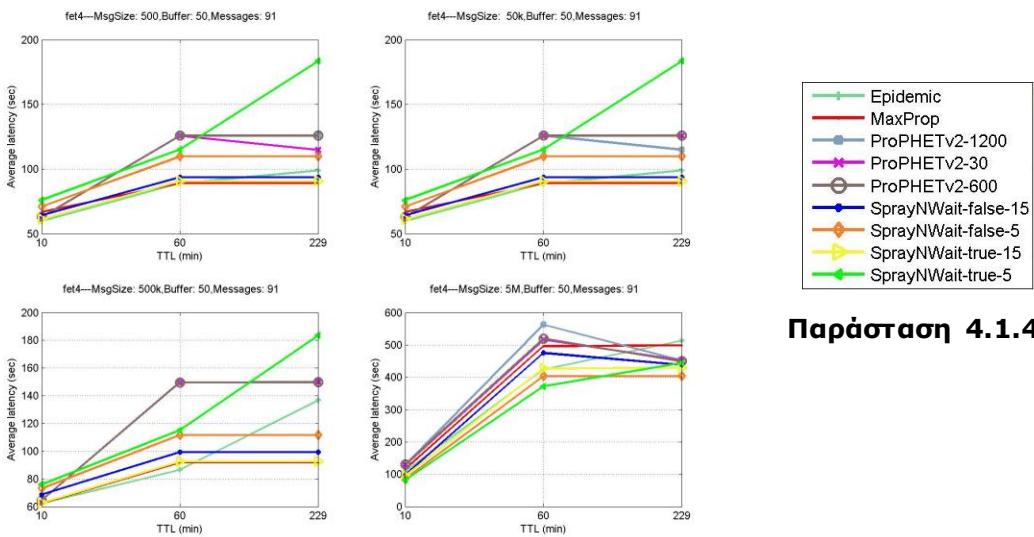
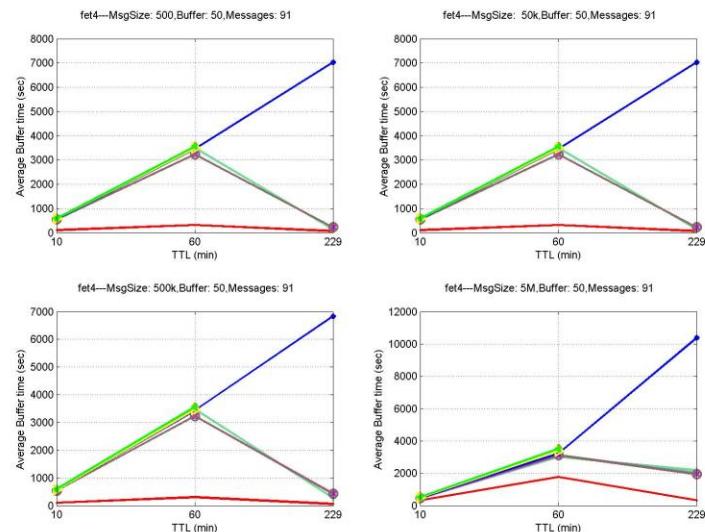
#### Παράσταση 4.1.4.ε



#### Παράσταση 4.1.4.στ



#### Παράσταση 4.1.4.ζ

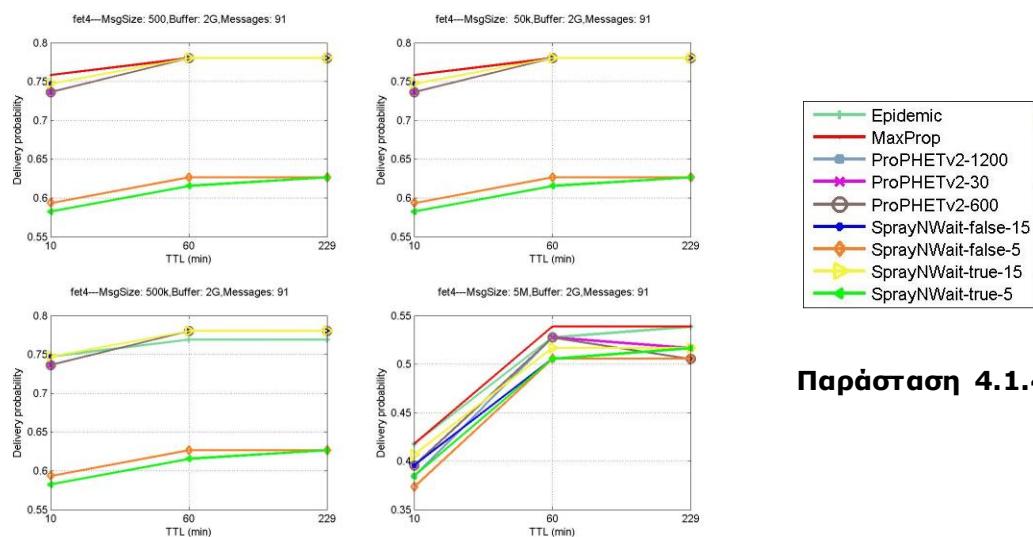


#### Παράσταση 4.1.4.η

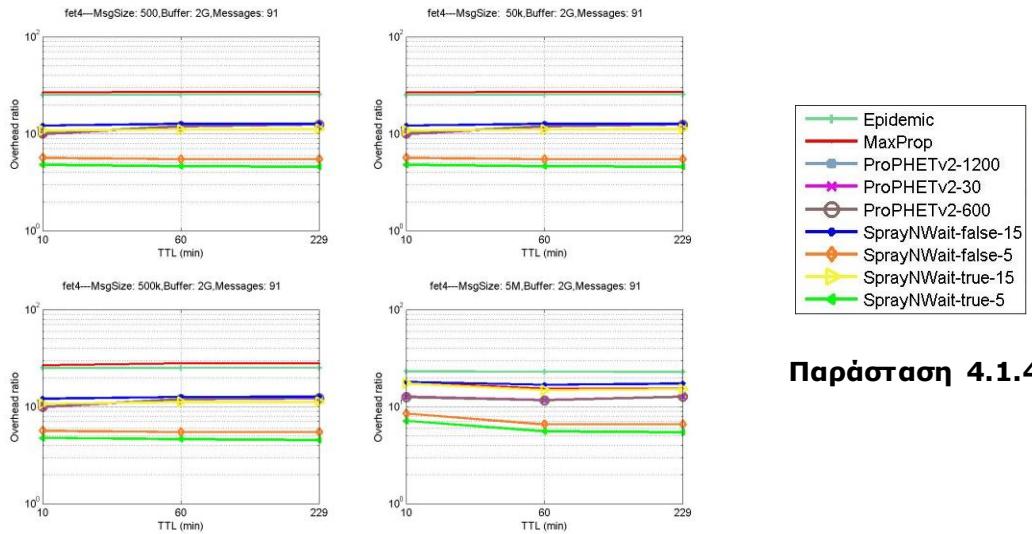
### Παρατηρήσεις:

- Για μεγέθη 500b, 50kb και 500kb το PRoPHETv2 έχει πλέον την ίδια πιθανότητα παράδοσης -αν και με μεγαλύτερη μέση καθυστέρηση- με τα MaxProp και Spray and Wait 15. Το Επιδημικό πρωτόκολλο, για απεριόριστο χρόνο ζωής μηνύματος, προκαλεί τεράστια υπερφόρτωση στο δίκτυο, με αποτέλεσμα την πτώση της επίδοσής του.
- Στα 5M όλα τα πρωτόκολλα έχουν περίπου την ίδια πιθανότητα παράδοσης, με πολύ μικρές διαφορές που δεν ξεπερνούν το 0.05.
- Αξίζει να σημειώσουμε την αυξημένη καθυστέρηση στην παράδοση που παρουσιάζει το πρωτόκολλο Spray and Wait 5 στη δυαδική του μορφή σε σχέση με το μη δυαδικό, παρόλο που η πιθανότητα παράδοσης και των δύο κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα.

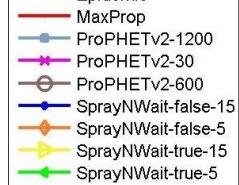
Οι παραστάσεις για απεριόριστη μνήμη:



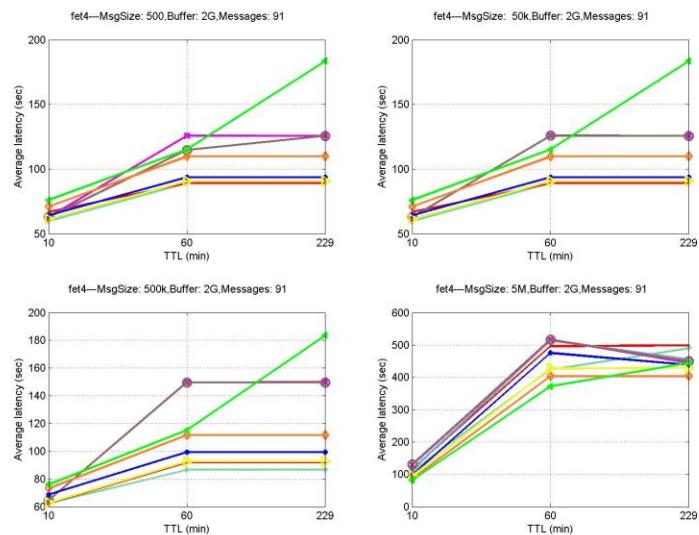
### Παράσταση 4.1.4.θ



#### Παράσταση 4.1.4.i



#### Παράσταση 4.1.4.ia



#### Παρατηρήσεις:

- Τώρα και το Επιδημικό πρωτόκολλο έχει περίπου τα ίδια αποτελέσματα με τα άλλα από άποψη πιθανότητας παράδοσης.
- Συγκρίνοντας τα ποσοστά υπερφόρτωσης στο δίκτυο, παρατηρούμε ότι τη μεγαλύτερη επιβάρυνση δημιουργούν τα MaxProp και Epidemic. Ακολουθούν τα Spray and Wait 15 και PRoPHETv2, που βρίσκονται στα ίδια επίπεδα (τα δύο αυτά).
- Όπως μπορούμε να δούμε συγκρίνοντας τις προηγούμενες παραστάσεις με αυτές, η αύξηση της μνήμης από 50 μηνύματα σε απεριόριστη έχει βελτιώσει μόνο το Επιδημικό πρωτόκολλο, ενώ για το PRoPHETv2 ήταν αρκετή η μνήμη των 50. Για τα άλλα δύο πρωτόκολλα ήταν ικανοποιητική και η περιορισμένη μνήμη των πέντε μηνυμάτων!

## 4.2 Περίπτωση 2: Περιβάλλον εργασίας

Χρησιμοποιούμε δεδομένα κίνησης από 44 φορητές συσκευές, που μαζεύτηκαν από το πανεπιστήμιο του Μιλάνου από τις 13 Νοεμβρίου 2008 μέχρι και την 1η Δεκεμβρίου. Οι συσκευές μεταφέρονταν από άτομα που εργάζονται στο ίδιο τριώροφο κτίριο και έκαναν διάλειμμα σε μια κοντινή καφετέρια ή μετακινούνταν σε ένα άλλο κτίριο που απείχε 3.5 χιλιόμετρα. Σε αυτά τα κτίρια υπήρχαν σταθερές συσκευές εντοπισμού. Οι φορητές συσκευές είχαν ακτίνα εκπομπής 10 μέτρων. Η προσομοίωση διαρκεί 1602781 δευτερόλεπτα, που ισοδυναμεί με περίπου 18.6 μέρες. Μηνύματα παράγονται για το 80% του συνολικού χρόνου.

Ειδικές παράμετροι του σεναρίου που εξετάστηκαν:

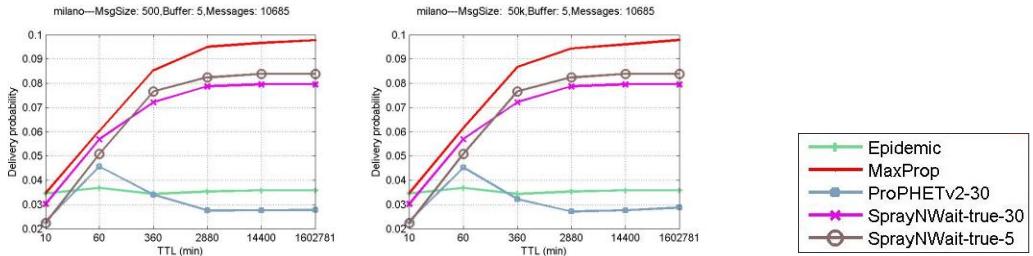
<b>Πρωτόκολλο</b>	<b>Mode</b>	<b>nrofCopies</b>	<b>secondsInTimeUnit</b>	<b>msgTTL (min)</b>
Epidemic	-	-	-	10
MaxProp	-	-	-	60
Spray and Wait	False	5 (~11%)	-	360
Spray and Wait	True	5	-	2880
Spray and Wait	False	15 (~34%)	-	14400
Spray and Wait	True	15	-	1602781 (inf)
Spray and Wait	False	30 (~68%)	-	<b>Πίνακας 4.2.β</b>
Spray and Wait	True	30	-	
PRoPHETv2	-	-	30	
PRoPHETv2	-	-	7200	
PRoPHETv2	-	-	43200	

**Πίνακας 4.2.α**

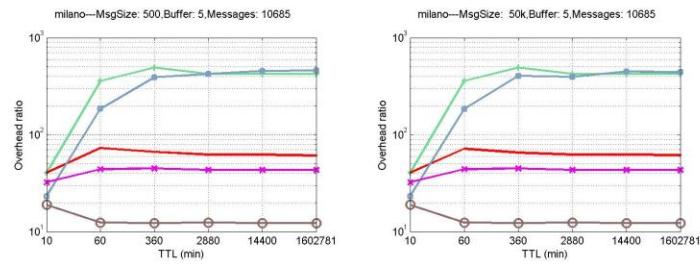
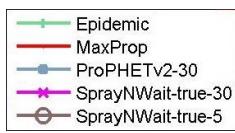
<b>msgSize</b>	<b>msgInterval</b>											
	120 (totalMsgs: 10685)				1200 (totalMsgs: 1068)				12000 (totalMsgs: 106)			
	<b>Buffer</b>											
500b	5	50	500	Inf	5	50	500	Inf	5	50	Inf	
50Kb	5	50	500	Inf	5	50	500	Inf	5	50	Inf	
500Kb	5	50	500	4000	5	50	500	Inf	5	50	Inf	
5Mb	5	50	-	400	5	50	-	400	5	50	Inf	

**Πίνακας 4.2.γ**

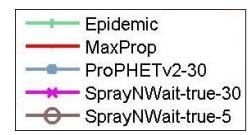
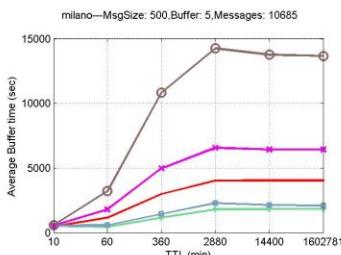
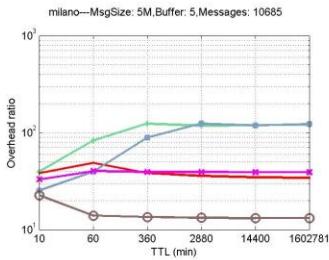
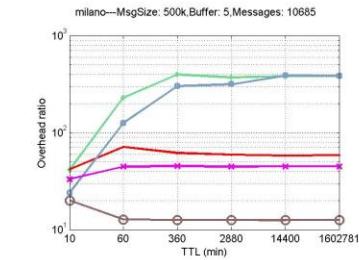
Για 10685 μηνύματα:



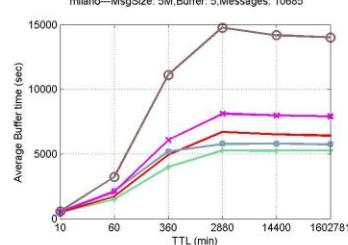
**Παράσταση 4.2.α**

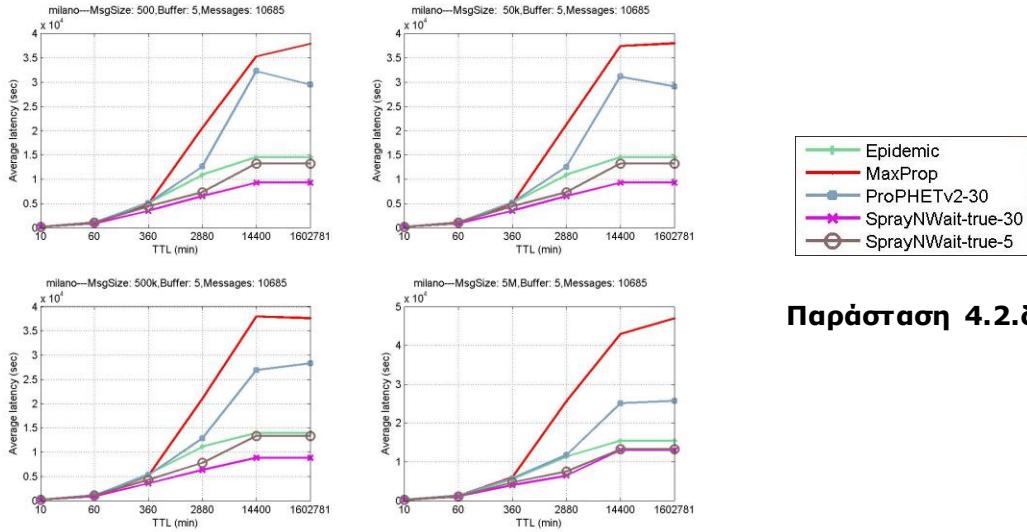


**Παράσταση 4.2.β**



**Παράσταση 4.2.γ**



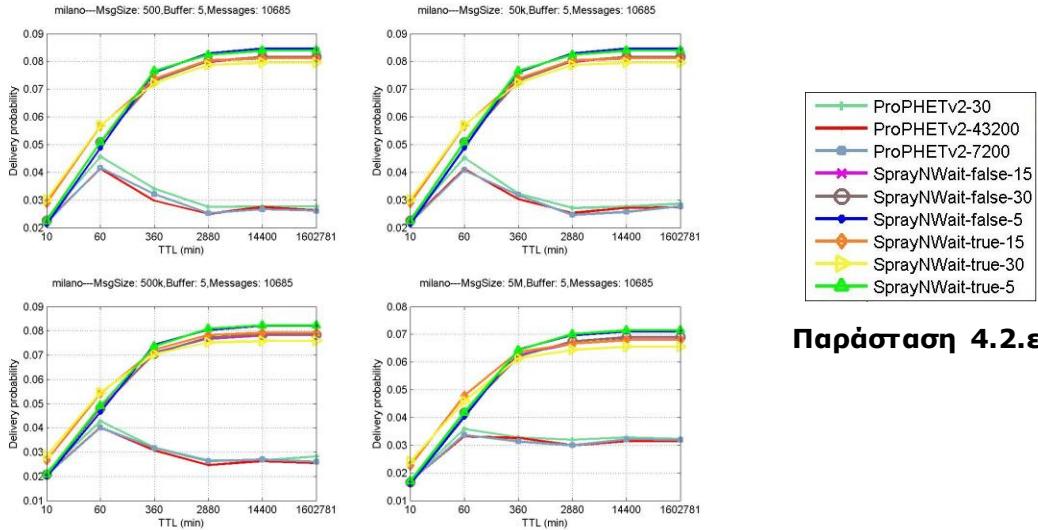


#### Παράσταση 4.2.δ

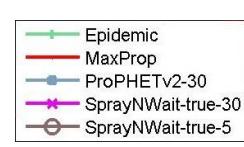
##### Παρατηρήσεις:

- Τα μηνύματα είναι πάρα πολλά και η μνήμη ελάχιστη, γι' αυτό και η πιθανότητα παράδοσης όλων των πρωτοκόλλων είναι εξαιρετικά χαμηλή. Παρόλα αυτά μπορούμε να δούμε πως το MaxProp προηγείται με αυξανόμενη την πιθανότητα όσο αυξάνεται ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων. Για να καταλάβουμε το μέγεθος της διαφοράς, δίνουμε ότι το 10% (MaxProp κοντά) αντιστοιχεί σε περίπου 1069 μηνύματα, ενώ το 8% (Spray and Wait) σε 855, δηλαδή 214 μηνύματα λιγότερα.
- Το Spray and Wait ακολουθεί με την εκδοχή των πέντε αντιγράφων να είναι ελαφρώς καλύτερη αυτής των τριάντα, όταν έχουμε αυξημένο χρόνο ζωής.
- PRoPHETv2 και Epidemic έχουν χαμηλότερες πιθανότητες παράδοσης σε σχέση με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα (περίπου μισές πιθανότητες των άλλων).
- Η επιβάρυνση που προκαλεί το Spray and Wait 5 είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή των 30 και του MaxProp. Χρειάζεται, όμως, πολύ περισσότερο χρόνο για να διαδοθούν τα μηνύματα στο δίκτυο, γι' αυτό και έχει χαμηλότερη πιθανότητα παράδοσης από το MaxProp, καθώς και μεγαλύτερη καθυστέρηση.

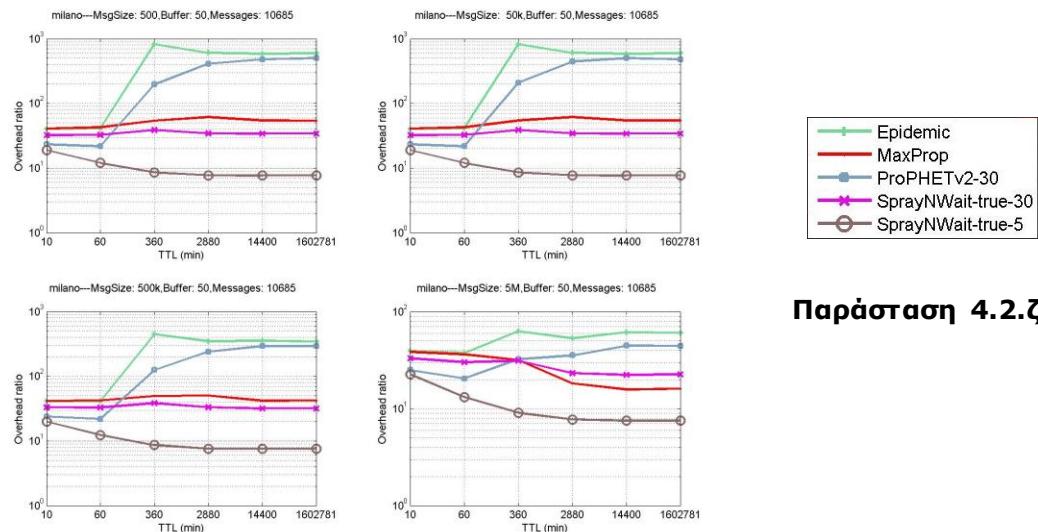
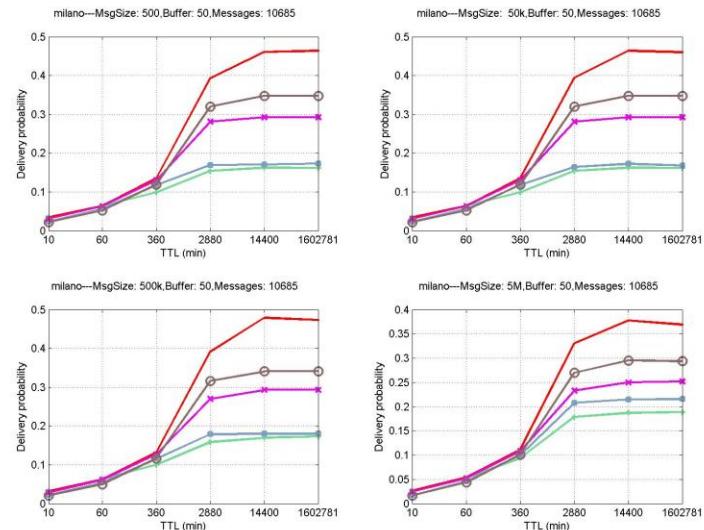
Δίνεται η γραφική παράσταση με τις υπόλοιπες εκδοχές των πρωτοκόλλων Spray and Wait και PRoPHETv2. Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια.



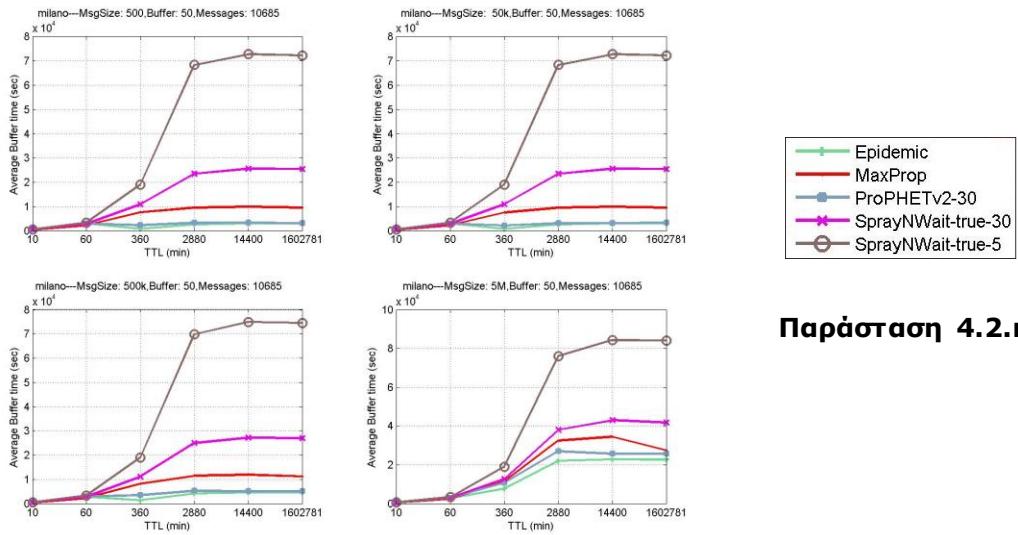
**Παράσταση 4.2.ε**



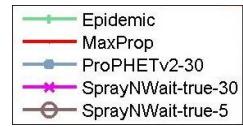
**Παράσταση 4.2.στ**



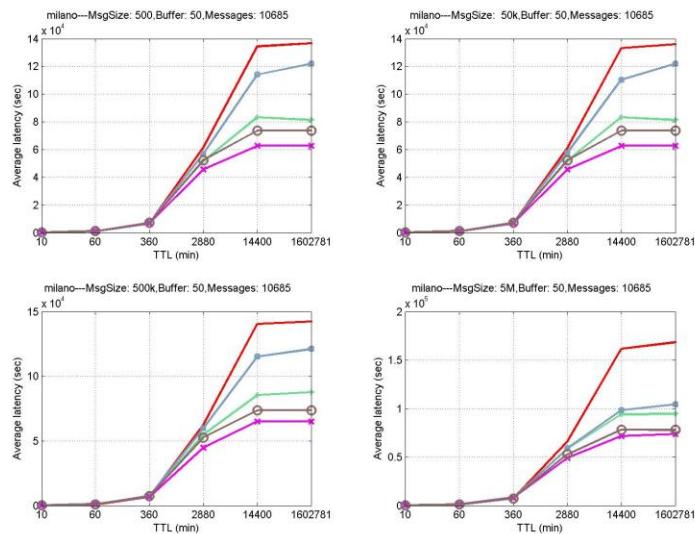
**Παράσταση 4.2.ζ**



## Παράσταση 4.2.η



## Παράσταση 4.2.θ



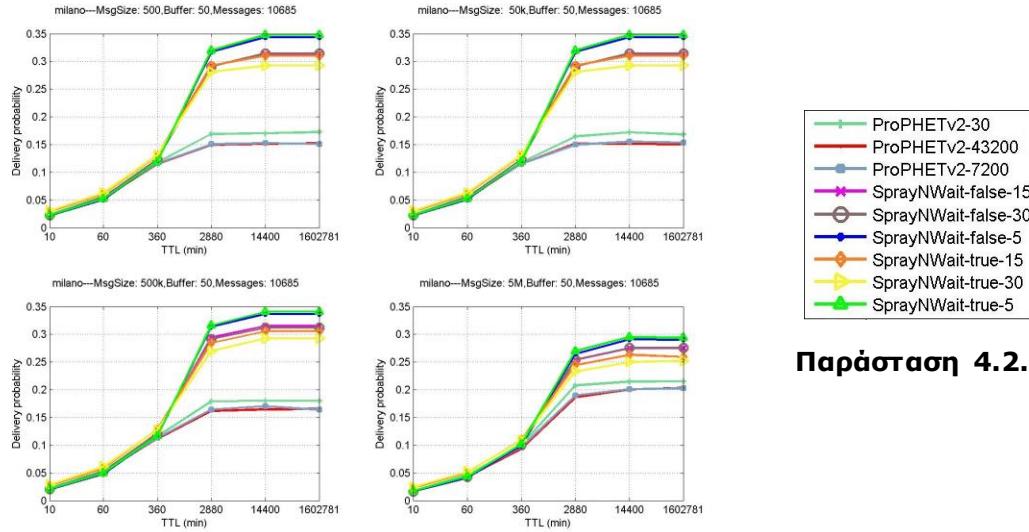
Στις γραφικές παραστάσεις 4.2.στ – θ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για μνήμη χωρητικότητας 50 μηνυμάτων.

### Παρατηρήσεις:

- Με την αύξηση της μνήμης παρατηρείται σημαντική βελτίωση στην πιθανότητα παράδοσης των μηνυμάτων για όλα τα πρωτόκολλα. Το MaxProp εξακολουθεί να είναι καλύτερο από τα υπόλοιπα, αυξάνοντας τη διαφορά όσο αυξάνεται ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων.
- Και σε αυτή την περίπτωση το Spray and Wait πέντε αντιγράφων προηγείται αυτού των τριάντα.
- PRoPHETv2 και Επιδημικό πρωτόκολλο έχουν και πάλι τα χαμηλότερα ποσοστά, αλλά ακολουθούν κι αυτά ανοδική πορεία όσο ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων

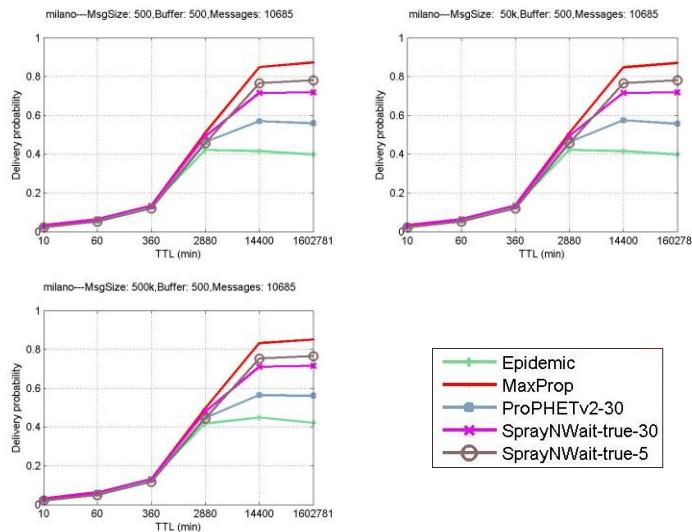
μεγαλώνει. Έχουν, επίσης, πολύ μεγάλες καθυστερήσεις σε σχέση με την απόδοσή τους, αλλά και μεγάλη υπερφόρτωση.

Στα ίδια επίπεδα βρίσκονται και τα αποτελέσματα για τις άλλες εκδοχές των πρωτοκόλλων PRoPHETv2 και Spray and Wait:

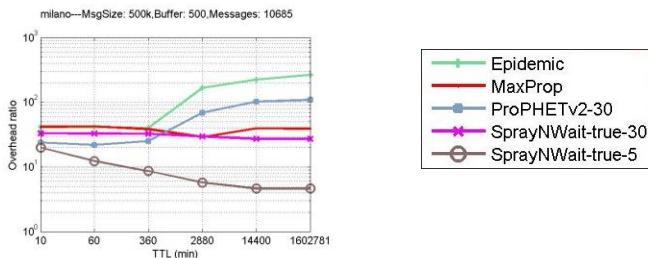
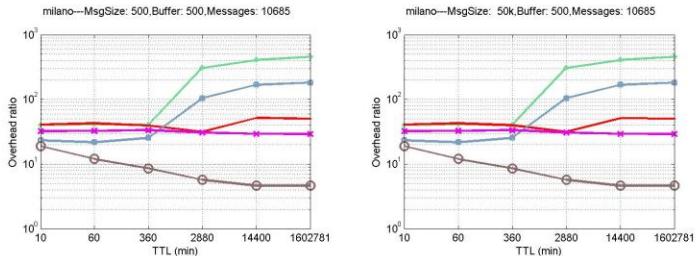


**Παράσταση 4.2.i**

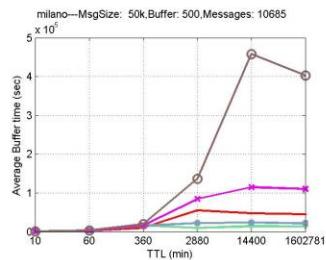
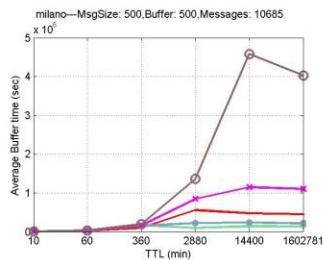
Αλλάζουμε τη μνήμη ώστε να χωρεί 500 μηνύματα και παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα (υπενθυμίζουμε ότι για μέγεθος μηνύματος 5M η μέγιστη χωρητικότητα είναι 400 μηνύματα και θα δούμε αργότερα τα αποτελέσματα).



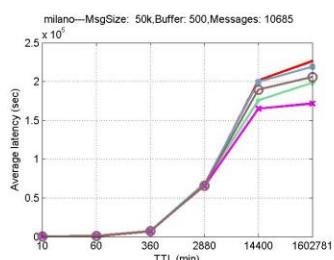
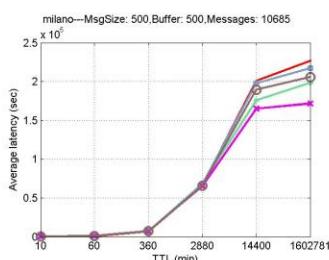
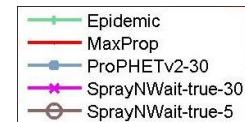
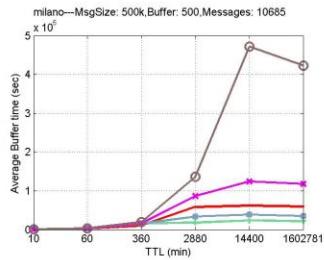
**Παράσταση 4.2.iα**



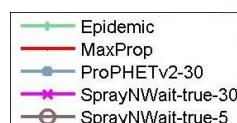
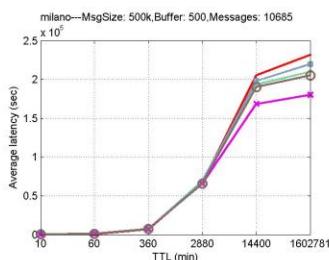
**Παράσταση 4.2.ιβ**



**Παράσταση 4.2.ιγ**



**Παράσταση 4.2.ιδ**

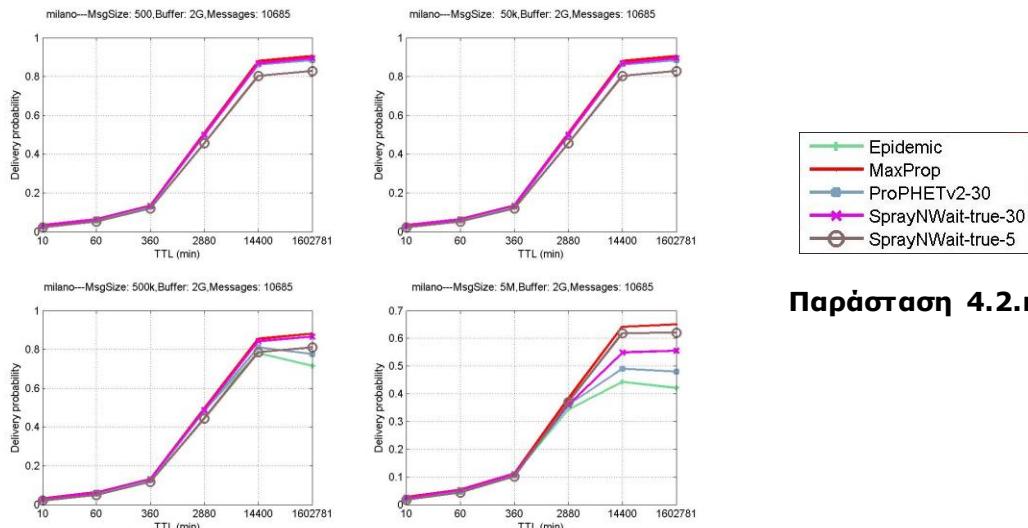


### Παρατηρήσεις:

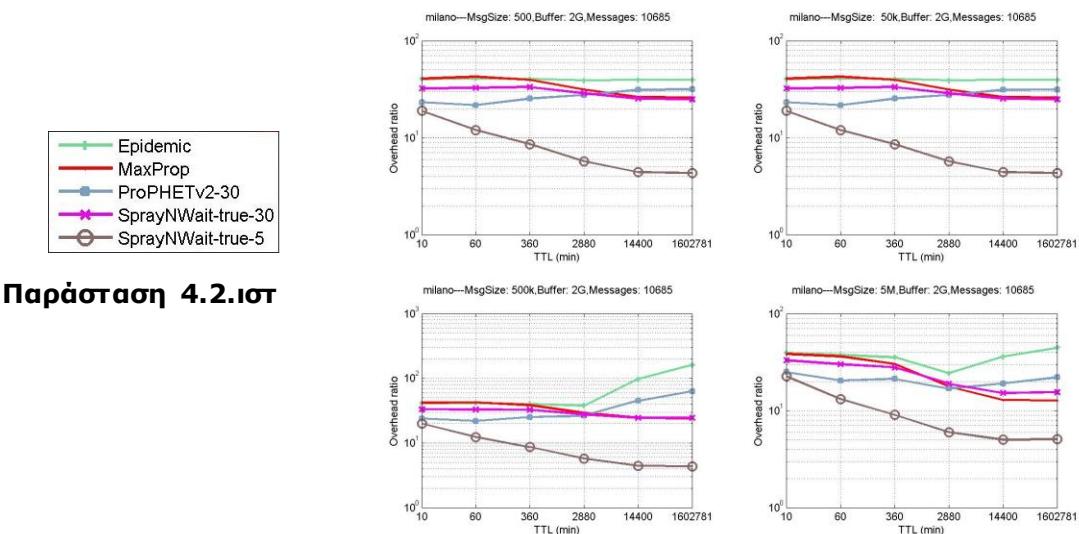
- Υπάρχει σημαντική βελτίωση στην πιθανότητα παράδοσης, ιδιαίτερα με την αύξηση του χρόνου ζωής των μηνυμάτων.
- Η κατάταξη με βάση την πιθανότητα παράδοσης παραμένει ίδια και έχει ως εξής: MaxProp, Spray and Wait 5, Spray and Wait 30, PRoPHETv2, Epidemic.

Όπως και πριν και για τα υπόλοιπα πρωτόκολλα τα αποτελέσματα είναι παρόμοια.

Ακολουθούν οι παραστάσεις για μέγεθος μνήμης 2G, που υπενθυμίζουμε σημαίνει ότι είναι απεριόριστη για μεγέθη μηνύματος 500 και 50kb. Για μεγέθη 500kb και 5M, μπορεί να κρατήσει 4000 και 400 μηνύματα αντίστοιχα. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πιθανότητας παράδοσης και της υπερφόρτωσης.



### Παράσταση 4.2.ιε

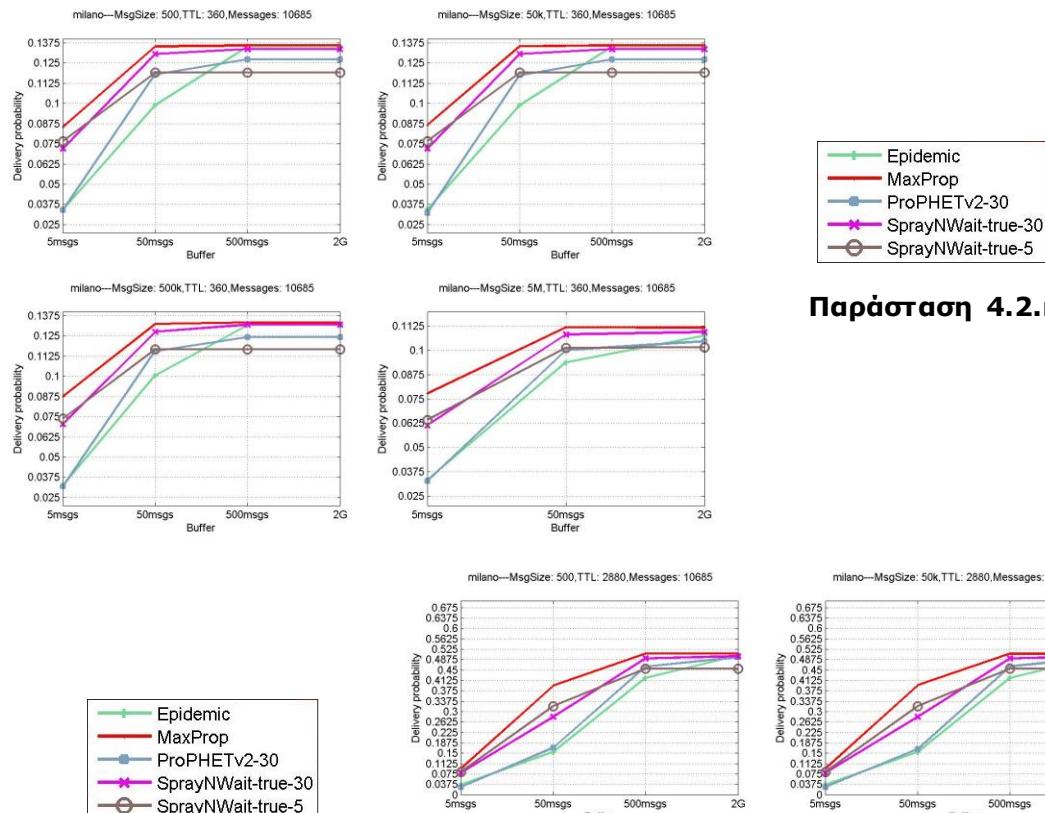


### Παράσταση 4.2.ιστ

### Παρατηρήσεις:

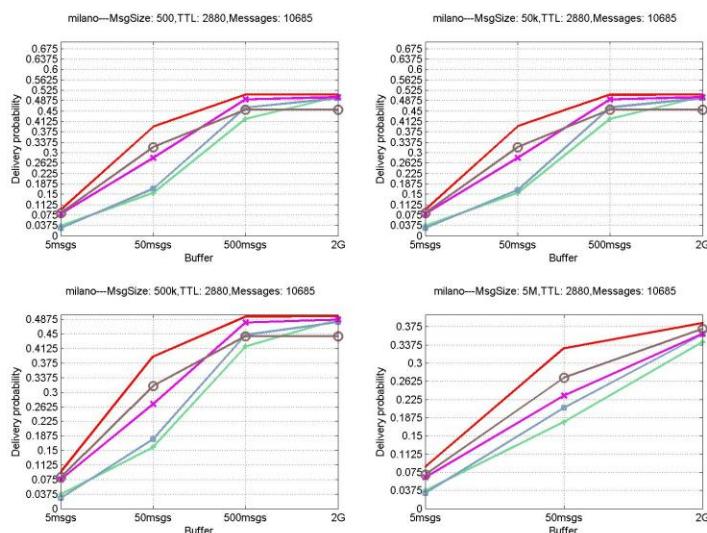
- Όλα τα πρωτόκολλα έχουν σχεδόν την ίδια πιθανότητα παράδοσης για τα δύο μικρότερα μεγέθη, εκτός από το Spray and Wait πέντε αντιγράφων που υστερεί με μικρή, βέβαια, διαφορά. Στα 500kb, στους μεγαλύτερους χρόνους ζωής των μηνυμάτων, βλέπουμε μια ελαφρά πτώση στα πρωτόκολλα PRoPHETv2 και Epidemic, που προκαλείται από την αύξηση της υπερφόρτωσης. Στα 5M, με την αύξηση του χρόνου ζωής των μηνυμάτων, βλέπουμε την κατάταξη των πρωτοκόλλων να είναι όπως και στα προηγούμενα μεγέθη μνήμης.
- Για μέγεθος 500kb, η επιβάρυνση του δικτύου που προκαλείται από τα πρωτόκολλα PRoPHETv2 και Epidemic είναι μεγαλύτερη από αυτή των υπολοίπων, πράγμα το οποίο οφείλεται στο ότι η μνήμη γι' αυτό το μέγεθος δεν είναι απεριόριστη όπως για τα δύο μικρότερα μεγέθη. Για τα 5M είναι μικρότερη, λόγω του χρόνου επαφής των συσκευών που δεν είναι πάντα αρκετός για τη μεταβίβαση του μηνύματος.

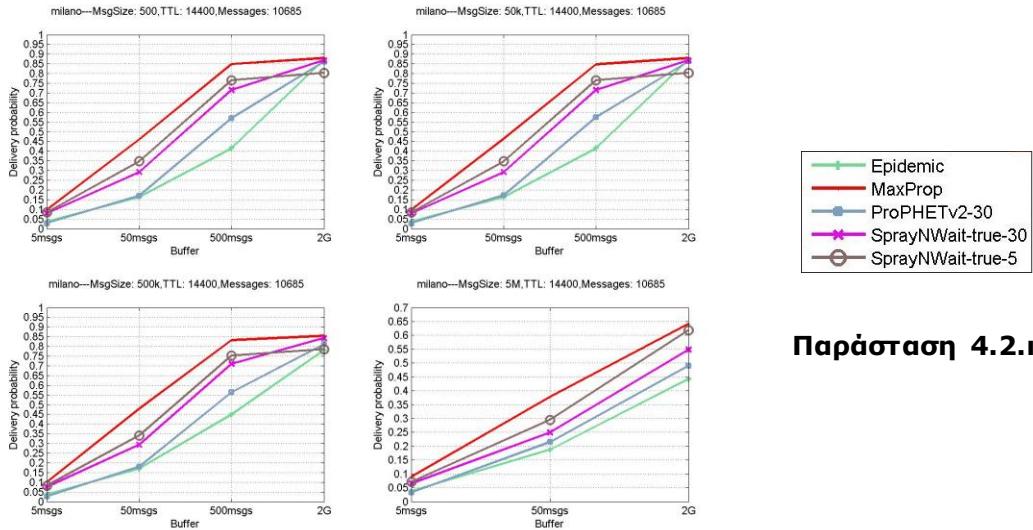
Στη συνέχεια παραθέτουμε κάποιες παραστάσεις που θα μας βοηθήσουν να δούμε πιο ξεκάθαρα την επίδραση του μεγέθους της μνήμης στα αποτελέσματα.



**Παράσταση 4.2.ιζ**

**Παράσταση 4.2.ιη**





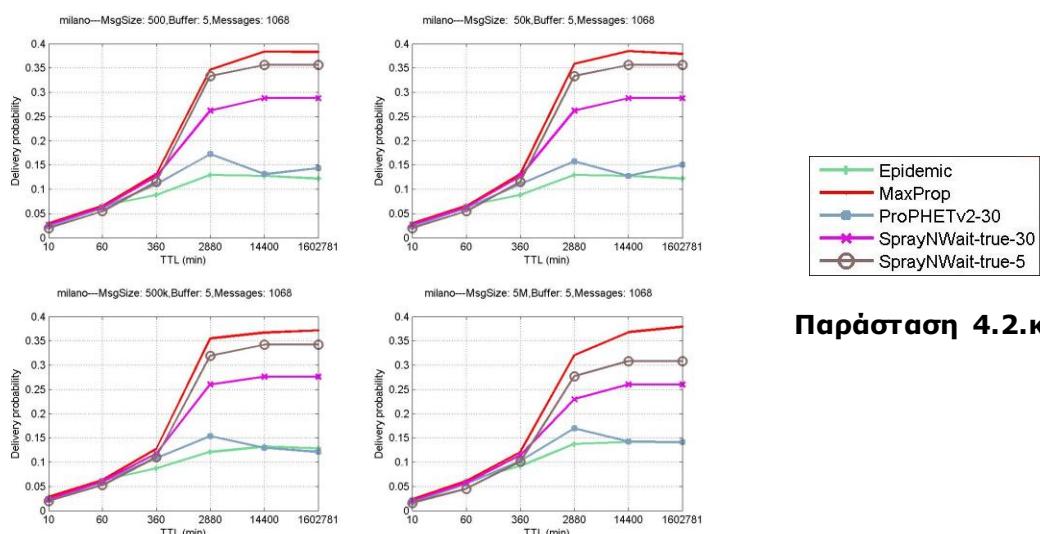
#### Παράσταση 4.2.ιθ

Στην παράσταση 4.2.ιζ βλέπουμε την πιθανότητα παράδοσης για TTL = 360 και τα διάφορα μεγέθη μνήμης που χρησιμοποιήθηκαν. Στην 4.2.ιη το TTL είναι 2880 λεπτά και στην 4.2.ιθ 14400.

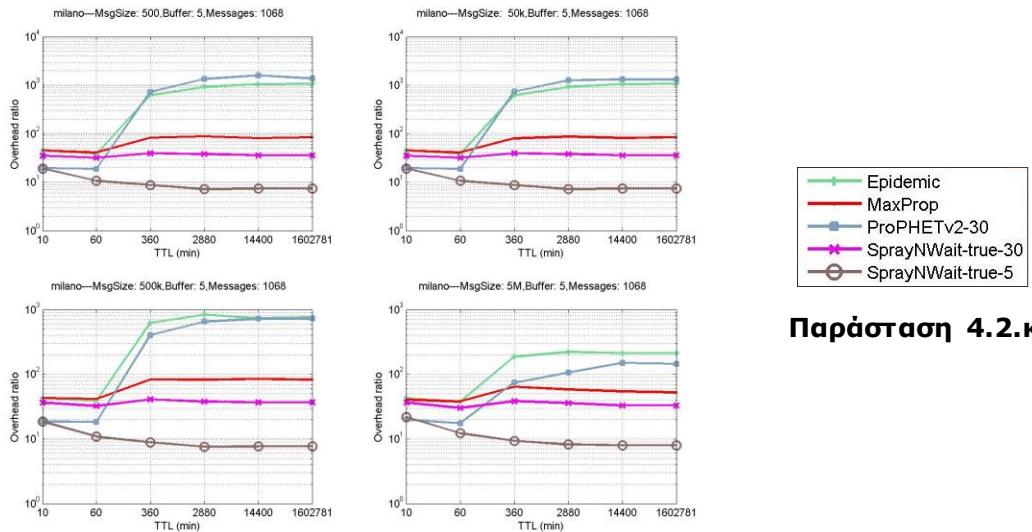
#### Παρατηρήσεις:

- Για χρόνο ζωής ίσο με 10 λεπτά, η πιθανότητα παράδοσης είναι σταθερή για όλα τα μεγέθη μνήμης. Τα μηνύματα απορρίπτονται από τη μνήμη λόγω λήξης του χρόνου και όχι λόγω συμφόρησης.
- Όσο αυξάνεται ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων αυξάνεται και η διαφορά που προκαλείται από τη μεγέθυνση της μνήμης. Για μεγαλύτερα TTL, χρειάζεται και μεγαλύτερη μνήμη για βέλτιστα αποτελέσματα.
- Παρόμοια μορφή έχουν και οι παραστάσεις που απουσιάζουν (TTL = 60, inf).

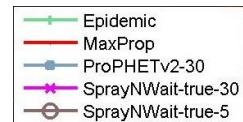
#### Για 1068 μηνύματα:



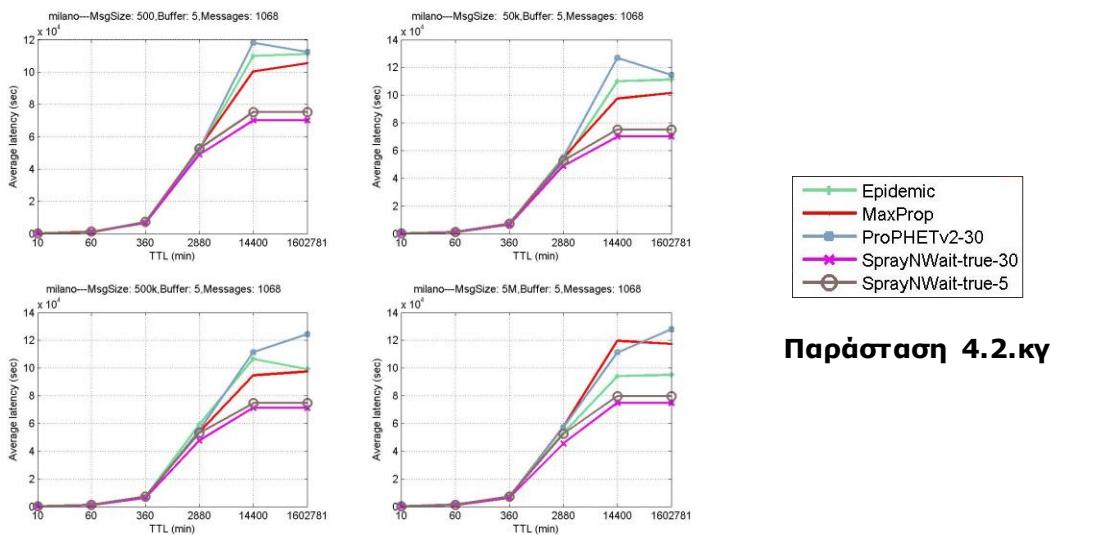
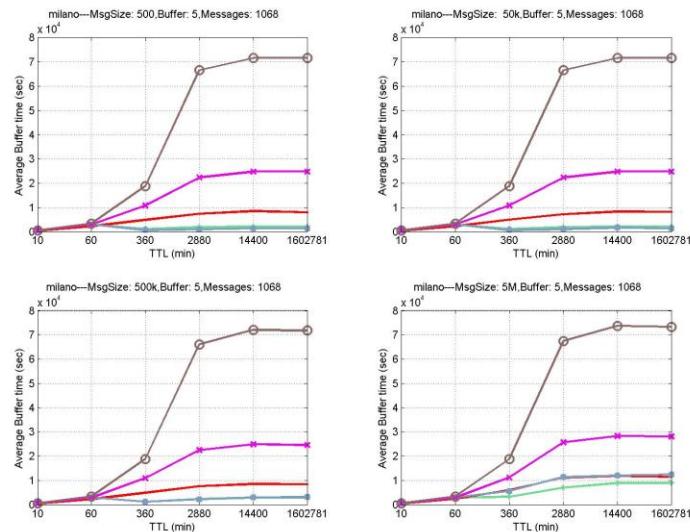
#### Παράσταση 4.2.κ



**Παράσταση 4.2.κα**



**Παράσταση 4.2.κβ**

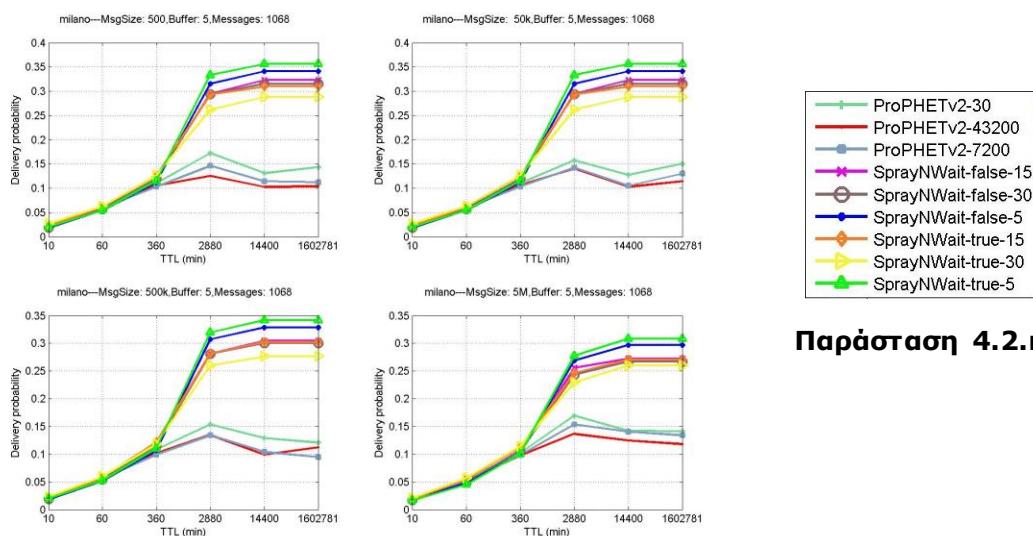


**Παράσταση 4.2.κγ**

### Παρατηρήσεις:

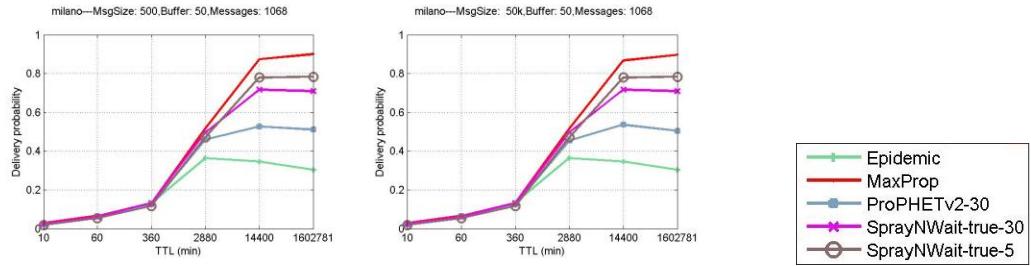
- Για χρόνο ζωής μέχρι και 360 λεπτά τα αποτελέσματα όλων των πρωτοκόλλων είναι παρόμοια και πολύ χαμηλά.
- Από εκεί και πέρα, βλέπουμε πως μεγαλύτερη πιθανότητα παράδοσης έχει και πάλι το πρωτόκολλο MaxProp, με το Spray and Wait να ακολουθεί και να είναι πίσω τα PRoPHETv2 και Epidemicό.
- Το Spray and Wait πέντε μηνυμάτων ξεπερνά αυτό των τριάντα, όσο αυξάνεται ο χρόνος ζωής (σημειώνουμε ξανά πως τα ποσοστά παράδοσης είναι πολύ μικρά, οπότε και οι διαφορές).
- Οι επιβαρύνσεις που προκαλούν τα PRoPHETv2 και Epidemic είναι τάξεις μεγαλύτερες από τα υπόλοιπα.

Παρακάτω φαίνεται η παράσταση για τα υπόλοιπα πρωτόκολλα που ελέγχθηκαν:

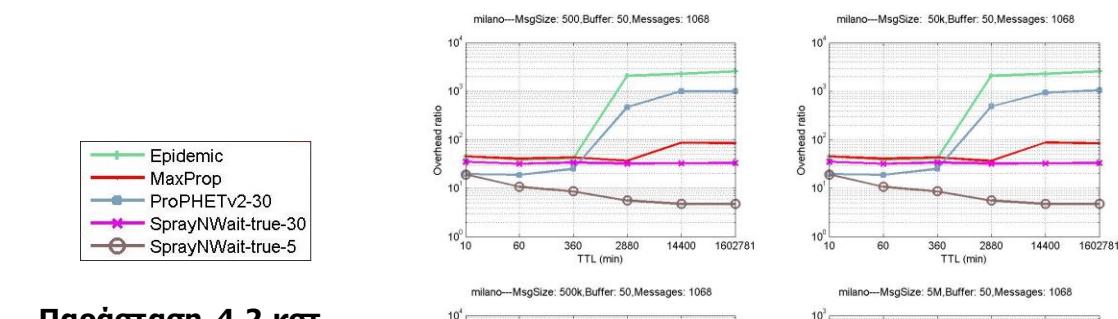


### **Παράσταση 4.2.κδ**

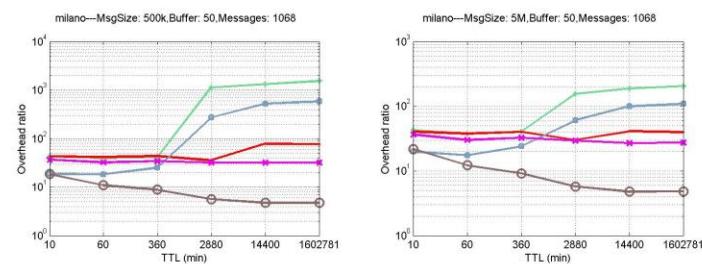
Ακολουθούν τα αποτελέσματα για προσωρινή μνήμη χωρητικότητας πενήντα μηνυμάτων. Παρουσιάζονται η πιθανότητα παράδοσης και η υπερφόρτωση που προκαλείται στο δίκτυο.



## Παράσταση 4.2.κε



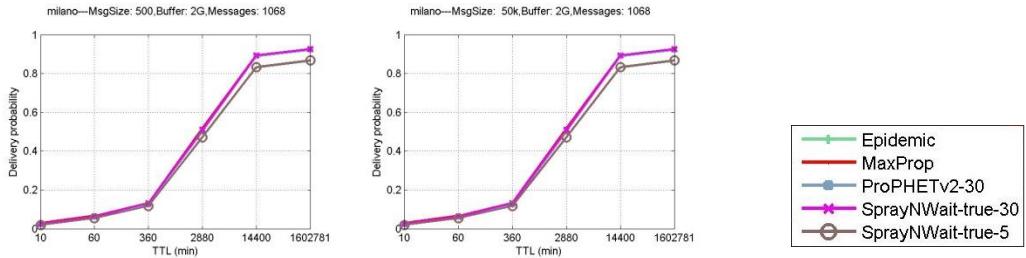
## Παράσταση 4.2.κτ



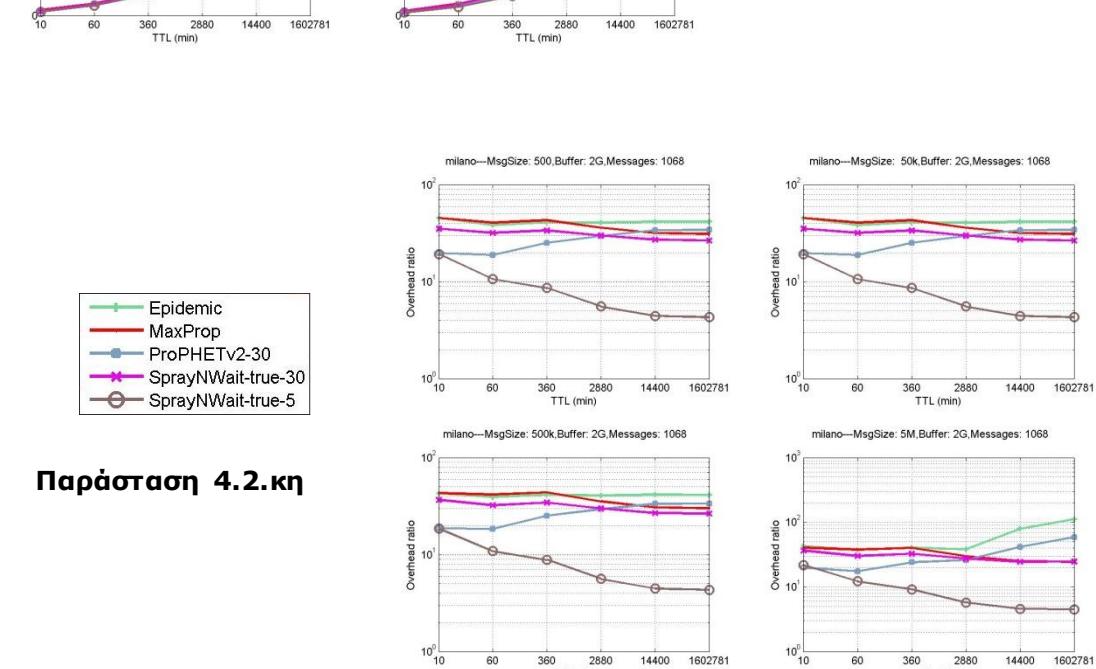
### Παρατηρήσεις:

- Η μορφή των αποτελεσμάτων είναι παρόμοια με πριν, αλλά με μεγαλύτερες πιθανότητες παράδοσης.
- Το PRoPHETv2 δημιουργεί μια διαφορά υπερ του από το Επιδημικό πρωτόκολλο με την αύξηση του χρόνου ζωής των μηνυμάτων

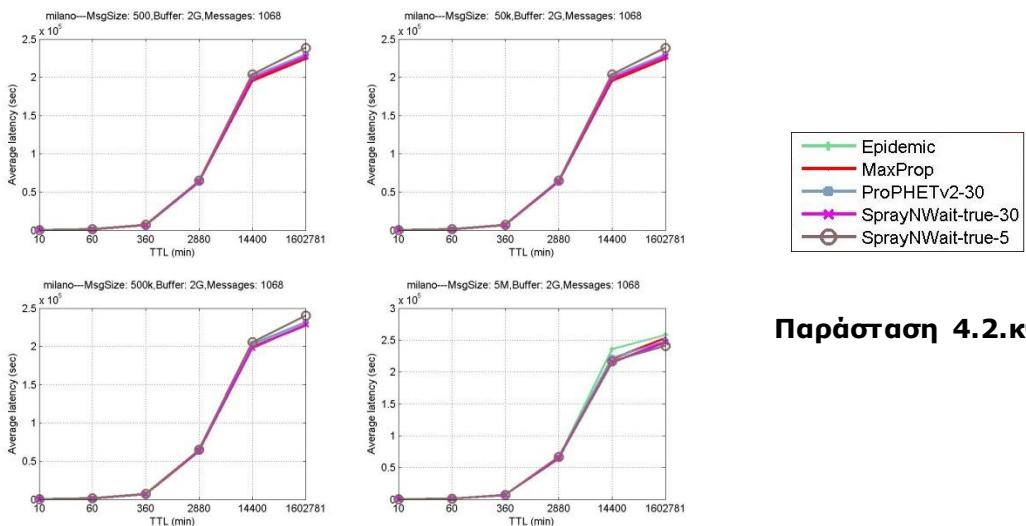
Για μέγεθος μνήμης ίσο με 500 μηνύματα, δεν παρουσιάζουμε τις γραφικές παραστάσεις μιας και η μορφή τους είναι ίδια με αυτές για μνήμη 2G, που παραθέτουμε παρακάτω. Η μόνη διαφορά εντοπίζεται στο χρόνο ζωής 14400 λεπτών και περισσότερο όταν αυτός είναι απεριόριστος, όπου τα PRoPHETv2 και Epidemic έχουν μια μικρή πτώση στα ποσοστά παράδοσής τους και αύξηση στην υπερφόρτωση που προκαλούν στο δίκτυο. Με την αναβάθμιση της μνήμης στα 2G, το πρόβλημα λύνεται, όπως φαίνεται στις επόμενες παραστάσεις.



**Παράσταση 4.2.κζ**



**Παράσταση 4.2.κη**



**Παράσταση 4.2.κθ**

### Παρατηρήσεις:

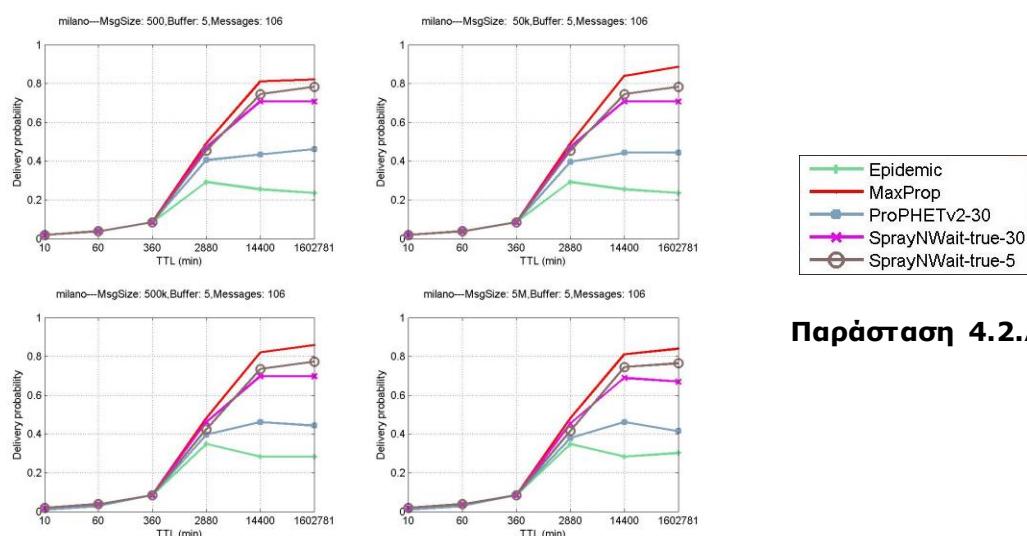
- Όλα τα πρωτόκολλα έχουν σχεδόν ίδια επίδοση, για τα τρία πρώτα μεγέθη μηνύματος, και με συγκρίσιμες καθυστερήσεις, με εξαίρεση το Spray and Wait πέντε αντιγράφων, το οποίο όμως δεν απέχει πολύ και προκαλεί πολύ μικρότερη επιβάρυνση στο δίκτυο.
- Μικρές διαφορές παρουσιάζονται για μέγεθος μηνύματος 5M και απεριόριστο χρονού ζωής, όπου το MaxProp προηγείται και Επιδημικό και PRoPHETv2 παρουσιάζουν πτώση.
- Σε αυτή την περίπτωση το Spray and Wait 30 αντιγράφων είναι ελαφρώς καλύτερο από αυτό των πέντε.

### Για 106 μηνύματα:

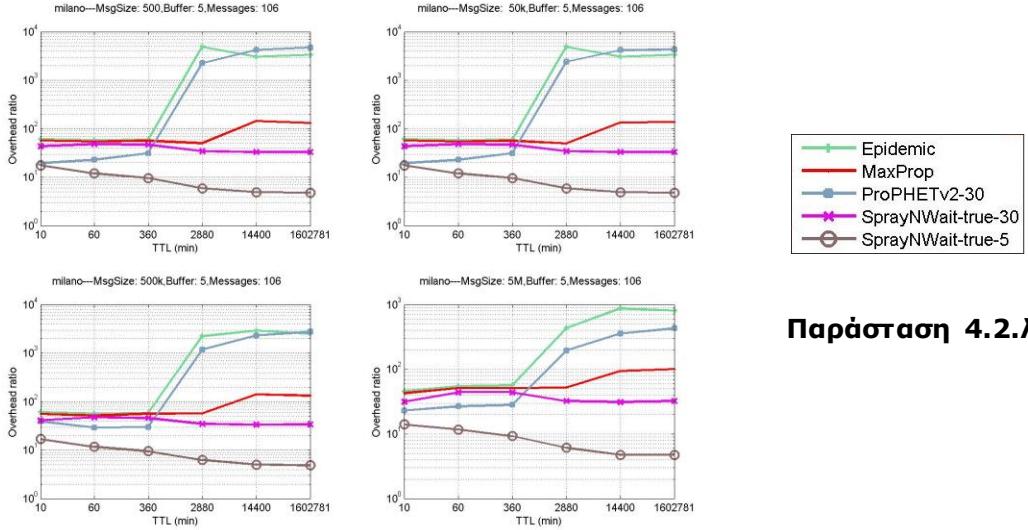
Στην παράσταση 4.2.λ φαίνεται η πιθανότητα παράδοσης για μέγεθος μνήμης πέντε μηνυμάτων και στην 4.2.λα η επιβάρυνση στο δίκτυο. Ακολουθούν οι αντίστοιχες παραστάσεις για χωρητικότητα μνήμης πενήντα μηνυμάτων και απεριόριστη. Τα υπόλοιπα πρωτόκολλα που ελέγχθηκαν και δεν παρουσιάζονται έχουν παρόμοια αποτελέσματα με αυτά που δίνονται.

### Παρατηρήσεις:

- Η μορφή των παραστάσεων και για αυτό τον ελάχιστο αριθμό μηνυμάτων είναι παρόμοια με αυτή που έχουν οι παραστάσεις στα σενάρια με μεγαλύτερο αριθμό μηνυμάτων. Η διαφορά είναι αριθμητική, με την πιθανότητα παράδοσης να αυξάνεται, αφού δίδεται ο ίδιος χρόνος και οι ίδιοι πόροι για τη μετάδοση πολύ λιγότερων μηνυμάτων.



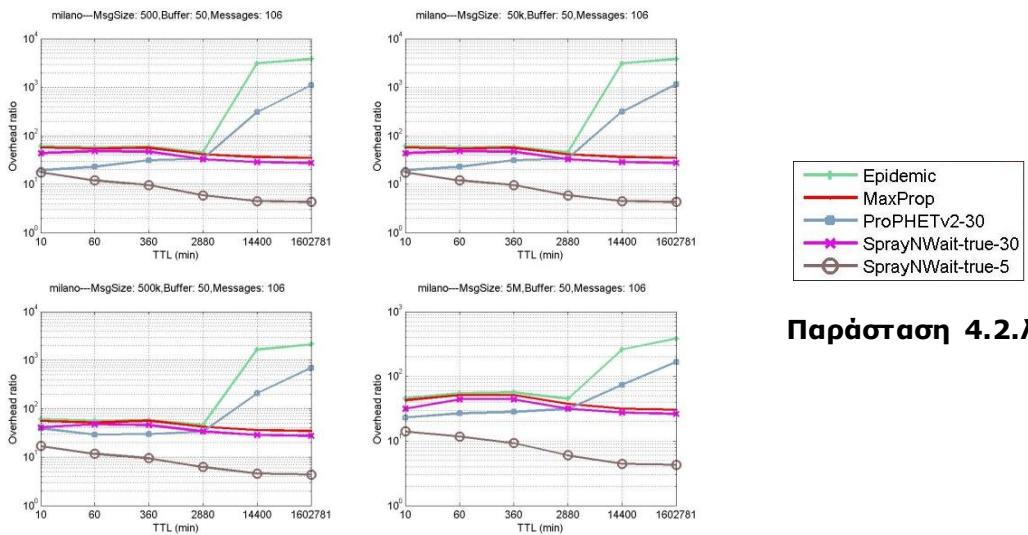
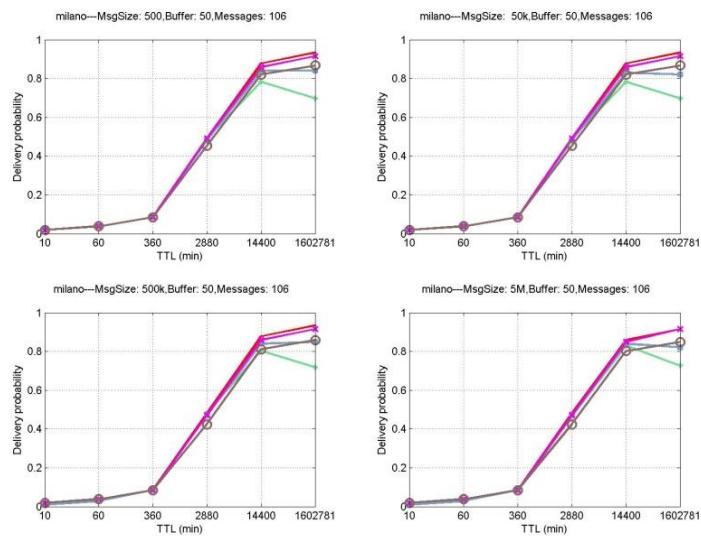
### **Παράσταση 4.2.λ**



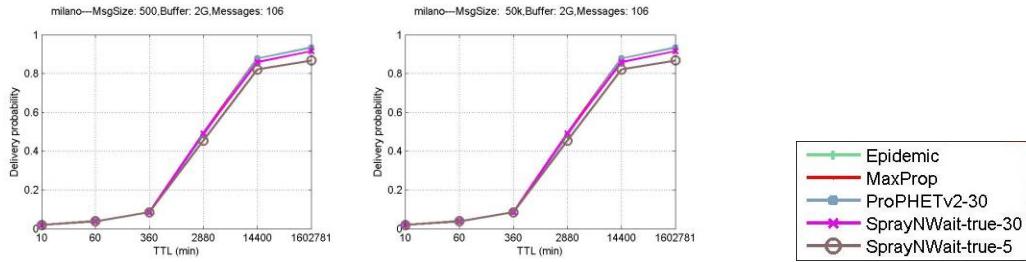
**Παράσταση 4.2.λα**

Epidemic  
MaxProp  
ProPHETv2-30  
SprayNWait-true-30  
SprayNWait-true-5

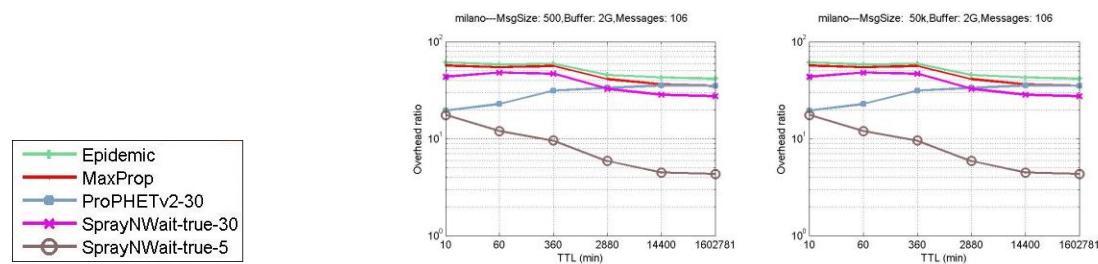
**Παράσταση 4.2.λβ**



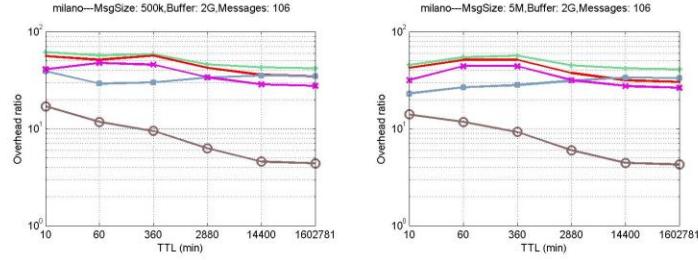
**Παράσταση 4.2.λγ**



## Παράσταση 4.2.Λδ



## Παράσταση 4.2.Λε



### Παρατηρήσεις:

- MaxProp, Epidemic και PRoPHET έχουν ίδια πιθανότητα παράδοσης, ενώ το Spray and Wait ακολουθεί με μικρή διαφορά. Η επιβαρύνσεις που προκαλούν στο δίκτυο δεν έχουν, επίσης, ιδιαίτερες διαφορές, ενώ και οι καθυστερήσεις παράδοσης είναι παρόμοιες (δεν παρουσιάζονται).

### 4.3 Περίπτωση 3: Επαφές σύμφωνα με πρόγραμμα

Έχουμε μοτίβα επαφών που προκύπτουν από τις επιλογές μαθημάτων ανάμεσα σε 800 φοιτητές του Εθνικού Πανεπιστημίου της Σιγκαπούρης. Θεωρούμε ότι υπάρχει σύνδεση ανάμεσα σε δύο κόμβους, όταν παρακολουθούν το ίδιο μάθημα και όσο διαρκεί αυτό. Έχουμε πληροφορίες για 77 εργατοώρες, δηλαδή 3 μέρες και 5 ώρες. Μηνύματα παράγονται για το 80% του χρόνου προσομοίωσης. Σημειώνουμε ότι αυτό είναι ένα δείγμα των αρχικών δεδομένων, τα οποία περιλαμβάνουν στοιχεία για 22341 φοιτητές, αριθμός απαγορευτικός για προσομοίωση λόγο του ιδιαίτερα μεγάλου χρόνου που χρειάζεται.

Ειδικές παράμετροι του σεναρίου που εξετάστηκαν:

Πρωτόκολλο	Mode	nrofCopies	secondsInTimeUnit
Epidemic	-	-	-
MaxProp	-	-	-
Spray and Wait	False	100 (~13%)	-
Spray and Wait	True	100	-
Spray and Wait	False	300 (~38%)	-
Spray and Wait	True	300	-
Spray and Wait	False	600 (75%)	-
Spray and Wait	True	600	-
PRoPHETv2	-	-	30
PRoPHETv2	-	-	7200
PRoPHETv2	-	-	14400
PRoPHETv2	-	-	21600

Πίνακας 4.3.α

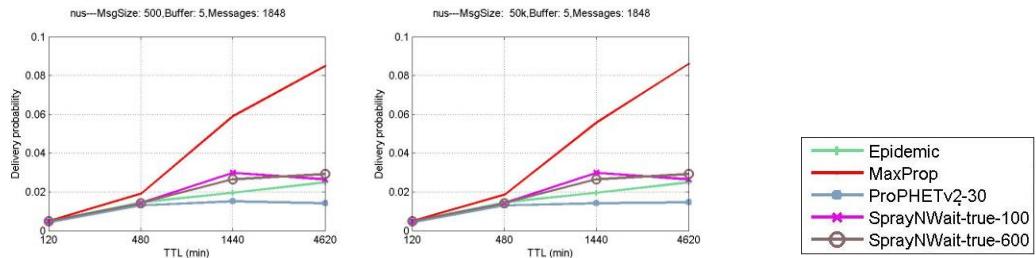
msgTTL (min)
120
480
1440
4620 (inf)

Πίνακας 4.3.β

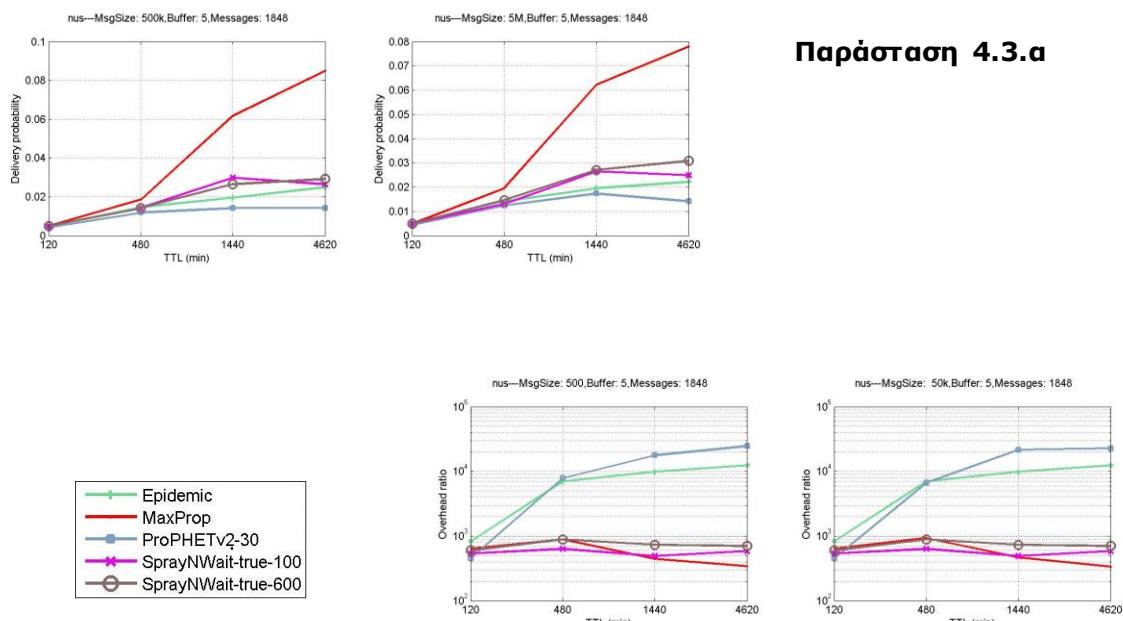
msgSize	msgInterval						
	120 (totalMsgs: 1848)			1200 (totalMsgs: 184)			
Buffer							
500b	5	50	500	Inf	5	50	Inf
50Kb	5	50	500	Inf	5	50	Inf
500Kb	5	50	500	Inf	5	50	Inf
5Mb	5	50	-	400	5	50	Inf

Πίνακας 4.3.γ

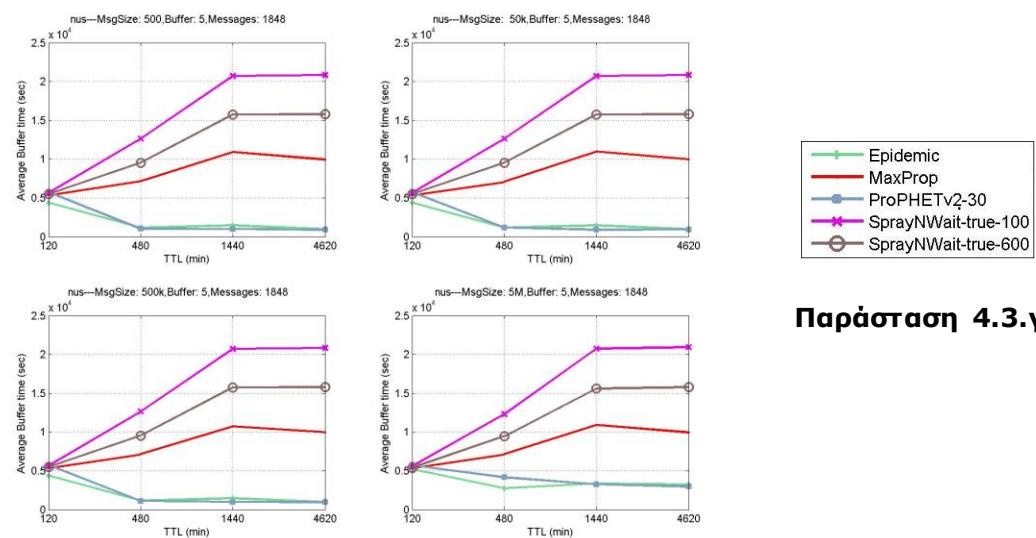
Για 1848 μηνύματα:



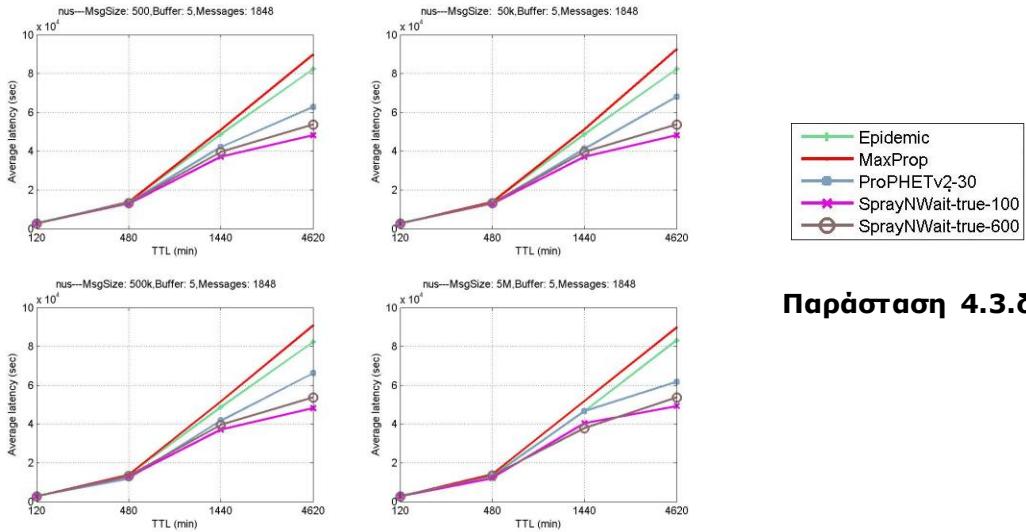
**Παράσταση 4.3.α**



**Παράσταση 4.3.β**



**Παράσταση 4.3.γ**

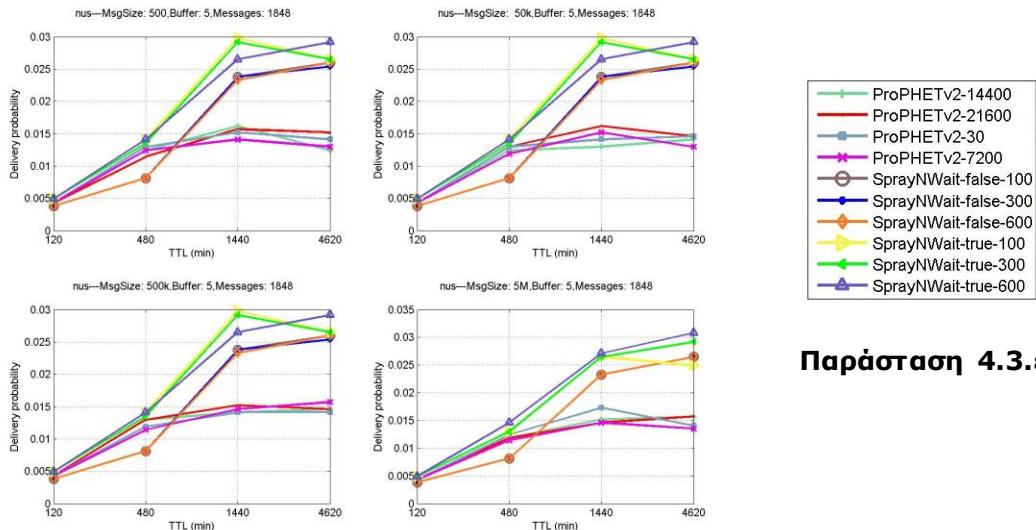


### Παράσταση 4.3.δ

#### Παρατηρήσεις:

- Η πιθανότητα παράδοσης είναι πάρα πολύ χαμηλή για όλα τα πρωτόκολλα. Παρόλα αυτά παρατηρούμε μια μικρή διαφορά για το MaxProp.
- Μεγάλη επιβάρυνση προκαλείται επίσης από όλα τα πρωτόκολλα, αλλά ιδιαίτερα από το Επιδημικό και το PRoPHETv2.

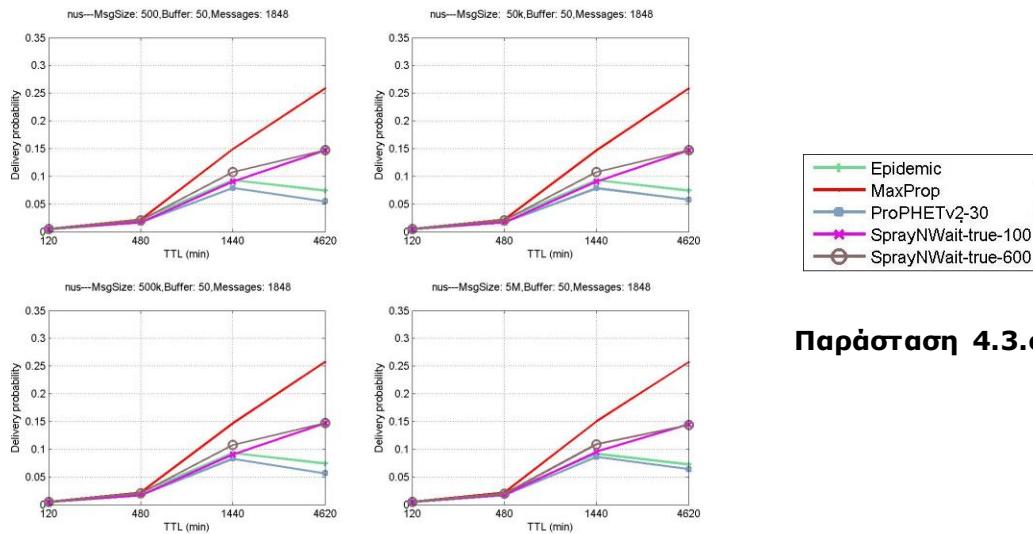
Ακολουθείη παράσταση για τις υπόλοιπες εκδοχές του PRoPHET και Spray and Wait:



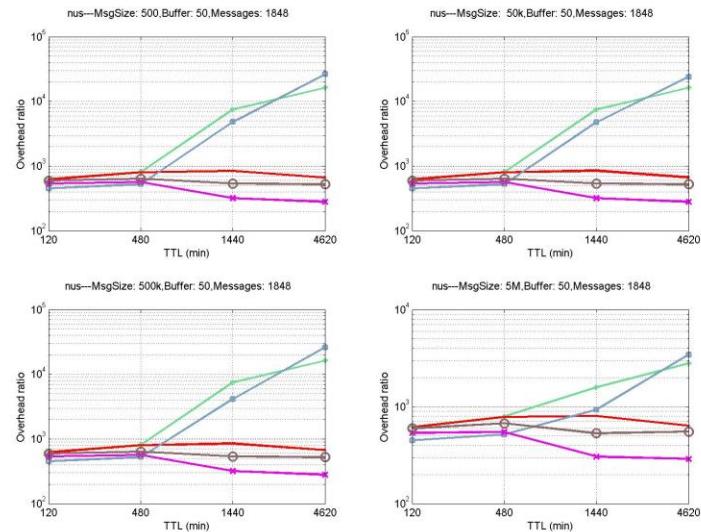
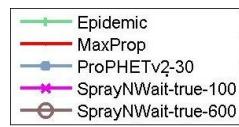
### Παράσταση 4.3.ε

#### Παρατηρήσεις:

- Αν μπορούμε να συγκρίνουμε τόσο μικρά νούμερα, θα πούμε ότι οι δυαδικές εκδοχές του πρωτοκόλλου Spray and Wait δείχνουν καλύτερες από τις μη-δυαδικές.



### Παράσταση 4.3.στ

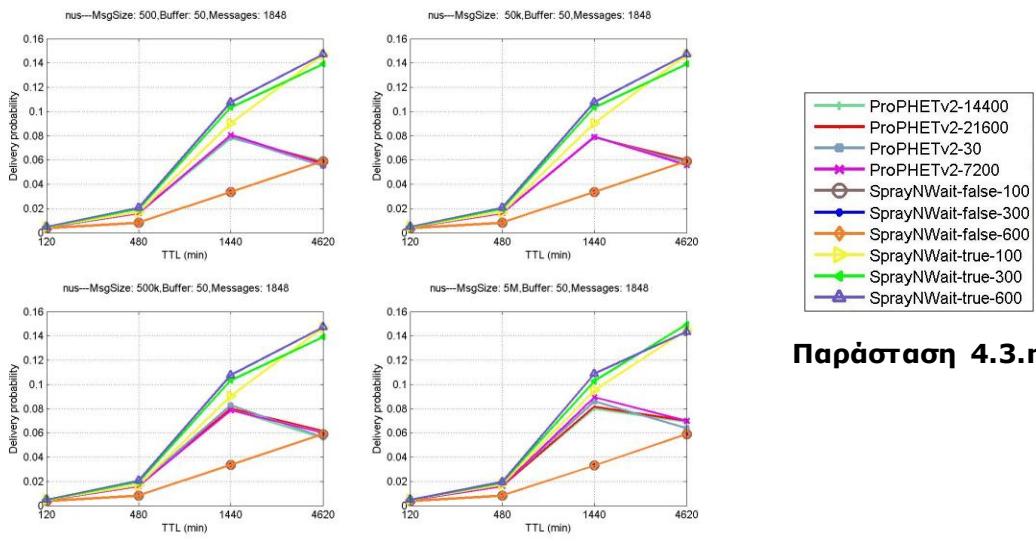


Η παράσταση 4.3.στ παρουσιάζει την πιθανότητα παράδοσης για μνήμη χωρητικότητας πενήντα μηνυμάτων και η 4.3.ζ την αντίστοιχη επιβάρυνση που προκαλείται στο δίκτυο.

### Παρατηρήσεις:

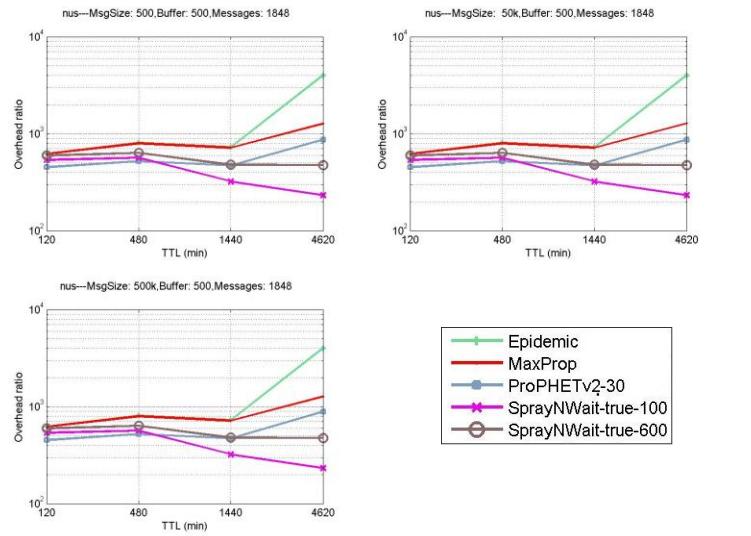
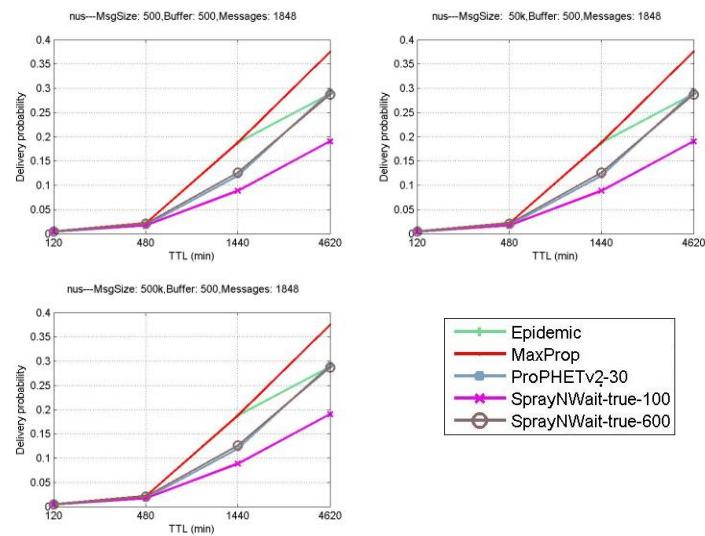
- Τα ποσοστά παράδοσης έχουν αυξηθεί. Και πάλι το MaxProp προηγείται κι ακολουθούν τα Spray and Wait και μετά το Επιδημικό και το PRoPHETv2.
- Η επιβάρυνση των Epidemic και PRoPHETv2 γίνεται και πάλι πάρα πολύ μεγάλη, όσο αυξάνεται ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων.

Στην επόμενη παράσταση φαίνονται τα αποτελέσματα των υπόλοιπων πρωτοκόλλων:



**Παράσταση 4.3.η**

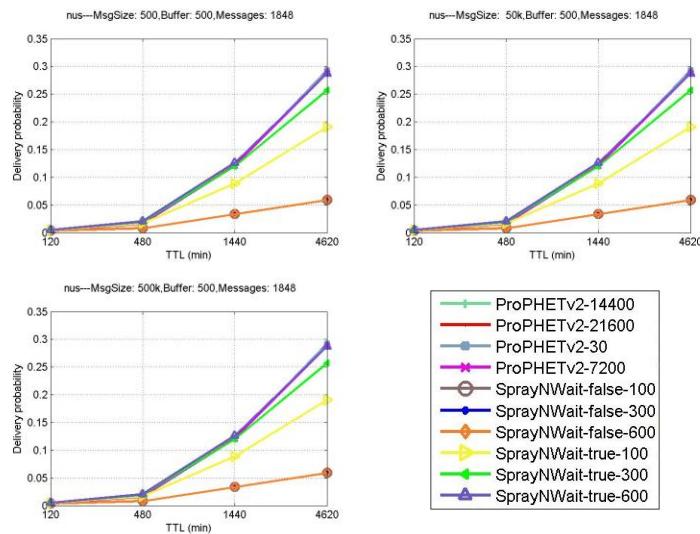
**Παράσταση 4.3.θ**



**Παράσταση 4.3.ι**

### Παρατηρήσεις:

- Με την αύξηση της μνήμης στα 500 μηνύματα, το Επιδημικό πρωτόκολλο έχει την ίδια επιδοση με το MaxProp μέχρι χρόνο ζωής μηνύματος ίσο με 1440 λεπτά. Επίσης, το PRoPHETv2 έχει την ίδια πιθανότητα παράδοσης με το Spray and Wait 600 αντιγράφων.
- Η επιβάρυνση που προκαλείται από το PRoPHETv2 και το Επιδημικό πρωτόκολλο είναι αρκετά μειωμένη.

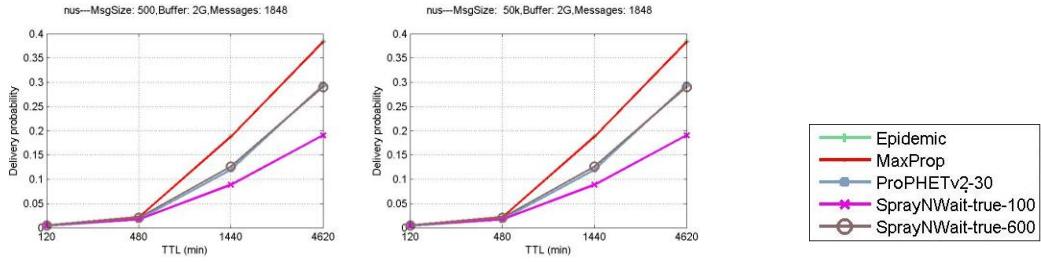


**Παράσταση 4.3.ia**

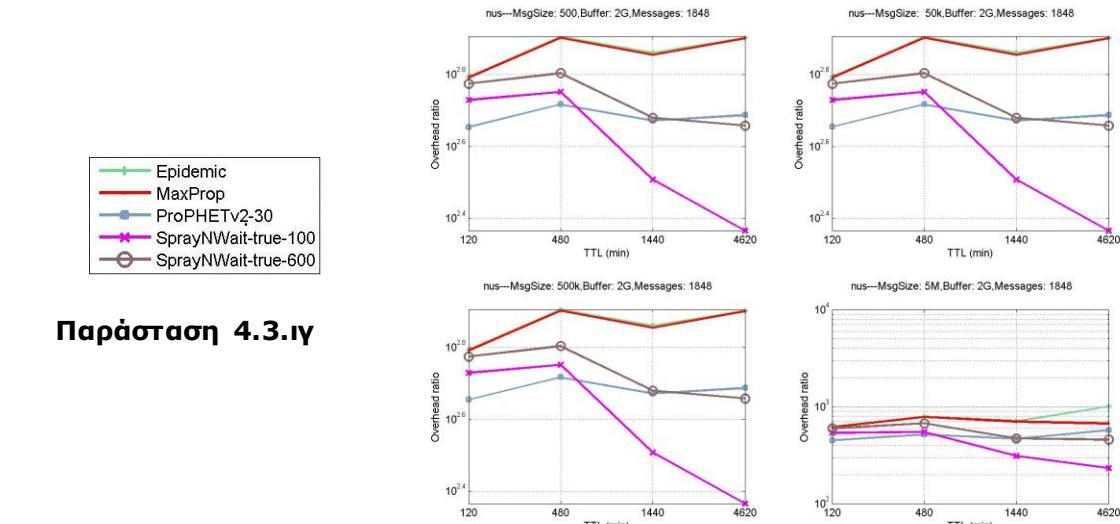
### Παρατηρήσεις:

- Σε αυτήν, όπως και τις προηγούμενες περιπτώσεις, βλέπουμε ότι τα μη δυαδικά Spray and Wait έχουν χαμηλότερη πιθανότητα παράδοσης σε σχέση με τα αντίστοιχα δυαδικά και προτιμώνται τα περισσότερα αντίγραφα.

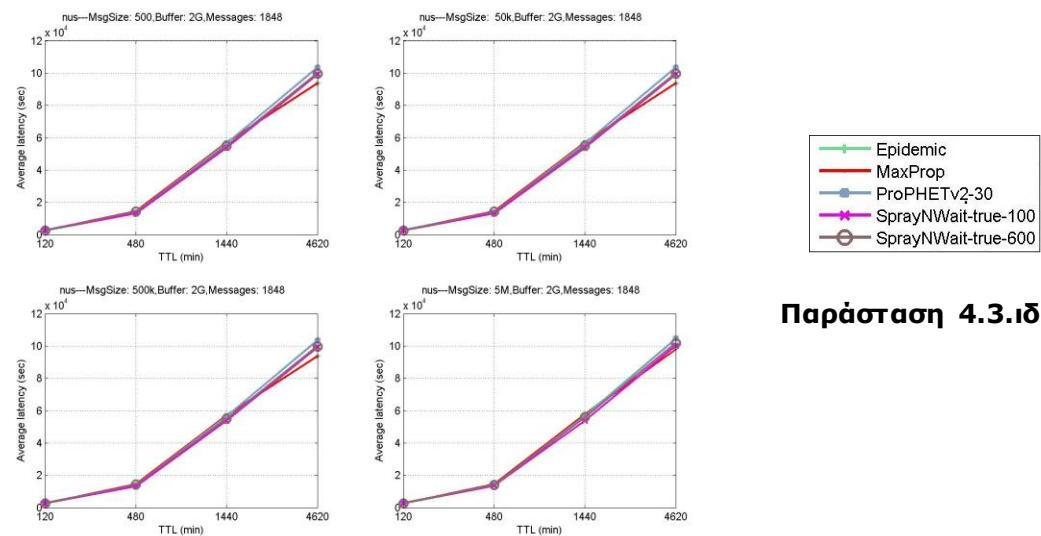
Στη συνέχεια δίνονται οι παραστάσεις για απεριοριστη μνήμη για τα μεγέθη μηνύματος 500, 50kb και 500kb και για μνήμη χωρητικότητας 400 μηνυμάτων για μέγεθος 5M.



**Παράσταση 4.3.ιβ**



**Παράσταση 4.3.ιγ**

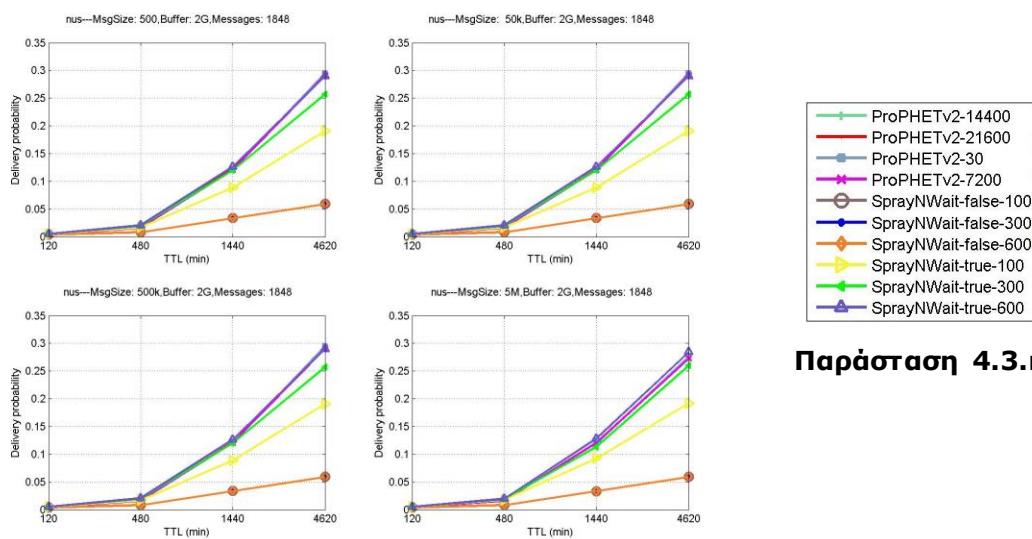


**Παράσταση 4.3.ιδ**

### Παρατηρήσεις:

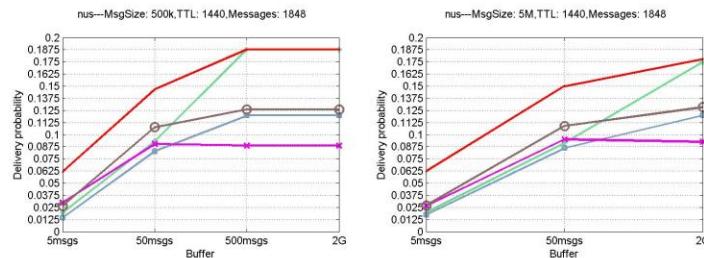
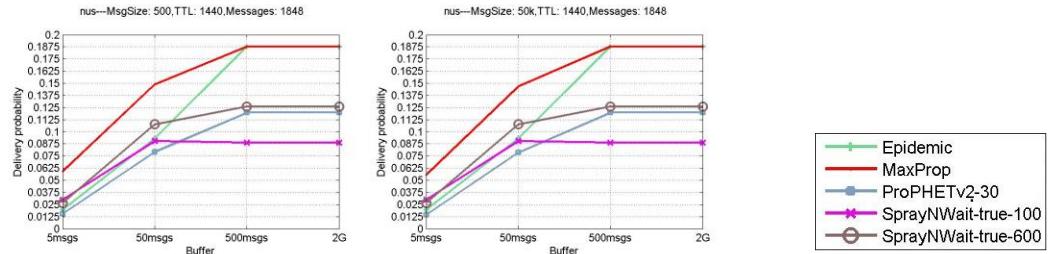
- MaxProp και Επιδημικό έχουν την καλύτερη πιθανότητα παράδοσης, με εξαίρεση το μέγεθος μηνύματος 5M, όπου για απεριόριστο χρόνο ζωής η επίδοση του Επιδημικού πρωτοκόλλου είναι χαμηλότερη. Ακολουθούν Spray and Wait 600 αντιγράφων και PRoPHETv2 με σχεδόν ταυτόσημες πιθανότητες. Όλα τα αποτελέσματα εξακολουθούν να είναι αρκετά χαμηλά.
- Η επιβάρυνση στο δίκτυο για MaxProp και Επιδημικό είναι ίδια. Για Spray and Wait 600 αντιγράφων είναι χαμηλότερη στις πλείστες περιπτώσεις από το PRoPHETv2, εκτός για απεριόριστο χρόνο ζωής μηνύματος.
- Οι καθυστερήσεις στην παράδοση όλων των πρωτοκόλλων είναι παρόμοιες.

Ακολουθεί η παράσταση για τις άλλες εκδοχές των πρωτοκόλλων. Βλέπουμε ότι το Spray and Wait 300 αντιγράφων έχει πολύ κοντινά αποτελέσματα με αυτό των 600, με χαμηλότερη υπερφόρτωση.

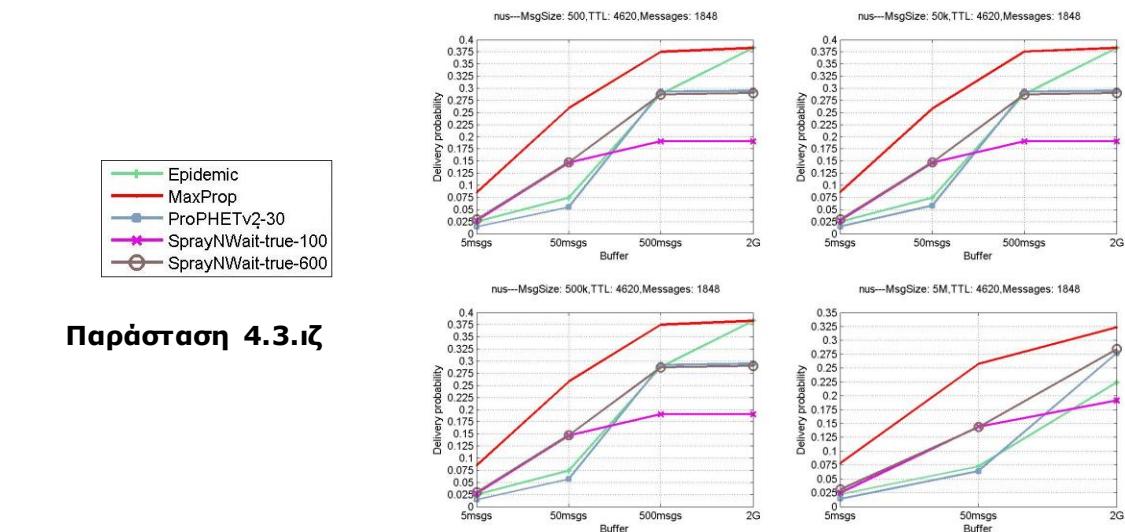


### Παράσταση 4.3.ιε

Στη συνέχεια παρατίθενται οι γραφικές παραστάσεις πιθανότητας παράδοσης – μνήμης για τρεις χρόνους ζωής μηνύματος που χρησιμοποιήθηκαν, για να δούμε καλύτερα πως επηρέασε η αύξηση μνήμης τα αποτελέσματα. Για TTL = 120 λεπτά τα αποτελέσματα είναι σταθερά, ενώ για TTL = 480 λεπτά, αλλάζουν μόνο όταν η χωρητικότητα της μνήμης γίνεται από 5 μηνύματα, 50.



### Παράσταση 4.3.ιστ



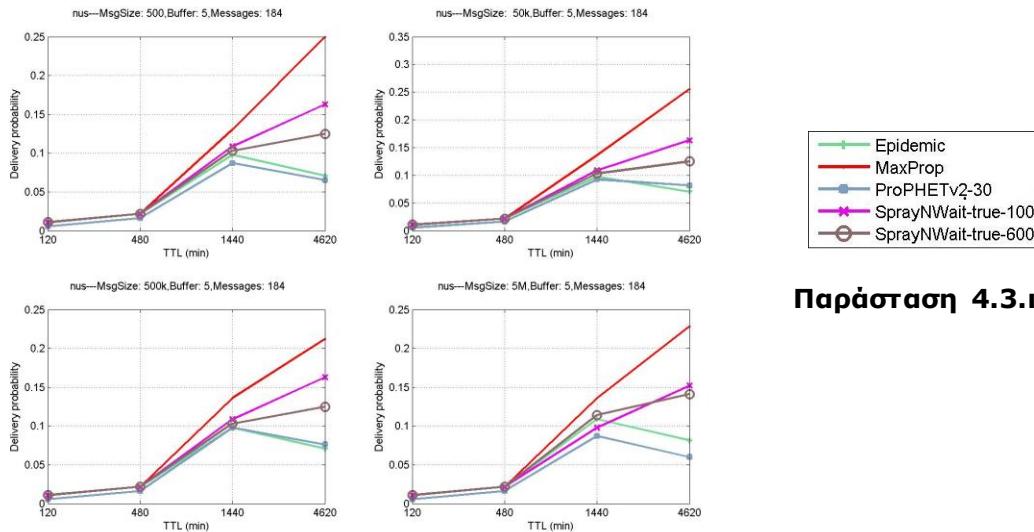
### Παράσταση 4.3.ιζ

#### Παρατηρήσεις:

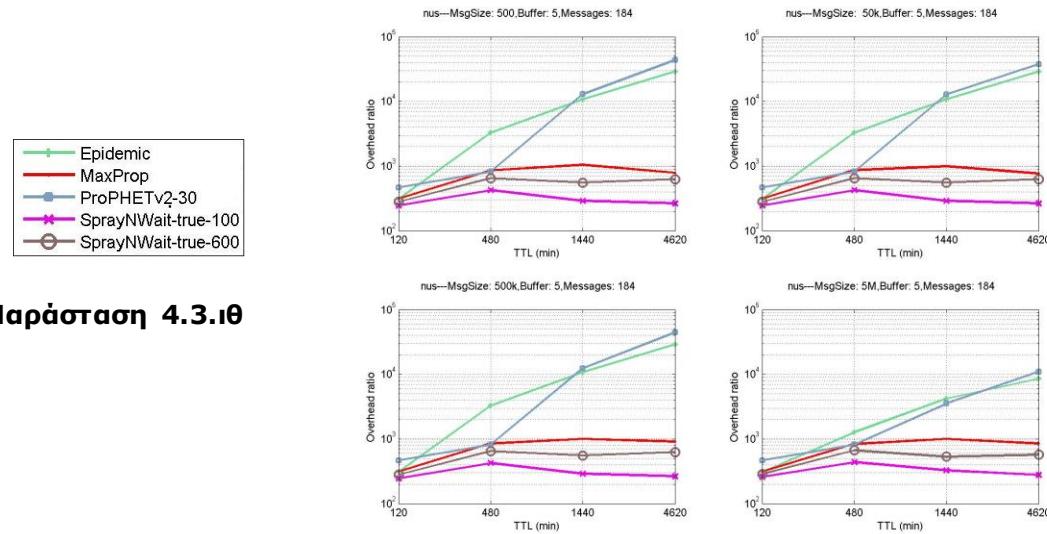
- Στο Spray and Wait 100 αντιγράφων, όπως είναι φυσικό, παρατηρείται η μικρότερη βελτίωση με την αύξηση της μνήμης, μιας και ούτως ή άλλως το πρωτόκολλο αυτό προκαλεί τη μικρότερη υπερφόρτωση.
- Το Επιδημικό πρωτόκολλο από την άλλη έχει τη μεγαλύτερη βελτίωση.
- Το PRoPHETv2 έχει επίσης μεγάλη αύξηση στην πιθανότητα παράδοσής του, ιδιαίτερα για απεριόριστο χρόνο ζωής.
- Το MaxProp είναι σχεδόν σταθερό από 500 μηνύματα σε 2G για τα τρία μεγέθη μηνύματος, πράγμα που δείχνει ότι το αποτέλεσμα δεν οφείλεται στη μνήμη, αλλά στις επαφές των κόμβων.

### Για 184 μηνύματα:

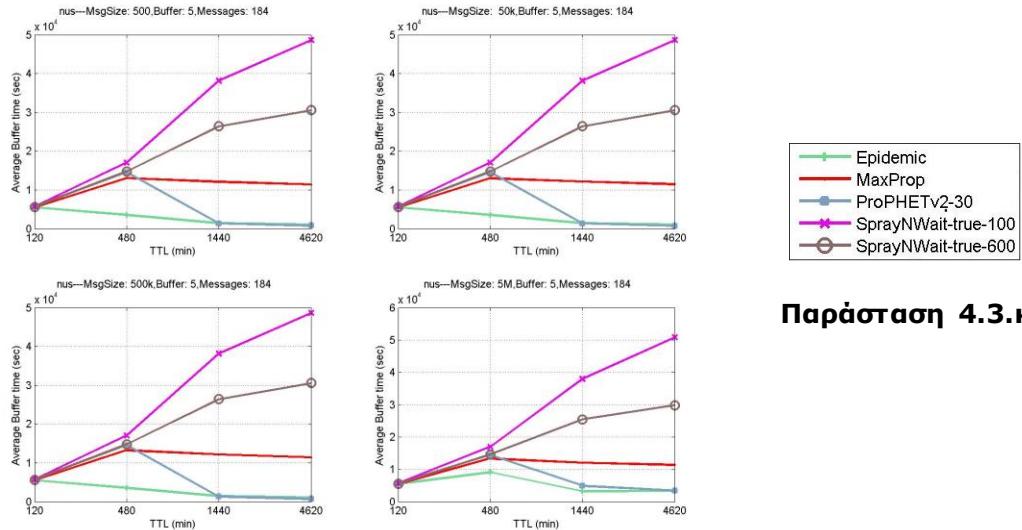
Στις παραστάσεις 4.3.ιη – κα βλέπουμε την πιθανότητα παράδοσης για μέγεθος μνήμης ίσο με πέντε μηνύματα, την επιβάρυνση που προκαλείται στο δίκτυο, το μέσο χρόνο παραμονής των μηνυμάτων στη μνήμη και τη μέση καθυστέρηση παράδοσης γι' αυτό το μέγεθος.



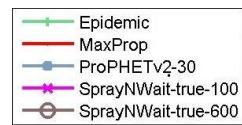
### **Παράσταση 4.3.ιη**



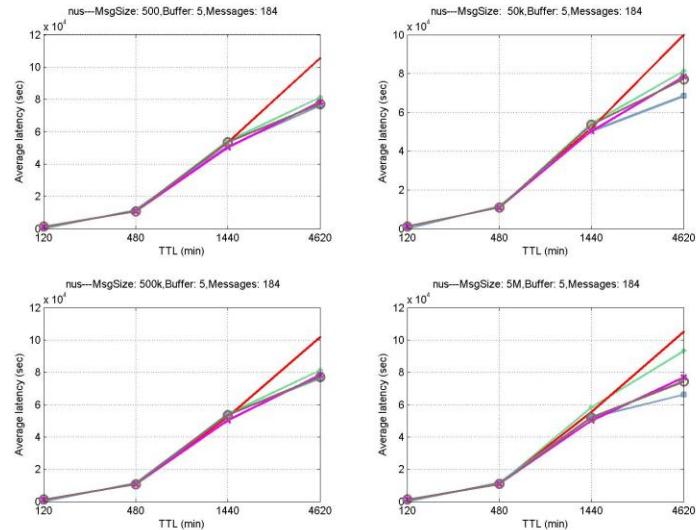
### **Παράσταση 4.3.ιθ**



### Παράσταση 4.3.κ



### Παράσταση 4.3.κα

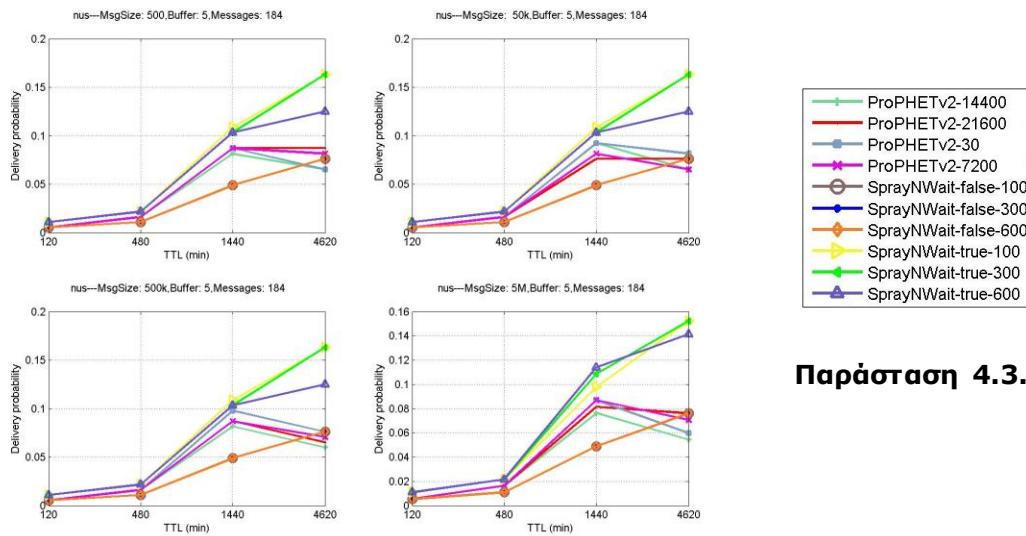


### Παρατηρήσεις:

- Βλέπουμε το MaxProp να προηγείται όλο και περισσότερο όσο αυξάνεται ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων.
- Ακολουθεί το Spray and Wait, με την εκδοχή των 100 αντιγράφων να μεγαλώνει τη διαφορά της από αυτή των 600 αντιτύπων με την αύξηση του TTL, για τα τρία πρώτα μεγέθη μηνύματος. Για μέγεθος 5M ανταγωνίζονται με μικρότερη διαφορά.
- Για τους δύο μικρότερους χρόνους ζωής, 120 και 480 λεπτά, η πιθανότητα παράδοσης των MaxProp, Spray and Wait (και των δύο) και Epidemic είναι η ίδια για όλα τα μεγέθη μηνύματος. Το PRoPHETv2 έχει μικρότερη πιθανότητα παράδοσης.
- Τα Epidemic και PRoPHETv2 έχουν πτώση στην επίδοσή τους, όταν ο χρόνος

ζωής των μηνυμάτων γίνεται απεριόριστος, προφανώς λόγω της υπερφόρτωσης που δεν επιτρέπει στα μηνύματα να παραμένουν για αρκετό χρόνο στη μνήμη.

Ακολουθεί η παράσταση για τις υπόλοιπες εκδοχές:

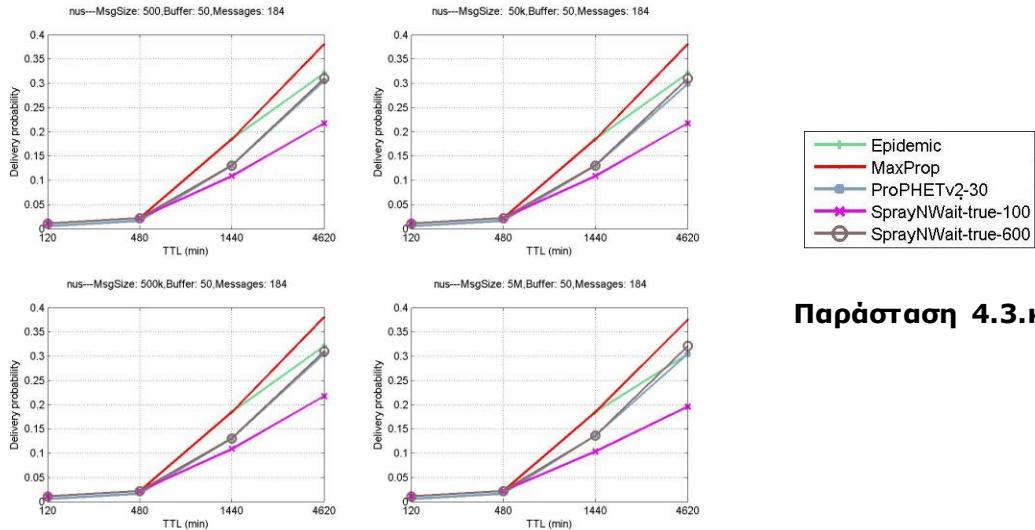


### Παράσταση 4.3.κβ

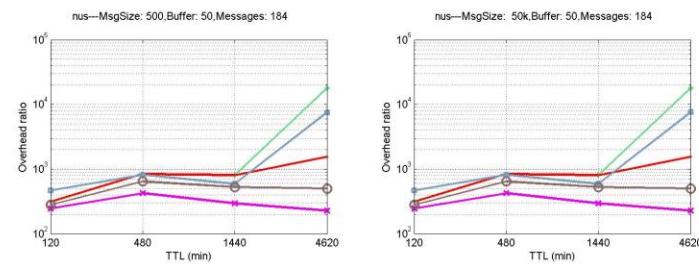
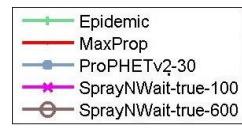
#### Παρατηρήσεις:

- Οι μη-δυαδικές εκδοχές του πρωτοκόλλου Spray and Wait, έχουν ταυτόσημα αποτελέσματα όσα αντίτυπα κι αν χρησιμοποιηθούν, και η πιθανότητα παράδοσής τους είναι μικρότερη από αυτές των δυαδικών περιπτώσεων.
- Η περίπτωση Spray and Wait 300 αντιγράφων δίνει το ίδιο με το καλύτερο αποτέλεσμα ανάμεσα στις εκδοχές των 100 και 600 αντιγράφων.
- Τα PRoPHETv2 δεν παρουσιάζουν ικανές διαφορές μεταξύ τους, για να αλλάξουν το αποτέλεσμα του πρωτοκόλλου σε σχέση με τα υπόλοιπα.

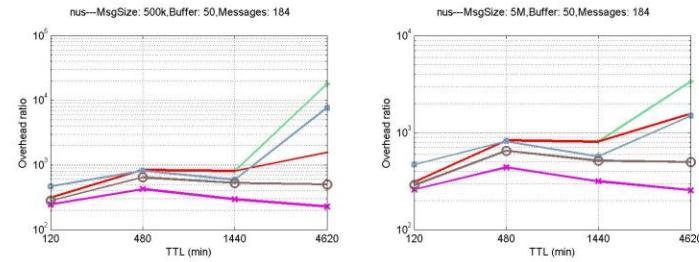
Στη συνέχεια βλέπουμε τα αποτελέσματα για μέγεθος μνήμης 50 μηνυμάτων.



### Παράσταση 4.3.κυ

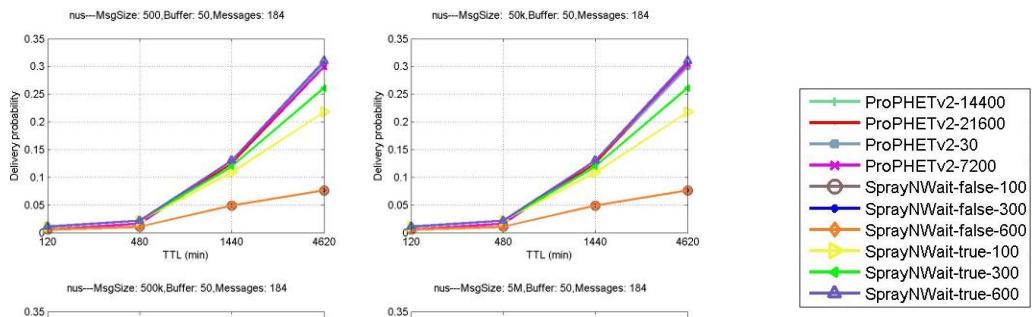


### Παράσταση 4.3.κδ

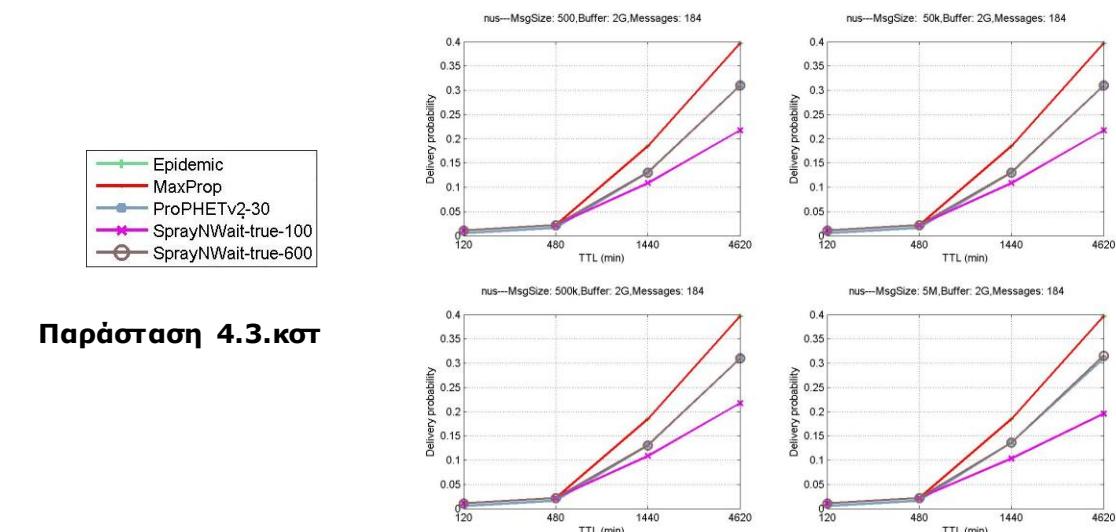


### Παρατηρήσεις:

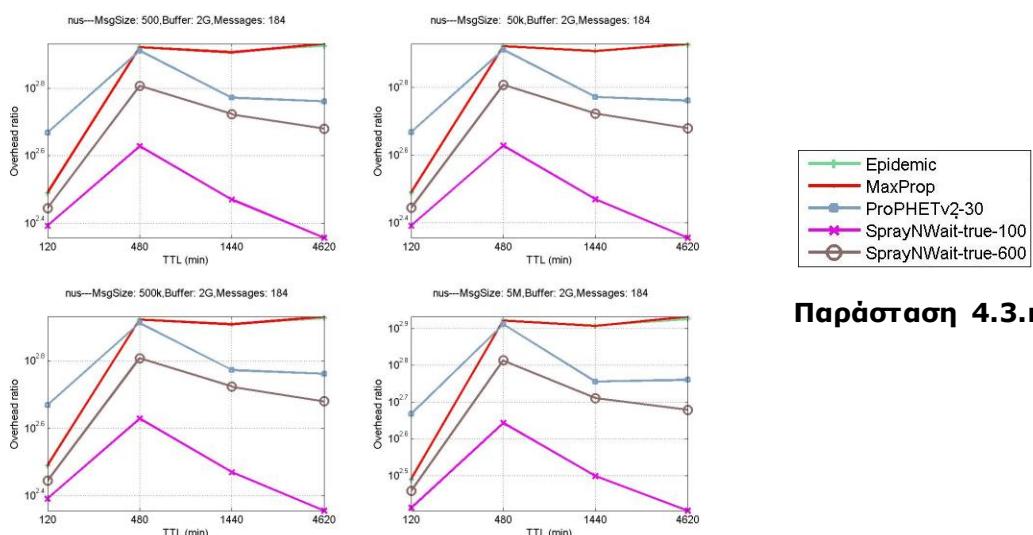
- Το Επιδημικό πρωτόκολλο βελτιώνεται και έχει πλέον ταυτόσημη πιθανότητα παράδοσης με το MaxProp, εκτός για απεριόριστο χρόνο μηνύματος όπου παρουσιάζει μια πτώση.
- Το PRoPHETv2 καλυτερεύει, επίσης, και έχει την ίδια πιθανότητα παράδοσης με το Spray and Wait 600 αντιγράφων. Δεν μειώνεται η επιδόση του στον απεριόριστο χρόνο ζωής, παρόλο που η επιβάρυνση που δημιουργεί στο δίκτυο αυξάνεται ραγδαία.
- Το Spray and Wait 100 αντιγράφων έχει τώρα τη χαμηλότερη πιθανότητα παράδοσης.



### Παράσταση 4.3.κε



### Παράσταση 4.3.κτ

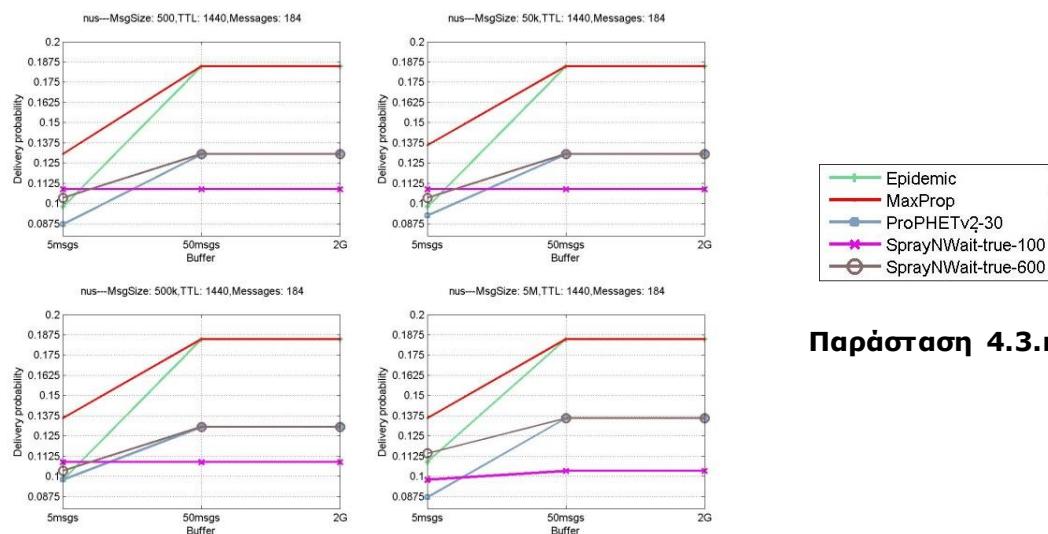


### Παράσταση 4.3.κζ

### Παρατηρήσεις:

- Για απεριόριστη μνήμη Επιδημικό πρωτόκολλο και MaxProp έχουν τα ίδια ακριβώς αποτελέσματα και στην πιθανότητα παράδοσης, αλλά και στην επιβάρυνση που δημιουργούν στο δίκτυο.
- PRoPHETv2 και Spray and Wait έχουν ίδια πιθανότητα παράδοσης, αλλά το πρώτο προκαλεί μεγαλύτερη υπερφόρτωση.

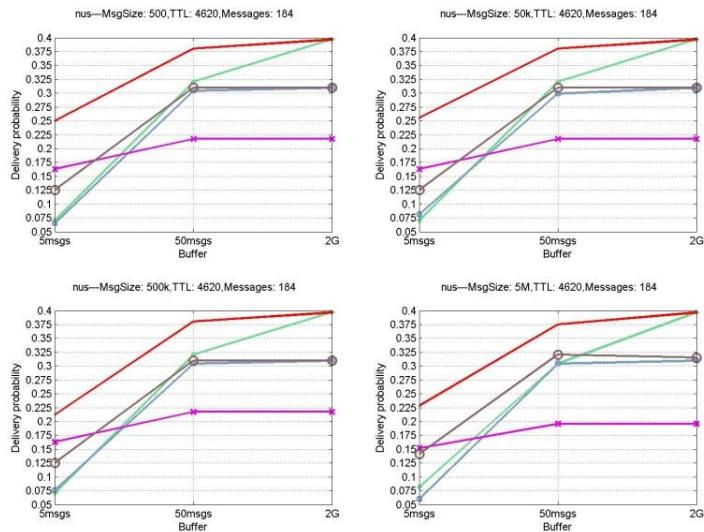
Παρακάτω βλέπουμε την επίδραση της μνήμης στα αποτελέσματα, για χρόνους ζωής 1440 λεπτά και 4620 (απεριόριστος). Για 120 και 480 λεπτά τα αποτελέσματα είναι σταθερά, επομένως δεν επηρεάζονται από το μέγεθος της μνήμης.



### Παράσταση 4.3.κη



### Παράσταση 4.3.κθ



#### 4.4 Περίπτωση 4: Καθημερινή ζωή 1

Χρησιμοποιούμε δεδομένα που συλλέχθηκαν από το πανεπιστήμιο St. Andrews μεταξύ 15 Φεβρουαρίου 2008 και 29 Απριλίου. Έχουμε πληροφορίες από 25 αισθητήρες T-mote που κρατούσαν κυρίως προπτυχιακοί φοιτητές και κάποιοι μεταπτυχιακοί ή μέλη του προσωπικού. Οι συμμετέχοντες έπρεπε να μεταφέρουν και για τις 74 μέρες τις συσκευές στις καθημερινές τους δραστηριότητες. Η εύρεση γειτονικών συσκευών bluetooth γινόταν ανά 6.67 δευτερόλεπτα και η εμβέλεια του σήματος ήταν περίπου στα 10 μέτρα. Έχουμε διαθέσιμες την αρχική και τελική ώρα κάθε οπτικής επαφής. Μηνύματα παράγονται για το 80% του συνολικού χρόνου.

Ειδικές παράμετροι του σεναρίου που εξετάστηκαν:

<b>Πρωτόκολλο</b>	<b>Mode</b>	<b>nrofCopies</b>	<b>secondsInTimeUnit</b>
Epidemic	-	-	-
MaxProp	-	-	-
Spray and Wait	False	5 (20%)	-
Spray and Wait	True	5	-
Spray and Wait	False	15 (60%)	-
Spray and Wait	True	15	-
PRoPHETv2	-	-	30
PRoPHETv2	-	-	7200
PRoPHETv2	-	-	43200
PRoPHETv2	-	-	172800

Πίνακας 4.4.α

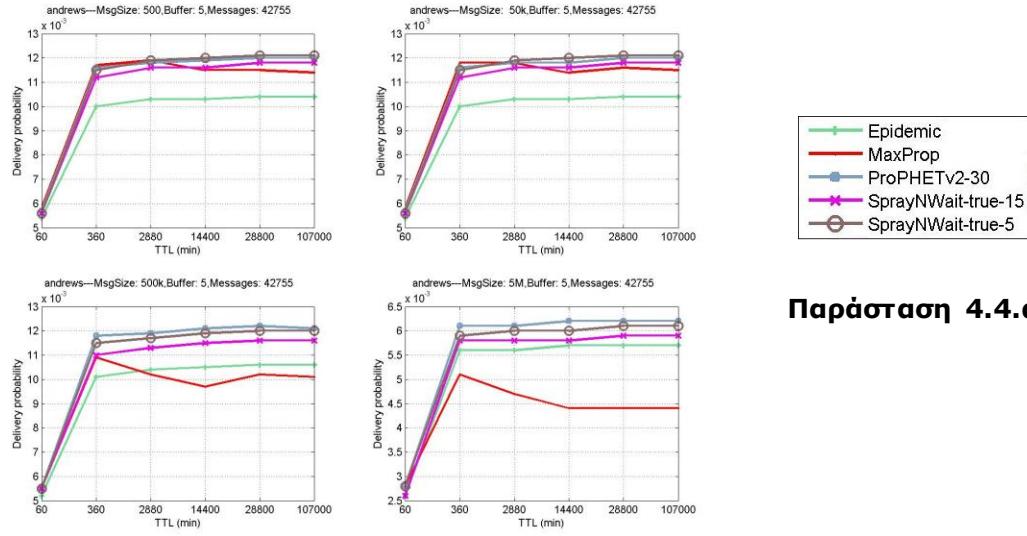
<b>msgTTL (min)</b>
60
360
2880
14400
28800
107000(inf)

Πίνακας 4.4.β

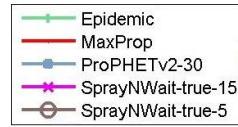
	<b>msgInterval</b>										
	120 (totalMsgs: 42755)				1200 (totalMsgs: 4275)				12000 (totalMsgs: 427)		
<b>msgSize</b>	<b>Buffer</b>										
500b	5	50	500	Inf	5	50	500	Inf	5	50	Inf
50Kb	5	50	500	40000	5	50	500	Inf	5	50	Inf
500Kb	5	50	500	4000	5	50	500	4000	5	50	Inf
5Mb	5	50	-	400	5	50	-	400	5	50	400

Πίνακας 4.4.γ

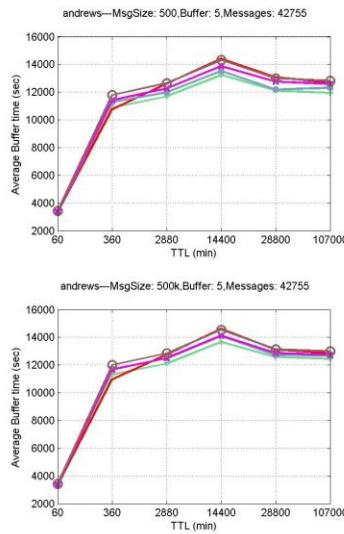
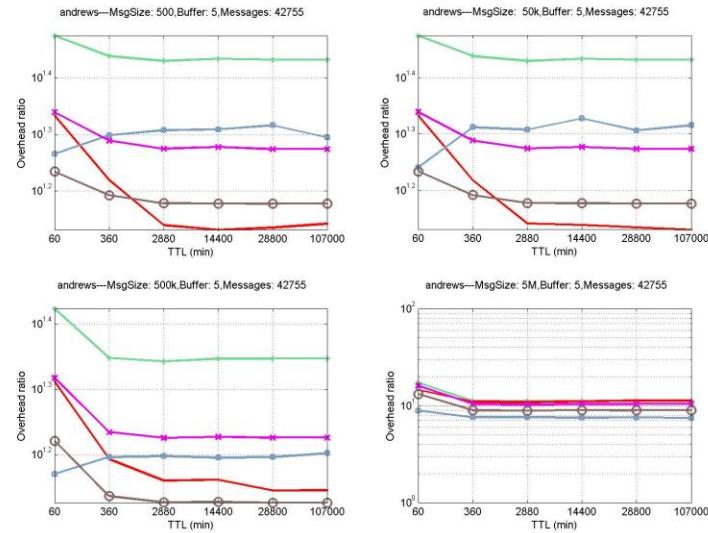
Για 42755 μηνύματα:



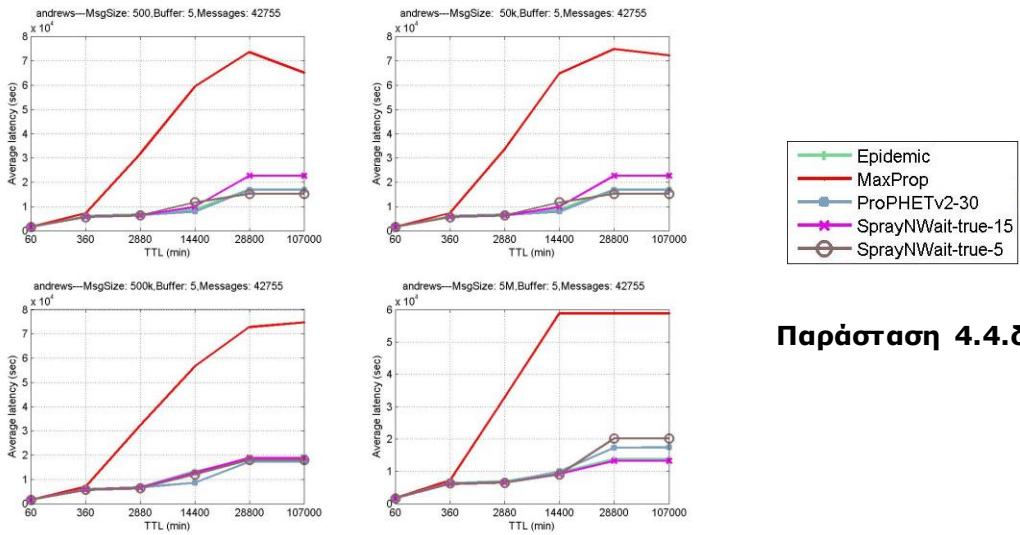
**Παράσταση 4.4.α**



**Παράσταση 4.4.β**



**Παράσταση 4.4.γ**



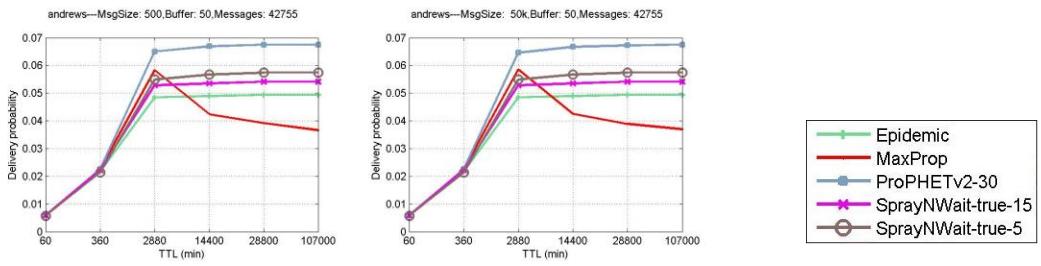
#### Παράσταση 4.4.δ

##### Παρατηρήσεις:

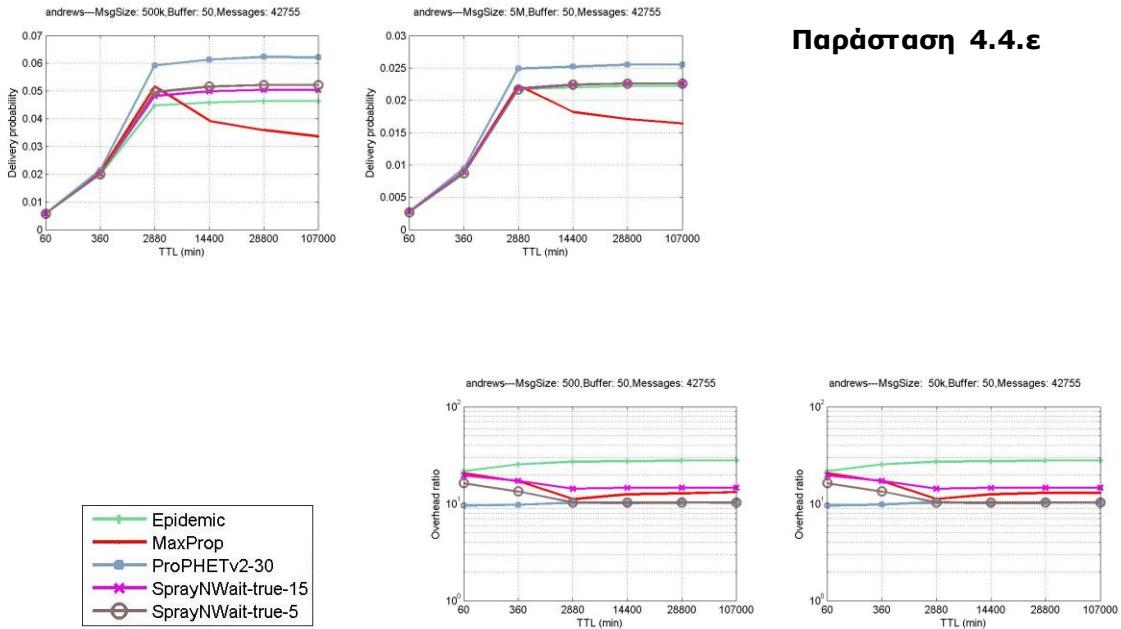
- Όπως ήταν αναμενόμενο, με τόσες χιλιάδες μηνύματα και μνήμη που να χωρεί μόνο πέντε από αυτά, η πιθανότητα παράδοσης είναι πάρα πολύ μικρή. Κυμαίνεται γύρω στο 0.01 για μέγεθη μηνύματος 500 bytes, 50kb και 500kb, ενώ για μέγεθος 5M είναι κοντά στο 0.005.
- Παρόλα αυτά βλέπουμε τα PRoPHETv2 και Spray and Wait πέντε αντιγράφων να έχουν ένα μικρό πλεονέκτημα, με το πρώτο να γίνεται καλύτερο για τα δύο μεγαλύτερα μεγέθη.
- To Spray and Wait πέντε αντιγράφων είναι καλύτερο από αυτό των δεκαπέντε.
- Παρατηρούμε μια πτώση στο MaxProp με την αύξηση του μεγέθους μηνύματος. Έχει, επίσης, πολύ μεγαλύτερη καθυστέρηση σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα πρωτόκολλα.
- Το Επιδημικό πρωτόκολλο έχει τη χειρότερη επίδοση σε σχέση με τα υπόλοιπα, εκτός από το MaxProp στα δύο μεγαλύτερα μεγέθη μηνύματος.
- Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως, για όλα τα πρωτόκολλα, ο μεγαλύτερος μέσος χρόνος παραμονής στη μνήμη είναι όταν ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων είναι 14400 λεπτά, δηλαδή 10 μέρες (από τις 74).

Και οι υπόλοιπες εκδοχές των πρωτοκόλλων PRoPHETv2 και Spray and Wait έχουν παρόμοια αποτελέσματα.

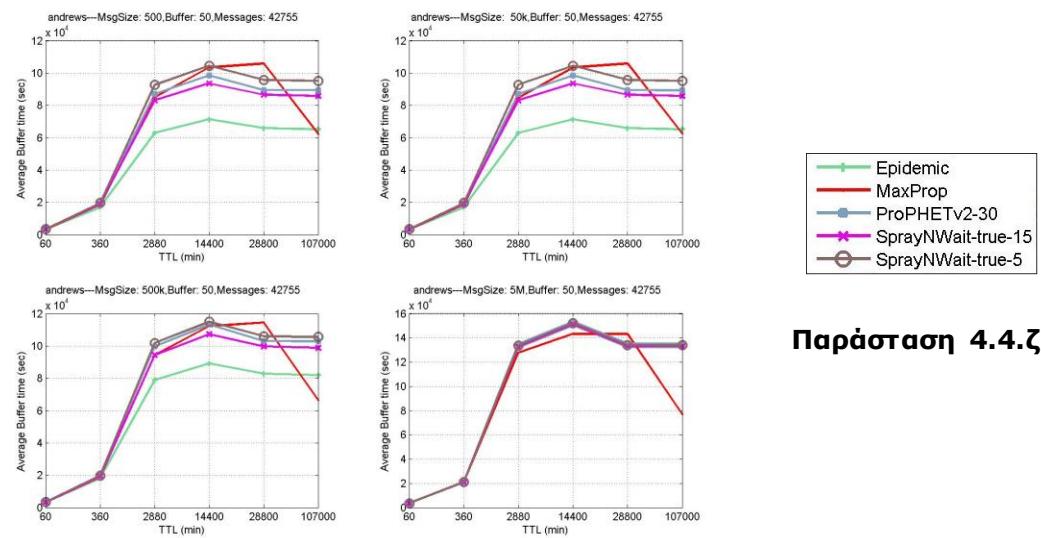
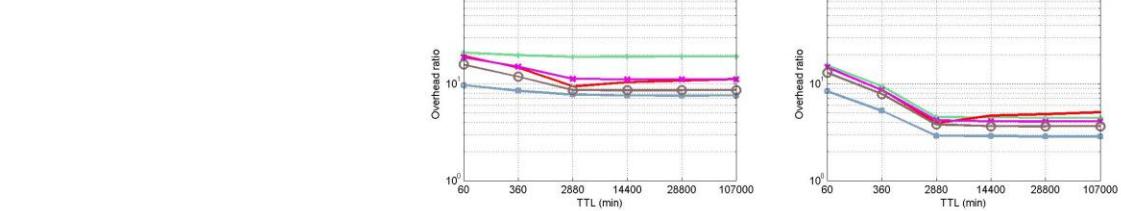
Στις γραφικές παραστάσεις 4.4.ε – η, που ακολουθούν, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για μέγεθος μνήμη ίσο με πενήντα μηνύματα.



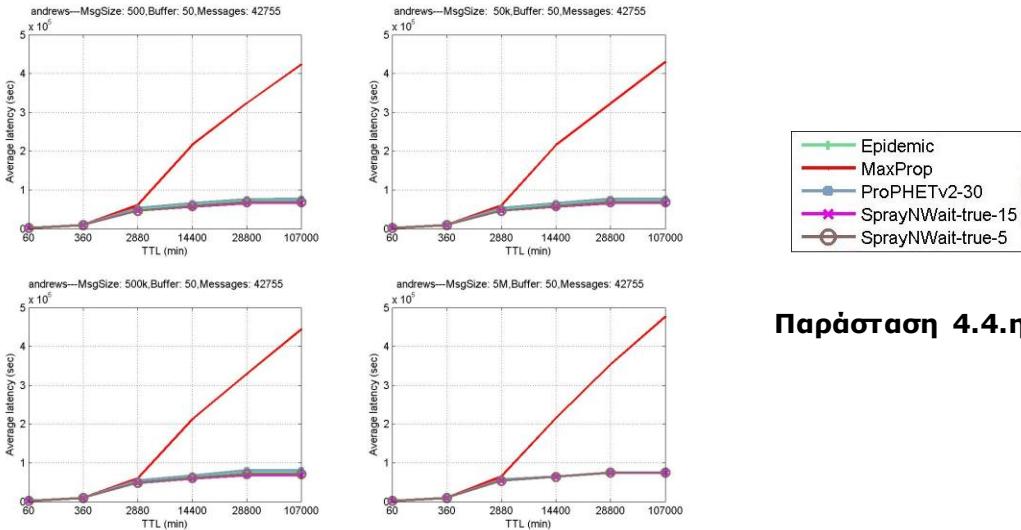
## Παράσταση 4.4.ε



## Παράσταση 4.4.στ



## Παράσταση 4.4.ζ

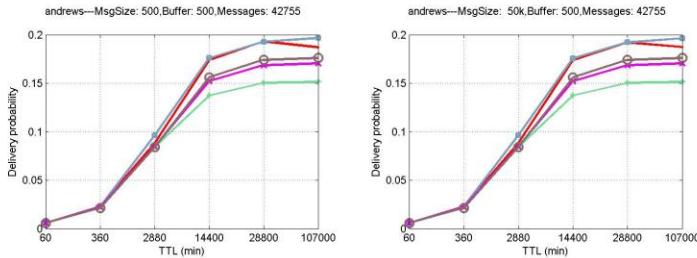


#### Παράσταση 4.4.η

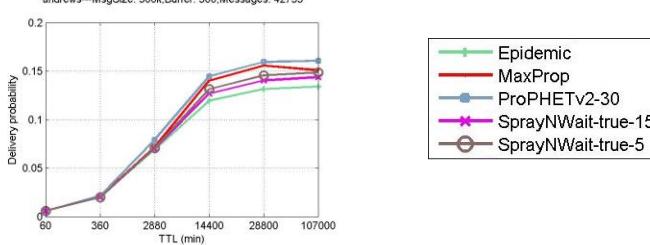
##### Παρατηρήσεις:

- Η πιθανότητα παράδοσης, συγκριτικά με το μέγεθος μνήμης πέντε μηνυμάτων, έχει αυξηθεί, αν και παραμένει σε πολύ χαμηλά επίπεδα.
- Το πρωτόκολλο PRoPHETv2 έχει την καλύτερη επίδοση με το Spray and Wait να ακολουθεί. Πρώτα αυτό των πέντε αντιγράφων και μετά αυτό των δεκαπέντε.
- Η διαφορά μεταξύ των δύο Spray and Wait μειώνεται όσο αυξάνεται το μέγεθος μηνύματος.
- Το MaxProp έχει ανοδική πορεία μέχρι χρόνο ζωής μηνύματος ίσο με 2880 λεπτά και μετά παρουσιάζει πτώση στην πιθανότητα παράδοσής του καθώς και τεράστια καθυστέρηση. Μεγάλη μείωση στο μέσο χρόνο παραμονής των μηνυμάτων στη μνήμη έχει στην περίπτωση του απεριόριστου χρόνου ζωής.
- Σε όλα τα υπόλοιπα πρωτόκολλα, εκτός του MaxProp, ο μέγιστος μέσος χρόνος ζωής των μηνυμάτων στη μνήμη είναι και πάλι όταν  $TTL = 14400$  λεπτά.
- Το Επιδημικό πρωτόκολλο έχει μικρότερη πιθανότητα παράδοσης από τα PRoPHETv2 και Spray and Wait, προκαλεί τη μεγαλύτερη επιβάρυνση στο δίκτυο και έχει το λιγότερο μέσο χρόνο παραμονής των μηνυμάτων στη μνήμη.

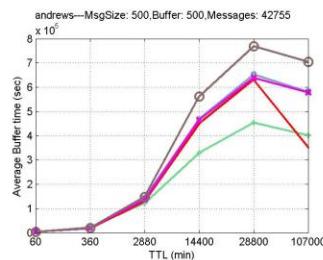
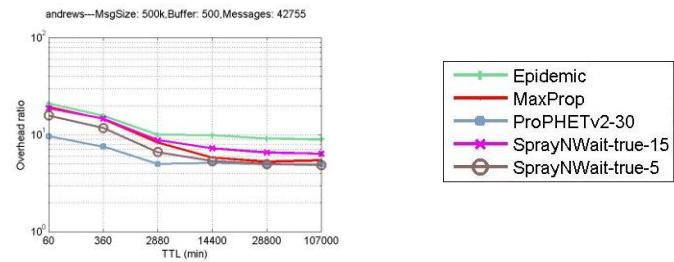
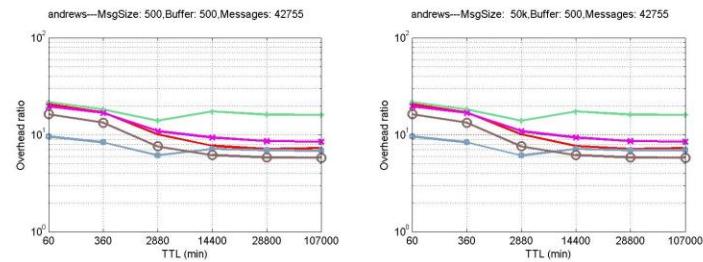
Στη συνέχεια παρουσιάζομε τα αποτελέσματα για μνήμη 500 μηνυμάτων.



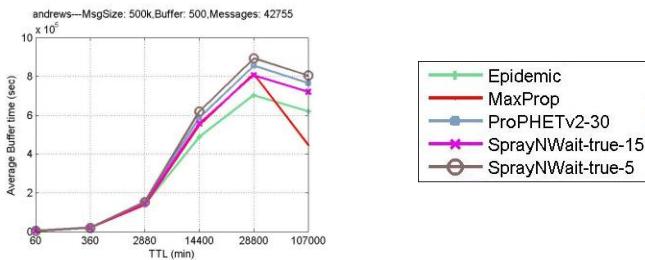
**Παράσταση 4.4.θ**

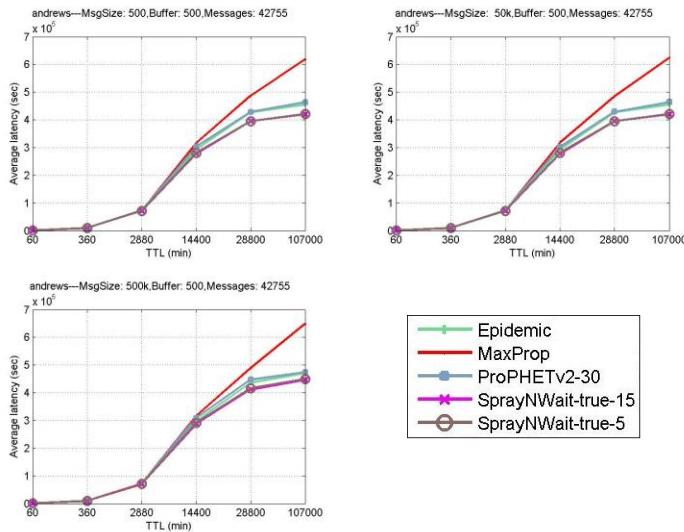


**Παράσταση 4.4.ι**



**Παράσταση 4.4.ια**

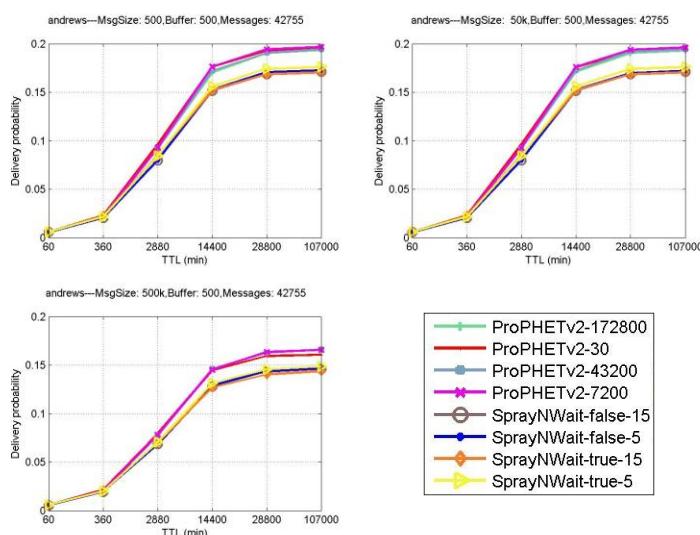




**Παράσταση 4.4.ιβ**

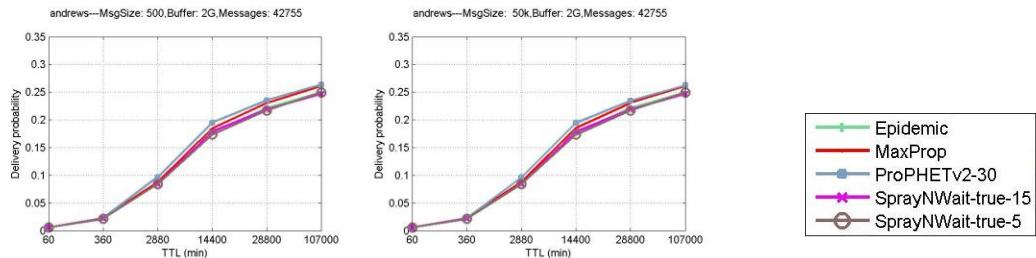
#### Παρατηρήσεις:

- Το MaxProp έχει βελτιωθεί αισθητά και ανταγωνίζεται το PRoPHETv2. Έχει μια μικρή πτώση, όταν ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων είναι απεριόριστος.
- Ακολουθεί το Spray and Wait, όπου εξακολουθεί να είναι ελαφρώς καλύτερη η εκδοχή με τα πέντε αντίγραφα από αυτή των δεκαπέντε.
- Τη χαμηλότερη πιθανότητα παράδοσης έχει το Επιδημικό πρωτόκολλο.
- Τώρα που η μνήμη έχει αυξηθεί, η αύξηση του χρόνου ζωής επηρεάζει κατά βάση θετικά τα αποτελέσματα.

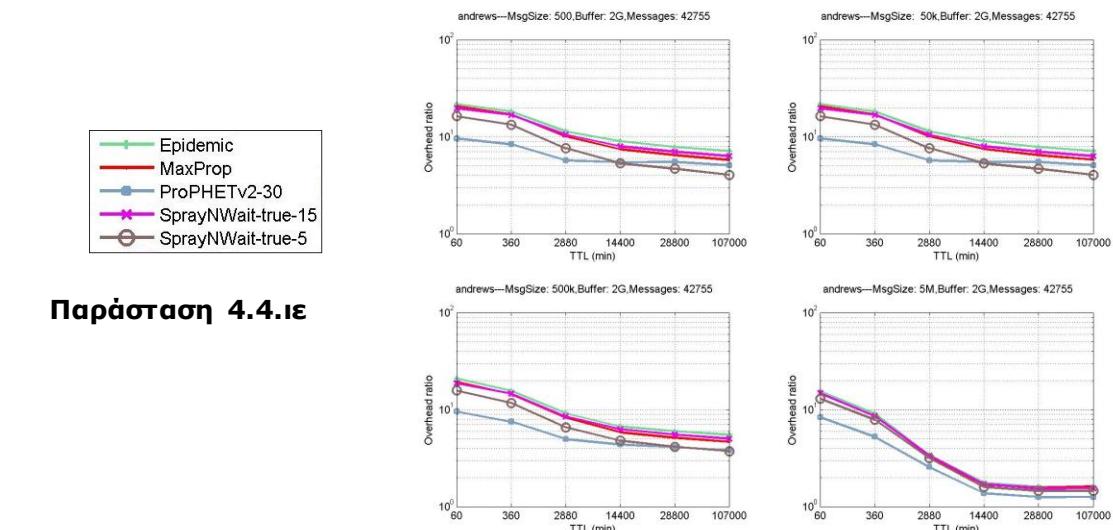


**Παράσταση 4.4.ιγ**

Ακολουθούν τα αποτελέσματα για μνήμη 2G. Υπενθυμίζεται ότι αυτή είναι απεριόριστη μόνο για μέγεθος μηνύματος 500 bytes. Για τα μεγέθη 50kb, 500kb και 5M είναι ικανή να κρατήσει 40000, 4000 και 400 μηνύματα αντίστοιχα.



**Παράσταση 4.4.ιδ**

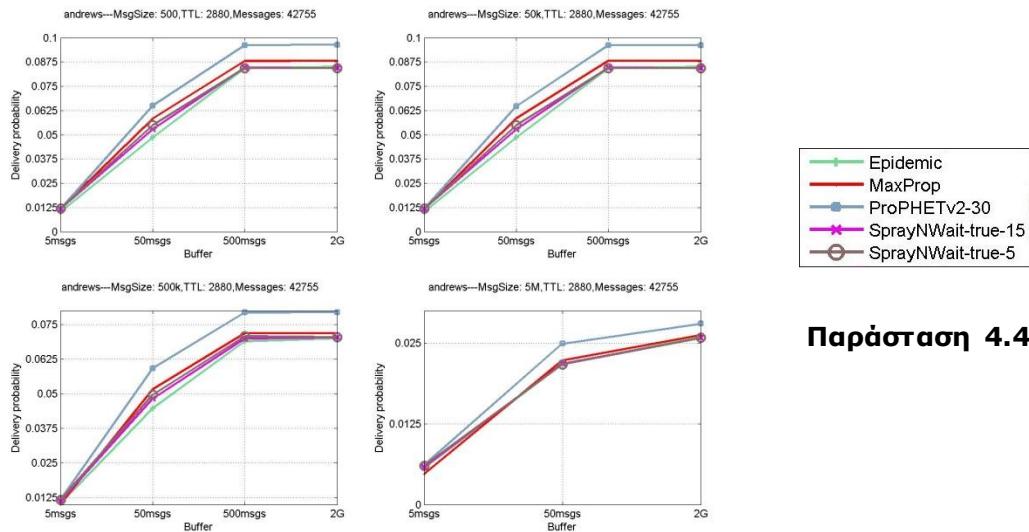


**Παράσταση 4.4.ιε**

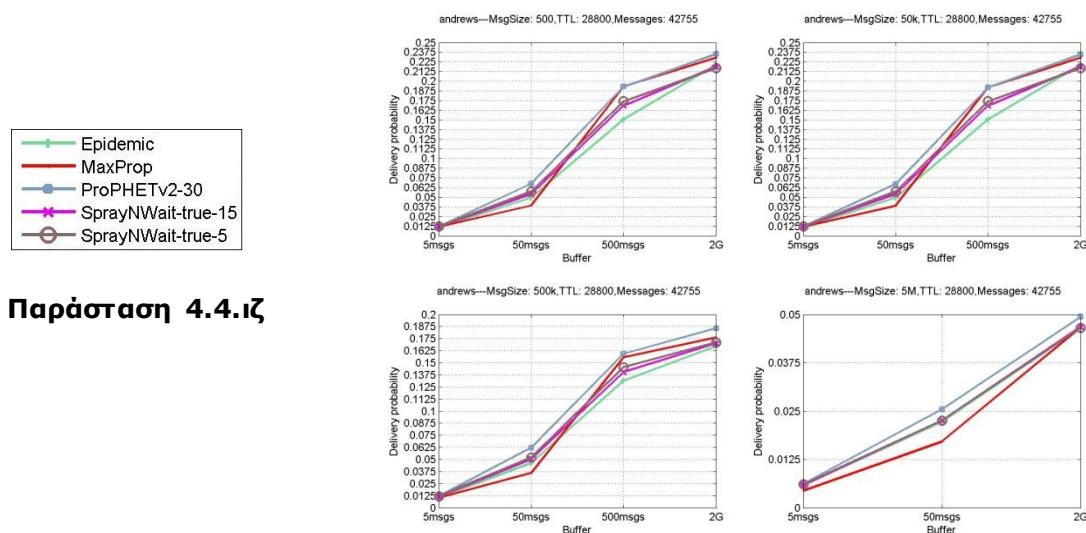
### Παρατηρήσεις:

- Υπάρχει μια μικρή βελτίωση στις πιθανότητες παράδοσης, αλλά τα νούμερα εξακολουθούν να είναι χαμηλά.
- Τα αποτελέσματα όλων των πρωτοκόλλων είναι πάρα πολύ κοντά.
- Το PRoPHETv2 ξεχωρίζει ελάχιστα, προκαλώντας και τη μικρότερη επιβάρυνση στο δίκτυο στις πλειστες περιπτώσεις.

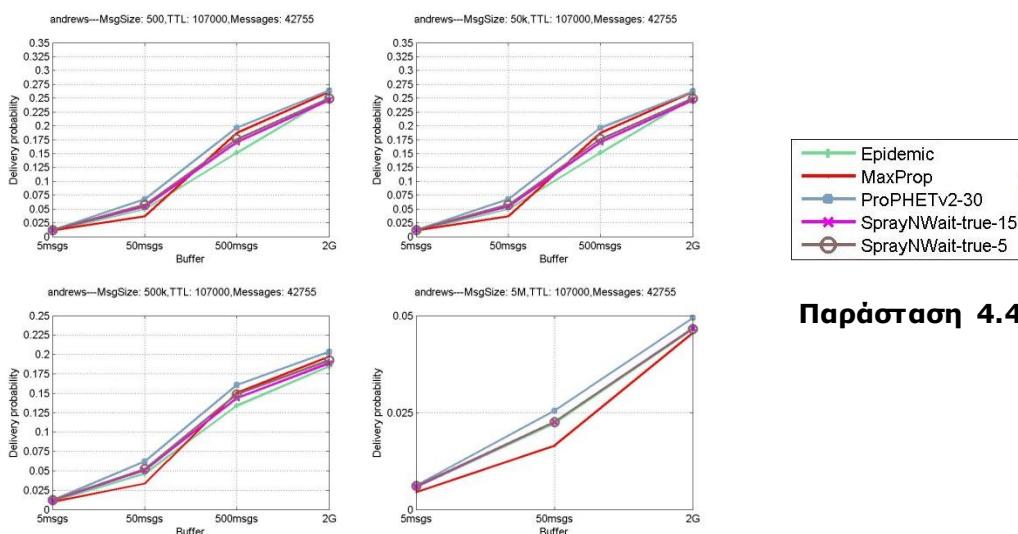
Παρακάτω θα δούμε καλύτερα πώς έχει επηρεάσει η αύξηση της μνήμης την πιθανότητα παράδοσης. Δείχνουμε τα αποτελέσματα για χρόνους ζωής 2880 λεπτά, 28800 και απεριόριστο. Οι μικρότεροι χρόνοι ζωής δεν δίνουν την ευκαιρία στη μνήμη να διαδραματίσει καίριο ρόλο στα αποτελέσματα, ενώ για TTL = 14400, η μορφή είναι παρόμοια με της παράστασης για TTL = 28800.



**Παράσταση 4.4.ιστ**



**Παράσταση 4.4.ιζ**



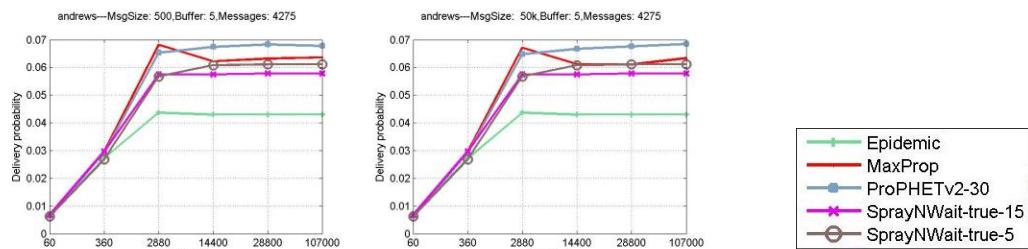
**Παράσταση 4.4.ιη**

### Παρατηρήσεις:

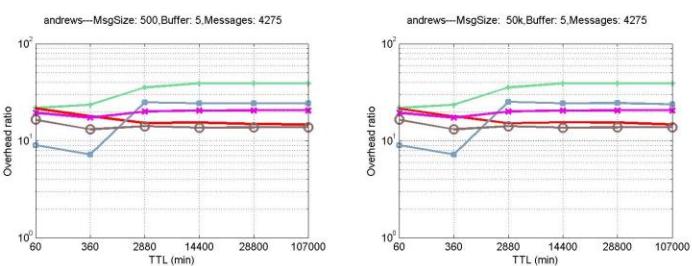
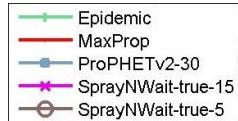
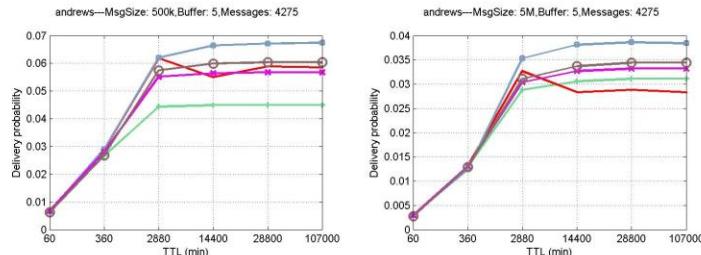
- Αξίζει να σημειώσουμε την πτώση της πιθανότητας παράδοσης, που παρατηρείται με την αύξηση του μεγέθους μηνύματος στα 500kb και 5M, για όλους τους χρόνους ζωής που χρησιμοποιήθηκαν. Αυτό οφείλεται στους χρόνους επαφής των κόμβων (το βλέπουμε συγκρίνοντας τα αποτελέσματα για τα μεγέθη μνήμης που μετρούνται σε μηνύματα). Στην περίπτωση της μνήμης 2G, ρόλο παίζει και ο αριθμός των μηνυμάτων που μπορούν να αποθηκευτούν σε κάθε περίπτωση.

### Για 4275 μηνύματα:

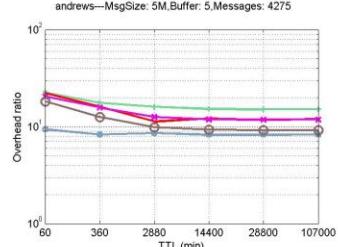
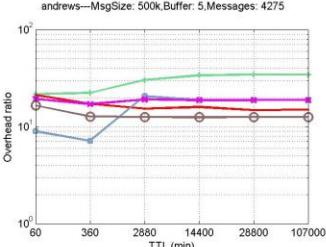
Παράγεται ένα μήνυμα κάθε 20 λεπτά. Παρακάτω βλέπουμε τα αποτελέσματα για μνήμη χωρητικότητας πέντε μηνυμάτων.

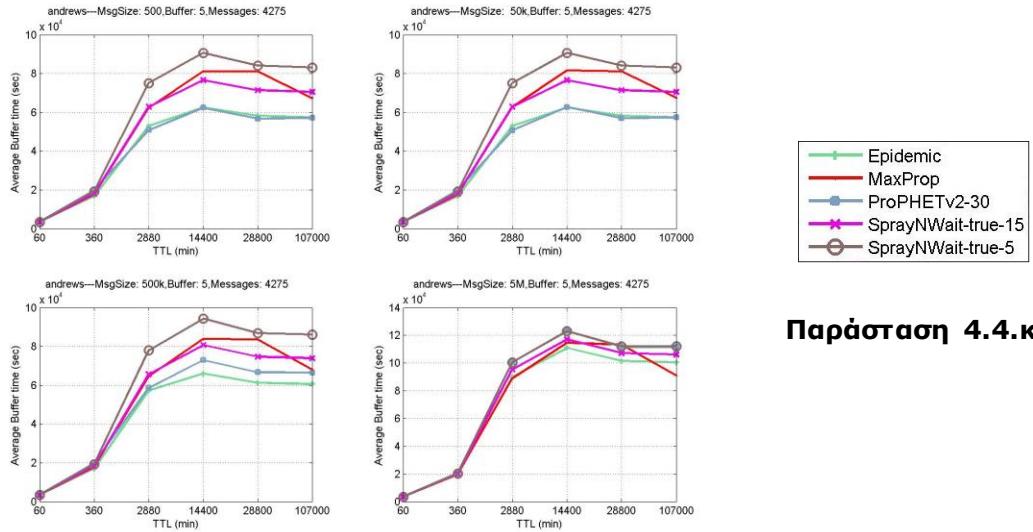


**Παράσταση 4.4.1θ**

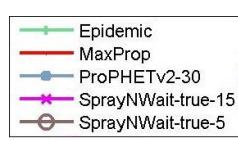


**Παράσταση 4.4.κ**

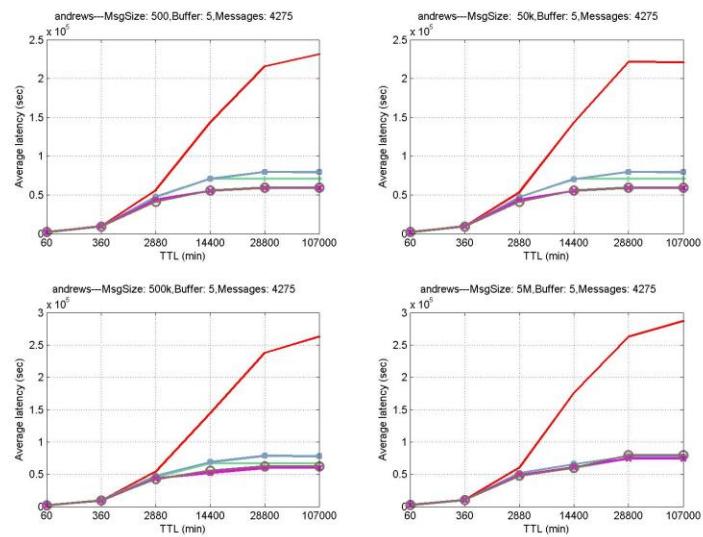




#### Παράσταση 4.4.κα



#### Παράσταση 4.4.κβ



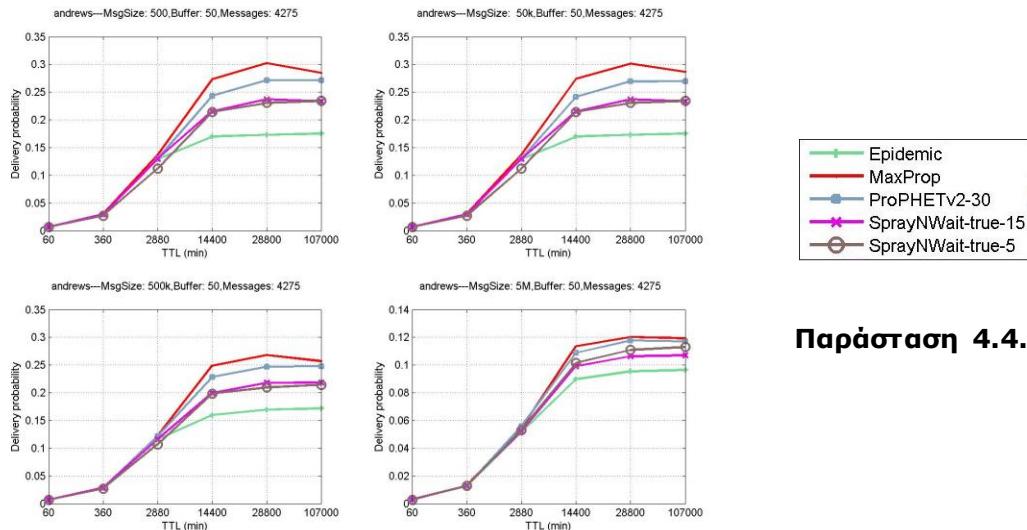
#### Παρατηρήσεις:

- Και σε αυτή την περίπτωση η πιθανότητα παράδοσης των μηνυμάτων είναι αρκετά μικρή. Βλέποντας τα πολύ χαμηλά ποσοστά της υπερφόρτωσης, μπορούμε να καταλάβουμε ότι πρόκειται για ένα πολύ αραιό δίκτυο, που εξηγεί το γεγονός των χαμηλών πιθανοτήτων. Στην προκειμένη περίπτωση, βέβαια, συμβάλλει και η μικρή χωρητικότητα μνήμης.
- Σημειώνουμε ότι όλα τα πρωτόκολλα έχουν παρόμοιες πιθανότητες. Παρόλο που οι διαφορές είναι ελάχιστες, βλέπουμε ότι το PRoPHETv2 έχει ενα μικρό προβάδισμα.
- Το MaxProp έχει πτώση στην πιθανότητα παράδοσης του για χρόνους ζωής μηνύματος μεγαλύτερους από 2880 λεπτά. Παρουσιάζει, επίσης, ιδιαίτερα μεγάλη καθυστέρηση σε σχέση με τα υπόλοιπα, που αυξάνεται όσο αυξάνεται ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων.

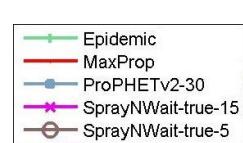
- Τα δύο Spray and Wait έχουν παραπλήσια αποτελέσματα, ενώ το Επιδημικό πρωτόκολλο έχει τη μικρότερη πιθανότητα παράδοσης για τα τρία πρώτα μεγέθη μηνύματος.
- Για μεγέθος μηνύματος 5M, οι πιθανότητες παράδοσης μειώνονται και οι διαφορές γίνονται ακόμα μικρότερες.

Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρούνται και για τις υπόλοιπες εκδοχές των πρωτοκόλλων Spray and Wait και PRoPHETv2.

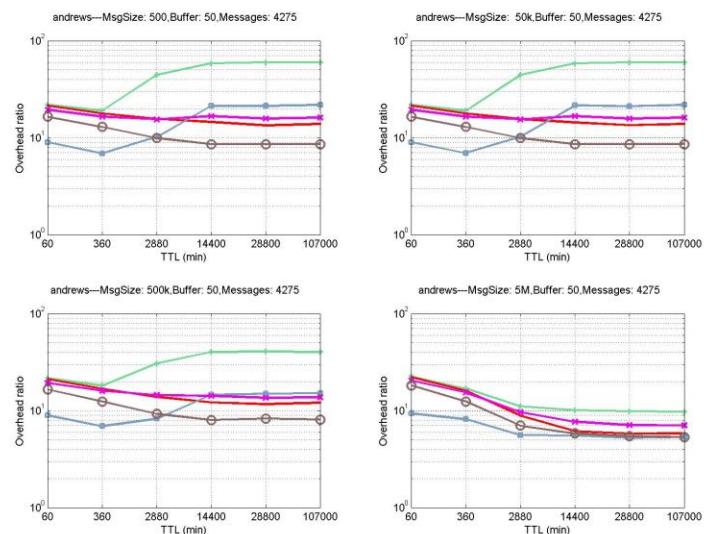
Στις παραστάσεις 4.4.κγ – στ δίνονται τα αποτελέσματα για μεγέθος μνήμης ίσο με 50 μηνύματα.

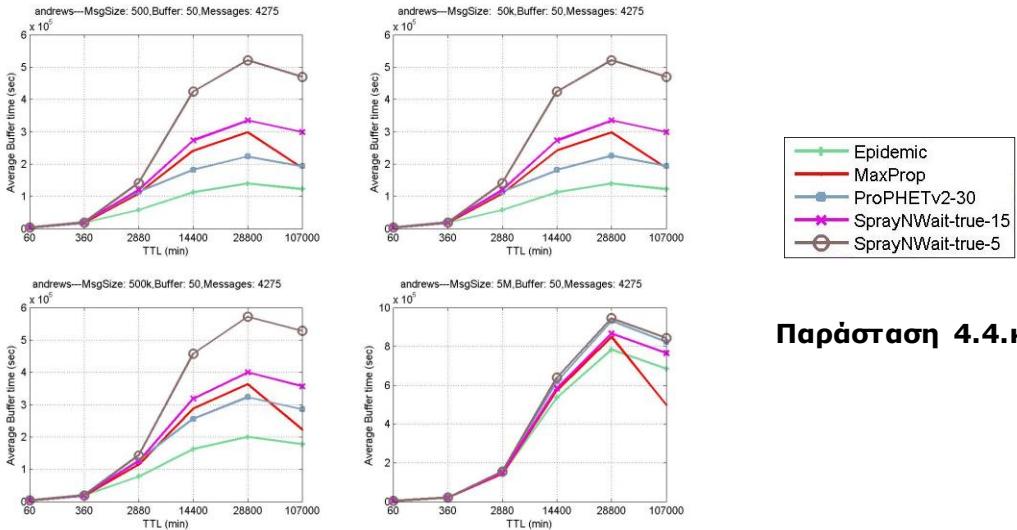


#### Παράσταση 4.4.κγ

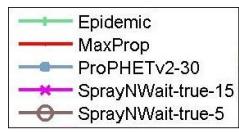


#### Παράσταση 4.4.κδ

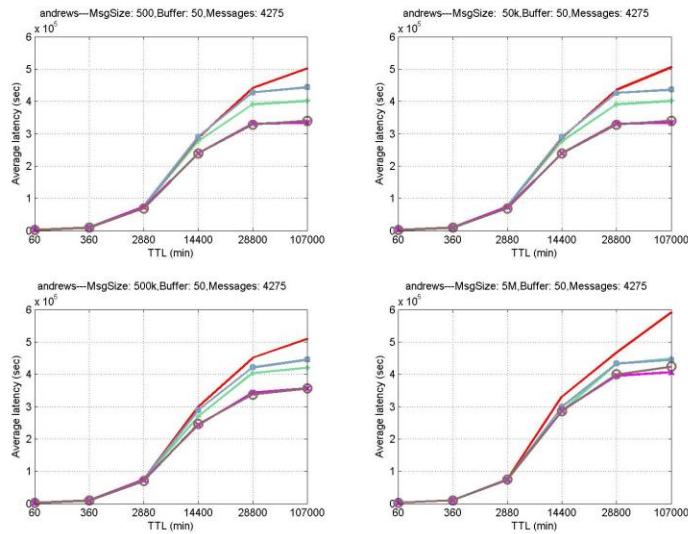




#### Παράσταση 4.4.κε



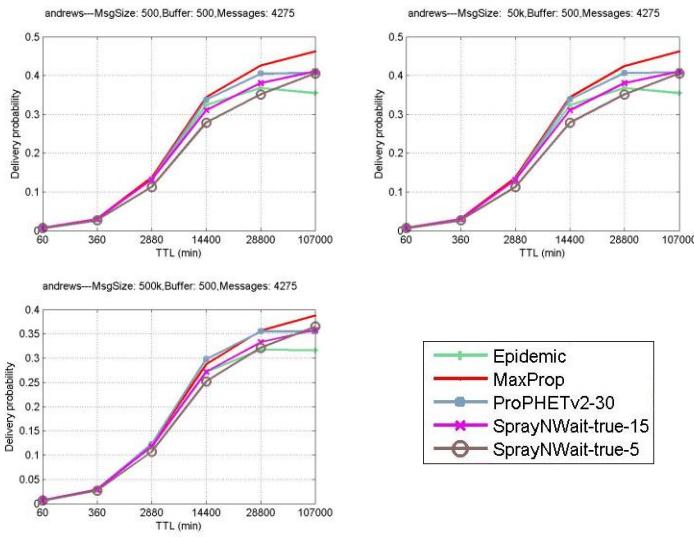
#### Παράσταση 4.4.κοτ



#### Παρατηρήσεις:

- Το MaxProp έχει την καλύτερη πιθανότητα παράδοσης. Ακολουθεί το PRoPHETv2, τα Spray and Wait, που έχουν σχεδόν ίδια πιθανότητα, και τέλος το Επιδημιικό πρωτόκολλο.
- Το MaxProp έχει μια πτώση στην πιθανότητα παράδοσής του όταν ο χρόνος ζωής μηνύματος γίνεται απεριόριστος. Σε αυτό το σημείο είναι μειωμένος και ο μέσος χρόνος παραμονής των μηνυμάτων στη μνήμη.
- Όσο αυξάνεται το μέγεθος μηνύματος, μειώνεται η πιθανότητα παράδοσης, απόρροια του χρόνου επαφής των κόμβων.

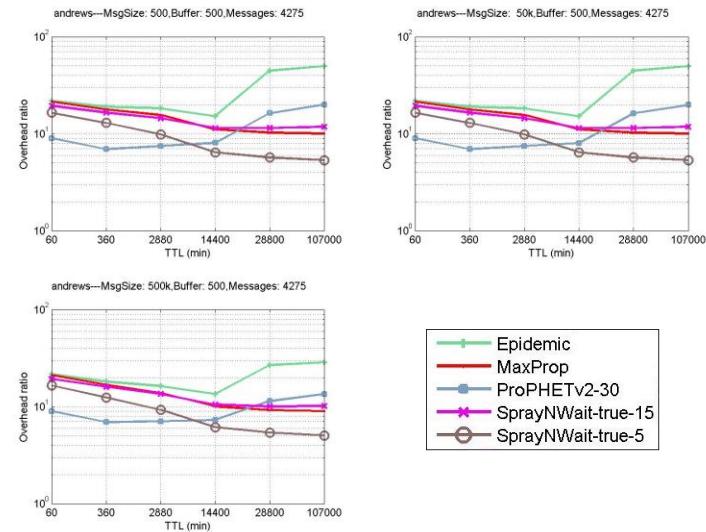
Ακολουθούν τα αποτελέσματα για μνήμη 500 μηνυμάτων.



**Παράσταση 4.4.κζ**

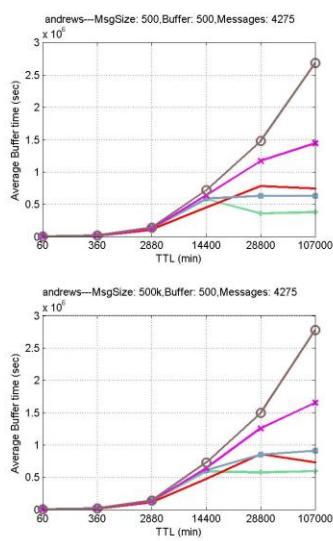
—●— Epidemic  
—×— MaxProp  
—□— ProPHETv2-30  
—\*— SprayNWait-true-15  
—○— SprayNWait-true-5

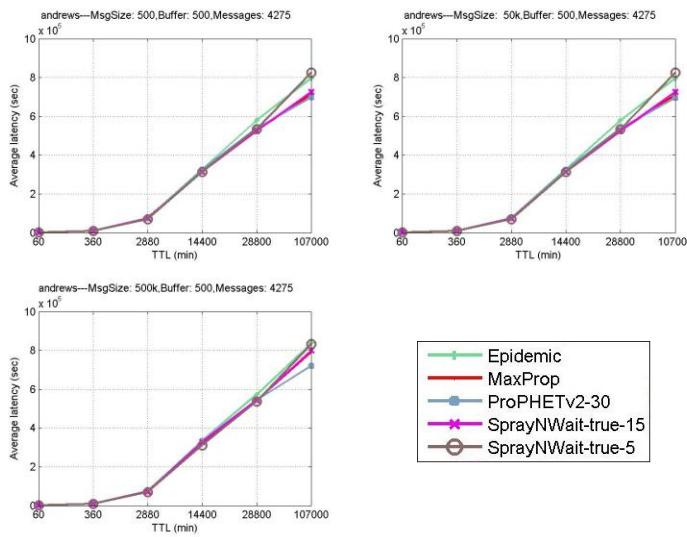
**Παράσταση 4.4.κη**



**Παράσταση 4.4.κθ**

—●— Epidemic  
—×— MaxProp  
—□— ProPHETv2-30  
—\*— SprayNWait-true-15  
—○— SprayNWait-true-5





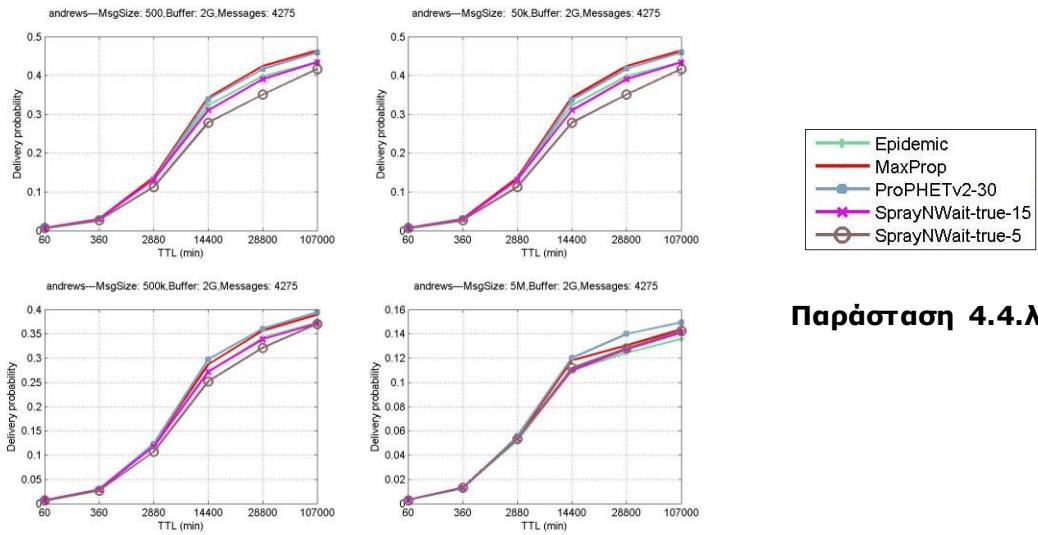
#### Παράσταση 4.4.λ

##### Παρατηρήσεις:

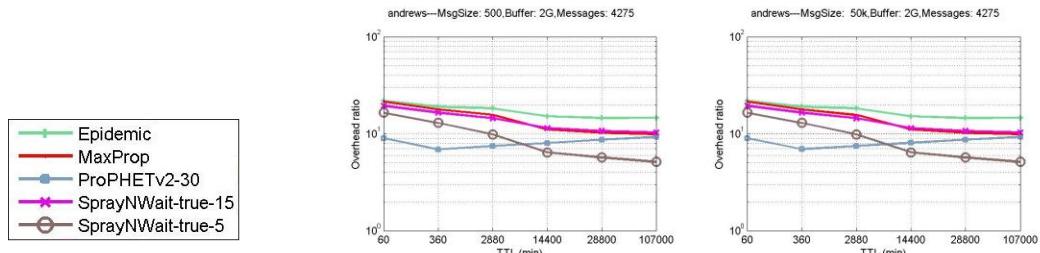
- Οι πιθανότητες παράδοσης όλων των πρωτοκόλλων εξακολουθούν να είναι κοντά και για μέγεθος μνήμης 500 μηνυμάτων. Το ίδιο και οι καθυστέρησεις.
- 'Όταν ο χρόνος ζωής μηνύματος είναι απεριόριστος, το MaxProp έχει ένα μικρό προβάδισμα έναντι των Spray and Wait και PRoPHETv2 που έχουν την ίδια πιθανότητα παράδοσης.
- Το Spray and Wait δεκαπέντε αντιγράφων είναι ελαφρώς καλύτερο από των πέντε αντιγράφων για την περίπτωση αυτή.
- Το Επιδημικό πρωτόκολλο έχει βελτιωθεί σημαντικά με την αύξηση της μνήμης.
- Η επιβάρυνση στο δίκτυο είναι σχετικά χαμηλή για όλα τα πρωτόκολλα, αν και το Επιδημικό προκαλεί την περισσότερη για τα δύο μεγαλύτερα TTL.

Στα υπόλοιπα πρωτόκολλα αυτό που παρατηρούμε είναι ότι τα δυαδικά Spray and Wait είναι ελαφρώς καλύτερα από τα μη-δυαδικά. Κατά τα άλλα δεν παρουσιάζουν κάποιο ενδιαφέρον, για αυτό και παραλείπονται.

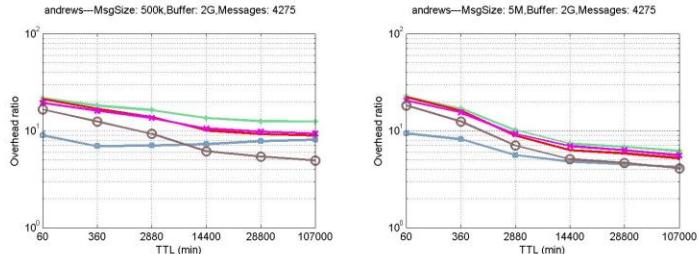
Ακολουθούν τα αποτελέσματα για μέγεθος μνήμης 2G, που είναι απεριόριστο για τα δύο μικρότερα μεγέθη, ενώ είναι ικανό να κρατήσει 4000 και 400 μηνύματα για μέγεθος 500kb και 5M αντίστοιχα.



#### Παράσταση 4.4.λα

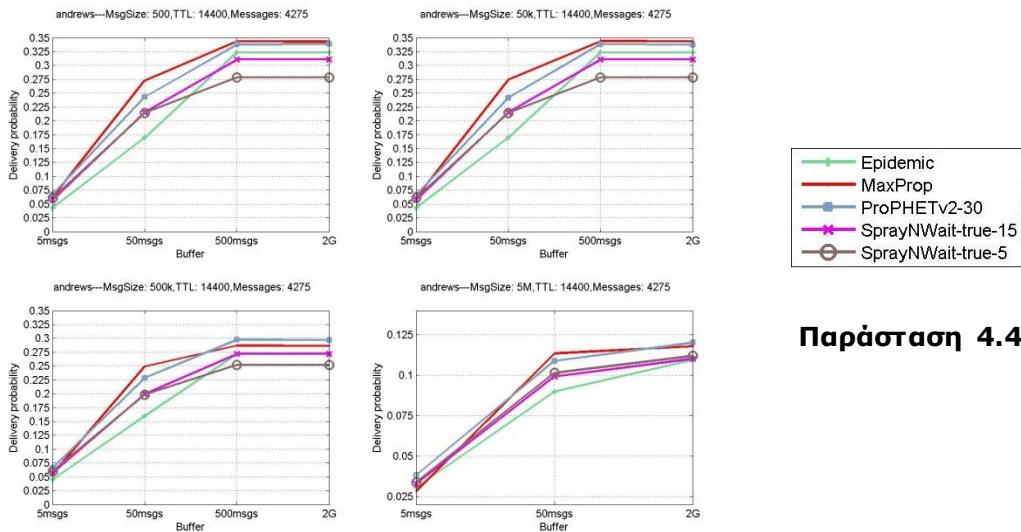


#### Παράσταση 4.4.λβ

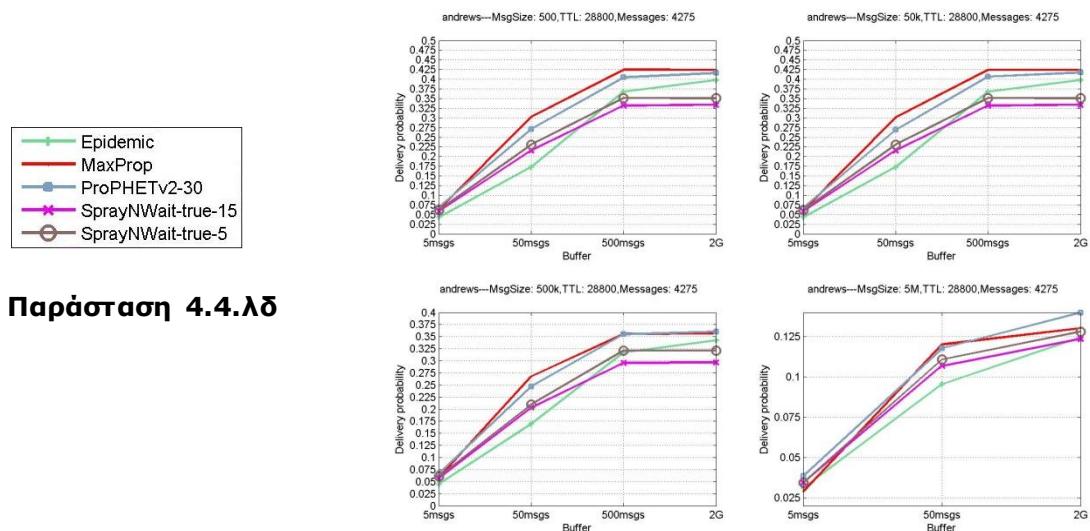


#### Παρατηρήσεις:

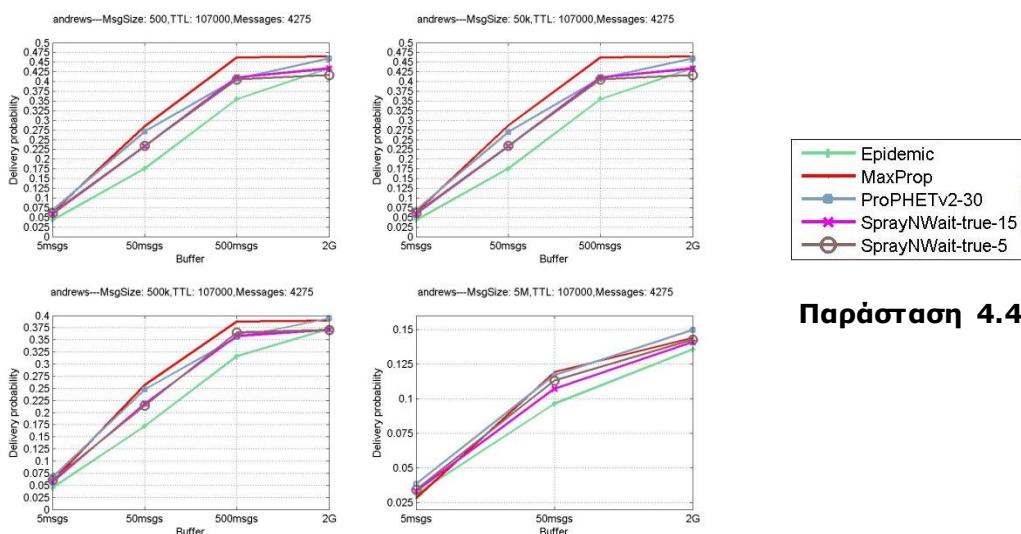
- Με την αύξηση της μνήμης τα αποτελέσματα συγκλίνουν όλο και περισσότερο. Πιο πολύ όσο αυξάνεται το μέγεθος μηνύματος και είναι ιδιαίτερα εμφανές στα 5M.
- PRoPHETv2 και MaxProp έχουν σχεδόν ίδιες πιθανότητες, με το πρώτο να προκαλεί μικρότερη επιβάρυνση. Η διαφορά, βέβαια, μειώνεται με την αύξηση του χρόνου ζωής των μηνυμάτων. Το PRoPHETv2 προηγείται ελάχιστα για μέγεθος μηνύματος 5M και μεγάλο χρόνο ζωής.
- Με πολύ μικρή διαφορά ακολουθούν τα Επιδημικό και Spray and Wait δεκαπέντε αντιγράφων. Το Spray and Wait πέντε αντιπύπων έχει τη μικρότερη πιθανότητα παράδοσης στις πλείστες περιπτώσεις.



**Παράσταση 4.4.λγ**



**Παράσταση 4.4.λδ**

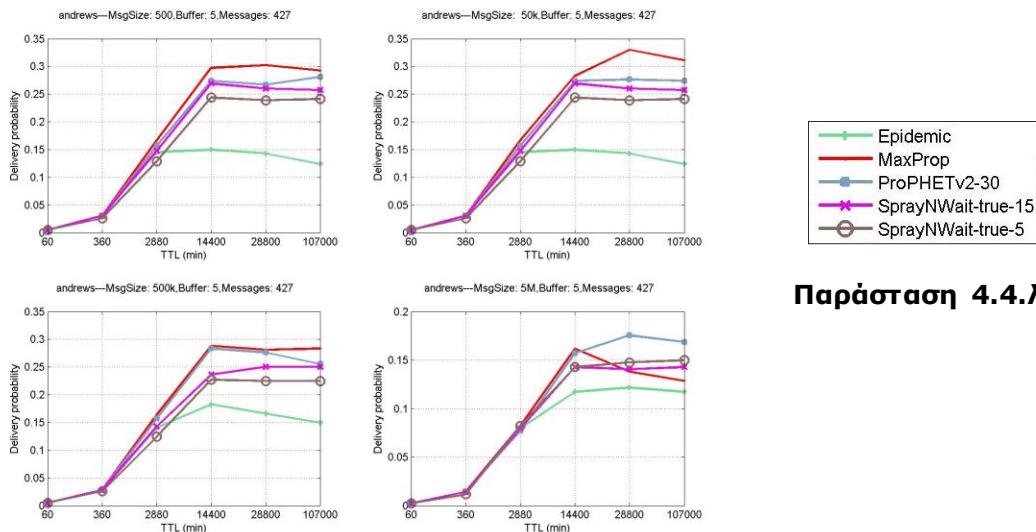


**Παράσταση 4.4.λε**

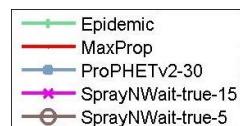
Στις τρεις πιο πάνω γραφικές παραστάσεις γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων για τα διαφορετικά μεγέθη μνήμης που χρησιμοποιήθηκαν, για τους τρεις μεγαλύτερους χρόνους ζωής μηνύματος.

### Για 427 μηνύματα:

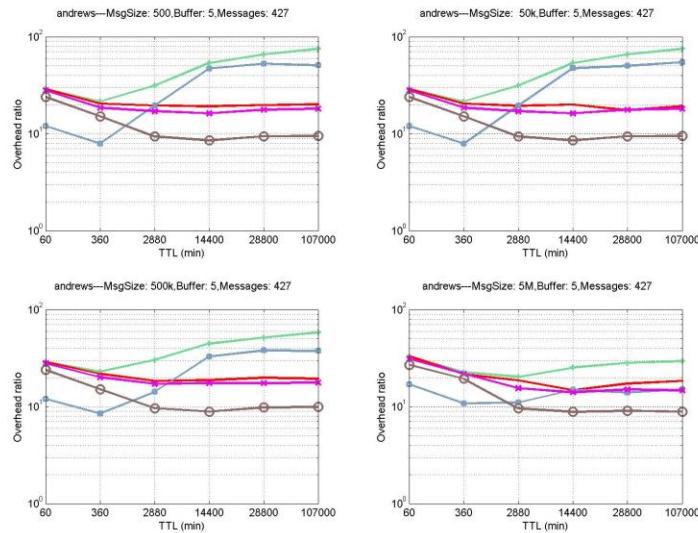
Στις γραφικές παραστάσεις 4.4.λστ – θ βλέπουμε την πιθανότητα παράδοσης για μέγεθος μνήμης ίσο με πέντε μηνύματα, την επιβάρυνση που προκαλούν τα πρωτόκολλα, το μέσο χρόνο παραμονής των μηνυμάτων στη μνήμη και τη μέση καθυστέρηση παράδοσης για αυτή τη χωρητικότητα.

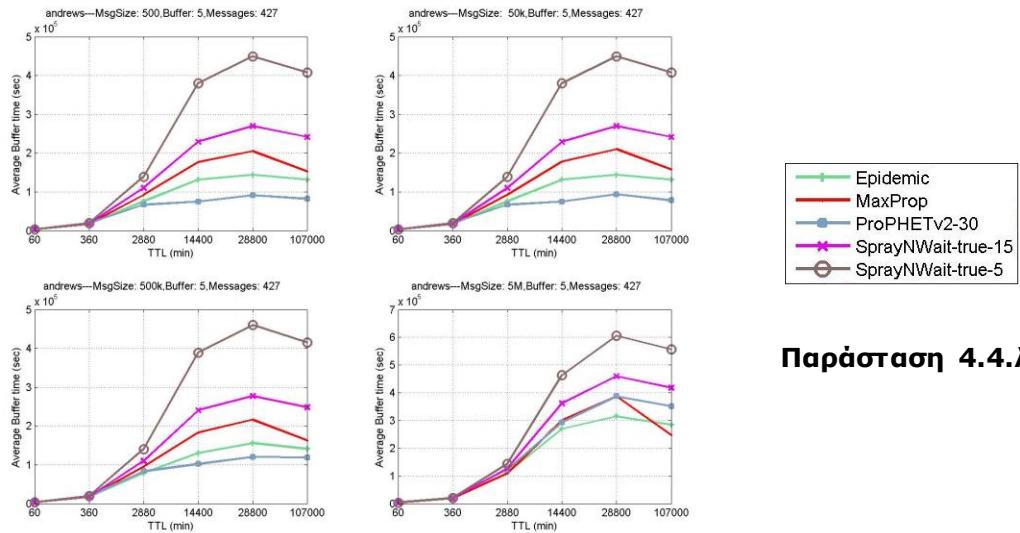


### **Παράσταση 4.4.λστ**

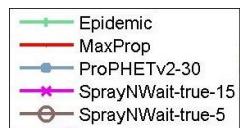


### **Παράσταση 4.4.λζ**

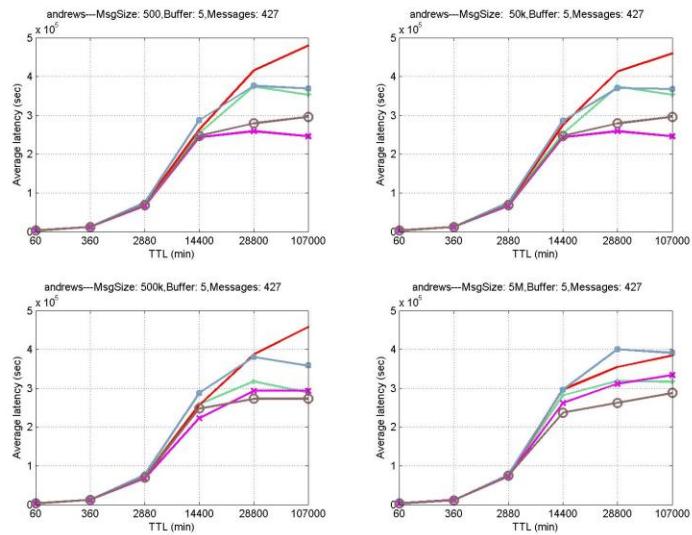




#### Παράσταση 4.4.λη



#### Παράσταση 4.4.λθ



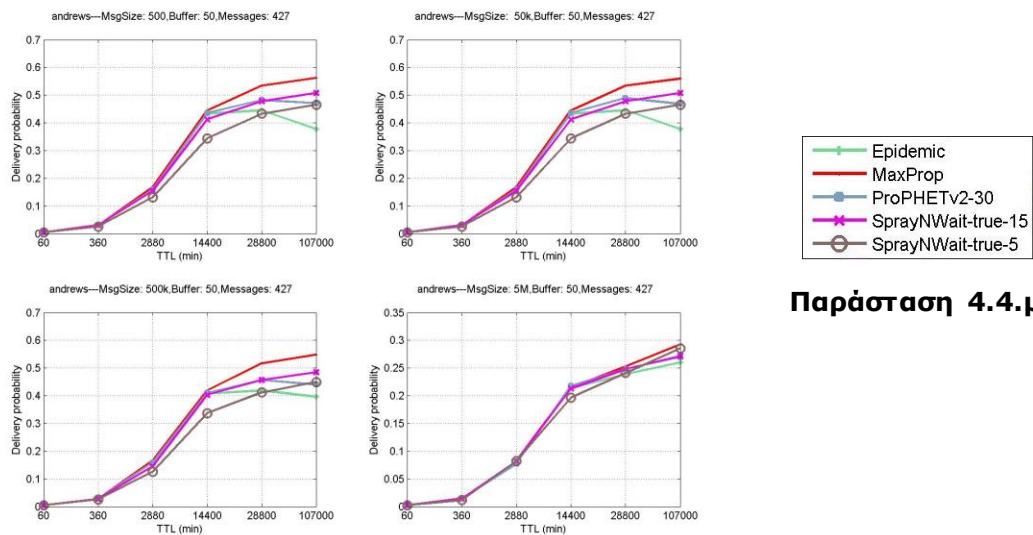
#### Παρατηρήσεις:

- Όπως είπαμε και προηγουμένως πρόκειται για ένα πολύ αραιό δίκτυο, γι' αυτό και οι πιθανότητες παράδοσης ενός μηνύματος είναι αρκετά χαμηλές. Διακρίπεται οι διαφορές, όταν ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων είναι μεγαλύτερος από 14400 λεπτά. Εκεί βλέπουμε ένα πολύ μικρό προβάδισμα του MaxProp έναντι του PRoPHETv2, για τα μικρότερα μεγέθη μηνύματος. Ακολουθούν τα Spray and Wait δεκαπέντε και πέντε αντιγράφων, ενώ η κατωτερότητα του Επιδημικού πρωτοκόλλου είναι εμφανής.
- Για μέγεθος μηνύματος 5M, το MaxProp παρουσιάζει μια πτώση στην πιθανότητα παράδοσής του στους δύο μεγαλύτερους χρόνους ζωής και τη μεγαλύτερη πιθανότητα παράδοσης έχει πλέον το PRoPHETv2. Σε αυτή την περίπτωση ελαφρώς καλύτερο για τους μεγάλους χρόνους ζωής, παρουσιάζεται το Spray and Wait πέντε αντιγράφων έναντι αυτού των δεκαπέντε, ενώ το Επιδημικό πρωτόκολλο έχει και πάλι τη χαμηλότερη

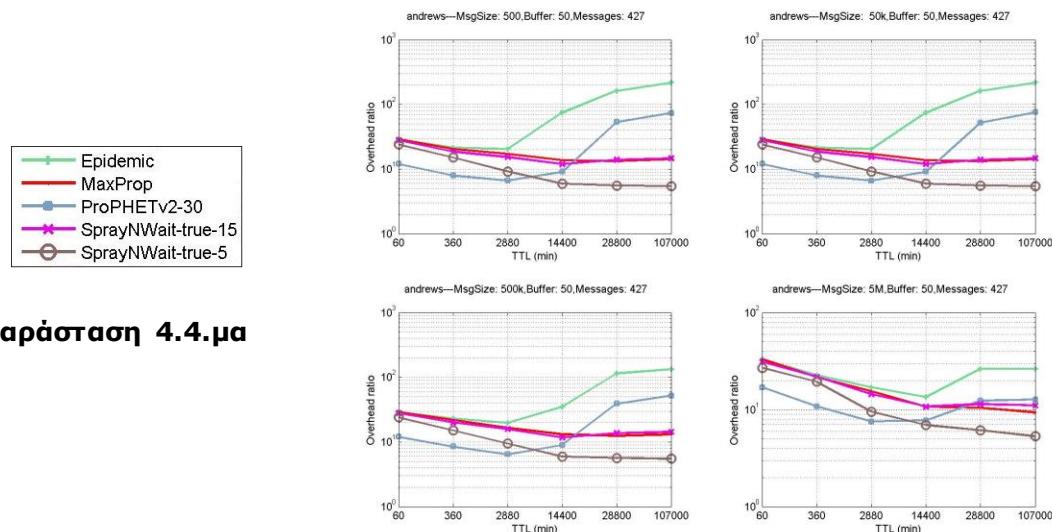
επίδοση.

- Τη μεγαλύτερη επιβάρυνση στο δίκτυο δημιουργούν τα πρωτόκολλα PRoPHETv2 και Επιδημικό και έχουν ταυτόχρονα το χαμηλότερο μέσο χρόνο παραμονής των μηνυμάτων στη μνήμη. MaxProp και Spray and Wait δεκαπέντε αντιγράφων προκαλούν παρόμοια υπερφόρτωση, ενώ σε χαμηλότερα επίπεδα είναι αυτή του Spray and Wait πέντε αντιτύπων.

Για χωρητικότητα μνήμης πενήντα μηνυμάτων παίρνουμε τα επόμενα αποτελέσματα:



#### Παράσταση 4.4.μ



#### Παράσταση 4.4.μα

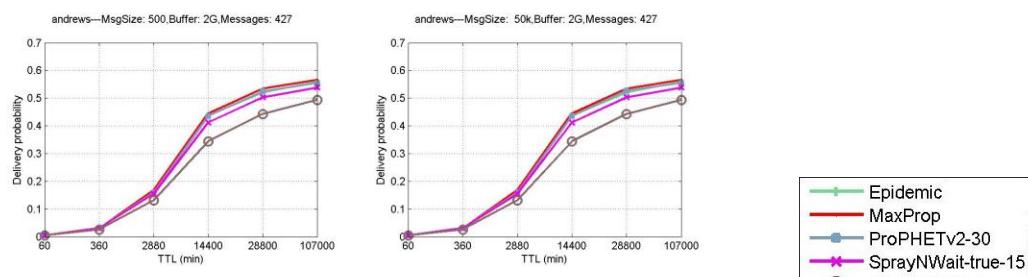
Παρατηρήσεις:

- Και στην περίπτωση αυτή, για τους δύο μεγαλύτερους χρόνους ζωής μηνύματος, προηγείται το MaxProp και ακολουθούν Spray and Wait δεκαπέντε

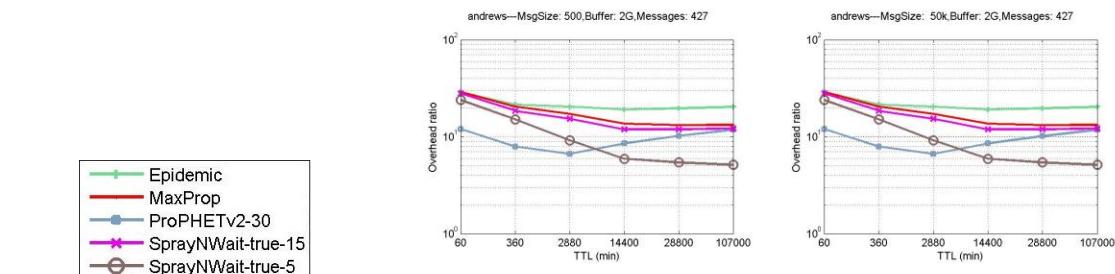
αντιγράφων και PRoPHETv2. Το δεύτερο παρουσιάζει μια μικρή πτώση όταν ο χρόνος ζωής είναι απεριόριστος. Το Επιδημικό πρωτόκολλο έχει πτωτική πορεία στους δύο μεγαλύτερους χρόνους ζωής. Το Spray and Wait πέντε αντιτύπων αυξάνεται όσο αυξάνεται το TTL.

- Για μέγεθος μηνύματος 5M, οι πιθανότητες παράδοσης είναι μικρότερες, το ίδιο και οι διαφορές μεταξύ των πρωτοκόλλων.
- Η υπερφόρτωση που προκαλούν τα PRoPHETv2 και Επιδημικό αυξάνεται με την αύξηση της διάρκειας ζωής των μηνυμάτων, ενώ αντίθετα για τα άλλα δύο πρωτόκολλα μειώνεται.

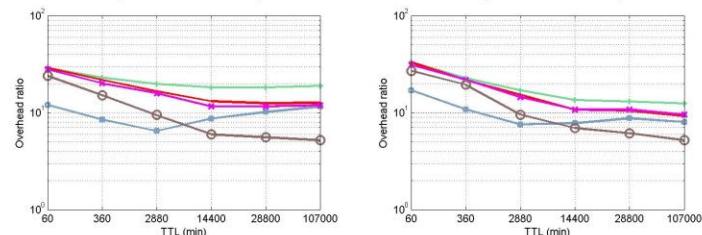
Ακολουθούν τα αποτελέσματα για μνήμη μεγέθους 2G, που σημειώνεται είναι απεριόριστη για τα τρία μικρότερα μεγέθη μηνύματος, ενώ για μέγεθος 5M έχει χωρητικότητα 400 μηνυμάτων.



#### Παράσταση 4.4.μβ



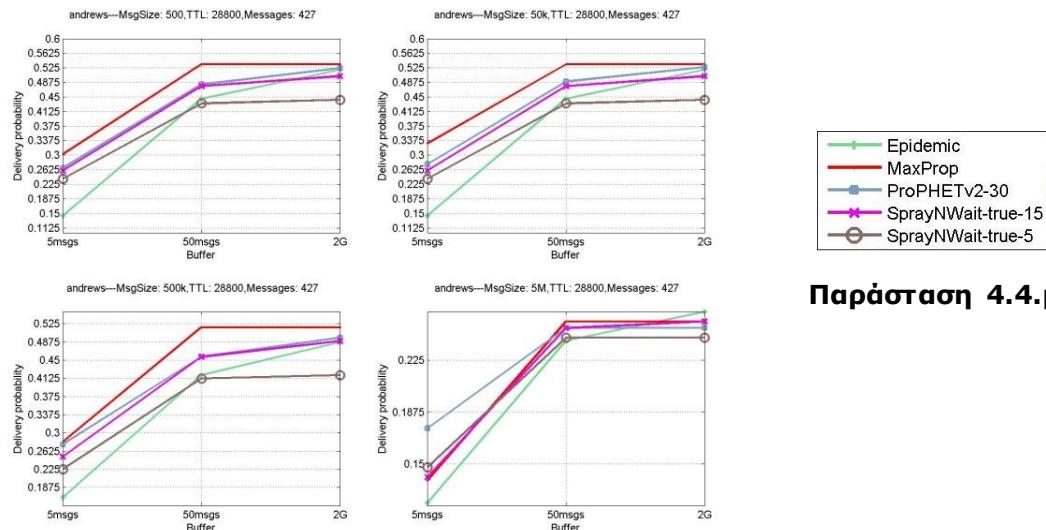
#### Παράσταση 4.4.μγ



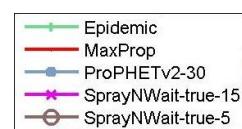
### Παρατηρήσεις:

- Τώρα οι διαφορές στην πιθανότητα παράδοσης των πρωτοκόλλων είναι δυσδιάκριτες για όλους τους χρόνους ζωής. Μόνο για τα τρία μικρότερα μεγέθη μηνύματος παρατηρούμε το Spray and Wait πέντε αντιγράφων να μειονεκτεί. Μικρές είναι και οι διαφορές στην επιβάρυνση που δημιουργείται στο δίκτυο.

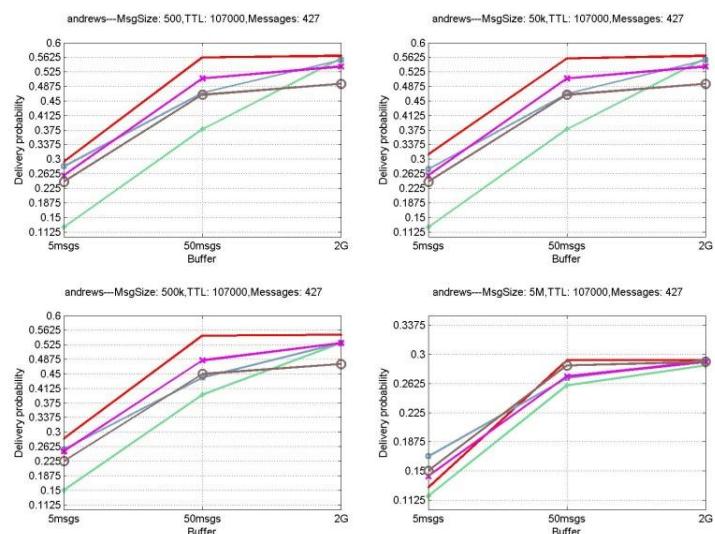
Παρακάτω φαίνεται η επίδραση της μνήμης στα αποτελέσματα για τους δύο μεγαλύτερους χρόνους ζωής μηνύματος που χρησιμοποιήθηκαν.



**Παράσταση 4.4.μδ**



**Παράσταση 4.4.με**



**Παρατηρήσεις:**

- Για μέγεθος μηνύματος 5M και χωρητικότητα πενήντα μηνύματα και άνω, βλέπουμε πόσο κοντά είναι οι πιθανότητες όλων των πρωτοκόλλων.
- Το MaxProp έχει ένα πολύ μικρό προβάδισμα, το οποίο παρουσιάζει μικρή αύξηση με την παράταση της διάρκειας ζωής των μηνυμάτων.
- Το Επιδημικό πρωτόκολλο ευνοείται όσο κανένα άλλο από την αύξηση της μνήμης και πλησιάζει τη μέγιστη από τις πιθανότητες όταν αυτή γίνεται 2G.
- Το PRoPHETv2 επίσης βελτιώνεται ιδιαίτερα με την επέκταση της μνήμης.

## 4.5 Περίπτωση 5: Καθημερινή ζωή 2

Εξετάζουμε το προεπιλεγμένο σενάριο του προσομοιωτή. Είναι ένα τεχνητό σενάριο από την ομάδα του ONE, που εκτελείται στους δρόμους του Ελσίνκι. Υπάρχουν συνολικά 126 κόμβοι, χωρισμένοι σε 6 ομάδες: δύο ομάδες με 40 άτομα η κάθε μία, μία ομάδα με 40 αυτοκίνητα και τρεις ομάδες με συνολικά 6 τραμ. Όλοι οι κόμβοι επικοινωνούν με Bluetooth που εκπέμπουν σε ακτίνα 10 μέτρων και έχουν ταχύτητα μετάδοσης 250Kbps. Τα δύο από τα τραμ είναι επίσης εφοδιασμένα με μια πιο γρήγορη διεπαφή που μεταδίδει με ταχύτητα 10mbps και έχει ακτίνα εκπομπής 1000 μέτρα. Το σενάριο διαρκεί 12 ώρες και μηνύματα παράγονται για το 80% του χρόνου προσομοίωσης.

Ειδικές παράμετροι του σεναρίου:

Πρωτόκολλο	Mode	nrofCopies	secondsInTimeUnit
Epidemic	-	-	-
MaxProp	-	-	-
Spray and Wait	False	30 (~24%)	-
Spray and Wait	True	30	-
Spray and Wait	False	60 (~48%)	-
Spray and Wait	True	60	-
Spray and Wait	False	100 (~79%)	-
Spray and Wait	False	100	-
PRoPHETv2	-	-	30
PRoPHETv2	-	-	240
PRoPHETv2	-	-	1200
PRoPHETv2	-	-	3600

Πίνακας 4.5.α

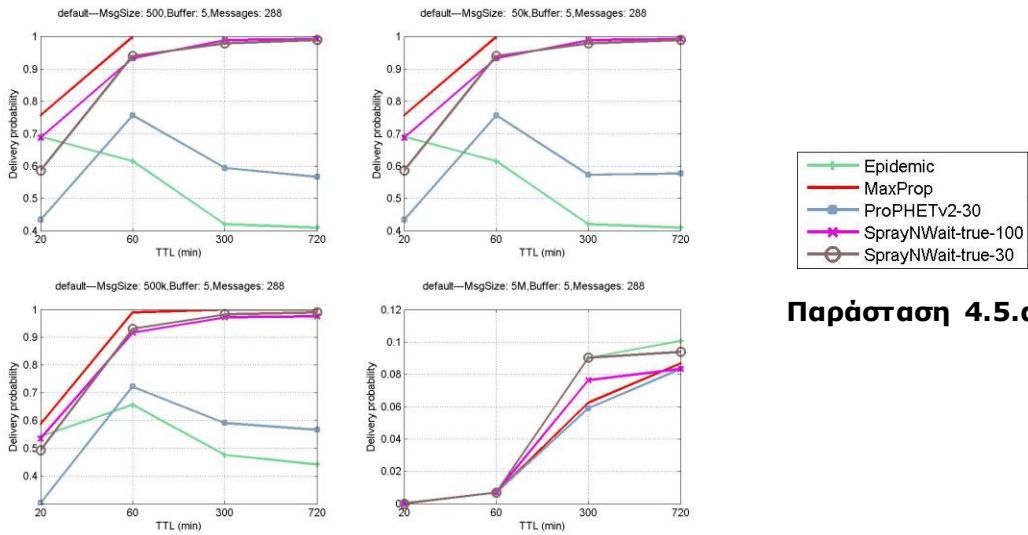
msgTTL (min)
20
60
320
720 (inf)

Πίνακας 4.5.β

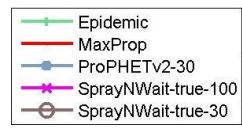
msgSize	msgInterval				
	120 (totalMsgs: 288)		1200 (totalMsgs: 28)		
msgSize	Buffer				
500b	5	50	Inf	5	Inf
50Kb	5	50	Inf	5	Inf
500Kb	5	50	Inf	5	Inf
5Mb	5	50	Inf	5	Inf

Πίνακας 4.5.γ

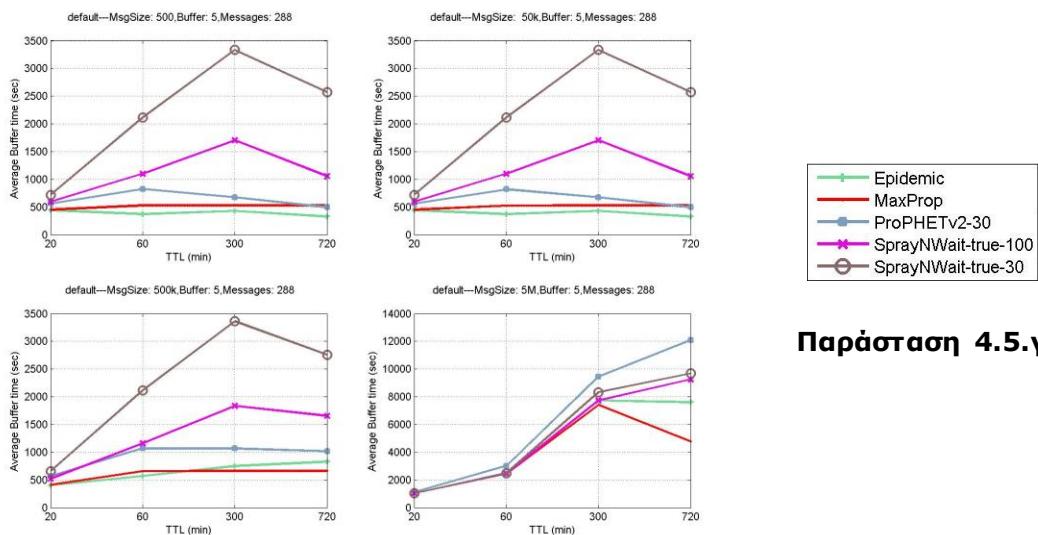
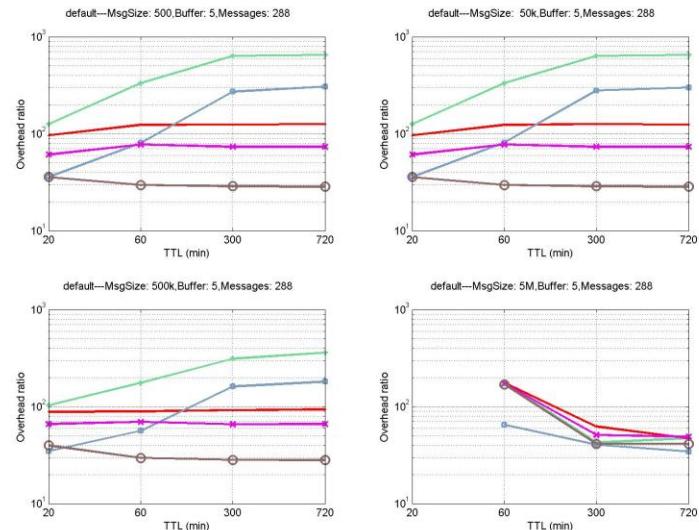
Για 288 μηνύματα:



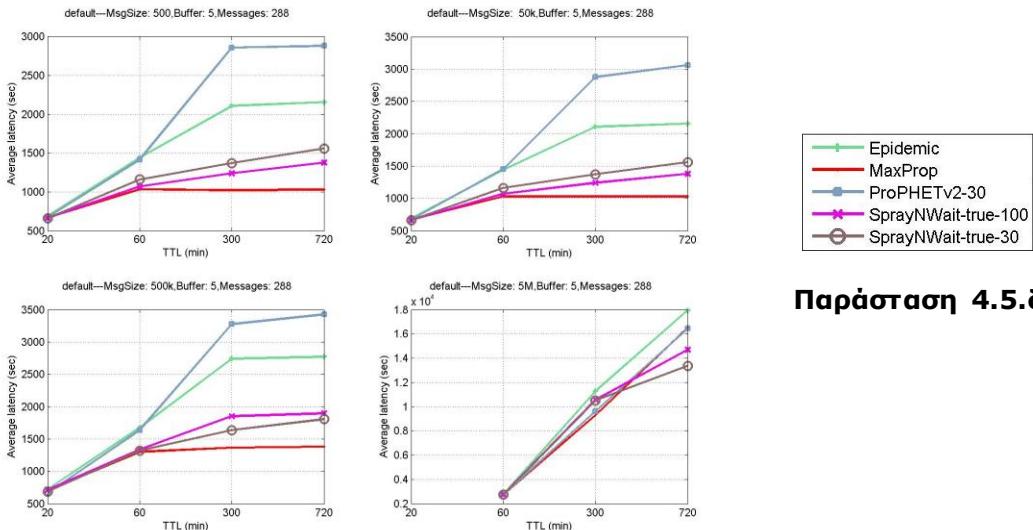
**Παράσταση 4.5.α**



**Παράσταση 4.5.β**



**Παράσταση 4.5.γ**



## Παράσταση 4.5.δ

### Παρατηρήσεις:

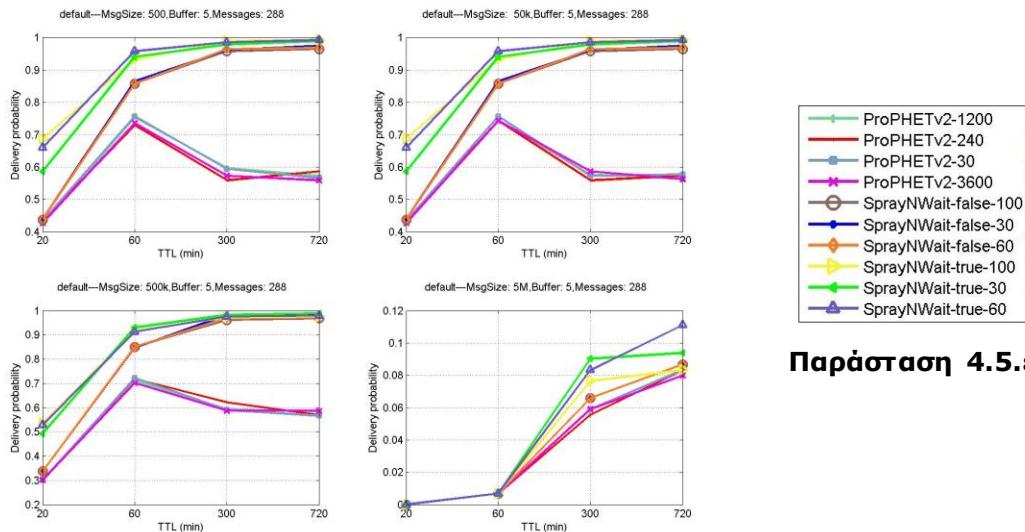
- Για τα τρία πρώτα μεγέθη μηνύματος, το MaxProp έχει την καλύτερη επίδοση για όλους του χρόνους ζωής και παραδίδει όλα τα μηνύματα, όταν η διάρκεια ζωής τους είναι μία ώρα ή παραπάνω. Το κάνει δε με τη μικρότερη καθυστέρηση.
- Ακολουθεί το πρωτόκολλο Spray and Wait με μικρές διαφορές ανάμεσα στην εκδοχή των 30 και 100 αντιτύπων, ιδιαίτερα με την αύξηση του χρόνου ζωής των μηνυμάτων. Το πρώτο βέβαια προκαλεί μικρότερη επιβάρυνση στο δίκτυο. Και τα δύο έχουν πιθανότητα παράδοσης πάνω από 0.9, για TTL = 60 και άνω και όσο αυτό παρατείνεται, πλησιάζουν το βέλτιστο.
- Το Επιδημικό πρωτόκολλο έχει την καλύτερή του επίδοση, όταν ο χρόνος ζωής των μηνυμάτων είναι ελάχιστος. Με την αύξηση του χρόνου ζωής η πιθανότητα παράδοσής του έχει πτωτική πορεία.
- Το PRoPHETv2 έχει τη χαμηλότερη πιθανότητα παράδοσης στο μικρότερο χρόνο ζωής και μετά τη βελτίωση της επίδοσής του, όταν το TTL γίνεται 60 λεπτά, έχει κι αυτό καθοδική πορεία για όλα τα μεγαλύτερα TTL.
- Επιδημικό πρωτίστως και PRoPHETv2 στη συνέχεια προκαλούν τη μεγαλύτερη υπερφόρτωση στο δίκτυο με την αύξηση του χρόνου ζωής των μηνυμάτων. Παραδίδουν, επίσης, τα μηνύματα με τη μεγαλύτερη καθυστέρηση σε σύγκριση με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα.
- Για μέγεθος μηνύματος 5M, δε γίνεται εφικτό να παραδοθεί κανένα μήνυμα όταν ο χρόνος ζωής είναι μόνο 20 λεπτά. Για μεγαλύτερους χρόνους ζωής, βλέπουμε την καλύτερη επίδοση να έχει το Επιδημικό πρωτόκολλο και το Spray and Wait 30 αντιγράφων. Σε κάθε περίπτωση, οι πιθανότητες παράδοσης για αυτό το μέγεθος είναι πολύ μικρές.

Στη συνέχεια παρατίθεται η παράσταση με τις πιθανότητες παράδοσης των

υπόλοιπων εκδοχών των πρωτοκόλλων Spray and Wait και PRoPHETv2.

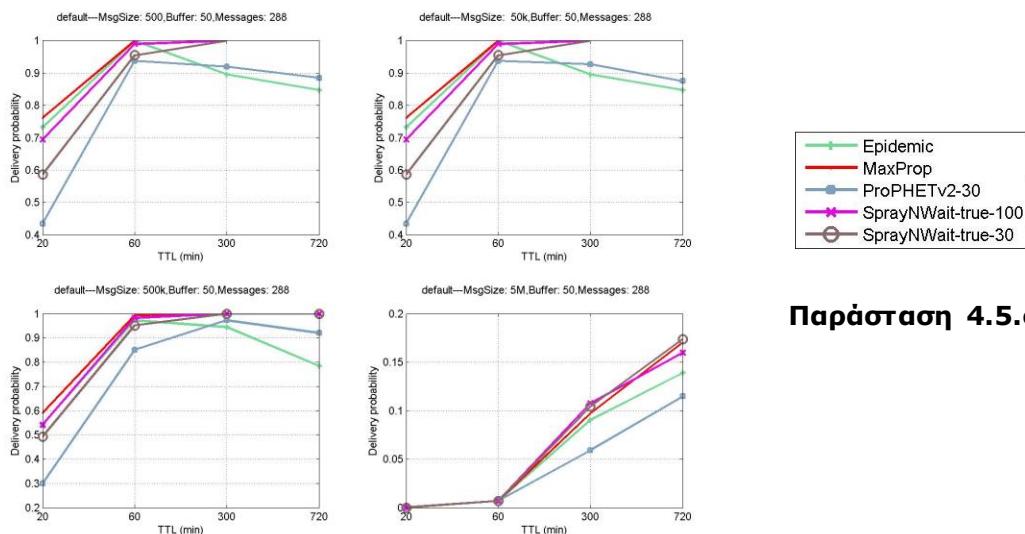
### Παρατηρήσεις:

- Βλέπουμε ότι το πρωτόκολλο Spray and Wait 60 αντιγράφων σε κάποιες περιπτώσεις είναι ελαφρώς καλύτερο από αυτά των 30 και 100 αντιγράφων.
- Οι μη-δυαδικές περιπτώσεις δεν είναι τόσο καλές όσο οι αντίστοιχες δυαδικές, αλλά βελτιώνονται με την αύξηση του χρόνου ζωής των μηνυμάτων.
- Τα PRoPHETv2 έχουν όλα παρόμοια συμπεριφορά.

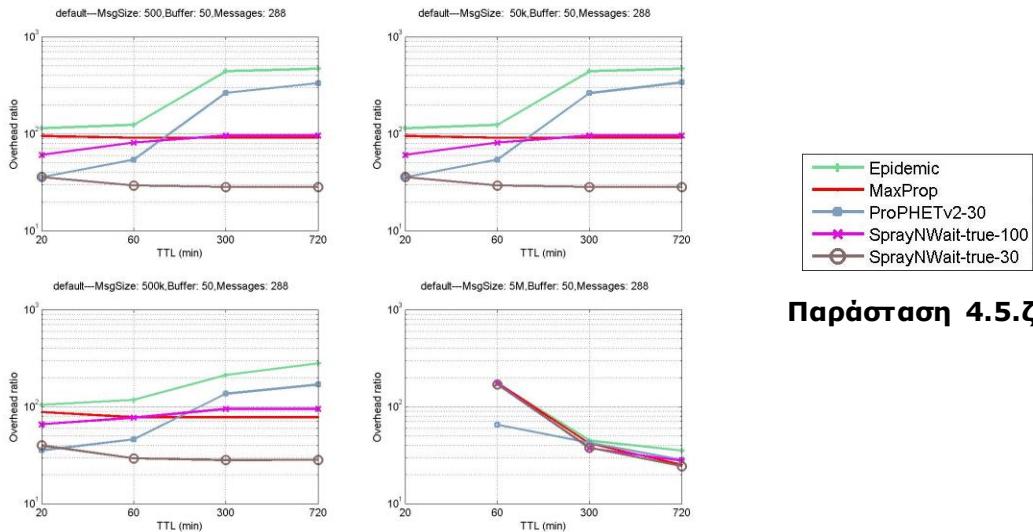


### **Παράσταση 4.5.ε**

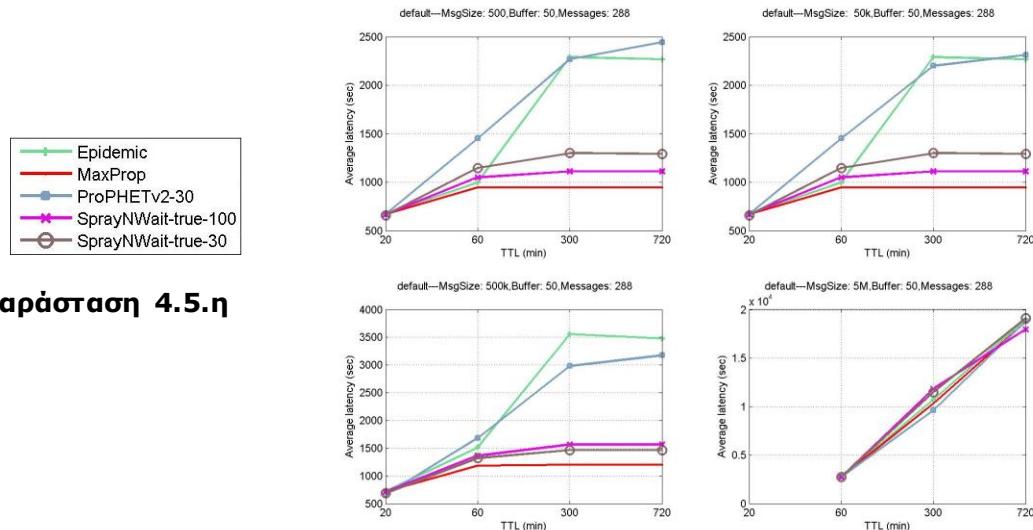
Ακολουθούν οι παραστάσεις για μνήμη χωρητικότητας πενήντα μηνυμάτων:



### **Παράσταση 4.5.στ**



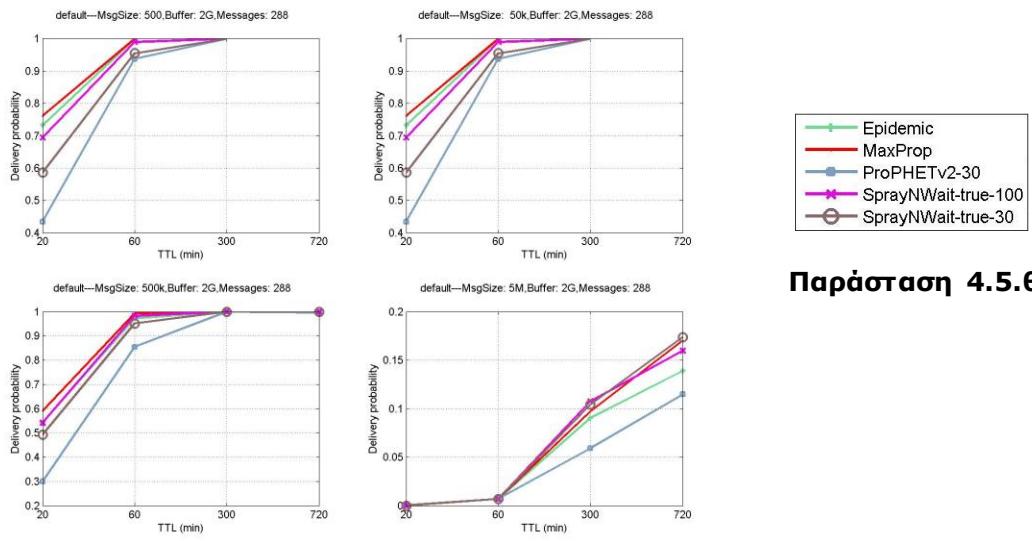
### Παράσταση 4.5.ζ



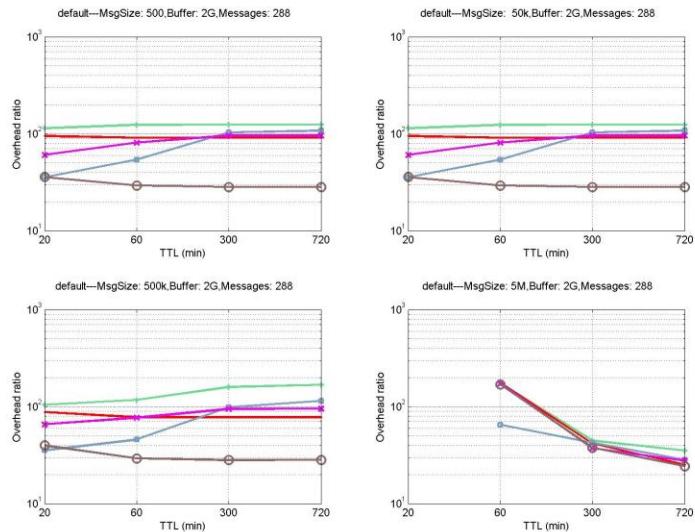
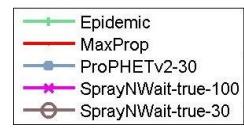
### Παράσταση 4.5.η

#### Παρατηρήσεις:

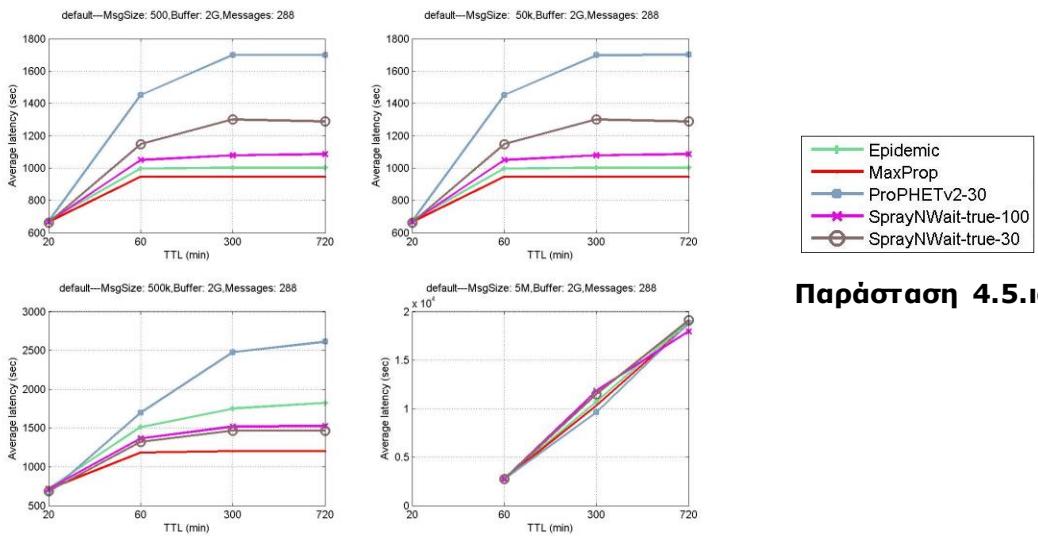
- Μεγάλη βελτίωση παρατηρείται για τα πρωτόκολλα PRoPHETv2 και Επιδημικό, αν και όπως φαίνεται από τη πτώση στα μεγαλύτερα TTL, θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν λίγη μνήμη ακόμα.
- Το MaxProp έχει την ίδια επίδοση για τα τρία μικρότερα μεγέθη μηνύματος, πράγμα που καταδεικνύει την καλή διαχείριση μνήμης που κάνει.
- Μικρή βελτίωση παρατηρείται και για το πρωτόκολλο Spray and Wait, που παραδίδει πλέον όλα τα μηνύματα, όταν ο χρόνος ζωής τους είναι αρκετός.
- Για μέγεθος μηνύματος 5M υπάρχει πολύ μικρή βελτίωση για όλα τα πρωτόκολλα. Η χαμηλή πιθανότητα οφείλεται στους χρόνους επαφής των κόμβων, που προφανώς δεν είναι αρκετοί για την ολοκλήρωση μεταδόσεων τέτοιων μεγεθών.



**Παράσταση 4.5.θ**



**Παράσταση 4.5.ι**



**Παράσταση 4.5.ια**

### Παρατηρήσεις:

- Για χρόνο ζωής μηνύματος 60 λεπτά και άνω, παρατηρούμε πως MaxProp, Spray and Wait εκατόν αντιγράφων και Επιδημικό πρωτόκολλο έχουν σχεδόν ίδια πιθανότητα παράδοσης. Μικρές διαφορές έχουν οι καθυστερήσεις παράδοσης, με το MaxProp να έχει τη μικρότερη.
- Ακολουθεί το Spray and Wait τριάντα αντιγράφων με μικρή διαφορά, αλλά αρκετά χαμηλότερη επιβάρυνση στο δίκτυο.
- Τη χαμηλότερη πιθανότητα παράδοσης έχει το PRoPHETv2, η οποία ελαπτώνεται με την αύξηση του μεγέθους μηνύματος στους μικρότερους χρόνους ζωής. Έχει, επίσης, τη μεγαλύτερη μέση καθυστέρηση.
- Για μέγεθος μηνύματος 5M οι πιθανότητες παράδοσης παραμένουν χαμηλές. Τα δύο Spray and Wait και το MaxProp έχουν παρόμοια αποτελέσματα, όσον αφορά την πιθανότητα παράδοσης, τις καθυστερήσεις, αλλά και την επιβάρυνση. Λίγο πιο κάτω βρίσκεται το Επιδημικό πρωτόκολλο και τέλος το PRoPHETv2.

Όμοια είναι τα αποτελέσματα και για τις υπόλοιπες εκδοχές των πρωτοκόλλων.

## **Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και μελλοντικές κατευθύνσεις**

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε αναλυτικά τα αποτελέσματα προσομοιώσεων σε πέντε διαφορετικά περιβάλλοντα. Το πρώτο περιβάλλον ήταν ένας συνεδριακός χώρος -άρα μικρής έκτασης- με τον ελάχιστο αριθμό επαφών να είναι 8 και το μέγιστο 59. Η διάρκεια κυμαινόταν από δύο εως έντεκα περίπου ώρες. Η δεύτερη περίπτωση αναφέρεται σε ένα περιβάλλον εργασίας, το όποιο περιλαμβάνει το τριώροφο κτίριο που εργάζονται οι κόμβοι, την καφετέρια στην οποία κάνουν διάλειμμα, καθώς και ένα άλλο κτίριο που απέχει 3.5 χιλιόμετρα. Συνολικά υπάρχουν 44 κόμβοι και η διάρκεια του σεναρίου είναι πάνω από 18 μερες. Στην τρίτη περίπτωση έχουμε 800 επαφές που ακολουθούν ένα πρόγραμμα μαθημάτων και μελετούμε την επικοινωνία τους για 3 μέρες και 5 ώρες. Είναι δηλαδή ένα σενάριο με μοτίβο. Στην τέταρτη περίπτωση 25 σπουδαστές και εργαζομένοι σε ένα πανεπιστήμιο, μεταφέρουν τις συσκευές τους σε όλες τις καθημερινές δραστηριότητες στην πόλη για 74 μέρες. Χαρακτηρίζουμε αυτό το δίκτυο ως αραιό, αφού οι κόμβοι είναι λίγοι και κινούνται σε ένα σχετικά μεγάλο χώρο, χωρίς να έρχονται σε επαφή πολύ συχνά. Στην πέμπτη και τελευταία περίπτωση, έχουμε 126 κόμβους με διαφορετικές ταχύτητες που κινούνται στους δρόμους του Ελσίνκι. 80 από αυτούς είναι πεζοί, 40 αυτοκίνητα και 6 τραμ. Τα δύο από τα τραμ έχουν υψηλής μετάδοσης και ακτίνας διεπαφές και μπορούν έτσι να ανταλλάζουν δεδομένα ταχύτερα. Είναι ένα σενάριο έντονης κινητικότητας. Η προσομοίωση διαρκεί 12 ώρες.

Για αυτές τις περιπτώσεις, εξετάσαμε διεξοδικά την πιθανότητα παράδοσης, την υπερφόρτωση που προκαλείται στο δίκτυο και την καθυστέρηση παράδοσης σε πολλά διαφορετικά σενάρια και παραθέσαμε τα αποτελέσματα, όπως προκύπτουν από τη χρήση τεσσάρων δημοφιλών πρωτοκόλλων δρομολόγησης για δίκτυα ανθεκτικά σε καθυστέρηση. Όπως αναφέραμε και στον παρελθόν κάθε σενάριο είναι μοναδικό ως προς το χώρο, τους κόμβους, την κινητικότητα και τη συνδεσιμότητα. Επομένως, η επιλογή του καταληλότερου πρωτοκόλλου είναι συνυφασμένη με τις εκάστοτε συνθήκες. Παρόλα αυτά, από τα παραπάνω σενάρια, καταλήγουμε σε κάποια γενικά συμπεράσματα, τα οποία δύναται να χρησιμοποιηθούν ως οδηγοί προς τη σωστότερη επιλογή. Αυτές μας τις διαπιστώσεις παραθέτουμε στην επόμενη παράγραφο.

### **5.1 Τελικά συμπεράσματα**

Όπως αναδείχθηκε μέσα από τα πειράματά μας, το πρωτόκολλο MaxProp επιτυγχάνει πολύ καλή πιθανότητα παράδοσης (σε σχέση πάντα με το βέλτιστο δυνατό) στις πλείστες περιπτώσεις. Ο εξελιγμένος μηχανισμός διαχείρισης της μνήμης και η δημιουργία προτεραιοτήτων στην ανταλλαγή μηνυμάτων, φαίνεται να επιφέρουν το επιθυμητό αποτέλεσμα, δημιουργώντας μέτρια υπερφόρτωση συγκρινόμενο με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα. Μικρό πρόβλημα είδαμε να αντιμετωπίζει στις περιπτώσεις 4.1.2 και 4.4 για το μικρότερο μέγεθος μνήμης, όπου λόγω του μεγάλου ανταγωνισμού, τα μηνύματα κατέληγαν να έχουν κοινή προτεραιότητα και δεν μπορούσε να εφαρμοστεί η διαχείριση της ουράς, με αποτέλεσμα ο μηχανισμός

να δρα ως FIFO. Επίσης, από την περίπτωση 4.4 γίνεται προφανές πως πρέπει να υπάρχει ο κατάλληλος αριθμός κόμβων για τη διάδοση των μηνυμάτων, αλλιώς προκύπτουν αποτυχίες και μεγάλες καθυστερήσεις. Η καθυστέρηση, σε γενικές γραμμές, βρίσκεται σε μέτρια επίπεδα. Ο κύριος, βέβαια, περιορισμός του πρωτοκόλλου αυτού είναι το γεγονός πως η αρχική πιθανότητα παράδοσης είναι συνάρτηση του αριθμού των κόμβων στο δίκτυο. Αν δεν υπάρχει αυτή η πληροφορία ή είναι λανθασμένη, δεν μπορούν να γίνουν ορθά ούτε οι μετέπειτα υπολογισμοί.

Όσον αφορά το Επιδημικό πρωτόκολλο, πετυχαίνει τη μέγιστη δυνατή πιθανότητα παράδοσης με την ελάχιστη καθυστέρηση, όταν ο αποθηκευτικός χώρος των μηνυμάτων είναι απεριόριστος και με την προϋπόθεση ότι οι χρόνοι επαφής είναι αρκετοί για να ανταλλαγεί αρχικά το διάνυσμα σύνοψης και στη συνέχεια τα μηνύματα. Όταν οι πόροι είναι περιορισμένοι, αποδεικνύεται καταστροφικό προκαλώντας τεράστια επιβάρυνση στο δίκτυο και επομένως και κατασπατάληση ενέργειας. Η αναμετάδοση όλων των μηνυμάτων σε κάθε επαφή, αυξάνει τον ανταγωνισμό για μια θέση στη μνήμη και η απουσία διαχείρισης ουράς έχει ως αποτέλεσμα την πρόωρη διαγραφή και αντικατάσταση των μηνυμάτων προτού αυτά προλάβουν να διαδοθούν. Είναι, βέβαια, ιδανικό για δίκτυα με πολύ χαμηλή συνδεσιμότητα, λόγω της αβεβαιότητας για την ύπαρξη άλλων επαφών στη συνέχεια ή σε περιπτώσεις ανταλλαγής μηνυμάτων μεγάλου μεγέθους, όπου οι πλείστες ζεύξεις δεν έχουν την απαιτούμενη διάρκεια.

Παρόμοια προβλήματα με το Επιδημικό πρωτόκολλο παρουσιάζει και το ProPHETv2, όταν η μνήμη είναι περιορισμένη. Αυξημένη υπερφόρτωση, σπατάλη ενέργειας και χαμηλά ποσοστά παράδοσης. Σημειώνουμε ότι αυτό συμβαίνει όταν υπάρχει υψηλή συνδεσιμότητα, ενώ όταν το δίκτυο είναι πολύ αραιό, όπως στην περίπτωση 5.4, δεν παρατηρούνται αυτά τα φαινόμενα. Όταν υπάρχει αρκετή διαθέσιμη μνήμη, έχει και αρκετά χαμηλά ποσοστά υπερφόρτωσης. Δεν είδαμε, επίσης, δραματικές αλλαγές με τη διαφοροποίηση της σταθεράς των χρονικών μονάδων, που να μπορούν να αλλάξουν τη θέση του σε σχέση με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα. Στις πλείστες περιπτώσεις των πειραμάτων μας, ήταν υποδεέστερο ως προς την πιθανότητα παράδοσης.

Το πρωτόκολλο Spray and Wait είναι πολύ καλό για μικρά μεγέθη μνήμης, αφού το ποσοστό υπερφόρτωσης μπορεί να κρατηθεί όσο χαμηλά χρειάζεται. Μέσα από τις προσομοιώσεις μας, είδαμε πως ο ιδανικός αριθμός αντιγράφων που πρέπει να χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το μέγεθος της μνήμης και το χρόνο ζωής των μηνυμάτων (π.χ. παράσταση 4.5.ε). Εφόσον η επιβάρυνση στο δίκτυο βρίσκεται σταθερά σε χαμηλά επίπεδα, επωφελείται ιδιαίτερα από την αύξηση του χρόνου ζωής των μηνύματων. Επίσης, είδαμε στις περισσότερες περιπτώσεις, ότι η δυαδική εκδοχή έχει καλύτερη επίδοση από τη μη-δυαδική. Το πρωτόκολλο αυτό χρειάζεται αρκετή κινητικότητα των κόμβων, για να μπορέσουν να εξαπλωθούν τα μηνύματα, εφόσον μετά τη φάση ψεκασμού συμπεριφέρεται όπως το πρωτόκολλο άμεσης παράδοσης. Στα αρνητικά του μπορούμε να συμπεριλάβουμε το γεγονός πως θεωρεί όλους τους κόμβους ίδιους, επομένως είναι πιθανό να σπαταλά αντίγραφα σε κόμβους που δεν χρησιμεύουν εν τέλει στην παράδοση, ενώ υπάρχουν καλύτεροι υποψήφιοι για τη μετάδοση ενός μηνύματος.

Είδαμε, επιπλέον, πως για μεγάλα μεγέθη μηνύματος τα ποσοστά παράδοσης μειώνονται δραματικά, εφόσον ο χρόνος μετάδοσης είναι σημαντικά μεγάλος και ο χρόνος επαφής δεν είναι αρκετός. Το μέγεθος μηνύματος θα μπορούσε να είναι κριτήριο για σειρά προτεραιότητας στην ουρά για κάποιο πρωτόκολλο, όταν αυτό δεν

είναι μοναδικό.

Τελος, ο χρόνος ζωής μηνύματος πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να προλαβαίνουν τα μηνύματα να διαδοθούν πριν αυτός λήξει, αλλά ταυτόχρονα οφείλουμε να έχουμε υπόψη πως μεγαλύτερος χρόνος ζωής δε σημαίνει μεγαλύτερη πιθανότητα παράδοσης, όταν δεν υπάρχει αρκετή μνήμη, μιας και αυξάνεται ο ανταγωνισμός. Πρέπει, λοιπόν, να βρεθεί το ιδανικό για την εκάστοτε εφαρμογή.

## 5.2 Μελλοντικές κατευθύνσεις

Σε καμία περίπτωση δεν έχουμε εξαντλήσει το θέμα των πρωτοκόλλων δρομολόγησης για δίκτυα ανθεκτικά σε καθυστέρηση. Εξετάσαμε μόνο τέσσερα πρωτόκολλα, ενώ υπάρχουν ακόμα κι άλλα αξιόλογα που χρειάζεται να εξεταστούν διεξοδικά, όπως παραδείγματος χάριν το RAPID ή το BUBBLE. Επιπλέον, δεν έχουμε δει καθόλου πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν κωδικοποίηση.

Υπάρχουν, επίσης, πολλά διαφορετικά περιβάλλοντα στα οποία θα μπορούσαν να δοκιμαστούν τα πρωτόκολλα και με διαφορετικές παραμέτρους που δεν ελέγχαμε. Θα ήταν χρήσιμο να αναπτυχθούν επιπλέον πραγματικά περιβάλλοντα και εφαρμογές για να δοκιμαστούν τα πρωτόκολλα και να φανούν στην πράξη οι αδυναμίες και οι απαιτήσεις τους.

Ένα άλλο ζήτημα που τίθεται είναι η υπόθεση των περισσότερων πρωτοκόλλων πως οι συσκευές είναι ομογενείς. Όταν αυτό δεν ισχύει, θα ήταν χρήσιμο να λαμβάνονται υπόψη οι διαφορετικές δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά των κόμβων και να αξιολογούνται κατάλληλα ως προς τη συμμετοχή τους στην παράδοση ενός μηνύματος, κυρίως στα πρωτόκολλα με περιορισμένα αντίγραφα. Η πιθανή σπατάλη αντιγράφων σε κόμβους αχρείαστους είναι και ο λόγος που σε ετερογενή σενάρια είναι καλύτερο να χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν μέτρο χρησιμότητας.

# **Ευρετήριο Σχημάτων και Πινάκων**

Εικόνα 2.5.α.....	15
Εικόνα 3.1.α.....	16
Εικόνα 3.2.α.....	18
Εικόνα 3.2.β.....	19
Πίνακας 4.1.1.α.....	21
Πίνακας 4.1.1.β.....	21
Πίνακας 4.1.1.γ.....	21
Παράσταση 4.1.1.α.....	22
Παράσταση 4.1.1.β.....	22
Παράσταση 4.1.1.γ.....	22
Παράσταση 4.1.1.δ.....	23
Παράσταση 4.1.1.ε.....	24
Παράσταση 4.1.1.στ.....	25
Παράσταση 4.1.1.ζ.....	25
Παράσταση 4.1.1.η.....	26
Παράσταση 4.1.1.θ.....	26
Παράσταση 4.1.1.ι.....	26
Εικόνα 4.1.1.α.....	27
Πίνακας 4.1.2.α.....	28
Πίνακας 4.1.2.β.....	28
Πίνακας 4.1.2.γ.....	27
Παράσταση 4.1.2.α.....	29
Παράσταση 4.1.2.β.....	29
Παράσταση 4.1.2.γ.....	29
Παράσταση 4.1.2.δ.....	30
Παράσταση 4.1.2.ε.....	31
Παράσταση 4.1.2.στ.....	32
Παράσταση 4.1.2.ζ.....	32
Παράσταση 4.1.2.η.....	32
Παράσταση 4.1.2.θ.....	33
Παράσταση 4.1.2.ι.....	34
Παράσταση 4.1.2.ια.....	34
Παράσταση 45ις.1.2.β .....	34
Παράσταση 4.1.2.ιγ .....	35
Παράσταση 4.1.2.δβ .....	36
Παράσταση 4.1.2.ιε.....	36
Παράσταση 4.1.2.ιστ.....	37
Παράσταση 4.1.2.ιζ.....	37
Παράσταση 4.1.2.ιη .....	37
Παράσταση 4.1.2.ιθ .....	38
Παράσταση 4.1.2.κ .....	39
Παράσταση 4.1.2.κα .....	39
Παράσταση 4.1.2.κβ .....	39
Παράσταση 4.1.2.κγ .....	40
Παράσταση 4.1.2.κδ .....	41

Παράσταση 4.1.2.κε .....	41
Παράσταση 4.1.2.κστ.....	41
Παράσταση 4.1.2.κζ.....	42
Παράσταση 4.1.2.κη .....	43
Παράσταση 4.1.2.κθ .....	43
Πίνακας 4.1.3.α .....	44
Πίνακας 4.1.3.β .....	44
Πίνακας 4.1.3.γ .....	44
Παράσταση 4.1.3.α .....	45
Παράσταση 4.1.3.β .....	45
Παράσταση 4.1.3.γ .....	45
Παράσταση 4.1.3.δ .....	46
Παράσταση 4.1.3.ε .....	46
Παράσταση 4.1.3.στ .....	47
Παράσταση 4.1.3.ζ .....	47
Παράσταση 4.1.3.η .....	48
Παράσταση 4.1.3.θ .....	48
Παράσταση 4.1.3.ι .....	49
Παράσταση 4.1.3.ια .....	49
Παράσταση 4.1.3.ιβ .....	49
Παράσταση 4.1.3.ιγ .....	50
Παράσταση 4.1.3.ιδ .....	50
Παράσταση 4.1.3.ιε .....	51
Παράσταση 4.1.3.ιστ .....	51
Παράσταση 4.1.3.ιζ .....	52
Παράσταση 4.1.3.ιη .....	52
Παράσταση 4.1.3.ιθ .....	53
Παράσταση 4.1.3.κ .....	53
Παράσταση 4.1.3.κα .....	53
Παράσταση 4.1.3.κβ .....	54
Παράσταση 4.1.3.κγ .....	54
Παράσταση 4.1.3.κδ .....	55
Παράσταση 4.1.3.κε .....	55
Παράσταση 4.1.3.κστ .....	56
Πίνακας 4.1.4.α .....	57
Πίνακας 4.1.4.β .....	57
Πίνακας 4.1.4.γ .....	57
Παράσταση 4.1.4.α .....	58
Παράσταση 4.1.4.β .....	58
Παράσταση 4.1.4.γ .....	58
Παράσταση 4.1.4.δ .....	59
Παράσταση 4.1.4.ε .....	59
Παράσταση 4.1.4.στ .....	60
Παράσταση 4.1.4.ζ .....	60
Παράσταση 4.1.4.η .....	60
Παράσταση 4.1.4.θ .....	61
Παράσταση 4.1.4.ι .....	62
Παράσταση 4.1.4.ια .....	62

Πίνακας 4.2.α .....	63
Πίνακας 4.2.β .....	63
Πίνακας 4.2.γ .....	63
Παράσταση 4.2.α .....	64
Παράσταση 4.2.β .....	64
Παράσταση 4.2.γ .....	64
Παράσταση 4.2.δ .....	65
Παράσταση 4.2.ε .....	66
Παράσταση 4.2.στ .....	66
Παράσταση 4.2.ζ .....	66
Παράσταση 4.2.η .....	67
Παράσταση 4.2.θ .....	67
Παράσταση 4.2.ι .....	68
Παράσταση 4.2.ια .....	68
Παράσταση 4.2.ιβ .....	69
Παράσταση 4.2.ιγ .....	69
Παράσταση 4.2.ιδ .....	69
Παράσταση 4.2.ιε .....	70
Παράσταση 4.2.ιστ .....	70
Παράσταση 4.2.ιζ .....	70
Παράσταση 4.2.ιη .....	71
Παράσταση 4.2.ιθ .....	72
Παράσταση 4.2.κ .....	72
Παράσταση 4.2.κα .....	73
Παράσταση 4.2.κβ .....	73
Παράσταση 4.2.κγ .....	73
Παράσταση 4.2.κδ .....	74
Παράσταση 4.2.κε .....	75
Παράσταση 4.2.κστ .....	74
Παράσταση 4.2.κζ .....	75
Παράσταση 4.2.κη .....	76
Παράσταση 4.2.κθ .....	76
Παράσταση 4.2.λ .....	77
Παράσταση 4.2.λα .....	78
Παράσταση 4.2.λβ .....	78
Παράσταση 4.2.λγ .....	78
Παράσταση 4.2.λδ .....	79
Παράσταση 4.2.λε .....	79
Πίνακας 4.3.α .....	80
Πίνακας 4.3.β .....	80
Πίνακας 4.3.γ .....	80
Παράσταση 4.3.α .....	81
Παράσταση 4.3.β .....	81
Παράσταση 4.3.γ .....	81
Παράσταση 4.3.δ .....	82
Παράσταση 4.3.ε .....	82
Παράσταση 4.3.στ .....	83
Παράσταση 4.3.ζ .....	83

Παράσταση 4.3.η .....	84
Παράσταση 4.3.θ .....	84
Παράσταση 4.3.ι .....	84
Παράσταση 4.3.ια .....	85
Παράσταση 4.3.ιβ .....	86
Παράσταση 4.3.ιγ .....	86
Παράσταση 4.3.ιδ .....	86
Παράσταση 4.3.ιε .....	87
Παράσταση 4.3.ιστ .....	88
Παράσταση 4.3.ιζ .....	88
Παράσταση 4.3.ιη .....	89
Παράσταση 4.3.ιθ .....	89
Παράσταση 4.3.κ .....	90
Παράσταση 4.3.κα .....	90
Παράσταση 4.3.κβ .....	91
Παράσταση 4.3.κγ .....	92
Παράσταση 4.3.κδ .....	92
Παράσταση 4.3.κε .....	93
Παράσταση 4.3.κστ .....	93
Παράσταση 4.3.κζ .....	93
Παράσταση 4.3.κη .....	94
Παράσταση 4.3.κθ .....	94
Πίνακας 4.4.α .....	95
Πίνακας 4.4.β .....	95
Πίνακας 4.4.γ .....	95
Παράσταση 4.4.α .....	96
Παράσταση 4.4.β .....	96
Παράσταση 4.4.γ .....	96
Παράσταση 4.4.δ .....	97
Παράσταση 4.4.ε .....	98
Παράσταση 4.4.στ .....	98
Παράσταση 4.4.ζ .....	98
Παράσταση 4.4.η .....	99
Παράσταση 4.4.θ .....	100
Παράσταση 4.4.ι .....	100
Παράσταση 4.4.ια .....	100
Παράσταση 4.4.ιβ .....	101
Παράσταση 4.4.ιγ .....	101
Παράσταση 4.4.ιδ .....	102
Παράσταση 4.4.ιε .....	102
Παράσταση 4.4.ιστ .....	103
Παράσταση 4.4.ιζ .....	103
Παράσταση 4.4.ιη .....	103
Παράσταση 4.4.ιθ .....	104
Παράσταση 4.4.κ .....	104
Παράσταση 4.4.κα .....	105
Παράσταση 4.4.κβ .....	105
Παράσταση 4.4.κγ .....	105

Παράσταση 4.4.κδ .....	106
Παράσταση 4.4.κε .....	107
Παράσταση 4.4.κστ.....	107
Παράσταση 4.4.κζ.....	108
Παράσταση 4.4.κη .....	108
Παράσταση 4.4.κθ .....	108
Παράσταση 4.4.λ .....	109
Παράσταση 4.4.λα .....	110
Παράσταση 4.4.λβ .....	110
Παράσταση 4.4.λγ .....	111
Παράσταση 4.4.λδ .....	111
Παράσταση 4.4.λε .....	111
Παράσταση 4.4.λστ.....	112
Παράσταση 4.4.λζ.....	112
Παράσταση 4.4.λη .....	113
Παράσταση 4.4.λθ .....	113
Παράσταση 4.4.μ .....	114
Παράσταση 4.4.μα .....	114
Παράσταση 4.4.μβ .....	115
Παράσταση 4.4.μγ .....	115
Παράσταση 4.4.μδ .....	116
Παράσταση 4.4.με .....	116
Πίνακας 4.5.α .....	118
Πίνακας 4.5.β .....	118
Πίνακας 4.5.γ .....	118
Παράσταση 4.5.α .....	119
Παράσταση 4.5.β .....	119
Παράσταση 4.5.γ .....	119
Παράσταση 4.5.δ .....	120
Παράσταση 4.5.ε .....	121
Παράσταση 4.5.στ .....	121
Παράσταση 4.5.ζ .....	122
Παράσταση 4.5.η .....	122
Παράσταση 4.5.θ .....	123
Παράσταση 4.5.ι .....	122
Παράσταση 4.5.ια .....	122

# Βιβλιογραφία

- [1] The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation, *Ari Keranen, Jorg Ott, Teemu Karkkainen*, 2009
- [2] Spray and Wait: An Efficient Routing Scheme for Intermittently Connected Mobile Networks, *Thrasyvoulos Spyropoulos, Konstantinos Psounis, Cauligi S. Raghavendra*, 2005
- [3] MaxProp: Routing for Vehicle-Based Disruption-Tolerant Networks, *John Burgess, Brian Gallagher, David Jensen, Brian Neil Levine*, 2006
- [4] Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks, *Anders Lindgren, Avri Doria, Olov Schelen*, 2003
- [5] The Evolution of a DTN Routing Protocol – PRoPHETv2, *Samo Grasic, Elwyn Davies, Anders Lindgren, Avri Doria*, 2011
- [6] State-of-the-Art Routing Protocols for Delay Tolerant Networks, *Zhenxin Feng, Kwan-Wu Chin*, 2012
- [7] Epidemic Routing for Partially-Connected Ad Hoc Networks, *Amin Vahdat, David Becker*, 2000
- [8] Δεδομένα για την περίπτωση 2: <http://crawdad.org/unimi/pmtr/>
- [9] Δεδομένα για την περίπτωση 3: <http://crawdad.org/nus/contact/>
- [10] Δεδομένα για την περίπτωση 4: [http://crawdad.org/st\\_andrews/sassy/](http://crawdad.org/st_andrews/sassy/)
- [11] Opportunistic Content Distribution in an Urban Setting, *Jeremie Leguay, Anders Lindgren, James Scott, Timur Friedman, Jon Crowcroft*, 2006
- [12] Mobility prediction-based smartphone energy optimization for everyday location monitoring, *Yohan Chon, Elmurod Talipov, Hyojeong Shin, Hojung Cha*, 2011
- [13] Design and Evaluation of a Metropolitan Area Multitier Wireless Ad Hoc Network Architecture , *Jorjeta G. Jetcheva, Yih-Chun Hu, Santashil PalChaudhuri, Amit Kumar Saha, and David B. Johnson*, 2003
- [14] The Accordion Phenomenon: Analysis, Characterization, and Impact on DTN Routing, *Pierre Ugo Tournoux, Jeremie Leguay, Farid Benbadis, Vania Conan, Marcelo Dias de Amorim, John Whitbeck*, 2010
- [15] VITRO D3.2 – Delay Tolerant Networking and Context Awareness, *CTI, WLAB, SSI, CTTC*, 2011

- [16] Routing for disruption tolerant networks: taxonomy and design, *Thrasyvoulos Spyropoulos, Rao Naveed Bin Rais, Thierry Turlettin, Katia Obraczka, Athanasios Vasilakos*, 2010
- [17] Routing Protocols in Delay Tolerant Networks: A Comparative Survey, *Jian Shen, Sangman Moh, Ilyong Chung*, 2014
- [18] Performance Comparison of RAPID, Epidemic and Prophet Routing Protocols for Delay Tolerant Networks, *Harminder Singh Bindra, A. L. Sangal*, 2012
- [19] Routing in a Delay Tolerant Network, *Sushant Jain, Kevin Fall, Rabin Patra*, 2004
- [20] Implementing Delay Tolerant Networking, *Michael Demmer, Eric Brewer, Kevin Fall, Sushant Jain, Melissa Ho, Rabin Patra*, 2004
- [21] Comparative Analysis of Different Routing Protocols in Delay Tolerant Networks, *Chintan B. Desai, Vyomal N. Pandya, Prashant M. Dolia*, 2013
- [22] A Parsimonious Model of Mobile Partitioned Networks with Clustering, *Michal Piorkowski, Natasa Sarafijanovoc – Djukic, Matthias Grossglauser*, 2009
- [23] Routing Approaches in Delay Tolerant Networks: A Survey, *R. J. D’Souza, Johny Jose*, 2010