

- Όταν το πακέτο βρεθεί στο δικτύο προορισμού, παραλαμβάνεται από τον αντίστοιχο δρομολογητή και παραδίδεται στο τοπικό δίκτυο. Από εκεί οδηγείται στον υπολογιστή προορισμού όπου και ανεβαίνει ανάποδα τα επίπεδα μέχρι να φτάσει στο επίπεδο εφαρμογής. Τελικά, το επίπεδο εφαρμογής θα δώσει το πακέτο στην κατάλληλη εφαρμογή ολοκληρώνοντας έτσι τη διαδικασία μεταφοράς του πακέτου.

### 7.3 Πρωτόκολλο TCP

Το πρωτόκολλο *Ελέγχου Μετάδοσης*, *Transmission Control Protocol* ή *TCP* αποτελεί το βασικό πρωτόκολλο που βρίσκεται στο επίπεδο μεταφοράς της τεχνολογίας TCP/IP (το άλλο φυσικά είναι το UDP για το οποίο θα μιλήσουμε σε επόμενη ενότητα). Το TCP παρέχει αξιόπιστες υπηρεσίες, προσανατολισμένες σε σύνδεση, με επικοινωνία από άκρο σε άκρο (σχήμα 7.10).

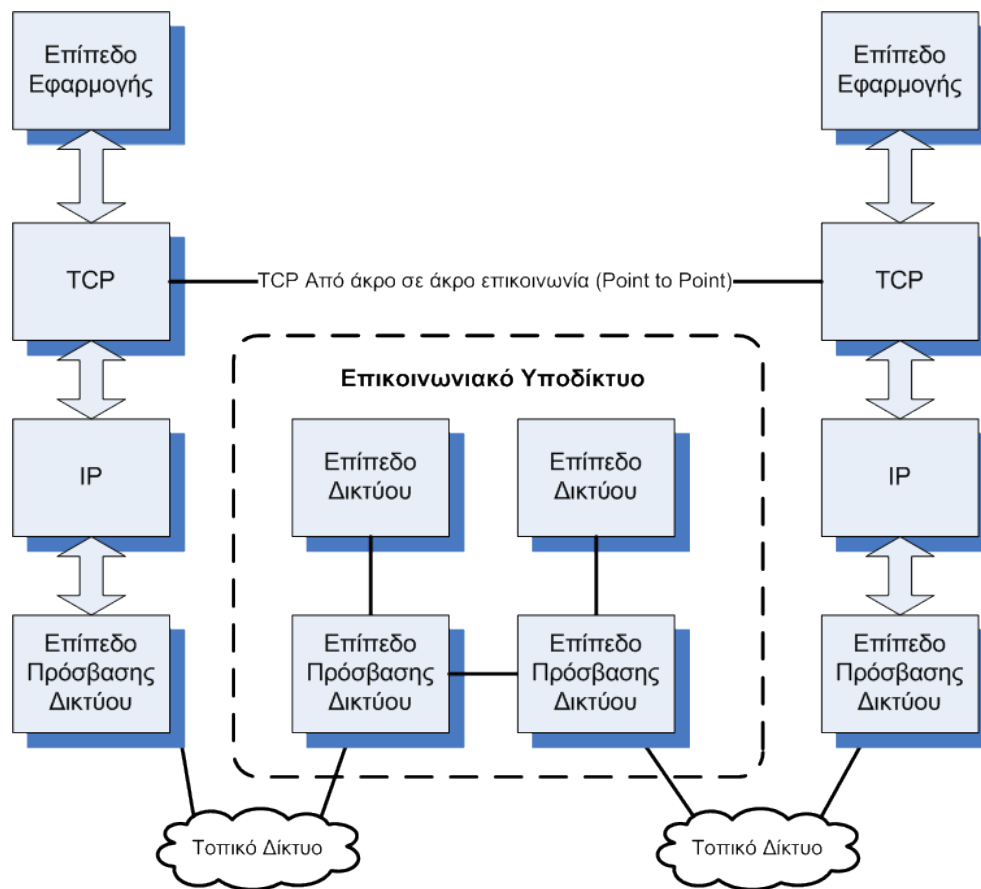
Το πρωτόκολλο TCP λαμβάνει τα προς μετάδοση δεδομένα από τα πρωτόκολλα του ανώτερου επιπέδου (Εφαρμογής). Για παράδειγμα λαμβάνει από το SMTP τα δεδομένα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που πρέπει να αποσταλούν στον απομακρυσμένο αντίστοιχο εξυπηρετητή. Το TCP μεταδίδει μόνο όταν το πλήθος των δεδομένων που έχει λάβει είναι επαρκές για να συμπληρωθεί το μέγεθος του πακέτου που έχει συμφωνηθεί κατά την εγκατάσταση της σύνδεσης. Από την άλλη όταν λάβει δεδομένα τα οποία υπερβαίνουν αυτό το μέγεθος πακέτου, τα σπάει σε μικρότερα (σχήμα 7.11). Τα μικρότερα αυτά πακέτα στην ορολογία του TCP ονομάζονται *τμήματα* ή *segments*. Το *τμήμα* αποτελεί την μονάδα μεταφοράς στο πρωτόκολλο TCP.

Κάθε τμήμα αποτελείται από την *Επικεφαλίδα* (*Header*) και τα προς μετάδοση *Δεδομένα* (*Data*). Η επικεφαλίδα γενικά αποτελείται από τα βοηθητικά δεδομένα που προσθέτει το TCP και είναι απαραίτητα για τη μετάδοση. Τα δεδομένα είναι φυσικά κομμάτια των πραγματικών δεδομένων του χρήστη που θα μεταφερθούν από το συγκεκριμένο τμήμα.

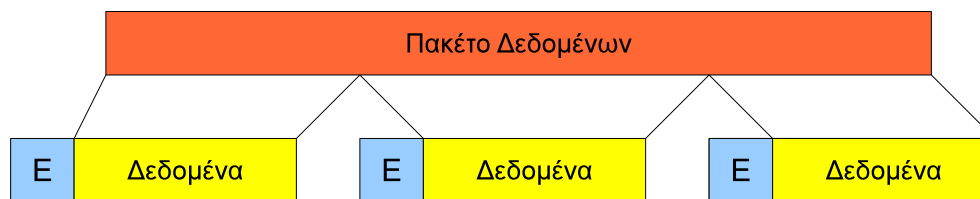
Η επικεφαλίδα περιέχει αρκετά πεδία, αλλά αυτά που μας απασχολήσουν σε αυτή την ενότητα είναι:

- Ο **Αριθμός Σειράς** ή Sequence Number
- Ο **Αριθμός Επιβεβαίωσης** ή Acknowledgment number
- Το **Παράθυρο** ή Window Size
- Οι **Θύρες (ports) TCP** αφετηρίας και προορισμού

Μπορείτε πάντως να δείτε την πλήρη μορφή της επικεφαλίδας TCP στο σχήμα 7.12 (πηγή: Wikipedia). Τα δεδομένα που έχουν χωρισθεί σε τμήματα πρέπει όταν φτάσουν στον προορισμό τους να ενωθούν ξανά για να δημιουργήσουν το αρχικό μεγαλύτερο



Σχήμα 7.10: Επικοινωνία στο Επίπεδο Δικτύου



Σχήμα 7.11: Διάσπαση δεδομένων σε TCP τμήματα

πακέτο. Για να γίνει αυτό πρέπει να μπουν στη σωστή σειρά. Αυτή είναι και η λειτουργία του πεδίου που ονομάζεται *Αριθμός Σειράς*. Κάθε τμήμα έχει το δικό του αριθμό σειράς, ο οποίος δηλώνει σε ποια θέση πρέπει να μπει το συγκεκριμένο τμήμα μαζί με τα υπόλοιπα για να δημιουργηθεί ξανά το αρχικό πακέτο. Για παράδειγμα, αν ο αριθμός σειράς έχει την τιμή 3, σημαίνει ότι πρόκειται για το τρίτο σε σειρά τμήμα από αυτά που διασπάστηκε το αρχικό πακέτο.

**TCP Header**

Bit offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
0	Source port																Destination port																				
32	Sequence number																																				
64	Acknowledgment number																																				
96	Data offset				Reserved				C	E	U	A	P	R	S	F	Window Size																				
								W	C	R	C	S	S	S	I	N																					
128	Checksum																Urgent pointer																				
160	Options (if Data Offset > 5)																																				
...	...																																				

Σχήμα 7.12: Επικεφαλίδα (Header) TCP

Καθώς η επικοινωνία βρίσκεται σε εξέλιξη, ο παραλήπτης πρέπει να μπορεί να επιβεβαιώνει στον αποστολέα ότι λαμβάνει δεδομένα. Για το σκοπό αυτό ο παραλήπτης στέλνει τμήματα επιβεβαίωσης λήψης χρησιμοποιώντας στην επικεφαλίδα τους τον *Αριθμό Επιβεβαίωσης*. Ο αριθμός επιβεβαίωσης δηλώνει ότι έχουν ληφθεί όλες οι οκτάδες (bytes) μέχρι και αυτό τον αριθμό. Για παράδειγμα, ο αριθμός επιβεβαίωσης 1500 σημαίνει ότι έχουμε λάβει όλα τα δεδομένα μέχρι τον αριθμό οκτάδας 1500. Αν ο αποστολέας δεν λάβει επιβεβαίωση μέσα σε ένα λογικό χρονικό διάστημα, θα επαναλάβει τη μετάδοση των δεδομένων.

Το πρωτόκολλο TCP ελέγχει επίσης την ποσότητα των δεδομένων που μεταδίδονται κάθε φορά. Η λειτουργία αυτή είναι γνωστή ως *έλεγχος ροής* και πραγματοποιείται με τη βοήθεια του πεδίου επικεφαλίδας τμήματος που ονομάζεται *Παράθυρο (Window size)*. Για να έχουμε την καλύτερη δυνατή απόδοση η μετάδοση είναι συνεχής, δηλ. ο αποστολέας δεν περιμένει να λάβει επιβεβαίωση λήψης ενός τμήματος για να στείλει το επόμενο (διαφορετικά θα είχαμε πολύ μικρό ρυθμό μετάδοσης). Από την άλλη βέβαια δεν μπορεί να γίνεται συνέχεια αποστολή χωρίς κάποιο είδος επιβεβαίωσης λήψης. Αν στέλνουμε με ταχύτητα πολύ μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να δεχθεί ο απομακρυσμένος υπολογιστής, κάποια στιγμή θα γεμίσει η ενδιάμεση μνήμη που χρησιμοποιείται για την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων και ο παραλήπτης θα αρχίσει να απορρίπτει τα εισερχόμενα δεδομένα αφού δεν θα έχει που να τα αποθηκεύσει. Για το λόγο αυτό και τα δύο άκρα της σύνδεσης πρέπει να υποδεικνύουν πόσα δεδομένα μπορούν να δεχθούν κάθε φορά, βάζοντας τον αντίστοιχο αριθμό οκτάδων στο πεδίο “Παράθυρο” της επικεφαλίδας.

**Παράδειγμα:** Αν η τιμή του παραθύρου είναι 1000, σημαίνει ότι ο υπολογιστής είναι έτοιμος να δεχθεί 1000 οκτάδες δεδομένων. Αν η τιμή του πεδίου “Αριθμός Επιβεβαίωσης” είναι 12000, ο υπολογιστής είναι έτοιμος να δεχθεί δεδομένα που βρίσκονται στην περιοχή από 12000 μέχρι  $12000+1000=13000$ . Έχει δηλ. ήδη λάβει όλα τα δεδομένα

μέχρι το 12000.

(**Σημείωση:** Για να μην αναρωτιέστε, το βιβλίο εδώ είναι “off by one”. Αφού έχει λάβει μέχρι το 12000, η περιοχή είναι από το 12001 μέχρι το 13001.)

---

Τέλος υπάρχει η έννοια των *θυρών TCP (TCP ports)*. Το σχολικό βιβλίο γράφει ότι τα TCP ports είναι “αφηρημένα σημεία επικοινωνίας” αλλά αυτό δεν εξηγεί τη χρήση τους. Αν θέλαμε να δώσουμε ένα ορισμό για τη θύρα TCP θα λέγαμε ότι είναι ένας αριθμός που χαρακτηρίζει πλέον μέσα στο μηχάνημα του αποστολέα (ή του παραλήπτη) την ίδια την εφαρμογή που πρόκειται να λάβει τα δεδομένα του συγκεκριμένου TCP τμήματος.

Για να γίνουμε πιο συγκεκριμένοι, σκεφτείτε ότι ένα TCP τμήμα που λαμβάνεται σαν τμήμα μιας μετάδοσης δεν ξέρει σε ποια εφαρμογή να κατευθυνθεί. Το πρόβλημα δεν θα υπήρχε προφανώς αν ένας υπολογιστής εκτελούσε κάθε φορά μόνο μια εφαρμογή επικοινωνίας (π.χ. αν μπορούσαμε να δούμε μόνο μια σελίδα στο Internet κάθε φορά, και να μην εκτελούμε ταυτόχρονα καμιά άλλη δικτυακή εφαρμογή), αλλά αυτό δεν συμβαίνει. Το πρόβλημα λύνεται αν κάθε τμήμα περιέχει μέσα του ένα αριθμό θύρας που θα το κατευθύνει στην εφαρμογή για την οποία προορίζεται.

Έτσι, όταν για παράδειγμα ανοίξουμε ένα φυλλομετρητή όπως το Firefox και αρχίσουμε να βλέπουμε μια σελίδα, τα τμήματα TCP που φεύγουν από τον υπολογιστή μας ως κομμάτι της συγκεκριμένης επικοινωνίας, χαρακτηρίζονται από ένα αριθμό ο οποίος είναι η *θύρα αφετηρίας*. Τα τμήματα αυτά περιέχουν επίσης και μια *θύρα προορισμού* η οποία εξασφαλίζει ότι όταν το τμήμα ληφθεί από το μηχάνημα προορισμού θα κατευθυνθεί στη σωστή εφαρμογή (στη συγκεκριμένη περίπτωση στον εξυπηρετητή ιστοσελίδων). Τα τμήματα που θα λάβουμε ως απάντηση, θα έχουν πλέον ως θύρα προορισμού την ίδια με την οποία ξεκινήσαμε την επικοινωνία, και άρα θα κατευθυνθούν στο ίδιο παράθυρο του Firefox.

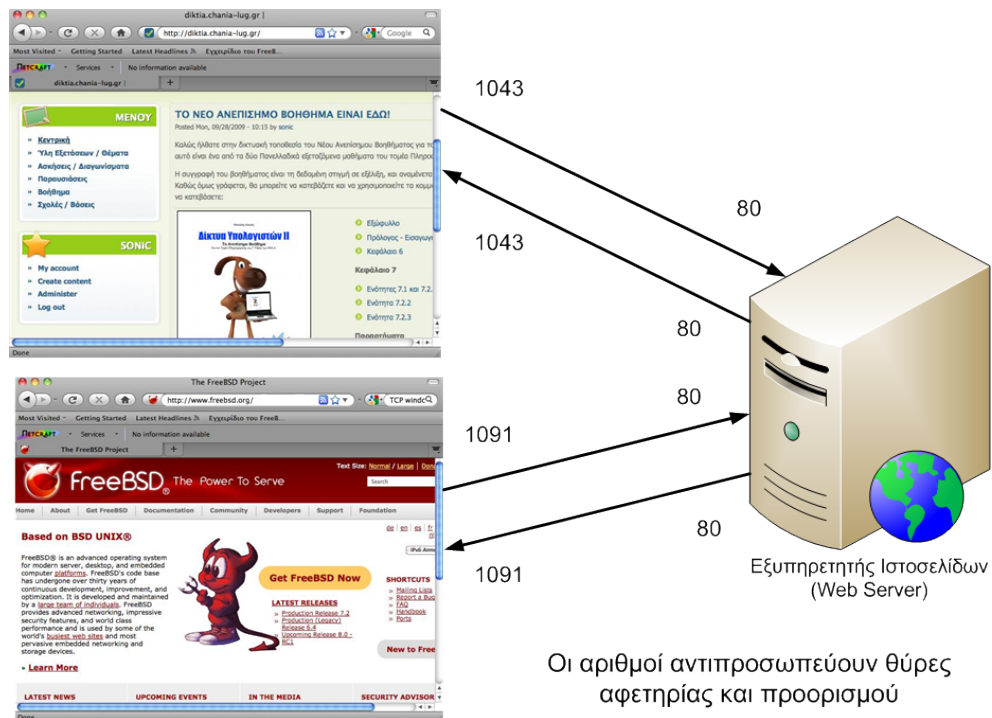
Αν χρησιμοποιήσουμε το Firefox για να βλέπουμε πολλαπλές σελίδες (π.χ. ανοίξουμε πολλά παράθυρα ή tabs), τα τμήματα TCP για κάθε σελίδα θα χαρακτηρίζονται από διαφορετικούς αριθμούς θυρών αφετηρίας, και άρα τα δεδομένα που θα λαμβάνουμε ως απάντηση θα μπορούν πάντα να κατευθυνθούν στο σωστό παράθυρο. Δείτε και το σχήμα 7.13.

---

**Καταλαβαίνετε** γιατί υπάρχει πρόβλημα στο σχήμα 7-10 του βιβλίου;

---

**Παράδειγμα από την καθημερινότητα:** Αν όλοι κατοικούσαμε σε μονοκατοικίες, ο ταχυδρόμος δεν θα χρειαζόταν παρά μόνο τη διεύθυνση μας (οδός/αριθμός) για να μας παραδώσει ένα δέμα. Η διεύθυνση σε αυτή την περίπτωση αντιστοιχεί στην IP



Υπολογιστής Χρήστη

Σχήμα 7.13: Λειτουργία Θυρών TCP

διεύθυνση του παραλήπτη. Επειδή όμως οι περισσότεροι μένουμε σε πολυκατοικίες, ο ταχυδρόμος πρέπει επίσης να ξέρει και τον όροφο/όνομα. Η διεύθυνση δύο παραληπτών (οδός/αριθμός, IP) μπορεί να είναι ίδια, διαφοροποιούνται όμως με βάση το όνομα/όροφο (αριθμός θύρας προορισμού).

Συνήθως, όταν γίνεται μια νέα σύνδεση TCP προσδιορίζονται αρχικά οι θύρες πηγής και προορισμού και γνωστοποιούνται και στα δύο άκρα. Στην πράξη, τα προγράμματα που χρησιμοποιούνται στη μεριά του πελάτη (π.χ. ο φυλλομετρητής που εκτελούμε για να δούμε μια σελίδα) επιλέγουν μια τυχαία θύρα TCP, η οποία ανατίθεται δυναμικά και αλλάζει για κάθε νέα σύνδεση (Σημείωση: Οι θύρες αυτές ονομάζονται μη-προνομιούχες (non-privileged) και επιλέγονται με αριθμούς πάνω από το 1024). Από τη μεριά των εξυπηρετητών, χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες, βάση σύμβασης, θύρες (λέγονται και προνομιούχες, privileged) οι οποίες έχουν από πριν συμφωνηθεί και έχουν αριθμούς κάτω από το 1024.

Για παράδειγμα, η θύρα που χρησιμοποιείται από τον εξυπηρετητή ιστοσελίδων είναι η 80. Όταν ζητάμε μια σελίδα μέσω του Firefox, τα τμήματα TCP που δημιουργούνται έχουν μια τυχαία θύρα αφετηρίας αλλά κατευθύνονται πάντα στη θύρα 80 του εξυπη-

ρητητή ιστοσελίδων που συνδεόμαστε. Αντίστοιχες τυποποιημένες θύρες υπηρεσιών υπάρχουν για κάθε σχεδόν πρόγραμμα εξυπηρετητή. Π.χ. για το πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων FTP η θύρα είναι η 21, για το πρωτόκολλο ταχυδρομείου SMTP η 25 κ.ο.κ. Οι εξυπηρετητές αυτοί πάντοτε λαμβάνουν και επεξεργάζονται όλα τα δεδομένα που κατευθύνονται στις θύρες τους (Σημείωση: Οι θύρες αυτές είναι γνωστές και ως *θύρες ακρόασης*, *listening ports*).