



Počítačové a komunikačné siete

**TCP**  
**Transmission Control Protocol**

Prednáška 4

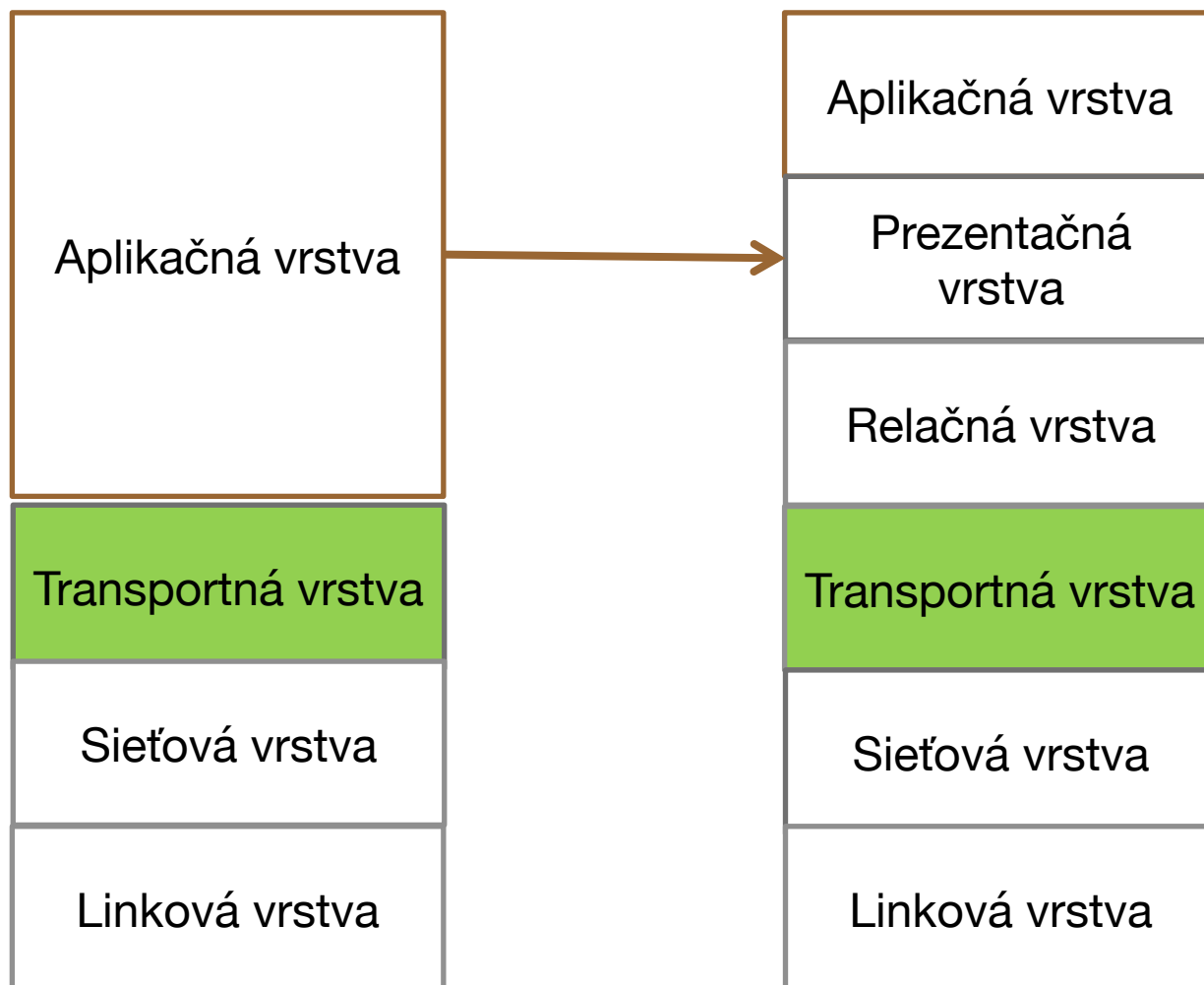
# Opakovanie minulej prednášky

- » Prezentačná vrstva
  - TLS
- » Relačná vrstva
  - SDP – nebolo na prednáške
- » Transportná vrstva – prenos cez sieť
  - UDP – využíva sa na zadaní

# Čo nás čaká na prednáške

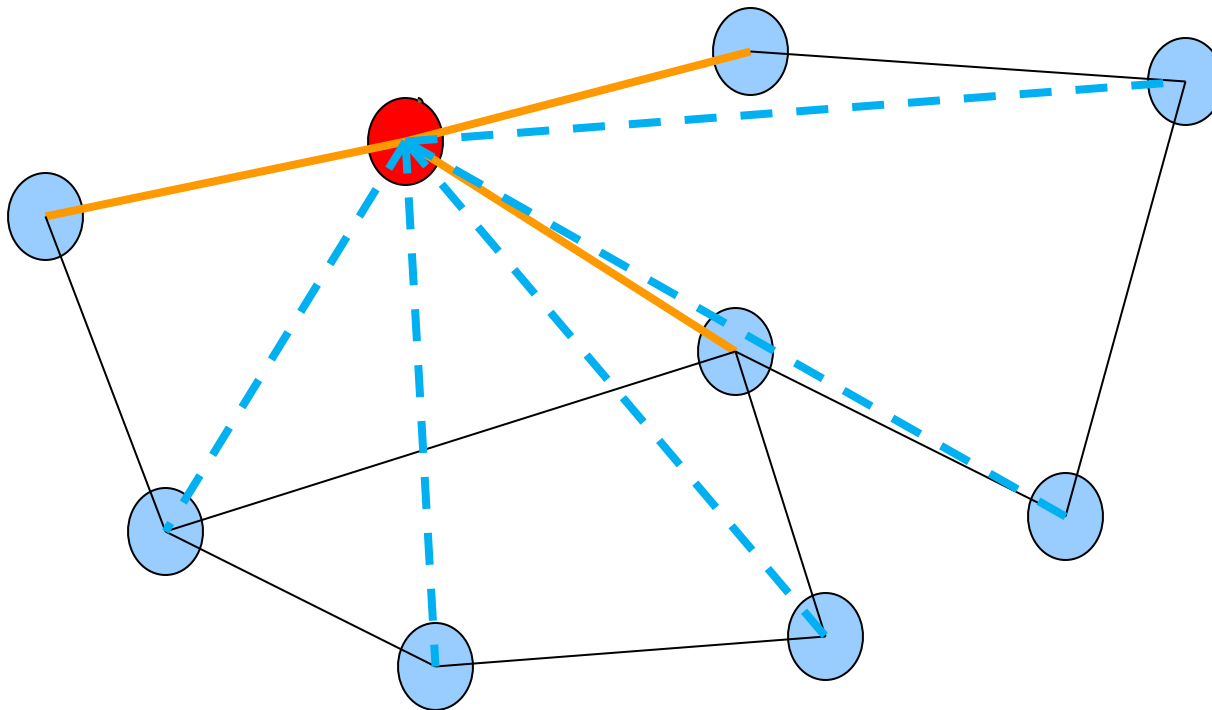
- » TCP (používané HTTP)
  - Riadenie toku (pomalé / rýchle linmky)
  - Potvrdzovanie dát (ACK, NACK)
  - Ukončenie spojenia
  - Znovuodoslanie dát

# Transportná vrstva



# Pohľad vrstiev na topoloógiu siete

## Transportná vrstva

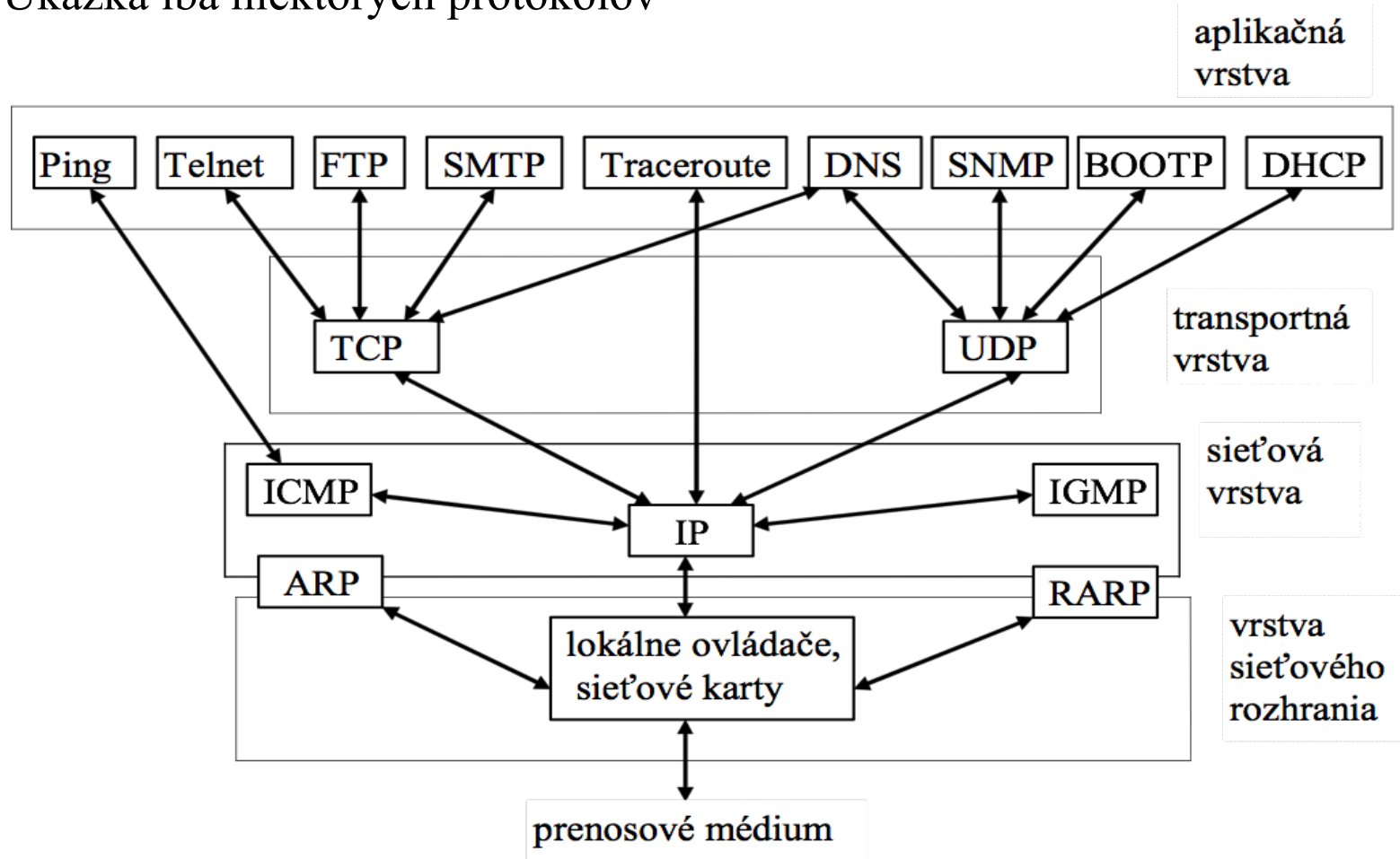


# Transportná vrstva RM OSI

- » poskytovateľ (relačnej vrstve) a žiadateľ služby (od sieťovej vrstvy)
- » služby so spojením a bez spojenia, s potvrdením a bez potvrdenia
- » multiplexovanie spojov

# Protokolový zásobník TCP/IP

Ukážka iba niektorých protokolov



# Transportná vrstva TCP/IP

## TCP (Transmission Control Protocol)

- služby so spojením, s potvrdením
- TCP ~ protokol triedy TP4
- prenos dát = prenos prúdu bajtov - segmenty
- multiplexovanie a demultiplexovanie

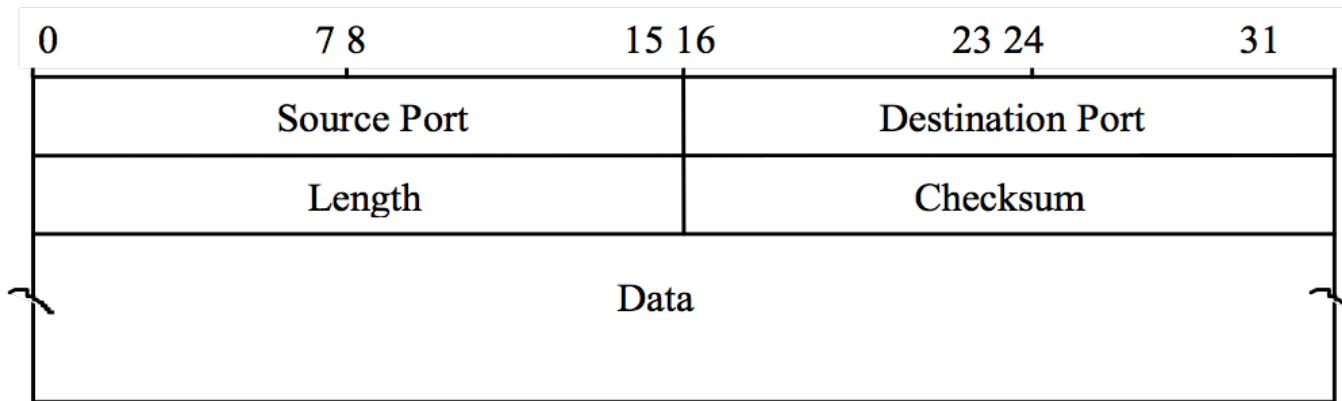
## UDP (User Datagram Protocol)

- služby bez spojenia, bez potvrdenia
- blokový prenos dát - datagramy
- multiplexovanie a demultiplexovanie

~~DCCP (Datagram Congestion Control Protocol)~~



# UDP datagram

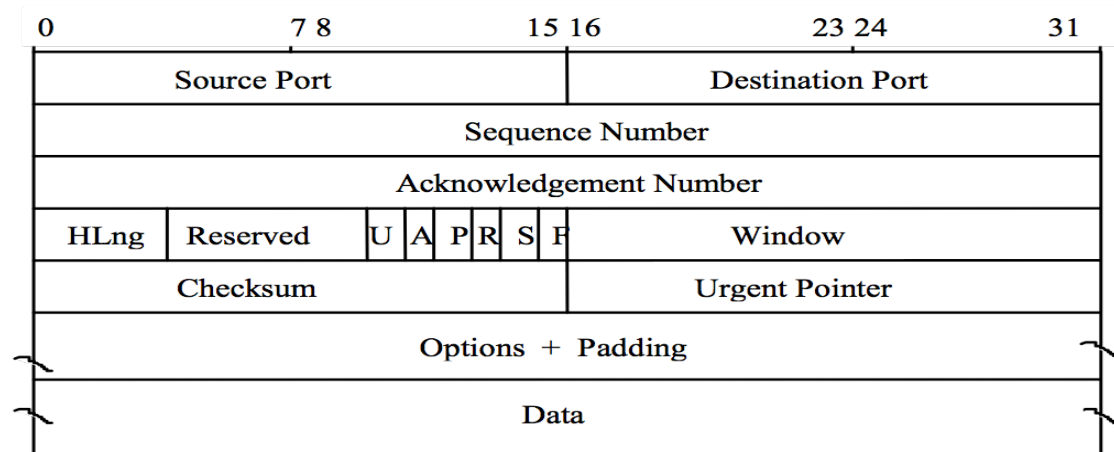


# Stručný úvod do TCP

- » protokol so spojením, s potvrdením, spoľahlivý prenos
- » prenos dát – prúd bajtov, počet vyslaných bajtov aplikáciou a TCP entitou môže byť rôzny
- » vyrovnávacie pamäte – segmentácia prúdu bajtov
- » TCP spojenie – plný duplex, dvojbodové

# Protokol TCP

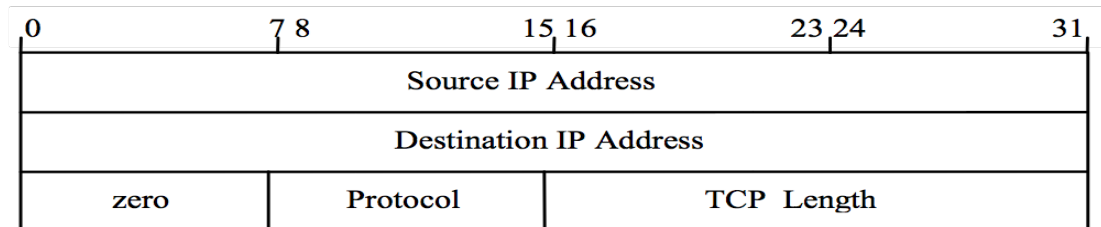
TCP segment



pseudohlavička

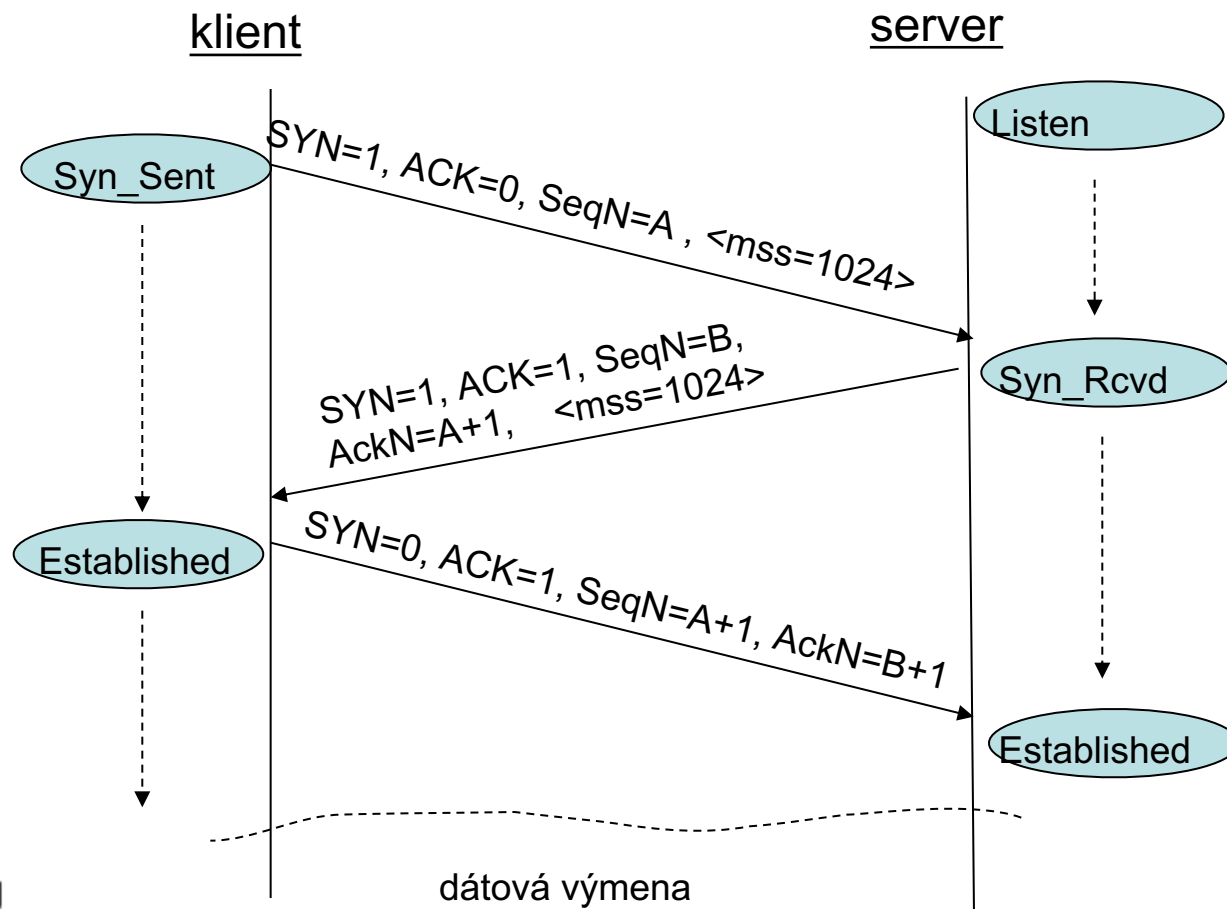
Niektoré voliteľné položky (options):

kind	length	význam
2	4	MSS
3	3	zváženie okna
4	2	povolenie SACK
5	prem.	SACK



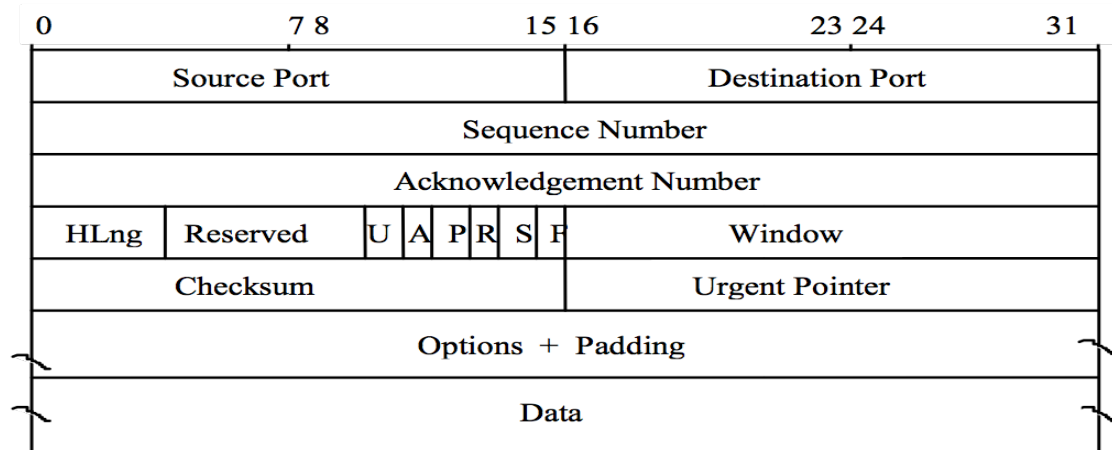
# Nadviazanie spojenia

- » Three way handshake
- » Kde sa SYN a ACK vlastne nachádzajú?



# Protokol TCP

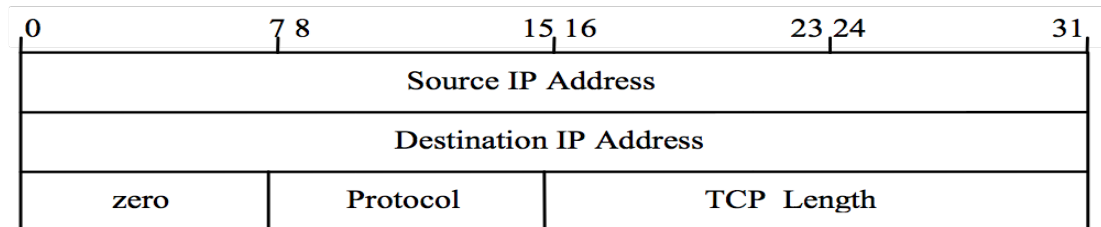
TCP segment



pseudohlavička

Niektoré voliteľné položky  
(options):

kind	length	význam
2	4	MSS
3	3	zváženie okna
4	2	povolenie SACK
5	prem.	SACK



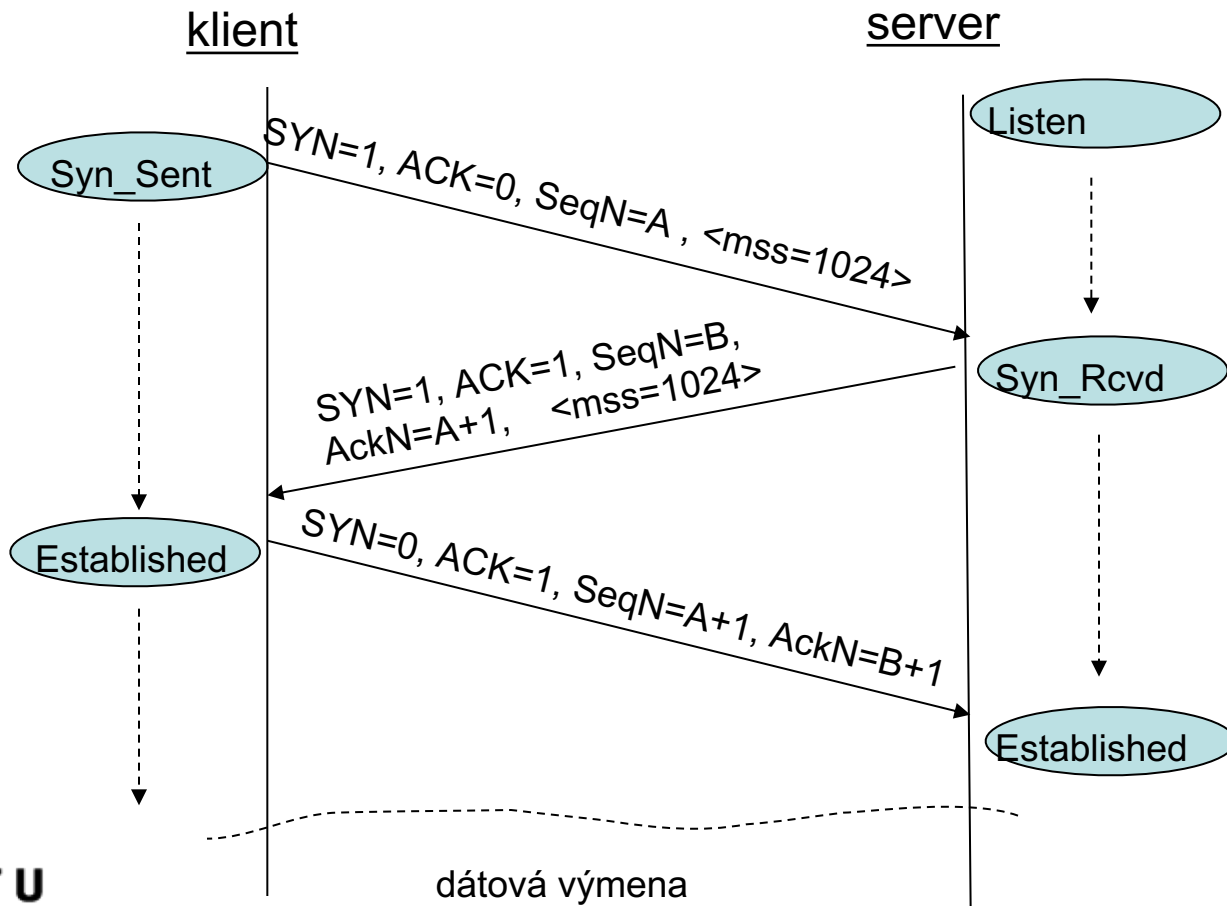
## Protokol TCP – časovače

- zriadenie spojenia (connection establishment timer)
- oneskorenie ACK (delayed ACK timer)
- testovanie nulového okna (persistence timer)
- opakovanie prenosu (retransmission timer)
- Fin\_Wait\_2 časovač
- Time\_Wait časovač (2MSL timer)
- *test živosti spojenia (keepalive timer)*

## Protokol TCP – časovače

- **zriadenie spojenia (connection establishment timer)**
- oneskorenie ACK (delayed ACK timer)
- testovanie nulového okna (persistence timer)
- opakovanie prenosu (retransmission timer)
- Fin\_Wait\_2 časovač
- Time\_Wait časovač (2MSL timer)
- *test živosti spojenia (keepalive timer)*

# Protokol TCP – zriadenie spojenia





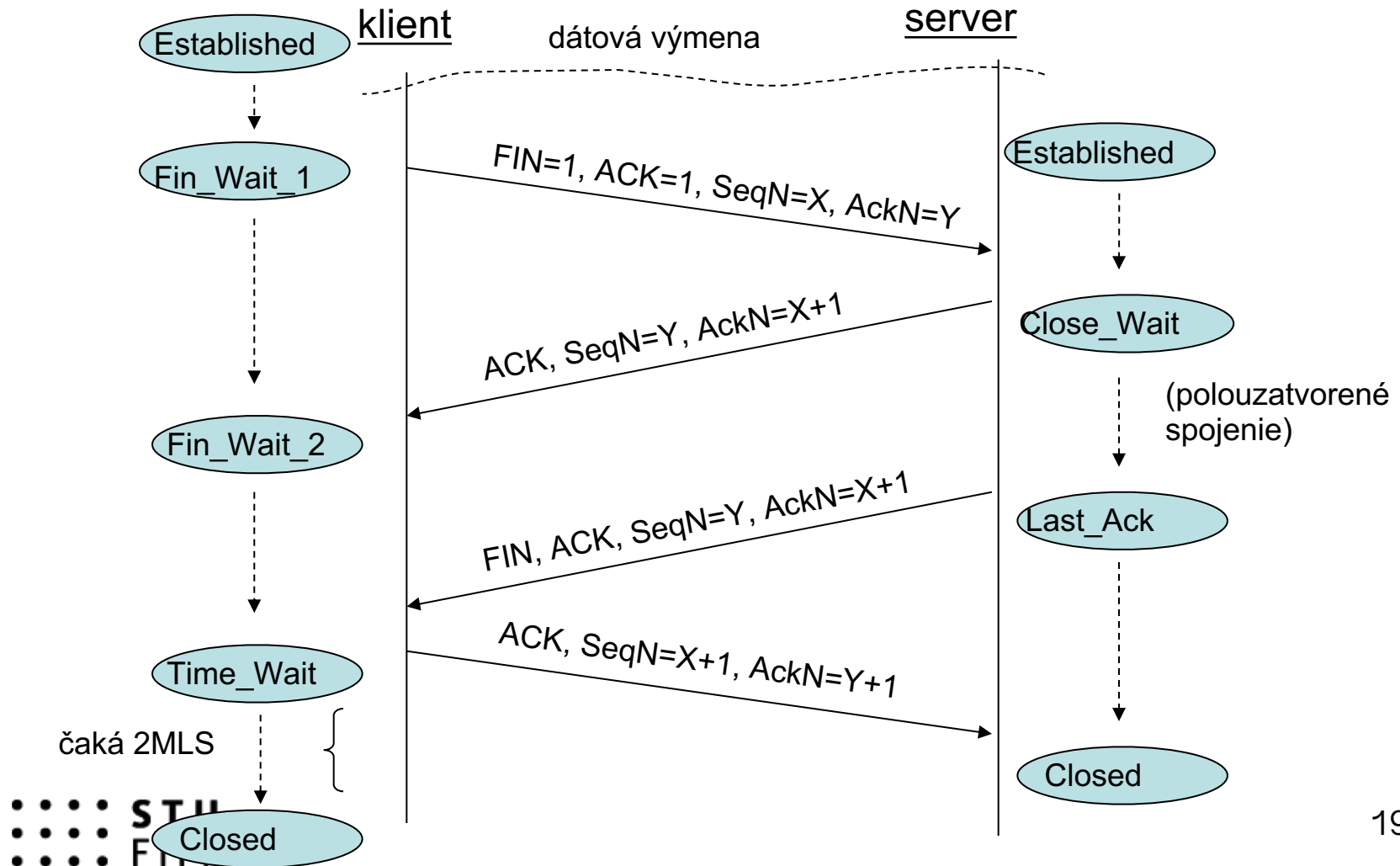
## Protokol TCP – časovače

- zriadenie spojenia (connection establishment timer)
- oneskorenie ACK (delayed ACK timer)
- testovanie nulového okna (persistence timer)
- opakovanie prenosu (retransmission timer)
- **Fin\_Wait\_2 časovač**
- **Time\_Wait časovač (2MSL timer)**
- *test živosti spojenia (keepalive timer)*



# Protokol TCP – ukončenie spojenia

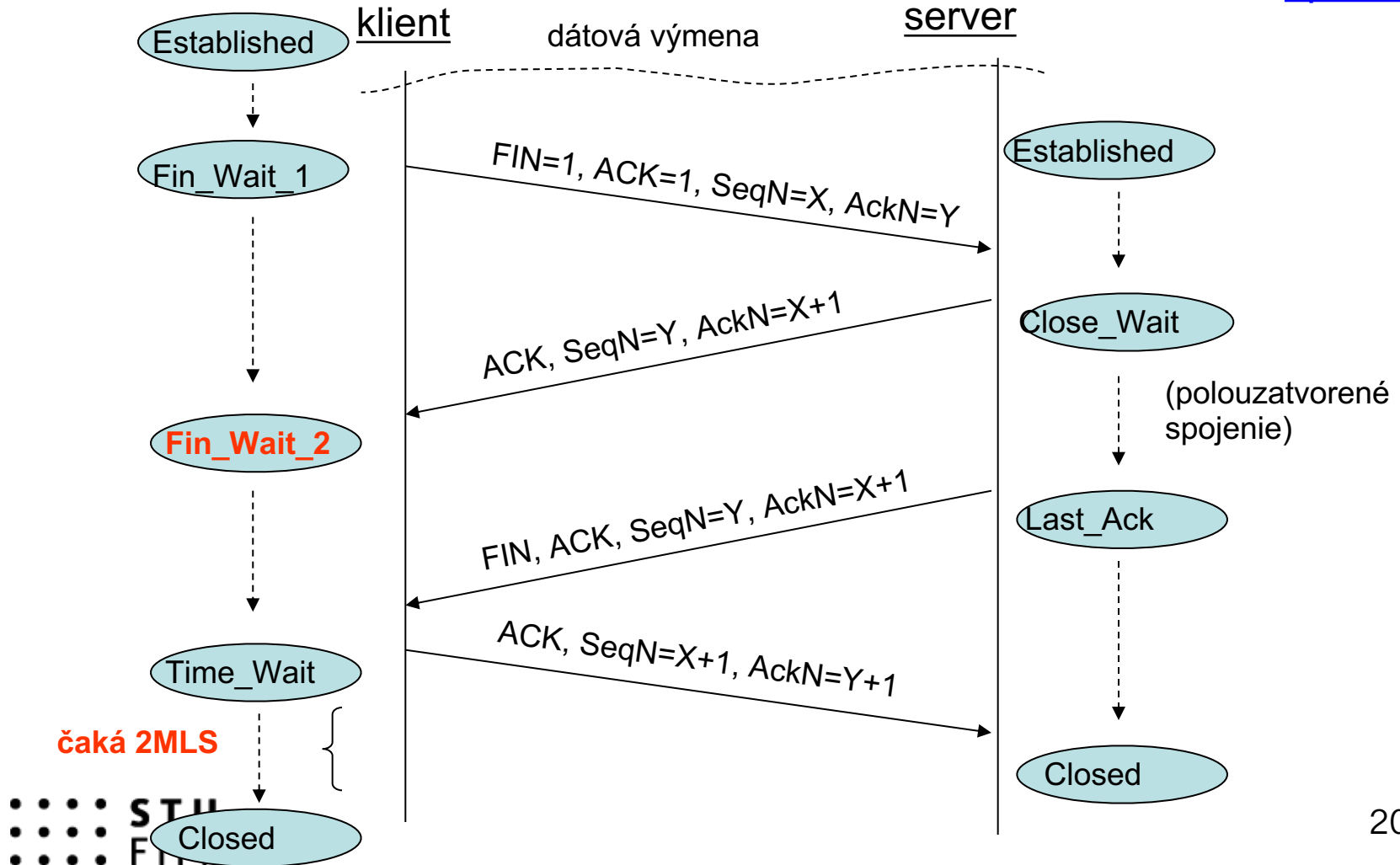
- výmena štyroch segmentov



# Protokol TCP – ukončenie spojenia

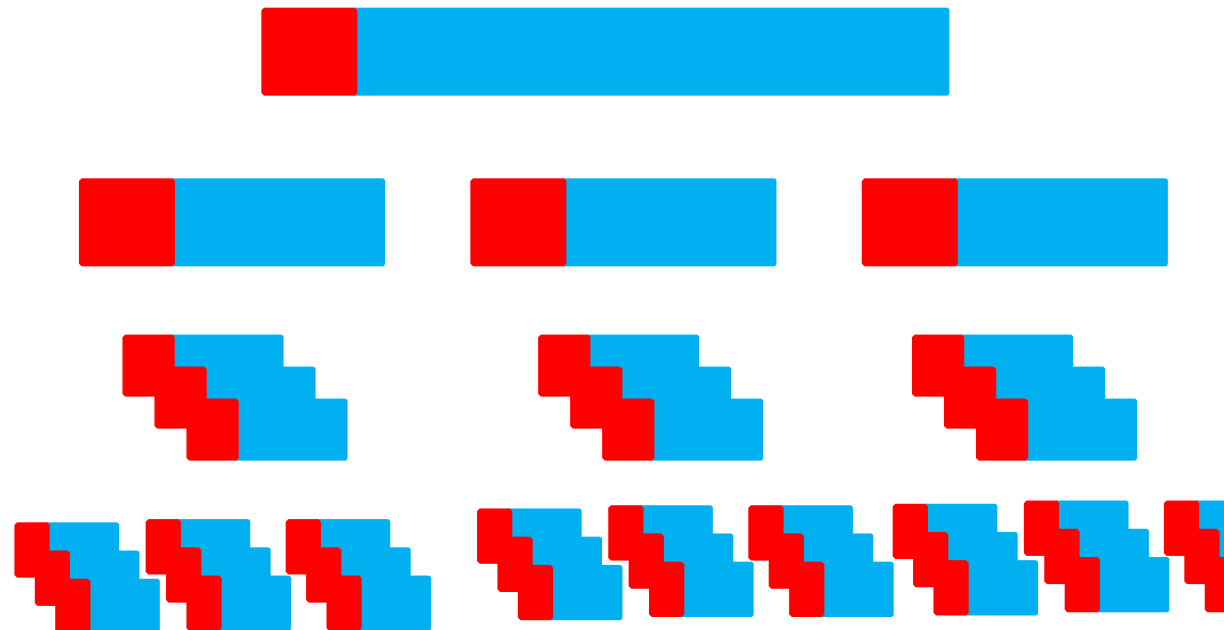
- výmena štyroch segmentov

[ftp111.pcap](http://ftp111.pcap)



# Vnáranie stránky do paketov

Aplikácia (Web)
Aplikačná vrstva (HTTP)
Transportná vrstva (TCP)
Sieťová vrstva (IP)
Linková vrstva (Ethernet/WiFi)



# Číslo segmentu, číslo potvrdenia

Aplikácia (Web)
Aplikačná vrstva (HTTP)
Transportná vrstva (TCP)



0

4999

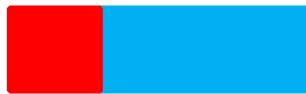


0 1499

1500 2999

3000 4499

SN: 111



SN: 111

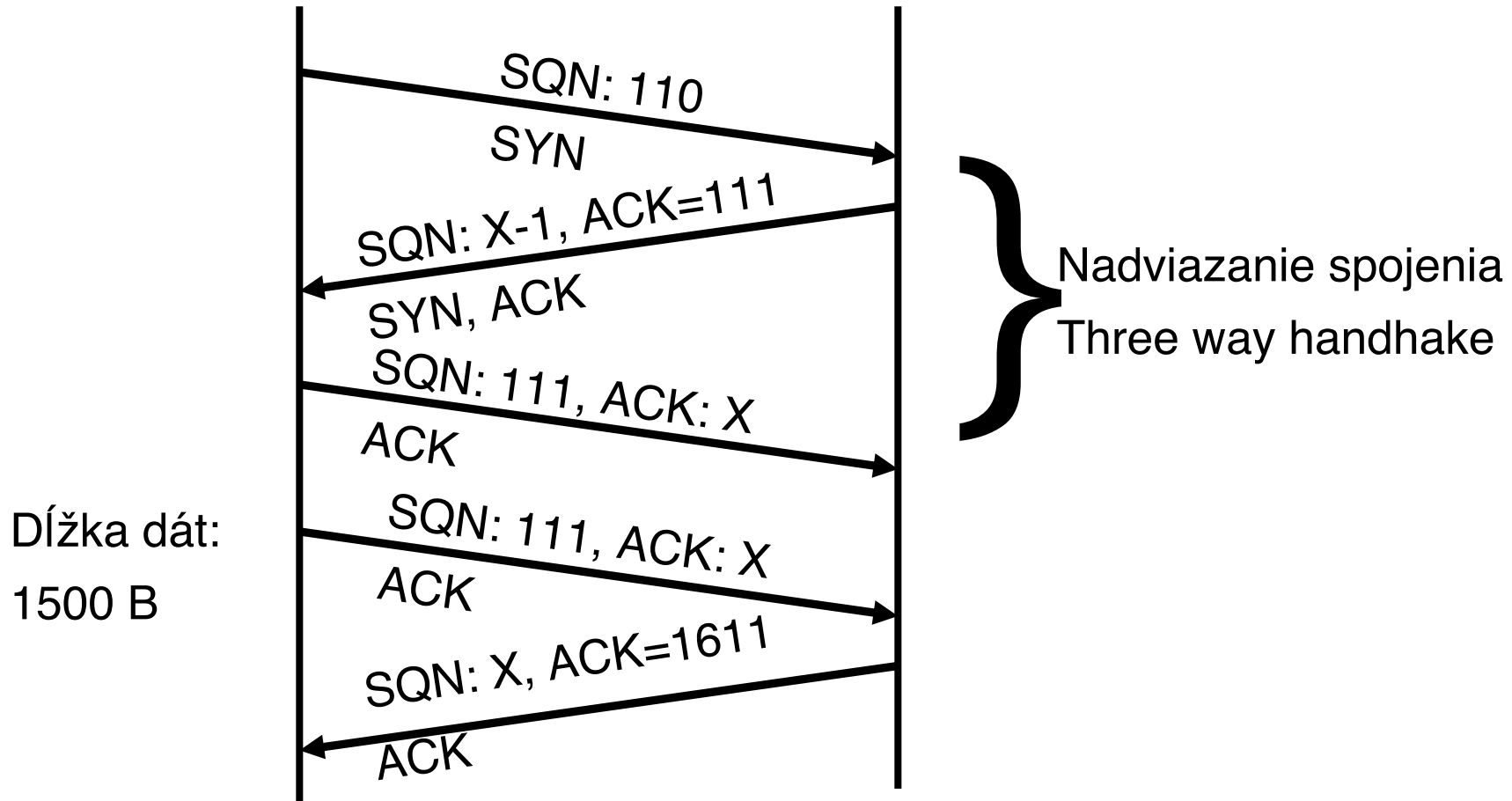
SN:1611

SN: 3111

ACK: 1611

ACK:3111. ACK:4611

# Segment number, ACK number

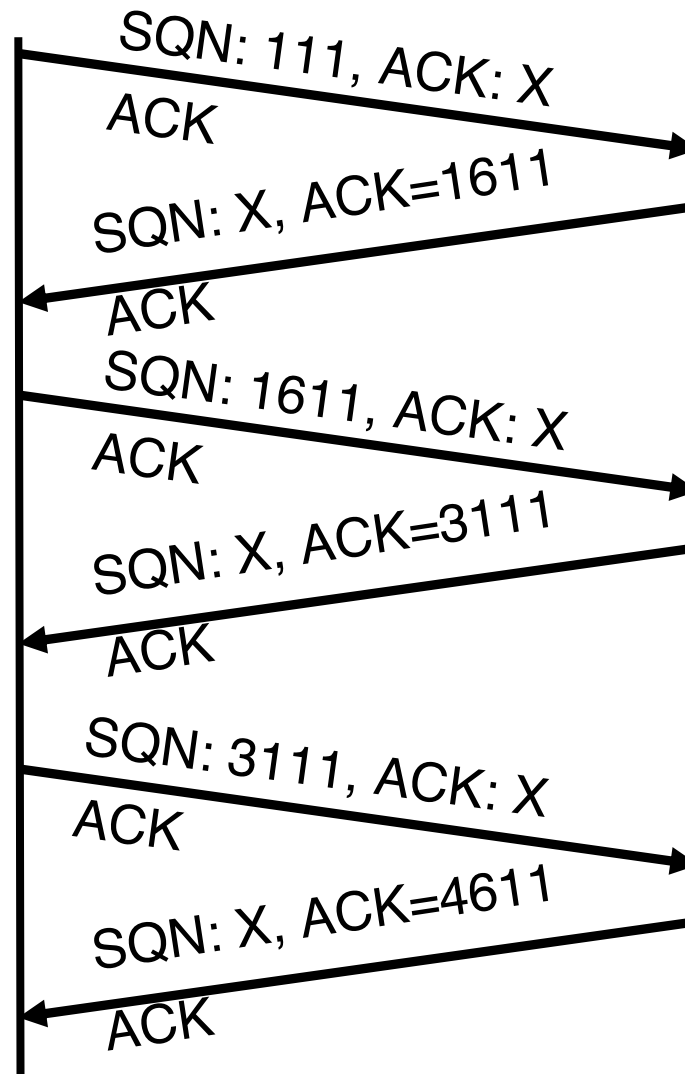


# Segment number, ACK number

Dĺžka dát:  
1500 B

Dĺžka dát:  
1500 B

Dĺžka dát:  
1500 B



Opakovaná správa  
z predchádzajúceho slajdu

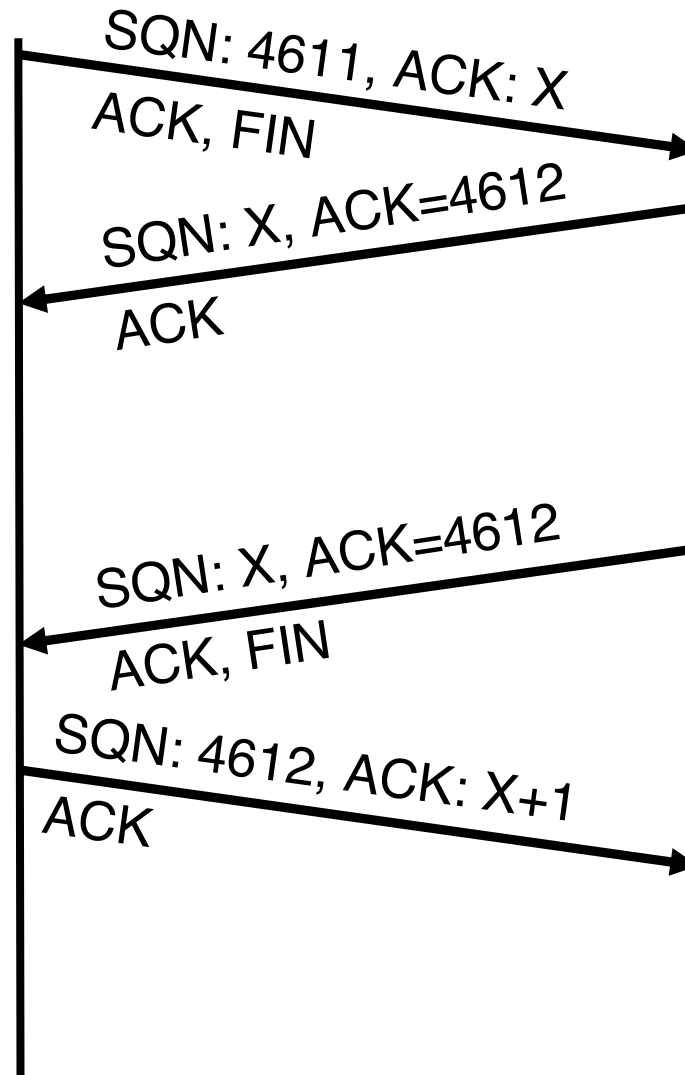


# Segment number, ACK number

Dížka dát:  
1500 B

Dížka dát:  
1500 B

Dížka dát:  
1500 B



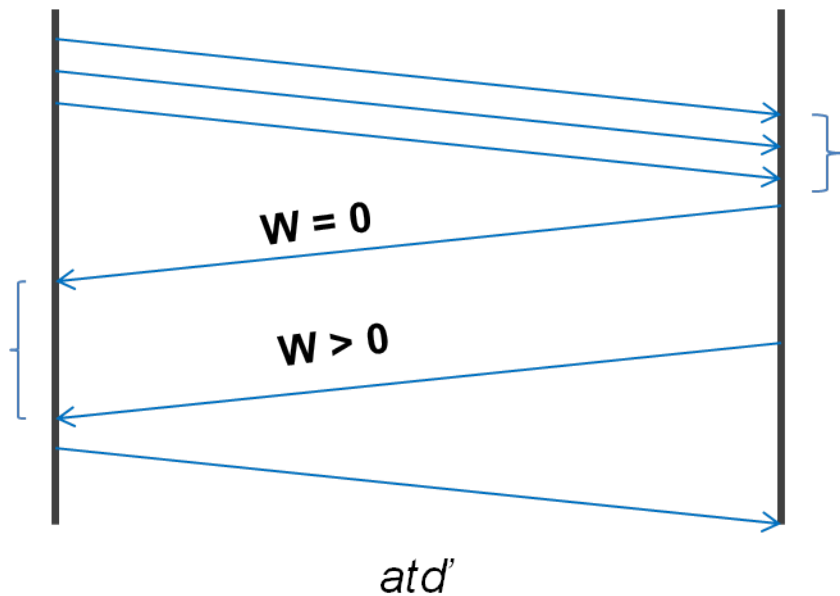
## Protokol TCP – časovače

- zriadenie spojenia (connection establishment timer)
- **oneskorenie ACK (delayed ACK timer)**
- testovanie nulového okna (persistence timer)
- opakovanie prenosu (retransmission timer)
- Fin\_Wait\_2 časovač
- Time\_Wait časovač (2MSL timer)
- *test živosti spojenia (keepalive timer)*

## Protokol TCP – časovače

- zriadenie spojenia (connection establishment timer)
- oneskorenie ACK (delayed ACK timer)
- **testovanie nulového okna (persistence timer)**
- opakovanie prenosu (retransmission timer)
- Fin\_Wait\_2 časovač
- Time\_Wait časovač (2MSL timer)
- *test živosti spojenia (keepalive timer)*

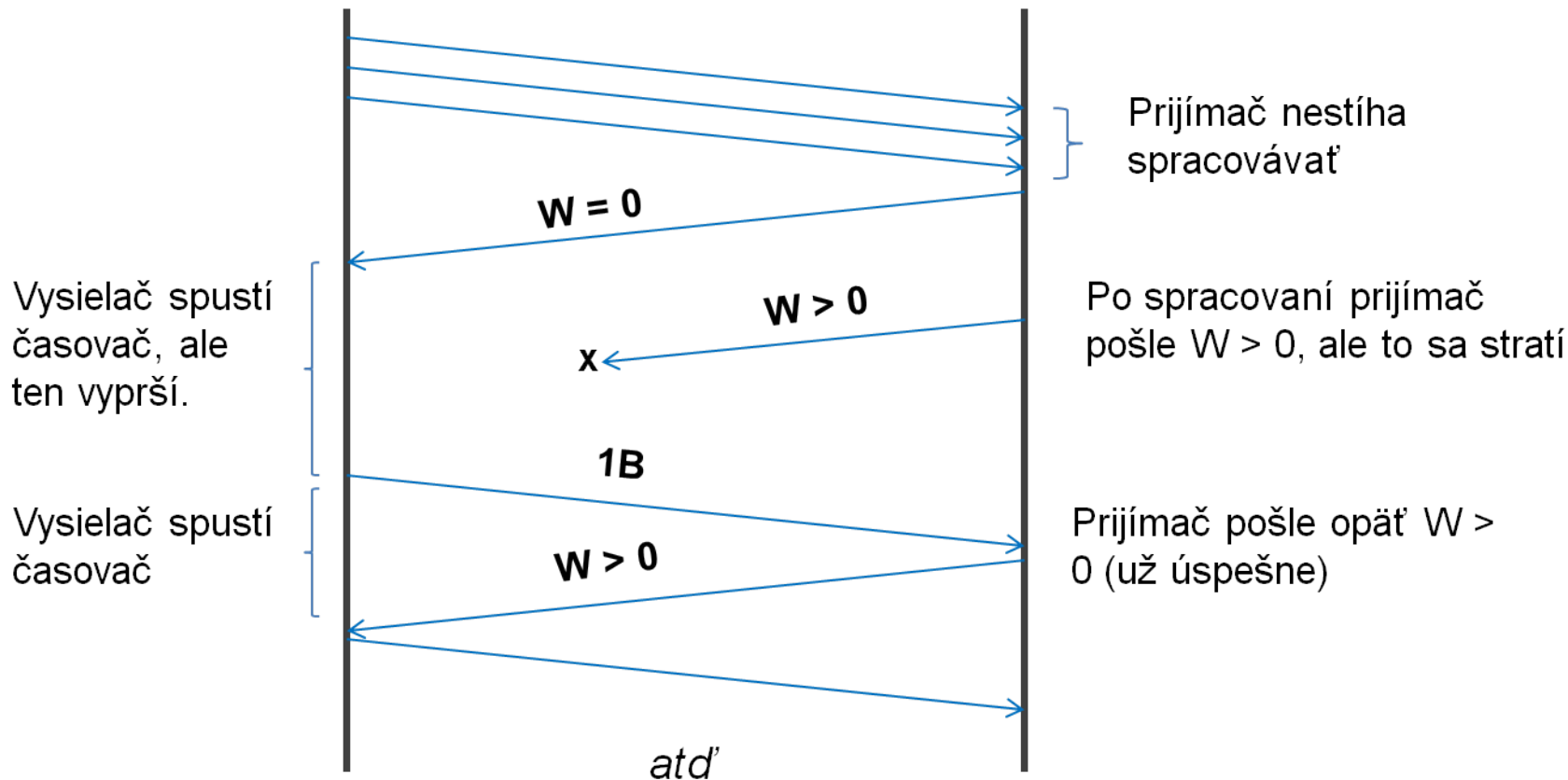
Vysielač spustí  
časovač



Prijímač nestíha  
spracovávať

Po spracovaní prijímač  
pošle  $W > 0$

$atd'$

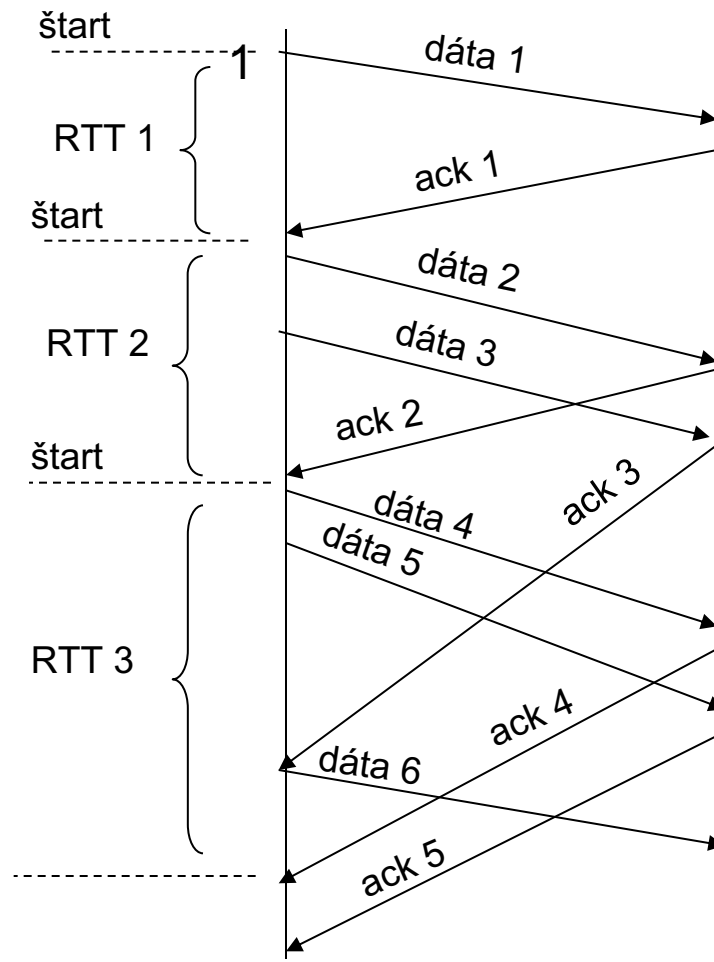


## Protokol TCP – časovače

- zriadenie spojenia (connection establishment timer)
- oneskorenie ACK (delayed ACK timer)
- testovanie nulového okna (persistence timer)
- **opakovanie prenosu (retransmission timer)**
- Fin\_Wait\_2 časovač
- Time\_Wait časovač (2MSL timer)
- *test živosti spojenia (keepalive timer)*

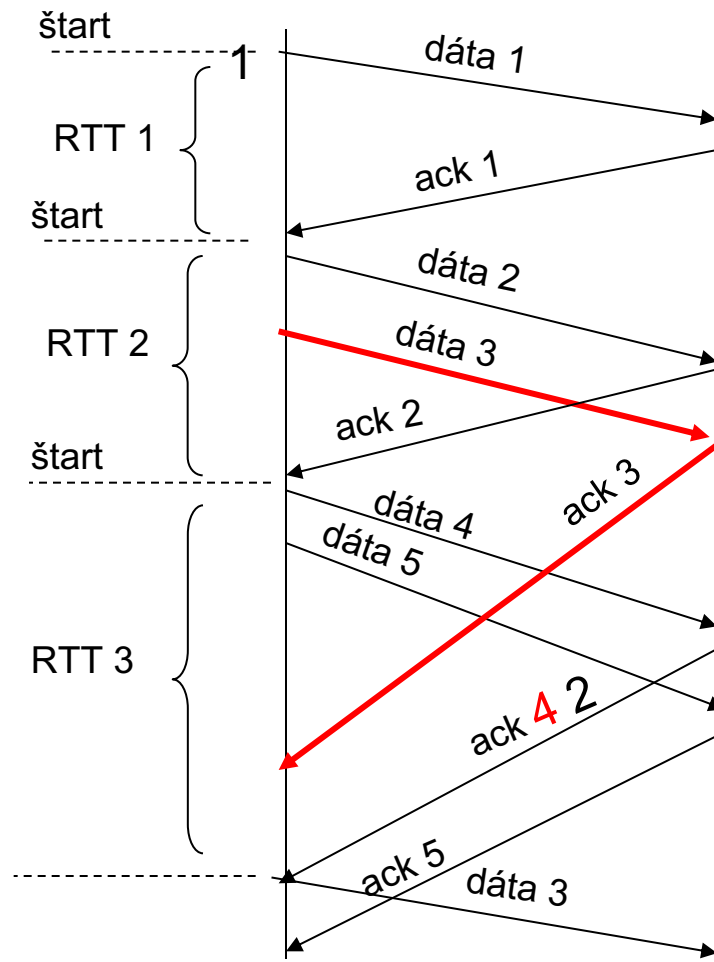
# Protokol TCP – opakovanie prenosu dát

- meranie RTT (Round-Trip Time)
- nastavenie časovača opakovania prenosu - RTO (retransmission timeout)
- $RTO = f(RTT)$
- $RTT = f(RTT, M^{RTT})$   
 $M^{RTT}$  - merané RTT



# Protokol TCP – opakovanie prenosu dát

- meranie RTT (Round-Trip Time)
- nastavenie časovača opakovania prenosu  
- RTO (retransmission timeout)
- $RTO = f(RTT)$
- $RTT = f(RTT, M^{RTT})$   
 $M^{RTT}$  - merané RTT





# Zabezpečenie proti chybám /4

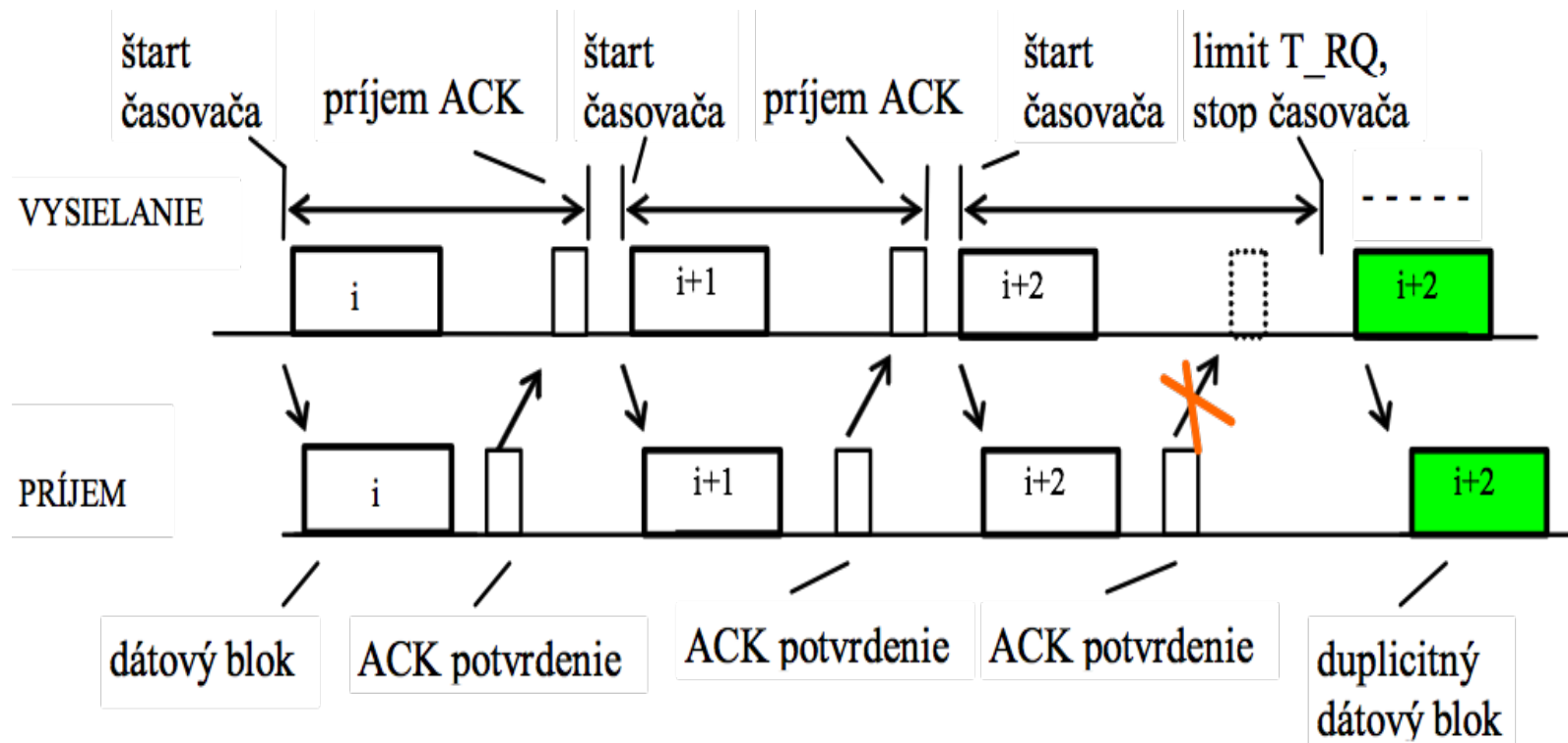
- spätnoväzobné ARQ metódy (Automatic Repeat reQuest)
  - typ potvrdenia
    - ACK  $\Rightarrow$  P-schéma
    - REJ (NAK)  $\Rightarrow$  N-schéma
    - ACK, REJ  $\Rightarrow$  A -schéma

# Zabezpečenie proti chybám /5

- spätnoväzobné ARQ metódy
  - spôsob vysielania
    - bloková ARQ (block, idle )
    - kontinuálna ARQ (continual)
      - selektívna ARQ (selective)
      - s návratom ARQ (go-back-N)

# Zabezpečenie proti chybám /6

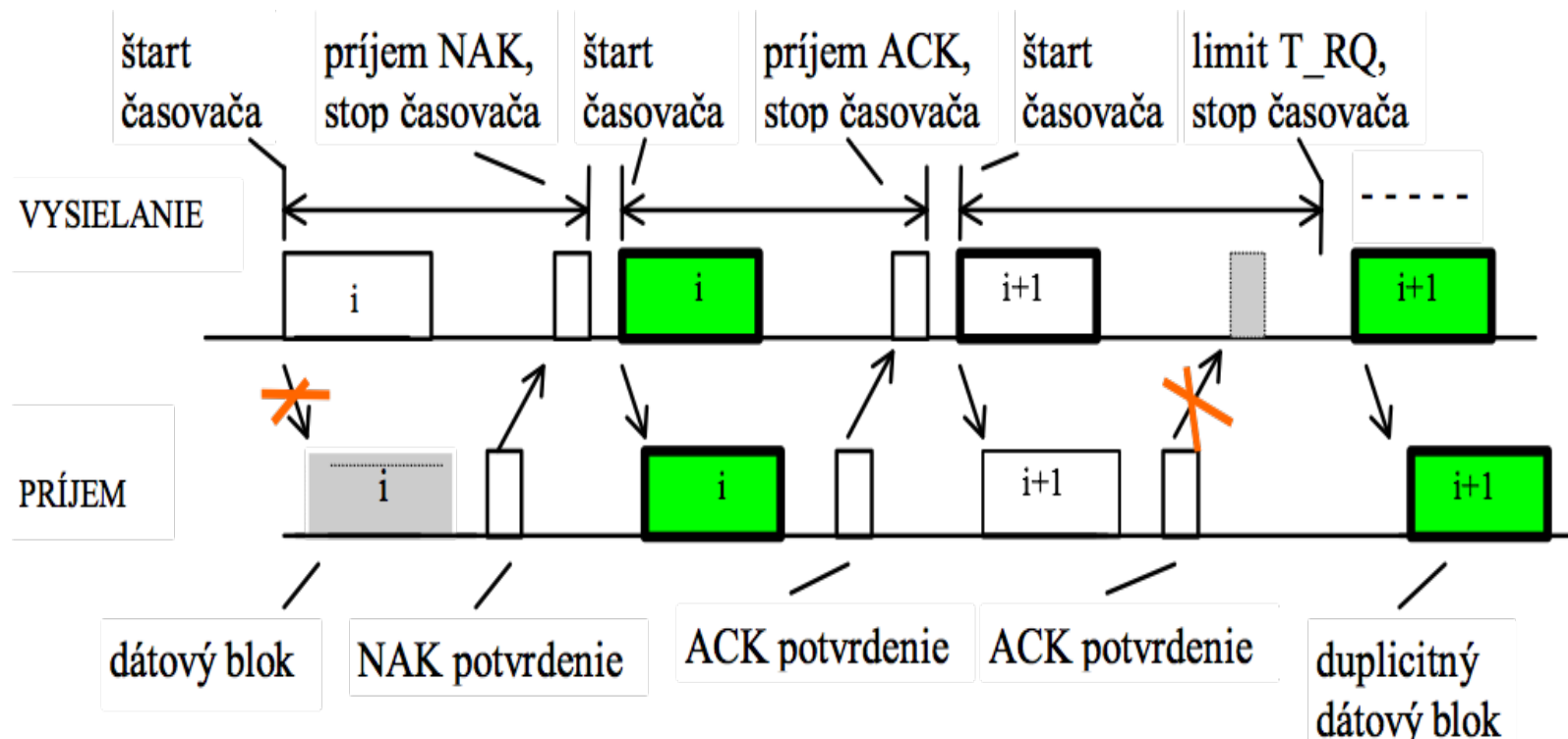
## Bloková ARQ - A-schéma chyba ACK potvrdenia



# Zabezpečenie proti chybám /7

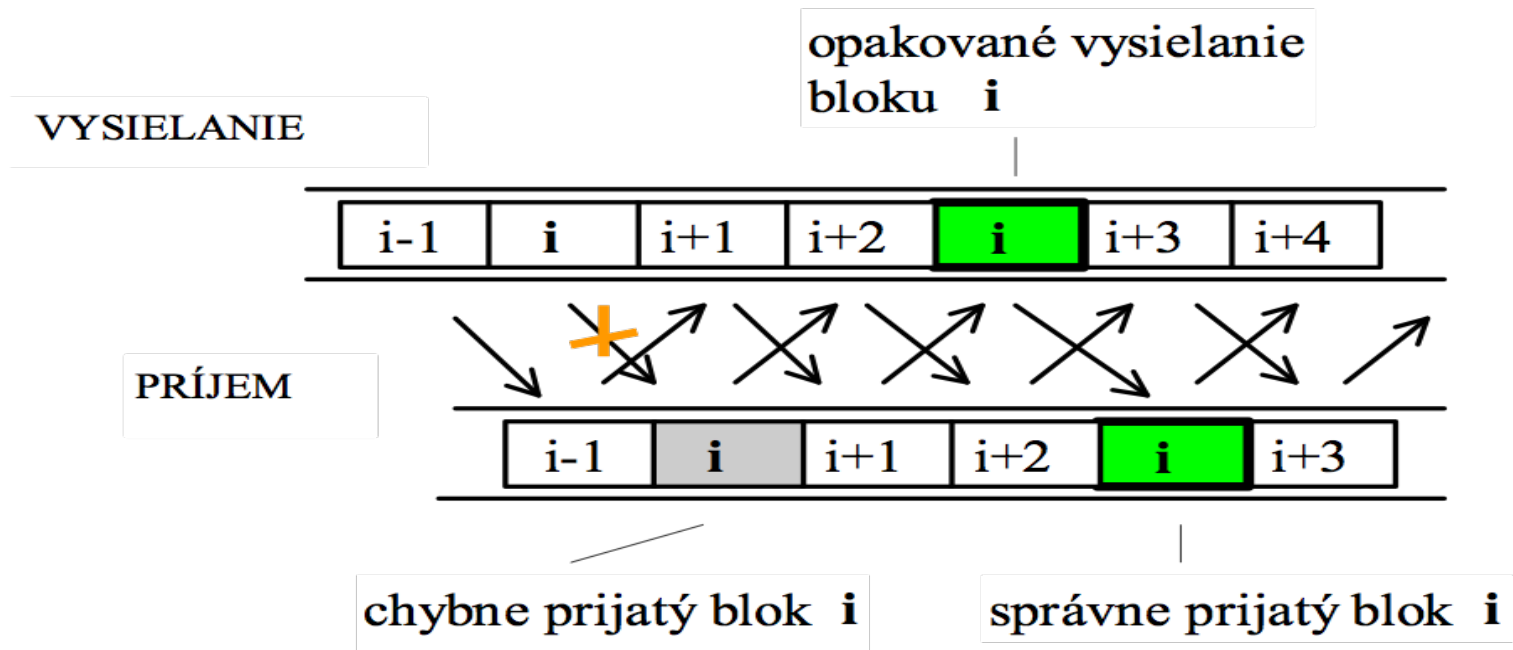
## Bloková ARQ - A-schéma

príjem chybného i-teho bloku a chyba ACK potvrdenia



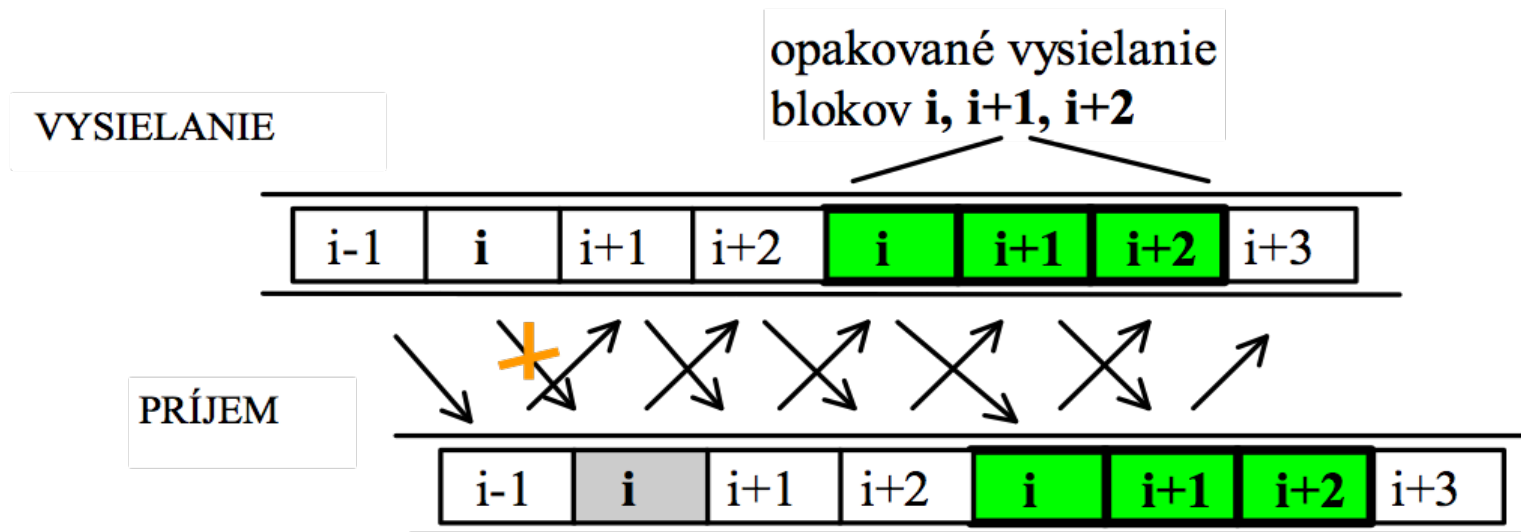
# Zabezpečenie proti chybám /8

## Kontinuálna selektívna ARQ - A-schéma príjem chybného i-teho bloku



# Zabezpečenie proti chybám /9

## Kontinuálna s návratom ARQ - A-schéma príjem chybného $i$ -teho bloku

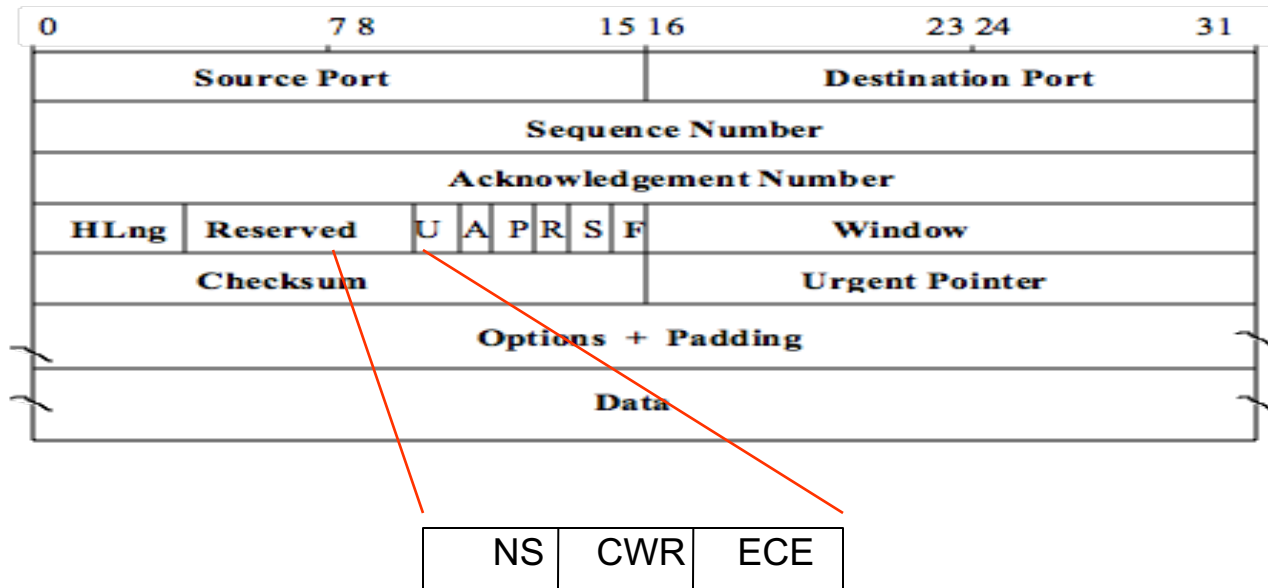


# Zabezpečenie proti chybám /10

- časovač vysielajú (T\_RQ = ...???.)

# Protokol TCP - ECN

explicitné riadenie zahltenia



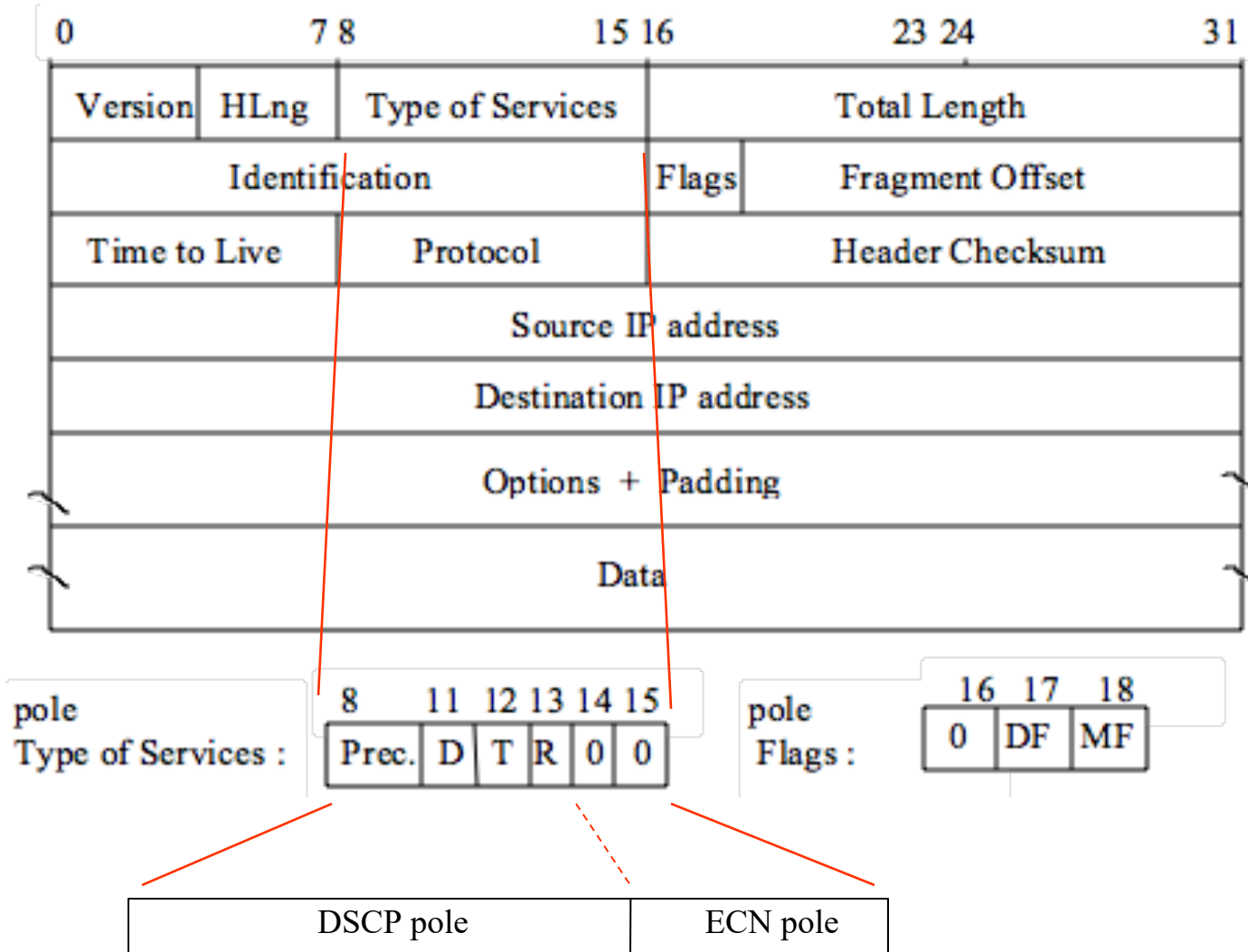
ECE - ECN-Echo

CWR - Congestion Window Reduced

NS - Nonce Sum



# IP protokol - ECN



DSCP - Differentiated Services CodePoint  
ECN - Explicit Congestion Notificaton

ECN pole:  
ECT - ECN Capable Transpor  
CE – Congestion Experienced

# TCP rozšírenia

- zväčšenie okna (window)
- spresnenie merania RTT
- selektívne potvrdzovanie
- reakcia na zahltenie, okno cwnd