

# 50 let

Katedry  
telekomunikační  
techniky

[comtel.fel.cvut.cz](http://comtel.fel.cvut.cz)

development  
education

research

# 70



# 70 let

Fakulty  
elektrotechnické  
ČVUT v Praze

[www.fel.cvut.cz](http://www.fel.cvut.cz)

# Diagnostika TCP/IP sítí

Zbyněk Kocur

[zbyněk.kocur@fel.cvut.cz](mailto:zbyněk.kocur@fel.cvut.cz)

<https://comtel.fel.cvut.cz>

## Komunikační specifika - IP

- Komunikace bod-bod (End-to-End)
- Přenos paketů bez sestavení spojení
- Žádné funkce pro spolehlivé spojení a doručení
- Lze aplikovat traffic shaping a traffic policing

## Komunikační specifika - UDP

- Komunikace bod-bod (End-to-End)
- Přenos paketů bez sestavení spojení
- Žádné funkce pro spolehlivé spojení a doručení
- Kontrola integrity přenášených dat
- Lze aplikovat traffic shaping a traffic policing

# Komunikační specifika - TCP

- Spojově orientovaná komunikace – sestavení spojení
- Spolehlivé doručení dat v pořadí
- Zpětná vazba mezi vysíláním a příjmem je zásadně ovlivněna:
  - Zpožděním ve smyčce (RTT – Round Trip Time)
  - Ztrátovostí
- Řada zpětnovazebních algoritmů
  - Congestion control mechanismy

## Long Fat Networks, Bandwidth Delay Product

- Problém vysokorychlostních datových sítí s velkým zpožděním (SDH, satelitní spoje, bezdrátové sítě)
- Množství dat, které zůstává mezi zdrojem vysílání a příjemcem

$$TCP_{Throughput} = \frac{WindowSize}{RTT}$$

$$WindowSize = TCP_{Throughput} \cdot RTT$$

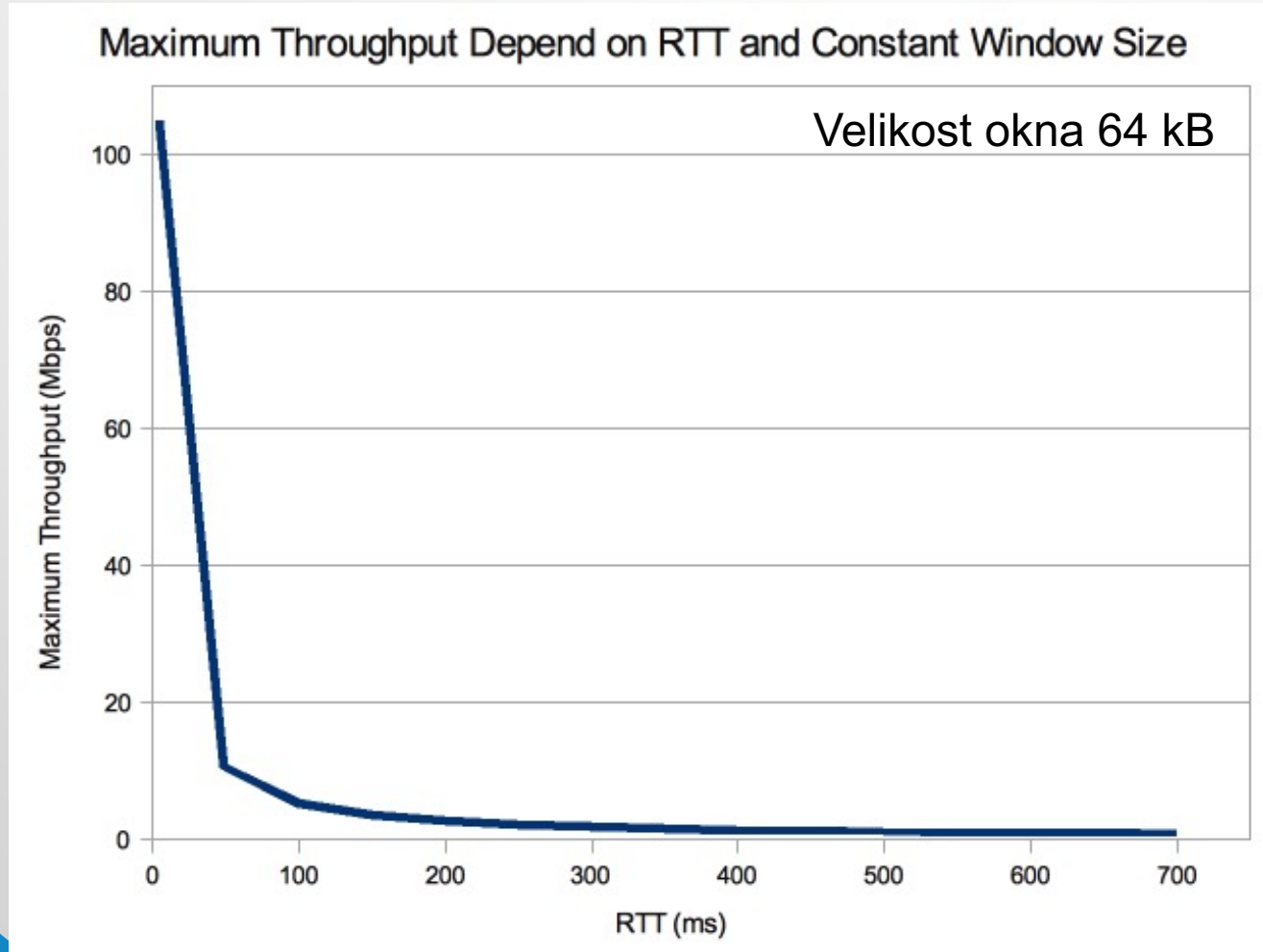
# Long Fat Networks, Bandwidth Delay Product

- 16ti bitové omezení definice velikosti okna v TCP záhlaví odpovídá velikosti okna 65535B

| Propustnost (Mbit/s) | RTT (ms) | Požadovaná velikost TCP okna (bajty) |
|----------------------|----------|--------------------------------------|
| 22 (VDSL)            | 30       | 82 500                               |
| 45 (T3)              | 60       | 337 500                              |

- TCP window scale option (RFC 1323 - TCP Extensions for High Performance)

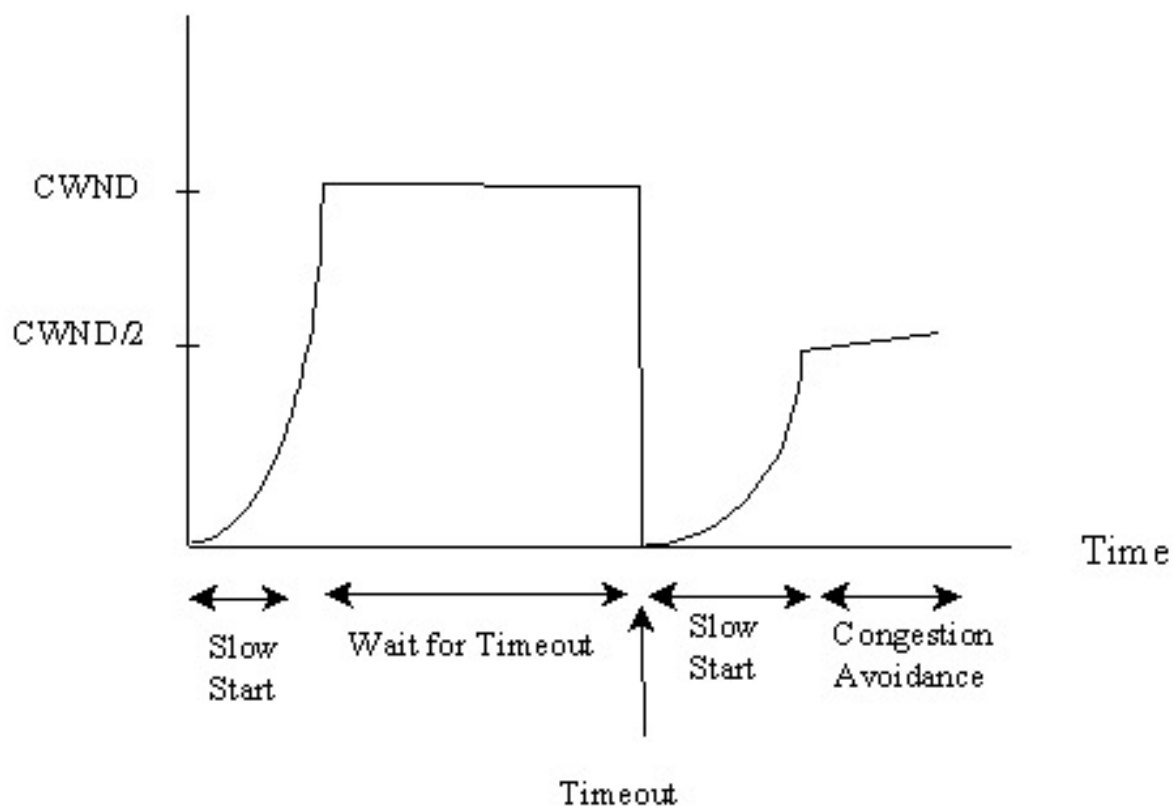
# Long Fat Networks, Bandwidth Delay Product



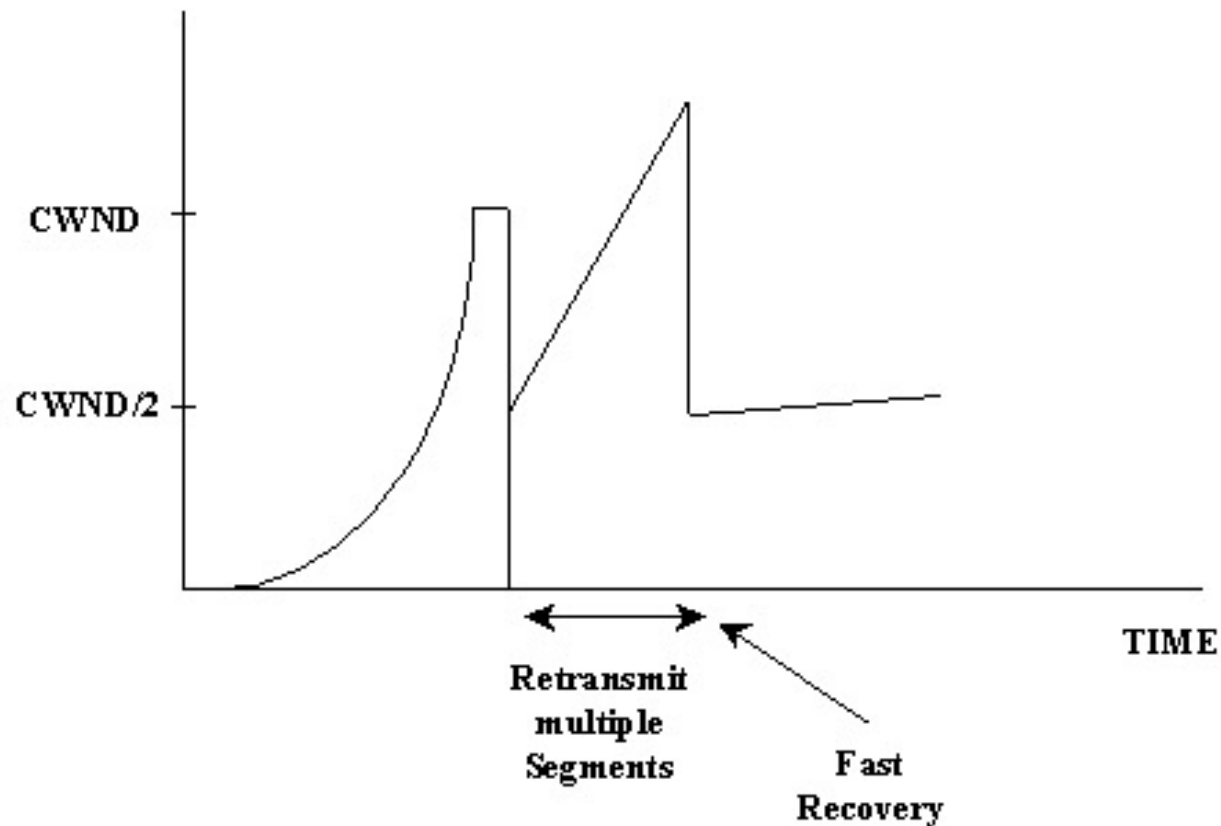


# Základní mechanismy regulace TCP přenosu

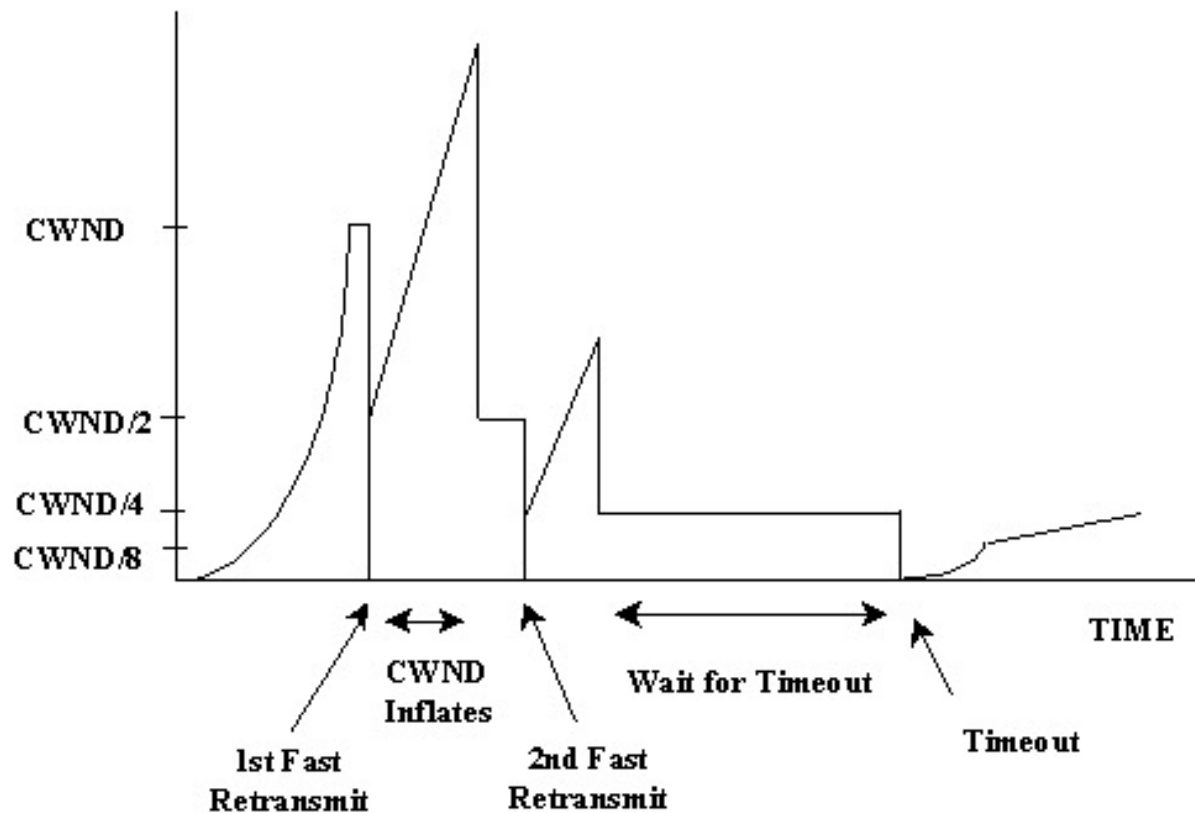
- Slow Start and Congestion Avoidance (RFC 793)



# Základní mechanismy regulace TCP přenosu

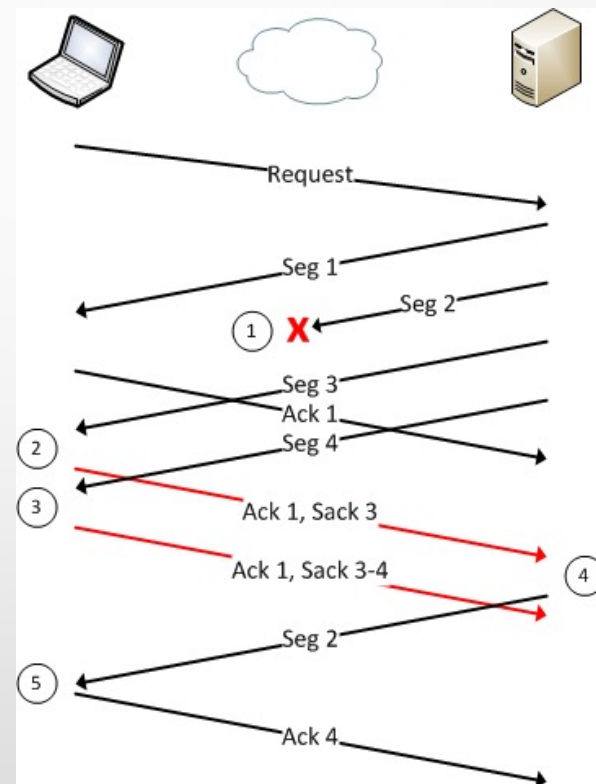
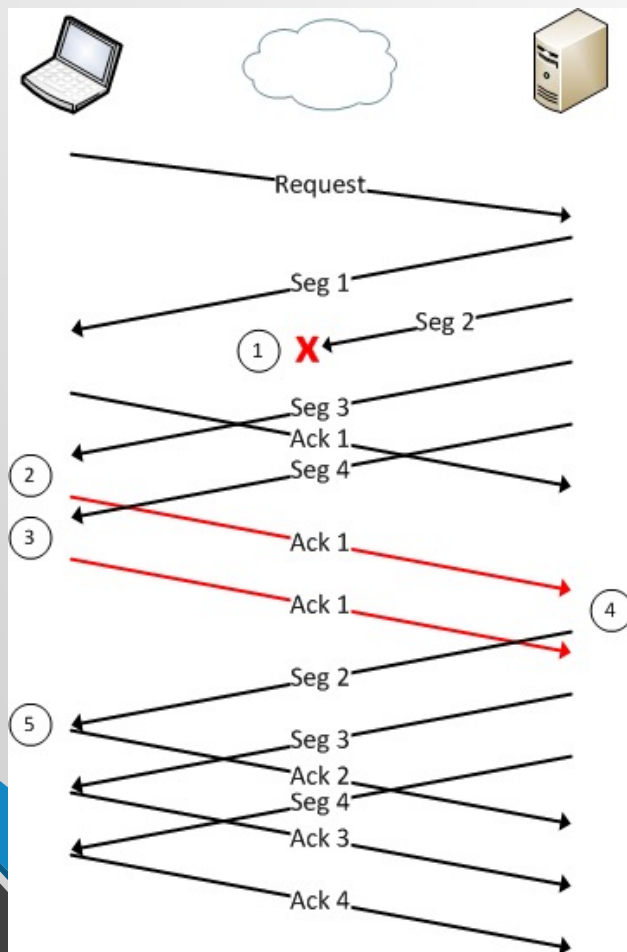


# Základní mechanismy regulace TCP přenosu



# Základní mechanismy regulace TCP přenosu

- Selective Acknowledgments (RFC 2018)

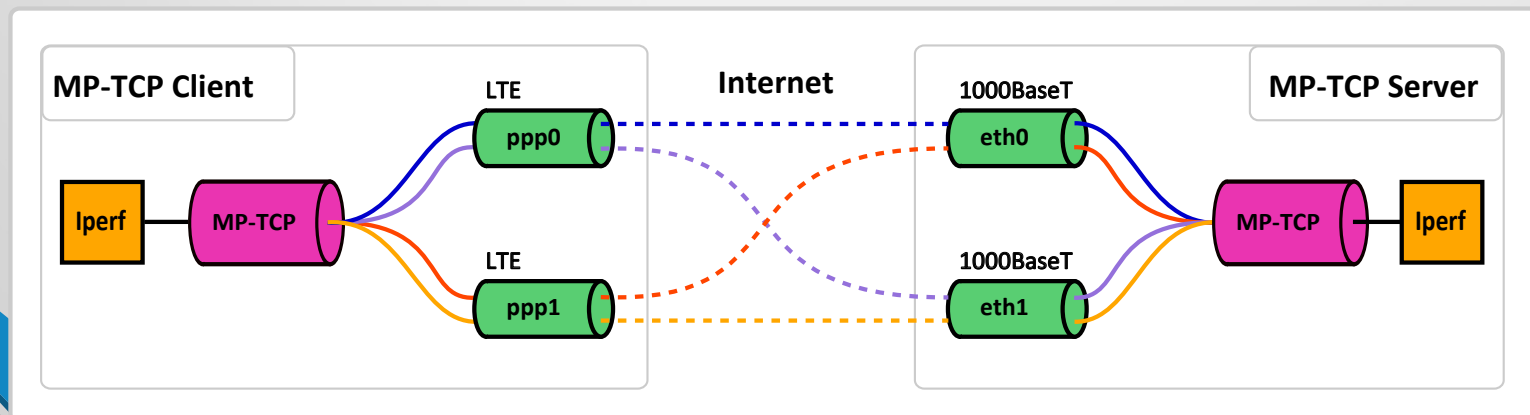


# Základní mechanismy regulace TCP přenosu

| Mechanismus  | RFC 1122 | TCP Tahoe | TCP Reno |
|--|----------|-----------|----------|
| RTT Variance Estimation<br>(odhad kolísání doby odezvy)  | x        | x         | x        |
| Exponential RTO Backoff<br>(exponenciální prodlužování doby časovače opakovaného vysílání)     | x        | x         | x        |
| Karn's algorithm<br>(Karnův algoritmus)  | x        | x         | x        |
| Slow Start<br>(pomalý start)   | x        | x         | x        |
| Dynamic Window Sizing on Congestion<br>(dynamické nastavení velikosti okna v případě zahlcení) | x        | x         | x        |
| Fast Retransmit<br>(rychlý opakovaný přenos)   |          | x         | x        |
| Fast Recovery<br>(rychlé zotavení)   |          |           | x        |

# Multipath TCP

- Rozšíření protokolu TCP (RFC 6824, RFC 6185)
- Současné využití více paralelních cest
- Nezávislé řízení všech paralelních kanálů
- **Velké problémy se sítovou neutralitou**

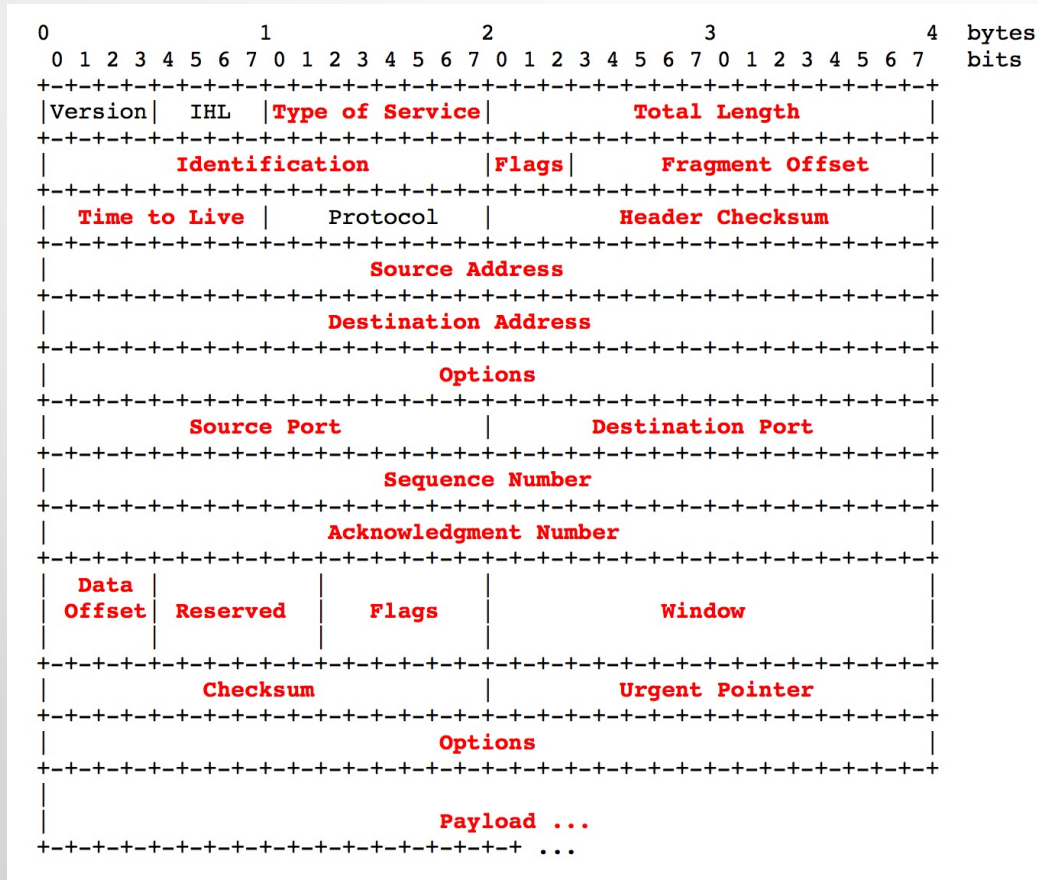


# Multipath TCP

- Implementováno v OS Linux a iOS
- Není nutné měnit stávající síťové aplikace
- Využívá stávající záhlaví protokolu TCP, se kterým je zpětně kompatibilní
- Velké problémy s přístupem přes firewally, IPS a IDS systémy
- Zajímavé odkazy:  
<http://datatracker.ietf.org/wg/mptcp/documents/>,  
<http://www.multipath-tcp.org>

# Multipath TCP

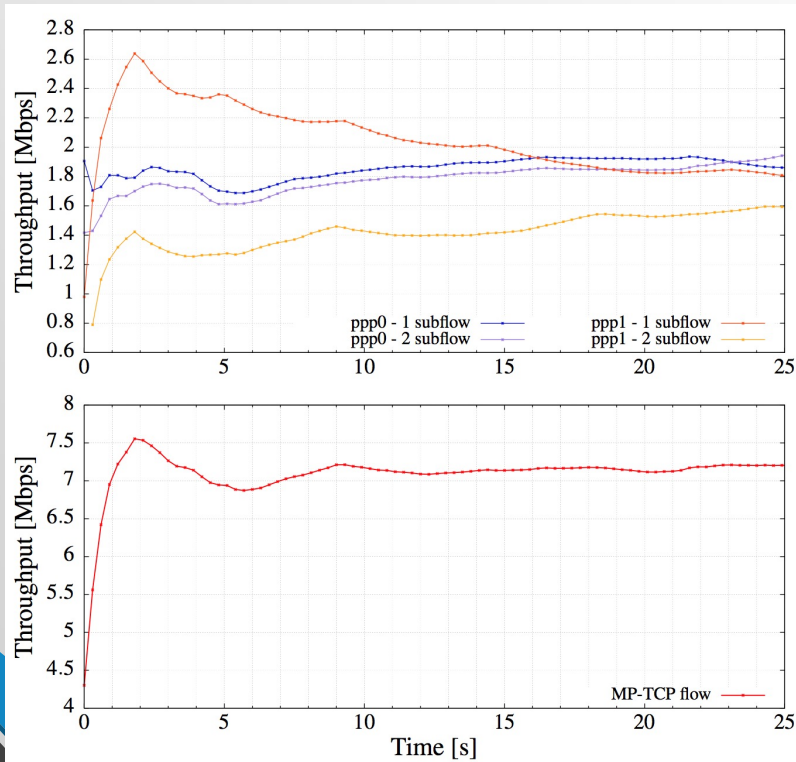
- TCP/IP paket po průchodu Internetem





# Multipath TCP

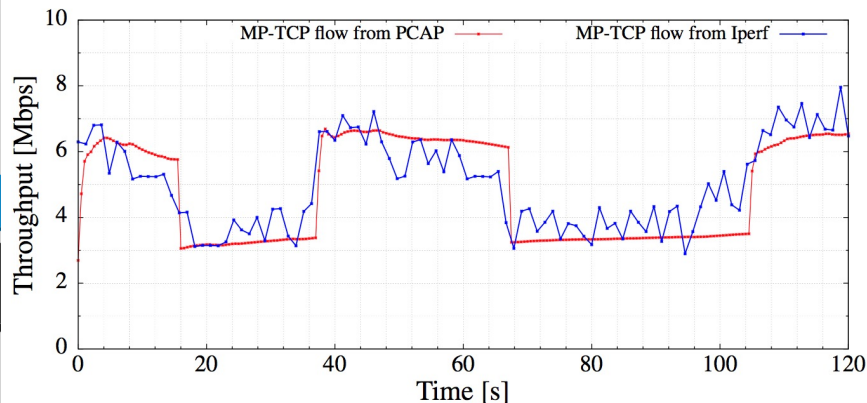
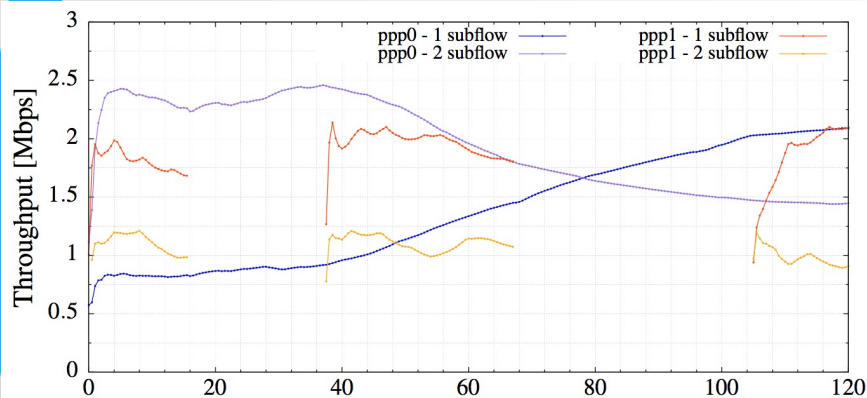
- Navyšování přenosové rychlosti



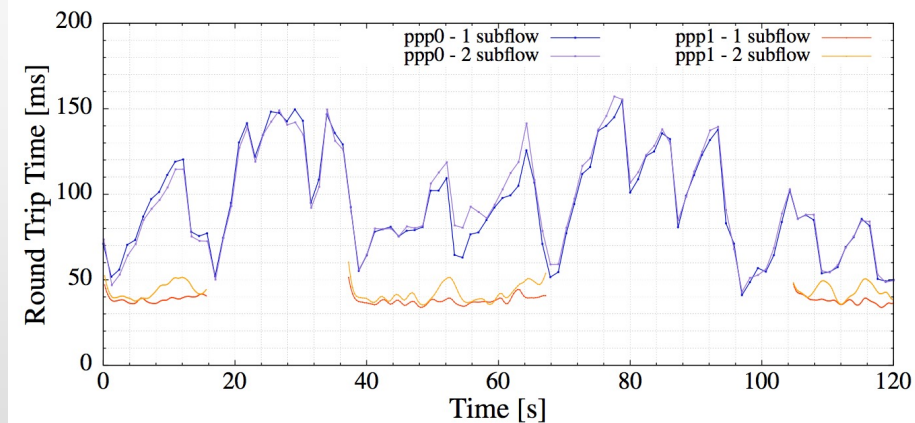
| Parameter                            | Value                           |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| $\overline{Throughput}_{ppp0}^{1st}$ | 1.85 Mbps, $\sigma = 0.07$ Mbps |
| $\overline{Throughput}_{ppp0}^{2nd}$ | 1.78 Mbps, $\sigma = 0.11$ Mbps |
| $\overline{Throughput}_{ppp1}^{1st}$ | 2.04 Mbps, $\sigma = 0.25$ Mbps |
| $\overline{Throughput}_{ppp1}^{2nd}$ | 1.42 Mbps, $\sigma = 0.13$ Mbps |
| $\overline{RTT}_{ppp0}^{1st}$        | 105.84 ms, $\sigma = 26.29$ ms  |
| $\overline{RTT}_{ppp0}^{2nd}$        | 106.82 ms, $\sigma = 25.62$ ms  |
| $\overline{RTT}_{ppp1}^{1st}$        | 37.87 ms, $\sigma = 3.71$ ms    |
| $\overline{RTT}_{ppp1}^{2nd}$        | 38.71 ms, $\sigma = 3.66$ ms    |
| Measurement duration                 | 25 s                            |

# Multipath TCP

- Řešení problémů s chybovostí



| Parameter                            | Value                           |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| $\overline{Throughput}_{ppp0}^{1st}$ | 1.50 Mbps, $\sigma = 0.49$ Mbps |
| $\overline{Throughput}_{ppp0}^{2nd}$ | 1.83 Mbps, $\sigma = 0.40$ Mbps |
| $\overline{Throughput}_{ppp1}^{1st}$ | 1.96 Mbps, $\sigma = 0.19$ Mbps |
| $\overline{Throughput}_{ppp1}^{2nd}$ | 1.08 Mbps, $\sigma = 0.10$ Mbps |
| $\overline{RTT}_{ppp0}^{1st}$        | 87.68 ms, $\sigma = 32.38$ ms   |
| $\overline{RTT}_{ppp0}^{2nd}$        | 88.68 ms, $\sigma = 32.85$ ms   |
| $\overline{RTT}_{ppp1}^{1st}$        | 43.63 ms, $\sigma = 5.01$ ms    |
| $\overline{RTT}_{ppp1}^{2nd}$        | 39.35 ms, $\sigma = 3.41$ ms    |
| Measurement duration                 | 120 s                           |
| Disconnection time 1                 | in 16 s                         |
| Disconnection time 2                 | in 67 s                         |



# Nástroje pro analýzu TCP/IP

- Wireshark – záchyt a analýza síťového provozu
- tcpdump – záchyt analýza síťového provozu
- Iperf – TCP/UDP měřicí aplikace
- FlowPing – UDP\* měřicí aplikace
- Tcptrace – pokročilá analýza TCP provozu

# Wireshark/tshark

- Modifikace
  - Wireshark (grafická)
  - Tshark (CLI)
- Dostupný na: <https://www.wireshark.org>
- Zachytávání síťového provozu na různých rozhraních: Ethernet, WLAN, Bluetooth, USB apod.
- Analýza zachycené komunikace napříč všemi vrstvami RM ISO/OSI
- Export do různých formátů

# tcpdump

- Dostupný na: <http://www.tcpdump.org>
- Zachytávací aplikace síťového provozu pro platformy UNIX, Linux a Windows\*
- Možnost zachytávat na různých síťových rozhraních
- Ukládání do formátu PCAP
- Možnost zobrazení zachycené komunikace

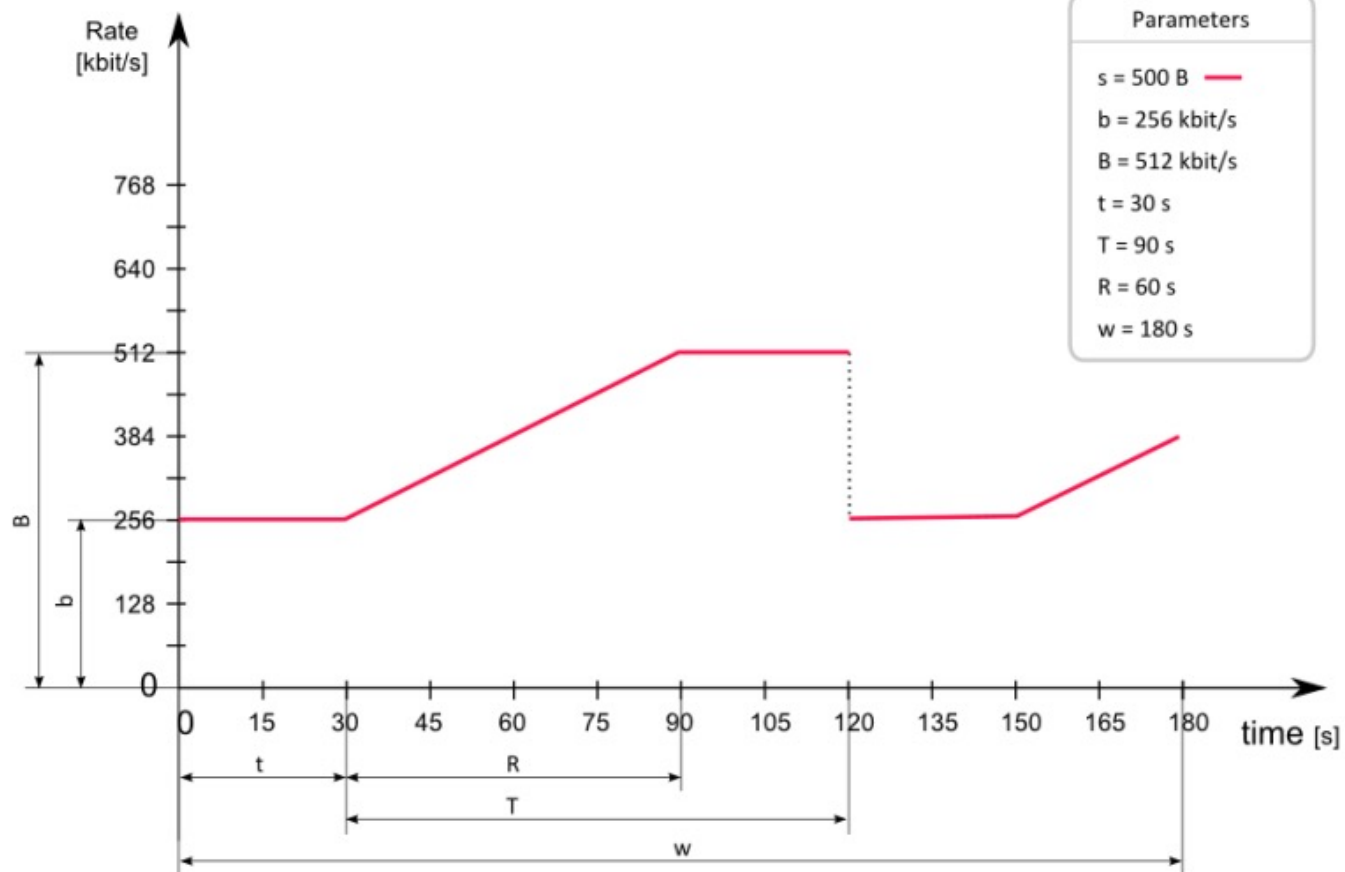
# Iperf

- iPerf2 vs. iPerf3
- Dostupný na: <https://iperf.fr>
- CLI ovládání s možnou grafickou nástavbou
- Multiplatformní síťová měřicí aplikace
  - TCP
  - UDP
- Zjištění dosažitelné přenosové rychlosti pro danou konfiguraci TCP nebo UDP spojení

# FlowPing

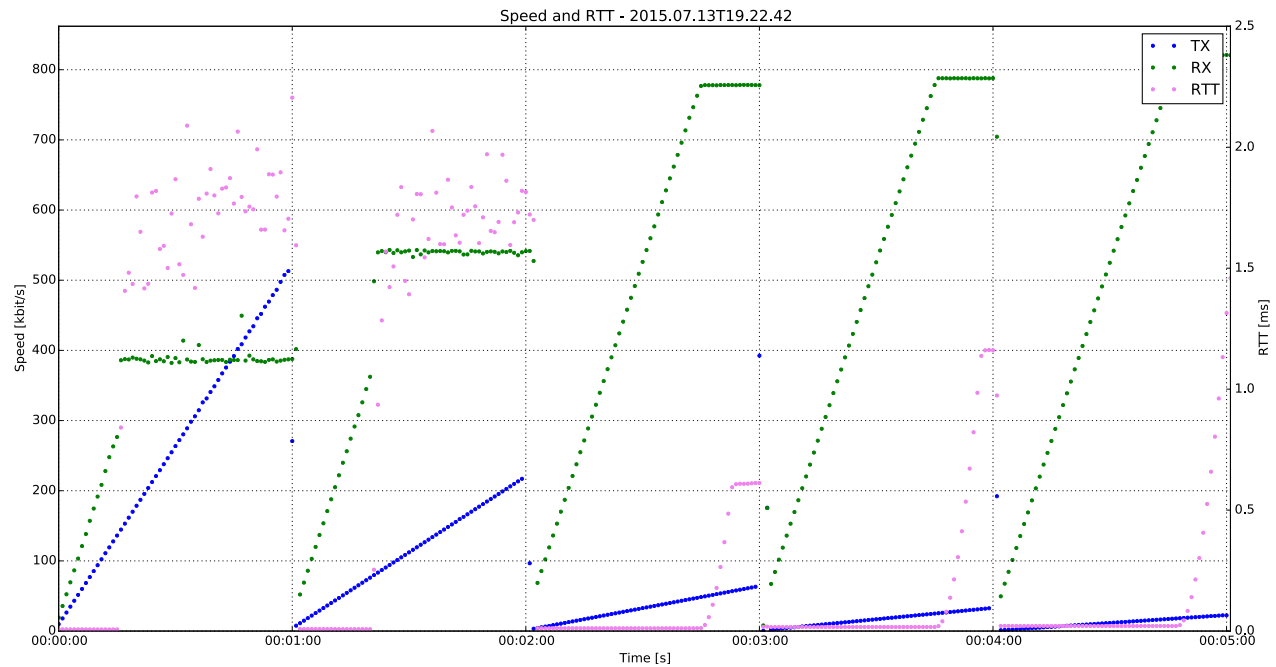
- Dostupný na: <https://flowping.fel.cvut.cz>
- Aplikace je vyvíjena pro OS Linux
- CLI ovládání
- Síťová měřicí aplikace kombinující měření RTT, propustnosti a chybovosti
- Umožňuje si definovat vlastní zatížení přenosové linky a sledovat stav RTT a ztrátovosti
- Vhodná pro detailní analýzu chování TCP/IP přenosových systémů

## FlowPing - variable rate definition - command line

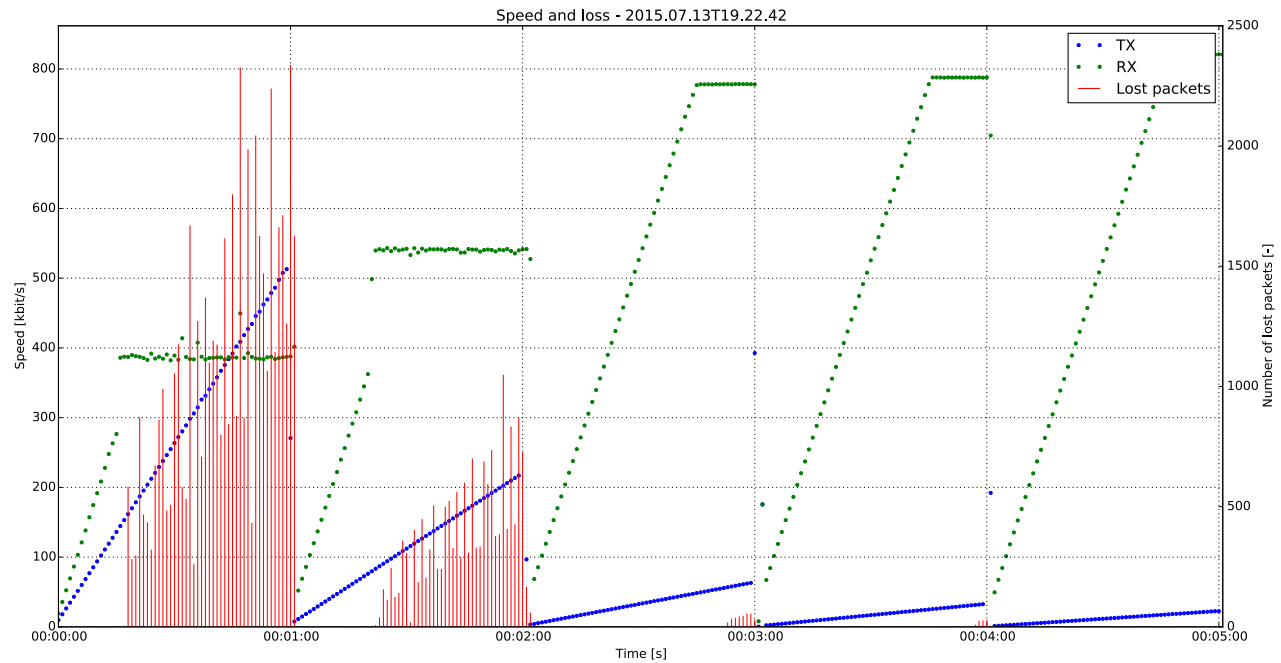




# FlowPing – výstupy



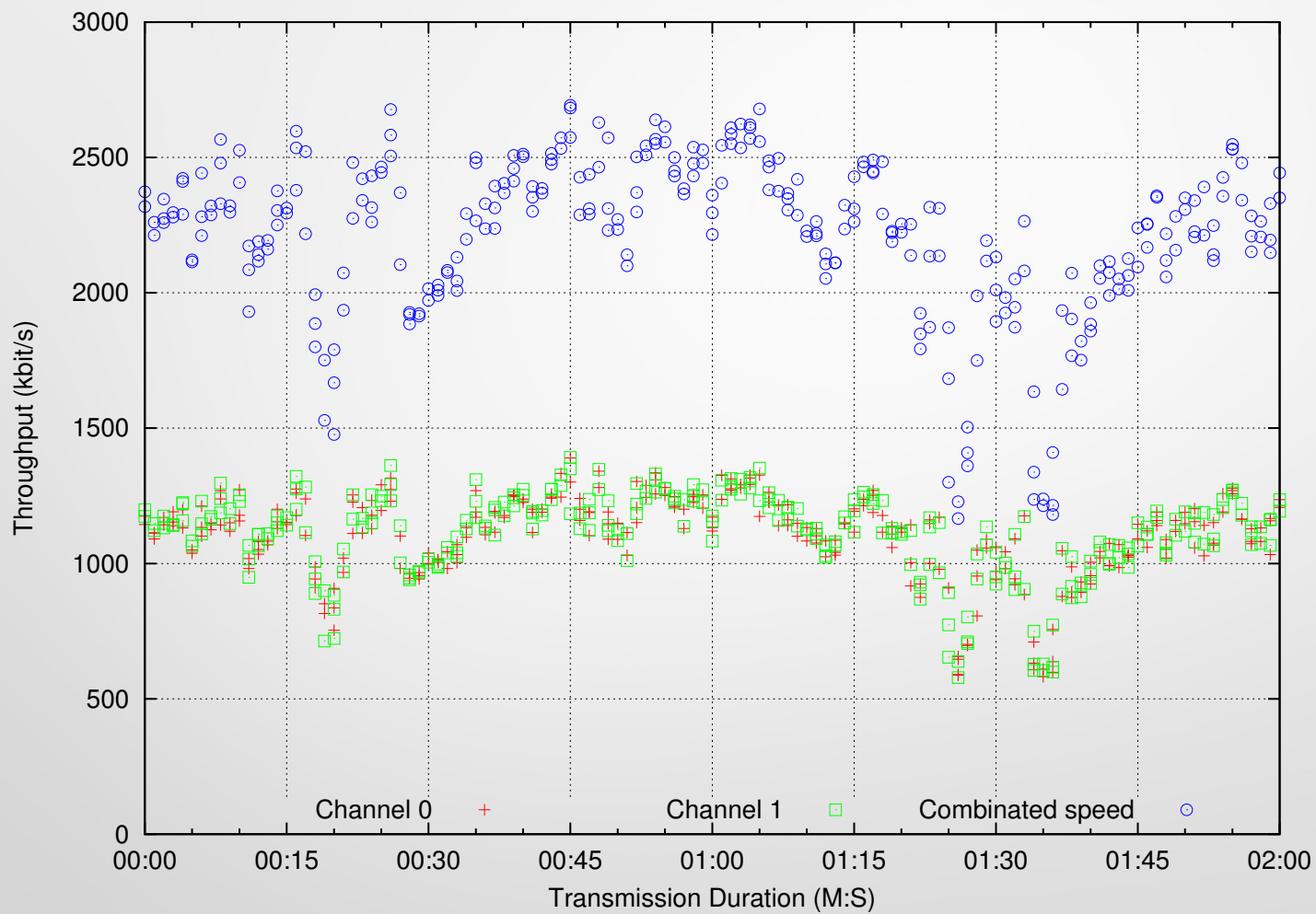
# FlowPing – výstupy



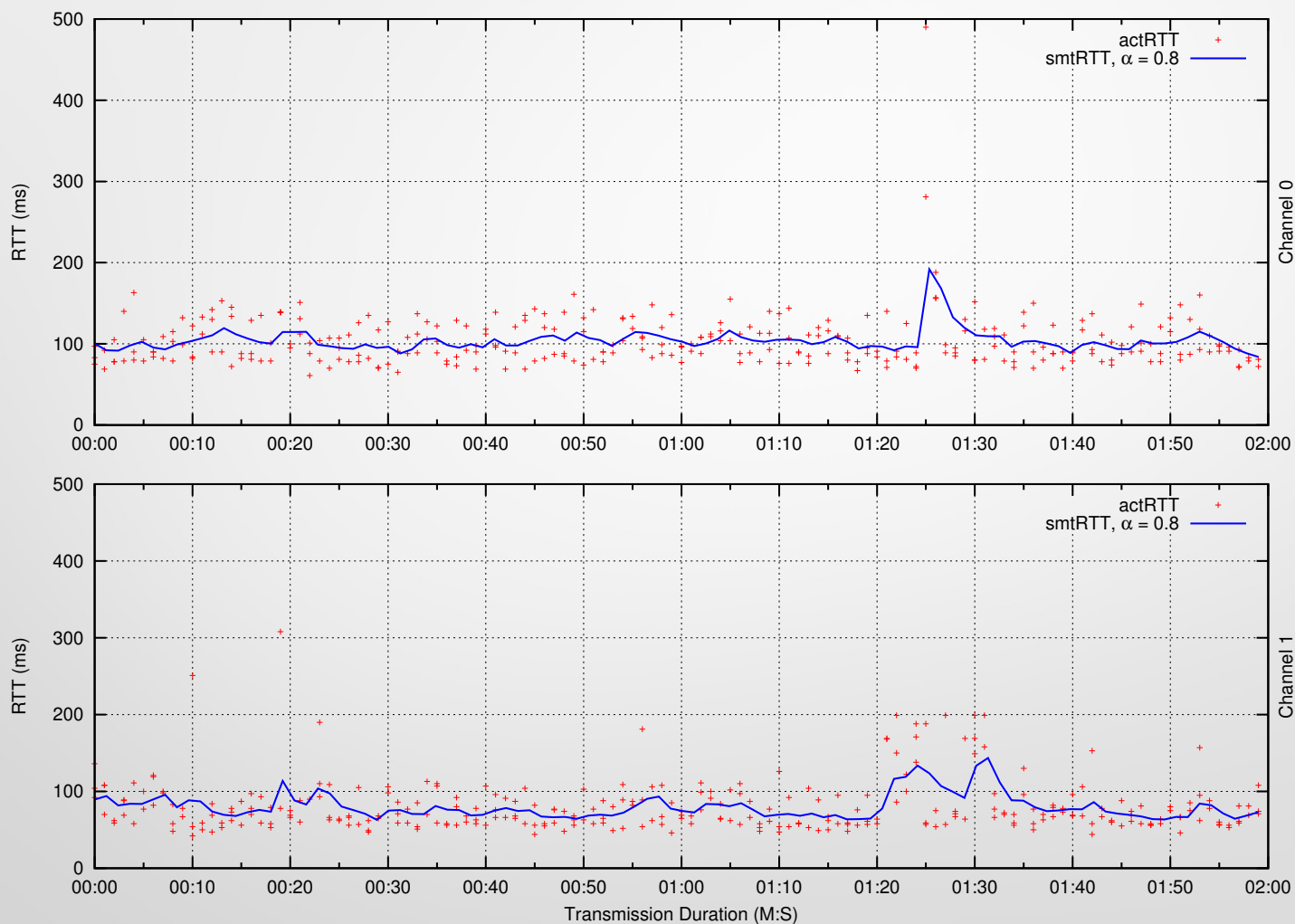
## tcptrace

- Nástroj pro pokročilou analýzu TCP spojení
- Off-line analýza PCAP souborů
- Dostupný na: <http://www.tcptrace.org>
- Analýza propustnosti, zpoždění, analýza průběhu TCP spojení v čase
- Výstup textový i grafický (xplot, gnuplot)
- Platforma UNIX, Linux

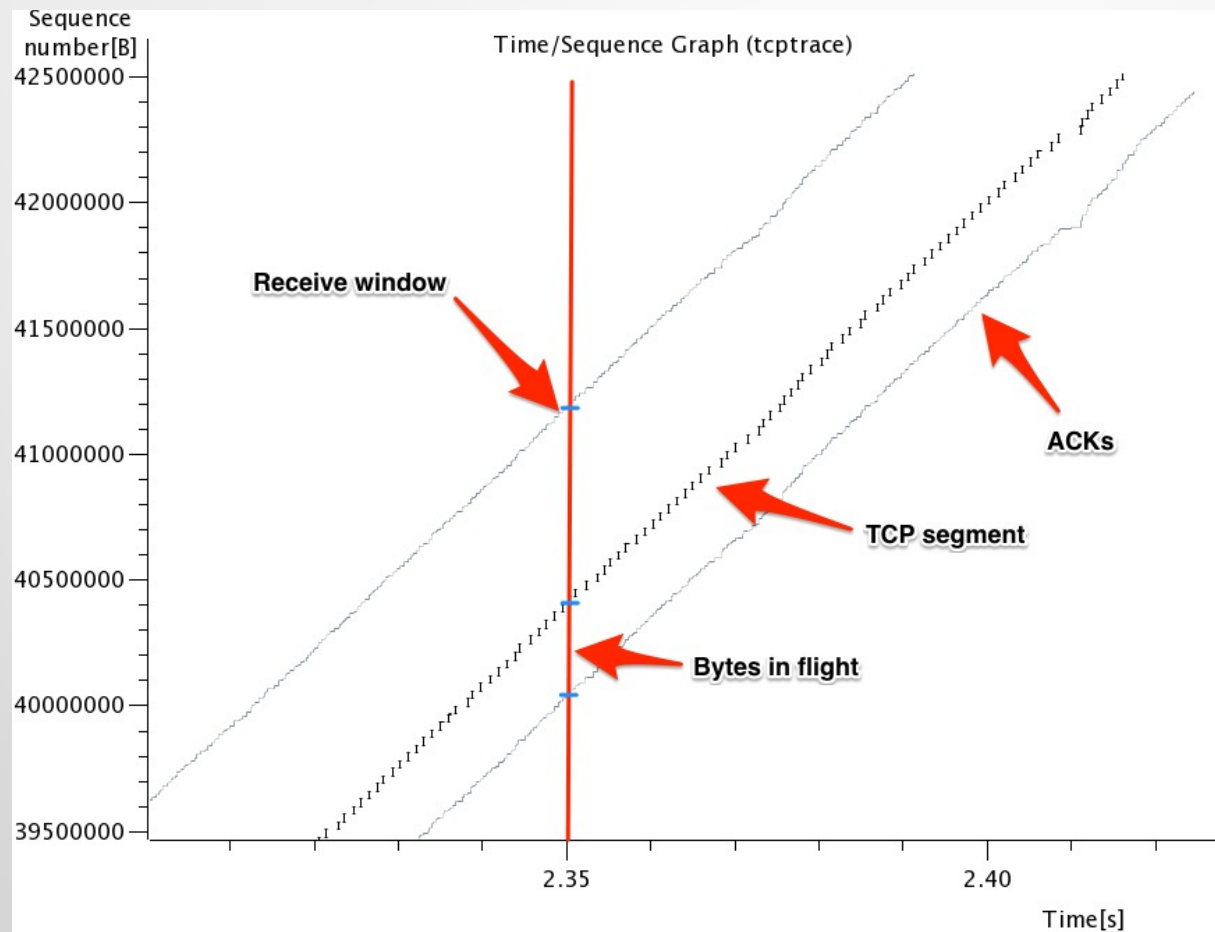
# Přenosová rychlost



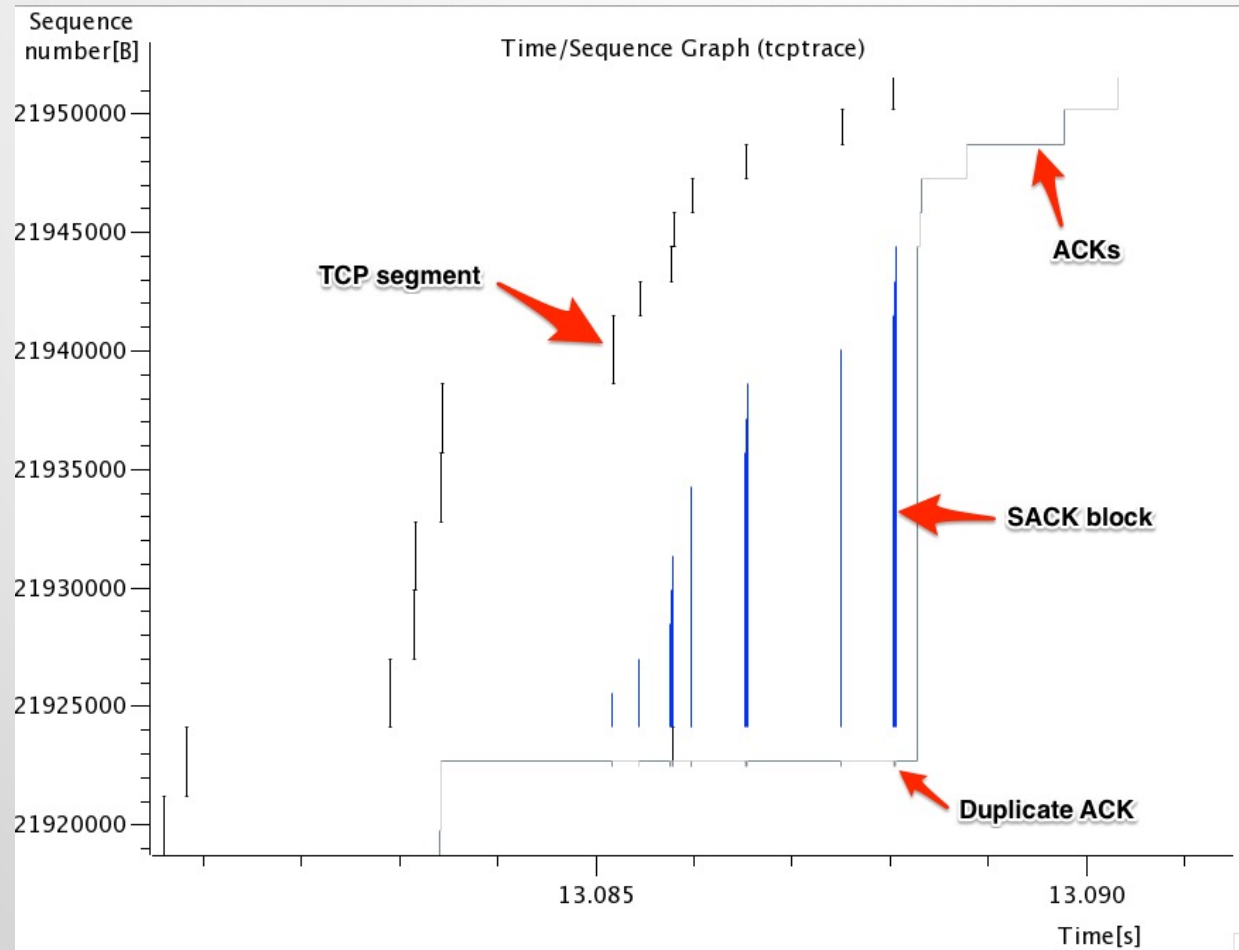
# Zpoždění



# Time-sequence graf

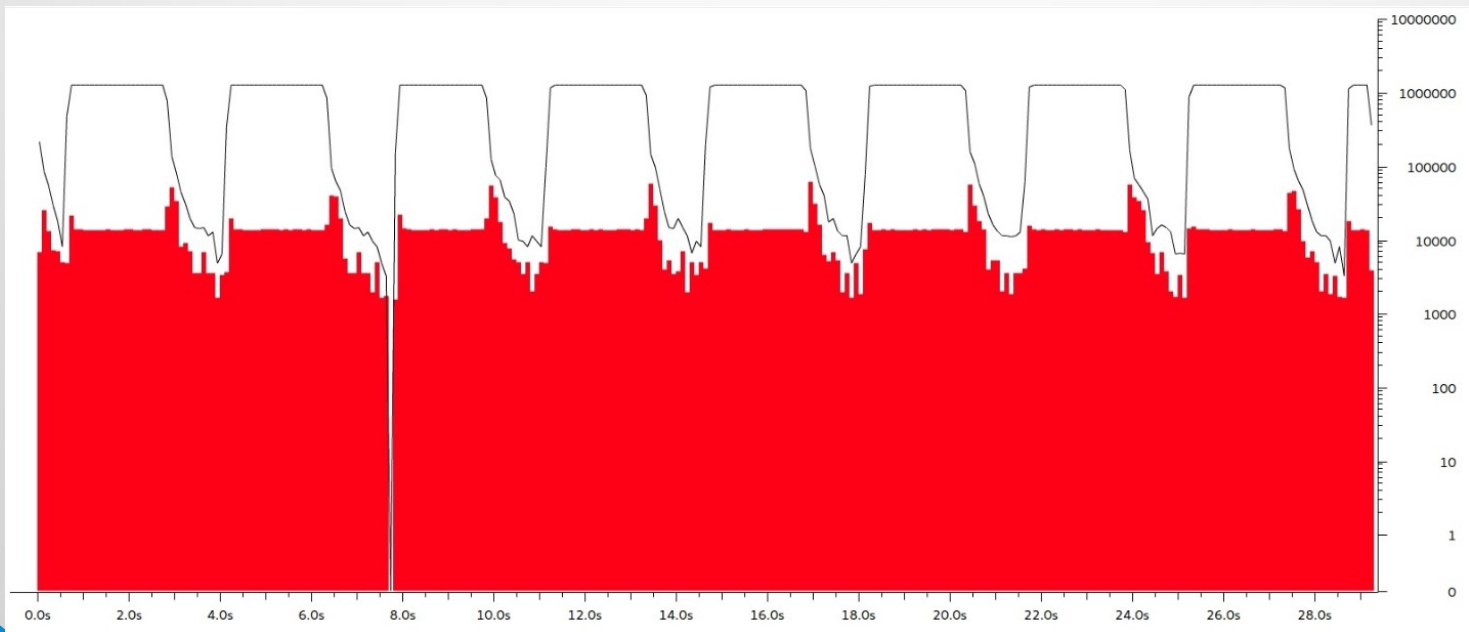


# Time-sequence graf



# TCP Golden graf

- Zobrazení velikosti datového obsahu TCP paketů vs. Přenosu služebních informací





**Děkuji za pozornost**