

Szállítási réteg (L4)



Budapest University of Technology and Economics

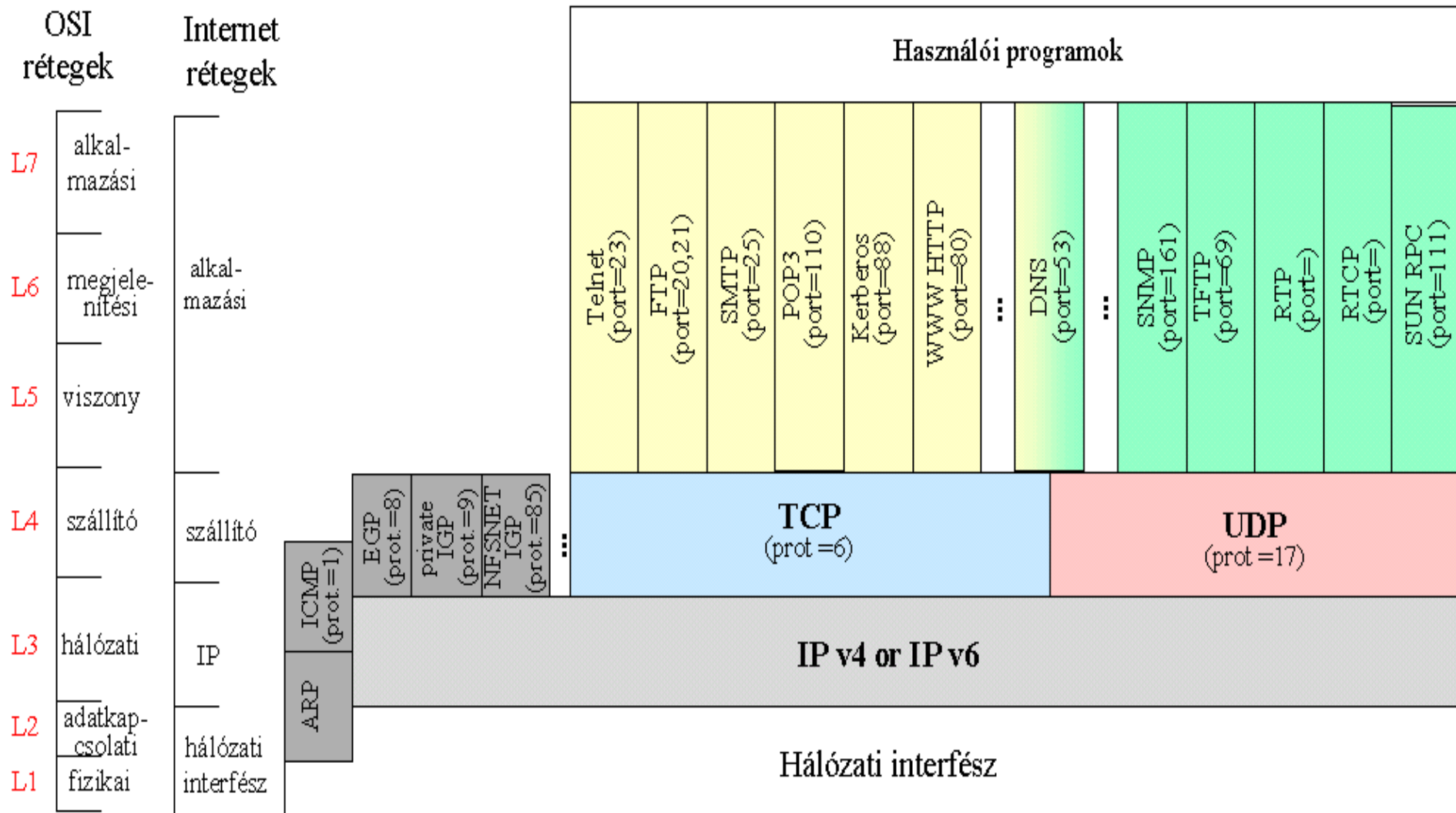
**Department of
Telecommunications and Media Informatics**



Protokoll stack



BME-TMIT



- Iteratív szerver
 - Vár, hogy érkezzen egy kliens igény
 - Feldolgozza a kliens igényét
 - Elküldi a választ az igényt küldő kliensnek
 - Ugrás az első lépéshez!
- Konkurrens szerver
 - Vár, hogy érkezzen egy kliens igény
 - Elindít egy új kiszolgálót, hogy kezelje a kliens igényét (új processz, vagy új szál)
 - Ha kész, e szerver működése megáll
 - Ugrás az első lépéshez!

- TCP szerverek általában **konkurrenszek**
- UDP szerverek általában **iteratívak**

- Az UDP Szerver iteratívan dolgozik
 - Általános eset:
 - Egy db well-known port az UDP forgalomnak
 - A sort a küldő végtelennek tekinti
- Ha mégis megtelik a sor:
 - Nincs figyelmeztetés az alkalmazástól a küldőnek
 - Nincs figyelmeztetés a csomageldobásra
 - UDP input sora FIFO

- TCP
 - Kapcsolat-orientált
 - Megbízható kapcsolat
 - Automatikus torlódás vezérlés
 - A küldési sebesség automatikus
 - Az alkalmazás nem tudja vezérelni
- UDP
 - Kapcsolat nélküli
 - A sebességet az alkalmazás szabja meg

- Két host között egyszerre több TCP/UDP folyamat lehet
- Azonosításra a portokat használják:
 - 16 bites számok a transzport fejlécben
- A forrásnál általában a számítógép választja ki
- A cél általában egy ismert szám
 - HTTP: 80, FTP: 21, SIP: 5060

- Egy kapcsolat azonosításához szükséges:
 - Forrás IP, forrás port
 - Cél IP, cél port
- Így egyszerre több kapcsolat lehet ugyanarra a portra – akár ugyanarról a forrás gépről
- Encapsulation – beágyazás

Szállítási réteg - UDP

UDP- User Datagram Protocol



User Datagram Protocol



BME-TMIT

- Egyszerű
- Datagram orientált
- Szállítási réteg belső protokoll
- RFC 768

20 bájt

8 bájt

IP fejléc	UDP fejléc	UDP adat
-----------	------------	----------

- Kapcsolat nélküli protokoll
 - Nincs állapot információ
- Nem garantálja a csomagok megérkezését
 - Nem küld újra
 - Nem állít a küldési sebességen torlódás esetén
- Kis fejléc (8 byte)
- Főleg multimédia alkalmazások használják
 - Valós idejű átviteleknel jó választás

UDP kapcsolat kiépülés



BME-TMIT

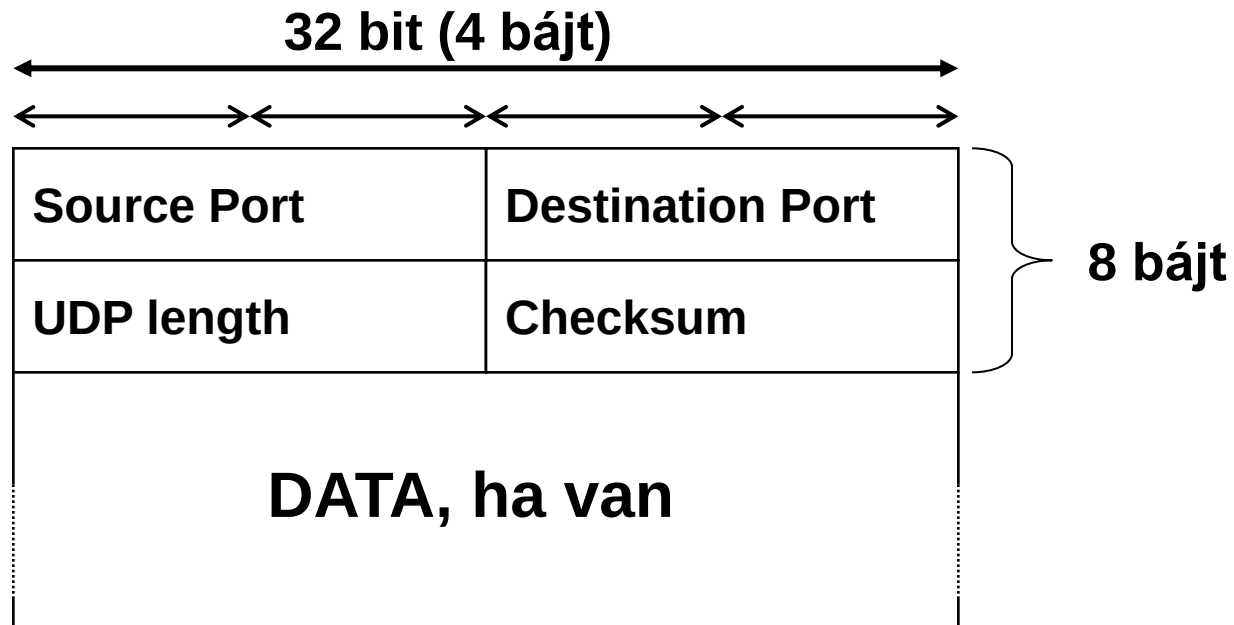
- A kapcsolat kiépülése a portok hozzárendeléséből áll
- A másik számítógép nem kell válaszoljon
 - Ha hiba van ICMP üzenettel jelzi
- A felsőbb protokoll szegmensekre bontja az adatot
 - Az UDP szegmensek sorszámot kapnak
 - a szegmenseket azonnal küldi

- Nem megbízható
 - Nincs garancia, hogy a csomag elér a célba
- Nincs folyamvezérlés
- Egy UDP csomag – egy IP datagramm
 - Az alkalmazásnak kell odafigyelnie a helyes csomagméret használatra
 - Fregmentáció!
 - DF bit nem használható
 - A fregmentáció mindig tiltott

UDP csomagformátum



BME-TMIT



UDP packet structure



BME-TMIT

Source Port	Destination Port
-------------	------------------

- Source port (16 bit):
azonosítja a küldő alkalmazást
- Destination port (16 bit):
azonosítja a fogadó alkalmazást
- TCP, UDP port számok függetlenek
 - A TCP/UDP demultiplexáció az IP protokoll mező alapján!

UDP packet structure



BME-TMIT

UDP length	Checksum
------------	----------

- UDP length (16 bit): Az UDP fejléc és az UDP adat hossza
 - bájtban
 - Minimum érték: 8 bájt – nincs UDP adat
 - Elméleti max: 65507
- Checksum (16 bit): fejléc és az adatra számítva
 - A 16 bites szavak egyes komplementű összege
 - „pseudo fejléc” alapján számolt, bele tartozik:
 - IP csomagból: IP címek, protokoll azonosító mezők
 - Teljes UDP fejléc

- Pszeudo fejléc:
 - Kettős ellenőrzése a helyes átvitelnek
 - Szükséges, mert nincs folyamvezérlés
- Nem kötelező (teljes 0 – nincs checksum)
 - Ha a checksum csupa 0
 - Helyettesíti 65535 – egyes komplement aritmetika
 - Ha a checksum hibás:
 - A csomag csendben (*silently*) eldobásra kerül
 - Nincs hibaüzenet!

Szállítási réteg - TCP

TCP - Transmission Control
Protocol



- Két alkalmazás között nyújt
 - Megbízható végpont-végpont adattovábbítást
 - Kapcsolat-orientált adatfolyam szolgáltatás
 - Folyamvezérlő algoritmus
- Két végponti alkalmazás
 - Az adatközvetítés előtt fel kell építenie a TCP kapcsolatot
- Broadcastingra és multicastingra nem alkalmazható a TCP

- A TCP adat IP csomagba enkapszulálva
- A TCP által az IP-hez továbbított adategység neve **szegmens**
- TCP logikai kapcsolatokat használ processz párok között:
 - TCP szegmens tartalmazza a forrás és a cél port számait
- Az IP cím és a megfelelő TCP port számok kombinációját hívjuk a kapcsolat **socketjének**, transzport címének
 - Socket párok

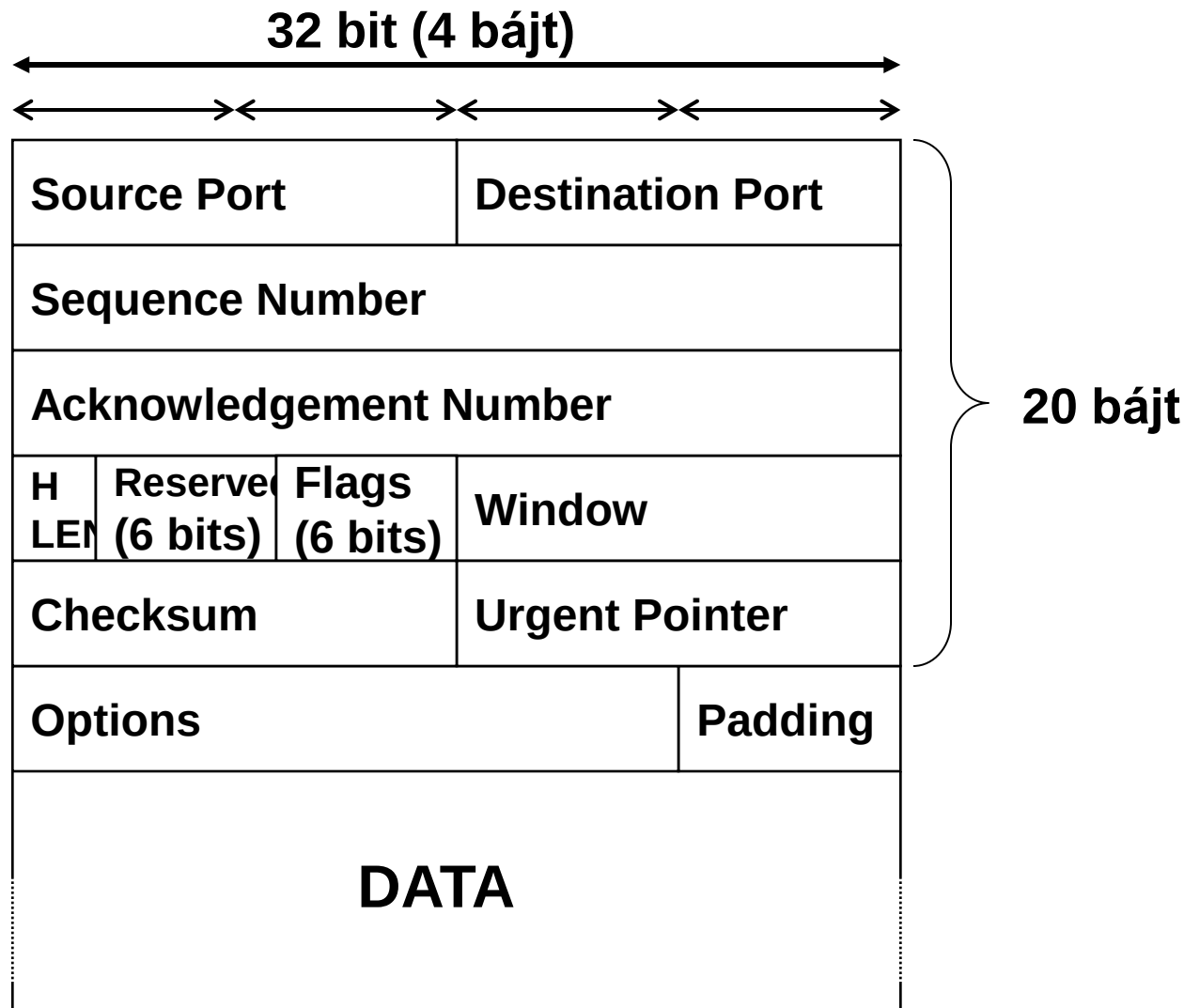
- ***full duplex*** szolgáltatást nyújt az alkalmazási rétegnek
 - Kétirányú adatátvitel
 - Mindkét végpont sorszámozást végez az adataikon
- ***nincs selective*** ACK
 - ack jelentése: eddig a bájtig (de a küldöttet nem beleértve) sikeres a vétel
- ***nincs negative*** ACK
- ***nem interpretálja*** a bájtfolyamot
 - Továbbadja az alkalmazásnak

- Csomag formátum
- Kapcsolat kiépítés
- Csúszó ablakos átvitel
- Torlódás vezérlés
 - Slow Start
 - Fast Retransmit
 - Congestion avoidance

TCP csomagformátum



BME-TMIT



TCP csomagformátum



BME-TMIT

Source Port	Destination Port
Sequence Number	
Acknowledgement Number	

- **Source port** (16 bit):
 - A TCP port száma a küldőnél
- **Destination port** (16 bit):
 - A TCP port száma a fogadónál
- **Sequence number** (32 bit):
 - A bájtfolyam adott szegmensének sorszáma
- **Acknowledgement number** (32 bit):
 - A fogadó által következőként várt szegmens sorszáma

- Azonosítják az alkalmazásokat (16 bit)
- well-known port számok (1-1023)
 - szerverek, pl. Telnet 23, FTP 21
- ephemeral port számok (1024-5000)
- Internet Assigned Numbers Authority, IANA

TCP csomagformátum



BME-TMIT

H LEN	Reserved (6 bits)	Flags (6 bits)	Window
----------	----------------------	-------------------	--------

- **Header Length** (4 bit):
 - A TCP fejléc 32 bites szavainak száma
 - Az options mező vááltozó hossza miatt szükséges
- **Reserved** (6 bits):
 - MBZ
 - Jövőbeni használatra foglalt
- **Flags** (6 bits):
 - 6 flag, melyek szabályozzák a TCP csomag viselkedését
 1. Urgent (URG)
 2. Acknowledgement (ACK)
 3. Push (PSH)
 4. Reset connection (RST)
 5. Synchronous (SYN)
 6. Finish (FIN)

TCP flagek



BME-TMIT

- Urgent flag (URG)
 - A végpontok üzenhetnek, hogy sürgős adat van az adatfolyamban
- Acknowledgement flag (ACK)
 - Megadja, hogy a nyugtaszám a szegmensben érvényes
- Push flag (PSH)
 - A szegmens adatokat tartalmaz, melyeket az alkalmazásnak kell továbbítani

Source Port		Destination Port	
Sequence Number			
Acknowledgement Number			
H LEN	Reserved (6 bits)	Flags (6 bits)	Window
Checksum		Urgent Pointer	
Options			Padding

TCP flagek



BME-TMIT

- Reset flag (RST)
 - Reset szegmenst küld a TCP
 - ha nem megfelelő portra érkezik kapcsolatkerés
 - Ha az egyik fél meg akarja szakítani a kapcsolatot
- Synchronous flag (SYN)
 - A SYN flag bekapcsolt azokban a szegmensekben, melyek a kapcsolatfelépítéshez szükségesek
- Finish flag (FIN)
 - A végpontok kapcsolat lezárásra használják ezt a flaget

Source Port		Destination Port	
Sequence Number			
Acknowledgement Number			
H LEN	Reserved (6 bits)	Flags (6 bits)	Window
Checksum		Urgent Pointer	
Options			Padding

TCP csomagformátum



BME-TMIT

H LEN	Reserved (6 bits)	Flags (6 bits)	Window
Checksum			Urgent Pointer

- **Window** (16 bit):
 - Az adatfolyam vezérléshez szükséges
 - Megadja, hogy a fogadónak mennyi bájt adat fogadására képes a buffere.
- **Checksum** (16 bit):
 - A TCP fejléc integritásának megőrzésére
 - A checksum pszeudo fejléc alapján számítható, információkat véve az IP fejlécből is

TCP csomagformátum



BME-TMIT

Checksum	Urgent Pointer
Options	Padding

- **Urgent Pointer** (16 bit):
 - Ha sürgős adat van a szegmensben ez a pointer mondja meg, hogy hol kezdődik az az adatrészben
- **Options**:
 - A leggyakoribb opció mező az MSS - maximum segment size
 - Megadja a legnagyobb szegmensméretet, melyet a fogadó fogadni szeretne

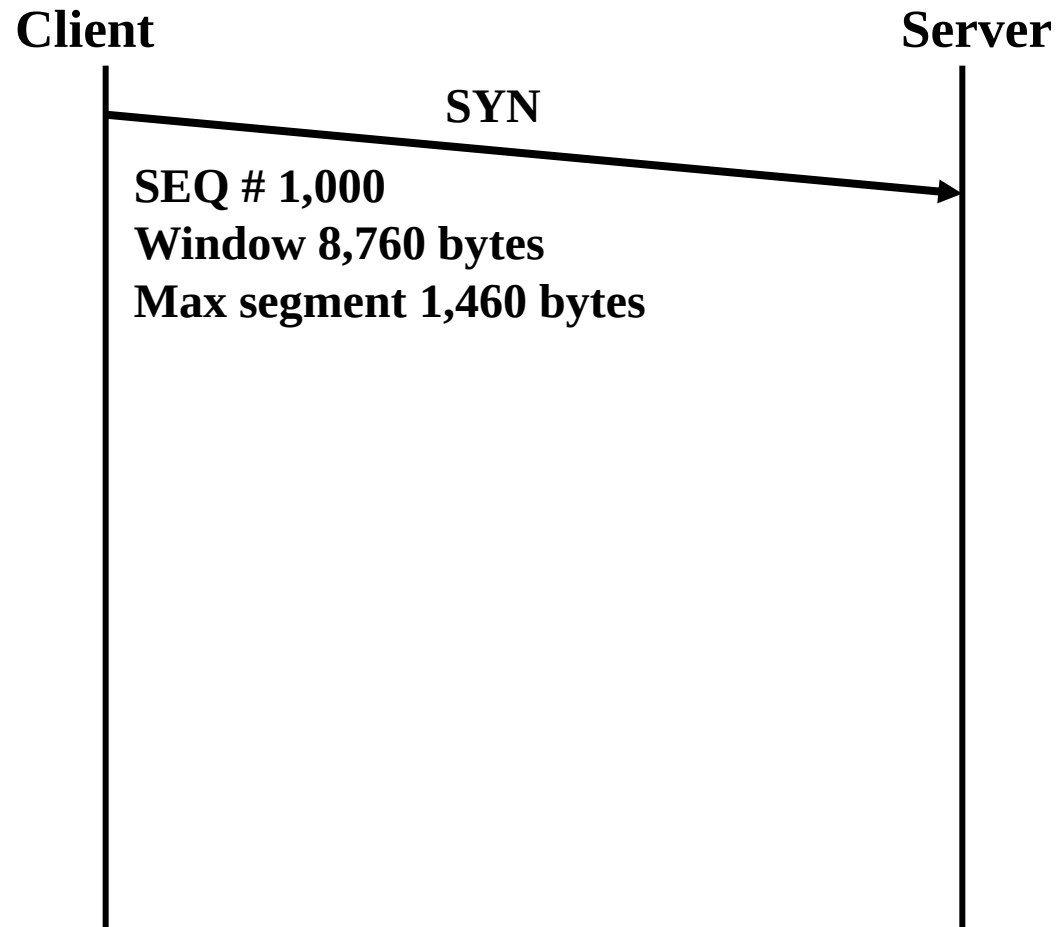
TCP kapcsolat felépítés és bontás



- A TCP az adatszegmensek továbbításakor a következőket végzi:
 - Kapcsolat felépítés
 - Ablakméret (Advertised window size), Maximum szegmens méret meghirdetése
 - Adatok továbbítása
 - Nyugták küldése a fogadott szegmensekre
 - Kapcsolat lezárása

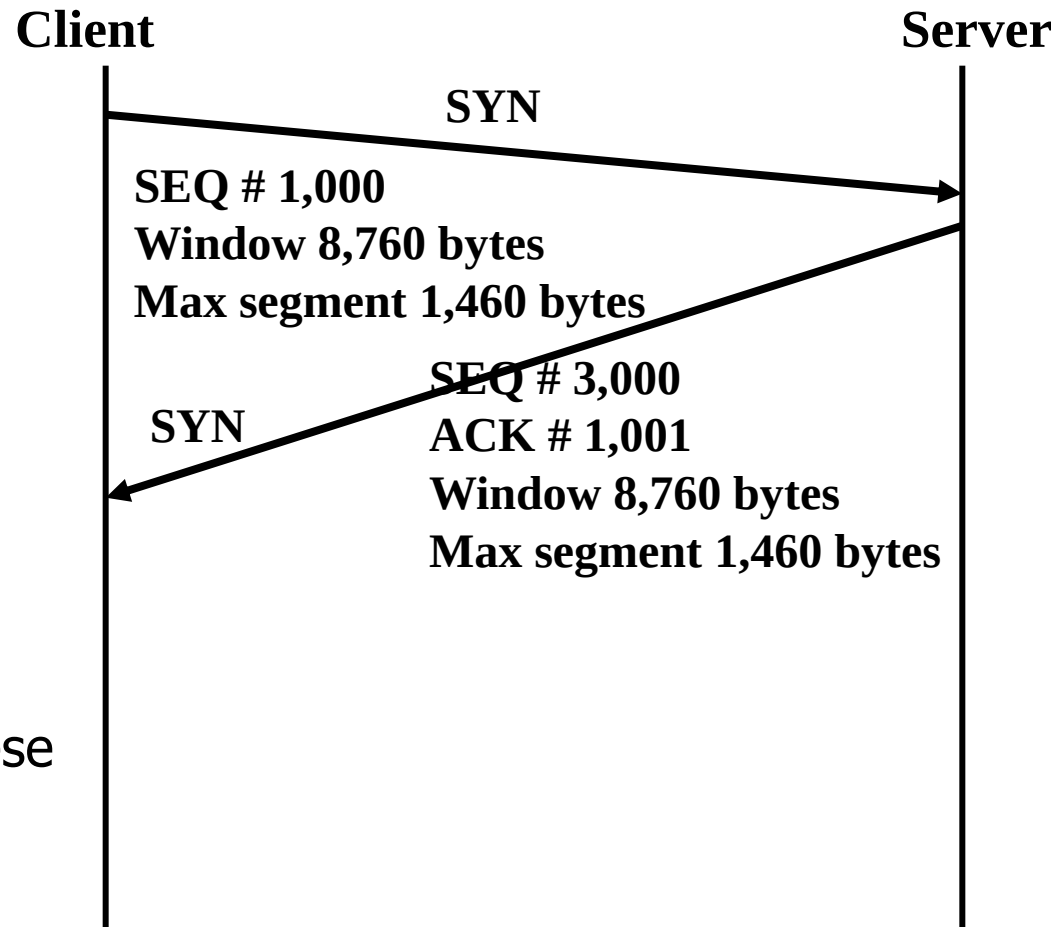
1. Kezdeményező végpont - kliens

- SYN szegmens küldése
 - Szerve port számának megadása – ahová kapcsolódni szeretne
- Kezdeti saját, sorszám
 - ISN – initial seq. num.
- Saját ablakméret hirdetése
- MSS hirdetése



2. The server válaszol

- SYN szegmens tartalmazza
 - Szerver ISN
 - Nyugta a kliens szegmensére
 - Várja az 1001-et
- Saját ablakméret hirdetése
- MSS hirdetése



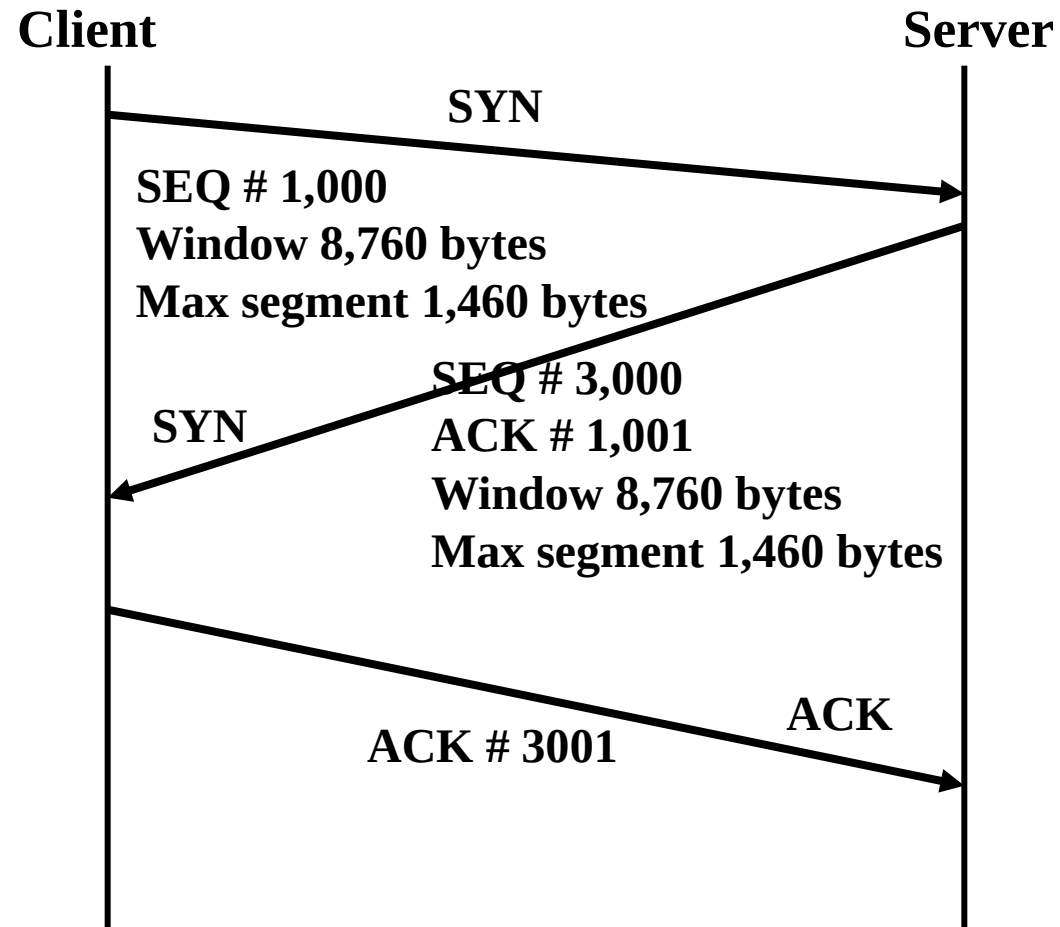
Kapcsolat felépítés 3



BME-TMIT

3. A kliens nyugtáz

- Kötelező a kliensnek nyugtát küldeni a szerver SYN szegmensére

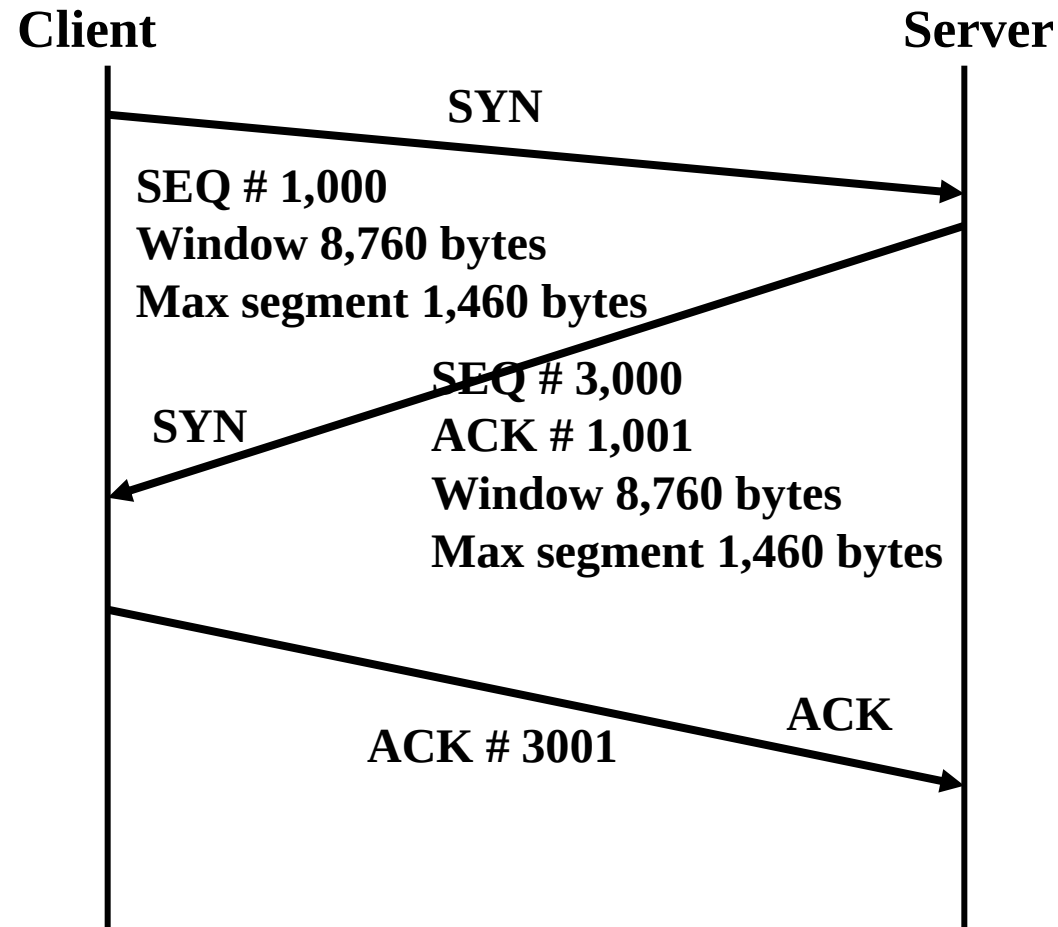


Three-way handshake



BME-TMIT

- TCP nagyon érzékeny a SYN szegmens elvesztésekre
 - Hosszú időzítések kapcsolat felépítéskor
- SYN szegmens 1 sorszámot foglal
 - Adatoknál bájtokat számlál a seqnum

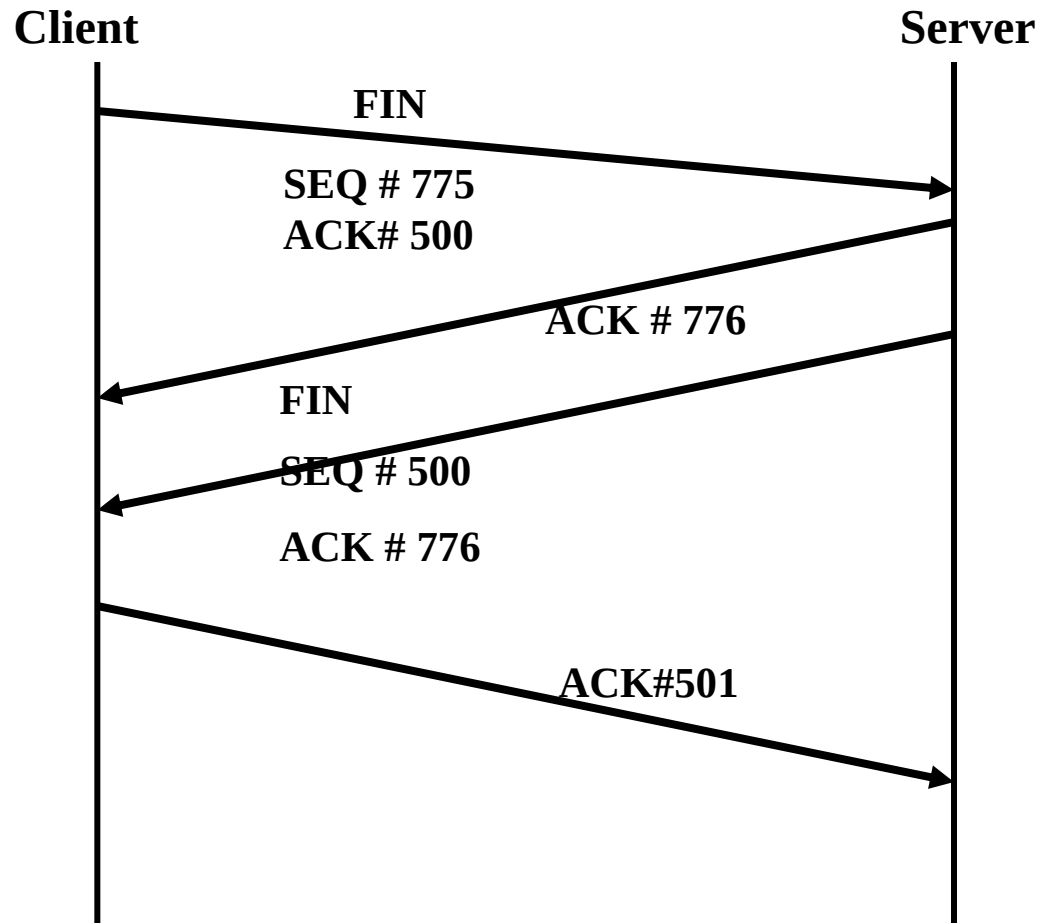


TCP kapcsolat lezárása



BME-TMIT

- 4 szegmens a kapcsolat szabályos lezárásakor
- Mindkét végpont egymástól függetlenül lezár
- FIN fogadásakor
 - A TCP-nek értesíteni kell az alkalmazást, hogy a túloldal lezárta a kapcsolatot
 - TCP FIN fogadás után továbbra is tud adatokat küldeni



Maximum Segment Size, MSS



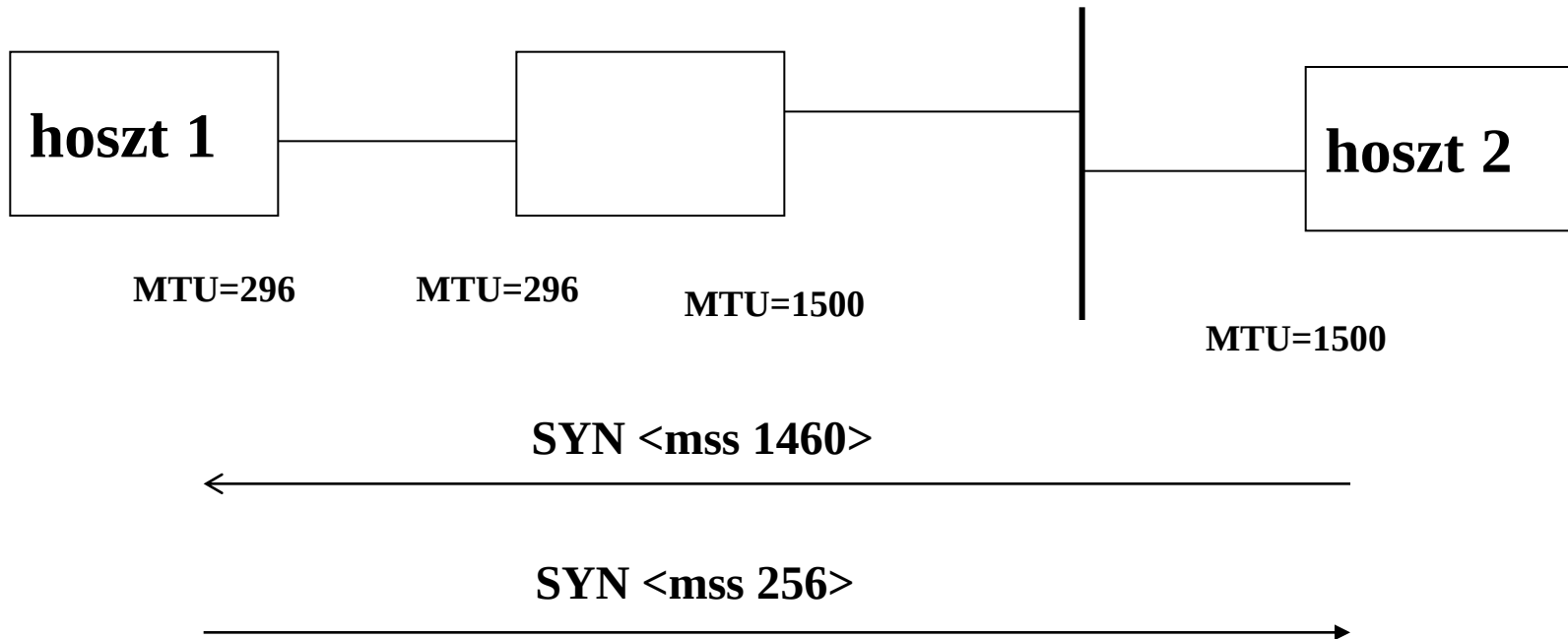
BME-TMIT

- Legnagyobb szegmens méret, melyet a másik oldal küldhet
- Mindkét végpont meghirdeti, hogy milyen méretet vár el
- MSS opció a SYN szegmensben
 - Ha nincs ilyen, akkor alapértelmezett (536 bájt)
- MSS max értéke:
 - A kimenő interfész MTU csökkentve az IP és TCP fejléc méretével
 - Ethernet: $1500 - 20(\text{IP}) - 20(\text{TCP}) = 1460$ bájt max

MSS értékek



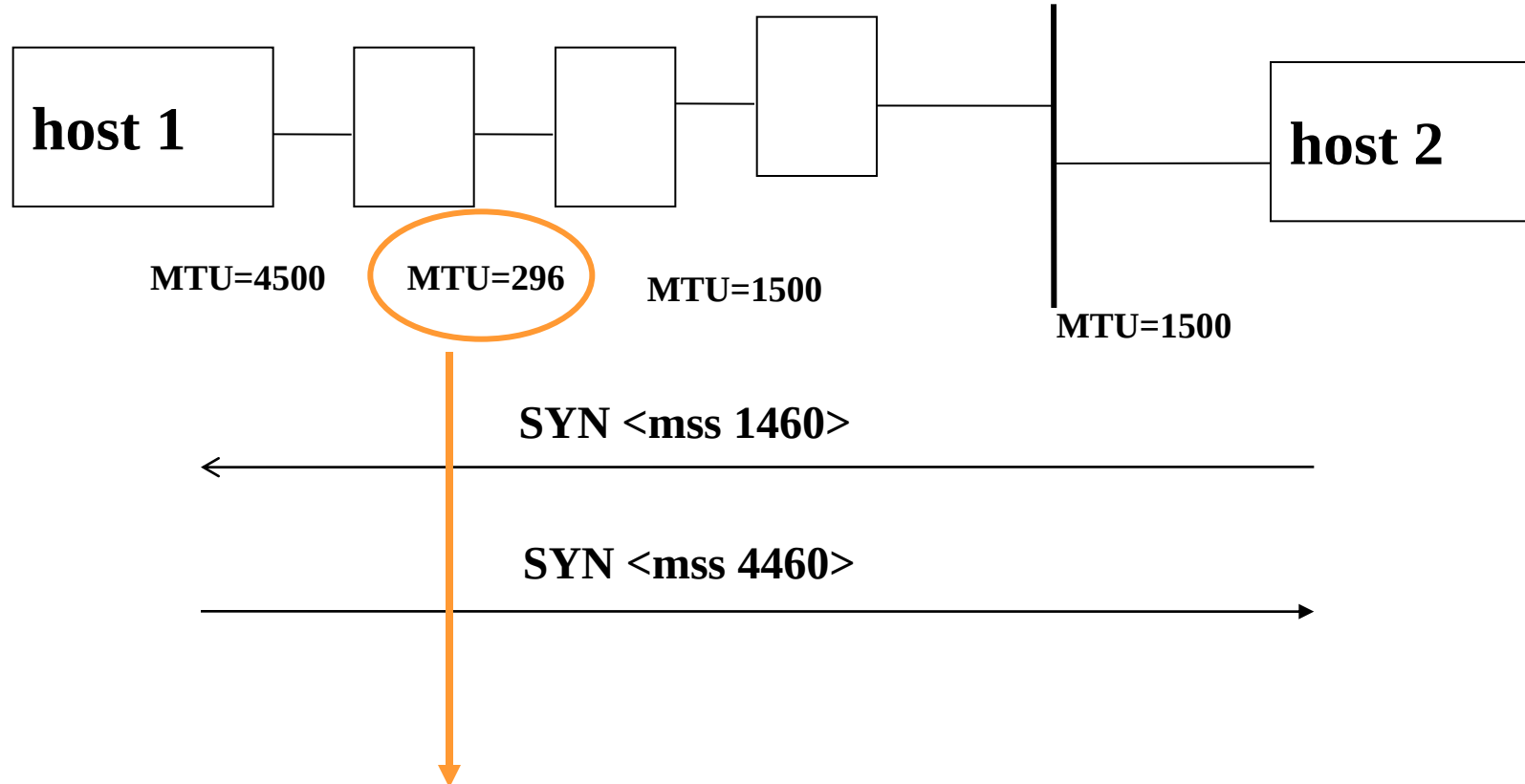
BME-TMIT



MSS értékek 2



BME-TMIT



MTU Path discovery!

- Kapcsolat felépítés után a TCP
 - Saját MSS
 - Túloldal által hirdetett MSS
 - Minimumát használja a szegmensek méretéhez
- Előfordulhat az útvonalon kisebb MTU-jú hálózat
 - Kommunikáció közben derülhet ki
 - Felderítéséhez a TCP beállított DF bites IP csomagokat küldhet

- Ha fregmentáció történik ICMP üzenet érkezik vissza:
 - "DF set, can't fragment"
- TCP csökkenti a szegmens méretet és újraküld
 - Az újabb ICMP tartalmazza a következő hop MTU-ját
 - Régebbi ICMP nem tartalmazza, következő kisebb MTU-val próbálkozik a TCP
- Nagyobb MTU érték próbája MSS növeléséhez (~10 percenként)
 - Routing változás esetén lehet
 - Kis szegmens – nagyobb overhead

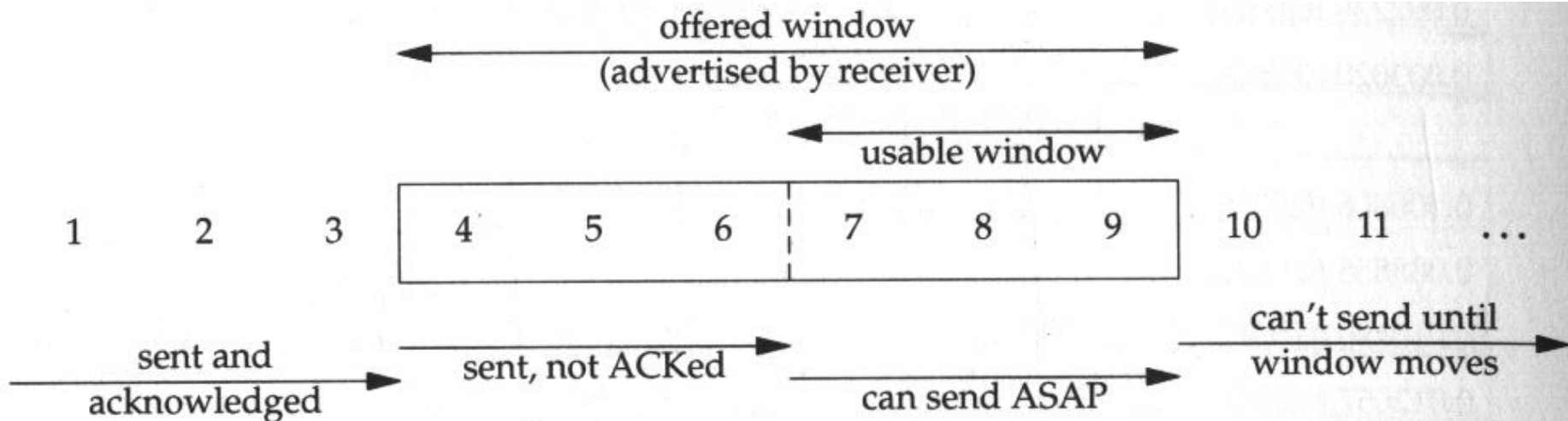
Csúszó ablak

„TCP Sliding window”



Csúszó ablak – Sliding Window

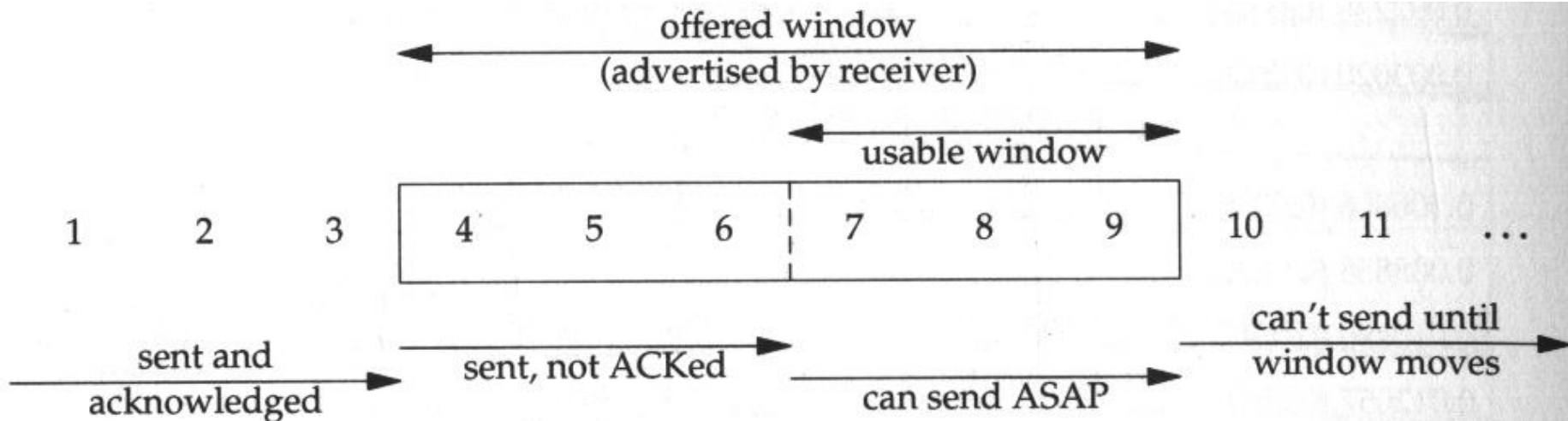
BME-TMIT



- Csúszóablak jellemzői:
 - Mérete **bájtban** adott
 - Ábrán szegmens számok!!!
- Előző példa:
 - Window méret 4096
 - Ebbe 4 db szegmens fér bele, ha egy szegmens 1024
 - Mert pl. az MSS = 1460

Csúszó ablak – Sliding Window

BME-TMIT

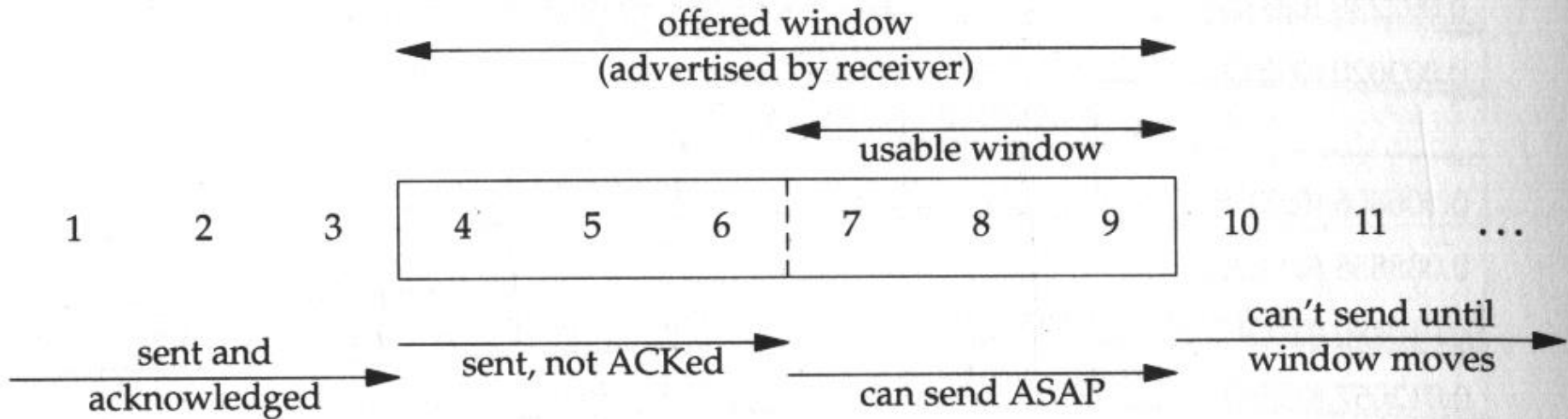


- 1-3 szegmensek már nyugtázottak
- **offered window:**
 - A fogadó által meghirdetett ablakméret
 - 4-9 szegmensek:
 - 4-6 elküldött, de még nem jött nyugta
 - 7-9 azonnal küldhető szegmensek
- **usable window:**
 - az azonnal küldhető szegmensek

Csúszó ablak – Sliding Window



BME-TMIT

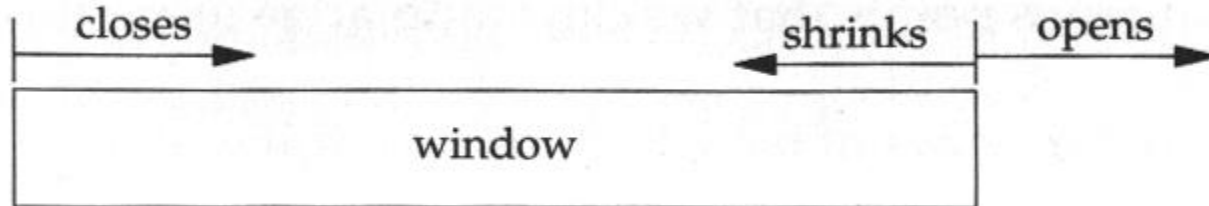


- 10 ... szegmensek
 - Elküldésre váró szegmensek
 - Csak ha érkezik nyugta és az ablak tovább csúszik

A csúszóablak végeinek mozgása



BME-TMIT



- **Zár - Closes:** ha nyugta érkezik
- **Nyit - Opens:** ha a fogadó oldalon az alkalmazás fogadja az adatokat – ürül a buffer
- **Összehúzódik - Shrinks:**
 - Normál esetben nincs
 - De a TCP-nek kell tudni kezelni!

Csúszóablak működése



BME-TMIT

http://www2.rad.com/networks/2004/sliding_window/

- Az ablak méretét a fogadó oldal kezeli
 - TCP teljesítményére hatással van
- Általában (window size)
 - Az általános **alapértelmezett érték 8 kb**jt
 - **Nem mindig optimális**
 - **Korlátozó tényező lehet!**
- Az **optimális ablak mérete** függ
 - A kommunikációs média **sávszélességétől**
 - A két hoszt közötti **körülfordulási időtől**
 - Round trip time

Slow Start



Budapest University of Technology and Economics

**Department of
Telecommunications and Media Informatics**

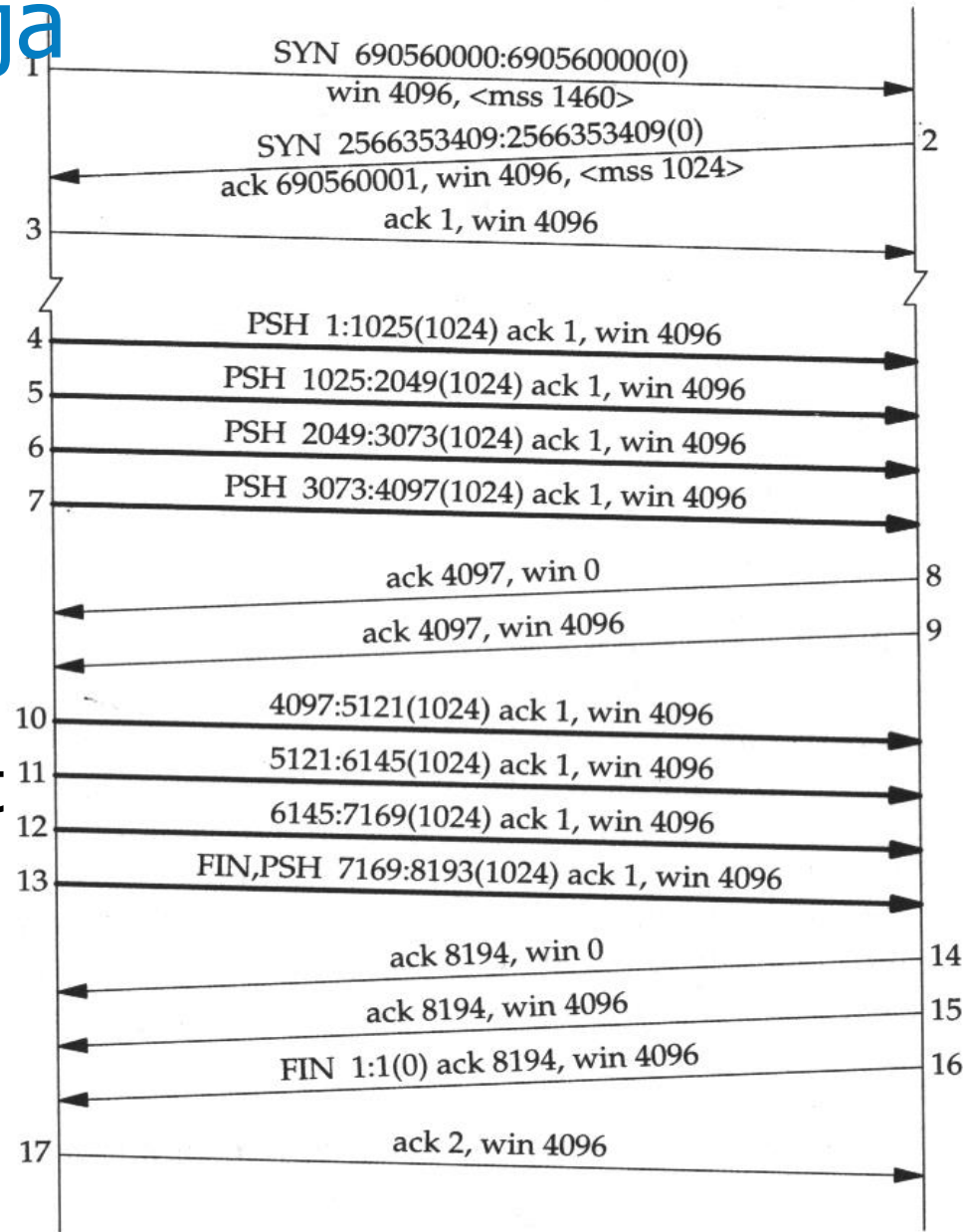




Többszörös csomagok küldésének problémája

- Korábbi példa:

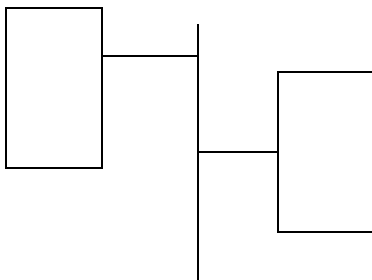
- A küldő a kapcsolat elején rögtön elküldi a meghirdetett ablakméret szerinti szegmensmennyiséget
- Milyen problémákat okozhat ez?



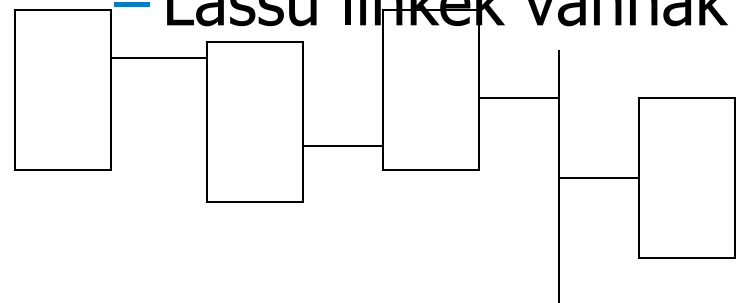
Többszörös csomagok küldésének problémája

Többszörös csomag küldés

- **Alkalmazható**
- **ha a két fél egy LAN-on van**



- **Nem alkalmazható**
- ha a két fél nem egy alhálózaton van,
- köztük
 - Routers
 - Lassú linkek vannak

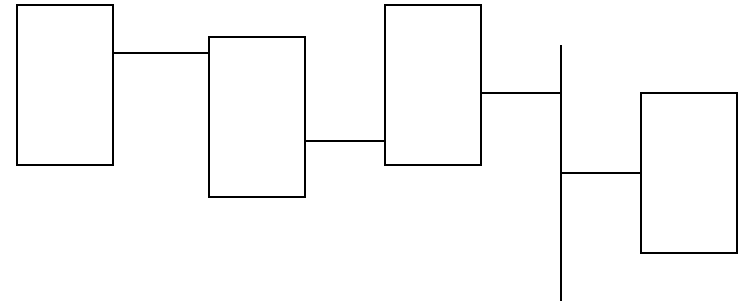


Többszörös csomag küldés nem alkalmazható



BME-TMIT

- A közbenső routerekben felsorakozhatnak a csomagok
 - Csomageldobás következhet be



- Jelentős teljesítménycsökkenést okoz

▪ **Megoldás: TCP Slow start algoritmus**



Slow Start – lassú indítás



BME-TMIT

- Mire való?
 - Elkerülhető vele a meghirdetett ablakméret szerinti többszörös csomagküldésből származó problémák
- Slow Start algoritmus alapja
 - Meghirdetett ablakméreten felül
 - Definiál egy **congestion window (cwnd)** változót a kapcsolathoz
 - Megadja az adott pillanatban elküldhető maximális szegmensszámot
 - A kapcsolat állapotától függ
 - Számlálása bájtban (példákban szegmensszámmal!)
- A cwnd - küldő oldal forgalomszabályzója
- Az adv. window - fogadó oldal forgalomszabályzója

- Új kapcsolat létrehozatalakor
 - Congestion window; **cwnd = 1 szegmens**
 - Jelentés: a küldő 1 szegmenst küldhet
- Minden alkalomkor, ha ACK érkezik
 - cwnd növelhető egy szegmensnyivel
 - (cwnd bájtban számol, de a növekedések mindig szegmens egységnyik).
- A küldő egyszerre mindig ***min(cwnd, advertised window)*** mennyiségű adatot küldhet
- A cwnd maximuma az advertised window
- **Exponenciális növekedés** az átviteli sebességben
- Egy bizonyos határ felett a közbenső hálózat elérhető sávszélességét eléri a kapcsolat
 - A közbenső routerek elkezdik eldobni a csomagokat
 - Vissza szabályzás!

Az exponenciális növekedés

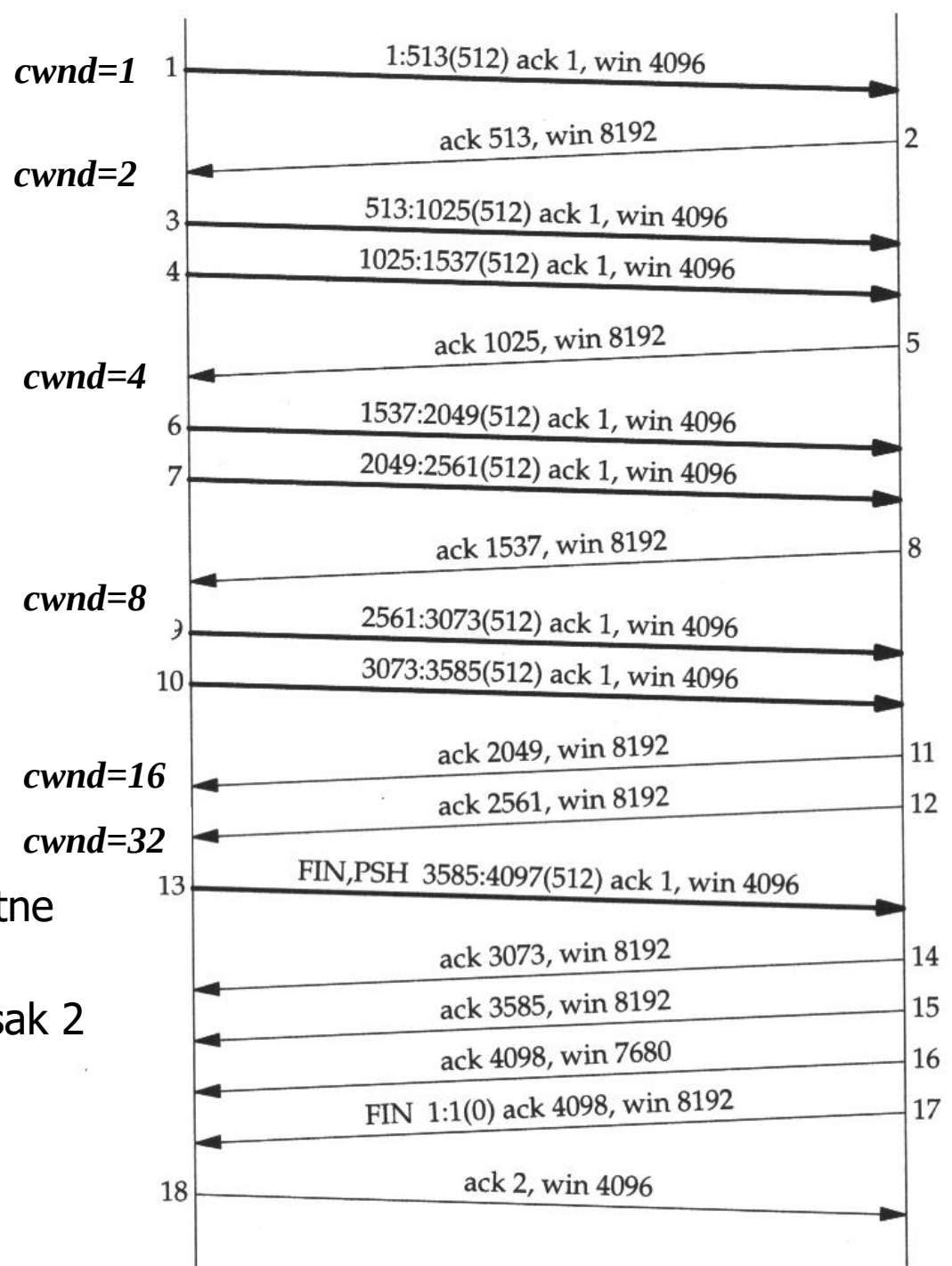


BME-TMIT

- Küldő kiküld 1 szegmenst ($cwnd=1$)
 - Vár az ACK-ra
- ACK megérkezik
 - **cwnd** megnövelhető 2-re
 - 2 szegmens küldhető
- Megérkezik a nyugta
 - **cwnd** 4-re növekszik
- ...
- $\approx$ minden körülfordulási időnként (RoundTripTime)
 - A **cwnd** megduplázódik

Példa a Slow Startra

- Cwnd=1
 - 1 szegmens küldése
 - Bár a window=8192 a fogadónál
- Nyugta
- Cwnd=2
 - 2 szegmens küldése
- Nyugta
- Cwnd=4
 - 4 szegmens küldése lehetne
 - DE a nyugta csak 1-et nyugtázott, így most is csak 2 szegmens
- ...



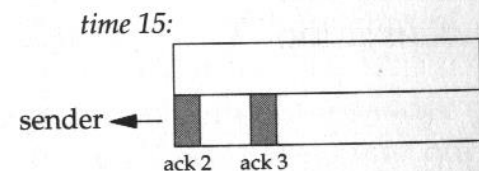
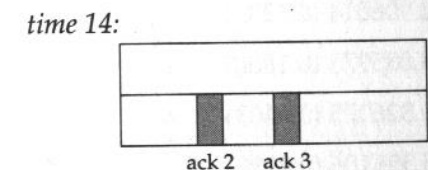
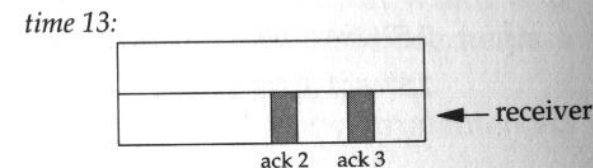
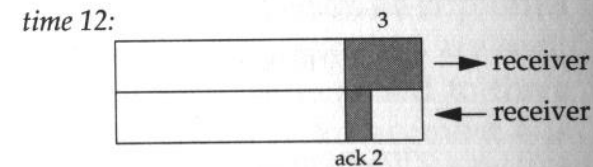
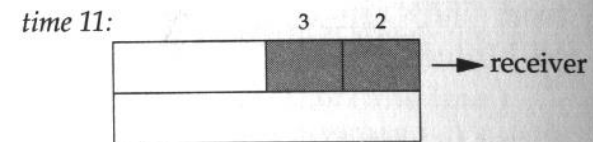
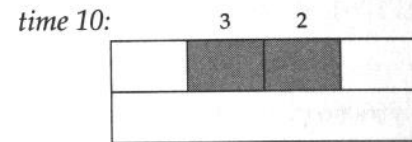
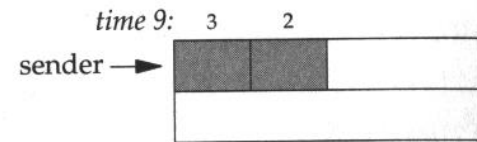
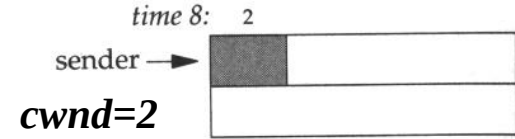
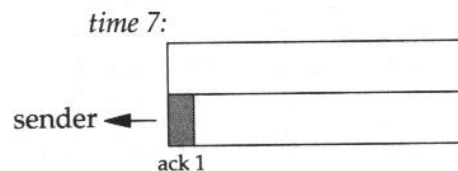
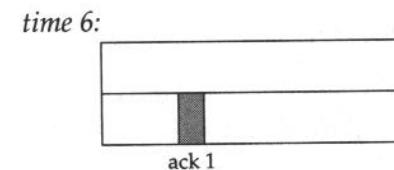
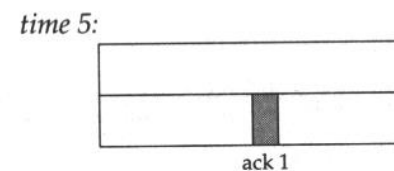
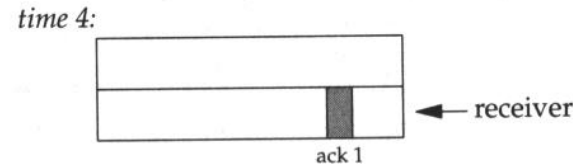
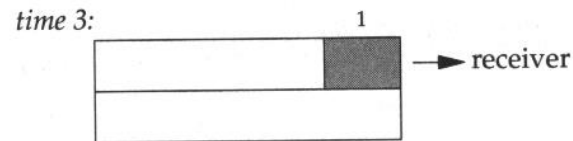
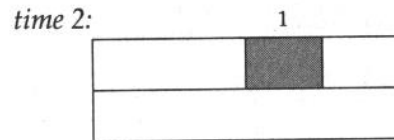
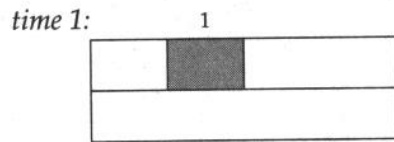
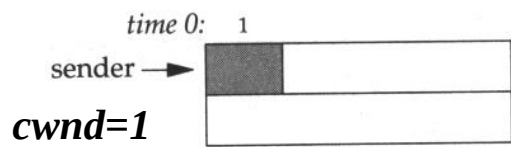
Ideális álapot elérése

- **time 0:**

- küldő egy szegmenst továbbít
- A slow start miatt ACK-ra vár
- RTT: 8 időegység

- **ACK megérkezése**

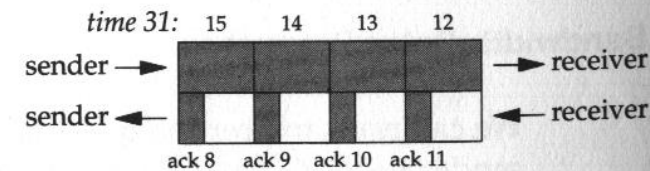
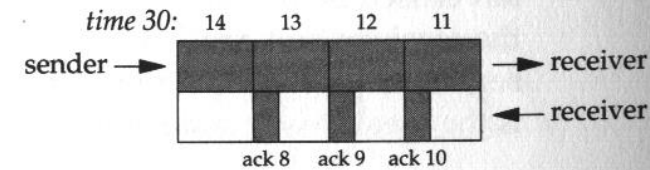
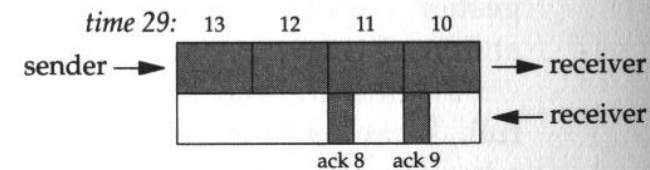
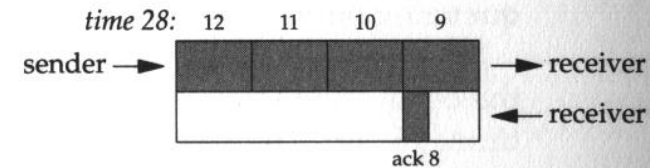
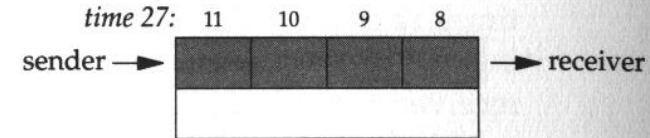
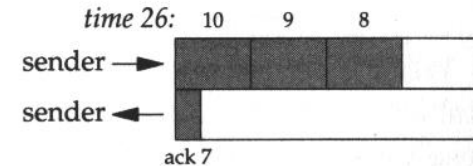
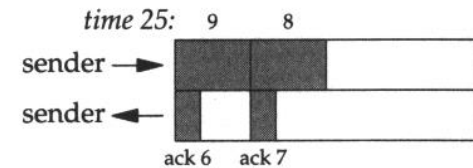
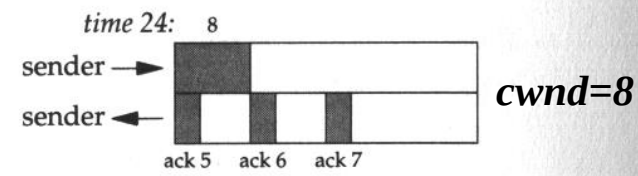
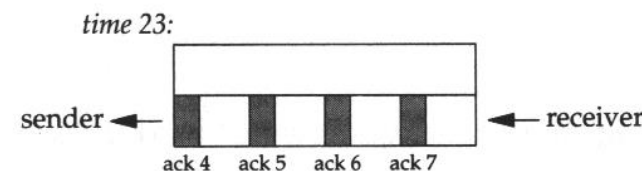
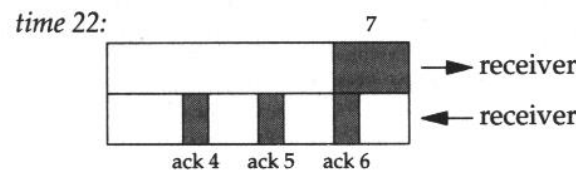
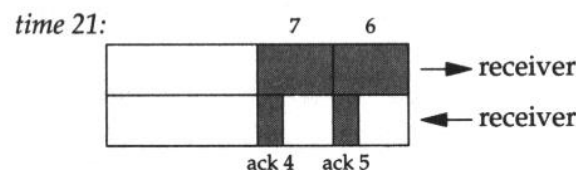
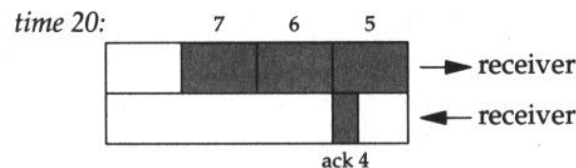
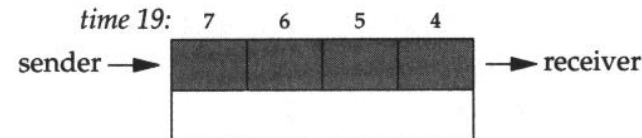
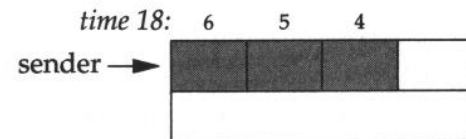
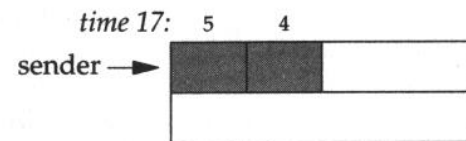
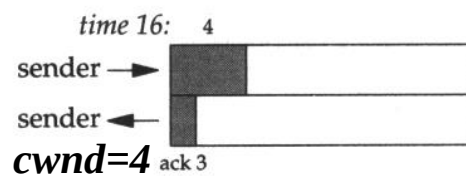
- két szegmens küldhető (cwnd=2)



Ideális állapot elérése

- 31-től a csatorna a küldő és a fogadó között telített

- Ideális állapota a kapcsolatr



TCP interaktív adatfolyam

TCP interactive data flow



- Bulk – tömeges
 - ftp, e-mail, ... (általában maximális méretű szegmensek)
- Interaktív
 - telnet (minimális, kb. 10 bájtot szállítanak)
- Csomagok száma alapján
 - Összes TCP szegmens 50%-a bulk adat
- Szállított bájtok alapján
 - 90% bulk adat
 - 10% interaktív adat

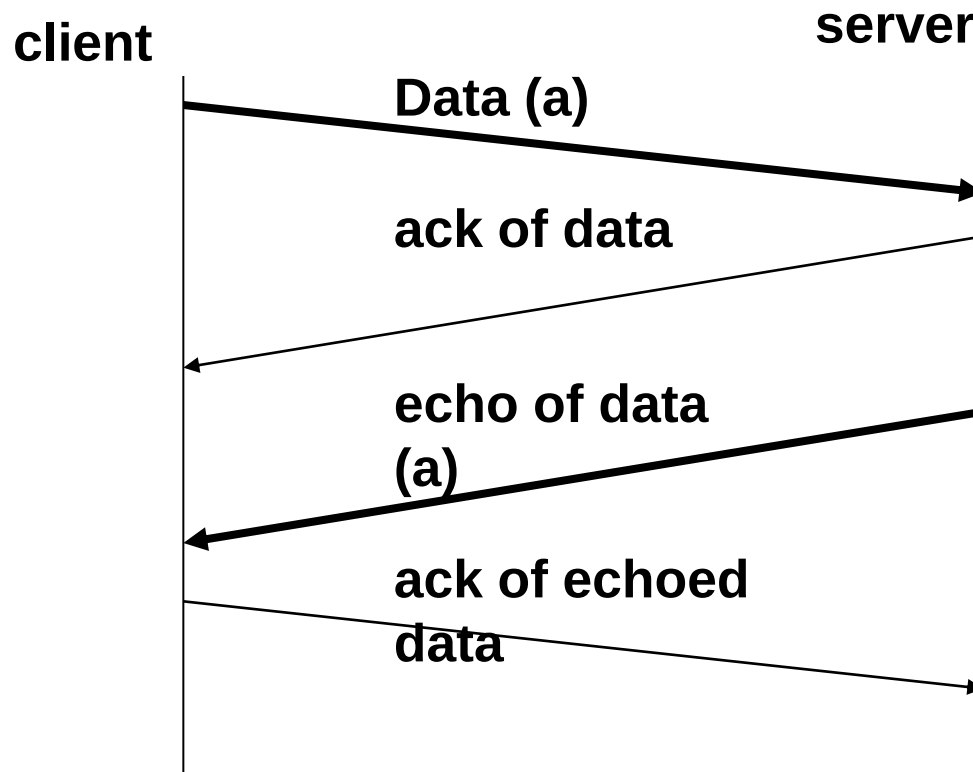
- Adatfolyamvezérléshez különböző típusú algoritmusok
 - Kis csomagok (kevés hasznos adat)
 - Küldés: ritkán

Interaktív adatátvitel (telnet)



BME-TMIT

- „a” karakter átvitele és megjelenése a képernyőn
 - általában a 2. és a 3. szegmensek összevonhatók



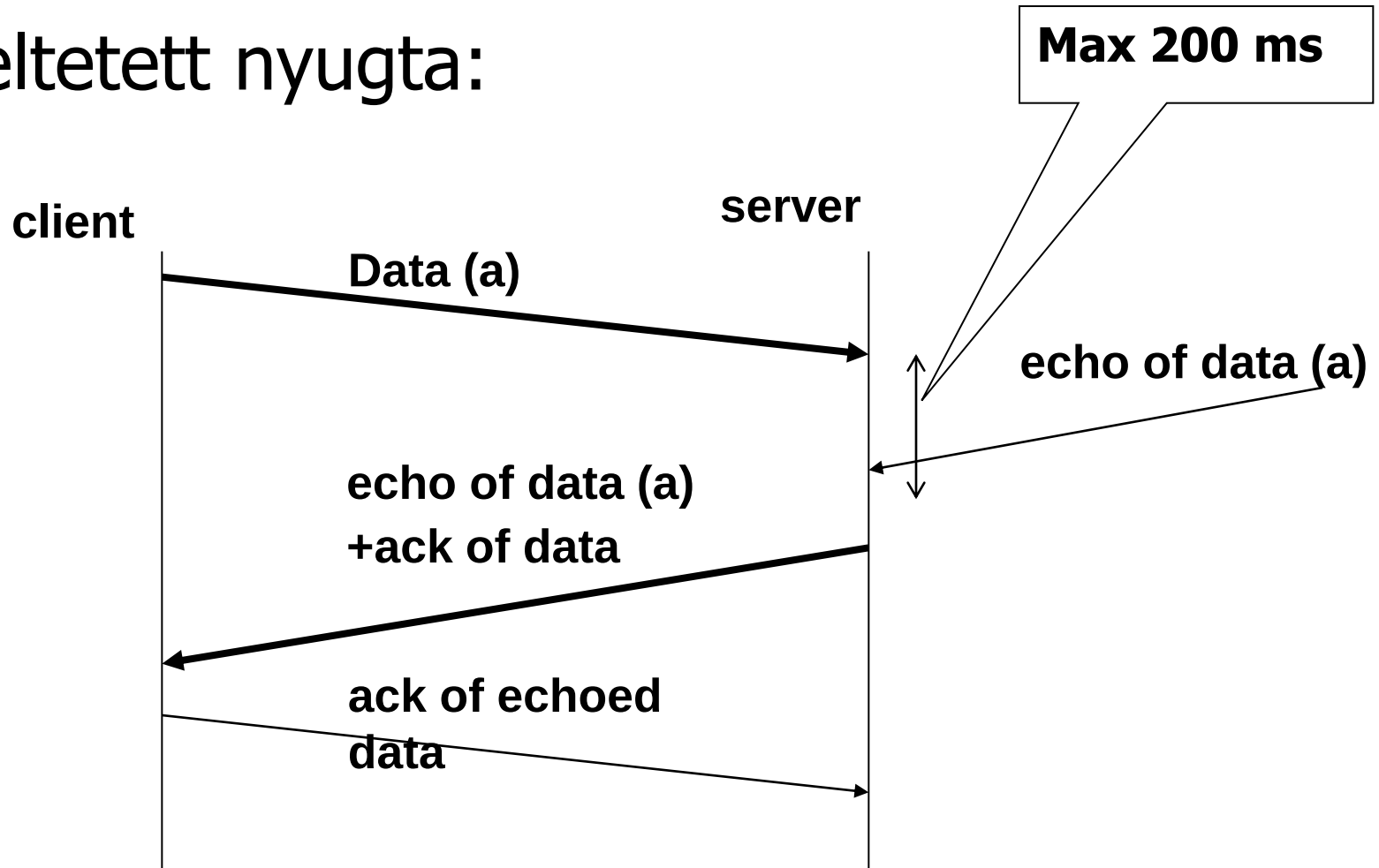
- TCP az adat fogadásakor nem küld rögtön nyugtát
 - Késlelteti az ACK kiküldését:
 - Várja, hogy jön-e hasznos adat – majd annak a fejlécében nyugtáz
 - (ACK ***piggyback*** with the data)
- Pl. 200 ms-os időzítő az ACK-ra:
 - TCP az adat fogadása után maximum 200 ms-ig késlelteti az ACK küldést
 - Ha nem jön adat ACK magában megy

Interaktív adatátvitel (telnet)



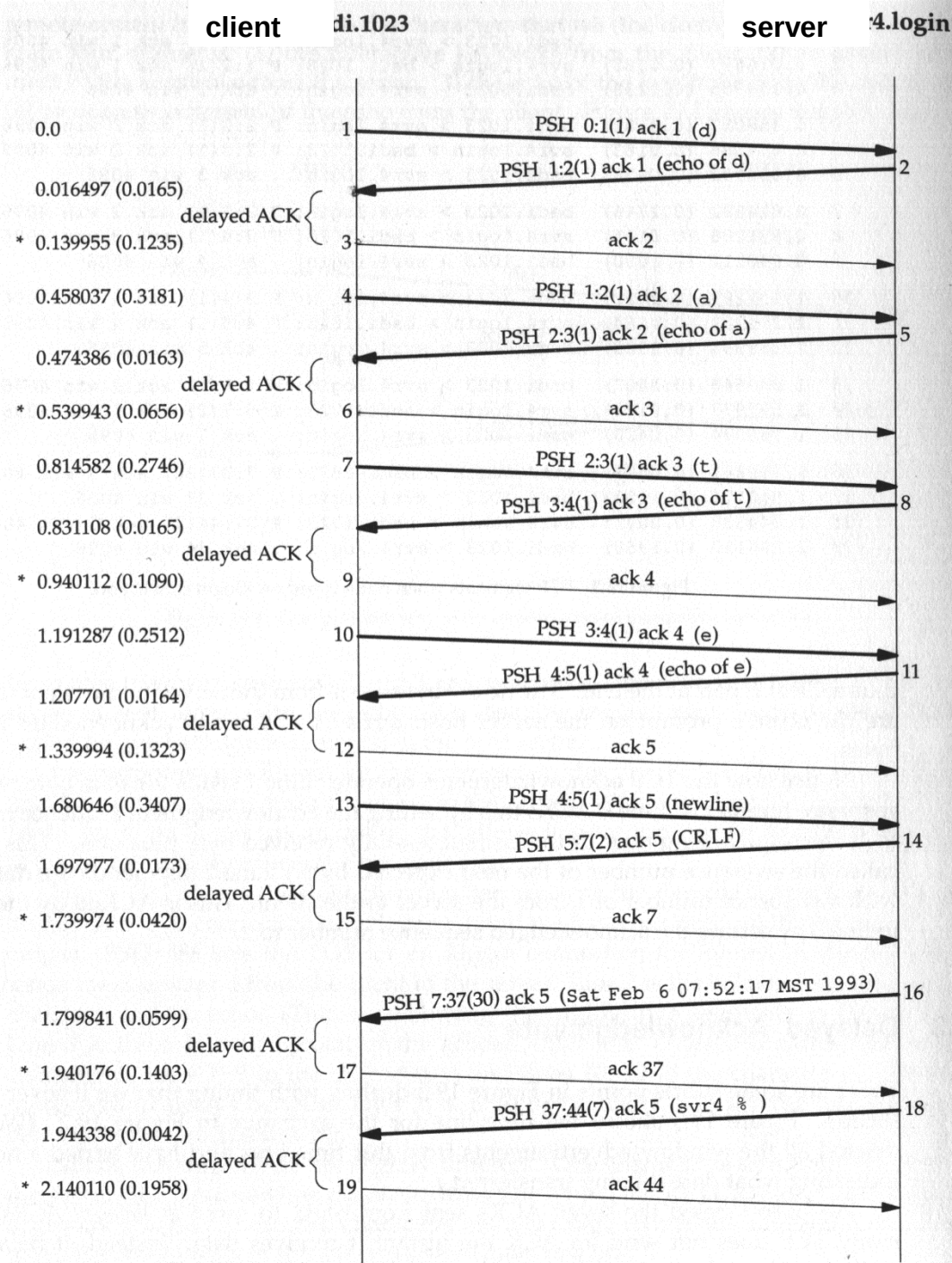
BME-TMIT

- Késleltetett nyugta:



Delayed ACK példa

- Date
parancs...
- ...és a válasz



- Gyakran mennek 1 bájtos csomagok interaktív forgalom esetén
 - 1 bájt adat - 41 bájtos IP datagrammba kerül
 - tinygram
- Nagy overhead: hasznos adat - összes adat arány alacsony
 - Torlódás okozó
 - LAN-on nem probléma
 - WAN-on sok ilyen forgalom probléma lehet
 - Rossz sáv szélesség kihasználás

- Nagle algorithm
 - Ha a TCP kapcsolatnak van kintlévő adata, amelyet még nem nyugtáztak, kis szegmensek nem küldhetők, amíg a nyugta meg nem érkezik
 - Helyette, a kismennyiségű adatokat összegyűjti és nyugta vételekor egy szegmensben küldi el őket
- Minél gyorsabban jön a nyugta, annál gyorsabban küldi az adatokat

- Előfordul, hogy szükséges kis szegmensek átvitele:
 - X-window egér pozíciók
 - Speciális terminálfunkciók
 - Több bájtos adatok (escape karakterrel kezdve)
 - Előfordulhat, hogy az első bájtot elküldi a kliens, majd vár a nyugtára
 - De a szerver is vár a nyugtával
 - Észrevehető késleltetés!

TCP tömeges adatfolyam

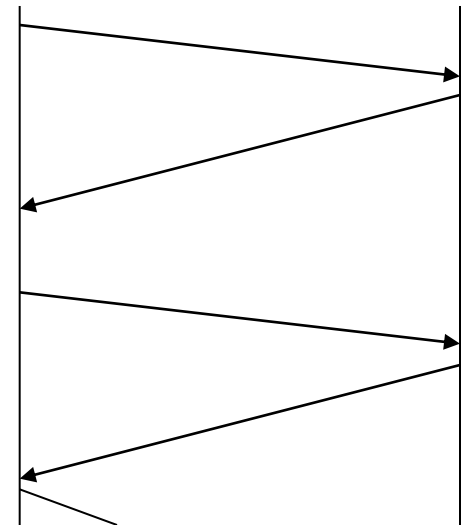
TCP bulk data flow



- Stop-and-wait protocol
 - Adatszeletet elküldése
 - Nyugtára vár
 - Nyugta megérkezik – első lépés (következő adatszelettel)
 - Nyugta nem érkezik (időzítés) – előző adatszelet újraküldése, majd nyugtára vár

- Jellemzők

- Minden adatszeletre nyugta
- Nagy távolság esetén nagyon lassú



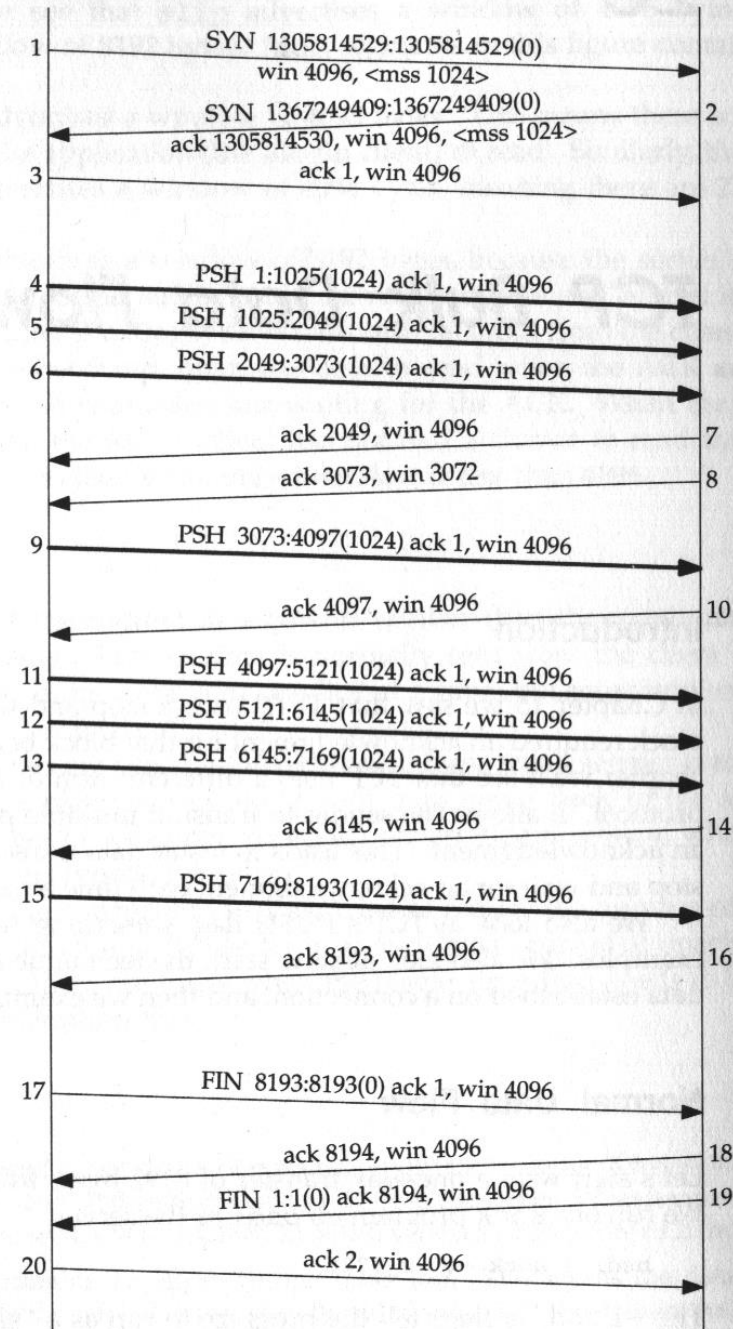
- Sliding Window – csúszóablak
- Nem vár minden szegmensre külön nyugtát
 - Több nyugtázatlan csomag is lehet a hálózaton
 - Többszörös szegmensküldés
 - Nyugták csoportosan is érkezhetnek
- Gyorsabb átvitel
 - Ha megfelelően szabályozott a kint lévő szegmensek száma

Példa - Normál adatfolyam

svr4.1056

bsdi.7777

- A küldő 3 szegmenst küld (4-6)
- A 7. szegmens nyugtázza az első kettőt – magyarázat:
 - **4,5,6 megérkezik a szerverhez** és az IP bemeneti sorába kerülnek
 - IP input queue
 - TCP feldolgozza a **4.** szegmenst
 - A kapcsolat **késleltetett nyugta küldésre megjelölést** kap
 - Nyugtaküldő időzítő elindul
 - TCP feldolgozza az **5.** szegmenst
 - 2049-es bájtra **nyugtát generál, mert már összesen két kimenő szegmens várakozik**

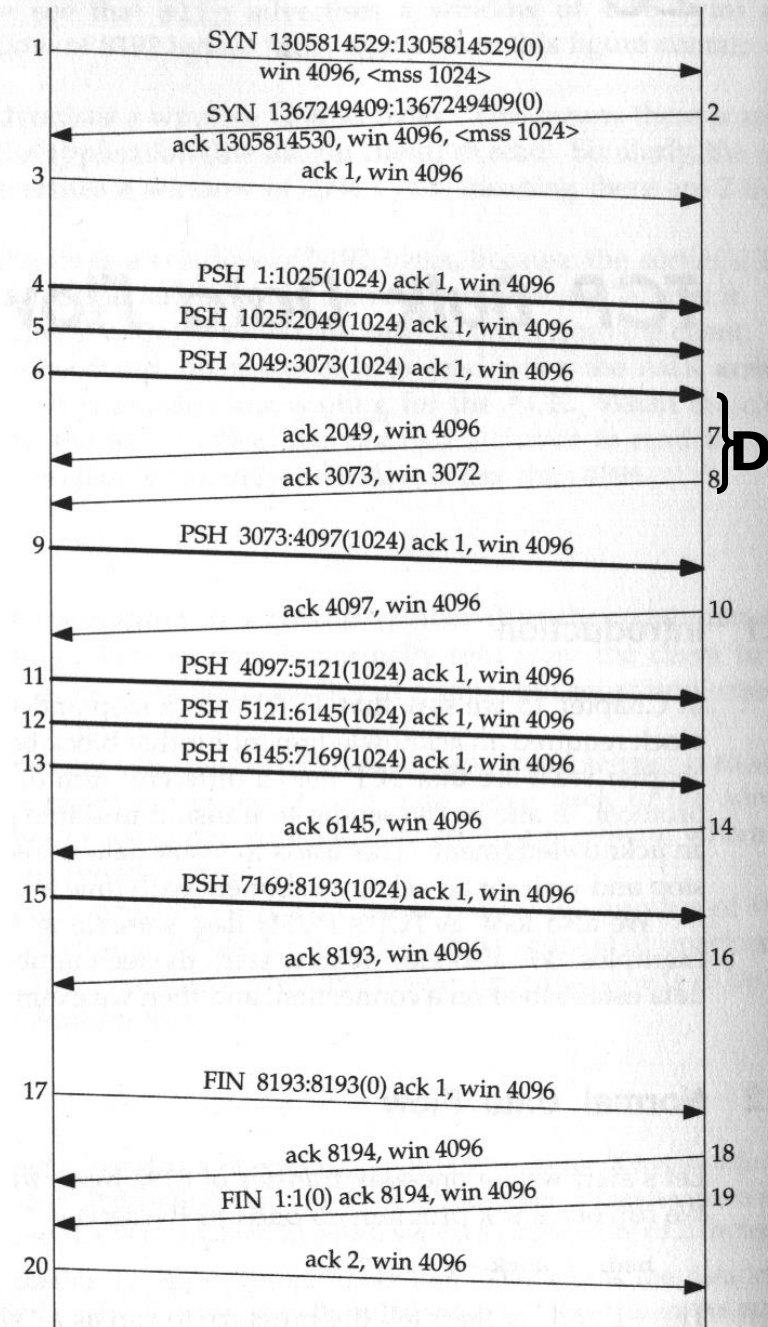


Példa - Normál adatfolyam

svr4.1056

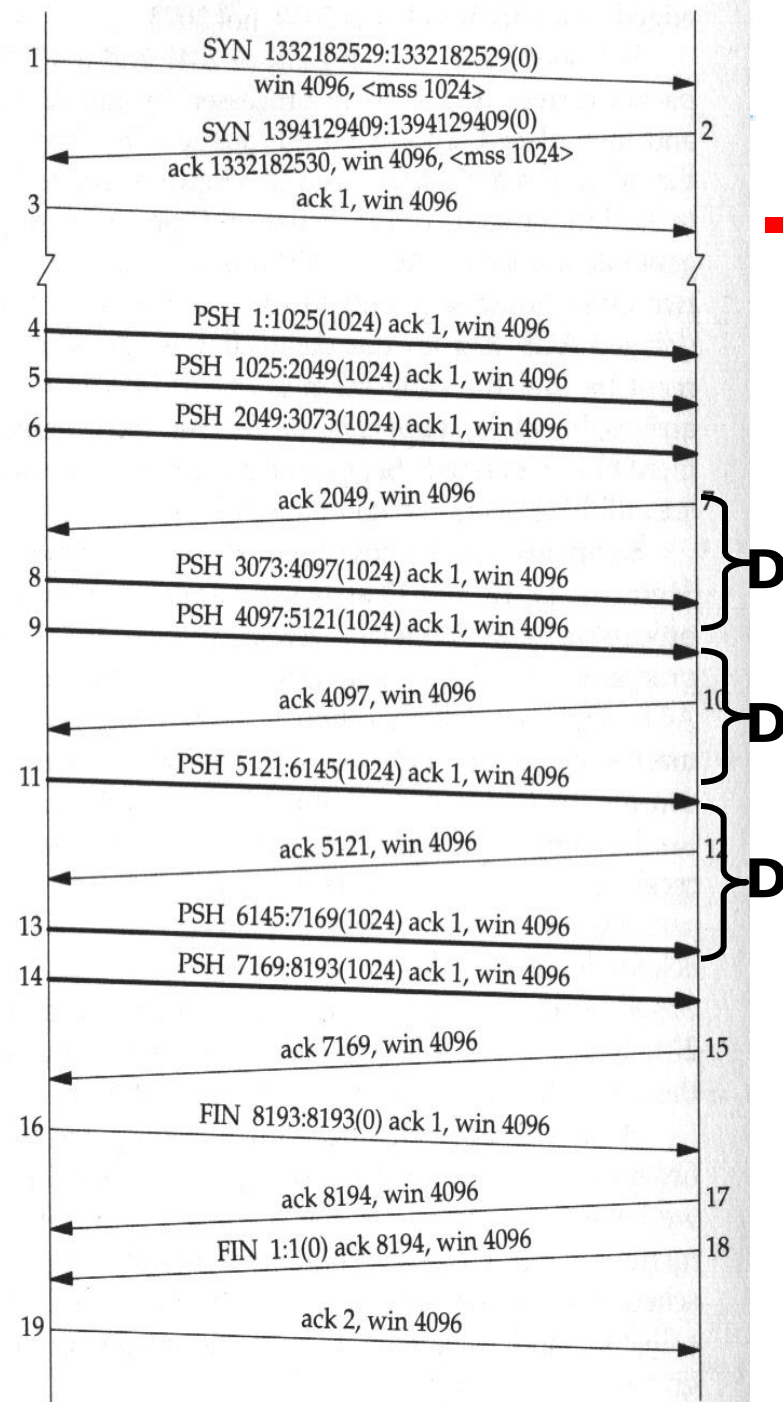
bsdi.7777

- TCP feldolgozza a 6. szegmenst
- A kapcsolat **késleltetett nyugta küldésre** ismét **megjelölést** kap
 - Nyugtaküldő időzítő elindul
- Nyugtaküldő **időzítő lejár (D)**
 - 9. szegmens még nem jött meg
 - **Nyugtát** (8) a 3073 bájtra **kiküldi**
- Szegmens 8, **win 3072**
 - A Windows méret kevesebb:
 - A nyugta küldésekor még 1024 adat (6. szegmensé) még benne van a TCP fogadó bufferében, melyet az alkalmazás még nem vett át



Példa2 - Normál adatfolyam

- Itt a 8. szegmens a nyugta késleltetés időzítése előtt megérkezik
 - Nyugta 4097-ig kiküldésre kerül
 - Bár még a kiküldés előtt megérkezik a 9. szegmens
- 12. nyugta
 - Csak a 9. Szegmens – időzítő!

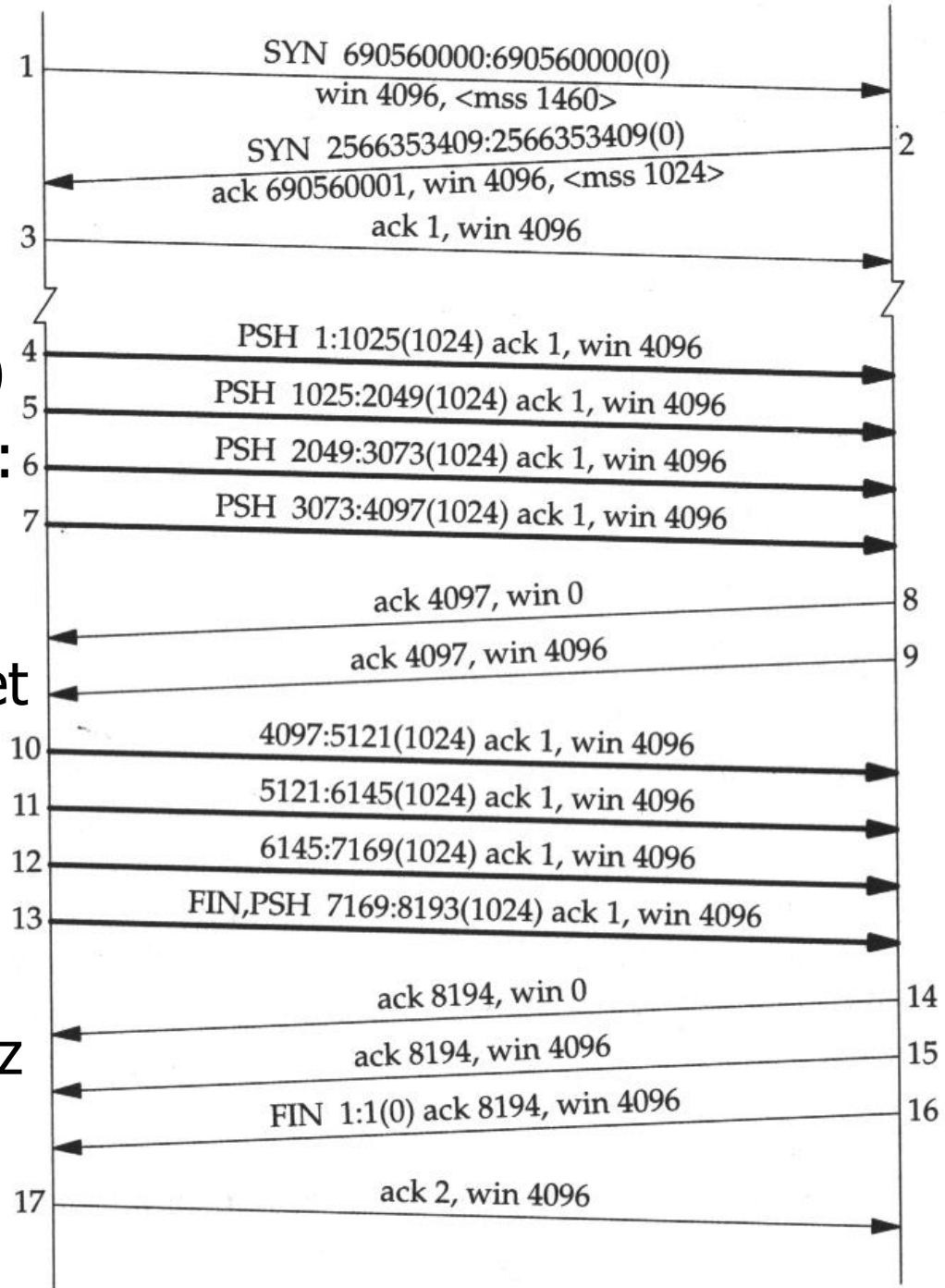


- Küldő a meghirdetett ablakméret szerint küld:
 - Megtölti a fogadó bufferét
 - Küldő vár a nyugtára
 - A fogadó oldal lassú, nem tudja az alkalmazásnak tovább adni az adatokat – buffere még mindig tele
- A fogadó nyugtájában az „advertised window size” = 0
 - A küldő nem küld több szegmenst
- Ebből az állapotból ki kell billenteni a küldőt:
 - Ha már ürül a buffere
 - Window Update üzenet:
 - Újabb nyugta ugyanarra a szegmensre
 - De új window mérettel

Példa2

window update

- Egymás utáni 4 szegmens küldése (**4-7**)
 - Fogadó buffere tele lesz:
 - Ack: 4097 (**8**)
 - Window: **0** !!!
 - **Window update** üzenet
 - még egy ACK: 4097 (**9**),
 - Window: 4096 !!!
- 
- A TCP fogadó bufferét az alkalmazás kiürítette



- A TCP szegmensek és nyugták elveszhetnek a hálózatban
 - Torlódások miatt a közbeeső routerekben csomageldobás lehet
- **retransmission timer** – újraküldési időzítés
 - Szegmens megküldésekor időzítő indul
 - Lejáratáig az ACK-nak meg kell érkezni
 - Ha nem érkezik meg az időzítés lejáratáig (timeout)
 - A szegmenst újraküldi
 - Cwnd=1 lesz ismét

- Milyen nagy legyen az ablakméret, hogy ideális állapot legyen?
- Előző példa:
 - A küldőnek 8 szegmenst kell a csatornára engedni nyugták nélkül, a maximális teljesítményhez
- **Csatorna kapacitása = sávszélesség $\times$ körülfordulási idő**
- (bandwidth-delay product)
- A fogadó meghirdetett ablakméretének egyenlőnek kell lenni a csatorna kapacitásával

- RTT – becsléssel számítja a TCP
 - Az előző érték (RTT)
 - És a mért (M) értékből származik

$$RTT \leftarrow \alpha RTT + (1 - \alpha) M$$

- α - csillapító faktor (≈ 0.9)
- Minden mérésakor frissítés

Retransmission TimeOut

$$RTO = RTT \times \beta$$

- β : késleltetési variancia faktor
 - Ajánlott érték 2
- **probléma:** a késleltetés nagy ingadozásait nem tudja követni
- Jacobson féle számítás
 - Késleltetés ingadozás jobb követésére más RTT számítás

Jacobson féle számítás

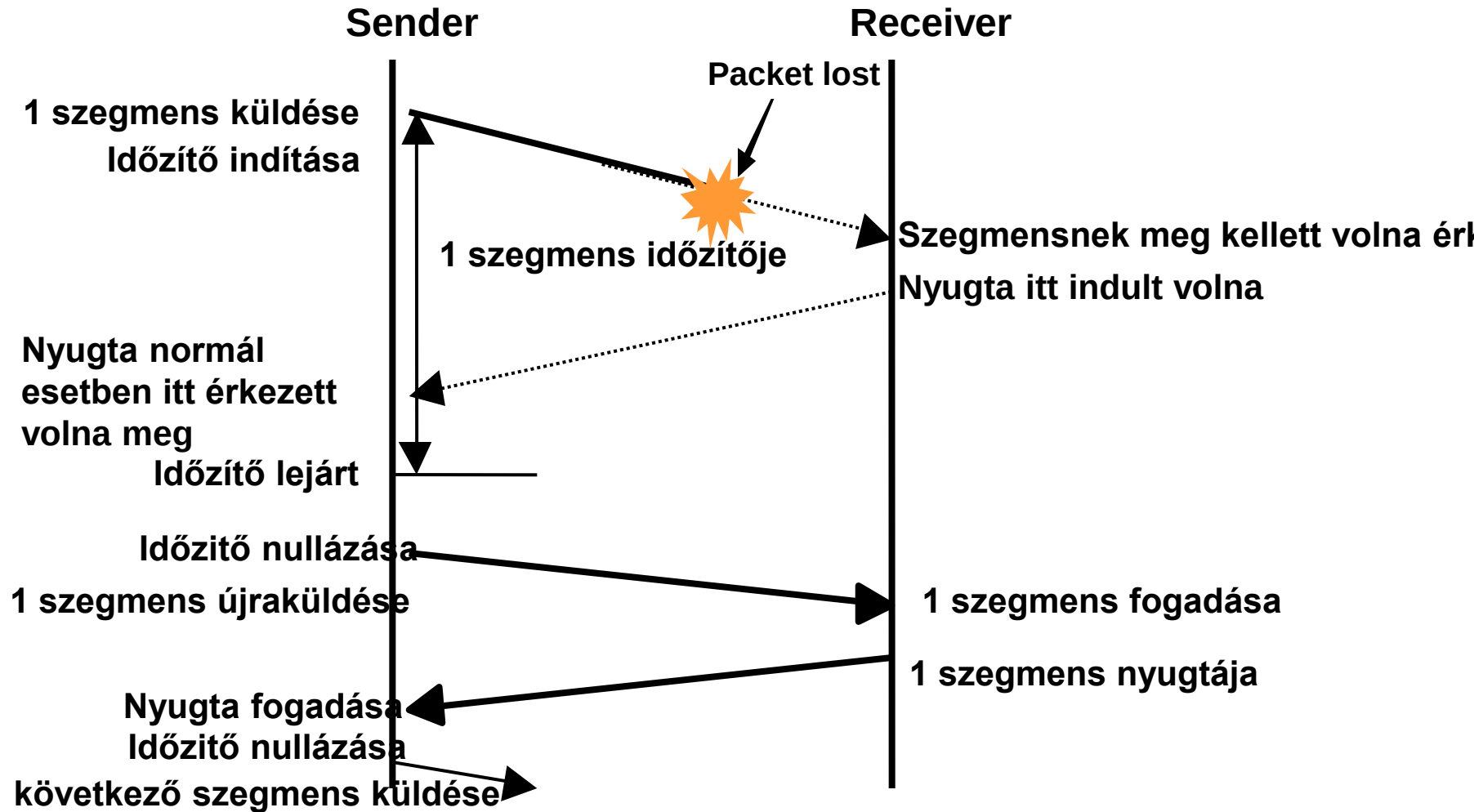


BME-TMIT

- $Err = M - A$
 - M Mért érték
 - A csillapított RTT (átlag becslése)
- $A \leftarrow A + g Err$
 - $g = 0.125$
- $D \leftarrow D + h|(Err - D)|$
 - D csillapított átlagos eltérés
 - $h = 0.25$
- **$RTO = A + 4D$**

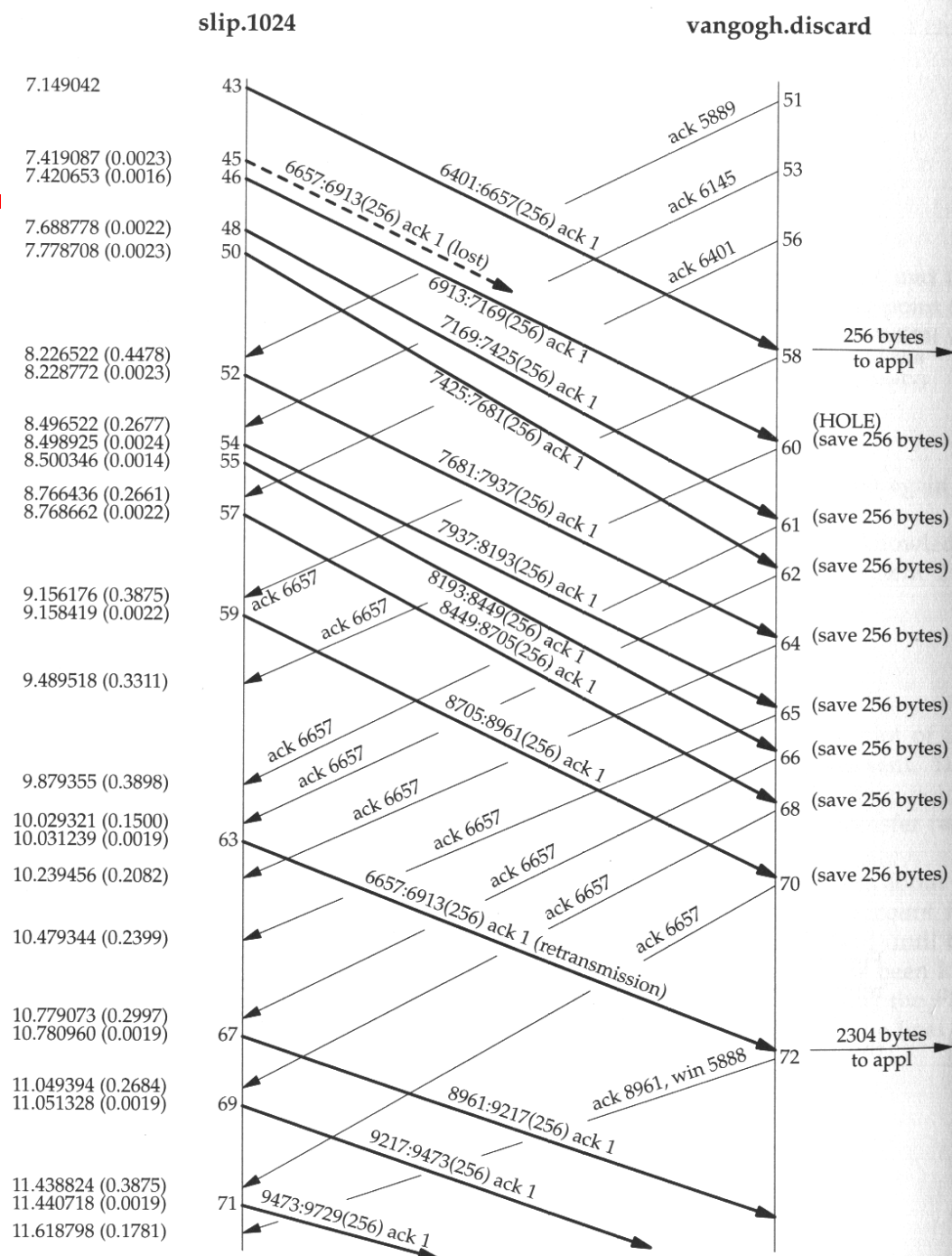
Példa: újraküldés időzítés lejártakor

BME-TMIT



Újraküldés ACK-k száma miatt

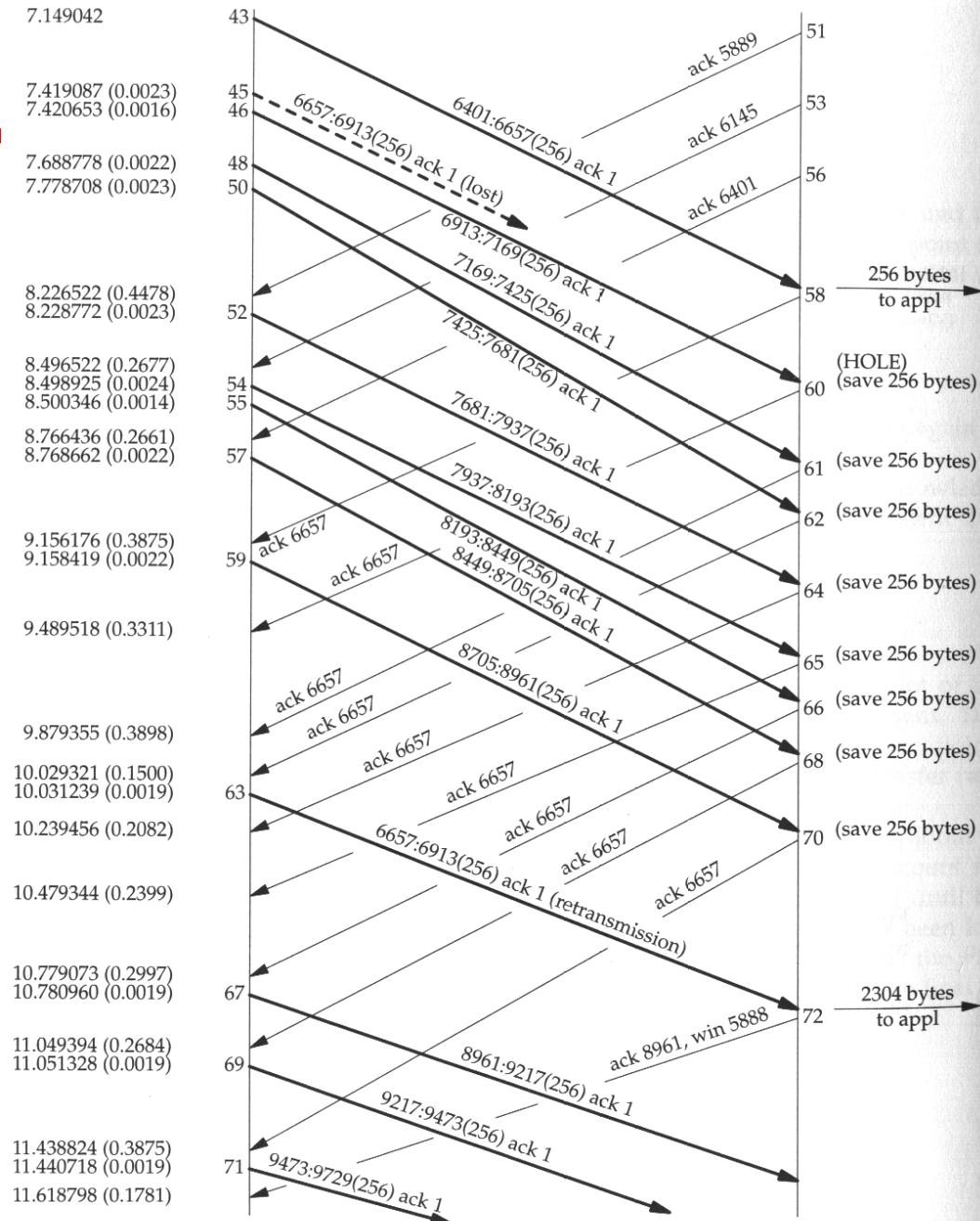
- 45. szegmens elveszett
- A 62. szegmens (nyugta) hatására újraküldés
 - Ez volt a 3. egyforma ACK 6657-ből
- Fogadó folyamatosan menti a további szegmenseket
 - A hiányzó utániak így nem vesznek el



miatt

- slip.1024

vangogh.discard



Újraküldés ACK-k száma miatt 2

- gyorsítás:
 - A fogadó egy szegmens hiányakor rögtön duplikált ACK küld vissza
 - A küldő gyorsabban újraküldi a hiányzó szegmenst
 - Gyorsabban visszaáll a rendes adatátvitel
- Jelenleg a TCP nem tud
 - Egy szegmens hiányát jelezni
 - Sorrend eltéréseket jelezni

Gyors újraküldés, gyors visszaállítás algoritmus



BME-TMIT

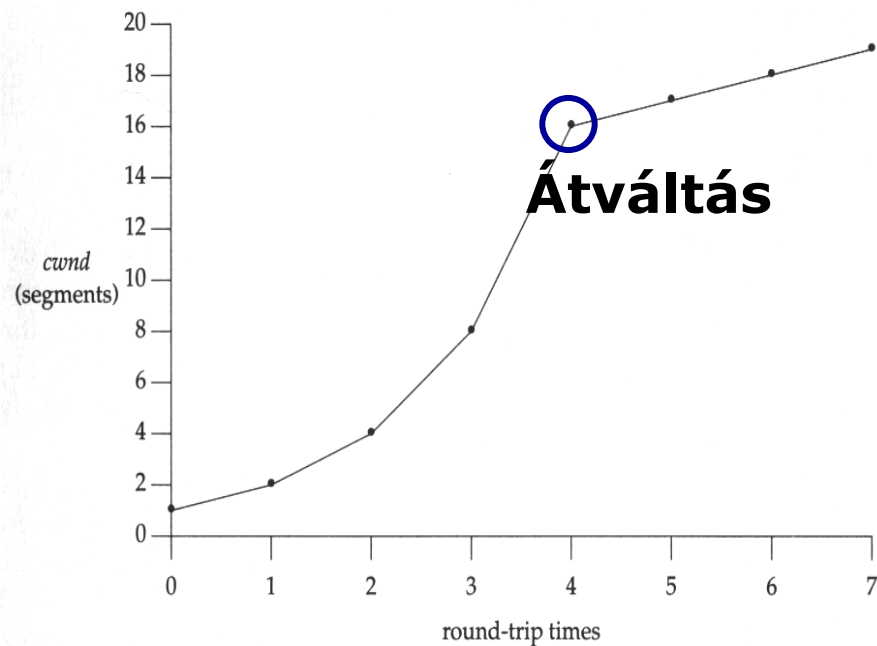
- Fast retransmit – fast recovery
- 3 vagy több duplikált ACK
 - Gyors jelzése egy szegmens elvesztésének
- Újraküldés (már az RTO lejáratára előtt)
 - ***fast retransmit – gyors újraküldés***
- De utána:
 - **congestion avoidance** – torlódás elkerülés
 - NEM slow start – lassú indítás
- Ez a ***fast recovery*** algoritmus

Congestion avoidance alg.



BME-TMIT

- A Slow Starttal a **cwnd** exponenciálisan nő
- Az exponenciális növekedés vége: ha csomagvesztés fordul elő
 - Ezután újraküldés
 - **cwnd** lecsökken 1-re, és indul újra a slow-start
- **Congestion avoidance** algoritmus lehetővé teszi, hogy az exponenciális növekedés additív növekedéssé váljon
- Ezzel a TCP a cwnd növekedését 1-re tudja maximalizálni egy RTT alatt
- A csomagvesztések kevésbé gyakoriak lesznek



CWND növekedése a congestion avoidance alatt



BME-TMIT

- Minden ACK fogadásakor

$$cwnd = cwnd + 1/cwnd$$

- Additív növekedés
 - A slow start exponenciális növekedésével szemben
- cwnd gyakorlatilag 1 szegmens értékkel nő RTT-ként

$$cwnd = cwnd + \text{szegmensméret} \times \text{szegmensméret} / cwnd$$

- cwnd valódi értéke szintén bájtban!

Congestion avoidance alg.



BME-TMIT

- *cwnd*: Congestion window
 - *ssthresh*: slow start threshold size
1. Kapcsolat kezdetén a kiindulási értékek
cwnd = 1 szegmens,
ssthresh = 65536 bájt
 2. TCP küldő maximum
min(*cwnd*; advertised window)
szegmenst küldhet

Congestion avoidance alg.



BME-TMIT

3. cwnd értéke slow start szerint (exponenciálisan) nő, míg csomagvesztés nem történik

ssthresh új értéke: **$\min(\text{cwnd}, \text{advertised window})/2$**
de legalább 2

Ha a torlódás időzítő lejáratára miatt következett be, a cwnd értéke 1 lesz és újra slow start

4.

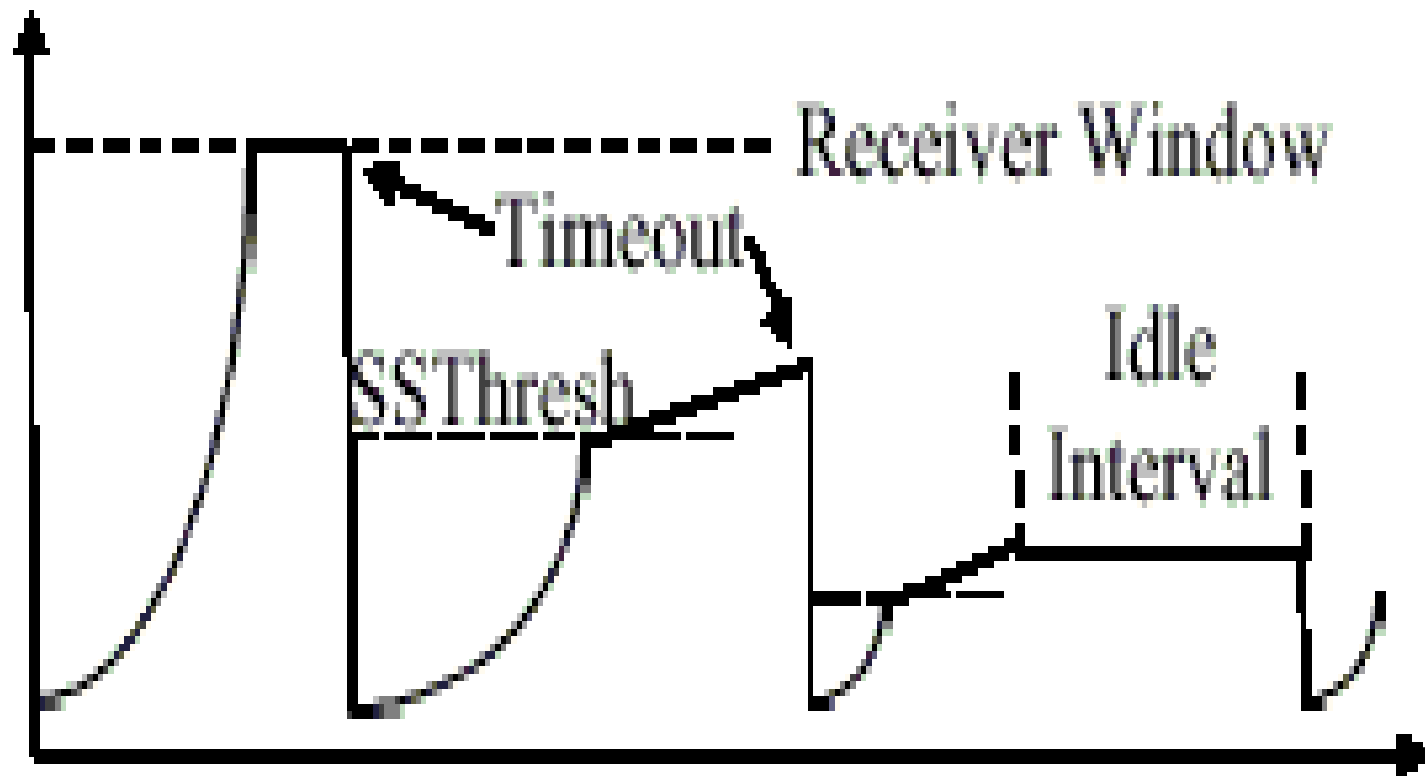
Ha a cwnd kevesebb vagy egyenlő ssthresh-sel, slow start szerinti növekedés

Ha a cwnd nagyobb, mint az ssthresh, congestion avoidance lép működésbe, cwnd legfeljebb 1 szegmenssel növekszik RTT-ként

Congestion avoidance



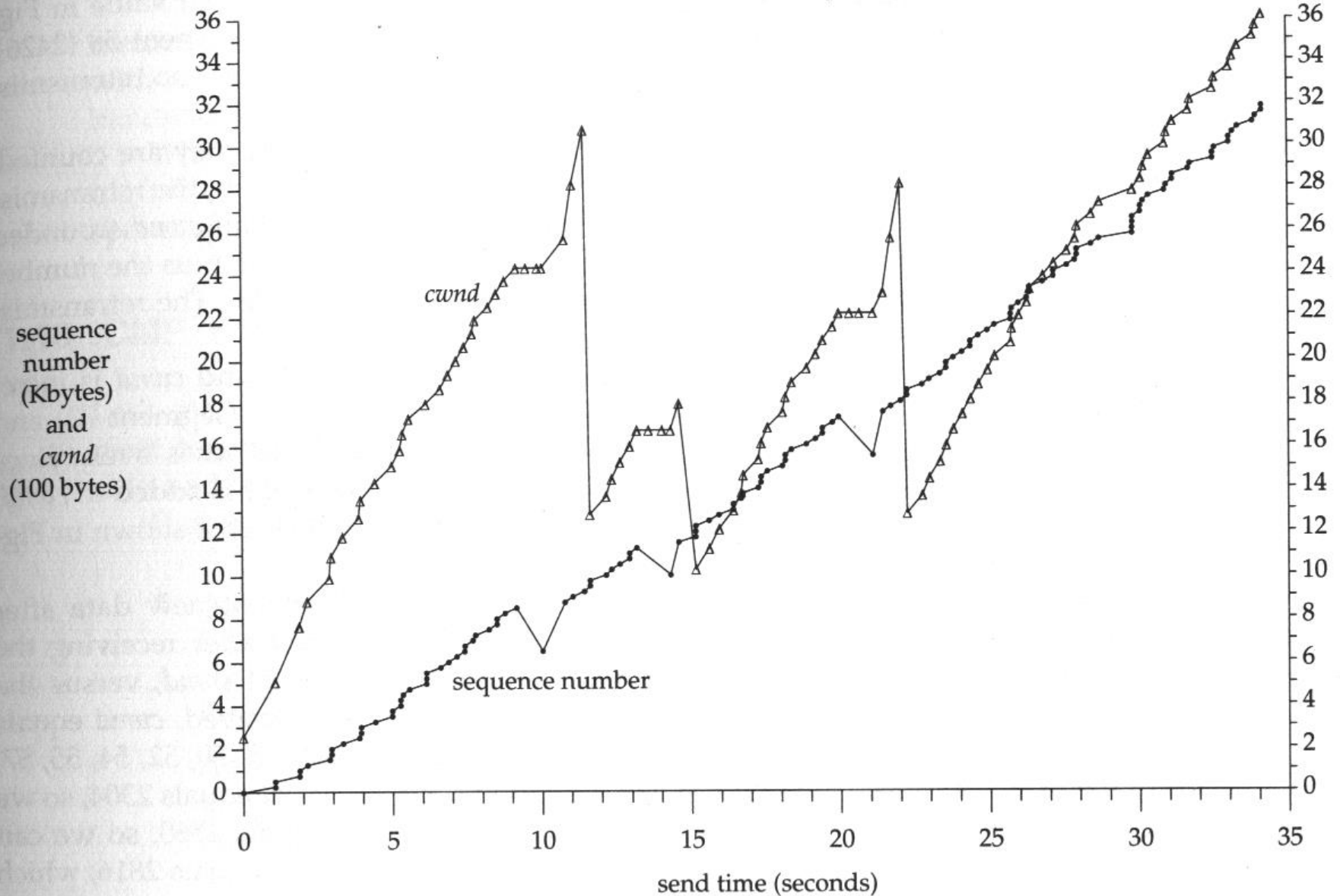
BME-TMIT



Valós példa



BME-TMIT



Köszönöm a figyelmet

- Vége -



Budapest University of Technology and Economics

**Department of
Telecommunications and Media Informatics**

