



# Telekommunikációs Hálózatok

Laki Sándor

ELTE-Ericsson Kommunikációs Hálózatok Laboratórium

*ELTE IK - Információs Rendszerek Tanszék*

[\*lakis@elte.hu\*](mailto:lakis@elte.hu)

[\*http://lakis.web.elte.hu\*](http://lakis.web.elte.hu)

Eötvös Loránd  
University



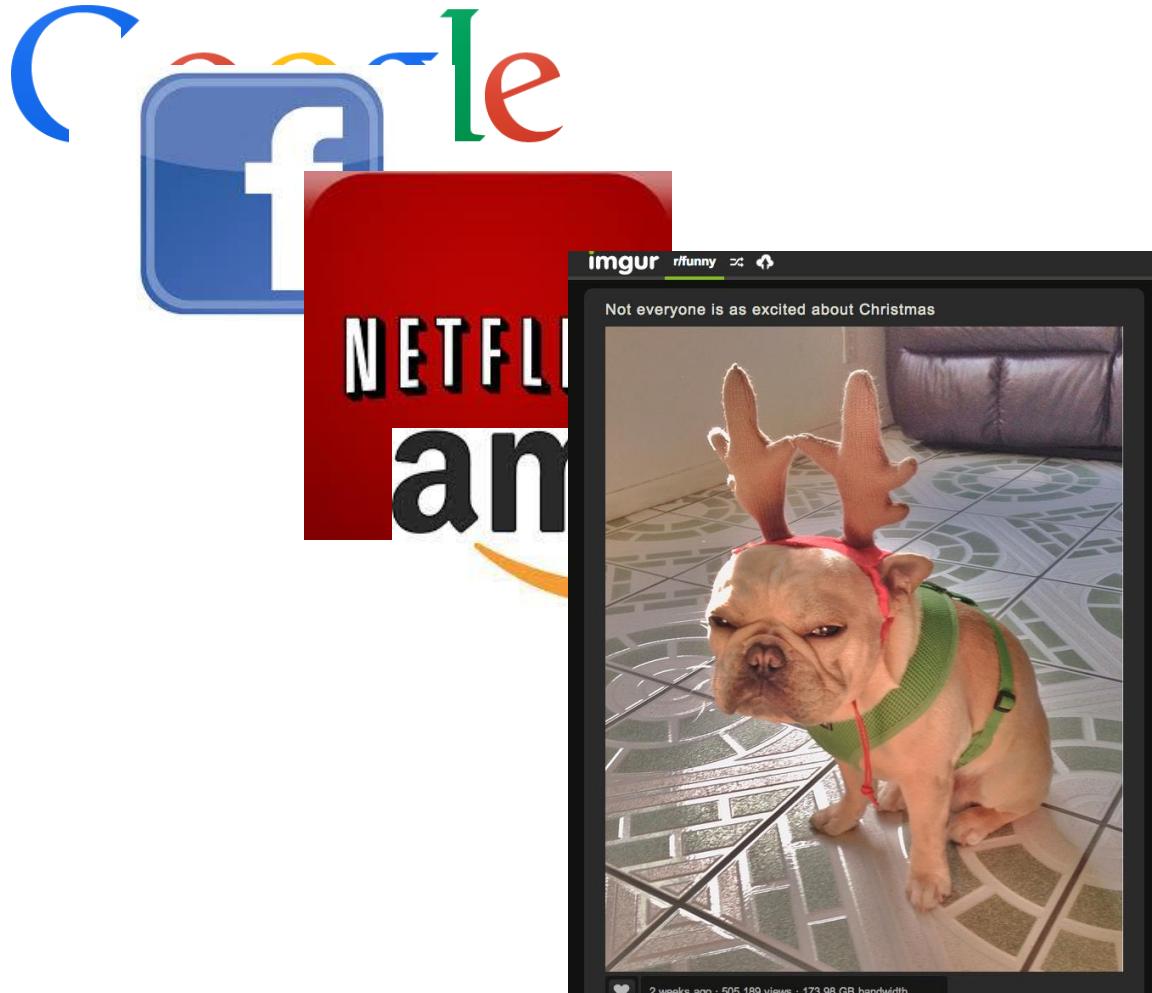
*Laurent Vanbever előadás alapján.  
További inspiráció: Scott Shenker & Jennifer Rexford & Phillipa Gill*

# Mi értelme ennek a tárgynak?

- Hányan nézték meg az e-mailjeiket, FB-ot, Twittert...
  - ma?
  - az elmúlt órában?
  - amióta elkezdtem beszélni?

# A számítógépes hálózatok mindenhol jelen vannak

- A hálózatok az élet minden részét érintik
  - Web keresés
  - Közösségi hálók
  - Film nézés
  - Termékek rendelése
  - Időpocsékolás



# A számítógépes hálózatok mindenhol jelen vannak

- A hálózatok az egyik legkritikusabb terület napjainkban
  - Hálózatok nélkül nem lenne...
    - Big Data
    - Cloud
    - Apps or Mobile Computing

# Az Internet

egy igazán izgalmas hely...

17,1 milliárd

# 17,1 milliárd

az Internetre kötött eszközök száma 2016-ban (becslés\*)

\* Cisco Visual Networking Index 2016—2021

**27,1 milliárd**

az Internetre kötött eszközök száma 2021-ben (becslés\*)

\* Cisco Visual Networking Index 2016—2021

# ~3 exabájt

egy napi Internetes forgalom 2016-ban (becslés\*)  
[ $1EB = 10^{18}$  Bájt = 1 000 000 000 000 000 000 000 Bájt]

\* Cisco Visual Networking Index 2017

Ha  = 1 Gigabájt

An aerial photograph of the Great Wall of China, showing its winding path across a range of green, forested mountains. The wall itself is a light-colored, segmented structure that follows the contours of the hills.

~ 1 exabájt

~9 exabájt

egy napi Internetes forgalom 2021-ban (becslés\*)

\* Cisco Visual Networking Index 2017

~55%

video forgalom a teljes IP forgalomban 2016-ban (becslés\*)

\* Sandvine 2016 Global Internet Phenomena

Upstream		Downstream		Aggregate	
BitTorrent	18.37%	Netflix	35.15%	Netflix	32.72%
YouTube	13.13%	YouTube	17.53%	YouTube	17.31%
Netflix	10.33%	Amazon Video	4.26%	HTTP - OTHER	4.14%
SSL - OTHER	8.55%	HTTP - OTHER	4.19%	Amazon Video	3.96%
Google Cloud	6.98%	iTunes	2.91%	SSL - OTHER	3.12%
iCloud	5.98%	Hulu	2.68%	BitTorrent	2.85%
HTTP - OTHER	3.70%	SSL - OTHER	2.53%	iTunes	2.67%
Facebook	3.04%	Xbox One Games Download	2.18%	Hulu	2.47%
FaceTime	2.50%	Facebook	1.89%	Xbox One Games Download	2.15%
Skype	1.75%	BitTorrent	1.73%	Facebook	2.01%
	69.32%		74.33%		72.72%



## \* Sandvine 2016 Global Internet Phenomena

(<https://www.sandvine.com/hubfs/downloads/archive/2016-global-internet-phenomena-report-latin-america-and-north-america.pdf>)

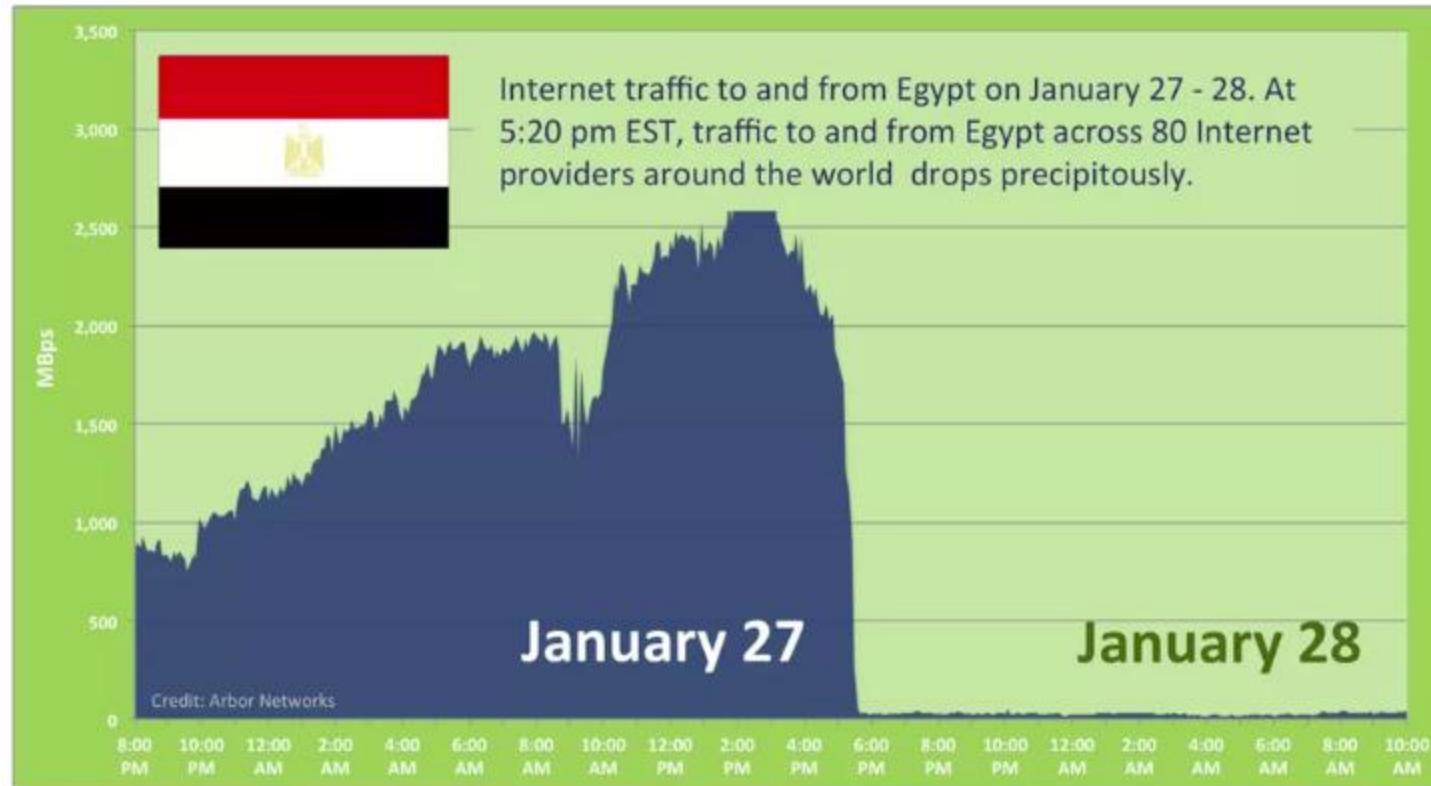
~80%

video forgalom a teljes IP forgalomban 2021-ben (becslés\*)

\* Cisco Visual Networking Index 2017

Van másik oldala is...

# Internetes forgalom Egyiptomból/-ba (2011. január)



\* <http://huff.to/1KxxoZF>

# Szíria - 2013

NEWS / POLITICS

## Syria cut off from global internet

*International internet companies say Syria has been disconnected from "internet communication with the rest of world".*

8 May 2013



\* aljazeera.com

# Governments shut down the internet more than 50 times in 2016

Economic impact alone was £1.9bn, with greater fears over human rights and freedom of speech



By MATT KAMEN

Tuesday 3 January 2017



Onesha, Shutterstock

Governments around the world enacted internet shutdowns over 50 times in the last year, according to a report focusing on the impact of such draconian actions.

In purely monetary terms, the shutdowns resulted in economic slowdowns that cost a total of \$2.4bn (£1.9bn), according to research by The Brookings Institution, a Washington, DC-based

\* <https://www.wired.co.uk/article/over-50-internet-shutdowns-2016>

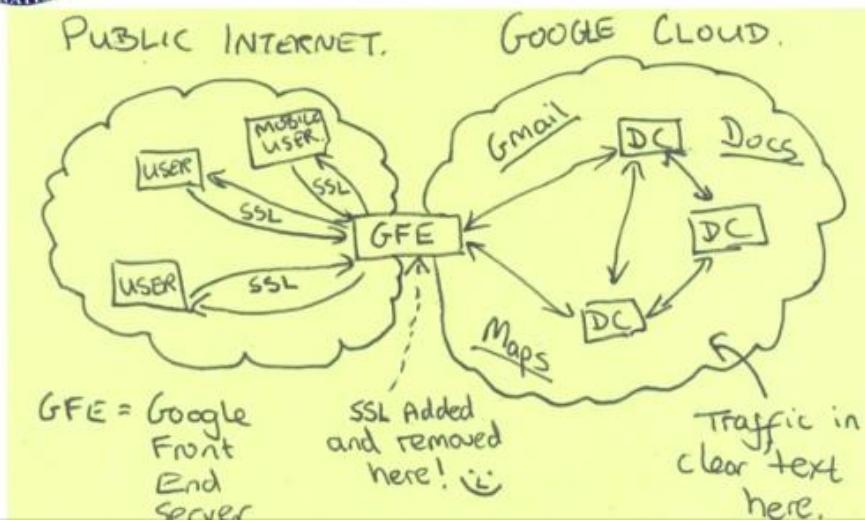
[National Security](#)

# NSA infiltrates links to Yahoo, Google data centers worldwide, Snowden documents say

TOP SECRET//SI//NOFORN



## Current Efforts - Google



\* <http://wapo.st/1UVKamr>

# The top-secret PRISM program

TOP SECRET//SI//ORCON//NOFORN

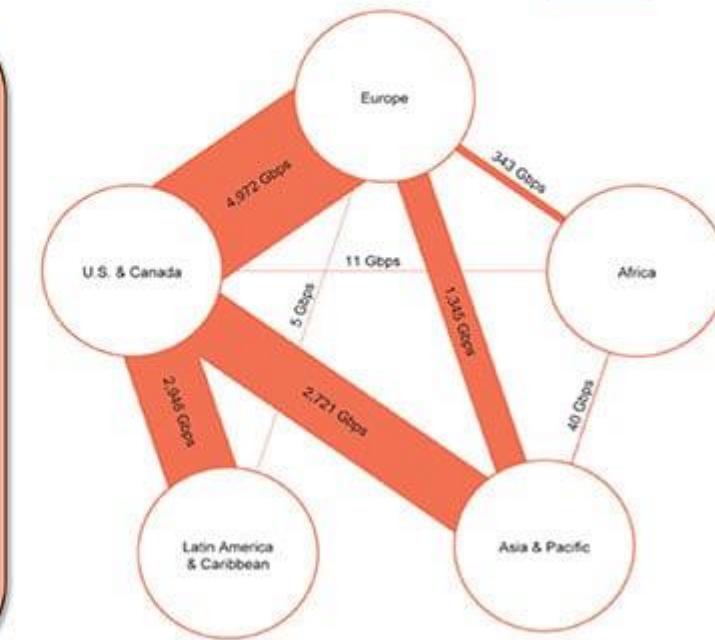


## (TS//SI//NF) Introduction

*U.S. as World's Telecommunications Backbone*



- Much of the world's communications flow through the U.S.
- A target's phone call, e-mail or chat will take the cheapest path, not the physically most direct path – you can't always predict the path.
- Your target's communications could easily be flowing into and through the U.S.



International Internet Regional Bandwidth Capacity in 2011

Source: Telegeography Research

TOP SECRET//SI//ORCON//NOFORN

\* <https://www.washingtonpost.com/wp-srv/special/politics/prism-collection-documents/>

# „Netsemlegesség” – Network Neutrality

- Az Internet szolgáltató (ISP) szabadon eldöntheti-e, hogy mely forgalmakat lassítja?



\* <http://nyti.ms/2kZUnDA>



\* <http://nyti.ms/2CkTbRR>



Netflix US 

@netflix

Follow



We're disappointed in the decision to gut  
**#NetNeutrality**  protections that ushered in  
an unprecedented era of innovation,  
creativity & civic engagement. This is the  
beginning of a longer legal battle. Netflix  
stands w/ innovators, large & small, to  
oppose this misguided FCC order.

10:26 AM - 14 Dec 2017

335,726 Retweets 831,986 Likes



7.1K



336K

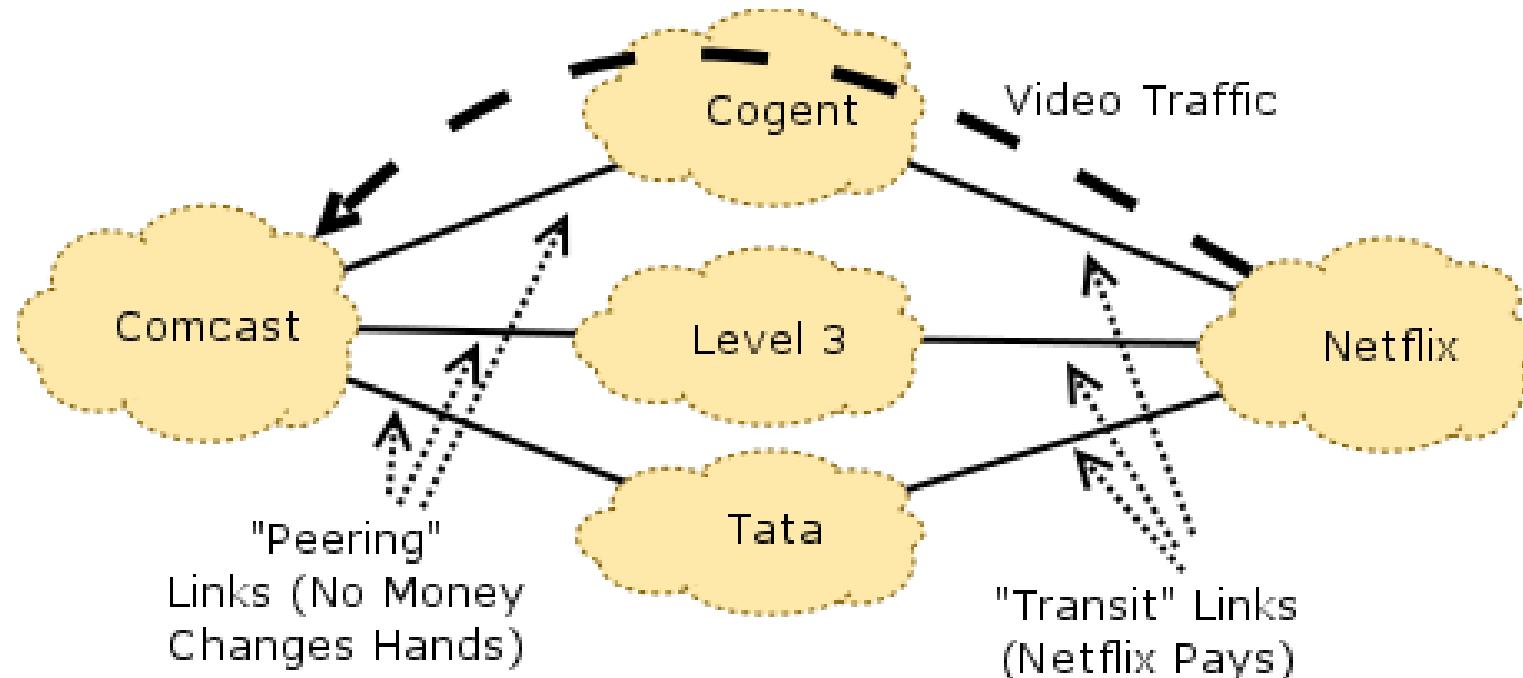


832K

# Kinek kell fizetni az Internet kapcsolatért?

## Netflix VS ISPs

### Előzmények – Comcast eset



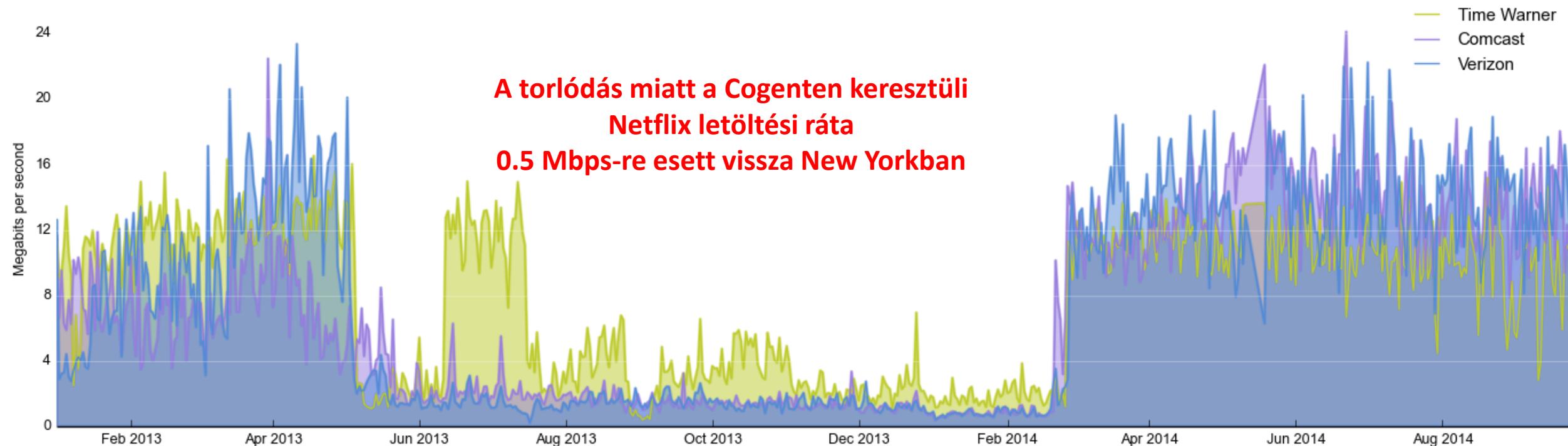
\* <https://freedom-to-tinker.com/2015/03/25/why-your-netflix-traffic-is-slow-and-why-the-open-internet-order-wont-necessarily-make-it-faster/>



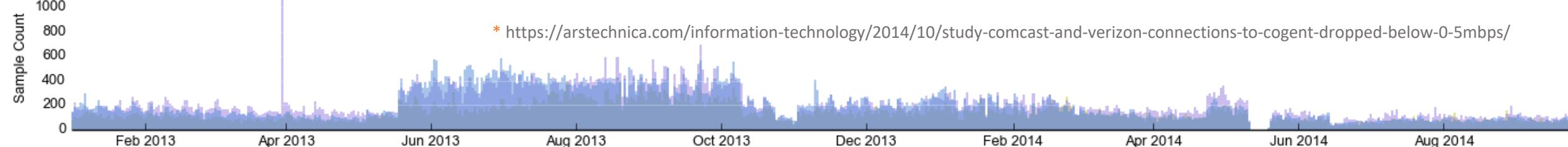
# Kinek kell fizetni az Internet kapcsolatért?

## Netflix VS ISPs

Median download throughput across Cogent in NYC over time from different ISPs (higher is better)



\* <https://arstechnica.com/information-technology/2014/10/study-comcast-and-verizon-connections-to-cogent-dropped-below-0-5mbps/>



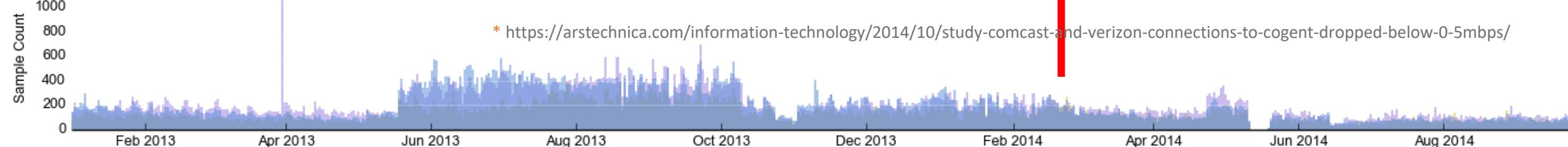
# Kinek kell fizetni az Internet kapcsolatért?

## Netflix VS ISPs

Median download throughput across Cogent in NYC over time from different ISPs (higher is better)



\* <https://arstechnica.com/information-technology/2014/10/study-comcast-and-verizon-connections-to-cogent-dropped-below-0-5mbps/>



# Sérülékenység



# Widespread impact caused by Level 3 BGP route leak

Research // Nov 7, 2017 // Doug Madory

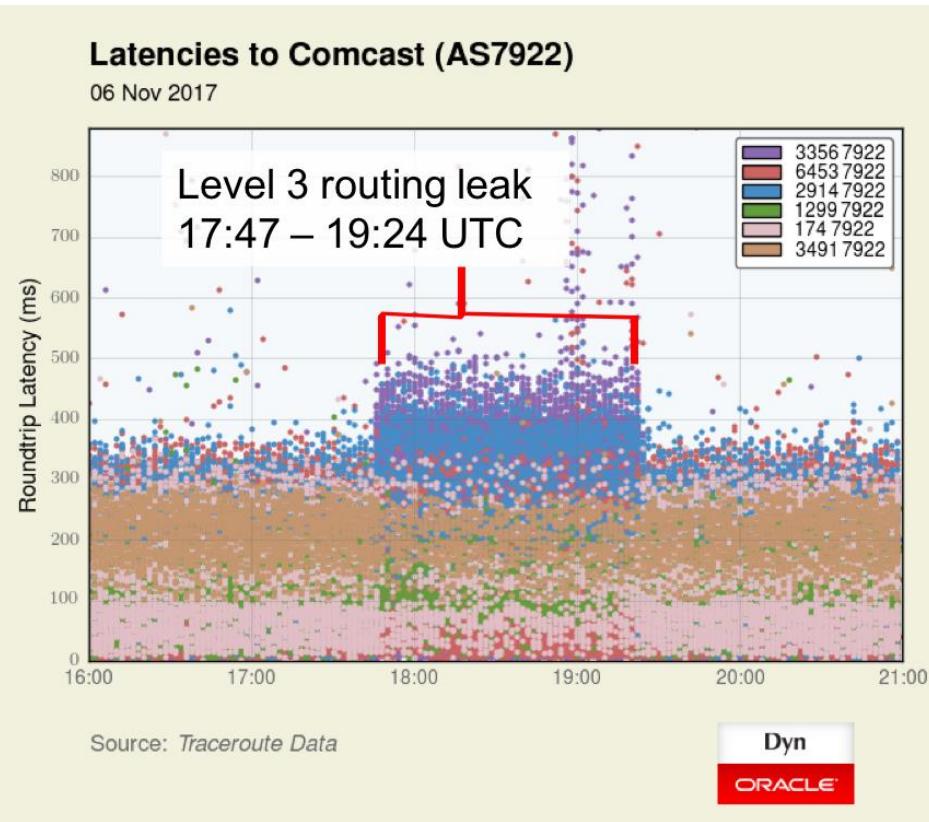
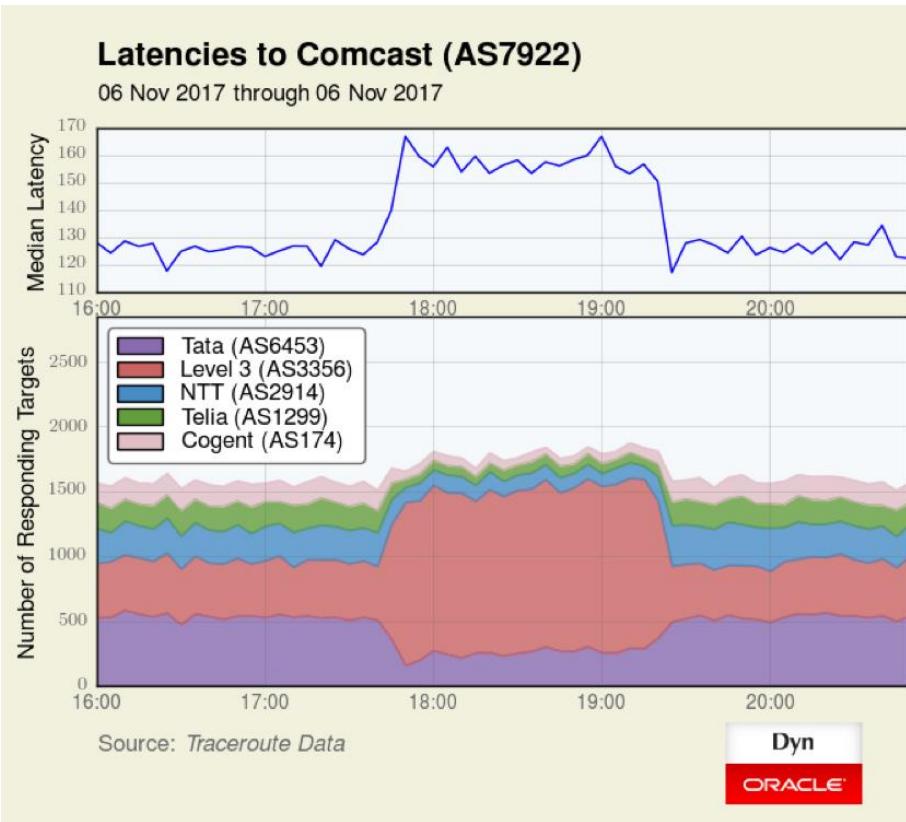
For a little more than 90 minutes yesterday, internet service for millions of users in the U.S. and around the world slowed to a crawl. Was this widespread service degradation caused by the latest botnet threat? Not this time. The cause was yet another BGP routing leak — a router misconfiguration directing internet traffic from its intended path to somewhere else.

\* <https://dyn.com/blog/widespread-impact-caused-by-level-3-bgp-route-leak/>

# Egy kis probléma...

- Egy kis időre kiesés történt
  - **több mint 90 perce**
- **Felhasználók millióit** érintette az USÁban és világszerte
- A probléma oka: BGP route szivárgás
  - **egy rosszul felkonfigurált router** az Internetes forgalmat nem az elvárt cél felé irányította, hanem valahova máshova





\* <https://dyn.com/blog/widespread-impact-caused-by-level-3-bgp-route-leak/>

2017 augusztus



Data Centre ▶ Networks

## Google routing blunder sent Japan's Internet dark on Friday

### Another big BGP blunder

By Richard Chirgwin 27 Aug 2017 at 22:35

40 SHARE ▼

Last Friday, someone in Google fat-thumbed a border gateway protocol (BGP) advertisement and sent Japanese Internet traffic into a black hole.

The trouble began when The Chocolate Factory "leaked" a big route table to Verizon, the result of which was traffic from Japanese giants like NTT and KDDI was sent to Google on the expectation it would be treated as transit.

Since Google doesn't provide transit services, as BGP Mon explains, that traffic either filled a link beyond its capacity, or hit an access control list, and disappeared.

The outage in Japan only lasted a couple of hours, but was so severe

\* [https://www.theregister.co.uk/2017/08/27/google\\_routing\\_blunder\\_sent\\_japans\\_internet\\_dark/](https://www.theregister.co.uk/2017/08/27/google_routing_blunder_sent_japans_internet_dark/)

# A humán faktor

- Gyakran az ember a probléma...

11,353 views | Jul 8, 2015, 03:36pm

## United Airlines Blames Router for Grounded Flights



Alexandra Talty Senior Contributor  
Personal Finance

After a computer problem caused nearly two hours of grounded flights for United Airlines this morning and ongoing delays throughout the day, the airline announced the culprit: a faulty router.

Spokeswoman Jennifer Dohm said that the router problem caused "degraded network connectivity," which affected various applications.

A computer glitch in the airline's reservations system caused the Federal Aviation Administration to impose a groundstop at 8:26 a.m. E.T. Planes that were in the air continued to operate, but all planes on the ground were held. There were reports of agents writing tickets by hand. The ground stop was lifted around 9:47 a.m. ET.



Traders work on the floor of the New York Stock Exchange (NYSE) in July 2015.  
(Photo by Spencer Platt/Getty Images)

### DOWNTIME

## UPDATED: "Configuration Issue" Halts Trading on NYSE

*The article has been updated with the time trading resumed.*

*A second update identified the cause of the outage as a "configuration issue."*

*A third update added information about a software update that created the configuration issue.*

# A humán faktor

- Gyakran az ember a probléma...

11,353 views | Jul 8, 2015, 03:36pm

## United Airlines Blames Router for Grounded Flights



Alexandra Talty Senior Contributor  
Personal Finance

After a computer problem caused nearly two hours of grounded flights for United Airlines this morning and ongoing delays throughout the day, the airline announced the culprit: a faulty router.

Spokeswoman Jennifer Dohm said that the router problem caused "degraded network connectivity," which affected various applications.

A computer glitch in the airline's reservations system caused the Federal Aviation Administration to impose a groundstop at 8:26 a.m. E.T. Planes that were in the air continued to operate, but all planes on the ground were held. There were reports of agents writing tickets by hand. The ground stop was lifted around 9:47 a.m. ET.



**„A hálózati kiesések 50-80%-át emberi tényező okozza.”**

Jupiter Networks, *What's Behind Network Downtime?*, 2008



Traders work on the floor of the New York Stock Exchange (NYSE) in July 2015.  
(Photo by Spencer Platt/Getty Images)

### DOWNTIME

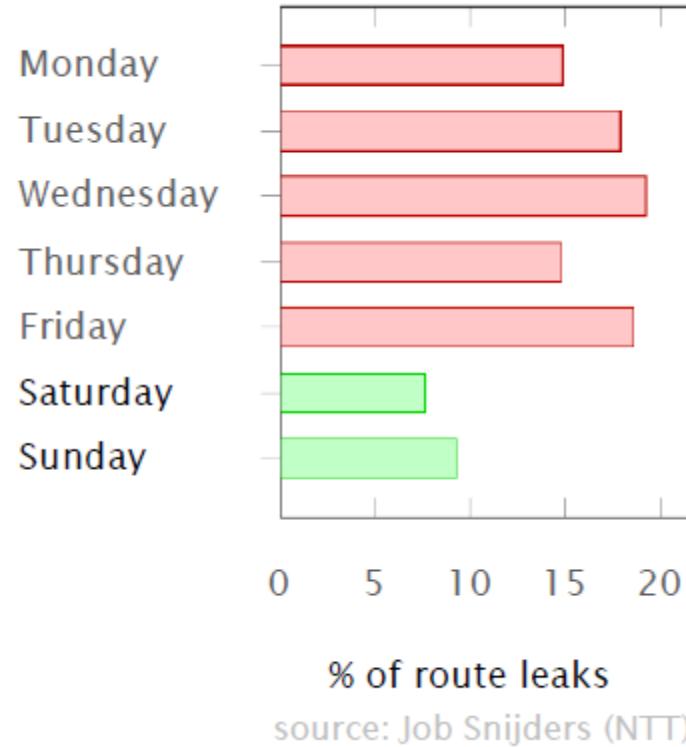
## UPDATED: “Configuration Issue” Halts Trading on NYSE

*The article has been updated with the time trading resumed.*

*A second update identified the cause of the outage as a “configuration issue.”*

*A third update added information about a software update that created the configuration issue.*

# Hétvégén minden jobban működik 😊



# Számítógépes Hálózatok

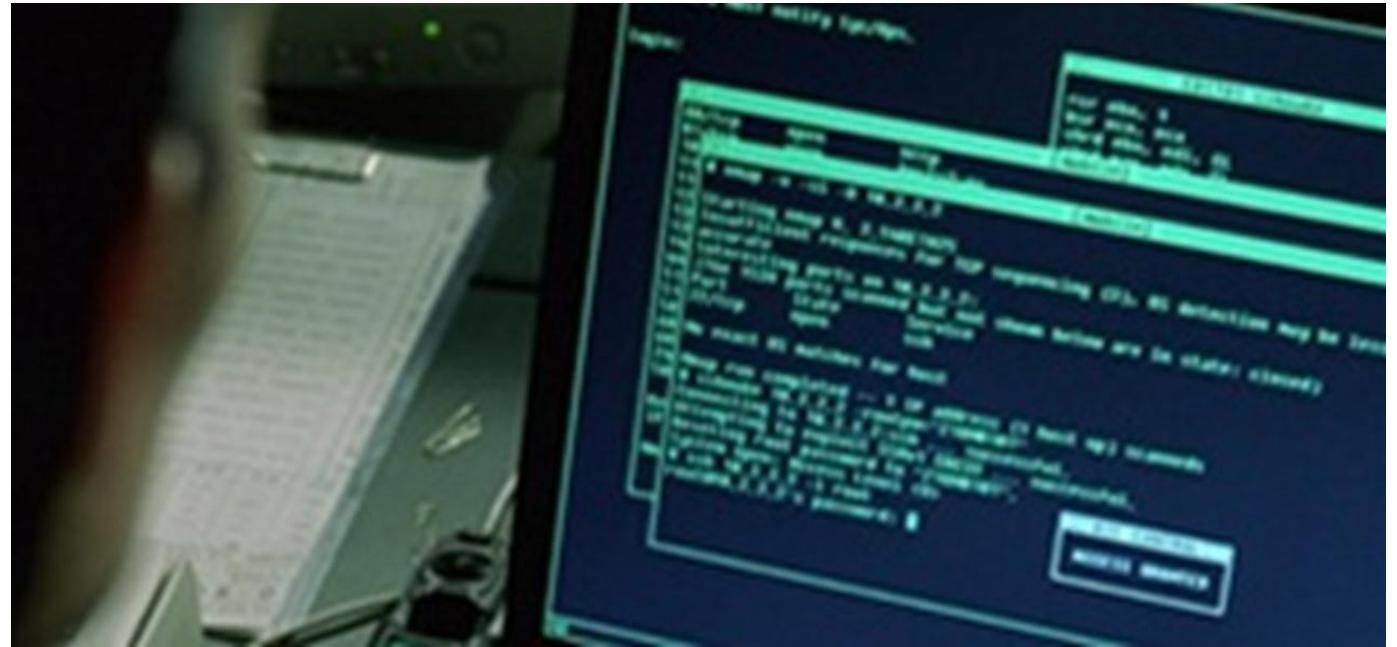
# Egy kis logisztika

- Előadás
  - Nappali: *Szerda 10:15-11:45  
Déli tömb, Bolyai terem/TEAMS*
- Előadó
  - Dr. Laki Sándor
  - Adjunktus, Információs Rendszerek Tanszék
  - [lakis@inf.elte.hu](mailto:lakis@inf.elte.hu)
  - <http://lakis.web.elte.hu>
  - Iroda: Déli tömb, 2.506 [Fogadó óra: TEAMS]

# A tárgy célja

- Megérteni, hogyan és egyáltalán miért működik az Internet...
- Főbb kérdések
  - Címzés
    - Hogyan címezhetők meg eszközök, szolgáltatások és protokollok?
  - Rétegek
    - Hogyan lehet a komplexitást kezelni?
  - Forgalomirányítás (routing)
    - Hogyan jutunk el A-ból B-be?
  - Megbízhatóság
    - Hogyan tudunk megbízhatóan üzenetet továbbítani megbízhatatlan közegeken (média) keresztül?
  - Erőforrás megosztás
    - Hogyan osszuk meg a korlátos hálózati erőforrásokat a versengő résztvevők között?

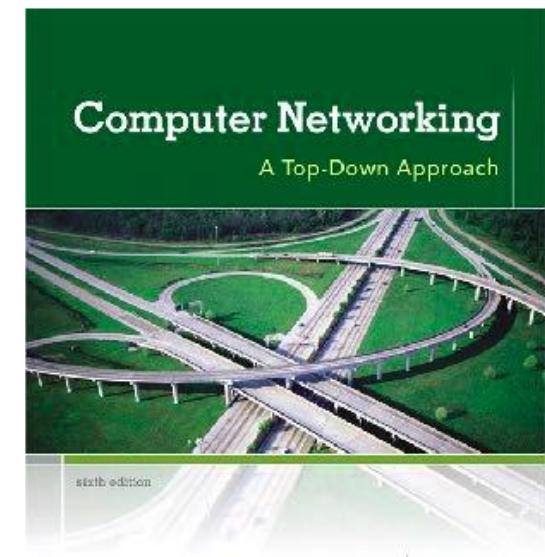
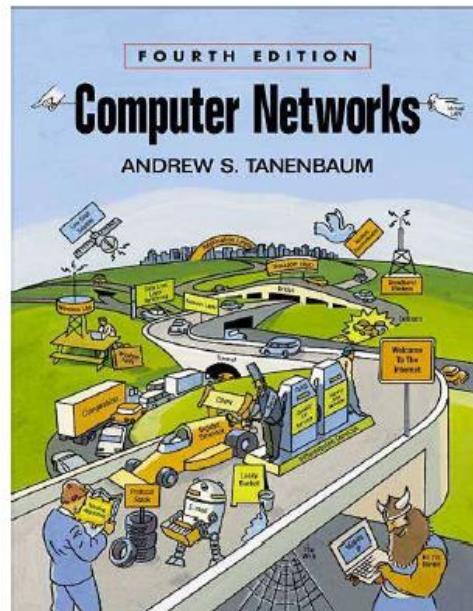
# Skillek – amik a Mátrixban is elengedhetetlenek



Trinity a Matrix Reloaded-ből épp egy port szkent (**port scan**) futtat **nmap** segítségével...

# Források

- A diák elérhetők:
  - <http://lakis.web.elte.hu>
- Könyvek → → → → →



# ~~Slack~~

- Kérdések előadáshoz előadás alatt és után
  - TEAMS csoportban

# Számonkérés - Vizsgajegy

- A vizsga előfeltétele a **legalább elégséges** gyakorlati jegy.
- Járványhelyzettől függően online vagy írásbeli vizsga.
- A vizsga az egész féléves anyagra épülő elméleti és gyakorlati feladatokból összeállított kérdéssor kitöltését jelenti. A vizsga időtartama **60 perc**.
- **Teszt részből és kifejtős részből áll.**
  - **Teszt** (20 kérdés): 20 pont – 20 perc – min. 11 pont
  - **Eszé rész** (5 kérdés): 25 pont – 40 perc – open book, azaz könyv, jegyzet használható
- **A teszt rész esetén 55% minimum követelménnyel! [beugró is egyben]**
- A féléves anyag a fóliákon is szereplő fogalmakat, összefüggéseket és a belőlük levonható következtetéseket jelenti.
- **Értékelés**
  - [85%, 100%] – jeles(5)
  - [75%, 85%) – jó(4)
  - [60%, 75%) – közepes(3)
  - [50%, 60%) – elégséges(2)
  - [ 0%, 50%) – elégtelen(1)

Tegyük fel, hogy begépeled a böngészőbe, hogy [www.google.com](http://www.google.com)

Nyomd le az entert...

Mi történik ekkor?

Fel tudnád sorolni az összes

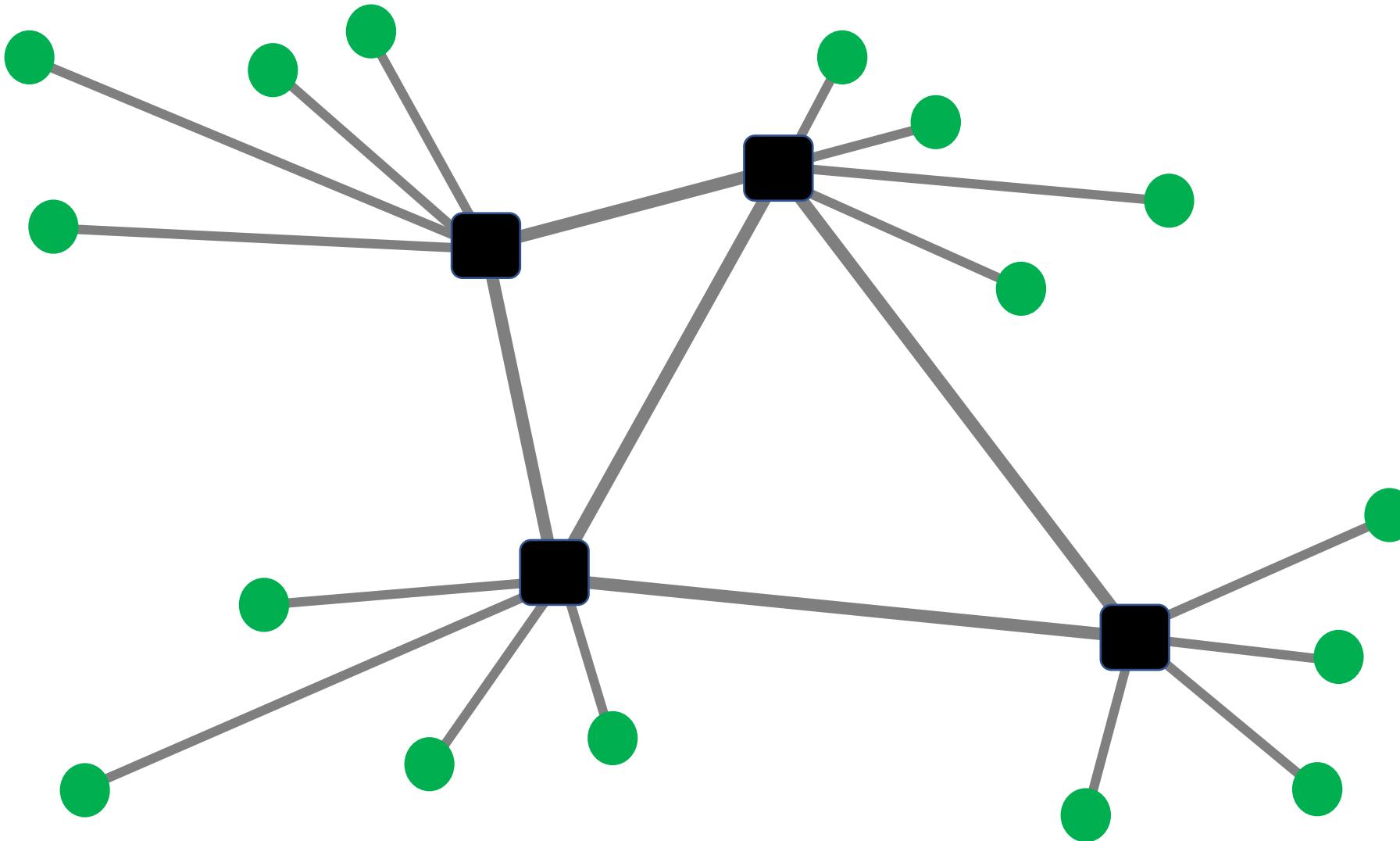
technológiát, alapelvet, protokollt, alkalmazást...

ami felhasználásra kerül???

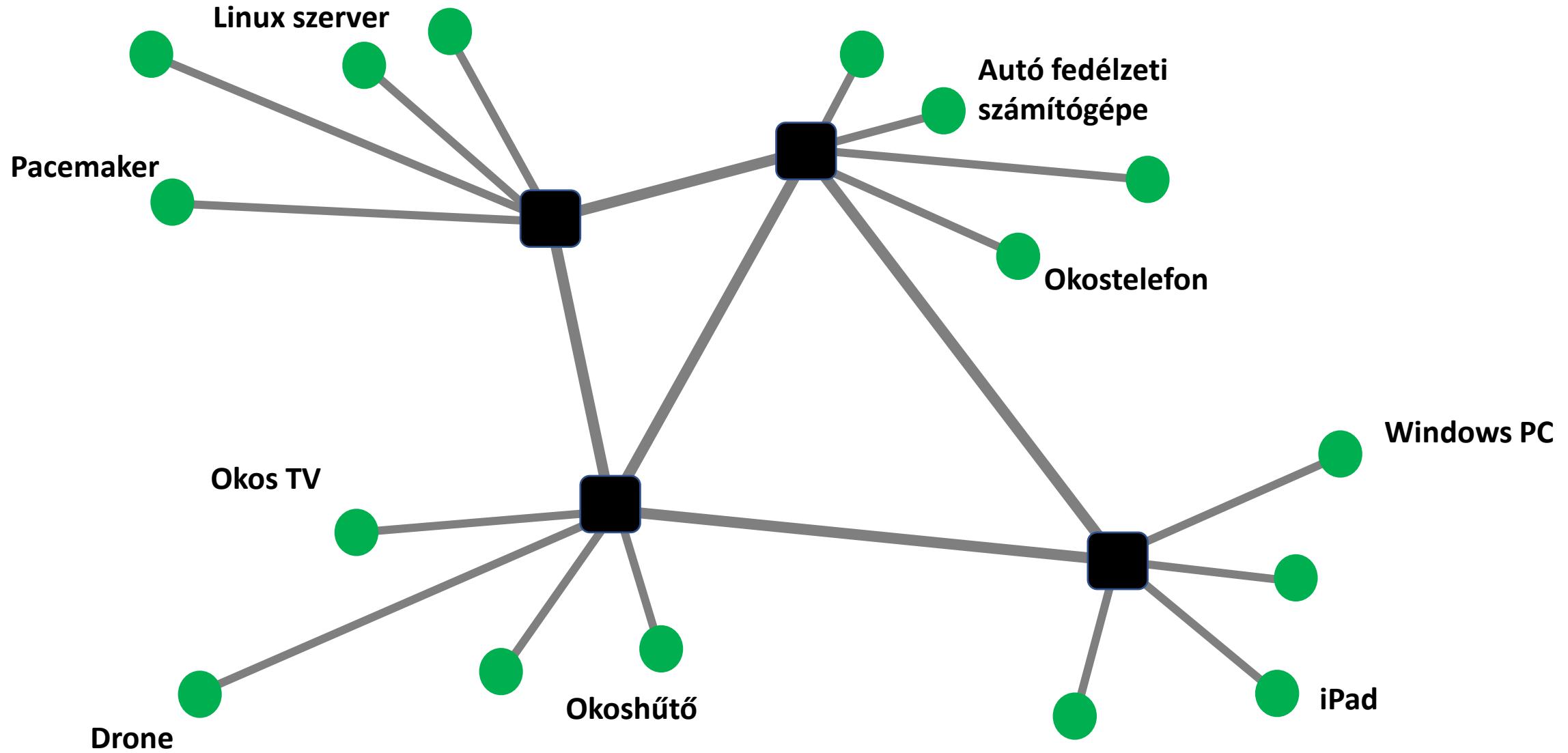
# Áttekintés

Milyen elemekből épülnek fel a hálózatok?

# Három alapvető komponens

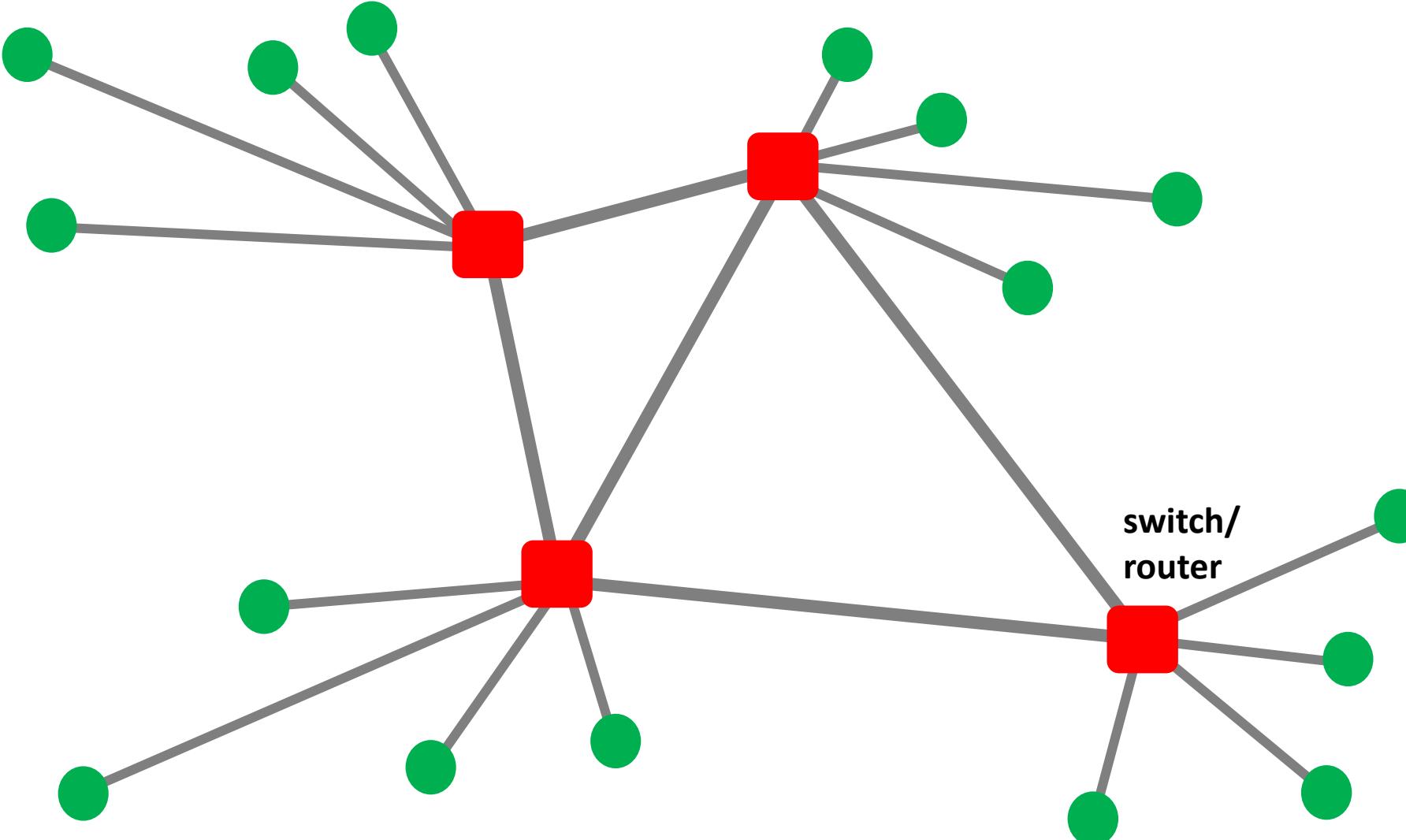


# Adat küldő és fogadó **végpontok**



# Adattovábbító **switchek** és **routerek**

Adat továbbítása a célállomás felé



# A routerek mérete, képességei és felhasználása is változó

Otthoni router



~20 cm

0,5 kg

1 Gbps

ToR switch/router



~50cm

~ 5 kg

1,8-6,5 Tbps

Internet core  
router



>200 cm

~700 kg

12,8 Tbps

(up to 922 Tbps)

# Kbps? Mbps? Tbps?

- **Hálózati sávszélesség**

Az adat átviteléhez elérhető vagy felhasznált kommunikációs erőforrás mérésére szolgáló mennyiség, amelyet bit per másodpercben szoktak kifejezni.

## SI szabvány

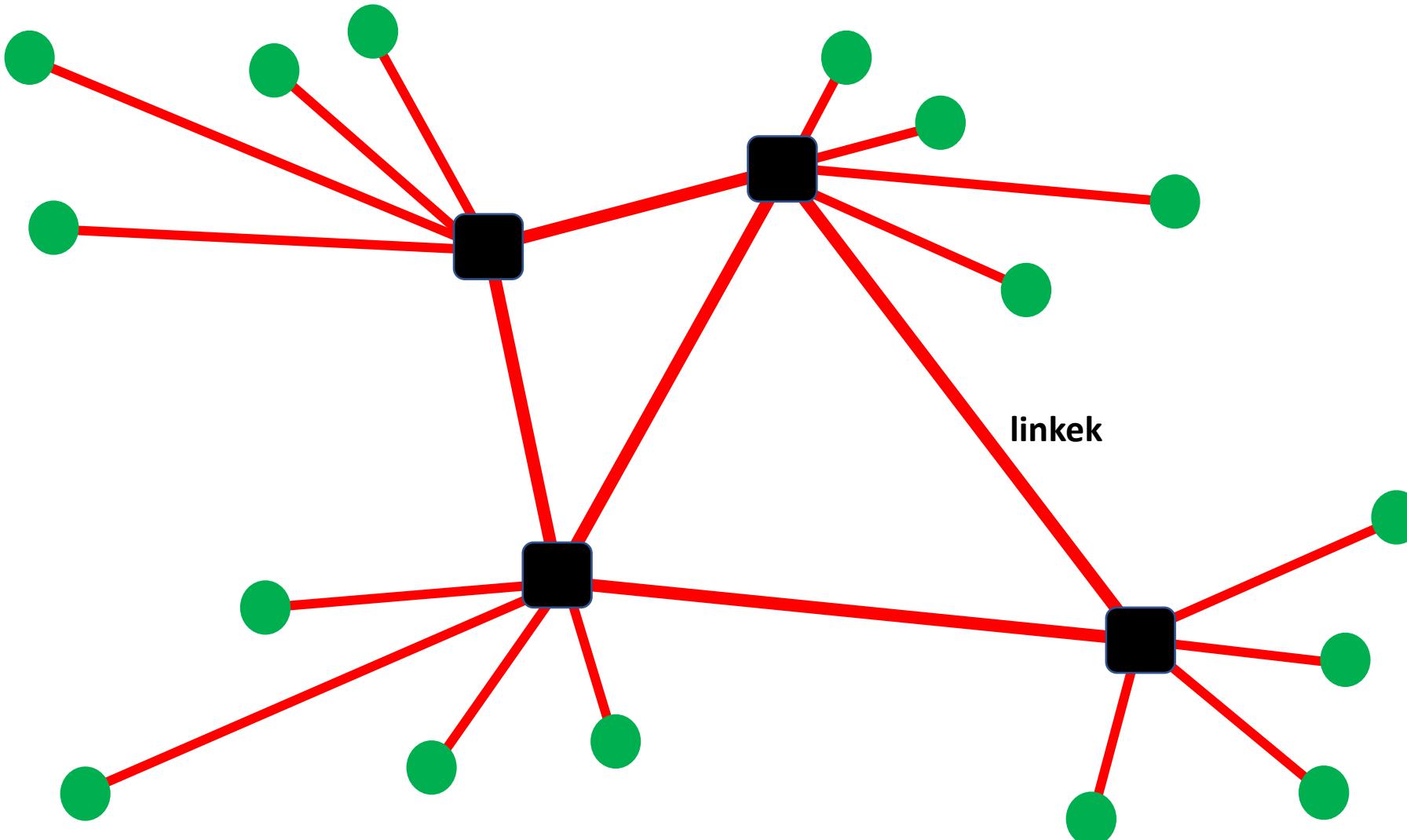
$8 \cdot 10^3$ bit/sec	1 KB/s	egy kiló-bájt
$8 \cdot 10^6$ bit/sec	1 MB/s	egy mega-bájt
$8 \cdot 10^9$ bit/sec	1 GB/s	egy giga-bájt
$8 \cdot 10^{12}$ bit/sec	1 TB/s	egy terra-bájt
$8 \cdot 10^{15}$ bit/sec	1 PB/s	egy peta-bájt
$8 \cdot 10^{18}$ bit/sec	1 EB/s	egy exa-bájt

## IEC szabvány

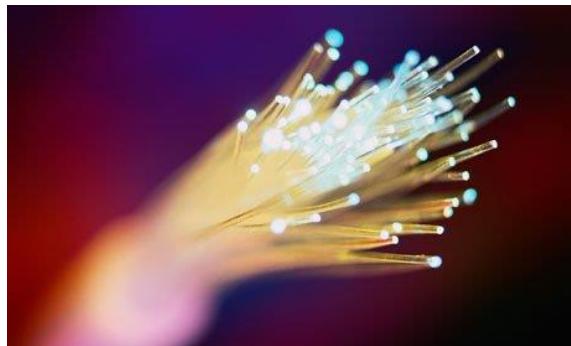
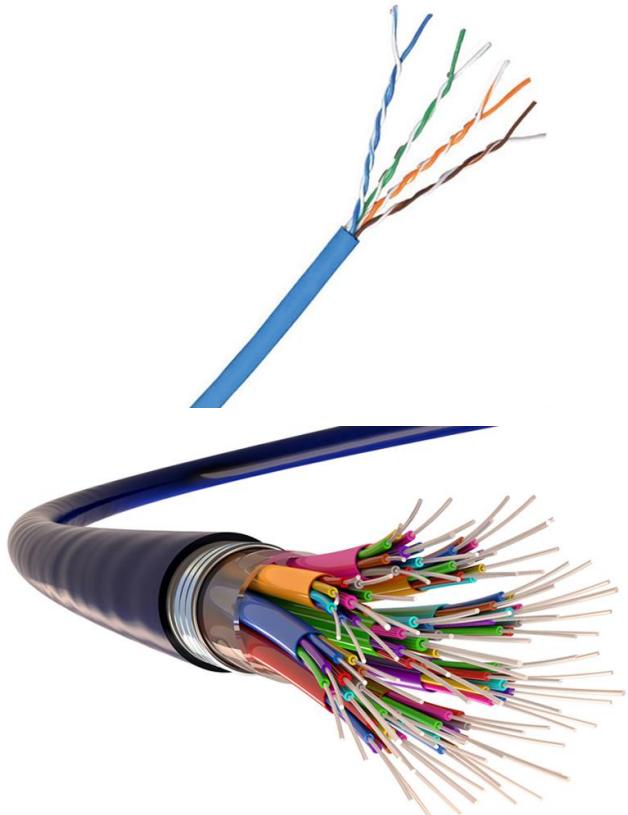
$8 \cdot 2^{10}$ bit/sec	1 KiB/s	egy kibi-bájt
$8 \cdot 2^{20}$ bit/sec	1 MiB/s	egy mebi-bájt
$8 \cdot 2^{30}$ bit/sec	1 GiB/s	egy gibi-bájt
$8 \cdot 2^{40}$ bit/sec	1 TiB/s	egy tebi-bájt
$8 \cdot 2^{50}$ bit/sec	1 PiB/s	egy pebi-bájt
$8 \cdot 2^{60}$ bit/sec	1 EiB/s	egy exbi-bájt

# Linkek

a végpontokat kapcsolják a switchekhez és a switcheket egymáshoz



# Linkek - példák

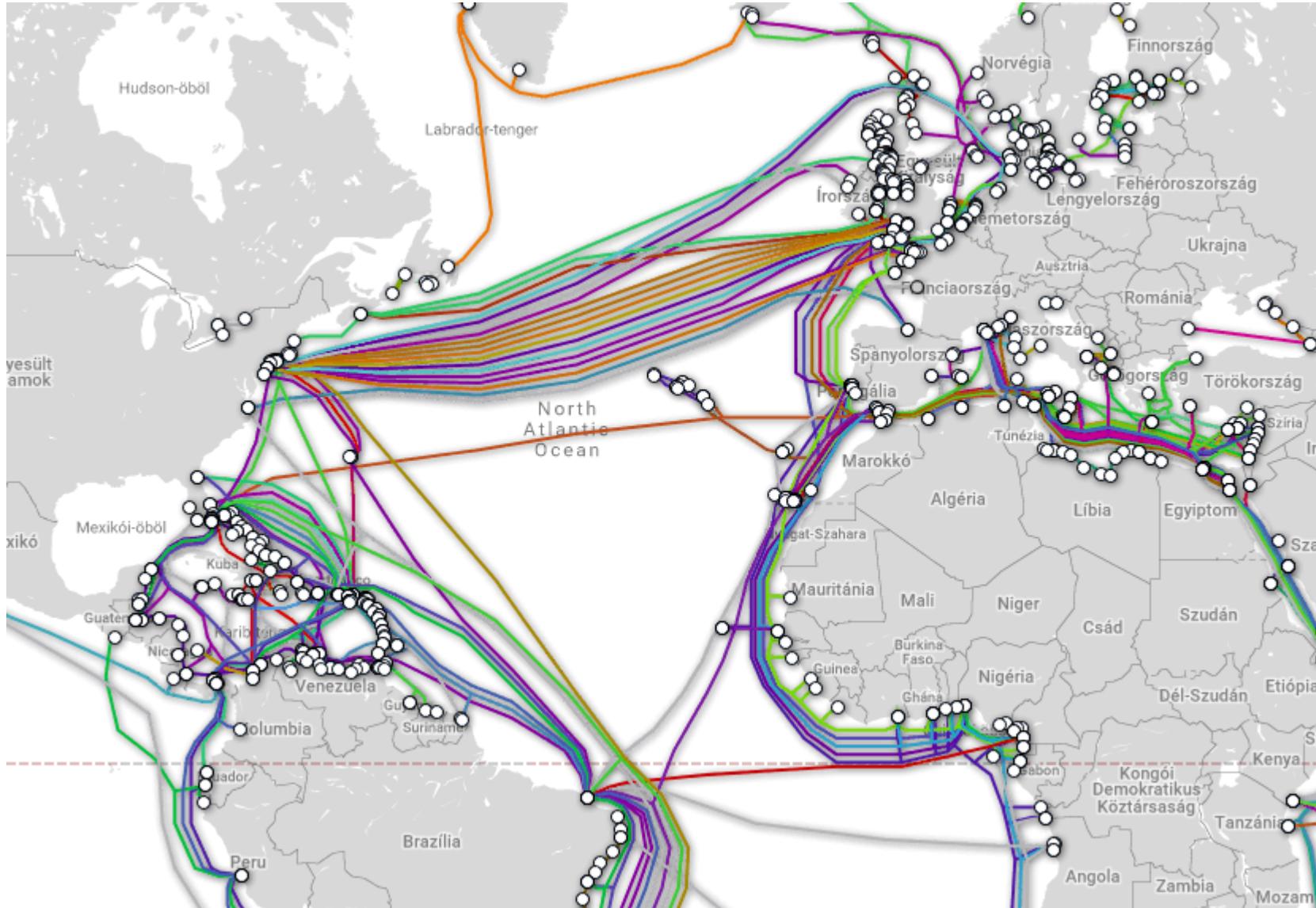


Rézvezeték  
ADSL, RJ-45, Coax

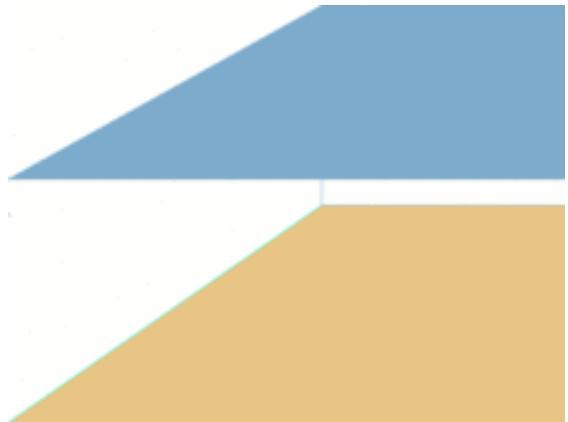


Optikai szál

Vezetéknélküli



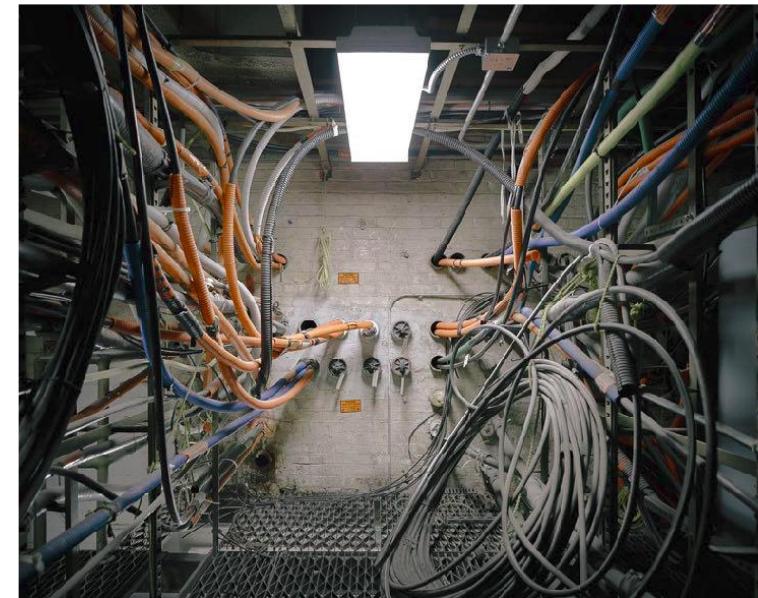
\* <https://www.submarinecablemap.com/>



## Mélytengeri kábelek javítása

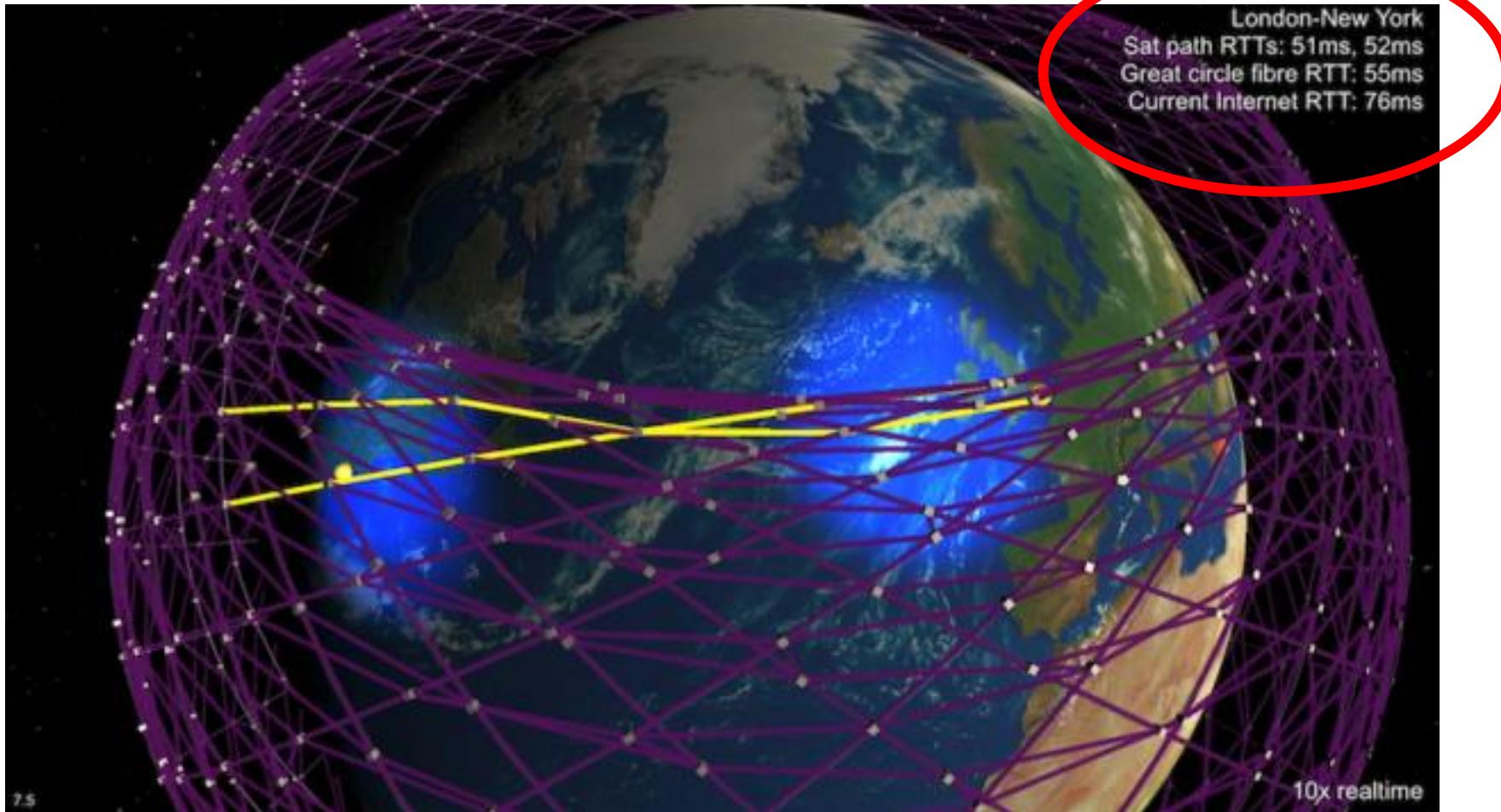


René Descart  
mélytengeri kábelfektető hajó



Valahol Manhattenben

# Alternatives – Elon Musk's StarLink

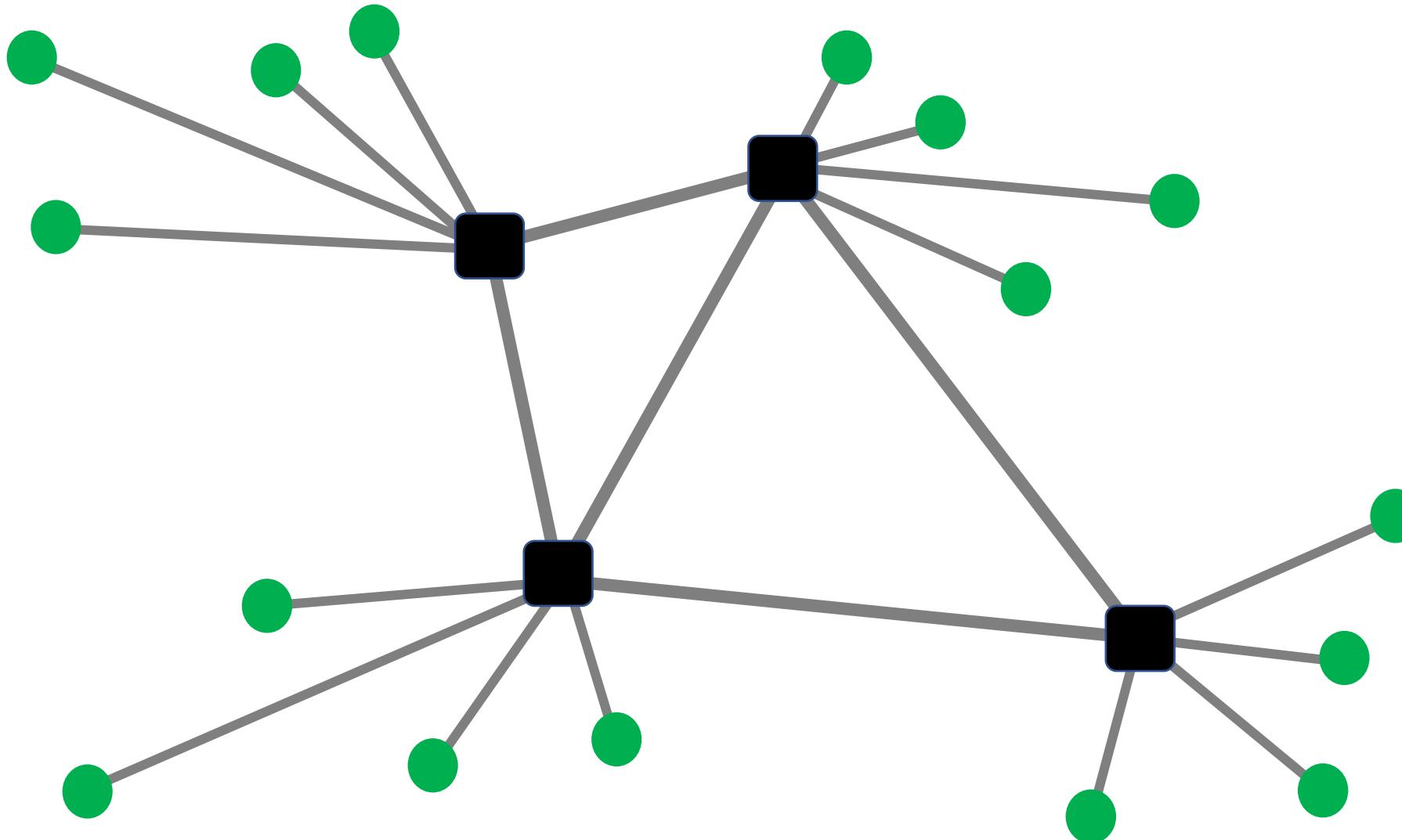


<https://www.geekwire.com/2019/spacex-fcc-starlink-million-earth-stations/>

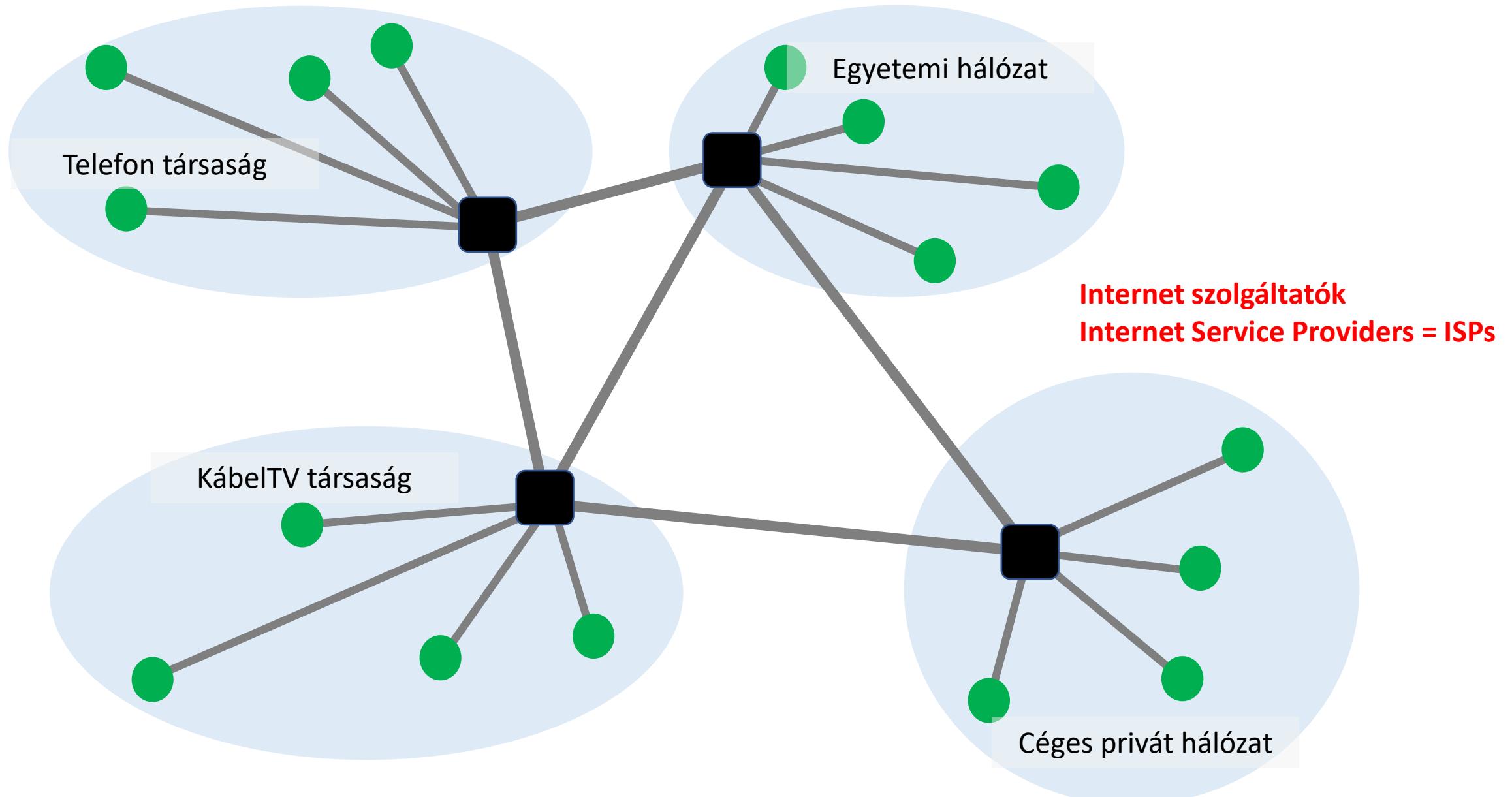
# További fogalmak

- **Hálózati hoszt**
  - Olyan eszköz, amely egy számítógépes hálózattal áll összeköttetésben. Egy hoszt információkat oszthat meg, szolgáltatást és alkalmazásokat biztosíthat a hálózat további csomópontjainak. (Továbbiakban csak hosztként hivatkozunk rá.)
- **Átviteli csatorna, médium, fizikai közeg**
  - Az a közeg, amelyen a kommunikáció folyik a résztvevő hosztok között. Ez a közeg lehet egy koaxális kábel, a levegő, optikai kábel, stb.

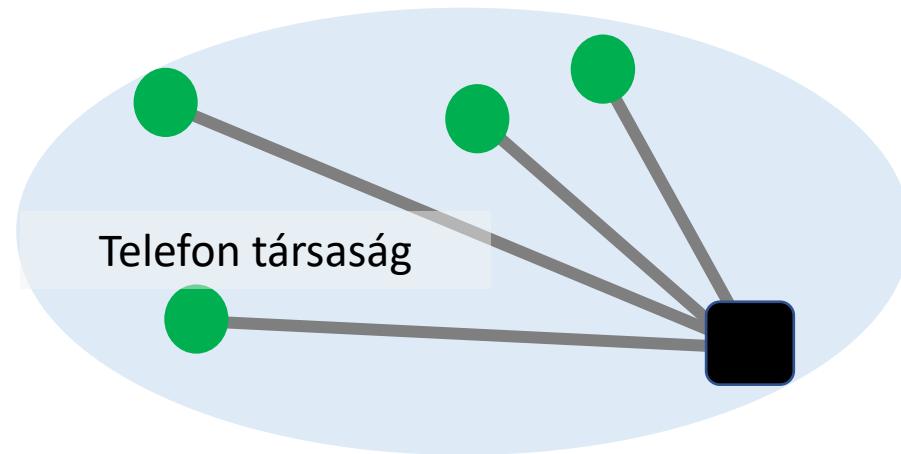
Internet = hálózatok hálózata



# Internet = hálózatok hálózata



# Internet kapcsolat telefon hálózat felett

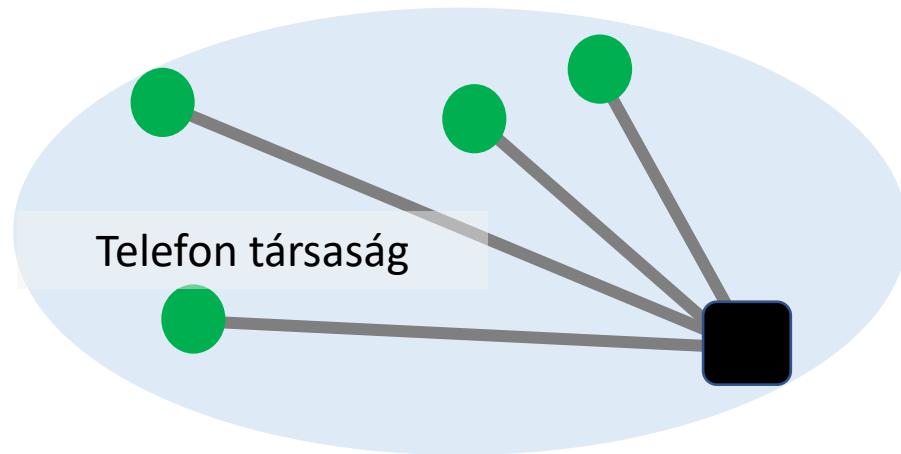


## Digital Subscriber Line (DSL)

- Nagy sávszélességű hozzáférés biztosítása háztartások számára **telefon vonalon** keresztül

?????????????????

# Internet kapcsolat telefon hálózat felett



## Digital Subscriber Line (DSL)

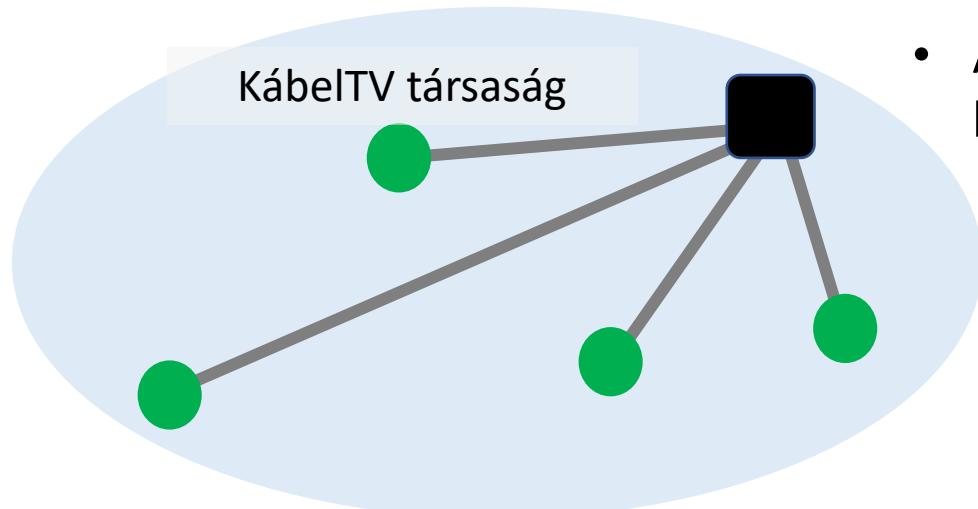
- Nagy sávszélességű hozzáférés biztosítása háztartások számára **telefon vonalon** keresztül
- 3 csatorna
  - **Letöltési csatorna** (downstream data channel)
    - Max. néhány száz Mbps
  - **Feltöltési csatorna** (upstream data channel)
    - Max. néhányszor tíz Mbps
  - **Két-irányú telefon csatorna**
    - Csak hangátvitel

Miért aszimmetrikus a kapcsolat?

# Kábel TV hálózaton keresztül



Réz koax cábel



## Cable Access Technology (CATV)

- Nagy sávszélességű hozzáférés biztosítása háztartások számára **kábel TV hálózaton** keresztül
- **Letöltési csatorna** (downstream data channel)
  - Max. néhány száz Mbps
- **Feltöltési csatorna** (upstream data channel)
  - Max. néhányszor tíz Mbps
- Az ADSL-lel ellentétben a közeg **meg van osztva** a háztartások között.

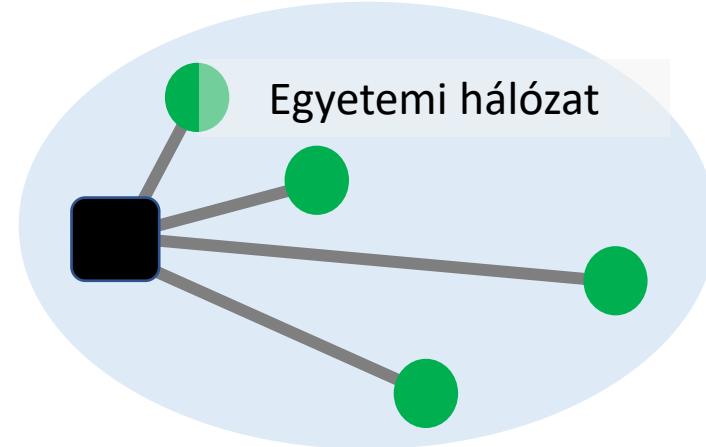
# Az Ethernet a leggyakrabban használt Helyi Hálózati - Local Area Network (LAN) technológia



Sodort érpár  
(Twisted pair copper)



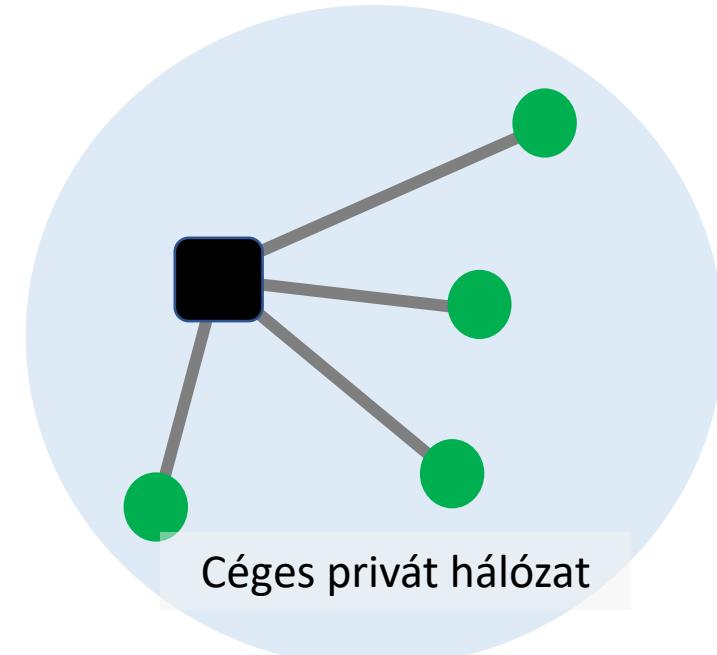
Optikai kábel  
(SFP+ Active Optical)



Egyetemi hálózat



100 Gbps hálókártya (NIC)



Céges privát hálózat

1 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps, 100 Gbps, ...  
**Szimmetrikus – full-duplex**

# Vannak további technológiák is

- **Mobil** – okostelefonok
- **Műholdas** – távoli elérés ott is, ahol nincs infrastruktúra
- **FTTH** – háztartások
- **Optikai kábelek** (fibers, dark fibers) – Internet gerinchálózatok
- **Infiniband** – HPC klaszterek
- ...

# Áttekintés

Hogyan osszuk meg az erőforrásokat?

# Hogy néz ki az Internet „belseje”?

3 fontos követelmény a hálózat topológiájával kapcsolatban

- **Hibatolerancia**

- Több útvonal a források és célok között

- **Rugalmasság**

- Erőforrásmegosztás költséghatékonyúság és megvalósíthatóság érdekében
- Azaz a linkek száma nem lehet túl nagy

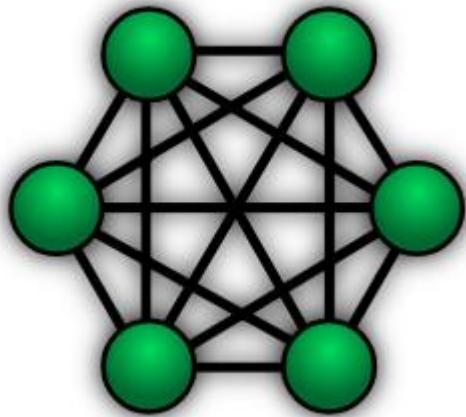
- **Megfelelő csomópont-kapacitás**

- Azaz a linkek száma nem lehet túl kicsi

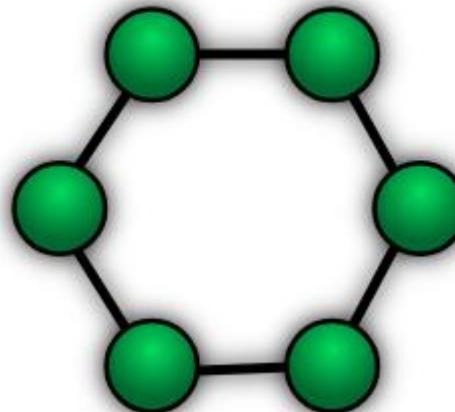
# Nézzünk néhány speciális topológiát...

Az Internet nem ilyen

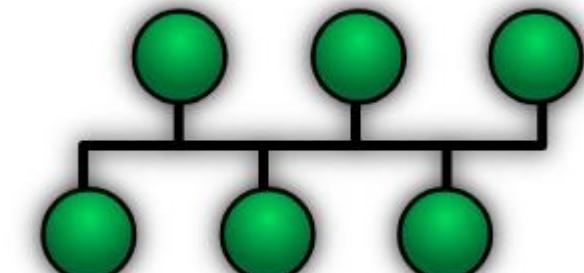
Teljesen  
összkötött  
(Full-mesh)



Lánc/Gyűrű



Busz

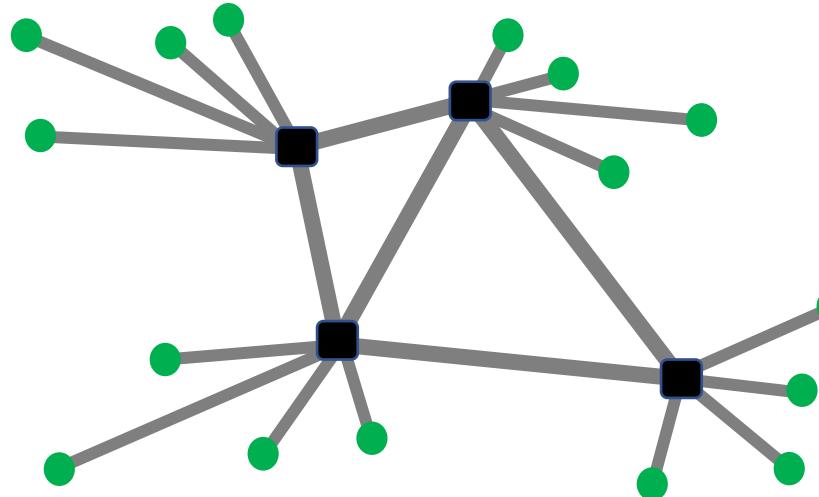


Előnyök

Hátrányok

# A kompromisszumos megoldás: switchelt/kapcsolt hálózatok (switched networks) ésszerűség és rugalmasság

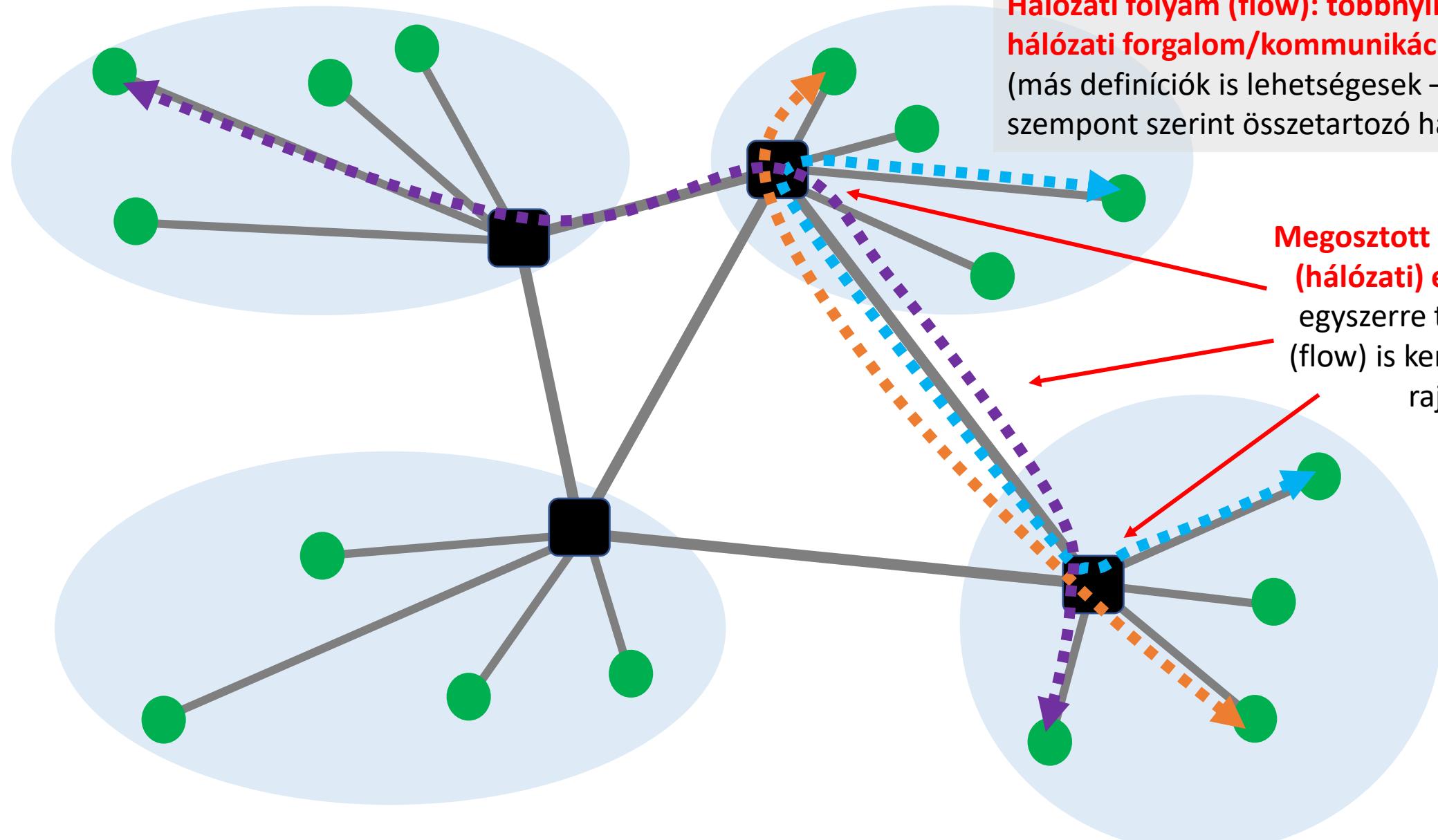
Switchelt/kapcsolt kialakítás



**Előnyök** Az erőforrás megosztás és csomópontok kapacitása úgy alakítható, hogy megfeleljen a hálózati igényeknek.

**Hátrányok** Okos eszközöket igényel, melyek támogatják a **csomagtovábbítást**, **forgalomirányítást** és az **erőforrás kiosztást**.

# Linkek és switchek megosztott használata



# Erőforrások kezelése

## Két alapvetően eltérő megközelítés hálózati

**Előre foglalással**

**Előre lefoglalja a szükséges  
sávszélességet.**

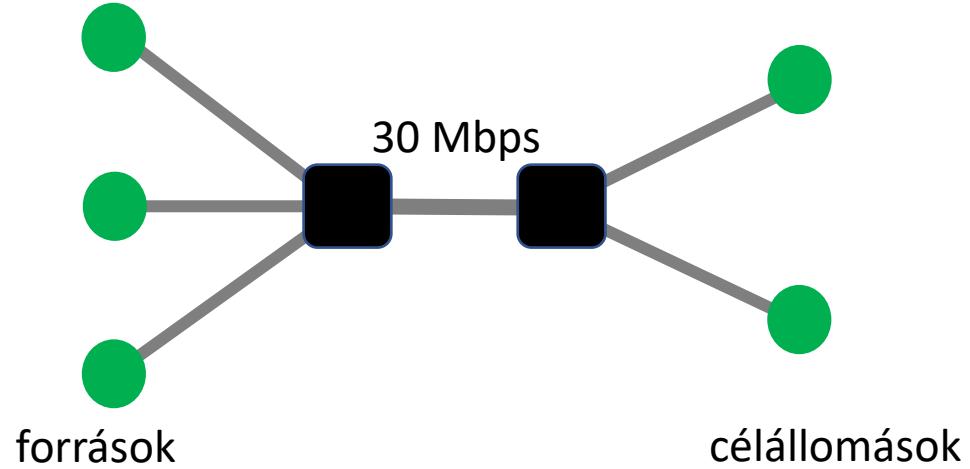
**Folyam szintű multiplexálás**

**Igény szerinti**

**Akkor küld adatot, amikor  
szükséges.**

**Csomag szintű multiplexálás**

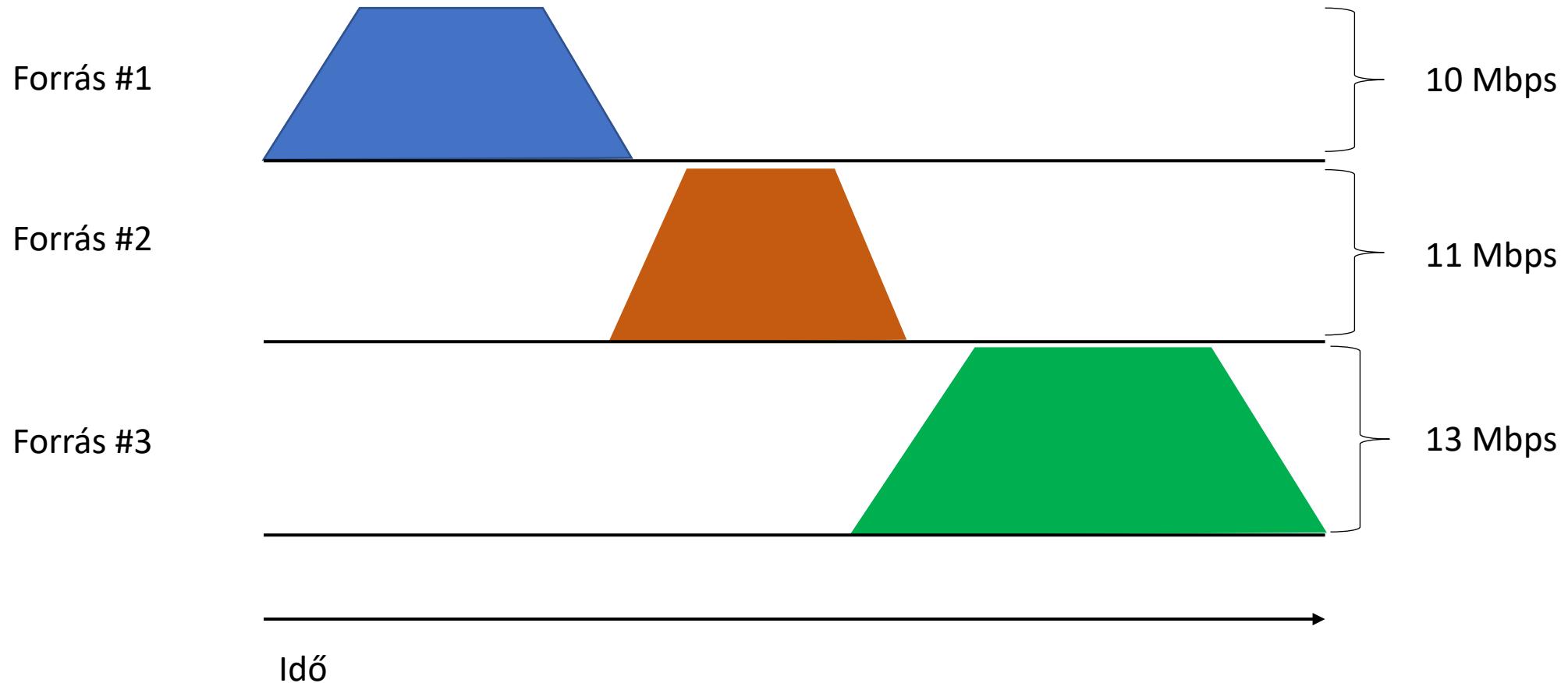
# Melyik a jobb?



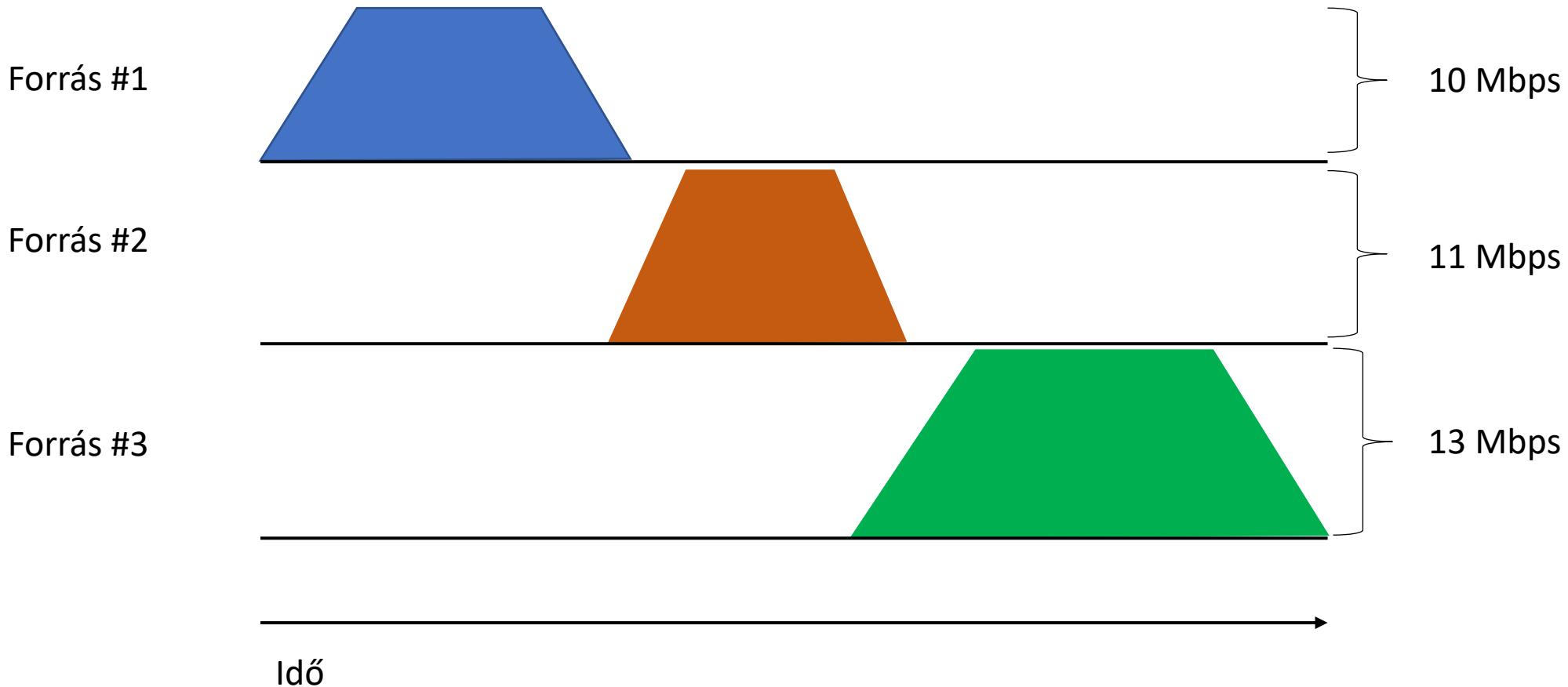
- Tegyük fel, hogy minden egyik forrásnak 10 Mbps sávszélességre van szüksége

- Mit kapnak az alábbi módszerrel:
  - Előre foglalás
  - Igény szerinti

# Tekintsük a lenti hálózati csúcsigényeket és folyam időtartamokat



# Tekintsük a lenti hálózati csúcsigényeket és folyam időtartamokat



Mit kapnak a források **előre foglalás** és igény szerinti megosztási stratégiák esetén?

First-come first-served  
Egyenlő elosztás (10 Mbps)

# Csúcs és átlagos ráták kapcsolata

Minden folyam (flow) rendelkezik

- Csúcsrátával (peak rate): P
- Átlagos rátával: A

Előre foglalás esetén **P erőforrást kell** lefoglalni.

- A lefoglalt erőforrás átlagos kihasználtsági szintjét ekkor **A/P** adja meg.
- $P=100 \text{ Mbps}$ ,  $A=10 \text{ Mbps}$ , a kihasználtsági szint = 10%

Igény szerinti erőforrás-kezelés esetén általában nagyobb kihasználtsági szintet tudunk elérni.

- Függ a versengő források számától és a folyamok forgalmi löketeitől (burstiness)

# Melyik a jobb?

Jó válasz nincs, a felhasználástól függ

**Ha P/A kicsi**, akkor általában az előre foglalásnak van értelme

- Hang forgalom esetén ez az arány 3 vagy kisebb

**Ha P/A nagy**, akkor az előre foglalás jelentősen **erőforrás-pazarló**

- Az adatkommunikáció esetén a forgalom löketekben érkezik (bursty - „börsztös”)
- A P/A arány jellemzően  $>100$

# Melyik a jobb?

## Jó válasz nincs, a felhasználástól függ

**Ha P/A kicsi**, akkor általában az előre foglalásnak van értelme

- Hang forgalom esetén ez az arány 3 vagy kisebb

**Ha P/A nagy**, akkor az előre foglalás jelentősen **erőforrás-pazarló**

- Az adatkommunikáció esetén a forgalom löketekben érkezik (bursty - „börsztös”)
- A P/A arány jellemzően  $>100$

**Ez az oka, hogy ...**

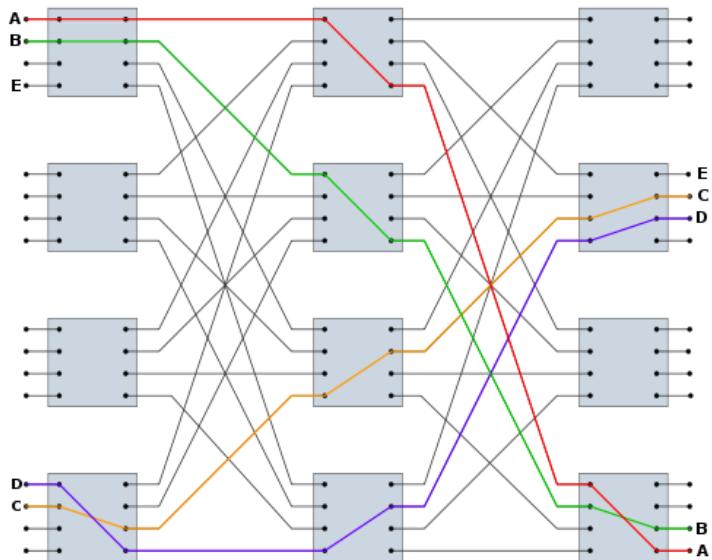
- A telefon hálózat előre foglalást használ,
- ...míg az Internet igény szerinti erőforrás kezelést alkalmaz.

# Megvalósítások

## Előre foglalással

### Áramkörkapcsolt hálózat

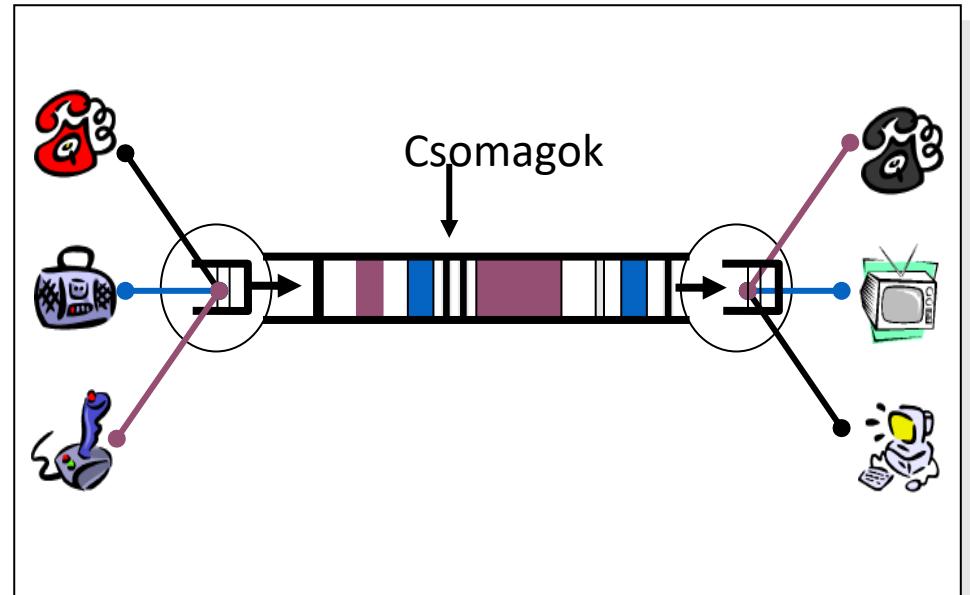
Pl. vezetékes telefon



## Igény szerinti

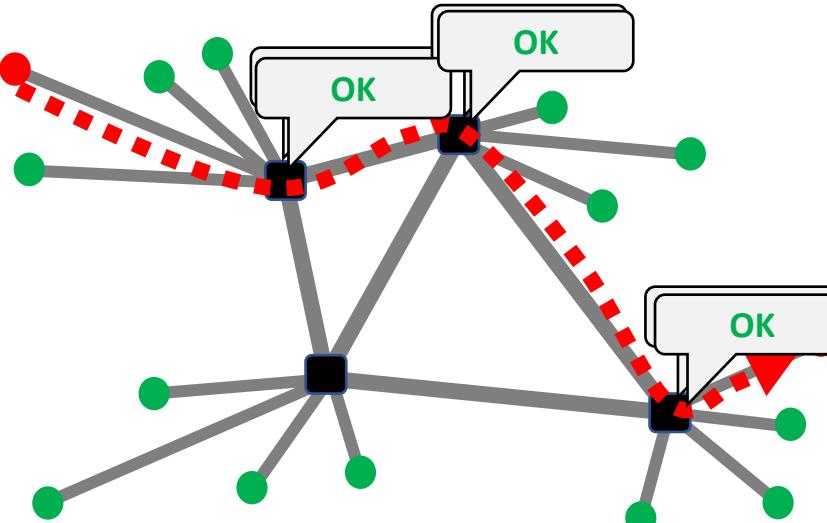
### Csomagkapcsolt hálózat

Pl. Internet



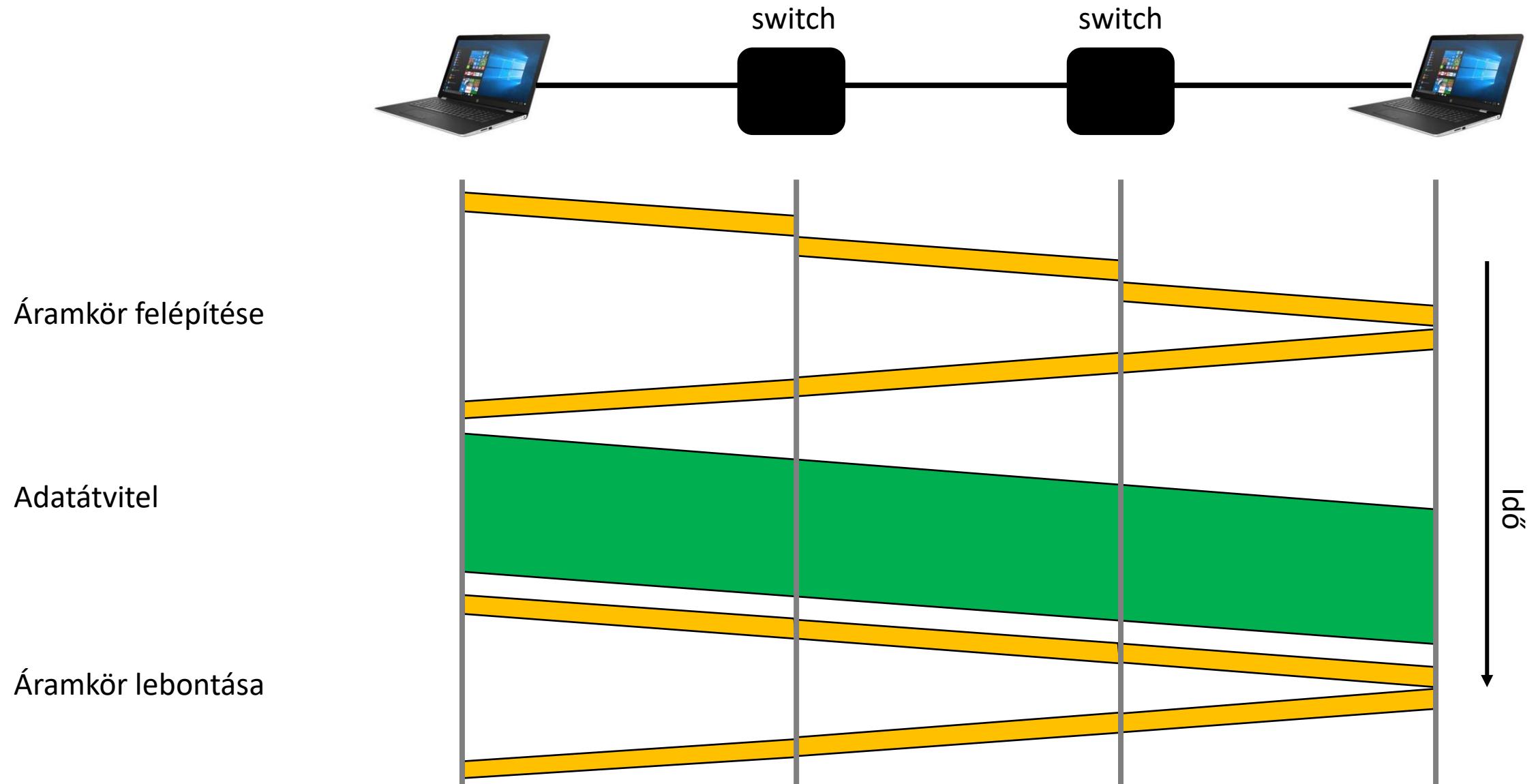
# Az áramkörkapcsolt hálózat alapja a Resource Reservation Protocol

Erőforrás-foglaló protokoll



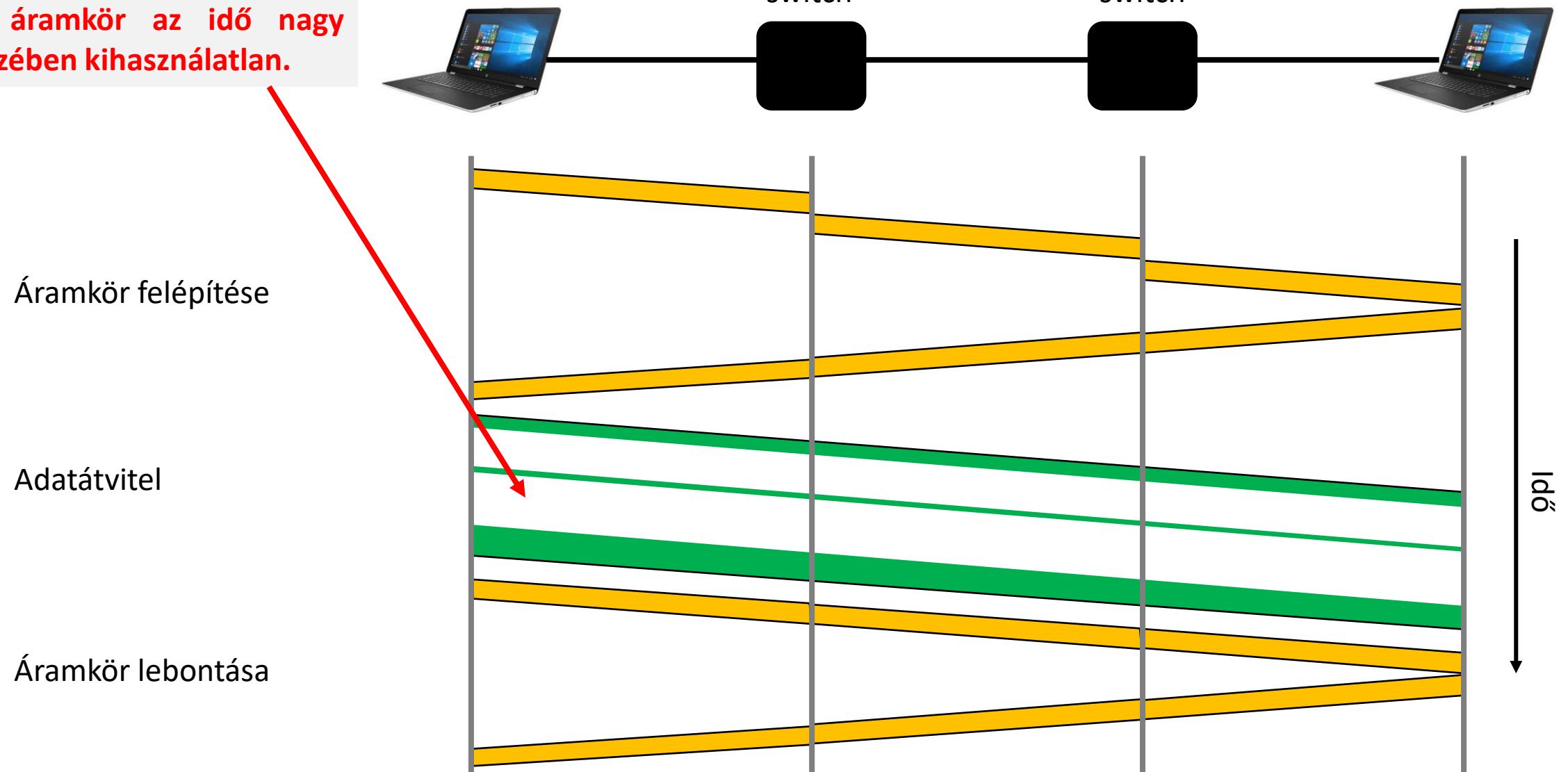
1. A forrás foglalási kérést küld 10 Mbps igényről a célállomásnak
2. A switchek kialakítják az „áramkört”
3. A forrás megkezdi az adatküldést
4. A forrás áramkör-lebontó üzenetet küld a cél felé (teardown)

# Adatátvitel áramkörkapcsolt hálózaton

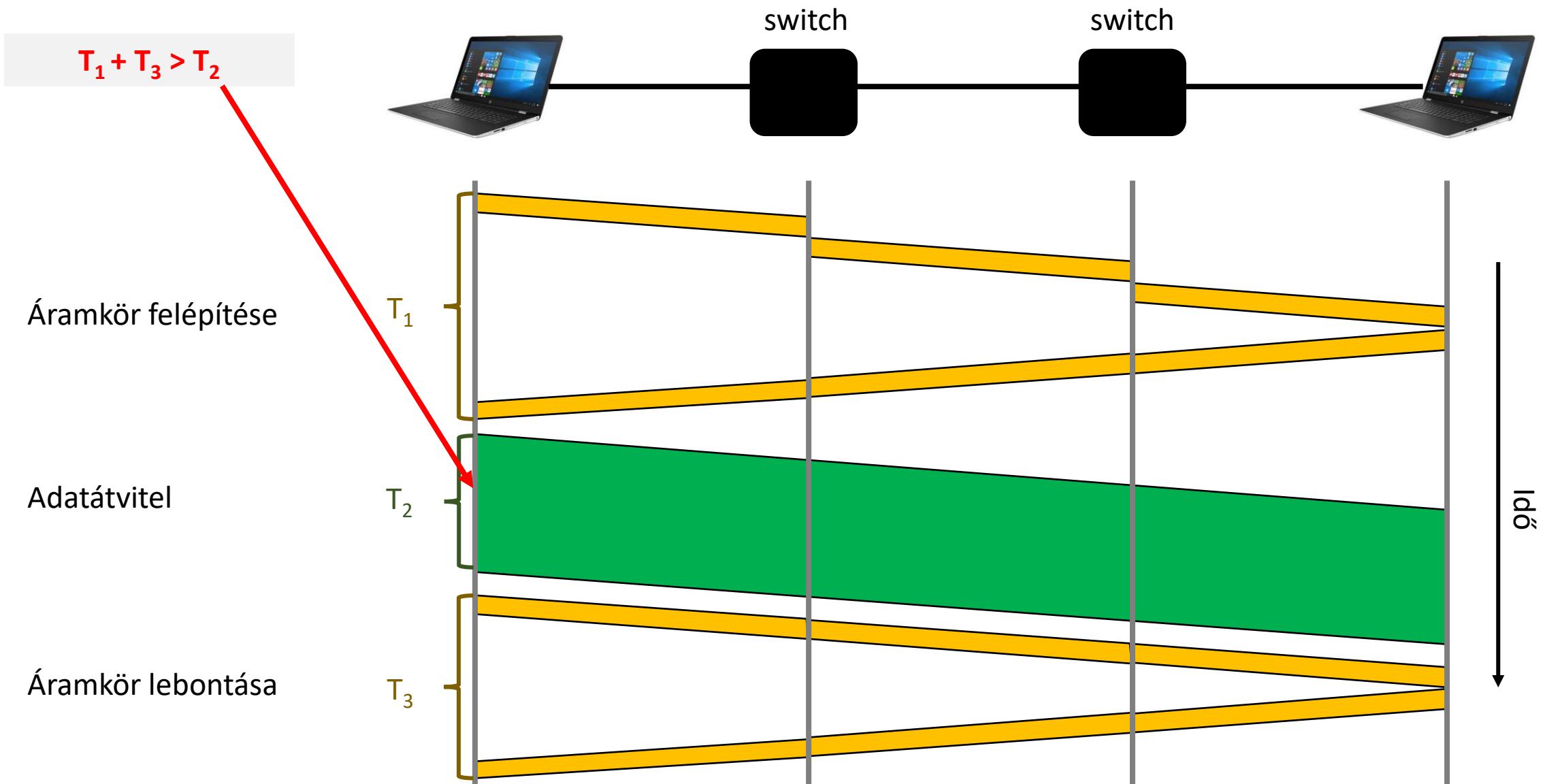


# Löketszerű forgalom - Rossz teljesítmény

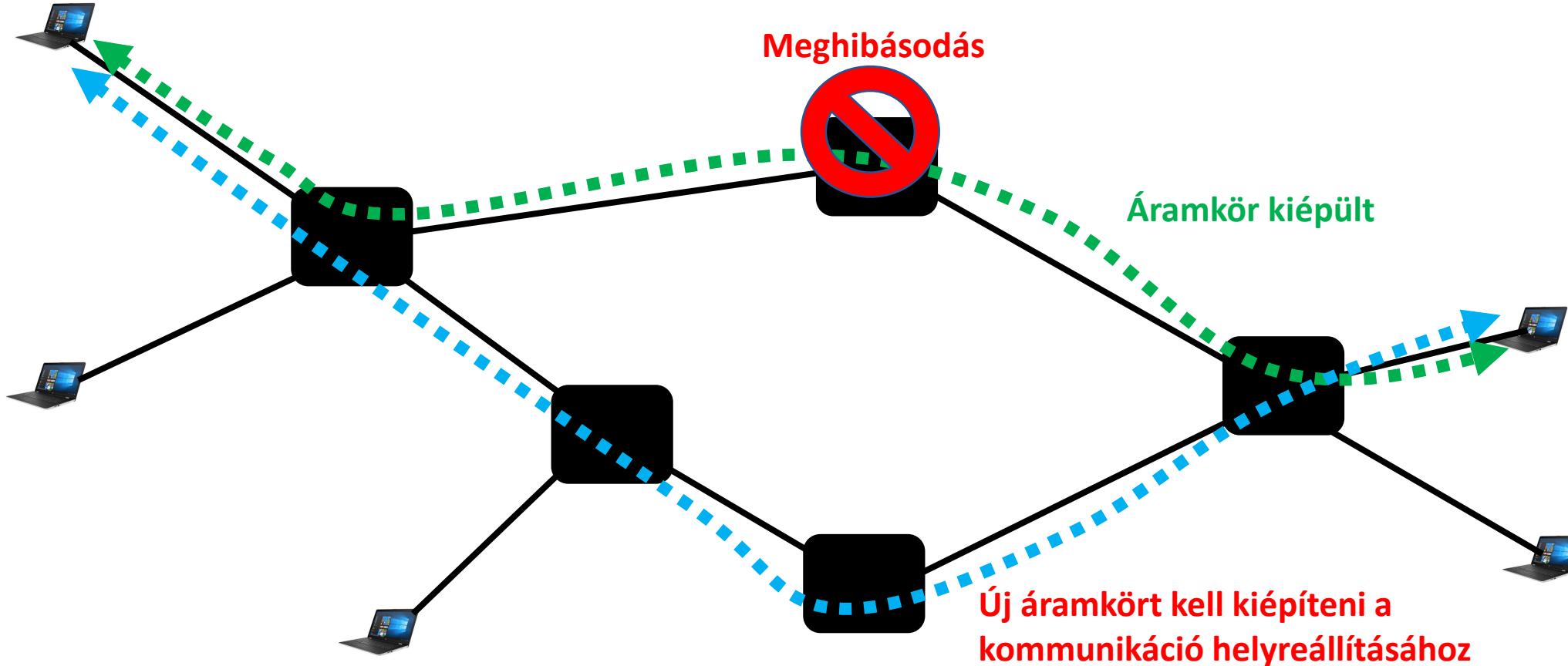
A löketszerű forgalom miatt az áramkör az idő nagy részében kihasználatlan.



# Rövid üzenetváltás – Rossz teljesítmény



# További probléma a **meghibásodott** switch kikerülése (reroute)



# Érvek/Ellenérvek

## Előnyök

Kiszámítható teljesítmény

Egyszerű és gyors kapcsolás  
Miután kiépült az áramkör

## Hátrányok

Alacsony hatékonyság

Löketszerű forgalom  
Rövid folyamok

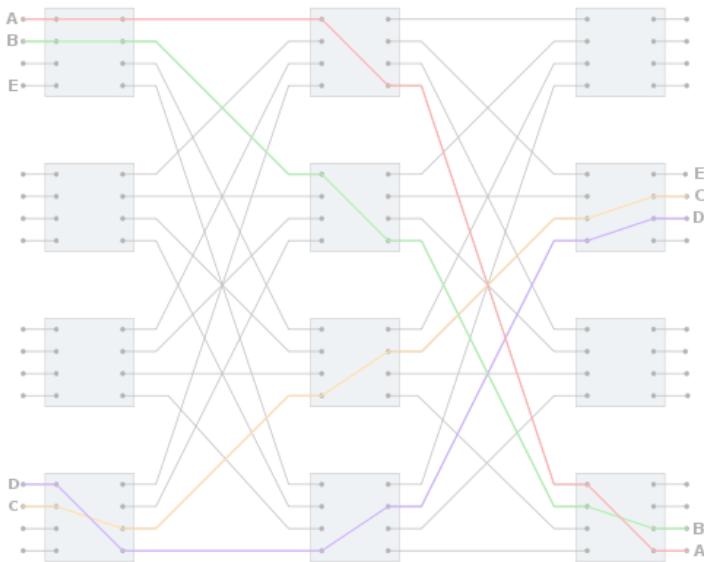
Bonyolult áramkör felépítés/lebontás  
Megnövekedett késleltetés

Hiba esetén új áramkör szükséges

# Megvalósítások

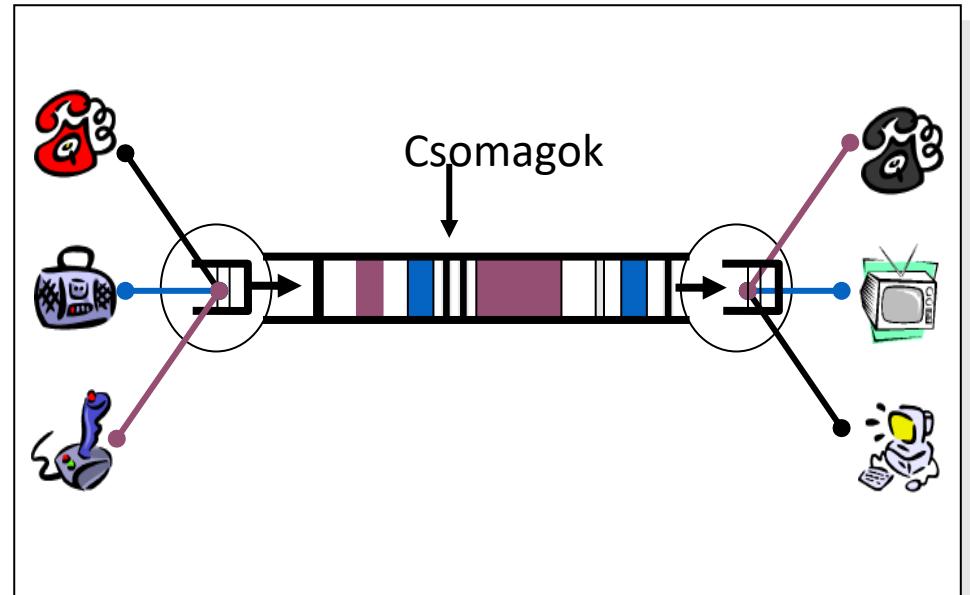
## Előre foglalással

Áramkörkapcsolt hálózat  
Pl. vezetékes telefon



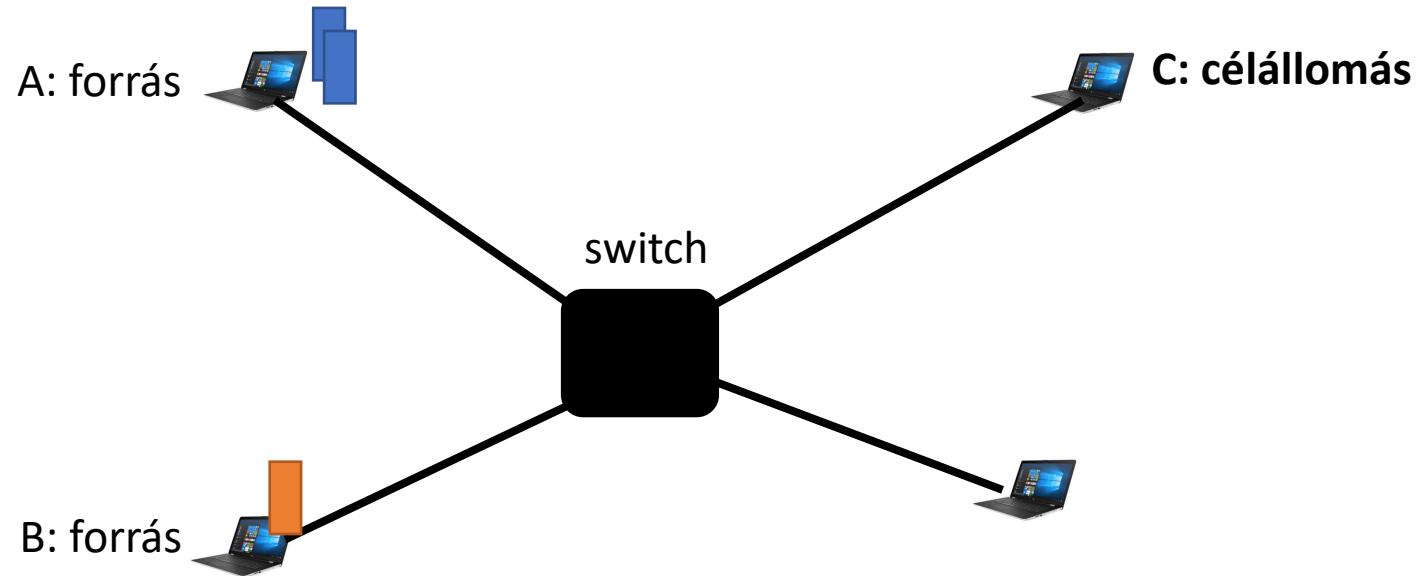
## Igény szerinti

Csomagkapcsolt hálózat  
Pl. Internet



# Csomagkapcsolt hálózatok

**Az adatátvitel egyedi csomagokban történik.**



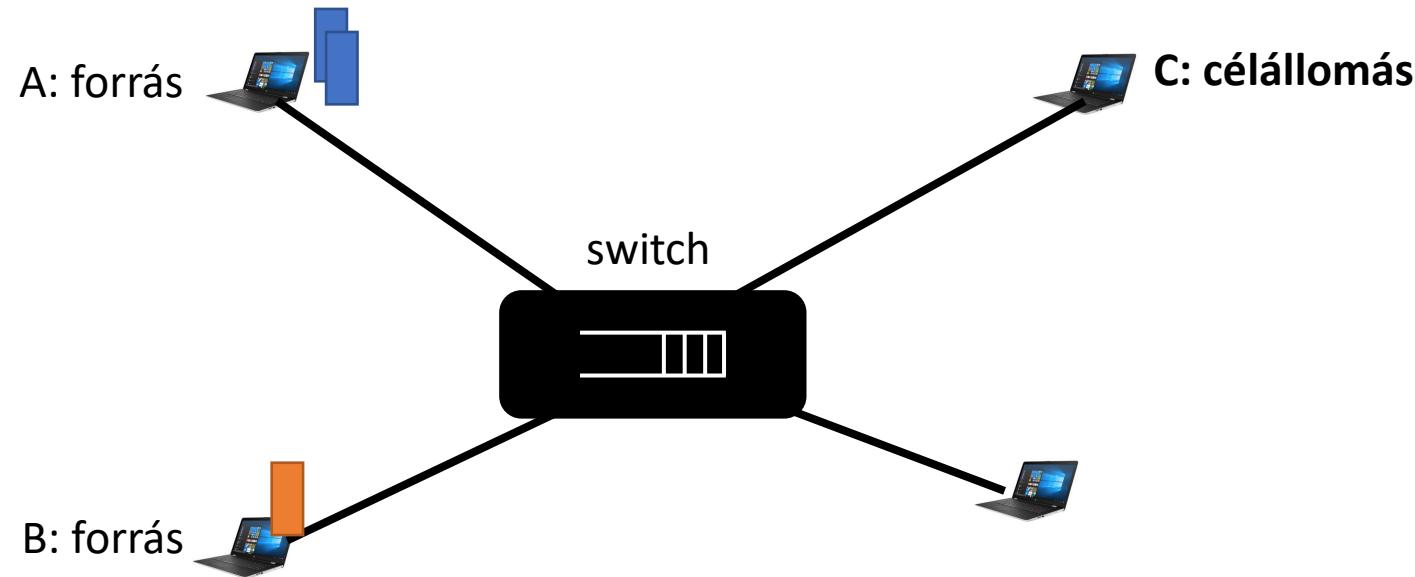
Minden csomag tartamazza a cél címét/azonosítóját (most C).

Nincs globális koordináció, azaz a csomagok zavarhatják egymást.  
(Id. egyszerre érkeznek be a switchhez)

Pufferelés szükséges a löketek kezeléséhez.

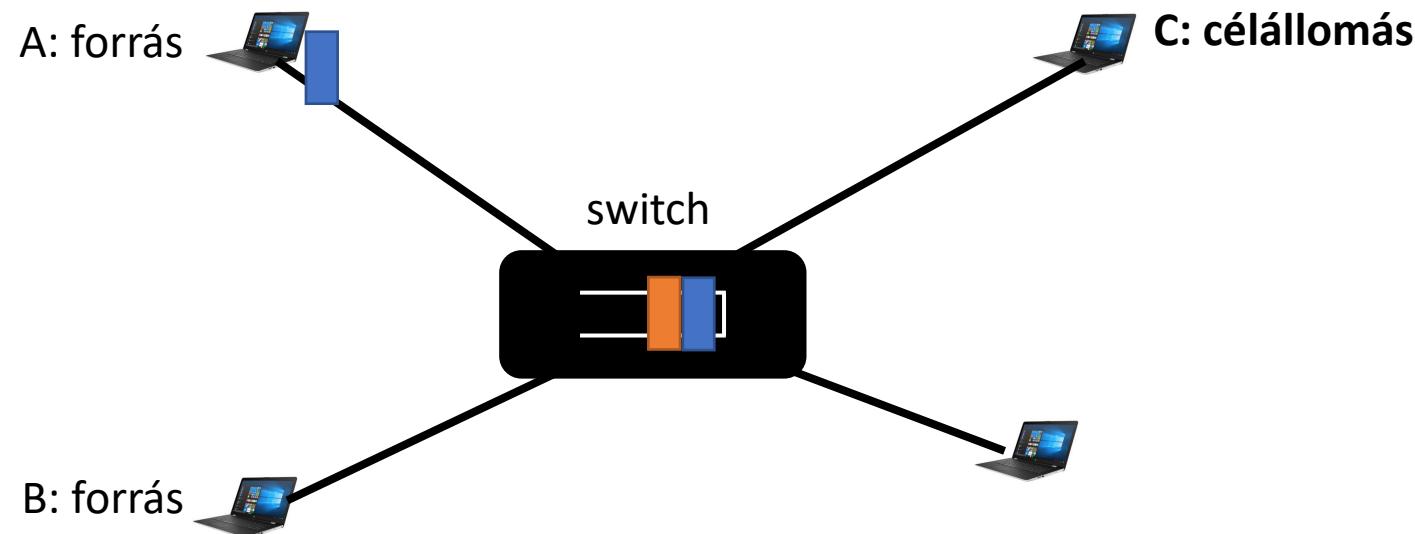
# Csomagkapcsolt hálózatok

**Pufferelés az átmeneti túlterhelések kezeléséhez**

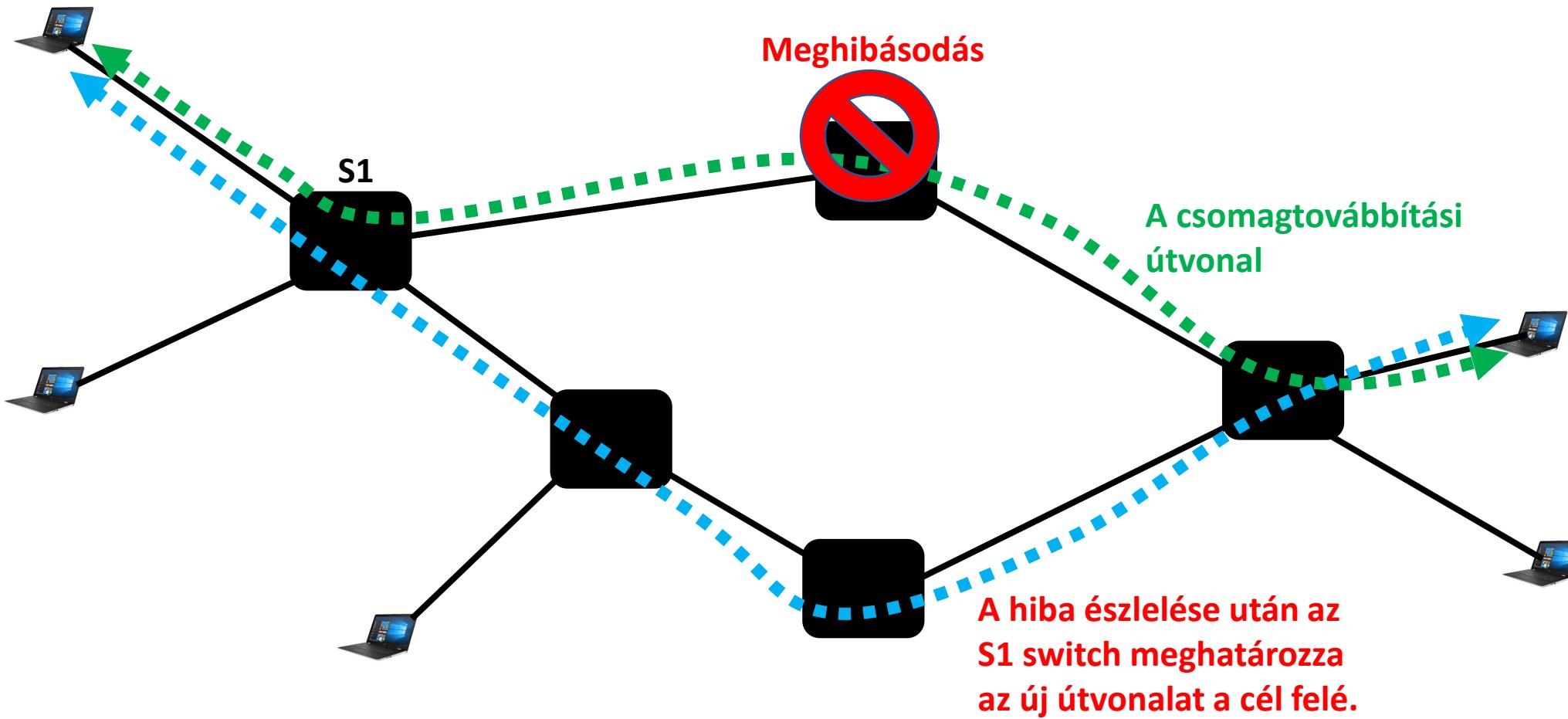


# Csomagkapcsolt hálózatok

**Pufferelés az átmeneti túlterhelések kezeléséhez**



# Hiba tolerancia



# Érvek ellenérvek

## Előnyök

Hatékony erőforrásgazdálkodás

Egyszerű megvalósítás

Hibatolerancia

## Hátrányok

Kiszámíthatatlan teljesítmény

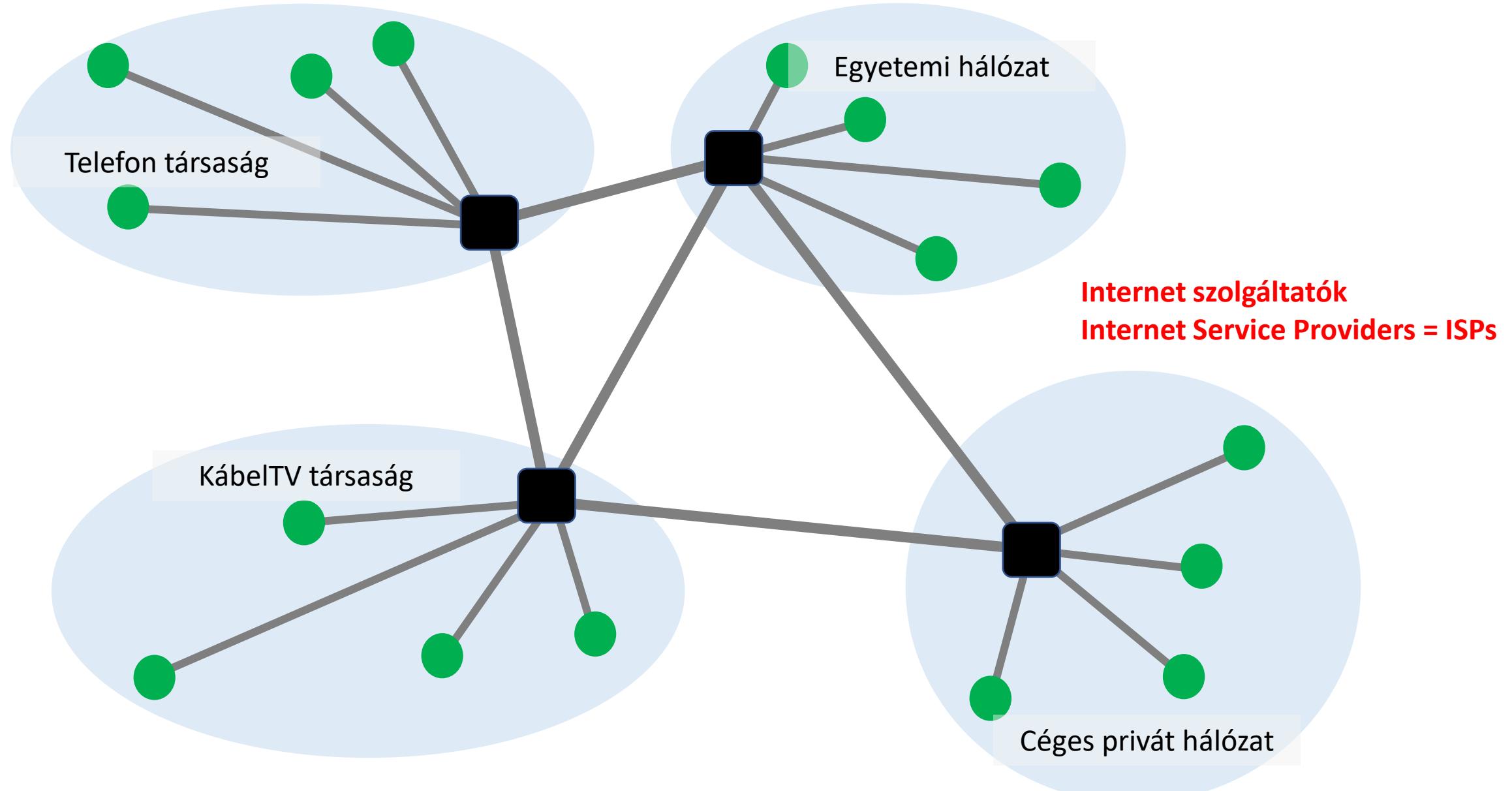
Szükséges puffer-kezelés és torlódás-vezérlés

# Az Internet csomagkapcsolt

Rugalmasság és hatékonyság

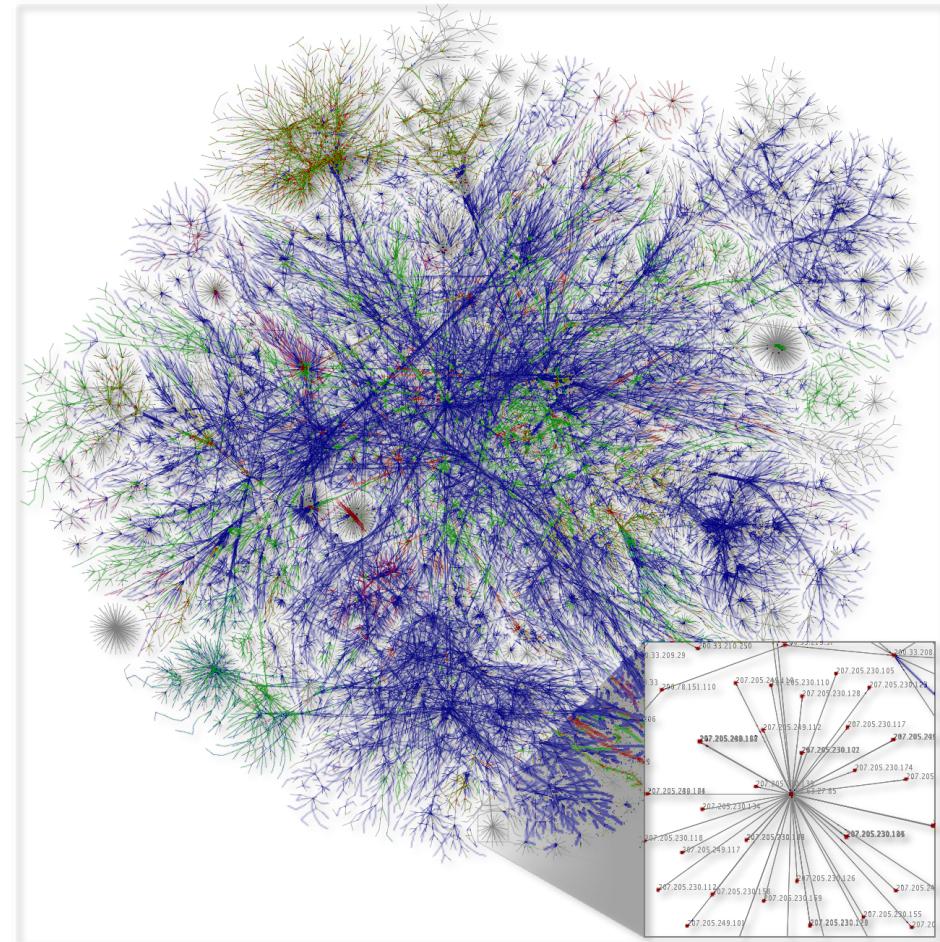
# Áttekintés

Hogyan szervezzük a hálózatot?

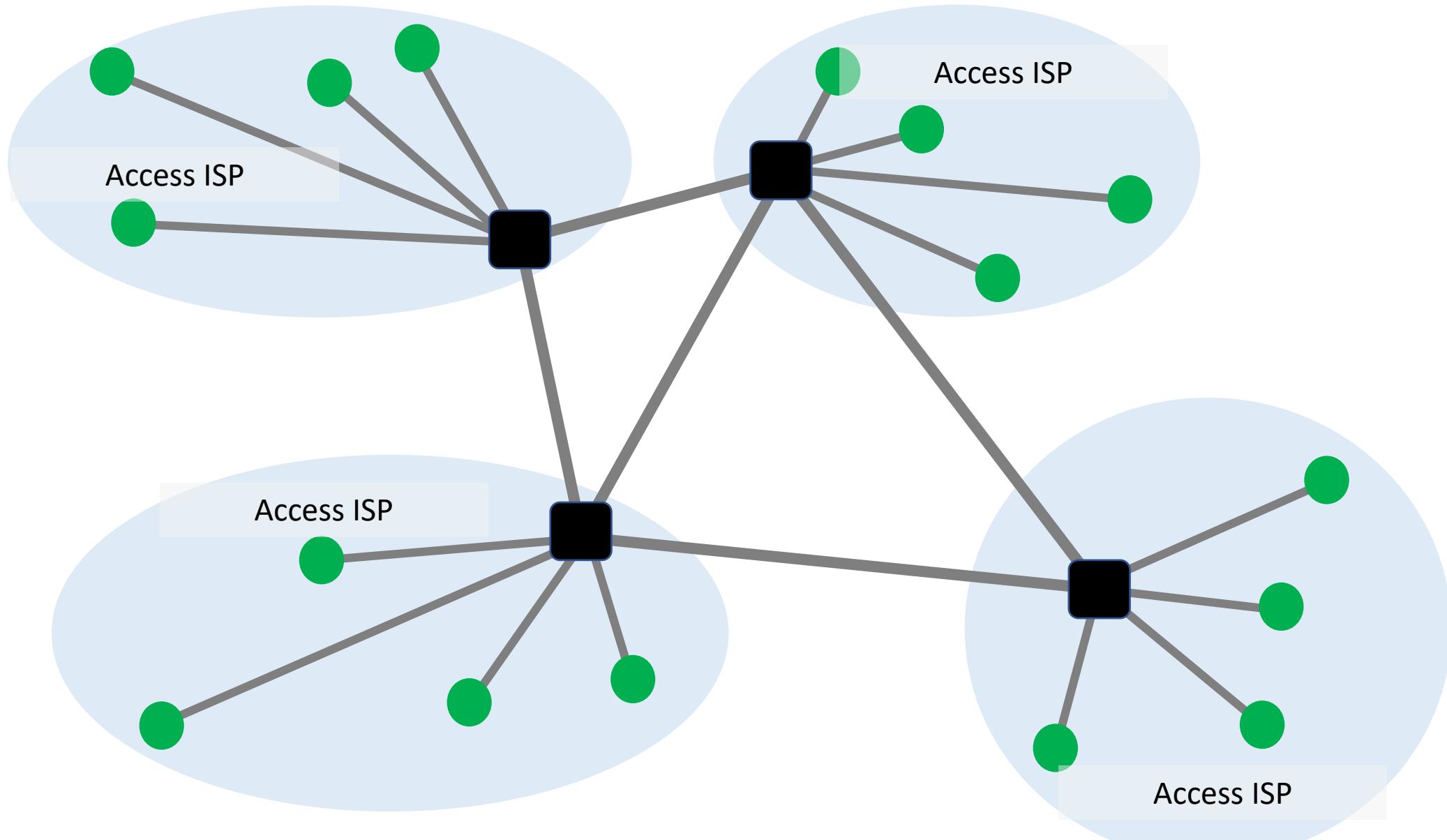


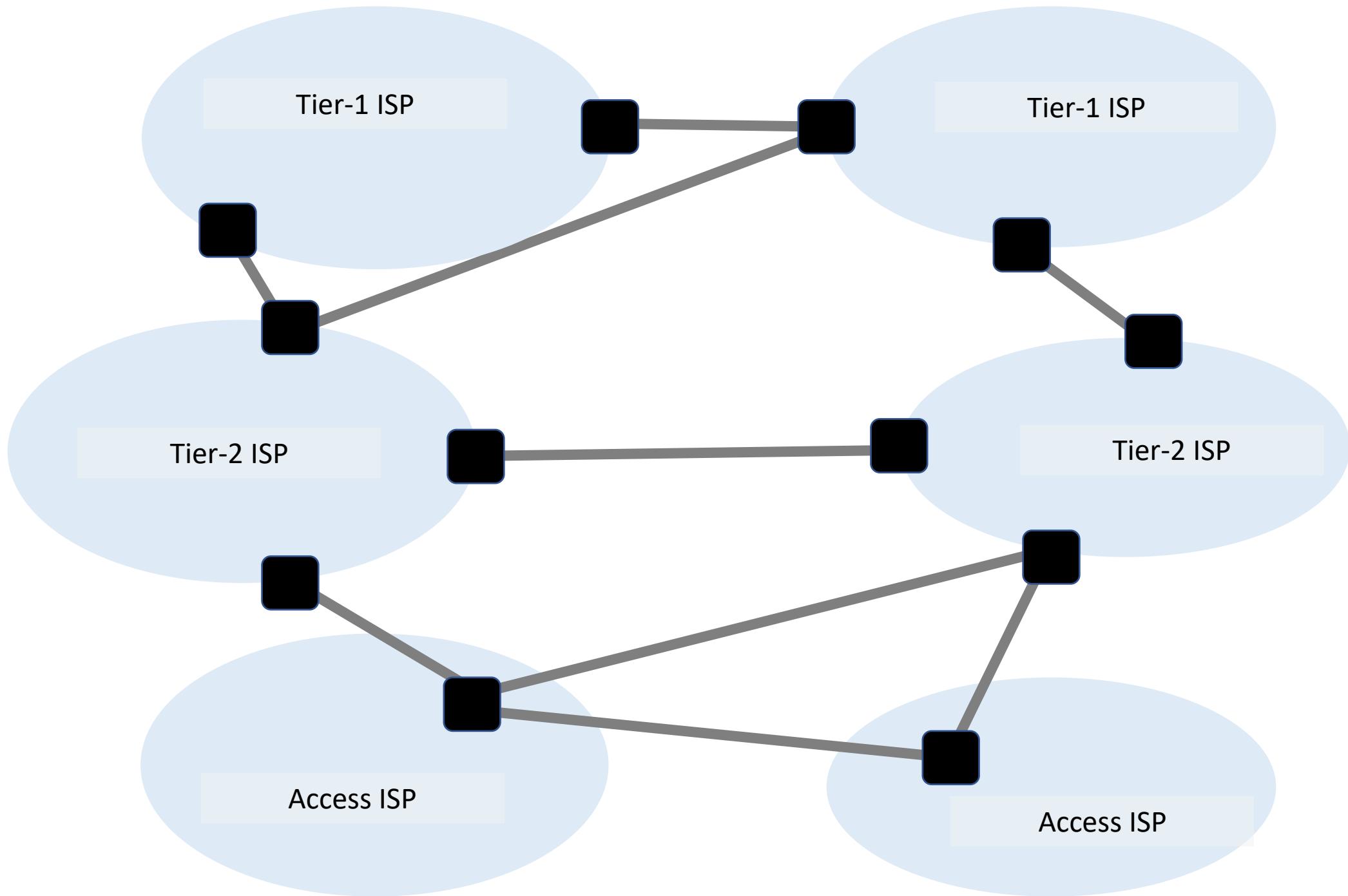
# Mi az internet?

- Hálózatok hálózata
- A világra kiterjedő nyitott WAN
- Jellemzői
  - rendszerfüggetlenség;
  - nincs központi felügyelet;
  - építőelemei a LAN-ok;
  - globális;
  - olyan szolgáltatásokat nyújt, mint a **World Wide Web**, e-mail vagy fájlátvitel.



# ISP – Internet szolgáltató





# Az Internet hierarchikus struktúrája

szolgáltató-vásárló (provider-customer) viszonyok

**Tier-1**

nemzetközi

Nincs szolgáltatója

**Tier-2**

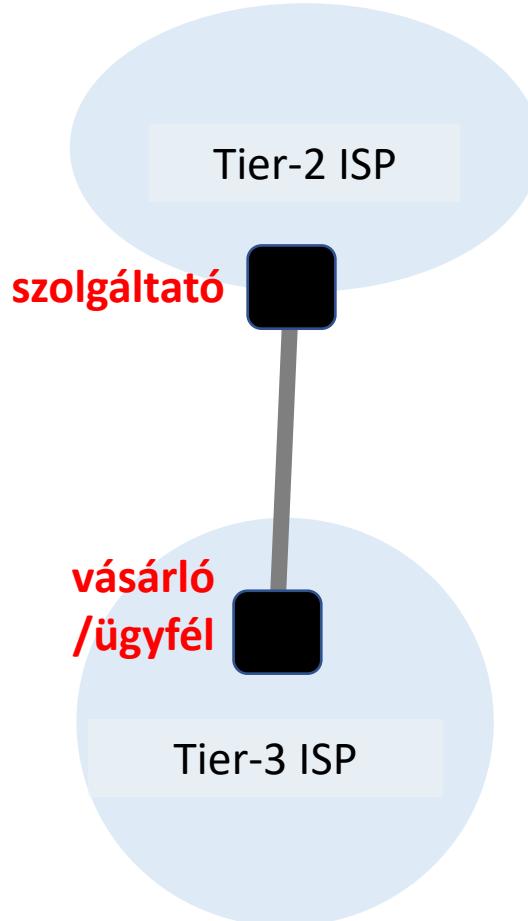
nemzeti

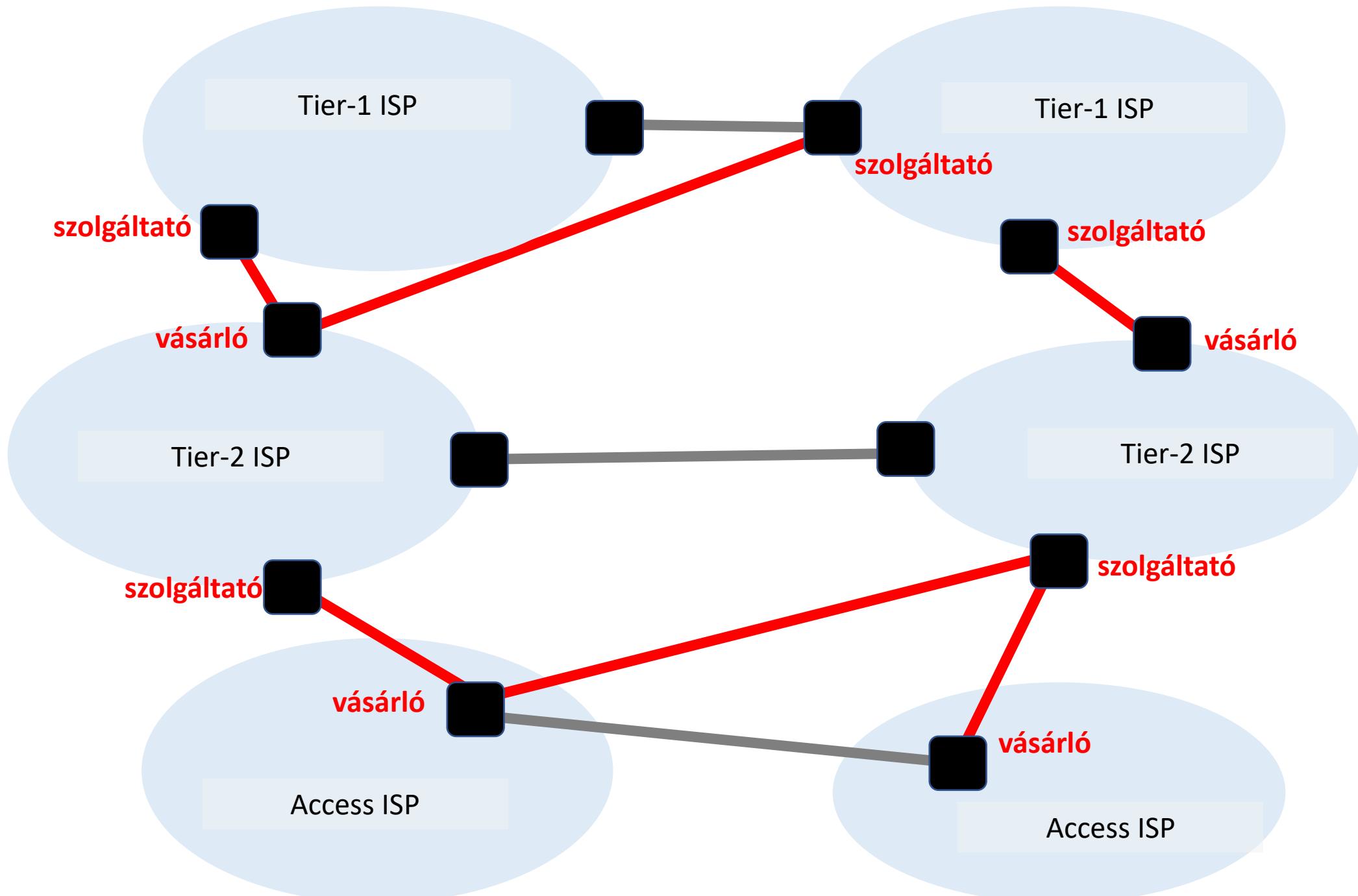
Tier-3 szolgáltatóknak nyújt átjárást  
Legalább egy szolgáltatója van

**Tier-3**

helyi

Nem nyújt átjárást más szolgáltatóknak  
Legalább egy szolgáltatója van





# Hálózatok eloszlása a Tier-ekben

**~50.000 hálózat összesen**

**Tier-1**

nemzetközi

Nincs szolgáltatója

**pár tucat**

**Tier-2**

nemzeti

Tier-3 szolgáltatóknak nyújt átjárást  
Legalább egy szolgáltatója van

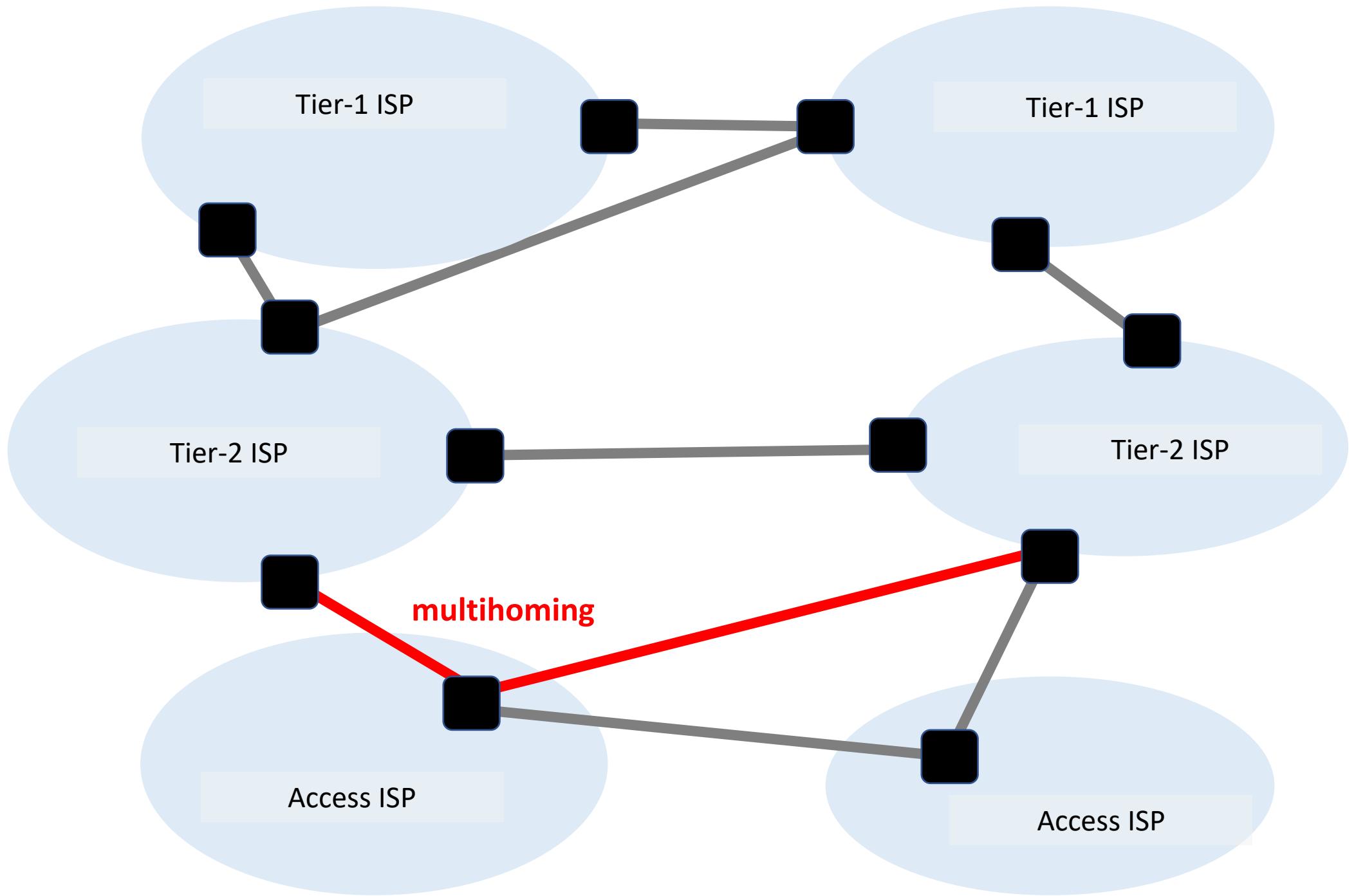
**több ezer**

**Tier-3**

helyi

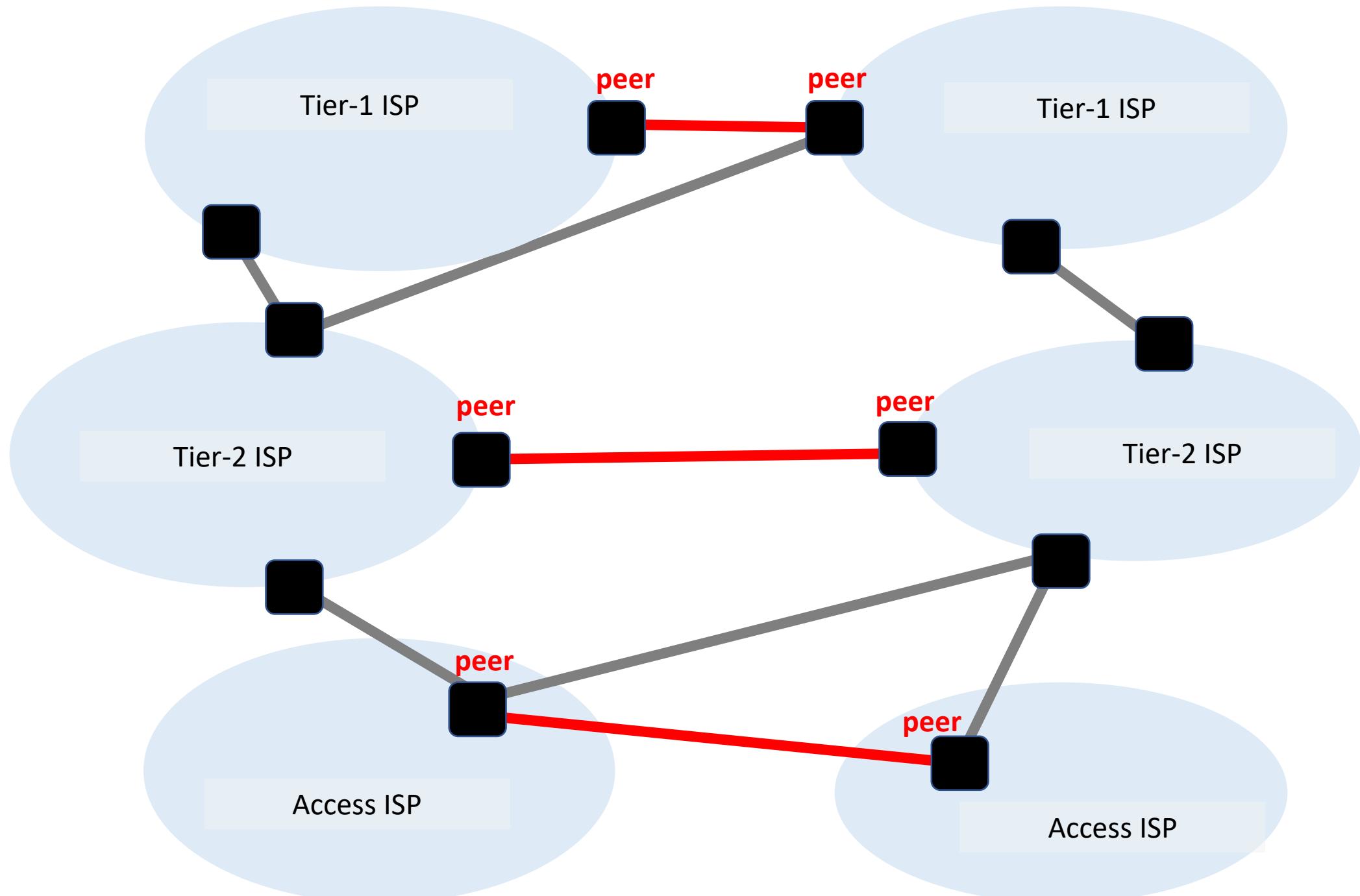
Nem nyújt átjárást más szolgáltatóknak  
Legalább egy szolgáltatója van

**85-90%**



Némely hálózat között közvetlen kapcsolat is létezik  
– csökkenti a szolgáltatónak fizetendő számlát

**Ezt hívjuk „peering”-nek – ez egyfajta kölcsönös kapcsolat...**



A szomszédos hálózatok egyesével való összekapcsolása túl költséges lenne

### **Infrastruktúra költségek**

Fizikai linkek kiépítése vagy bérlese

### **Sávszélesség költségek**

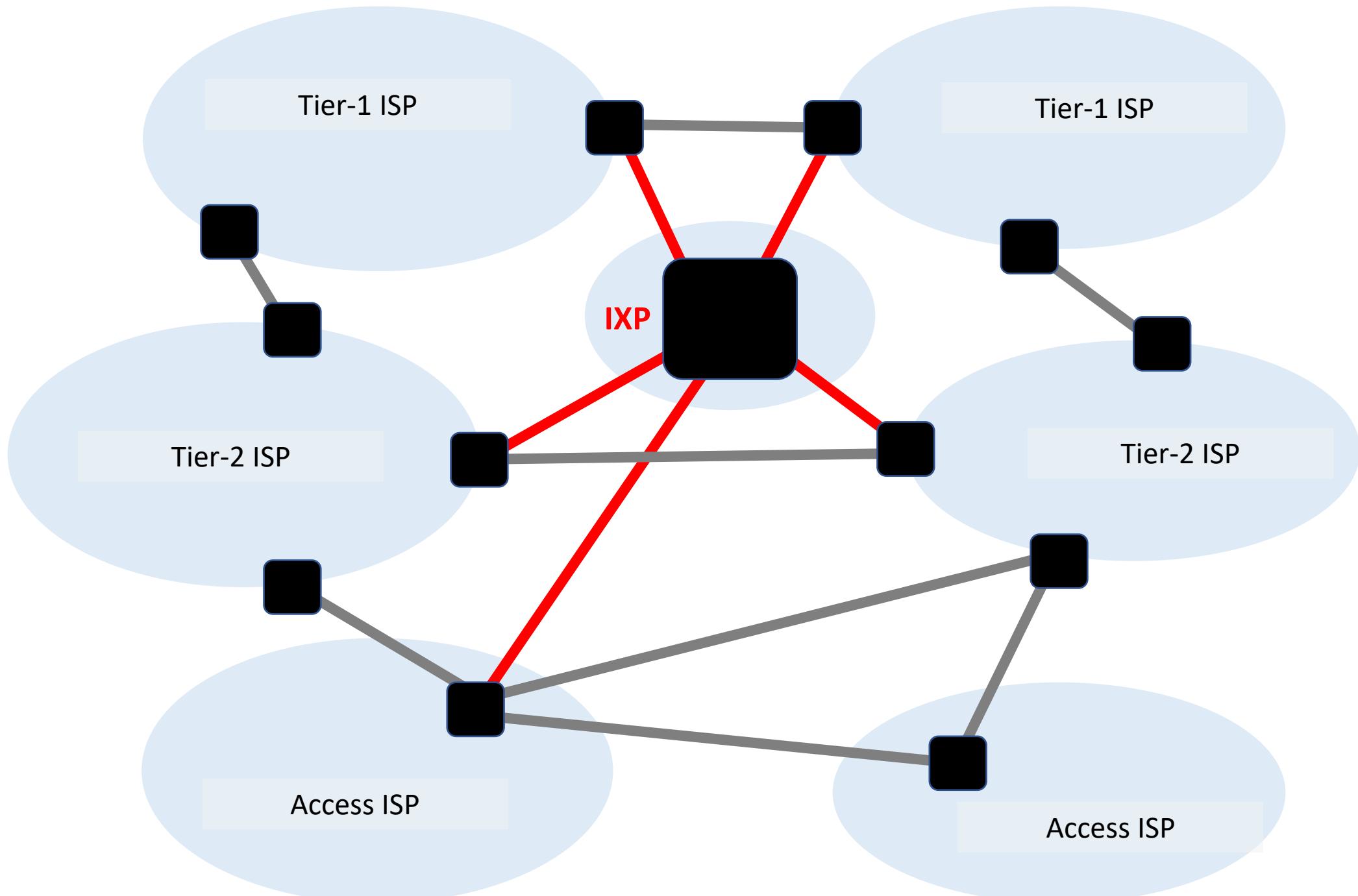
A linkek nem feltétlenül lesznek teljesen kihasználva

### **Humán költségek**

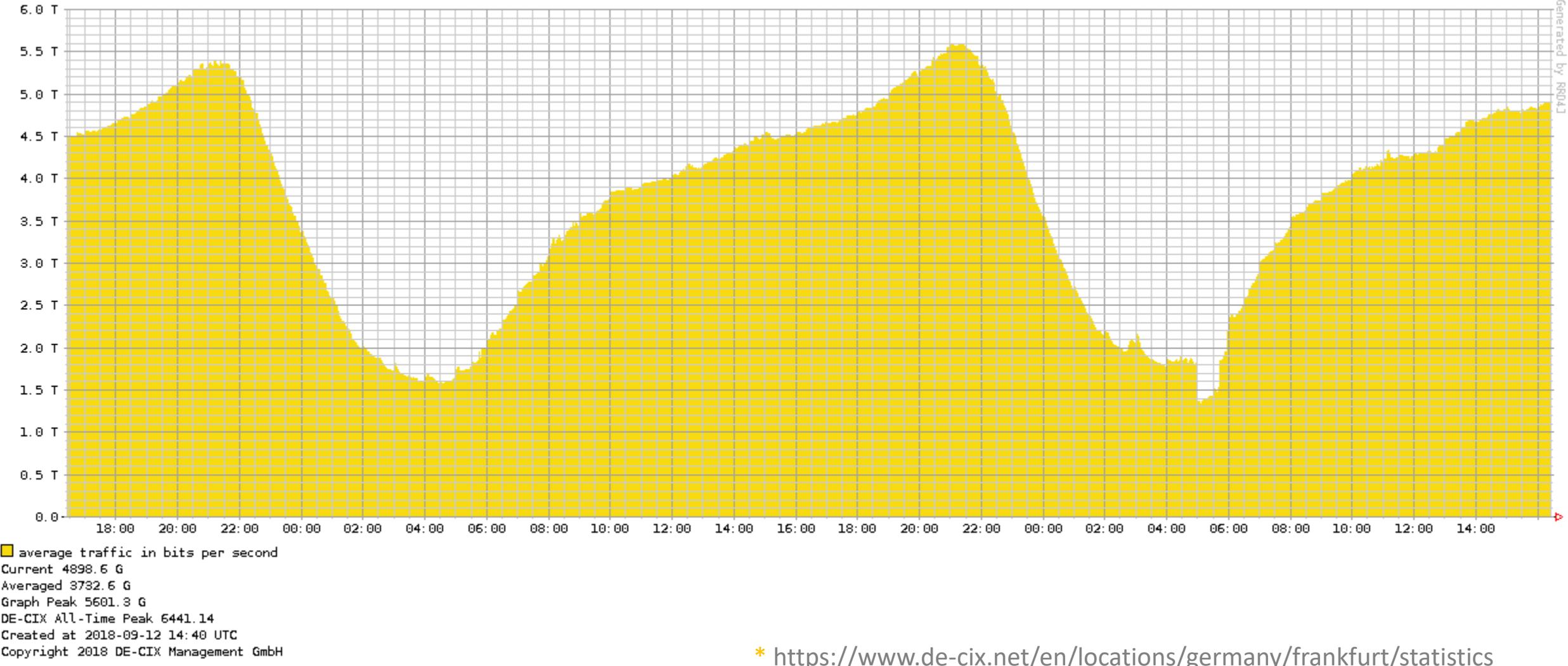
Minden kapcsolatot egyedi módon kell kezelní

A problémát az úgynévezett Internet eXchage Pontok (IXP) oldják meg

**Az IXP-k lehetővé teszik több hálózat összekapcsolását  
egy fizikai (földrajzi/topológiai) helyen.**



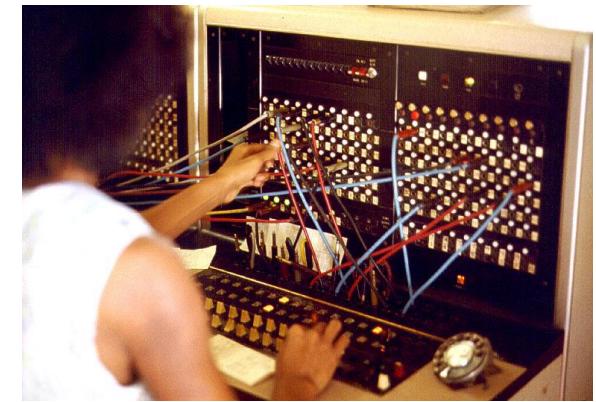
# Egy IXP két napja – DE-CIX Frankfurt



# Az Internet rövid története

# Az egész az 50-es években kezdődött...

Telefonhálózat – a kommunikációs hálózat  
teljesen áramkörkapcsolt



Elkezdik másra is használni a hálózatokat  
hadászat, számítógépek, stb.

azonban az áramkörkapcsolt megoldás ezeknek nem felelt meg...  
nem elég hatékony és rugalmas löketszerű terhelések kezelésére

# Három legfontosabb kérdés



**Paul Baran** RAND

Hogyan tervezünk sokkal **rugalmasabb** hálózatokat?  
... csomagkapcsolt hálózatok feltalálása



**Leonard Kleinrock**  
UCLA

Hogyan tervezünk sokkal **hatékonyabb** hálózatokat?  
... csomagkapcsolt hálózatok feltalálása

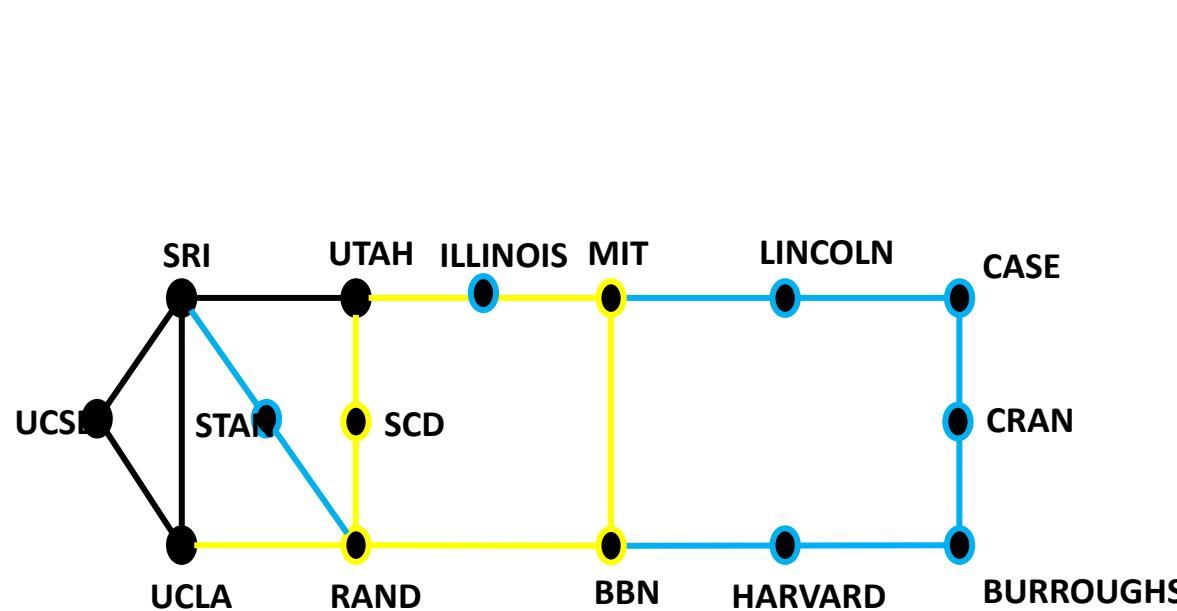


**Vint Cerf & Bob Kahn**  
DARPA

Hogyan **kapcsoljuk össze** ezeket a hálózatokat?  
... a ma ismert Internet feltalálása

# A 60-as évek a csomagkapcsolt hálózatokról szólt...

**Advanced Research Projects Agency NETwork (ARPANET)**



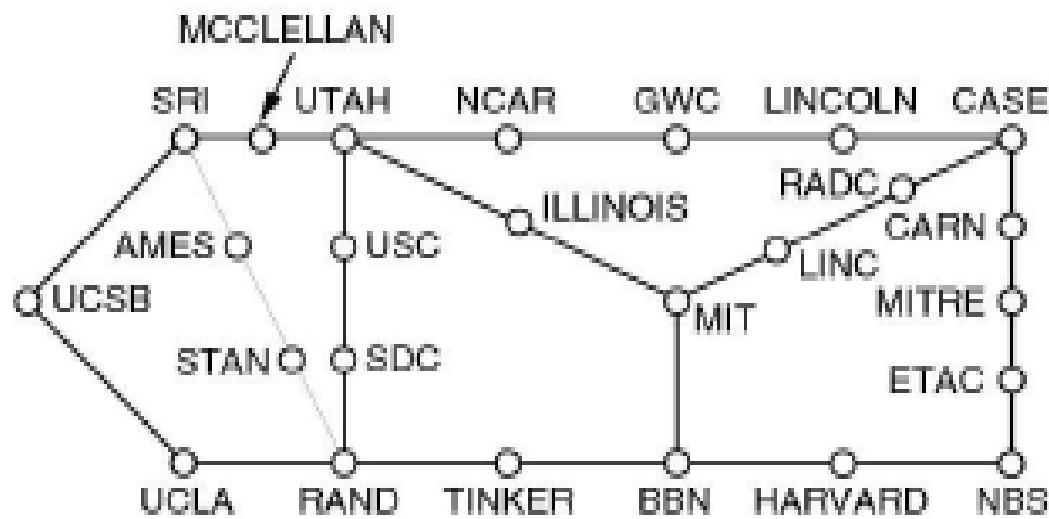
1969 december

1970 július

1971 március

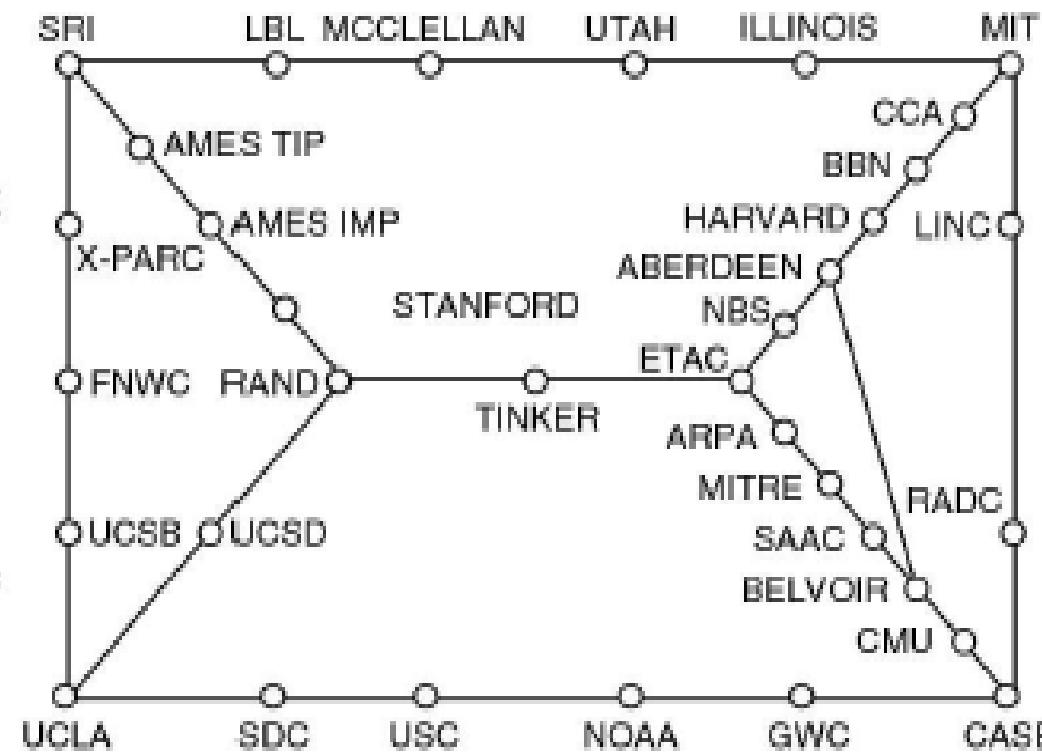
# ARPANET

1972 április



# ARPANET

1972 szeptember



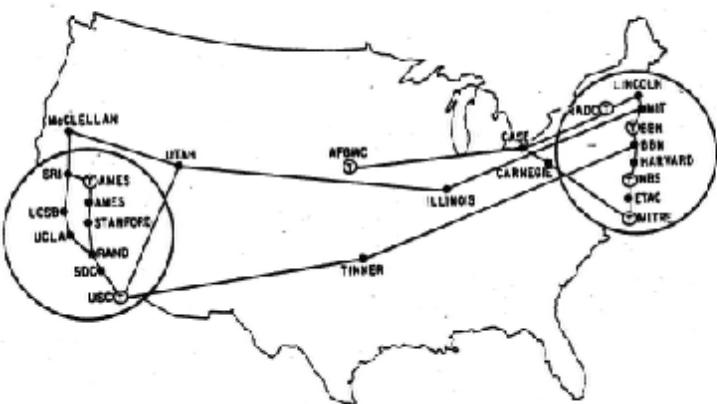
# ARPANET



Dezember 1969



Juni 1970



März 1972



Juli 1977

# Robert Kahn koncepciója – DARPA 1972

- **Minden (lokális) hálózat autonóm**
  - önállóan dolgozik
  - nem kell elkülönítve konfigurálni a WAN-hoz
- **Kommunikáció a „legjobb szándék” (angolul *best effort*) elv szerint**
  - ha egy csomag nem éri el a célt, akkor törlődik
  - az alkalmazás újraküldi ilyen esetekben
- **„Black box” megközelítés a kapcsolatokhoz**
  - a Black Box-okat később *Gateway*-eknek és *Router*-eknek keresztelték át
  - csomaginformációk nem kerülnek megőrzésre
  - nincs folyam-felügyelet
- **Nincs globális felügyelet**

Ezek az Internet alapelvei

# Az Interneten átküldött első üzenet: „LO”

1969. október 29.

Leonard Kleinrock a UCLA-ről megpróbál  
távolról belépni egy stanfordi számítógépre

UCLA We typed the L... Do you see it?

Yes! We see the L Stanford

We typed the O... Do you see it?

Yes! We see the O

We typed the G.

... és a rendszer összeomlott...

A 70-es évek már az Ethernet, TCP/IP és az email korszaka volt...

1971

**Network Control Program (NCP)**

A TCP/IP elődje

1972

**Email és Telnet**

1973

**Ethernet**

1974

**TCP/IP**

Vint Cerf és Bob Kahn cikke

# 80-as években minden a TCP/IP-ről szól...

- 1983      **NCP-ről TCP/IP-re**  
**Domain Name Service (DNS)**
- 1985      **NSFNet (TCP/IP) az ARPANET utódja**
- 198x      **Internet összeomlások a torlódások miatt**
- 1986      **Van Jacobson megmenti az Internetet**  
torlódásvezérlés – congestion control



Van Jacobson

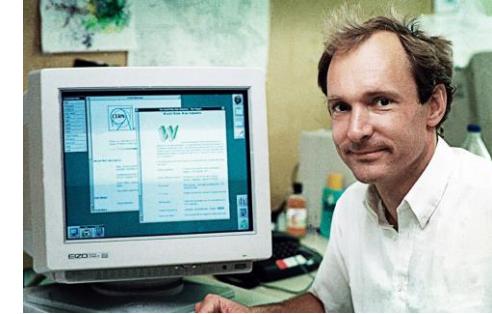
# 90-as évek – minden az Internetről és a webről szól...

1989

**ARPANET vége**

**A WEB megszületése**

Tim Berners Lee (CERN)



1993

**Első kereső motor (Excite)**

1995

**NSFNet vége**

1998

**A Google megújítja a keresést**

# Folytatása következik...

Vége az első résznek.