



NMHH

Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság

# A műholdseregek korszaka - a Starlink konstelláció

Dr. Bartolits István

Technológiaelemző Főosztály, főosztályvezető

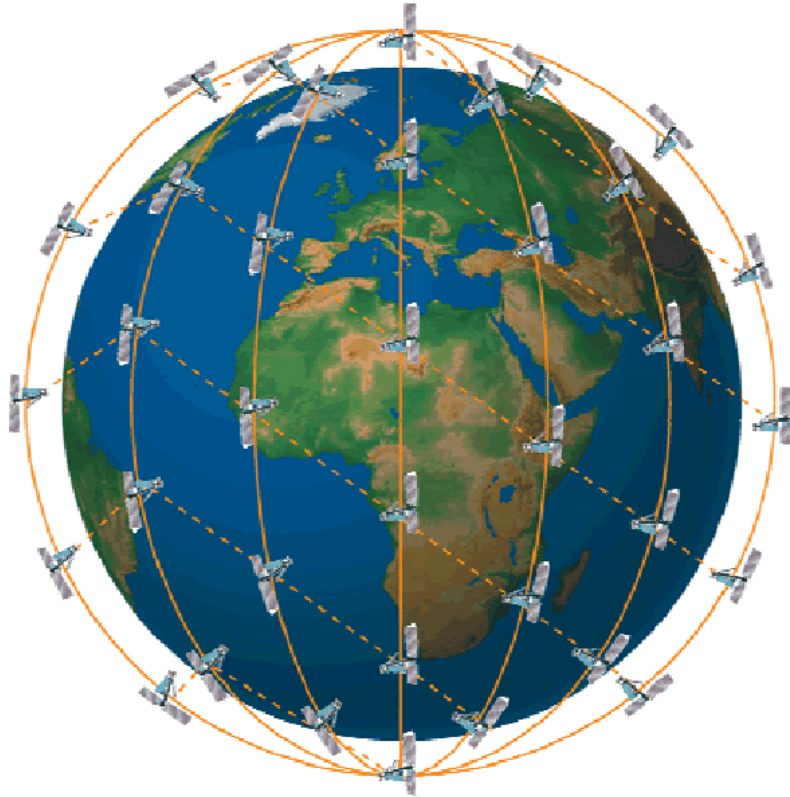
- Egy előhírnök az elmúlt évezredből – az Iridium rendszer
- A LEO pálya előnyei és hátrányai
- Készülő és tervezett műholdseregek
- A Starlink konstelláció felépítése
- A Starlink rendszer kiépítése – state-of-the-art

# Egy előhírnök az elmúlt évezredből: az Iridium rendszer

- 1987 – Három mérnök futurisztikus terve (Bary Bertinger, Raymond J. Leopold, Ken Peterson)
- 1988 – szabadalmaztatás (Motorola, US Patent 5 410 728)
- Az első öt műhold: 1997. május 5.
- A konstelláció kiépülése: 1998. szeptember 8.
- Az első teszt telefonhívás: 1998. november
- A kiépítés befejezése: 2002. június 20. (a meghibásodott műholdak pótlása, a tartalékok pályára állítása)

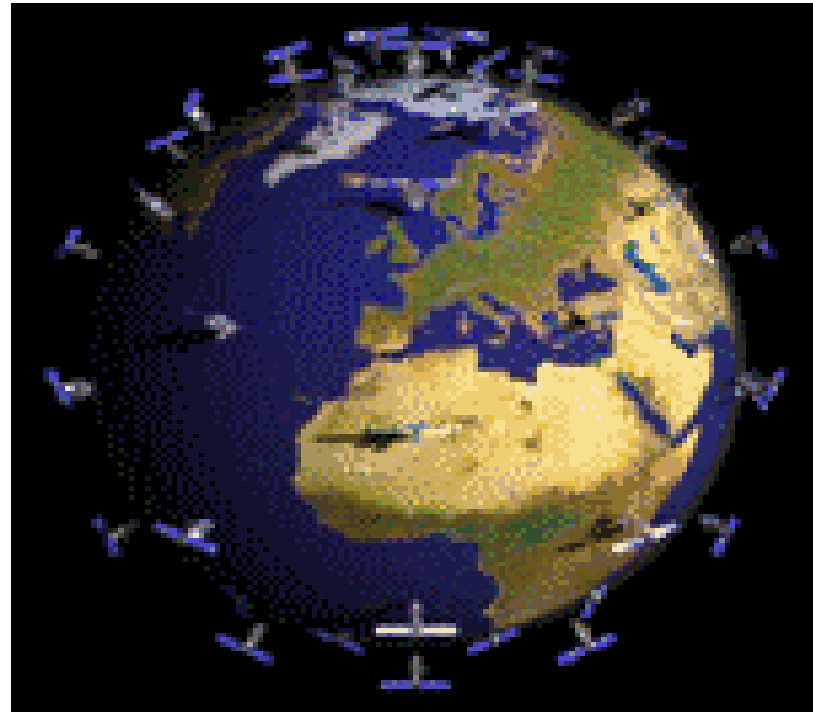
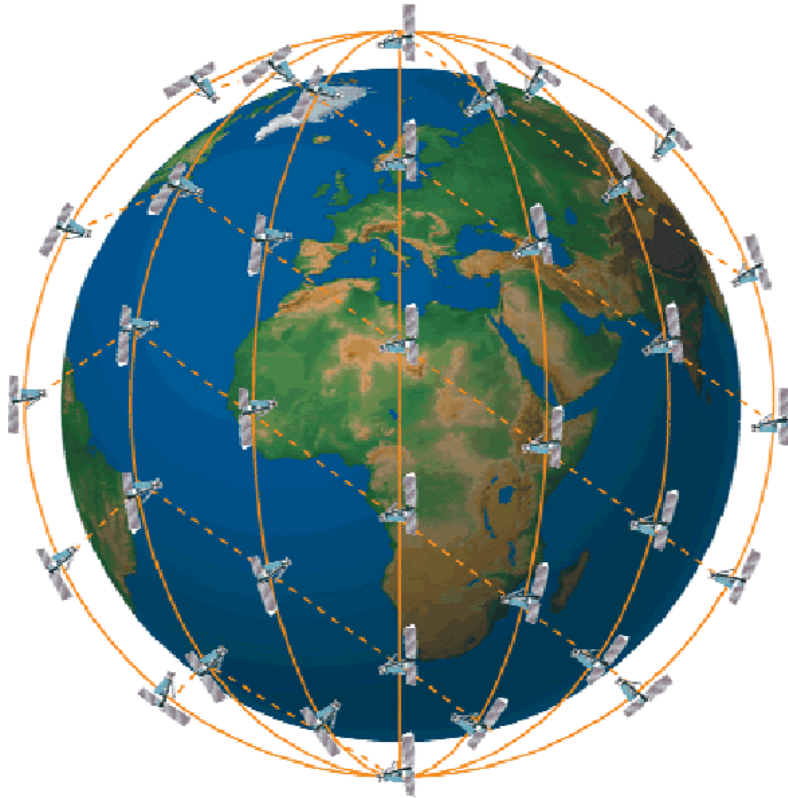
*Idén 25 éve!*

# EGY KORÁT MEGELŐZŐ MŰHOLDSEREG – AZ IRIDIUM RENDSZER

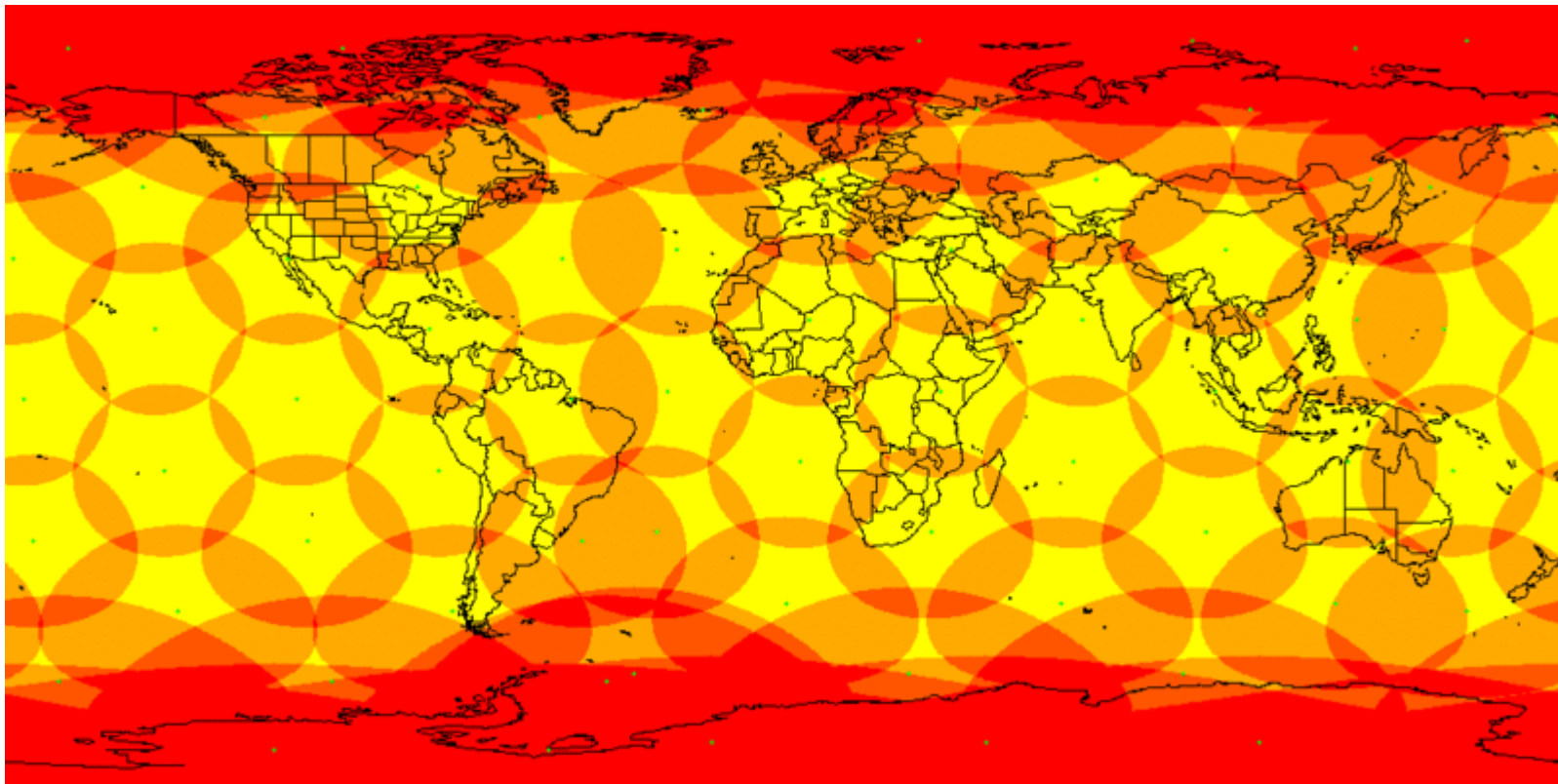


- 66 műhold, 6 pályán
- inklináció:  $86,4^\circ$  (közel poláris pálya)
- pályánként 11 műhold + 1 tartalék
- Low Earth Orbit (LEO) konstelláció
- Pályamagasság: 781 km
- Keringési idő: 100,13 perc
- Sebesség: 26 804 km/óra

# EGY KORÁT MEGELŐZŐ MŰHOLDSEREG – AZ IRIDIUM RENDSZER



# EGY KORÁT MEGELŐZŐ MŰHOLDSEREG – AZ IRIDIUM RENDSZER

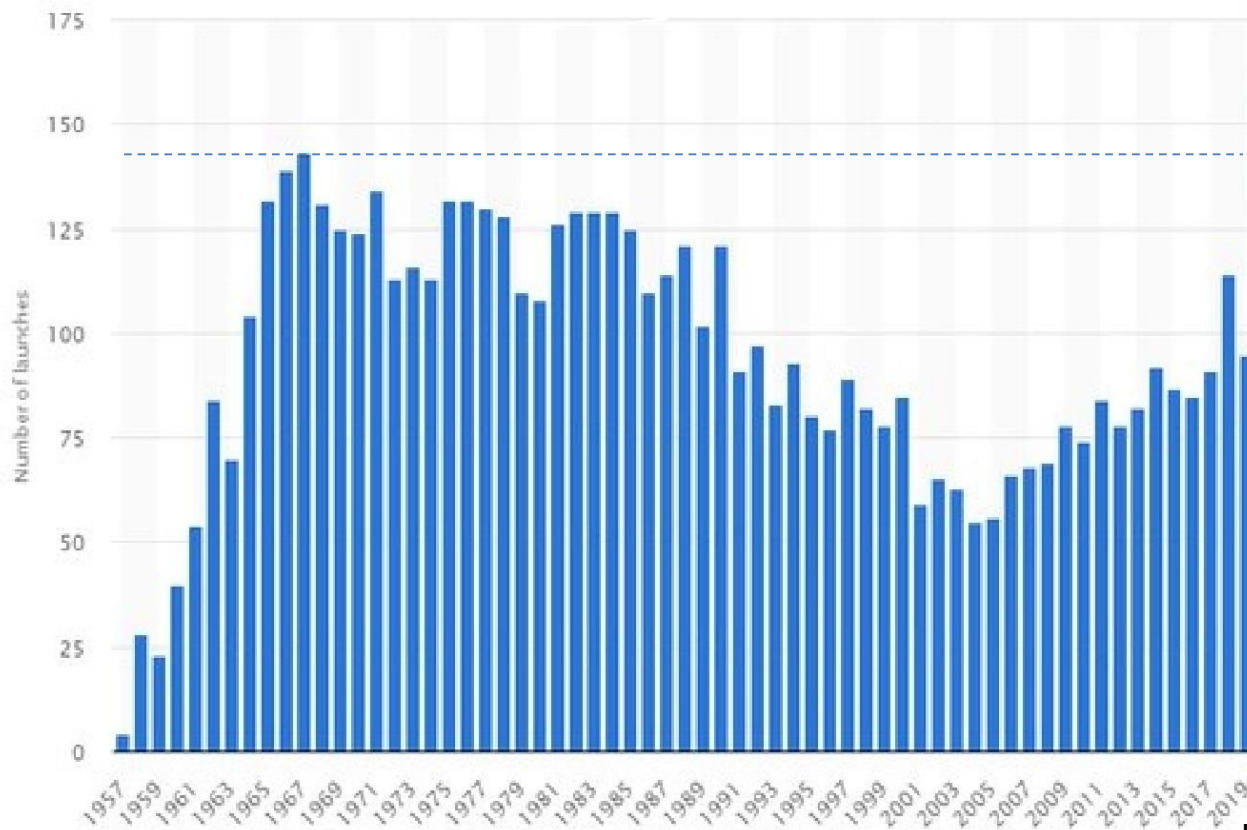


- 4800 bit/s-os full duplex telefonkapcsolat, 2400 bit/s-os half-duplex adatátvitel
- Műholdanként 7 processzor, 48 nyaláb 3x16-os szegmentálásban, L-sáv 1618,85 – 1626,5 MHz műhold-terminál kommunikáció
- InterSatellite Link (ISL): 4 db link, K-sáv, 22,55 – 23.55 GHz-es sáv, 25 Mbit/s
- Műszaki bravúr, üzleti bukás...



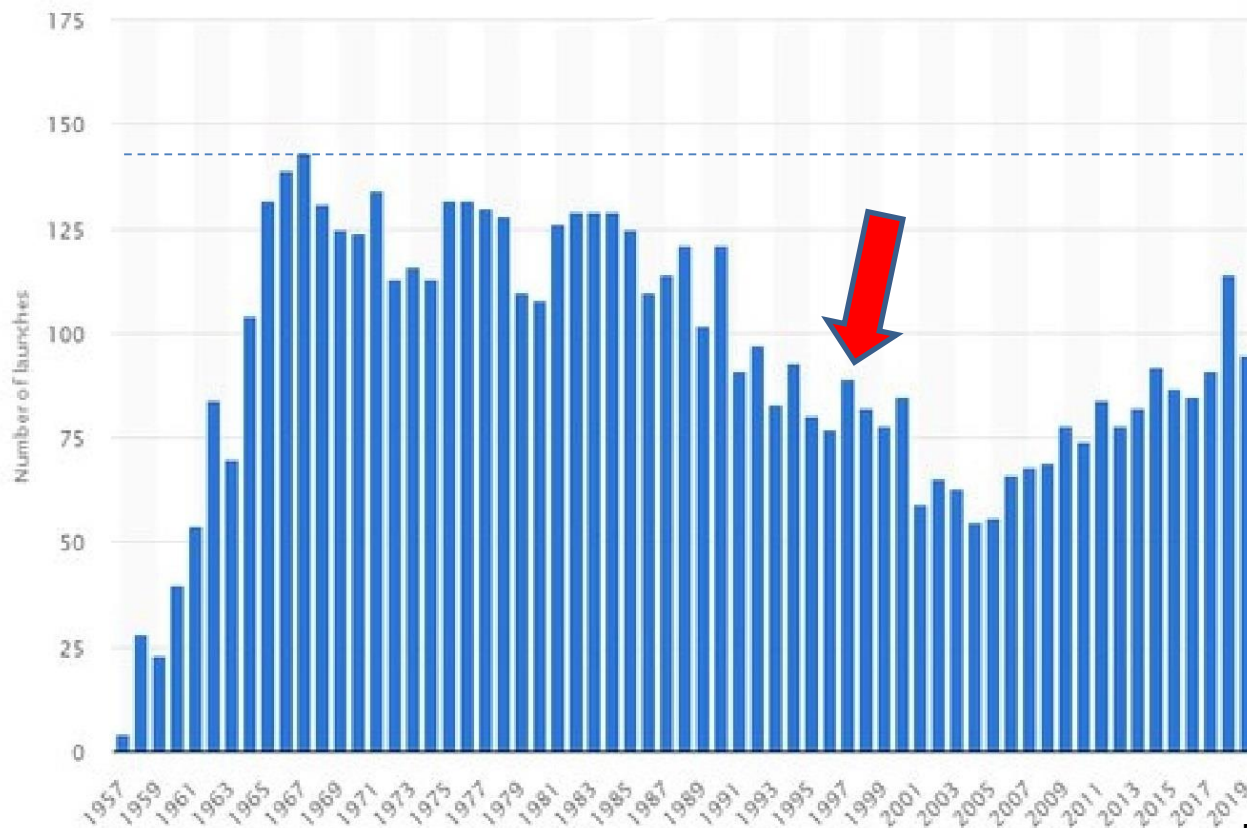
Mi változott a huszonöt év alatt?

# Műhold-felbocsátások száma 1957-2019



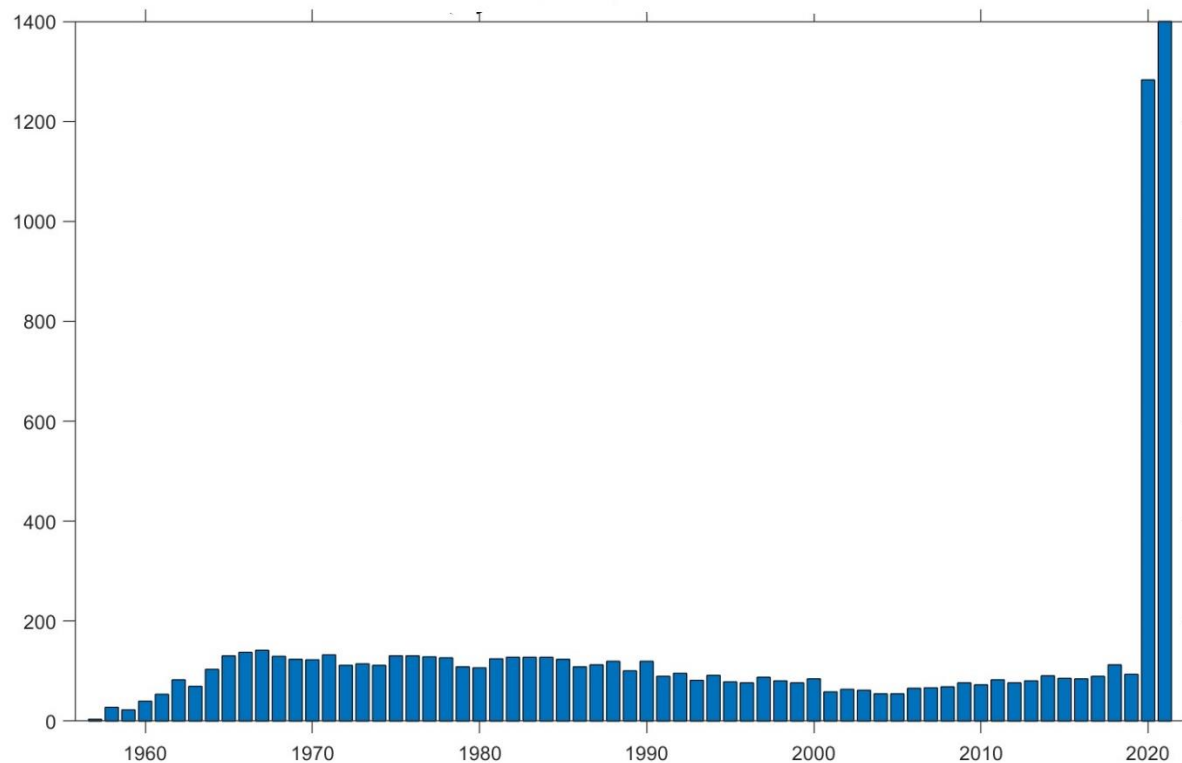
Forrás: Statista, 2020

# Műhold-felbocsátások száma 1957-2019

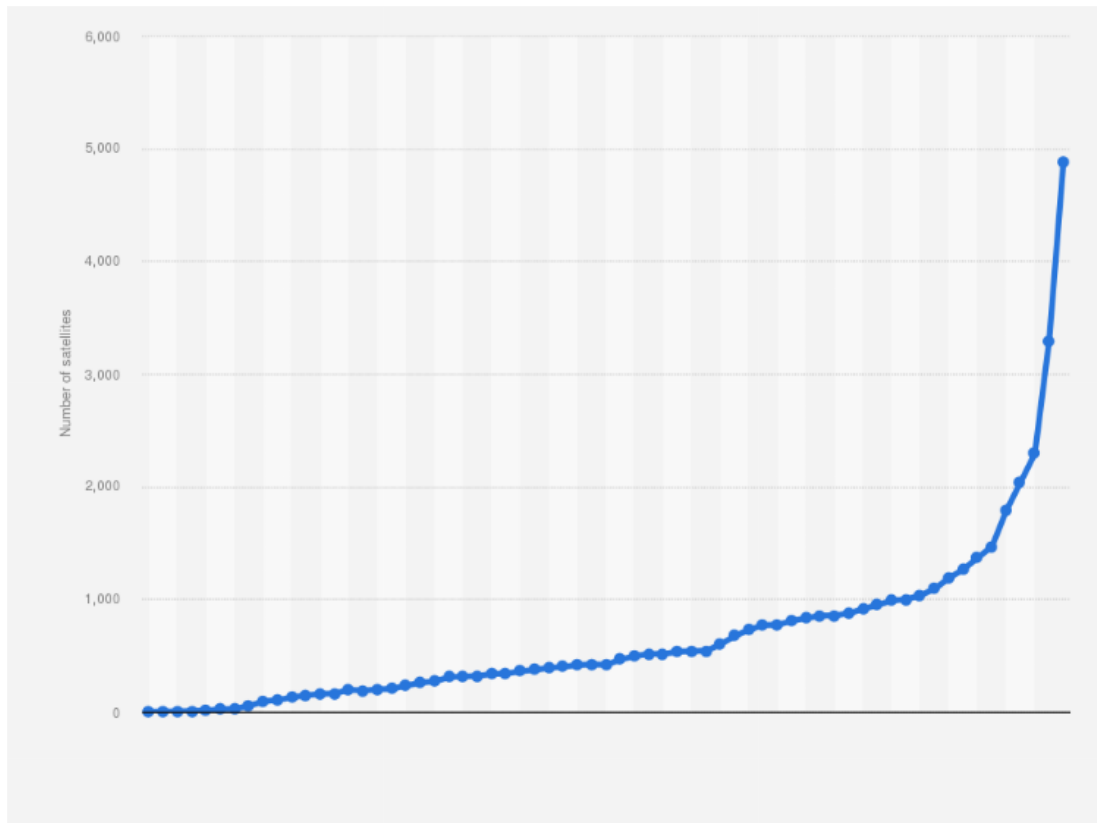


Forrás: Statista, 2020

# Műhold-felbocsátások száma 1957-2021



## Aktív műholdak száma 1957-2021



Forrás: Statista, 2022

LEO vagy GEO, ez itt a kérdés

- Előnyök:
- 350-2000 km kontra 35 786 km (kisebb késleltetés, kisebb teljesítmény, antennaméret, akkumulátor)
- A GEO pályán véges számú műhold fér el (korlátos erőforrás!)
- Teljes lefedettség, valóban bárhol használható
- Nagyobb összkapacitás, hatékony spektrumhasználat
- Könnyebb megsemmisíthetőség

## Hátrányok

- Nagyszámú műholdat igényel
- Rövidebb műhold-élettartam (~ 5 év)
- Összetettebb működés
- Folyamatos handover a nagy pályasebesség miatt

# Műholdszeregek a jelenben



Kiépítés alatt lévő műholdseregek:

- A SpaceX Starlink rendszere – több tízezer műhold (500-600 km)  
Erről lesz szó részletesebben
  - Tulajdonos: Elon Musk
- A OneWeb rendszer – 648 műhold 1200 km magasságban, ebből már 582 pályán van, 2023 Q3: szolgáltatás indítása
  - Jelenlegi tulajdonosok: Bharti Enterprises, a Eutelsat, az Egyesült Királyság kormányzata, a Softbank, a Hanhwa és a Hughes Network Systems
  - Fúzió az Eutelsattal, ennek befejezése után a OneWeb az Eutelsat leányvállalata lesz
  - Ezzel az Eutelsat multiorbitális céggé válik, lépés a földi-műholdas rendszerek integrációja felé

## Tervek:

- Kuiper-projekt – 3236 műhold 590-610-630 km magasságban, a legújabb tervek szerint 2023-tól indul a kiépítés
  - Tulajdonos: Jeff Bezos ( Amazon)
- Telesat – most éppen 188 műhold a terv 6 orbitális síkon 1000 km magasságban
  - Kanadai műholdas kommunikációs vállalat 1969 óta
  - Többségi tulajdonos: Loral Space
- Boeing – most éppen 147 műholdas terv, 135 műhold 1056 km-en, 15 pedig 28 ezer és 41ezer km között
  - 1916-ban alapított cég
  - Boeing Defence, Space and Security ágazat

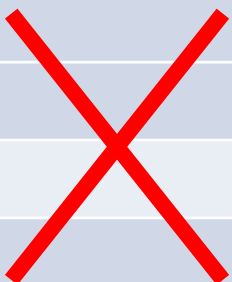
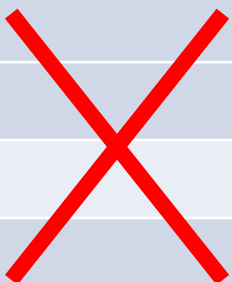
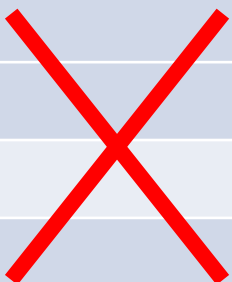
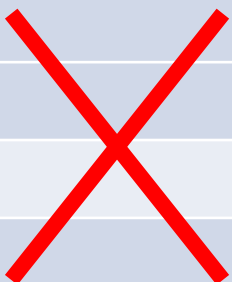
# A Starlink konstelláció

Célja a szélessávú internet hozzáférés a Föld teljes területén

A kezdeti tervek:

- A projekt bejelentése: 2015
- Fejlesztés 60 mérnökkel (Redmont, Washington állam)
- Az első bejelentés az FCC felé: 2017. május
  - 7518 műhold 340 km-en (Very Low Earth Orbit), 4425 műhold 1200 km-en
- A bejelentett konstelláció azóta többször is változott – részint a tesztek és a béta szolgáltatás tapasztalatai alapján

A jelenlegi terv:

Fázis	Csoport	Magasság	Műhold (darab)	Inklináció	Pálya (darab)	Műhold /pálya
1. fázis	1. csoport	550 km	1584	53,0°	72	22
	2. csoport	570 km	720	70°	36	20
	3. csoport	560 km	348	97,6°	6	58
	4. csoport	540 km	1584	53,2°	72	22
2. fázis		560 km	172	97,6°	4	43
		335,9 km	2493	42°		
		340,8 km	2478	48°		
		345,6 km	2547	53°		

4236 db

felfüggesztve

Helyette a GEN2 műholdcsoport:

Fázis	Csoport	Magasság	Műhold (darab)	Inklináció	Pálya (darab)	Műhold /pálya
GEN2	5. csoport	530 km	3360	43°	28	120
	6. csoport	525 km	3360	53°	28	120
	7. csoport	535 km	3360	33°	28	120

} 10080 db

Ebből a 10080 műholdból engedélyezett 7500-at 2022 végén az FCC engedélyezett, a többiről még nincs hír...

## Gyakorlati kiépítés:

- Az első két tesztműhold (Tintin A, Tintin B): 2018. február 22.
- Az első 60 műhold: 2019. május 24. A műholdak v0.9-esek, ezeket már deorbitáltak.
- Az első 60 v1.0-s műhold: 2019. november 11.
- 2020-ban: 14 felbocsátás
- 2021-ben: 17 felbocsátás
- 2022-ben: 34 felbocsátás
- 2023. március 21-ig: 9 felbocsátás
- Összes felbocsátott műhold: 4105 (ebből 341 már GEN2 sorozat)
- Már szolgáltatásban vesz részt: 3197 műhold

A műholdak paraméterei:

- Hall-effektuson alapuló kripton-gáz ionhajtómű
- $K_u$  és  $K_a$  sáv használata

v1.0 sorozat: 260 kg

v1.5 sorozat: 295 kg

- InterSatellite Link (ISL) beépítve (optikai kapcsolat, nem RF)

V2 Mini (ideiglenesen, amíg a Starship elkészül)

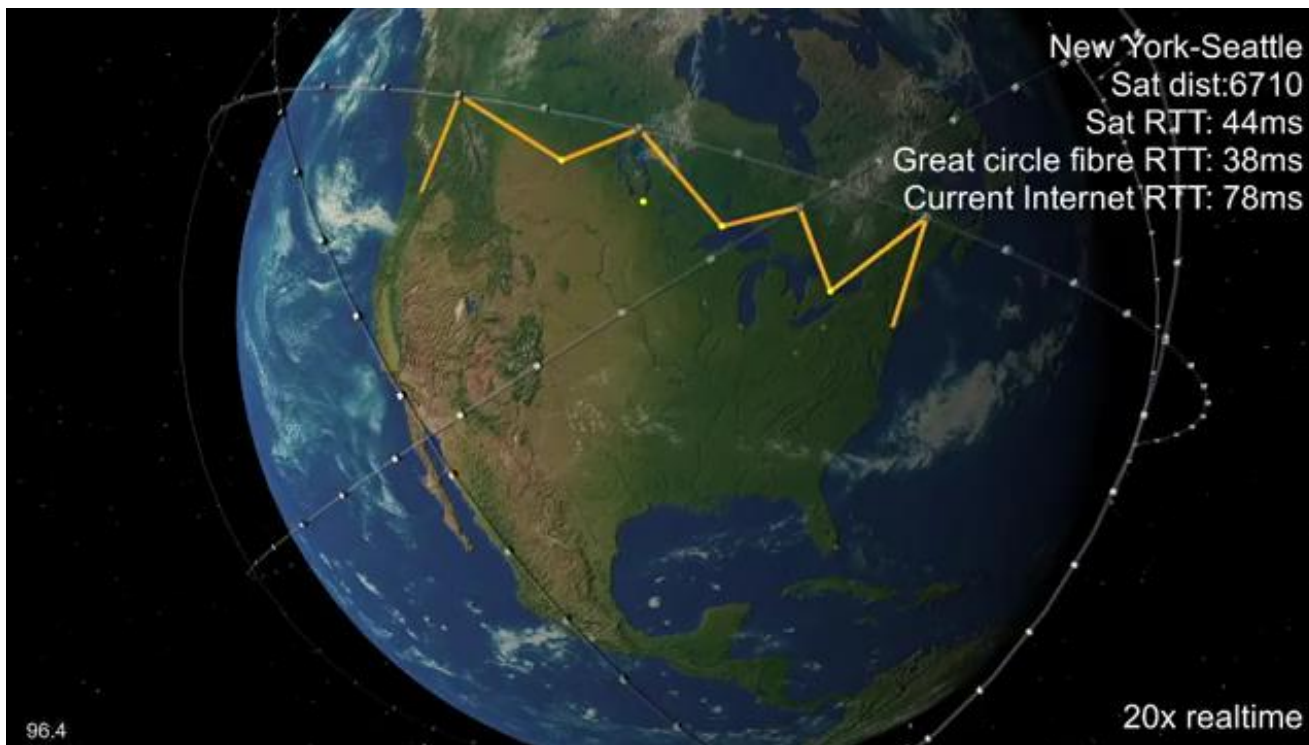
- Hall-effektuson alapuló argon-gáz ionhajtómű
- Négyeszer nagyobb sáv szélesség, két napelem panel
- Már a kibocsátó rúd sem marad az űrben

V2.0 sorozat (tervezett, a Starship után): 1250 kg

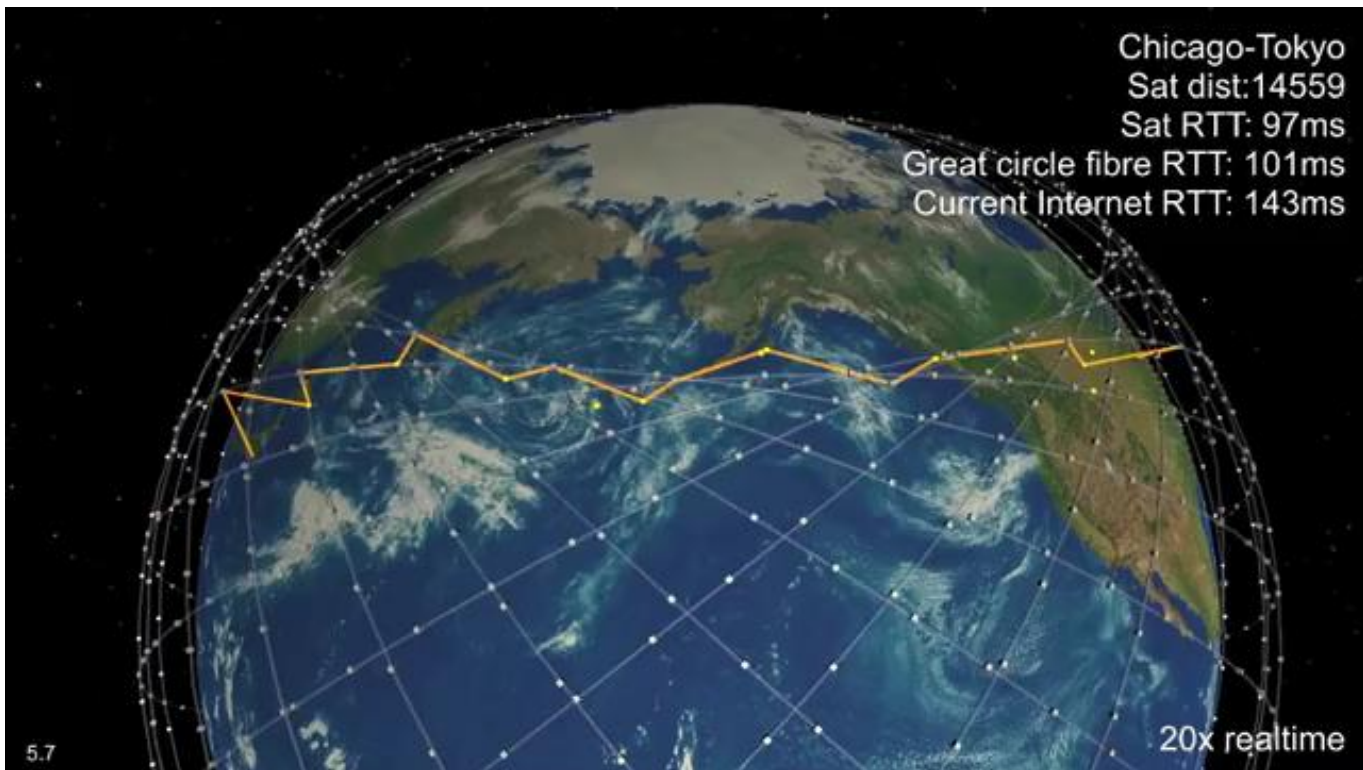
- InterSatellite Link beépítve (optikai kapcsolat, nem RF)
- 2016 db 25 m<sup>2</sup>-es antennával – T-Mobile US igény 5G készülékhez
- V-sáv és E-sáv használata



# STARLINK NAGYTÁVOLSÁGÚ ÖSSZEKÖTTETÉS



# STARLINK NAGYTÁVOLSÁGÚ ÖSSZEKÖTTETÉS



A jelenleg használt spektrumtartományok:

$K_u$  sáv,  $K_a$  sáv, V-sáv

- Műhold-végberendezés: 10,7-12,75 GHz, 37,5-42,5 GHz
- Végberendezés-műhold: 14,0-14,5 GHz, 47,2-50,2 GHz, 50,4-51,4 GHz
  
- Műhold-földi állomás: 17,8-18,6 GHz, 18,8-19,3 GHz, 37,5-42,5 GHz
- Földi állomás-műhold: 27,5-29,1 GHz, 29,5-30 GHz, 47,2-50,2 GHz, 50,4-51,4 GHz
  
- Követés, telemetria, vezérlés: DL: 18,55-18,6 GHz, 37,5-37,75 GHz  
UL: 13,85-14,0 GHz, 47,2-47,45 GHz

A szolgáltatás megindult, először béta-tesztként, de 2021 óta szolgáltatásként.

- 2022. június: ~ 500 ezer előfizető
- 2022. december: >1 millió előfizető
- 50 országban rendelkezik szolgáltatási engedéllyel, ott működhetnek Starlink végberendezések ...

De innentől legyen a szó a következő előadóé a gyakorlati tesztekéről !



NMHH

Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság

Köszönöm a figyelmet!