BÚCSÚ A MOBILTORNYOKTÓL!

KIVÁLTHATJA-E A MŰHOLDAS TECHNOLÓGIA (D2D) A HAGYOMÁNYOS FÖLDFELSZÍNI MOBIL HÁLÓZATOKAT 2040-IG?

KISS TAMÁS



AMARA -TÖRVÉNY

Hajlamosak vagyunk túlbecsülni egy új technológia rövid távú hatását, és alábecsülni a hosszú távú következményeit



Roy Charles Amara

1925-2007

Amerikai jövőkutató

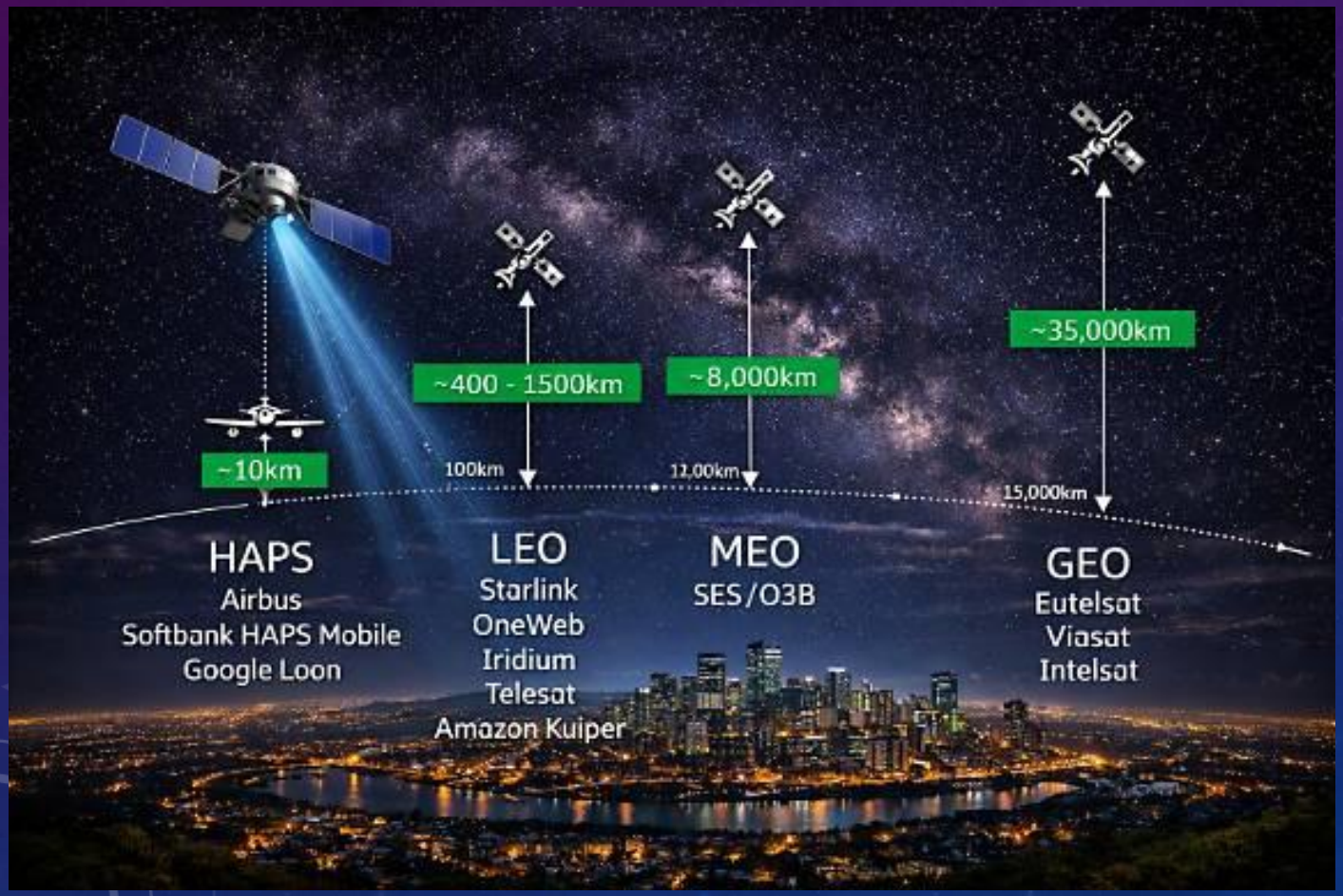
DIRECT TO DEVICE (D2D) VAGY DIRECT TO CELL (D2C)

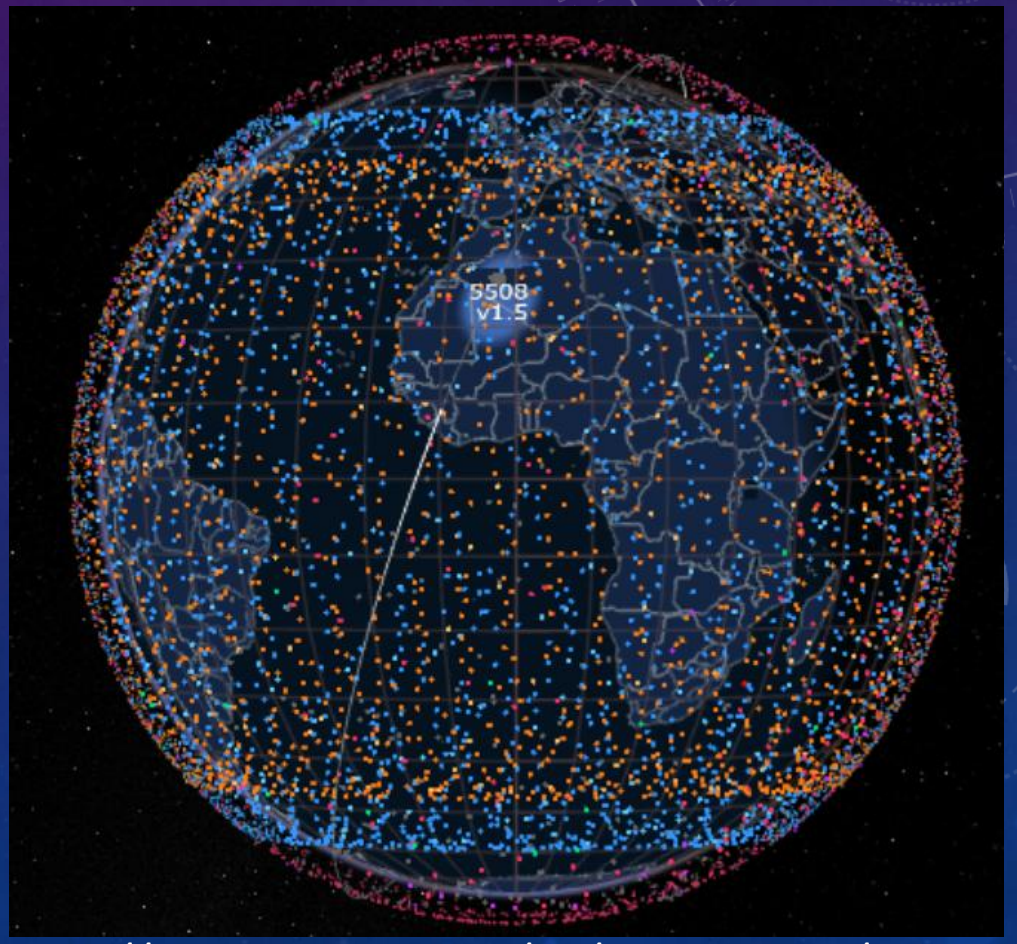
A MŰHOLD KÖZVETLENÜL KOMMUNIKÁL A MOBILLAL



A NEM FÖLDFELSZÍNI MOBIL RENDSZEREK ÁTTEKINTÉSE

A VIZSGÁLT D2D RENDSZEREK JELLEMZŐEN LEO-KONSTELLÁCIÓKRA ÉPÜLNEK





https://satellitemap.space/vis/constellation/starlink

MIÉRT AKARJUK A MOBILHÁLÓZATOT AZ ŰRBE VINNI?

MI A CÉL: A FÖLDFELSZÍNI HÁLÓZATOK KIEGÉSZÍTÉSE, RÉSZLEGES KIVÁLTÁSA, VAGY TELJES KIVÁLTÁSA?

Globális földrajzi lefedettség: Olyan területek elérése, ahol a földi hálózat kiépítése vagy fenntartása gazdaságtalan.

- A világ lakosságának 4%-a él mobil szélessávú lefedettségen kívül (ez az a réteg, ahol a D2D ténylegesen megoldást jelenthet a fehér foltokra).
- Ezzel szemben 37%-a él lefedettségen belül, de nem használ mobilinternet szolgáltatást (gyakran gazdasági okokból vagy mert nincs rá szüksége).

Globális mobilitás

- Zökkenőmentes összeköttetés a transznacionális közlekedési folyosókon (pl. távolsági fuvarozás, tengeri hajózás és légi útvonalak lakatlan zónái).
- A felhasználó számára észrevétlen átváltás a földi bázisállomás és a műholdas hálózat között, extra előfizetés vagy bonyolult beállítások nélkül.

Egy hálózat mindenütt

Ugyanaz a készülék és ugyanaz az előfizetés működhet földfelszíni és műholdas hálózaton.

KEVESEBB MINT 10 ÉV MÚLVA A STARLINKÉ LEHET AZ INTERNET?

2024 “It (D2D) is not meaningfully competitive with existing terrestrial cellular networks.”

Elon Musk

2026 “Starlink will deliver a majority of the world’s internet … less than 10 years.”

Elon Musk

2026 “Starlink Mobile will be better than AT&T, T-Mobile and Verizon.”

Elon Musk

Ha Elon Musk szerint kevesebb mint 10 év múlva a Starlink szállíthatja a világ internetforgalmának többségét, akkor mi marad a fix és mobil hálózatoknak 2040-ben?



MIÉRT AKARJA ELON MUSK A TELCO PIACOT?

PÉNZ-PÉNZ-PÉNZ!

- A globális távközlési connectivity piac évente ~1 300 milliárd USD bevételt termel. Mobil, vezetékes broadband és hangszolgáltatások együtt.
- Ehhez képest a Starlink 2025-ös árbevétele ~11,4 milliárd USD (A SpaceX teljes bevételének mintegy 60%-a.)
- De Elon Musk 2030-ra már 1 000 milliárd USD feletti éves SpaceX-bevételt tart elképzelhetőnek. (*SpaceX összesen, nem Starlink*)
- **Ha a Föld legnagyobb új űrvállalata a távközlésben akar növekedni, vajon kinek a piacából fog részesedést szerezni?**

MENTIMETER

- **Mit gondol, 2040-re a műholdas technológia (D2D) milyen mértékben tudja kiváltani a földfelszíni mobilhálózatokat**

- **Válaszlehetőségek:**
  1. Teljes mértékben kiváltja, elfelejtjük a mobiltornyokat.
  2. Egyáltalán nem tudja kiváltani.
  3. Csak részlegesen váltja ki, a D2D és a földfelszíni mobil hálózatok kiegészítik egymást egy hibrid rendszerben.
  4. Fogalmam sincs, de Elon Musk majd megmondja.

BELTÉRI LEFEDETTSÉG

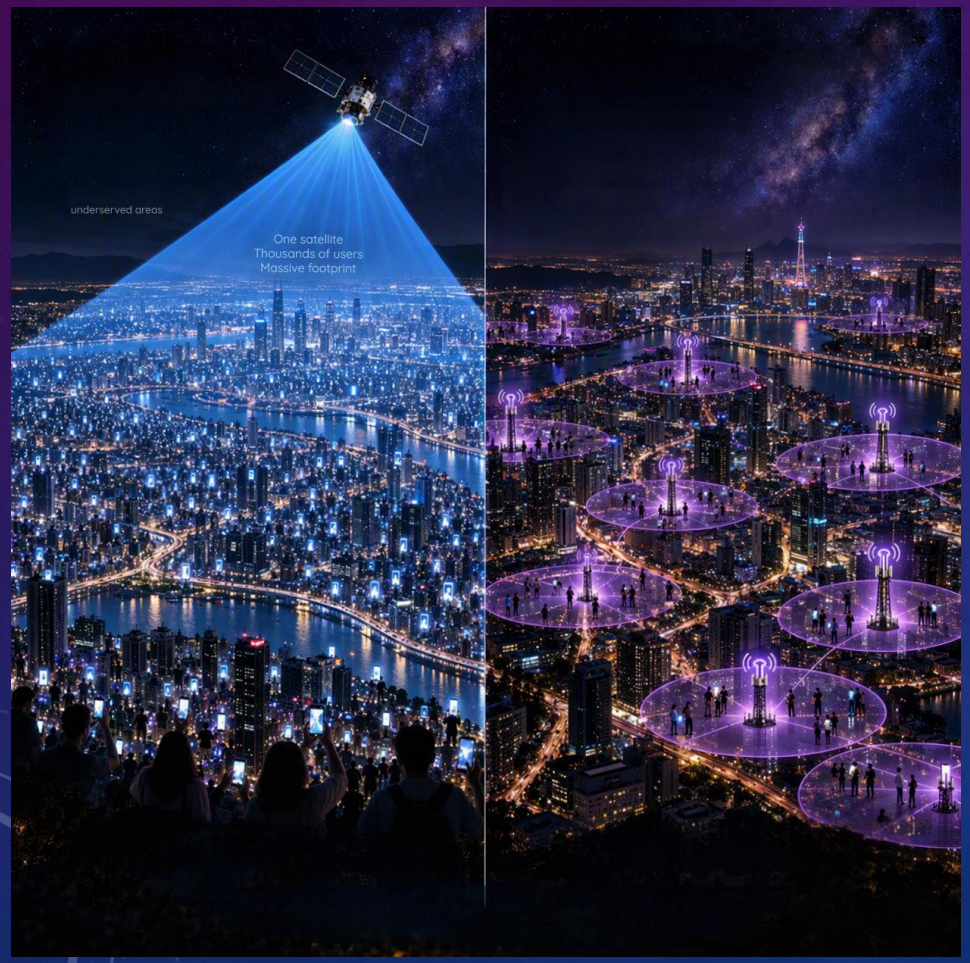
MOBIL KÉSZÜLÉK „MEGHALLJA” A MŰHOLDAT? A MŰHOLD „MEGHALLJA” A MOBIL KÉSZÜLÉKET?



- A forgalom 70%-a beltérből ered ezért a megbízható beltéri lefedettség kritikus.
- Nem elég a műhold jelét venni – a készüléknek is el kell érnie a műholdat. A készülék teljesítménye csak 200mW!
- A műhold 350–600 km-re van a közvetlenül alatta lévő készüléktől, alacsonyabb elevációnál (20°) pedig akár 700–1400 km-re is lehet.
- Épület csillapítás: a tető, a falak, a vasbeton és a hővédő üvegezés jelentősen gyengíti az elekromágneses hullámokat
- **A nagy távolság, az épületen belüli csillapítás, a telefon kis teljesítménye és a változó műhold–készülék geometria együttesen veszélyezteti a stabil kapcsolatot.**

KAPACITÁS

A MŰHOLD NAGYBAN GONDOLKODIK, A FÖLDFELSZÍNI HÁLÓZAT HELYBEN OPTIMALIZÁL

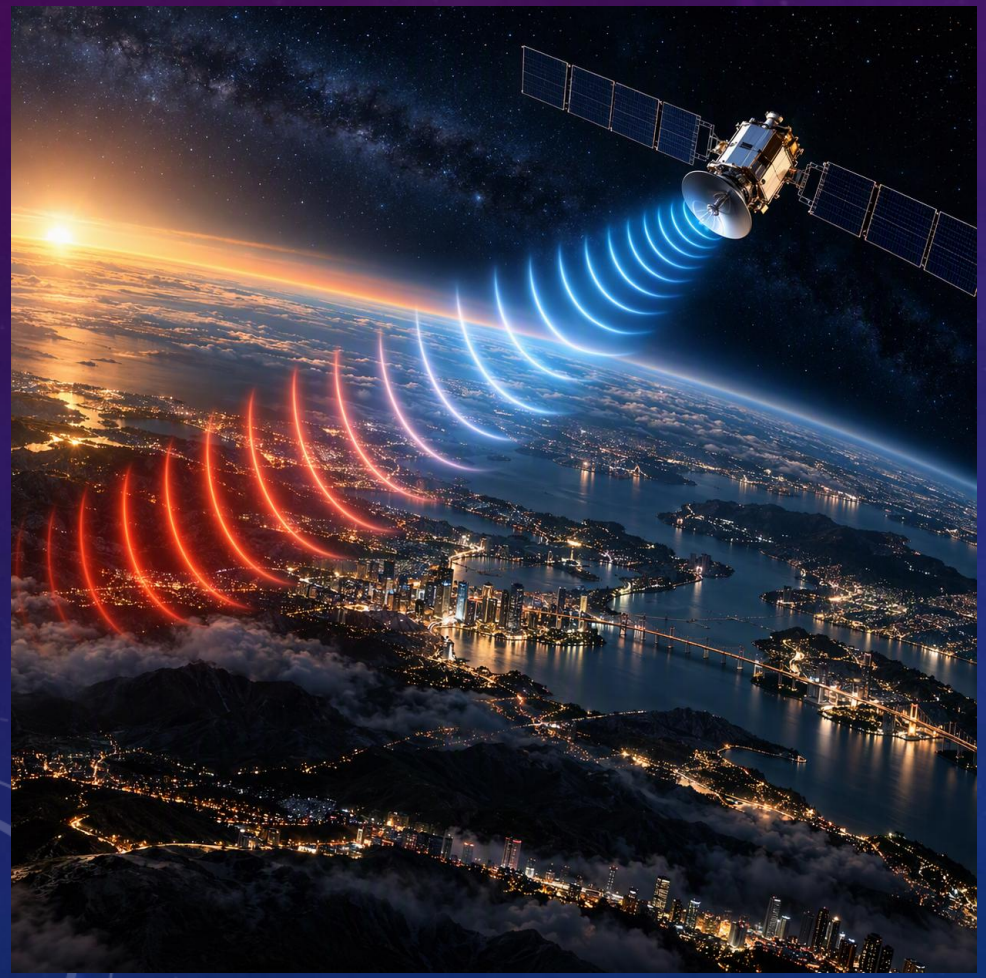


- A városi mobilcellák átmérője akár néhány száz méter, vidéken jellemzően 10 km; egy műholdas antenna nyalábé akár 25-50 km vagy több.
- Egy 50 km átmérőjű nyaláb mintegy 2000 km²-t fed le – ez több száz városi cella területének felelhet meg.
- A műhold antennanyaláb teljes kapacitását a teljes lefedett terület forgalma veszi igénybe.
- A földfelszíni hálózat kis cellákkal oda koncentrálhatja a kapacitást, ahol sok felhasználó van; a műholdas nyaláb nagy területet szolgál ki egyszerre.

- **Egy műholdas nyaláb akár több ezer km²-t fed le – de a szükséges forgalomsűrűség kiszolgálásához nem elég a nagy lefedettség, nagy kapacitássűrűség is kell.**

7,5KM/SEC. SEBESSÉGGEL SZÁGULDÓ BÁZISÁLLOMÁS

DOPPLER HATÁS ÉS KÉSLELTETÉS



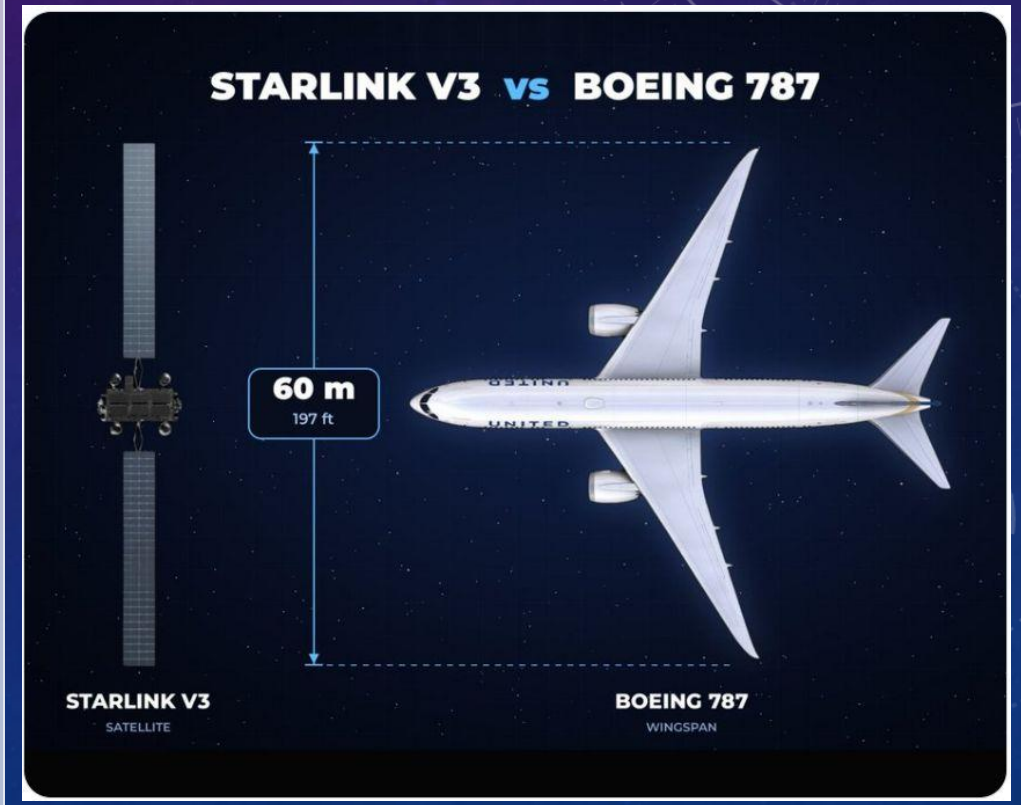
- A LEO-műhold mozgása jelentős Doppler-eltolódást okoz, amelyet kompenzálni kell. (kb. +/-50kHz)
- A műhold távolságának változásával a rádiójel terjedési késleltetése is folyamatosan változik. A teljes hálózati késleltetés az architektúrától és a földi hálózati útvonaltól is függ.
- A frekvenciaeltolódás, az időzítés és a szinkronizáció kezelése összetettebbé válik.
- A műholdak és az antennanyalábok folyamatos mozgása miatt a kapcsolatot át kell adni a következő műholdnak vagy antennanyalábnak, vagy hibrid hálózat esetén a földfelszini hálózatnak.

- **A műholdas kapcsolat nemcsak nagyobb távolságú, hanem folyamatosan változó rádiós kapcsolat is.**

NAGYOBB ANTENNA A JOBB BELTÉRI LEFEDETTSÉGÉRT ÉS A NAGYOBB KAPACITÁS SŰRŰSÉGÉRT.

DE ENNEK KOMOLY ÁRA VAN

- **Indítás:** a hordozórakéta rakományterének méretkorlátai
- **Konstrukció:** összetett kihajtogató mechanika és szerkezeti stabilitás
- **Tömeg:** nagyobb szerkezeti tömeg és magasabb indítási költség
- **Termikus stabilitás:** a jelentős hőmérséklet-ingadozást deformálhatja az antennát
- **Pályatartás:** nagyobb légköri ellenállás, gyakoribb pályakorrekció
- **Energia:** nagyobb energiaigény és hőelvezetési kihívások
- **Rádiós rendszer:** összetettebb nyalábformálás és interferenciakezelés
- **A jövőben talán már nem az lesz a kérdés, mekkora antennát tudunk felvinni a világűrbe, hanem az, hogy mekkorát tudunk ott megépíteni – vagy akár több műhold együttműködésével létrehozni?**



A DOPPLER HATÁS ÉS A KÉSLELTETÉS KEZELÉSE

ÚJ KÉPESSÉGEK A MŰHOLD ÉS A KÉSZÜLÉK OLDALÁN

Műhold oldal:

- **Doppler-előkompenzáció és -kompenzáció (Pre-Rel.17):** a hálózat végzi a frekvenciaeltolódás korrekcióját
- **Pályaadatok meghatározása (Rel.17):** a műhold pozíciójának és sebességének meghatározása, az ephemerisadatok továbbítása a készülékek felé.
- **Uplink szinkronizáció:** a készüléktől érkező jelek időzítési és frekvenciahibáinak becslése, a fennmaradó eltérések kezelése.
- **Kapcsolatfolytonosság:** a rádiós kapcsolat fenntartása, a mobilitáskezelés és a következő műholdra történő átadás támogatása.
- **Fedélzeti jelfeldolgozás (regeneratív payload):** gNB-funkciók, illetve akár Edge alkalmazásszerverek telepítése a műholdra, a földi infrastruktúrától való függés és bizonyos hálózati késleltetések csökkentése érdekében.

Készülék oldal (Rel. 17-től)

- **GNSS-helymeghatározás:** a készüléknek ismernie kell a saját földrajzi pozícióját a műholdas kapcsolat létrehozásához.
- **Műholdpálya-adatok feldolgozása:** fogadnia és felhasználnia kell a hálózat által sugárzott efemeriszadatokat (műholdpozíció és -sebesség).
- **Doppler-kompenzáció:** a készülék a vételi oldalon követi és kompenzálja a downlink frekvenciaeltolódását, az uplink adásnál pedig előre kompenzálja a műhold mozgásából eredő Doppler-eltolódást
- **Folyamatos frekvencia- és időzítési korrekció:** a műhold mozgásának megfelelően folyamatosan frissítenie kell a frekvenciakorrekciót, és figyelembe kell vennie a változó terjedési időt az adás megfelelő időzítéséhez.

SPEKTRUM: A D2D KAPACITÁSÁNAK LEGNAGYOBB KORLÁTJA

HOGYAN JUTHAT FREKVENCIÁHOZ A MŰHOLDAS SZOLGÁLTATÓ?

Dedikált MSS spektrum

- **Korlátozott sávszélesség:** Jelenleg az EU-ban 2×30 MHz-es harmonizált MSS-sáv áll rendelkezésre 2 GHz-es sávban.
- **Közvetlen hozzáférés:** Saját jogosultság alapján működtethető műholdas infrastruktúra.
- **EU 2027+ Újraosztás:** Bizottsági javaslat a sávot 3×(2×10 MHz) blokkra bontja (kormányzati, új belépő és nyílt sáv).

MNO együttműködés

- **MNO-együttműködés és spektrumhozzáférés:** Megállapodás a földi mobilszolgáltatóval a meglévő IMT frekvenciák használatára.
- **Közvetlen elérés:** A meglévő lakossági okostelefon-bázis elérése hardvermódosítás nélkül.
- **Korlátozott és feltételes használat:** Az interferenciavédelmi követelmények, a földi hálózatok saját kapacitásigénye és a nemzeti szabályozás korlátozza a használatot

WRC-27 KILÁTÁSOK

Bővülő kapacitás és új szabályozás: Az AI 1.14: új MSS-kijelölések vizsgálata (az 1. régióban 15 MHz UL és 50 MHz DL) Az **AI1.13: l**ehetséges új MSS-frekvenciakijelölések vizsgálata a 694/698 MHz–2,7 GHz tartományban, közvetlen műhold–IMT-végberendezés kapcsolat céljára

MNO ÉS MŰHOLDAS (D2D) PARTNERSÉGEK

USA

- **T-Mobile + SpaceX:** 1.9 GHz (PCS G-block), 2×5 MHz sávszélességen (LTE Direct-to-Cell).
- **AT&T / Verizon + AST:** Low/Mid-band földi sávok (850 MHz, 700 MHz, PCS) rugalmas sávszélességgel

Európa

- **4iG + SpaceX:** Első generációs Starlink Mobile bevezetése; a későbbi V2 rendszer a SpaceX globális 2 GHz-es spektrumjogaira épül. A 2027 utáni európai MSS-spektrumhasználat és az ITU-koordináció feltételei még bizonytalanok.
- **Vodafone & Orange + AST:** Együttműködés a D2D-szolgáltatások európai bevezetésére; MNO-frekvenciák tesztelése és az AST 2 GHz-es MSS-spektrumjogainak (ITU-prioritás) hasznosítása.”

Európai telkó konzorcium

- **Négyes Szövetség:** DT, Vodafone, Orange és Telefónica közös szándéknyilatkozata.
- **Célzott spektrum:** Közös pályázat lehetőségének vizsgálata az EU jövőbeni MSS-spektrumára; cél az európai MNO-k számára nyitott D2D-szolgáltatási modell.

A FÖLDI ÉS MŰHOLDAS MOBILHÁLÓZATOK KONVERGENCIÁJA

2040-BEN AZ LESZ A KÉRDÉS, HOGY MELY TERÜLETEKEN ÉRDEMESEBB A MOBILHÁLÓZATOT A VILÁGŰRBŐL KISZOLGÁLNI

Integrált, hibrid mobilhálózatok

- Egységes szolgáltatás földi és műholdas hozzáféréssel.
- Automatikus, a felhasználó számára észrevétlen váltás a hálózati rétegek között.
- A ritkán lakott, kis forgalmú területeken a műholdas hozzáférés gazdaságosabb lehet a földi infrastruktúránál.
- A földi bázisállomások egy részének kiváltása gazdaságilag indokolt esetekben.

A földi mobilhálózatok teljes kiváltása nem reális

- A nagy forgalmú városi és elővárosi területeken továbbra is szükség lesz sűrű földi hálózatokra.
- A műholdas hálózatok kapacitássűrűsége várhatóan nem éri el a földi hálózatokét, bár a WRC-27 utáni sávok enyhíthetnek a kapacitás szűkösségén.
- A földi és műholdas hozzáférés nem minden helyzetben lesz egyenértékű, különösen beltéri lefedettség és kapacitás tekintetében.


KÖSZÖNÖM A FIGYELMET