



1. ábra. [44]

Dr. Gulyás Attila PhD\*

# Az 5. generációs telekommunikációs hálózatok fejlesztési irányai

I. rész

## BEVEZETÉS

A vezetékes és a vezeték nélküli infokommunikációs hálózatok dinamikus fejlődése töretlenül folytatódik a 21. század második dekádjában is. Bár a leginkább elterjedt, a 4. generációs földfelszíni hálózatok nyújtotta szolgáltatások sem érhetőek el még mindannyiunk számára, máris használhatjuk az 5. generációs hálózatokat (5GN<sup>1</sup>), azok aktív elemeiként műholdas platformokat (pl. teszt jelleggel V-SAT eszközök), kézi rádiótelefonokat, okoseszközöket, amelyek – egyelőre – elsősorban a nagyvárosok földfelszíni mobilkommunikációs szolgáltatási palettáját színesítik. Ugyanakkor nyilvánvaló, hogy a közeli jövőben (5–8 éves ciklusban) az 5GN átfogja a mobilkommunikáció minden szegmensét, az erősen urbanizált lakókörnyezetekből kiindulva – ahol a többfázisú antennarendszerek és bázisállomások, digitális kapcsolóközpontok telepítése hatékonyab-

ban megvalósítható – a gyéribben, vagy időszakosan lakott területek felé terjeszkedve [1]. Élelmes vállalkozások máris felismerték az egyre növekvő telekommunikációs igényt, azonosították a kialakuló rést a szolgáltatási palettán, azaz az 5GN alkalmazásának igényét a gyéribben lakott kisvárosi, a falusi vagy a szinte néptelen sivatagi és tengeri területeken, a civilizált világtól távoli és néptelenebb terepszakaszokra történő kiterjesztését, a szolgáltatási szint folyamatos emelésével (QoS)<sup>2</sup>.

A vezetékes és a vezeték nélküli infokommunikációs hálózatok evolúciójával számos kutatótársam foglalkozott és foglalkozik [2][3][4][5][6][7][8][9][10]. Értékes, nagy szakmai alaposággal kidolgozott tudományos közlemények, disszertációk, elemzések készülnek a modern távközlési hálózatok és az azokat alkotó elemek részletes leírásáról, a hardver- és a szoftverösszetevők műszaki alkalmazásáról [11][12][13][14]. Ugyanakkor viszonylag új szakmai terület annak vizsgálata,

**ÖSSZEFOGLALÁS:** Az 5. generációs vezetékes és vezeték nélküli hálózatok fejlesztésének kezdeti időszakában indokolt megvizsgálni az IMT-2020 ajánlásaiban megfogalmazott hálózati paraméterek elérését lehetővé tévő műszaki eljárásokat arra az esetre is előkészítve, amikor a műholdas szegmensből érkező jelsorozat feldolgozása is feladatként jelentkezik. E tudományos közleményben az 5. generációs hálózatok úrszegmensre történő kiterjesztésének egyes követelményeit vizsgálom.

**ABSTRACT:** In the advent of the 5<sup>th</sup> generation wire and wireless networks' development, it is advisable to elaborate the technical procedures available for the better understanding the network parameters designed in the IMT-2020 recommendations as well as considering the need of those in processing the signal sequence from the space segment. In this scientific essay, I will identify specific requirements for the extension of 5<sup>th</sup> generation telecommunications networks to the space segment.

**KULCSSZAVAK:** IMT-2020, 5GN, 5G NTN, műholdas szegmens

**KEY WORDS:** IMT-2020, 5GN, 5G NTN, satellite segment

\* Ezredes, Infokommunikációs főnök, NATO Közép-európai Hadosztály-parancsnokság, Székesfehérvár. ORCID: 0000-0001-5774-5757



1. táblázat. IMT-2020 hálózati paraméterek tervezése (A szerző szerkesztése a [23] alapján)

	Adat- átviteli sebesség (Gb/s)	Spektrum- hatékonyság	Mobilitás (km/s)	Késleltetés (ms)	Hálózati eszközök mennyisége (UE/km <sup>2</sup> )	Energia- felhasználás hatékonysága	Lefedettségi terület adatsűrűsége (Mb/s/m <sup>2</sup> )
IMT advanced (4G)	1	1	350	10	10 <sup>5</sup>	1	0,1
IMT-2020 (5G)	20	3	500	1	10 <sup>6</sup>	100	10

hogyan terjeszthető ki az 5GN a fentebb említett gyéren, vagy akár az egyáltalán nem lakott, esetileg látogatott területekre (óceánok, sivatagok, a Föld sarkvidéki területei stb.). Új vállalkozások, *startup*-ok alakulnak az 5GN kiterjesztése, a globális lefedettség igényének a kiszolgálására; a nem titkolt üzleti részesedés, a nagyobb profit elérése érdekében. Ezen erőfeszítéseket jól támogatja az infokommunikációs hálózatok egyik jelentős összetevője, az űrszegmens műholdas technológiáinak rakétaszzerűen felgyorsuló fejlődése, a rendelkezésre álló frekvenciák dinamikus alkalmazása, az átviteli csatornák jobb kihasználása, a digitális modulációs eljárások fejlődése azzal az igénnyel, hogy a Nemzetközi Távközlési Egyesület Infokommunikációs Szakcsoportjának (ITU-R<sup>3</sup>) hálózat-specifikáció-összefoglalóiban megfogalmazottak érvényre jussanak (IMT-A és IMT-2020<sup>4</sup>). [15][16].

Az 5GN-t a műholdtechnológiával ötvöző, azt az űrből (is) biztosító beruházásokban élenjárók az amerikai *startup*-ok, ahol tőkeerős polgári szerveződések máris átfogó tervekkel rendelkeznek a világűr ezen területen (is) történő meghódítására. A teljesség igénye nélkül, érdemes szót ejteni a *Lockheed Martin* (LM) által támogatott *Omnispace* *startup*-ról, amely az LM kiforrott műholdas technológiáját ötvözi a 3GPP<sup>5</sup> kompatibilis mobilhálózatok [17][18] nyújtotta szolgáltatásokkal, és a tervek szerint ebben az évben (2022) megkezdheti a szolgáltatásait. Említést érdemel a *OneWeb* *startup*, amely az *IntelSat* vállalattal szövetségben 650 darab új műhold beüzemelését tervezi [19]. A sajtóorgánumokból talán mindannyiunk által a legismertebb *Elon Musk Starlink* projektje. A multimilliárdos mérnök, vállalkozó 2024-ig 42 000 darab, 5. generációs, mobilkommunikációra képes műholdat készül Föld körüli pályára állítani, a közjót szolgálni és – nem titkoltan – a saját üzleti részesedését növelni, ugyanakkor ezen óriási műholdmennyiséggel kiváltva a csillagászok ellenérzéseit is [20]. Nem utolsó sorban, érdemes említést tennünk nemzetközi szervezetek erőfeszítéseiről is: az *Európai Űrügynökség* (European Space Agency – ESA) évek óta egyeztet műholdipari vállalkozásokkal – elsősorban az európai szegmensben – az 5GN műholdkiterjesztésének megvalósításáról [21]. Ezen rövid felvezetést követően, e tudományos közleményben – hangsúlyozottan a teljesség igénye nélkül – az 5GN műholdkiterjesztésének egyes szignifikáns kihívását kívánom bemutatni, az analóg és digitális jelterjedést, a jelvisszaverődés (Doppler) és ezek rendellenességeinek egyes kérdéseit helyezve a fókuszba.

## Az 5GN RÖVID ÁTTEKINTÉSE

Az 5. generációs hálózati követelmények részletezéséhez a legautentikusabb források az ITU-R hálózatspecifikáció összefoglalói, amelyeket a nemzetközi telekommunikációs fejlesztések irányának kijelölése érdekében fogalmaztak meg, kutatási-fejlesztési célokra létrehozott polgári vállalkozásokkal támogatva.

Az 5GN-nel szemben támasztott követelményeket vizsgálva kitűnik, hogy azok felülről nem korlátosak, azaz nem kerül

pontosan meghatározásra a maximálisan elérhető adatátviteli sebesség/sávszélesség viszonya, a jelkésleltetés időintervalluma. Ajánlások készültek a jelenlegi (GSM/GPRS/EDGE/UMTS/LTE-A/IEEE802.11 szabványcsalád<sup>6</sup>) műszaki paramétereinek többszörözésére. Ezen tényből egyenesen következik az alkalmazott műszaki megoldások széles tartományon belül megvalósítható, szabad kiválasztásának lehetősége. Az ajánlások, az LTE-A hálózati paraméterekre támaszkodva az adatátviteli sebesség növelését a gyakorlatban mérhető 10–50 Mb/sec-ről néhányszor 10 Gb/sec értékre, a jelkésleltetési időintervallumot 70–50 ms-ról 10–1 ms-re (vagy annál kisebbre) vizionálják. A hálózati végfelhasználói eszközök (UE<sup>7</sup>) számát az LTE-A hálózatokhoz képest – a felhasználói igények kielégítésére – százszorozni indokolt, azok akkumulátorkapacitásában, azaz az akkumulátorok üzemidő-hosszában legalább tízszeres javulást kell (javasolt) elérni [22]. E fenti fejlesztések megvalósulása esetén jelentősen felgyorsulnak a Tárgyak Internete<sup>8</sup> és a Gép-Gép<sup>9</sup> összekapcsolások, a szenzorhálózatok integrációi, az okoseszközök (okosházak, önzetető/autonóm munkagépek, gépjárművek és funkcionális robotok) adatszerői is. Az 1. táblázatban az IMT-2020 ajánlásoknak megfelelő 5GN rendszerparaméterek követhetők figyelemmel.

Ugyanakkor az IMT-2020 felhívja a figyelmet az *IEEE 802.11* [24] szabványcsalád, a *Bluetooth* és a *WiMAX*<sup>10</sup>, a *ZigBee* és a *LoRaWAN*<sup>11</sup> [25][26][27][28] hálózatok integrációjára a helyi (LAN<sup>12</sup>) és a szélesebb körben értelmezett (WAN<sup>13</sup>) hálózatok által nyújtott adatátviteli szolgáltatások kihasználása érdekében. Érdemes említést tenni az *IEEE 802.11 ax* szabványról (ismert még, mint hatodik generációs WiFi-szabvány – *WiFi6*), amely biztosítani képes az IMT-2020-ban meghatározott ajánlásoknak megfelelő adatátviteli sebességet, átviteli sávszélességet és jelkésleltetést, magasabb rendű amplitúdómodulációt (legalább 1024-szeres *QAM*<sup>14</sup>) és többszörözött frekvencia-újrafelhasználást alkalmazva [29].

Frekvencia-felhasználás és management szempontjából e megnövekedett hálózati igények határozottan indokolják a végesen rendelkezésre álló rádiófrekvenciás spektrum elosztásának növekedésével jelentősen fejlesztendő sávszélességet. Az ajánlás tartalmazza a többszöröződő UE-k azonos cellában történő megjelenését kielégítendő, speciális antennarendszerek telepítésének az igényét, fejlett modulációs eljárások kidolgozásával. A nagy sávszélesség-igény kielégítésére – többek között – többfázisú antennák (MU-MIMO<sup>15</sup>), analóg-digitális átalakítók (ADC<sup>16</sup>) és fázismodulációs eljárások alkalmazandók.

Belátható, hogy az IMT-2020 ajánlások alapján tervezett és Európa több nagyvárosában, így hazánk fővárosában és néhány nagyobb városában máris üzemelő 5G hálózatok e földi szegmensben integrálják a már meglévő vezeték- és vezeték nélküli hálózatok átviteli képességeit. Ugyanakkor a kiaknázható újabb frekvenciatartományok, a modulációs eljárások evolúciója, az ezeket hatékonyan támogatni képes hardver- és szoftverelemek kialakítása új, a régi és az újabb hálózatok integrációjából származtatható hibrid hálózatot fog eredményezni, amelynek a műholdas



szegmens is integráns része lesz. Más megközelítés alapján, logikailag a földfelszíni 5G hálózathoz illeszthető a műholdas szegmensből érkező analóg/digitális jelsorozatok feldolgozási igénye, amely a bolygónk felületétől történő távolság függvényben, a jeltovábbítás és a visszaverődés (földfelszíni és műholdas), a reflexiók sajátosságai miatt különleges figyelmet igényel. Ezen összetett hálózatoknak a fejlesztése jelentős tudományos befektetést kíván annak érdekében, hogy az ajánlásokban meghatározott műszaki paraméterek teljesülhessenek.

## ALAPFOGALMAK, DEFINÍCIÓK

Tekintsük át, melyek az 5GN és a műholdas szegmens korrelációjából álló összetett hálózatunk (5G NTN<sup>17</sup>) összetevő elemei annak érdekében, hogy az IMT-2020 ajánlásban megfogalmazott 5GN hármass követelményrendszere teljesíthetővé váljék. Ezek a következők: a vezeték nélküli rendszer jelátviteli sebességének és sávszélesség-növelésének (eMBB<sup>18</sup>) lehetővé tétele, M2M/IoT hálózatok kiemelt támogatása (mMTC<sup>19</sup>) és rövid jelkésletelési időablakok (uRLLC<sup>20</sup>) tervezése [30]. A témakör mélységében vizsgálódva, az elektromágneses (EM) spektrum hatékonyabb felhasználása tekintetében elsősorban a modulációs eljárás helyes megválasztása (jel/impulzus alakjának a megfelelő szűrőáramkörökkel történő körültekintő tervezése) szerez izgalmas kihívásokat a mérnökök számára azzal a számvetéssel, hogy az impulzusokat elválasztó, a frekvencia- és időtartományban is meghatározható sávok (elválasztó területek) csökkenthetik az EM-spektrum optimális felhasználását. Az LTE-A üzemeltetésének a tapasztalatai megmutatták, az EM-spektrum optimális felhasználását támogathatja a többfázisú antennák üze me, ugyanakkor figyelemmel kell lenni a magasabb szintű modulációk alkalmazásából egyenesen következő rendszerkomplexitás növekedésére, amely ésszerű korlátok között tartása műszaki alapkövetelmény a tervezőmérnökök számára. A körültekintő jelformakialakítás, a rövidebb adattovábbítási időkeretek (TTI<sup>21</sup>) támogatják az alacsony jelkésletelési időintervallumokra (1 ms) való törekvést. Magas megbízhatóságú adatátvitel, mint kitétel az 5G NTN esetében, a bithibák számának a minimalizálásában jelenik meg (BER és BLER<sup>22</sup>), amely szorosan kapcsolódik a jelkésletelési időintervallum leszorításához, hiszen a kisebb arányban meg-

jelenő bittévesztés jelentősen felgyorsítja a jelfeldolgozást a vételi oldalon [31].

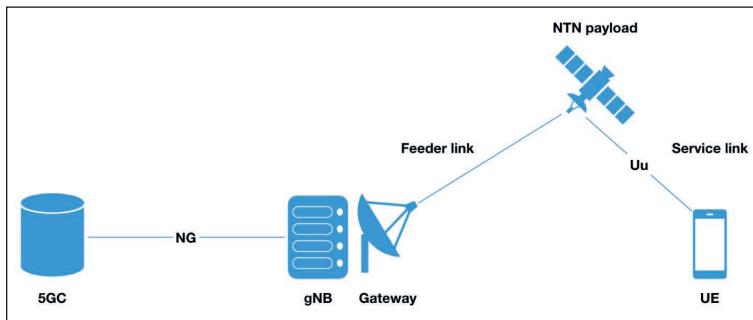
Frekvencia-felhasználás és a management szempontjából e megnövekedett hálózati igények indokolják a végesen rendelkezésre álló rádiófrekvenciás spektrum elosztásának újratervezését, kibővítését, integrálva a jelenlegi LTE-A és a korábbi vezeték nélküli hálózati szabványok által használt, elfoglalt frekvenciatartományok felhasználását, valamint új spektrumkomponensek elsődleges (inkumbens) vagy eseti (opportunistikus), de folyamat-megközelítés szempontjából koherens alkalmazásával. A frekvencia-felhasználás és az üzemmód választások területén is előtérbe helyeződnek a kognitív eljárások és be- rendezések, amelyek a hálózat(ok) folyamatos monitorozásával képesek a saját, és ezen keresztül a hálózati paraméterek folyamatos módosítására annak érdekében, hogy az adott hálózatra előirt QoS teljesüljön. Ennek megfelelően az LTE-A fejlesztésekor, alkalmazásakor már az 1980-as évek vége óta használatban lévő 900/1800/2100 MHz frekvenciatartományok (csatornák távolsága 1,4–20 MHz közötti) felhasználása kiegészül a 700 MHz, a 3,4–3,8 GHz, a 24,25–27,5 GHz és a 31,8–33,4 GHz (milliméteres) frekvenciatartományokon történő üzemmel a földfelszínen üzemeltetett hálózatelemek között. Ezen frekvenciatartományokat szükséges kiegészíteni az 5G NTN műholdas szegmensében, elsősorban a műhold-műhold (SAT-SAT<sup>23</sup>) vagy földfelszíni bázisállomás (gNB<sup>24</sup>)/átjátszó (Gateway GW), vagy a műhold-felhasználói terminál (pl.: V-SAT vagy kézi rádiótelefon – UE) között alkalmazott frekvenciatartományokkal (S-sáv<sup>25</sup> és Ka-sáv<sup>26</sup>) [32] [33].

Az 5G NTN összetett hálózat jellemző hardverelemeinek bemutatása az első lépcsőfok annak érdekében, hogy átfogó képet kapjunk e komplex hálózat működéséről, amellyel szemben feladatként tűzhető ki, hogy legyen a megfelelő szinten ellenállóképes (*resilient*), felépítésében kövesse a fokozatosság és a felcserélhetőség elvét (*scalability*) és rendelkezésre állásában (*availability*) biztosítsa a nagysebességű adatátvitelt a bevezető részben részletezett földrajzi helyeken, a feladatok támogatására. A legautentikusabb forrásként idézzük fel a 3GPP vállalkozás kutatási eredményeit annak érdekében, hogy részletes és pontos meghatározásokkal tudjunk szolgálni az olvasóknak és kutatóknak. A 3GPP TR 38.811 v15.4.0 Technical Report (Rel.15-2020) alapján, az alábbi hálózati elemek, kapcsolatok azonosíthatók (2. táblázat) [34].

2. táblázat. 5G NTN hálózati elemei (A szerző szerkesztése a [34, p. 17.] alapján)

Terminál/funkció	Leírás
NTN terminal (UE)	Végfelhasználói terminál, UE (V-SAT vagy kézi rádiótelefon/okostelefon).
Space/Airborne platform (SAP)	Az űrszegmensben (Space), vagy az ionoszférába telepített (Airborne) rádiófrekvenciás sugárzó eszköz: GEO/MEO/LEO műholdak, ionoszféra ballonok, pilóta nélküli repülőeszközök (HAPS <sup>27</sup> ).
SAP Bent pipe/Transparent payload	Adatátviteli csatorna adatcsomag-feldolgozó képessége rádiófrekvenciás szűrésre, frekvencia átalakításra és jelerősítésre.
SAP Regenerative payload	Adatátviteli csatorna adatcsomag-feldolgozó képessége rádiófrekvenciás szűrésre, frekvencia-átalakításra és jelerősítésre, modulációra-demodulációra és kódolásra. Megfeleltethető SAP gNB-nek is.
Service link	Rádiófrekvenciás adatátviteli kapcsolat UE és egy adott SAP között. Az UE kapcsolódhat SAP-hoz és/vagy földfelszíni 5GN-hez egyaránt.
Inter satellite/aerial link ISL	SAP-ok közötti rádiófrekvenciás adatátviteli csatorna.
Gateways GW	SAP és földfelszíni 5GN kapcsolatot biztosító kapcsoló-összekötő elemek.
Feeder link FL	Gateway és SAP közötti rádiófrekvenciás adatátviteli csatorna.





2. ábra. 5G NTN hálózati architektúra (Transparent payload) (A szerző szerkesztése a [36 p. 3.] alapján)



3. ábra. Műholdas kommunikációt ábrázoló grafika (Forrás: Airbus, az Airbus Helicopters engedélyével)

A jelátviteli sebesség maximumának, de legalábbis az adott hely és idő függvényében megközelíthető optimumának elérése érdekében fontos figyelembe vennünk az 5G NTN hálózat sávszélességeinek a rendelkezésre állását. Széles sávú adatátvitelről (*service link, broadband access networking*) beszélhetünk elsősorban a SAP és UE terminálok közötti relációban. Földfelszíni UE (pl. V-SAT) eszközünk lehet statikusan telepített vagy mozgó, pl. gépjárműplatformra alkalmazott antenna- és berendezésrendszer. Ez esetben a széles sávú adatátvitel (műholdas sugárzás esetén) az 50 Mb/s-tól a 100 Mb/s-ig mérhető, de akár az 1–5 Gb/s átviteli sávszélesség (ionoszféra platformról) is elérhető (letöltés – *downlink* – esetben). A széles sávú átvitelhez természetesen magasabb *downlink* frekvencia párosul, amely minden esetben meghaladja a 6 GHz-et. Keskeny sávú (*narrow&wide band access networking*) esetében az UE körsugárzó (*omnidirectional*) vagy részben irányított antennarendszerrel rendelkezhet, 1–2 Mb/s a *downlink* sávszélessége és a felhasznált frek-

vencia-tartomány 6 GHz-nél kisebb [35]. Az 5G NTN hálózati összetevők feldolgozásához nyújt vizuális segítséget az 2. ábra.

A műholdas és ionoszférikus platformokat vizsgálva érdemesnek tartom áttekinteni, milyen lehetőségek állnak rendelkezésre a jelátvitelre/vételre ebből a szegmensből, hiszen ezen platformok telepítési magassága, keringési idejük és az általuk besugárzott (lefedett) terület – akár együttműködésben az 5GN földfelszíni platformjaival, vagy attól elkülönülten – biztosíthatják a szükséges hálózati lefedettséget a földfelszíni 5GN lefedettségi tartományán kívül is.

A GEO<sup>28</sup>-műholdak földfelszín feletti keringési magassága megközelítőleg 36 000 km, úrpályájuk (*trajectory*) alapján szinkron keringenek bolygónkkal, így a földfelszínről szemlélve rögzítettnek tűnnek. Lefedettségi területük (*beam footprint*) 200–3500 km [37]. A MEO<sup>29</sup>- és LEO<sup>30</sup>-műholdak kisebb pályamagasságokon kerülnek telepítésre. Miután a keringési idejük rövidebb, mint 24 óra, ezzel együtt lefedettségi tartományuk is kisebb, 100–1000 km közötti tartományba tehető. Az ionoszférába telepített légi platformok (UAS<sup>31</sup>/HAPS) csatlakoztatva magában foglalhat bármely ember által felbocsátott, közvetlenül ember által irányított vagy pilóta nélkül üzemeltetett repülőeszközt (drónok, ballonok, merev szárnyú légi járművek), amelyet telekommunikációs céllal telepítenek egy-egy földrajzi terület fölé, vagy helyeznek el a Föld körüli (ionoszférikus) pályán [38]. Lefedettségi területük nagyban függ a

telepítési magasságuktól, amely általánosságban 5–200 km. A 3. táblázat áttekinthető módon mutatja be ezen platformok pálya- és egyéb adatait.

A SAP-ok légköri vagy űrbéli telepítési magassága jelentős hatással van az adó- és vevőegységek, az egyéb hálózatelemek adathozzáféréseire, figyelemmel az elektromágneses hullámterjedés fizikai szabályaira ( $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ) és a hálózatelemek adatfeldolgozásának az idejére mind *Transparent*, mind *Regenerative payload* módokban.

Fontos megemlíteni, hogy a földfelszínről a műholdakra történő rálátás szögértéke (*Elevation Angle EA*) vitális az analóg/digitális adatcsatorna felépülése és fenntartása érdekében. Az EA legkisebb értéke – általánosságban – 10° UE esetében és 5° a GW számára. A gyakorlatban a műholdas szegmens és az UE-k közötti adatcsatorna elsődlegesen frekvencia-multiplexelést (FDM<sup>32</sup>) alkalmaz, kisebb mértékben az időmultiplexelés (TDM<sup>33</sup>) a gyakorlat [40]. A földfelszíni jelcsillapítás az UE (V-SAT vagy kézi rádiótelefon) és a SAP között új értelmezést nyerhet, hiszen az

3. táblázat. 5G NTN platformok (A szerző szerkesztése a [39, pp. 165 - 181.] alapján)

Platform	Telepítési magasság	Pálya	Lefedettség	Keringési idő
GEO-műhold	35 786 km	Földfelszínhez képest rögzített	200–3500 km	Földdel azonos
MEO-műhold	7000–25 000 km	Ellipszis pálya	100–1000 km	1,5–10 h
LEO-műhold	300–1500 km	Ellipszis pálya	100–1000 km	1,5–10 h
UAS	8–50 km (Ionoszféra)	Szélesség/hosszúság alapján rögzített	5–200 km	N/A
HAPS	~20 km	Szélesség/hosszúság alapján rögzített	5–200 km	N/A

analóg/digitális jelfolyamok a világűrben szinte csillapítás és elhajlás nélkül terjednek a légüres terekben (gravitációs terek hiányában, az interstelláris térben), ugyanakkor amint belépnek az ionoszférába, ott a fizika tudományában megismert általános szabályok alapján törnek meg, hajlanak el. Figyelemmel kell lenni a SAP és az 5GN földfelszíni sugárzásból érkező jelek terjedési idejére (*Propagation timings/delays*) és korrelációjára, a többutas terjedésre, az elektromágneses reflexiókra, amelyek mind-mind az UE-k és a gNB és GW közötti elektromágneses összekapcsolódást nehezítik meg (*multipath* jelérzékelés), és a hálózati elemeknek képesnek kell lenniük a hibahatárokon belüli jelátalakításokra, jelfeldolgozásra [41]. Ezen jelátalakítások figyelembevételével tervezték meg az 5G NTN hálózatelemek hardver és szoftver összetevőit. Az impulzussorozatok terjedési idejének illusztrálásához a 4. táblázatban bemutatom egy – GEO-műhold alkalmazásakor – jellemző jelkésleltetési időket, egyutas terjedéssel kalkulálva.

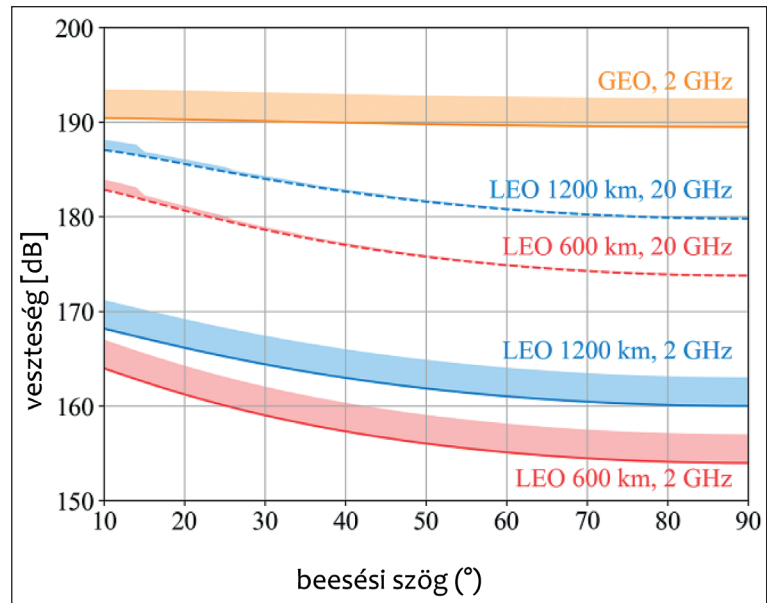
Látható a több száz milliszekundumos késleltetési időkből, hogy az információ alapjait hordozó bitek sorozatai jelentős időt „utaznak” a kibocsájtó- és a feldolgozóegység között, amely többszörös (*round trip time*) impulzuscseré esetén elérheti az 500 ms-os értéket is. Ezen terjedési út folyamán a fent vázolt hatásokkal kell számolni, amelyre a feldolgozóegységeknek fel kell készülniük. Fontosnak tartom megemlíteni, hogy a forgalmazott adatok biztonságára is kiemelt figyelmet kell fordítani (COMSEC<sup>34</sup>, INFOSEC<sup>35</sup>), amely további komputációs időt von el a feldolgozóegységekben, amely hozzáadódik a jelfeldolgozási időhöz (*Signal processing timings*) [42].

Annak érdekében, hogy a jelfeldolgozáshoz a minimális szinten elegendő teljesítménnyel érkezzenek be az adó- és a vevőegységbe az impulzussorozatok, pontos tervezést követően az alábbi hardverparaméterek biztosítása szükséges. V-SAT terminál esetében – általános technikai paraméterként – kijelenthetjük, hogy a kimenő teljesítmény 2 W (33 dBm<sup>36</sup>) 60 cm antenntükör alkalmazásakor, az antenna nyereségértéke 43,2 dBi<sup>37</sup> (Tx<sup>38</sup>) és 39,7 dBi (Rx<sup>39</sup>), cirkuláris polarizáció mellett [43]. Kézi rádiótelefon esetében 200 mW (23 dBm) teljesítménnyel kalkulálhatunk körsugárzó/körvevő (*omnidirectional*) antennát alkalmazva, lineáris antenna polarizációt alkalmazva. Annak bemutatására, hogy megismerjük a földfelszíni UE által feldolgozandó csatornaveszteséget a beesési szög függvényében, az elektromágneses jelabszorpciót a 4. ábrán szemléltetem.

Az ábrából követhető, hogy a nagy beesési szög SAP és UE esetén, frekvenciafüggően ugyan és kisebb mértékben, de csökkenthető a csatornaveszteség. GEO esetében ez közel állandó, hiszen a geostacionárius műholdak<sup>40</sup> a földfelszínhez képest rögzített helyzetűek, így – elméletben – csakis az UE-k mozoghatnak a földfelszínen, azaz a beesési szög a felhasználók által optimalizálható. A csatornaveszteségnek a beesési szögekhez való viszonya kiemelt hangsúlyt kap a napi életünk folyamán, amikor – valós körülmények között – figyelembe kell vennünk, hogy mind a SAP, mind az UE folyamatosan mozog, a műholdas szegmensből és a földi szegmensből érkező impulzussorozatok az UE-gNB-GW eszközöknek fel kell dolgozniuk úgy, hogy az ITU-ajánlásokban megadott válaszütemek és a hálózat

4. táblázat. Jelkésleltetési idők (A szerző szerkesztése a [34, p. 28.] alapján)

GEO-műhold 35 786 km			
Eleváció	Kapcsolat (Adó-vevő path)	Jelsorozat által megtett út (km)	Idő (ms)
UE 10°	SAP-UE	40 586	135,286
GW 5°	SAP-GW	41 126	137,088
90°	SAP-UE	35 786	119,286



4. ábra. A csatornaveszteség és a beesési szög bemutatása [36, p. 2.]

rendelkezésre állásra, a katalogizált sáv szélességek és fel- és letöltési sebességek biztosítva legyenek. Belátható, hogy ez nem kis feladatot ró a hálózattervező, valamint az 5G NTN infrastruktúrát napi szinten üzemeltető mérnökökre.

A következőkben a hullámterjedés és a jelfeldolgozás többszereplős egyenletrendszeréből kiemelve, az elektromágneses jelterjedésben megjelenő Doppler-hatást vizsgálom annak érdekében, hogy rámutassak a *multipath* terjedés és a jelkésleltetési időkből származó anomáliákra.

(Folytatjuk)

#### HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Kalocsai Zoltán, „Szigetszerű terjeszkedéssel bővül a hazai 5G lefedettség” *IT Business* 2020. október 31. (Letöltés: 2020.1.30.);
- [2] Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s), document ITU-R M.2410-0, 2017;
- [3] H. Kaushal and G. Kaddoum, „Optical Communication in Space: Challenges and Mitigation Techniques,” in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 1, pp. 57-96, Firstquarter 2017, doi: 10.1109/COMST.2016.2603518;
- [4] 3GPP Release 15: Technical specifications TR 21.915, December 2018, p. 17. In: <https://www.3gpp.org/release-15> (Letöltés: 2021.12.30.);





- [5] J. Liu, Y. Shi, Z. M. Fadlullah and N. Kato, „Space-Air-Ground Integrated Network: A Survey,” in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 4, pp. 2714-2741, Fourthquarter 2018, doi: 10.1109/COMST.2018.2841996;
- [6] 3GPP TR 36.763, Study on Narrow-Band Internet of Things (NB-IoT) / enhanced Machine Type Communication (eMTC) support for non-terrestrial networks (NTN), V0.0.1, January 2021;
- [7] Károly Krisztián, Németh András, „The Possibilities of Supporting the Public Functions with Fleet and Force Tracking Systems” *AARMS – Academic and Applied Research in Military and Public Management Science* Vol. XVIII no. 3 (2019): 55–67 DOI: 10.32565/aarms.2019.3.5;
- [8] Németh András, Károly Krisztián, „Erőkövetés megvalósításának lehetőségei korszerű harcászati rádiórendszerek kommunikációs csatornáin” *Honvédségi Szemle* 145. évf. 4. szám (2017):120–131.;
- [9] Németh András, Károly Krisztián, „Korszerű rövidhullámú harcászati rádióeszközök erőkövető rendszerekben való alkalmazhatóságának vizsgálata” *Honvédségi Szemle* 144. évf. 6. szám (2016): 65–78.;
- [10] Károly Krisztián, „A TETRA AVL szolgáltatás katonai alkalmazásának aspektusai” *Honvédségi Szemle* 144. évfolyam 1. szám (2016): 130–143.;
- [11] Cinkler Tibor, „5G hálózatok architektúrája” *Híradástechnika* folyóirat LXXI évfolyam (2016): 40–44.;
- [12] Dr. Pap László, „Az új mobil technológiák – az LTE és a kognitív rádió alkalmazások műszaki összefüggései, hatásai” Pro-M Zrt. előadás, (2014. október 26), 12–18.;
- [13] ITU Radio communications Study Group: IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond, Document 5/BL/22-E, (21 July 2015), 18–21.;
- [14] IEEE 802.11: Wireless Local Area Network standards, March 2020, <http://www.ieee802.org/11/#>, (Letöltés: 2020.1.12.);
- [15] ITU-R: Recommendation ITU-R M.2021-3 (IMT-Advanced) (January 2018): 4–23.;
- [16] ITU-R: Recommendation ITU-R M.2021-4 (IMT-Advanced) (November 2019): 16–23.;
- [17] Somogyi Orsolya, „Egyre húzó a műholdas mobil-szolgáltatás területe” *Magyar Nemzet* 2021. április 3., <https://magyarnemzet.hu/gazdasag/2021/04/egyre-huzik-a-muholdas-mobil-szolgalatas-terulete>;
- [18] 3GPP <https://www.3gpp.org/> (Letöltés: 2022.1.10.);
- [19] OneWEB <https://oneweb.net/> (Letöltés: 2022.1.7.);
- [20] SpaceX <https://www.starlink.com/> (Letöltés: 2022.1.7.);
- [21] Európai Űrgyűnökség (ESA) <https://www.esa.int/> (Letöltés: 2022.1.7.);
- [22] NATO Science & Technology Organization. „Science & Technology Trends 2020-2040,” March 2020, 6–19.;
- [23] ITU Radio communication Study Group: IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond, Document 5/BL/22-E, 21 July 2015, 18–21.;
- [24] Károly Krisztián, „Szenzorhálózatok adatainak integrálási lehetőségei a perspektivikus erőkövetési rendszerekbe, különös tekintettel az egyéni egészségügyi adatokra” *Hadmérnök*, 14. évf. 1. szám (2019. március) DOI 10.32567/hm.2019.1.21;
- [25] Károly Krisztián, „LoRaWAN-technológia felhasználási lehetőségei a katonai alkalmazások tükrében” *Hadmérnök* 14. évf. 3. szám, (2019) DOI 10.32567/hm.2019.3.9;
- [26] WiMAX Mobile Task Group IEEE 802.16e, <https://www.ieee802.org/16/tge/> (Letöltés: 2022.1.11);
- [27] „Mi az a ZigBee?” *Eletokosan.hu*, In: <https://eletokosan.hu/mi-az-a-zigbee> (Letöltés: 2022.1.22.);
- [28] „LoRa Alliance” LoRaWAN <https://lora-alliance.org/about-lorawan/> (Letöltés: 2022.2.1.);
- [29] Dr. H Mohammed, „QAM is rising: 1024 QAM and beyond” *Microwave RF*, 2014 április 17. <https://www.mwrf.com/technologies/systems/article/21845619/qam-is-rising-1024qam-and-beyond> (Letöltés: 2022.1.2.);
- [30] IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond, In: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-!!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-!!!PDF-E.pdf) (Letöltve: 2021.12. 30.);
- [31] Lipovac: Modelling OFDM irreducible BER with impact of CP length and CFO in multipath channel with small delay dispersion, *Wireless Communications and Mobile Computing* 2016 Vol 06 Issue 09, ISSN 1530-8669, In: <https://art1lib.org/book/56162100/323c60> (Letöltve: 2021.12.28.);
- [32] 4g advanced: 4G LTE Advanced - What you need to know about LTE-A, In: <https://www.4g.co.uk/4g-lte-advanced/> (Letöltve: 2021.11.30.);
- [33] Yang, Yu: Multibeam Antenna Technologies for 5G Wireless Communications, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Volume: 65, Issue: 12, Dec. 2017, pp. 6231 – 6249, In: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7942144> (Letöltve: 2022.1.1.);
- [34] 3GPP Study on New Radio (NR) to Support Non Terrestrial Networks; document TR 38.811, Release 15.4.0 September 2020.;
- [35] Hong, Kang: Adaptive buffering scheme for streaming service in intersystem handover between terrestrial and satellite systems, *IEEE Int. Symp. Consum. Electron.*, April 2008, p. 3.;
- [36] Linn, Rommer: 5G from Space: An Overview of 3GPP Non-Terrestrial Networks, *IEEE Communications Standards Magazine* Volume: 5, Issue: 4, December 2021, DOI: 10.1109/MCOMSTD.011.2100038, p. 03; <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9579443> (Letöltve: 2021.12.31.);
- [37] European Space Agency ESA hivatalos Internetes oldala: Types of Orbits, In: [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Space\\_Transportation/Types\\_of\\_orbits](https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits) (Letöltve: 2022.2.12.);
- [38] Christopoulos, Chatzinotas, Ottersten: Multicast multigroup precoding and user scheduling for frame-based satellite communications, *IEEE Transactions Wireless Communications* Sep. 2015, Vol. 14, no. 9, p. 4702-4707;
- [39] Rinaldi, Torsner, Pizzi, Andreev: Non-Terrestrial Networks in 5G & Beyond: A Survey, *IEEE Access* Vol 8 2020, p. 165181;
- [40] 3GPP: TR 22.822 Study on using satellite access in 5G V16.0.0, August 2018.;
- [41] 3GPP TSG-RAN Meeting: RP-193235 Study on NB-IoT/eMTC support for non-terrestrial network #86, December 2019.;
- [42] Lin: 5G New Radio: Unveiling the essentials of the next generation wireless access technology, *IEEE*

Communications Standards Magazine September 2019.Vol. 3, no. 3, p. 33–35.;

[43] VIASAT vállalkozás internetes oldala, In: <https://www.viasat.com/products/terminals-and-radios/> (Letöltve: 2022.1.2.);

[44] Forrás: [https://prod.mszt.hu/portals/0/Images/2019/09/5g\\_AdobeStock\\_204778856.jpeg?ver=2019-09-10-145717-733](https://prod.mszt.hu/portals/0/Images/2019/09/5g_AdobeStock_204778856.jpeg?ver=2019-09-10-145717-733) (Letöltés ideje: 2022.1.2.).

## JEGYZETEK

- 1 5GN – 5<sup>th</sup> Generation Networks.
- 2 QoS – Quality of Service.
- 3 ITU-R: International Telecommunications Union – Radio Communications Sector.
- 4 IMT-A: International Mobile Telecommunications – Advanced (4G LTE-A) és IMT-2020 (5G).
- 5 3GPP – 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project.
- 6 GSM – Global System for Mobile Telecommunications, GPRS – General Packet Radio Services, EDGE – Enhanced Data GSM Environment, UMTS – Universal Mobile Telecommunications Services, LTE-A – Long Term Evolution-Advanced 4G, IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- 7 UE – User Equipment.
- 8 Tárgyak Internete – Internet of Things (IoT).
- 9 Gép-gép összekapcsolások – Machine to Machine Interface (M2M).
- 10 WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access.
- 11 Long Range Wide Area Network – Nagy hatótávolságú és nagy kiterjedésű területeket lefedő hálózat.
- 12 LAN – Local Area Network.
- 13 WAN – Wide Area Network.
- 14 1024 QAM – 1024-state Quadrature Amplitude Modulation.
- 15 MU-MIMO – Massive Multi-user Multiple in Multiple Out.
- 16 ADC/DAC – Analog – Digital Converter / Digital – Analog Converter.
- 17 5G NTN – 5<sup>th</sup> Generation Non-Terrestrial Networking.
- 18 eMBB – enhanced Mobile Broad Band.
- 19 mMTC – massive Machine Type Communications.
- 20 urLLC – ultra-reliable Low Latency Communications.
- 21 TTI – Transmission Time Interval.
- 22 BER – Bit Error Rate, BLER – Block Error Rate.
- 23 SAT – Satellite.
- 24 gNB – 5GN next generation node (B), 5 GN bázisállomás.
- 25 S-sáv: 2,7 – 3,2 GHz frekvencia-tartomány.
- 26 Ka-sáv: HTS – downlink 17,7–21,2 GHz, uplink 27,5–31 GHz. HDFSS – downlink 19,7–20,2 GHz, uplink 29,5–30 GHz.
- 27 HAPS – High Altitude Platform Systems.
- 28 GEO – Geostationary satellite.
- 29 MEO – Medium Earth Orbiting satellite.
- 30 LEO – Low Earth Orbiting satellite.
- 31 UAS – Unmanned Airborne Station/System.
- 32 FDM – Frequency Division Multiplexing.
- 33 TDM – Time Division Multiplexing.
- 34 COMSEC – Communications Security.
- 35 INFOSEC – Information Security.
- 36 dBm/dBmW – egy adott teljesítmény értéke/aránya 1 mW-ra vonatkoztatva.
- 37 dBi – decibel izotropikus, egy adott antenna erősítése összehasonlítva egy ideális antennával (izotropikus antenna).
- 38 Tx – Transmission, kisugárzás.
- 39 Rx – Receiving – vétel.
- 40 GEO-műholdak úrbéli helyzete sem rögzített, fizikusok számításai alapján úgy adható meg a valós helyzetük, mintha egy képzeletbeli, 35 x 75 km-es téglalap belsejében, folyamatosan mozgást végeznének (35 km horizontális, 75 km vertikális tartományú mozgások) 6° inklinációval.

**Szabó Miklós**

# A H145M és H225M katonai helikopterek



A Zrínyi Kiadó által 2020-ban indított *Haditechnika fiataloknak* című könyvsorozat a katonai hivatás népszerűsítését szolgálja, ugyanakkor a technikai eszközök történetének, műszaki paramétereinek és alkalmazási módjainak megismeretése is hasonlóan fontos célja. A Magyar Honvédség vezetése 2018-ban 20 darab H145M könnyű, többcélú és 16 darab H225M közepes, többcélú francia gyártású helikopter beszerzéséről döntött. Az immár teljessé vált H145M flotta helikopterei rendszeres repüléseket végeznek a magyar légtérben, a közepes helikopterek érkezése pedig az elkövetkező években várható.

„...éppúgy, mint a repülés maga, a forgószárny sem emberi találmány...” – írja bevezetőjében dr. Koller József dandártábornok, az MH 86. Szolnok Helikopter Bázis parancsnoka, hozzátéve, hogy a természet alkotta ötletet az ember számára hasznos találmánnyá a kreatív elmék, mérnökök és feltalálók tették. A helikopterek bebizonyították, hogy a katonai jelenlétet megkívánó helyzetekben – legyen az békeműveleti feladat vagy válságkezeléssel összefüggő feladat, konfliktushelyzet, illetve természeti katasztrófák következményeinek felszámolása – nélkülözhetetlen eszközök, hiszen a helyből le- és felszálló képességükkel sajátos módon és leggyorsabban juthatnak el a káresemény, vagy a beavatkozás helyszínére. Mindezekkel a rendkívüli képességeikkel a katonai műveletek széles skáláját képesek hatékonyan támogatni.

A kiadvány egyszerű, közérthető nyelvezetben, ugyanakkor szabatos műszaki kifejezésekkel mutatja be a helikopteres repülés történetének legfontosabb állomásait, a helikopterek szerkezeti elemeinek felépítését, működési elvét és a hazánkban üzemeltetett katonai helikopterek meghatározó típusait. A szerző figyelmének középpontjában természetesen a címben is szereplő két Airbus Helicopters gyártású géptípus bemutatása áll, ily módon a számos színes és fekete-fehér fotóval illusztrált kötetből megismerhetők a légi járművek főbb műszaki adatai, a lehetséges konfiguráció jellemzői, fegyverzetük és elektronikus rendszereik. A szerző mindvégig szem előtt tartja, hogy munkája az ifjúság számára készült, ezt célozza a kötetek mellékletét képező, forgószárnyat imitáló játékmelléklet is.

**A Zrínyi Kiadónál 2021-ben megjelent, kartonborított könyv terjedelme 68 oldal. 2500 Ft-os áron kapható a könyvesboltokban, illetve közvetlenül a Zrínyi Kiadótól helyszíni kedvezménnyel 1875 Ft-ért. Cím: 1024 Budapest, Filler utca 14., (tel.: 06 1-459-5373, e-mail: [cinti@hmzrinyi.hu](mailto:cinti@hmzrinyi.hu)), továbbá megrendelhető a [shop.hmzrinyi.hu](http://shop.hmzrinyi.hu) weboldalon is. (DRU.)**