

36. Országos Tudományos Diákköri Konferencia
Had- és Rendészettudományi Szekció
Budapest, 2023. április 18-20.
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Rendészettudományi Kar

**KORSZERŰ MOBILHÁLÓZATI
KOMMUNIKÁCIÓS RENDSZEREK,
KIEMELTEN AZ 5G
HÁLÓZATOK VIZSGÁLATA A
LÉGIKÖZLEKEDÉSBEN**

Jelige: A0T1C2o3c

Pályamunka lezárásának időpontja: 2022. november

2023.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	3
2. A RÁDIÓKOMMUNIKÁCIÓ ÉS A MOBILHÁLÓZAT GENERÁCIÓI	4
2.1. A rádiókommunikáció.....	4
<u>2.1.1. Elektromágneses hullámok felosztása</u>	<u>6</u>
2.2. A mobilhálózatok generációinak fejlődési szakaszai.....	9
3. A TERJESZKEDŐ JELEN.....	18
3.1. Az 5G	18
3.2. Az 5G a légiközlekedésben.....	22
<u>3.2.1. Potenciális veszély.....</u>	<u>22</u>
<u>3.2.2. Az 5G pozitív aspektusai</u>	<u>25</u>
4. BEFEJEZÉS	32
IRODALOMJEGYZÉK	34

KORSZERŰ MOBILHÁLÓZATI KOMMUNIKÁCIÓS RENDSZEREK, KIEMELTEN AZ 5G HÁLÓZATOK VIZSGÁLATA A LÉGIKÖZLEKEDÉSBEN

1. BEVEZETÉS [1] [2]

A vezeték nélküli hálózatok mára már a modern társadalom természetes alkotóelemei, amelyek értéket képviselő információk átvitelére hivatottak. Napjainkban sokféle szakma legfőbb célja, hogy ezen eszközök segítségével az elengedhetetlen adatokat a megfelelő helyekről begyűjtse, majd ahová szükséges, továbbítsa. A légi közlekedés, azon belül egy repülőtér kiemelkedő példa, hiszen az onnan történő repülések biztosítása során is, olyan fontos tevékenységek valósulnak meg az elektromágneses hullámok információtovábbító képességével, mint a légiforgalmi irányítás, vagy a háttérben, a légiforgalmi tájékoztatás. A szakterületeken átvihető információhalmazok jól védettek, a háttérinfrastruktúra stabilan kiépült, hiszen naponta emberek milliói veszik igénybe a repülést, mint szolgáltatást, bizalmat szavazva a szakmabelieknek, akiken értékeik és életük múlhat. A hétköznapiak során, a civil életben is számos kényelmi funkciót élvezhetünk vezetékek nélkül, például a NFC¹ biztosította mobilfizetést. Extrém körülmények között, mint amilyen egy katonai művelet, a megfelelő mennyiségű és minőségű adathalmazok rendelkezésre állása, ami manapság leggyorsabban vezeték nélküli hálózaton történhet, emberéletekbe kerülhet, stratégiai szempontból pedig a fölény múlhat rajta.

Dolgozatom témája a korszerű mobilkommunikációs rendszerek, hálózatok vizsgálata a légi közlekedésben, azon belül is különös tekintettel a repülőterekre, és az ott megvalósítható 4. és 5. generációs mobiltelefon-hálózat nyújtotta előnyök alkalmazhatóságára, esetlegesen hátrányaira. A kutatás során külön gondot fordítok az Integrált Modell Repülőtér projekt, illetve a vizsgált hálózatok ezen repülőtéren történő alkalmazására. A munkaprogram a Tématerületi Kiválósági Program, nemzetvédelem és nemzetbiztonsági alprogram keretében valósul meg. A kutatócsoportok az integrált-mintarepülőtérrel kiemelt kutatási területként kezelik. Az elérendő célok között szerepel országunk biztonsági innovációinak és képességeinek jobbá és hatékonyabbá tétele. Az IMA² repülőtérének alap elgondolása szerint, szimultán üzemeltetnének „hagyományosan” emberek által vezetett repülőgépeket, helikoptereket, és

¹ NFC – Near Field Communication, Rövid hatótávú kommunikációs szabványgyűjtemény

² IMA - Integrated Model Airport – Integrált Mintarepülőtér

pilóta nélküli légi járműveket is. Ilyen integrált repülőtéri megoldások napjainkban még kevés helyen üzemelnek., számos problémát és biztonsági kockázatot felvetve, mint például az eszközök kiszolgálása, a munkaterületen történő mozgatása, és levegőben történő elkülönítése. A kutatások kész termékekben, eljárásokban, szoftverekben, javaslatokban realizálódhatnak.

A repülés világa elsődlegesen nem a celluláris kommunikációra épít, hanem olyan rádió adóvevő készülékekre, amelyekkel nem csupán az információcsere, de a navigáció is segíthető, és kizárólag a jogszabály által meghatározott frekvenciasávban üzemelhetnek. Akár az élet más területén is, így a mobilhálózatok, és a hozzájuk tartozó eszközök és technológiák is hatalmas fejlődésen mentek keresztül az utóbbi néhány évtizedben. Meglátásom szerint, az ötödik generáció rejt magában annyi potenciált, hogy alkalmazhatóságának vizsgálata megtörténjen.

2. A RÁDIÓKOMMUNIKÁCIÓ ÉS A MOBILHÁLÓZAT GENERÁCIÓI

2.1. A Rádiókommunikáció [3] [4] [5] [6] [7] [8][9][10] [11][12]

Kezdetben a repülések csak nappal, VFR³, azaz látvarepülési körülmények között voltak végrehajthatók biztonságosan, éjjel, felhőben, vagy tenger felett már nem. Az egyre elterjedtebb közlekedési típusra a katonai és civil piac is igényt tartott, így szükség volt a komplexebb körülményeket kiszolgáló eszközök telepítésére, a pontatlan metódusok leváltására. Először az útvonali navigációt segítő, földi telepítésű berendezések jelentek meg a XX. század 10-es éveiben, a globális lefedettség kielégítő szinten viszont csak a 70-es években vált kinyilváníthatóvá. [3] Ezen navigációs és kommunikációs eszközök az elektromágneses jelek modulálhatóságán nyugszanak. Témánk szempontjából releváns frekvenciatartomány 3 kHz-től 300 GHz-ig terjed, de hullámhossztól függően beszélhetünk még infravörös-, ultraibolya-, a röntgen- és gammasugárzásról, vagy akár a látható fényről is. Az elektromágneses hullámok légüres térben a fénysebességgel megegyező sebességgel terjednek, de például a Föld légköre számtalan olyan részecskét tartalmaz, amelyek lelassítják, ezért a terjedési sebességük valamelyest lecsökken. Gyakorlati alkalmazás során ez elhanyagolható. Létrejöttük lehet természetes, amely a Napból és bizonyos égitestekből is érkezik, vagy mesterséges, amit pedig az említett célok érdekében, speciális eszközökkel produkálnak. Számomra utóbbi vizsgálata a szükséges.

³ VFR - Visual Flight Rules

Az antenna, akár különféle elektronikai eszközök alkatrészeként, alkalmas elektromágneses hullámok kisugárzására (adó), valamint vételére is vevő. A rádióösszeköttetés két alappillére, az adó és vevő mellett fontos szerep jut a közvetítő közegnek⁴ is.

Az adóantennák által kisugárzott rádióhullámok terjedésében jelentős szerep jut a Föld légkörének. Mint ismert, az atmoszféra több száz kilométer magasra felnyúlik, több rétegen keresztül. Habár a légkör 50%-a 5500 m magasságig található, a másik fele pedig megközelítőleg 30 km-ig, a hullámokra a troposzférán kívül is hatnak befolyásoló tényezők. A troposzféra a legalsó réteg, átlagosan 11 km magasra nyúlik. Az időjárási jelenségek nagyon nagy része itt játszódik le, ezáltal kiemelten nagy hatást képes kifejteni a hullámterjedésre, a benne található anyagok, mint például a vízgőz, és meteorológiai jelenségek, mint például a zivatarok miatt. A következő réteg a sztratoszféra, ahol a vízgőz hiánya miatt nem jellemzőek időjárási jelenségek, körülbelül 80 km magasságig helyezkedik el. A felett az ionoszféra található.

Az elektromágneses sugárzás egyik nagyon fontos tulajdonsága, amely szabályozható, az erőterek közül az elektromos rezgés irányaként definiált polarizáció. *“Az antennából kibocsátott rádió- és mikrohullámok abban az irányban vannak polarizálva, amelyben az antenna huzalában a töltések gyorsulnak”*[6] A lineáris és az elliptikus a két legfőbb módja a polarizációknak. Előbbinél az elektromos erővonalak egyenesen haladnak, míg utóbbinál forgómozgás történik. Egy eszköz maximális hatékonysággal, egyszerre csak egy fajta polarizációt képes megvalósítani, legyen szó adó, vagy vevő irányról. Túlsúfolt elektromágneses térben az interferencia és egyéb zavarok elkerülése végett jól használhatók a polarizációk variánsai.

Az antennák hatékony rendelkezésre állása nagyban függ azok szerkezetétől - típus, méret, adó teljesítménye, vevő érzékenysége - továbbá a felhasználás pontos körülményeitől (leghatékonyabb frekvenciasáv, illetve meteorológiai szituációk, és környező tereptárgyak, mint akadályok). Ezen sok szempontot figyelembe véve egy antenna telepítésekor, a valóságban a legtöbb esetben, csak kompromisszum kötésével valósítható meg a legmegfelelőbb megoldás.

Az antennák osztályozásakor üzemi frekvencia szerint elkülönítünk mikro-, ultrarövid-, rövid-, közép- és hosszúhullámú antennákat, sávszélesség szerint kategorizálva normál és szélessávúakat. A későbbiekben, a rádiófrekvenciás spektrum felosztásának elemzésekor sort kerítünk konkrét típusok megnevezésére. A használatba vételkor előre megfontoltan kell dönteni

⁴ Rádiócsatorna: *“Közeg, amely az adó és vevőantenna között terjedő rádióhullámok fontosabb tulajdonságait meghatározza”*[6]

az alkalmazott méretről, hiszen befolyásolja az iránykarakterisztikát, az érzékenységet a tér különböző irányába. Katonai alkalmazáskor fontos széles frekvenciasáv kihasználásával dolgozni, ami magával hordozza a problémát, hogy nem optimális egyetlen antenna használata. Ennek orvoslására hangoló elemeket applikálnak a kiválasztott antennák mellé, a leghatékonyabb adás és vétel elérése érdekében. Mint említettem, fontos paraméterük az irányítottság, ami a hullámok terjedését írja le a tér különböző irányában. Vannak a körsugárzók, melyek a kisugárzott energiát egyenletesen, minden irányba továbbítják, illetve többek között a túsugárzó, legyező sugárzó, és koszekáns négyzet iránykarakterisztikát megvalósítók, amik egységesen az irányított antennák csoportjába sorolandók. Nagy előny származhat az irányítottságból, hiszen az energia egy irányba koncentrálódik. Az irányítottság egyetlen számmal is leírható, ez a irányhatás. *“Ez a főirányban kisugárzott teljesítménysűrűség és az azonos teljesítményt kisugárzó izotróp antenna teljesítménysűrűségének hányadosa.”*[6]

2.1.1. Elektromágneses hullámok felosztása [3] [6] [12]

A rádióhullámok ember általi felhasználásának története 1887-ben kezdődött, mikor Heinrich Hertznek sikerült először mesterségesen előállított rádióhullámokat gerjesztenie, Maxwell néhány évvel azelőtti tézisét tovább erősítve, miszerint elektromágneses hullámok léteznek. A Hertz által létrehozott elektromos rezgés 300 milliós rezgésszámmal rendelkezett. Néhány évre rá, 1896-ban Alekszandr Sztjepanovics Popov orosz fizikus pedig már az első rádiótávíratot is célba juttatta.

Az elektromágneses spektrumon belül a rádióhullámok frekvenciájukat tekintve közel zérustól 300 000 000 000 Hz -ig terjednek. A következőkben tételesen felsorolásra kerülnek a Nemzetközi Távközlési Egyesület (ITU⁵) által kialakított frekvenciasávok tartományai, valamint azok jellemzői.

IHH: Mint igen hosszú hullámok (3-30 kHz), vagy angolul Very Low Frequency.

Ebben a frekvenciasávban főleg felületi hullámok jönnek létre, amik óriási távolságokat képesek bejárni. Visszaverődnek az ionoszféra alsó rétegéről, akár többször is, ami energiavesztéssel jár. Terjedési tulajdonságaik miatt azonban elsődlegesen a vízalatti, illetve a víz alatti – víz felszíni összeköttetéseknel alkalmazzuk, ugyanis a fizikai térben az ultrahangok is ebbe a tartományba esnek, és a természeti világból merített minták alapján, optimálisan

⁵ International Telecommunication Union

alkalmazható a tengeralattjáró, vagy a bűvárkommunikáció területén. Minél többször történik meg, annál nagyobb energiaveszteséggel jár.

Gyenge hatásfok a jellemző, alacsony adatátviteli sebességgel.

HH: Mint hosszú hullámok (30-300 kHz), vagy angolul Low Frequency.

A hosszú hullámokat már a földfelszíni összeköttetéseknel alkalmazzuk, jellemzően nagy hatótávolságoknál, ahol a felületi hullámterjedés előnyeit kívánjuk kihasználni alacsony adatátviteli ráta mellett.

A kis frekvenciához készített antennáknál még szintén nem elég nagy a hatásfok, annak ellenére sem, hogy megbízható összeköttetések hozhatók létre velük. Figyelemre méltó a hatótávolság csökkenése.

KH: Mint középhullámok (300-3000 kHz), vagy angolul Medium Frequency.

A rádió navigációban és a műsorszórásban fontos szerep jutott a középhullámoknak. Magasabb frekvenciákhoz, már félhullámhosszúságú antennatornyok építhetők, ezáltal a hatásfok javul az alacsonyabb frekvenciasávokhoz képest. A Föld felszíne és egyéb nagy tereptárgyak reflexiót okozhatnak.

RH: Mint rövid hullámok (3-30 MHz), vagy angolul High Frequency.

A felületi hullámok terjedése leromlik. A frekvenciasáv igazi előnye a felerősödő térhullámokban rejlik, segítségükkel könnyen áthidalhatók közepes és relatíve nagy távolságok is, ami konkretizálva 500 km-nél nagyobb kapcsolat teremtést tesz lehetővé.. Jelentős jelenség azonban a fading⁶. Antennatípusok közül a dipól és haladóhullámú rendszerek a jellemzők.

URH: Mint ultrarövid hullámok (30-300 MHz), vagy angolul Very High Frequency.

A hétköznapi életben nagyon gyakran használt frekvenciasáv. Kedvező sáv szélességgel rendelkezik, így alkalmas műsorszórásra, légiforgalmi szolgáltatások esetében kommunikációra, vagy navigációra is. A hullámterjedésre a közvetlen eljutási mód a jellemző, alapjában véve egyenes mentén terjednek, de esetenként kihasználásra kerül a terep által befolyásolt reflexió is. Az adó és vevő kifogástalan egymásra látása érdekében, a lehető legmagasabbra szerelik fel az antennákat. A néhány méteres hullámok adására-vételére a Yagi vagy Helix antennákat használják.

DMH: Mint deciméteres hullámok (300-3000 MHz), vagy angolul Ultra High Frequency.

A terjedést az ionoszféra nem befolyásolja, azonban a troposzféra annál jobban. A Troposzférában játszódik le a meteorológiai folyamatok legnagyobb része, ami a hullámterjedésre is hatást gyakorol. Az esőcseppek, főleg a magasabb frekvenciák esetén

⁶“Hullámnyaláb kisebb-nagyobb részének defókuszolása vagy irányváltása idézi elő.” [12] Visszaverődések esetén (akár az ionoszféráról, vagy a Föld felszínéről), összetalálkozásuk során gyengítik egymást.

jelentős csillapítást okozhatnak, de a terep (nagyobb hegyek, épületek) is lehet kedvezőtlen hatással. Az igen kicsi hullámhossz befogása már nem igényel óriási antennákat, ami lehetővé teszi eme frekvenciasáv különböző, szárazföldről nagy távolságra eltávolodásra képes közlekedési eszközökön a használatukat. A kisméretű antennák további előnye, hogy erősen fókuszált lehet az irányítottságuk, ezáltal energiahatékony üzemelést tesznek lehetővé.

CMH: Mint centiméteres hullámok (3-30 GHz), vagy angolul Super High Frequency.

A csapadékok befolyása még inkább hátrányos kommunikáció létesítés szempontjából, azonban a repülőgépek fedélzeti meteorológia radarjai pont ezt használják ki. A kibocsátott hullámok visszaverődnek a jégről, sőt már a nagyobb vízcseppekről is. A frekvenciasáv kiszolgálására forgásparaboloid és tölcser antennákat használnak, többnyire fix telepítéssel.

MMH: Mint milliméteres hullámok (30-300 GHz), vagy angolul Extremely High Frequency.

A hullámterjedésben nem csak az időjárási tényezők, hanem már épületek falai is korlátokat jelenthetnek. A földi kommunikációban legkevésbé használatos frekvenciasáv, inkább az űrkutatás során alkalmazzák, ahol nem tényező az atmoszféra csillapítása. Adátáviteli sebessége kiemelkedően jó, elméleti síkon teljesíthető az 1 Gbit/s átviteli sebesség is.

Frekvenciasáv *	Frekvenciák	Hullámhossz	Civil repülésben hol hasznosul
Igen hosszú hullám (VLF)	3 - 30 kHz	100 - 10 km	-
Hosszúhullám (LF)	30 - 300 kHz	10 - 1 km	NDB/ADF
Középhullám (MF)	300 - 3000 kHz	1000 - 100 m	NDB/ADF , nagy távolságú kommunikáció
Rövidhullám (HF)	3 - 30 MHz	100 - 10 m	Nagy távolságú kommunikáció
Ultrarövidhullám (VHF)	30 - 300 MHz	10 - 1 m	Rövid távolságú kommunikáció, VDF, VOR, ILS LOC,
Deciméteres hullám (UHF)	300 - 3000 MHz	100 - 10 cm	ILS GP, DME, SSR, Műholdas kommunikáció, Nagy hatótávolságú radarok
Centiméteres hullám (SHF)	3 - 30 GHz	10 - 1 cm	RADALT, AWR, MLS, Rövid hatótávolságú radarok
Milliméteres hullám (EHF)	30 - 300 GHz	10 - 1 mm	-

1. ábra: A rádiófrekvenciák tartományai

[3]-as forrás alapján, saját szerkesztés

*: Zárójelben az angol rövidítések

NDB: Non-directional Beacon - körsugárzó rádióirányadó; **ADF:** Automatic Direction Finder - Automatikus Rádióiránytű; **VDF:** VHF Direction Finder - URH (Ultra rövid hullámú) rádió-iránymérő; **VOR:** VHF Omnidirectional Range - URH tartományú körsugárzó rádióirányadó;

ILS: Instrument Landing System - Műszeres Leszállító Rendszer, **LOC:** Localizer - Iránysávadó; **GP:** Glide Path - Siklópályaadó; **DME:** Distance Measuring Equipment - Távolságmérő berendezés(ferdetávolságot mér); **SSR:** Secondary Surveillance Radar - Másodlagos Radarrendszer; **RADALT:** Radio Altimeter - Rádió Magasságmérő; **AWR:** Airborne Weather Radar - Fedélzeti Időjárás Radar; **MLS:** Microwave Landing System - Mikrohullámú Leszállító Rendszer

Rövidítések forrása: [https://www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/Palik%20M%C3%A1ty%C3%A1s%20\(szerk.\).pdf](https://www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/Palik%20M%C3%A1ty%C3%A1s%20(szerk.).pdf) (Letöltve:2022.10.03.) [9]
<https://www.easa.europa.eu/en/downloads/9700/hu> [10]

2.2 A mobilhálózatok generációinak fejlődési szakaszai [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34]

Napjaink természetes velejárója, hogy mobiltelefonjainkkal tartjuk a kapcsolatot hozzátartozóinkkal, barátainkkal, vagy a munkahelyünkől kifolyólag megkeresni kívánt személyekkel, szinte bárhol, bármikor. Ezekkel az eszközökkel pillanatok alatt beszéd alapú összeköttetést létesíthetünk, azonban napjainkban egyre jobban előtérbe kerül az adatkommunikáció a beszédkommunikációval szemben. Szövegek, képek, videók, nagy terjedelmű fájlok, nem számít, pillanatok alatt a világ egy másik pontján landolhatnak. Észrevétlenül továbbítódnak a kiépített óriási hálózaton, illetve hálózatokon keresztül. Az elmúlt közel száz évben komoly fejlődésen ment keresztül a vezeték nélküli hírközlés. Az információátvitel elektromágneses hullámok segítségével már a XIX. század végére megvalósult, de a mobilkommunikáció forradalmi újításait csak a XX. század második felétől élvezhették az emberek. Az első generációs rendszerek előtt, már 1946-ban (az USA-ban) elkezdtek analóg (Folyamatos jeltovábbítás, például amplitúdó, vagy fázis modulációval) rendszereket telepíteni, amelyek kicsit több mint 30 év múlva formálódtak csak át. A mobiltelefonok elődjei legfőképpen autókban voltak megtalálhatók. Az adó és a vevő elég nagy helyet foglalva a jármű hátuljában, az akkumulátor az elejében, az antenna a tetőn, a készülék pedig a mai gépjárművek műszerfalnak nevezett részébe voltak beépítve, könnyen elérhető

helyen. A rendszer elég kezdetlegesen működött, kevés csatornával, ráadásul azok nem voltak hangolhatók és könnyen lehallgathatóak is voltak. Példának okáért, a németországi B-Netz rendszeren először 38, majd 78 beszédcsatorna volt elérhető. Természetesen az idő folyamán, a B-Netz 1985-ös fennállásáig többször is fejlesztésre és kibővítésre került a hálózat, implementálva lett Ausztriában, Hollandiában és Luxemburgban is. Lecserélésének idején már 27 000 előfizetővel rendelkezett, ami túlszűfoltásgot eredményezett a csatornákon, meglehetősen nehéz volt rendeltetésszerűen használni. A közvetlen kapcsolású távhívások legnagyobb hátránya a bázisállomások⁷ között nem megoldott átadás hiánya volt. A hívások véget értek, amint az eredeti bázisállomás és a készülék között megszűnt a kapcsolat. Pozitívként felhozható, hogy a három országban is alkalmazott infrastruktúrán működött a roaming, azaz a magyarul barangolásnak hívott funkció, miszerint az eszközünkkel külföldön vesszük igénybe a mobilszolgáltatást. A B-Netz működésével egyidőben fogant meg az amerikaiak fejében a celluláris mobilhálózati struktúra kialakítása, mely végülis az 1G⁸ rendszerek újdonsága lett.

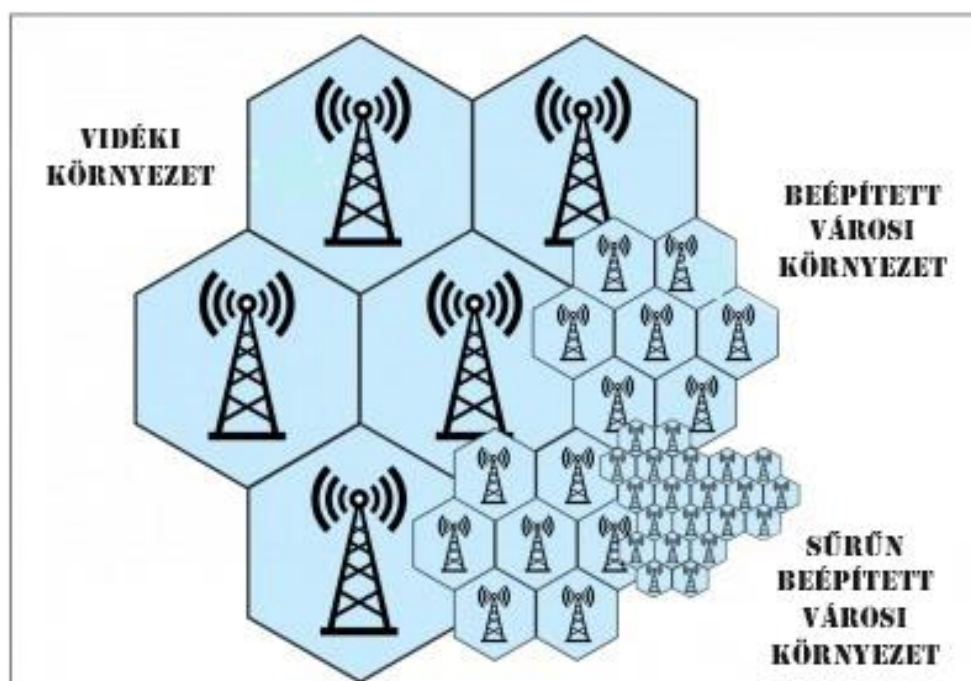
Az első generációra megalkotásának idején nem első generációként hivatkoztak, az elnevezés csak a második generáció létrejötte után ragadt rá. A kezdetleges nemzedék elavulttá válása után, 1979 és 1983 közötti időszakban debütáltak az új készülékek, teljesen új alapokra épített hálózati praktikákkal. A cellás struktúra, ami a soron következő generációk alapját is képezi⁹, felosztott területekben valósul meg, mindegyik egy központi rádióállomással a közepén, képzeletbeli méhsejt formát lefedve. A következő ábrán is látható hatszögön belül ez az állomás tartja a kapcsolatot minden egyes mozgó előfizetővel. A bázisállomáson elhelyezett antenna által kibocsátott hullámok térerőssége határozza meg a cella valós határait, nyilvánvalóan függve a használt frekvenciától, az adó teljesítményétől, és a környéket meghatározó tereptárgyaktól. Az állomáson található adó-vevő berendezés kimenő teljesítménye néhány tíz watt. A rádiótelefon-szolgáltatás csak akkor képes az előfizetők által kért feladatokat kiszolgálni, amennyiben mozgás közben is képesek hívást fogadni, vagy kezdeményezni. Ennek a teljesüléséhez maximális lefedettség biztosítása szükséges, ami a leghatékonyabban a szektorsugárzók körkörös elhelyezésével érhető el, lefedve ezzel a bázisállomás körüli területet. Minden cellán belüli adó csak egy részletét fedi le az elérhető rádióspektrumnak, de abszolút pozitívum, hogy a cellát elhagyva, az éppen használt csatorna

⁷ Mobiltelefon rendszer egyik alkotóeleme (összességében: készülék, bázisállomás, kapcsolóközpont), valamint ahová az indított hívások beérkeznek, és ahonnan a fogadottak továbbítódnak

⁸ G, mint generáció

⁹ Jelenleg, 2022.10.17-én, a Cellavadász Openstreetmap-en 39010 db cella található

ismét szabaddá válik, ezáltal ismét hasznosíthatóvá lesz. Indokolt lépés, hiszen a szűk frekvenciasávok miatt amúgy sem jut minden kapcsolatteremtéshez külön csatorna. Ezt a lehetőséget megteremtve azonban sokkal több ügyfél szimultán csatlakozása válik megoldottá, a teljes szolgáltatást nézve.



2. ábra: Lefedettség biztosítása a cellás hálózatokban, bázisállomások sokaságával

Forrás: [21] alapján, saját fordítással

Az első generációs rendszerek még analóg rendszerek voltak. Japánban, ahol 1979-ben kezdték el kiépíteni a hálózatot, éveken belül egyedülálló módon, a világon először az ország teljes lefedettségét ért el. Az európai és észak-amerikai államok csak a 80-as években zárkóztak fel, számos szolgáltatás és azok szövetségei jöttek létre. Japánban a 800 MHz-es, míg Európában a 450 és 900 MHz-es frekvenciasáv használata terjedt el, mindkét helyen 25 kHz-es csatornákkal, frekvenciamodulációval, immár támogatva a cellák közötti zavartalan átjárást hívás közben is (*handoff*). A beszédátvitel elég gyenge minőséget képviselt, a maximális sávszélesség 2,4 Kbps volt. A nagy, 30-50 km átmérőjű cellák kiszolgálása, valamint a készülékek esetében az antenna működtetése, az alacsony frekvenciák miatt sok energiát emésztett fel. Manapság már óriásinak számító akkumulátorok beépítésével sem volt orvosolható a probléma. További hátrányos tulajdonságként megállapítható, hogy egyelőre nem volt adott a SIM kártyák használata, minden egyes hívószám egy konkrét telefont képviselt, ráadásul a roaming szolgáltatás is elérhetetlen volt.

A 80-as évek végére nyilvánvalóvá vált, hogy idejétmúlt az analóg technológia. Az integrált áramkörök megjelenése nem csak lehetővé tette a digitális technológia bevezetését, hanem egyúttal gazdaságos üzemeltetést is eredményezett. A második generáció egy teljesen más rendszer felépülését hozta magával, ami azóta bizonyítottan nagy mérföldkőnek számított. A világon először egy európai szabvány készült el, 1991-ben Finnországban. A különféle forráskód technikák alkalmazásával óriási távlatok nyíltak meg, csökkent a hang továbbításakor a sávszélességre való igény, mindezt a hangzásvilág minőségi javulása mellett. Megjelentek az SMS¹⁰ és MMS¹¹ szolgáltatások, s ezek mind titkosítottan kerültek átvitelre, valamint a rendszer biztosította az internethálózathoz történő csatlakozás lehetőségét, noha elég lassú le- és feltöltési sebesség mellett. A cellák közötti mozgó előfizető átadás is tökéletesedett. A készülék segítségével a hálózat jelerősségre vonatkozó információkat kért, ami alapján döntés születhetett a *handover*¹² megfelelő időpontjáról. Túlterhelt szomszédos cella, és továbbra is kielégítő térerősség mellett, a hálózat később léptette át a hozzánk közelebb elhelyezkedő bázisállomáshoz. Lehetővé vált a roaming, ráadásul, ha más szolgáltató hálózatához szerettünk volna kapcsolódni, a SIM¹³ kártyák megjelenésével már az eszközünk sem kellett lecserélni. Ez a kártya is az integrált áramkörök világra jöttével valósulhatott meg. Különböző azonosítókat raktároz, egyedi számsorok formájában teszi a vele használt telefont nemzetközileg is egyedivé. Az 2G adatátviteli sebességei számottevően nőttek, a generációkon belüli generációk a 30 kbps-tól egész a 135 kbps-os letöltési sebességig gyorsították a folyamatokat. A felhasznált frekvenciasávok sávszélessége 30-200 KHz között változott, aminek -és az analóg alkatrészek nélkülözése miatt- köszönhetően újtára indultak a miniatürizációs folyamatok, amik sokkal kisebb mobiltelefon készülékekben realizálódtak.

A generáción belül három technológia bontakozott ki, ebből az első, az FDMA¹⁴, ami minden hívást külön frekvencián kezelt, valamint a két meghatározóbb a TDMA és a CDMA. TDMA mint *Time Division Multiplexing Access*, azaz az *Időosztásos többszörös hozzáférés*, ami párhuzamosan több felhasználónak tette elérhetővé ugyanazt a csatornát, differenciált időszelletekben. A szeletek szétosztása történhetett egyforma hosszúságot biztosítva (statikus), de akár a felhasználó adatforgalmi igényeire szabva is (dinamikus). Ezzel szemben a CDMA (*Code Division Multiple Access*), a *kódosztásos többszörös hozzáférés*, olyan hozzáférési megoldás, amikor időszelletek és frekvenciaosztás nélkül zajlott le egyszerre több felhasználó

¹⁰ SMS: Short Message Service -Rövidüzenet szolgáltatás

¹¹ MMS: Multimedia Messaging Service - Multimédiás Üzenetküldési Szolgáltatás

¹² Cellák közötti átadás

¹³ SIM: Subscriber Identification Module - Előfizetői azonosító modul

¹⁴ FDMA: Frequency division multiple access - frekvenciaosztású többszörös hozzáférési rendszer

kommunikációja. Minden végfelhasználó a híváshoz rendelve kapott kódot, ami a keskenysávú jelet szélessávú, szórt spektrumú jellé alakította. A vevő oldalán a megegyező kód a folyamatot visszafelé végrehajtva tette lehetővé az adás vételét. A technológia a Vietnámi háború alatt került kifejlesztésére, természetesen amerikai felhasználásra, hogy rejtett kommunikációt folytathassanak. Az említett standardok közül kiemelném a TDMA-t, mert a GSM, a *Global System for Mobile communication* egy olyan második generációs mobilhálózat, amely a világon Amerika kivételével a legelterjedtebb (ahol a CDMA technológia a vezető), és időosztásos többszörös hozzáférést biztosít felhasználói számára. Az ETSI¹⁵ által szorgalmazott és jóváhagyott fejlesztés fontos célkitűzése volt, hogy az első generációval ellentétben, ne legyen sokféle technológia a piacon, az operátorok egy közösen elfogadott standard szerint építhessék fel hálózataikat. Magyarországon két frekvenciablokk a használatos, a telefonok képesek mindkét sávban üzemelni, sőt, akár a beszélgetés végbementé alatti sávváltásra is. A 900 MHz-es tartomány elektromágneses hullámjai kvázi optikai jelleggel terjednek, így megfelelő számú bázisállomás létrehozásával országos lefedettséget lehet általuk generálni. Az 1800 MHz-es tartomány hullámterjedése rosszabb, ellenben kitűnően alkalmazható sok előfizetővel rendelkező, de kis alapterületű helyeken. Napjainkban, az ötödik generáció kiépítésével szimultán konstruálnak még mindig GSM, azaz második generációs hálózatokat. A GSM-R a vasút specifikus GSM hálózata, a szakma kommunikációs igényeinek kielégítésére. Európa legtöbb országában, a nagyobb forgalmú vasútvonalakon üzemben van az infrastruktúra.

A második generációnak két ráncfelvarrása is készült. Az első fejlesztés a GPRS (*General Packet Radio Service*), mint csomagkapcsolt IP¹⁶ adatátvitelen alapuló rádiós szolgáltatás. A technológia a GPRS mobiltelefonok között megosztja a szabad csatornákat, annak érdekében, hogy a folyamatos összeköttetést nem igénylő applikációk felhasználhassák. Ilyen például a webböngészés, amikor az adatok le vagy feltöltésekor egy nagyobb fájl kisebb csomagokba történő rendszerezése, majd azok szeparált továbbítása történik. A fájlok között minden csomagban megtalálható az úgynevezett *packet header*, ami számos információt tartalmaz, az üzenet által bejárt útvonalra vonatkozólag. Meghatározza a továbbítandó adathalmaz helyét, ahonnan útba indították, valamint a csomagok sorrendjében elfoglalt helyét, ez hatékonyabb és gyorsabb transzfert eredményez. A némileg bonyolultabb hálózatért javuló sáv szélességet élvezhetnek az előfizetők, valamint a perc alapú kifizetések helyett, ami sokszor a készenlétben állásért is pénzbe került, a forgalmazott adatért kellett csak téríteni.

¹⁵ European Telecommunications Standards Institute - Európai Távközlési Szabványosítási Intézet

¹⁶ Internet Protokoll - Az internetre csatlakoztatott eszközök kommunikációs módja. A protokoll a küldött üzenetek tulajdonságait szabályozza.

A második megújítása a 2G-nek az EDGE-el¹⁷ érkezett el 2003-ban, mely a GSM és GPRS hálózatok feljavításaként a 2.75. generációnak is neveznek. Napjainkban, a negyedik és ötödik generációs hálózatok által még nem fedett területeken, például ritkábban lakott települések között, frekvenciált helyektől távol, sokszor belefuthatunk telefonjainkon a térrősség állapotjelzője mellett kijelzett E betűbe. Ez nem mást jelent, minthogy eszközeink a még működtetett második generációs EDGE hálózatra csatlakoznak. A GPRS-hez képest más modulációs eljárást használnak, aminek eredményeképpen növelt adatsebességet élvezhetünk, melynek felső határa 135 kbps. A felhasználó és a bázisállomás között, a megelőző GSM generációkhoz képest, háromszor annyi jelet tud továbbítani. Ez a sávszélesség sajnos még mindig nem volt elegendő nagyobb méretű fájlok küldésére vagy fogadására, mint amilyen egy videó. A csomagkapcsolt hálózat mellett alkalmaz vonalkapcsolt technológiát, egyfajta vésztartaléknak.

Kereskedelmi hasznosítását megelőzően három évvel korábban, már 1998-ban üzembe állt az újabb szabványokat és technológiát meghatározó harmadik generáció. A szakembereknek kinyilvánított célja volt, hogy a világon egységes szabvány által szülessen meg a következő standard. Azonban Amerika, valamint Európa Japánnal ismét külön utakat járt. Az USA elterjedt irányelve a CDMA2000¹⁸, az európai oldalon pedig az UMTS (*Universal Mobile Telecommunications Systems*) technológiája, WCDMA¹⁹ alapokra felépítve vált be. A standardokban nagyon sok a közös vonás, mindegyik az előző generáció innovációit használja. A kódosztásos többszörös hozzáférés módszere effektívebb rádióerőforrás-kiosztást tesz elérhetővé, mint az időosztásos hozzáférés. A különbség a kompatibilitásban rejlik, a helyileg elterjedt, már használatban lévő technológiákhoz igazítva kerültek kifejlesztésre. A hálózat jellegzetessége volt, hogy az előfizetők számának, valamint a felhasznált adatmennyiség függvényében nem állandó egy cella mérete, "lélegzik". Ha jelentős a csatlakozott eszközök száma, és leterhelten működik a hálózat, kisebb alapterületűvé zsugorodik. Emellé, a jelterjedés a magasabb frekvenciák miatt alapjában véve sűrűbb hálózatot igényel.

A harmadik generáció gyökeresen megváltoztatta az előfizetők mobiltelefon-használati szokásait. A 2G újdonságaként megjelent internetelés népszerű funkcióként terjedt az emberek között, ezáltal visszaszorult a beszédforgalom, ugyanakkor rohamosan elkezdett nőni és dominálni az adatforgalom. Az adatátviteli sebesség, és a csomagkapcsolt kommunikáció fejlődése egészen 2 Mbps letöltési sebességet tett lehetővé, amivel felgyorsult az internet

¹⁷ EDGE: *Enhanced Data rates for GSM Evolution*

¹⁸ Harmadik generáció fejlesztése, kódosztásos többszörös hozzáférés

¹⁹ Szélessávú kódosztásos többszörös hozzáférésű rendszer - Wideband Code Division Multiple Access

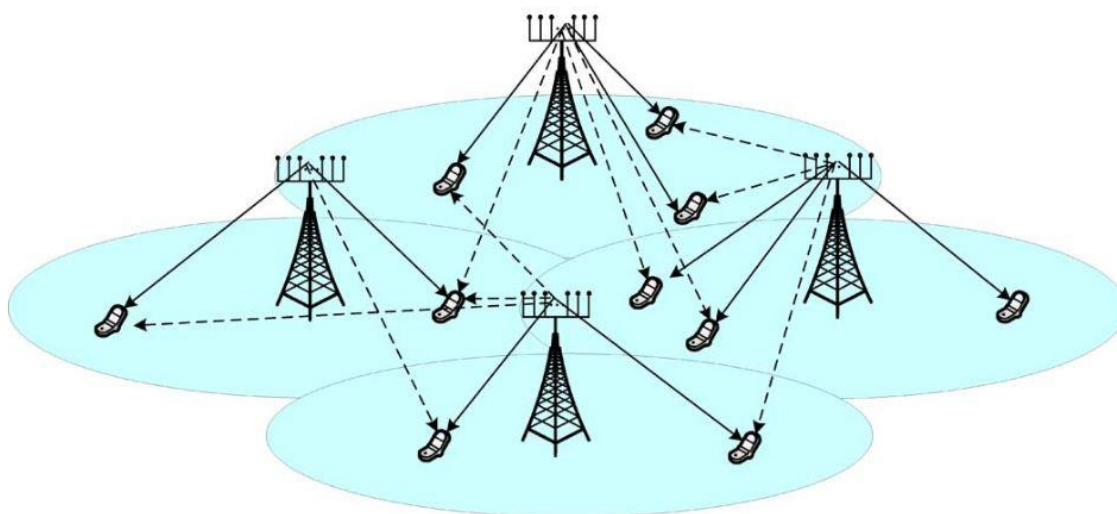
böngészése, a videók átvitele és streamelése²⁰, mindamellett, hogy a kapcsolatteremtés is biztonságosabbá vált. A mobil adatforgalom megoszthatóvá vált más, a környezetünkben tartózkodó telefonok, vagy vezeték nélküli internetelérést támogató számítógépek számára. Ilyenkor a megosztó készülék internet-hozzáférési pontként jelenik meg, akár csak egy Wi-Fi²¹ hálózat. A 3G hibrid megoldásként alkalmazta a vonalkapcsolást a beszélgetésekhez, és a csomagkapcsolást az internetezéshez.

Akár csak a második generációs hálózatok esetén, a harmadik generációnak kibővített variációi is kerültek kifejlesztésre, újdonságnak számító technikákkal együtt. A telefonjainkban H és H+-t jelképező HSPA és HSPA+, (mint *High Speed Packet Access*), vagy 3.5 és 3.75G tovább modernizált verziói a GSM standardoknak. Az elméleti letöltés és feltöltés sebessége egészen rohamosan nőtt, immár elérhetővé váltak a több mint 20 Mbps-os értékek, mert az előző hálózatokkal szemben, immár nem egy frekvenciára, illetve annak közvetlen közelében fókuszálódik az adó teljesítménye, hanem egy nagyobb sávban szétterülve (5MHz). Megjelent a MIMO metódus, ami a későbbi generációk, és egyéb vezeték nélküli hálózati kommunikációnál alapvetővé válik. A mozaikszó jelentése *Multiple input, multiple output*, magyarul többszörös adó- és vevőantenna rendszer. Kezdetlegesen csak a bázisállomások esetében került három vagy több antenna telepítésre (manapság Massive MIMO esetén akár 100, vagy több is!), és kommunikált egy-egy egyedülálló antennával. A rendszer korszerűsítésével együtt azonban a felhasználói oldalon is az antennák számának növekedését okozta, egy bázisállomás által több egyantennás előfizetőt tekintve (MU-MIMO²²). Az egyidejűleg egyetlen felhasználó kiszolgálása helyett valósággá vált a több felhasználóval történő szimultán kapcsolatlétesítés. Ezáltal jelentős mértékben csökkent a várakozási idő, valamint a hálózatnak, igazodva az internetre csatlakozni képes elektronikus eszközök számának növekedéséhez, nőtt a kapacitása.

²⁰ Streamel: Élőben közvetített videókat, vagy előre felvett tartalmat elérhetővé tesz az internet segítségével. A nézőnek nincs szüksége a fájl letöltésére.

²¹ Vezeték nélküli kommunikációs technológia, "Wireless Fidelity"

²² Multi-user Multiple input, multiple output



3. ábra: MIMO, Többfelhasználós, többszörös be- és kimenetű antennarendszer

Forrás: [28]

Az adatátviteli csatornák együttes igénybevétele redukálta az elektromágneses hullámok visszaverődéséből származó hátrányokat, mint például a jelek irányának megváltozása, vagy azok elgyengülése, lehetővé téve a sávszélesség növekedését. A technológia nagyon hasznos paramétere közé sorolandó a kisugárzott teljesítmény energiahatékony felhasználása. Egy egy antennával rendelkező rendszernél, ugyanolyan kisugárzott teljesítmény mellett az antennák sokasága sokkal nagyobb hatótávval tud üzemelni, vagy ha elegendő a kisebb hatósugár, a felhasznált energia mennyisége csökkenthető. A MIMO-ban rejlő potenciál rendkívül nagy, főleg, ha az ötödik generációs mobilhálózatok nyújtotta paraméterek környezetébe kerül kiépítésre, emiatt munkám során, az 5G rendszereknél további részletezésre kerül sor.

A 3G hálózat 2022 Júniusában két magyarországi szolgáltató által - jelenlegi nevükön *Telekom* és *Yettel* - is lekapcsolásra került. A GSM-nél használatos frekvenciablokkok mellett üzemeltetve voltak magasabb frekvenciák is, de a legújabb trendek szerint a 2G és 4G hálózatok ezeket maradéktalanul pótolják, így a hatékony spektrumkihasználás miatt, a későbbiekben a negyedik és ötödik generáció frekvenciakészletéhez lehet hozzáadni őket. A 4G 2009-ben debütált Norvégiában és Svédországban, azonban szinte teljes lefedettséggel (98%) mégis csak a 2010-es évek végére sikerült kialakítani a hálózatot, Magyarországot illetően.²³ Az idő előrehaladtával, ahogyan a 3G-ben is hangsúlyt kapott, a mobiltelefonokon keresztüli

²³ <https://www.telekom.hu/lakossagi/szolgáltatások/internet/mobilinternet/4g> (Hozzáférés: 2022.10.17.)

internetelérés prioritássá vált. Ez a generációs szabvány az első, amelyik teljesen IP alapú szolgáltatást kínál, azaz az adatátvitel során a beszédváltás, az SMS, MMS szolgáltatás is az interneten keresztül történik, mindez hatalmas minőségbeli fejlődést eredményezve. A kisebb látenciának köszönhetően a HD²⁴ minőségű videók streamelése is elérhetővé vált. Egyik meghatározó technológiája az LTE, a *Long Term Evolution*, ami sávszélességben sokszor többet ígér, mint elődje. Akár 1 Gbps-os elméleti letöltési sebesség is elérhető, de ez csak mozdulatlan felhasználó esetében, a valós, hétköznapiak során is elérhető értékek 100 Mbps környékén mérhetők. Az LTE OFDM²⁵ digitális modulációs eljárást használ (a MIMO koncepciójának adaptálásával), ez az ortogonális frekvenciaosztásos multiplexelést jelenti. *“Az ortogonális frekvenciaosztásos multiplexelés (OFDM) a digitális tartalom több vivőfrekvenciára történő kódolását biztosító megoldás, mely különböző vezetékes, vezeték nélküli és mobil átviteli technológiák részeként széles körben alkalmazott. A csatornát nagyszámú (általában 52 vagy 64), egyenlő osztású, keskeny sávszélességű frekvenciasávra osztják, ezeken pedig egy alvivő továbbítja az átvinni kívánt információ egy meghatározott részét. Az alvivők egymással kölcsönösen ortogonálisak, azaz az egyes alvivők középfrekvenciáján a többi alvivő nulla értéket vesz fel.”* [34] A felhasználó készülékek így nem igényelnek jelentős erőforrást a kapott jelek feldolgozásához, valamint e módszer alkalmazásával csökkenthető az interferencia, védősávok használata nélkül.

A negyedik generáció használata közben számtalan előremutató innováció született, melyek világossá tették, hogy szükséges és időszerű az újabb, ötödik generáció kifejlesztése, elterjesztése. Az autonóm járművek, a kiterjesztett valóság, a Tárgyak Internete (IoT), a hálózatokra csatlakozó, rohamosan növekvő számú eszközök mind-mind indokoltá teszi, ha ki szeretnénk aknázni a bennük rejlő lehetőségeket. Az újabb generáció követelményeinek kidolgozása és szabványosítása a Nemzetközi Távközlési Egyesület és a Harmadik Generációs Partnerségi Projekt (3GPP²⁶) keretein belül valósult meg. A folyamat során körülbelül 600 cég járult hozzá véleményével az eredményhez.

²⁴ High Definition - Nagy felbontású

²⁵ Orthogonal Frequency Division Multiplexing

²⁶ 3rd Generation Partnership Project

3. A TERJESZKEDŐ JELEN

3.1. Az 5G [35] [36] [37] [38] [39] [40] [59]

A negyedik generáció hiányainak kielégítésére az 5G NR (*New Radio*) a hivatott, amely a számítógéphálózatok és a rádiókommunikáció flexibilis adaptálását teszi lehetővé. Jelenleg a felmenő generációkhoz képest kevesebb lefedettségi területtel rendelkezik, de folyamatosan javul ez az arány. A telepítésének jelentős költségei vannak, ami a felhasználók relatíve alacsony száma miatt nem teszi jövedelmezővé az üzemeltetést, egyelőre. A követelményeknek köszönhetően másfajta infrastruktúra kialakítása szükségeltetik, ezért a költséghatékony átmenet biztosítására átmeneti megoldásokat biztosítanak. Ez a gyakorlatban azt a metódust takarja, miszerint olyan eszközök kerülnek telepítésre, melyek képesek negyedik és ötödik generációs szolgáltatást nyújtani, ellenben jelenleg csak a régebbi szabvány követelményeit teljesítik, az újabbhoz szoftverfrissítés szükséges. Ez az NSA, azaz a Non-Standalone architektúra, amely lehetőség szerinti legjobb kiaknázásában a DSS²⁷, a dinamikus spektrummegosztás²⁸ jelent megoldást. Bonyodalmat okoz a telített frekvenciaspektrum, mert tulajdonságaikat tekintve, a mai technikai feltételek mellett, az optimálisak már használatban vannak. A megoldás a mikrohullámok magasabb frekvenciáinak igénybevétele, de ez egyelőre kihívásokat jelent a kivitelezés során. Folytatólag, az NSA típusú hálózatok meg sem közelítik az SA, azaz Standalone architektúrájú hálózatok üzemelési tulajdonságait, ahol már a maghálózat is az újabb technológián alapszik. Az új rádiós interfész követelményei toronymagasan meghaladják az LTE technológiában alkalmazottakat, valamint a vizionált felhasználósűrűség, és a kritikus infrastruktúránál óriási távlatokat nyitó alacsony késleltetés szükségessége miatt, az illetékes szervezetek ezekre optimalizálva alkották meg a követelményeket. A főbb ismertetői a generációnak a 100 Mbps és 1000 Mbps közötti letöltési sebesség, míg a feltöltés pedig az 50 és 500 Mbps közötti tartományon kell stabilan működjön. Az 5G, 450 MHz és 6 GHz közötti, mobilkommunikációra használt sávjaiban a célzott sáv szélesség 100 MHz-ig bővül. Kiemelt figyelmet élveznek a mobilitással kapcsolatos tulajdonságok. Mozgásban lévő felhasználók esetében a fel- és letöltési sebességek, valamint az 1 ms-os²⁹ késleltetési idő tartását egészen 500 km/h-ás haladásig hivatott garantálni. A generáció egy további nagy innovációja a numerológia, az alvivők közötti távolság

²⁷ Dynamic Spectrum Sharing

²⁸ Két különféle technológia megegyező frekvenciasávban történő szolgáltatása

²⁹ Milliszekundum, a másodperc 1/1000-es része

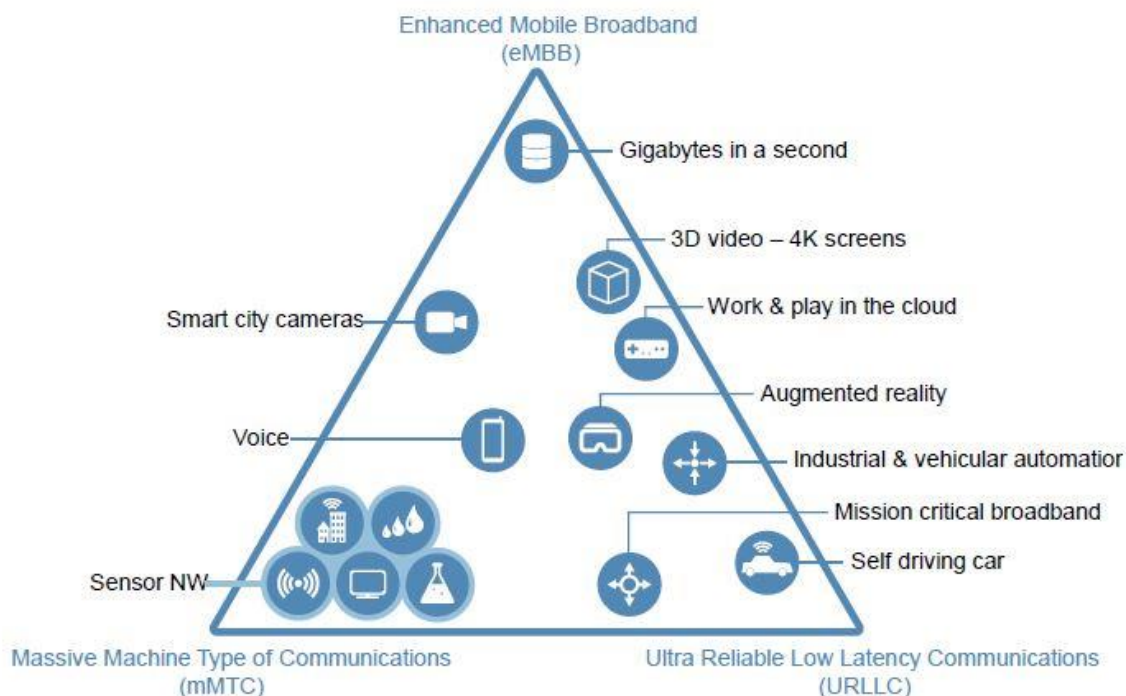
skalázhatóságát jelenti, ami pedig az OFDM szimbólumokat változtathatja. Fontos megjegyezni, hogy a követelmények, a korábban megszokott gondolkodásmód, a “one-size-fits-all³⁰” szerint, jelenleg nem valósíthatók meg egyidejűleg, ezért a szabványok meghatározásakor 3 irányvonalat, követelménytípust állapítottak meg. Ezek a “Továbbfejlesztett mobil szélessáv”(xMBB³¹/eMBB), a “Ultra-megbízható alacsony késleltetésű kommunikáció”(uMTC³²/URLLC), illetve a “Kiterjedt gépi kommunikáció”(mMTC³³). Az xMBB lényege a növekvő eszközpark, és a felhasználók igényeinek kiszolgálása szélessávval, nagy lefedettséggel és a streamelésnél igencsak javuló felhasználói élményt jelentő alacsony késleltetéssel. A megnövelt spektrumhatékonyság adatátviteli és jelfeldolgozási eljárásokkal (*overhead signalling*) optimalizálásával történik. Az alacsony késleltetésre az uMTC is nagy hangsúlyt helyez, hiszen ipari felhasználáskor és kritikus infrastruktúrák esetében számtalan olyan eset van, mikor az azonnal rendelkezésre álló információ és a rendszer megbízhatósága elsőbbséget élvez, például a nagy lefedettséggel és a sok felhasználó szimultán kiszolgálása ellenében. Alapvető eszközei közé tartozik a diverzitás (idő, térbeli, frekvencia), az adatok replikációja, a retranszmisszió és a gyorsítótárazás. A harmadik típusú szolgáltatás, az mMTC, akár a milliós nagyságrendben csatlakoztatott eszközök (IoT) kommunikációinak hatékony lebonyolítására fókuszál, az energiahatékonyság megtartásával. A következő ábra átláthatóan ábrázolja a 5G új képességeinek irányait, a 3 irányvonal szerint. [59]

³⁰ 1 karakterisztika használata, minden alkalmazási lehetőséget lefedve képes működni

³¹ Extreme Mobile BroadBand

³² Ultra-reliable Machine-Type Communication

³³ Massive Machine-Type Communication



5. ábra: Az 5G új képességeinek kategorizálása

Forrás: [59]

A hálózatot rugalmas felhasználásra találták ki, az elektromágneses spektrum kimondottan nagy szeletét fogja át a tervezett intervallum, egészen 400 MHz-től 24 GHz-es frekvenciáig szeretnének alkalmazni frekvenciasávokat. Csoportosításuk alkalmazhatóság szerint is történhet, így a legalacsonyabb, 3 GHz alatti tartomány a beltéri, nagy területű, uplink forgalom biztosítása érdekében használatos. A középsávon, 24 GHz-ig, városi cellák üzemeltetése, továbbá a negyedik generáció frekvenciáinak kibővítése miatt, míg a legnagyobb és legtöbb újdonságot elhozó, magasabb frekvenciájú mikrohullámú sávok az extrém adatátviteli igények miatt jöttek létre. Magyarországon a 700 MHz-es, a 2100 MHz-es, és a 3600 MHz-es frekvenciák kerültek megvásárlásra 3 aktív mobilszolgáltató által, 2035-ös lejárat dátummal. A sokkal rövidebb hullámhosszú sávok a mobilkommunikációban egyelőre kiaknázatlanok. De miért pont a mikrohullámokban rejlik a jövő? A milliméteres hullámhossz tartománya 30 és 300 GHz között helyezkedik el az elektromágneses spektrumon belül. Ahogyan a bevezető-ismertető részben is említettem, ezek a hullámok fizikai tulajdonságaikból adódóan kihívásokat is jelentenek a rádiókommunikációban. A légkörben található anyagok, különösen a vízgőz és az oxigén, a hullámok útjába kerülő akadályok, legyen szó szimplán fák lombkoronájáról, vagy egyéb tárgyak okozta diffrakcióról, számottevő csillapítást eredményeznek. Az 5G hálózatok megvalósításában mégis vitathatatlan szerepet játszanak. A hullámhossz rövidülésével növekszik az adatátviteli sebesség, ami a még szélsőségesnek

számító követelmények kielégítésében elengedhetetlen. Napjainkban nem állnak rendelkezésre olyan félvezetők a tömegpiac számára, melyek a megközelítőleg 100 GHz feletti kommunikációra használhatók lennének, be kell érni 10 GHz környékével. [37] A frekvencia növekedésével a hálózatok sűrűn telepített csomópontokból fognak állni, főleg a nagyvárosokban, vagy olyan eseményeken, ahol több tízezer ember tartózkodhat egyszerre. Ezek az ultra-sűrű hálózatok az UDN³⁴-ek, amik a hagyományos celluláris hálózattól a hozzáférési pontok (AP), valamint a bázisállomásokra (BS) csatlakozni tudó előfizetők számában különböznek, amellett, hogy jóval kisebbek is. Egy UDN-ben a tradicionális 3-5 (átlagos méretű várost tekintve, 1 km²-n) bázisállomás helyett akár 1000 is megtalálható, és a nagyon limitált hozzáférés helyett, az aktív felhasználók mennyisége a százszorosára növekedhet. A technika nem csak kültéren, hanem beltéren is kamatoztatható, a sok, rendkívül kicsi cella, a rossz hullámterjedés ellenszere. A frekvenciahasználat nagy nyereségű nyalábformálással és multiantenna rendszerekkel (mMIMO³⁵) kiegészítve, további energiahatékony felhasználást tesz lehetővé. A *beamforming*³⁶ időben és térben is dinamikusan változtatja a sugárzást, noha az antenna helyzete nem változik. Az antennarendszer által kisugárzott jelenergia keskeny iránykarakterisztikával koncentrálódhat az előfizetők irányába, így a korábbi technológiákhoz képest, a sugárzás a felesleges irányokba nem történik meg. Ezzel a módszerrel tulajdonképpen virtuális cellák hozhatók létre. A *massive Multiple Input Multiple Out* olyan antennarendszer, amely igencsak nagyszámú, száz, vagy annál több antennát használ a kommunikációra. Az interferenciát természeténél fogva minimalizálja a cellán belül és a cellák között is, illetve az összpontosított sugárzás, annak csak a szükséges ideig való fennállása. A fókuszálás az antennák által fáziseltolással történik, de a jelek a vevőhöz érkezvén már összefüggő, rendezett formában fedik egymást. További előnyként elmondható, hogy gazdaságos az üzemeltetése, mert nem szükséges bonyolult és drága antennák felszerelése, valamint a nagyszámú rendelkezésre álló adó-vevők miatt ellenállóbb az üzemzavaroknak.

³⁴ Ultra-dense Network

³⁵ massiveMIMO

³⁶ Nyalábformálás

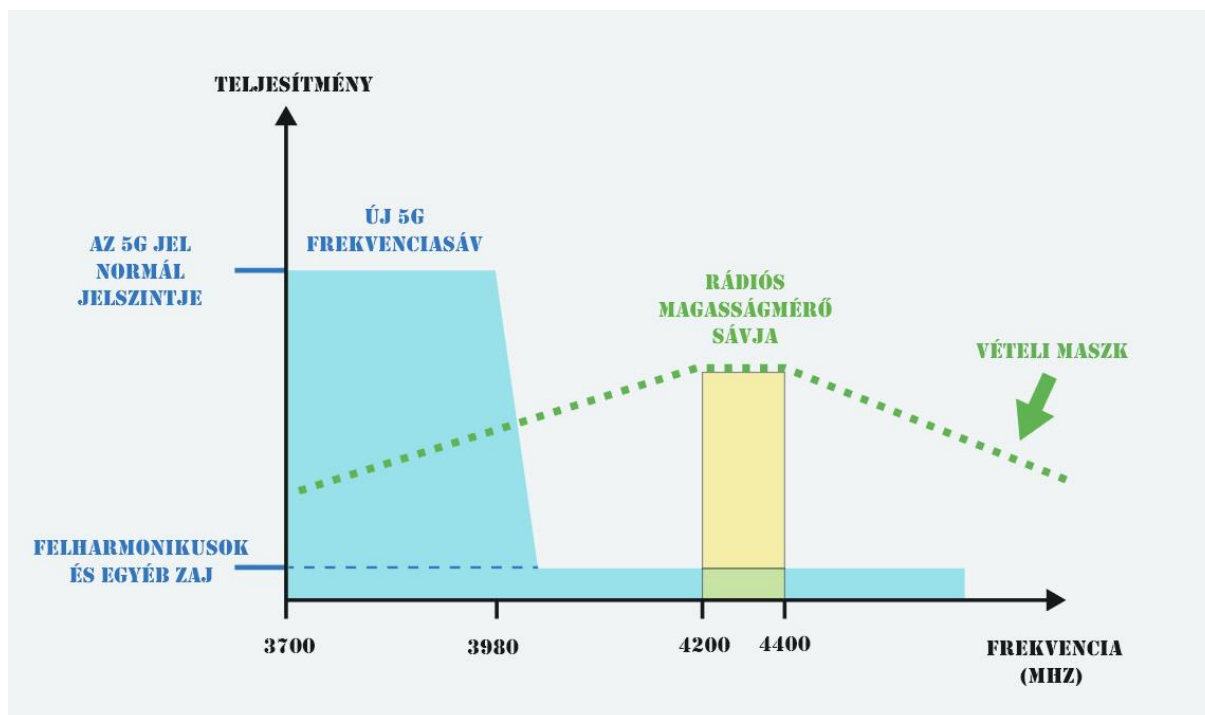
3.2. Az 5G a légiközlekedésben

3.2.1. Potenciális veszély [41] [42] [43] [44] [45] [46]

A repülésnek szánt frekvenciák az elektromágneses spektrumon belül mindig is kiemelt szerepet élveztek, hiszen egy kritikus infrastruktúráról beszélünk, rengeteg ember élete múlik a biztonságos üzemelésen. Elkülönített tartományok vannak a kommunikáció, a navigáció, az elkülönítések, és egyéb, biztonságot szolgáló rendszerek számára. Ha nem lennének dedikált frekvenciasávok, egyszerűen megszűnne a homogenitása a rendszernek, ezáltal sebezhetővé téve azt. Az azonban előfordulhat, hogy két légiközlekedéshez használt rendszer osztozik egy szeparált frekvencián. Ilyen esetekben külön-külön csatornák kialakításával, azok üzembe helyezés előtti alapos vizsgálatával készülnek fel az interferenciamentes működés biztosítására. A rádióspektrumok nemzetközi megállapodások által védve vannak, valamint jóváhagyva a Nemzetközi Távközlési Unió és a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (ICAO³⁷) által is.

Az újabb és újabb technológiák bővítik ugyan a felhasználható tartományokat, többnyire azonban, a fizikai adottságok miatt, a használni kívánt spektrumok már más célokra hasznosítva vannak, így jelentős a megszerzésükért folytatott versengés. A légiközlekedés dedikált frekvenciái kisebb átalakítások mellett változatlanok maradtak, viszont a szomszédos sávok dinamikus változásokon mennek keresztül. A jelenlegi potenciálisan veszélyt okozó az első olyan eset, amikor a repülésre közvetlen veszélyt jelent a kiosztott szomszédos frekvenciák igénybevétele. A 3,4 és 3,98 GHz közötti spektrumot eredetileg ipari alkalmazásra, valamint műholdas kommunikációra tervezték. Az ötödik generáció megérkezéssel kezdtek újrahasznosítani ezt a sávot. Ezekhez, a kihagyott védősáv ellenére is közel helyezkedik el a repülés világában, a Légi Rádió navigációs Szolgálat számára fenntartott sáv. A közelség miatt fennáll a veszélye az interferenciának, ami zavart kelthet a repülőgépek egyes berendezéseiben, ezáltal súlyos repülésbiztonsági kockázatot teremtve.

³⁷ International Civil Aviation Organization



6. ábra: Rádió magasságmérő interferálásának kialakulása

Forrás: [44]-es alapján, saját fordítással.

A műszerek között a leginkább interferenciának kitett eszköz a rádió magasságmérő, aminek üzemi frekvenciája 4,2 és 4,4 GHz között van, és kiemelten az idősebb, fejletlenebb technikákat használó repülők az érintettek. A berendezés, a barometrikus magasságmérőknél sokkal egzaktabb adatokat szolgáltat a pilóták számára. Fontos azonban megjegyezni, hogy *height*, azaz föld feletti magasság meghatározása a feladata, a légnymást monitorozó és az azalján működő műszerek pedig inkább a közepes tengerszintre átszámított légnymás, és a nemzetközi standard légkör értékei alapján jelzik a repülőgép magasságát, ami ritkán egyezik meg. A repüléseknek kritikus fázisai a felszállások és leszállások, valamint katonai alkalmazás esetén az alacsony magasságú repülések, amelyek nagyon sok esetben nem látvarepülési körülmények (VMC³⁸) között történnek, így kulcsfontosságú szerepet játszik a föld feletti magasság. Mitöbb, a legtöbb kereskedelmi légitársaság, körülményektől függetlenül csak műszeres repülési szabályok (IFR³⁹) szerint közlekedtetni a járatait. Ez szinte mindig műszeres indulási és érkezési eljárásokat von maga után, teljesen biztosan pedig a meghatározott időjárási

³⁸ Visual Meteorological Conditions

³⁹ Instrument Flight Rules

minimumok alatt. A RADALT használata egy CAT3/C⁴⁰ ILS bejövethetlennél elengedhetetlen, hiszen ilyen kondícióknál gyakorlatilag láthatatlanná vált a futópálya valamilyen meteorológiai tényező miatt. A végrehajtás közben nincs szükség elhatározási magasságon döntéshozatalra, vagy futópálya menti látástávolságnak limitációjának betartására. Ilyen esetekben, a rádió magasságmérő nem valós eredményei súlyos katasztrófához vezethetnek.

A rádió altiméter pontatlan működése mellett más berendezések, illetve funkciók is befolyásolva lehetnek az 5G bázisállomások hullámainak interferenciája által, közvetlenül a helytelen mérési eredmények miatt. A talaj közelében fals adatokat dolgozhat fel a GPWS⁴¹, a földközelségi riasztó rendszer. Mindkét típusú üzemzavara kockázati tényező, mert egy esetleges hamis riasztás során elvonja a pilóták figyelmét, feleslegesen kezdenek átstartolási manőverbe, ha pedig a kijelzettnél alacsonyabban repülnek már, de nem érkezik figyelmeztetés, az a légijármű lezuhanásához vezethet. Az Automatikus Repülésvezérlő Rendszerben (AFCS⁴²) fellépő üzemzavarok szintén az említett okból kifolyólag kialakulhatnak. A repülőgép a RADALT használatával képes önállóan leszállni⁴³, akár megengedőbb minimumoknál is, mint egy CAT3/C. A folyamat részét képezi a földetérés előtti pillanatokban a kilebegtetés, majd utána a fékezés. A hibásan megválasztott kilebegtetési magasság kemény landolással, a gépet a „földbe vezetve”, vagy túl magasan, áteséssel realizálódik, ráadásul a leszállás utáni gurulásnál az áramlásrontó féklapok és a sugárfordító aktiválódása eredménytelen lehet.

Az Egyesült Államokban a 3,7 – 3,98 GHz-es, Európában a 3,4 – 3,8 GHz-es sávok kerültek kiosztásra az ötödik generációs mobilhálózatok számára, mindkét esetben biztonsági rasztert⁴⁴ hagyva. Továbbá elmondható, az amerikai 180 MHz-el közelebb lévő tartomány mellé, a kisugárzott maximális teljesítmény is magasabb az európaihoz képest. A két faktor együttesen alakította ki a jelenleg is bizonytalan helyzetet. Egyelőre a jelenség nem tekintendő azonnali biztonsági intézkedést igénylő problémának, de a tengerentúli légitársaságok, az 5G hálózatok repülőterek mellől történő kitiltását követelték, valamint Európában is folytatódhatnak a vizsgálatok. Az *Eurocontrol* közzétett egy kiadványt, amiben az általuk azonosított három problémásnak ítélt aspektus szerepel, valamint a feltárt komplikációk mellett, ajánlásokat is megfogalmaz. A szomszédos frekvenciasávok szűrésére még több hangsúlyt kell fektetni, az

⁴⁰ A műszeres leszállító rendszer kategorizálása, futópálya menti látástávolság és elhatározási magasságok alapján,

⁴¹ Ground Proximity Warning system

⁴² Automatic Flight Control System

⁴³ Autoland system

⁴⁴ Használaton kívüli frekvenciatartomány

elérhető legújabb technológiák integrálásával, hogy a mobiltechnológia fellendülése, és a repülés biztonsága is fennmaradjon. A szűrők használata létfontosságú a jeladás- és vétel szempontjából, hiszen a vételi oldal érzékenysége határozza meg, a közvetlen először felhasználható környező frekvenciát. A másik két ajánlás a felhasznált eszközök és frekvenciatartományok felülvizsgálatát javasolja bizonyos időközönként. Ezek azonban jelenleg nem vezet hosszútávú megoldáshoz, hiszen nem áll rendelkezésre a megfelelő helyettesítő berendezés, ami a RADALT összes tulajdonságát fel tudja mutatni, csak éppen másik spektrumban funkcionálva.

Az Integrált Mintarepülőtérén történő repülőgépek, drónok, hálózatba kapcsolt okoseszközök az ötödik generáció standalone architektúrájával működhetnének a leghatékonyabban, de a jelenleg elérhető frekvenciák közül, közös üzemelés esetében megállapítható, hogy a 3600 MHz körüli sávok alkalmazása, az illetékes repülésbiztonságért felelős intézmények, az ügyben tett hivatalos állásfoglalásaik és kiadott ajánlásaiig, nem ajánlott.

3.2.2. Az 5G pozitív aspektusai [46] [47] [48] [49] [50] [51] [52] [53] [54] [55] [56] [57] [58] [59]

Az ötödik generációs mobilhálózatok számtalan innovációnak hagynak teret. Nincs ez másképp egy repülőtér infrastruktúrájában sem. Az Integrált Mintarepülőtér projektje a hagyományos repülőeszközök, és a pilóta nélküli légi járművek⁴⁵ egyidejű üzemeltetését hivatott kutatni, a következőkben pedig az 5G lehetséges, hasznos felhasználási területei közül fogok néhányat bemutatni.

Napjainkig a drónok továbbra is inkább részesülnek tiltásban a repülőterek környékén, mintsem szívélyes fogadtatásban. Amennyiben lehetőség adódik az üzemelésre, annak szigorú szabályai vannak, a drónpilótának és ellenőrzött légtérben a repülésirányítóknak is kiemelt figyelemmel kell lenniük. Nem ellenőrzött légtérben még nagyobb veszélyt jelentenek. A néhány grammos, hasznos teher szállítására alkalmatlan példányoktól kezdve egészen a vadászgépekkel megegyező méretig is alkalmazzzák őket. Utóbbiak radar keresztmetszete - amennyiben nem kimondottan lopakodó célokra készült, ezáltal jelentősen rosszabb detektálhatósággal rendelkezve – elegendően nagy ahhoz, hogy megjelenjen a repülésirányítók radarjain. Velük ellentétben a kicsi eszközök, másodlagos radarberendezés, válaszjeladók

⁴⁵ Drónok, UAV-k – Unmanned Aerial Vehicles

nélkül még a nagy frekvencián működő gurító radarok számára is kihívást jelentenek, vagy felderíthetetlenek. A nyomon követés megoldására születtek már műholdakat, azaz a GNSS⁴⁶-t igénybe vevő helymeghatározó megoldások. Ezek azonban nem minden körülmény között nyújtanak megfelelő működési paramétereket. Sűrűn beépített környéken, amikor akadály keletkezhet a műhold és a drón között, első körben pontatlanabb lesz a pozíció, nagyon gyenge jelek esetén pedig a kapcsolat megszakadhat. Alternatív megoldásként mérlegelni kell a mobilhálózat drón repülésekbe integrálását. Akárcsak a gyártósorok robotizálásában, vagy a nagy felbontású mozgókép továbbításán alapuló feladatok ellátásakor, az autonóm járművek irányítása, illetve pontos helyzetkép kialakításában is közös előfeltétel egy nagy teljesítményű és megbízható hálózat. Ebben segítséget nyújthatnak különböző architektúrák. Az *Internet of Things*, azaz a Dolgok Internete már az ötödik generáció előtt kibontakozóban volt, azonban a teljes kiteljesedést az 5G, illetve a már kidolgozás előszobájában álló 6G hozhatja el. Az új rádiós interfész egyik fő profilja a standalone architektúra, amikor már lehetőség van arra is, hogy a mobilkommunikációs maghálózat nem a 4G alapjain működik, hanem virtualizálja, így felhő alapon valósul meg, ezáltal még hatékonyabban kiszolgálva az IoT rendszereket. Ez az architektúra eszközök sokaságát, szenzorokat, menedzseléshez használt szolgáltatói platformokat, és alkalmazásokat foglal össze. Az eszközök dedikált feladata a szenzorok működtetése, amik segítségével nagy mennyiségű adathalmazt állítanak elő. A menedzsment szolgáltatásokhoz a kapcsolódás internethálózaton történik, ahol pedig a kinyert adatok összegyűjtésre, feldolgozásra, esetleg tárolásra, majd szétosztásra kerülnek a fogyasztók között. Ezek a fogyasztók végfelhasználói alkalmazások, vagy egyéb szolgáltatások lehetnek. A pilóta nélküli légi jármű rendszer esetében a pozícióról szóló adatok közzétételében egyértelműen megfigyelhető a hasonlóság. Például egy repülőgép fedélzeti eszközei a többi légi jármű, és a földön telepített állomások felé hely- és egyéb hasznos adatokat küldenek, amelyek internetes hálózaton és szervereken keresztül valamilyen adatbázisba kerülnek. Az összegyűjtött információk alapján, térképekre animáltan bárki által elérhetővé válnak, szinte azonnal. A közölt adatok egyúttal kiszolgáltatottságot is jelentenek, amely hátránnyként említendő egy olyan reptéren, ahol katonai drónok is üzemelhetnek majd. A Dolgok Internetéhez milliós nagyságrendben csatlakoztathatunk különféle eszközöket (nem csak légi járműveket), a lényeg az egymással történő kommunikáció, valamint az adatok központosított feldolgozása, újraosztása. Az említett folyamatoknak akadhatnak kihívásai. A peremhálózati számítástechnika megoldást kínálhat bizonyos tényezőkre, hiszen a peremen működő

⁴⁶ Global Navigation Satellite Systems

eszközöket elegendő számítási kapacitással ruházza fel. Egyértelmű előnye, hogy csökken az átvitt adatmennyiség, a feltétlen továbbítani kívánt információ így rövidebb késleltetési idővel érhet célba. Kritikus infrastruktúráknál, autonóm légi járműveknél ez kiemelt szempont lehet.

Manapság a nagygépes repülés világában kötelező⁴⁷, de a kisgépeknél is egyre gyakrabban alkalmazzák az ADS-B⁴⁸-t, a "látni és látszani" elv érvényesítése érdekében. Habár a drónok pilótái nem a fedélzeten vannak, így az elv első része érthetetlennek tűnhet, a fedélzetre szerelt ADS-B-Out rendszerek közleményei, melyek vonatkoznak az aktuális helyzetre, a magasságra, sebességre, a légi jármű mágneses-géptengely irányszögére, esetlegesen az úti céljára, pontos képet festhetnek le akár a légi irányítás, akár egy másik, földön lévő drónpilóta számára is. A berendezések és az adatok kezelésének viszont tetemes a költsége, így vonzóbb lehet egy privát mobilhálózat alapú szolgáltatás kiépítése. A privát hálózatok a nyilvános hálózattól elkülönített frekvencián üzemelnek, jellemzően kicsi, földrajzilag jól behatárolható területeken, ezáltal extra biztonságot nyújtva a felhasználóknak. A mobilhálózatok a felszíni felhasználás, és 5G esetében az irányított antennák miatt körülbelül 500 m földfelszín felett (AGL⁴⁹) biztosítják a lefedettséget, a felett a kielégítő térerő ritka. Egy magánhálózat kialakítása a megrendelő preferenciáinak megfelelően, az infrastruktúra (hálózatmenedzsment eszközök) pedig a helyi sajátosságok figyelembevételével készülhet, így a repülőtérhez tartozó légtér kiszolgálása biztosítható. A repülőtér munkaterületén a mikrohullámok karakterisztikája miatt elegendő a relatíve kicsi antennák használata, így nem okoz gondot a tereptárgyakon való elhelyezésük, a mozgásokat nem korlátozzák. A látóhatárhoz igazítás követelménye, és a rövid hatótávolság miatt azonban sok bázisállomás létesítése szükséges. A bázisról üzemelő drónokon, az ADS-B-nél sokkal olcsóbb megoldásként beszerelhető a SIM-kártya foglalat, és a szükséges antennák is. Az egyedi azonosító miatt összetéveszthetetlenek lesznek az eszközök az irányítás számára. A helyadatok biztosítása a cellák, valamint a járművek által folyamatosan sugárzott és azonnal feldolgozott adatok segítségével történhet.

Egy repülőtér életében fontos szerepet játszanak a földön közlekedő járművek mozgásai is. Jelenleg a Gurító irányító az EDR Rádió, azaz az Egységes Digitális-Távközlő Rendszer használatával kontrollálja a földi forgalmat (nem a repülőgépek földi gurulásait!). Ez a rendszer jelenleg még második generációs alapokon dolgozik. A TETRA rádiótelefon rendszer kiépítése 2006-ra történt meg, kizárólag kormányzati célokra. Országos lefedettséget biztosít a körülbelül

⁴⁷ Ellenőrzött légterekben

⁴⁸ Automatic Dependent Surveillance-Broadcast - automata légtérellenőrző rendszer

⁴⁹ Above Ground Level

350 bázisállomásból álló, IP átviteltechnikával működő hálózat. Végfelhasználói rádióterminálok segítségével tudunk csatlakozni a szolgáltatáshoz, amely három különféle módon valósulhat meg. Indíthatunk egyéni-, körözvény és expressz-, vagy csoportos hívást. A számunkra legfontosabb platform honvédelmi felhasználáskor a félduplex elven működő csoporthívás. Ilyenkor egyszerre mindig csak 1 adó képes a tiszta üzenettovábbításra, a vevők az adás befejeztéig csak hallgatásra képesek. A hálózaton többféle áramkör- és csomagkapcsolt adatátvitel valósul meg, védettek és védelem nélküliek, de a sávszélességük manapság elég kevésnek számít. Napjainkban folyamatban van a 4/5G szabványosítása, a modern infokommunikációs követelmények teljesítése végett. Véleményem szerint, a technológia implementálásával modernizálható lenne ez a munkaterület is.

A EDR hangszolgáltatásai a szélessávú adatszolgáltatással bővülve új távlatokat nyithatnak a repülésbiztonság és a tudatosabb helyzetkép kialakításában, főleg, hogyha autonóm járművek irányításától is beszélünk. A fejlett adatkapcsolat kiépítése után a légiforgalmi irányítót elláthatjuk a földi eszközökről sugárzott képekkel, vagy élőben közvetített videókkal. Ennek az előnyét kiemelten akkor lehetne hasznosítani, ha a repülőtér egy olyan szegletében történik a mozgás, amelyre az irányítótoronyból nincs lehetőség rálátás biztosítására. Továbbá, a pilóta nélküli járművek - mivel nincs személyzet a fedélzetén, ezáltal a kommunikáció és a szituáció leírása szóban nem tud megtörténni - fedélzetén elhelyezett kamerák információi alapján utasíthatja a drónt, vagy annak pilótáját a megfelelő ténykedés végrehajtására.

Az EDR hálózatába kapcsolva, és a privát mobilhálózat helymeghatározó képességeinek javítására az amúgy is autonóm légi járművek mellett foglalkoztatásra kerülhetnek UGV⁵⁰-k, azaz személyzet nélküli földi járművek is. A futópályákon jelenleg speciálisan átalakított személygépjárműveket alkalmaznak a fékhatás mérésére és az idegen tárgytól eredő törmelékek (FOD⁵¹) felderítésére. Az automatizált környezet, az Ultra-megbízható alacsony késleltetésű kommunikáció (uMTC/URLLC) és az IoT adta lehetőségeknek köszönhetően elképzelhetőnek tartom ezen feladatok megvalósítására, UGV-k bevetését. Az általuk ellátott munkák nem csak kevesebb személyzetet igényelnek ebben a formában, hanem az említett módon a repülőtér privát hálózatára kapcsolva, plusz információkkal szolgálhatnak más földön haladó, és egyéb légi járművek számára is. A pontos megvalósítást az Apple innovációjához hasonlítom. A Iphone-ok helymeghatározó képességei redundánsak, hiszen nem csak a mobilhálózatról, Wi-Fi hálózatoktól, vagy a GNSS meghatározása alapján képes behatárolni

⁵⁰ Unmanned Ground Vehicle

⁵¹ Foreign Object Debris

mobiltelefonunk a pontos lokációnkat. Egy esetleges lopás esetén, ha mindegyiket kikapcsoljuk, de a bluetooth⁵² továbbra is üzemben marad, más Apple termékek bluetooth kapcsolatának segítségével, jól működő műholdas helymeghatározás pontossággal bocsátja rendelkezésünkre a telefonunk a helyzetét, melyet egy webes felületen, vagy egy másik Iphone-ról követhetünk. A repülőtéri autonóm földi járművek, a fixen telepített bázisállomások mellett, a peer-to-peer⁵³ (P2P) módszer alapján kommunikálnának egymással, ezáltal egy megbízható hálózatot létrehozva, mind a repülésirányítók, mind pedig a fedélzeti összeütközés elkerülésére telepített berendezéseknek, mint adatforrás.

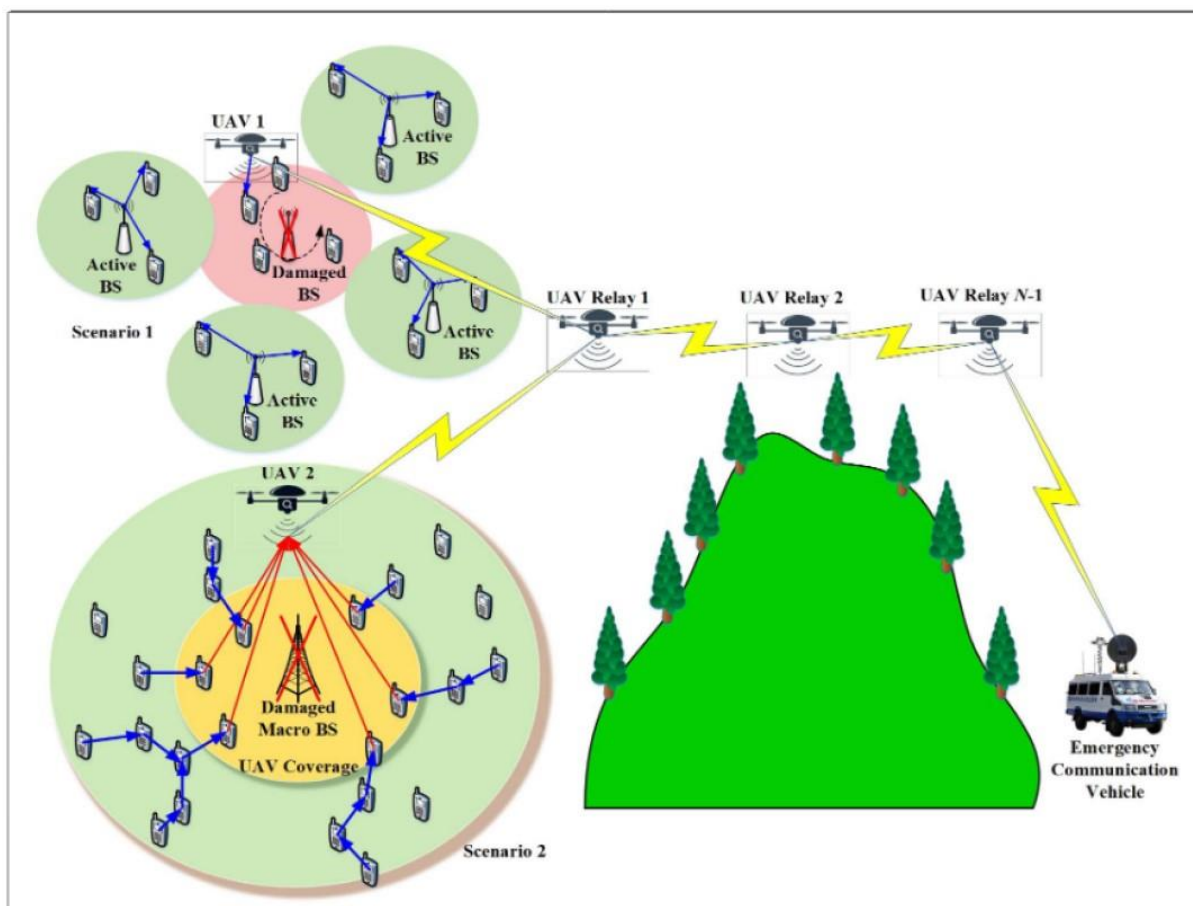
A következő implementálási lehetőséget a drónok bázisállomásként történő alkalmazásában látom. Ez két forgatókönyv szerint történhet. Az egyikben, mikor meghibásodik vagy üzemképtelenné válik egy bázisállomás, a pontos helyére felreptethető egy drón, ami átveszi a meghibásodott állomás szerepét. Egy repülőtér esetében ez a valószínűtlenebb eset, hiszen egy földrajzilag kisebb alapterületű helyet kell kiszolgálni. Továbbá nem feltétlen kell tartani lefedettség csökkenéstől, hiszen a bázisállomások helyzete, struktúrája a telepítés előtt részletesen kidolgozásra és felmérésre kerül, amivel elkerülhető a szolgáltatás redukciója. A másik scenárióban a bázisállomások hiányát pótolják személyzet nélküli légitjárművekkel. Ebben az esetben az összeköttetés a device-to-device (D2D) módszer alapján jön létre. Egy 2018-as tudományos cikk alapján [55], az alapötlet szerint, a D2D hálózatok az 5G egy meghatározó csapásirányát jelenthetik, miszerint a bázisállomásokat tehermentesíteni kell, tehát a felhasználók eszközei közötti kapcsolatok kihasználására kell jobban fókuszálni. Ez nem csak a jobb spektrumigénybevétel miatt fontos, hanem a maghálózat rendellenes működése, vagy éppen teljes leállása esetén is biztosít kapcsolatot az előfizetők között. A központi rádióállomások pótlása, a térérő szempontjából lefedetlenné vált területek nagysága alapján, többféle módszerrel fedhető le. Egy említésre méltó módszer, ha egy kiterjedtebb zónát szeretnénk a hálózathoz hozzáférhetővé tenni, akkor a *multi-hop*⁵⁴ technikát kell alkalmazni. Ez esetünkben egy drón rajt jelentene, amely a leghatékonyabb helyfoglalással, egymásra jó rálátással (LOS⁵⁵, a hálózaton használt frekvencia szabja meg a pontos távolságot), láncot alkotva repülne a kijelölt terület felé. Egy-egy UAV egy-egy bázisállomást alakít, a hálózat lefedettsége pedig a drónok számával rugalmasan kiterjeszthető.

⁵² Wi-Fi frekvenciát használó vezeték nélküli kommunikációs szabvány. A kisugárzott teljesítmény sokkal kisebb egy Wi-Fi hálózatonál, így nem, vagy nagyon csekélyen befolyásolja azok működését, még a közvetlen közelükben is

⁵³ Központi csomópont nélküli közvetlen kommunikáció

⁵⁴ Amikor a hálózat lefedettsége nagyobb, mint ami egy-egy csomópont önálló lefedettsége, hiszen közvetítőként használ fel más csomópontokat

⁵⁵ Line of sight



7. ábra: Drónok bázisállomásként történő alkalmazása

Forrás: 6.old [46]

Az ábrán a használt forrás szerint megtalálható mind a két forgatókönyv a bázisállomásként funkcionáló drónokról. A kép bal felső sarkában ábrázolják a szituációt, mikor az üzemképtelenné vált állomás helyére iktatnak be egy UAV-t, hogy vegye át a szerepet. A multi-hop technika jelen esetben egy vészhelyzetre vagy természeti katasztrófára válaszul adott megvalósítását a jobb oldalon láthatjuk. A kiterjesztett hálózati lefedettség véleményem szerint nem csak negatív töltetű események bekövetkeztekor nyújthat segítséget.

A Szolnokon és környékén kijelölt TRA⁵⁶-k, melyek közül némelyikben (például TRA14ABC) egyedülálló módon nem a Veszprémben települő vadászirányítók irányítanak, hanem a *Szolnok Approach*⁵⁷. Amennyiben az Integrált Mintarepülőtér környékén is megállapításra kerülnek olyan légterek, amelyek a jövőbeli, de helyben települő ATC⁵⁸ egységek ellenőrzése alá tartoznának, a bázison felépített hálózat bővítését javaslom, a fent

⁵⁶ Temporary Reserved Area - Időszakosan korlátozott Légtér

⁵⁷ Szolnoki Közelkörzeti Légiforgalmi Irányítói egység

⁵⁸ Air Traffic Control

részletezett módszerekkel. A látóhatár mögötti (BVLOS⁵⁹) repülések biztosítása a nagy sávszélesség garantálása mellett csak ezen a módon fenntartható.

A drónok közreműködésével létrehozott vezeték nélküli kommunikációnak alapvetően számos előnye van, de megemlíthendők a kihívások, melyekkel szembe kell néznie az üzemeltetőknek. A légi járműveken kialakításukból fakadóan a felhasználható energia véges, az akkumulátorok folyamatosan cserére szorulnak. A *Drone in Box* technológia, mely teljesen autonómmá teszi a drónok feltöltését, időigényes. Kieső eszközök esetén a lefedettség csorbul, vagy ideiglenesen az UAV lecseréléséig, rosszabb esetben tartósan, ha nincs másik eszköz. Bonyolulttá teszik az erőforrás-kezelést a folyamatok, mint például az útvonaltervezés, amely egy nagyobb manőverszámú repülőtéren sokszor újrakezdődhet, a konstans változó forgalom miatt, valamint a kulcsfontosságú művelet, a permanens adatátvitel is terhelő. A nagy létszámú végfelhasználói eszköz miatt interferencia is előfordulhat a levegő-föld, és levegő-levegő kapcsolatok között.

A repülőtéren települő légiforgalmi irányítás számára is garantálható lenne innovatív megoldások biztosítása, melyek az új generációs mobilhálózat által valósulhatnak meg. Az 5G, azon belül is a *Továbbfejlesztett Mobil Szélessáv* (xMBB) fejlesztési vonala ideális alapot nyújthat olyan forradalmi eszközök alkalmazására, mint a kibővített valóság, a virtuális valóság, vagy a 360 fokos videó streaming. A légiforgalmi irányítók az eddig használt kétdimenziós felületek helyett, három dimenzióban tájékozódhatnak a légihelyzetképről. Kiegészítésként olyan adaptív technikák kerülhetnek implementálásra, mint a kiterjesztett valóság, amely a Tornynos pozíciójában ülő, tehát alapvetően látás alapján dolgozó irányítók számára hasznos lehet, akár egy veszélyhelyzetben lévő repülőnél, vagy rossz látási viszonyok között is. A videó streaming jelentőségét, a már egyes helyeken (LHBP⁶⁰-n is) felépített, *remote Tower*ek, azaz a helyszíntől független repülőtéri irányítást kameraképek alapján biztosító munkaállomások vonatkozásában látom kiteljesedni. A kameraképek minőségének jelentős javulása, a biztonság érdekében a lehető legnagyobb látószögek nyújtásával drasztikusan növekszik a továbbítandó információ mennyisége, amelynek hálózati követelményeit kitűnően teljesíti az 5G.

⁵⁹ Beyond Visual Line of Sight

⁶⁰ Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér ICAO kódja

4. BEFEJEZÉS

Munkám során bemutatásra kerültek az ötödik generációs mobilhálózat megértéséhez szükséges alap rádiókommunikációs ismeretek antennákról, és hullámterjedési módokról, valamint ismertettem a mobilhálózati generációk főbb jellemzőit, fejlődési útjukat, mely technológiák mentén alakulhatott napjaink szabványrendszere. Az 5G, mint a modern hálózatok és rendszerek növekvő igényeinek kiszolgálására hivatott generáció, hatalmas növekedést hoz el az üzemi paramétereket illetően. A három fejlesztési irányvonal, az xMBB, az uMTC és az mMTC kiemelkedő előnyöket biztosíthat az Integrált-Mintarepülőter megvalósítása esetén. A Továbbfejlesztett Mobil Szélessáv a légiforgalmi irányítás munkavégzését megkönnyítő és a repülésbiztonságot javító innovációkat szolgálhat ki a még kiforratlan VR/AR technológiákkal együtt. Az Ultra-megbízható alacsony késleltetésű kommunikáció a munkaterületen feladatot ellátó autonóm légi- és földi járművek közlekedésében, valamint szükség esetén, a hálózati lefedettség drónokkal, mint mobilis bázisállomásokkal történő kibővítésekor lehet kulcsfontosságú. A számtalan innovatív lehetőség mellett előfordulhat azonban negatív hatása is az 5G-nek. Közvetlen ugyan nem okoz, de potenciálisan veszélyt jelenthet interferencia kialakulása a rádió magasságmérővel, a 3600 MHz körüli frekvenciákon. Korlátozások bevezetését egyelőre nem indokolja semmilyen körülmény, de a jövőben is figyelemmel kell kísérni a spektrumhasználatból eredő lehetséges problémákat.

Ezt a munkát a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap támogatta (Tématerületi Kiválósági Program TKP2021-NVA-16 azonosítószámú „Alkalmazott katonai műszaki-, had-, és társadalomtudományi kutatások a nemzetvédelem, nemzetbiztonság területén a Hadtudományi és Honvédtisztképző Karon”). A project az Integrált-mintarepülőtér kiemelt kutatási terület Virtual Airport(VR_AD) kutatócsoport kutatóinak munkájaként az Innovációs és Technológiai Minisztérium, mint Támogató finanszírozásával valósult meg.

This work was supported by the National Research, Development and Innovation Fund (Thematic Programme of Excellence TKP2021-NVA-16 "Applied military engineering, military and social science research in the field of national defence and national security at the Faculty of Military Science and Officer Training"). The project was funded by the Ministry of Innovation and Technology as the Sponsor and was carried out by the researchers of the Virtual Airport(VR_AD) research group of the Integrated-model airfield Priority Research Area.



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Szerző: Páhy Anna: Szállj velem!, [online], 2022.04.07
URL: http://www.repulestudomany.hu/hirek/2022.04.07_Szallj_velem.html (Hozzáférés: 2022.09.30.)
- [2] Bindis Bea Brigitta, Juhász Márta: Kommunikáció és adatátvitel a magyar légtérben Repüléstudományi Közlemények, [online], XXIII. évfolyam, 2011. 3. szám
URL: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2011_3/Juhasz_Marta-Bindis_Bea_Brigitta.pdf (Letöltve:2022.10.01.)
- [3] CAE Oxford Aviation Academy Radio Navigation - ATPL Ground Training Series - Properties of Radio waves
- [4] Szerző és cím nélkül [online]
URL: http://eta.bibl.u-szeged.hu/2173/2/elektromgneses_hullmok.html (Hozzáférés: 2022.09.30.)
- [5] Haig Zsolt, Kovács László, Ványa László, Vass Sándor: Elektronikai hadviselés, [online], Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Budapest, 2014, pp. 49-85.
URL: <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/20.500.12944/100390/564.pdf?sequence=1> (Letöltve: 2022.09.30.)
- [6] Szekeres Béla, Nagy Lajos: Antennák és hullámterjedés, [online], Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem - Szélessávú Hírközlő Rendszerek Tanszék
URL: http://vik.wiki/images/3/30/Antenna_konyv_teljes.pdf (Letöltve: 2022.10.02.)
- [7] A. Hudson, R. Nelson: Útban a modern fizikához - XL. fejezet: A poláros fény (fénymásolt online jegyzet, csak a 40. fejezetről)
URL: http://www.fke.bme.hu/oktatas/Hudson_Nelson/Fizika40_Polaros_feny.pdf (Letöltve: 2022.10.02.)
- [8] Weblogographic.com - Különbség a rádióhullámok és a mikrohullámok között, [online], 2022
URL: <https://hu.weblogographic.com/difference-between-radio-waves-and-microwaves-9550> (Hozzáférés: 2022.10.03.)

[9] Palik Mátyás: A repülésirányítás alapjai, [online], Budapest, Dialóg Campus Kiadó, 2018
URL: [https://www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/Palik%20M%C3%A1ty%C3%A1s%20\(szerk.\).pdf](https://www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/Palik%20M%C3%A1ty%C3%A1s%20(szerk.).pdf) (Letöltve:2022.10.03.)

[10] Európai Repülésbiztonsági Ügynökség, 01/2012. sz. véleménye, 2012. február 1., [online]
URL: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/9700/hu> (Hozzáférés: 2022.10.03.)

[11] Petre Péter, dr. Zombory László: Iterációs eljárások konvergenciájának javítása síkban periodikus foltszerű felületek szórási paramétereinek számításánál, [online], 1988
URL: http://116.203.33.189/data/upload/file/1988/11/1988_11_02.PDF
(Letöltve: 2022.10.04.)

[12] Jóvér Balázs: Rádióhullámok és antennák /áttekintő dolgozat/, [online]
Közlekedésmérnöki kar, Közlekedésautomatika Tanszék, 2001
URL: https://www.ertms.hu/modulok/DOK_Radiohullamok%20es%20antennak.pdf
(Letöltve: 2022.10.06.)

[13] Britannica.com - Radio transmission, SHF - EHF, Line of Sight Microwave links [online]
URL: <https://www.britannica.com/topic/telecommunications-media/Radio-transmission#ref608072> (Hozzáférés: 2022.10.05.)

[14] Huszár Péter: Az ötödik generációs mobilhálózatokban rejlő lehetőségek a pilóta nélküli légijármű-rendszerek számára, [online], Nemzeti Közzolgálati Egyetem, 2021
URL: https://www.researchgate.net/profile/Peter-Huszar/publication/352492205_Az_otodik_generacios_mobilhalozatokban_rejlo_lehetosegek_a_pilota_nelkuli_legijarmu-rendszerek_szamara/links/60d0e7c3a6fdcc01d48e3271/Az-otodik-generacios-mobilhalozatokban-rejlo-lehetosegek-a-pilota-nelkuli-legijarmu-rendszerek-szamara.pdf (Letöltve: 2022.09.22.)

[15] Garsha Sai Nitesh, Ashna Kakkar: Generations of Mobile Communication, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Amity University, [online], 2018
URL: https://www.researchgate.net/profile/Ashna-Kakkar/publication/326462813_Generations_of_Mobile_Communication/links/5b4f2438a6fdcc8dae286f73/Generations-of-Mobile-Communication.pdf (Letöltve: 2022.09.24.)

[16] Naveen Chandran, Matthew Valenti: Three generations of cellular wireless systems, IEEE Potentials, [online], 20. évfolyam, 1. szám, 2001, DOI: [10.1109/45.913210](https://doi.org/10.1109/45.913210)
URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/913210> (Hozzáférés: 2022.10.06.)

[17] Németh Krisztián: Kommunikációs hálózatok - Mobiltelefon hálózatok, BME TMIT, [online], 2020.

URL: http://w3.tmit.bme.hu/kh2/kh2-03_mobil_1g_2g.pdf (Letöltve: 2022.10.07.)

[18] Patrick Mutabazi: The Mobile Wireless Communication Technology Journey - 0G, 1G, 2G, 3G, 4G, 5G, [online], 2019

URL: <https://www.linkedin.com/pulse/mobile-wireless-communication-technology-journey-0g-mutabazi> (Hozzáférés: 2022.10.07.)

[19] Matt Bartlett: The Evolution of Mobile Wireless Technology from 0G to 5G, [online], 2019

URL: <https://medium.com/@Matt.Bartlett/the-evolution-of-mobile-wireless-technology-from-0g-to-5g-cf98c80e2323> (Hozzáférés: 2022.10.07.)

[20] NagyLajos, Szalay Zoltán Attila: 5G Mobilrendszer, Magyar Tudomány [online], 182(2021)6, Akadémiai Kiadó, 2021

732–744

DOI: 10.1556/2065.182.2021.6.2

URL: http://epa.niif.hu/00600/00691/00214/pdf/EPA00691_mtud_2021_6_732-744.pdf

(Letöltve: 2022.10.08.)

[21] Szerző nélkül, Cellular Communication Network Technologies, [online]

URL: <https://www.tnuda.org.il/en/physics-radiation/radio-frequency-rf-radiation/cellular-communication-network-technologies> (Hozzáférés: 2022.10.08.)

[22] Szerző nélkül, ELTE - Távközlés és kommunikáció ma - Mobil telefonok, [online]

URL: <https://people.inf.elte.hu/hacqaai/beadando1/> (Hozzáférés: 2022.10.08.)

[23] Fogalomtár - HTE [online]

URL: <https://www.fogalomtar.hte.hu/wiki/->

[/wiki/HTE+Infokommunikacios+Fogalomtar/Id%C5%91oszt%C3%A1sos+t%C3%B6bbsz%C3%B6r%C3%B6s+hozz%C3%A1f%C3%A9r%C3%A9s](https://www.fogalomtar.hte.hu/wiki/-/wiki/HTE+Infokommunikacios+Fogalomtar/Id%C5%91oszt%C3%A1sos+t%C3%B6bbsz%C3%B6r%C3%B6s+hozz%C3%A1f%C3%A9r%C3%A9s) (Hozzáférés:2022.10.08.)

[24] Fogalomtár HTE [online]

URL:

https://www.fogalomtar.hte.hu/wiki?p_p_id=com_liferay_wiki_web_portlet_WikiPortlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&com_liferay_wiki_web_portlet_WikiPortlet_struts_action=%2Fwiki%2Fview&com_liferay_wiki_web_portlet_WikiPortlet_redirect=https%3A%2F%2Fwww.fogalomtar.hte.hu%2Fwiki%3Fp_p_id%3Dcom_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dmaximized%26p_p_mode%3Dview%26com_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet_redirect%3Dhttps%253A%252F%252Fwww.fogalomtar.hte.hu%252Fwiki%253Fp_p_id%253Dcom_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet%2526p_p_lifecycle%253D0%2526p_p_state%253Dnormal%2526p_p_mode%253Dview%26com_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet_mvcPath%3D%252Fsearch.jsp%26com_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet_keywords%3Dcdma%26com_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet_forMDate%3D1665243491434%26com_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet_scope%3Dthis-site&com_liferay_wiki_web_portlet_WikiPortlet_pageResourcePrimKey=4189360&p_r_p_http%3A%2F%2Fwww.liferay.com%2Fpublic-render-parameters%2Fwiki_nodeName=HTE+Infokommunikacios+Fogalomtar&p_r_p_http%3A%2F%2Fwww.liferay.com%2Fpublic-render-parameters%2Fwiki_title=K%C3%B3doszt%C3%A1sos+t%C3%B6bbsz%C3%B6r%C3%B6s+hozz%C3%A1f%C3%A9r%C3%A9s (Hozzáférés: 2022.10.08.)

[25] Szerző nélkül, Internet Archive - Vasúti GSM Terminál [online]

URL: https://web.archive.org/web/20050212154237/http://www.sagem.hu/term_gsmr.htm (Hozzáférés: 2022.10.08.)

[26] Aleksander Snaidy, Jose Soler: An overview of GSM-R technology and its shortcomings, 2012 12th International Conference on ITS Telecommunications, [online], 2013

URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6425256> (Hozzáférés: 2022.10.08.)

[27] Károly Krisztián - Improvizált antennák alkalmazási lehetőségei a Magyar

Honvédságban - Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem - Bolyai János Katonai Műszaki Kar - Híradó Tanszék, 2009

[28] Lu Lu, Geoffrey Ye Li, A. Lee Swindlehurst, Alexei Ashikhmin, Rui Zhang: An Overview of Massive MIMO: Benefits and Challenges, IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, [online], 8. évfolyam, 5. szám, 2014, DOI: [10.1109/JSTSP.2014.2317671](https://doi.org/10.1109/JSTSP.2014.2317671)

URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6798744> (Hozzáférés: 2022.10.16.)

[29] TP-Link - MU-MIMO [online]

URL: <https://www.tp-link.com/hu/MU-MIMO/> (Hozzáférés: 2022.10.16.)

[30] Telekom - Lepakcsoltuk 3G hálózatunkat [online]

URL: <https://www.telekom.hu/lakossagi/szolgáltatások/internet/mobilinternet/3gvaltozas>
(Hozzáférés: 2022.10.16.)

[31] Telekom - Mobilhálózatok műszaki hátterei [online]

URL: https://www.telekom.hu/static-tr/sw/file/a_mobil_techologia_muszaki_hattere.pdf
(Letöltve: 2022.10.17.)

[32] Cellavadász - Openstreetmap [online]

URL: <http://cellavadasz.openstreetmap.hu/#map=10/47.1046/20.4239> (Hozzáférés: 2022.10.17.)

[33] Telekom - 4G lefedettség [online]

URL: <https://www.telekom.hu/lakossagi/szolgáltatások/internet/mobilinternet/4g> (Hozzáférés: 2022.10.17.)

[34] HTE - Fogalomtár – OFDM [online]

URL: <https://www.fogalomtar.hte.hu/wiki/-/wiki/HTE+Infokommunikacios+Fogalomtar/Ortogonalis+frekvenciaosztos+multimultiplexel%C3%A9s> (Hozzáférés: 2022.10.18.)

[35] Makai Lajos Bence - Az LTE és az 5g NR dinamikus spektrum megosztás lehetőségei és korlátai, [online], Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kar Távközlési és Médiainformatikai Tanszék, 2020

URL: <https://tdk.bme.hu/VIK/DownloadPaper/Az-LTE-es-5G-NR-dinamikus-spektrummegosztas> (Hozzáférés: 2022.10.21.)

[36] NMHH - 5G tender 2020 [online]

URL: https://nmhh.hu/cikk/211179/Osszesen_mintegy_128_es_fel_milliard_forintot_fizet_a_három_szolgáltató_az_5Gre_is_használható_frekvenciakért_az_NMHH_arverésén (Hozzáférés: 2022.10.21.)

[37] Afif Osseiran, Jose F. Monserrat, Patrick Marsch: 5G Mobile and Wireless

Communications Technology, Cambridge University Press, 2016, 439p

Pp. 32, 40, 41, 137, 139, 144, 145

ISBN 978-1-107-13009-8 Hardback

[38] Shanzhi Chen, Fei Qin, Bo Hu, Xi Li, Zhonglin Chen: User-centric ultra-dense networks for 5G: challenges, methodologies, and directions, IEEE Wireless Communications, [online], 23. évfolyam, 2. szám, 2016

URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7462488> (Hozzáférés: 2022.10.22.)

[39] Dr. Fazekas Péter: Úton az 5. generáció felé - Rádiós hálózatok evolúciója PPT, [online], BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tsz. , 2017.04.25
URL: <https://www.vik.bme.hu/document/1332/original/5G-Fazekas%20P%C3%A9ter-BME.pdf> (Hozzáférés: 2022.10.22.)

[40] Gódor Győző - Dr. Jakó Zoltán - Knapp Ádám: BME jegyzet - Mobil kommunikációs hálózatok, [online], 2018
URL: https://www.hit.bme.hu/~jakab/edu/litr/5G/jegyzet_v30_5G_reszlet.pdf (Letöltve: 2022.10.22.)

[41] HTE Fogalomtár - Aeronautical radionavigation service [online]
URL: https://www.fogalomtar.hte.hu/wiki/-/wiki/HTE+Infokommunikacios+Fogalomtar/L%C3%A9gi+r%C3%A1di%C3%B3navig%C3%A1ci%C3%B3s+szolg%C3%A1lat/pop_up?_com_liferay_wiki_web_portlet_WikiPortlet_redirect=https%3A%2F%2Fwww.fogalomtar.hte.hu%2Fwiki%2F-%2Fwiki%2FHTE%2BInfokommunikacios%2BFogalomtar%2Fall_pages%2Fpop_up%3F_com_liferay_wiki_web_portlet_WikiPortlet_cur%3D52%26_com_liferay_wiki_web_portlet_WikiPortlet_orderByCol%3DmodifiedDate%26_com_liferay_wiki_web_portlet_WikiPortlet_delta%3D5%26_com_liferay_wiki_web_portlet_WikiPortlet_orderByType%3Ddesc%26p_r_p_resetCur%3Dfalse (Hozzáférés: 2022.10.21.)

[42] Joseph B. Sobieralski, Sarah M. Hubbard: An examination of the potential impact of 5G on air travel in the U.S., Transportation Research Interdisciplinary Perspective, [online], 15. évfolyam, 2022
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590198222000896> (Hozzáférés: 2022.10.21.)

[43] Problem statement - 5G interference with radar altimeter frequency band, IATA, [online], 2020
URL: https://www.icao.int/safety/FSMP/MeetingDocs/FSMP%20WG11/IP/FSMP-WG11-IP08_ICAO%20Flight%20Operations%20Panel%20and%20IATA%20%20IFALPA%205G%20problem%20statement.pdf (Letöltve: 2022.10.21.)

[44] Eurocontrol, Radio spectrum: Safety-critical for aviation – but urgent action needs to be taken to avoid channel saturation & interference from other users such as 5G networks, [online], 2022
URL: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2022-06/eurocontrol-think-paper-17-radio-spectrum.pdf> (Letöltve: 2022.10.21.)

[45] KBSZ, Zárójelentés, [online], 2006
URL: <http://www.kbsz.hu/j25/dokumentumok/2006-003-4.pdf> (Hozzáférés: 2022.10.21.)

- [46] Erik Matti, Oliver Johns, Suleman Khan, Andrei Gurtov, Billy Joseffson: Aviation Scenarios for 5G and Beyond, 2020 AIAA/IEEE 39th Digital Avionics Systems Conference, [online], 2020
URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9256815> (Hozzáférés: 2022.10.21.)
- [47] Jeremiah Pate, Tosiron Adegbiya: AMELIA: An application of the Internet of Things for aviation safety, 2018 15th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference, [online], 2018
URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8319163> (Hozzáférés: 2022.10.23.)
- [48] BME VIK, 6G munkacsoport, [online]
URL: <https://www.vik.bme.hu/hir/2965-6g-munkacsoport-alakult-az-5g-koalicioban-a-bme-kezdemenyezesere> Hozzáférés: 2022.10.26.
- [49] Vránics Dávid Ferenc, Doktori értekezés tervezete, A felhő alapú rendszerekből vezérelt pilóta nélküli légijármű-rendszerek biztonsági kérdései, NKE HHK - Katonai Műszaki Doktori Iskola, 2022, pp. 27-60
- [50] Prof. Dr. Makkay Imre: ADS-B és a drónok, Repüléstudományi közlemények, [online], XXVII. évfolyam, 2015. 2. szám
URL: http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_2/2015-2-20-0221_Makkay_Imre.pdf (Hozzáférés: 2022.10.26.)
- [51] NMHH - 5G privát hálózatok [online]
URL: https://nmhh.hu/dokumentum/225547/maganhalozati_megoldasok_az_5g_tukreben.pdf (Hozzáférés: 2022.10.27.)
- [52] Kardos Tamás - EDR továbbfejlesztésének lehetőségei, Rendvédelem, [online], X. évfolyam, 2021/3. szám
URL: http://real.mtak.hu/142146/1/2021_3_KardosTamasZsolt.pdf (Letöltve: 2022.10.08.)
- [53] Macrumors - Find my phone [online]
URL: <https://www.macrumors.com/guide/find-my/> (Hozzáférés: 2022.10.28.)
- [54] Mudassar Ali, Rizwana Shahzadi, Humayun Zubair Khan: UAV assisted 5G and beyond wireless networks: A survey, Journal of Network and Computer Applications, [online], 189(3), 2021
URL: https://www.researchgate.net/publication/352098239_UAV_assisted_5G_and_beyond_wireless_networks_A_survey (Hozzáférés: 2022.10.28.)

[55] Rafay Iqbal Ansari, Chrysostomos Chrysostomou, Syed Ali Hassan, Mohsen Guizani, Shahid Mumtaz, Jonatan Rodriguez, Joel J.P.C. Rodriguez: 5G D2D Networks: Techniques, Challenges, and Future Prospects, IEEE Systems Journal, [online], 12. évfolyam, 4. szám, 2018

URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8214255> (Hozzáférés: 2022.10.28.)

[56] Gulyás Attila: Egyes modulációs eljárások vizsgálata az ötödik generációs vezeték nélküli hálózatok műszaki követelményeinek támogatására, Hadmérnök – védeleminformatika, [online], 15.évfolyam, 4.szám (179-194), 2020

<https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/hadmernok/article/view/3969/4345> (Hozzáférés: 2022.10.28.)

[57] Dr. Gulyás Attila: Ötödik generációs vezetékes, és vezeték nélküli hálózatok egyes modulációs megoldásai, HADITECHNIKA 56 : 1 pp. 23-28. , 6 p. (2022)

http://real-j.mtak.hu/23114/1/HT_2022_56_01.pdf#page=25 (Hozzáférés: 2022.10.28.)

[58] Dr. Gulyás Attila: Ötödik generációs vezetékes, és vezeték nélküli hálózatok egyes modulációs megoldásai II. rész, HADITECHNIKA 56. : 2. pp. 13.-17. , 2022

<https://m2.mtmt.hu/gui2/?mode=browse¶ms=publication;33066158> (Hozzáférés: 2022.10.28.)

[59] European Defence Agency: 5G Technologies for defence, (white paper), Communication Systems and Networks, 2021