



6G: EGY SZÜLETŐBEN LEVŐ ÚJ MOBIL SZÉLESSÁVÚ RENDSZER



dr.Fiala Károly

Spectrum Advise ec. ügyvezető

HTE Rádiótávközlési Szakosztály rendezvény

2024.05.14.

TARTALOMJEGYZÉK

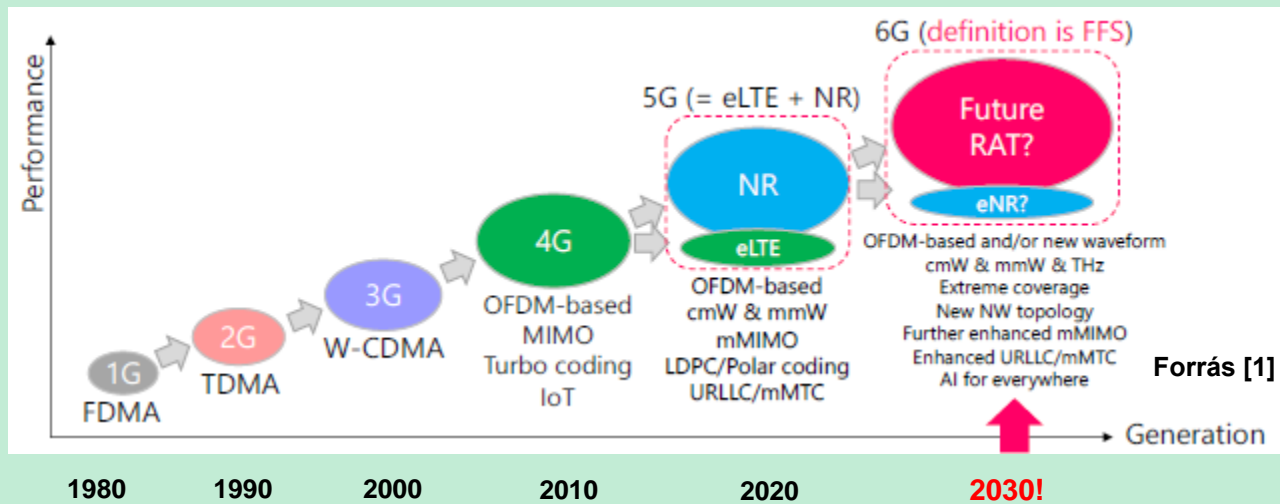
- 1) **Bevezetés**
- 2) **Miért kell a 6G?**
- 3) **6G K+F projektek a világban**
- 4) **6G és a fenntarthatósági célok (UN SDGs)**
- 5) **6G szabványosítás (ITU, 3GPP)**
- 6) **6G frekvencia kérdések**
- 7) **6G kísérletek a sub-THz-es sávokban**
- 8) **Konklúziók**

Irodalomjegyzék

1) BEVEZETÉS



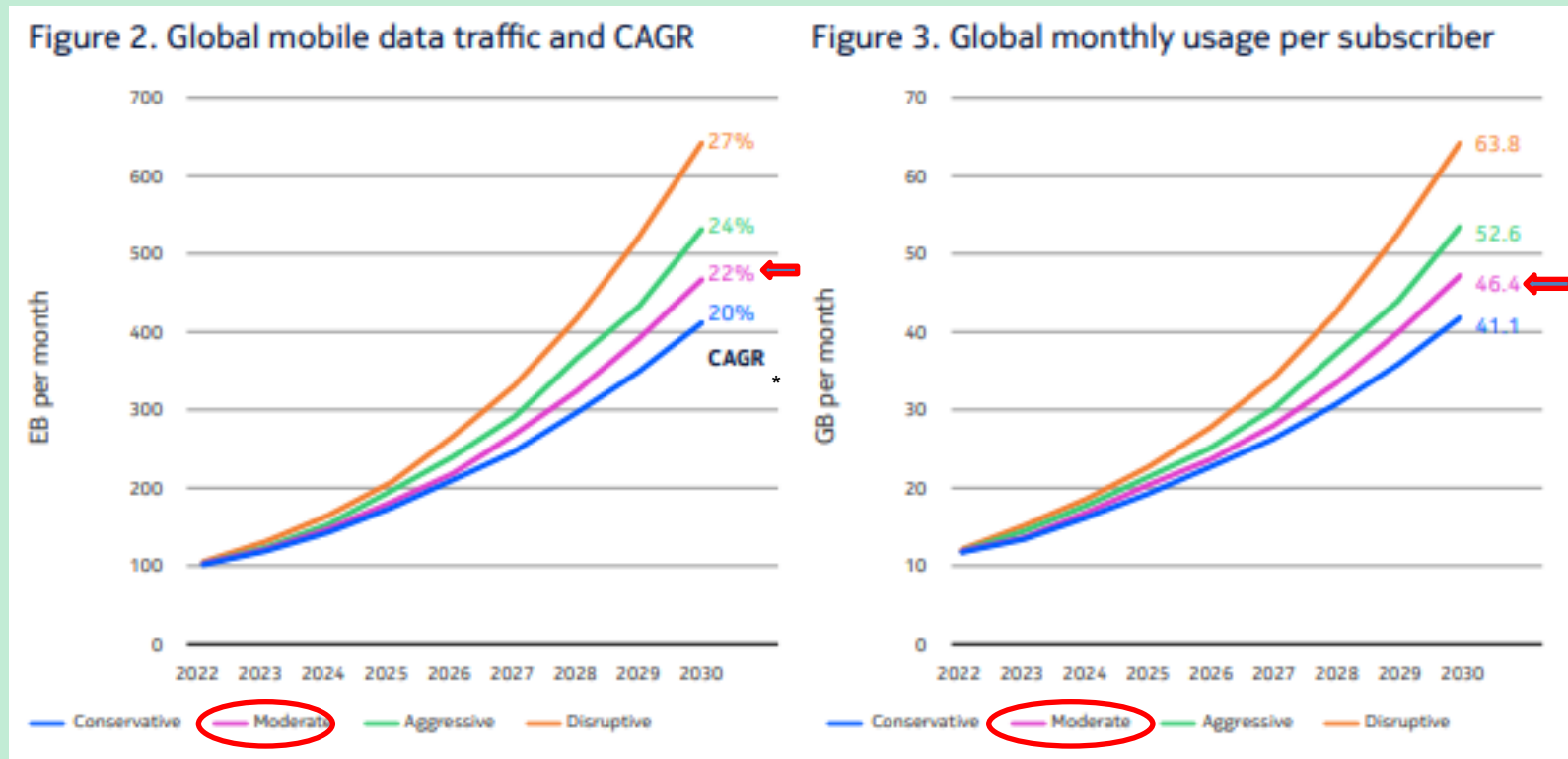
Neumann János: „...haladás ellen nincs orvosság”



A mobiltörténelem nem ért véget az 5G-vel, noha 2020-ban úgy tűnt, hogy az 5G mindent tudni fog, és nemcsak az egyéni előfizetők, hanem a vertikumok igényeit is ki tudja majd elégíteni. Azonban a mobiltechnológia generációk 1980-tól kezdődő **10-éves követési ciklus**ának megfelelően, a 6G megállíthatatlanul érkezni fog **2030-ban** (a 7G pedig 2040-ben!), megteremtve az adatvezérelt **hiper-összekapcsolt jövőbeli társadalmat**.

2) MIÉRT KELL A 6G? (1)

Mobil adatforgalom növekedés



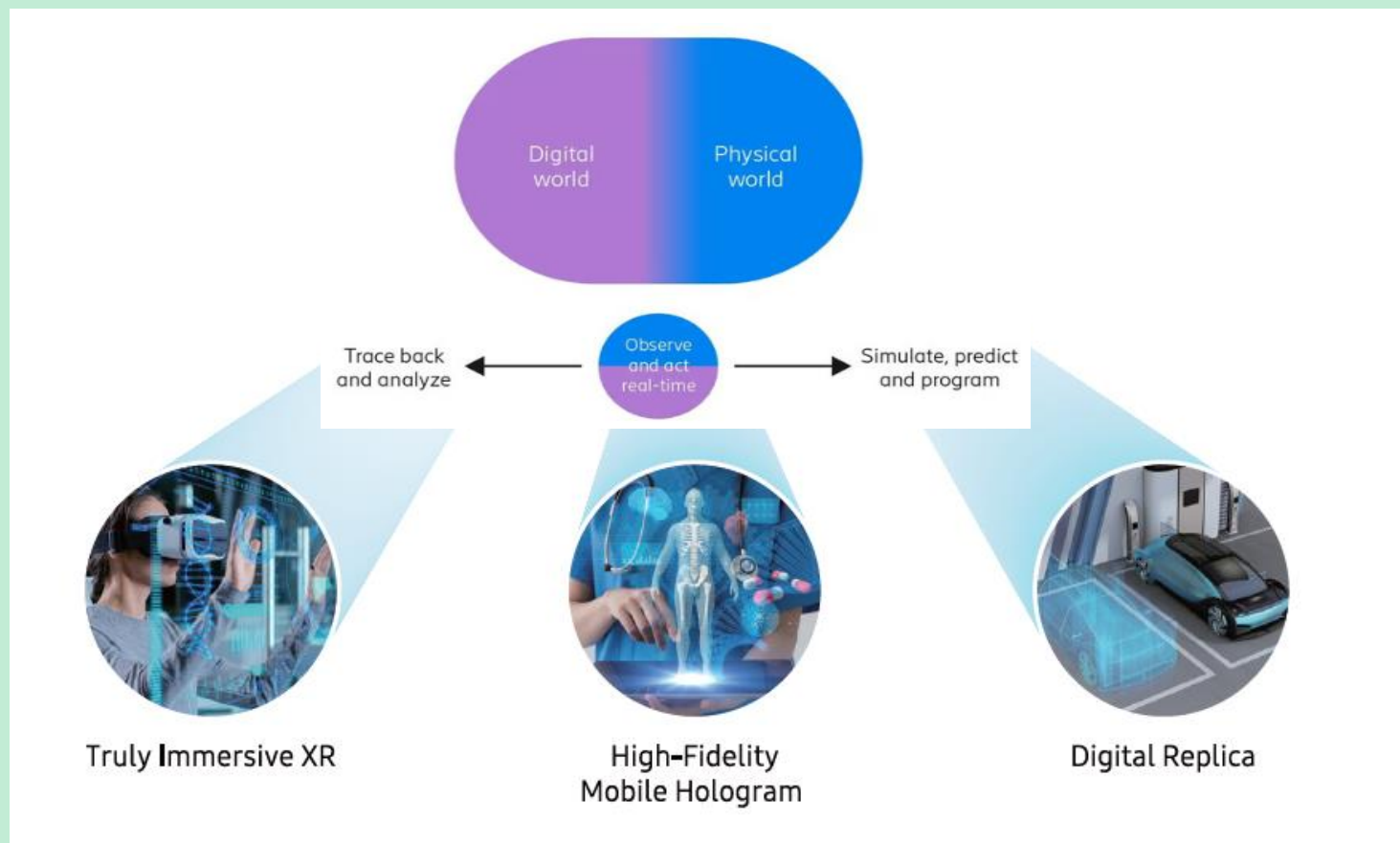
CAGR:Compound Annual Growth Rate (összesített éves növekedési ütem)

Forrás: [2]

A globális mobil adatforgalom dinamikus növekedése ebben az évtizedben is **feltartóztathatatlan**. Az egyre nagyobb adatforgalom nagyobb kapacitású hálózatot, nagyobb sáv szélességű csatornát igényel. A mobil szolgáltatóknak 2030-ban már szükségük lesz az 5G-nél spektrálisan hatékonyabb új **technológiára, illetve új sávokra** a jelentősen növekedő kapacitásigények **költséghatékony** kielégítése céljából.

2) MIÉRT KELL A 6G? (2)

Forradalmian új jövőkép és használati esetek












Forrás: [3]

A 6G meg fogja valósítani **fizikai világ és a virtuális digitális világ fúzióját**. A jövőben extrém nagy sebességű és alacsony késleltetést igénylő **új használati esetek** várhatók, amelyeket az 5G már nem képes biztosítani. Ilyenek lesznek például a valamilyen élményben való **teljes elmerülés adó XR**, a **holografikus kommunikáció** és a **digitális ikerképzés**.

3) 6G K+F PROJEKTEK A VILÁGBAN

EU-US
B5G/6G
Roadmap



	FINNORSZÁG	Oulu Egyetem világszerte „ 6G Flagship ” kutatási programja (2018-2026) a Finn Akadémia támogatásával.
	EURÓPAI UNIÓ	Horizon Europe kutatási és innovációs program/Smart Networks and Services Joint Undertaking (6G-SNS-JU) / Hexa-X-II Flagship Project
	EGYESÜLT ÁLLAMOK	Alliance for Telecommunications Industry Solutions (ATIS) Next-G Alliance
	KÍNA	Ipari és Információtechnológiai Minisztérium IMT-2030 (6G) Promotion Group
	KOREAI KÖZTÁRSASÁG	Elektronikai és Távközlési Kutatási Intézet (ETRI) 6G Forum
	JAPÁN	Beyond 5G Promotion Consortium (B5GPC)
	INDIA	Bharat 6G Alliance
	GLOBALIS	NGMN Alliance

A 6G K+F területén **2018-tól óriási verseny van** a különböző régiók/országok között, ugyanakkor az együttműködésre is vannak példák. Az USA és Kína küzd a 6G-ben a vezető szerepért, de az EU is **technológiai szuverenitásra** törekszik. Jelenleg a 6G szabadalmi beadványok tekintetében **Kína vezet (40,3%)** az USA előtt (35,2%).

4) 6G ÉS FENNTARTHATÓSÁG (1)

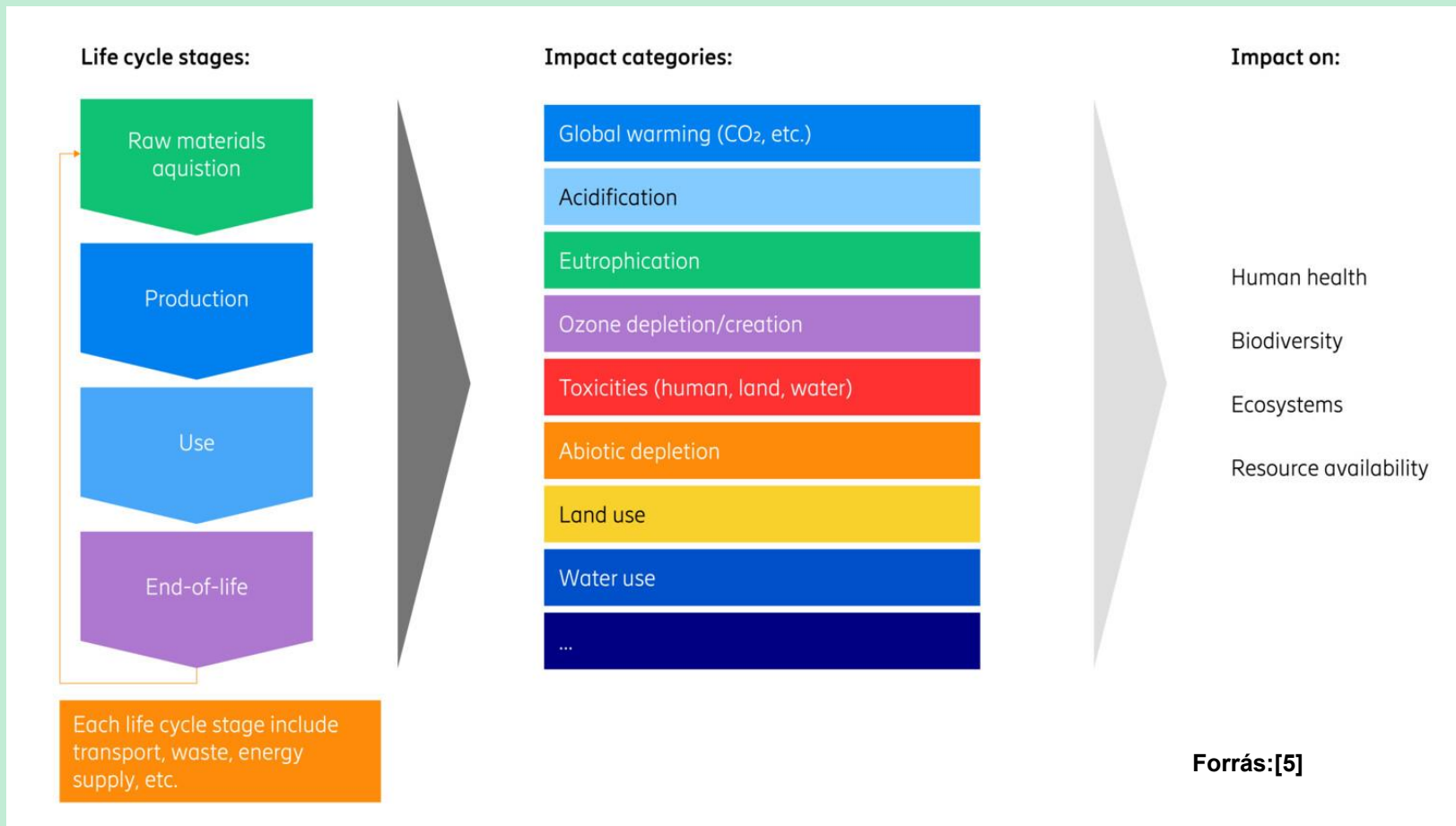
A fenntartható fejlődés úgy határozható meg, hogy a jelen igényeinek oly módon való kielégítése, ami nem veszélyezteti a következő generációk igényeinek a kielégítését.



Forrás: [4]

Az ENSZ 2015-ben vezette be a **2030 Agenda** keretében a **Fenntartható Fejlődési Célokat (17SDGs)**. Ilyenek például a szegénység felszámolása, az éhezés megszüntetése, egészség és jólét, minőségi oktatás, **fellépés az éghajlatváltozás ellen**, az óceánok és a tengerek védelme. Már a **6G K+F** szorosan kapcsolódik az SDG célokhoz és a szabványosítás fázisában ezek a szempontok még fontosabbak lesznek. A 6G-be környezeti fenntarthatósági **Kulcsfontosságú Teljesítmény Mutatókat (KPI)** kell beépíteni.

4) 6G ÉS FENNTARTHATÓSÁG (2)



A 6G hálózatot úgy kell megépíteni és üzemeltetni, hogy **teljes életciklus elemzés (LCA)** alapján a **környezeti lábnyoma a lehető legkisebb legyen**. A teljes életciklus azt jelenti, hogy a nyersanyagok kitermelésétől, a berendezések/eszközök gyártásáig, használatáig és a hulladékok kezeléséig kell vizsgálni az ÜHG kibocsátásokat és azok hatását a széles értelemben vett környezetre.

5) 6G SZABVÁNYOSÍTÁS-ITU (1)

ITU terminológia - IMT rendszerek

Mobil G	ITU megnevezés	ITU Ajánlás
3G	IMT*-2000	<u>Rec.ITU-R M.1457</u> – CDMA <u>Direct Spread</u> (UTRA FDD) – CDMA <u>Multi-Carrier</u> (cdma2000) – CDMA TDD (UTRA TDD) – TDMA <u>Single-Carrier</u> – FDMA/TDMA (DECT) – OFDMA TDD WMAN
4G	<u>IMT-Advanced</u>	<u>Rec.ITU-R M.2012</u> – <u>LTE-Advanced</u> – LTE Advanced Pro – <u>WirelessMAN-Advanced</u>
5G	IMT-2020	<u>Rec.ITU-R M.2150</u> – E-UTRA/LTE (3GPP <u>Release15</u> , <u>Release 16</u>) – NR (3GPP <u>Release15</u> , <u>Release 16</u> , <u>Release17</u>)
6G	IMT-2030	<u>A cél egyetlen közös globális szabvány 6G SNS-JU-Next G Alliance EU-US B5G/6G Roadmap. (2023.12.)</u>

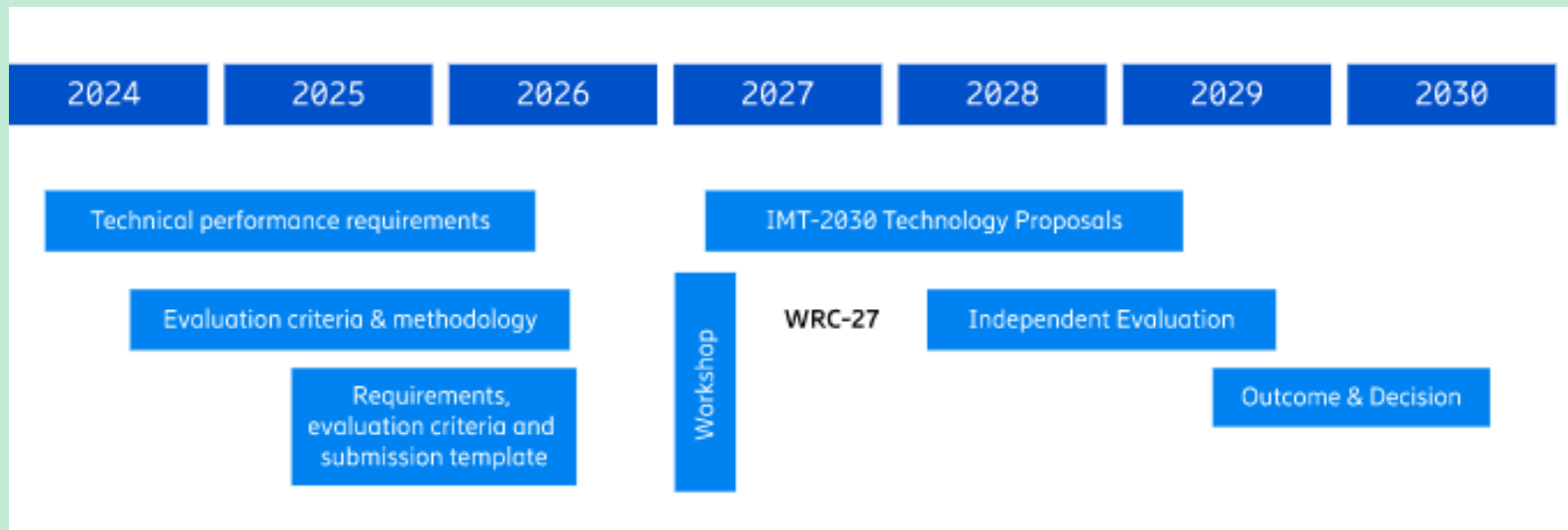
*IMT (International Mobile Telecommunications): Nemzetközi mozgó távközlés

Az ITU követelményeknek megfelelő első mobil szélessávú rendszer az IMT-2000 (3G) volt, ezt követte az IMT-Advanced (4G). Jelenleg az **IMT-2020 (5G)** rendszer kiépítése folyik a világban. Az **IMT-2030 (6G)** együtt fog működni a korábbi IMT rendszerekkel, valamint nem földfelszíni (NTN) rendszerekkel is (UAV-ék, drónok, műholdak).

5) 6G SZABVÁNYOSÍTÁS-ITU (2)

Első dokumentumok, ütemterv

- **ITU-R M.2516-0 jelentés: A földfelszíni Nemzetközi mozgó távközlés (IMT) rendszerek jövőbeli fejlődési irányai 2030-ra és azon túl (11/2022)**
- **ITU R M.2160-0 ajánlás: IMT-2030 és azon túli rendszerek fejlesztésének kerete és általános célkitűzései (11/2023)**

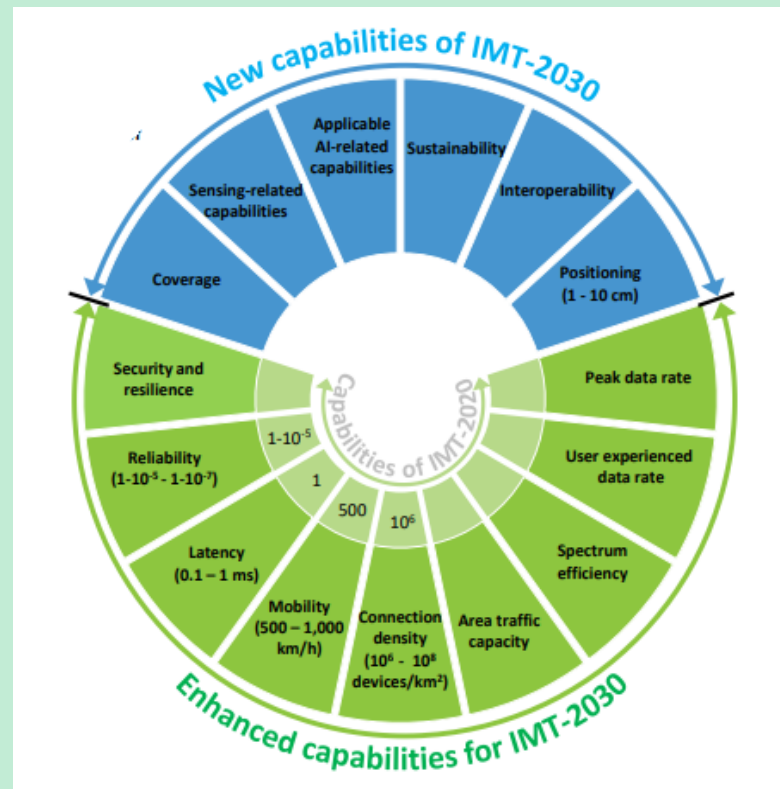
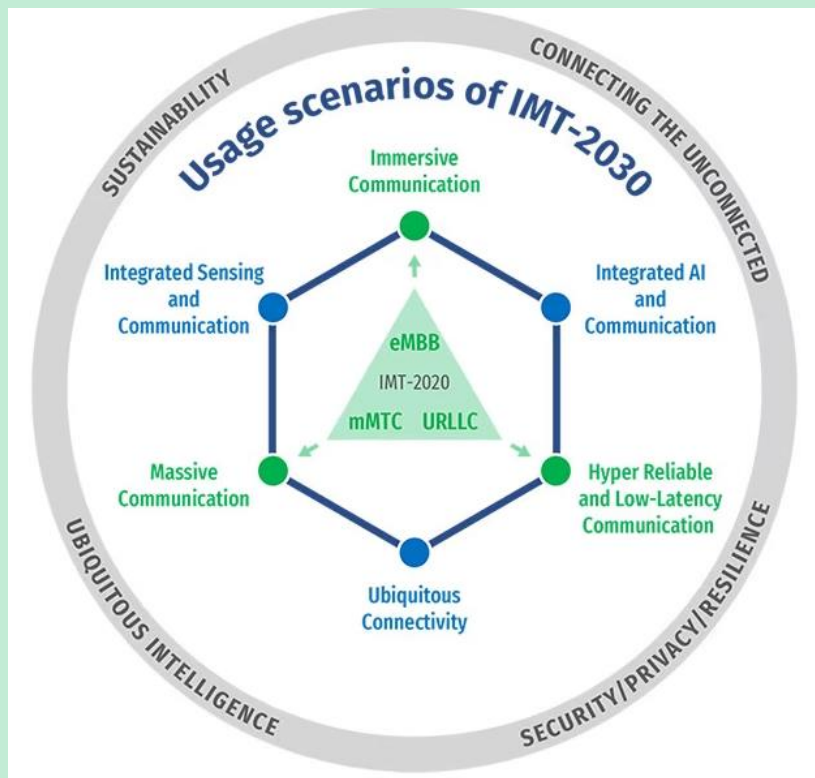


Forrás: [6]

Az ITU WP5D meghatározza az IMT-2030 **műszaki követelményeket**, az **értékelési szempontokat és módszertant**, valamint, hogy a javaslatot milyen **formai követelményeknek** megfelelően kell benyújtani. Ez a munka **2024-től** várhatóan **2026-ig** tart. A részletes IMT-2030 műszaki javaslatokat az ITU-nak a **2027. elejétől 2029 Q1-ig** lehet benyújtani. Az ITU a **döntést** az IMT-2030 besorolásról **2030-ban** fogja meghozni.

5) 6G SZABVÁNYOSÍTÁS-ITU (3)

ITU-R M.2160-0 ajánlás

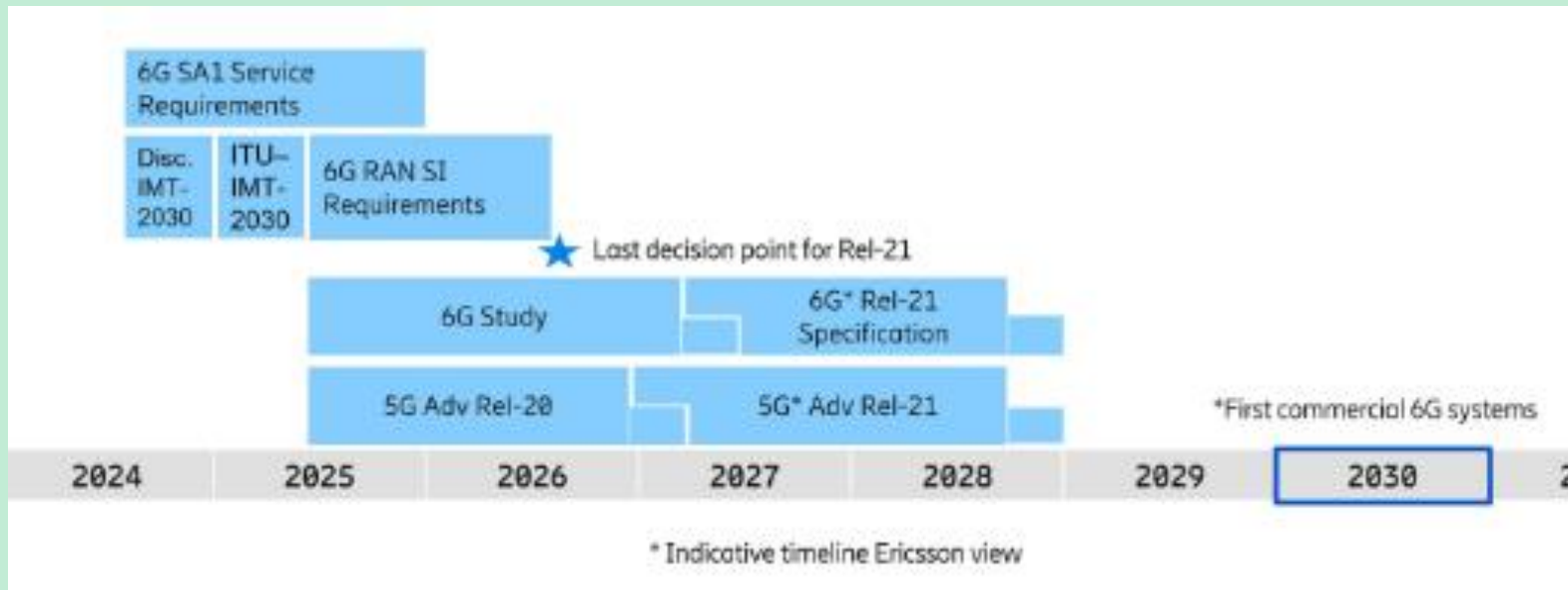


A 6G bizonyos értékek közé szerveződik, ilyenek a **fenntarthatóság**, a mindenütt jelenlévő **intelligencia**, a **mindenki számára biztosított kapcsolat** az információkhoz, az adatbiztonság és a **rugalmas ellenálló-képesség**.

A 6G-ben egyrészt **továbbfejlesztésre** kerülnek az 5G képességek, másrészt **új képességek** is megjelennek. Egyes képességekhez KPI tartományok vannak megadva (pl. késleltetés, megbízhatóság), másokhoz egyáltalán nincsenek.

5) 6G SZABVÁNYOSÍTÁS-3GPP (4)

3GPP ütemterv (Maastricht, 2024.03.18-22.)



Forrás:[6]

A 3GPP-ben először a **szolgáltatási-** majd az **UE és RAN szintű követelményeket** határozzák meg. A 6G műszaki tanulmány kidolgozása a Release 20-ban **2025. októberében** kezdődik és **2027. június végén** zárul. Az első 6G műszaki specifikáció verzió a **Release 21** lesz, ami **2027. áprilisától 2028 végéig** tart. A 6G Release 21 specifikáció lesz beadva az ITU-nak, hogy elfogadást nyerjen, mint IMT-2030 rendszer!

6) 6G FREKVENCIA KÉRDÉSEK (1)

6G spektrumigények

Sávtartomány megnevezése	Sávtartomány határai	Megjegyzés
Alacsony fekvésű sávok	1 GHz alatti sávok	Nagy területű lefedésre.
Alsó-középső fekvésű sávok	1-7 GHz közötti sávok	Az 1. Körzetben a 6425-7125 MHz-es IMT sáv lehetne a 6G pionír sávja. A kockázat az, hogy 2030-ig az 5,5G elfoglalhatja ezt a sávot*.
Felső-középső fekvésű sávok	7-24 GHz közötti sávok (Golden Bands: 7-15 GHz)	A WRC-27 dönthet a 4400-4800 MHz-es, a 7125-8400 MHz és a 14,8-15,35 GHz-es sávok IMT azonosításáról
Felső cm-es/alsó fekvésű mm-es sávok	24-30-100 GHz közötti sávok	Az 5G által ki nem használt mm-es sávok (FR3, FR4 tartományok) 6G-re is használhatók
Sub-THz-es sávok (ezek tulajdonképpen magas fekvésű mm-es sávok)	100-300 GHz közötti sávok	A WRC-23 tanulmányozás céljára kijelölt öt <u>sub-THz-es</u> sávot, amelyek a WRC-31 konferencián kaphatnak IMT azonosítást

2024.04.17. Sajtóközlemény: A 4iG a BME-vel tesztelte a 6 GHz-es sávon működő 5,5 G-ét.

A 6G-nek kellhetnek a 2G-5G mobil rendszerek **jelenleg használt sávjai** megosztott használatban, ugyanakkor **új sávokra is szükség lesz** elsősorban a **7-15 GHz-es** majd később a sub-THz-es **100-300 GHz** tartományban. RSPG állásfoglalás **ellentmondásos!**

6) 6G FREKVENCIA KÉRDÉSEK (2)

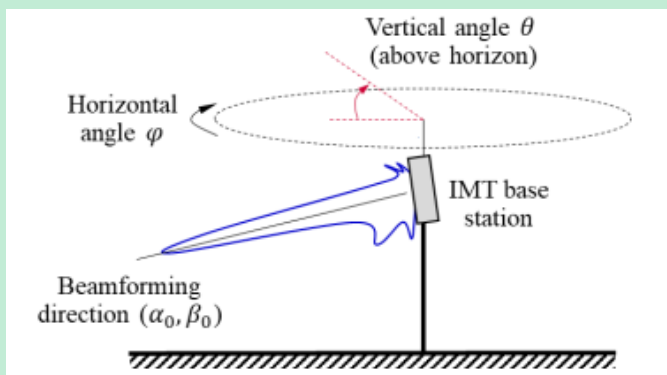
WRC-23 eredmények - 1.2 napirendi pont /6 GHz-es sáv

WRC-23 eredmény	6425-7025 MHz*	7025-7125 MHz
1.Körzet	5.6A12**: IMT azonosítás az 1.Körzetben	
2.Körzet	5.6C12: IMT azonosítás Brazíliában és Mexikóban	
3.Körzet	5.6B12: IMT azonosítás Kambodzsában, Laoszban és a Maldív szigeteken	5.6A12: IMT azonosítás az 3.Körzetben

*A **Resolution 245 (WRC-19)** alapján a WRC-23 a 6425-7025 MHz-es sávban csak az 1.Körzetben adhatott IMT azonosítást, a 7025-7125 MHz-es sávban azonban globálisan is.

Az **5.6A12 és az **5.6C12** lábjegyzetek szerint WAS/RLAN használat is megengedett az 1.és a 2. Körzetben!

RESOLUTION COM4/7 (WRC-23): IMT BS-re vonatkozó harmonizált műszaki feltételek a műholdas állandóhelyű szolgálat védelmében (FSS Föld-űr irány)



Függőleges szög mérési tartomány $\theta_L \leq \theta < \theta_H$	IMT bázisállomás várható e.i.r.p. [dBm/MHz]
$0^\circ \leq \theta < 5^\circ$	27
$5^\circ \leq \theta < 10^\circ$	23
$10^\circ \leq \theta < 15^\circ$	19
$15^\circ \leq \theta < 20^\circ$	18
$20^\circ \leq \theta < 30^\circ$	16
$30^\circ \leq \theta < 60^\circ$	15
$60^\circ \leq \theta < 90^\circ$	15

A WRC-23 **ért el eredményeket** 6G vonatkozásban, de globális IMT azonosítást nem tudott megvalósítani a 6 GHz-es sáv egy szűk részében sem. A **7025-7125 MHz-es** sáv rész volt erre a legesélyesebb, de az Amerika-közi Távközlési Bizottság (CITEL-2.Körzet) ezt ellenezte. Forrás: [7]

6) 6G FREKVENCIA KÉRDÉSEK (3)

WRC-23 eredmények - 10 napirendi pont/ WRC-27 napirend

7-24 GHz felső-középső fekvésű sávok

Resolution COM6/23 (WRC-23): A WRC-27 napirendje

WRC-27/1.7 a **4400–4800 MHz**, és a **7125–8400* MHz** frekvenciasávban (vagy azok részeiben) továbbá a **14,8–15,35* GHz** frekvenciasávban **megosztási és összeférhetőségi tanulmányok megfontolása**, valamint műszaki feltételek kidolgozása a nemzetközi mozgó távközlés (IMT) használatára, figyelembe véve az ezekben és a szomszédos frekvenciasávokban már üzemelő meglévő elsődleges szolgálatokat, a **COM6/26.(WRC-23) Határozattal** összhangban;

* A 6 GHz-es sáv IMT azonosításának egyik feltételeként, a CEPT nem támogatta, hogy a WRC-27-en legyen olyan napirendi pont, ami lehetővé tenné IMT azonosítást a 7-30 GHz-es sávban. Ez azonban szerencsére nem teljesült!

COM6/26 *invites the 2027 world radiocommunication conference*
to consider, based on results of studies, the identification of frequency band(s):

- 4 400-4 800 MHz, or parts thereof, in Region 1 and Region 3;
- 7 125-8 400 MHz, or part thereof, in Region 2 and Region 3;
- 7 125-7 250 MHz and 7 750-8 400, or part thereof, in Region 1;
- 14.8-15.35 GHz,

for the terrestrial component of IMT.

A COM6/23 Határozat csak a megosztási- és összeférhetőségi tanulmányok megfontolásáról szól, a COM6/26 azonban már IMT azonosítások lehetőségéről. Ez utóbbi alapján a WRC-27-en új IMT azonosítások lehetségesek a **4400–4800 MHz**, a **7125–8400 MHz** vagy a **14,8–15,35 GHz sáv** valamelyikében (vagy többben is). Forrás: [8]

6) 6G FREKVENCIA KÉRDÉSEK (3)

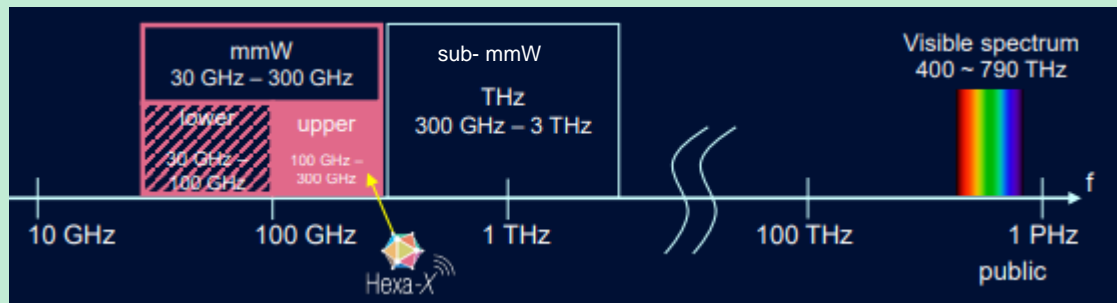
WRC-23 eredmények - 10 napirendi pont/ WRC-31 napirend

100-300 GHz sub-THz-es sávok

Resolution COM6/25: A WRC-31 előzetes napirendje

WRC-31/2.6 a [102-109.5 GHz, 151.5-164 GHz, 167-174.8 GHz, 209-226 GHz and 252-275 GHz] frekvenciasávokban International Mobile Telecommunications azonosítás megfontolása a COM6/17. (WRC-23) határozattal összhangban Forrás: [8]

A WRC-31/2.6 alapján a 6G a mozgószolgálat felső frekvenciahatárát akár 275 GHz-ig is kiterjesztheti, míg az 5G esetében ez jelenleg 71 GHz (ténylegesen 48 GHz). Ugyanakkor a 100 GHz-300 GHz-es (sub-THz-es) tartomány még mindig a mm-es hullámhossz tartományba tartozik. A sub-mm-es (THz-es) 300 GHz-3 THz tartományról a WRC-23 nem tárgyalt.



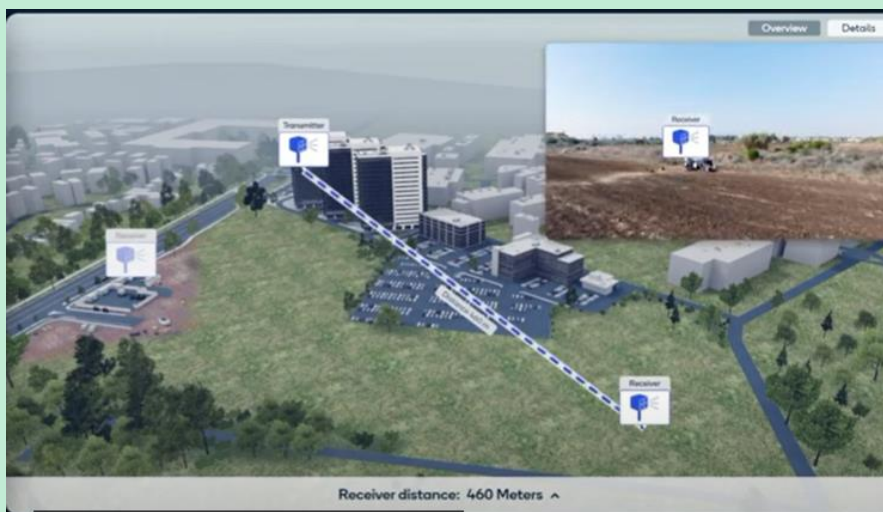
Forrás:[9]

A WRC-31 dönthet majd új IMT azonosításokról a 100-300 GHz-es sub-THz-es tartományban. Ez azt jelenti, hogy a 6G bevezetése nem itt várható, hanem inkább a 7-15 GHz-es tartományban. A sub-THz-es tartományban működő 6G felvethet EMF emberi expozíciós aggályokat, annál is inkább, mert a rövid hatótávolságú 6G hálózatok egyik használati esete a testen belüli kommunikáció (intra-body 6G subnetwork) lehet.

7) 6G KÍSÉRLETEK A SUB-THz-ES SÁVOKBAN

Az **LG** 2022.09.07-én sikeresen tesztelte a 6G vezeték nélküli átvitelt a **155-175 GHz**-es sávban **320 m**-es távolságot áthidalva szabadtéren (2021.07.13-án ez még csak 100 m volt). Az LG a berlini **Fraunhofer Heinrich Hertz Intézet**tel és a **Fraunhofer Alkalmazott Szilárdtestfizikai Intézet**tel közösen fejlesztett ki egy 20 dBm-es jelkimenettel rendelkező teljesítményerősítőt a **155-175 GHz**-es sávban és egy alacsony zajszintű vevőerősítőt.

A **Qualcomm** 2023-ban a **145 GHz**-es sávban kültéren **200 m** távolságot hidalt át **150 Gbit/s** sebességet elérve. Ugyanazén a sávon **460 m** távolságban **70 Gbit/s** sebességet mértek.



Az **NTT Docomo**, a **NEC** és a **Fujitsu** 2024-ben a 100-300 GHz sub-THz-es sávban **100 m**-t hidalt át **100 Gbit/s**-os sebességgel.

A készülő ITU-R jelentés az IMT műszaki megvalósíthatóságát vizsgálja a **92 GHz** feletti frekvenciatartományban. A 6G kísérletek biztatóak, a sub-THz-es sávok igénybevételével nem csak **extrém nagy sáv szélességet**, hanem számottevő **lefedettséget** is el lehet érni!

8. KONKLÚZIÓK (1)

Legfontosabb fejlemények

A 6G-ét a megállíthatatlanul **növekvő globális mobil adatforgalom** operátor oldali **költséghatékony** kezelése, valamint olyan **új felhasználói esetek** (pl. holografikus kommunikáció, tömeges digitális ikerképzés) igényei alapoznak meg, amelyeket az 5G már nem lesz képes kielégíteni.

A világban a **6G K+F projektek** 2018. óta tartanak nagy intenzitással. Az egyes régiók/országok és azok nagyvállalatai között **kiélezett verseny** folyik a globális vezető szerepért. Jelenleg a 6G szabadalmi beadványok tekintetében **Kína vezet**, ennek reakciójaként az EU és az USA meghatározott 6 kutatási-innovációs területet (pl. fenntarthatóság, félvezető kutatás, AI-native rádióinterfész), amelyekben szorosan együttműködnek.

Az ITU kidolgozta a 6G fejlesztésének **keretét (ITU R M.2160-0 ajánlás)**, illetve mind az ITU-nak, mind pedig a 3GPP-nek részletesen kidolgozott és jóváhagyott **menetrendje** van arra, hogy 2030-ra rendelkezésre álljanak az IMT-2030 (6G) műszaki specifikációk.

A WRC-23 ért el eredményeket a 6G frekvencia feltételek biztosításában, ilyenek pl. a **6425-7125** MHz-es sáv IMT azonosítása az 1.Körzetben, illetve megnevezett több középső fekvésű és sub-THz-es sávot tanulmányozásra, amelyek IMT azonosításáról a **WRC-27** és a **WRC-31** dönthet majd.

8. KONKLÚZIÓK (2)

Miben lesz a 6G különleges?

1

A 6G kereskedelmi bevezetése 2030-ra tervezett és szorosan kapcsolódik a szintén 2030-as céldátumú **ENSZ Fenntartható Fejlődés Célok**hoz. A 6G az első mobiltechnológia, ahol a széles értelemben vett **környezeti fenntarthatóság** kezdettől a tervezés fő prioritása. A 6G-nek fenntarthatónak kell lenni és segíteni kell más gazdasági szektorok fenntarthatósági céljai elérését.

2

A 6G lesz az első olyan mobiltechnológia, amelynek minden szegmensében jelen lesz a **mesterséges intelligencia (MI)**, ami a hálózatok komplexitásának kezelésében és optimális működtetésében meghatározó szerepet fog játszani.

3

A 6G meg fog jelenni a **100-300 GHz-es** sub-THz-es frekvencia tartományban, így a mozgószolgálat felső frekvenciahatárát ki fogja terjeszteni a jelenlegi 71 GHz-ről egészen **275 GHz-ig** (a későbbiekben akár a THz-es sávokig, de jelenleg erről még nincs szó).

4

A 6G lesz az első olyan mobil szélessávú rendszer, ami integrálja a kommunikációs- és a **környezeti érzékelési** (sensing) funkciókat.

5

A 6G képes lesz biztosítani az együttműködő **robotok közötti kommunikációt** extrém kis késleltetése és ultra nagy megbízhatósága miatt (az 5G erre nem képes).

IRODALOMJEGYZÉK

[1] *NTT Docomo: White Paper 5G Evolution and 6G*

[2] *Nokia: Global Network Traffic 2030 report*

[3] *Ericsson: 6G-Follow the journey to the next generation networks*

[4] <https://www.ajbh.hu/-/ensz-fenntarthato-fejlodesi-celok-sustainable-development-goal-sdg->

[5] *Ericsson blog - Pernilla Bergmark, Gustav Wikström: Why every decision on 6G must put sustainability first*

[6] *Ericsson: 6G standardization - a technology marathon*

[7] *NMHH: Tájékoztató a WRC-23 eredményeiről 2024.02.01*

[8] *World Radiocommunication Conference 2023 (WRC-23) Provisional Final Acts*

[8] *Hexa-X | WP2 | D2.1 Towards Tbps Communications in 6G: Use Cases and Gap Analysis*



***KÖSZÖNÖM A MEGTISZTELŐ
FIGYELMET!***

KÉRDÉSEK?