

Az 5G A MM-ES SPEKTRUMBAN (mmWave5G)

Nemzetközi kitekintés



dr.Fiala Károly

Spectrum Advise ec. ügyvezető

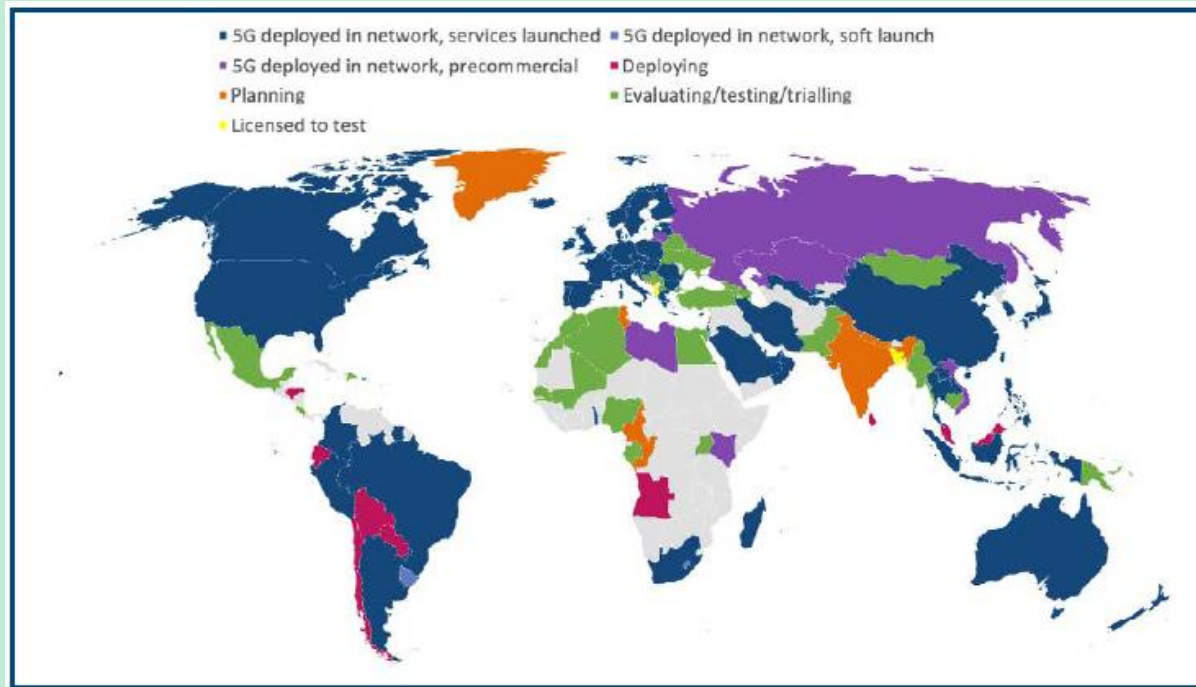
HTE RÁDIÓTÁVKÖZLÉSI SZAKOSZTÁLY

2021. 09.27.

TARTALOMJEGYZÉK

- 1) **Bevezetés: 5G státusz a világban**
 - 2) **A mm-es spektrum előnyei és hátrányai**
 - 3) **A mm-es FR2 spektrumú 5G rádiós jellemzői**
 - 4) **Mm-es spektrumú lefedettség**
 - 5) **Fő felhasználási esetek**
 - 6) **A mm-es sávok 3GPP specifikációja**
 - 7) **Engedélyeztetés a mm-es sávokban**
 - 8) **Végberendezések elérhetősége**
 - 9) **Tapasztalatok az USA-ban**
 - 10) **Konklúziók**
- Irodalomjegyzék**

1) BEVEZETÉS: 5G STÁTUSZ A VILÁGBAN

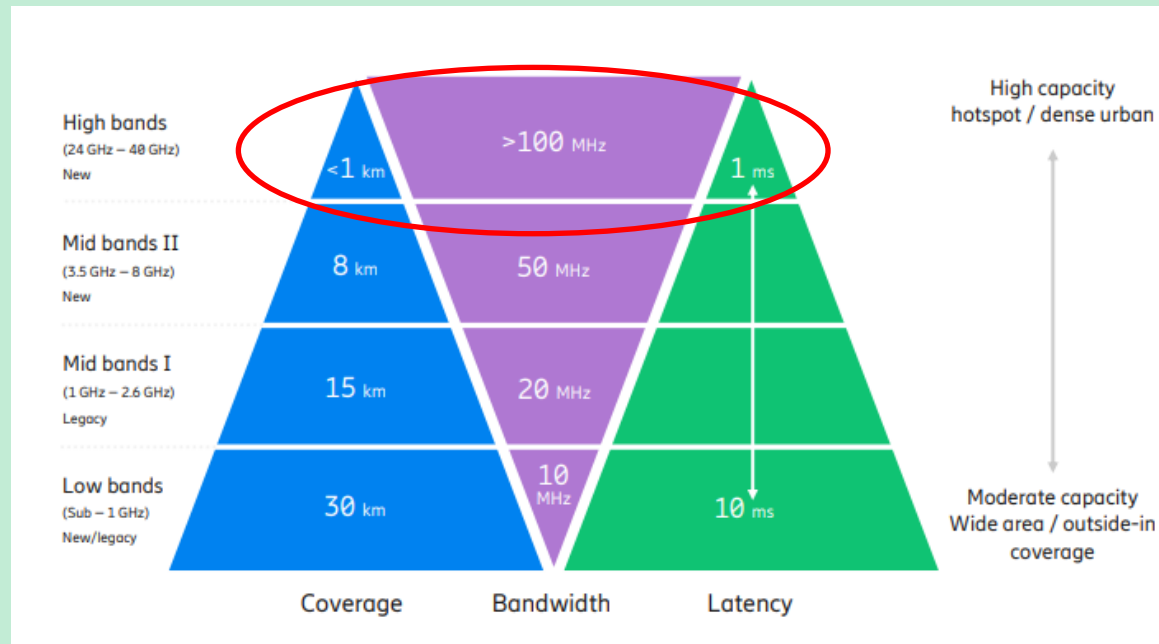


A Global mobile Suppliers Association (GSA) 2021. augusztusi jelentése szerint globálisan **176 operátor 72 országban** nyújt **3GPP konform 5G** hálózaton szolgáltatást. Kereskedelmi forgalomban **645** felhasználói eszköz típus érhető el.

Az 5G hálózatokban leggyakrabban használt sávok: C sáv, **26/28 GHz**, 700 MHz, 2,1 GHz és 2,5 GHz.

Az 5G egyik valóban **forradalmi** újdonsága, hogy lehetővé teszi a mobilszolgáltatás nyújtását **a mm-es spektrumban** (ezzel nagyságrendet nöött a mobilszolgáltatás felső frekvencia határa (3,6 GHz → 26 GHz)).

2) A MM-ES SPEKTRUM ELŐNYEI ÉS HÁTRÁNYAI



Frequency range designation	Corresponding frequency range
FR1	410 MHz – 7125 MHz
FR2	24250 MHz – 52600 MHz

A mm-es spektrum **FR2 tartományba** eső sávjai (TS 38.101) extra nagy (**400 MHz**) csatorna sáv szélességet, ultra kis késleltetést (**<1 msec**) és több **Gbit/s** sebességet biztosítanak. A mm-es spektrum hátránya a kedvezőtlen hullámterjedési tulajdonság (kis lefedettség), ami mMIMO technikával bizonyos mértékig ellensúlyozható. Az mMIMO technikával az 5G átvitel nem korlátozódik az akadálytalan átlátás esetére (LoS), hanem NLoS esetre is megvalósul.

3) A MM-ES FR2 SPEKTRUMÚ 5G RÁDIÓS JELLEMZŐI – (1)

Parameter	FR1 (0..24 GHz)	FR2 (24..100GHz)
Access scheme	DL: CP-OFDM; UL: CP-OFDM, DFT-s-OFDM	
Carrier aggregation (CA)	Max 16	
Bandwidth per carrier (extensible in the future)	5,10,15,20,25,30,40,50,60, 80, 90,100 MHz	50, 100, 200, 400 MHz
SCS	15, 30, 60 KHz	60, 120, 240 (no data) KHz
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM, pi/2 BPSK (uplink only)	
Frame length	10 ms	
Subframe duration	1 ms	
Duplex mode	TDD, FDD	TDD

$$f_{D_{max}} = \frac{f_c}{c} v_{max}$$

$f_{D_{max}}$ a maximális Doppler csúszás

f_c a vivőfrekvencia

c a fénysebesség

v_{max} a maximális mozgási sebesség

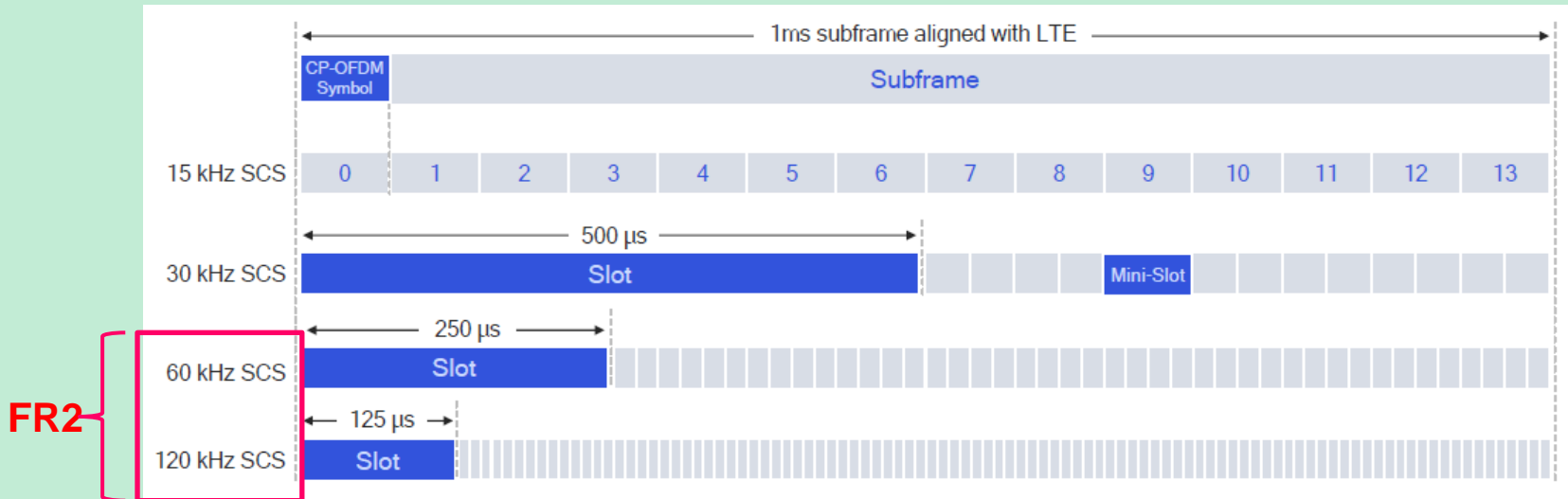
Subcarrier spacing [kHz]*	15	30	60	120	240
Symbol duration [us]	66.7	33.3	16.6	8.33	4.17
Nominal CP [us]	4.7	2.41	1.205	0.60	0.30
Nominal max carrier BW [MHz]	49.5	99	198	396	-
Min scheduling interval (symbols)	14	14	14	14	-
Min scheduling interval (slots)	1	1	1	1	-
Min scheduling interval (ms)	1.0	0.5	0.25	0.125	-

$$f_c = 30 \text{ GHz}, \quad v = 120 \text{ km/h}$$

$$f_{D_{MAX}} = 3,33 \text{ kHz}$$

Az OFDM rendszerek frekvencia szenzitívek. A maximális Doppler csúszás a **vivőfrekvenciával és a mozgási sebességgel arányos**, így a mm-es sávokban már számottevő lehet mozgó jármű esetén. A maximális Doppler-csúszásnak és az alvivő távolság (Δf) hányadosának jóval **kisebbnek kell lennie 1-nél, hogy** a vivők közötti interferencia (ICI) alacsony értékű legyen. Ebből adódóan a mmWave5G-nél az alvivő távolságot meg kellett növelni 15 kHz-ről **60-, illetve 120 kHz-re**.

3) A MM-ES FR2 SPEKTRUMÚ 5G RÁDIÓS JELLEMZŐI – (3)



A $\Delta f=15$ kHz alvivő távolság 4 x-re, illetve 8 x-ra növelésével a szimbólum idő 1/4-re (16,6 μs), illetve 1/8-ra (8,33 μs), az alkeretek időtartama pedig 1 ms-ról **0,25-** illetve **0,125 msec**-ra csökken. Ez a rugalmas alvivő- és keretstruktúra, teszi lehetővé, hogy az 5G az alacsony-, a középső- és a magas fekvésű sávokban egyaránt képes legyen működni.

A rugalmas keretstruktúrán belül külön ki kell emelni a **kicsiny időrés (mini slot)** átvitelt, ami lehetővé teszi a **nem-időrés alapú ütemezést**. A kicsiny időrés 2, 4 vagy 7 OFDM szimbólumot tartalmazhat és pozíciója az időrésen belül változhat. Fontos szerepe van az ULLC kommunikációban.

4) MM-ES SPEKTRUMÚ LEFEDETTSÉG

Rep.ITU-R M.2376

System parameters for link budget analysis

Carrier Frequency (GHz)	28	
Tx e.i.r.p.+ Rx antenna Gain (dBm)	65	
Bandwidth (GHz)	1	
Rx noise figure (dB)	7	
Other losses (dB)	10	
Target data rate (Gbit/s)	1	0.1
Target SNR (dB)	0	-11.4

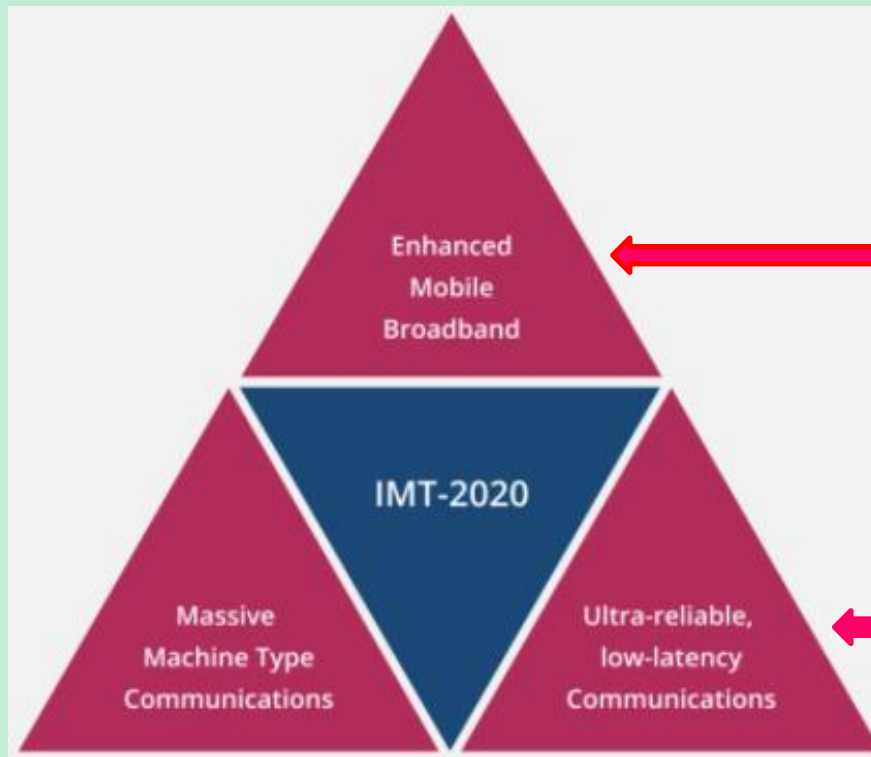
$T_x = 30\text{dBm}$, $G_a = 25\text{ dBi}$, $G_y = 10\text{ dBi}$

Example link budget analysis for various environments at 28 GHz

Environments	Open Space	Campus	Dense Urban	Dense Urban
LoS / NLoS	LoS	NLoS	NLoS	NLoS
Reference	Friis Equation	[R5]	[R6]	[R7]
Path loss model	$PL(d) = 61.4 + 20 \cdot \log_{10}(d)$	$PL(d) = 47.2 + 29.8 \cdot \log_{10}(d)$	$PL(d) = 96.9 + 15.1 \cdot \log_{10}(d)$ (for $d < 100$) $PL(d) = 127.0 + 87.0 \cdot \log_{10}(d/100)$ (for $d > 100$)	$PL(d) = 61.4 + 34.1 \cdot \log_{10}(d)$
Max. distance for 1 Gbit/s	978 m	304 m	40 m	57 m
Max. distance for 100 Mbit/s	3,634 m	734 m	116 m	122 m

Az elméleti számítások szerint az 5G 28 GHz-en nyílt téren kb. 3,6 km-es, nagyvárosi környezetben viszont csak kb. 120 m-es hatósugárral rendelkeznek 100 Mbit/s-os sebességnél, tehát a kiscellás kialakítás a nagyvárosokban szükségszerű.

5) FŐ FELHASZNÁLÁSI ESETEK



HotSpot jellegű lefedés

- stadionok
- kiállítások
- repülőterek
- pályaudvarok

Fixed Wireless Access
Izolált beltéri lefedés
AR, VR..

Ipar 4.0 (Okos gyártás)

- távirányítású rendszerek
- ipari mobil robotok
- távmonitoring és minőségbiztosítás
- előrejelző karbantartás
- autonóm szállítás
- készletellenőrzés..

Autonom járművek...

A mmWave5G fő felhasználási esetcsoportjai a továbbfejlesztett mobil szélessáv (eMBB) és az ultra nagy megbízhatóságú és kis késleltetésű kommunikáció (URLLC). Ezekon a csoportokon belül számos jelenlegi és még sokkal több jövőbeli felhasználási eset létezik. A legnagyobb perspektívája az Ipar 4.0 felh. eseteknek van.

6) A MM-ES SÁVOK 3GPP SPECIFIKÁCIÓJA - (1)

A mm-es (λ : 10 mm-1mm) rádióspektrum tényszerűen a **30 GHz-től 300 GHz-ig** terjedő frekvenciatartomány. Érdekes módon a szakmai zsargon azonban megengedő, és már **24,25 GHz-től** számítja az alsó frekvencia határt.

CEPT nem tervezi! (n260)

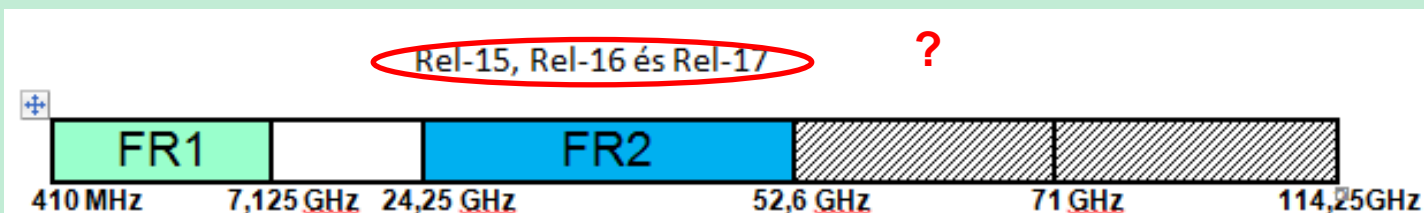
WRC-19 általi <u>globális</u> IMT azonosítású sávok
24,25-27,5 GHz
37-40,5 GHz
40,5-42,5 GHz
42,5-43,5 GHz
66-71 GHz

WRC-19 általi <u>lábjegyzetes</u> IMT azonosítású sávok
45,5-47 GHz*
47,2-48,2 GHz

*Magyarország csatlakozott

A WRC-19 napirendjén a 28 GHz-es sáv **nem szerepelt!**

Az 5G NR részére 3GPP specifikációs szempontból a mm-es spektrum alsó fekvésű, **90 GHz** sávszélességű **24,25-114,25 GHz-es tartománya** lett megcélozva több fázisban. Első fázisban a **24,25 - 52,6 GHz-es FR2 résztartomány** sávjai kerültek specifikálásra egy időben elhúzódó folyamatban a 3GPP műszaki specifikációk több kiadásában (Release).



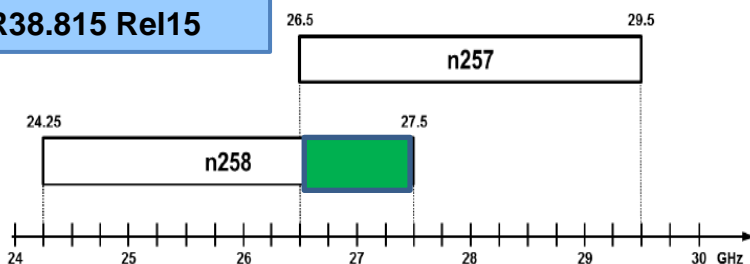
6) A MM-ES SÁVOK 3GPP SPECIFIKÁCIÓJA - (2)

3GPP TS
38.101-2
Rel17

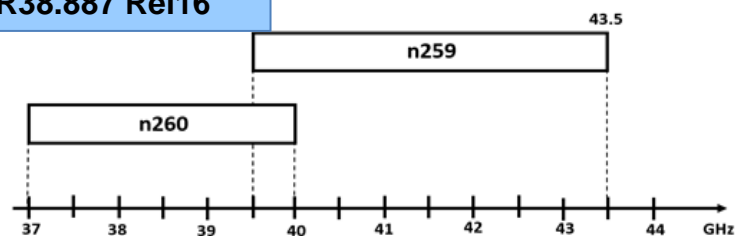
Table 5.2-1: NR operating bands in FR2

Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit	Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive	Duplex Mode
	$F_{UL_low} - F_{UL_high}$	$F_{DL_low} - F_{DL_high}$	
n257	26500 MHz – 29500 MHz	26500 MHz – 29500 MHz	TDD
n258	24250 MHz – 27500 MHz	24250 MHz – 27500 MHz	TDD
n259	39500 MHz – 43500 MHz	39500 MHz – 43500 MHz	TDD
n260	37000 MHz – 40000 MHz	37000 MHz – 40000 MHz	TDD
n261	27500 MHz – 28350 MHz	27500 MHz – 28350 MHz	TDD
n262	47200 MHz – 48200 MHz	47200 MHz – 48200 MHz	TDD

TR38.815 Rel15



TR38.887 Rel16



A 3GPP által elsőként specifikált mm-es (tulajdonképpen centiméteres) sávok a **28 GHz-es (n257)** és a **26 GHz-es (n258)** sávok voltak (TR 38.815). Ezt követően került sor a **39,5-43,5 GHz-es sáv (n259)** specifikálására (TR 38.887). (Az n260 sávnak nincs TR-je!) Majd az **n261-es** sáv került specifikálásra, ezzel a sávval majd frissíteni kell a TR 38.815 jelentést, mert **jelenleg még nem tartalmazza!** Utoljára az **47 GHz-es (n262)** nem globális IMT sávról született meg a TR 38.847 Release17.

7) ENGEDÉLYEZTETÉS MM-ES SÁVOKBAN– (1)

Ország	Sáv (GHz)	Sávresz (GHz)	Sáv szélesség (MHz)	Időpont (év. hó)
Ausztrália	26	25,1 - 27,5	2400	2021.04
Dánia	26	24,65 - 27,50	2850	2021.04
Chile	26	25,9 - 27,5	1600	2021.02
Egyesült Államok	28	27.50 - 28.35	850	2019.01
	24	24.25 - 24.45	700	2019.05
		24.75 - 25.25		
	37	37.6 - 38,6	1000	2020.03
	39	38,6 - 40	1400	2020.03
47	47.2-48.2	1000	2020.03	
Egyesült Arab Emírátság	26	25,5-26,5	1000	2020.09
Egyesült Királyság	26	24,25-26,6	2350	2019.07
Finnország	26	25,1-27,5	2400	2020.06

Forrás:GSA

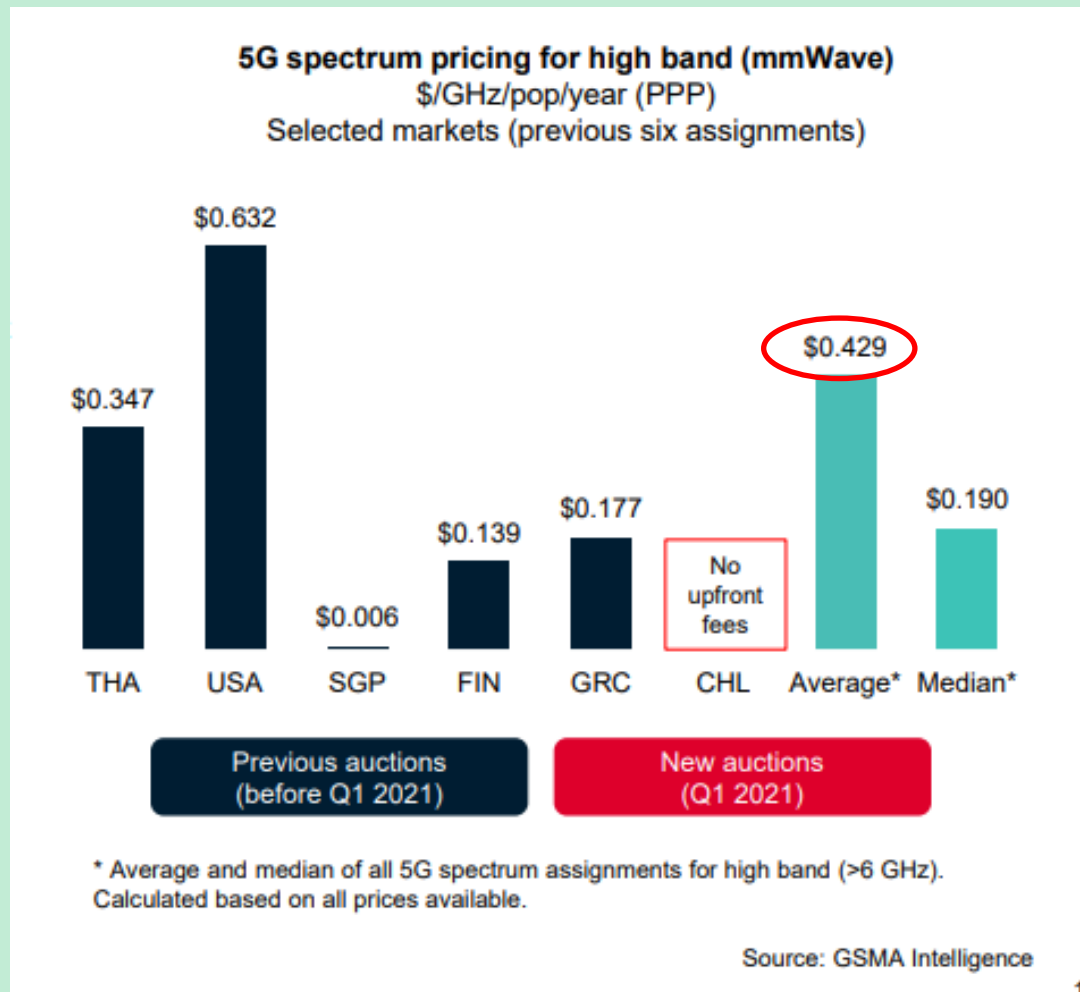
A mm-es sávok engedélyeztetésében világszerte az **Egyesült Államok**, amely az elmúlt 2,5 évben három árverés (101, 102 és 103 sorszámú) során a **28, 24, 37, 39 és 47 GHz-es** sávokban összesen **4950 MHz** sáv szélességet értékesített az operátoroknak. Európában legkorábban **Olaszország** értékesített mm-es sávú spektrumblokkokat, majd elérhetővé vált a 26 GHz-es sáv az Egyesült Királyságban, Finnországban, Görögországban, Dániában, Oroszországban, Németországban, Szlovéniában és Horvátországban is.

7) ENGEDÉLYEZTETÉS A MM-ES SÁVOKBAN– (2)

Ország	Sáv (GHz)	Sávresz (GHz)	Sáv szélesség (MHz)	Időpont (év. hó)
<u>Görögország</u>	26	26,5-27,5	1000	2020.12
Hong Kong	28	26,55-27,75	1200	2019.03
<u>Horvátország</u>	26	26,5-27,5	1000	2021.08
Japán	28	27-28,2	1200	2019.04
		29,1-29,5	400	
Koreai Köztársaság	28	26,5-28,9	2400	2018.06
Németország	26	24,25-27,5	3250	2021.04
<u>Olaszország</u>	26	26,5-27,5	1000	2018.10
Oroszország	26	24,25-24,65	400	2020.03
Puerto Rico	28	27.50 - 28.35	850 MHz	2019.01
<u>Szlovénia</u>	26	26,5-27,5	1000	2021.04
Szingapúr	28	26,3-29,5	3200	2020.04
Thaiföld	26	24,3-27	2700	2020.01
Tajvan	28	27,9-29,5	1600	2020.01
Uruguay	28	27,5-28,35	850	2019.05

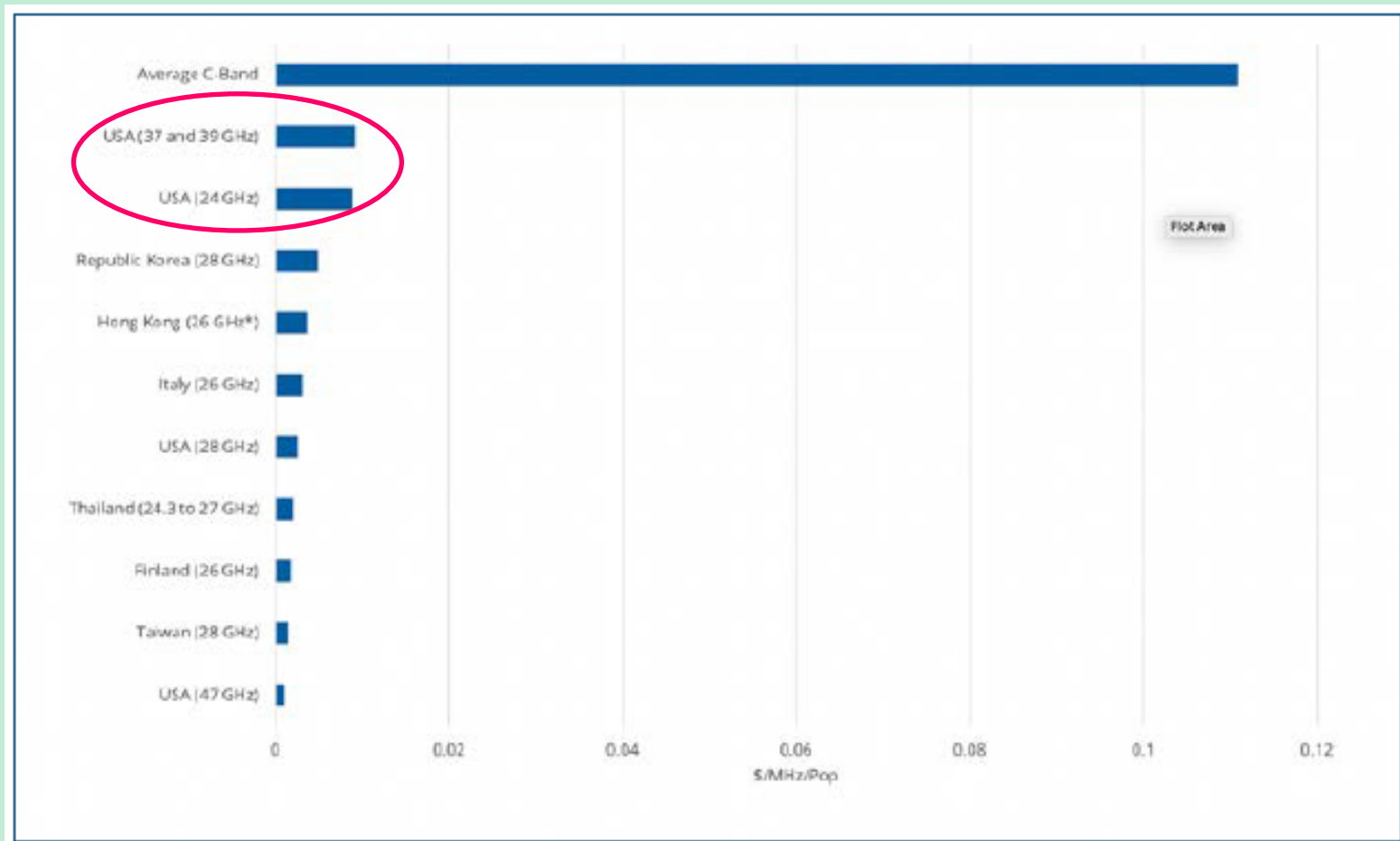
A GSA 2021.júniusi jelentése szerint **132 operátornak 22 országban van a 24,25-48,2 GHz-es mm-es spektrum tartományban frekvenciahasználati jogosultságuk (Négy európai ország a 26,5-27,5 GHz-es sávban adott ki engedélyeket) . Továbbá már 28 operátor 16 országban létesített/létesít 5G hálózatot a mm-es spektrumban!**

7) ENGEDÉLYEZTETÉS MM-ES SÁVOKBAN– (3)



A mobil szolgáltatóknak a mm-es sávokért a legmagasabb egységárakat (\$/GHz/pop/year) a **Koreai Köztársaságban**, az **Egyesült Államokban** és **Thaiföldön** kellett fizetniük, Chile viszont ingyen adta a mm-es sávot.

7) ENGEDÉLYEZTETÉS MM-ES SÁVOKBAN– (4)

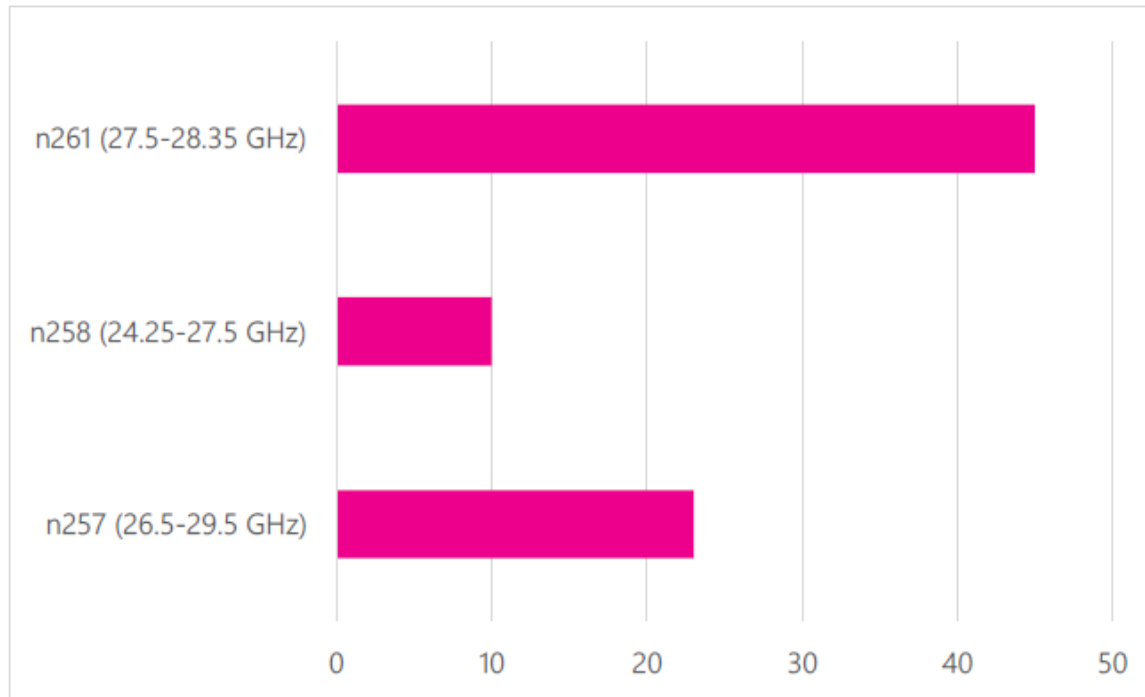


Forrás:GSA Spectrum Pricing Update August 2020

A C sáv (3400-3800 MHz) áránál 1-2 nagyságrenddel alacsonyabbak a mm-es spektrum sávjainak egységárai (\$/MHz/Pop). Érdekes ,hogy a 37 GHz és a 39 GHz-es sávok ugyanolyan értékesek, mint a 24 GHz-es sáv.

8) VÉGBRENDEZÉSEK ELÉRHETŐSÉGE- (1)

Figure 3.2: Availability of 5G mmWave devices



Source : GSA (Data April 2021), Plum analysis

A legszélesebb körű ökoszisztéma a legkorábban elérhető **28 GHz-es (n261, n257)** sávban épült ki, az 5G technológia bevezetésében élenjáró **Egyesült Államok, Japán** és a **Koreai Köztársaság** piacainak igényére. Úgy tűnik, hogy a 26 GHz-es sáv jelenleg még kevésbé vonzó a gyártók számára. (Ugyanakkor a 39 GHz-es sáv népszerű, kb 50 felhasználói eszköz van ebben a sávban)

8) VÉGBRENDEZÉSEK ELÉRHETŐSÉGE – (2)



Samsung
Galaxy S21
Ultra



iPhone 12
iPhone 12 mini



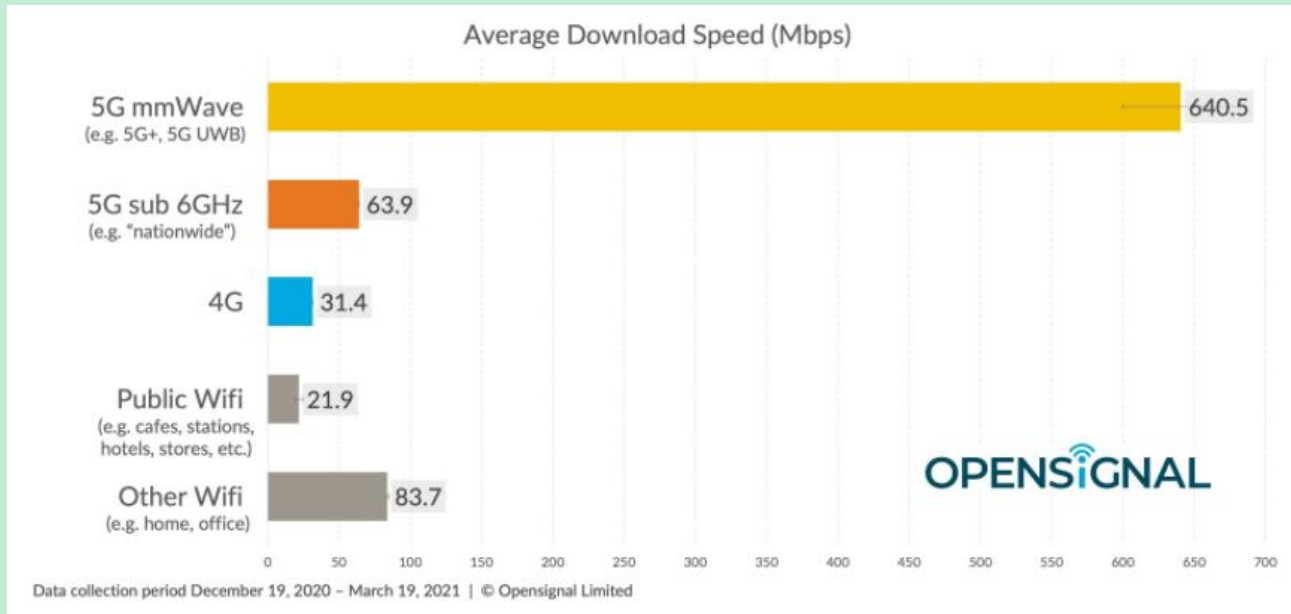
iPhone12 Pro
iPhone 12 Pro MAX



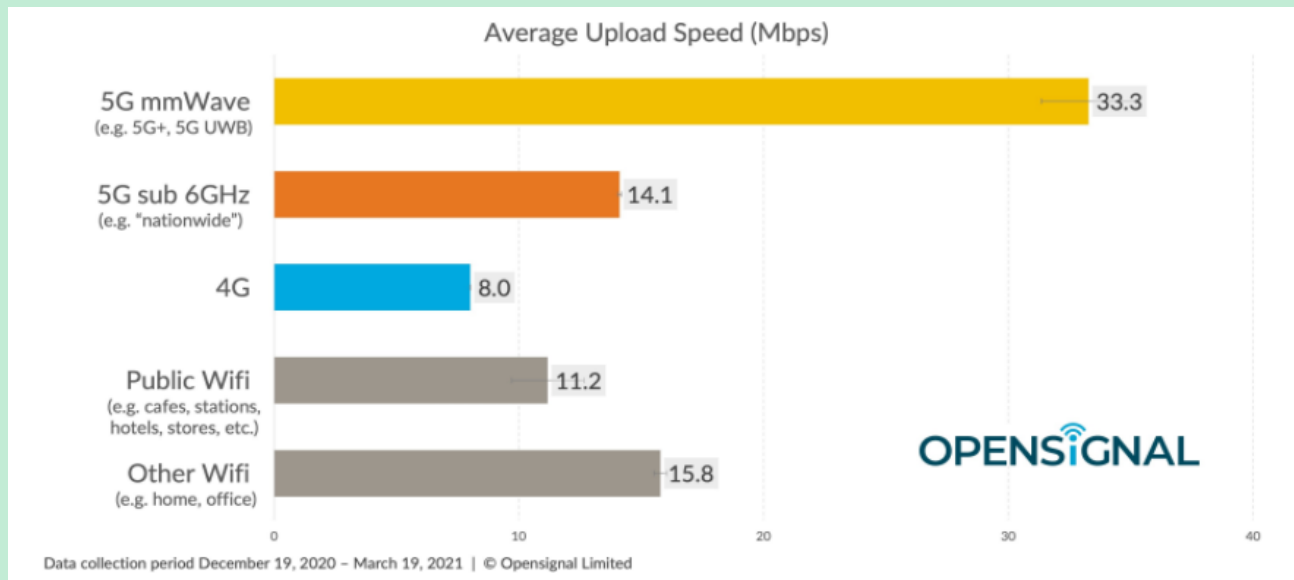
Google Pixel 5

A világ vezető mobiltelefon gyártói rendelkeznek kereskedelmi forgalomban elérhető **mm-es spektrum képes mobil készülékekkel** az eMBB szolgáltatás igénybevételére. A Verizon Ultra Wideband 5G hálózata (n261 sáv) már az USA **55** városában érhető el. A mobiltelefonokon kívül főleg CPE eszközök állnak rendelkezésre a FWA szolgáltatáshoz ebben a frekvenciatartományban.

9)TAPASZTALATOK AZ USA-BAN



A mm-es 5G-nél az átlagos letöltési sebesség 30x akkora, mint a nyilvános WiFi esetén.



A mm-es 5G-nél az átlagos feltöltési sebesség 3x akkora, mint a nyilvános WiFi esetén.

10) KONKLÚZIÓK

Jelenleg még a mobil operátorok 5G célú tevékenységének fókuszában a „C” sávú (3400-3800 MHz) hálózatok kiépítése van, de már minden hatodik (28 a 176-ból) 5G operátor építi a mm-es spektrumú hálózatát (az Egyesült Államok van az élen).

A mm-es spektrum fő előnyei a robusztus spektrumkapacitás, az extra nagy sáv szélesség és az ultra alacsony késleltetés egyidejű megléte. A mm-es spektrum különösen alkalmas a tömeges MIMO megvalósítására, mert a sugárzó antennaelemek nagyon kicsik. Beltéri 5G lefedettség biztosítására is előnyösen alkalmazható.

A mm-es spektrumból jelenleg a 24,25 - 52,6 GHz-es FR2 résztartomány tényleges hasznosítása folyik, döntően a 24,25-29,5 GHz-es (valójában cm-es) alsó sávban. Az FR2 sávok 3GPP specifikációja elhúzódozó, több kiadást igénylő folyamat.

Mostantól 2022 végéig a jelenlegi 22 ország mellett további 19 ország fog mm-es sávú frekvencia engedélyeket kiadni, ezzel a mm-es sávú 5G ökoszisztéma fejlesztése fel fog gyorsulni!

IRODALOMJEGYZÉK

GSA 5G Market Snapshot August 2021

Report ITU-R M.2376-0 Technical feasibility of IMT in bands above 6 GHz

3GPP TS 38.101-2 NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception

3GPP TR 38.815 New frequency range for NR (24.25-29.5GHz) (Release 15)

3GPP TR 38.887 New frequency range for NR (39.5- 43.5 GHz) (Release 16)

3GPP TR38.847 New frequency range for NR (47.2- 48.2 GHz) (Release 17)

GSA Spectrum Pricing Update August 2021

NMHH WRC-19 Tájékoztatás 2020.január 23.

GSA National Spectrum Positions 26-28 GHz Snapshot June 2021

Qualcomm Designing 5G NR September 2018



***KÖSZÖNÖM A MEGTISZTELŐ
FIGYELMET!***

KÉRDÉSEK?