

Využití 5G sítí pro pevný bezdrátový vysokorychlostní přístup typu point-to-multipoint (FWA)

Připraveno pro Ministerstvo
průmyslu a obchodu

[listopad 2024]



**Národní
plán
obnovy**



Obsah

1	Manažerské shrnutí	6
2	Management summary.....	7
3	Úvod.....	8
4	Pevné bezdrátové připojení.....	9
4.1	Popis technologie a charakteristika	9
4.2	FWA v mobilní infrastruktuře	10
4.3	FWA v licencovaných pásmech nevyužívající infrastrukturu mobilních sítí.....	11
4.4	FWA ve volných pásmech	12
5	Současný stav a technologický vývoj 5G FWA	14
6	Aktuální stav nasazení 5G technologie a technologické trendy v oblasti mobilních sítí.....	21
7	Privátní 5G sítě	26
8	Výhledy pro technologie 5G Advanced a 6G	27
8.1	Efektivita a ekonomika.....	27
8.2	Potenciál pro využití 5G Broadcast	32
8.3	Regulační prostředí FWA technologií založených na volných pásmech	33
8.4	Přehled regulačního rámce využití nelicencovaných pásem vhodných pro účely poskytování služeb pevného bezdrátového přístupu FWA v České republice	34
8.5	Srovnání regulačního rámce s mezinárodními přístupy a obecné technologické trendy	34

Seznam zkratek a vysvětlivek

Zkratka	Celé znění (v angličtině)	Vysvětlení
2G	Second Generation	Druhá generace mobilních sítí
3G	Third Generation	Třetí generace mobilních sítí
3GPP	3rd Generation Partnership Project	Organizace vytvářející technické specifikace pro mobilní telekomunikace, včetně 3G, 4G a 5G standardů
4G	Fourth Generation	Čtvrtá generace mobilních sítí
5G	Fifth Generation	Pátá generace mobilních sítí
5G BC	Fifth Generation broadcast	Pátá generace mobilních sítí Broadcast
5G NR	Fifth Generation new radio	Pátá generace mobilních sítí nové rádio
6G	Sixth Generation broadcast	Šestá generace mobilních sítí
AAS	Active Antenna System	Aktivní anténní systémy
AMF	Access and Mobility Management Function	Součást jádra 5G sítě, která zajišťuje správu přístupu a mobility uživatelských zařízení
ATO	Association of Television organization	Asociace televizních organizací
BSC	Base Station Controller	Řídicí jednotka základnových stanic
BTS	Base Transceiver Station	Základní vysílací stanice
CA	Carrier Aggregation	Technika umožňující spojení několika frekvenčních pásem do jednoho kanálu, což vede ke zvýšení celkové šířky pásma
CDMA	Code Division Multiple Access	Kódové dělení multiplexu
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations	Evropská konference poštovních a telekomunikačních správ
CPE	Customer Premises Equipment	Zákaznické koncové zařízení.
ČTU		Český telekomunikační úřad
DESI	Digital Economy and Society Index	Index digitální ekonomiky a společnosti
DVB-T2	Digital Video Broadcasting - Second Generation Terrestrial	
ECC	Electronic Communications Committee	Výbor pro elektronické komunikace.
EECC	European Electronic Communications Code	Evropský kodex pro elektronické komunikace
eNodeB	evolved Node B	Typ vylepšené základnové stanice (pro 4G)
EPC	Evolved Packet Core	Evolved Packet Core
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Evropský institut pro telekomunikační standardy
EU	European Union	Evropská unie
FDD	Frequency Division Duplex	Frequency Division Duplex
FS	Fixed Service	Pevná služba
FSS	Fixed Satellite Service	Pevná družicová služba
FUP	Fair Use Policy	Politika férového využívání
FWA	Fixed Wireless Access	Pevný bezdrátový přístup
GHz	Gigahertz	Jednotka frekvence
gNodeB	Next Generation Node B	Základnová stanice nové generace (pro 5G)

GSM	Global System for Mobile Communications	Globální systém pro mobilní komunikaci
HSS	Home Subscriber Server	Domácí server účastníků
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Institut elektrotechnických a elektronických inženýrů
IMT	International Mobile Telecommunications	Mezinárodní mobilní telekomunikace
ITU	International Telecommunication Union	Mezinárodní telekomunikační unie
LTE	Long Term Evolution	Dlouhodobá evoluce
LTE/5G	LTE/5G	Kombinace standardů LTE a 5G
MFCN	Mobile/Fixed Communication Networks	Mobilní/pevné komunikační sítě
MME	Mobility Management Entity	Entita správy mobility
NEF	Network Exposure Function	Funkce zpřístupnění sítě
NodeB	Node B	Základnová stanice (pro 3G)
NSA	Non-Standalone	Nezávislý režim
P_GW	Packet Gateway	Paketová brána
PCF	Policy Control Function	Funkce řízení politiky
PCRF	Policy and Charging Rules Function	Funkce pro pravidla účtování a politiky
PVRS	Public Voice Radio Service	Veřejná rádiová hlasová služba
RAN	Radio Access Network	Rádiová přístupová síť
RLAN	Radio Local Area Network	Rádiová lokální síť
RNC	Radio Network Controller	Řadič rádiové sítě
RRL	Radio Relay Link	Rádiový reléový spoj
RSPP	Radio Spectrum Policy Programme	Politika rádiového spektra
SA	Standalone	Samostatný režim
S-GW	Serving Gateway	Služební brána
SMF	Session Management Function	Funkce správy relací
TDD	Time Division Duplex	Duplex s časovým dělením
TRP	Total Radiated Power	Celkový vyzařovaný výkon
UDM	Unified Data Management	Jednotná správa dat
UPF	User Plane Function	Funkce uživatelské roviny
UWB	Ultra-Wideband	Ultraširokopásmový přenos
VHCN	Very High Capacity Network	Síť s velmi vysokou kapacitou
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access	Širokopásmový kódový multiplex
WiFi	Wireless Fidelity	Druh bezdrátové technologie pro bezdrátové LAN založené na standardech IEEE 802.11
WiGig	Wireless Gigabit	Bezdrátová gigabitová technologie
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access	Celosvětová interoperabilita pro mikrovlnný přístup
xDSL	Digital Subscriber Line	Digitální účastnická linka
XPIC	Cross-Polarization Interference Cancellation	Potlačení rušení křížové polarizace
XR	Extended Reality	Rozšířená realita

1 Manažerské shrnutí

Sítě Fixed wireless access (FWA) jsou z globálního, evropského, a i českého pohledu nedílnou součástí technologického prostředí přístupové vrstvy poskytování služeb elektronických komunikací. Moderní technologie bezdrátového přístupu k sítím elektronických komunikací představují poslední část řetězce spojení, přičemž se předpokládá, že vyšší vrstvy sítě – přípojné a páteřní, jsou realizované technologiemi vysokorychlostního přenosu dat, nejčastěji optickým vláknem.

Cílem této studie je analýza potenciálu a vývoje potenciálu bezdrátové přístupové vrstvy, ať už založené na technologiích 5G, případně na technologiích s obdobným nebo vyšším výkonem založených na licencovaných či nelicencovaných pásmech. Pro splnění cílů studie je nutné kvantifikovat současné a budoucí požadavky domácností a firem na kapacitu a spolehlivost připojení. Podružným cílem studie je analýza využitelnosti FWA sítí pro šíření obsahu prostřednictvím specializovaných protokolů, například 5G Broadcasting.

2 Management summary

Fixed wireless access (FWA) networks are, from a global, European and Czech perspective, an integral part of the technological environment of the access layer of electronic communications service provision. Modern technologies of wireless access to electronic communications networks represent the last part of the connection chain, while it is assumed that the higher layers of the network - backhaul and backbone - are implemented by high-speed data transmission technologies, most often by optical fibre.

The aim of this study is to analyse the potential and evolution of the potential of the wireless access layer, whether based on 5G technologies or on technologies with similar or higher performance based on licensed or unlicensed bands. To meet the objectives of the study, it is necessary to quantify the current and future capacity and reliability requirements of households and businesses. A secondary objective of the study is to analyse the applicability of FWA networks for content distribution via specialised protocols such as 5G Broadcasting.

3 Úvod

Využití 5G sítí pro pevný bezdrátový vysokorychlostní přístup (FWA) se v posledních letech stává klíčovým prvkem moderního technologického prostředí. Tento přístup umožňuje poskytovat vysokorychlostní připojení v oblastech, kde je zavádění kabelové infrastruktury ekonomicky, technicky, legislativně nebo i jinak náročné. Cílem této studie je podrobně analyzovat současný a budoucí potenciál FWA založeného na 5G sítích, s důrazem na český trh elektronických komunikací, a to v kontextu rámce jednotného vnitřního trhu EU.

Technologie 5G, která přináší zásadní zvýšení přenosových rychlostí a snížení latence, nabízí pro FWA unikátní možnosti rozšíření širokopásmových služeb do oblastí s omezenou dostupností kabelových připojení. V českém prostředí, kde pokrytí kabelovou a zejména optickou infrastrukturou není všude dostatečné, poskytuje FWA vhodné řešení pro zajištění kvalitního přístupu k internetu. Tato studie se zaměřuje na hodnocení technologického vývoje a regulačního prostředí, které ovlivňuje rozvoj FWA sítí, a analyzuje, jak mohou 5G technologie odpovědět na rostoucí kapacitní potřeby rádiové přístupové sítě (RAN).

Důležitým aspektem této analýzy je posouzení současné situace, kdy stále více domácností a podniků vyžaduje vysokokapacitní a spolehlivé připojení. V této souvislosti bude studie zkoumat nejen potenciál 5G FWA pro zajištění širokopásmového přístupu, ale také faktory, které ovlivňují jeho rozvoj, jako jsou technologické překážky, dostupnost frekvenčního spektra a investiční náklady. Sekundárním cílem je přehodnocení využití FWA pro nové aplikace, jako je šíření obsahu prostřednictvím specializovaných protokolů, například 5G Broadcast.

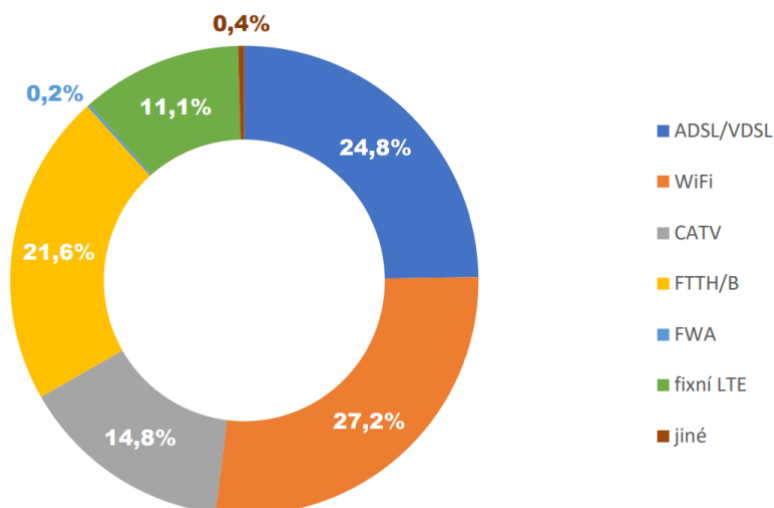
V neposlední řadě se studie zaměří na očekávaný vývoj směrem k technologiím 5G Advanced a budoucím generacím, jako je 6G, a jejich potenciální dopad na zajištění konektivity a rozvoj digitální ekonomiky.

4 Pevné bezdrátové připojení

4.1 Popis technologie a charakteristika

FWA představuje efektivní řešení pro poskytování vysokorychlostního internetu v oblastech, ve kterých není jednoduše dostupná kabelová infrastruktura. V porovnání s kabelovou infrastrukturou je připojení prostřednictvím bezdrátových technologií provozně dražší, naproti tomu jsou náklady na zřízení infrastruktury signifikantně nižší. Pevné bezdrátové sítě jsou tedy technologií volenou investory v oblastech s omezenou kabelovou infrastrukturou. Pojem „omezená kabelová infrastruktura“ ovšem nelze chápat plošně, například v podobě pokrytí pouze rurálních oblastí. Omezená dostupnost kabelové infrastruktury může nastávat také v městských čtvrtích rodinných domů, v předměstských oblastech s novou individuální výstavbou, vzniklých v období po pokrývání oblasti investory kabelových sítí. Přípojka bezdrátové služby je řešením také pro firmy jako záloha kabelové infrastruktury. FWA podporuje nasazení vysokorychlostního připojení zejména v oblastech, kde by výstavba tradiční infrastruktury byla nákladná či složitá. Kromě toho umožňuje rychlou expanzi širokopásmových služeb bez rozsáhlých investic do kabelových sítí, což je důležité pro splnění požadavků na rychlý přístup k internetu.

Investiční náklady na zřízení pevné kabelové infrastruktury či dokonce jen její přípojky nesestávají pouze z ceny vyjádřené v penězích, mohou narážet i na bariéry v podobě souhlasů s instalací přípojky u vlastníků či spoluvlastníků nemovitostí – ať už budov nebo přiléhajících pozemků. Dokonce i v zemích s vysokou penetrací kabelových sítí se udržuje vysoké procento uživatelů FWA, zejména kvůli jednoduchosti zřízení služby. V České republice je využívání FWA rozšířené¹. Fixní LTE/5G služby využívá 11,1 % uživatelů, bezdrátový přístup ve volných pásmech (v tabulce označeno jako WiFi) 27,2 % domácností, přičemž kategorii WiFi zahrnují i technologie milimetrových pásem 60 GHz, 0,2 % uživatelů spoléhá na FWA technologie v licencovaných pásmech bez technologií mobilních sítí (například WiMax). Celkový podíl bezdrátových fixních technologií na trhu pevného připojení v České republice je 38,5 %.



Obrázek 1 Podíl vysokorychlostních přístupů dle jednotlivých technologických řešení (včetně služeb fixního LTE a 5G) ze Zprávy o vývoji trhu elektronických komunikací se zaměřením na rok 2023

¹ Zpráva o vývoji trhu elektronických komunikací se zaměřením na rok 2023, strana 52, Graf 41: Struktura služeb přístupu k internetu v pevném místě dle technologie přístupu v roce 2023, https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/stranky/472017/soubory/zovt_2023.pdf

Scénářů rozvinutí bezdrátové fixní infrastruktury je mnoho, důležité je vystříhat se vnímání bezdrátové infrastruktury jako řešení vhodné pouze pro řídké osídlené oblasti, což dokazuje právě vysoký podíl FWA na celkovém počtu přístupů. Pro účely dalšího analytického posuzování je však třeba vypíchnout, že právě odloučené oblasti a venkov jsou nejtýpější lokalitou pro rozvinutí FWA.

Topologie sítě bezdrátového přístupu je ve vyšších vrstvách obdobná topologii kabelových sítí. Bezdrátová část tvoří přístupovou vrstvu sítě, představující technologické řešení připojení uživatelů k přístupovému bodu sítě (Access Point, Základnová stanice). Přístupový bod je připojený obdobně jako distribuční bod kabelové sítě nejčastěji technologií založenou na optických vláknech, anebo obdobně kapacitním radioreléovým spojem bod – bod. Takový popis je potřeba pro pochopení kapacitních možností FWA infrastruktury. Jde o hybridní sítě, využívající bezdrátový přístup pro řešení „poslední míle“. Z pohledu uživatelské zkušenosti jsou dobře dimenzované a s řádnou péčí projektované sítě FWA uspokojujícím řešením.

4.2 FWA v mobilní infrastruktuře

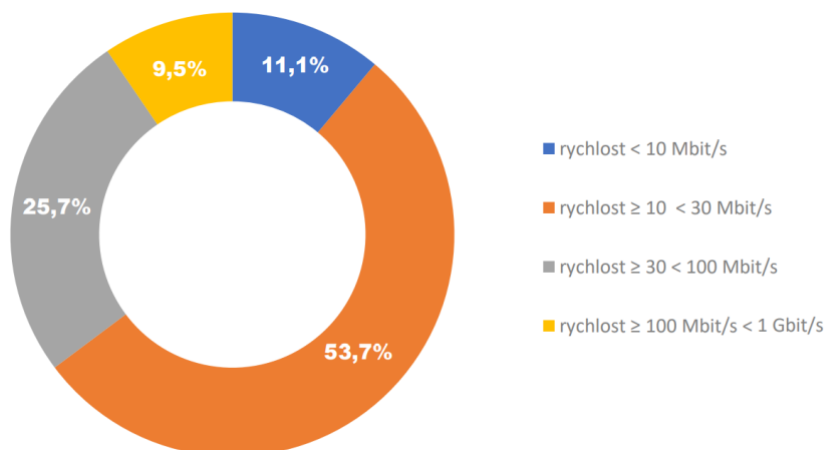
FWA v mobilní infrastruktuře poskytuje flexibilitu, rychlost nasazení a nižší náklady, což je zásadní pro operátory v rámci optimalizace investic do 5G a rozšiřování pokrytí v řídké osídlených oblastech, ve kterých je možné s minimálními přidanými náklady poskytovat službu pevného připojení FWA. Operátoři využívají nevyužitou kapacitu lokální infrastruktury často za použití přístupových frekvencí mobilní sítě. Efektivně tak využijí existující infrastruktury vyšších úrovní sítě. Koncepce rozvoje infrastruktury MFCN² počítá jak s využitím tradičních frekvenčních přidělů mobilní sítě, tak s využitím frekvencí technicky více vhodných pro připojování účastníků v pevném místě, vnímaných pro mobilní služby jako kapacitní vrstva se schopností dokrytí na malou vzdálenost. Dle Zprávy o vývoji trhu o elektronických komunikacích se zaměřením na rok 2023³ využívá přístupu v pevné bezdrátové infrastruktuře prostřednictvím mobilní sítě 11,1 % účastníků, tedy 453,6 tis. přístupů. Bezdrátové přístupy prostřednictvím tzv. fixního LTE/5G jsou služby přístupu k internetu poskytované prostřednictvím mobilních sítí, které jsou ovšem vázány svým použitím buďto na konkrétní adresní místo, resp. v případě nomadického charakteru na více adresních míst⁴. Ze zprávy o vývoji trhu elektronických komunikací je pro posouzení rozvrstvení jednotlivých rychlostních profilů možné citovat: „Dominantní podíl z celkového počtu 453,6 tis. přístupů tvořila po celé období 2019-2023 rychlostní kategorie $\geq 10 < 30$ Mbit/s, přičemž i přes klesající trend si v roce 2023 udržela nadpoloviční (53,7 %) počet přístupů ve výši 243,5 tis. Druhá co do počtu přístupů průběžně klesající kategorie < 10 Mbit/s v roce 2023 tvořila podíl 11,1 % v počtu 50,3 tis. přístupů, když za sledované období jich ubylo téměř 40 % z původního množství. Rostoucí zastoupení přístupů o vyšších inzerovaných rychlostech znamenalo v roce 2023 podíl 25,7 % (116,6 tis. přístupů) v případě kategorie $\geq 30 < 100$ Mbit/s, resp. 9,5 % (43,2 tis. přístupů) pro rychlosti ≥ 100 Mbit/s < 1 Gbit/s. Obě tyto kategorie zároveň vykázaly výrazný meziroční nárůst 13,6 %, resp. 34,9 % z úrovně předchozího roku.“

² MFCN (Mobile/Fixed Communications Network), dle definice 3GPP (3rd Generation Partnership Project), označuje síť, která zahrnuje jak mobilní, tak pevné komunikační technologie, s cílem poskytovat integrované služby včetně hlasu, dat a multimédií. MFCN zahrnuje rádiové komunikační systémy, které podporují mobilní i pevné uživatele, a využívá sdílené frekvenční spektrum a infrastrukturu pro zajištění plynulého přechodu mezi pevnými a mobilními službami. Tato síť je také základem pro technologie jako 5G, kde se klade důraz na vysokou kapacitu, nízkou latenci a efektivní využití spektra

³ Zpráva o vývoji trhu elektronických komunikací se zaměřením na rok 2023, vydané ČTÚ v roce 2024, dostupné online: https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/stranky/472017/soubory/zovt_2023.pdf

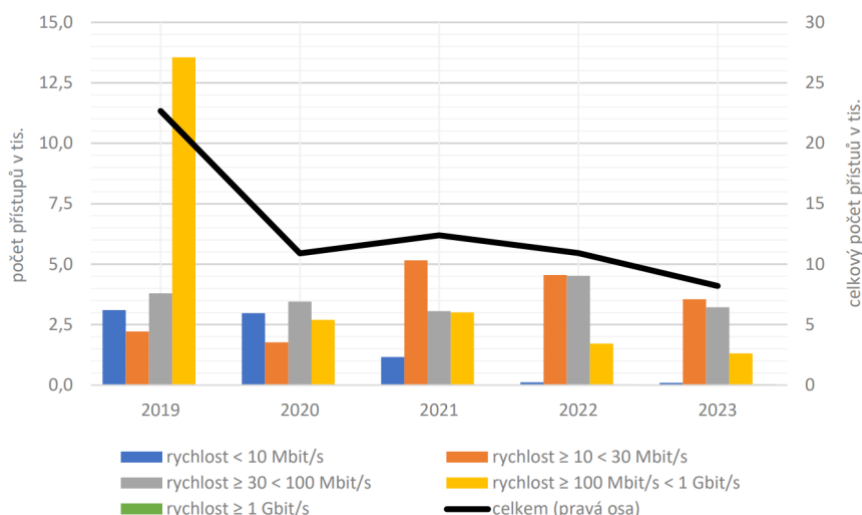
⁴ Veřejně dostupná nabídka společnosti O2 Czech republic a.s. neomezuje dostupnost služby pevného bezdrátového internetu na konkrétní adresní místo, ačkoliv je inzerovaná jako připojení na doma. Dostupné online: <https://www.o2.cz/osobni/internet/bezdratovy-internet#c-podrobne-informace-o-bezdratovem-internetu-a98082>

Podíly všech rychlostních kategorií na celkovém množství aktivních přístupů v roce 2023 udává další graf.



Obrázek 2: Graf č. 62 ze Zprávy o vývoji trhu elektronických komunikací se zaměřením na rok 2023⁵; Struktura přístupů k internetu prostřednictvím fixního LTE/5G dle inzerovaných rychlostí v roce 2023

Graf v obrázku č. 3 ukazuje vývoj počtu přístupů k internetu prostřednictvím bezdrátových technologií provozovaných v licencovaných pásmech FWA dle inzerované rychlosti přístupu. Povšimněte si poklesu počtu inzerovaných přístupů s nabídkou rychlosti v intervalu ≥ 100 Mbit/s < 1 Gbit/s mezi roky 2019 až 2023.



Obrázek 3: Graf č. 65 ze Zprávy o vývoji trhu elektronických komunikací se zaměřením na rok 2023; Graf ukazuje vývoj počtu přístupů k internetu prostřednictvím bezdrátových technologií provozovaných v licencovaných pásmech FWA dle inzerované rychlosti přístupu.

4.3 FWA v licencovaných pásmech nevyužívající infrastrukturu mobilních sítí

Typickým zástupcem technologie bezdrátového přístupu v licencovaných pásmech přímo určených pro připojování v pevném místě byla technologie WiMax v pásmu 3,5 GHz. Technologie založená na standardu IEEE 802.16 nedoznala v České republice, ale ani ve světě, významného rozšíření. Hlavní bariérou rozšíření této jinak slibné technologie se stalo narušení principiálních předpokladů pro síť FWA – nízká pořizovací cena při přijatelných provozních nákladech, ačkoliv vyšších, nežli jsou provozní náklady na kabelové optické sítě. Dosahované rychlosti se pohybovali v řádech desítek Mbit/s na přístupový bod, tedy

⁵ https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/stranky/472017/soubory/zovt_2023.pdf

agregované mezi připojené uživatele. Prováděcím rozhodnutím Komise (EU) 2019/235 došlo ke změně harmonizovaného využití spektra, které předpokládá další rozvoj v tomto pásmu založený na technologiích 5G. Obdobný osud potkal dříve slibný rozvoj systémů bod – více bodů v úseku 24 až 26 GHz, určené původně pro pevné spoje bod-více bodů v rámci sítě pevného bezdrátového přístupu FWA provozovaných držiteli přidělu⁶.

Současné technologické potřeby podnikatelů poskytujících bezdrátové připojení v licencovaných pásmech je saturovány především prostřednictvím spojů bod – bod v licencovaných pásmech. Takové řešení umožňuje poskytnout služby vysokorychlostního přenosu dat včetně připojení k síti internet; je však pro svoji nákladnost určené buďto k připojení v segmentu korporátních klientů, anebo poskytuje přístup domácnostem zejména sdílejících připojení v rámci více bytových domů. Přístupů prostřednictvím licencovaného FWA bylo v roce 2023 vykázáno něco přes 8 tisíc přístupů.

Zlom počtu přístupů po roce 2020 zřejmě souvisí s uvolněním nového pásma 60 GHz pro bezlicenční použití, a postupným poklesem cen infrastrukturálních zařízení pro pásmo 80 GHz, které vedlo podnikatele k restrukturalizaci sítě a přechodu na řešení bez nutnosti pravidelných plateb za individuální oprávnění. Nasvědčuje tomu zejména pokles u rychlostní kategorie $\geq 100 \text{ Mbit/s} < 1 \text{ Gbit/s}$. Relativní zachování počtu přístupů s nižšími rychlostními profily pravděpodobně souvisí s vyšší vzdáleností uživatelských zařízení od přístupových bodů sítě, pro které nejsou milimetrová pásma vhodná. Nižší rychlostní profily nevyžadují zabírání kanálů s velkou šířkou pásma, díky kterému nedošlo k nákladovému tlaku na změnu technologického řešení. Dalším inhibátorem pro zachování řešení v licencovaném pásmu mohou být požadavky na vysokou dostupnost, které lze v licencovaných pásmech garantovat.

4.4 FWA ve volných pásmech

Pevný bezdrátový přístup v nelicencovaných pásmech je dlouhodobě nejvyužívanější službou přístupu k internetu v pevném místě, včetně všech kabelových technologií (viz Obrázek č. 1). Přístupů prostřednictvím bezdrátového přístupu ve volných pásmech podnikatelé vykázali v roce 2023 přibližně 1,115 mil.⁷

Technologické zázemí FWA v nelicencovaných pásmech se skládá především z technologie WiFi založené na pásmech 5 GHz, okrajově i na pásmu 2,4 GHz. Podle typu nasazení a generace technologie WiFi se pohybují doručované rychlosti přenosu mezi vyššími desítkami Megabit za vteřinu, až nižších stovek Mbit/s. Druhým nejběžnějším způsobem připojení je využívání technologií v pásmu 60 GHz (IEEE 802.11ad a IEEE 802.11ay), obchodně označované jako WiGig. Fundamentální výhodou milimetrových pásem obecně je schopnost poskytovat až gigabitové tarify. Rozšíření technologie WiGig nasvědčují počty registrací na portálu lan.ctu.cz, do kterého musí provozovatelé registrovat zařízení WiGig provozované v úseku 57–66 GHz. Záznamů o registraci je v 4Q roku 2024 dostupné téměř 133 tisíc. Na další část dostupného pásma v úseku 66–71 GHz se povinnost registrace nevztahuje⁸, celkový počet aktivně provozovaných technologií v pásmu 60 GHz je vyšší. Rozšíření pásma 60 GHz významným způsobem podpořila masová výroba součástkové základny a dostupnost této gigabitové technologie pro podnikatele poskytující služby elektronických komunikací. Nevýhodou WiGig je omezená schopnost propagace v prostředí, která striktně omezuje možnost připojení uživatelů vzdálenějších od přístupových bodů sítě.

Mezi méně časté způsoby připojení patří využívání technologií radioreléových spojů bod – bod ve volných pásmech. Zejména deriváty profesionálních infrastrukturálních spojů určených pro kmitočtová pásma 10,5 GHz⁹, 17 GHz¹⁰ či 80 GHz¹¹ poskytují vysokokapacitní připojení uživatelů, nejčastěji z řad korporátní klientely. Z pohledu zákaznické segmentace však jednoznačně dominují u bezlicenčního FWA přístupy služby poskytované domácnostem.

⁶ Část plánu využití rádiového spektra č. PV-P/2/03.2006-4 pro kmitočtové pásmo 24.25 – 27,5 GHz, strana 3-5, Oddíl 2, Pevná služba, dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/clanky/66423/soubory/telekomunikacni-vestnik-07-2006-1142585856.pdf>

⁷ Zpráva o vývoji trhu elektronických komunikací, stránky ČTÚ, rok vydání 2024, strana 57, dostupné online: https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/stranky/472017/soubory/zovt_2023.pdf

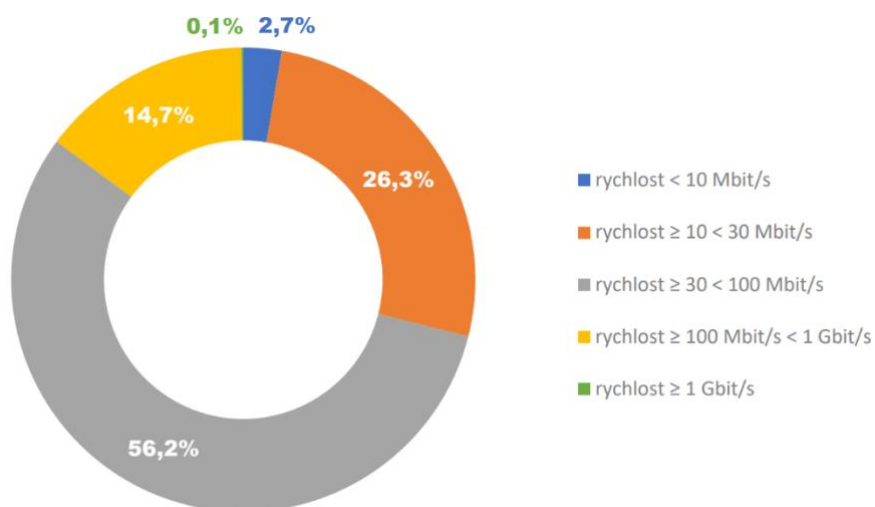
⁸ Všeobecné oprávnění č. VO-R/12/11.2021-11 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení pro širokopásmový přenos dat v pásmech 2,4 GHz až 71 GHz, OOP vydané ČTÚ, strana 2, dostupné online na: https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/vo-r_12-112021-11.pdf

⁹ Všeobecné oprávnění č. VO-R/14/05.2020-7 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení v kmitočtovém pásmu 10 GHz, OOP vydané ČTÚ, dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/ctu/vseobecne-opravneni-c.vo-r/14/05.2020-7/obrazky/vo-r-14-052020-7.pdf>

¹⁰ Všeobecné oprávnění č. VO-R/12/11.2021-11 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení pro širokopásmový přenos dat v pásmech 2,4 GHz až 71 GHz, OOP vydané ČTÚ, strana 2, dostupné online na: https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/vo-r_12-112021-11.pdf

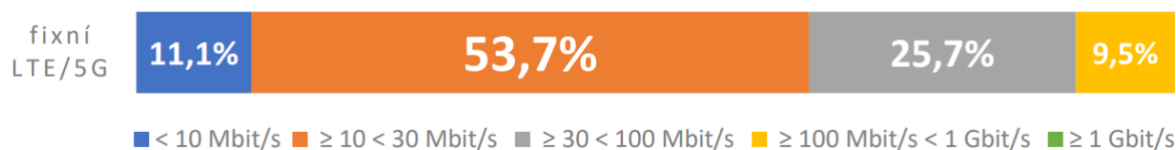
¹¹ Všeobecné oprávnění č. VO-R/23/06.2024-4 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení pevné služby v kmitočtových pásmech 71–76 GHz a 81–86 GHz, OOP vydané ČTÚ, dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/vo-r23-062024-4.pdf>

Obrázek 4: Graf č. 50 ze Zprávy o vývoji trhu elektronických komunikací se zaměřením na rok 2023; Graf struktury přístupů prostřednictvím bezdrátových technologií provozovaných ve volných pásmech dle inzerovaných rychlostí v roce 2023.



5 Současný stav a technologický vývoj 5G FWA

Pevný bezdrátový přístup FWA 5G/LTE v rámci konceptu MFCN, tedy k připojování domácností širokopásmovým připojením vede při svém rozvoji a nárůstu využívání k výraznému nárůstu objemu dat přenášených v mobilních sítích. V minulosti byl koncept FWA především s využitím možností technologií LTE používal především tam, kde nebyla dostatečná nabídka širokopásmového broadbandu prostřednictvím jiných technologií (i bezdrátového připojení ve volných pásmech) a zároveň byla k dispozici dostatečná kapacita přípojné sítě. Tyto synergické efekty však začaly narážet na tržní limity z důvodu rozvoje ostatních technologií pevného širokopásmového připojení – dokonce i venkovských a odloučených oblastech. Takový vývoj konkurenčního prostředí na trhu nutí mobilní operátory v oblastech, ve kterých to jejich infrastruktura dovoluje, modernizovat síť technologií FWA 5G. Teprve FWA 5G umožňuje nabízet tarify v intervalu $\geq 100 \text{ Mbit/s} < 1 \text{ Gbit/s}$.



Obrázek 5: Struktura rychlostních kategorií dle inzerované rychlosti ze Zprávy o vývoji trhu elektronických komunikací se zaměřením na rok 2023 vydané Českým telekomunikačním úřadem.

V porovnání s konkurenčními technologiemi musíme brát v úvahu také údaje o rychlosti nahrávání dat do internetu (upload), která se může lišit v závislosti na dostupné frekvenci mobilní sítě pokrývající adresní bod. Tarify FWA LTE ve veřejných nabídkách operátorů pracují s poměrem download / upload 10:1, tedy tarif s rychlostí stahování dat 20 Mbit/s nabízí pro nahrávání dat 2 Mbit/s. Tato zjevná technologická nevýhoda oproti ostatním technologiím může postupem času vymizet přechodem na novější generace 5G NR 3GPP standardů. Takový přechod a masivní navýšení datové zátěže MFCN infrastruktury tarify pevného připojení podstatně zvedá cenu investic a výši provozních nákladů.

Jak napsal William Webb ve své knize „The End of Telecom History¹², *technologie pevného bezdrátového přístupu by v konkurenci s pevným kabelovým připojením neměla být úspěšná. Kvalitní kabelové pevné připojení by mělo být rychlejší, spolehlivější a mít dlouhodobě nižší náklady nežli mobilní připojení*“.

Bude FWA LTE5G konkurenceschopné? Z důvodu postupné výstavby optických kabelových sítí, zejména plně optické infrastruktury FTTH/B, ale také i zkracování vzdáleností mezi optickou přípojnou sítí a přípojnými body přístupových technologií ostatních soutěžitelů (přístupové ústředny sítě xDSL, FWA založené na volných pásmech), budou při rozhodování spotřebitelů hrát roli i jiné tržní aspekty nežli dostupnost a kvalita nabídky. Důvodem pro pořízení pevného bezdrátového připojení LTE/5G se stane především flexibilita připojení – například pro uživatele, kteří si pronajímají byt, či pro uživatele, kteří si chtějí brát své připojení sebou. Největší rozšíření FWA prostřednictvím LTE/5G tak můžeme očekávat v oblastech, které nejsou obsluhovány dostatečnou kabelovou infrastrukturou nebo/a ve kterých je vysoká cenová bariéra výstavby plně optických sítí až do domácností – tedy do domácností, doposud využívajících pevné bezdrátové sítě FWA založených na volných, nelicencovaných frekvenčních pásmech. Konkurenční výhodou FWA LTE/5G oproti bezlicenční FWA jsou vyhrazené kmitočty – a technické možnosti využívání větší šíře pásma u frekvencí pod 6GHz, vhodných pro pokrývání rozsáhlejších oblastí (pokrytí větší plochy signálem ze základnové stanice.) U kmitočtů pod 6GHz mají poskytovatelé bezlicenčního pevného připojení k dispozici pouze sdílené pásmo WiFi, u kterého je kvalita služby závislá na míře rušení. Poskytovatelé bezlicenčních FWA se proto uchylují k masivnějšímu

¹² William Webb, The End of Telecom History, 2024, ISBN-13:9798328402729

využívání úseku 57 – 71 GHz WiGig podle Všeobecného oprávnění VO/R-12, kde je k dispozici 14 000 MHz šíře pásma a kolize ve spektru jsou málo pravděpodobné. Milimetrová pásma (desítky GHz) jsou vhodná pro bezlicenční poskytování s gigabitovými parametry. Podle typu oblasti, profilu krajiny, hustoty zalidnění a dalších faktorů může být technologický souboj mezi licencovanými a volnými typy bezdrátového připojení velmi vyrovnaný. Především kvůli ekonomickým faktorům, jako jsou náklady na provoz a údržbu sítě – tyto faktory přímo ovlivňují cenu, podle které se rozhoduje účastník / spotřebitel. V případě FWA LTE/5G jsou k dispozici celoplošné frekvence 4G a 5G sítí, které se v závislosti na použité frekvenci odlišují fyzikálními vlastnostmi šíření, což přináší větší flexibilitu a dosah od základnových stanic sítě. V úvahu je třeba brát zatížení dostupných přístupových kmitočtů mobilní sítě požadavky ryze mobilních zařízení a dostupnou šířkou pásma jednotlivých frekvencí 4G a 5G infrastruktury, které mají vliv na kvalitu poskytovaných služeb FWA LTE/5G, zatímco u čistě pevné bezdrátové infrastruktury v každém okamžiku znáte počet připojených domácností a můžete dimenzovat síť přesně na míru přenosovým požadavkům.

Obsluhování přípojek pro vysokorychlostní datové přenosy prostřednictvím mobilních frekvencí sdílených také pro pevnou službu, v relativně delší vzdálenosti od základnové stanice má technická a ekonomická omezení. Kmitočty kapacitně vhodné pro poskytování služby konkurenceschopné kabelové infrastruktury – u kterých je k dispozici více frekvenčního prostoru a z hlediska čistě mobilní služby je kvůli vlastnostem šíření v prostoru vytižené pro mobilní komunikaci. Na druhou stranu, pro široké využití kmitočtů mobilní sítě požadavky ryze mobilních zařízení a dostupnou šířkou pásma jednotlivých frekvencí 4G a 5G infrastruktury, které mají vliv na kvalitu poskytovaných služeb FWA LTE/5G, zatímco u čistě pevné bezdrátové infrastruktury v každém okamžiku znáte počet připojených domácností a můžete dimenzovat síť přesně na míru přenosovým požadavkům.

Průměrná měsíční spotřeba dat přípojky pevné infrastruktury je dle dat je 332 GB na aktivní přípojku, (Zpráva ČTÚ o stavu trhu, 2024) zatímco u mobilních služeb je to přibližně 33x méně¹³ (9,7 GB měsíčně na SIM s datovým tarifem). **Průměrné zatížení přípojky mobilní sítě je tedy na hranici 3% průměrné zátěže přípojky pevné infrastruktury.**

Co je to vlastně koncept MFCN (Mobile Fix Communication Networks)? Představuje budoucí vývoj „mobilní“ pevné bezdrátové sítě. Je jím hybridní telekomunikační síť, která kombinuje prvky jak mobilních, tak pevných komunikačních technologií, s cílem poskytovat širokopásmové, spolehlivé a pro část nabídky i instalačně nenáročné služby elektronických komunikací. Představme si MFCN jako optickou síť, která obsluhuje zároveň přímo připojené uživatele, ale připojuje také části mobilní sítě a pevné bezdrátové připojení FWA.

Klíčové komponenty MFCN:

Mobilní síťová složka: Mobilní část MFCN zahrnuje infrastrukturu, která je typická pro mobilní sítě, jako jsou základnové stanice (BTS, NodeB, eNodeB, gNodeB) a páteřní síť, které podporují mobilní zařízení v rámci rozsáhlého geografického pokrytí. Mobilní část je optimalizována pro podporu mobility uživatelů, a to včetně služeb, které jsou k dispozici během pohybu, jako je hlasová komunikace, rychlá datová spojení a roaming. Mobilní technologie, které mohou být součástí MFCN, zahrnují sítě 4G LTE, 5G využívající kmitočty mobilní sítě, anebo přímo vyšší kmitočty vhodné svojí šířkou pásma pro kapacitní datové přenosy.

Pevná síťová složka: Pevná část MFCN se opírá o fyzickou infrastrukturu, zejména optická kabelová vedení s dostatečnou datovou propustností. Taková architektura sítě umožňuje rozvoj datově náročného FWA, které poskytuje širokopásmové připojení do lokalit kvůli vysoké datové propustnosti. I frekvence fyzikálně více vhodné pro využití v pevných bezdrátových sítích FWA je v odůvodněných případech možné využívat pro účely mobilního datového připojení – například pro pokrytí míst, jako jsou shromaždiště osob. Pevná složka MFCN převážně využívá pásma jako 3400–3800 MHz či v kandidátském pásmu 26 GHz, zatímco mobilní složka operuje převážně v pásmech, jako jsou 700 MHz, 800 MHz, 1800 MHz a 2600 MHz. MFCN podporuje jak Time Division Duplex (TDD), tak Frequency Division Duplex (FDD), což poskytuje flexibilitu při využívání frekvenčních zdrojů. V TDD režimu je stejná frekvence používána pro uplink i downlink, ale v různých časových intervalech, zatímco FDD využívá oddělená pásma pro každý směr přenosu.

3 400 – 3800 MHz, část PVRS PV-P/7¹⁴, harmonizováno podle ECC/DEC/(11)06¹⁵, určeno pro síť s pevnými, nomadickými anebo pohyblivými terminály. Velikost přidělených bloků jsou násobky 5 MHz. Duplexním režimem provozu je TDD. Koexistence s ostatními službami - Fixed service (FS), družicové pevné služby (FSS) je upravena ve zprávě CEPT ECC 254¹⁶

13 Výroční zpráva ČTÚ, dostupné online: https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/stranky/487450/soubory/VZ%20%20C4%8CT%C3%9A%202023_0.pdf

14 Část plánu využití rádiového spektra č. PV-P/7/02.2022-3 pro kmitočtové pásmo 2700–4200 MHz, OOP vydané ČTÚ, dostupné online: <https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/ctu/sdeleni-o-vydani-opatreni-obecne-povahy-casti-planu-vyuziti-radioveho-spektra-c-pv-p/7/02.2022-3-pro-kmitoctove-pasmo-2700-4200-mhz/obrazky/pvrs7p.pdf>

15 ECC Decision (11)06, Harmonised frequency arrangements and least restrictive technical conditions (LRTC) for mobile/fixed communications networks (MFCN) operating in the band 3400-3800 MHz, dostupné online na: <https://docdb.cept.org/download/1531>

16 CEPT ECC 254; Operational guidelines for spectrum sharing to support the implementation of the current ECC framework in the 3600-3800 MHz range, dostupné online na: <https://docdb.cept.org/download/1276>

Frekvenční bloky umožňující využívání kanálu LTE 42 (3400–3600 MHz) a LTE 43 (3600 – 3800 MHz), kanály 5G NR n77/n78. Vzhledem k celkové velikosti přidělu by měla být dostupná signifikantní šířka pásma u ucelených kmitočtových blocích pro konkurenceschopnou nabídku služeb vysokorychlostního připojení s parametry vyhovujícím potřebám většinového uživatele¹⁷. V Prováděcím rozhodnutí Komise (EU) 2019/235¹⁸ byl jako jeden z cílů stanovený úkol vytvořit dostatečně široký souvislý blok komunikačního kanálu:

„S ohledem na Článek 54 evropského kodexu pro elektronické komunikace by členské státy měly usilovat o defragmentaci kmitočtového pásma 3 400–3 800 MHz, aby poskytly možnosti přístupu k velkým souvislým úsekům spektra v souladu s cílem gigabitového připojení. To zahrnuje i usnadnění obchodování se stávajícími právy na užívání a/nebo jejich pronájmu. Velké souvislé úseky spektra nejlépe 80–100 MHz usnadňují efektivní zavádění bezdrátových širokopásmových služeb 5G, např. s použitím aktivních anténních systémů (AAS), služeb s vysokou přenosovou rychlostí, vysokou spolehlivostí a nízkou latencí v souladu s cílem politiky gigabitového připojení. Tento cíl je pro defragmentaci zvláště významný.“

Současný stav cílům prováděcího nařízení ne zcela odpovídá. V první aukci kmitočtů FWA v roce 2017 ČTÚ přidělil kmitočty v rozsahu 3600–3700 MHz mezi stávající dva mobilní operátory – Vodafone Czech Republic a O2 Czech Republic a.s. Dalšími aukčními výherci se stali poskytovatelé bez mobilních služeb – PODA a.s. a Nordic Telecom a.s. Draženy byly frekvenční bloky 40MHz, dražitel Nordic Telecom získal dva frekvenční bloky, tedy 80 MHz. Dále PODA a.s. vydražila 40 MHz, O2 CZ 40 MHz a Vodafone CZ 40 MHz. V roce 2017 nebyla specifikace 5G NR ještě zcela rozvinutá, v rozvojových podmínkách služby pro ČTÚ nepožadoval využívání 5G NR technologií.

Tabulka 1: první aukce pásma 3,6 GHz

Vítěz aukce FWA 4G	Přidělené úseky rádiových kmitočtů v pásmu 3 600 – 3800 MHz	Rozdělení úseku celkem 200 MHz
PODA a.s.	3600 – 3640 MHz	40 MHz
Nordic Telecom 5G a.s.	3720 – 3800 MHz	80 MHz
O2 Czech Republic a.s.	3640 – 3680 MHz	40 MHz
Vodafone Czech Republic a.s.	3680 – 3720 MHz	40 MHz

Ve druhé aukci, již 5G kmitočtů, získal dražební bloky Nordic Telecom 5G a.s.; CentroNet, a.s.; T-Mobile Czech Republic a.s.; Vodafone Czech Republic a.s. a O2 Czech Republic a.s.

Tabulka 2: Druhá aukce pásma 3,6 GHz

Vítěz aukce 2021	Přidělené úseky rádiových kmitočtů v pásmu 3 400 – 3600 MHz	Rozdělení úseku celkem 200 MHz
CentroNet, a.s.;	3400 – 3480 MHz	80 MHz
Nordic Telecom 5G a.s.	3580 – 3600 MHz	20 MHz
O2 Czech Republic a.s.	3540 – 3560 MHz	20 MHz
T-Mobile Czech Republic a.s.	3480 – 3540 MHz	60 MHz
Vodafone Czech Republic a.s.	3560 – 3580 MHz	20 MHz

Podmínky aukce 5G v roce 2020 již popisují technické požadavky jako „standard přístupové rádiové sítě 5G NR (New Radio) v architektuře, která splňuje požadavky specifikací ETSI TS 123 501 (3GPP TS 23.501) a ETSI TS 138 401 (3GPP TS 38.401) nebo aktuálnějších“. Aukce 5G kmitočtů v roce 2020 kromě přidělu MFCN 3600 – 3800 MHz rozdělila frekvenční bloky v pásmu 700 MHz.

17 Nejčastěji využívané tarify napříč technologiemi leží v intervalu ≥ 100 Mbit/s, kvůli omezením technologií s největším podílem na trhu – xDSL a WiFi FWA lze označit tarify s rychlostí stahování 100Mbit/s za vyhovující pro potřeby většiny domácností v roce 2024.

18 Prováděcí rozhodnutí Komise (EU) 2019/235, část Odůvodnění, odstavec (10), dostupné online na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019D0235&from=EN>

V jeden okamžik byla na trhu kromě tří mobilních operátorů ještě množina tří dalších pevných operátorů, a to PODA a.s., Nordic Telecom a.s. a CENTRONET a.s. (frekvenční přiděl převedený do společnosti Incrate s.r.o.).

Společnost PODA a.s. postoupila práva ke kmitočtům společnosti VODAFONE Czech Republic a.s. v roce 2023¹⁹. Vodafone ČR a.s. nyní k dispozici blok 100 MHz.

Incrate s.r.o. postoupil svoje kmitočty společnosti T-Mobile Czech Republic a.s. v roce 2023²⁰. Celkový přiděl T-mobile ČR a.s. nyní činí 140 MHz.

Společnost Nordic Telecom a.s., která nejvíce poskytování služeb FWA prostřednictvím svého přidělu LTE/5G kmitočtů rozvinula, se stala dceřinou společností²¹ O2 Czech Republic a.s. Ta tedy přímo ovládá zbylé kmitočty z celkového rozsahu 400 MHz přidělu 3400–3800 MHz, tedy 160 MHz.

V roce 2024 byla dokončena konsolidace trhu a přerozdělení FWA LTE/5G kmitočtů mezi stávající mobilní operátory, kteří tak budou moci využívat v plné míře koncept MFCN sítě. K dispozici mají dostatečně velké frekvenční přiděly pro poskytování VHCN služeb v pevné infrastruktuře. Problematickým pro rychlejší rozvoj 5G NR služeb se jeví faktor dožívání čistě LTE infrastruktury využívající kanály přidělené v roce 2017. K obměně infrastrukturálních zařízení postupně dochází mimo jiné i přirozenou obměnou – nicméně jako při každé generační obměně je zpomalujícím faktorem rozšíření modernějšího typu služeb rozšíření zákaznických zařízení (CPE). Důležitým faktorem pro rozvoj 5G NR je v každém případě ucelenost dostupných frekvenčních bloků. Změna rádiových kmitočtů (refarming)²² v roce 2021 jako by předurčila směr budoucí konsolidace trhu; kmitočtové bloky na sebe navazují.

Tabulka 3 Konsolidace pásma 3,6 GHz

Držitel přidělu rádiových kmitočtů 2021	Přidělený rozsah rádiových kmitočtů
incrate s.r.o. (nyní TMCZ)	3400–3480 MHz
T-Mobile Czech Republic a.s.	3480–3540 MHz
Vodafone Czech Republic a.s.	3540–3600 MHz
PODA a.s. (Nyní VDF CZ)	3600–3640 MHz
O2 Czech Republic a.s.	3640–3700 MHz
Nordic Telecom 5G a.s. (Nyní O2 CZ)	3700–3800 MHz

Frekvenční celoplošné přiděly 3400–3800 MHz pro 5G NR pro MFCN jsou nyní přiděleny třem podnikajícím subjektům – mobilním operátorům, a čeká je technologický rozvoj v rámci konceptu hybridního využití pro pevné a doplňkově i mobilní služby. Další rozvoj MFCN založený na principu neceloplošných přidělů v C – pásmu (tj. lokální sítě, průmyslové sítě apod.) lze tedy potencionálně směřovat pouze do úseku 3800–4200 MHz. To je však v roce 2024 podle Plánu využití rádiového spektra²³ přidělené spojení bod – bod pevné služby podle Doporučení ITU-R²⁴. Podle databáze ČTÚ pevnou službu bod – bod v České republice využívá 96 přidělených Individuálních oprávnění pro každý kmitočet. Vzhledem k faktu, že povoleny jsou toliko duplexní spoje s šířkou pásma 29 MHz, je počet aktivních duplexních spojení v pásmu 43 zařízení. **Pásmo možného celonárodního významu s technologickými možnostmi gigabitové infrastruktury je téměř nevyužíváno.** Úsek 3400–4200 MHz může být využíván také Družicovou pevnou službou (FSS). Přiděly pro sestupný směr z telekomunikačních družic směrem ke koordinovaným pozemským stanicím však nejsou v České republice využívány. Jako zásadní pro další rozvoj mobilních sítí a

¹⁹ Dle informace o převodu přidělu rádiových kmitočtů; ČTÚ; online na: <https://ctu.gov.cz/infromace-o-prevodu-pridelu-56836-2022>

²⁰ Dle informace o převodu přidělu rádiových kmitočtů; ČTÚ; online na: <https://ctu.gov.cz/infromace-o-prevodu-pridelu-12519-2023>

²¹ Tisková zpráva Nordic Telecom a.s., dostupná online na: <https://nordictelecom.cz/pro-media/12/prodej-nordic-O2/>

²² INFORMACE o změně přidělů rádiových kmitočtů v kmitočtovém pásmu 3400–3800 MHz, vydáno ČTÚ, dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/refarming-3600/rozhodnuti>

²³ Část plánu využití rádiového spektra č. PV-P/7/02.2022-3 pro kmitočtové pásmo 2700–4200 MHz, únor 2022, dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/ctu/sdeleni-o-vydani-opatreni-obecne-povahy-casti-planu-vyuziti-radioveho-spektra-c.pv-p/7/02.2022-3-pro-kmitoctove-pasmo-2700-4200-mhz/obrazky/pvrs7p.pdf>

²⁴ Doporučení ITU-R F.382-8 – Uspořádání rádiových kanálů pro radioreléové systémy provozované v pásmech 2 a 4 GHz [Radio/frequency channel arrangement for radio/relay systems operating in the 2 and 4 GHz bands].

lokálních sítí v pásmu 3800–4200 MHz může být také kolize s leteckou pohyblivou službou. Pásmo 4200–4400 MHz je využíváno leteckými palubními radiovýškoměry²⁵.

Návrh Strategie správy kmitočtového spektra²⁶ ČTÚ proto na základě Mandátu Evropské Komise pro CEPT²⁷ pracuje s národním záměrem neukončovat stávající provoz pevné služby a jeho další rozvoj, ale hledat podmínky pro sdílení s potencionálními novými uživateli pásma, tj. lokálními sítěmi MFCN (veřejnými i neveřejnými). Z hlediska podnikatelských záměrů by bylo pásmo zajímavé také pro specifické účely a způsoby komunikace v průmyslu. Návrh technických podmínek CEPT však není ještě hotový. Dalších 400 MHz vhodných pro FWA služby (MFCN) však může zásadně ovlivnit budoucí vývoj podnikatelského prostředí na trhu elektronických komunikací. Důležitá bude také dostupnost zařízení, způsob autorizace přístupu ke spektru a výše poplatků za jeho využívání. Neveřejným způsobem využívání kmitočtů se myslí provoz zcela nezávislé privátní sítě, oddělené od jakéhokoliv vlivu na třetím subjektu. Zcela specifický způsob komunikace je vhodný zejména pro velké výrobní podniky, skladové hospodářství, důlní činnost či jiné průmyslové aplikace. V budoucnu nelze potřebu výstavby privátních sítí ve Strategiích opomenout. Je třeba připomenout, že nejvýraznějším technologickým rozdílem při provozu celostátních sítí MFCN a privátních / místních sítí založených na technologiích 5G NR bude princip STAND ALONE, tedy provoz nezávislý na tradičním jádru sítí s odděleným řízením časových slotů. Více v kapitole Technologické trendy.

Dalším „kandidátským“ kmitočtovým přidělem pro MFCN sítě je pásmo 26 GHz. Budoucnost kmitočtového úseku 24,25 – 27,5 GHz je v souladu s rozhodnutím Komise²⁸ (EU) a rozhodnutím ECC²⁹ určeno na **nevýhradním základě**³⁰ pro využívání systému širokopásmových služeb elektronických komunikací (IMT). Využívání nižšího úseku 24,25 – 26,5 GHz pohyblivou službou prozatím brání využití službou pevnou (FS), zejména pak spoji bod – bod s většími šířkami kanálů. V úvahu je třeba vzít také potřebu ochrany satelitních služeb.

Technické podmínky pro experimentální využívání stanovené pro úsek 26,5 – 27,5 GHz v Českém plánu využití spektra z roku 2020³¹ nejdůležitější podmínky:

- V úseku je vymezeno pět sousedních bloků o šířce pásma 200 MHz.
- Provoz je s TDD
- Celkový vyzářený výkon TRP antény základnové stanice je nejvýše 25dBm/200MHz
- Využívání uvedených bloků nebo bloků o šíři jejich násobků je možné až do celkové šířky pásma 1 GHz
- Základnové stanice, které mají TRP vyšší nežli 5 dBm, a současně jsou instalovány ve vnějším prostředí, musejí být vybavené možností zavedení synchronizace časových rámců režimu přijímání a vysílání (TDD). Úřad může doporučit nebo stanovit povinnost časové synchronizace.
- Základnové stanice, které jsou instalovány uvnitř budov, musí být instalovány takovým způsobem, aby vyzařování vně budovy bylo co nejmenší a aby byl v místech základnových stanic instalovaných ve vnějším prostředí dodržen odstup signál – šum alespoň 30 dBm.
- V případě základnových stanic instalovaných ve vnějším prostředí, provozovaných s maximálním povoleným výkonem TRP³² a současně využívajících nesynchronizovaný provoz, je při použití shodného kanálu základní geografická separace 3 km v případě přímé vzájemné viditelnosti stanic, respektive 1,6 km v případě umístění antény ve výšce do 6 m nad terénem v prostředí s překážkami (např. městské prostředí). V případě použití sousedních bezprostředně

²⁵ Zpráva ERC č. 25: Evropská tabulka přidělení kmitočtů a aplikací v kmitočtovém pásmu 8,3 kHz až 3000 GHz, rev.2020, [ERC Report 25: European Table of Frequency Allocations and Applications in the frequency range 8.3 kHz to 3000 GHz, rev. 2020].

²⁶ Návrh Strategie správy kmitočtového spektra, zveřejněná v říjnu 2024, dostupná online na: https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/ctu/vyzva-k-vyjadreni-se-k-navrhu-strategie-spravy-radioveho-spektra/obrazky/241010_navrh_strategie_spravy_specra-corr.pdf

²⁷ Mandát EK pro CEPT „Mandát ke stanovení technických podmínek týkajících se sdíleného využívání kmitočtového pásma 3,8-4,2 GHz pro pozemní bezdrátové širokopásmové systémy poskytující připojení k místní síti v Unii“, dostupné online na: <https://ec.europa.eu/newsroom/dae/redirection/document/82230>

²⁸ Prováděcí rozhodnutí Komise (EU) 2020/590 ze dne 24. dubna 2020, kterým se mění rozhodnutí (EU) 2019/784 o harmonizaci kmitočtového pásma 24,25–27,5 GHz pro zemské systémy k poskytování bezdrátových širokopásmových služeb elektronických komunikací v Unii

²⁹ Rozhodnutí ECC/DEC/(18)06 – Harmonizované technické podmínky pro pohyblivé/pevné sítě elektronických komunikací v pásmu 24,25–27,5 GHz [Harmonised technical conditions for Mobile/Fixed Communications Networks (MFCN) in the band 24.25–27.5 GHz].

³⁰ Nevýhradní základ přidělování rádiových kmitočtů znamená autorizace nikoliv celoplošnými přiděly, tedy odlišně od způsobu přidělování práva k využívání kmitočtů v pásmu 3 400 – 3800 MHz.

³¹ Aktuální část plánu využití rádiového spektra č. PV-P/2/10.2020-10 pro kmitočtové pásmo 24,25–27,5 GHz, dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/ctu/sdeleni-o-vydani-opatreni-obecne-povahy-casti-planu-vyuziti-radioveho-spektra-c.pv-p/2/10.2020-10-pro-kmitoctove-pasmo-2425-275-ghz/obrazky/pvrs-2p.pdf>

³² Celkový vyzářený výkon, anglicky Total Radiated Power.

přiléhajících kanálů je separace 1,5 km resp. 0,9 km. Geografickou separaci může upravit Úřad individuálně podle konkrétních podmínek.

- Základnové stanice jsou vybaveny aktivními anténními systémy. Hlavní vyzařovaný svazek musí směřovat pod úroveň horizontu.
- Využívání kmitočtů základnovými stanicemi a terminály je možné pouze na základě individuálního oprávnění k využívání rádiových kmitočtů pro experimentální účely.

Úřad v roce 2020 stanovil tyto konkrétní požadavky pro experimentální využívání zařízení v úseku 26,5 – 27,5 GHz jednak v souladu s harmonizovanými podmínkami, ale také za účelem získání provozních zkušeností a ověření zájmu ze strany průmyslu. Pilotní projekty, o jejichž průběhu jsou publikovaná data³³, ukazují na zájem průmyslu o využívání také užším vysílacích kanálů násobků 50 MHz a 100 MHz, zejména kvůli výši poplatků za individuální oprávnění k využívání kmitočtů. Z dostupných dat vyplývá, že doručované kapacity na uživatele dosahují řádu několika set megabit za sekundu. 5G NR kanál n258 ve své technické specifikaci 3GPP TR 38.815. rel.15 pracuje s možností využívání kanálového uspořádání 50 / 100 / 200 / 400 MHz.

ECC Decision (18)06 (1)³⁴ v Annex 1 přímo uvádí:

- Frekvenční uspořádání je uspořádání TDD s velikostí bloku 200 MHz;
- Tato velikost bloku může být upravena na užší bloky (násobky 50 MHz) sousedící s jinými uživateli, aby bylo možné plně využít spektrum, pokud je to nutné);
- Pokud je třeba bloky posunout, aby se přizpůsobily jiným způsobům využití, měl by se tento posun provádět v krocích po 10 MHz.

Aktuální úprava pro přidělování experimentálních kmitočtů v pásmu 26 GHz dočasně v České republice s využívání užších kanálů nežli 200 MHz nepočítá. Pro výpočet výše poplatku se využívá Nařízení Vlády České republiky 154/2005 Sb. O stanovení výše a způsobu výpočtu poplatků za využívání rádiových kmitočtů. Nevýhradně, tedy formou Individuálních oprávnění, lze přidělovat kmitočty podle kapitoly A 3.1:

A 3.1 Zemské systémy k poskytování bezdrátových širokopásmových služeb elektronických komunikací v kmitočtových pásmech 24,25-27,5 GHz a 40,5-43,5 GHz.

Kč ročně dle výpočtu

$$C = \sum_{i=1}^n S_4i$$

kde je

C poplatek za využívání jednoho rádiového kmitočtu

n počet jednotlivých základnových stanic

S₄ poplatek za využívání rádiového kmitočtu jednotlivými základnovými stanicemi v závislosti na přidělené šířce pásma

Tabulka 4: Poplatek S₄ v Kč dle šířky pásma

Šířka pásma (MHz)	0 MHz	200 MHz	400 MHz	600 MHz	800 MHz
	<=	<=	<=	<=	<=

³³ Konference ISP Futuretec 2022, přednáška Jakub Rejzek, 5G - FWA 26GHz - budoucnost vysokokapacitního PtMP?; dostupné online na: <https://www.isp-konference.cz/isp-futuretec-2022/hlavni-program>, případová studie Samsung / Konference KKDS Plzeň 2023, přednáška Jan Stejskal, závěry z pilotního projektu Cambium Networks, dostupné online na: <https://www.isp-konference.cz/sites/default/files/obsah/konference/program/soubory/prezentacejanstejskal.pdf>, záznam přednášky dostupný online: https://www.youtube.com/watch?v=bgfgw_dYEvY.

³⁴ ECC/DEC/(18)06 of 6 July 2018 on the harmonised technical conditions for Mobile/Fixed Communications Networks (MFCN) in the band 24.25-27.5 GHz, latest amended on 20 November 2020 (ECC#54), dostupné online na: <https://docdb.cept.org/document/3361>

	200 MHz	400 MHz	600 MHz	800 MHz	1 000 MHz
Poplatek S4 (Kč)	3 000	6 000	9 000	12 000	15 000

Vzhledem k faktu, že provoz MFCN infrastruktury na základě individuálních oprávnění je zpoplatněný součtem počtu přidělených kmitočtů;

a vzhledem k faktu, že kanál se šíří pásma 50 MHz a 100 MHz je v případě frekvenčních přidělů 3400 – 3800 MHz za dostatečný pro poskytování služeb s velmi vysokou kapacitou, pro budoucí rozvoj bezdrátové infrastruktury MFCN zejména v rurálních oblastech s nízkým počtem účastníků, bude možnost přidělování užších kanálů klíčová pro ekonomickou replikovatelnost komerční nabídky služeb.

Využitelnost pásma 26 GHz v sítích MFCN je nad očekávání široká. Například americká společnost Verizon využívá obdobné pásmo 28 GHz pro Ultra WideBand (UWB) přenosy při poskytování 5G UWB služeb. S využitím kanálu 5G NR n257 v předměstích amerických měst nabízí tarify s rychlostmi 85–1000 Mbit/s³⁵ jako FWA. Infrastruktura milimetrových vln je v USA využitelná také pro přímé připojení mobilních telefonů. Některé vyšší modely mobilních telefonů na americkém trhu podporují přímou komunikaci s 5G NR kanály n258 pro pásmo 26 GHz a n261 pro pásmo 28 GHz³⁶.

V rurálním prostředí je pro FWA využití milimetrového pásma možnost připojit také uživatele vzdálenější od základnové stanice sítě. Data z pilotních projektů ukazují, za předpokladu použití pevné instalace CPE se parabolickou ziskovou anténou s průměrem 1 ft, na schopnost poskytovat tarify s parametry v řádech stovek megabit za sekundu na vzdálenost až 5 km od sektorové antény základní stanice (100 MHz). Dalším technologickým vývojem, při využití plných možností 5G NR, lze očekávat ještě výrazný nárůst přenosových kapacit. Mezi další kandidátská milimetrová pásma 5G NR patří pásmo 42 GHz³⁷.

³⁵ <https://www.cnet.com/home/internet/verizon-5g-home-internet-vs-t-mobile-home-internet/>

³⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=OCyGkeH6vxA>

³⁷ Analýza současného a budoucího využití pásma 42 GHz, Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, dostupné online na <https://www.mpo.gov.cz/assets/cz/e-komunikace-a-posta/studie-k-narodnimu-planu-obnovy/2024/6/Studie-3.pdf>

6 Aktuální stav nasazení 5G technologie a technologické trendy v oblasti mobilních sítí

Základní rozdělení tradiční celoplošné sítě je dělení na jádro sítě (CORE), páteřní části sítě (BACKBONE), přípojně části sítě (BACKHAUL) a přístupové části sítě (ACCESS).

CORE mobilní infrastruktury se vyvíjel společně s generacemi mobilních sítí, dokonce i fyzickou podobou. V současné době se ustupuje od specializovaného hardwarového řešení a moderní CORE nabývá podoby virtualizace i více jader sítě umístěných v datových centrech. To je důležité především pro rozvoj 5G NR infrastruktury, neboť lze přisouvat jádra sítě **Stand Alone** řešení blíže k uživatelům. 5G CORE je navrženo na principu cloud-nativních technologií. Využívá mikroslužby a kontejnerizaci (např. Kubernetes) pro škálovatelnost a efektivitu. To znamená, že jednotlivé síťové funkce mohou běžet jako oddělené mikroslužby, které lze snadno upravovat, nasazovat nebo škálovat podle potřeby. 5G core lze optimalizovat pro masivní konektivitu a škálovat jeho prostředky pro optimalizaci poskytování sítě MFCN tak, aby plně využíval možností technologií 5G FWA jako části MFCN infrastruktury.

Důležité pro pochopení současného stavu rozvoje 5G infrastruktury je popis jádra sítě českých mobilních operátorů. V současné době³⁸ (2024) probíhá proces přechodu z Non Stand Alone (NSA) CORE sítě na Stand Alone (SA) CORE. NSA sítě jsou závislé na existující 4G infrastruktuře (Evolved Packet Core – EPC). 5G rádiové frekvence (New Radio – NR) jsou využívány pro přenos dat, ale kontrolní funkce (tzv. control plane) jsou řízeny prostřednictvím 4G LTE infrastruktury. Jedná se o přechodné řešení, kde 4G jádro stále hraje klíčovou roli a využívá se zejména ke snazšímu a rychlejšímu nasazení technologií 5G v rádiové přístupové části sítě (RAN). Teprve plně nezávislá 5G MFCN síť s novým jádrem a všemi výhodami 5G technologie může naplnit všechny proklamované vlastnosti 5G infrastruktury.

Klíčové komponenty (funkce) 5G CORE:

- Access and Mobility Management Function (AMF): Řídí registraci uživatelů a přidělování připojení.
- Session Management Function (SMF): Řídí nastavení a správu datových připojení uživatelů (session management).
- User Plane Function (UPF): Zajišťuje přenos uživatelských dat, oddělený od kontrolní roviny.
- Network Repository Function (NRF): Udržuje informace o dostupných síťových funkcích a umožňuje jejich dynamické propojení.
- Policy Control Function (PCF): Řídí pravidla a podmínky pro poskytování služeb uživatelům.
- Unified Data Management (UDM): Spravuje data uživatelů, jako je ověřování a oprávnění.
- Network Exposure Function (NEF): Umožňuje externím aplikacím přístup k síťovým službám a zdrojům přes API.

Klíčové komponenty tradičního jádra sítě (na příkladu 4G LTE EPC):

- MME (Mobility Management Entity): Spravuje registraci, autentizaci a sledování polohy uživatelů. Řídí také handover mezi buňkami.
- HSS (Home Subscriber Server): Centrální databáze, která obsahuje informace o uživateli, včetně jejich identit, předplacených služeb a klíčů pro autentizaci.
- S-GW (Serving Gateway): Směřuje uživatelská data mezi základnovými stanicemi a P-GW.

³⁸ Český Vodafone za stovky milionů chystá přechod na plnohodnotné nové jádro mobilní sítě 5G, článek na serveru LUPA.cz, autor Jan Sedlák, dostupné online na: <https://www.lupa.cz/aktuality/cesky-vodafone-za-stovky-milionu-chysta-prechod-na-plnohodnotne-nove-jadro-mobilni-site-5g/>

- P-GW (Packet Data Network Gateway): Slouží jako vstupní bod mezi mobilní sítí a vnějšími sítěmi, jako je internet. Zajišťuje přidělení IP adres a směrování dat.
- PCRF (Policy and Charging Rules Function): Řídí, jaké služby uživatelé mohou využívat, a nastavuje pravidla pro účtování služeb.

Starší generace CORE (2G, 3G) mobilní sítě nejsou pro MFCN využití sítě relevantní.

BACKBONE, páteřní části sítě: v telekomunikacích jsou hlavní komunikační trasy, které propojují různé regionální a místní síťové uzly a tvoří páteř celé sítě. Tyto sítě slouží jako centrální transportní systém pro přenos velkého množství dat mezi různými lokalitami, a to jak na národní, tak i mezinárodní úrovni. Backbone sítě jsou navrženy pro vysokou kapacitu, nízkou latenci a vysokou spolehlivost – robustnost celé infrastruktury.

Klíčovou vlastností Backbone sítě je vysoká kapacita, obvykle založená na technologiích optického vlákna. Alternativou optickému kabelu mohou být již víceméně výjimečně infrastrukturální mikrovlnné spoje. Pro páteřní sítě jsou důležité také parametry nízké latence a robustnost infrastruktury. Robustnost infrastruktury je dosahovaná především geografickou redundancí vedení páteřních tras. Zálohování zajišťuje, že i při poruše jedné části sítě nedojde k přerušení komunikace.

Páteřní síť je zásadní infrastruktura, na kterou jsou připojeny všechny menší sítě. Dimenzování páteřní infrastruktury je v České republice pro provoz telekomunikačních služeb dostatečné, výjimky lze nacházet v odlehlejších regionech, jako jsou municipální celky mimo trasy hlavních dopravních tras (například mimo železniční síť). Díky technologiím zvyšování propustnosti, jako je DWDM³⁹ nebo i dalších technologiích je častokrát možné zvyšovat kapacitu uložené fyzické infrastruktury až do řádů Terabit za sekundu. Datová propustnost jednoho Ethernetového⁴⁰ portu u nejmodernější komerčně dostupné technologie je 400 Gbit/s.

BACKHAUL v telekomunikacích označuje část sítě, která spojuje menší sítě nebo lokální uzly, např. základnové stanice nebo přístupové body sítě s hlavní páteřní (Backbone) sítí. Přípojná síť Backhaul zajišťuje přenos dat z lokální úrovně. V přípojných sítích se samozřejmě s úspěchem prosadila technologie optického vlákna, ale i technologie infrastrukturálních mikrovlnných spojů. V České republice je významné procento mobilních věží připojeno pomocí **mikrovlnných spojů**, zejména v oblastech, kde není možné jednoduše natáhnout optické vlákno, například v odlehlých nebo venkovských lokalitách. Přibližně 30-60 %⁴¹ základnových stanic mobilní sítě je připojené prostřednictvím mikrovlnných spojů. Mikrovlnné spoje jsou oblíbené kvůli snadné instalaci a nižším pořizovacím nákladům ve srovnání s optickými kabely, zvláště tam, kde je budování fyzické infrastruktury drahé nebo technicky složité. Ačkoliv přenosové kapacity radioreléových mikrovlnných spojů (Radiorelay link - RRL) za poslední dekádu podstatně vylepšili, v plně konvergované MFCN síti představují možnost vytváření úzkých hrdel. Přenosové možnosti rádiových spojů jsou jako u každé jiné rádiové komunikace závislé na využívané šířce pásma. U tradičních licencovaných pásem – tedy technologií autorizovaných k provozu v kmitočtovém spektru formou individuálních oprávnění, jsou pro připojování základnových stanic poskytujících služby náročné na datové přenosy perspektivní teprve kmitočtová pásma s možností využít kanál s šířkou alespoň 100 MHz (110 / 112 MHz) či jejich násobky (220 / 224 MHz). Kapacita rádiového spoje s jednou polarizací a kanálovou šířkou 112 MHz / 4096 QAM je lehce nad 1 Gbit/s⁴² (plně duplexní provoz). U některých pásem lze v České republice koordinovat se šířkou pásma až 224 MHz, což odpovídá dvounásobné přenosové rychlosti 2 Gbit/s. Využívá-li spoj XPIC (Cross Polarization Interference Cancellation), což je technologie využívající horizontální a vertikální polarizaci v jednom přenosovém kanálu, přenosové možnosti radioreléových spojů v tradičních kmitočtových pásmech narostou na maximální hodnotu blízkou 4 Gbit/s oběma směry. Tradiční licencovaná pásma tedy představují bottleneck v infrastruktuře 5G a jsou vhodná pro připojování odlehlých částí sítě či rurálních oblastí. Výhodou tradičních pásem je schopnost šíření rádiových vln na delší vzdálenost a možnost využívat i anténní systémy s velkým poloměrem parabolických antén. Zisk parabolické antény roste v závislosti na průměru odrazné plochy a vyšší použité frekvenci. Naproti tomu vyšší frekvence jsou postižené vysokým přídavným útlumem v dešti či mlze. Pro dlouhé spoje, řádově až desítky kilometrů, využívají operátoři především pásmo 11 GHz. Populárním pásmem je 18 GHz, vyšší pásma již soutěží s bezlicenčními technologiemi milimetrových vln 80 GHz (E – band)⁴³. Bezlicenční využívání úseků 71–76 GHz a 81–86 GHz řeší problémy s omezenou kapacitou infrastruktury sítě založené na tradičních

³⁹ Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

DWDM je technologie, která výrazně zvyšuje kapacitu jednoho optického vlákna tím, že umožňuje přenos více vlnových délek (kanálů) současně. Každý kanál přenáší vlastní datový tok na jiné vlnové délce světla, což efektivně vytváří několik paralelních "cest" pro data v rámci jednoho vlákna.

⁴⁰ Ethernet je síťová technologie používaná k propojení zařízení v sítích pomocí standardizovaných protokolů pro přenos dat. Je základní přenosovou vrstvou většiny moderních datových sítí.

⁴¹ Kvalifikovaný odhad založený na Analýze problematiky připojení základnových stanic mobilních sítí k páteřní síti v období 2018 – 2022 s výhledem do roku 2027, autor Jiří Vodrážka a Zdeněk Brabec, ČVUT, dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/ctu/vyzva-k-uplatneni-pripominek-k-predbezne-analize-trhu-mobilniho-backhaul/obrazky/backhaul201724provk.pdf>

⁴² Výpočtová tabulka společnosti VanCo.cz, dostupná online na: <https://www.vanco.cz/vypocet/>

⁴³ Všeobecné oprávnění č. VO-R/23/06.2024-4 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení pevné služby v kmitočtových pásmech 71–76 GHz a 81–86 GHz, vydané ČTÚ v roce 2024, dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/vo-r23-062024-4.pdf>

licencovaných pásmech, je však kvůli fyzikálním vlastnostem milimetrových vln omezené řádově na jednotky kilometrů. Na druhou stranu, právě podstatně horší propagace rádiových vln milimetrových pásem a úzké vyzařovací diagramy anténních systémů chrání rádiovou komunikaci před vlivem škodlivého rušení. Moderní RRL spoje v E-band pásmu dosahují přenosové kapacity nad 40 Gbit/s, což zcela postačuje pro propojování i větších částí přístupové sítě.

Tabulka 5: Přehled licencovaných pásem a šířek kanálu pro pevné spoje bod-bod v ČR

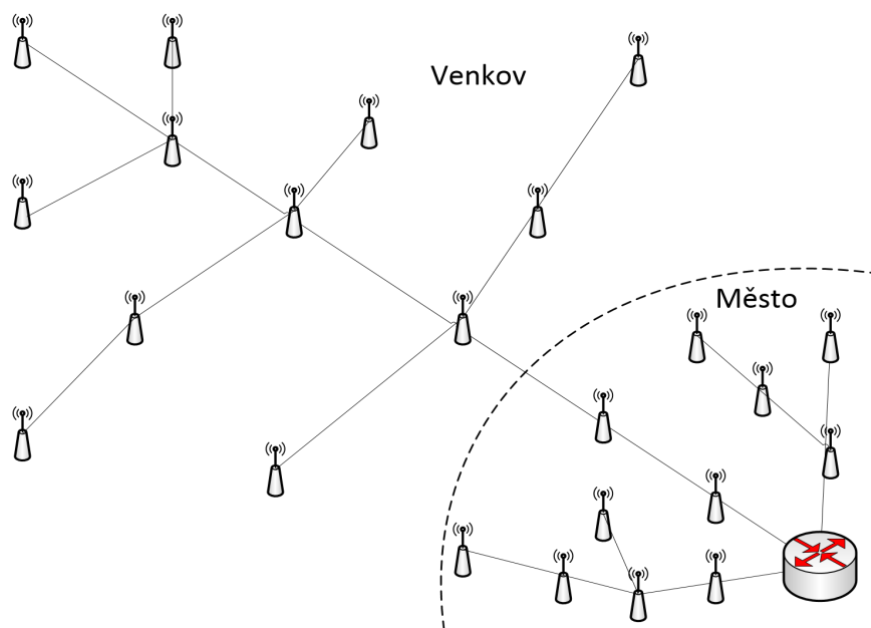
Pásmo GHz	rozsah	šířka kanálu max. MHz	Doporučení CEPT/ERC/REC
4	3 810 –4 197 MHz	29	ITU-R F.382-7
6	5925–6425 MHz	29,65	ERC/REC 14-01
7	6425–7125 MHz	40	ERC/REC 14-02
7,5	7425–7725 MHz	14	ITU-R F.385-7
11	10,7–11,7 GHz	112	ERC/REC 12-06
13	12,75–13,25 GHz	56	ERC/REC 12-02
15	14,5–15,35 GHz	28	ERC/REC 12-07E
18	17,7–19,7 GHz	220	ERC/REC 12-03
23	22,0–22,6/23,0–23,6 GHz	224	ERC/REC T/R 13–02
26	24,773–25,445/25,781–26,453 GHz	112	ERC/REC T/R 13–02
32	31,8–33,4 GHz	112	ERC/REC/(01)02
38	37,093–38,178 / 38,353– 39,438 GHz	224	ERC/REC T/R 12–01

Jedním z důvodů, proč MFCN sítě s vysokokapacitními technologiemi 5G NR budou rozvíjet nabídku gigabitových tarifů v rurálních oblastech jenom velmi postupně, jsou právě infrastrukturální úzká hrdla přípojných sítí. **Vybudování husté sítě základnových stanic připojené plně optickou infrastrukturou není v menších obcích – a těch je v České republice většina – ekonomicky replikovatelné.** Prerekvizitou rozvoje MFCN infrastruktury je odstraňování úzkých hrdel sítí přibližováním optické infrastruktury k základnovým stanicím sítě tak, aby další základnové stanice (přístupové body sítě), mohly být obslouženy radioreléovými spoji pracujícími například v bezlicenčních milimetrových pásmech.

Dalším důležitým inhibitem rozvoje FWA infrastruktury v odlehlých či rurálních oblastech je výše poplatků stanovená Nařízením vlády 154/2005 Sb. Licenční poplatky odváděné státu prostřednictvím ČTÚ jsou závislé na zabrané šíři pásma, použitém výkonu a pracovním kmitočtu RRL spoje. Například, roční úhrada licenčního poplatku zařízení se 4 Gbit/s přenosovou kapacitou, vysílacím výkonem 20 dBm a 220 MHz XPIC je 71 280 CZK, měsíčně 5940 CZK. Společně se souvisejícími provozními náklady a odpisy zařízení není ekonomicky možné připojovat licencovaným spojem ani obce s 500 stálými obyvateli⁴⁴. Tarifní politika poskytovatelů v případech malých obcí musí respektovat i ekonomické aspekty provozu, nikoliv pouze technické. Kvalitativní parametry pevných sítí, stanovené ČTÚ ve Všeobecné oprávnění č. VO-S/1/12.2021-14⁴⁵, nedovolují poskytovatelům pevných služeb FWA v rámci MFCN pokles kvality služby vlivem agregace pod limit stanovený Úřadem. Z ekonomických, technických a regulatorních důvodů je proto tarifní nabídka v oblastech vzdálených od centrálního bodu sítě omezená.

⁴⁴ 500 obyvatel představuje při průměrné velikosti domácnosti 2,3 lidé na venkovskou domácnost 217 připojitelných uživatelů, při běžné 30% tržní penetraci vlivem konkurenčního prostředí se bude investice rozpočítávat mezi 65 uživatelů.

⁴⁵ Všeobecné oprávnění k zajišťování sítí a poskytování služeb elektronických komunikací č. VO-S/1/12.2021-14, vydané ČTÚ, dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/stranky/36864/soubory/vos1uznaweb.pdf>



Obrázek 6: Typická topologie MFCN backhau

ACCESS network, přístupová síť. RAN (Radio Access Network) je klíčovou součástí mobilní infrastruktury, která zajišťuje připojování koncových zařízení k základnovým stanicím, a tím i k vyšším prvkům sítě. Řídící jednotky základnových stanic (BSC/RNC) spravují rádiové zdroje, přidělují kanály a v případě mobilní služby řídí přechod mezi jednotlivými buňkami. Mobilní síť používají různá frekvenční pásma v závislosti na generaci technologie (2G, 4G, 5G). 3G vrstva byla v průběhu roku 2021 postupně vypnuta ve prospěch využití 4G LTE a 5G.

Hlavní frekvence infrastruktury mobilních operátorů (přístupové kmitočty) používané v České republice s využitím portal.ctu.gov.cz:

- 2G (GSM): 900 MHz, 1800 MHz
- 4G (LTE): 700 MHz 800 MHz, 900 MHz 1800 MHz, 2100 MHz, 2600 TDD MHz, 2600 FDD MHz
- 5G: 700 MHz, 1800 MHz, 3500 MHz, 26 GHz (připravováno pro budoucí nasazení)

Kmitočty pod 1 GHz jsou používány jako základní vrstva pokrytí, v mobilní infrastruktuře je důležitou vlastností schopnost frekvenčního pásma pronikat dovnitř budov. Úseky mezi 1–3 GHz jsou používány jako střední kapacitní vrstva, s poněkud omezenějšími schopnostmi pronikání dovnitř budov. Lze je však využívat pro služby LTE / 5G FWA. Frekvence nad 3 GHz mají omezenou schopnost pronikat pláště budov, jsou však velmi dobře využitelné pro MFCN, kde zejména v režimech přímé viditelnosti mezi koncovým zařízením a základnovou stanicí poskytují připojení s vysokými rychlostmi a nízkou latencí.

4G LTE a samozřejmě i 5G síť umí spojit kapacitu použitých frekvenčních kanálů pomocí techniky nazývané Carrier Aggregation (CA). Tato funkce umožňuje spojení několika frekvenčních pásem do jednoho kanálu, což vede ke zvýšení celkové šířky pásma, a tedy i datové kapacity sítě. CA umožňuje, aby LTE a 5G RAN síť využívala více pásem (např. 800 MHz, 1800 MHz, 2600 MHz v případě 4G) současně, což zlepšuje přenosovou rychlost a stabilitu spojení.

Je však třeba zdůraznit, že součet celkové využitelné šířky pásma pro přístupovou síť mobilního operátora v úsecích pod 3 GHz nepřekračuje jednotky desítek MHz. Úseků frekvenčního pásma IMT určených pro plošné pokrytí s dobrým dosahem od základnových stanic je dostatek pro účely připojování mobilních služeb v pravém slova smyslu. Pro rozvoj konvergovaných FWA služeb s velmi vysokou kapacitou není v úsecích 700 MHz – 3 GHz prostor.

Vizualizační portál ČTÚ⁴⁶ poskytuje představu, jakým způsobem jsou celoplošné frekvenční přiděly využívány. Portál je členěn do jednotlivých modulů podle typu služeb. Obsahuje data získaná z měření prováděných pracovníky ČTÚ v terénu a další typy dat, např. výsledky výpočtů pokrytí prováděné na základě získaných údajů o parametrech vysílacích stanic, základnové stanice

⁴⁶Vizualizační Portál telekomunikačních služeb ČTÚ, online na: <https://vportal.ctu.gov.cz/intro?!=cs>

ve zkušebním provozu, vysílače, přehled o plnění rozvojových kritérií apod. Jednotlivé frekvenční úseky a použité technologie lze při používání portálu přehledně filtrovat. Dostupnost jednotlivých služeb lze vyjádřit až na úroveň adresního místa. VPortál tak může sloužit pro posouzení – simulace pokrytí u jednotlivých frekvenčních přidělů se 2600 TDD, 2600 FDD u všech třech mobilních operátorů na V-portálu ukazuje na malé využití těchto pásem. Také u C-bandu (3400–3800 MHz) jsme teprve na začátku rozvoje potenciálu technologií MFCN.

7 Privátní 5G sítě

Privátní 5G síť je bezdrátová komunikační infrastruktura postavená na technologii 5G, kterou organizace nasazují a spravují pro vlastní potřeby na svém uzavřeném místě, například v továrně, kampusu, nebo ve skladovém komplexu. Na rozdíl od veřejné sítě 5G, kterou poskytují operátoři široké veřejnosti, je privátní síť určena výhradně pro potřeby určité organizace nebo firmy. Díky tomu je možné síť plně přizpůsobit požadavkům konkrétního provozu.

Výhody privátních 5G sítí

- **Kontrola a bezpečnost:** Privátní 5G sítě umožňují plnou kontrolu nad zabezpečením a datovým provozem, což je klíčové v průmyslu a sektorech, kde jsou data citlivá nebo regulovaná. V rámci firmy umožňuje segmentaci sítě pro jednotlivé aplikace nebo dokonce oddělení.
- **Nízká latence:** 5G technologie s SA jádrem sítě s extrémně nízkou latencí umožňuje provozování aplikací, které vyžadují rychlé zpracování dat, například autonomní systémy, robotiku nebo rozšířenou realitu.
- **Flexibilita a přizpůsobitelnost:** Uživatelé privátní sítě mohou přesně řídit její nastavení, kapacitu a dosah signálu dle svých specifických požadavků.
- **Oddělení od veřejné sítě:** Díky tomu jsou privátní sítě méně náchylné k přetížení nebo výpadkům způsobeným veřejným provozem.

Důvodem zmínění privátní sítě v této studii o FWA připojení jsou potřeby podniků a institucí privátní sítě v budoucnosti zřizovat. V roce 2024 mají zájemci o zřízení privátních sítí možnost požádat držitele celoplošných licencí o spolupráci držitele stávajících licencí – mobilní operátory⁴⁷, přičemž pro některé platí velkoobchodní povinnost frekvence poskytnout na principu sdílení. Kandidátským pásmem pro přidělování spektra nezávislého na stávajících držitelích 5G frekvenčních přidělů je úsek 3800–4200 MHz⁴⁸. Kmitočty, v tomto úseku, může být výhledově účelné poskytovat také podnikatelům poskytujícím veřejně dostupné služby elektronických komunikací, zejména pro účely využití technologií 5G jako přístupové vrstvy pevné bezdrátové sítě.

⁴⁷ Příklad aplikace: Vodafone spustil mobilní privátní 5G síť ve ŠKODA AUTO, dostupné online na: <https://www.vodafone.cz/nejen-pro-media/tiskove-zpravy/vodafone-spustil-mobilni-privatni-5g-sit-ve-skoda->

⁴⁸ Mandát EK pro CEPT „Mandát ke stanovení technických podmínek týkajících se sdíleného využívání kmitočtového pásma 3,8-4,2 GHz pro pozemní bezdrátové širokopásmové systémy poskytující připojení k místní síti v Unii“, dostupné online na: <https://ec.europa.eu/newsroom/dae/redirection/document/82230>

8 Výhledy pro technologie 5G Advanced a 6G

8.1 Efektivita a ekonomika

I v rámci jedné generace mobilních sítí nadále probíhá technický vývoj. Vždyť zkratka LTE u 4G znamená Long Term Evolution, volně přeloženo „dlouhodobý rozvoj“. Už samotný název technologie napovídá o potřebě investorů do telekomunikačních technologií – rozvinout infrastrukturu odpovídající poptávce uživatele a udržet ji přinejmenším do takové doby, nežli se stane morálně zastaralou, anebo nežli doslouží po technické stránce a dospěje do bodu, kdy je nutná její obnova.

První digitální, bezpečná a masově využitelná mobilní infrastruktura byla GSM, označovaná jako 2G. GSM infrastruktura byla poprvé spuštěná v roce 1991 ve Finsku, v České republice uvedla 2G síť společnost EuroTel v roce 1996. V roce 2000 specifikovala Mezinárodní telekomunikační unie v dokumentu ITU-R M.1457⁴⁹ standardy pro 3G mobilní síť. Úloha další generace byla podstatně posunout rychlosti datového provozu od nevyhovujícího GPRS a EDGE. ITU požadovala pro 3G rychlost stahování dat 384 kbit/s při rychlém pohybu a až 2 Mbit/s pro uživatele v klidu nebo při pomalém pohybu. 3G technologie jako **WCDMA (UMTS)** a **CDMA2000** byly vyvinuty na základě specifikací IMT-2000 a staly se základem pro další generace mobilních technologií, vedoucích až k 4G v IMT-Advanced. Základem 4G sítí se stal 3GPP Release 8, vydaný v roce 2008, kde k prvnímu komerčnímu nasazení došlo v roce 2009. „Základní 4G poskytovalo 100 Mbit/s pro download a 50 Mbit/s pro upload. 4G Release 10 z roku 2011 přinesl první skutečný 4G standard⁵⁰, s výrazně vyšší rychlosti pro stahování dat (až 1 Gbit/s) a podporu agregace nosných, tedy slučování více kanálů pro zvýšení šířky pásma. V roce 2016 přišel 4G **Release 13** 3GPP LTE-Advanced Pro, který zavedl některých prvky připravují cestu pro 5G, jako např. vyšší agregace nosných a zlepšené řízení sítí. První síť 5G v České republice vznikají v roce 2020 formou pilotních projektů, po aukci 5G kmitočtů v roce 2021 dochází k postupnému a výraznému rozšíření 5G Non Stand Alone (NSA) infrastruktury. Teprve v roce 2024 prosakují zprávy o připravovaném přechodu českých mobilních operátorů na jádro 5G Stand Alone (SA), podporující některé benefity poplatné full 5G infrastruktuře.

⁴⁹ Dokument ITU-R M.1457 specifikoval standardy 3. generace mobilních sítí pod názvem IMT 2000.

⁵⁰ Dokument IMT-Advanced, který specifikuje standardy pro 4G, je označen číslem ITU-R M.2134. Tento dokument byl vydán ITU a obsahuje technické požadavky a parametry pro síť splňující standard 4G.

Naproti tomu GSMA asociace⁵¹ ve svém dokumentu 5G-Advanced: Shaping the future of operator services marketing paper předpokládá v roce 2024 finalizace Release 18, tedy 18. vydání 3GPP standardu. Ten představuje další posunutí možností MFCN infrastruktury. Přitom v únoru 2024, ve stejném roce, vydává asociace GSMA „6G Terminal Vision White Paper“⁵², popisující Vizi IMT-2030 (6G) zpracovanou ITU-R WP 5D⁵³.

V bodech výhody 5G – Advanced; 3GPP r18, převzato z White Paper GSMA:

- *Umožňují zásadní změnu kapacity a flexibility sítě a dávají operátorům mnohem větší prostor pro přizpůsobení připojení 5G potřebám jednotlivých podniků nebo jednotlivých aplikací.*
- *Využívat nové spektrum a extrémně velké anténní pole k zajištění pevného bezdrátového přístupu (FWA), který dokáže domácnostem a podnikům přinést propustnost 10 Gbit/s.*
- *Poskytnout mnohem větší automatizaci, analytiku řízenou umělou inteligencí a programovatelnost, což podnikům umožní sledovat a monitorovat obrovské množství prostředků používaných v různých průmyslových odvětvích.*
- *Koordinovat umělou inteligenci (AI) v síti, zařízení a cloudu/hranici a optimalizovat tak dostupnou konektivitu pro náročné aplikace, jako je rozpoznávání obrazu a konverzace s automatizovanými osobními asistenty.*

Nasazení zařízení pro integrované snímání a komunikaci (ISAC) a rekonfigurovatelných inteligentních povrchů (RIS), aby byla zajištěna kapacita umožňující velkému počtu lidí využívat spolehlivou konektivitu při velkých událostech, jako jsou Asijské hry a olympijské hry.

Hlavním deklarovaným cílem 6G je podstatně zlepšit přenosové rychlosti, latenci a kapacitu. Technologické společnosti, které stojí za vývojem a propagací potřeb další generace bezdrátové komunikace tvrdí, že dalším vývojem umožní nad rámec 5G ještě pokročilejší aplikace, které dnes ještě nejsou realizovatelné.

Mezi některé příklady takové komunikace uvádí:

- rozšířenou smyslovou realitu XR
- umělá inteligence přímo integrovaná do sítě
- holografickou komunikaci v reálném čase
- virtuální světy propojené s reálnými (metaverse)
- zobrazení digitálních dvojčat celých aglomerací
- senzorové a komunikační sítě na molekulární úrovni
- autonomní doprava

Rychlost vývoje technologií a technologických možností rapidně zrychluje, očekávání technologických společností investujících značné prostředky do výzkumu a vývoje však neodpovídá tempu rozvoje telekomunikační infrastruktury. Vždyť v klíčovém roce 2024, roce uvolnění 5G – Advanced a oznámení pilotních projektů 6G infrastruktury⁵⁴, teprve oznamují čeští mobilní operátoři akvizice technologie pro provoz 5G SA jádra (jader) své sítě. Co však mohou očekávat podnikatelé, investoři do nových

⁵¹ 5G-Advanced: Shaping the future of operator services marketing paper, dostupné online na: https://www.gsma.com/solutions-and-impact/technologies/networks/gsma_resources/5g-advanced-shaping-the-future-of-operator-services/

⁵² 6G Terminal Vision White Paper, vydáno GSM Association, 2024, dostupné online na: <https://www.gsma.com/about-us/regions/greater-china/wp-content/uploads/2024/02/6G-Terminal-Vision-White-Paper-en-0223-1.pdf>

⁵³ IMT towards 2030 and beyond (IMT-2030), ITU, dostupné online na: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2030/Pages/default.aspx>

⁵⁴ Článek „Sítě 6G slibují terabitový internet vzduchem. Západ se obává Číny, která oznámila první pokrok“, server LUPA.cz, autor Jan Sedlák, 3.5.2023, dostupné online na: <https://www.lupa.cz/clanky/site-6g-slibuji-terabitovy-internet-vzduchem-zapad-se-obava-ciny-tera-oznamila-prvni-pokrok/>

technologií? Vize rozvoje 6G infrastruktury⁵⁵ hovoří o „všudypřítomném internetu“ v 6G infrastruktuře, dostupné z pozemních, satelitních a pohybujících se základnových stanicích v propojené infrastruktuře.

Je však třeba realisticky zkoumat proveditelnost ambiciózních vizí, zasazených do rámce roku 2030 a následující dekády:

Otázka č. 1: Odpovídají ambiciózní vize realitě požadavků účastníků sítí, kteří prostřednictvím poplatků rozvoj infrastruktury financují?

Pokud nabídnete účastníkovi sítě vysokorychlostní připojení jeho mobilního zařízení kdekoli, bez ohledu na místo, kde se právě nachází, s velmi nízkou latencí a dalšími funkcemi, samozřejmě že takové „lepší“ parametry svého připojení uvítá. Zároveň je však nutné zkoumat, jaká je jeho ochota za takový výkon sítě připlatit. Obecně platný ekonomický zákon nabídky a poptávky platí i v telekomunikacích. Jistě, dá se namítat, že nabídka může do jisté míry vytvářet poptávku a že přerod mezi 3. a 4. generací mobilní infrastruktury přinesl celou řadu „killer aplikací“, jakou byla multimédia, sociální sítě, on-line hraní či desítky dalších možností s významnými dopady na masového uživatele. Užívání masově rozšířených aplikací, včetně multimediálních, však nevyžaduje připojení se špičkovými parametry. Profesor William Webb ve své knize „The End of Telecoms History“⁵⁶, v kapitole 3. „User requirements are nearly met“ vypočítává za dostatečnou rychlost připojení pro běžného uživatele pevného domácího připojení na úrovni 50 Mbit/s. **Za dostatečnou považuje W. Webb takovou rychlost, která neomezuje uživatele při běžném užívání internetového připojení, a tudíž z pohledu transakčního rozhodování nepřináší dostatečný benefit pro změnu poskytovatele či technologie přístupové vrstvy.** Už v případě FWA odpovídá taková rychlost připojení technickým možnostem 4. generace 3GPP.

5. generace přináší operátorům ještě měřitelné technologické bonusy, v podobě lepšího využití dostupného kmitočtového spektra a snížení agregační zátěže v místech se značnou poptávkou po službě – tedy v aglomeracích s nedostatečným kabelovým připojením. Vycházíme-li ze Zprávy o vývoji trhu elektronických komunikací se zaměřením na rok 2023 ČTÚ⁵⁷, z údajů v vyplývá, že klíčovým faktorem ovlivňujícím trvale rostoucí spotřebu mobilních dat jsou objemově neomezené datové mobilní tarify. V současné době jsou tyto tarify využívány na 23,5 % SIM karet s mobilním přístupem k internetu, což odpovídá 17,3 % z celkového množství aktivních SIM karet. Jejich průměrná měsíční spotřeba dat byla v roce 2023 téměř sedminásobná oproti uživatelům s přístupy s omezeným objemem mobilních dat, zahrnujícím přístupy ad hoc a s datovým limitem. Uživatelé Internetu v mobilu s neomezeným přístupem spotřebovávají průměrně 27,9 GB měsíčně. Ad hoc uživatelé či s datovým limitem (FUP) naopak vykazují měsíční průměr 4 GB. Jednoduchým výpočtem, 76,5 % uživatelů mobilních telefonů s datovým tarifem v roce 2023 necítí potřebu změnit transakční chování a přejít na datové tarify mobilních služeb s FUP.

Pro bližší analýzu by bylo dobré vědět, jaké je transakční chování zákazníků mobilních služeb s neomezenými datovými tarify. Mobilní operátoři stratifikují svoji nabídku tarifů bez FUP také podle dostupné rychlosti připojení. Společnost Vodafone Czech Republic a.s. ve veřejně dostupné nabídce tarifů⁵⁸ promuje neomezená data s rychlostními omezeními na 4 Mbit/s, 20 Mbit/s a tarif s neomezenou rychlostí sítě v daném místě. Obdobná nabídka O2 za vyšší základní cenu nabízí nejnižší tarif s 10 Mbit/s. Nejsou dostupná data, které tarify uživatelé sítě volí a jaká je dynamika změn nákupního chování.

Naproti tomu uživatelé pevné sítě bez ohledu na technologii spotřebují podle téže „Zprávy o vývoji trhu elektronických komunikací se zaměřením na rok 2023, strana 53“, spotřebují uživatelé přípojky průměrně 332,5 GB za měsíc. Největší tržní podíl mají technologie FWA WiFi a xDSL, které zpravidla neposkytují služby s VHCN parametry⁵⁹ či gigabitovými rychlostmi.

Závěr č. 1: Transakčním předpokladem majority uživatelů služeb elektronických komunikací je jediný poplatek za připojení s dostatečnou rychlostí a kvalitou, která uspokojí požadavky domácnosti s možností libovolného rozšiřování počtu připojených zařízení. Ačkoliv do roku 2021 postupně narůstalo pokrytí sítěmi 5G, které ke konci roku 2023 již celkově dosahovalo 95,1 % území ČR, nárůst pokrytí 5G se měřitelně neprojevil v poklesu dynamiky nárůstu datové spotřeby v pevných sítích, či zásadním nárůstem uživatelů mobilních služeb bez FUP. Nijak se ani nezměnilo cenové očekávání či akviziční chování uživatelů služeb, což nedává investorům prostor pro zvýšené tempo investic.

⁵⁵ „European Vision for the 6G Network Ecosystem“, vydáno 5G PPP, dostupné online na: <https://5g-ppp.eu/european-vision-for-the-6g-network-ecosystem/>

⁵⁶ William Webb, The End of Telecom History, 2024, ISBN-13:9798328402729

⁵⁷ Zpráva o vývoji trhu elektronických komunikací se zaměřením na rok 2023, dostupné online na: https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/stranky/472017/soubory/zovt_2023.pdf

⁵⁸ Vodafone.cz, Můj mobilní tarif 2024, dostupné online na: <https://www.vodafone.cz/tarify-2024/>

⁵⁹ BEREC Guidelines on Very High Capacity Networks (2023), vydané BEREC 2023, dostupné online na: <https://www.berec.europa.eu/en/document-categories/berec/regulatory-best-practices/guidelines/berec-guidelines-on-very-high-capacity-networks-2023>

Lze předpokládat postupné zvyšování pokrytí a tržní dostupnosti služeb 5G NR MFCN v režimu FWA. Připojení v pevném místě prostřednictvím bezdrátové přístupové vrstvy má v prostředí České republiky dobré předpoklady být konkurenceschopnou službou. Subsidiárně lze toto tvrzení opřít o vysoký počet přípojek FWA v nelicencovaných pásmech (více nežli 1,12 milionů uživatelů⁶⁰). Hlavním úzkým hrdlem FWA bez rozdílu technologií bude kapacita přípojně infrastruktury – na které ovšem bude v MFCN sítích závislá pevná i mobilní služba.

Otázka č. 2: Jsou ambiciózní vize technicky proveditelné v současném regulačním prostředí, za předpokladu nutnosti zachování ostatních služeb participujících na využití kmitočtového spektra?

Rozvoj další generace bezdrátové komunikace a mobilních sítí by byl realizovatelný při využití stávajících frekvenčních přidělů, anebo na úkor v současnosti jiným způsobem využívaných frekvenčních úseků. Frekvenční pásma tradiční mobilní telefonie s požadavky na celoplošné bezešvé pokrytí území musí z fyzikálních důvodů používat frekvenční přiděly pod 1GHz, s kapacitní vrstvou celoplošnou vrstvou v úseku 1–3 GHz. Vyšší frekvenční pásma (3600–4200 MHz, 26 GHz a další kandidátská pásma) jsou použitelné zejména pro připojování pevných bodů sítě a dokrývání míst s vysokou hustotou pohybu uživatelů; znamenají však také zvýšené investice do vybudování nových základnových stanic či nejméně zkapacitnění úzkých hrdel přípojně sítě. Samotné přizpůsobení regulace kmitočtového spektra je obtížné, kmitočtové spektrum je vzácným zdrojem, které využívají i další sektory – například telekomunikační sektor s jinými typy využití, pozemní televizní vysílání, služby satelitní komunikace, vesmírného výzkumu, meteorologie, dopravní služby, letectví či armádní sektor. Ačkoliv je rozvoj IMT služeb důležitý, potřeby různých aktérů je třeba vyvažovat. Důležitým principem umožňujícím další diskusi nad budoucím využitím spektra je zkoumání možnosti sdílení spektra mezi jednotlivými službami⁶¹. Program politiky EU v oblasti rádiového spektra (RSPP)⁶² z roku 2012 stanoví rámec založený na zásadě, že spektrum by mělo být využíváno efektivně a spravováno účinně. V zájmu zvýšení účinnosti a flexibility vyžaduje, aby členské státy ve spolupráci s Komisí podporovaly kolektivní využívání a sdílené využívání spektra, je-li to vhodné. **Podle Evropského kodexu elektronických komunikací neboli EEC⁶³ z roku 2018, je podpora sdíleného využívání rádiového spektra považována za hlavní hnací sílu pro dosažení hlavních cílů kodexu**, a to podpory hospodářské soutěže, vnitřního trhu, zájmů občanů a podniků a konektivity. V souladu s kodexem členské státy podporují sdílené využívání rádiového spektra mezi podobnými nebo různými způsoby využití, přičemž respektují právo hospodářské soutěže. Měly by usnadnit sdílené využívání rádiového spektra na základě obecných oprávnění a omezit udělování oprávnění k využívání spektra jednotlivým uživatelům pouze v určitých případech, což může zahrnovat potřebu maximalizovat efektivní využívání s ohledem na poptávku nebo minimalizovat problémy škodlivého rušení. V obou případech by členské státy měly, pokud možno zohlednit vývoj spolehlivých podmínek pro sdílení rádiového spektra a kombinaci obecného oprávnění a individuálních práv na užívání. Měly by zajistit účinné a efektivní využívání rádiového spektra a také podporovat pokrytí.

6. generace 3GPP má oproti sítím předchozí generace doručit dosud nerealizovatelné aplikace a zvýšit přenosovou kapacitu, zlepšit latence a další síťové parametry, nemá však k dispozici podstatně jiné frekvenční zdroje ve tradičně obsazené části frekvenčního spektra. Řešení, které se nabízí, je přesunutí zájmu mimo tradiční frekvenční pásma – do oblasti milimetrových vln. V rozsahu vyšších desítek až stovek GHz jsou k dispozici dostatečné frekvenční úseky (s vyhovující šířkou pásma) pro bezdrátovou komunikaci „optickými“ rychlostmi. Společnost Ericsson ve své studii „6G standardization – an overview of timeline and high-level technology principles“⁶⁴ předpokládá za jeden z hlavních příkladů využití možností 6G 3GPP Release 21 právě pevnou bezdrátovou infrastrukturu FWA. Není bez zajímavosti, že předpokládá využití prvků 5G infrastruktury pro provoz 6G RAN částí sítě. Využití milimetrových pásem dává dobrý předpoklad pro bezlicenční provoz RAN infrastruktury, a tím i snížení klíčových provozních nákladů. Proti rozvoji sítí založených na milimetrových pásmech působí potřeba zahuštění základnových stanic a potřeba dobudování kapacitní přípojně infrastruktury.

Závěr č. 2: Sítě 6. generace budou znamenat pro tradiční mobilní sítě významný kapacitní posun pouze za předpokladu, že si dostatečně obhájí odebrání části pásma jiným službám či zda budou nalezeny efektivní mitigační techniky umožňující sdílení pásma. V úvahu však regulační orgány musí brát také udržení konkurenčního prostředí a zájmy dalších podnikatelů a institucí zajímajících se o využití spektra na základě individuálních oprávnění či bezlicenčního využití. Novým přístupem k dnešním technologickým možnostem využívání milimetrových pásem však mohou přinést příležitost pro FWA v rámci MFCN. Proti investicím do RAN založené na milimetrovém pásmu mohou vystupovat ekonomické ukazatele – vysoké pořizovací náklady a relativně nízká poptávka po službách s gigabitovými rychlostmi. Rozpracované teze „Vize pro 6G“⁶⁵ pracují se zcela novými

⁶⁰ Výroční zpráva ČTÚ za rok 2023, kapitola 1.2 Služby vysokorychlostního přístupu v pevném místě, dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/rok-2023-0>

⁶¹ Promoting the shared use of Europe's radio spectrum, Shaping Europe's digital future, dostupné online na: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/shared-use-spectrum>

⁶² <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32012D0243>

⁶³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32018L1972&qid=1632310399854>

⁶⁴ 6G standardization – an overview of timeline and high-level technology principles, Ericsson 2024, dostupné online na: <https://www.ericsson.com/en/blog/2024/3/6g-standardization-timeline-and-technology-principles>

⁶⁵ Evropská komise pracuje na přípravě Evropy na 6G a zajišťuje, abychom byli připraveni na příští generaci komunikace, dostupné online na: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/cs/policies/6g>

přístupy sdílení ve spektru, zejména ke sdílení pásma se stávajícími uživateli. Technologický vývoj umožňuje spojování datových toků ve mnoha oddělených frekvenčních úsecích.

Otázka č. 3: Přináší uživateli zvláštní výhodu připojení jeho zařízení prostřednictvím MFCN sítě založené toliko na 3GPP standardech?

Z dat publikovaných společností Adaptive Spectrum and Signal Alignment, Incorporated (ASSIA®)⁶⁶ a citovaných v rámci whitepaperu Dynamic Spectrum Alliance⁶⁷ se podává, že celých 92 % datového provozu v pevných sítích v Evropě je na koncové zařízení přenášeno bezdrátovými sítěmi technologie WiFi (standard, IEEE 802.11) – což odpovídá koncovému zařízení pevné sítě. Toto číslo se v České republice nějak od světového průmyslu neodlišuje. Nelze popírat meziroční nárůst spotřeby dat v mobilních i pevných datových sítích, jednoznačným těžištěm nárůstu spotřeby jsou přípojky pevné služby elektronických komunikací. Vezmeme-li v úvahu chování uživatelů individuálních, tedy mobilních tarifů – a to nízká adopce mobilního internetu bez FUP, je místem spotřeby naprosté většiny dat domácnost. Tedy místo se sdíleným připojením pro všechny členy domácnosti a jejich zařízení připojené prostřednictvím domácí WiFi sítě.

Závěr č. 3: Data nenaznačují transakční preferenci uživatelů sítě na základě použité technologie. Rozhodujícím faktorem je naplnění potřeb účastníka za co nejmenší poplatek a s co nejmenšími transakčními náklady.

⁶⁶ State of Wi-Fi Reporting, Reliably Fast Broadband & Wi-Fi for the Home, Adaptive Spectrum and Signal Alignment, Incorporated (ASSIA®) dostupný na: <https://dynamicspectrumalliance.org/wpcontent/uploads/2021/06/ASSIA-DSA-Summit-Presentation-v7.8.pdf>

⁶⁷ How do Europeans connect to the internet 2022. Dynamic Spectrum Alliance, dostupný na: <https://6ghz.info/wp-content/uploads/2022/06/DSA-White-paper-How-do-Europeans-connect-to-theInternet.pdf>

8.2 Potenciál pro využití 5G Broadcast

Technika 5G Broadcast (5G BC) představuje možný další vývoj rozhlasového a televizního vysílání, kdy se ve vybraných částech pásma 5G (UHF, 470–694/698 MHz), nevyužitých pro datové přenosy mobilní sítě, vysílá sada video a audio proudů z jednoho výkonného vysílače určená pro rozsáhlé území, podobně jako u pozemní televize DVB-T2. 5G Broadcast byl definován v 3GPP release 16 a r. 17⁶⁸. Hlavním cílem a důvodem existence 5G BC především umožnit provoz vysílací sítě kompatibilní s přijímači modemy běžné mobilní sítě, např. s lehce upravenými 5G telefony.

První teoretickou výhodou 5G BC je, že signál lze vysílat z jednoho datového proudu na neomezený počet zařízení. Jde tedy o obdobu terestriálního lineárního vysílání DVB-T2. Dle technického reportu EBU TR 064 pracuje 5G BC s maximální šířkou pásma 8MHz (uvažuje se i o 10 MHz), kapacitně se jedná o systém obdobný DVB-T2 (10 MHz). 5G BC nemá pro diváka terestriálního vysílání měřitelné výhody, může však mít výhody pro diváky využívající pro sledování televizního vysílání mobilní přístroje. Data televizního vysílání 5G BC nejsou přírůstkovými data mobilního tarifu, vůbec nevyužívají služeb datové sítě mobilního operátora. Základní 5G BC nepřináší benefity internetové televize IPTV, které leží především v možnostech odloženého sledování. Ve smíšeném módu je technicky možné vydělit z lineárního vysílání samostatný datový stream (unicast), ten je však již závislý na datovém tarifu předplatitele služeb.

Druhou teoretickou výhodou 5G BC je možnost přesunutí části UHF pásma ve prospěch 5G služeb IMT. Systém vysílání 5G BC by mohl být zavedený jednak vedle tradičního televizního vysílání, později i jako jeho náhrada. Znamenalo by to jakousi „Další“ digitální dividendu⁶⁹, v případě náhrady, nikoliv doplnění, také výměnu technologií terestriálního vysílání DVB-T2. V obou případech se jedná o Single Frequency Network (SFN).

Závěr: V případě 5G BC se jedná o dlouhodobě diskutovaný možný scénář vývoje terestriálního vysílání. S výjimkou zájmu o UHF pásmo a možností příjmu modemem 5G zařízení nemá paradoxně s 5G infrastrukturou mnoho společného. Budoucnost 5G BC je spojená s budoucností terestriálního vysílání jako takovou. Společnost České Radiokomunikace spustila 24.10.2024 pilotní vysílání pokrývající Prahu a Střední Čechy⁷⁰. Ve svém tiskovém prohlášení zdůrazňuje výhody pro krizové vysílání mimo dosah mobilních sítí, dostupnost TV vysílání pro mladé zvyklé sledovat obsah na mobilních zařízeních a zlepšující se podporu na dostupných mobilních zařízeních. Krizové situace z povodní v roce 2024, ale i z válečných událostí na Ukrajině však ukazují především na potřebu udržení provozu datových sítí a obousměrného spojení. Spojení po rozsáhlých poškozeních infrastruktury na Ukrajině zabezpečovala a stále zabezpečuje satelitní konstelace Starlink⁷¹.

Asociace televizních organizací (ATO) ve své Tiskové zprávě⁷² potvrzuje, že stále dominantních 89 % času strávených před televizní obrazovkou v roce 2023 připadalo na klasické lineární, živé, sledování. Stejný článek však potvrzuje rostoucí podíl IPTV platform (42 %).

⁶⁸ Profil specifikace 5G Broadcast je uvedený ve specifikaci ETSI TS 103 720, dostupný online na: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103700_103799/103720/01.02.01_60/ts_103720v010201p.pdf

⁶⁹ Článek „Budoucí standard TV vysílání 5G Broadcast, Cesta od mobilů k TV s 5G BC“, server Televizniweb.cz, autor Václav Udatný, rok 2022, dostupné online na: <https://www.televizniweb.cz/2022/12/budouci-standard-tv-vysilani-5g-broadcast-cesta-od-mobilu-k-televizorom-s-5g-bc/>

⁷⁰ CRA poprvé v České republice představují televizní příjem na mobilních telefonech prostřednictvím nové technologie 5G Broadcast bez připojení k mobilní síti nebo wifi, TZ ČRa, 2024, dostupné online na: <https://www.cra.cz/tiskove-centrum/televizni-a-rozh-vys/cra-poprve-v-ceske-republice-predstavuji-televizni-prijem-na-mobilnich-telefonech-prostrednictvim-nove-technologie-5g-broadcast-bez-pripojeni-k-mobilni-siti-nebo-wifi>

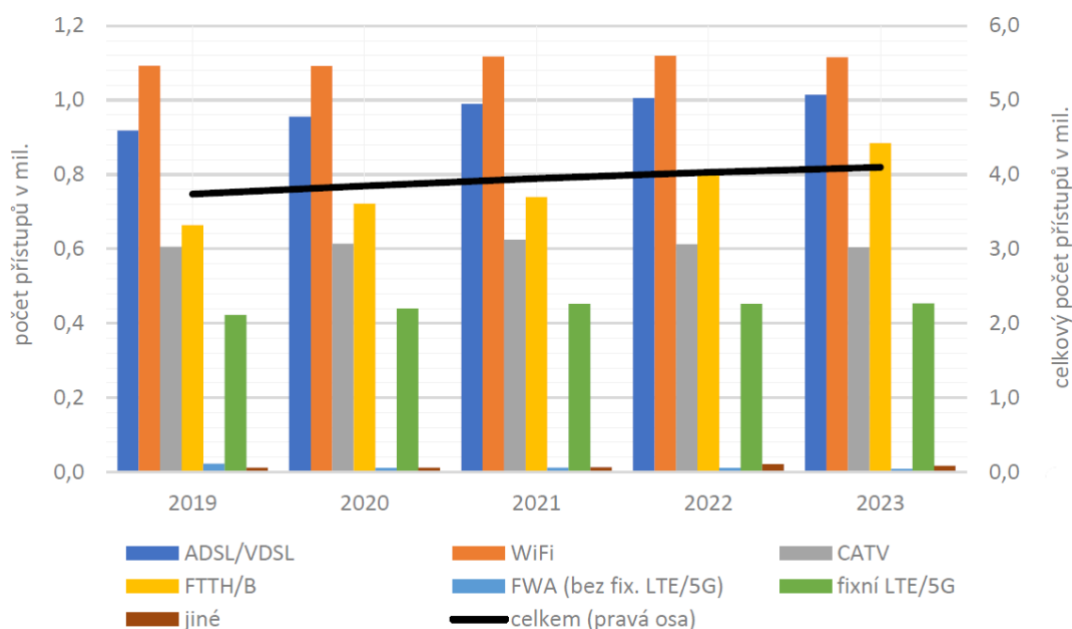
⁷¹ Přednáška Huawei Ukraine: Zkušenosti se zajištěním funkčnosti, provozu a bezpečnosti mobilních sítí v nouzových podmínkách války na konferenci Kam kráčí digitální síť Olomouc 2023, dostupné online na: <https://www.isp-konference.cz/kam-kraci-digitalni-site-olomouc-2023/program> v čase od 13:00

⁷² Článek „Nová data ATO za rok 2023 potvrzují dominanci TV: 92,6 % domácností sleduje TV pořady, roste podíl IPTV.“, web ato.cz, 2024, dostupné online na: <https://www.ato.cz/2024/nova-data-ato-za-rok-2023-potvrzuji-dominanci-tv-926-domacnosti-sleduje-tv-porady-roste-podil-iptv/>

8.3 Regulační prostředí FWA technologií založených na volných pásmech

Významným poskytovatelem pevného připojení k síti Internet v České republice jsou podnikatelé využívající ve svých přístupových sítích technologie založené na nelicencovaných pásmech, souhrnně označovaných poněkud nepřesně jako WiFi. Podíl volných pásem na trhu pevného připojení je podle dat⁷³ ČTÚ 27,2% z celkového počtu přípojek, což odpovídá přibližně 1,12 milionů přípojek vykázaných v pravidelném sběru dat. Počet přípojek provozovaných s nelicencovanou rádiovou přístupovou vrstvou je dlouhodobě stabilní a vypovídá jak o schopnosti nelicencovaných pásem poskytovat služby ve vyhovující kvalitě – v opačném případě by uživatelská základna nebyla stabilní, tak o nedostatečném pokrytí kvalitními kabelovými sítěmi v odloučených a rurálních oblastech.

ČTÚ ve svém pravidelném sběru dat zahrnuje mezi bezdrátové přístupy ve volných pásmech včetně WiFi (v grafu označené jako WiFi) všechny bezdrátové technologie založené na nelicencovaných pásmech, tedy i přípojky nezaložené na standardu IEEE 802.11 (2,4 GHz, 5 GHz, 60 GHz), například v neharmonizovaném pásmu 10,5 GHz provozovaném podle Všeobecného oprávnění VO-R/14⁷⁴ nebo dalších nelicencovaných pásmech, z nichž nejvýznamnější je milimetrové pásmo 80 GHz provozované na základě Všeobecného oprávnění VO-R/23⁷⁵.



Obrázek 7: Vývoj počtu služeb přístupu k internetu v pevném místě dle jednotlivých technologií

Jako bezdrátové přípojky WiFi jsou podle Návodných pokynů ČTÚ⁷⁶ vykazované i přípojky části realizované kabelovým metalickým či optickým vedením, avšak převažující technologií připojení je bezdrátový spoj v nelicencovaném pásmu – a to bez ohledu na jeho skutečnou kapacitu.

To ukazuje na skutečně variabilní možnosti využití bezdrátové přístupové sítě FWA, dokonce i MFCN, a flexibilitu podnikatelů při uspokojování poptávky po službách elektronických komunikací. Neexistuje jeden univerzální scénář topologie přístupové sítě, mnoho sítí je od začátku budováno jako hybridních ve smyslu kreativního využití optických vedení a používání kombinací

⁷³ Zpráva o vývoji trhu elektronických komunikací se zaměřením na rok 2023, strana 51, dostupné online na: https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/stranky/472017/soubory/zovt_2023.pdf

⁷⁴ Všeobecné oprávnění č. VO-R/14/05.2020-7 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení v kmitočtovém pásmu 10 GHz, dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/ctu/vseobecne-opravneni-c.vo-r/14/05.2020-7/obrazky/vo-r-14-052020-7.pdf>

⁷⁵ Všeobecné oprávnění č. VO-R/23/06.2024-4 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení pevné služby v kmitočtových pásmech 71–76 GHz a 81–86 GHz, dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/vo-r23-062024-4.pdf>

⁷⁶ Návodné pokyny k vyplňování geografických údajů v přílohách Sekce 2 formuláře ART 232, dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/elektronicky-sber-dat-esd-elektronicke-komunikace>

licencovaných i nelicencovaných pásem k uspokojení potřeb uživatele. Z tohoto pohledu **je však obtížné některé i gigabitové přípojky vykazovat pro účely sběru dat jako přípojky splňující všechna kritéria definic VHCN**⁷⁷ (Very High Capacity Network), které jsou rozhodující pro pozici České republiky v indexu DESI (Digital Economy and Society Index, DESI je nyní součástí Zprávo o stavu digitální dekády, samostatně se již nesleduje)⁷⁸, v části Rozvoj internetové infrastruktury.

Klíčové je pochopení, že definice nelicencované FWA neznamena WiFi ve smyslu sdíleného pásma 5GHz, ale je mnohem širší.

8.4 Přehled regulačního rámce využití nelicencovaných pásem vhodných pro účely poskytování služeb pevného bezdrátového přístupu FWA v České republice

Podíl jednotlivých nelicencovaných technologií na celkovém počtu přípojek lze pouze odhadnout z dat publikovaných ČTÚ. Ve Zprávě o vývoji trhu⁷⁹ ČTÚ publikoval podíl inzerovaných rychlostí na celkovém počtu přípojek nelicencovaného FWA. Pouze u 14,7% aktivních přípojek nabízí jejich provozovatel rychlosti v intervalu $\geq 100 \text{ Mbit/s} < 1 \text{ Gbit/s}$ a 0,1% přípojek nad 1 Gbit/s. V intervalu nad 100 Mbit/s již lze předpokládat použití jiné nežli technologie WAS/RLAN, tj. WiFi v pásmu 5 GHz. Jiný pohled nabízí stejný dokument ve výčtu podílu disponibilních přípojek⁸⁰. Zde podnikatelé vykazují možnost zřízení služby s rychlostmi v intervalu $\geq 100 \text{ Mbit/s} < 1 \text{ Gbit/s}$ pro 51,4% všech pokrytých adresních míst a možnost zřízení přípojek nad 1 Gbit/s pro 1,3% pokrytých adresních míst.

Aktivní přípojky jsou přípojky aktivně využívané. Disponibilní přípojky jsou přípojky instalované, anebo fakticky neinstalovaná přípojka s možností zřízení bez významných nákladů do 4 týdnů od objednání. Přesnou definici najdeme v Návodných pokynech je Sběru dat.

Někdejší plná závislost podnikatelů nabízející přístup prostřednictvím nelicencované FWA na pásmu WAS/RLAN, tedy WiFi v pásmech 2,4 GHz a 5 GHz se dnes přibližně rovnoměrně distribuuje mezi WiFi a technologie přístupu v milimetrových pásmech. Inhibitory rozvoje infrastruktury v milimetrových pásmech se podobně jako v případě MFCN sítí stává potřeba budování mnohem hustší infrastruktury přístupových bodů sítě a posilování jejich přípojných kapacit.

8.5 Srovnání regulačního rámce s mezinárodními přístupy a obecné technologické trendy

Teorie rádiové komunikace zná pouze čtyři způsoby mitigace vzájemného rušení. Je jím prostorové oddělení, frekvenční oddělení, časové sdílení, oddělení opačnou polarizací a ochrana kódováním. V telekomunikační infrastruktuře nelicencovaných pásem jsou využívány všechny tyto mitigační metody.

Pro oddělení prostorem platí vztah, že čím vyšší je frekvence, tím efektivnější může takový způsob mitigace být. Tento fakt je třeba vzít v úvahu při posuzování vhodnosti jednotlivých frekvenčních úseků pro spolehlivé poskytování služeb elektronických komunikací.

⁷⁷ BEREC Guidelines on Very High Capacity Networks (2023), vydané BEREC 2023, dostupné online na: <https://www.berec.europa.eu/en/document-categories/berec/regulatory-best-practices/guidelines/berec-guidelines-on-very-high-capacity-networks-2023>

⁷⁸ Zprávy o stavu digitální dekády vydávané Evropskou komisí, DESI je součástí této zprávy, pro rok 2023 dostupné online na: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/cs/library/2023-report-state-digital-decade>

⁷⁹ Zpráva o vývoji trhu elektronických komunikací se zaměřením na rok 2023, strana 59, Graf 50: Struktura přístupů k internetu prostřednictvím pevných bezdrátových technologií ve volných pásmech dle inzerovaných rychlostí v roce 2023.

⁸⁰ Zpráva o vývoji trhu elektronických komunikací se zaměřením na rok 2023, strana 60, Graf č. 52: Disponibilní přípojky wifi dle efektivní rychlosti download v roce 2023

Pásmo 2,4 GHz

„Původní“ pásmo WiFi v úseku 2 400 – 2 483,5 MHz má v infrastruktuře FWA malý význam. Výhody pásma, tedy přijatelná míra pronikání elektromagnetického pole překážkami, je zároveň klíčovou nevýhodou při používání této frekvence v infrastruktuře telekomunikačních sítí. Celková šíře pásma 83,5 MHz ve spojení se širokým využitím nižšího pásma domácími WiFi routery předurčuje bezlicenční pásmo uvolněné podle Všeobecného oprávnění VO-R/12 k využití v domácích sítích. Nová generace standardu IEEE 802.11be WiFi 7 podporuje spojení dostupné kapacity pásma 2,4 GHz a 5 GHz funkcí Multi-link operation, obdobně jako v sítích založených na standardech 3GPP a zlepšuje spektrální efektivitu využití 2,4 GHz úseku.

Aplikace FWA využívající pásmo 2,4 GHz jsou budovány pouze ve zvlášť odůvodněných případech, kdy je nutné připojit solitérní adresní místo s požadavkem na nízkou přenosovou kapacitu, odpovídající maximální šíři pásma 20 MHz (na maximální hodnotě okolo 40 Mbit/s).

Pásmo 5 GHz

WiFi pásmo 5 GHz (5 GHz RLAN) je z pohledu infrastruktury FWA možné využívat toliko v úsecích, které ve spektru nekolidují s dalšími způsoby využití (zejména FS a FSS). Podle Všeobecného oprávnění VO-R/12 je možné využívat úseky:

5150 – 5250 MHz (100 MHz) i pro venkovní využití s povinností registrace s maximálním vysílacím výkonem 200 mW e.i.r.p.⁸¹

5250–5350 MHz (100 MHz) úsek s omezením pro využívání pouze uvnitř budov s maximálním vysílacím výkonem 200 mW e.i.r.p.

5470–5725 MHz (255 MHz) úsek i pro venkovní využití bez geografických omezení, bez povinnosti registrace, s povoleným maximálním výkonem 1 Watt e.i.r.p.

5725–5850 MHz (125 MHz) úsek i pro venkovní využití za podmínek dodržení geografických omezení kvůli ochraně přednostních služeb, s povinností registrace, s povoleným maximálním výkonem 1 Watt e.i.r.p.

5945–6425 MHz (700 MHz) úsek pro využití uvnitř budov anebo pro přenosní stanice, s maximálním vysílacím výkonem 23 dBm e.i.r.p. (200mW).

Z uvedených hodnot je zřejmé, že pro účely využití v infrastrukturálním FWA je dostupné nespojitě 480 MHz využitelné části spektra. Základní kanálová šíře 5GHz RLAN je 20 MHz a použitelné jsou i její násobky. V nejnovější iteraci IEEE 802.11 WiFi 7 uvádí výrobci zařízení, přenosové rychlosti na úrovni 200 Mbit/s pro 20 MHz kanál v prostředí s přímou viditelností. Spektrální efektivita poslední generaci WiFi 7 se blíží možnostem 3GPP sítí 5G NR. Standard podporuje využití MU MIMO 16 x 16 a modulační schéma až 4096 QAM. Přináší také zcela nové metody přístupu ke spektru a pokročilé mitigační techniky vzájemného rušení.

Zásadní nevýhody pro poskytování služeb založených na 5 GHz frekvenci představuje sdílení spektra v relativně nízkém kmotočtovém pásmu. Sdílení frekvenčního úseku mezi mnoha typy uživatelů (podnikatelé, domácnosti) nepřináší dobré výhledy na růst kapacity a kvality služeb v zalidněných oblastech. Ačkoliv se mitigační techniky s každou další generací WiFi zlepšují, jejich hlavní benefity spočívají ve zlepšování parametrů přípojek v intervalu do 100 Mbit/s. V rurálních odloučených oblastech však bezesporu mohou přinášet i překvapivě vysoké kapacitní zlepšení⁸² až k úrovni stovek megabit za sekundu. Prostřednictvím moderních funkcionalit spojování kapacit kanálů (Multi-Link Operation) lze do budoucna očekávat ještě podstatně lepších parametrů přípojek – což je obdobné 5G infrastruktuře v licencovaných pásmech. Není bez zajímavosti, že 3GPP standardizovala 5G NR unlicensed pro provoz Stand Alone sítí v 5 GHz a 6 GHz pásmu v 3GPP releas 16.

Aktuálně probíhají debaty o možných změnách využití pásma 6 GHz, tj. spodních 6GHz pro 5925–6425 MHz a horních 6 GHz pro 6425–7125 MHz. V současném stavu jsou tato dvě subpásma vyhrazeny pro provoz spojů bod – bod pevné služby. Protože v některých zemích Evropské unie včetně České republiky není využití spoji pevné služby intenzivní, debata v pásmu 6425 – 7125 MHz směřuje ke sdílení kmotočtového prostoru pro rozvoj 5G sítí a rozšíření pásem WAS/RLAN⁸³(WiFi). Na konkrétním scénáři

⁸¹ e.i.r.p. E.I.R.P. (Equivalent Isotropically Radiated Power) je měřítko výkonu, které udává, jakou energii by izotropní anténa (teoretická anténa, která vyzařuje energii rovnoměrně všemi směry) musela vyzařít, aby dosáhla stejné intenzity signálu v určitém směru jako skutečná anténa. Zjednodušeně vyjadřuje celkový vyzařovaný výkon včetně zisku anténního systému.

⁸² Článek na serveru LUPA.cz, Jakub Rejzek a Jan Stejskal, 2024, dostupné online na: <https://www.lupa.cz/clanky/test-wi-fi-7-vs-wi-fi-6-dalsi-zvyseni-rychlosti-obzvlast-v-zarusenem-prostredi/>

⁸³ WAS/RLAN (Wireless Access Systems / Radio Local Area Network) je termín používaný pro bezdrátové přístupové systémy a rádiové lokální sítě, které zahrnují technologie jako WiFi.

není v roce 2024 shoda. Některé státy, například USA či Kanada, se již rozhodly pro bezlicenční využití některého z 6GHz subpásem⁸⁴.

Poptávka poskytovatelů FWA po frekvenčních přidělech se projevuje také deklaracemi zájmu o budoucí využití pásma 3800–4200 MHz na základě nevýhradního užití. Kandidátským pásmem, které má potenciál významně v infrastruktuře FWA doplnit či zcela nahradit 5 GHz WiFi, je 5G pásmo 26 GHz s nevýhradním licencováním.

Pásmo 10,5 GHz, 17 GHz, 24 GHz:

Pásmo 10,5 GHz je specifickým českým neharmonizovaným využitím úseků na základě VO-R/14. Pro kmitočtový úsek 10 301 – 10 420 MHz a 10 476 – 10 588 MHz je stanovena maximální šířka pásma 56MHz. Způsob využití možný pouze bod – bod. Převažujícím způsobem využití je „přeladění“ infrastrukturálních technologií pevných spojů s frekvenčním duplexem a připojování méně kapacitně významných přístupových bodů sítí s rychlostí připojení na úrovni 400 Mbit/s FDD. S povoleným výkonem 2dBm do anténního systému jsou k dispozici dosahy v řádech i dvou desítek kilometrů. Systémy založené na 10,5 GHz pásmu slouží i k připojení koncových uživatelů, častokrát jako záložní systémy licencovaných spojů.

Pásmo 17 GHz v úseku 17,1 – 17,3 GHz je podle VO-R/12 určeno pro širokopásmový přenos dat. Vysílací výkon systémů založených na 200 MHz úseku je omezený na 100mW e.i.r.p., což omezuje jeho širokého využití. Každopádně 17 GHz systémy podnikatelé využívají, nejčastěji pro spoje bod – bod. Dostupná přenosová kapacita je 1000 Mbit/s při asymetrickém nastavení duplexních kanálů je 1000 Mbit/s.

Pásmo 24 GHz v úseku 24 – 24,25 GHz podle VO-R/10, na základě SRD Doporučení CEPT/ERC/REC 70-03 s výkonem 100mW e.i.r.p poskytuje obdobné možnosti jako v pásmu 17 GHz. Využívání obou SRD pásem s malým výkonem vyžaduje potřebu podnikatelů provozovat s nízkými provozními náklady cenově dostupné technologie založené na obdobných principech licencovaných spojů – s vysokou kvalitou přenosu dat nezávislých na typu provozu. Hlavním technologickým soupeřem jsou později uvolněná pásma 60 GHz a 80 GHz.

Pásmo 60 GHz a 80 GHz:

Pásmo 60 GHz v úseku 57–71 GHz je fakticky dalším pásmem WiFi, ovšem s pozměněným označením WiGig. Jedná se o celosvětový standard založený na IEEE 802.11ad a 802.11ay. Ačkoliv jde o technologii relativně mladou, pásmo bylo do užívání pro venkovní účely uváděno v období let 2019–2020, dřívější rozšíření křemíkových součástek pro průmyslové účely a gigabitové domácí routery umožnilo fakticky okamžitou masovou výrobu zařízení určených pro telekomunikační infrastrukturu bezdrátových pevných sítí. Na základě harmonizovaného dokumentu CEPT/ERC/REC 70-03 Úřad rozšířil Všeobecné oprávnění VO-R/12 a zavedl v úseku 57–66 GHz povinnost registrace zařízení, z důvodu ochrany zařízení pevné služby provozované podle ETSI 302 217. V registračním portálu rlan.ctu.gov.cz je k říjnu 2024 registrováno přibližně 134 tisíc zařízení využívající úsek 57–66 GHz. V úseku bez registrační povinnosti 66–71 GHz mohou být počty obdobné nebo spíše nižší kvůli pozdějšímu vývoji zařízení podporujících celý frekvenční rozsah dle harmonizované normy ETSI 303 722.

Vysoké frekvence milimetrových pásem přinášejí uživatelům technologií vysokou míru izolace mezi systémy kvůli úzkým vyzařovacím charakteristikám svých anténních systémů, kde i s přispěním funkcionality směřování paprsků vysílání (beam forming) přispívají ke vzájemné izolaci kolokovaných systémů. Schopnost směřování rádiového stvolu pomocí fázového posunu anténního pole výrazně přispívá k jednoduchosti montáže a ceně instalace. Prosazení pásma pro širokopásmové přenosy dat v FWA napomohla i z pohledu „tradiční“ sítě paradoxní fyzikální vlastnost. Energie elektromagnetického pole milimetrových pásem při šíření v prostoru rychle ubývá, podstatně tak potlačuje v 5GHz pásmu vysoké riziko vzájemného rušení jinak relativně vzdálených vysílacích bodů sítí.

Frekvenční úsek 57–71 GHz poskytuje 14 GHz (sic!) dostupné šíře pásma, které umožní vzájemnou samokoordinaci provozovatelů sítí. Milimetrové pásmo 60 GHz tak splňuje hned dva fyzikální principy vzájemné rádiové izolace – izolaci frekvencí a izolaci prostorem. Povolený výkon v pásmu je buďto 40 dBm e.i.r.p. pro antény s malým ziskem, anebo 55 dBm e.i.r.p pro antény s větším ziskem (průměrem). Základní šířka přenosového kanálu je 2 160 MHz. Gigabitová technologie WiGig má dobrý základ pro poskytování služeb pevného bezdrátového přístupu FWA za horizontem roku 2035 a dále. Netvoří však základní kapacitní vrstvu schopnou obsloužit i účastníky vzdálenější od základnové stanice – přístupového bodu sítě.

Pásmo 80 GHz v úseku 71 – 76 GHz a 81 – 86 GHz je určené pro provozování spojů pevné služby bod – bod. Harmonizace pásma vychází z dokumentu ECC/REC/(05)07 z roku 2005, je tedy jednou z prvních aplikací technologie milimetrových pásem určená pro budování infrastruktury s velmi vysokou přenosovou kapacitou. Zařízení pro pásmo 80 GHz lze v České republice

⁸⁴ Server 6GHz.cz, Unie pro bezdrátovou komunikaci, dokument Využití pásma 6GHz v České republice, Příloha 1, dostupné online na: <https://6ghz.cz/>

provozovat na základě Všeobecného oprávnění VO-R 23⁸⁵ se základní šířkou pásma 250 MHz, respektive ve vybraném úseku s ještě jemnější granularitou 62,5 MHz a 125 MHz. V obou případech lze využívat i násobky základního kanálu, tedy 500 / 1000 / 2000 MHz. Povolený režim je frekvenční duplex FDD i časový duplex TDD. K dispozici je dohromady 10 GHz šíře pásma, povoleným maximálním vyzářeným výkonem 85 dBm e.i.r.p. Při využívání pásma 80 GHz měli uživatelé do roku 2024 oznamovací (registrační) povinnost⁸⁶, která obsahuje bezmála 14 500 záznamů o nainstalování spoje pevné služby. Tato povinnost byla k 1. srpnu 2024 zrušena. Z bodu č. 3 odůvodnění:

„Úřad eviduje zcela zanedbatelný počet řešených případů (celkem 3) škodlivého rušení. To samo o sobě nemusí znamenat, že v případě zrušení podmínky oznamování tento stav bude přetrvávat (viz význam self-koordinace), ale přispívá to k učinění závěru, že nelze očekávat dramatickou změnu na stávající praxi. Rovněž je možné zohlednit i to, že respondenti v dotazníku v převážné většině uvedli, že rušením v předmětných pásmech nebyli v praxi dotčeni (a aniž by sami aktivně možnost self-koordinace s využitím údajů z portálu využívali) – viz níže.“

Z pohledu posuzování vhodnosti milimetrových pásem provozovaných na základě Všeobecného oprávnění jsou data ČTÚ velmi významná. Ukazuje se, že i při vysoké exploataci pásma lze úspěšně provozovat desetitisíce zařízení i s relativně velkým výkonem, s dosahem vyšších jednotek kilometrů a s kapacitou vyhovující i při připojování zatížených základních stanic MFCN sítí či přístupových bodů FWA sítí pevných poskytovatelů. Výhledové využití vyšších frekvencí v rámci například sítí 6. generace 3GPP může být bezpečně provozováno na základě bezlicenční autorizace přístupu ke spektru. Benefítovat z takového přístupu bude především uživatel – nízké provozní náklady napomáhají překonávat bariéru rozvinutí vysokorychlostní infrastruktury poskytování přístupu k síti Internet v místech s řídkým osídlením, jako jsou rurální a odloučené oblasti.

⁸⁵ Všeobecné oprávnění č. VO-R/23/08.2017-6 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení pevné služby v kmitočtových pásmech 71–76 GHz a 81 – 86 GHz, vydané ČTÚ, dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/sites/default/files/obsah/vo-r23-062024-4.pdf>

⁸⁶ Technické údaje pevných rádiových systémů typu bod-bod v pásmech 71-76 GHz a 81-86 GHz, dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/vyhledavaci-databaze/technicke-udaje-pevnnych-radiovych-systemu-typu-bod-bod-v-pasmech-71-76-ghz-a-81-86-ghz/kompletni-prehled?page=1>



Grant Thornton

www.grantthornton.cz

© 2024 Grant Thornton Advisory k.s. All rights reserved.

Grant Thornton Advisory k.s. je členská firma Grant Thornton International Ltd. (Grant Thornton International). Odkazy na Grant Thornton se vztahují ke Grant Thornton International nebo ke členským firmám. Grant Thornton International a členské firmy nejsou mezinárodním partnerstvím. Služby jsou nezávisle poskytovány jednotlivými členskými firmami.