

Analýza současného a budoucího využití pásma 42 GHz

Připraveno pro Ministerstvo
průmyslu a obchodu

22.06.2024



**Národní
plán
obnovy**



Obsah

Seznam zkratk a vysvětlivek	4
Manažerské shrnutí	5
Management summary.....	7
Úvod	9
1 Regulační přístupy ke kmitočtovému pásmu UHF	11
1.1 Současné využití pásma 42 GHz v České republice	11
1.2 Regulační vyhlídky v souvislosti s rozhodnutími WRC-19, globální trendy a předpokládaný vývoj s ohledem na využívání IMT/FWA.....	12
1.3 Možné kolize a omezení ve využívání pásma s dalšími službami při sdílení pásma, mitigace nežádoucích interferencí.....	13
1.4 Autorizace pro využívání pásma 42 GHz a její možnosti	15
1.5 Souhrnná doporučení pro využívání pásma 42 GHz s ohledem na intenzivní a efektivní využívání.....	15
2 Technologické vlastnosti milimetrového pásma 42 GHz	17
2.1 Omezený dosah a fyzikální vlastnosti ve volném prostoru, útlum v prostředí.....	17
2.2 Využívání pásma 42 GHz v režimu přímé a nepřímé viditelnosti, prostupnost pevnými překážkami, podoba infrastruktury pro široké využívání pásma.....	18
2.3 Využívání v urbanizovaném prostředí a modely nasazení, aplikace pásma 42 GHz v pohyblivé službě.....	19
2.4 Aplikace pásma 42 GHz jako infrastrukturálního terestrického systému.....	19
3 Standardizace v pásmu 42 GHz	21
3.1 Standardizace zařízení pro pásmu 42 GHz v systému ETSI	21
3.2 Standardizace v systému 3GPP	22
3.3 Interoperabilita mezi systémy využívající pásmo 42 GHz	27
4 Inovativní potenciál pásma 42 GHz	30
4.1 Využití v telekomunikacích	30
4.2 Využití v průmyslových aplikacích.....	32
4.3 Inovativní potenciál pro pásmo 42 GHz	34

Seznam zkratk a vysvětlivek

UHF	Ultra high frequency (Ultra vysoká frekvence)
ECC	Electronic Communication Committee (Výbor pro elektronickou komunikaci)
XPIC	Technologie pro potlačení interference křížové polarizace
ETSI	European Telecommunications Standards Institute (Evropský ústav pro telekomunikační normy)
ČTÚ	Český telekomunikační úřad
WRC-19	World Radiocommunication Conference 2019 (Světová radiokomunikační konference 2019)
IMT	International mobile telecommunications (mezinárodní mobilní telekomunikace)
FWA	Fixed Wireless Access (pevný bezdrátový přístup)
CEPT	Evropské konference poštovních a telekomunikačních služeb
MFCN	Mobile/Fixed Communication Network (Mobilní/pevná komunikační síť)
FCC	Federal Communications Commission (Federální komise pro komunikaci)
FSS	Fixed Satellite Service (Pevná družicová služba)
FS	Fixed Service (Pevná služba)
RAS	Radioastronomy Service (Radioastronomická služba)
V2X	Vehicle-to-everything (komunikace vozidla ke všemu)
BTS	Base transceiver station (Základnová stanice)
CPE	Customer-premises equipment (klientské zařízení)
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output (vícenásobný vstup a výstup)
5G	Sítě páté generace
DAS	Distribuovaný anténní systém
NLOS	Non-Line-of-Sight (bez přímé viditelnosti)
NR FR2	New Radio Frequency Range 2
EFTA	European Free Trade Association (Evropské sdružení volného obchodu)
3GPP	3rd Generation Partnership project (Partnerský projekt třetí generace)
MWS	Multimedia Wireless Systems
MGWS	MultiGigabit Wireless Systems
IoT	Internet věcí (Internet of Things)
TDD	Time-division duplex (Duplex s časovým dělením)
SNR	Signal-to-noise ratio (Poměr signálu a šumu)
NGSO	Non-Geostationary Orbit (negeostacionární orbita)
dB	Jednotka Decibel
UE	User Equipment (Uživatelské zařízení)

Manažerské shrnutí

Technologie 5G NR (New Radio) je klíčová pro zvyšování kapacity mobilních sítí, zejména v oblastech s vysokou koncentrací lidí. Kromě toho je vhodná pro vysokorychlostní komunikaci s přímou viditelností na konkrétní místa. V České republice se pásmo 42 GHz (40,5–43,5 GHz) momentálně využívá pro bod-bod spoje pevné služby s gigabitovou přenosovou rychlostí. Popularita tohoto pásma je však nižší ve srovnání s bezlicenčním pásmem 80 GHz, které nabízí vyšší kapacity a flexibilitu při minimálním riziku interferencí. Na globální úrovni se však očekává, že pásmo 42 GHz bude v budoucnu využíváno pro mobilní telekomunikace (MFCN). Pro minimalizaci kolizí s jinými službami je nezbytné geografické oddělení a pokročilé anténní technologie. Autorizace pásma vyžaduje individuální oprávnění nebo registraci s různými specifikacemi pro hotspoty. Doporučuje se použití aktivních sektorových antén, které umožňují přesné směřování signálů.

Probíhající výzkum na Vysokém učení technickém v Brně se zaměřuje na charakteristiky šíření signálu v pásmu 42 GHz, což by mělo přispět ke zlepšení implementace těchto řešení v praxi. Klíčovými prvky standardizace 5G NR v tomto pásmu jsou flexibilní spektrum (míněno jako možnost použití více kmitočtových pásem a různých kanálových šířek), pokročilé technologie modulace, masivní MIMO a beamforming, které umožňují efektivní využití spektra a vyšší přenosové rychlosti. Pásmo 42 GHz je ideální pro krátké vzdálenosti a husté městské či příměstské hotspoty, kdy se uplatňuje u aktivních anténních systémů vysoký zisk, tj. vysoká směrovost ve směru provozu uživatelských terminálů. Pro celoplošné pokrytí mobilními sítěmi však není vhodné kvůli omezenému dosahu. Významnou výzvou pro šíření signálu ve městských oblastech jsou budovy a další překážky, což lze řešit vhodným umístěním přístupových bodů a inteligentními distribuovanými anténními systémy (DAS).

Vývoj a implementace 5G technologií v pásmu 42 GHz jsou podporovány průmyslovými trendy a globální poptávkou po vyšších přenosových kapacitách. Technologie milimetrových vlnových délek, jako je 80 GHz (E-band) či 60 GHz (V-band), již prokázaly svou životaschopnost a inspirovaly využití podobných pásem v 5G sítích. Standardizace a příprava pásma 42 GHz na komerční využití stále probíhá. ETSI a 3GPP se v současnosti zaměřují na vytváření standardů, které jsou klíčové pro technologický rozvoj v tomto pásmu. Dokumenty jako ETSI TS 138 104 a specifikace 3GPP zajišťují technické podmínky pro efektivní využití pásma 42 GHz pro 5G NR, včetně kanálu n259, který podporuje širokopásmové přenosy v časovém duplexu (TDD).

Strategie Evropské komise "Connectivity for a European Gigabit Society" definuje cíle vybudování gigabitové společnosti do roku 2030. Očekává se, že telekomunikační sektor bude poptávat vysoce

kapacitní technologie pro 5G sítě, včetně FWA řešení založených na 5G NR. Pásmo 42 GHz má potenciál stát se důležitým prvkem pro pokrytí potřeb Průmyslu 4.0 a budoucího rozvoje mobilních a pevných komunikačních sítí. Vývoj tržního prostředí vedl k vytvoření specializovaných zařízení s redukovanými možnostmi (SoC), které nepotřebují všechny funkce 5G sítí. Takzvaná RedCap zařízení se mohou využívat například jako pevná nebo kampusová síťová zařízení.

Management summary

5G NR (New Radio) technology is key to increasing the capacity of mobile networks, especially in areas with high concentrations of people. In addition, it is suitable for high-speed communications with direct visibility to specific locations. In the Czech Republic, the 42 GHz band (40.5-43.5 GHz) is currently used for point-to-point fixed service links with gigabit data rates. However, the popularity of this band is lower compared to the licence-exempt 80 GHz band, which offers higher capacity and flexibility with minimal risk of interference. However, at a global level, the 42 GHz band is expected to be used for mobile telecommunications (MFCN) in the future. Geographical separation and advanced antenna technologies are necessary to minimise interference with other services. Authorisation of the band requires individual authorisation or registration with different specifications for hotspots. The use of active sector antennas is recommended to enable precise routing of signals.

Ongoing research at the Brno University of Technology is focusing on the characteristics of signal propagation in the 42 GHz band, which should help to improve the implementation of these solutions in practice. The key elements of 5G NR standardisation in this band are flexible spectrum, advanced modulation technologies, massive MIMO and beamforming, which enable efficient spectrum utilisation and higher transmission rates. The 42 GHz band is ideal for short distances and dense urban or suburban hotspots where antenna systems achieve high gain and narrow directivity. However, it is not suitable for wide nationwide coverage due to its limited range. Buildings and other obstacles are a significant challenge for signal propagation in urban areas, which can be addressed by appropriate placement of access points and intelligent distributed antenna systems (DAS).

The development and implementation of 5G technologies in the 42 GHz band are driven by industry trends and global demand for higher transmission capacities. Millimetre wavelength technologies such as 80 GHz (E-band) or 60 GHz (V-band) have already proven their viability and inspired the use of similar bands in 5G networks. Standardisation and preparation of the 42 GHz band for commercial use is still ongoing. ETSI and 3GPP are currently focusing on creating standards that are key to technological development in this band. Documents such as ETSI TS 138 104 and 3GPP specifications provide the technical conditions for the effective use of the 42 GHz band for 5G NR, including the n259 channel that supports time-division duplex (TDD) broadband transmissions.

The European Commission's strategy "Connectivity for a European Gigabit Society" defines the goals of building a gigabit society by 2030. The telecommunications sector is expected to demand high-capacity technologies for 5G networks, including FWA solutions based on 5G NR. The 42 GHz band has the

potential to become an important element to meet the needs of Industry 4.0 and the future development of mobile and fixed communication networks. The evolution of the market environment has led to the creation of specialised devices with reduced capabilities (SoCs) that do not need all the features of 5G networks. So-called RedCap devices can be used, for example, as fixed or campus network devices.

Úvod

Milimetrová pásma představují příležitost pro vyřešení některých potřeb bezdrátové komunikace. U tradičních technologií využívajících centimetrová pásma dochází k navyšování přenosových rychlostí zvyšováním efektivity přenosu dat v omezené (tj. ve stávající) šíři komunikačních kanálů. Kvůli vysoké poptávce po využití tradiční části spektra není možné komunikační kanály rozšiřovat.

Podstatné navyšování přenosové kapacity bezdrátových technologií vývojem vyšších modulačních schémat se ukázalo jako velmi obtížně v praxi realizovatelné. Skokovou změnu v bezdrátové komunikaci představuje komerční dostupnost zařízení využívající řídicí úseky spektra v milimetrovém pásmu. První široce nasazovaná zařízení využívající široké kanály v milimetrových pásmech pro přenos dat (až gigabitové spoje) byla technologie pevné služby bod – bod v úseku 74–84 GHz. Ta díky využití širší pásma s násobky 250 MHz pro jeden komunikační kanál umožnila rychlé rozšíření vysokokapacitních služeb mobilního a pevného připojení s gigabitovými parametry. Signifikanční výhodou milimetrových pásem je vysoká anténní směrovost a omezená schopnost šíření elektromagnetického pole zejména v prostředí s překážkami. Tyto vlastnosti jsou využívány jako výhoda při plánování hustého rozmístění jednotlivých zařízení, protože téměř eliminují riziko vzájemného rušení. Postupný technický vývoj v minulé dekádě přinesl technologie schopné přenosu gigabitových kapacit také v systémech bod – více bodů. Technologie a jejich uživatelé tak čekají na rozhodnutí regulátorů o způsobu využívání milimetrových pásem. V pásmu 42 GHz se očekává další regulatorní vývoj i vývoj z hlediska očekávaných uživatelských modelů, kde však lze očekávat jistou míru opatrnosti například s ohledem na zkušenosti s 5G/26 GHz.

Pásmo 42 GHz není v současnosti příliš využíváno. V posledních letech jsme svědky exponenciálního růstu spotřeby dat. Nedostatečná kapacita v rámci Mid-band spektra společně s rostoucí potřebou volné kapacity pro naplnění poptávky vede téměř všechny zainteresované subjekty ke zkoumání obchodního potenciálu využití milimetrových pásem. Rozvoj v této oblasti je umožněn zejména díky pokroku ve vývoji nových telekomunikačních technologií. Cílem studie je popsat základní technické, regulatorní i praktické aspekty využití pásma 42 GHz. Tento materiál bude následně sloužit jako podklad Ministerstva průmyslu a obchodu a dalších subjektů, včetně ČTÚ, pro strategické rozhodování o dalším rozvoji telekomunikací v následujících letech.

Součástí studie je popis současných globálních trendů, rozvoj technologie milimetrových pásem a aplikační využití pásma pro vysokorychlostní spoje. Obsahuje také souhrnná doporučení přístupu k budoucímu využití pásma 42 GHz s důrazem na intenzivní a efektivní využití pásma. Studie se soustředí

na popis dosažené standardizace využití technologií v pásmu 42 GHz a zabezpečení interoperability mezi různými systémy a zařízeními. Věnuje se podpoře vývoje mobilních komunikačních sítí a průmyslových aplikací, které budou využívat pásmo 42 GHz. Rovněž se zabývá překonáváním překážek spojených s infrastrukturním rozvojem potřebným pro využití pásma 42 GHz, zejména s ohledem na potřebu nových vysílacích zařízení a antén. Dalším tématem je efektivní koordinace a integrace kmitočtového pásma 42 GHz s ostatními kmitočtovými pásmy v rámci spektra pro bezdrátové komunikace. S tím souvisí i kapitola věnující se současnému a potenciálnímu regulačnímu rámci pro využívání pásma 42 GHz a jejich vlivu na rozvoj nových služeb a technologií. Studie se zabývá i technologickými aspekty spojenými s implementací komunikačních systémů v pásmu 42 GHz, včetně potřeby vysoce výkonných antén a odolnosti proti rušení. Tématem je i omezený dosah a šíření signálu v kmitočtovém pásmu 42 GHz, zejména pak v urbanizovaných oblastech a pro vnitřní použití. Nakonec se studie zaměřuje na reálné aplikace technologie 5G s využitím pásma 42 GHz zejména s důrazem na průmysl 4.0.

Rozvoj telekomunikační infrastruktury, zejména technologie 5G, má významný celospolečenský přesah a přináší mnoho důvodů, proč by se o něj měly státy aktivně snažit. Výrazné zlepšení konektivity a rychlosti internetu umožňuje rychlejší a spolehlivější komunikaci pro jednotlivce i podniky, vyšší rychlosti a nižší latence pak otevírají dveře k inovacím v mnoha oblastech, včetně vzdělávání, zdravotnictví, dopravy a zábavy. Státy dbající o blahobyt svých obyvatel by se měly snažit o rozvoj 5G infrastruktury, protože tato technologie má potenciál transformovat ekonomiku, zlepšit kvalitu života obyvatel a posílit jejich postavení v globální ekonomice. Investice do 5G je investicí do budoucnosti, která přináší dlouhodobé výhody pro celou společnost.

1 Regulační přístupy ke kmitočtovému pásmu UHF

1.1 Současné využití pásma 42 GHz v České republice

Pásmo 40,5-43,5 GHz je v současné době v Plánu využití rádiového spektra¹ určeno pro využití kmitočtově duplexními spoji pevné služby v režimu bod – bod², a to na základě doporučení ECC/REC/(01)04³. Povolená kanálová šíře je 112 MHz pro každý přenosový směr. Přenosová kapacita odpovídá u nejmodernějších technologií s využitím vysokých stavů modulace gigabitové přenosové rychlosti s jednoduchou polarizací, s možností dvounásobné přenosové kapacity s využitím dvoupolarizačního řešení XPIC⁴.

Původní záměr pro harmonizované využití spektra je popsán v dokumentu ETSI TR 103 230⁵ jako systém pro budování mikrovlnných přípojných sítí malých buněk mobilních sítí. Využívání kmitočtového spektra se řídí zásadami technologické neutrality, pevné spoje bod – bod slouží k obecným telekomunikačním účelům.

Zájem o využití pevné služby v pásmu 42 GHz nijak výrazně neroste a počet nově zřizovaných pevných spojů typu bod-bod v pevné službě je malý. Jedním z důvodů je preference využití kmitočtových pásem jako je např. 70/80 GHz, a to na základě Všeobecného oprávnění VO-R/23/08.2017-6⁶. Celkový počet platných individuálních oprávnění pro provoz v pásmu 42 GHz dosáhl ve druhém kvartále roku 2024

¹ Plán je tvořen společnou částí plánu využití rádiového spektra a částmi plánu využití rádiového spektra pro kmitočtová pásma vymezená dolním a horním mezním kmitočtem. ČTÚ v plánu využití rádiového spektra (PVRS) stanoví technické parametry a podmínky využití rádiového spektra radiokomunikačními službami. ČTÚ v plánu využití rádiového spektra (PVRS) stanoví technické parametry a podmínky využití rádiového spektra radiokomunikačními službami. Plán navazuje na plán přidělení kmitočtových pásem (národní kmitočtová tabulka).

² Část plánu využití rádiového spektra č. PV-P/9/01.2014-1 pro kmitočtové pásmo 39,5–43,5 GHz; dostupné online na: https://ctu.gov.cz/cs/download/plan-vyuziti-radioveho-spektra/rok_2014/pv-p_09-01_2014-01.pdf

³ ECC/REC/(01)04 of 10 October 2001 on Recommended guidelines for the accommodation and assignment of multimedia wireless systems (MWS) and point-to-point (P-P) fixed wireless systems in the frequency band 40.5-43.5 GHz; dostupné online na: <https://docdb.cept.org/document/450>.

⁴ Podpůrná výpočtová tabulka přenosové kapacity spojů společnosti VanCo.cz; dostupné online na: <https://www.vanco.cz/vypocet/>.

⁵ ETSI TR 103 230, Fixed Radio Systems; Small cells microwave backhauling; dostupné online na: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103200_103299/103230/01.01.01_60/tr_103230v010101p.pdf

⁶ 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 Českým telekomunikačním úřadem; dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/vseobecne-opravneni-c-vo-r23082017-6>

232 Individuálních oprávnění⁷ (tzn. 232 duplexních spojů). Pro porovnání, v bezlicenčním pásmu s velmi podobným dosahem a možností využití vyšších přenosových kapacit pásem 70/80 GHz daných zejména možností realizovat širší kanály, je registrováno 13 649 pevných spojů bod – bod⁸. Určitou roli hraje i otázka zpoplatnění využívání rádiových kmitočtů, neboť využívání pásma 42 GHz je zpoplatněno.

Lze tedy konstatovat že pásmo 42 GHz není v současnosti v České republice plně využito.

1.2 Regulační vyhlídky v souvislosti s rozhodnutími WRC-19, globální trendy a předpokládaný vývoj s ohledem na využívání IMT/FWA

Na Světové radiokomunikační konferenci (WRC-19) bylo přijato několik rozhodnutí týkajících se možného využití pásma 42 GHz. Jedním z klíčových výsledků jednání WRC-19⁹ byla identifikace možných budoucích pásem pro nasazení technologií IMT (International mobile Telecommunications) pro fixní a mobilní služby, včetně úseku 37 – 43,5 GHz.

Další zkoumání využití pásma 42 GHz se podle WRC-19 má týkat také využívání pro pevné družicové služby ve směru vesmír – země s vysokou hustotou využití. V některých úzkých úsecích je v globálním měřítku zvažováno využití pro další družicové služby, například v negeostacionárních družicových systémech či systémech Radioastronomické služby. Další zvažované způsoby využití se netýkají vnitrozemských států. V březnu 2020 se CEPT (Evropská konference poštovních a telekomunikačních služeb) rozhodla vypracovat nové rozhodnutí o harmonizaci kmitočtového pásma 40,5 – 43,5 GHz pro využití pro pozemní bezdrátové systémy příští generace¹⁰.

V roce 2024 očekáváme vydání návrhu závazného rozhodnutí Evropské komise, ke kterému se budou vyjadřovat jednotlivé členské státy. Budoucí rozhodnutí Evropské komise o využití spektra bude pravděpodobně vycházet z návrhu Electronic Communication Committee, harmonizačního výboru CEPT. Návrh ECC (22)06¹¹ vydaný v listopadu 2022 specifikuje harmonizované podmínky pro využití v pevných

⁷ Využito Informačního portálu o údajích udělených individuálních oprávnění a vydaných přidělů Českého telekomunikačního úřadu; dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/vyhledavaci-databaze/databaze-pridelenych-radiovych-kmitoctu-podle-vydanych-pridelu-a-individualnich-opravneni/vyhledavani>

⁸ Technické údaje pevných rádiových systémů typu bod-bod v pásmech 71-76 GHz a 81-86 GHz; Kompletní přehled oznámených spojů; dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/vyhledavaci-databaze/technicke-udaje-pevných-radiovych-systemu-typu-bod-bod-v-pasmech-71-76-ghz-a-81-86-ghz/kompletni-prehled>

⁹ World Radiocommunication Conference 2019 (WRC-19) Final Acts, publikováno mezi ITU Publications, International Telecommunication Union, Radiocommunication Sector; dostupné online na: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/act/R-ACT-WRC.14-2019-PDF-E.pdf

¹⁰ CEPT Report 82; dostupné online na: <https://docdb.cept.org/download/4177>

¹¹ ECC/DEC/(22)06 of 18 November 2022 on harmonised technical conditions for Mobile/Fixed Communications Networks (MFCN) in the band 40.5-43.5 GHz, dostupné online na: <https://docdb.cept.org/document/28571>

a mobilních telekomunikačních sítích pro pásmo 40,5 – 43,5 GHz obdobně již vydaným podmínkám v pásmu 26 GHz. Základní frekvenční kanálový blok je navržený na 200 MHz s možností použití i šířek násobků 50 MHz. Při takto navržené šíři pásma můžeme potencionální síť využívající pásmo 42 GHz označit za síť se schopností poskytovat gigabitové připojení každému uživateli.

1.3 Možné kolize a omezení ve využívání pásma s dalšími službami při sdílení pásma, mitigace nežádoucích interferencí

Při definici frekvenčního uspořádání MFCN (Mobile/Fixed Communication Network) musel brát ECC ohled na požadavky přidělení FSS (Pevná družicová služba), FS (Pevná služba) a RAS (Radioastronomická služba). Ochrana těchto služeb ve frekvenčním spektru je možná, protože jde o služby s pevným místem provozu.

Separace rádiových kmitočtů v obecné rovině je možná:

- prostorem,
- frekvencí,
- polarizací nebo
- kódováním.

V případě milimetrového pásma 42 GHz má největší technický význam metoda prevence rádiového rušení oddělením prostorem, tedy geografickým oddělením zdrojů vysílání od přijímacích zařízení. Velkou výhodou milimetrových pásem je jejich omezená propagace v prostoru, protože zbytková energie vysílače v atmosférickém prostředí rychle klesá pod rušící úroveň. Fyzikální vlastnosti pásma umožní používat rozměrově úsporné antény¹², kvůli fyzikální závislosti frekvence a zisku anténních systémů, současně se zachováním úzké směrovosti anténních systémů.

V povolení provozu MFCN je tedy možné navrhnout taková opatření, která přiměřeným způsobem zajistí využívání a možnost budoucího nasazení přijímacích pozemských stanic FSS v kmitočtovém pásmu 40,5-42,5 GHz a vysílacích pozemských stanic FSS v kmitočtovém pásmu 42,5-43,5 GHz, a zároveň ochrání MFCN v pásmu 42,5-43,5 GHz. Služby FSS a RAS nejsou v České republice významně využívané, technická opatření se budou týkat zejména kolizí s pevnou službou FS.

¹² Případně při zachování rozměru antény je možné dosáhnout vyšší ziskovosti, či směrovosti v porovnání s nižšími pásmy.

CEPT vypracovala pokyny na podporu zavádění MFCN a zároveň přiměřeným způsobem zajistila používání přijímacích pozemských stanic FSS v kmitočtovém pásmu 40,5-42,5 GHz a používání vysílacích pozemských stanic FSS v kmitočtovém pásmu 42,5-43,5 GHz v doporučení ECC (22)01¹³. Doporučení CEPT se tedy zabývá kompatibilitou mezi MFCN v pásmu 40,5-43,5 GHz a přijímacími pozemskými stanicemi FSS v pásmu 39,5-40,5 GHz s cílem zabránit problémům s rušením a/nebo je vyřešit.

Technická opatření prevence rušení jsou u FSS založená na geografické separaci služby FSS, kde ve vhodné separační vzdálenosti od služeb FSS nebude možné provozovat služby MFCN na kolizním kmitočtu. Pro určení vhodné separační vzdálenosti je možné využívat model šíření podle doporučení ITU-R P.452, nebo doporučení ITU-R P.2001 spolu s vhodnými údaji o terénu v okolí pozemní stanice.

Obdobná situace nastane při prevenci rušení směrových spojů pevné služby (FS) bod-bod.

Koexistence lze dosáhnout výpočtem geografické separační vzdálenosti a určením tzv. koordinačních zón, které lze použít kolem stanic těchto jiných služeb, kde může být zapotřebí dalšího zvážení, pokud by se základnové stanice MFCN nacházely uvnitř těchto zón. V každém případě je nutné zavést na národní úrovni mechanismus, který umožní koordinaci zařízení MFCN s ohledem na požadavky sdílení služeb.

Ochrany RAS lze dosáhnout výpočtem zeměpisné oddělovací vzdálenosti a stanovením uzavřených zón kolem stanic RAS, které jsou definovány na vnitrostátní úrovni.

K zajištění ochrany lokality RAS by byl zapotřebí mechanismus, například regulační požadavek na dodržování vyloučených zón definovaných a uplatňovaných na vnitrostátní úrovni (s ohledem na terén, překážky atd.).

Nevýhodou sdílení služeb FSS, FS a RAS s MFCN je omezení zřizování nových chráněných služeb FSS a FS tam, kde již bylo přiděleno oprávnění k využívání kmitočtů MFCN. Proto se u služeb jako MFCN předpokládá nasazování v podobě hotspotů s řízeným či omezeným vysílacím výkonem. Při vypracovávání zprávy CEPT nebyl pro zařízení MFCN určen žádný technický mechanismus, který by zabránil rušení, kromě umístění nových základnových stanic mimo předem určenou vyloučenou zónu.

¹³ ECC/REC/(22)01 of 18 November 2022 on guidelines to support the introduction of MFCN in 40.5-43.5 GHz while ensuring, in a proportionate way, the use of FSS receiving earth stations in the frequency band 40.5-42.5 GHz and the use of FSS transmitting earth stations in the frequency band 42.5-43.5 GHz and the possibility for future deployment of these earth stations; dostupné online na: <https://docdb.cept.org/document/28572>

1.4 Autorizace pro využívání pásma 42 GHz a její možnosti

Autorizace milimetrových pásem s identifikovanou nutností koordinace služeb, ale zároveň určených pro nasazování v podobě hotspotů uvnitř i venku, je vhodná na základě individuálních oprávnění k využívání kmitočtů. Individuální oprávnění pro využívání kmitočtů může být účelně vyžadováno pro umístění přístupového bodu sítě (hotspotu, BTS).

Je možné zvážit duální režim přidělování oprávnění pro využívání kmitočtů zvláště pro hotspoty s navrženým vysokým vysílacím výkonem a pro hotspoty s nízkým vysílacím výkonem, nebo hotspoty umístěnými uvnitř budov. V takovém případě je potřebné zavedení opatření, ve kterém národní regulátor jako správní orgán bude moci uložit dodatečná opatření pro využívání kmitočtů, například zákaz využívání kolizních frekvenčních přidělů v separačních zónách.

1.5 Souhrnná doporučení pro využívání pásma 42 GHz s ohledem na intenzivní a efektivní využívání

Pro zvýšení ochrany sdílených služeb doporučujeme požadovat využívání aktivních sektorových antén, schopných formovat vyzařování energie směrem ke klientskému zařízení (CPE).

Vlastnosti vyšších frekvenčních pásem s kratší vlnovou délkou umožňují použití pokročilých anténních systémů, včetně technik vícenásobného vstupu a výstupu (MIMO) a formování paprsku. To by se mělo odrazit v minimálních požadavcích na využívání pásma.

Pro plánování nasazení zařízení ve sdílených pásmech je základním požadavkem znalost umístění systémů sdílené služby. Rozvoj sdílených pásem proto vyžaduje geolokační portál, ve kterém je dálkově dostupným způsobem zprostředkována informace o využívání sdílených služeb.

Základním předpokladem rozvoje milimetrových pásem obecně je minimální nákladová bariéra pro autorizaci k využívání spektra. Pouze atraktivita využívání pásma vyvolá poptávku po vhodných technologiích, a tím vytvoří dostatečný tlak na výzkum a vývoj na začátku dodavatelského řetězce.

Závěr ke kapitole 1:

V České republice se v současné době pásmo 42 GHz (v užším intervalu, nežli je potenciální využití pro MFCN sítě, a to 40,5–43,5 GHz) využívá primárně pro bod-bod spoje pevné služby s možností až gigabitové přenosové rychlosti. Zájem o toto pásmo však nestoupá zejména v důsledku rostoucí popularity bezlicenčního pásma 70/80 GHz, které nabízí vyšší přenosové kapacity a vysokou flexibilitu nasazování, současně s minimálním rizikem nežádoucích interferencí kvůli vlastnostem pásma. Globální rozhodnutí a trendy naznačují, že pásmo 42 GHz by mohlo být v budoucnu využíváno pro mobilní telekomunikace (MFCN). Pro zamezení kolizí s jinými službami je klíčové geografické oddělení a použití pokročilé anténní technologie. Autorizace využívání pásma by měla s ohledem na ochranu pevné radiokomunikační služby spočívat na individuálním oprávnění, s možnými specifikacemi pro různé typy hotspotů. Pro efektivní využití se doporučuje využívání aktivních sektorových antén, které umožňují přesné směřování signálů. Budoucí využívání pásma pevnou službou může pozitivně ovlivnit technologický vývoj RedCap zařízení, tedy levných čipsetů s omezenými vlastnostmi, využívajících pouze nezbytné vlastnosti 5G sítí při dodržení všech nezbytných standardů 3GPP.

2 Technologické vlastnosti milimetrového pásma 42 GHz

2.1 Omezený dosah a fyzikální vlastnosti ve volném prostoru, útlum v prostředí

Fyzikální vlastnosti vyšších milimetrových pásem je předurčují pro využívání v systémech s krátkým dosahem. Vlastnosti anténních systémů (vysoký zisk, vysoká směrovost) a nízký rozptyl v troposféře pásmo 42 GHz předurčuje pro hustě budované aplikace v podobě městských a příměstských hotspotů, což nevylučuje nasazení také v obcích venkovského typu především v režimu pevné sítě. Vzhledem k fyzikálním omezením se předpokládá nasazení v buňkách s malým dosahem. Naopak není na místě očekávat regionální či dokonce celoplošné využití. Dosah ve volném prostoru a aplikační vzdálenosti je možné odvodit dle modelu šíření (určení úrovně rušících signálů) vycházejícího z doporučení ITU-R P.452, nebo doporučení ITU-R P.2001 spolu s vhodnými údaji o terénu v okolí pozemní stanice. U mobilního využití je z dostupných zdrojů indikována vzdálenost od několika stovek metrů u vysokého modulačního schématu, po jednotky tisíc metrů u nasazení v pevném místě se ziskovou anténou CPE.

Přesný technický pohled na využívání milimetrových pásem nám teprve poskytne probíhající výzkum, například projekt *Multi-band prediction of millimeter-wave propagation effects for dynamic and fixed scenarios in rugged time-varying environments*, aktuálně probíhající na Vysokém učení technickém v Brně.¹⁴ Projekt je zaměřen na výzkum specifických charakteristik šíření milimetrových vln v různých členitých městských prostředích a příměstských oblastech. Časově proměnné vlastnosti kanálu budou zkoumány jak z krátkodobého hlediska zaměřeného na velmi rychlé změny v kanálu, tak z hlediska dlouhodobých změn v řádu několika hodin nebo dnů. Výstupem projektu budou statistické modely kanálů vytvořené na základě skutečných naměřených dat. Nové poznatky se očekávají zejména v oblasti analýz kanálů zohledňujících vlivy počasí (déšť, sníh) a zkoumání dlouhodobých statistik. Cílem projektu je rozšířit současně dostupné analýzy chování rádiových vln na vyšší frekvence, a tím nové scénáře

¹⁴ Multi-band prediction of millimeter-wave propagation effects for dynamic and fixed scenarios in rugged time-varying environments, zaměřené na zkoumání frekvencí v rozsahu 30 – 300 GHz. Projekt financovaný Grantovou agenturou České republiky. Hlavní řešitel prof. Ing. Aleš Prokeš, Ph.D. Výsledky projektu zaměřeného na základní výzkum jsou průběžně publikované, plné dokončení výzkumu je očekáváno na konci roku 2025. O projektu jsou informace dostupné online na: https://www.vut.cz/vav/projekty/detail/33723?aid_redir=1

využívání bezdrátových technologií s využitím netradičních metod měření, jako je prostorové snímání vícecestných složek v reálném čase nebo nové techniky předzpracování dat včetně strojového učení.

2.2 Využívání pásma 42 GHz v režimu přímé a nepřímé viditelnosti, prostupnost pevnými překážkami, podoba infrastruktury pro široké využívání pásma

V městském prostředí, kde se nasazení milimetrových pásem předpokládá v největší míře, se problémem pro šíření stávají budovy a další překážky v trase mezi přístupovým bodem a uživatelem. Šíření signálu ovlivňuje difrakce a ztráty odrazem. Odražený signál ztrácí kvalitu také kvůli depolarizaci. Do jisté míry lze při plánování nasazení zařízení předcházet ztrátě kvality signálů vhodným umístěním přístupového bodu sítě tak, aby odpovídal nejčastější koncentraci uživatelů. Jistou míru kompenzace ztráty kvality signálu zprostředkuje inteligentní distribuovaný anténní systém (DAS), který lze provozovat pomocí hybridního formování energie signálu.

Nejúčinnější jsou opatření pro zachování kvality signálu v předem definovaných prostorách, jako jsou stadiony či vnitřní prostory. V takových místech lze využívat další technická opatření, jako jsou inteligentní opakovače signálu a pasivní odrazné plochy. Systémy jsou podrobněji popsány ve zprávě GSMA 5GmmWave Deployment – Best practices¹⁵ z října 2022.

Využívání milimetrové vlny v režimu NLOS, nepřímé viditelnosti, nelze z aplikací vyloučit při akceptaci ztráty kvality přenosových parametrů. Plánování systému nasazení musí vzít v úvahu velmi omezenou schopnost energie milimetrového pole procházet překážkami v trase, které podrobně rozepisuje GSMA ve své zprávě zmíněné výše.

- přídavný útlum olistění vegetace 39 GHz na úrovni 28 dB
- při průchodu stěnami budov 39 GHz na úrovni 42 dB

Nejefektivnější aplikace systému 42 GHz je v režimu přímé viditelnosti. Podoba infrastruktury pro široké využívání pásma je nasměrování anténních systémů přímo do plochy shromaždiště osob u mobilních sítí. U pevných sítí s přesně definovaným umístěním uživatelů naopak jsou vlastnosti pásma využitelné s neopomenutelnými výhodami, které ještě zesiluje možnost výběru vhodného anténního systému uživatele.

¹⁵ 5G mmWave Deployment Best Practices Whitepaper; dostupné online na: https://www.gsma.com/solutions-and-impact/technologies/networks/gsma_resources/5g-mmwave-deployment-best-practices-whitepaper/

2.3 Využívání v urbanizovaném prostředí a modely nasazení, aplikace pásma 42 GHz v pohyblivé službě

Využívání v urbanizovaném prostředí odpovídá vlastnostem pásma a vlastnostem šíření milimetrových rádiových vln. V případě pevných rádiových sítí jde o aplikaci v topologii přístupový bod – uživatelé v režimu přímé viditelnosti, anebo v režimu smíšené sítě MESH.

V případě mobilních rádiových sítí jde o využívání hotspotů pro velká shromaždiště osob, u kterých předpokládáme nárazovou masivní potřebu datové komunikace, především sportovní stadiony, nádraží, náměstí nebo sportovní centra.

2.4 Aplikace pásma 42 GHz jako infrastrukturálního terestrického systému

Pásma 42 GHz má potenciál pro vytváření hotspotů mobilní sítě za předpokladu dostatečného rozšíření koncových zařízení uživatelů mobilní sítě se schopností jej využívat. V teoretické rovině je možné předpokládat aplikaci pro backhauling mobilní sítě při připojování malých buněk mobilní sítě, využívajících tradiční frekvence.

Pravděpodobné je také využití v pevných sítích FWA v režimu bod – více bodů či v topologii MESH pro připojování uživatelů v městském či příměstském prostředí. V roce 2024 se však pro podobné aplikace jeví jako perspektivnější pásmo 26 GHz.

Závěr ke kapitole 2:

Pásma 42 GHz je ideální pro krátké vzdálenosti a husté městské a příměstské hotspoty, kde anténní systémy dosahují vysokého zisku a úzké směrovosti. Kvůli omezenému dosahu se však nehodí pro regionální nebo celoplošné pokrytí. V městských oblastech jsou pro šíření signálu výzvou budovy a další překážky, což způsobuje ztráty odrazem a depolarizací. Těmto ztrátám lze předejít vhodným umístěním přístupových bodů a použitím inteligentních distribuovaných anténních systémů (DAS). V předem definovaných prostorách, jako jsou stadiony, mohou pomoci inteligentní opakovače signálu a pasivní odrazné plochy. Pásma 42 GHz je také vhodné pro pevné rádiové sítě v režimu přímé viditelnosti nebo smíšené sítě MESH. U mobilních sítí je značný potenciál pro potřeby backhaulingu. Čistě mobilní využití (5G) není vyloučeno, a to zejména při uspokojení požadavků na připojení v místech s vysokou koncentrací osob, jako jsou sportovní stadiony a nádraží. Problém je ale to, že v

současnosti nejsou pro evropský trh dodávána kapesní zařízení (smartphony) podporující 3GPP 5G NR FR2 s kanálem n259.

Probíhající výzkum, například na Vysokém učení technickém v Brně, se zaměřuje na charakteristiky šíření signálu v pásmu 42 GHz v městských a příměstských oblastech, což pomůže dále zlepšit implementaci řešení využívajících toto pásmo v praxi.

3 Standardizace v pásmu 42 GHz

3.1 Standardizace zařízení pro pásma 42 GHz v systému ETSI

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) je organizace odpovědná za vytváření technických standardů, včetně pevných a mobilních technologií. Bez dostupné standardizace produktů pro provoz v pásmu 42 GHz nelze předpokládat rozvoj technologií určených k využívání v tomto pásmu. Standardizace se dotýká především technických specifikací, elektromagnetické kompatibility a bezpečnosti výrobků. Standardy upravují požadavky na efektivní využívání rádiového spektra a interoperabilitu.

Impulesem ETSI pro vytváření technických standardů je takzvaný mandát Evropské komise nebo EFTA. Mandát či požadavek na standardizaci (SReq) relevantní pro MFCN sítě v pásmu 42 GHz byl vydán pouze pro CEPT, který na mandát reaguje v dokumentu CEPT Report 82.¹⁶

Mandát pověřuje CEPT návrhem řešení vzájemné mitigace rušení mezi pevnou službou (FS), radioastronomickou službou (RAS) a pevnou družicovou službou (FSS) a službami mobilní/pevné komunikační sítě, MFCN.

Existující dokumenty ETSI, vztahující se k požadavkům pro využívání pásma 42 GHz pro MFCN, přebírají technické specifikace 3GPP (3rd Generation Partnership project), například ETSI TS 138 104¹⁷. 3GPP se zabývá specifikacemi pro rádiové rozhraní, síťové architektury a další související technologická vodítka.

Naproti tomu jsou dobře definované technické podmínky pro využívání pásma pro pevnou službu FS a v České republice nevyužívané systémy MWS, Multimedia Wireless Systems.

¹⁶ Report from CEPT to the European Commission in response to the Mandate

“to develop least restrictive harmonised technical conditions suitable for next-generation (5G) terrestrial wireless systems for priority frequency bands above 24 GHz”

Harmonised least restrictive technical conditions for the 40.5-43.5 GHz frequency band, dostupný online na <https://docdb.cept.org/document/28574>

¹⁷ 5G; NR; Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 38.104 version 17.8.0 Release 17) dostupné online na: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138100_138199/138104/17.08.00_60/ts_138104v170800p.pdf

Pásmo 40,5–43,5 GHz je v Evropě určeno pro přednostní využití pevnou radiokomunikační službou. Koncem devadesátých let vznikl původní evropský záměr podle Rozhodnutí CEPT/ERC/DEC/(99)15¹⁸ (vydání z roku 1999) standardizovat pásmo 42 GHz pro interaktivní multimediální služby zákazníkům. V pásmu proběhly experimenty s přenosy vícekanálové televize i lokálního rozhlasového vysílání, včetně mikrovlnných distribučních spojů. S prudkým rozvojem moderních přístupových paketových sítí v pásmech pod 6 GHz (např. pevné přístupové sítě v pásmech 5 GHz, 3,5 GHz a 2,4 GHz), včetně rozvoje sítí IMT, se ale tento koncept nerozvinul a pásmo zůstalo v Evropě prakticky nevyužité. Strategie dalšího využití proto byla v Evropě přehodnocena, a k pásmu bylo v roce 2010 vydáno Doporučení CEPT ECC/REC/(01)043), umožňující využití kmitočtů pevnými rádiovými vysokokapacitními spoji typu bod-bod, ve kterém došlo k rozvoji běžného využití také v České republice. Následně bylo odpovídajícím způsobem revidováno i Rozhodnutí CEPT/ERC/DEC/(99)15. Pro systémy MWS je dostupná potřebná standardizace, například ETSI EN 301 997¹⁹ nebo ETSI EN 302 326²⁰.

3.2 Standardizace v systému 3GPP

Milimetrová pásma jsou vstupní branou pro skutečně vysokokapacitní přenos dat. Jakkoliv jsou metody modulace rádiového signálu rozvinuté, klíčem ke skutečně podstatnému nárůstu přenosových kapacit je rozšíření využívaného kanálu z desítek megahertzů na stovky megahertzů. U tradičních kmitočtových pásem určených pro bezdrátovou komunikaci je z historických i technických důvodů vysoký zájem o využívání spektra; nižší frekvence pod 6 GHz mají schopnost lepší prostupnosti překážek a rozsáhlého pokrytí u mobilních služeb, u pevných telekomunikačních služeb jsou požadavky na využívání spektra intenzivní ve pásmech od 5 GHz až do 38 GHz.

Frekvenční spektrum využívají i další služby netelekomunikačního charakteru. Při současných požadavcích na zavádění služeb bezdrátové komunikace s gigabitovými službami regulátoři jen obtížně nalézají ucelené kmitočtové úseky, ve kterých by vyhověli požadavkům na širší komunikační kanály bez negativního vlivu na ostatní služby využívající frekvenční spektrum. Teprve s rozvojem technologií určených pro milimetrová pásma se objevila možnost vyhovět požadavkům v méně využívaných částech spektra.

¹⁸ Doporučení CEPT ECC/REC/(01)04 – Doporučený postup pro zavádění multimediálních bezdrátových systémů (MWS) a pevných bezdrátových systémů typu bod-bod v kmitočtovém pásmu 40,5–43,5 GHz [Recommended guidelines for the accommodation and assignment of Multimedia Wireless Systems (MWS) and Point-to-Point (P-P) Fixed Wireless Systems in the frequency band 40.5–43.5 GHz].

¹⁹ Transmission and Multiplexing (TM); Multipoint equipment; Radio Equipment for use in Multimedia Wireless Systems (MWS) in the frequency band 40,5 GHz to 43,5 GHz; Part 1: General requirements

²⁰ Fixed Radio Systems; Multipoint Equipment and Antennas

Příkladem pionýrské technologie milimetrových pásem je pásmo 80 GHz (E-band), uvolněné v květnu 2008 na základě Všeobecného oprávnění VO-R-04.2008-4²¹ pro pevnou službu bod – bod. Uvolnění možností využívat neobsazené pásmo se základním kanálem se šíří pásma 250 MHz přineslo impuls pro výrobce telekomunikačních technologií natolik zásadní, že běžně dostupnou přenosovou rychlostí je u současných technologií 20 Gbps s frekvenčním duplexem²².

Na Mobile World Congress v Barceloně 2024 byla přestavena nová řada s přenosovou kapacitou 50 Gbps²³ nejméně u tří významných výrobců. Silný globální trh a poptávka uživatelů podnítily vývoj dalších perspektivních technologií s vysokou přenosovou kapacitou, kde díky využívání širokého komunikačního kanálu není nutné používat složité modulační techniky. Průmyslové zvládnutí mikrovlnných součástí a jejich masová výroba přispěla k masovému rozšíření systémů pevné služby také pro další milimetrová pásma, využívající moderní techniky směrování paprsku energetického pole směrem ke stanici uživatele, masově rozšíření technologií WiGig²⁴ pro pásmo 60 GHz.

Tato technologie, oznámená v roce 2009 v podobě IEEE 802.11ad původně určená pro připojování zařízení krátkého dosahu především ve vnitřních prostorách. Podle doporučení CEPT/ECC/REC (09)01²⁵ byl nejprve umožněný vývoj zařízení pro pevnou službu režimu bod – bod, založený na normě ETSI EN 302 217²⁶. V roce 2019 došlo k vydání ECC Report 288²⁷, který vedl v CEPT ke stanovení technických podmínke pro provoz zařízení MultiGigabit Wireless Systems (MGWS) také pro režimy bod – více bodů v pásmu 57–71 GHz. Prováděcí rozhodnutí Evropské komise 2019/1345 umožnilo národním regulátorům vydat příslušná oprávnění pro využívání pásma. Česká republika v lednu 2020 aktualizovala Všeobecné oprávnění VO-R/12/03-2021²⁸. Do 2. kvartálu 2024 je v pevné službě (Fixed Wireless Access) pro telekomunikační účely v České republice využíváno 128 698²⁹ zařízení s přenosovou kapacitou gigabitové sítě. Silný zájem průmyslu vedl WiFi Allianci, do které byla WiGig Alliance začleněna, k vývoji

²¹ Archiv Českého telekomunikačního úřadu, dostupné online na <https://ctu.gov.cz/vseobecna-opravneni-archiv>

²² CERAGON IP50E

²³ Například CERAGON IP100E

²⁴ Wireless Gigabit Alliance (WiGig) je obchodní sdružení, které vyvinulo a podporovalo přijetí multi-gigabitové bezdrátové komunikační technologie, operující nad nelicencovaným frekvenčním pásmem 60 GHz. Sdružení bylo začleňeno Wi-Fi aliancí v březnu 2013. Vznik WiGig aliance k podpoření normy IEEE 802.11ad, byl oznámen ke květnu 2009. Finální verze 1.0 specifikace WiGig byla vydána v prosinci 2009. V květnu 2010, WiGig oznámila vydání své specifikace, zahájení vlastního adoptivního programu a dohodu o styku s Wi-Fi aliancí o spolupráci na rozšíření Wi-Fi technologií. V červnu 2011, WiGig ohlásil vydání specifikace certifikace verze 1.1.

²⁵ CEPT/ECC/REC (09)01; use of the 57–64 GHz frequency band for point-to-point fixed wireless systems; dostupné online na: <https://docdb.cept.org/download/a5bcf903-bb19/REC0901.PDF>

²⁶ Fixed Radio Systems, characteristics and requirements for point-to point equipments and antennas, Digital systems operating in frequency bands from 1 GHz to 86 GHz.

²⁷ ECC Report 288 Conditions for the coexistence between ECC Fixed Service and other envisaged outdoor uses/applications in the 57-66 GHz range; dostupné online na <https://docdb.cept.org/download/1365>

²⁸ Archiv Českého telekomunikačního úřadu; dostupné online na: <https://ctu.gov.cz/vseobecna-opravneni-archiv>

²⁹ Portál RLAN Českého telekomunikačního úřadu; dostupné online na: <https://rlan.ctu.cz/cs/>

další generace technického standardu 802.11ay³⁰. Nevýhodou V-Band pásma je nižší povolený výkon, a tím i snížený dosah v režimu bod – více bodů. Pro poskytování služeb v pevném místě je nutným předpokladem použití vysoce ziskových anténních systémů.

Výše popsaný vývoj telekomunikačních technologií využívajících milimetrová pásma dostatečně ověřil životaschopnost technického řešení a stal se do velké míry východiskem pro požadavky poskytovatelů mobilních služeb na návrhy gigabitových systémů sítí 5. generace v systému 3GPP. I podle technické zprávy ETSI TR 103 230³¹ jsou přenosové systémy v milimetrových pásmech používány jako přípojné sítě pro malé buňky mobilní sítě.

3GPP (3rd Generation Partnership Project) je mezinárodní spolupráce mezi telekomunikačními standardizačními organizacemi, která se zaměřuje na vývoj globálních specifikací pro mobilní telekomunikační systémy. Bylo založeno v prosinci 1998 a jeho cílem je poskytnout jednotné a koherentní sady specifikací pro mobilní systémy, které podporují evoluci z 2G přes 3G až po 4G a nyní 5G sítě. 3GPP se zabývá specifikacemi pro rádiové rozhraní, síťové architektury a další související technologie.

Specifikace bezdrátových technologií nové generace se rozvíjí nejenom v generacích, ale i jednotlivých „releasech“, tedy sadách dokumentů, které postupně zavádějí nové funkce a vylepšení pro sítě 5G. První návrhy standardizace 5G se objevily během prací na Release 14, který byl finalizován v roce 2017. Základním znakem nové generace mobilních sítí bylo použití technologií Massive MIMO, využití pokročilých modulačních schémat a technologií pro snížení latence. Release 14 položil základy pro následnou práci na Release 15, což byla první fáze specifikací pro 5G sítě. Tento release byl oficiálně dokončen v prosinci 2017. Release 15 zahrnoval základní architekturu a definice pro Non-Standalone (NSA) operace 5G, což znamená, že 5G sítě využívaly existující infrastrukturu 4G LTE pro některé aspekty sítě, jako je připojení k základnovým stanicím. V Release 15 se také objevil termín 5G NR (New Radio), zahrnující také milimetrová pásma jako součást budoucího rozvoje.

³⁰ IEEE 802.11ay, Enhanced Throughput for Operation in License-exempt Bands above 45 GHz, byl jako následovník IEEE 802.11ad WiGig. Oproti starší generaci přidává režim MIMO s až osmi prostorovými streamy 8 streams. Finální verze technického standardu byla vydána v březnu 2021.

³¹ ETSI TR 103 230 Fixed Radio Systems; Small cells microwave backhauling; dostupné online na: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103200_103299/103230/01.01.01_60/tr_103230v010101p.pdf

Hlavní prvky standardu 5G NR v Release 15 zahrnují:

- **Flexibilní spektrum:** 5G NR podporuje široký rozsah frekvencí od pod 1 GHz po milimetrové vlny nad 24 GHz, což umožňuje různé typy použití od rozsáhlých IoT nasazení až po ultra-vysokorychlostní mobilní širokopásmové aplikace.
- **Pokročilé technologie modulace:** Využívá sofistikovanější formy modulace signálů, což zvyšuje množství dat, které může být přenášeno prostřednictvím rádiových vln.
- **Masivní MIMO a beamforming:** Tyto technologie umožňují více cílené a efektivní využití spektra tím, že se zaměřují na směřování vyzařované vysokofrekvenční energie, a tím i přenos signálu, přímo k uživatelům místo šíření energie ve všech směrech.
- **Network Slicing:** Umožňuje operátorům vytvářet více virtuálních sítí na stejné fyzické infrastruktuře, což zajišťuje optimalizované a efektivní využití zdrojů pro různé služby a aplikace.

V Release 16 přidává k funkcionalitám 5G NR další funkce:

- **Ultra-Reliable Low Latency Communications (URLLC):** Vylepšení pro aplikace vyžadující velmi nízkou latenci a vysokou spolehlivost, například v automobilovém průmyslu a průmyslových automatizacích.
- **Vylepšení pro Industrial IoT:** Zlepšení konektivity a funkcionality pro průmyslové aplikace, včetně lepší podpory pro masivní MIMO a síťové dělení.
- **Integrated Access and Backhaul (IAB):** Možnost využívat 5G technologii nejen pro přístupovou síť, ale i pro backhaul, což je důležité pro rozšíření pokrytí 5G do oblastí, kde není dostupná tradiční backhaul infrastruktura.
- **Non-Public Networks (NPNs) / Private 5G Networks:** Specifikace pro privátní sítě, které mohou být využívány podniky pro zajištění specifických potřeb, jako je zabezpečení a konfigurace na míru.
- **Enhancements to Vehicle-to-Everything (V2X) communications:** Rozšíření možností komunikace mezi vozidly a infrastrukturou, což je klíčové pro rozvoj autonomních vozidel.

Release 17

- **Pokročilé IoT možnosti:** Další vylepšení pro podporu IoT zařízení, včetně lepší energetické efektivity a schopnosti komunikace v extrémních podmínkách.
- **Podpora pro Non-Terrestrial Networks (NTN):** Zahrnuje možnosti pro komunikaci přes satelity a další nezemské platformy, což rozšiřuje dostupnost a dosah 5G sítí formou příjmu družicového signálu vhodným telefonem s podporou 5G NR.

- **Vylepšení pro RedCap (Reduced Capability) zařízení:** Specifikace pro zařízení s nižšími výpočetními a energetickými kapacitami, které však mohou využívat některé 5G funkce.
- **Vylepšení pro V2X a rozšířená realita:** Další rozvoj technologií a standardů pro podporu aplikací jako je rozšířená realita a vylepšená vozidlová komunikace.

S každým novým releasem pokračuje 3GPP v rozvoji a detailnějším popisu 5G technologie, přičemž se soustředí především na definice nových oblastí a aplikací.

Významným cílem vývoje 5G sítí je zajištění jejich vyšší bezpečnosti. Zásadním cílem je zlepšení integrace s různými typy zařízení a sítěmi pro různé typy užití. Jedná se o jakýsi technicky definovaný „Švédský stůl“ možností využívání rádiového spektra, který již dávno nemíří pouze na tradiční mobilní sítě, ale na rozšíření využívání 5G aplikací pro pevné připojení či družicovou službu. Cílem inovací rozhodně nejsou pouze mobilní operátoři, 3GPP míří na utilizaci produktů ve všech průmyslových odvětvích a telekomunikačních aplikacích.

Jednotlivým releasům technických specifikací odpovídá aktualizace technických informací 3GPP, které jsou přejímány ETSI jako TS (Technical Specification). Z našeho pohledu je nejdůležitější (ETSI) TS 138 104³², které definuje vhodné frekvenční kanály pro 5G. Pro aplikace MFCN v pásmu 42 GHz se v pozdních verzích Release 15 objevil kanál n259 TDD jako součást frekvenčního plánu FR2 v rozsahu frekvencí od 24.25 GHz do 52.6 GHz.

Kanál n259 FR2 5G-NE je určený pro komunikaci s časovým duplexem TDD³³, s celkovou šíří pásma 4 GHz v úseku 39,5 – 43,5 GHz. Používání jen jednoho nosného kmitočtu pro stahování i odesílání dat namísto frekvenčního duplexu, kde má každý směr přenosu vlastní frekvenci, je klíčovou vlastností pro efektivní využívání spektra, které umožňují moderní technologie v porovnání se staršími generacemi.

Využitelné šíře pásma v kanálovém uspořádání jsou násobky 50 MHz, tedy 50, 100, 200 a 400 MHz³⁴.

Kapacita přenosového kanálu závisí na mnoha faktorech, jako je typ modulace, kódovacího schématu a prostředí šíření, které podstatně omezuje kvalitu signálu. Rádiová zařízení při ne zcela ideálních podmínkách přepínají na méně složité modulační stavy (často nižší modulační stavy v rámci jedné modulační metody – typicky modulace amplitudy a fáze v případě spojů bod-bod), které je již možné u

³² 3GPP (ETSI) TS 138 104, Base Station (BS) radio transmission and reception; dostupné online na: <https://www.etsi.org/standards> nebo <https://portal.3gpp.org/>.

³³ Time division duplex, je metoda dvousměrné komunikace s využitím jednoho frekvenčního pásma. Pro komunikaci oběma směry je využívána metoda časových úseků, takže pro vysílání a příjem signálu v každém směru v různých časových intervalech.

³⁴ Kanál 400 MHz lze využít pouze při SCS 120 kHz. SCS je zkratka pro subcarrier spacing, rozteč subnosných. Release 17 v 17.8.0

zhoršeného signálu demodulovat přijímačem účastnického zařízení. Zejména u pásem v rozsahu FR2 5G-NR s milimetrovou vlnovou délkou je prostředí šíření rádiového signálu rozhodujícím faktorem pro smysluplné využívání, nižší kmitočtová pásma ve zhoršených podmínkách pro šíření poskytují přenosovou funkci podstatně stabilněji.

Pro představu o kapacitních možnostech pásma postačí vypočítat přenosovou rychlost základního kanálu se šíří pásma 50 MHz. Pro širší kanály postačí dovodit násobky základního kanálu. Pro jednoduchý odhad kapacity kanálu s šířkou pásma 50 MHz v sítích 5G můžeme použít základní vzorec Shannonova-Hartleyova teorému, který udává maximální teoretickou rychlost přenosu dat C přes komunikační kanál:

$$C=B \log_2(1+SNR)$$

kde:

- C je kapacita kanálu v bitech za sekundu (bps),
- B je šířka pásma kanálu v Hertzech (Hz),
- SNR je poměr signál-šum (signal-to-noise ratio), vyjádřený jako bezrozměrné číslo.

Pro konkrétní příklad, pokud předpokládáme, že SNR je relativně vysoké, například 30 dB (což je běžné pro dobré podmínky ve FR2 pásmech), můžeme tento poměr převést na lineární škálu:

- $SNR = 10^{(30/10)} = 1000$

Vložíme hodnotu do vzorce:

$$C=50 \times 10^6 \times \log_2(1+1000) \approx 50 \times 10^6 \times 9.97$$

$$C \approx 498.5 \times 10^6 \text{ bps neboli přibližně } 500 \text{ Mbps.}$$

Celková přenosová kapacita kanálu se šíří pásma 100 MHz bude odpovídat *přibližně* 1 Gbps, pro 200 MHz kanál *přibližně* 2 Gbps a pro 400 MHz kanál *přibližně* 4 Gbps. Uvedené přibližné kapacity odpovídají celkové kapacitě pásma, pro výpočet přenosové kapacity na uživatele je třeba definovat konkrétní aplikaci, stupeň ochrany přenosu v kanále kódováním včetně počtu uživatelů a jejich polohy v prostředí.

3.3 Interoperabilita mezi systémy využívající pásmo 42 GHz

Interoperabilita, tedy schopnost systémů vzájemně spolupracovat, je pro rádiové systémy buďto schopnost vzájemné komunikace, anebo schopnost pokročilé mitigace vzájemných škodlivých interferencí, například v podobě metody zmírnění následků rušení mezi operátory využívajícími stejný typ služby.

Pro zajištění interoperability mezi systémy různých výrobců a typů zařízení je nezbytné, aby všechny systémy dodržovaly stejné technické standardy. Standardizace je úkolem 3GPP, jejichž technickým specifikacím se výrobci dobrovolně podřizují. Vzájemná kompatibilita mezi systémy vyvíjenými na základě ne-3GPP (FSS, FS, RAS) protokolů proto není možná.

Prevence vzájemného rušení mezi operátory lze pro některé kanály 5G NR dosáhnout vzájemnou synchronizací sítí po předchozí dohodě mezi operátory. Metodiku vzájemné synchronizace popisuje kapitola 9 3GPP TS 38.401 (ETSI 138 401). Popsané aplikace se však týkají především tradičních pásem 5G.

Závěr ke kapitole 3:

Pásmo 42 GHz v České republice (40,5–43,5 GHz) má potenciál pro využití v 5G sítích, jeho rozvoj závisí na dostupné standardizaci a technických specifikacích. ETSI a 3GPP se zaměřují na vytváření těchto standardů, které jsou klíčové pro technologický rozvoj také v tomto pásmu.

Frekvenční pásmo je historicky určené zejména pro pevné radiokomunikační služby, ale také FSS a RAS, nicméně nové standardy umožňují jeho využití pro účely MFCN. Dokumenty jako ETSI TS 138 104 a specifikace 3GPP zajišťují technické podmínky pro efektivní využití pásma 42 GHz pro 5G NR (New Radio), včetně kanálu n259, který je navržen pro širokopásmové přenosy v časovém duplexu (TDD). Tento kanál umožňuje flexibilní využití šířky pásma od 50 MHz do 400 MHz, což zajišťuje vysoké přenosové kapacity.

Klíčovými prvky standardizace 5G NR v tomto pásmu jsou flexibilní spektrum, pokročilé technologie modulace, masivní MIMO a beamforming. Tyto technologie umožňují efektivní využití spektra a vyšší přenosové rychlosti v porovnání se současným užitím s maximální šíří pásma 112 MHz FDD. Současné specifikace 3GPP zajišťují interoperabilitu mezi různými systémy a zařízeními MFCN, což je zásadní pro rozvoj a nasazení 5G sítí. Vývoj a implementace 5G technologií v pásmu 42 GHz jsou podporovány také průmyslovými trendy (Průmysl 4.0) a globální poptávkou po vyšších přenosových kapacitách. Technologie milimetrových vlnových délek, jako je 80 GHz pásmo (E-band) či 60 GHz (V-band), již prokázaly životaschopnost vysokorychlostních přenosů a jsou inspirací pro využití podobných pásem v 5G sítích.

Souhrnně lze říci, že pro pásmo 42 GHz zatím neexistují v evropských podmínkách proveditelné a reálné regulatorní a uživatelské modely. Existují však dostatečné podklady a pre-specifikace ETSI a 3GPP, které zajišťují stanovení vhodného regulatorního rámce a dostatečně definují možné benefity pásma, jehož využití je na globální úrovni předpokládáno a studováno. Příprava tohoto pásma na komerční využití však stále probíhá a dá se očekávat jeho další rozvoj.

4 Inovativní potenciál pásma 42 GHz

4.1 Využití v telekomunikacích

Obecné dělení telekomunikačních systémů na pevné a mobilní služby má velmi nejasné hranice (i z tohoto důvodu byl zaveden termín MFCN). Některé kmitočtové přidělení původně zamýšlené pro mobilní službu jsou běžně využívány pro účely pevných bezdrátových sítí (FWA)³⁵. Příkladem jsou 5G TDD přiděly v rozsahu C-band pásem, které operátoři využívají také jako FWA pro připojování uživatelů v pevném místě³⁶, nejčastěji v rezidenčním segmentu³⁷. Budoucí kombinované využití pásma 39,5 – 43,5 GHz přímo vychází z dokumentu Rozhodnutí Electronic Communications Committee ECC (22)06³⁸ Harmonizované technické podmínky pro mobilní/pevné bezdrátové sítě. Využívání vysokých přenosových kapacit kanálů 50, 100, 200 a 400 MHz u pásma 42 GHz umožní budoucí aplikace od připojování uživatelů pevné sítě v dosahu hotspotu (přístupového bodu) po budování přípojných sítí (backhauling) malých buněk základnových stanic pracujícími s nižšími frekvencemi používaných mobilními sítěmi.

Teoreticky je možné využívání přímého připojení koncových uživatelských terminálů v tomto pásmu, nicméně proti takové úvaze hovoří dostupnost jiných, vhodnějších pásem pro tyto účely, a to i milimetrových. Nevhodnost pásma 42 GHz pro mobilní datové služby vyplývá z malého dosahu kapesních zařízení při komunikaci se základnovou stanicí, která by jej předurčila především pro místa s pravidelným výskytem velkého množství osob na malé ploše. V prostředí České republiky jsou pouze jednotky takto velkých shromaždišť, u kterých by v teoretické rovině mohlo docházet k vyčerpání potenciálu 5G kanálů s lepšími vlastnostmi šíření. Minimum příležitostí k využití nevyvolá poptávku koncových uživatelů po zařízeních schopných pásmo 42 GHz využívat.

³⁵ Fixed Wireless Access (FWA):

FWA je alternativa k tradičním drátovým připojením, což umožňuje poskytování širokopásmového internetu v oblastech, kde není dostupná kabelová nebo optická infrastruktura. Toto řešení je zvláště užitečné v rurálních a odlehlých oblastech.

³⁶ Článek na serveru Lupa.cz; „Operátor O2 začal nabízet fixní 5G připojení na doma, rychlost je ale omezená“; dostupný online na: <https://www.lupa.cz/aktuality/operator-o2-zacal-nabizet-fixni-5g-pripojeni-na-doma-rychlost-je-ale-omezena/>

³⁷ Popis instalace pevného internetu v mobilní síti společnosti Vodafone; dostupný online na: <https://www.vodafone.cz/pece/internet-data/internet-v-pocitaci/technologie-pevny-internet-prehled/>

³⁸ ECC/DEC/(22)06 of 18 November 2022 on harmonised technical conditions for Mobile/Fixed Communications Networks (MFCN) in the band 40.5-43.5 GHz; dostupné online na: <https://docdb.cept.org/document/28571>

Potenciál tradičních frekvenčních pásem pod 6 GHz zdaleka není vyčerpán, což dokazuje článek na serveru Lupa.cz³⁹ „Gigabit na hokeji. Podívejte se, jak byla před mistrovstvím světa modernizována mobilní síť v O2 areně“. Při modernizování sítě v hale s kapacitou 17,5 tisíce návštěvníků použila společnost CETIN systém čtrnácti anténních hnízd s frekvencemi LTE 2,6 GHz TDD, LTE 2,6 GHz FDD a LTE 3,7 GHz TDD. K tomu je v nich dalších 42 antén pro frekvence 800, 900, 1800 a 2100 MHz. Celkem tedy jde o 70 antén. Každé anténní hnízdo při sečtení bloků využívá pásmo 175 MHz. Dalších šest sektorů pro low-band (pod 1 GHz) a mid-band (1–6 GHz) má k dispozici bloky o velikosti 16 a 20 MHz. Naměřená testovací rychlost oscilovala kolem 900 Mb/s u downloadu a 190 Mb/s u uploadu. Je třeba zdůraznit, že při plném zavedení technologie 5G pro nižší kmitočtová pásma pod 6 GHz budou teoretické přenosové rychlosti na uživatele ještě výrazně narůstat.

Potenciál u milimetrových pásem je pro velká shromaždiště uživatelů mobilních služeb vyšší u kanálů 5G NR n257 a n258 (26/28GHz)⁴⁰, ve kterých je obdobně s pásmem 42 GHz možné kombinované využívání jak pro mobilní účely, tak pro FWA. Budoucí požadavky pro rozvoj pásma 42 GHz k telekomunikačním 42 GHz až daleko za horizontem roku 2030 především v zemích s místy s vysokou hustotou obyvatel. Benefitem je dostupnost více kanálových bloků v celkovém rozsahu využitelných kmitočtů až 4 GHz.

Proti všeobecnému využití pásma 42 GHz pro telekomunikační účely hovoří i zvažovaná omezení, týkající se nebezpečí vzájemného rušení se sdílenými službami FS, FSS a RAS. Výbor pro elektronické komunikace v Rozhodnutí ECC 22(06) popisuje tyto omezující podmínky:

- studie sdílení ukázaly, že kosmické stanice FSS v kmitočtovém pásmu 42,5-43,5 GHz by byly na základě dohodnutých předpokladů chráněny s rezervou více než 16 dB pro GSO a 24,3 dB pro NGSO, a že bude nutné zajistit, aby tyto služby zůstaly chráněny;
- u venkovních základnových stanic pracujících v pásmu 42,5-43,5 GHz by měla být výška nasměrování hlavního svazku obvykle pod horizontem a mechanické nasměrování musí být na horizontu nebo pod ním;
- jen velmi omezený počet základnových stanic MFCN bude komunikovat s kladným elevačním úhlem vůči vnitřním mobilním stanicím MFCN;

³⁹ Server Lupa.cz, článek Gigabit na hokeji. Podívejte se, jak byla před mistrovstvím světa modernizována mobilní síť v O2 areně; dostupné online na: <https://www.lupa.cz/clanky/gigabit-na-hokeji-podivejte-se-jak-byla-pred-mistrovstvim-sveta-modernizovana-mobilni-sit-v-o2-arene/galerie-24440-11/>

⁴⁰ Dostupný seznam států s využívajících milimetrová pásma 26/28 GHz na serveru Wikipedia.org; dostupné online na: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_5G_NR_networks#cite_note-Singtel_SA_SG_1-480

- venkovní základnové stanice mají být obvykle instalovány pod střechami v městských/příměstských oblastech, což výrazně zvyšuje ztráty rušícího signálu, a tím snižuje potřebné separační vzdálenosti vzhledem ke stanicím na zemi RAS nebo FSS (pozemní stanice);
- otázky koexistence mezi pevnými spoji a MFCN ve frekvenčním pásmu 40,5-43,5 GHz budou řešeny na vnitrostátní úrovni nebo prostřednictvím dvoustranných dohod o přeshraniční koordinaci;
- ochrana současných a budoucích stanic RAS bude vyžadovat zavedení vhodných ochranných pásem kolem stanic RAS případ od případu⁴¹;
- pokrytí venkovního hotspotu bylo ve studiích sdílení předpokládáno s nasazením základnových stanic komunikujících s terminály na zemi a velmi omezeným počtem vnitřních terminálů s pozitivní elevací, což vede k elevaci hlavního svazku venkovních základnových stanic obvykle pod horizont, tedy s vysokou diskriminací vůči satelitům;
- zpráva ECC 309 analyzuje využití leteckých UE pro komunikaci v současných harmonizovaných kmitočtových pásmech MFCN, ale nezkoumala kmitočtové pásmo 40,5-43,5 GHz.

Tyto omezující požadavky se aplikují také u využití v průmyslových aplikacích.

4.2 Využití v průmyslových aplikacích

Pásmo 42 GHz v režimu MFCN, jako součást milimetrového vlnového spektra (mmWave), může v průmyslových aplikacích poskytovat nejenom velmi vysoké přenosové rychlosti s krátkým dosahem. Cílové jsou specifické průmyslové aplikace, které vyžadují rychlou a spolehlivou komunikaci. Níže jsou uvedeny některé klíčové oblasti, kde pásmo 42 GHz může přinést průlomové inovace.

4.2.1 Zlepšení služeb Machine-to-Machine (M2M)

Pro aplikace jako jsou inteligentní města, autonomní vozidla a průmyslový IoT, pro jejichž plnohodnotné fungování je potřeba rychlá a spolehlivá komunikace mezi zařízeními, může být pásmo 42 GHz výhodné díky své schopnosti rychle přenášet velké objemy dat, extrémně nízkému dopravnímu zpoždění paketů (latence) a stabilitě komunikace.

⁴¹ Dle craf.eu je v ČR stanice RAS provozována pouze v Ondřejově a využívá nižších frekvencí. Viz také: <https://www.craf.eu/radio-observatories-in-europe/ondrejov/>

Možné je využití pro:

Průmyslový Internet věcí (IIoT):

Pásmo 42 GHz může umožnit rychlejší a bezpečnější přenos dat mezi průmyslovými IoT zařízeními. To je kritické pro aplikace, kde je potřeba rychlá odezva a vysoká kapacita dat, jako jsou automatizované výrobní linky, robotické systémy a real-time monitoring a kontrola zařízení.

Virtuální a rozšířená realita (VR/AR):

Pro průmyslové aplikace VR a AR, jako je trénink zaměstnanců, údržba a opravy nebo pokročilé inženýrské designové práce, poskytuje pásmo 42 GHz vysoce kvalitní a bezproblémové přenosy obrazu a dat potřebných pro tuto technologii.

Bezpečnost a dohled:

Přenosy obrazu a videa v reálném čase s vysokým rozlišením pro dohled a bezpečnostní systémy mohou být značně vylepšeny díky vysokým rychlostem a nízké latenci, které pásmo 42 GHz nabízí.

Smart factories a automatizace:

V inteligentních továrnách, kde komunikace a koordinace mezi stroji a systémy v reálném čase jsou zásadní, může pásmo 42 GHz podpořit těsnější integraci a automatizaci procesů.

Pro realizaci těchto možností je však nezbytné, aby technologické řešení a infrastruktura byly přizpůsobeny specifickým požadavkům a výzvám, které milimetrové vlny přinášejí, včetně jejich omezeného dosahu a citlivosti na fyzické překážky. Řešení může zahrnovat pokročilé plánování sítí, využití přenosových technik, jako je beamforming, a rozvoj husté sítě přístupových bodů a reléových stanic pro udržení kvality a spolehlivosti signálu.

Možné aplikace jsou abstraktem různých vizí, které poskytují velcí výrobci⁴² a oborové servery (RFPPage.com) ve svých příkladech využití. Zajímavá je i diskuze zveřejněná na stránkách francouzského regulátora ARCEP⁴³, „*Případy průmyslového využití 5G: Arcep prodlužuje dostupnost své zkušební platformy v pásmu 3,8 - 4,0 GHz o rok a připomíná možnosti zkoušek v pásmu 26 GHz*“.

⁴² Leveraging the potential of 5G millimeter wave; dostupné online na: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/further-insights/leveraging-the-potential-of-5g-millimeter-wave>

⁴³ Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse (ARCEP); „5G industrial use cases: Arcep extends the availability of its trial platform in the 3.8 – 4.0 GHz band by a year, and delivers a reminder of 26 GHz-band trial opportunities“; dostupné online na: <https://en.arcep.fr/news/press-releases/view/n/5g-191222.html>

4.3 Inovativní potenciál pro pásmo 42 GHz

Pásmo 42 GHz a jeho inovativní schopnosti musíme posuzovat pohledem dostupnějších alternativ a jeho technických a regulatorních omezení. Ačkoliv má schopnost připojovat (při dostupných širších pásma pro jednotlivé kanály a celkové dostupné šíří pásma 4 GHz) až extrémně vysoký počet zařízení s kapacitami překračujícími násobky gigabitových spojení, fyzikální vlastnosti pásma mohou působit proti potřebné poptávce telekomunikačního a ne-telekomunikačních sektorů o široké masové využití.

Nedostatek poptávky působí proti ochotě výrobců investovat do výzkumu a vývoje součástkové základny pro pásmo 42 GHz. Chybějící nabídka zařízení naopak potlačí poptávku průmyslu a odkloní jeho zájem k dostupným řešením. Klíčem k využívání nových pásem je masová výroba zařízení, plnící požadavky 3GPP a budoucího regulačního rámce. Díváme-li se za horizont roku 2030, nelze však poptávku po dodávkách zařízení MFCN vyloučit. Zejména v hustě zalidněných megapolích ve Východní Asii předpokládáme poptávku po dalším vysokorychlostním 5G pásmu, vedle pásma 26 GHz je zřejmým kandidátským pásmem právě 42 GHz.

Závěr ke kapitole 4:

Pásmo 42GHz je jedním z kandidátských pásem, které má možný budoucí potenciál pro pokrytí potřeb Průmyslu 4.0. Současné nastavení regulačního rámce a poptávka se však podstatně více soustředí na ostatní pásma, využívající milimetrové vlny. Konkurencí pásma 42 GHz jsou nejen ostatní pásma 3GPP 5G NR FR2, ale i bezlicenční pásma standardizovaná WiFi Alliance. Vzhledem ke strategii Evropské komise⁴⁴ „*Connectivity for a European Gigabit Society*“, která definuje ambiciózní cíle vybudování gigabitové společnosti v horizontu roku 2030, nelze vyloučit poptávku telekomunikačního sektoru po vysoce kapacitních technologiích poskytující přípojnou kapacitu síťových buněk 5G sítí, a poptávku po FWA řešeních založených na 5G NR.

⁴⁴ Evropská komise; Connectivity for a European Gigabit Society; dostupné online na: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/connectivity-european-gigabit-society-brochure>



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.