

Základy správy rádiového spektra

Petr Ondráček



Anotace

Výukový materiál vypracovaný v rámci projektu MŠMT (VOV-T-A3-D1-503 000) se věnuje problematice spojené se správou rádiového spektra.

Rádiové spektrum jako vzácný, omezený a obnovitelný přírodní zdroj a způsoby jeho využívání jsou zcela zásadní pro rozvoj všech bezdrátových komunikačních technologií na Zemi i v kosmu.

Rádiové spektrum má svoji ekonomickou hodnotu a je komoditou obchodovatelnou na telekomunikačním trhu. Proto má jeho úroveň vliv i na konkurenceschopnost a výkonnost hospodářství každého státu.

Díky uvedeným aspektům mají způsoby regulace a využívání rádiového spektra také výrazný podíl na ekonomické, sociální a kulturní úrovni společnosti. Tím je tedy správa a regulace rádiového spektra synergicky svázána i s politikou a strategií budování a rozvoje informační společnosti každého státu.

Díky fyzikálním vlastnostem šíření elektromagnetických vln nelze striktně respektovat hranice jednotlivých států a správa a regulace rádiového spektra vyžaduje globální případně regionální přístup.

Význam moderní správy rádiového spektra směrem k efektivnímu využívání roste zejména se současnými i budoucími potřebami infrastruktury a služeb založených na vysokorychlostních bezdrátových technologiích. Příkladem jsou mobilní sítě 5G, zavádění robotizace obsažené v konceptu Průmysl 4.0, podpora rozvoje internetu věcí a různých smart aplikací ve spojení s využíváním umělé inteligence na Zemi i v kosmu.

Správa rádiového spektra se neobejde bez příslušně a komplexně vzdělaných odborníků dotýkajících se technických a humanitních oborů, kteří najdou uplatnění v aplikacích komunikačních a informačních technologií jak v různých mezinárodních organizacích, státní správě, tak i na různých pozicích ve výzkumu, výrobním průmyslu a u poskytovatelů radiokomunikačních služeb.

Předkládaný materiál je zaměřen na poskytnutí základní orientace a získání potřebných znalostí pro orientaci ve značně širokém komplexu témat spojených se správou a využíváním rádiového spektra.

Výklad a jeho metody jsou voleny s ohledem na to, že učitel nebo student se s touto problematikou setkává poprvé, stojí na začátku studia nebo se v ní potřebuje pro svoje úkoly rychle v ní zorientovat. To vše bez hlubšího odborného elektrotechnického vzdělání.

Proto by měl tento materiál najít uplatnění ve výuce nejen na středních elektrotechnických odborných školách. Měl by sloužit i jako motivace středoškolských studentů k dalšímu univerzitnímu studiu technických, ekonomických a právních oborů spojených se správou rádiového spektra a pro využití v praxi.

Cíle

Získání základního přehledu a porozumění současnému stavu, potřebám a trendům ve správě rádiového spektra potřebným pro další univerzitní studium a pro využití v praxi.

Klíčová slova

Elektromagnetická vlna, kmitočet, rádiové spektrum, regulace rádiového spektra, radiokomunikační služba, radiokomunikační stanice, anténa, SDR rádio, anténa, monitorování rádiového spektra, radiokomunikační řád, kmitočtové přidělení, přednostní a podružná radiokomunikační služba, kmitočtová tabulka, harmonizace rádiového spektra, tržní metody, nežádoucí rušení, rádiová interference, licence, bezlicenční pásmo.

Datum vytvoření

29.10.2019, revidováno 2023

Zdroje

- [1] Mazar (Majdar) Haim: Radio Spectrum Management. Wiley, 2016, 398. ISBN 9781118511794.
- [2] Radio Regulation ITU, Edition 2016, <https://www.itu.int/pub/R-REG-RR>
- [3] Spectrum Management Training Programme (SMTP), ITU Academy, <https://academy.itu.int/main-activities/curriculum-development/smtpt>
- [4] Handbook of Spectrum monitoring. ITU-R, <https://www.itu.int/pub/R-HDB-23-2011>
- [5] Computer-Aided Techniques for Spectrum Management (CAT). Handbook, ITU.
- [6] 4th Generation Regulation – a new model of regulation for the digital ekosystem. GSR 2013 Discussion Paper. ITU.
- [7] Mohamed Ali Elmoghazi Ali, M and Whalley, Jason, Irvine, James: International spectrum management regime : is gridlock blocking flexible spectrum property rights? Digital Policy, Regulation and Governance, 19 (2). pp. 1-13. ISSN 2398-5038. <http://dx.doi.org/10.1108/DPRG-08-2016-0039>
- [8] Refarming and secondary trading in a changing radiocommunication world. Report, Electronic Communications Committee (ECC/CEPT), Messolonghi, September 2002.
- [9] Mobile Policy Handbook - An insider's guide to the issues. GSMA, 2018.
- [10] An Introduction to National Aeronautics and Space Administration Spectrum Management. NASA Spectrum 101, 2016, https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/spectrum_101.pdf.

- [11] Handbook on National Spectrum Management. ITU, 2015, https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-21-2015-PDF-E.pdf
- [12] Massaro Maria: Radio Spectrum Regulation in the European Union - A three-level context. Thesis for the degree of licentiate of Ph.D. Department of Technology Management and Economics, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Gothenburg, Sweden. February 2017.
- [13] Kamali Reza: Importance of Radio Regulation Policies in Wireless Communications Study. 121st ASEE Annual Conference & Exposition, Paper ID #9769. Indianapolis (USA), June 2014.
- [14] Stine, A. John, Portigal L. David: An Introduction to Spectrum Management. MITRE Technical Report of project 0704C550-CA-MTR 04W0000048. The MITRE Corporation, Washington C3 Center McLean, Virginia, March 2004.
- [15] Zákon č.127/2005 Sb., o elektronických komunikacích. Sbírka zákonů ČR, částka 252/2017.
- [16] Vyhláška č. 105/2010 Sb., o plánu přidělení kmitočtových pásem (národní kmitočtová tabulka). Sbírka zákonů, částka 150/2017.
- [17] Plán využití rádiového spektra. Český telekomunikační úřad, <https://www.ctu.cz/plan-vyuziti-radioveho-spektra>.
- [18] Radio Regulations ITU, edition 2020

OBSAH

1. Úvod	7
2. Elektromagnetické vlnění a rádiové spektrum	11
2.1.1 Základní vlastnosti a parametry	11
2.1.2 Zemská atmosféra a její vlastnosti	12
2.1.3 Šíření rádiových vln	14
2.1.4 Rozdělení rádiového spektra a jeho využití	16
2.1.5 Antény a jejich základní vlastnosti	22
3. Přenosový řetězec a jeho prvky	26
4. Pozemské a družicové radiokomunikační služby	31
4.1.1 Pozemská pohyblivá (mobilní) služba	33
4.1.2 Pevné pozemské služby	36
4.1.3 Pozemská rozhlasová služba	37
4.1.4 Družicové služby	40
4.1.5 Radiokomunikační služby pro průmyslové účely, vědu a zdravotnictví a rádiová komunikace prostřednictvím zařízení s krátkým dosahem	44
5 Správa rádiového spektra	47
5.1 Rádiové spektrum	49
5.2 Důvody a aspekty pro správu rádiového spektra	51
5.3 Struktura správy rádiového spektra	55
5.4 Mezinárodní telekomunikační unie (ITU)	59
5.5 Radiokomunikační řád ITU	64
5.6 Úloha a činnosti radiokomunikačního sektoru ITU-R	69
5.6.1 Světová radiokomunikační konference a Radiokomunikační shromáždění	70
5.6.2 Radiokomunikační úřad BR/ITU-R	72
5.6.3 Studijní skupiny ITU-R	74
5.7 Regionální a národní úroveň správy rádiového spektra	76
5.8 Regulace a legislativa pro správu rádiového spektra v EU a ČR	80
5.8.1 Evropská unie	80
5.8.2 Česká republika	81
5.9 Plán využití rádiového spektra a národní kmitočtová tabulka ČR	84
5.10 Monitorování rádiového spektra	87

5.11 Automatizace správy rádiového spektra	92
6. Ekonomika a regulace využívání rádiového spektra	96
6.1 Rádiové spektrum a jeho ekonomická hodnota	97
6.2 Přístup k rádiovému spektru	99
6.3 Obchodování s rádiovým spektrem	102
6.4 Bezlicenční pásma rádiového spektra	105
7. Trendy ve správě a využívání rádiového spektra	107
8. Příprava odborníků pro správu rádiového spektra	111
9. Závěr	115
10 Zkratky a akronymy	118

1 Úvod

Rádiová komunikace je v celé své historii těsně a neoddělitelně spjata s metodami a způsoby správy rádiového spektra. Správa rádiového spektra (anglicky „spectrum management“) pokrývá řadu oblastí, jako jsou politika a regulace jeho využívání, uplatňování standardizace radiokomunikačních technologií a techniky a metody přidělování rádiových kmitočtů. Bez ní by nebylo možné zabezpečit poskytování všech druhů radiokomunikačních služeb, jejich ochrany například před nežádoucími rušivými interferencemi, zneužíváním přidělených práv na jejich využívání nebo omezování konkurenceschopnosti na radiokomunikačním trhu. Dále se jedná i o zaručení práv a jejich ochrany pro všechny zájemce o jeho využívání k privátním, komerčním nebo neveřejným účelům (státní orgány, výrobci, operátoři, poskytovatelé a uživatelé radiokomunikačních služeb).

Rádiové spektrum je vzácný, omezený a obnovitelný přírodní zdroj. Má svoji ekonomickou hodnotu a je tedy komoditou na informačním a komunikačním (telekomunikačním) trhu. Díky těmto vlastnostem představuje důležitý prvek v oblasti infrastruktury a služeb jak v ekonomice, tak pro zajišťování sociálních a kulturních potřeb společnosti každého státu.

Rozvoj radiokomunikací a nových radiokomunikačních technologií na Zemi i v kosmu směřuje k poskytování široké palety moderních bezpečných radiokomunikačních služeb. To si vyžaduje odpovídající úroveň správy rádiového spektra na všech jeho úrovních od státní správy až po jednotlivé poskytovatele radiokomunikačních služeb a radiokomunikačních technologií.

Předmětem správy rádiového spektra na globální, regionální a národní úrovni je kmitočtové pásmo od 9 kHz do 3000 GHz, což odpovídá vlnovým délkám od 33,311 km do 0,1 mm.

Správa rádiového spektra se neobejde bez odpovídajícím způsobem připravených a vzdělaných odborníků na středoškolské i univerzitní úrovni. To jak z technických, tak ekonomických a právních oborů spojených s dostatečným základním přehledem (takzvaným „backgroundem“) o všech aspektech a vzájemných souvislostech spojených s tímto tématem.

Správa rádiového spektra není díky své podstatě jediným samostatným oborem. Obsahuje řadu oborů spojených s elektrotechnikou, informatikou, ekonomikou a mnoha právními obory.

Hlavním cílem tohoto materiálu pro kurs (předmět) nazvaný „Základy správy rádiového spektra“ je dát základní přehled a nebytné znalosti pro porozumění danému tématu jak učitelům, tak středoškolským studentům technických a humanitních oborů. Hlavní cíle a témata jsou přehledně shrnuty na obr. 1.



Obr. 1: Hlavní cíle a obsah kursu

Získané znalosti by měly sloužit učitelům pro přípravu výkladu v daném kursu a studentům jako základ (nezbytný „background“) pro další univerzitní studium, vlastní vzdělávání nebo přímé využití v praxi.

Pro dosažení deklarovaných cílů, bez nutnosti hlubší znalosti jednotlivých oblastí dotýkajících se dané problematiky, je materiál rozdělen do čtyř hlavních kapitol:

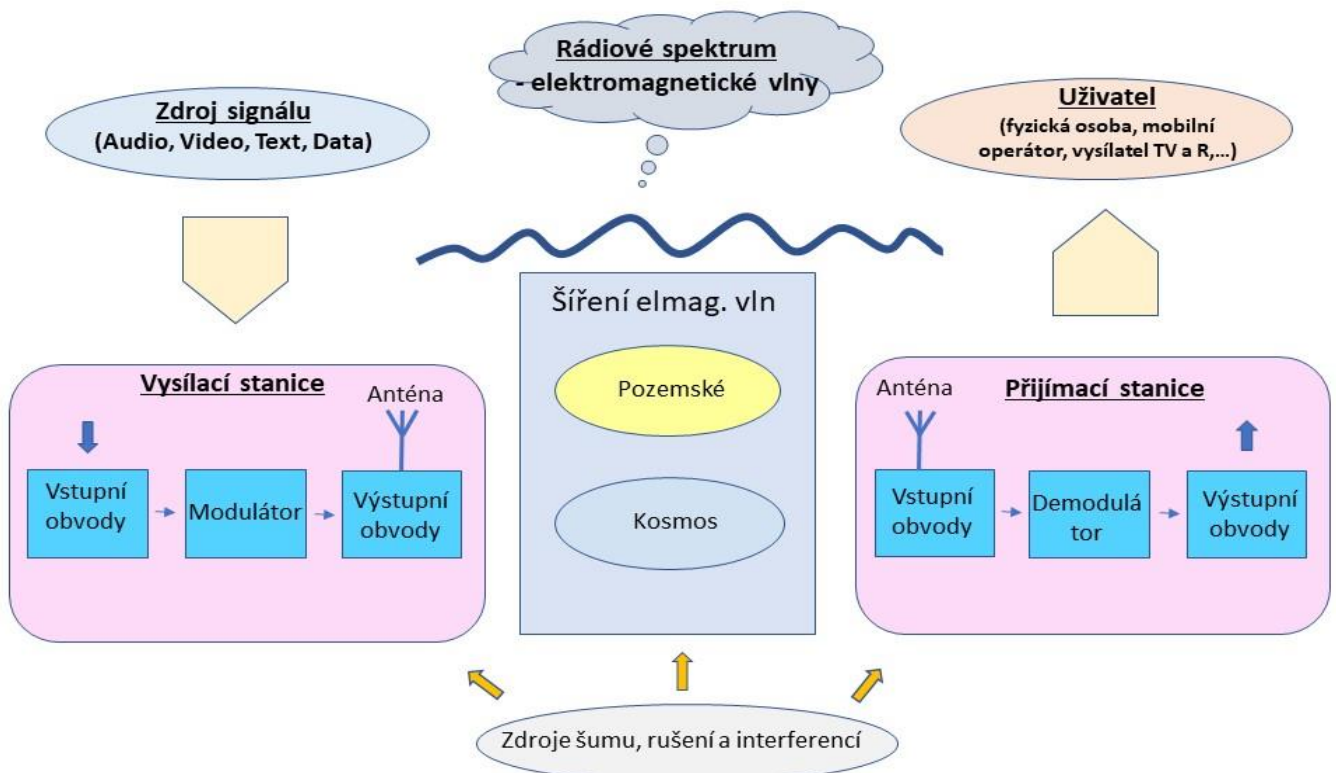
- **Základy radiokomunikací** – zde jsou probrány nebytné základní pojmy charakterizující radiokomunikační přenosový řetězec, vlastnosti jeho prvků, šíření rádiových vln, druhy radiokomunikačních služeb a principy nutné pro porozumění účelu a technických prostředků a metod správy rádiového spektra, tj. ke kmitočtovému inženýrství.
- **Správa rádiového spektra** – postupně jsou probrány jednotlivé komponenty správy rádiového spektra, úloha a poslání Mezinárodní telekomunikační unie (ITU – International Telecommunication Union) a jejího Radiokomunikačního řádu (RR – Radio Regulations), technické prostředky a metody spojené s prováděním správy na mezinárodní a národní úrovni.
- **Ekonomika a regulace využívání rádiového spektra** – věnuje se ekonomickým tématům a regulaci využívání rádiového spektra, principům a podmínkám pro uplatnění právní ochrany k

přístupu a využívání rádiového spektra pro vytváření konkurenčního radiokomunikačního trhu s ohledem na legislativní rámec regulace elektronických komunikací.

- **Trendy ve správě rádiového spektra** – tato kapitola se zabývá očekávaným vývojem v oblasti správy rádiového spektra. To ve vztahu k rozvoji pevných a mobilních radiokomunikačních technologií a služeb umožňujících vysokorychlostní přístup k různým službám (internet, komunikace „stroj – stroj“, atd.) a k novému modelu 4. generace správy rádiového spektra.
- **Příprava odborníků pro správu rádiového spektra** – představuje výukový program SMTP vypracovaný v ITU a možnosti jeho využití. Dále se zabývá strategií přípravy odborníků v systému našeho středoškolského vzdělávání a návazného univerzitního technického, ekonomického a právního vzdělávání.

Seznam zkratk a akronymů poslouží pro rychlejší orientaci v textu, který se nevyhne používání řady zkratk. Jak už je obvyklé v technických oborech, je i v tomto tématu ve velké míře využíván anglický jazyk. Protože správa rádiového spektra je těsně svázána s Radiokomunikačním řádem, užívá se jeho anglické terminologie. To by nemělo být nějakým zásadním omezením pro porozumění probíraných témat, protože to nevyžaduje hluboké znalosti anglického jazyka.

Pro úvodní představu je to, čeho se vlastně správa rádiového spektra týká a s čím primárně pracuje, ve zjednodušené formě v podobě obecného radiokomunikačního řetězce uvedeno na obr. 2.



Obr. 2: Obecný radiokomunikační řetězec – základní prvky

Volba výkladu se zaměřuje zejména na srozumitelnost dané problematiky, což vede často k nutnosti jistých zjednodušení. Hlubší znalosti může zájemce získat studiem pramenů uvedených ve zdrojových odkazech.

Text tohoto kursu, obrázky a kontrolní otázky by měly sloužit přednášejícím při vytváření vlastních prezentací a studentům k snadnějšímu pochopení daného tématu, souvislostí a zároveň i jako motivace k vlastnímu hlubšímu studiu.

Jistým terminologickým problémem nejen v české literatuře je používání a porozumění termínu obsahu „telekomunikace“ a „informační a komunikační technologie“. Ty jsou často obecně de facto chápány ve stejném kontextu a používají se různě (avšak se stejným významem) v odborných publikacích a časopisech, v novinových článcích, legislativě atd. Dokladem tohoto jsou například i současné dokumenty vydávané ITU. Zde je tento terminologický problém řešen tak, že se často používá obojí vyjádření v anglické zkratce „Telecommunication/ICT“. A to přestože v základních dokumentech ITU (Ústavě a Úmluvě) není pojem ICT uveden.

Aby to nebylo jednoduché, tak v řadě zejména legislativních dokumentů je slovo „telekomunikace“ nahrazeno slovem „elektronické komunikace“).

V textu tohoto kursu je používán termín „telekomunikace“ a pro bezdrátové telekomunikace termín „radiokomunikace“.

2 Elektromagnetické vlnění a rádiové spektrum

2.1.1 Základní vlastnosti a parametry

Přenosovým prostředkem v rádiové komunikaci jsou elektromagnetické vlny. Ty obecně zprostředkovávají přenos energie pomocí svého šíření se určitým médiem. V případě rádiové komunikace je tímto médiem zemská atmosféra.

Velikost přenášené energie je obvykle vyjádřena jejími hodnotami intenzity elektrického nebo magnetického pole. Obě složky jsou schopné přenášet užitečný signál (text, zvuk, video, data), který je do prostoru předáván prostřednictvím antény rádiového vysílače v místě vysílání, šířen atmosférou do antény přijímače, v kterém je rekonstruován do původního tvaru.

Průběh intenzit elektromagnetického pole v čase může mít v závislosti na způsobu jeho vybuzení ve vysílacím zařízení jakýkoliv tvar. Nejčastěji se v radiokomunikacích používá periodicky se opakujícího harmonického sinusového průběhu nosné vlny. Na ni se v zařízení nazývaném modulátor vkládá (moduluje) užitečný signál, který je pak šířen směrem k přijímači. Podrobněji se tímto budeme zabývat v následující kapitole.

Elektromagnetická vlna se šíří volným prostorem přibližně rychlostí světla. V případě vakua je to 300 tis. km/hod. Jinak je rychlost vždy nižší v závislosti na elektrických a magnetických vlastnostech daného média, kterým se elektromagnetická vlna šíří.

Elektrická a magnetická složka elektromagnetické vlny je charakterizována dvěma vzájemně souvisejícím parametry – kmitočtem (f) se základní jednotkou Hz (hertz) a jejími tisíčovými násobky: kHz (kilohertz), MHz (megahertz), GHz (gigahertz) a vlnovou délkou (λ) v násobcích délkové jednotky metr.

Pro jejich přepočet platí vztahy (1) a (2).

$$f = c_0 / \lambda \text{ [Hz; m/s, m]}, \text{ kde pro rychlost světla ve vakuu platí } c_0 = 300\,000\,000 \text{ [m/s]} \quad (1)$$

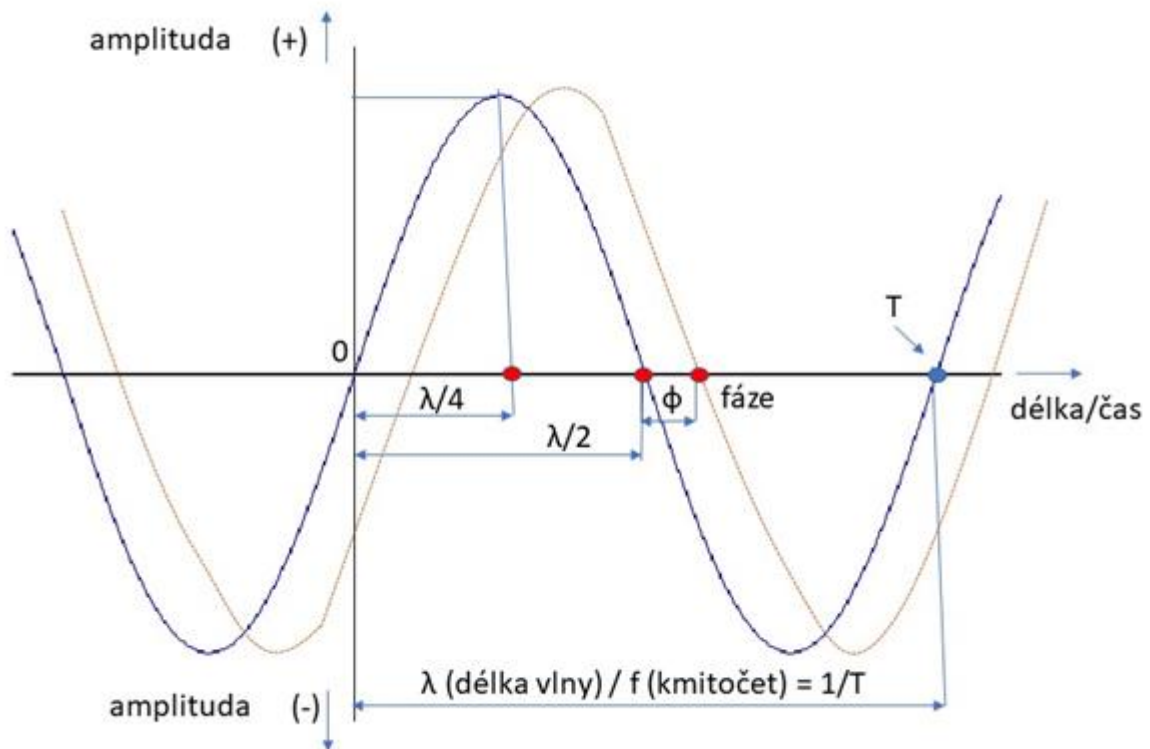
$$\lambda = c_0 / f \text{ [m; m/s, Hz]} \quad (2)$$

V praxi se používají zjednodušené vztahy (3) a (4).

$$f = 300 / \lambda \text{ [MHz; m]} \quad (3)$$

$$\lambda = 300 / f \text{ [m; MHz]} \quad (4)$$

Výše uvedené základní parametry spolu s dalšími parametry popisujícími vlastnosti elektromagnetické vlny jsou pro případ harmonického sinusového průběhu zobrazeny na obr 3.



Obr. 3: Základní parametry elektromagnetické vlny

Jak už bylo uvedeno, elektromagnetická vlna se v případě rádiové komunikace šíří prostorem od antény vysílače do antény přijímače. Pro jednoduchost zatím předpokládejme, že se šíří rovnoměrně do všech směrů a chová se stejně jako světlo (ale na podstatně nižších kmitočtech).

Z toho vyplývá, že elektromagnetická vlna je cestou prostorem utlumována nebo může být i pohlcena, odráží se a lomí se jak od různých pozemských překážek, tak i díky podmínkám atmosféry a v závislosti na její vlnové délce – kmitočtu.

2.1.2 Zemská atmosféra a její vlastnosti

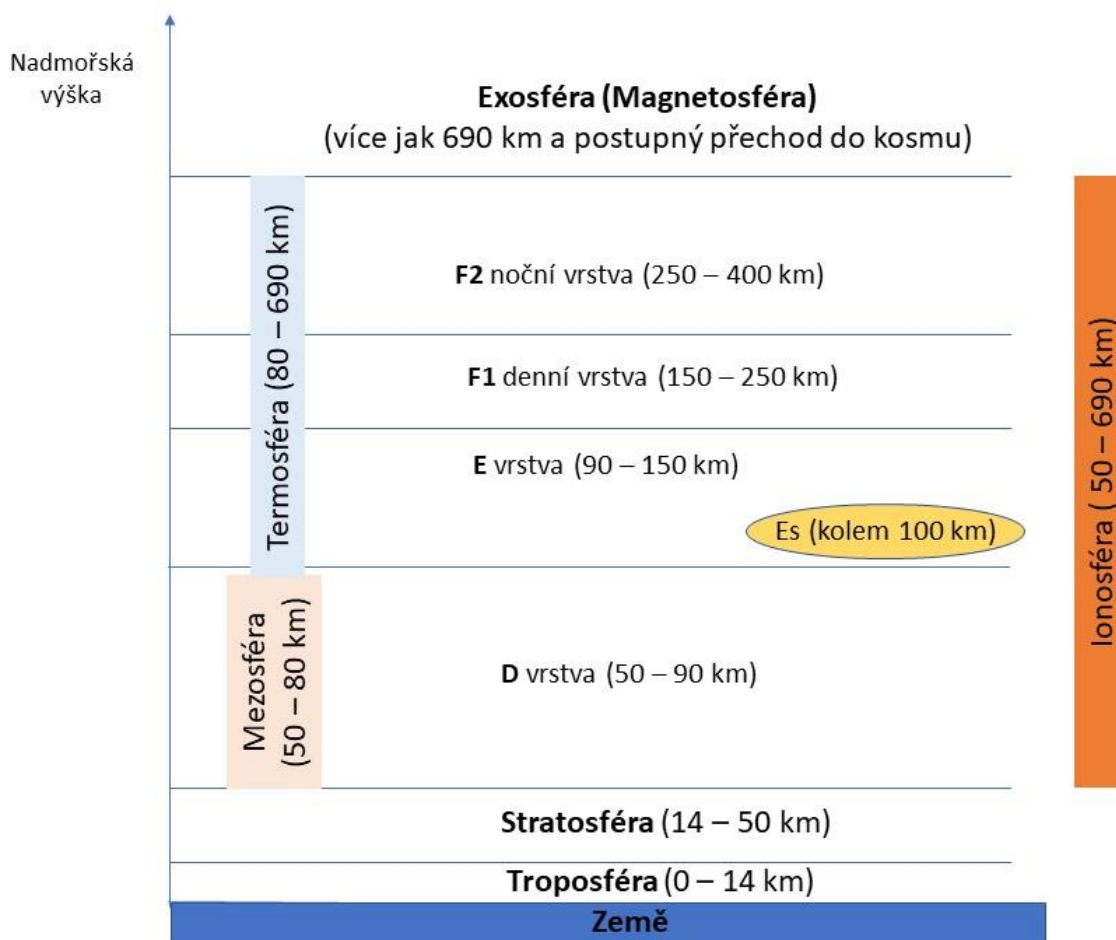
Zemská atmosféra je složena z řady plynných látek, kterými jsou:

- dusík – 78 %,
- kyslík – 21 %,
- vodík, helium, argon, oxid uhličitý, neon, radon, xenon, ozon a stopové příměsi dalších plynů – 1 %.

K tomu se v atmosféře ještě přiřazuje voda v podobě vodní páry, vodních kapek a ledových krystalů.

Rozložení těchto prvků není se stoupající výškou od zemského povrchu jedolitě, ale postupně jejich hustota a přítomnost v atmosféře řídne a mění její vlastnosti.

Vertikální složení zemské atmosféry a oblasti ionosféry jsou zobrazeny na obr. 4.



Obr. 4: Vertikální rozložení atmosféry a ionosféry Země

Základní vlastností ovlivňující šíření elektromagnetických vln v rádiové komunikaci je velikost ionizace atmosféry.

Každá hmota se skládá z atomů, které obsahují jádro (protony s kladným nábojem a neutrony) a kolem obíhající elektrony (se záporným nábojem). V závislosti na jejich počtu je pak určen daný chemický prvek ve známé Medělejevově tabulce. Atomy jsou stavebnicovým prvkem molekul, a tedy i plynů obsažených v atmosféře. Molekuly lze vnější energií štěpit na kationty (převažují protony s kladným nábojem) a anionty (převažují elektrony se záporným nábojem). Tento proces se nazývá ionizace. Opakem ionizace je rekombinace, což je návrat do původního stavu. Ta je zcela zásadním prvkem pro šíření elektromagnetických vln s ohledem na dosaženou vzdálenost rádiového spojení.

Ionizace v atmosféře je vyvolána působením energie slunečního záření. To je vyvoláno termonukleárními procesy probíhajícími na Slunci, které následně dopadají i na Zemi. Proto existuje těsná souvislost mezi aktivitami Slunce a eliptickým pohybem Země kolem něho (mění se roční období) a stupněm ionizace zejména v ionosféře (den, noc). Sluneční aktivita se vyhodnocuje na základě měření rádiového šumu na kmitočtu 28,0374 MHz (vlnová délka 10,7 m).

Sluneční aktivity silné a slabé (např. skvrny, bouře) mají jistý periodický charakter. Podle historických pozorování se jedná o vícenásobný počet cyklů o délce 11 roků v periodě 169 roků.

2.1.3 Šíření rádiových vln

Z hlediska způsobu šířené vlny prostorem rozeznáváme pozemní (přímou) a prostorovou vlnu. Pozemní vlnou se šíří rádiové signály v pásmu 30 kHz – 300 kHz. Toto šíření je stavem ionosféry ovlivňováno minimálně.

Šíření prostorovou vlnou převažuje v pásmech středních a krátkých vln od 0,5 MHz do 30 MHz a je ovlivňováno stavem ionosféry. Jak již bylo zmíněno výše, stav ionizace v ionosféře ovlivňuje podmínky šíření rádiových vln v ionosféře. Má vliv na index lomu, útlum a propuštění do kosmu a závisí na vlnové délce (kmitočtu). Avšak i ve vyšších pásmech nad 30 MHz dochází vlivem ionizace k ovlivňování (útlumu) rádiových vln pronikajících do kosmu.

Střední a zejména krátké vlny se šíří pomocí odrazů od jednotlivých vrstev ionosféry (viz obr. 4). Ty jsou závislé na jejím stavu v denních, nočních a ročních obdobích. Vrstvy jsou označovány písmeny D, E a F. Ty se ještě v závislosti na podmínkách slunečního záření dělí na E1, E2, a na sporadickou Es, F1 a F2.

Délka rádiových spojení je tak určena existencí a vlastnostmi uvedených vrstev. Z hlediska dosažení dálkových spojení (nad 4000 km) lze uskutečnit pomocí několika násobných odrazů. V extrémně příhodných podmínkách i kolem celé zeměkoule. Rozhodující pro dálková spojení je stav vrstvy F2 a případně existence sporadické vrstvy Es.

Rádiové vlny s kmitočtem nad 30 MHz se šíří již přímočaře (platí pro vakuum a homogenní prostředí) obdobně jako se šíří světlo. Spojení se pak děje v podstatě na přímou viditelnost (angl. line of sight).

Ve skutečnosti zemská atmosféra není homogenní prostředí a dochází zde k působení odrazů, ohybů a útlumů (až pohlcení) vlivem různých překážek v závislosti na jejich vlastnostech (budovy, hory, lesy, déšť, sníh, ...). V troposféře se tyto vlny v závislosti na kmitočtu a vysílaném výkonu mohou lámat směrem k zemskému povrchu. Index lomu se mění s výškou a jeho hodnota závisí na tlaku, teplotě a vlhkosti atmosféry.

Index lomu na různých vrstvách je závislý na stavu ionizace jednotlivých vrstev ionosféry. To může vést i k zvýšení útlumu, který se projeví zeslabením nebo dokonce ztrátou přenášeného signálu v ionosféře. Tento jev nazývaný únik (fading) je zejména patrný v pásmu krátkých vln a je závislý i na kmitočtu přenášené vlny.

Pro uskutečnění dálkových spojení na krátkých vlnách je důležité znát předpovědi stavu ionosféry a takzvaných kritických kmitočtů. To byl v minulosti, kdy nebyla možnost dnešního družicového spojení, velký problém například pro rádiové operátory na námořních lodích.

Teoreticky lze v pásmech nad 30 MHz tedy dosáhnout rádiového spojení do vzdálenosti větší, než je optický horizont. Vzdálenost elektrického horizontu lze stanovit pomocí vztahu (5).

$$L = \sqrt{17h} \quad (5)$$

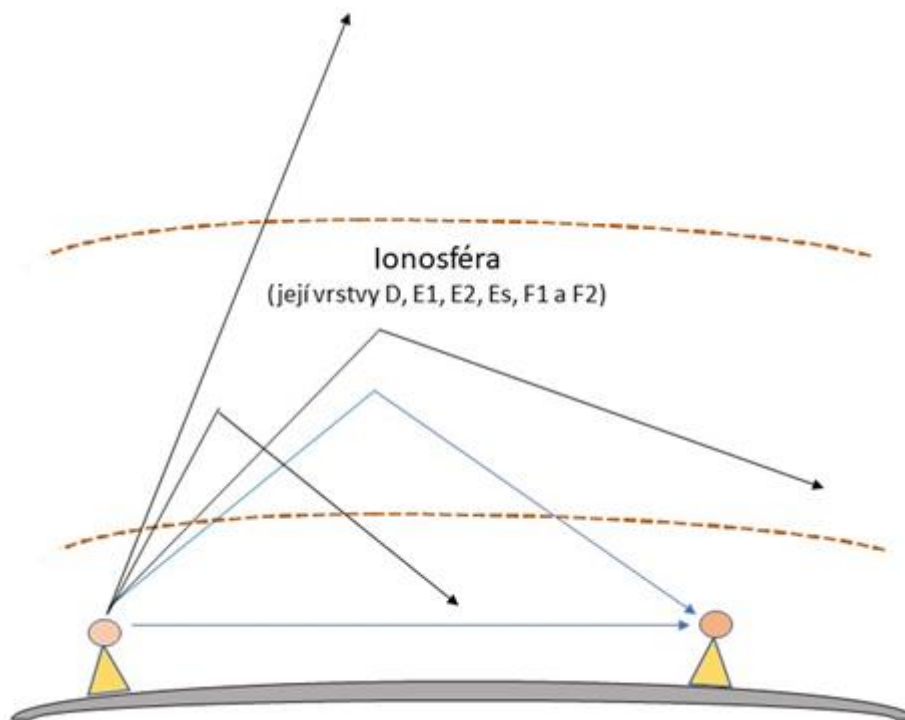
L je vzdálenost, h výška antény nad zemským povrchem

Pozemské šíření v těchto pásmech a délka spojení, kromě kmitočtu a vysílacího výkonu, jsou také závislé na zvláštních podmínkách v atmosféře. Kromě již zmíněné sporadické vrstvy Es (ve výškách 100–110 km) se k nim může přidat působení polární záře, prolétající meteority, výšková tepelná inverze a chování tlakových útvarů v troposféře (tlaková výše, studená a teplá fronta).

Šíření směrem do kosmu není podstatně ovlivňováno ohybem (difrakcí), ale pouze útlumem v atmosféře v závislosti na kmitočtu.

V případě mobilních rádiových sítí nebo při samostatném pohybu vysílače a přijímače dochází k únikům i díky změnám kmitočtu vlivem známého Dopplerova jevu.

Na obr. 5 jsou pro ilustraci v ukázány základní možnosti šíření rádiových vln ve volném prostoru v zemské atmosféře, které umožňují rádiové spojení mezi dvěma rádiovými stanicemi.



Obr. 5: Šíření rádiových vln a možnosti rádiového spojení

Jak je patrné z obrázku, tak na dosažení zejména dálkových spojení v pásmu krátkých vln má vedle výkonu, kmitočtu rádiové vlny, útlumu a působení indexu lomu v ionosféře vliv také směřování vysílané rádiové vlny. Tedy pod jakým úhlem je vysokofrekvenční signál z antény vysílače do prostoru směřován.

Je třeba poznamenat, že ne vždy rádiové signály šířené pozemní a zejména prostorovou vlnou dosáhnou přijímací anténu jednou cestou. Zejména ve vyšších pásmech nad 30 MHz dochází k různým odrazům od překážek ve směru šíření. Ty často vedou k tomu, že do antény přijímače přichází stejný signál z více směrů, ale s jistým časovým a fázovým zpožděním. Dochází tak k vícecestnému šíření rádiové vlny. To může vést i k tomu, že výsledný signál v místě příjmu může být částečně nebo zcela utlumen a dochází tak k úniku signálu.

Na druhé straně lze této vlastnosti využít v metodách nazývaných diverzitní příjem. Tato komplikace se řeší technikami diverzitního příjmu. Princip spočívá ve vytvoření systému, kdy se shodná informace přijme více způsoby a ten s nejvyšší úrovní se použije k dalšímu zpracování. Tento způsob se například využívá v mobilních rádiových sítích.

Rádiová vlna je během šíření volným prostorem rovněž ovlivňována rádiovým šumem, který má obvykle neperiodický charakter v širokém rádiovém spektru s proměnlivou úrovní a fází rádiového signálu. Jeho zdrojem jsou signály přicházející od jiných rádiových zdrojů a z kosmu (galaktický šum).

Všechny tyto aspekty jsou brány v úvahu i při přidělování vyhrazených úseků kmitočtů rádiového spektra jednotlivým rádiovým stanicím a radiokomunikačním službám v Radiokomunikačním řádu ITU. Podrobněji tomu bude věnována pozornost v dalších příslušných kapitolách.

2.1.4 Rozdělení rádiového spektra a jeho využití

Rádiové spektrum, které je předmětem správy rádiového spektra obsaženého v Radiokomunikačního řádu ITU [18], pokrývá kmitočtové pásmo 8.3 kHz až 3000 GHz.

Jak již víme, tak rádiová vlna je charakterizována základními parametry, kterými jsou kmitočet, amplituda a fáze. Vedle toho je také nutné znát, jaké kmitočtové úseky a na jaké výkonové nebo napěťové úrovni musí konkrétní typ radiokomunikační technologie splňovat.

V závislosti na kmitočtu rádiové elektromagnetické vlny se obecně používá dělení na kmitočtová pásma. Jejich rozdělení a označení je uvedeno v tabulce Tab. 1. V tabulce jsou uvedena i používaná jména a zkratky v anglickém jazyce.

TAB 1. Rozdělení kmitočtových úseků rádiového spektra

Jméno pásma	Zkratka	Kmitočet	Vlnová délka	Názvy pásem
Extremně dlouhé vlny extremely low	ELF	3 – 30 Hz	100 000 – 10 000 km	
velmi velice dlouhé vlny super low	SLF	30 – 300 Hz	10 000 km – 1000 km	
velmi dlouhé vlny ultra low	ULF	300 Hz – 3 000 Hz	1000 km – 100 km	
velice dlouhé vlny very low	VLF	3 kHz – 30 kHz	100 km – 10 km	myriametrové
dlouhé vlny low	LF	30 kHz – 300 kHz	10 km – 1 km	kilometrové
střední vlny medium	MF	300 kHz – 3 000 kHz	1 km – 100 m	hektometrové
krátké vlny short wave	HF	3 MHz – 30 MHz	100 m – 10 m	dekametrové
velmi krátké vlny very High	VHF	30 MHz – 300 MHz	10 m – 1 m	metrové
velice krátké vlny ultra high	UHF	300 MHz – 3 000 MHz	1 m – 100 mm	decimetrové
velmi velice krátké vlny super high	SHF	3 GHz – 30 GHz	100 mm – 10 mm	centimetrové

extrémně krátké vlny extremely high	EHF	30 GHz – 300 GHz	10 mm – 1 mm	milimetrové
ohromě krátké vlny tremendously high	THF	300 GHz – 3000 GHz	1 mm – 1 μm	decimilimetrové

Uvedené kmitočtové úseky rádiového spektra jsou využívány pro přenos užitečných (zdrojových) signálů z jednoho místa na jiné, a to pomocí rádiové vysokofrekvenční rádiové vlny (RF – Radio Frequency). Podrobněji bude diskutováno v následující kapitole v souvislosti s přenosovým řetězcem.

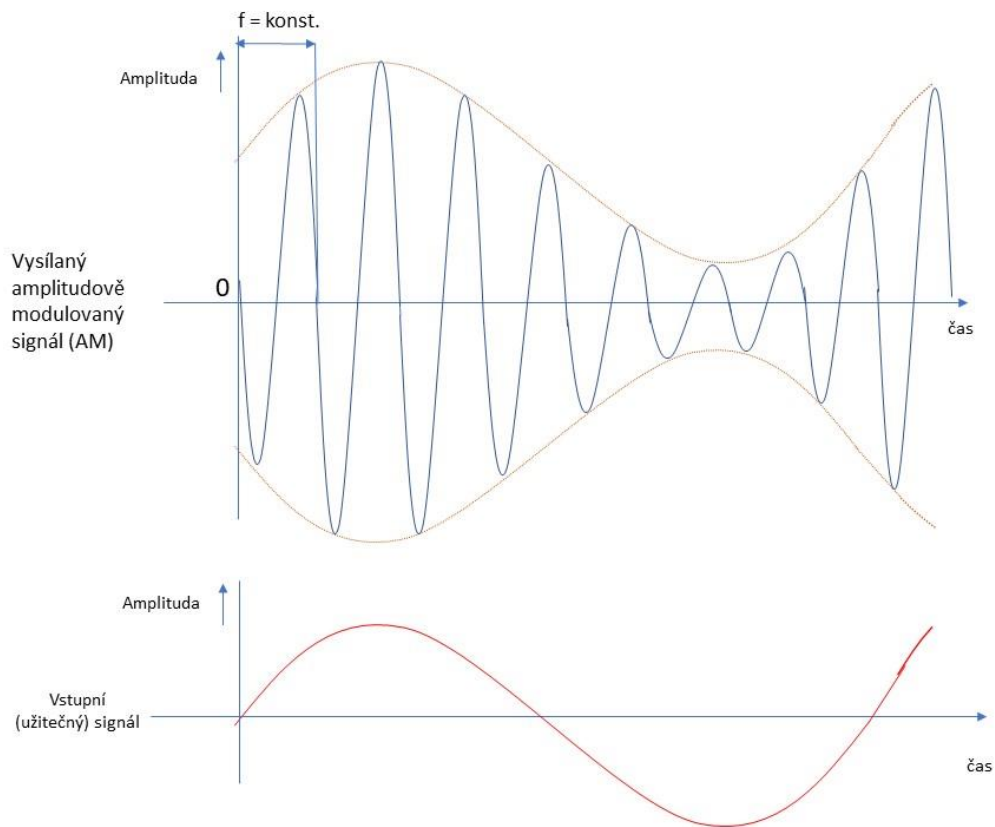
Užitečný signál může být:

- analogový – jeho průběh v čase je obecná spojitá (nepřerušovaná) křivka,
- diskrétní – jeho průběh v čase se skokově mění v amplitudě nebo je přerušovaný (vzorkování) v čase.

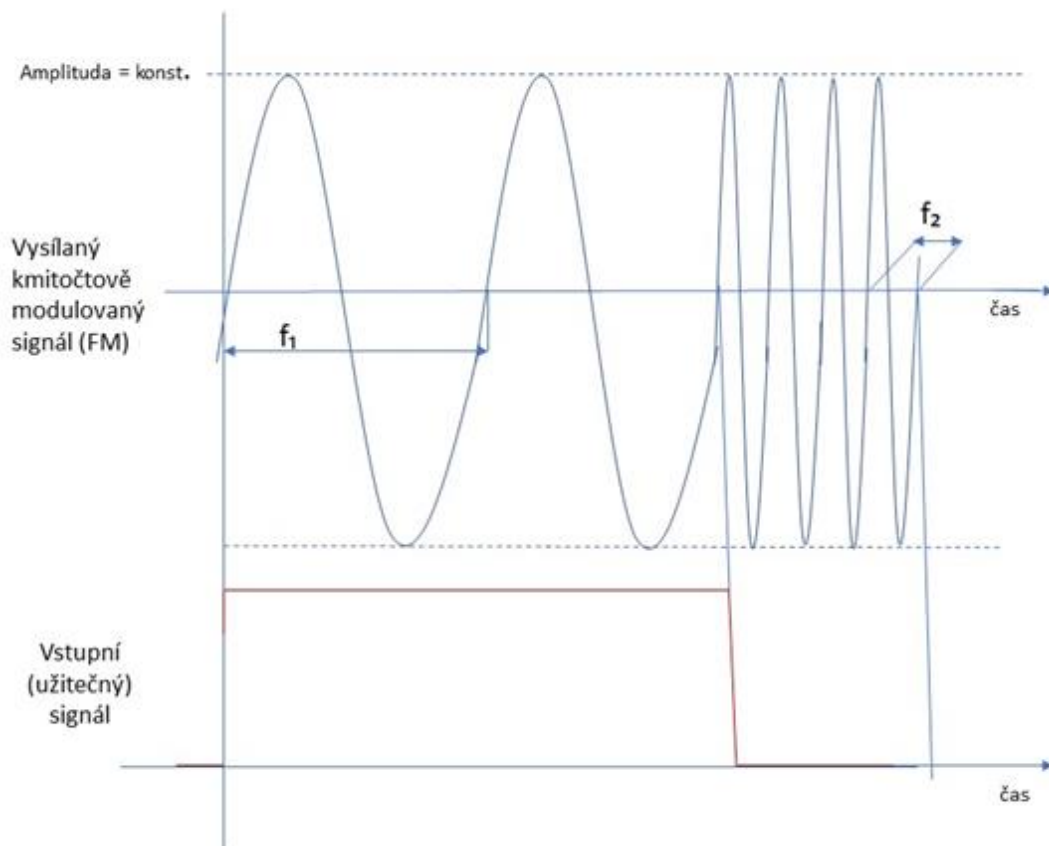
Zpracování užitečného signálu může mít analogový nebo diskrétní (digitální) charakter. Takto zpracovaný signál se vloží (namoduluje) na nosnou vysokofrekvenční vlnu. V případě digitálního zpracování užitečného signálu se používá pojmu kódování. Na tom, jaký druh nosné modulace se použije, se odrazí ve využití kmitočtových úseků rádiového spektra. To lze zobrazit pomocí spektrálních kmitočtových charakteristik.

Pro modulaci nosné vysokofrekvenční rádiové vlny se používá:

- Amplitudová modulace (označuje se zkratkou „AM“) – nosná vlna má v čase konstantní kmitočet a mění se amplituda (úroveň) rádiového signálu v závislosti na průběhu vstupního užitečného signálu (viz příklad na obr. 6).
- Kmitočtová modulace (FM) – amplituda nosné vlny je konstantní a mění se kmitočet v závislosti na průběhu užitečného signálu (viz příklad na obr. 7).
- Fázová modulace (PM) – mění se fáze nosné vlny a může mít jak spojitý, tak diskrétní charakter



Obr. 6: Princip amplitudové modulace (AM)



Obr. 7: Princip kmitočtové modulace (FM)

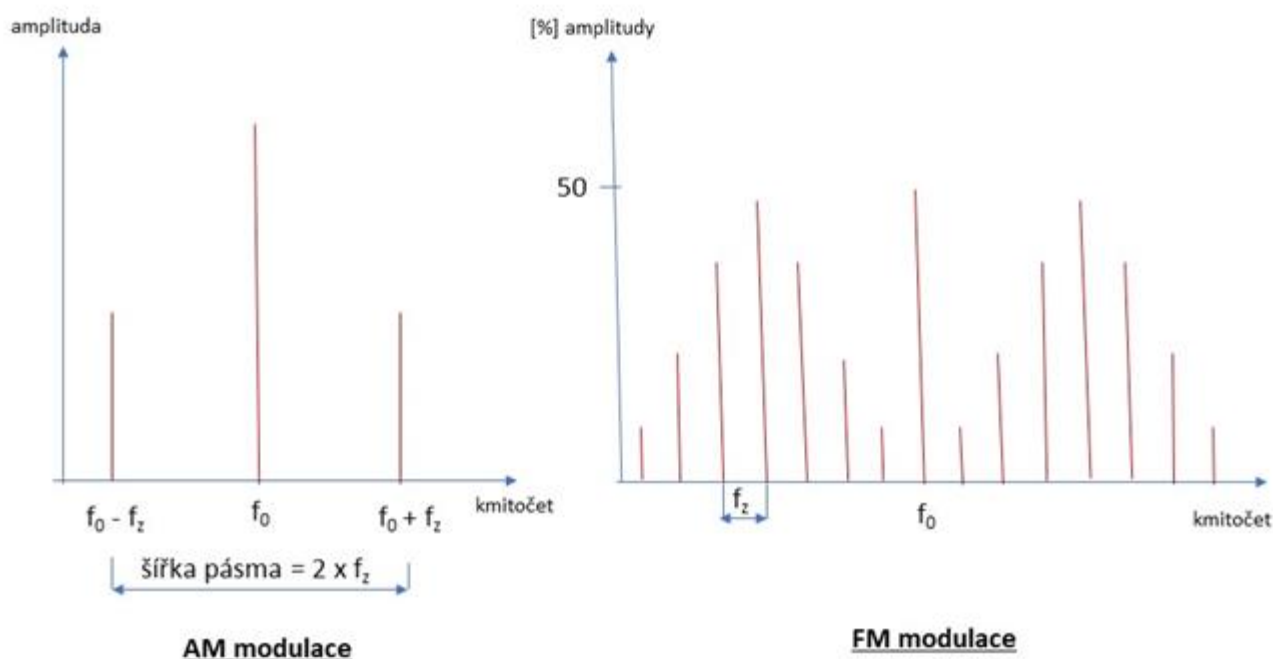
Jaký způsob modulace nosné vlny se použije, má zásadní vliv na využití (jinak řečeno – spotřebě nebo zabrání) části rádiového spektra. To lze teoreticky vypočítat a v praxi přímo sledovat za pomoci měřicího přístroje – spektrálního analyzátoru.

Nejjednodušší případ je vysílání nemodulované nosné vlny na daném kmitočtu, která má sinusový harmonický průběh. To se ve spektru zobrazí úsečkou s délkou odpovídající například amplitudě nosné vlny na daném kmitočtu.

V závislosti na průběhu modulace nosné vlny se v rádiovém spektru objeví jednak vlastní kmitočet nosné vlny a pak určité úseky kmitočtového pásma odpovídající modulaci (kódování) užitečného signálu v základním pásmu.

Například v případě AM modulace nosné vlny s kmitočtem f_0 nesoucí užitečný signál se sinusovým průběhem na kmitočtu f_z ze zvukového pásma je obrazem v rádiovém spektru jak samotný nosný kmitočet, tak dvě složky nazývané postranní pásmo o kmitočtu $f = f_0 + f_z$ a $f = f_0 - f_z$.

Pro srovnání je na obr. 8 uveden obraz rádiového spektra v případě AM a FM modulace nosné zvukovým tónem (z pásma 100 Hz až 20 kHz) o kmitočtu f_z .



Obr. 8: Porovnání spektrálních charakteristik v případě AM a FM modulace zvukovým tónem

Obecně při použití FM modulace vzniká nekonečně mnoho složek s odstupem f_z a tedy zabírá větší šířku pásma než v případě AM modulace. Avšak použitím FM modulace je možné dosáhnout lepšího odstupu užitečného signálu od šumu.

Je třeba uvést, že ne vždy je při AM modulaci vysílán nosný kmitočet. Protože užitečný signál je ve spektru obsažen shodně v obou postranních pásmech, lze použít pro vysílání jen horní (USB) nebo dolní

(LSB) pásmo. V tomto případě se jedná o vysílání s jedním postranním pásmem (SSB – Single Side Band).

V případě FM modulace se používá řady modulačních metod v základním pásmu. Jedná se o různé způsoby jedno nebo víceúrovňových kmitočtových nebo fázových posunů. Jsou označovány například FSK, BSK, MSK, GMSK. Použitý způsob modulace se odrazí i na šíři využitého kmitočtového úseku v rádiovém spektru.

Je třeba zdůraznit, že vlivem různých nelinearit v přenosovém řetězci se v rádiovém spektru mohou objevit i nežádoucí intermodulační produkty na harmonických násobcích kmitočtu nosné vlny. Ty mohou způsobit rušivé interference na těchto kmitočtech. Tato skutečnost může mít za následek nežádoucí rušení jiné radiokomunikační služby provozované na některém z těchto harmonických kmitočtů.

To, jaké kmitočtové pásmo rádiového spektra daná modulační technika využívá, zásadním způsobem ovlivňuje možnosti použití různých radiokomunikačních technologií pro různé radiokomunikační služby pozemské (terestriální) i družicové.

K zajištění kvality přenosu užitečného signálu je nutné mít k dispozici vyhrazený úsek (šířku kmitočtového pásma) z rádiového spektra a definovaný způsob ochrany před působením nežádoucích (rušivých) interferencí. To jak z hlediska vysílaných výkonů, tak i použití různých metod potlačení nežádoucích interferencí. Toto vše v zásadě představuje i podstatu a úlohu technické části správy rádiového spektra.

Je zřejmé, že vznik modulačních produktů na harmonických násobcích je z hlediska efektivity využívání rádiového spektra a tím možností vzniku rušivých interferencí nežádoucím jevem. V praxi jsou využívány různé metody, jak tento jev potlačit. Děje se tak například použitím různých filtrů (dolních, horních nebo pásmových) pro vytváření statických nebo dynamických výkonových kmitočtových masek, přerušováním vysílání v případě zjištění přítomnosti signálu na daném kmitočtu z jiného vysílače apod.

Pro vyjádření velikosti hodnot výkonů, napětí nebo proudů a jejich spektrálních hustot se používá bezrozměrná logaritmická jednotka decibel „dB“, pro kterou platí následující vztahy.

$$\text{výkon: } P [\text{dB}] = 10 \times \log_{10}(P_2 / P_1) \quad (5)$$

$$\text{napětí / proud: } A [\text{dB}] = 20 \log_{10}(A_2 / A_1) \quad (6)$$

Často jsou hodnoty v dB vyjádřeny k referenční hodnotě dB_{ref} . Například jednotka dBm podle vztahu (5) je vztažena k hodnotě výkonu $P_1 = 1 \text{ mW}$. Hodnota 0 dBm pak odpovídá výkonu 1 mW.

Obdobně tomu je v případě napětí $\text{dB}\mu\text{V}$ vztažené k referenční úrovni 1 μV ve vztahu (6), kdy platí, že 0 $\text{dB}\mu\text{V}$ odpovídá napětí $U_2 = 1\mu\text{V}$.

Kladné hodnoty absolutních hodnot dB nebo referenčních dB_{ref} a jejich zlomků vyjadřují zesílení signálu a záporné hodnoty pak zeslabení (útlum) signálu.

Pozornost věnovaná výše uvedeným vztahům a jednotce dB je i z důvodu jejího převažujícího používání pro vyjadřování hodnot rádiových signálů jak v jednotlivých částech přenosového řetězce (obvody vysílačů a přijímačů, v anténách), tak i v různých oblastech spojených se správou rádiového spektra. Jednotka decibel (dB) v absolutních a referenčních hodnotách nás bude provázet celým tématem.

2.1.5 Antény a jejich základní vlastnosti

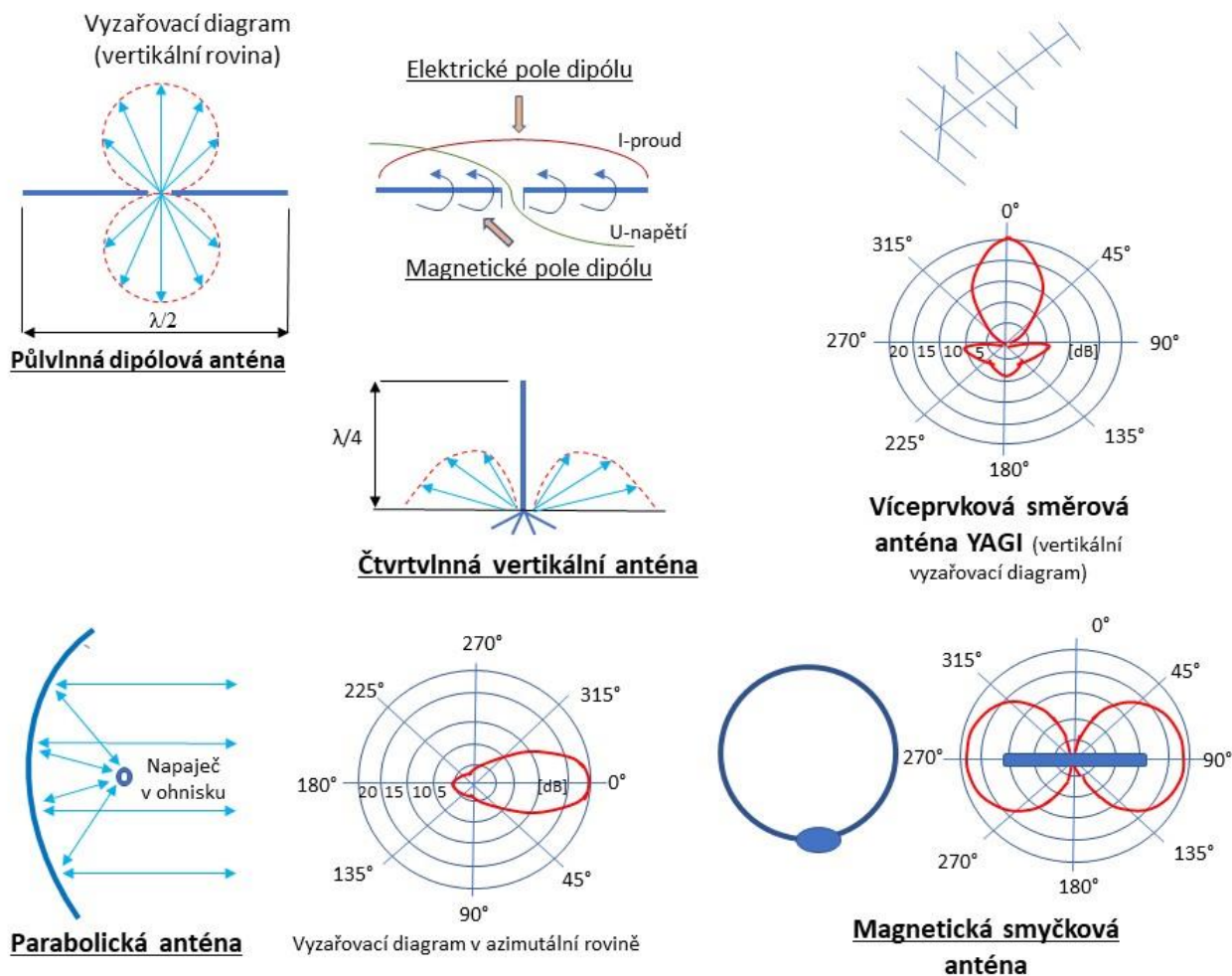
Anténa je dalším důležitým prvkem pro šíření rádiových vln jak z hlediska účinnosti předání vybuzené energie do volného prostoru v místě vysílání, tak jejího směrování do místa příjmu a bezztrátového obnovení vyslaného užitečného signálu v rádiovém přijímači.

Účinky antény jsou obousměrné jak ze strany vysílání, tak ze strany příjmu. Proto se v tomto smyslu parametry a charakteristiky antén nerozlišují. Pokud se v praxi rozlišují, tak je to z hlediska dimenzování s ohledem na vyzařovaný výkon a konstrukci prvků zajišťující její bezpečné ukotvení a provozování v daných klimatických podmínkách (působení větru, mrazu, sněhu atd.).

Bez ohledu na to, zda vysokofrekvenční signál rádiové vlny má analogový nebo digitální charakter, je anténa vždy analogovým prvkem na rozhraní mezi vysílačem nebo přijímačem a volným prostorem, kterým se šíří.

Vlastnosti antén jsou vyjadřovány řadou parametrů, z nichž za základní lze považovat tyto:

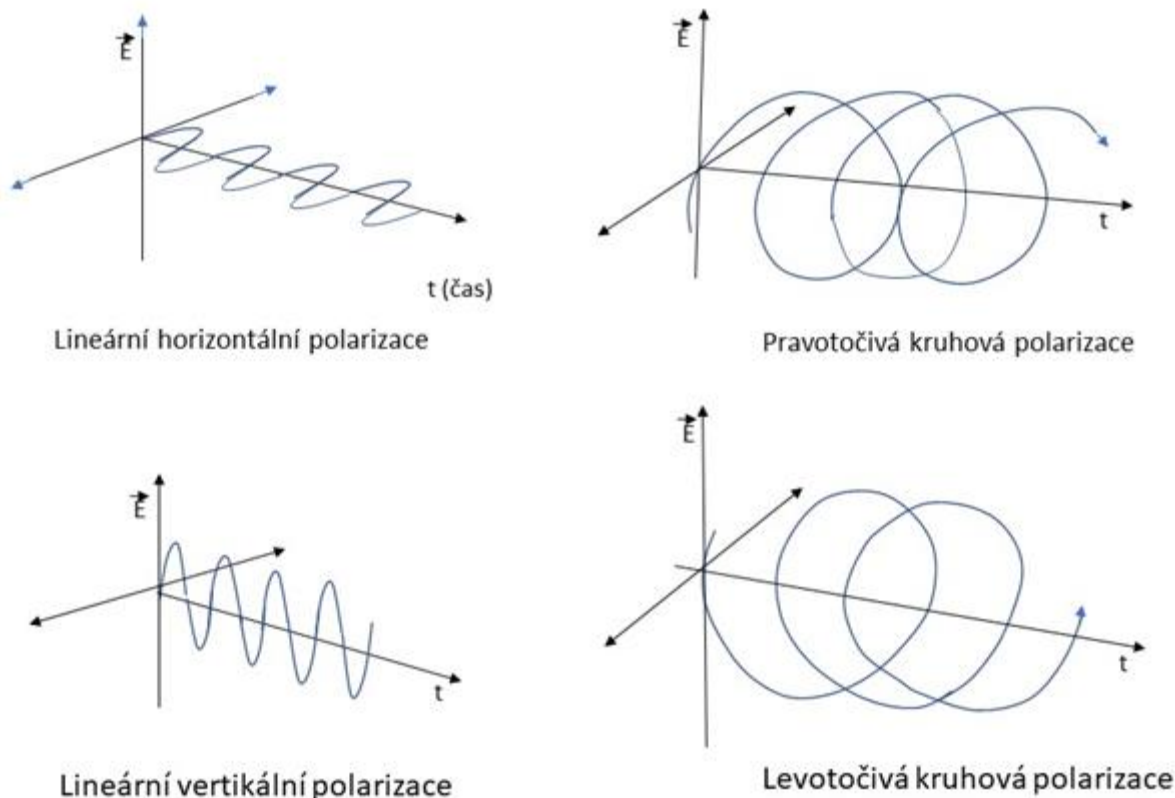
- **Směrovost** – vyjadřuje závislost vyzařované intenzity elektromagnetického pole (vyzařovaného výkonu) na směru vyzařování. Lze ji popsat jak matematicky, tak graficky vyzařovacím diagramem (v horizontální nebo vertikální rovině) a činitelem směrovosti D (poměr intenzit vyzářené energie v daném směru vůči intenzitě izotropního zářiče). Izotropní zářič vyzařuje ve všech sférických směrech stejnou intenzitu elektromagnetického pole (výkon). Vyzařování antény je výrazně ovlivňováno výškou nad zemským povrchem a jejími elektrickými vlastnostmi. Antény mohou být jednopásmové nebo vícepásmové, všesměrové nebo směrové s osovou orientací horizontální nebo vertikální. Mají různé konstrukční parametry ve vztahu k jejich rozměrům závislejícím na vlnové délce λ nebo jejím zlomku ($\lambda/2$, $\lambda/4$, $\lambda/5/8$). Antény jsou konstrukčně realizované jako drátové, prutové, směrové Yagi, parabolické, mikropásmové, magnetické smyčkové a feritové atd. Tyto antény se pak mohou sdružovat do různých anténních soustav. Některé příklady základních druhů antén jsou na obr. 9.



Obr. 9: Základní typy antén a příklady jejich vyzařovacích diagramů

- **Polarizace** – určuje orientaci vektoru intenzity elektrické složky elektromagnetické ráiové vlny. Magnetická složka je vždy kolmá na elektrickou složku. Pro dosažení maximální úrovně příjmu musí mít jak vysílací, tak přijímací anténa stejnou polarizaci (stejnou orientaci os v případě směrových antén).

Druhy polarizace jsou znázorněny na obr. 10.



Obr. 10: Druhy polarizace antén

- **Zisk** – vyjadřuje výkonovou účinnost antény v přeměně energie anténou v závislosti na úhlu vyzařování na dané vlnové délce v porovnání se všesměrovým izotropním zářičem. Udává se v jednotce dBi nebo vůči ideálnímu dipólu v dBd. Přibližně platí, že 0 dBd je rovno 2,15 dBi.
- **Charakteristická impedance** – udává se v absolutní hodnotě velikosti vstupní impedance dané antény, obvyklé hodnoty jsou 50 Ω , 75 Ω , 300 Ω a 600 Ω .

Dalšími parametry udávanými u antén jsou vyzařovací úhel, šířka kmitočtového pásma, vyzařovací impedance, rezonanční kmitočet, činitel zpětného odrazu PSV, útlum v závislosti na kmitočtu a délce napájecího vedení (udávaný obvykle v dB/100 m) a efektivní (elektrická) délka antény.

Na účinnost antény nebo anténního systému mají vliv parametry a provedení napájecího vedení. Ztráty v důsledku impedančního nepřizpůsobení napájecího vedení vede k tomu, že část energie se přemění v neúčinné teplo (jalová složka výkonu vysílaného signálu).

Napájecí vedení pro kmitočty do zhruba 5 GHz je konstrukčně většinou provedeno ve formě dvou sousedních vzájemně izolovaných vodičů – koaxiálních kabelů. Pro vyšší kmitočty je napájení realizováno vlnovody s kruhovým, eliptickým nebo obdélníkovým profilem.

Pro modelování antén a ověřování parametrů antén se používá řada specializovaných programů. Z nich asi nepoužívanějším je program EZNEC. Pro měření antén jsou používány anténní analyzátory a měřiče výkonu.

Téma antén a jejich konstrukcí je samostatným oborem a důležitým prvkem i ve správě rádiového spektra při zajištění ochrany vůči nežádoucím interferencím. V řadě případů je návrh antény a konstrukce věcí empirického a pokusného přístupu. Pojem dobré antény je fenomén v celé historii radiokomunikací. Existuje pro něj rozsáhlá řada publikací a praktických návodů.

Výše uvedené přehledové shrnutí z oblasti základů rádiové komunikace, které se věnovalo důležitým vlastnostem elektromagnetických vln, rádiového spektra, šíření rádiových vln volným prostorem a anténám lze považovat za dostatečné pro porozumění základním aspektům a souvislostem ve vztahu k dále probíraným oblastem správy rádiového spektra. Hlubší znalosti z uvedených oblastí lze získat studiem publikací uvedených v referenčních odkazech. Lze využít i velkého množství zdrojů dostupných na internetu.

3 Přenosový řetězec a jeho prvky

Předchozí kapitola se věnovala elektromagnetickému vlnění. To představuje prostředek umožňující rádiovou komunikaci mezi vysílací a přijímací rádiovou stanicí. Tímto způsobem lze uskutečňovat pozemskou a družicovou rádiovou komunikaci.

Rádiový přenos slouží k poskytování různých veřejných (civilních) nebo neveřejných radiokomunikačních služeb. O jejich druzích bude pojednáno později.

Cílem rádiového přenosu je bezeztrátové a nezkreslené přenesení informace (textu, zvuku, obrazu, dat) z jednoho místa na jiné místo pomocí vytvoření rádiové přenosové cesty (rádiového kanálu).

Obecný komunikační kanál během druhé světové války definoval a matematicky popsal americký vědec v elektronice a matematice Claude E. Shannon. Ten je dnes považován za „otce teorie informace“. Po něm nazvaný teorém lze slovně popsat následovně.

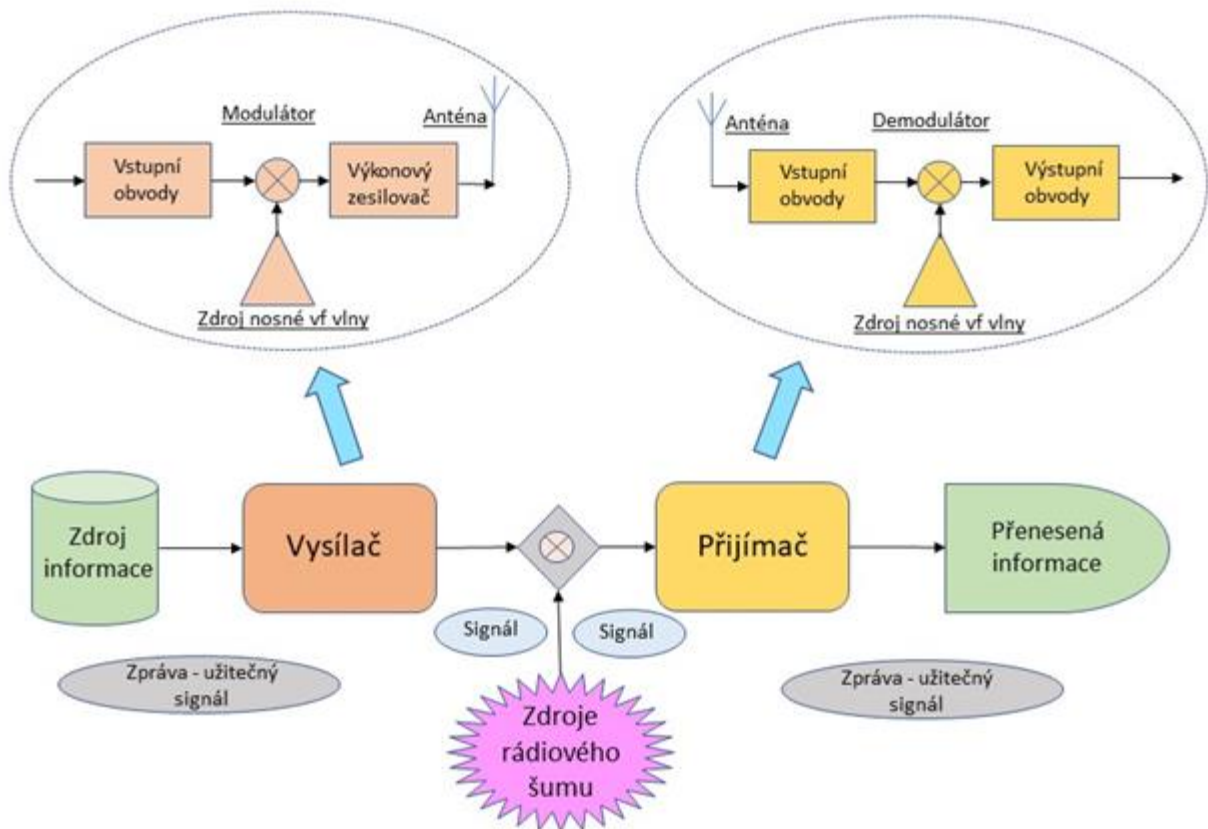
Bezeztrátová rekonstrukce spojitého, kmitočtově omezeného signálu z jeho vzorků je možná jen tehdy, pokud byl vzorkovací kmitočet vyšší než dvojnásobek nejvyšší harmonické složky vzorkovaného signálu.

Na jeho základě vznikla a stále vzniká řada prací na matematických modelech přenosového kanálu (např. Nyquist, Kotelnikov, ...).

Lze konstatovat, že kanálová kapacita je zcela zásadním fenoménem ve vývoji moderních drátových a radiokomunikačních systémů. Ty směřují k vývoji takových mechanismů kódování a oprav chyb, které umožní dosažení výkonu velmi blízko limitům definujícím výše uvedenou minimální kanálovou kapacitu.

Je třeba mít na paměti, že požadovaná kapacita komunikačního kanálu odráží požadavek na potřebnou šíři kmitočtového pásma. Proto má snaha o nalezení takových úsporných kódovacích metod a moderních přenosových technologií pozitivní dopad na efektivní využívání rádiového spektra.

Základní prvky obecného radiokomunikačního přenosového řetězce jsou uvedeny na obr. 11.



Obr. 11: Základní prvky radiokomunikačního přenosového řetězce

Rádiový přenosový řetězec – rádiový kanál je tvořen rádiovým vysílačem, přenosovým médiem v podobě elektromagnetického vlnění a rádiovým přijímačem.

Rádiová stanice je základním prvkem v přenosovém řetězci a může obsahovat rádiový vysílač (V) (anglická zkratky TX – transmitter), rádiový přijímač (P) (RX – Receiver) nebo obojí (TRX, TCVR) v jednom geografickém místě.

Užitečný signál nesoucí zdrojovou informaci je zpracován (zakódován) do analogového nebo digitálního signálu v základním kmitočtovém pásmu. Například pro zvukový (audio) signál to může být kmitočtové pásmo od 50 Hz do 20 kHz. Tento signál je upraven ve vstupních obvodech vysílače, zesílen a přiveden do modulátoru (směšovače). V něm se takto upravený signál namoduluje na nosný vysokofrekvenční kmitočet rádiové vlny. Ta je po výkonovém zesílení v koncovém stupni vysílače přivedena napájecím vedením do antény a vyzářena do volného prostoru.

Pro bezeztrátový přenos je třeba, aby impedance výstupu vysílače, napájecího vedení a charakteristická impedance antény byly shodné. Jinými slovy, aby se žádná energie nevracela zpět, a tak se neměnila v neužitečné teplo. Konstrukce napájecího vedení a použité materiály musí být voleny a dimenzovány pro přenášený výkon.

Již víme, že během šíření volným prostorem je rádiová vlna ovlivňována řadou faktorů. Ty vyplývají jak z podmínek šíření (viz kap. 2.1.3), tak i z přítomnosti a působení rádiového šumu (šumového pozadí). Jeho zdrojem jsou rádiové signály generované různými zdroji elektromagnetického vlnění, jako jsou například interference od jiných rádiových stanic, jiskření, blesky, rádiové signály přicházející z kosmu (galaxie, planety) apod.

K uvedeným zdrojům šumu ještě přistupuje šum, který vzniká v obvodech vysílače a přijímače a v jejich anténách. Velikost šumu udává šumové číslo, které je dáno poměrem výkonů užitečného signálu k výkonu šumu. Šumové číslo je obvykle vyjádřeno v decibelech. Cílem je dosáhnout takového šumového čísla, které by se co nejvíce blížilo hodnotě rovné 0 dB.

Přenášený signál je přijatý pomocí přijímací antény a je přiveden anténním vedením na vstup přijímače. Ve vstupních obvodech přijímače je upraven (například obvody pro omezení šumu a interferencí, kmitočtově omezen filtry, zesílen, ...). V obvodech demodulátoru je odstraněn nosný vysokofrekvenční signál a rekonstruován užitečný signál do základního pásma. Ten je následně upraven ve výstupních obvodech přijímače a předán k jeho cílovému využití.

V současné době se ve vysílačích a přijímačích využívají moderní technologie založené na principu softwarového rádia (SDR) a jeho následníka rozšířeného o inteligentní zpracování signálu nazývaného kognitivním rádiem. V nich jsou dříve používané analogové a digitální obvody – hardware přijímače nebo vysílače (kmitočtové filtry, omezovače šumu, mezifrekvenční zesilovače, ...), AM a FM modulátory (směšovače) a demodulátory postavené na fyzických součástkách (odpory, kondenzátory, cívky, speciální integrované obvody) nahrazeny počítačovými – softwarovými metodami zpracování signálu s využitím speciálních integrovaných obvodů (chipů).

V SDR vysílači nebo přijímači tak prakticky zůstávají jen klasické vstupní oddělovací a výkonové tranzistorové nebo elektronkové zesilovače. I v době digitalizace zůstává (a zatím zůstane) v přenosovém řetězci jeden analogový prvek, kterým je anténa.

Toto řešení umožňuje pokrýt celé rádiové spektrum jedním univerzálním hardwarem a podle potřeby měnit kmitočtová pásma, zpracování signálů a přenosových protokolů pomocí softwaru v počítači.

Této vlastnosti SDR technologie se využívá v přenosových systémech používajících přenosovou metodu rozprostřeného kmitočtového pásma. Jejím principem je, že přenos rádiového signálu se neděje na jednom přiděleném kmitočtu nosné vlny nebo v pásmu rádiového kanálu, ale před vlastním přenosem vysílač hledá volné nevyužité kmitočty. Na nich se vytvoří přenosový kanál a následně uskuteční vlastní přenos. To obvykle ve formě digitálních signálových paketů s modulací nesoucí užitečnou informaci. Vše podléhá speciálním protokolům a vyžaduje i synchronizaci s přijímačem.

Tohoto způsobu je využíváno například v mobilních radiokomunikačních sítích využívajících pro sdružování (multiplexování) vícezdrojových užitečných signálů v základním pásmu přístupových

kódovacích metod CDMA (Code Division Multiple Access), kmitočtových FDMA (Frequency Division Multiple Access) a časových TDMA (Time Division Multiple Access).

Tento způsob je tak jednou z forem principu využívaného ve správě rádiového spektra formou sdílení stejných kmitočtových úseků více stanicemi a službami. To umožňuje zvýšení efektivity využívání rádiového spektra.

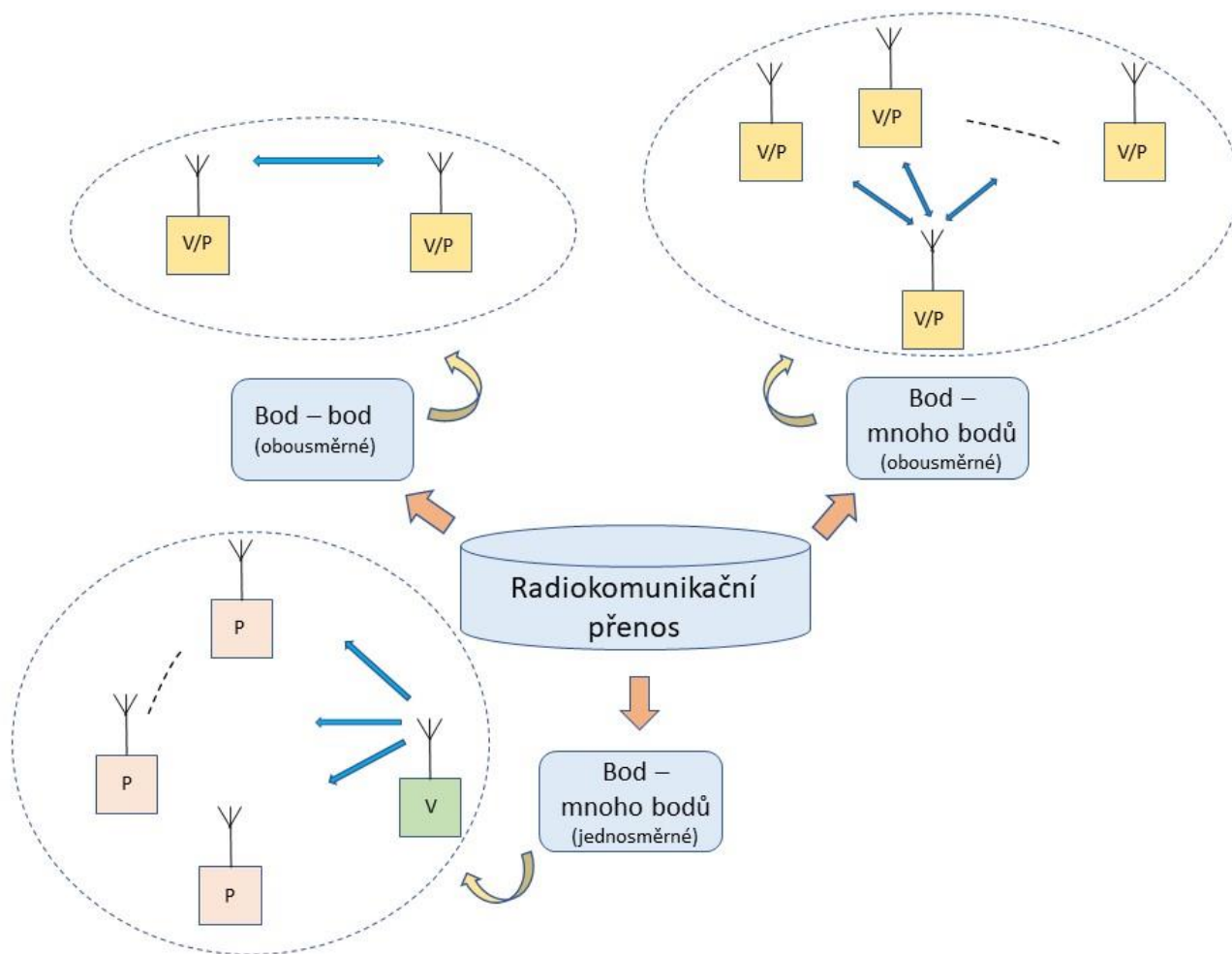
Přenosový řetězec uvedený na obr. 11 lze rovněž popsat prostřednictvím matematických vztahů a modelů vyjadřujících výkonovou energetickou bilanci v jeho jednotlivých prvcích v závislosti na jejich přenosových parametrech (kapacita kanálu, šířka kmitočtového pásma, šumové číslo, zisk antény, ...). Tyto vztahy představují prvky „radiokomunikační rovnice“.

Zkreslení nebo ztráta informačního obsahu během rádiového přenosu je způsobena řadou faktorů vyplývajících z vlastností jednotlivých úseků přenosového řetězce. Mnohé z nich byly již předmětem kapitoly 2.1. Dalším bude podrobněji věnována pozornost v kap. 5.

Komunikace (provoz) v rádiovém kanálu může být:

- duplexní – vysílaný signál a přijímaný signál využívá samostatný rádiový kanál (kmitočtové pásmo) a lze tak současně vysílat i přijímat užitečný signál,
- semiduplexní – vysílaný a přijímaný signál používá stejný rádiový kanál a lze v daném okamžiku buď vysílat nebo přijímat užitečný signál,
- simplexní – rádiový kanál může být použit jen pro vysílání nebo přijímání užitečného signálu.

Rádiová komunikace mezi jednotlivými rádiovými stanicemi může mít obecně charakter, který v souhrnu vystihuje obr. 12.



Obr. 12: Základní druhy radiokomunikačních přenosů

Příkladem pro druh přenosu „bod – bod“ (Point to Point) je obousměrná komunikace (duplexní nebo semiduplexní) mezi dvěma osobami při nějaké pracovní nebo záchranné činnosti. Obousměrné přenosy v konfiguraci „bod – mnoho bodů“ (Point to Multipoint) jsou typické pro různé veřejné a privátní mobilní sítě. Jednosměrné simplexní přenosy typu „bod – mnoho bodů“ se používají například pro rozhlasové a televizní vysílání (Broadcasting) nebo při dálkovém sběru dat z různých senzorů například v rámci monitorovacích, dohledových a řídicích systémů nebo jednotlivých zařízení, různých chytrých (smart) systémů a systémů internetu věcí (IoT), v komunikaci M2M, apod.

V následujících kapitolách se budeme podrobněji zabývat jednotlivými typickými představiteli radiokomunikačních služeb, tvořících základní materií správy rádiového spektra.

4 Pozemské a družicové radiokomunikační služby

V rámci Radiokomunikačního řádu ITU [2], který je naprosto zásadním dokumentem pro celosvětovou správu rádiového spektra, jsou radiokomunikační služby rozděleny podle druhu poskytovaných služeb. Pro tyto jednotlivé služby nebo samostatné rádiové stanice jsou v rádiovém spektru vyhrazeny určité kmitočtové úseky v návaznosti na použité radiokomunikační technologie spolu s dalšími podmínkami pro jejich využívání.

Přiřazování jednotlivých radiokomunikačních služeb v Radiokomunikačním řádu se nedotýká obsahu přenášené informace, ale je nutno jej chápat jako technický prostředek (infrastrukturu) pro distribuci vstupní informace do místa, kde bude dále využita.

Nutnost zavedení jistých pravidel – regulativních opatření v rádiovém spektru je odrazem toho, že rádiové spektrum je vzácný, omezený a obnovitelný přírodní zdroj. Práva na jeho využívání mají charakter lidského práva. Podrobněji o tom bude pojednáno později v samostatných kapitolách o Radiokomunikačním řádu a o ekonomických a právních aspektech spojených s využíváním rádiového spektra.

V úvodu bude vhodné si vymežit, co je radiokomunikační služba pro pozemské (terestrické) služby ve smyslu Radiokomunikačního řádu (Article 1, bod 1.7).

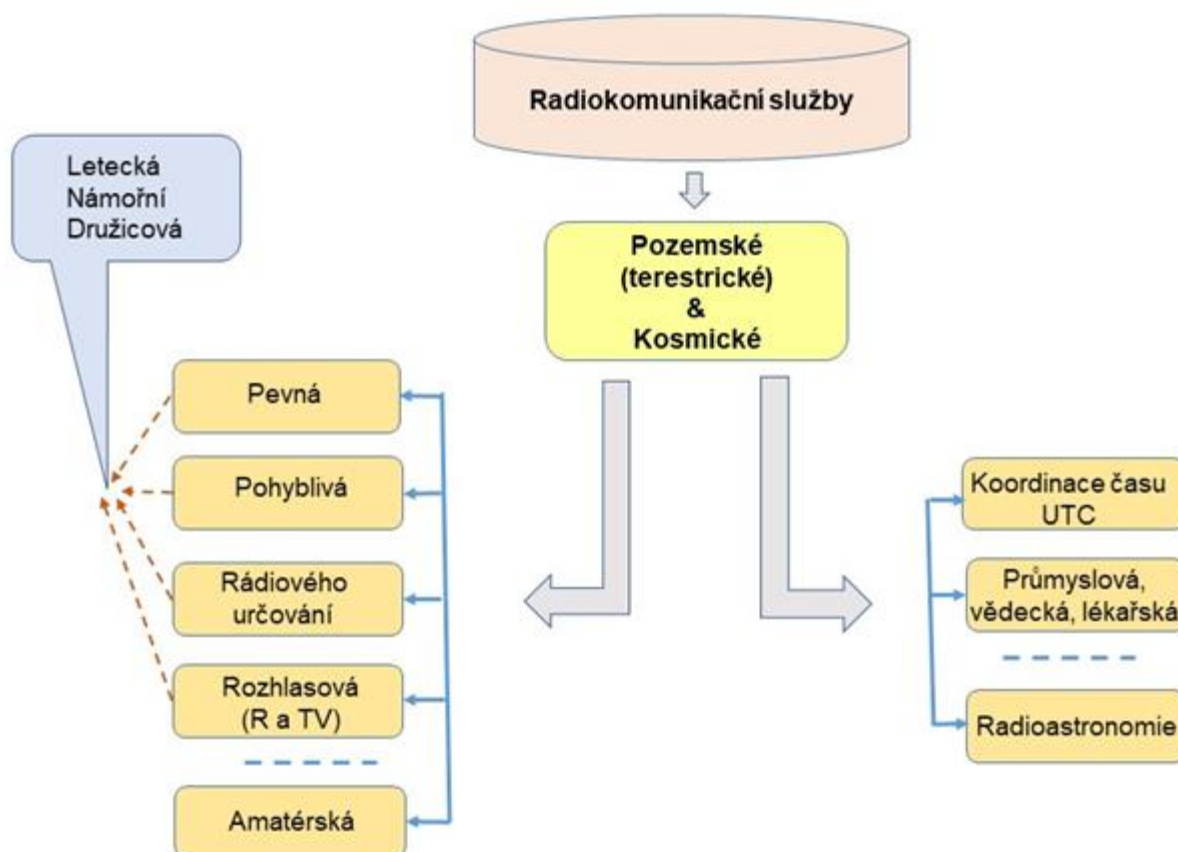
Zemské (pozemské) radiokomunikace: veškeré radiokomunikace jiné než kosmické radiokomunikace nebo radioastronomie.

Pro družicové (satelitní) služby je radiokomunikační služba definována následovně (Article 1, bod 1.8).

Družicovou službou se rozumí jakákoliv služba zahrnující jednu nebo více kosmických stanic nebo využívající jednu nebo více stanic na družicích nebo jiných kosmických objektech pro odražení rádiových vln.

Seznam všech radiokomunikačních služeb a jejich definic je součástí Radiokomunikačního řádu.

Pro základní představu, o jaké služby se jedná a kterých se dotýká regulace obsažená v Radiokomunikačním řádu v rádiovém spektru od 9 kHz do 3000 GHz, poslouží příklady na obr. 13.



Obr. 13: Příklady radiokomunikačních služeb obsažených v Radiokomunikačním řádu

Radiokomunikační služby a jejich poskytování prostřednictvím sítí je možné pro naše účely rozdělit, s přihlédnutím na způsoby zpracování zdrojových signálů (kódování, sdružování – multiplexování do jednoho datového toku, ...) a použitých přenosových technologií (způsoby modulace vysokofrekvenčních rádiových signálů) pro efektivní využívání přidělených úseků rádiového spektra, na tyto druhy:

- pozemské pohyblivé (mobilní) a buňkové sítě,
- pozemské (terestrické) sítě pro rozhlasovou službu (pro rozhlasové a televizní vysílání),
- pevné sítě typu bod – bod nebo bod – mnoho bodů,
- družicová komunikace,
- rádiová komunikace na krátké vzdálenosti.

Z hlediska terminologie bude podle potřeby používáno v dalším textu pro větší srozumitelnost místo slova „pohyblivé“ (užíváno v české legislativě ve smyslu Radiokomunikačního řádu) méně přesného českého synonyma „mobilní“. Ten je všeobecně používán a obecně vnímán pro službu veřejné telefonické mobilní sítě.

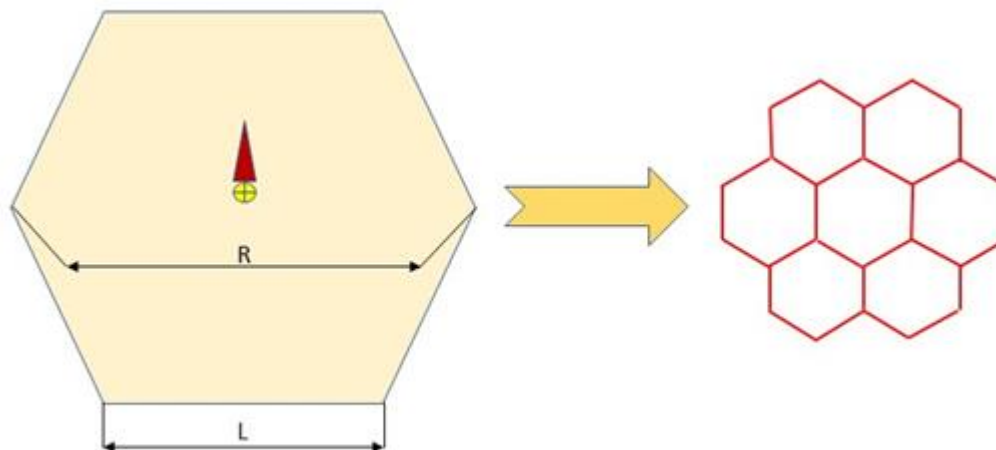
Postupně bude v dalších podkapitolách věnována pozornost pouze základním aspektům výše uvedených skupin služeb a používaným radiokomunikačním technologiím. To v míře nezbytné pro pochopení podstaty dané služby ve vztahu ke správě rádiového spektra a cílům tohoto materiálu. Hlubší poznání dané problematiky vyžaduje další odborné studium radiokomunikačních technologií pro jednotlivé druhy radiokomunikačních služeb používaných v Radiokomunikačním řádu.

4.1.1 Pozemská pohyblivá (mobilní) služba

Pozemské mobilní služby se podle Radiokomunikačního řádu dělí na:

- **pozemské** – komunikace mezi základnovou stanicí a mobilní stanicí, mezi mobilními stanicemi,
- **námořní** – komunikace mezi pobřežní stanicí a stanicí na lodi, mezi stanicemi na lodích včetně záchranných radiových majáků (EPIRB – Emergency Position-Indication Radio Beacon),
- **letecké** – mezi leteckou stanicí a letadlovou stanicí včetně leteckých záchranných radiomajáků vysílajících na vyhrazených tísňových (SOS) kmitočtech,
- **letecké mobilní (R)** – vyhrazené pro potřeby bezpečnosti a řízení letecké dopravy na letových koridorech,
- **letecké mobilní (OR)** – vyhrazené pro potřeby letecké koordinace primárně mimo národní nebo civilní prostor.

Mobilní služby a jejich sítě jsou v principu řešeny jako buňkové systémy využívající definovaný rádiový kanál (γ) ve vyhrazeném kmitočtovém pásmu. Princip struktury vytváření buňkových sítí je na obr. 14.



Obr. 14: Referenční buňka a sedmibuňkový klastr sítě

Základem je referenční buňka o velikosti R a L , která představuje jednotku sítě. Podle směru vyzařování antén základnové stanice může být struktura referenční buňky vícesektorová. V buňce probíhá obousměrná komunikace určitou radiokomunikační technologií (kódování, komprese, multiplexování,

přenosové protokoly, modulace vysokofrekvenčního signálu, parametry a směrování antén, ...) mezi jednotlivými uživatelskými terminály a základnovou stanicí.

Dále je buňka specifikována parametry, jako jsou například kmitočtové pásmo, struktura rádiových kanálů, vysílací výkon, přenosová rychlost, odstup signálu od šumu, ochranné pásmo pro zamezení nežádoucích interferencí, územní pokrytí a řada dalších. Velikost buňky je nepřímo úměrná k použitému kmitočtu vysokofrekvenční nosné vlny. Platí, že na nižších kmitočtech lze při stejném výkonu dosáhnout většího územního pokrytí.

Pro větší územní pokrytí se daná síť vytváří pomocí shlukování jednotlivých buněk do větších vzájemně komunikujících celků – klastrů.

Cílem je dosáhnout požadované kvality poskytovaných aplikací a služeb při minimalizaci nežádoucích interferencí a optimalizaci využívání použitého kmitočtového pásma. To v závislosti na požadované kapacitě a přenosové rychlosti výkonových a šumových parametrů pro danou velikost plošného územního pokrytí (nebo procentního počtu uživatelů).

Pro vysokofrekvenční přenos digitálních užitečných signálů (data, digitalizovaný hlasový signál, ...) se používá řada systémů pro vytváření přenosových kanálů. Mezi ně patří kmitočtově dělený duplex (FDD – Frequency Division Duplex), kde vysílání a příjem probíhá současně pomocí dvou různých kmitočtů. Tento způsob vyžaduje v rádiovém spektru kanálové oddělení pro zabránění interferencí mezi vysílaným a přijímaným signálem. Toto kmitočtové pásmo se označuje anglickým termínem „Guard Band“.

Dalším systémem je časově dělený duplex (TDD – Time Division Duplex), který používá jeden sdílený kmitočet, kde jsou přenášeny v obou směrech datové dávky v krátkých časových intervalech. Zde obecně hrozí možnost nežádoucího časového zpoždění, což může být citelné u hlasových signálů. Tento jev lze omezit dostatečně krátkou periodou datových dávek.

Pro řešení buňkových systémů a jejich sítí se používá řada přístupových technologií, které vyžadují mít k dispozici vyhrazené úseky kmitočtových pásem pro danou službu. V těchto pásmech se pak pro vysokofrekvenční přenos vytvářejí rádiové kanály o dané šíři kanálového pásma pro jejich konfiguraci a kmitočtové odstupy pro zajištění kvalitativních parametrů služby (přenosová rychlost, kapacita, šumové poměry, potlačení nežádoucích interferencí). Současně musí být zajištěna ochrana proti nežádoucím rušivým interferencím od dalších radiokomunikačních služeb v sousedních kmitočtových pásmech.

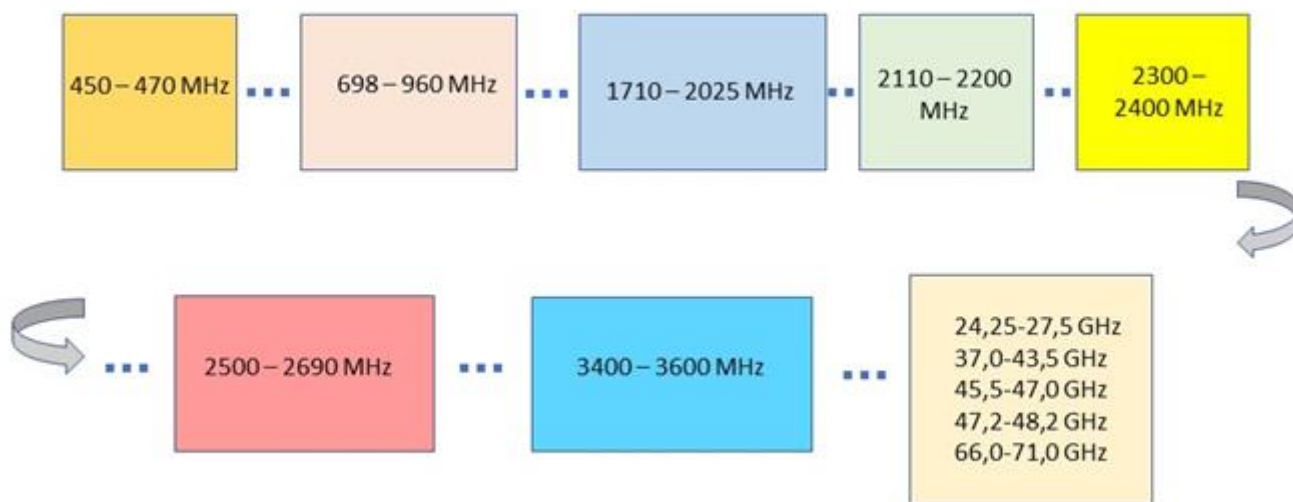
V rámci ITU bylo vypracováno doporučení ITU-R M.1036 pro mobilní síť poskytující veřejné hlasové a datové služby IMT 2000 (International Mobile Telephony) a dnes IMT. Pro něho byla navržena (identifikována) vhodná kmitočtová pásma, popsána struktura vytváření rádiových kanálů a použité telekomunikační technologie a další parametry potřebné pro regionální a národní kmitočtové koordinace a pro další rozvoj tohoto systému.

Na jeho základě pak v podstatě vznikaly celosvětové standardy jednotlivých generací mobilních sítí. Tyto standardy využívají výrobci zařízení a mobilní operátoři pro vybudování infrastruktury mobilních sítí a uživatelských terminálů (mobilních telefonů, datových přepínačů a směrovačů, ...).

Například historicky byly v mobilních digitálních systémech 2. generace, která umožňovala přenos hlasových a datových signálů s rychlostmi do 20 kb/sec, využívány a standardizovány přístupové (multiplexní) systémy pro mobilní sítě standardu GSM a pro buňkové sítě používající technologie TDMA (Time Division Mobile Access), CDMA (Code Division Mobile Access) a PDC (Personal Digital Cellular). Ty umožnily realizovat například bezdrátové WiFi sítě pro přístup do internetu podle známého standardu 802.11b s přenosovými rychlostmi do 11 kb/sec.

Postupně se z nich v dalších generacích (GPRS, EDGE, CDMA, DECT, UMTS, ...) vyvíjely další standardy až po zatím dnešní mobilní sítě 4 generace LTE (HSPA a MIMO agregace) a LTE (FDD a TDD) s přenosovými rychlostmi do 300 Mb/sec. Dnes stojíme na prahu zavádění mobilních systémů 5. generace. Ty budou umožňovat realizaci mobilní a buňkové sítě pro vysokorychlostní datové přenosy do řádově Gb/sec.

Pro současný systém IMT jsou v Radiokomunikačním řádu (edice 2019) identifikována pásma, která jsou uvedena na obr. 15.



Obr. 15: Kmitočtová pásma pro mobilní systém IMT

Je třeba poznamenat, že ne všechna uvedená pásma jsou ve skutečnosti celosvětově používána. Například pro mobilní sítě GSM je rozdílně využíváno kmitočtové pásmo v Evropě (pásmo 900 MHz) a v USA (pásmo 800 MHz).

Vzhledem k neustále rostoucím potřebám mobilních vysokorychlostních sítí se i nadále v ITU hledají možnosti identifikace dalších pásem. Příkladem může být omezení kmitočtového pásma v 700 MHz, pro televizní digitální vysílání ve prospěch mobilních služeb.

V souvislosti s rozvojem IMT (5G a 6G) bylo na WRC 19 uloženo rezolucí Res. 245 studovat další pásma pro IMT (3000-3400 MHz, 3600-3800 MHz, 6425-7025 MHz, 7025-7125 MHz z 10,0-10,5 GHz).

Pozemské mobilní a buňkové sítě jsou samostatným specializovaným a komplexním oborem přednášeným na univerzitách. Jejich význam nadále poroste. Zejména pak ve spojení s nutností zajistit dostatečně kvalitní a výkonnou vysokorychlostní infrastrukturu internetových sítí pro různé webové aplikace, internet věcí a mnoho dalších aplikací využívajících umělé inteligence.

4.1.2 Pevné pozemské služby

Obecně pevná pozemská radiokomunikační služba může mít strukturu „bod – bod“ nebo „bod – mnoho bodů“. Tento druh služby je definován v Radiokomunikačním řádu (článek 1, bod 120) tak, že se jedná o radiokomunikační službu probíhající mezi dvěma pevnými body.

Tuto definici můžeme interpretovat na pozemské služby následovně.

Pozemská pevná služba je radiokomunikační službou probíhající mezi dvěma pevnými body na zemském povrchu nebo v jeho blízkém okolí.

Poznamenejme, že blízké okolí lze chápat tak, že vysílací a přijímací stanice jsou pevně umístěny ve výškách nižších, než je podle Radiokomunikačního řádu považován kosmický prostor (Outer Space – zhruba nad 200 km).

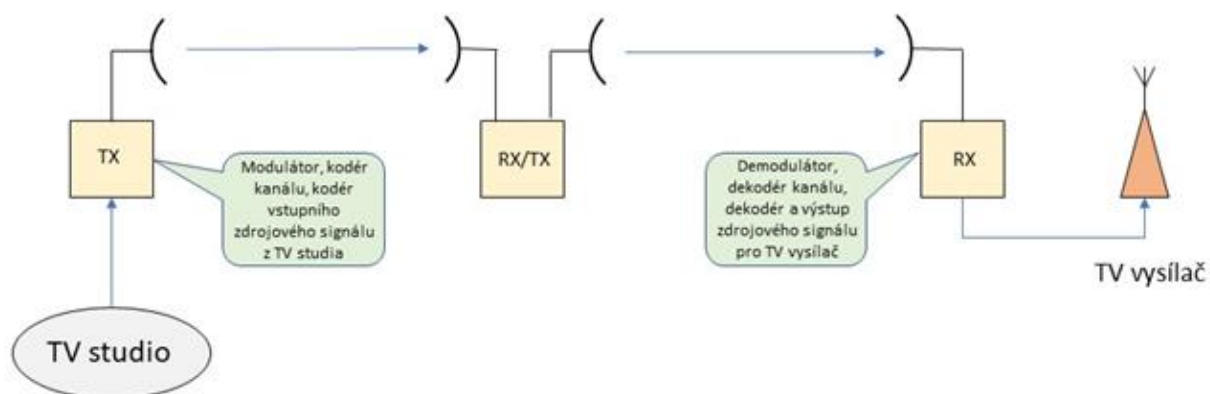
Příkladem pevné pozemské služby typu „bod – bod“ jsou mikrovlnné (radioreléové) spoje, které slouží k distribuci analogových nebo digitálních signálů pro různé účely (bezdrátové propojení základnových stanic mobilních systémů, distribuce TV a R programů pro napájení TV a R vysílačů, přístupové systémy datových WiFi sítí, ...).

Vzhledem k využívání vyšších kmitočtových pásem nad 1 GHz, kde šíření rádiového signálu má charakter optického šíření, jsou dosahované vzdálenosti mezi vysílací a přijímací stanicí od 1 km až do 50 km. Délka spojení je úměrná i charakteru prostoru, ve kterém se nosná vlna šíří. Na délku spojení mají vliv meteorologické podmínky (déšť, sníh), různé překážky a jejich odrazové vlastnosti (budovy, větve a listí stromů).

Například reálná délka skoku na přímou viditelnost v pásmu 14 GHz je kolem 45 km. Platí, že čím bude větší kmitočet nosného rádiového signálu, tak tím se bude délka skoku zkracovat.

Pro mikrovlnné spoje se obvykle využívají pásma od 2 GHz do 200 GHz.

V případě potřeby delších vzdáleností se používá vícenásobných úseků. Na obr. 16 je uveden příklad mikrovlnného spoje typu „bod – bod“ se dvěma skoky pro přenos (distribuci) televizního programového signálu z TV studia na TV pozemský vysílač.



Obr. 16: Mikrovlnný rádiový spoj typu „bod – bod“ s více skoky pro distribuci TV signálu ze studia na TV vysílač

Příkladem sítí typu „bod – více bodů“ jsou různé privátní datové nebo hlasové analogové nebo digitální sítě. Takové sítě jsou využívány k různým specifickým potřebám (například pro potřeby státu – integrovaný záchranný systém, armáda, vnitro, ...) nebo v rámci různých řídicích systémů v dopravě, zemědělství a průmyslu.

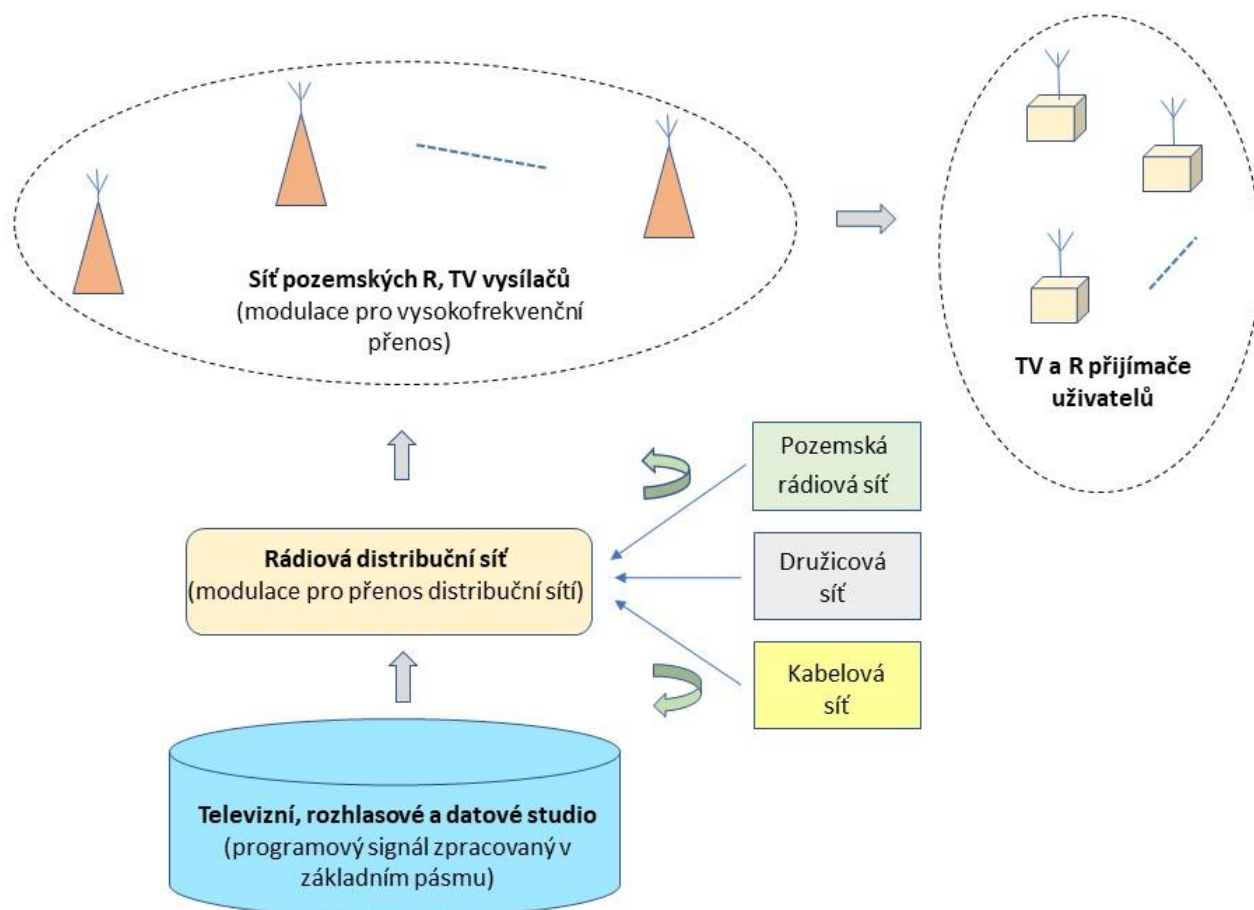
4.1.3 Pozemská rozhlasová služba

Rozhlasová služba (Broadcasting) je v Radikomunikačním řádu definována následovně.

Rozhlasová služba je určena pro poskytování přímého příjmu veřejnosti a zahrnuje vysílání rozhlasových a televizních programů nebo jiných druhů vysílání.

Pod pojmem rozhlasová služba se rozumí veřejné šíření programů televizního (TV) a rozhlasového (R) vysílání a dat (text jako doplněk programového signálu, dopravní informace, ...). To je dnes možné realizovat sítěmi pozemských vysílačů (terestrické vysílání) a i prostřednictvím kabelových rozvodů, mobilních sítí, družicových sítí a internetu.

Přenosový řetězec pro pozemské vysílání, které je předmětem této kapitoly, je zjednodušeně zobrazen na obr. 17.



Obr. 17: Uspořádání přenosového řetězce pro pozemské TV a R vysílání

V současné době existují dva způsoby zpracování a kódování TV a R signálů v základním pásmu a pozemského vysílání, a to analogový a digitální. Postupně dochází v jednotlivých zemích k vypínání analogového vysílání. Ochrana analogové rozhlasové služby v přidělených kmitočtových pásmech obsažená v Radiokomunikačním řádu se předpokládá celosvětově do roku 2031, s výjimkami až do roku 2035. V České republice bylo analogové TV a R vysílání ukončeno v roce 2011.

Pro pozemské rozhlasové vysílání jsou vyhrazeny rádiové kanály o šířce pásma 9 kHz s AM modulací nosné vlny v pásmu dlouhých (153–279 kHz), středních (525 kHz – 1710 kHz) a krátkých vln (úseky do kmitočtu 26,1 MHz), které se liší pro jednotlivé regiony. Například pro region 1 (Evropa, Afrika, severní a centrální Asie) to je pásmo dlouhých vln (153 kHz – 279 kHz) a středních vln (531 kHz – 1611 KHz).

Pro rozhlasové vysílání s FM modulací v pásmu 88 MHz – 108 MHz se používá VHF pásmo s rádiovými kanály o šířce 15 kHz.

Digitální rozhlasové vysílání používá rádiových systémů s kódováním a modulací podle použitého kmitočtového pásma. Systém DRM využívá střední a krátké vlny. Digitální systém T-DAB, IBOC (High

definition FM) vysílá v pásmu 174 MHz – 230 MHz, dále se využívá i vyhrazených kanálů v rámci digitálních systémů pro televizní vysílání.

Pro pozemské TV vysílání jsou vyčleněna VHF a UHF pásma I. až V. V závislosti na regionu ITU je to v rozsahu 47 MHz – 862 MHz (region 1, 3) a I. až III. a UHF 54 MHz – 698 MHz (region 2). V těchto pásmech je pak vytvořen různý počet kanálů s odstupem o šířce 6 MHz – 8 MHz podle použitého způsobu modulace vysílaného vysokofrekvenčního nosného signálu.

Pozemské analogové barevné TV vysílání používá pro přenosový kanál tyto standardy:

- NTSC – 525 řádků, kvadrurní amplitudovou modulaci subnosné vlny (QAM) kódování a využívalo šíří pásma 4,2 MHz,
- PAL – 625 řádků, QAM, šíře pásma 6 MHz,
- SECAM – 625 řádků, FM modulace subnosné, šíře pásma 6 MHz.

Pozemské digitální vysílání umožňuje v jednom TV analogovém rádiovém kanálu přenést více TV a R programů. Díky různým kompresním metodám lze v závislosti na kvalitě přenášeného zdrojového signálu (například Standardní video, HD – video, Full HD, ...) dosáhnout umístění až 8 programů v kvalitě HD na kmitočtu pro jeden analogový kanál. Čím vyšší kvalita videa, tím méně programů lze do jednoho TV analogového kanálu vložit. Obrazové a zvukové signály jsou v základním pásmu kódovány a multiplexovány podle mezinárodně standardizovaných protokolů ISO/IEC na základě doporučení ITU (např. MPEG-2, MPEG-4). Jsou označovány jako H.2XX.

Pro nosný vysokofrekvenční signál se používá převážně modulace OFDMA (Ortogonal Frequency Division Multiple Access) u systému DVB-T a DVB-T2.

V různých částech světa se používají různé standardizované systémy označované jako ATSC, DTMB, DVB-T1, DVB-T2, DVB – H, ISDB-T. V Evropě a u nás jsou to systémy DVB-T a nově DVB-T2 (v ČR plně od r. 2021).

Digitální sítě jsou vytvářeny formou multiplexů na jednotlivých TV analogových kanálech v podobě jednokmitočtových nebo vícekmitočtových sítí s celoplošným nebo lokálním pokrytím. V případě interaktivní televize se pro zpětný radiokomunikační datový kanál používá WiFi sítě, zpětný kanál systému DVB (DVB-RC), IMT apod.

Vypnutím sítí analogové televize byla umožněna takzvaná 1. digitální dividenda. Ta umožnila TV kanály v pásmu 800 MHz (790 MHz – 862 MHz) poskytnout mobilním sítím IMT. Tlak na další kmitočty pro IMT (sítě 4G a 5G) vede ke druhé digitální dividendě v pásmu 700 MHz, která se týká kmitočtového úseku 692 MHz – 790 MHz. To je také důvod, proč je nutné přejít v pozemském TV a R vysílání na systém DVB-T2.

Podrobněji o některých aspektech digitálního pozemského vysílání směrem ke správě rádiového spektra bude pojednáno v příslušných kapitolách. Pro hlubší a komplexnější studium problematiky TV a R vysílání lze doporučit [1].

4.1.4 Družicové služby

V současné době se velkým tempem rozvíjí veřejné a neveřejné radiokomunikační služby, které využívají rádiové komunikace realizované pomocí družic nebo jiných objektů pohybujících se v kosmu. Družicové služby jsou využívány pro potřeby státu a jeho obranných a záchranných složek, komerční využití (doprava, telekomunikace, ...) a pro vědecké, výzkumné účely a pro astronomii.

Za kosmos se považuje prostor s výškou větší než 200 km nad zemským povrchem.

V návaznosti na definici družicové rádiové služby v úvodu kapitoly 1.3, je v dokumentech ITU (technické zprávy, doporučení, standardy, rezoluce) používána následující definice družicové rádiové komunikace.

Družicovou rádiovou komunikací se rozumí jakákoliv rádiová komunikace využívající jednu nebo více kosmických stanic, nebo jednu nebo více družic či jiných objektů v kosmu.

Družice nebo jiné objekty pohybující se v kosmu, jako jsou kosmické stanice (např. Mezinárodní kosmická stanice ISS), které se dělí podle charakteru pohybu na své dráze vůči pozorovateli na Zemi na stacionární (geostacionární dráhy), označované v dokumentech ITU jako GSO nebo GEO, a pohyblivé (orbitální) označované jako NGSO nebo NGO.

Tyto dráhy jsou dále děleny podle výšky a průběhu dráhy nad zemským povrchem. GSO dráhy jsou vedeny nad zemským rovníkem ve výškách nad 35 786 km.

NGSO orbitální dráhy jsou rozděleny následovně:

- nízká oběžná dráha LEO (Low Earth Orbit): 160–2000 km – využívána malými družicemi (CubeSat, Orbcomm, meteorologické družice, skenování a monitorování Země, ...),
- střední oběžná dráha MEO (Medium Earth Orbit): 2000–35 786 km, využívány pro telekomunikační služby (mobilní sítě Inmarsat, Iridium, Global Star, VSAT, ...), navigační (GPS, Galileo, Glonass, Beidou) a monitorování,
- vysoká orbitální dráha HEO (High Earth Orbit): větší jak 35 786 km je zatím zřídka užívaná,
- vysoká eliptické dráha HEO (Highly Elliptical Orbit): nejvzdálenější bod na dráze družice (apogeum) je větší jak 35 786 km a využívá ji převážně ruská telekomunikační síť Molnija.

Další dělení těchto drah je podle toho, zda přelétávají nad póly Země (polární orbitální dráhy), nebo jsou vedeny mimo zemské zeměpisné póly.

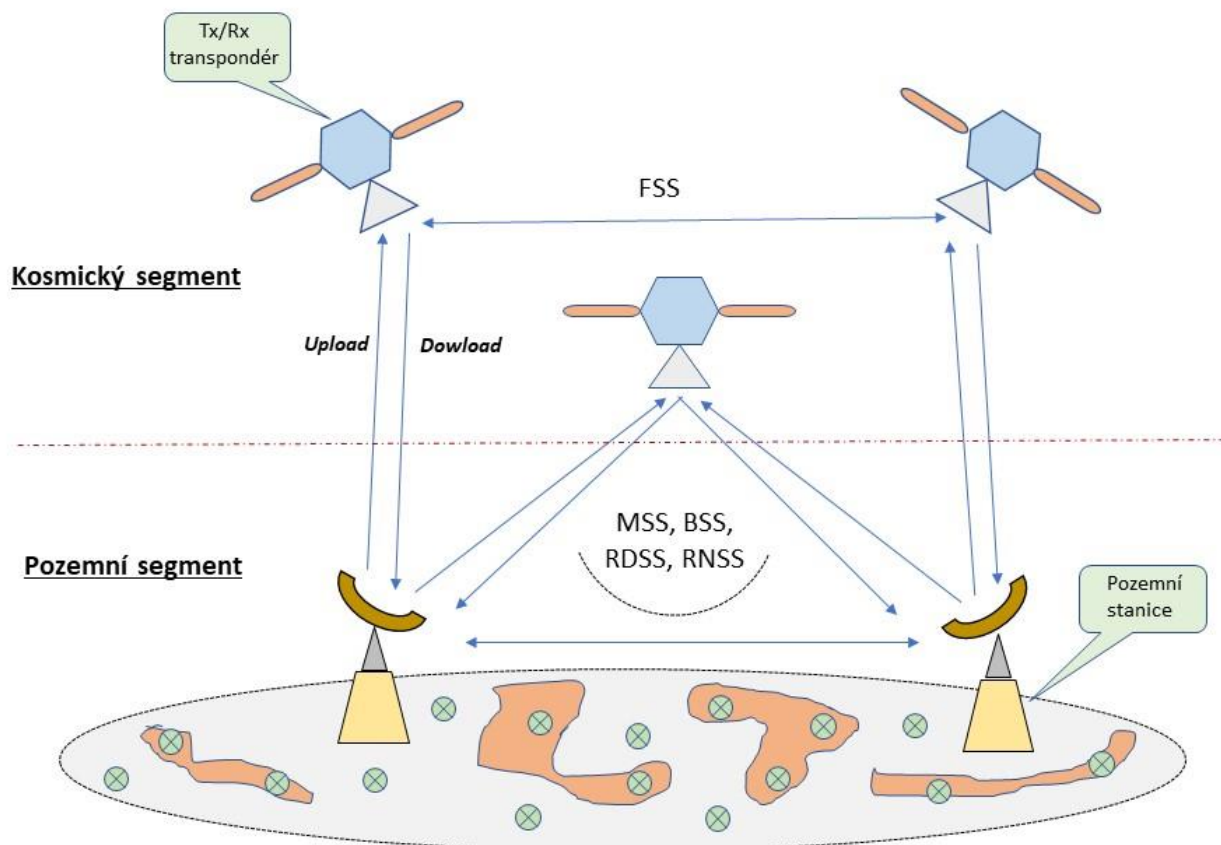
Z hlediska radiokomunikačních služeb se služby na GSO drahách dělí na pevné družicové služby FSS (Fixed Satellite Services) a družicovou rozhlasovou službu BSS (Broadcasting Satellite Service).

Na NGSO orbitálních drahách je dělení služeb na:

- mobilní družicové služby MSS (Mobile Satellite Services),
- družicovou radiourčovací službu RDSS (Radio Determination Satellite Service),
- družicovou radionavigační službu RNSS (Radio Navigation Satellite Service),
- provozní družicové služby SOS (Space Operational Services).

Další dělení těchto služeb je podle způsobu využití jako například mobilní družicová služba, námořní družicová služba, letecká pevná družicová služba, rozhlasová družicová služba, družicová radionavigační služba námořní nebo letecká, astronomická služba atd.

Družicové rádiové kanály pro výše uvedené služby jsou zjednodušeně uvedeny na obr. 18. Jak je patrné, tak družicový rádiový kanál má dva základní prvky – pozemní segment a kosmický segment. Vlastní rádiová komunikace má charakter duplexního nebo simplexního provozu jak pro komunikaci pozemní stanice s družicí nebo mezi družicemi.



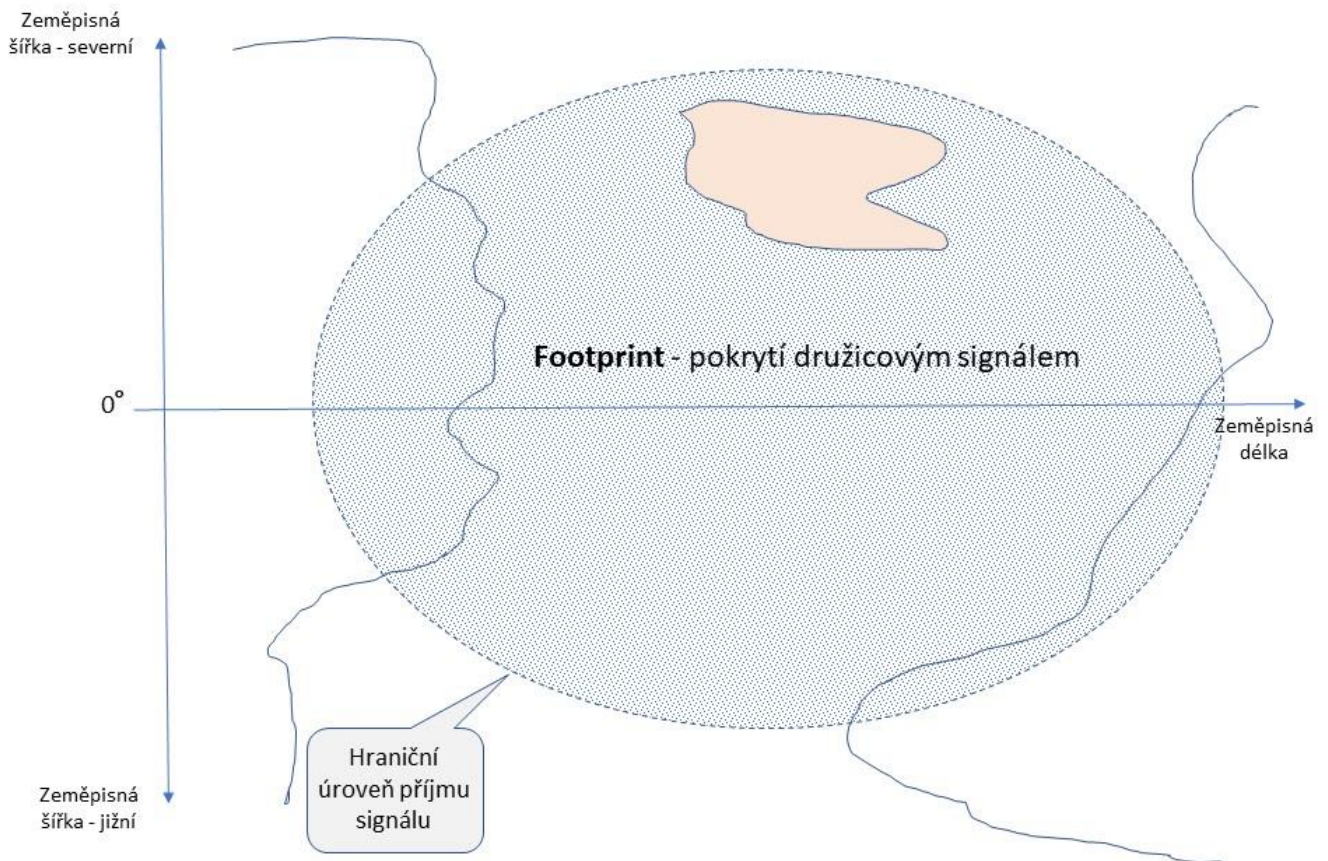
Obr. 18: Zjednodušená struktura družicových rádiových kanálů pro různé družicové služby

Družice mohou být jednotlivé nebo součástí nějaké konstelace více družic tvořících určitou síť pro danou službu. Rádiová komunikace probíhá pomocí zařízení, pro která se užívá název transpondér. Transpondér přijímá signál („upload“ z pozemní stanice nebo pozemního mobilního terminálu) a vysílá signál buď nějakým způsobem zpracovaný nebo bez zásahu do něho zpět (download) směrem k pozemní stanici dané družicové služby nebo k družicovým přijímačům uživatelů na Zemi. Transpondéry pracují v různých módech v závislosti na tom, zda dochází ke změně mezi přijímaným a vysílaným kmitočtem.

Příkladem takové sítě může být telekomunikační síť Iridium, která v konstelaci 75 družic poskytuje mobilní hlasové a datové služby po celé zeměkouli (včetně pólů).

Provoz kosmického segmentu vždy vyžaduje realizovat (vyhradit) speciální duplexní rádiový kanál pro řízení vnitřních systémů vlastní družice a jejího užitečného vybavení (payloadu).

Vyjma mezidružicové komunikace, rádiový signál vysílaný z družice pokrývá určitou plochu na zemském povrchu, kde je možný jeho příjem s požadovanou kvalitou. Pro tuto plochu je používán pojem „footprint“. Příklad grafického zobrazení footprintu je uveden na obr. 19.



Obr. 19: Grafického zobrazení footprintu družice na zemském povrchu

Pro potřeby správy rádiové spektra (vymezení geografického území, technické parametry přenosového kanálu pro zamezení nežádoucích interferencí, ...) a družicových služeb (vymezení geografického území zaručující příjem poskytované služby v požadované kvalitě) jsou vytvářeny footprinty pro různé úrovně přijímaných signálů.

Například v rámci TV družicového vysílání jsou pro různé programy nebo poskytovatele programů na jedné družici vyhrazena vysílací zařízení (transpondéry). Jejich anténní systémy vytvářejí určitý footprint na zvoleném území jednoho nebo více států. Tyto anténní systémy lze dálkově ovládat z pozemní stanice, a tak měnit například v závislosti na otáčení Země (denním a nočním čase) pokrytí vybraných geografických částí.

Pro všechny družicové služby jsou v Radiokomunikačním řádu vyhrazeny příslušné kmitočtové úseky rádiového spektra zhruba v rozsahu od 20 MHz do 300 GHz.

Neoddělitelnou součástí jednotlivých družicových služeb je, kromě přidělení úseku kmitočtového pásma pro družicový a pozemní segment (pozemní družicovou stanicí nebo stanicí), také přidělení pozice na GSO dráze nebo orbitální dráhy pro NGOS družice. Dále pak vymezení pokrytí na zemském povrchu

(footprint) spolu s dalšími technickými parametry (například výkony uplinku, downlinku, kmitočtové masky, parametry antén, ...) pro zabezpečení jak vlastní služby, tak i ochrany dalších pozemských a družicových služeb provozovaných v sousedních úsecích rádiového spektra před nežádoucími interferencemi.

Pro hlubší studium problematiky družicových rádiových komunikací lze doporučit publikace [1] a [10] a dokumenty ITU (převážná většina je volně dostupná na www.itu.int). Na internetu lze nalézt mnoho dalších užitečných studijních zdrojů. Pro naše potřeby lze považovat uvedené za postačující.

Další podrobnosti, včetně administrativních záležitostí, související s družicovými službami budou popsány v kapitole 5.5, která se zabývá strukturou a obsahem Radiokomunikačního řádu ITU.

4.1.5 Radiokomunikační služby pro průmyslové účely, vědu a zdravotnictví a rádiová komunikace prostřednictvím zařízení s krátkým dosahem

Zařízení s krátkým dosahem obsahují rádiové vysílače a jejich signál lze přijímat na krátké vzdálenosti řádově do stovek metrů. Tato rádiová zařízení představují rozsáhlou skupinu zařízení, která se vyznačují specifickými vlastnostmi v závislosti na jejich použití a způsobem jejich regulace s ohledem na využívání rádiového spektra. To i ve vztahu k zajištění ochrany proti nežádoucím interferencím jak jejich vlastní rádiové komunikace, tak i vůči ostatním radiokomunikačním službám v souladu s příslušnými ustanoveními Radiokomunikačního řádu.

Pro tuto skupinu zařízení jsou vytvořena specifická regulační opatření a podmínky pro jejich provozování. Tedy zda je nutné žádat regulační orgány o povolení k jejich provozování (licenční režim), nebo je lze provozovat volně za splnění specifických technických podmínek v rámci takzvaných bezlicenčních úseků rádiového spektra. Podrobněji bude toto téma diskutováno v rámci kapitol 6.2 a 6.4.

Z tohoto pohledu lze tato vysílací zařízení rozdělit na dvě hlavní skupiny.

První skupinu představují rádiová zařízení používaná pro průmyslové účely, vědu a zdravotnictví ISM (Industrial, Scientific, Medical). Pro ně Radiokomunikační řád vymezuje určité úseky rádiového spektra spolu s opatřeními pro ochranu jejich rádiové komunikace.

ISM zařízení jsou v Radiokomunikačním řádu definována následovně.

ISM jsou zařízení navržená pro generování a využívání lokální energie rádiového spektra za účelem jejich používání pro potřeby průmyslu, vědy a zdravotnictví a místní nebo podobné účely nezahrnující telekomunikační služby.

Pro tato zařízení jsou v Radiokomunikačním řádu vymezeny úseky rádiového spektra od 6,7 MHz do 300 GHz. Šířka kmitočtového pásma v jednotlivých úsecích rádiového spektra vyhrazených pro zařízení ISM je různá v závislosti na konkrétních kmitočtových pásmech a pohybuje se od 10 kHz na dolních části úseku vymezeného rádiového spektra do 2 GHz v horní části. Přitom vysílací výkony v pásmech pro ISM nejsou omezovány.

Kmitočty pod 1 MHz jsou využívány například pro indukční ohřev, ultrazvukové čištění, elektrické pokovování nebo indukční sváření materiálů. Kmitočty v pásmu 1 MHz – 10 MHz jsou využívány pro chirurgickou diatermii, indukční generátory při výrobě polovodičů, stabilizované radiofrekvenční sváření nebo pro elektrické chirurgické přístroje. Pásmo 10 MHz – 100 MHz pro sušící zařízení různých materiálů, nanášení a barvení kovových a nekovových materiálů, elektrická zařízení používaná při výrobě keramiky, knih a kopírování dokumentů, u různých zdravotnických přístrojů pro diatermii a hypertermii (27 MHz) a jejich aplikací na pacientech. Kmitočtové pásmo 100 MHz – 915 MHz je vyhrazeno pro zdravotnické aplikace (433 MHz), zařízení pro hypertermii při léčení rakovinových nádorů (433 MHz a 915 MHz), pro zpracování potravin (915 MHz), pro různé radiofrekvenční generátory a při vulkanizaci (915 MHz). Nad těmito pásmy jde o využití v různých mikrovlnných zařízeních (například trouby pro ohřev potravin – 2,45 GHz) nebo v plazmových generátorech při vulkanizaci.

Druhou skupinou jsou zařízení s krátkým dosahem označovaná jako SRD (Short Range Devices). Tato vysílací zařízení užívají směrové nebo všesměrové antény a mohou využívat kmitočtová pásma pro ISM, ale nesmí ohrožovat jejich služby. Pro svůj provoz využívají globální a národní harmonizovaná bezlicenční pásma. Zařízení SRD neposkytují radiokomunikační služby a nemají žádnou ochranu svojí rádiové komunikace specifikovanou v Radiokomunikačním řádu.

SRD zařízení lze nalézt v těchto aplikacích:

- **Širokopásmové datové sítě – RLAN (lokální) nebo WLAN – WiFi** a přístupové sítě, různé ultraširokopásmové materiálové a lokalizační radary, zařízení pro detekci modulovaných nosných signálů (NFC – Near Field Communication), videa nebo zařízení provozovaná v nevyužívaných částech rádiového spektra (bílá místa – White Space).
- **Zařízení pro rádiovou identifikaci (RFID – Radio Frequency Identification Device)** – osobní identifikace, indukční identifikace různých materiálových komponent (například zboží v prodejnách, součástky ve skladech), přibližovací senzory (automatické ochrany), rádiové aktivační klíče (dálkové uzamykání automobilů).
- **Dopravní telematické systémy** – brány pro výběr mýta, automobilové imobilizéry, v letecké dopravě monitorování přepravovaného nákladu, systémy pro otvírání dveří, síť Bluetooth.
- **Zařízení pro rádiovou lokalizaci** – automobilové radary a radarové senzory pohybu a tvaru.
- **Hlasová zařízení** – dětské hlídače, osobní komunikátory (Walkie – Talkie), bezdrátové mikrofony, ušní naslouchátka, bezdrátová sluchátka a reproduktory, různé dálkové ovladače domácí elektroniky.

- **Telemetrická, sledovací zařízení a monitorovací zařízení** – sledování dopravy, měření vzdáleností, monitorování a řízení pouličního osvětlení, zařízení pro systémy používané pro zavádění prvků do takzvaných „smart měst“ (Smart Cities).
- **Zdravotnické přístroje** – aktivní medicínské implantáty umístované v lidském těle, telemetrické systémy pro sledování pacientů.
- **Zařízení pro komunikaci „stroj – stroj“ (M2M – Machine to Machine)** a pro metropolitní strojové sítě (M3M) typu „mesh“ (dynamicky se měnící konfigurace v lokální buňkové síti v závislosti na provozním zatížení).
- **Alarmová zařízení** – protipožární systémy, monitorování úniku jedovatých látek, různé tísňové a bezpečnostní systémy, sociální alarmy.
- **Systémy pro domy** – alarmy, senzory pohybu a stavu technického a bezpečnostního vybavení bytů a domů, komponenty pro zavádění „smart domů“ (Smart House).

Tato kapitola 1.3 se věnovala radiokomunikačním službám a jejich technickým prostředkům s ohledem na jejich využívání a přidělování kmitočtových úseků rádiového spektra podle Radiokomunikačního řádu.

Výklad byl zaměřen především na osvětlení základních charakteristik jednotlivých radiokomunikačních služeb, jejich technických prostředků a na základní orientaci v dané problematice. Z tohoto důvodu byly uváděny v textu i důležité anglické názvy a zkratky, které jsou užívány jak v Radiokomunikačním řádu, tak i v českých odborných publikacích a odborné radiokomunikační komunitě. To vše v míře nezbytné pro pochopení dalších kapitol věnovaných správě a regulaci rádiového spektra a pro porozumění struktury, obsahu a používání Radiokomunikačního řádu.

Pro hlubší studium jednotlivých radiokomunikačních pozemských a družicových systémů spolu s nezbytným matematickým a výpočetním aparátem pro jejich návrh a provozní realizaci lze odkázat na uvedené zdroje v tomto materiálu a ve velké míře dostupné knižní publikace a zdroje na internetu.

5 Správa rádiového spektra

Předchozí kapitola se věnovala základům rádiové komunikace a některým technickým záležitostem spojeným s dnes používanými radiokomunikačními systémy a zařízeními, jejich využíváním pro různé radiokomunikační služby a vlastnostmi šíření rádiových vln. To vše v míře potřebné pro pochopení nejen technických, ale i dalších aspektů v oblastech spojených se správou rádiového spektra, které jsou předmětem následujících kapitol.

Správu rádiového spektra je třeba chápat jako jeden celek tvořený jak vlastní technickou správou jednotlivých kmitočtových úseků rádiového spektra (kmitočtovým inženýrstvím), tak i legislativními opatřeními pro regulaci při jejich využívání (strategie, legislativa). Úroveň, efektivitu a praktickou aplikovatelnost správy rádiového spektra lze považovat za zcela zásadní aspekt rozvoje radiokomunikací a jejich služeb ve všech oblastech lidské společnosti.

S radiokomunikacemi se setkáváme každý den. Ať již vědomě, například při používání mobilního telefonu, rozhlasu nebo televize, nebo nevědomě v různých dopravních prostředcích, při návštěvě lékaře nebo při nákupu v supermarketu.

Význam radiokomunikací roste i díky potřebám komunikace „stroj – stroj“ (M2M). To v souvislosti s dnešním dynamickým rozvojem mobilních rádiových systémů pro potřeby „smart“ všeho možného, využíváním technologií internetu věcí apod. Rádiová komunikace je zásadní i pro zavádění konceptu průmyslové evoluce nazývaného „Průmysl V 4.0“. Ten je těsně spojen s robotizací a aplikacemi umělé inteligence.

Rovněž stále výraznější pronikání lidstva do kosmu se promítne do probíraného tématu. Stačí si například uvědomit, co za nové otázky v našem tématu přináší rozšiřování rádiové komunikace prostřednictvím konstelací tisíců malých družic na LEO dráhách pro globální pokrytí internetem nebo monitorování Země.

Je třeba si uvědomit, že i techniky a legislativa spojená se správou rádiového spektra dnes procházejí rovněž dynamickým vývojem a mají stále více globální charakter založený na harmonizaci ve využívání kmitočtových úseků rádiového spektra. V případě České republiky (ČR) to jsou harmonizační procesy Evropské unie (EU) a Konference poštovních a telekomunikačních správ CEPT směrem ke správě a využívání rádiového spektra. Rovněž tak naše členství v ITU náš stát zavazuje k naplňování ustanovení Radiokomunikačního řádu a dalších závazků v této organizaci.

To vše vede i k nutnosti změn v dosavadních přístupech k metodám a procesům používaných ve správě rádiového spektra. Proto byl například v roce 2014 v ITU zpracován koncept nového paradigmatu správy rádiového spektra čtvrté generace („Fourth-generation regulation“). Ten je zaměřen na podporu zavádění digitálních komunikací a jejich aplikací v informační společnosti a zavádění digitální ekonomiky. Cílem v této oblasti je dosáhnout maximální efektivity ve využívání rádiového spektra a dostupnosti pro všechny zájemce.

Vzhledem ke složitosti a rozsáhlosti tématu se v této kapitole bude možné věnovat pouze podání základních aspektů a důležitých vzájemných souvislostí tak, aby to mělo funkci dobrého odrazného můstku k dalšímu hlubšímu studiu.

5.1 Rádiové spektrum

Rádiové spektrum představuje vymezený úsek kmitočtů z celkového spektra elektromagnetických vln generovaných přírodními (například sluneční záření, bleskové výboje, světelná záření živočichů) a umělými zdroji (rádiové vysílače, infrazářiče, jiskření u elektrických motorů nebo alternátorů automobilů, ...).

V této a následujících kapitolách se budeme věnovat rádiovému spektru z hlediska jeho správy tak, jak vyplývá z celosvětově přijímaného Radiokomunikačního řádu ITU a dalších aspektů, které jsou spojené s regulací pro jeho využívání.

Předmětem správy rádiového spektra a regulace Radiokomunikačního řádu je úsek v rozsahu 9 kHz až 3000 GHz. Základní rozdělení rádiového spektra je uvedeno v Tab 1 v kapitole 2.1.4.

Rádiové spektrum z hlediska jeho správy a regulace má tyto základní vlastnosti a atributy:

- je to vzácný, ale obnovitelný přírodní zdroj, který umožňuje přenos (dopravu) informací a dat pomocí elektromagnetických vln na Zemi a v kosmu,
- vzhledem k fyzikálním vlastnostem elektromagnetického vlnění ho nelze omezit podle geografických státních a jiných hranic,
- je volně přístupné všem ve smyslu práva na jeho využívání,
- je využíváno a spravováno prostřednictvím mezinárodních smluv a národních politik,
- jeho využívání je nepostradatelné v oblasti ekonomické, sociální a kulturní v každém společenském uskupení (v každém státě) pro budování informační společnosti,
- má ekonomickou hodnotu a je obchodovatelnou komoditou na radiokomunikačním trhu.

Už z předchozích kapitol je zřejmé, že rádiové spektrum je ve své podstatě na základě svých fyzikálních vlastností dostupné všem lidem. Vyžaduje to mít jen vhodné zařízení pro vysílání a příjem rádiových signálů.

Na první pohled by se mohlo zdát, že díky této vlastnosti a všeobecnému právu na jeho využívání ho lze využívat naprosto volně. Tedy že lze používat rádiová zařízení v jakékoliv části rádiového spektra bez ohledu na jeho ostatní uživatele. Je jasné, že takováto anarchie je sice teoreticky možná, ale nepochybně pro zajištění kvality radiokomunikačních služeb a potlačení možnosti vzniku nežádoucího vzájemného rušení (interferencemi) v praxi nepoužitelná.

To vše je tedy ještě komplikováno tím, že elektromagnetické vlnění nelze ze své podstaty jednoduše omezovat striktně státními hranicemi. Sice je možné vhodnými vlastnostmi anténních systémů a filtrace na daném úseku kmitočtového pásma do jisté míry zajistit pokrytí určitého území a potlačení příjmu mimo něho. Avšak díky možným odrazům šířící se elektromagnetické vlny od vysílače k přijímači spolu s možností generování harmonických kmitočtů nosné vlny vlivem různých nelinearit v přenosovém kanálu to nelze plně zajistit. Takto může každý přijímat rádiové signály nesoucí různé informace a data (například volné TV a R programy, internet, data), které původně nejsou určeny k veřejnému (bezplatnému) využití.

Na druhé straně lze generovat záměrně rušivé signály, a tak ovlivňovat kvalitu radiokomunikačních služeb a tím pak třeba ohrozit nebo ochromit například různé bezpečnostní a záchranné systémy, krizovou infrastrukturu státu, řídicí systémy v dopravě, lékařské přístroje apod.

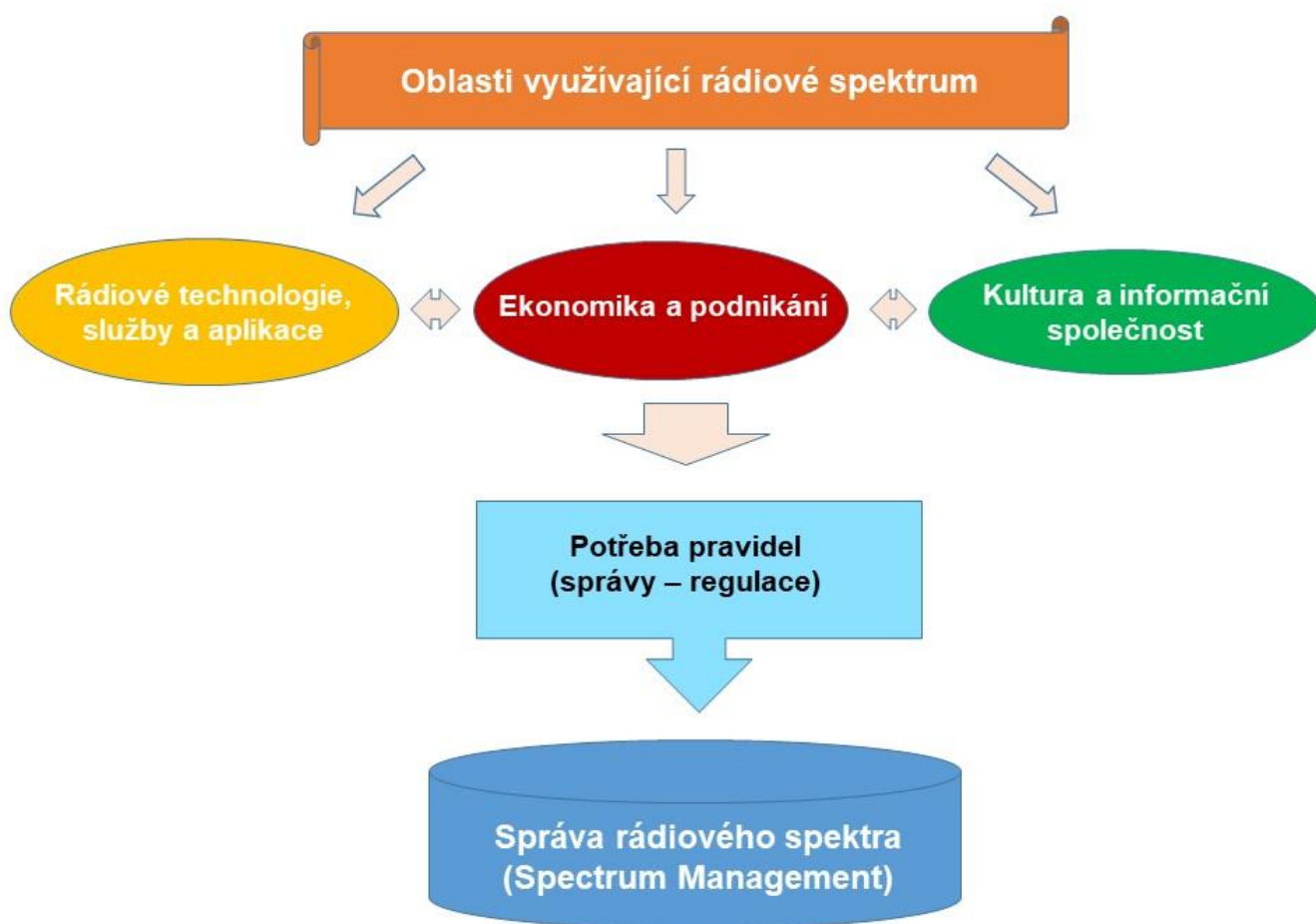
Z uvedených základních vlastností rádiového spektra je zřejmé, že pro využívání rádiového spektra musí existovat nějaká pravidla. O hlavních důvodech a způsobech jejich zavedení bude pojednáno v následující kapitole.

5.2 Důvody a aspekty pro správu rádiového spektra

V předchozí kapitole jsme se věnovali obecným a charakteristickým vlastnostem rádiového spektra ve vztahu k jeho správě.

Pro pochopení důležitosti definování pravidel využívání rádiového spektra jak z pohledu technického (pravidla pro přidělování kmitočtových úseků rádiového spektra pro radiokomunikační technologie a služby, standardy), tak legislativního (regulační pravidla pro provozování radiokomunikačních služeb opřené o právní akty). Tato pravidla tvoří komplex, pod kterým bude dále chápána správa rádiového spektra. Proto bude užitečné si podrobněji rozebrat hlavní důvody a aspekty, které vedly k jejich vzniku a používání obou skupin zmíněných pravidel.

Obecně si lze potřebu a prvky správy rádiového spektra představit tak, jak je ukázáno na obr. 20.



Obr. 20: Prvky správy rádiového spektra

Základním aspektem je, že rádiové spektrum je veřejným vzácným, omezeným obnovitelným přírodním zdrojem. Vlastnost veřejného zdroje mimo jiné znamená, že musí existovat soubor pravidel, který dává každému zájemci možnost využívat kmitočty rádiového spektra pro své potřeby. Aby to bylo prakticky

realizovatelné, tak historicky v souladu s vývojem telekomunikačních technologií docházelo na mezinárodní celosvětové úrovni k jejich vypracování a pokud možno i k respektování.

Je zřejmé, že díky využívání rádiového spektra v ekonomice a podnikání má rádiové spektrum ekonomickou hodnotu a je tedy komoditou na radiokomunikačním trhu. Proto i legislativní regulační pravidla pro rádiové spektrum musí vhodným způsobem odrážet i pravidla uplatňovaná na soutěžním konkurenčním trhu. Tato pravidla musí být pokud možno uplatňována celosvětově, regionálně a v jednotlivých státních územích (národní úroveň).

Příkladem celosvětového přístupu je členství 193 států v ITU a vznik Radiokomunikačního řádu. Na regionální úrovni to je v Evropě sdružení 48 států v mezivládní organizaci CEPT ve spolupráci s EU. Cílem je dosažení jednotných pravidel regulace služeb elektronických komunikací (tj. drátových a bezdrátových) a harmonizace využívání rádiového spektra v Evropě.

Rádiová komunikace je nepochybně efektivním prostředkem podporujícím rozvoj hospodářství, dopravy, podnikání, budování infrastruktury státu, kulturní a sociální rozvoj každé společnosti v celém světě. Pokud se týká korporátní oblasti (podnikání), tak radiokomunikace mají vliv zejména na růst efektivity výroby a snižování provozních nákladů.

Rovněž pro jednotlivce přinesly radiokomunikační služby v podobě mobilních telefonů, televizorů, radiopřijímačů a možností využívání bezdrátového přístupu do internetu rozvoj v oblasti kultury, vzdělávání a zábavy.

Bezesporu dnes žijeme ve věku internetu, mobilních telefonů, digitální ekonomiky a nepřehledného množství aplikací pod shrnující zkratkou „smart“ neboli „chytré“. Jsme na prahu robotizace, nárůstu aplikací typu „stroj – stroj“, „stroj – člověk“ a aplikací využívajících umělé inteligence. Je nepochybné, že poptávka po radiokomunikačních službách nadále poroste v souvislosti s potřebami vysokorychlostních datových přenosů v mobilních i pevných sítích, vysokorychlostního přístupu do internetu, zavádění internetu věcí v řadě „smart“ aplikací, realizace konceptu Průmysl 4.0, mobilních sítí 5G a využívání družicových komunikací. To vše směřem ke stavu, kdy za součást lidského života bude považována potřeba přístupu k informacím a službám kdykoliv a kdekoliv.

Z pohledu správy rádiového spektra znamenají výše uvedené aspekty potřebu výrazného zaměření se na vypracování a zavádění odpovídajících metod správy rádiového spektra. Takových, které zajistí jeho efektivní využívání a budou umožňovat včasný vývoj a výrobu nebo inovace radiokomunikačních technologií pro poskytování požadovaných kvalitních služeb. Jestliže například pro mobilní síť rádiové síť 3G postačily kmitočtové úseky o šířce 5 MHz, tak pro síť 4G už to je 10 MHz a pro síť 5G 20 MHz a více.

Přitom je třeba zdůraznit, že rádiové technologie a radiokomunikační služby musí splňovat podmínky neutrality. To znamená, že daná služba může být zajištěna prostřednictvím různých rádiových systémů od různých výrobců. Musí však splňovat jisté standardy a využívat ty úseky rádiového spektra, které jsou pro

danou službu přiděleny v Radiokomunikačním řádu a z nich odvozených regionálních a národních kmitočtových plánů.

Již od počátku telekomunikací až po dnešek byla snaha o nastavení pokud možno celosvětově přijímaných pravidel jak vzhledem k technickým, tak i legislativním regulativním záležitostem. Je třeba zdůraznit, že soubor pravidel pro využívání rádiového spektra měl, a i do budoucna bude mít, rovněž významný vliv na směřování vývoje, výroby a zavádění radiokomunikačních technologií. V tomto kontextu bude bezpochyby nadále hrát zásadní roli ITU a Radiokomunikační řád.

Na tomto místě bude užitečné i krátké ohlédnutí se do historie vývoje a milníků správy a regulace telekomunikačních technologií a služeb.

Za počátek formulování pravidel pro využívání telekomunikací a regulaci služeb lze s jistou dávkou symboliky považovat 28. květen 1848. Tehdy Samuel Morse uskutečnil první přenos zprávy po drátě mezi Washingtonem a Baltimorem v USA. Sice ještě nešlo o bezdrátový přenos. Avšak o 10 let později, kdy začal veřejný provoz přenosu zpráv zakódovaných podle Morseovy abecedy pomocí telegrafie se ukázalo, že bude nutné zavést jistá technická i administrativní – legislativní pravidla minimálně na národní úrovni.

Rozvoj telegrafie po drátě a potřeba stanovení pravidel pro veřejnou komunikaci mezi státy ve světě vedlo v roce 1865 ke konání významné konference v Paříži. Během této konference byla ustavena mezinárodní organizace 20 států pod názvem International Telegraph Union (ITU) a vypracován její základní dokument – International Telegraph Convention (Ústava ITU).

Z hlediska vlastních radiokomunikací lze za počátek regulace považovat rok 1901. V tomto roce Guglielmo Marconi postavil vysílací stanici ve Wexfordu (USA). Dne 12. prosince 1901 se uskutečnilo první atlantické bezdrátové vysílání telegrafní zprávy sestávající ze třech teček na kmitočtu kolem 860 kHz. Ty byly zachyceny na hoře Signal Hill ve městě St John's na ostrově Newfoundland. Z dnešního pohledu správy rádiového spektra šlo vlastně o bezlicenční využití rádiového spektra.

Dalším milníkem ve správě rádiového spektra je rok 1906, kdy se v Berlíně konala první mezinárodní radiotelegrafní konference a byl podepsán základní dokument International Radiotelegraph Convention. Jeho přílohou byla pravidla pro správu bezdrátové radiotelegrafie. Tato pravidla se stala základem dnešního Radiokomunikačního řádu odrážejícího historický rozvoj radiokomunikačních technologií a jejich služeb.

V roce 1924 byla založena mezinárodní organizace International Telephone Consultative Committee (CIF). V roce 1925 byl pak CIF změněn na International Telegraph Consultative Committee (CCIT) a v roce 1927 na International Radio Consultative Committee (CCIR).

Uvedené organizace se nakonec v roce 1934 slučují do jedné mezinárodní organizace International Telecommunication Union (ITU). Toto sloučení a vznik základních dokumentů – Ústavy ITU (CS – ITU Constitution) a Úmluvy (CV – Convention) byl výsledkem konference v Madridu v roce 1932. V roce 1949 se ITU stává jednou z organizací spojených národů – OSN se sídlem v Ženevě (Švýcarsko).

Na radiokomunikační konferenci v Ženevě v roce 1959 došlo k zásadním změnám v Radiokomunikačním řádu. Ty spočívaly v zavedení nových postupů, metod a technických podmínek pro efektivnější využívání rádiového spektra. Současně do něho byly zahrnuty definice nových služeb a rádiových technologií pro pozemské a kosmické komunikace a pro radioastronomii.

Z výše uvedeného je tedy zřejmé, že správa rádiového spektra na všech úrovních od globální po národní, je naprosto nezbytná pro rozvoj a využívání radiokomunikací. V dalších kapitolách budou podrobněji probírány záležitosti vztahující se jak k technickým, tak regulativním opatřením vycházejícím z Radiokomunikačního řádu, mezinárodních smluv a národních legislativ.

5.3 Struktura správy rádiového spektra

Předchozí kapitola byla zaměřena na osvětlení důvodů, proč je nutné mít nějaká všeobecně respektovaná a kontinuálně aktualizovaná pravidla pro využívání rádiového spektra.

V této kapitole se zaměříme na základní úrovně struktury dnes prováděné správy rádiového spektra. Správa rádiového spektra má obecně dvě vzájemně propojené oblasti.

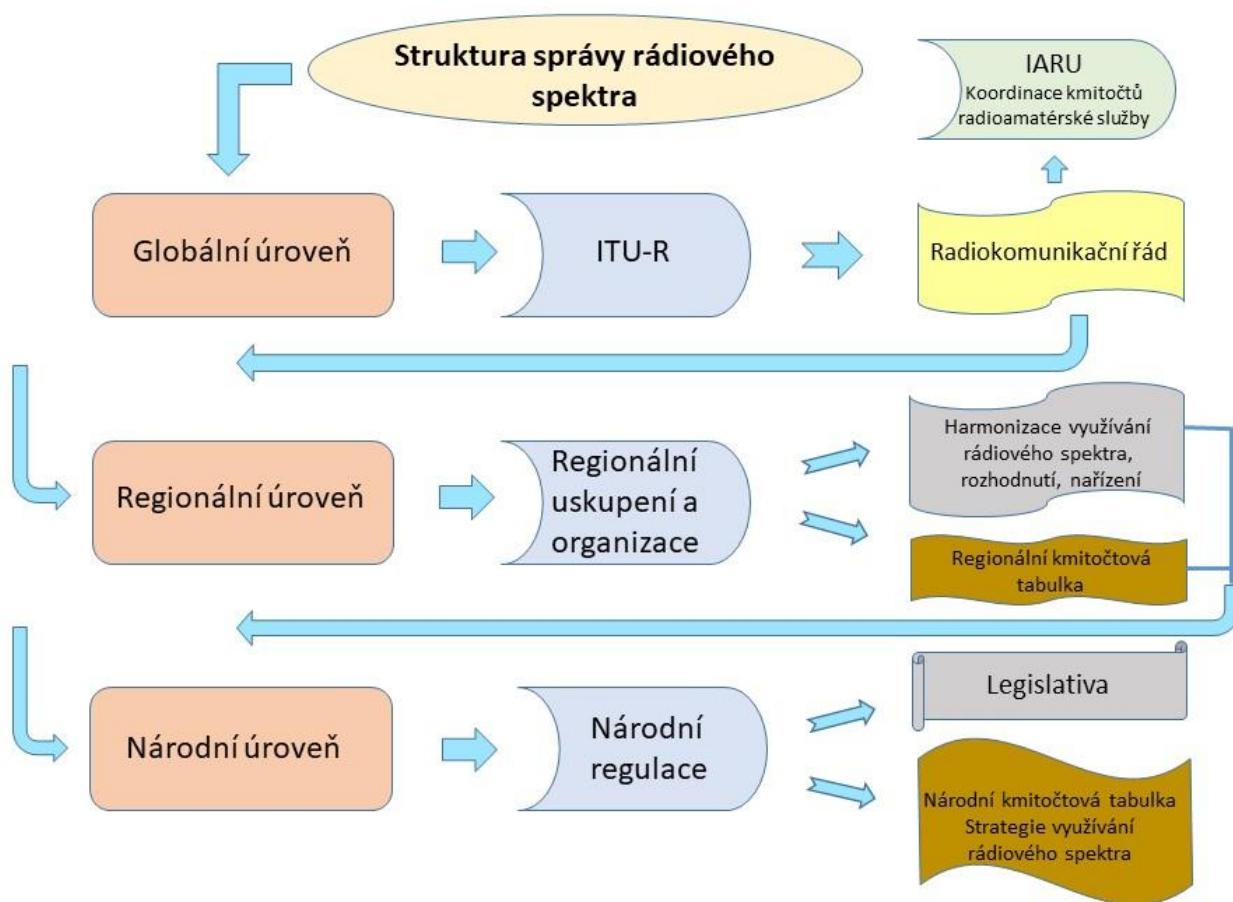
První oblast je převážně technického charakteru. Zjednodušeně ji lze považovat za druh kmitočtového inženýrství. To je zaměřeno na vývoj a provádění metod a procesů pro přidělování kmitočtových pásem pro jednotlivé rádiové technologie a radiokomunikační služby a jejich ochrany před nežádoucím rušením (před interferencemi). Dále pak na tvorbu pravidel nebo podmínek pro jejich používání v jednotlivých geografických regionech světa a v kosmu.

Příkladem mohou být družicové služby, které vyžadují koordinaci a notifikaci od Radiokomunikačního úřadu ITU-R. Kromě kmitočtových přidělů je v nich řešeno i přidělení místa na oběžných drahách.

Druhou oblast tvoří legislativní pravidla regulace pro využívání radiokomunikačních služeb. Tato legislativa může zahrnovat jak regionální, tak národní úroveň. Příkladem je Evropská unie a její stávající regulační rámec pro elektronické komunikace a nově zaváděný Kodex pro elektronické komunikace.

Každý stát si obvykle vytváří národní pravidla správy rádiového spektra, která však nesmí porušovat to, co je pro daná kmitočtová pásma obsaženo v Radiokomunikačním řádu. Národní správa rádiového spektra a legislativní regulace podrobněji stanovuje, jakým způsobem a za jakých podmínek lze provozovat jednotlivé radiokomunikační služby na území daného státu.

Struktura správy rádiového spektra na jednotlivých úrovních a jejich vzájemná provázanost je ve zjednodušené formě uvedena na obr. 21.



Obr. 21: Struktura správy rádiového spektra

Jak již bylo několikrát uvedeno, tak zásadním dokumentem v technické oblasti je Radiokomunikační řád ITU pro rádiové spektrum v rozsahu od 9 kHz do 3000 GHz. Ten obsahuje jak přidělení kmitočtových pásem nebo samostatných kmitočtů pro radiokomunikační technologie, radiokomunikační stanice a radiokomunikační pozemské a družicové služby, tak i technické a administrativní podmínky pro jejich provoz a ochranu před nežádoucím interferenčním rušením.

Radiokomunikační řád je na pravidelných světových konferencích WRC (World Radiocommunication Conference) aktualizován v souladu s rozvojem radiokomunikačních technologií, jejich službami a aplikacemi. Podrobněji bude Radiokomunikační řád probírán v kapitole 5.5.

Je třeba znovu zdůraznit, že správa rádiového spektra vycházející z Radiokomunikačního řádu je zaměřena na infrastrukturu radiokomunikací a radiokomunikační služby. To z hlediska zajištění podmínek kvalitního, bezpečného a nerušeného přenosu rádiového signálu nesoucího informace nebo data přenosovými pozemskými nebo družicovými kanály a sítěmi a standardizace radiokomunikačních technologií s ohledem na použité kmitočtové úseky nebo jednotlivé kmitočty rádiového spektra.

Není však zaměřena na tvorbu regulace ve smyslu obsahu přenášených informací či dat nebo poskytování radiokomunikačních veřejných a neveřejných služeb a různých aplikací na radiokomunikačním trhu.

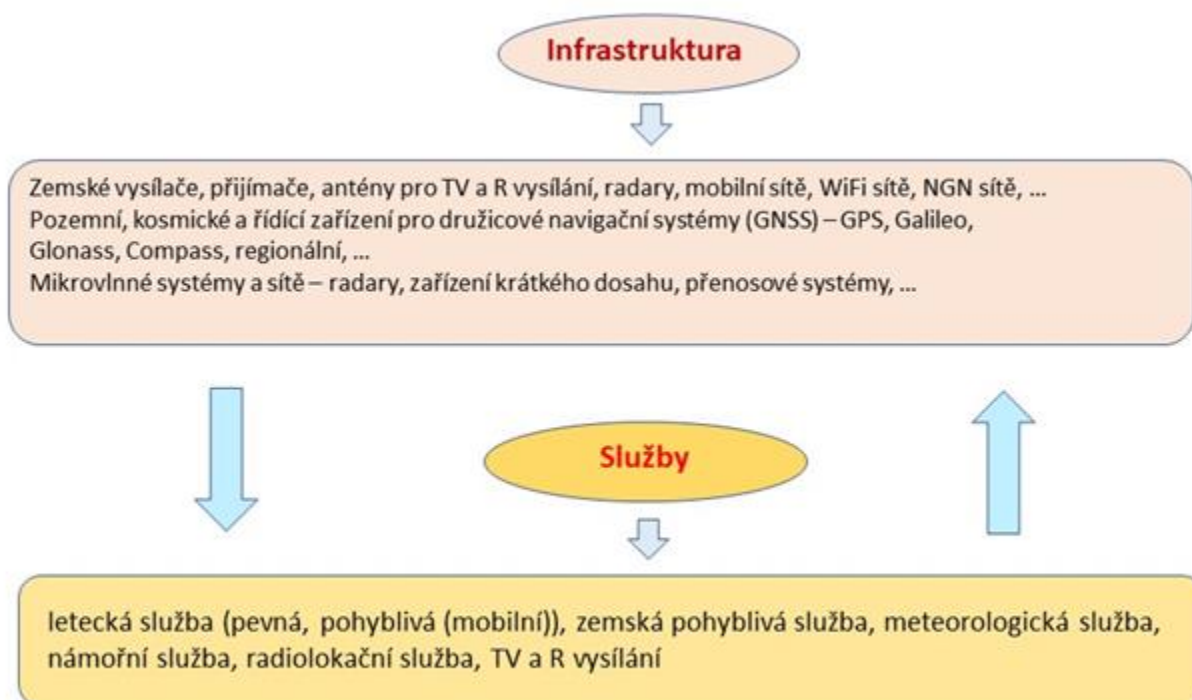
Radiokomunikační řád obsahuje i obecná pravidla, která lze aplikovat při tvorbě národních legislativních regulačních opatření k využívání rádiového spektra pro státní, veřejné a neveřejné účely a umožňují budování konkurenčního trhu radiokomunikací ve vztahu k rádiovému spektru (regionální nebo národní kmitočtové tabulky, strategie a plány pro využívání rádiového spektra apod.).

Národní správa rádiového spektra radiokomunikací jako celku obvykle zahrnuje následující oblasti:

- Definice a strategie využívání radiokomunikačních služeb v daných kmitočtových pásmech, kterých se legislativní regulační opatření dotýkají.
- Druhy a podmínky pro vydávání různých typů povolení a licencí pro provozování různých radiokomunikačních služeb, včetně zajištění ochrany státu a veřejných zájmů.
- Právní normy (zákony, vyhlášky, nařízení vlády) pro ochranu poskytovatelů radiokomunikačních služeb, spotřebitelů a zajištění vytváření férového soutěžního konkurenčního jak radiokomunikačního, tak i celého telekomunikačního trhu.
- Prostředky a způsoby řešení sporů při porušení právních norem pro poskytování radiokomunikačních služeb a využívání rádiového spektra.
- Technické a administrativní metody využívané pro přidělování rádiových kmitočtů vycházejících z národní strategie využívání rádiového spektra a národní kmitočtové tabulky respektující jak Radiokomunikační řád, tak harmonizaci využívání rádiového spektra v rámci jednotlivých regionálních uskupení (pro ČR je to EU a CEPT) a opatření na zajištění kontroly a ochrany radiokomunikačních služeb.
- Institucionální zajištění uplatňování legislativy a ustavení národního regulátora spolu s jeho kompetencemi a povinnostmi.
- Odkazy na další zákonné normy, které se dotýkají nebo souvisí s legislativou a regulací provozu radiokomunikací (u nás například se stavebním zákonem při povolování stavby anténních stožárů, zákonem o ochraně životního prostředí, mediální zákony atd.).

Z uvedeného je zřejmé, že správa rádiového spektra je komplexní a ne zrovna jednoduchou záležitostí zahrnující a vyžadující znalosti z řady oborů. Tedy nejen těch technických, ale i z oblasti ekonomie a práva. Aby to nebylo tak jednoduché, dochází v současné době ke konvergenci (spojování) toho, co bylo dříve chápáno jako infrastruktura (symbolicky „drát“ pro fyzický přenos signálu) a služba (obsah – telefonní hovor, text, obrázky, videa) a v řadě technologií to již nelze oddělit nějakou ostrou hranicí.

Z hlediska správy rádiového spektra v radiokomunikacích vycházející z Radiokomunikačního řádu je třeba i v dalších kapitolách chápat pojmy *infrastruktura* a *služby* tak, jak je uvedeno na příkladech na obr. 22.



Obr. 22: Příklady infrastruktury a služeb ve vztahu ke správě rádiového spektra vycházející z Radiokomunikačního řádu ITU

Je také zřejmé, že efektivní správa rádiového spektra zvláště při zavádění nových rádiových technologií a jejich služeb vyžaduje komplexní přístup a nutnost posuzování dopadů z pohledu státu a jeho ekonomiky, regulátora, poskytovatele a spotřebitele.

5.4 Mezinárodní telekomunikační unie (ITU)

Mezinárodní telekomunikační unie ITU a její aktivity ve směru celosvětové standardizace, tvorby a uplatňování Radiokomunikačního řádu jsou zcela zásadní pro správu rádiového spektra jak na globální, tak regionální a národní úrovni. Proto je tato kapitola věnována stručnému shrnutí činností a struktury ITU (www.itu.int).

Jak již bylo uvedeno v historickém ohlédnutí nad vývojem regulace telekomunikací v kap. 5.2, byla ITU ustavena jako výsledek konference v Madridu od 1. ledna 1934. Mezi hlavní důvody jejího ustavení je možné považovat potřebu celosvětově přijímaného přístupu k regulaci v telekomunikacích na podporu rozvoje telekomunikačních technologií a služeb pro ekonomiku a sociální rozvoj společnosti ve světě.

Základním posláním a misí ITU v současném světě jsou technické a regulativní záležitosti provozu pozemských a družicových telekomunikací a jejich celosvětové prosazování a přijímání. Dalším posláním ITU je podpora telekomunikační konektivity a její bezpečnosti všech států světa a jejich občanů za stejných neomezujících podmínek (odstranění překážek nazývané jako „digital divide“) a umožnění budování digitální ekonomiky a informační společnosti.

Podmínka svobodného a rovného přístupu k rádiovému spektru pro všechny je zvláště důležitá pro rozvojové státy a státy s nízkou ekonomickou úrovní. Například zajištění rovnoprávného přístupu do internetu všem je všeobecně jednou z nejdůležitějších telekomunikačních služeb.

V současné době roste úloha ITU i v přímé pomoci spočívající v umožnění sestavení krizové telekomunikační družicové sítě pro volání a data, poskytnutí potřebných uživatelských terminálů a mobilních pozemních stanic všem zemím v případě prevence a řešení přírodních katastrof a hromadných neštěstí (letecké a námořní katastrofy, následky terorismu).

ITU se rovněž aktivně podílí na řešení problematiky ochrany dětí a osob s tělesným a zdravotním postižením, kybernetické ochraně telekomunikační infrastruktury a telekomunikačních služeb v oblasti standardizace a technických podmínek pro jejich aplikace.

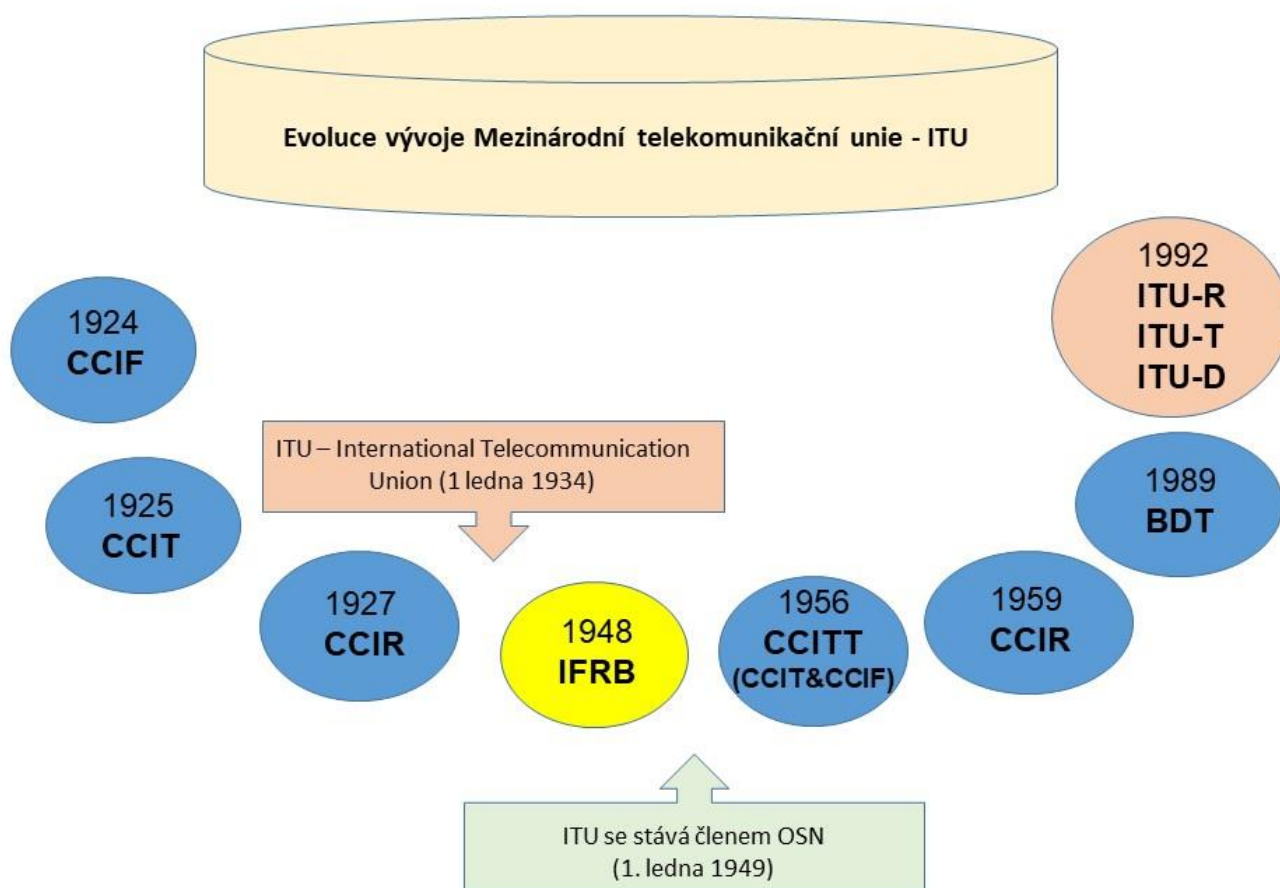
Další významnou aktivitou je podpora vzdělávání odborníků pro oblast telekomunikací a poskytování odborné podpory vládám členských států ITU.

Tato podpora je vyjádřena i spoluprací v odborných věcech řešených Celosvětovým shromážděním pro informační společnost (WSIS – World Summit for Information Society), který organizuje OSN. Rovněž tak ITU spolupracuje s dalšími mezinárodními organizacemi využívajícím telekomunikace (například Světová zdravotnická organizace WHO, světová meteorologická organizace WMO, ...).

Pro propagaci telekomunikací organizuje pořádání celosvětových výstav TELECOM WORLD.

Na tomto místě nebude na škodu znovu připomenou terminologickou záležitost mezi pojmy „telekomunikace“ a „informační a komunikační technologie“. V současné době jsou telekomunikace chápány díky konvergenci jejich technologií v širším pojetí pod shrnujícím pojmem informační a komunikační technologie (ICT – Information and Communication Technologies). Proto je v současnosti v řadě publikací ITU, dokumentů, rezolucí a prezentací stále častěji používán pojem „Telecommunication/ICT“.

Genezi historického vývoje ITU do současné podoby ukazuje obrázek 23.



Obr. 23: Historický vývoj struktury Mezinárodní telekomunikační unie ITU

Strukturu ITU, která je zobrazena na obr. 24, tvoří 4 sektory:

- SG (sekretariát generálního tajemníka).
- Radiokomunikační sektor ITU-R a jeho Radiokomunikační úřad (BR – Bureau Radiocommunication), poradní skupina ředitele RAG (Radiocommunication Advisory Group). Součástí sektoru jsou jeho studijní skupiny (SG – Study Group, 6 skupin).
- Standardizační sektor ITU-T a jeho Standardizační úřad TSB (Telecommunication Bureau Standardization), poradní skupina ředitele TSAG (Telecommunication Standardization Advisory Group) a SG (9 skupin).
- Rozvojový sektor ITU-D a jeho Rozvojový úřad BDT (Bureau Development Telecommunication), poradní skupina TDAG (Telecommunication Development Advisory Group) a SG (2 skupiny).

Vrcholným představitelem je generální tajemník ITU a dále pak jeho zástupce. Úřady jednotlivých sektorů vedou ředitelé. Všichni uvedení funkcionáři jsou voleni na čtyřleté funkční období na vrcholovém orgánu ITU, kterým je Konference vládních zmocněnců (PP – Plenipotentiary Conference).

Jednotlivá uskupení vyúsťující v dnešní podobu ITU vycházela obecně ze dvou základních principů. Prvním bylo dobrovolné přijetí a uznávání závazků obsažených v jejich základních dokumentech. Těmi je dnes Ústava ITU (CS – Constitution ITU) a Úmluva ITU (CV – Convention ITU).

Ústava definuje základní principy, strukturu, oficiální funkcionáře a činnosti ITU. Úmluva pak popisuje principy fungování ITU, pracovní metody, orgány, organizační záležitosti spojené s konáním vrcholných konferencí a shromážděními, volební a jednací řády, řízení pracovních a studijních skupin atd.

Druhým principem je, že plnohodnotným členem se všemi rozhodovacími právy (změny v základních dokumentech, volba funkcionářů ITU, ...) může být jen uznávaný stát. To v dnešní době znamená, že to musí být stát, který je členem Organizace spojených národů.

V současné době je členem ITU 193 států (včetně ČR) a Palestina se zvláštním statutem (je vyňata z rozhodovacích procesů a nemůže volit). Dalším druhem členství je sektorové, kde je kolem 700 organizací z oblasti výroby, mezinárodních telekomunikačních a standardizačních organizací a privátních telekomunikačních provozovatelů.

Sektoroví členové nemají možnost volit a rozhodovat o změnách základních dokumentů ITU. Zvláštní formou sektorového členství je Akademické členství, které je určeno pro univerzity a veřejné výzkumné instituce (možnost účastnit se vrcholových konferencí a shromáždění jako pozorovatelé, pracovat ve studijních skupinách ITU, do konce roku 2019 byla FEL ČVUT v Praze členem a od roku 2020 je členem celá univerzita).

Posledním druhem je asociované členství otevřené všem, které pouze umožňuje zúčastňovat se práce v jednotlivých studijních skupinách ITU.

Za členství se platí roční poplatky, který se pro členské země stanovuje na PP podle jejich určitého procenta hrubého domácího produktu. U akademických členů je to kolem 6 tis. švýcarských franků za všechny sektory.

Centrála ITU je umístěna v Ženevě a její výrazná budova je na obr. 25.



Obr. 25: Budova centrály ITU v Ženevě (Švýcarsko)

Řízení činností v rámci ITU vychází ze základních dokumentů. Vrcholovým řídicím orgánem je Konference vládních zmocněnců. Ta jedná každé čtyři roky, schvaluje strategický plán sektorů ITU, rezoluce, Radiokomunikační řád, závěry konferencí a shromáždění jednotlivých sektorů, spolupráce s dalšími organizacemi, volí funkcionáře ITU, Radu ITU (Council ITU) a Panel pro radiokomunikační řád (RRB – Radiocommunication Regulation Board). Každý stát má v hlasováních a volbách jeden hlas.

Zvláštní poradní skupinou Rady ITU pro záležitosti spojené s konferencemi PP je od roku 2001 takzvaná „Trojka“. Ta sestává z minulého, současného a navrhovaného budoucího předsedy Rady ITU.

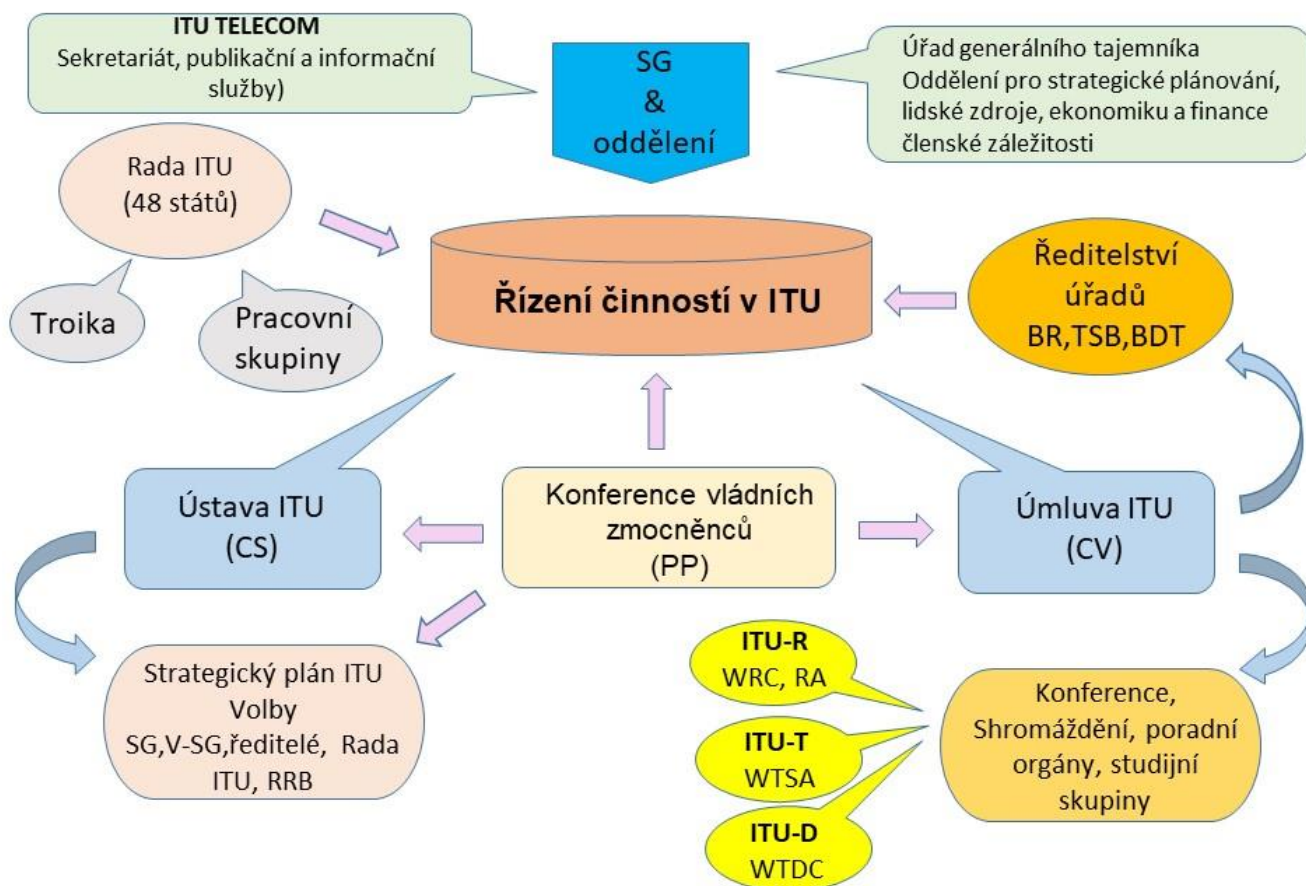
Rada ITU je vrcholovým orgánem, který řídí činnosti ITU mezi dvěma konferencemi PP. Organizační dělení států v ITU je do pěti geografických regionů států A až E. ČR je členem regionu E. Rada má 48 míst a počet volených zástupců je různý podle jednotlivých regionů. Pro region E je to 5 míst a ČR je s malými výjimkami opakovaně volena do tohoto orgánu.

Každý sektor má své vrcholové konference, které prostřednictvím svých operačních plánů a činnostmi sektorových úřadů zabezpečují plnění strategického plánu ITU. Tyto akce předcházejí konání PP.

Pro sektor ITU-R je to Světová radiokomunikační konference WRC a Radiokomunikační shromáždění (RA – Radiocommunication Assembly). Pro Sektor ITU-T to je Světové shromáždění pro standardizaci v telekomunikacích (WTSA – World Telecommunication Standardization Assembly) a v ITU-D se koná

Světová telekomunikační rozvojová konference (WTDC – World Telecommunication Development Conference).

Řízení ITU a jednotlivé vzájemné vazby jsou v přehledné formě shrnuty na obr. 26.



Obr. 26: Struktura, prostředky a vzájemné vazby pro řízení činností ITU

Jednacími jazyky jsou angličtina, francouzština, španělština, ruština, arabština a čínština. V těchto jazycích jsou vydávány veškeré oficiální dokumenty ITU. Pracovním jazykem při jednáních konferencí, pracovních a studijních skupin je angličtina.

Význam ITU a jeho aktivit bude nepochybně hrát i v budoucnu zásadní roli v oblasti telekomunikací a ICT. Na webových stránkách ITU jsou k dosažení i veřejně a bezplatně přístupné dokumenty ITU (CS, CV, technické doporučení, zprávy, Radiokomunikační řád, prezentace z konferencí, shromáždění, workshopů a tematických publikací, ...). V řadě případů se lze přes videokonference zúčastnit i různých akcí ITU a práce ve studijních skupinách.

ITU je dnes bezesporu jednou z nejvýznamnějších světových organizací, která zásadním způsobem působí a ovlivňuje rozvoj infrastruktury a služeb v oblasti telekomunikací a informačních a komunikačních technologií.

5.5 Radiokomunikační řád ITU

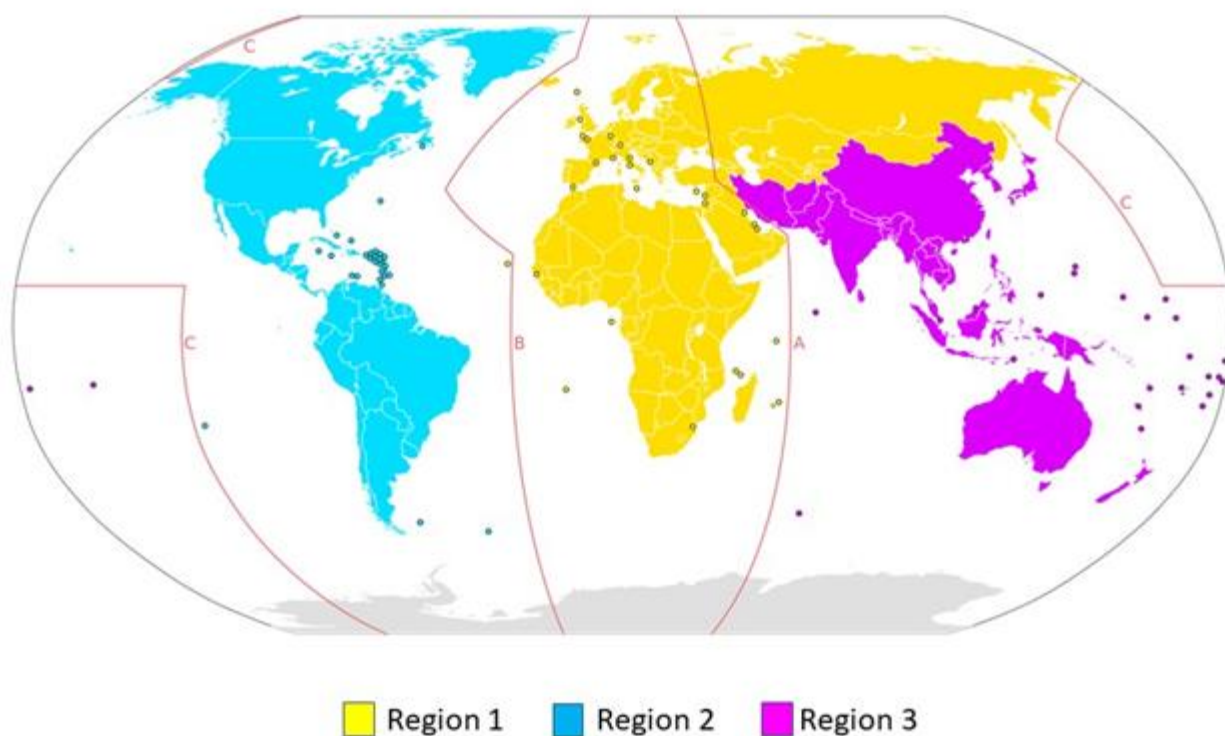
Jak už víme, tak Radiokomunikační řád ITU je zcela zásadním dokumentem ITU-R pro celosvětovou správu rádiového spektra. Vyhrazuje kmitočtová pásma nebo kmitočty rádiového spektra jednotlivým radiokomunikačním službám nebo rádiovým stanicím v rozsahu od 9 kHz do 3000 GHz. Současně stanovuje technické a administrativní podmínky pro provoz pozemských a kosmických služeb a radiokomunikačních stanic a pro ochranu proti nežádoucím interferenčním rušením. Pro kosmické služby stanovuje pozice družic na oběžných drahách kolem Země a způsoby ochrany proti nežádoucímu škodlivému rušení (interferenci).

Radiokomunikační řád prochází pravidelnou aktualizací v tří nebo čtyřleté periodě na světových radiokomunikačních konferencích WRC. Je to dokument, který je všeobecně, dobrovolně celosvětově přijímán a zcela zásadním způsobem ovlivňuje provoz a rozvoj radiokomunikačních technologií a radiokomunikačních služeb na Zemi a v kosmu.

Radiokomunikační řád tvoří 4 samostatné svazky (Volume) s tímto obsahem:

- **Volume 1** – články (definice druhů služeb a rádiových stanic, základní pojmy), kmitočtová přidělení (Tabulka RŘ v kap. II, oddílu 5) a podmínky pro jejich provozování a ochranu.
- **Volume 2** – přílohy, které specifikují podmínky a parametry pro provádění kmitočtových koordinací a zápisu do kmitočtových registrů pozemských a družicových služeb, podrobnější technické požadavky na vlastnosti radiokomunikačních technologií a rádiová zařízení, podmínky pro ochranu radiokomunikačních služeb před nežádoucím interferenčním rušením.
- **Volume 3** – rezoluce a doporučení, které zahrnují podmínky a procesy pro tvorbu a aplikaci Radiokomunikačního řádu v pozemských a kosmických radiokomunikacích.
- **Volume 4** – odkazy na související doporučení a zprávy vypracované ve studijních skupinách ITU-R použité pro tvorbu Radiokomunikačního řádu.

Pro potřeby kmitočtových přidělení a koordinací je v Radiokomunikačním řádu svět rozdělen do tří regionů, jak je ukázáno na obr. 27. Tropická zóna (ITZC) v jednotlivých regionech je vyznačena šedě a písmena A, B, C vymezují zeměpisné oblasti v oblastí zemských pólů. Česká republika spolu s evropskými státy a státy Severní Asie patří do regionu 1.



Obr. 27: Rozdělení světa na regiony v Radiokomunikačním řádu ITU

Pro vymezení úseků rádiového spektra se v Radiokomunikačním řádu používá následujících pojmů:

- **Přidělení (allocation) kmitočtového pásma** – zápis určitého kmitočtového pásma do „Tabulky RŘ“ za účelem jeho využití jednou nebo několika pozemskými nebo kosmickými radiokomunikačními službami nebo radioastronomickou službou za specifikovaných podmínek.
- **Skupinové přidělení (allotment) kmitočtu nebo kmitočtového pásma** – zápis kmitočtového kanálu vyznačeného ve schváleném kmitočtovém plánu pro využití jednou nebo několika správami (administracemi) států pro určitou pozemskou nebo kosmickou radiokomunikační službu za specifikovaných podmínek v několika státech nebo zeměpisných oblastech (například pro televizní nebo rozhlasové vysílání).
- **Příděl (assignment) kmitočtu nebo kmitočtového kanálu** – zápis kmitočtu nebo kmitočtového kanálu rádiové stanici k využívání za specifických podmínek
- **Doplňkové přidělení (additional allocation)** – přidělení kmitočtového pásma navíc, než je stanoveno v Tabulce RŘ na území menším než region ITU nebo v některém státě, je uvedeno v poznámkách Tabulky RŘ.
- **RNáhradní přidělení (alternative allocation) kmitočtového pásma** – přidělení jiného kmitočtového pásma jedné nebo více radiokomunikačním službám, než je uvedeno v Tabulce RŘ, je uvedeno v poznámce Tabulky RŘ.
- **Poznámka RŘ (Footnote)** je uvedena pod příslušnou částí Tabulky RŘ a blíže specifikuje další podmínky nebo výjimky pro uvedenou radiokomunikační službu.

Druhy radiokomunikačních služeb obsažených v Radiokomunikačním řádu byly již probrány v kap. 2.3. Zde si krátce připomeňme jejich základní rozdělení a některé příklady radiokomunikačních služeb v uvedených skupinách.

Radiokomunikační služby dělíme do těchto základních skupin:

- pevná služba – pozemská (terestrická), družicová, mezidružicová, kosmického provozu,
- mobilní (pohyblivé) služby – pozemská, družicová, letecká, námořní,
- rozhlasová – družicová, pozemská,
- radionavigační – družicová, letecká, námořní,
- radiodeterminační – družicová, letecká, námořní,
- radiolokační – letecká, námořní, pozemská,
- služba kmitočtových a časových normálů,
- služba kosmického výzkumu,
- radioastronomická,
- amatérská služba – radiotelegrafní, radiofonická, družicová.

Pro další výklad bude užitečné ještě uvést definici radiokomunikační stanice.

Radiokomunikační stanicí se rozumí jeden nebo několik vysílačů nebo přijímačů nebo soubor vysílačů a přijímačů včetně zařízení jejich příslušenství potřebných na daném stanovišti k výkonu radiokomunikační služby nebo radioastronomické služby.

Radiokomunikační stanice vždy potřebuje ke svému provozu kmitočtový přiděl.

Radiokomunikační služba se dále rozlišuje podle kategorií na:

- a) přednostní službu (primary service) – má zajištěnou ochranu proti nežádoucím interferenčním rušením, v Tabulce RŘ je vyznačena velkými písmeny,
- b) podružnou službu (secondary service) – nesmí způsobovat škodlivé rušení stanicím v přednostní službě (a ani těm, co v budoucnu obdrží status přednostní služby), nemůže si nárokovat ochranu před škodlivým interferenčním rušením od stanic v přednostní službě. Má však nárok na ochranu před tímto rušením od jiných stanic v podružné službě (i těch, které obdrží tento status později).

Kmitočtová přidělení a kategorie služeb v Tabulce RŘ se mohou v jednotlivých regionech uvedených na obr. 27 i lišit. Je to obvykle dáno tím, aby byla možnost provádění kmitočtových koordinací s ohledem na účinné potlačení škodlivých interferenčních rušení mezi jednotlivými radiokomunikačními službami.

Příklad obsahu Tabulky RŘ je uvedený na obr. 28.

495 – 1800 kHz

Allocation to services		
Region 1	Region 2	Region 3
495-505 Kmitočtové pásmo	MOBILE (distress and calling) 5.83	
505-526.5 MARITIME MOBILE 5.79 5.79A 5.84 AERONAUTICAL RADIONAVIGATION	505-510 MARITIME MOBILE 5.79 Poznámka (Footnote)	505-526.5 MARITIME MOBILE 5.79 5.79A 5.84 AERONAUTICAL RADIONAVIGATION Aeronautical mobile
	510-525 MOBILE 5.79A 5.84 AERONAUTICAL RADIONAVIGATION	Land mobile Podružná služba
5.72	525-535 BROADCASTING 5.86 AERONAUTICAL RADIONAVIGATION	526.5-535 BROADCASTING Mobile 5.88
526.5-1 606.5 BROADCASTING	535-1 605 BROADCASTING	535-1 606.5 BROADCASTING

Footnote
5.79 The use of the bands 415-495 kHz and 505-526.5 kHz (505-510 kHz in Region 2) by the maritime mobile service is limited to radiotelegraphy

Obr. 28: Příklad přidělení kmitočtu radiokomunikačním službám v Tabulce Radiokomunikačního řádu ITU

Radiokomunikační řád je v šesti oficiálních jazycích ITU volně ke stažení na stránkách ITU na adrese <https://www.itu.int/en/publications/ITU-R/pages/publications.aspx?parent=R-REG-RR-2016&media=electronic>.

V závěru této kapitoly je třeba ještě zdůraznit, že Radiokomunikační řád lze chápat i jako „Bibli“ pro každého, koho se dotýká využívání rádiového spektra. Proto lze vřele doporučit všem zájemcům jeho stažení a podrobnější studium jeho obsahu. Je to také základní dokument, ze kterého se vytvářejí strategie a metody správy rádiového spektra v regionech nebo jednotlivých státech, jak bude probíráno v následujících kapitolách.

Je třeba zdůraznit, že plnění ustanovení Radiokomunikačního řádu má charakter dobrovolného statusu. Není to v právním smyslu vymahatelný dokument (například neobsahuje žádné vymahatelné sankce). Avšak z Ústavy ITU, která je mezinárodní smlouvou, vyplývá, že se členské státy její ratifikací dobrovolně zavazují k plnění výstupů i z WRC. Tím je závěrečná zpráva WRC, která obsahuje i Radiokomunikační řád.

Je také jasné, že nedodržování Radiokomunikačního řádu na území daného státu by vedlo, vzhledem k fyzikální podstatě šíření rádiových vln, k nežádoucím interferenčním rušením vlastních služeb a i

nemožnosti uplatnění svých radiokomunikačních produktů mimo území státu a k mezinárodním soudním sporům a arbitrážím.

Výklad dalších svazků Radiokomunikačního řádu přesahuje rámec tohoto materiálu. Svazek Volume 1, je však zcela zásadní pro ilustraci a pochopení základních atributů spojených se správou rádiového spektra na všech jeho úrovních.

V následující kapitole budou uvedeny některé aspekty a fragmenty, které vyplývají z jednotlivých ustanovení Radiokomunikačního řádu obsažených ve všech jeho svazcích s ohledem na činnosti radiokomunikačního úřadu BR/ITU-R.

5.6 Úloha a činnosti radiokomunikačního sektoru ITU-R

Radiokomunikační sektor ITU-R hraje zásadní úlohu v oblasti správy rádiového spektra a rozvoje radiokomunikací na globální úrovni. Jeho aktivity vycházejí z cílů strategického plánu ITU, který ve čtyřletých cyklech schvaluje Konference vládních zmocněnců (PP).

Mezi hlavní strategické cíle sektoru ITU-R lze zahrnout následující úlohy:

- Zajistit bezporuchový provoz radiokomunikačních systémů uplatňováním Radiokomunikačního řádu a regionálních dohod, jakož i účinnou a včasnou aktualizací těchto nástrojů prostřednictvím procesů světových a regionálních radiokomunikačních konferencí.
- Vytvářet technická a regulativní doporučení, jejichž cílem je zajistit požadované parametry služeb a jejich kvalitu při provozu radiokomunikačních systémů.
- Hledat způsoby a prostředky k zajištění racionálního, spravedlivého, účinného a ekonomického využití rádiového spektra a družicových oběžných drah a podporovat flexibilitu pro budoucí rozšíření a nový technologický vývoj radiokomunikačních technologií a služeb.

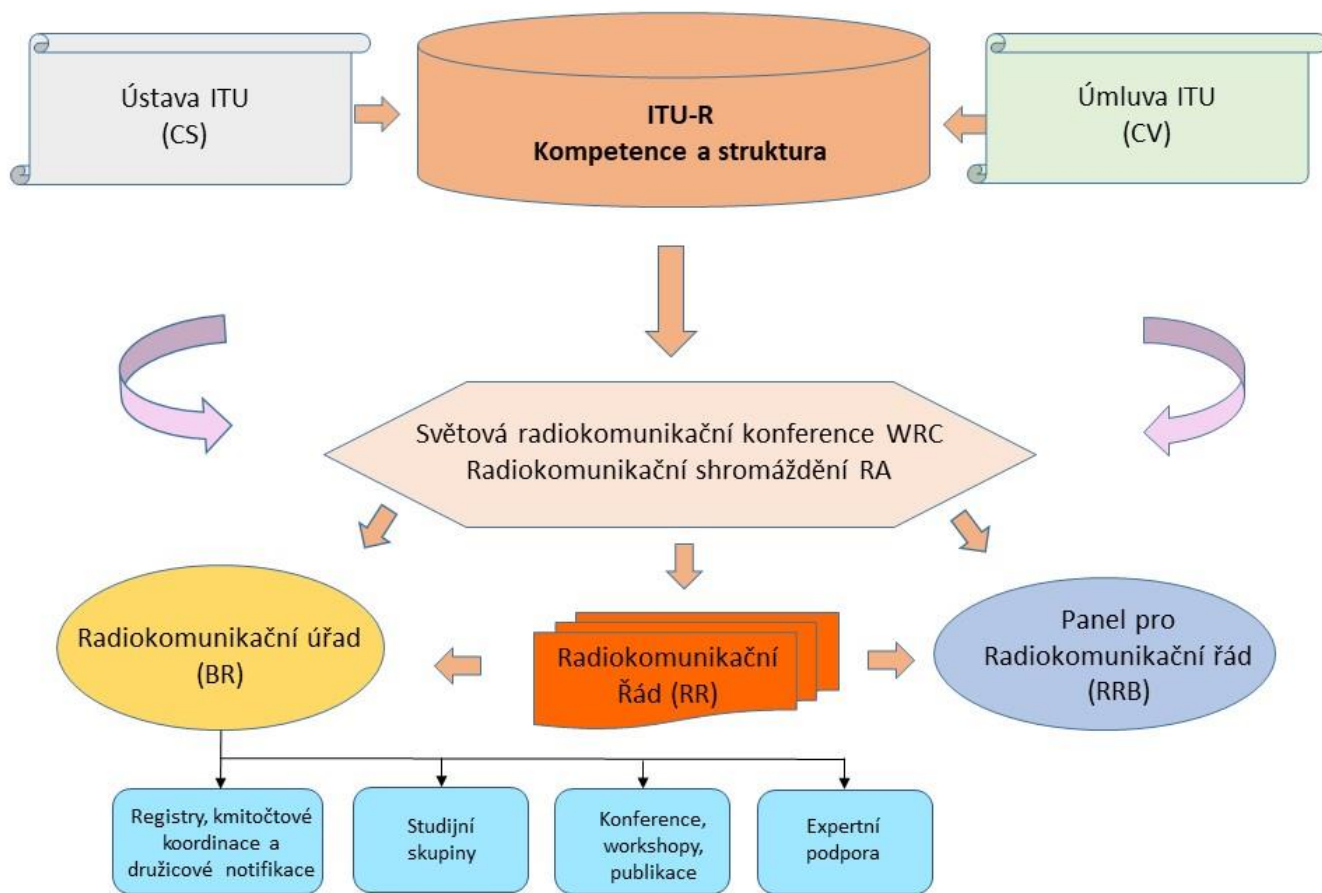
Sektor ITU-R zjišťuje odbornou a organizační přípravu pro konání konferencí WRC a radiokomunikačních shromáždění RA. Prostřednictvím radiokomunikačního úřadu BR provádí a poskytuje podporu pro praktickou aplikaci ustanovení Radiokomunikačního řádu. To zejména v oblasti vedení kmitočtových registrů MIFR (Master Information Frequency Register) pozemských a kosmických služeb a provádění kmitočtové koordinace a notifikace družicových sítí zahrnující i přidělování oběžných drah družic.

Dále poskytuje technickou a organizační podporu pro činnosti jednotlivých studijních skupin sektoru.

Dohled nad dodržováním Radiokomunikačního řádu a řešení případných sporů provádí panel RBB.

ITU-R a jeho úřad BR/ITU-R ve svých činnostech také poskytuje expertní podporu a vzdělávání v oblasti radiokomunikací formou pořádání odborných konferencí, workshopů a tvorbou odborných publikací. To i ve spolupráci s rozvojovým sektorem ITU-D a ITU-T, zejména pro potřeby rozvojových zemí.

Činnosti ITU-R a vzájemná provázanost jeho aktivit a kompetence v ITU jsou v hlavních rysech uvedeny na obr. 29.



Obr. 29: Činnosti ITU-R, kompetence a organizační struktura ITU-R

Podrobnější informace o činnosti a probíhajících akcích v rámci sektoru ITU-R jsou publikované na internetové adrese <https://www.itu.int/en/ITU-R/Pages/default.aspx>.

5.6.1 Světová radiokomunikační konference a Radiokomunikační shromáždění

Hlavní aktivitou ITU-R je pořádání Světové radiokomunikační konference (WRC). Ta se koná každé tři až čtyři roky. Úkolem WRC je přezkoumávat a v případě potřeby revidovat Radiokomunikační řád a mezinárodní smlouvu upravující využívání rádiového spektra a geostacionární družice a negeostacionární družice. Revize se provádějí na základě agendy schvalované Radou ITU. Agenda WRC obecně zohledňuje doporučení předchozích světových radiokomunikačních konferencí.

Výstupem WRC je dokument pod názvem Final Acts. Ten zahrnuje přijaté změny Radiokomunikačního řádu, rezolucí ITU-R, nové rezoluce ITU-R, studijní otázky a agendu příští konference a výhrady členských států k jednotlivým výstupům konference.

V případě potřeby se konají regionální radiokomunikační konference (RRC – Regional Radiocommunication Conference).

Každé WRC bezprostředně předchází konání Radiokomunikačního shromáždění (RA – Radiocommunication Assembly), které se zabývá náplní práce studijních skupin, schvalováním jejich výsledků za uplynulé období a návrhy na další období, schvalování zpráv pro WRC a organizačními záležitostmi studijních skupin (struktura, volby předsedů, místopředsedů a zpravodajů).

Příprava na WRC probíhá v rámci konání dvou přípravných konferencí (CPM – Conference Preparatory Meeting). První se koná hned po skončení WRC a stanovuje postupy pro naplnění agendy budoucí WRC. Druhá se koná zhruba půl roku před zahájením WRC. V mezidobí probíhají Regionální přípravné konference (RPC – Regional Preparatory Conference). RPC konference se konají pod vedením regionálních telekomunikačních organizací a připravují návrhy pro jednotlivé body agendy WRC za regiony ITU.

V případě Evropy je touto regionální organizací CEPT a návrhy pro WRC jsou řešeny prostřednictvím Společných evropských návrhů (ECP – European Common Proposals).

Návrhy ze všech regionů ITU pak posuzuje druhá konference CPM a ve své zprávě předkládá WRC možnosti řešení jednotlivých bodů agendy. Ty jsou pak projednávány a schvalovány na vlastním jednání WRC.

Pro představu o obsahu agendy WRC mohou posloužit ukázky bodů z agendy WRC-19 (28.10. – 22.11.2019, Sharm el-Sheikh, Egypt).

AI 1.1 Amatérské pásmo 50–54 MHz

AI 1.2 Pozemské stanice 400 MHz

AI 1.16 WAS/RLAN v pásmu 5 GHz

AI 4 Revize rezolucí a doporučení předchozích konferencí WRC

AI 7 Administrativní postupy pro družicové sítě

AI 8 Revize potřebnosti Poznámek RŘ pro členské státy ITU

AI 9.1.4 Suborbitální letadla

AI 9.1.5 Ochranná kritéria v pásmu 5 GHz

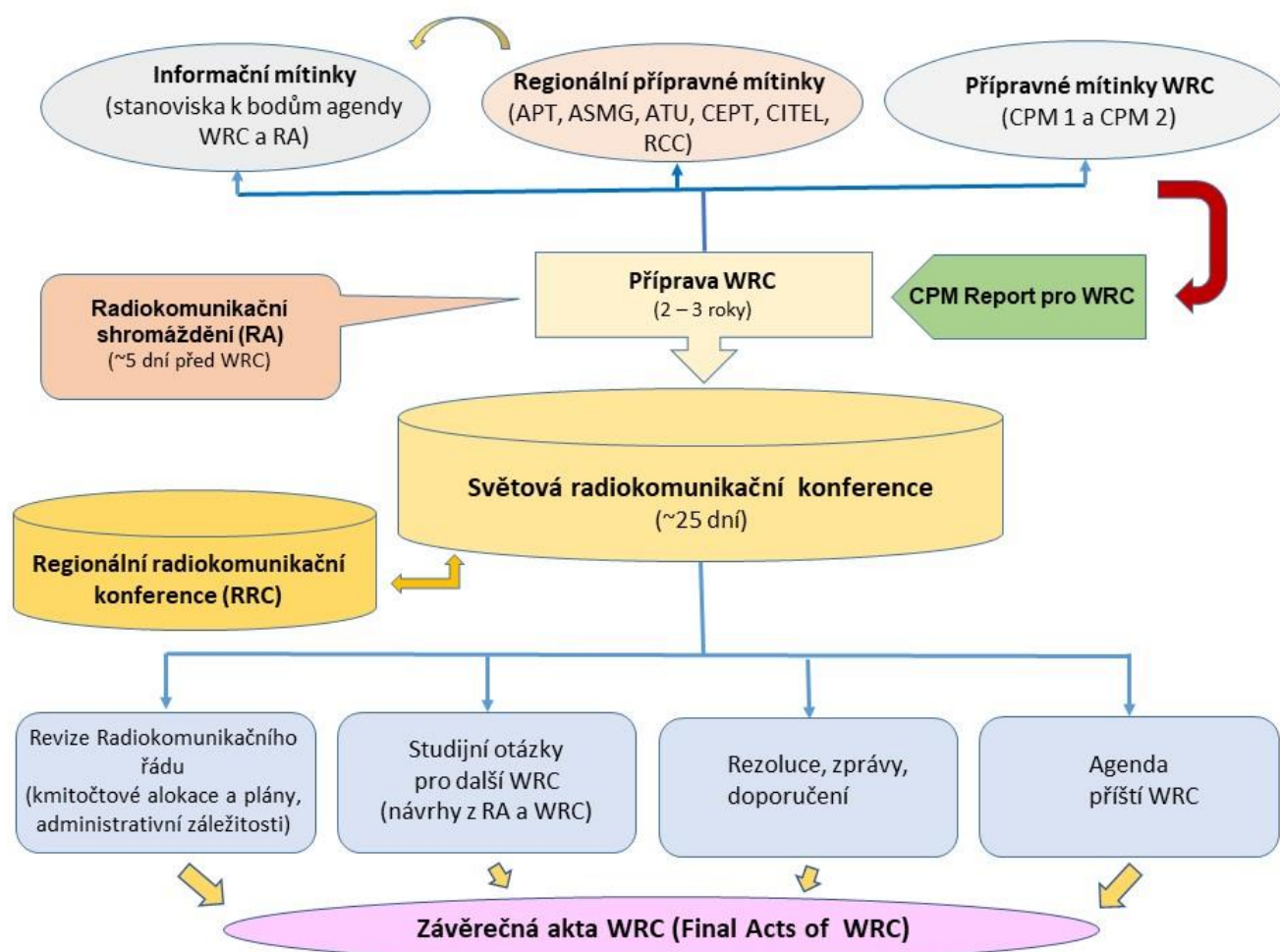
AI 9.1.6 Bezdrátový přenos elektrické energie

AI 9.1.8 Komunikace strojů

AI 9.2 Problémy při aplikaci RŘ

AI 10 Předběžný program příští WRC-23

Celý proces přípravy, průběhu a výstupů WRC a RA je v přehledové formě shrnut na obr. 30.



Obr. 30: Procesy spojené s konáním WRC a RA

5.6.2 Radiokomunikační úřad BR/ITU-R

Výkonným provozním subjektem ITU-R je jeho Radiokomunikační úřad (BR – Bureau Radiocommunication), řízený jeho ředitelem. Ten má k dispozici poradní skupinu RAG složenou ze zástupců členských států a sektorových členů, která je řízena voleným předsedou RAG na WRC.

BR/ITU-R je složen ze sekretariátu, oddělení pro mezinárodní záležitosti, oddělení informatiky a odborů pro pozemské a pro kosmické služby.

Odbor kosmických služeb – Space Services Department

Provádí mezinárodní kmitočtové a orbitální koordinace pro kosmické systémy a pozemní stanice, notifikace a zápisy do mezinárodního kmitočtového registru **Master International Frequency Register (MIFR)**. Dále posuzuje žádosti administrací členských států ITU o kmitočtová přidělení (koordinaci a notifikaci) pro zařazení do MIFR a řídí procedury spojené s kmitočtovými přiděleními, přiděly a plány

pro vypouštěné družice podle příslušných ustanovení Radiokomunikačního řádu (Volume 2 - Appendix 30, 30 A, 30 B).

Dále zpracovává, vydává a provozuje:

- Oběžník **BR IFIC** (The BR International Frequency Information Circular Space Services) – je vydávaný každých 14 dní (v papírové formě, DVD-R, on-line) a informuje o činnosti odboru a oznamuje zápisy do MIFR ve smyslu ustanovení Radiokomunikačního řádu č. 20.2 až 20.6 a 20.15.
- **Space Network List (SNL)** – obsahuje seznam základních informací týkajících se plánovaných nebo existujících kosmických, pozemních a astronomických stanic. Dále pak obsahuje sekci předběžných žádostí o koordinace, notifikace a jejich stav zpracování.
- **Space Plans (SP)** - obsahuje plány nových družicových sítí a služeb podle plánů publikovaných v přílohách Radiokomunikačního řádu (Appendix 30, 30A and 30B). Je to užitečné pro budoucí operátory a poskytovatele služeb.
- **Space Network Systems Online (SNS)** - umožňuje na adrese <http://www.itu.int/sns/> on-line přístup do databáze Space Networks Systems Database, která obsahuje data podle přílohy č. 4 Radiokomunikačního řádu (např. data o přidělení pozice, orbitální dráhy a kmitočtů) pro geostacionární a orbitální družice a pro pozemní stanice (geografická pozice, kmitočty, vysílané výkony, ...), předběžné žádosti o koordinace, atd. Je přístupný zdarma uživatelům TIES účtu. Ten lze u nás získat prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu.

Odbor pozemských (zemských) služeb – Terrestrial Services Department

Provádí mezinárodní koordinace, notifikace a zápisy pro pozemské systémy do registrů **MIFR** a **Plans** a posuzování oznámení přidělení kmitočtů předložených správními orgány – administracemi členských států ITU (obvykle to jsou národní regulátoři).

Zajišťuje administrativní postupy pro přidělování mezinárodních prostředků identifikace (volací znaky, identifikační čísla **MID** (Maritime Identification Digit) pro námořní nebo letecké bezpečnostní systémy na ochranu života a zdraví a pro řešení prevence a následků přírodních katastrof a hromadných neštěstí.

Dále zpracovává, vydává a provozuje:

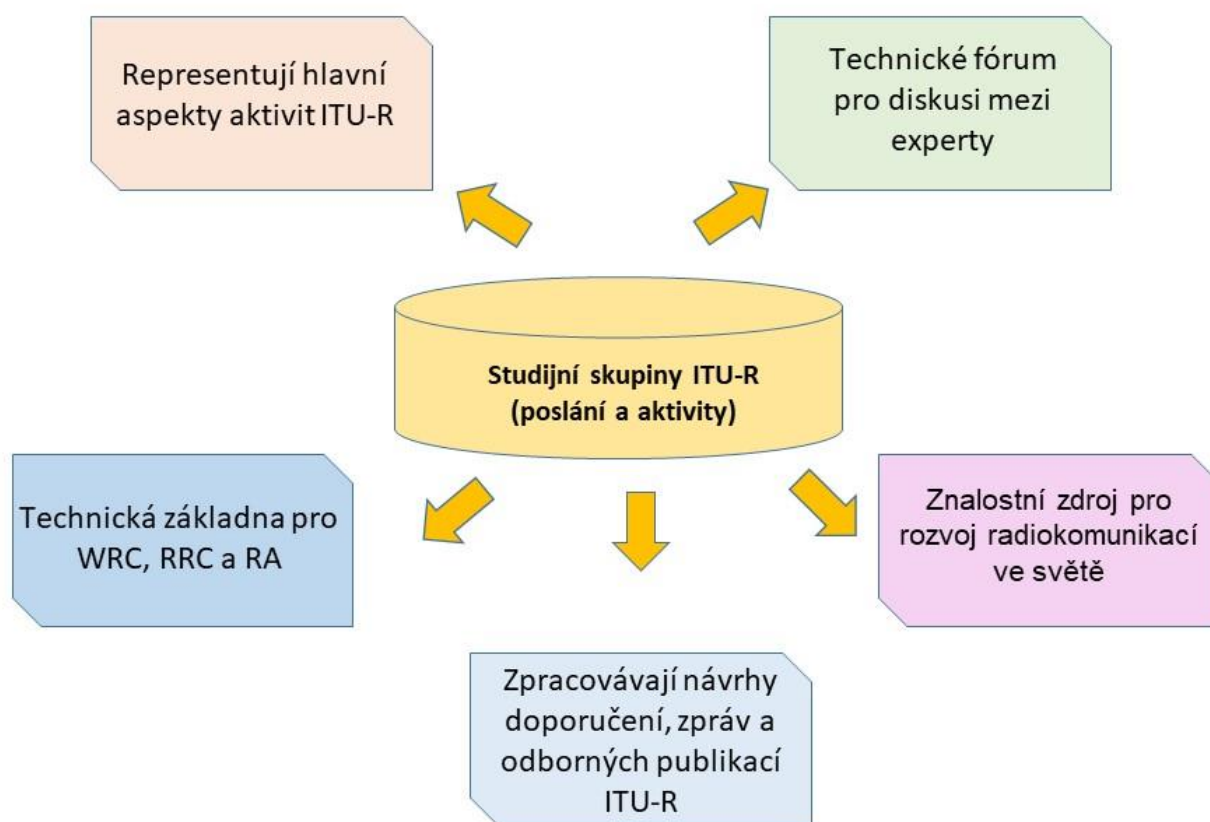
- **BR IFIC** – obdobná publikace, jako tomu je u kosmických služeb.
- **GLAD** (Global Administration Data System) – on-line data pro centrální úložiště informací ITU-R týkajících se správy rádiového spektra v jednotlivých geografických oblastech.
- **MARS** (Maritime Mobile Access and Retrieval System) – webový systém poskytující uživatelům možnost přístupu a provádění změn provozních informací uložených v registru námořní služby (seznamy lodních stanic, pobřežních stanic, adresy autorit pro vyúčtování služeb, adresy administrací pro oznámení informací do MARS, identifikační čísla MMSI (Mobile Maritime System Identification) přidělená lodním stanicím v globálním námořním tísňovém a bezpečnostním systému GMDSS a leteckým záchranným systémům SAR (Search and Rescue) a seznam čísel MMSI přidělených

majakům a bójím, které jsou vybaveny systémem AIS (automatický identifikační systém lodí) v rámci systému ATON (Aids to Navigation).

BR podporuje odborně a organizačně zajišťuje činnosti studijních skupin ITU-R.

5.6.3 Studijní skupiny ITU-R

Studijní skupiny (SG – Study Group) zajišťují odborné činnosti spojené s aktivitami ITU-R. Poslání a aktivity skupin ukazuje obr. 31.



Obr. 31: Poslání a aktivity studijních skupin ITU-R

V současné době na základě rozhodnutí WRC-19 pracují v ITU-R tyto studijní skupiny:

- SG 1 Správa rádiového spektra (Spectrum management),
- SG 3 Šíření rádiových vln (Radiowave propagation),
- SG 4 Družicové služby (Satellite services),
- SG 5 Pozemské služby (Terrestrial services),
- SG 6 Rozhlasová služba (Broadcasting service),
- SG 7 Vědecké služby (Science services).

V rámci studijních skupin jsou podle potřeby ustavovány tematicky zaměřené pracovní skupiny (WP – Working Parties). Stav prací studijních skupin je prezentován prostřednictvím zpravodajů na každoročním společném prezenčním jednání. Činnost skupin řídí předsedové a většinou probíhá elektronickou korespondenční formou pomocí sdílení nebo vzájemné výměny dokumentů nebo videokonferencí. Na práci ve studijních a pracovních skupinách se podílí zhruba 4000 expertů z vědecko-výzkumných institucí, vládních organizací, národních regulátorů, operátorů a z průmyslu všech členských států ITU.

Výstupem prací studijních skupin jsou příspěvky do zprávy CPM pro WRC, návrhy doporučení ITU-R, které projednává a schvaluje RA, stanoviska k odborným záležitostem vyžádaná od studijních a pracovních skupin sektorů ITU-T a IT-D a spolupráce ve společných pracovních skupinách s ostatními sektory. Dalším výstupem jsou odborné a výukové publikace (Handbooks) ITU-R.

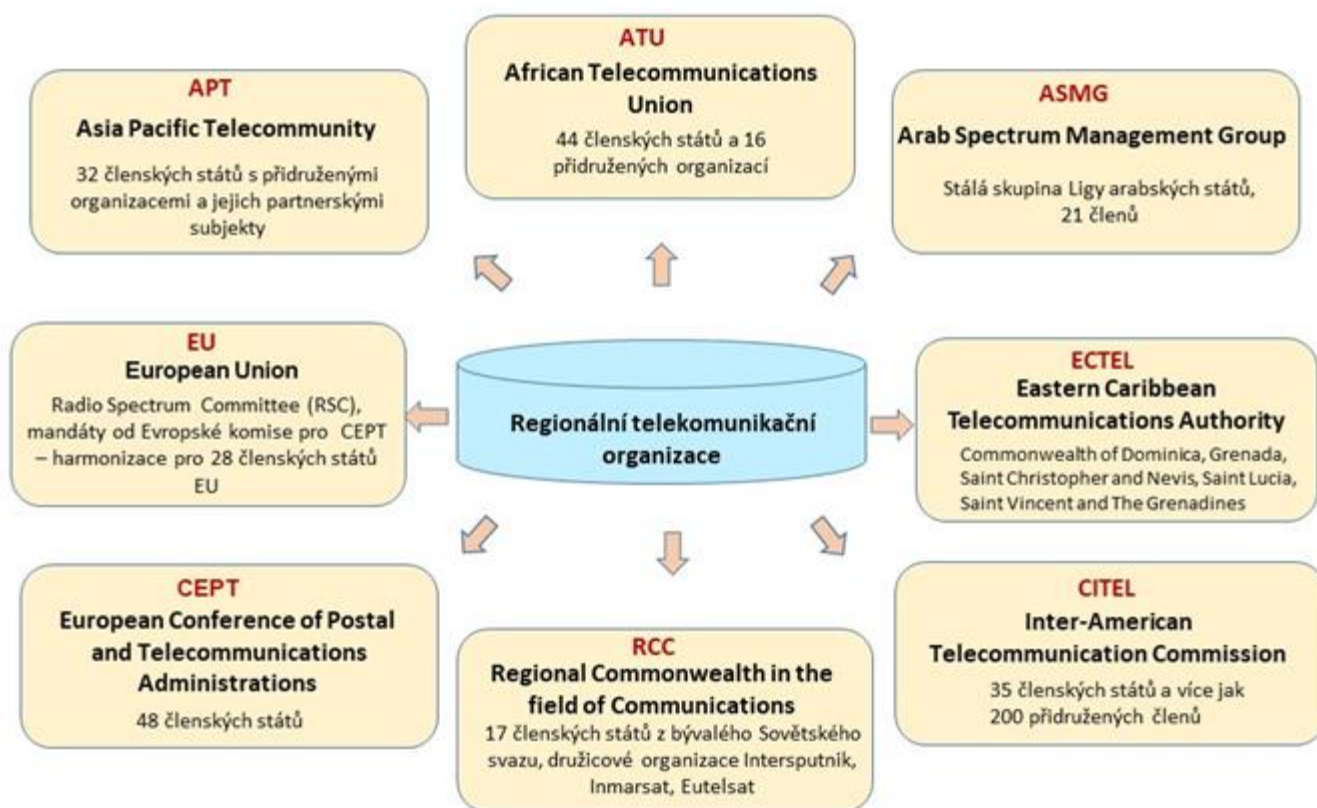
Podrobné informace o aktuálním stavu prací na studijních otázkách, výstupech a akcích uvedených studijních skupin jsou průběžně dostupné na <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/Pages/default.aspx>.

5.7 Regionální a národní úroveň správy rádiového spektra

Jak už bylo uvedeno dříve, tak na globální úroveň rádiového spektra založené na Radiokomunikačním řádu navazuje regionální a nakonec národní správa kmitočtového spektra

V případě regionální úrovně hrají zásadní úlohu regionální telekomunikační organizace, které se významným způsobem podílejí na novelizacích Radiokomunikačního řádu na konferencích WRC. Směrem k národní úrovni správy spektra se věnují harmonizaci kmitočtových přidělení a koordinaci správy rádiového spektra v daných regionech jejich působení.

Přehled regionálních organizací je uveden na obr. 32.



Obr. 32: Regionální telekomunikační organizace působící v oblasti regionální správy rádiového spektra

Jistou výjimku s ohledem na správu rádiového spektra z uvedených regionálních organizací představuje EU. Ta sice nemá status regionální organizace v ITU, ale členské státy EU, které jsou současně i členy CEPT, jsou zavázány k plnění jejích harmonizačních a legislativních regulačních opatření. To občas vede k jistým konfliktním situacím, které se potlačují mechanismem udělování mandátů pro CEPT pro společné řešení harmonizace rádiového spektra. Podrobněji se tomu věnuje následující kapitola.

Cílem harmonizace správy rádiového spektra je obecně vytváření podmínek pro společný radiokomunikační trh a zajišťování ochrany využívání rádiového spektra v daném regionu. Kromě specifikace podmínek v Radiokomunikačním řádu (Tab. RŘ a jeho poznámky) je dalším prostředkem

vytváření regionálních kmitočtových tabulek doplněných o harmonizační opatření (technická a legislativní).

Na regionální úroveň správy rádiového spektra navazují jednotlivé národní úrovně. Ty jednak aplikují to, co je dohodnutého v rámci regionálních uskupení, a zároveň mají právo doplnění dalších podmínek pro radiokomunikační služby a pro využívání rádiového spektra na svém území. To ovšem za předpokladu, že tyto doplňující podmínky nejsou v rozporu s ustanoveními Radiokomunikačního řádu a dalšími opatřeními v rámci regionální harmonizace.

Pro národní úroveň správy rádiového spektra lze uvést dva obecné principy – axiomy, ze kterých by měla vycházet.

Axiom 1

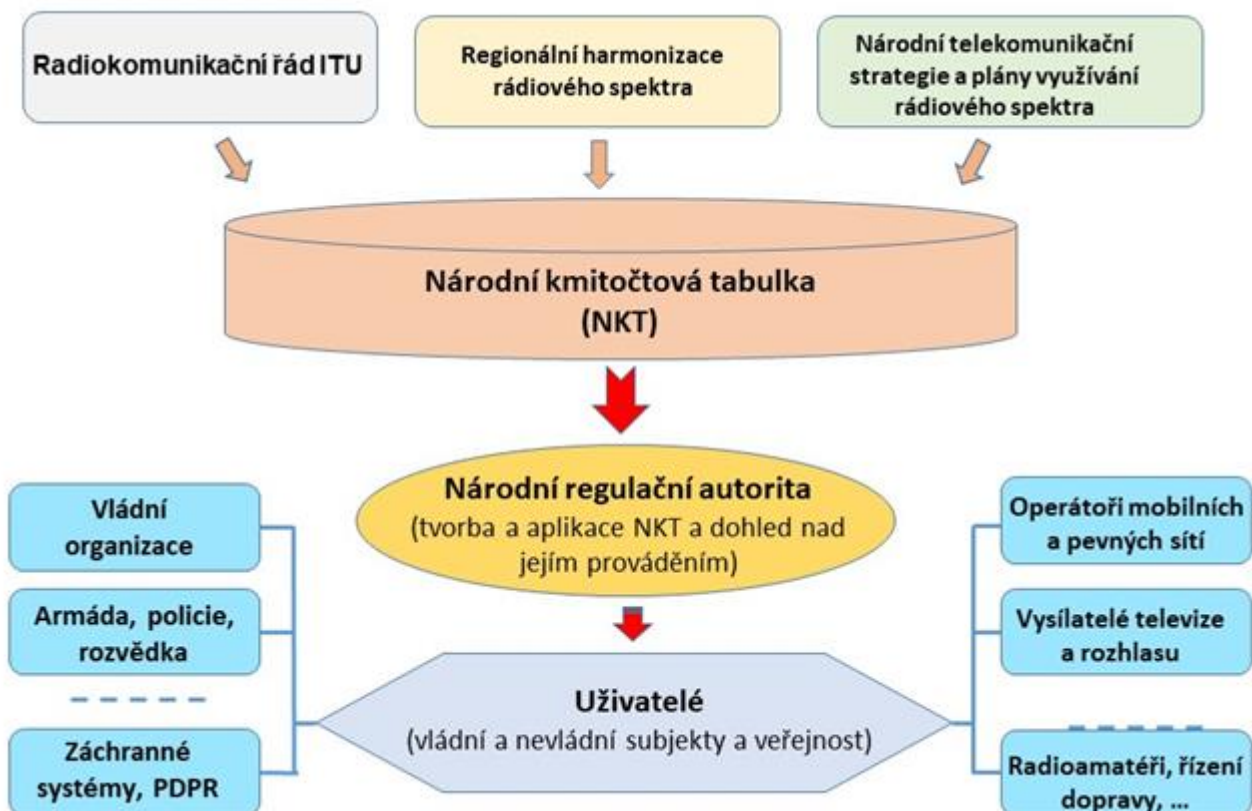
Národní správa spektra zahrnuje struktury, schopnosti, postupy a předpisy nezbytné pro naplňování plánu, strategii a kontrolu využívání rádiového spektra na jeho území a při přeshraničních koordinacích na jeho geografických hranicích. V rámci mezinárodních smluvních dohod založených na Radiokomunikačním řádu a dalších regionálních harmonizačních opatřeních, má každá vláda flexibilitu a autonomii pro stanovení doplňujících opatření ve správě rádiového spektra a jeho využívání. V tomto ohledu musí každý stát vytvořit příslušnou legislativu a zajistit výkon správy rádiového spektra. Využívání rádiového spektra má stále důležitější ekonomickou a sociální hodnotu. Proto je nejlépe harmonizováno v prostředí, ve kterém systém správy rádiového spektra poskytuje stabilitu, efektivní využívání a zároveň k němu usnadňuje svobodný přístup všem uživatelům .

Axiom 2

Účinná správa rádiového spektra jako vzácného, obnovitelného a omezeného přírodního zdroje v sobě zahrnuje formulování cílů jeho správy a využívání, definuje strukturu správy rádiového spektra a ustanovuje orgán nebo orgány odpovědné za její zavedení a dohled.

Národní kmitočtová tabulka je základním prostředkem pro dosažení cílů definovaných v národních plánech využívání rádiového spektra a jeho správy.

Prvky tvořící zdroje pro tvorbu národní kmitočtové tabulky a její využití jsou v obecné formě uvedeny na obr. 33.



Obr. 33: Zdroje pro tvorbu národní kmitočtové tabulky

Z hlediska možných přístupů ke správě rádiového spektra a tvorby a využívání národní kmitočtové tabulky lze využít následujících metod:

- **Nařízení a kontrola (Command and Control)** – výhodou je možnost centrálního plánování využívání rádiového spektra spolu s nízkým rizikem vzniku nežádoucích škodlivých rušení – interferencí. Nevýhodou je pomalé zavádění regulačních opatření s příchodem nových technologií, včetně možnosti neefektivního využívání rádiového spektra.
- **Tržní metody (Market methods)** – dávají možnosti efektivnějšího využívání rádiového spektra, protože uživatelé platí jen za skutečně využívané kmitočty. Nevýhodou je možnost úmyslného blokování části rádiového spektra pro omezení konkurence, což v něm může vést k nežádoucí kmitočtové fragmentaci (blokace kmitočtových úseků a jejich nevyužívání).
- **Flexibilní využití (Flexible use)** – umožňuje efektivní využívání kmitočtových pásem rádiového spektra pro více uživatelů v době jejich skutečné potřeby s tím, že zabraňuje jeho umělému nedostatku a vysokým hodnotám ceny za využívané kmitočty. Praktické zkušenosti jsou zatím malé. Lze odhadovat, že zde bude zvýšené riziko škodlivých interferencí.
- **Sdílení (Sharing)** – efektivní využívání kmitočtových přidělů. Vyžaduje pokročilejší metody správy rádiového spektra. Je zde potenciální možnost rušivých interferencí s dalšími službami v daném kmitočtovém pásmu a možnost nežádoucí fragmentace rádiového spektra.
- **Veřejné využívání (Commons)** – přístup k daným kmitočtovým úsekům rádiového spektra je na základě nevýhradních individuálních práv a je otevřen skupině uživatelů, kteří převezmou správu nad

těmito kmitočtovými úseky. Jedná se o jednu z perspektivních metod pro efektivní využívání rádiového spektra. Vyžaduje však pokročilejší metody správy rádiového spektra a existuje riziko nežádoucích interferencí s dalšími službami v daném kmitočtovém pásmu.

V současné době se ve světě výrazně opouští první metoda centrálního rozhodování a kontroly. Začínají převažovat metody založené na tržních principech i v souvislosti s příchodem nových radiokomunikačních technologií (SDR, mobilní sítě 5G, M2M, ...) pro poskytování moderních pozemských a kosmických služeb. To vede k potřebě zavádění nových metod ve správě rádiového spektra na všech jeho úrovních. Jejich vypracování je také jednou z významných aktivit sektoru ITU-R.

Aby bylo možné naplnit požadované cíle v oblasti správy rádiového spektra, je zcela zásadní existence nezávislého subjektu, který bude tyto požadavky a úkoly v praxi zajišťovat. Tím subjektem je obecně Národní regulátor (NRA). NRA může být jeden institucionální subjekt (správní úřad, pověřená agentura, ...) nebo více subjektů s definovanými kompetencemi v daných oblastech využívání majících nezávislé postavení ve státní správě.

Důležitým aspektem je, že národní regulátor by měl naplňovat a mít následující poslání a kompetence, které lze obecně shrnout do těchto bodů:

1. Národní správa rádiového spektra musí být založena na právních základech (zákony, prováděcí předpisy k zákonům – vyhláška, nařízení vlády, rozhodnutí, metodické pokyny) ve spojení s národním regulačním rámcem a strategiemi a závazky vyplývajícími z uzavřených mezinárodních smluv (např. pro ČR – ITU, EU, CEPT, NATO, ESA, ...).
2. Národní regulace rádiového spektra a jeho účinné využívání musí respektovat technologický vývoj a požadavky na rozvoj spravedlivého a konkurenčního telekomunikačního trhu a vytvářet podporu při budování informační společnosti.
3. NRA by měl být odpovědný za provádění a kontrolu regulačního rámce pro radiokomunikace (vnitrostátní přidělování kmitočtů, plány jejich využití, ...) a dalších záležitostí souvisejících se správou rádiového spektra pro všechny účastníky (vláda, operátoři, poskytovatelé, provozovatelé vysílání, uživatelé, spotřebitelé).
4. NRA musí být zřízen na právním základě a měl by být nezávislým orgánem.

Z výše uvedeného lze také uvést, že pro rozvoj správy rádiového spektra a úlohy NRA je důležitý další aspekt. Správa rádiového spektra a úloha NRA se bude muset změnit z dnešních stále ještě značně využívaných administrativních metod na tržně orientované metody tak, aby vytvářela předpoklady pro trvalý a udržitelný rozvoj a zavádění nových radiokomunikačních technologií umožňujících efektivní využívání rádiového spektra.

5.8 Regulace a legislativa pro správu rádiového spektra v EU a ČR

5.8.1 Evropská unie

V rámci EU je správa rádiového spektra obsažena v současném regulačním rámci elektronických komunikací EU sestávajících ze tří směrnic EU

(<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:337:0037:0069:EN:PDF>) a od roku 2020 v Kodexu elektronických komunikací (Směrnice Evropského parlamentu a Rady EU 2018/1972) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A52016PC0590>.

Harmonizace rádiového spektra v členských zemích EU vychází z návrhu Evropské komise (EK) a jí udělovaných mandátů CEPT. Návrhy strategie využívání rádiového spektra jsou pro mandáty EK zpracovávány v poradní skupině RSPG (Radio Spectrum Policy Group). Harmonizace kmitočtových pásem a koordinace jsou předmětem činnosti výboru pro rádiové spektrum RSC (Radio Spectrum Committee).

Problematika správy rádiového spektra v EU je jednou z aktivit agentury BEREK. Agentura je tvořena sdružením národních evropských regulačních orgánů v oblasti elektronických komunikací. Její existence a úloha je obsažena v regulačním rámci EU a nově i v Kodexu elektronických komunikací. BEREK má za úkol poskytovat administrativní a odbornou podporu v oblasti elektronických komunikací v rámci EU.

Mandáty od EK řeší evropská regionální organizace CEPT ve svém výboru pro elektronické komunikace (ECC – Electronic Communication Committee). Výstupem jsou návrhy na harmonizovaná kmitočtová přidělení jednotlivým službám v rámci EU a v rozhodnutích ECC, která jsou doprovázena specifikacemi uvedenými v rozhodnutích, standardech, doporučeních a technických zprávách.

Využívání rádiového spektra v Evropě je obsaženo v Evropském kmitočtovém informačním systému EFIS (European Frequency Information System). Ten má formu internetového on-line portálu dostupného na <https://www.efis.dk/>. Na EFIS navazují i národní kmitočtové tabulky členských států EU a CEPT.

EFIS plní následující funkce:

- zabezpečuje plnění rozhodnutí EK 2007/344/EC pro harmonizovanou dostupnost informací o využívání rádiového spektra v Evropě a rozhodnutí ECC/DEC/(01)03 o EFIS,
- přispívá k politice harmonizace a transparentnosti využívání rádiového spektra v EU a CEPT,
- na základě rozhodnutí 2013/195/EU definuje praktické kroky, jednotný formát a metody pro informování o využívání rádiového spektra a regulačních opatření v jednotlivých členských státech EU a CEPT.

Je však třeba zdůraznit tu zásadní skutečnost, že EFIS je informační systém a má charakter podpůrného prostředku pro tvorbu národní správy rádiového spektra. Není právně závazný a nezaručuje aktuálnost obsažených informací. Právně závazné jsou až národní kmitočtové tabulky.

5.8.2 Česká republika

Česká republika jako členský stát EU je zavázána k plnění příslušných opatření dotýkajících se správy rádiové spektra.

V legislativní oblasti to znamená především povinnou implementaci EU regulačního rámce a Kodexu elektronických komunikací do národní legislativy. Tím je zákon č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích a jeho právní předpisy. Z nich je zcela zásadní vyhláška č. 105/2010 Sb., o plánu přidělení kmitočtových pásem (národní kmitočtová tabulka) – <https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=423/2017&typeLaw=zakon&what=Cislo zakona smlouvy>.

. Podrobněji bude tato vyhláška diskutována v následující kap. 5.9.

Jako členský stát CEPT pak ČR rovněž prostřednictvím vyhlášky č. 105/2010 implementuje příslušná rozhodnutí ECC, ke kterým se při jejich schvalování zavázala a využívá doporučení a zprávy zpracované v ECC.

5.8.3 Orgány a instituce pro správu rádiového spektra v EU a ČR

Zajištění rozvoje a provádění správy rádiového spektra z hlediska institucionálního je na úrovni EU prostřednictvím mandátů EK pro CEPT, poradní skupiny pro politiku ve spektru RSPG a výboru pro rádiové spektrum RSC. Ve všech těchto subjektech má ČR zastoupené pracovníky Ministerstva průmyslu a obchodu v RSPG a Českého telekomunikačního úřadu (ČTÚ) v RSC.

CEPT je tvořena ze čtyř částí:

- Výbor pro elektronické komunikace ECC – těsně spolupracuje s EU na základě mandátů EK navržených RSC jako subjekt pro záležitosti harmonizace rádiového spektra a standardizaci v telekomunikacích. Tvoří ho řada pracovních skupin a projektových týmů a spolupracuje s Evropským institutem pro standardizaci v telekomunikacích ETSI (European Telecommunication Standardization Institute). Pro přípravu pozice k bodům agendy WRC v podobě společných evropských návrhů ECP je v ECC ustavena pracovní skupina CPG (Conference Preparatory Group).
- Výbor pro záležitosti ITU (COM ITU – Committee of ITU Affairs) – věnuje se záležitostem spojeným se spoluprací v rámci ITU jako jedna z jejích regionálních organizací a reprezentuje CEPT na jednání vrcholových akcí všech sektorů ITU. Ve spolupráci s CPG formuluje ECP na základě jejích návrhů. K návrhům ECP připravených v CEPT se vyjadřuje a dává stanovisko i EK a Evropský parlament. Souhlas s jednotlivými návrhy ECP, vyjadřovaný podpisem členských států EU a CEPT, nebývá vždy jednomyslný. Avšak je zavedenou praxí, že v případě souhlasu mu podepsaný stát při projednávání daného bodu agendy na WRC vyjadřuje podporu.
- Evropský komunikační úřad (ECO – European Communication Office) – je technickou, výzkumnou a organizační základnou pro celou organizaci CEPT. Zajišťuje také provoz systému EFIS.

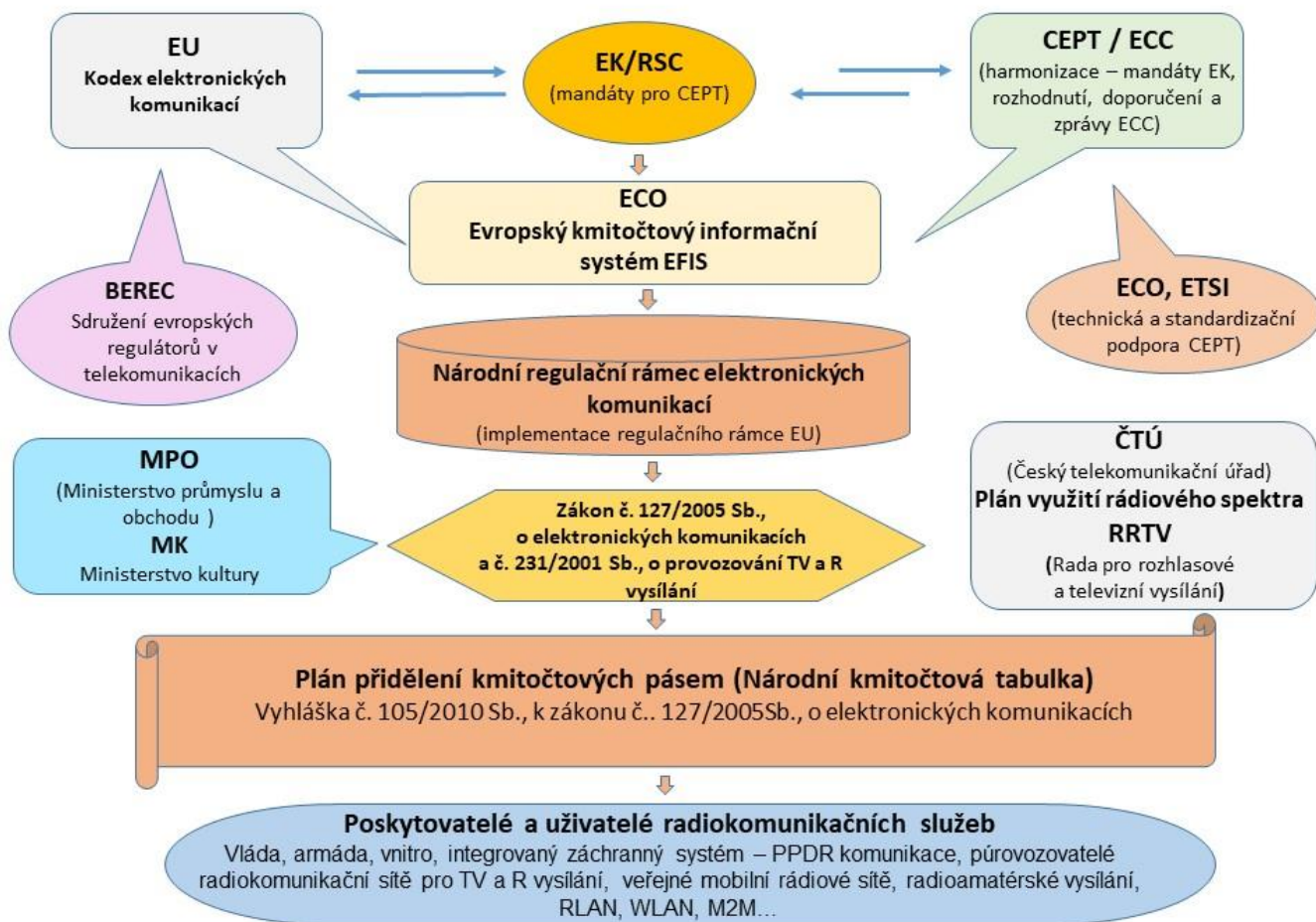
- Evropský výbor pro poštovní regulaci CERP (European Committee for Postal Regulation) – věnuje se problematice sektoru poštovních služeb a spolupráci s Mezinárodní poštovní unií.

Zákon o elektronických komunikacích č. 127/2005 Sb. implementuje legislativu EU do českého právního řádu má v kompetenci Ministerstvo průmyslu a obchodu – odbor elektronických komunikací (<https://www.mpo.cz/cz/e-komunikace-a-posta/>). Ministerstvo zastupuje ČR na PP, v ITU-D a v Radě ITU.

Na základě zákona o elektronických komunikacích a jeho prováděcích předpisech pak praktické provádění správy rádiového spektra a dohled nad ním zajišťuje národní regulátor, kterým je ze zákona o elektronických komunikacích ČTÚ (§3 zákona) prostřednictvím jeho odboru Správy rádiového spektra a oddělení pro tvorbu koncepcí a strategií (<https://www.ctu.cz/radiove-spektrum>). ČTÚ také zastupuje ČR na WRC a RA a v ECC/CEPT.

V případě rozhlasového a televizního vysílání přistupují některá legislativní opatření mající dopad na správu rádiového spektra. Ta vyplývají ze zákona č. 231/2001 Sb., o provozování rozhlasového a televizního vysílání (<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-231>), kde povolení k provozování a přidělování příslušných kmitočtových pásem vyžaduje spolupráci s ČTÚ. Kompetence vykonává Ministerstvo kultury a regulátorem je Rada pro rozhlasové a televizní vysílání (RRTV).

Vzájemné vazby a institucionální zajištění provádění správy rádiového spektra v EU a v ČR jsou v přehledové formě uvedeny na obr. 34.



Obr. 34: Správa rádiového spektra a její provázanosti na úrovni EU a ČR

5.9 Plán využití rádiového spektra a národní kmitočtová tabulka ČR

Plán využití rádiového spektra a národní kmitočtová tabulka jsou základními nástroji pro uskutečňování strategií v různých oblastech řízení státu, národního hospodářství, kultury a sociálních potřeb našeho státu. Příkladem může být Strategie rozvoje zemského digitálního televizního vysílání nebo Implementace a rozvoj sítí 5G v České republice – Cesta k digitální ekonomice, Národní kosmický plán, apod.

Plán přidělení kmitočtových pásem (národní kmitočtová tabulka) je v ČR právně ustanoven vyhláškou č. 105/2010 Sb. k zákonu č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích. Plné znění této vyhlášky je volně ke stažení například na <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2010-105#f4770220>.

V tomto plánu jsou vymezena kmitočtová pásma pro jednotlivé radiokomunikační služby a rádiová zařízení, které jsou obsaženy v Radiokomunikačním řádu ITU. Dále pak jsou v něm promítnuty harmonizační a právní záležitosti v rámci členství ČR v EU a v CEPT. Tento plán stanovuje obecné podmínky pro využívání kmitočtů a přejímá pojmy a definice uvedené v Radiokomunikačním řádu. Odpovědnost za jeho tvorbu má Ministerstvo průmyslu a obchodu.

Vyhláška má obdobnou formu, jako je tomu ve svazku Volume 1 v Radiokomunikačním řádu, a obsahuje další ustanovení v souladu s legislativními pravidly ČR.

Vyhláška obsahuje význam zkratk, vymezení pojmů – všeobecné pojmy, správa kmitočtů, radiokomunikační služby, rádiové stanice a soustavy, provozní pojmy, vlastnosti vysílání a radiových zařízení, sdílení kmitočtů a technické pojmy ve vztahu k družicím, kmitočtová pásma, technické vlastnosti stanic, přidělování a využívání kmitočtů, kmitočtová přidělení, regiony a pásma, kategorie služeb a kmitočtových přidělení.

Příklad formy národní kmitočtové tabulky je uveden na jejím fragmentu v Tabulce 2.

Kmitočtové pásmo	ČR podle Řádu	Přidělení v ČR	Využití přidělení
472–479	NÁMOŘNÍ POHYBLIVÁ 5.79 Letecká radionavigační Amatérská 5.80A 5.82 5.80B	NÁMOŘNÍ POHYBLIVÁ 5.79 [1] LETECKÁ RADIONAVIGAČNÍ [1] [2] 5.82	[1] C [2] NC

Vysvětlivky: kmitočty v kHz, přednostní přidělení – velká písmena, podružné přidělení – malá písmena, C – civilní využití, NC – necivilní využití (Ministerstvo obrany pro vojenské účely a Armáda ČR), čísla jsou poznámky Radiokomunikačního řádu. V případě potřeby jsou ještě doplněny české poznámky s označením CZ (např. CZ3 – harmonizované pásmo NATO).

Na základě plánu přidělení kmitočtových pásem (národní kmitočtové tabulky) je v ČTU vypracován **Plán využívání rádiového spektra (PVRS)** (<https://www.ctu.cz/plan-vyuziti-radioveho-spektra>). K jeho návrhu se uskutečňuje veřejná konzultace a po provedeném vypořádání připomínek a po schválení Radou ČTU je vydáván formou opatření obecné povahy ČTÚ (na základě § 16 odst. 2 zákona o elektronických komunikacích).

Plán sestává ze společné části plánu využití rádiového spektra a jednotlivými částmi plánu využívání rádiového spektra pro kmitočtová pásma vymezená v jeho názvu dolním a horním mezním kmitočtem.

ČTÚ v PVRS stanoví technické parametry a podmínky využití rádiového spektra radiokomunikačními službami.

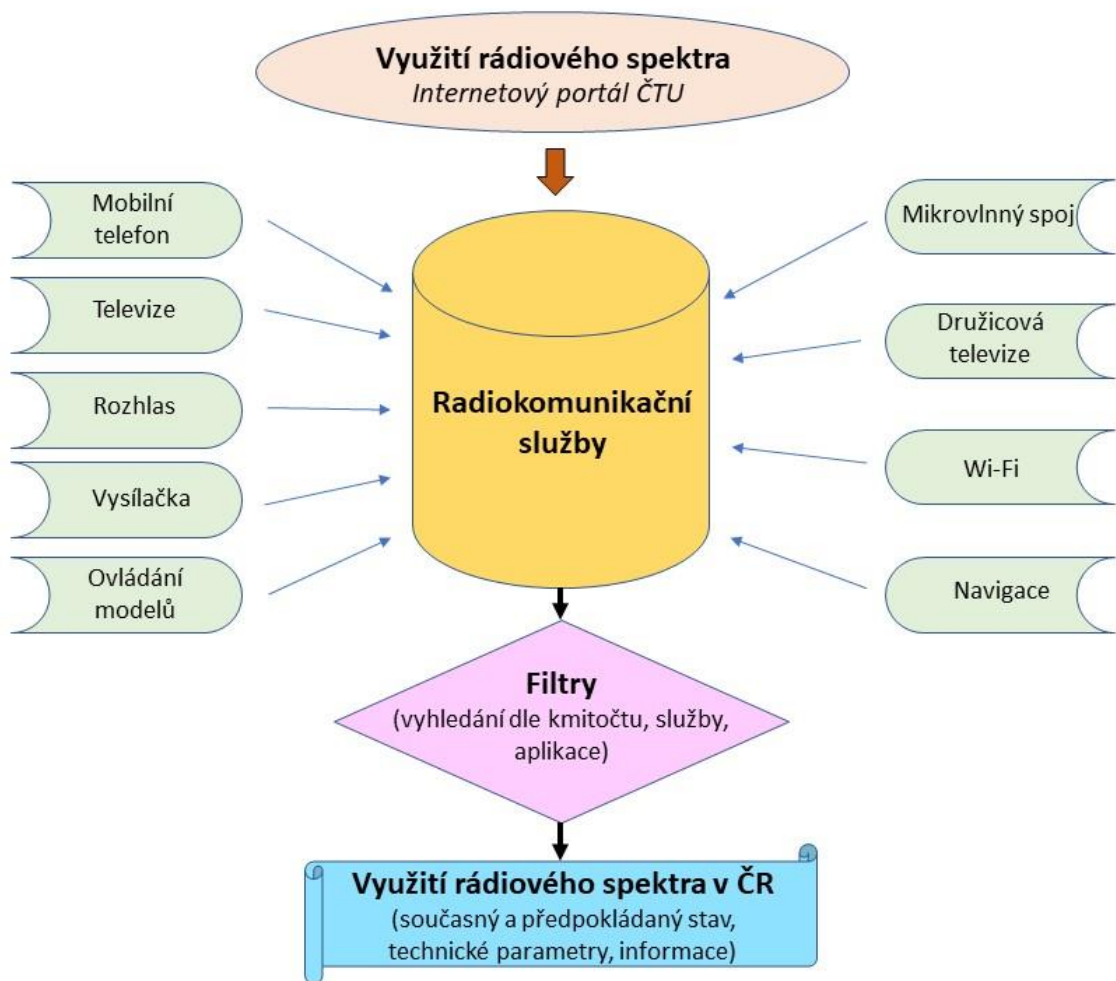
Tento plán zahrnuje podmínky a povinnosti pro využívání rádiových kmitočtů a pro provozování jakéhokoli rádiového zařízení podle zákona o elektronických komunikacích pro provozovatele a uživatele bezdrátových sítí.

K jednotlivým kmitočtovým úsekům rádiového spektra je pak ČTU oprávněn vydávat Všeobecná oprávnění k provozování přístrojů a k využívání rádiových kmitočtů pod označením VO-R/xxx a VO-S/xxx. To stanovuje podmínky výkonu komunikačních činností vztahujících se k poskytování služeb elektronických komunikací, k provozování přístrojů a k využívání rádiových kmitočtů, pro které není třeba udělit individuální oprávnění k využívání rádiových kmitočtů.

Mezi zásadní podmínky a povinnosti plynoucí ze zákona o elektronických komunikacích patří:

- využívání kmitočtů může být založeno pouze na individuálním nebo všeobecném oprávnění (viz § 9 a § 17),
- rádiová zařízení musí splňovat technické požadavky uvedené v § 73 tohoto zákona,
- pro obsluhu rádiových zařízení v letectví a námořní dopravě v pásmu krátkých vln a pro amatérskou radiokomunikační službu je rovněž nutné osvědčení o odborné způsobilosti, které je oprávněn vydávat ČTÚ.

Pro jednodušší orientaci v PVRS vypracoval ČTU pro jeho uživatele webovou on-line aplikaci „Využití rádiového spektra“, která je veřejně a zdarma dostupná na <http://spektrum.ctu.cz/>. Struktura této aplikace je na obr. 35.



Obr. 35: Struktura aplikace ČTÚ – Vyžití rádiového spektra

Jednoduchým nastavením filtrů lze snadno a rychle nalézt veškeré referenční informace spojené s technickými a legislativními podmínkami pro požadované pásmo nebo nalézt vhodné pásmo pro provoz určitého zařízení pro danou radiokomunikační službu.

ČTÚ poskytuje informace obsažené v PVRS do kmitočtového informačního systému EFIS.

5.10 Monitorování rádiového spektra

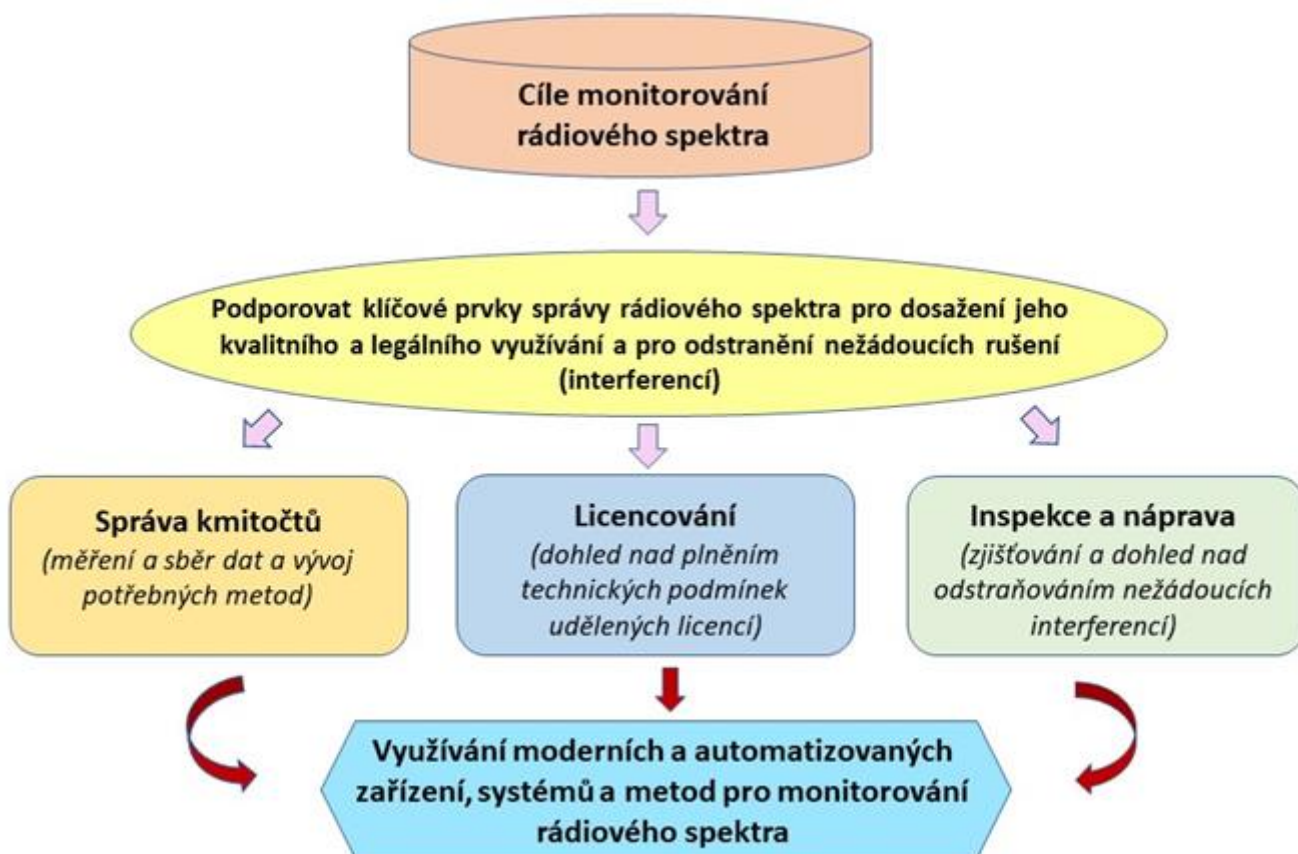
Nedílnou součástí správy rádiového spektra je i funkce dohledu nad skutečným využíváním rádiového spektra a dodržováním stanovených technických podmínek pro provozování jednotlivých radiokomunikačních služeb na území daného státu nebo geografickém území.

Metody a postupy používané pro monitorování rádiového spektra na národních úrovních jsou v případě jejich harmonizace využitelné i pro řešení přeshraničních, regionálních nebo globálních potřeb.

Obecné úlohy a využití monitorování rádiového spektra lze shrnout do těchto bodů:

- Monitorování rádiového spektra se používá ke zjišťování toho, jak účinně (efektivně) jsou v daných zeměpisných oblastech využívána přidělená kmitočtová nebo bezlicenční pásma a jednotlivé kmitočty rádiového spektra.
- Stupeň (efektivita) využití je určen na základě poměru času, kdy jsou kmitočty využívány v souladu s podmínkami jejich přidělení a kdy jsou bez využití.
- Informace získané z monitorování rádiového spektra pomáhají regulačním orgánům posoudit efektivitu vydaných přidělů, odstraňování nežádoucích rušení a jejich neoprávněné využívání a slouží při plánování budoucího využití jednotlivých kmitočtových úseků rádiového spektra.
- Monitorování rádiového spektra se také používá ke zlepšení správnosti (validity) jeho databází a využití v případech sdílení úseků (nebo flexibilního využívání) rádiového spektra.

Cíle monitorování (dohledu) rádiového spektra jsou souhrnně ilustrovány na obr. 36.



Obr. 36: Cíle monitorování rádiového spektra

Monitorování rádiového spektra je zaměřeno na měření kvality rádiových zařízení, lokalizaci zdrojů rušení, kontrolu využívání rádiového spektra a lokalizaci nelegálních využívání rádiového spektra.

Zdroje rušení a interferencí mohou být zařízení, která při svém provozu produkují elektromagnetické vlnění (různé generátory elektrické energie, špatně stíněné oscilátorové obvody rádiových zařízení, ...). Dalším zdrojem mohou být vysílací rádiové stanice, které nesplňují podmínky stanovené Radiokomunikačním řádem (kmitočty, výkony, vlastnosti antén), licenční podmínky nebo podmínky pro šíření jejich signálu na použitých kmitočtech. Poslední skupinou jsou zařízení, která produkují široké spektrum kmitočtů díky proměnlivým skokovým vysokým napěťovým nebo proudovým změnám (jiskření komutátorových kartáčků motorů, spínací obvody napájecích zdrojů, nestíněná výkonová ovládací relé, zapalovací obvody benzínových motorů, ...), nebo jsou přírodního charakteru (například výboje blesku).

Nežádoucí interference a rušení se obvykle šíří rozvodnými sítěmi, propojovacími kabely nebo vzduchem (prostřednictvím elektromagnetického vlnění).

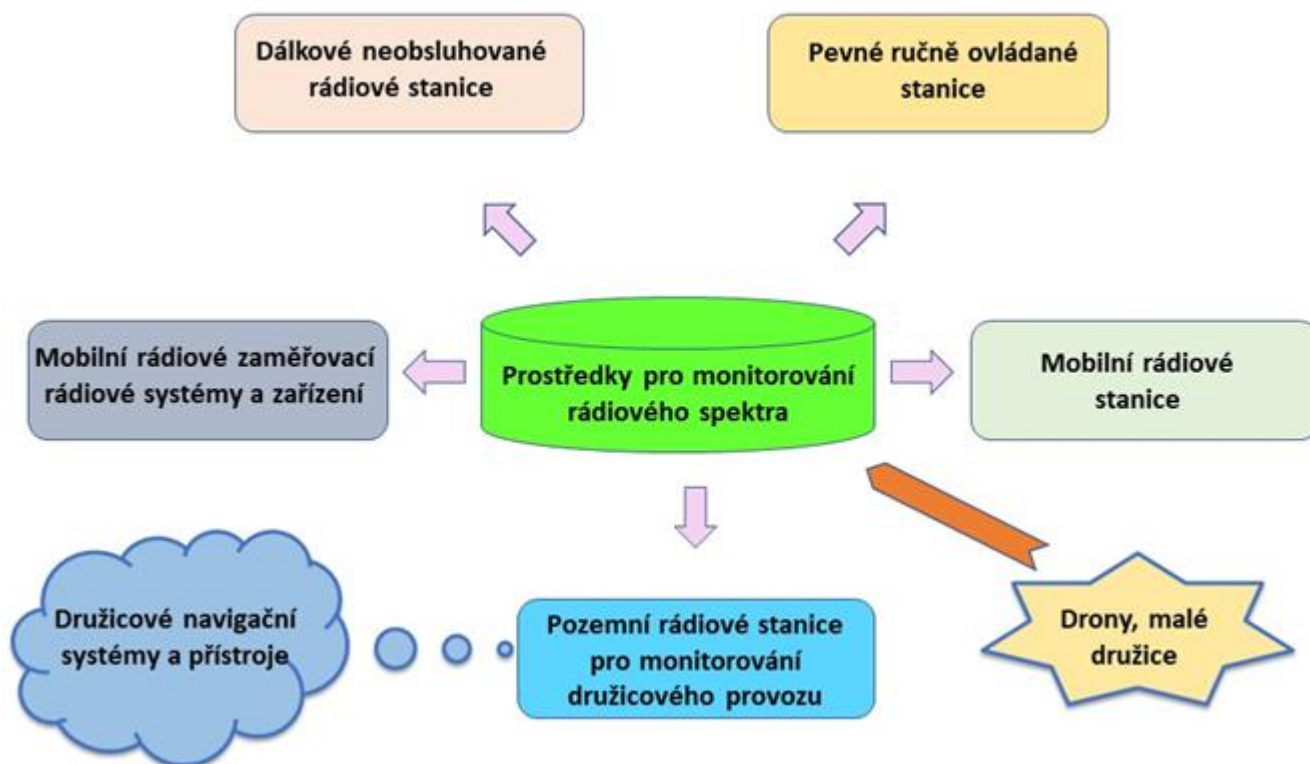
Pro ochranu před rušením a interferencemi se používá řada prostředků a metod jako například kmitočtové pásmové filtry, stínění kabelů a zdrojů kmitočtů, stanovení technických podmínek pro provozování vysílacích rádiových systémů, vhodné lokální nebo geografické rozmístování rádiových zařízení, automatické potlačování vysílacího výkonu a další.

U nelegálního využívání rádiového spektra se jedná například o rozhlasové vysílání na kmitočtech jiných služeb nebo na kmitočtech přidělených jinému držiteli příslušné licence, případně vysílání bez jakékoliv licence. Případ nelegálního využívání rádiového spektra je častým zdrojem nežádoucích interferenčních rušení.

K monitorování rádiového spektra se využívají tyto technické prostředky a systémy:

- SDR rádiové přijímače se všesměrovými nebo směrovými anténami,
- spektrální analyzátory,
- družicové přijímače navigačních systémů pro lokalizaci,
- zaměřovací systémy a přijímače se směrovými nebo speciálními anténami nebo anténními soustavami,
- počítačové systémy s aplikacemi pro sběr a zpracování dat a geografických informací.

Tyto prostředky mohou být v praxi realizovány a používány tak, jak je ukázáno na obr. 37.



Obr. 37: Technické prostředky a způsoby pro provádění monitorování rádiového spektra

Několik ukávek rádiových zařízení používaných pro monitorování rádiového spektra je na obr. 38.



AOR AR-ONE

komunikační přijímač v pásmu 10kHz-3,3GHz se všemi druhy modulací (AM, FM, NFM, WFM, LSB, USB, CW a digitální módy)



Uniden UBC-355CLT

vozidlový AM/FM skener pro pásmo 25 MHz - 960MHz



ICOM IC-R30

ruční skener v pásmu 0,1 – 3,3 MHz



Spektrální analyzátor

využití počítačové aplikace ro SDR rádio



SDR DX Pacrol

Software Defined Radio (SDR) pro pásmo 100 KHz – 2 GHz

Obr. 38: Příklady rádiových zařízení používaných pro monitorování rádiového spektra

Jaké možnosti přináší využívání technologie SDR pro monitorování rádiového spektra je ukázáno na instruktážním videu.

<https://www.youtube.com/watch?v=ZbZs8YgFic0>

V ČR je kompetentním orgánem v oblasti monitorování rádiového spektra ČTÚ prostřednictvím odboru správy kmitočtového spektra a jednotlivých oblastních správ v sekci ochrany spotřebitele. K tomuto účelu jsou v jednotlivých oblastních správách využívány stacionární monitorovací a pevné řídicí stanice a mobilní monitorovací stanice umístěné ve speciálních automobilech.

V současné době se v ČTÚ pracuje na budování celorepublikového systému pro monitorování pod názvem „Automatizovaný systém monitorování kmitočtového spektra“ (ASMKS). Cílem je zavedení moderního automatického monitorovacího systému jako prostředku pro efektivní správu rádiového spektra v souladu s legislativním rámcem ČR. ASMKS představuje informační systém s rozsáhlým aplikačním programovým vybavením pro zajištění přímých vazeb na jiné, u ČTÚ již užívané informační systémy a pro automatizaci a formalizaci některých procesů bezprostředně souvisejících s výkonem správy rádiového spektra. Více informací o tomto systému lze nalézt na

<https://www.ctu.eu/sites/default/files/obsah/clanky/61919/soubory/monitorovaci-zprava-12-cervenec-2007-1187091112.pdf>.

Jakou podobu může mít automatizované centrum pro monitorování rádiového spektra je ukázáno na příkladu z Kataru.

<https://www.youtube.com/watch?v=LJkBHbZX13o>

Z výše uvedeného zřetelně vyplývá, proč je monitorování rádiového spektra důležitým a neopominutelným prvkem ve správě rádiového spektra a z jakého důvodu je součástí národních strategií dotýkajících se využívání rádiového spektra.

Používané prostředky a vybavení pro monitorování rádiového spektra musí sledovat vývoj radiokomunikačních technologií tak, aby byly schopny poskytovat hodnověrná data a informace o využívání rádiového spektra, stavu ochrany před rušením a interferencemi (vnitrostátními i přeshraničními) a o efektivitě jeho využívání.

To vše jsou důležité faktory i z pohledu tvorby národních strategií v oblasti národního hospodářství a prvků informační společnosti založených na využívání pozemských a kosmických radiokomunikací a fungování radiokomunikačního trhu.

5.11 Automatizace správy rádiového spektra

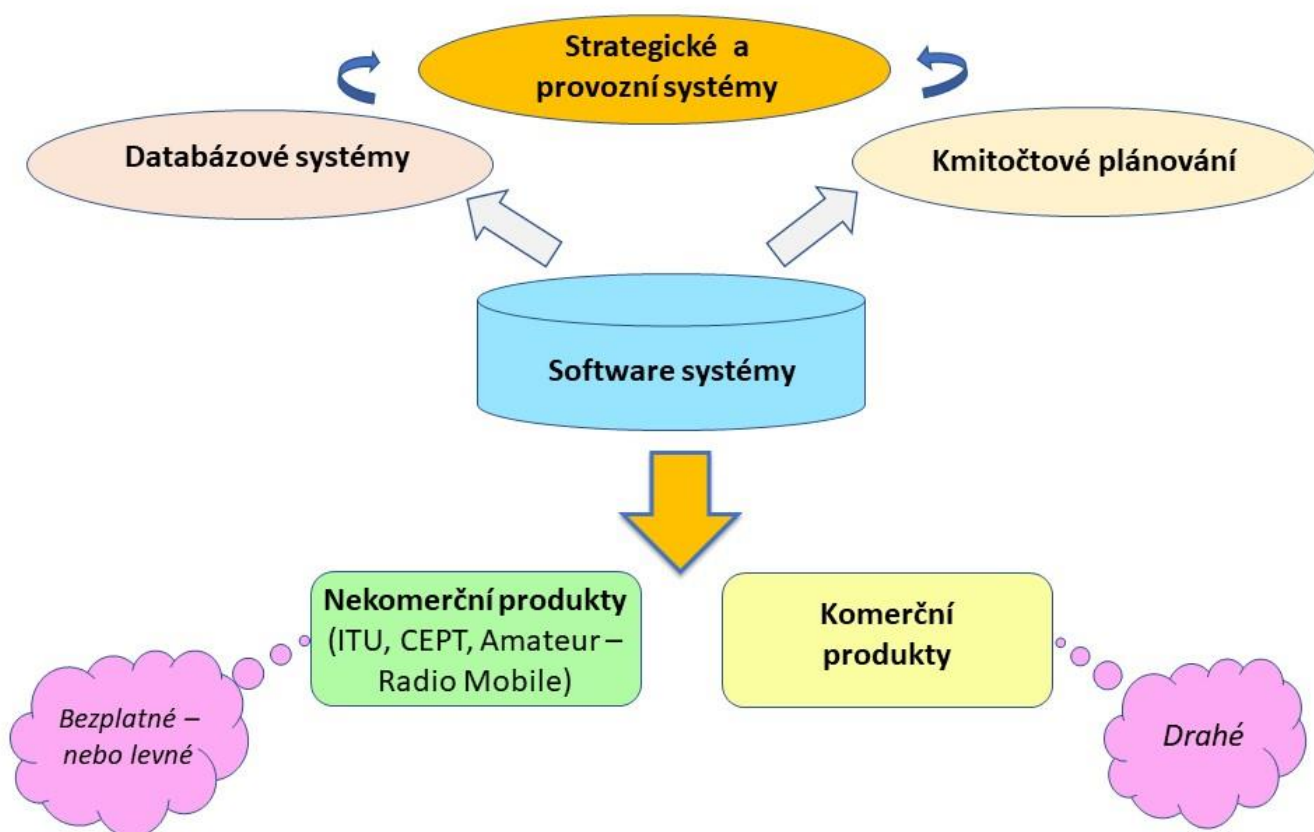
Automatizace správy rádiového spektra představuje perspektivní směr v technické podpoře metod moderní správy rádiového spektra. Tento přístup za pomoci softwarových prostředků počítačové techniky se stále více prosazuje u národních regulátorů.

Důvody zavádění automatizovaného způsobu správy rádiového spektra lze uvést s ohledem na potřeby spojené s rozsáhlostí a rostoucí složitostí moderních radiokomunikačních technologií a jejich aplikací v sofistikovaných radiokomunikačních službách. S tím souvisí nárůst požadavků na nová přidělení kmitočtových pásem a ochranu jak nově zaváděných radiokomunikačních služeb, tak těch stávajících.

Proč je nutné přecházet na automatizaci správy rádiového spektra, lze spatřovat v těchto hlavních důvodech:

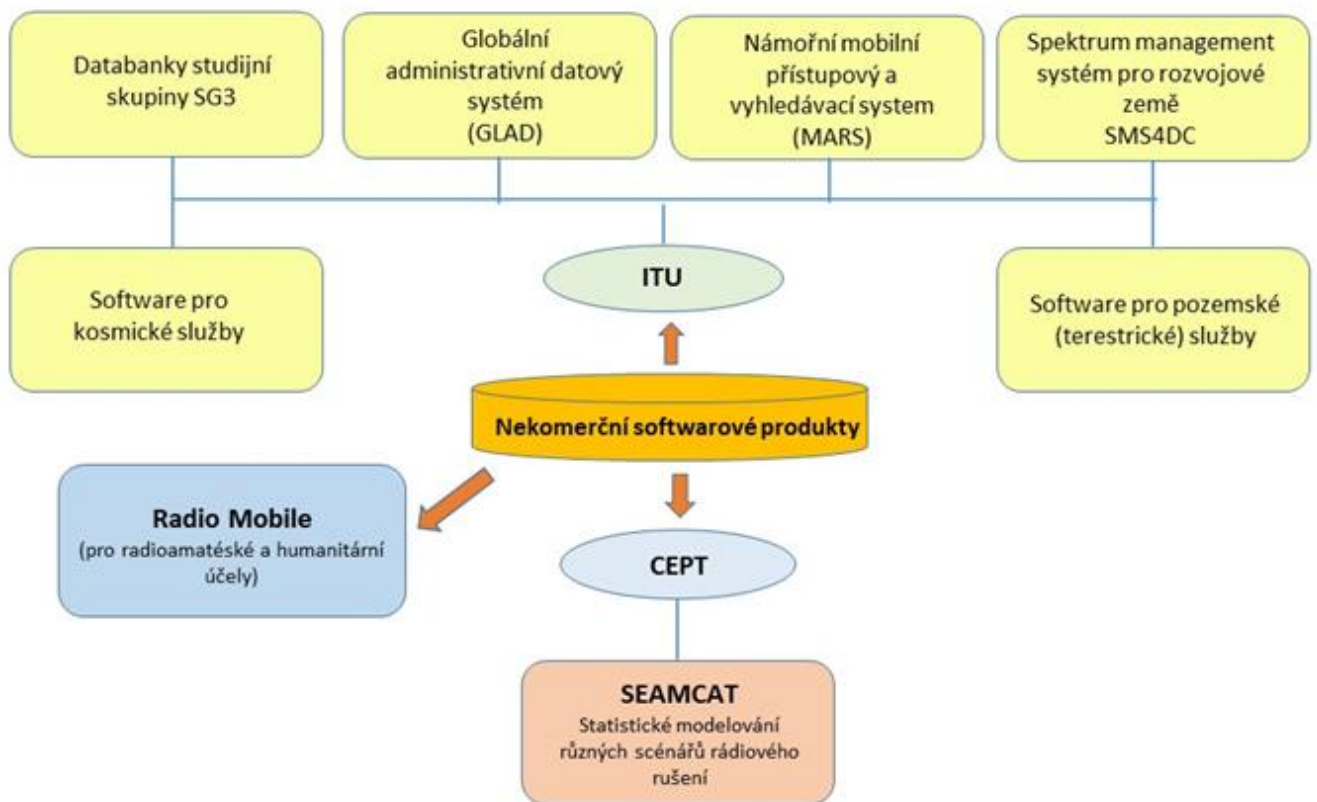
- Správa rádiového spektra obsahuje široký komplex často vzájemně provázaných technických, administrativních a právních úkonů. Například přidělování kmitočtů mnoha operátorům, ochrana přidělů před interferenčním rušením, zajištění územního pokrytí, přeshraniční kmitočtové koordinace, notifikace a koordinace družicových služeb, udělování oprávnění pro využívání rádiových kmitočtů, zajištění rovných podmínek pro všechny na segmentu radiokomunikačního trhu atd.
- Vytvoření účinné podpory při aplikaci Radiokomunikačního řádu a pro efektivní uplatňování harmonizace při využívání rádiového spektra na regionální a národní úrovni v podmínkách neustálého nárůstu počtu mnoha typů radiokomunikačních služeb využívajících rádiového spektra v pásmu 9 kHz – 3000 GHz, které podléhají globálním, regionálním a národním regulacím.
- Potřeba řešit velmi složité a komplexní úlohy s mnoha vstupními parametry spojené s plánováním a ochranou pozemských a kosmických radiokomunikačních služeb a jejich mezinárodními kmitočtovými koordinacemi.
- Nutnost efektivní podpory při plánování a stanovování ekonomické hodnoty kmitočtů a kmitočtových úseků rádiového spektra, tvorba a využívání simulačních modelů při zadávání technických a cenových podmínek tendrů aukcí rádiového spektra a jejich vyhodnocování. Dále pro využívání dalších metod, jako je sdílení, flexibilita nebo všeobecná oprávnění zahrnující technickou ochranu proti škodlivému rušení a ochranu ekonomických zájmů poskytovatelům, výrobcům a uživatelům státních, veřejných a neveřejných radiokomunikačních služeb.
- Potřeba technické podpory při zavádění automatizace do monitorování rádiového spektra.

V současné době jsou k dispozici různé komplexní modulární softwarové produkty pro aplikace v rámci jednotlivých oblastí správy rádiového spektra tak, jak je ukázáno na obr. 39.



Obr. 39: Přehled software pro podporu automatizace správy rádiového spektra

V oblasti nekomerčního využívání je v ITU-R vypracována řada softwarových produktů pokrývajících různé oblasti ve správě rádiového spektra. Ty jsou bezplatně k dispozici národním regulátorům z členských států ITU. Přehled nekomerčních produktů a oblastí jejich využití je uveden na obr. 40. Tyto produkty jsou rovněž využívány v rámci činností jednotlivých odborů radiokomunikačního úřadu BR/ITU-R.



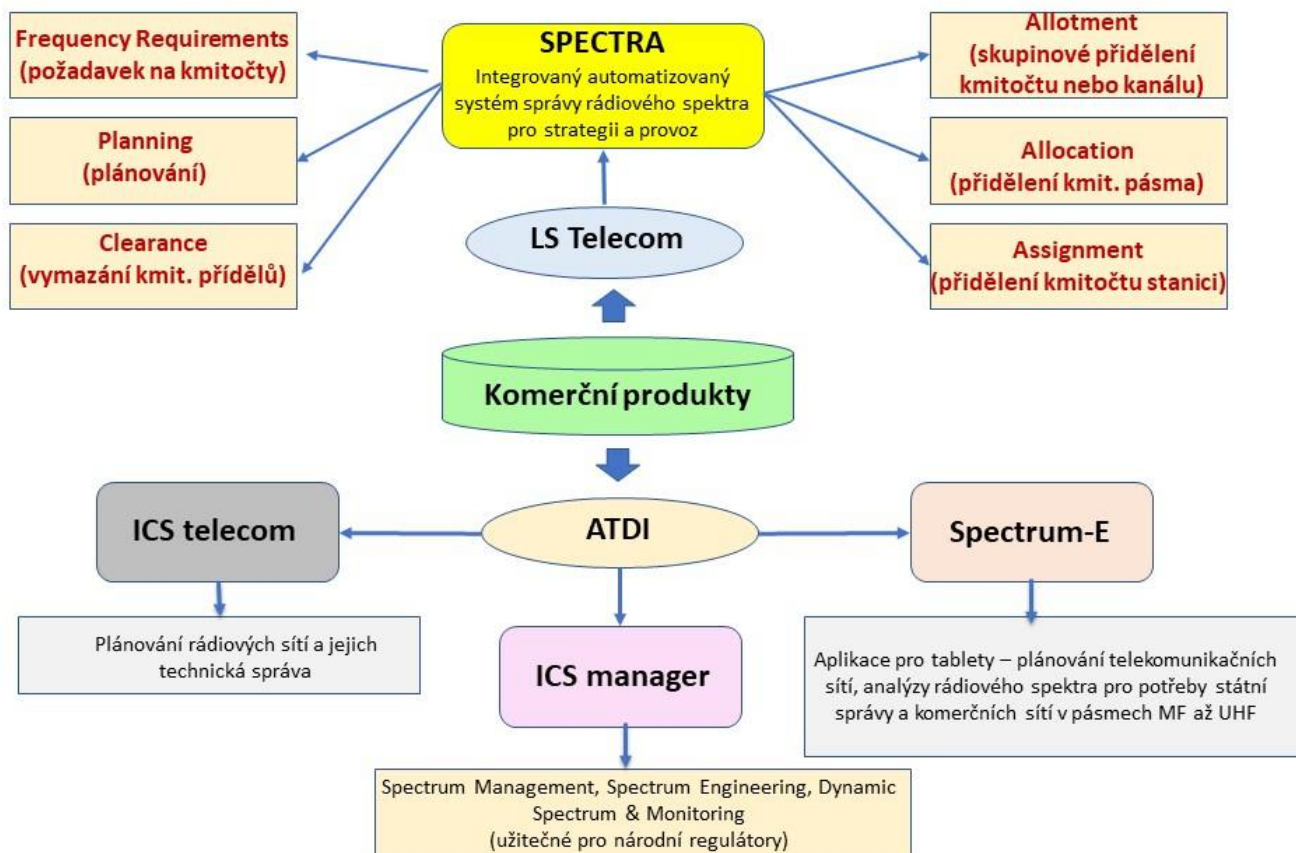
Obr. 40: Přehled nekomerčních softwarových produktů pro správu rádiového spektra

V CEPT a ECO byl vypracován softwarový produkt SEMCAT (<https://www.cept.org/eco/eco-tools-and-services/seamcat-spectrum-engineering-advanced-monte-carlo-analysis-tool>). Ten umožňuje statistické modelování (metodou Monte-Carlo) různých scénářů rádiového rušení, řešit sdílení a vypracovávat studie kompatibility mezi radiokomunikačními systémy ve stejném nebo v sousedních kmitočtových pásmech. Nelze ho však použít pro vlastní kmitočtová plánování rádiových sítí.

K dosažení je též volně dostupný a bezplatný software Radio Mobile (<https://www.ve2dbe.com/english1.html>). Ten je primárně navržen pro radioamatéry a humanitární účely. Lze ho využít pro kmitočtové plánování analogových nebo digitálních rádiových sítí. Výstup z programu kromě vlastních technických dat obsahuje i geografický systém pro zobrazení pokrytí území signálem z dané radiokomunikační sítě. Je to také dobrá pomůcka ve výuce při praktických úlohách návrhů radiokomunikačních sítí.

V komerční oblasti jsou dnes ve světě užívány komplexní systémové software produkty dvou společností ATDI (<https://atdi-group.com/>) a LS Telecom (<https://www.lstelcom.com/en/home/>). Tyto produkty nepatří mezi zrovna levné (řádově statisíce Kč). Na druhou stranu díky modulovému řešení umožňují navrhovat a provozovat různé automatizované systémy podle skutečných potřeb v daném čase včetně jejich budoucího rozšiřování. Tím lze efektivně řešit jednak konkrétní problémy a současně do jisté míry i optimalizovat vládním a národním regulátorům nemalé investice do automatizace procesů spojených s plánováním a využíváním rádiového spektra.

Přehled dostupných modulů a jejich funkcí je ukázán na obr. 41.



Obr. 41: Přehled komerčních softwarových produktů pro správu rádiového spektra

ČR se aktivně podílela a nadále podílí na vývoji software v rámci ITU-R. Automatizovaný systém pro monitorování spektra, který buduje ČTÚ, je též jedním z příkladů využití moderních přístupů ke správě rádiového spektra.

Trh a nabídka produktů využitelných pro automatizaci správy rádiového spektra se neustále rozšiřuje v souladu s tím, jak se rozvíjejí radiokomunikační technologie a potřeby metod správy rádiového spektra od globální po národní úroveň.

6 Ekonomika a regulace využívání rádiového spektra

Rádiové spektrum kromě svých technických vlastností má také ekonomickou hodnotu. Ne každý kmitočet nebo kmitočtové pásmo mají stejnou cenu. To je dáno zejména tím, jakou cenu na radiokomunikačním trhu má provozovaná radiokomunikační služba v daném kmitočtovém pásmu. Proto součástí správy rádiového spektra nutně musí být brány v úvahu i ekonomické záležitosti a aspekty ve využívání rádiového spektra.

V současné době nabývají ekonomická hlediska stále větší důležitost. Je to zejména z toho důvodu, že neustále rostoucí potřeba využívání rádiové komunikace založené na nových radiokomunikačních technologiích ve všech oblastech národního hospodářství a směřování k informační společnosti vytváří zvýšené požadavky na přidělování dalších kmitočtů nebo zvyšování velikosti kmitočtových pásem pro provozované radiokomunikační služby.

Příkladem může být rozvoj mobilních sítí, které nabízejí stále větší přenosové rychlosti, které si vynucují nové aplikace využívající internetu. Víme už, že čím větší rychlostí má být informace rádiovým kanálem přenášena, tak tím větší kmitočtové pásmo bude potřeba. Současně platí, že svobodný přístup a využívání rádiového spektra je lidským právem. To jsou však poněkud protichůdné požadavky, protože rádiové spektrum je omezený přírodní zdroj.

Je tedy zřejmé, že jedinou perspektivní cestou je vytváření a používání takových metod správy a regulace rádiového spektra, které povedou k efektivnímu nakládání s tímto zdrojem tak, aby bylo možné uspokojit spravedlivě všechny zájemce o jeho využívání. Toho cíle lze dosáhnout jen v případě, že správa rádiového spektra bude brát v úvahu i ekonomické aspekty jeho využívání.

Jak technická, tak i ekonomická složka zahrnutá do správy rádiového spektra musí být doprovázena příslušnou legislativou, která její použité metody umožňuje a garantuje plnění a ochranu stanovených podmínek všem uživatelům na základě právních prostředků.

V případě ČR je základním právním prostředkem pro správu rádiového spektra zákon č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích a jeho prováděcí předpisy. To se ve vztahu k této kapitole dotýká možnosti získávání práv na využívání rádiového spektra (individuální nebo všeobecná oprávnění), umožnění obchodování s rádiovým spektrem, stanovení poplatků za využívání rádiových kmitočtů a prostředků na ochranu radiokomunikačního trhu. Tento zákon v sobě zahrnuje i opatření, která vyplývají z legislativy pro elektronické komunikace v EU. Praktické uplatňování této legislativy má v kompetenci národní regulátor, kterým je ČTÚ.

6.1 Rádiové spektrum a jeho ekonomická hodnota

Na tomto místě bude užitečné si znovu připomenout základní atributy, které vedou k potřebě zahrnutí ekonomických prvků do správy rádiového spektra.

Rádiové spektrum má ve vztahu k ekonomické oblasti tyto vlastnosti:

- má ekonomickou hodnotu, která mu dává právo být komoditou a tedy předmětem obchodu na soutěžním trhu a jako jakékoli jiné zboží může být prodáno uživatelům a sdíleno na základě licencovaných nebo nelicencovaných metod,
- je důležitým prvkem a strategickým přírodním zdrojem působícím na rozvoj ekonomiky, kultury a sociálních služeb pro uspokojování potřeb každého státu a jeho jednotlivých občanů.
- nelze ho omezovat na základě geografických státních hranic,
- jeho využívání je umožněno a garantováno prostřednictvím mezinárodních smluv a národních politik,
- je spravováno na základě Radiokomunikačního řádu v pásmu 9 kHz – 3000 GHz.

Z historického hlediska byly v ekonomii pro regulaci komodit na trhu používány dva do jisté míry extrémní přístupy.

První je založen na tvrzení, že všechna rozhodnutí mohou být centralizována a prováděna vydáváním objednávek výrobcům – co musí být vyrobeno a s jakými vstupy, a případně také sdělováním spotřebitelům, co musí spotřebovat.

Druhý pak předpokládá, že veškeré přidělování zdrojů lze provádět prostřednictvím trhů bez centrálního řízení.

V praxi se však ekonomické přístupy pohybují mezi těmito extrémy. Pro fungování moderní ekonomiky se ukázalo jako nemožné, aby vlády doslova kontrolovaly všechna rozhodnutí o přidělování přírodních zdrojů. Většina rozhodnutí musí být do jisté míry delegována na výrobce a spotřebitele. I v tržních ekonomikách (na liberalizovaných trzích) vlády přijímají mnoho rozhodnutí o přidělování daní, o výdajích, produkují veřejné služby a zachovávají si regulační pravomoci, aby mohly řídit nebo ovlivňovat způsob využívání zdrojů. Je zřejmé, že v případě rádiového spektra je třeba brát v úvahu i jeho fyzikální vlastnosti.

Klíčové aspekty působící na vytváření a dosaženou úroveň radiokomunikačního trhu lze shrnout do těchto bodů:

- Rádiové spektrum je vzácným, omezeným a obnovitelným veřejným přírodním zdrojem, má ekonomickou a sociální hodnotu.
- Základním problémem při stanovování ekonomické hodnoty rádiového spektra je stanovení odpovídající ceny kmitočtů v jednotlivých úsecích rádiového spektra.
- Rádiové spektrum má ekonomickou hodnotu a jako každé jiné komoditě mu může být přiřazena cena a licence k využívání, která může být předmětem obchodování.

- Úroveň liberalizace radiokomunikačního trhu (svobodný přístup a hospodářská soutěž) závisí na odpovídající úrovni jeho regulace a jejích metodách.
- Regulační politika státu musí odrážet potřeby rozvoje a zavádění moderních radiokomunikačních pozemních a kosmických technologií a služeb, aby byly zajištěny potřeby hospodářského rozvoje a sociální potřeby společnosti.

Jedním z klíčových momentů je otázka stanovení ekonomicky odůvodněné výše ceny za kmitočty.

Je třeba si uvědomit, že špatně stanovená cena za kmitočty zásadním způsobem ovlivňuje podmínky podnikání, rozvoj radiokomunikačních technologií a úroveň, kvalitu a bezpečnost poskytovaných radiokomunikačních služeb.

Na první pohled je zřejmé, že nepochybně jiná bude ekonomická hodnota (cena a přínosy) pro mobilní rádiové sítě v pásmu 700 MHz než třeba v pásmu 20 GHz. Už jen z důvodu investic do infrastruktury a provozu s ohledem na stupeň pokrytí území nebo obyvatelstva. V dolním pásmu se vystačí s výrazně menším počtem základnových stanic pro stejná pokrytí. To vše se samozřejmě ve svém důsledku pak promítá do výše zisků operátorů a následně do cen pro koncového zákazníka a nakonec i do výše daňových odvodů státu.

Podrobněji se tomuto tématu bude věnovat kap. 3.3, která se zabývá problematikou obchodování s rádiovým spektrem.

6.2 Přístup k rádiovému spektru

Jak již bylo několikrát uvedeno, právo na využívání rádiového spektra má charakter všeobecného lidského práva. Je třeba uvést, že kmitočtové příděly nemají nějakou zhmotnělou podobu, ale jedná se o právní akt umožňující jejich využívání a zaručující jistou míru právní ochrany pro všechny zájemce. Což je samozřejmě důležitý aspekt z hlediska ekonomického a tržního uplatnění.

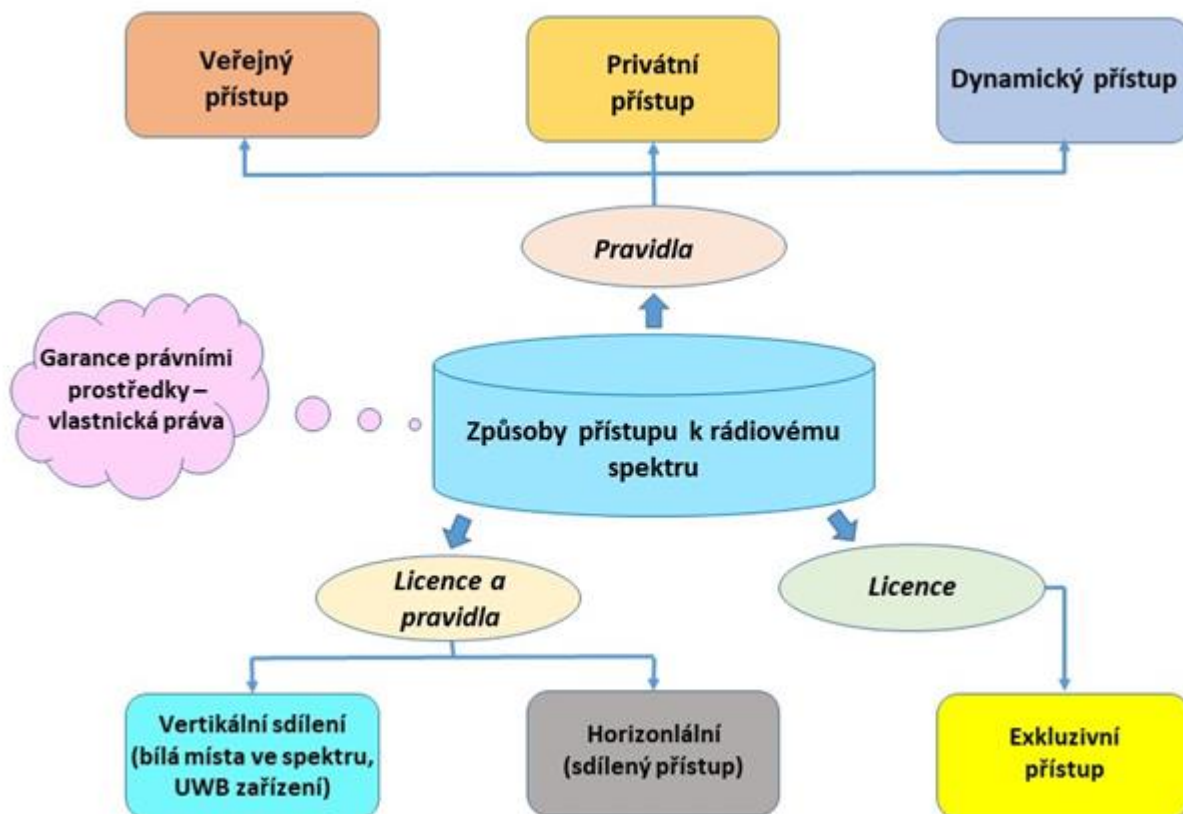
Proto jedním z prvků správy rádiového spektra musí být zavedení pravidel pro zajištění práv přístupu k využívání rádiového spektra. To v návaznosti na národní legislativu regulace radiokomunikací a úroveň liberalizace jejího trhu.

Způsoby zajištění přístupových práv závisí na použitých metodách správy rádiového spektra. Ty, jak bylo uvedeno v kapitole 5.7, mohou být prováděny těmito metodami:

- nařízením a kontrolou,
- tržními metodami,
- flexibilním využíváním,
- sdílením,
- veřejným využíváním.

Tyto metody odrážejí obecné principy, ze kterých vychází zajištění přístupu k rádiovému spektru. Principy mohou vycházet z metod založených na pravidlech na základě udělování licencí a doplňujících pravidel nebo na přidělování exkluzivních licencí.

Souhrnně je přehled možností zajištění přístupu založených na obecných principech k využívání rádiového spektra uvedeny na obr. 42.



Obr. 42: Způsoby zajištění přístupu k rádiovému spektru

Zásadním aspektem při použití kteréhokoliv principu jsou otázky spojené se zajištěním právních garancí v nějakém časovém intervalu.

Ochrana udělených práv přístupu k rádiovému spektru má složku technickou a právní. Z hlediska technické ochrany je využívání rádiového spektra garantováno národní kmitočtovou tabulkou, která odráží technické podmínky Radiokomunikačního řádu a regionální harmonizace. Zásadní roli tady hraje zajištění ochrany proti nežádoucímu interferenčnímu rušení a možnosti jeho případného odstranění jak z hlediska technického, tak právního.

Každé nežádoucí rušení (ať vlivem interferencí nebo jinými zdroji) má vždy ekonomické dopady na vlastníka práv k využívání rádiového spektra. Opatření na jeho technické nebo právní odstranění a řešení finančních náhrad za nekvalitně poskytovanou službu uživatelům vždy představuje další náklady na straně poskytovatele služby – vlastníka práv. To vše i v závislosti na tom, jakého druhu ta práva jsou. Rovněž tak může mít nežádoucí rušení i negativní dopady na vlastní fungování radiokomunikačního trhu. Například může docházet k vytlačování konkurence tím, že její rušené služby mají časté poruchy a zákazníci odcházejí k jinému provozovateli.

Z hlediska právního je potřeba stanovit účinná opatření, která řeší rovnoprávné podmínky přístupu pro všechny zájemce o využívání kmitočtů a stanovuje opatření v případě jejich porušení.

Je třeba mít na paměti, že vedle nežádoucích interferenčních rušení od stávajících uživatelů může v čase docházet k situacím způsobeným novými službami a použitými radiokomunikačními technologiemi.

Nemalé poplatky, které za kmitočty platí držitelé exklusivních licencí (v ČR jsou individuálních práva k využívání rádiových kmitočtů), mohou i vážně ohrožovat jejich podnikání. Na druhé straně při veřejném bezplatném využívání stanovených kmitočtových pásem je tento dopad na uživatele nepoměrně menší.

Proto při volbě a výběru metod pro zajištění práv k využívání rádiového spektra je třeba volit komplexní víceparametrový přístup ve vztahu k úrovni liberalizace trhu elektronických komunikací. To jak z pohledu technického a ekonomického a obojí musí být garantováno příslušnou legislativou. Je to i z toho důvodu, že cílové efektivní využívání a správa rádiového spektra v sobě obsahují jak složku technickou, tak i ekonomickou.

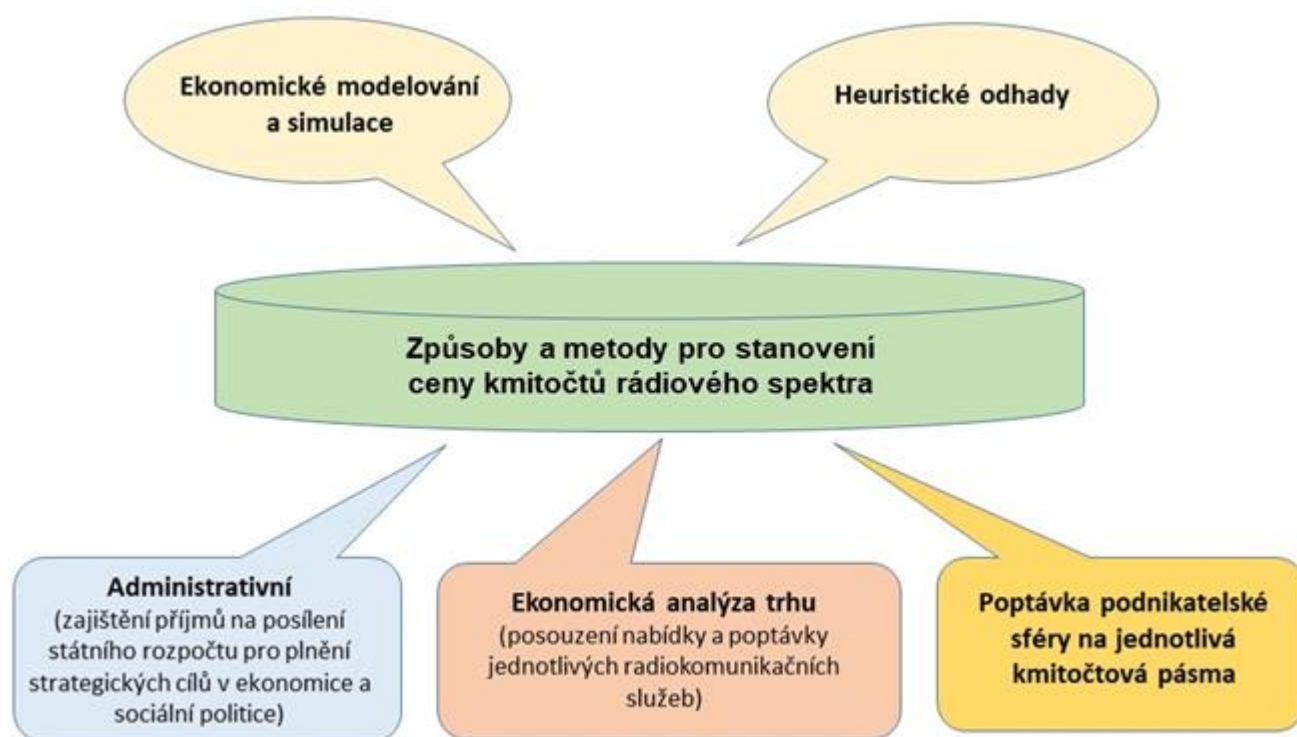
6.3 Obchodování s rádiovým spektrem

V řadě států jsou dnes zřejmě nejužívanějším přístupem pro správu rádiového spektra a regulaci radiokomunikačního trhu metody založené na tržních principech. Tedy na principech volné soutěže. Způsoby jejich použití, tedy jakým způsobem a za jakých podmínek se udělují práva na využívání kmitočtových úseků a jaké poplatky za jeho využívání bude stát vybírat, se odvíjí od dosaženého stupně liberalizace trhu (tj. na podmínkách a rozsahu volné soutěže s daným stupněm regulací) a jeho regulace spolu se strukturou regulačních subjektů.

V ČR je možnost obchodování s rádiovým spektrem zakotvena v zákoně o elektronických komunikacích č. 127/2005 Sb. a v jeho prováděcích předpisech (vyhlášky, nařízení vlády).

U každého obchodování je jedním z hlavních problémů stanovení odpovídající (realistické) ceny nabízeného produktu. Tedy v našem případě stanovení odpovídající ekonomické hodnoty nabízeného kmitočtového úseku rádiového spektra v časovém období jeho předpokládaného využívání.

Při stanovování ceny kmitočtových úseků rádiového spektra na základě tržních metod lze obecně aplikovat přístupy, které jsou v přehledu shrnuty na obr. 43.



Obr. 43: Metody pro stanovení ceny kmitočtů nebo kmitočtových úseků rádiového spektra

V případě použití tržních metod vychází stanovení ceny z následujících faktorů a předpokladů.

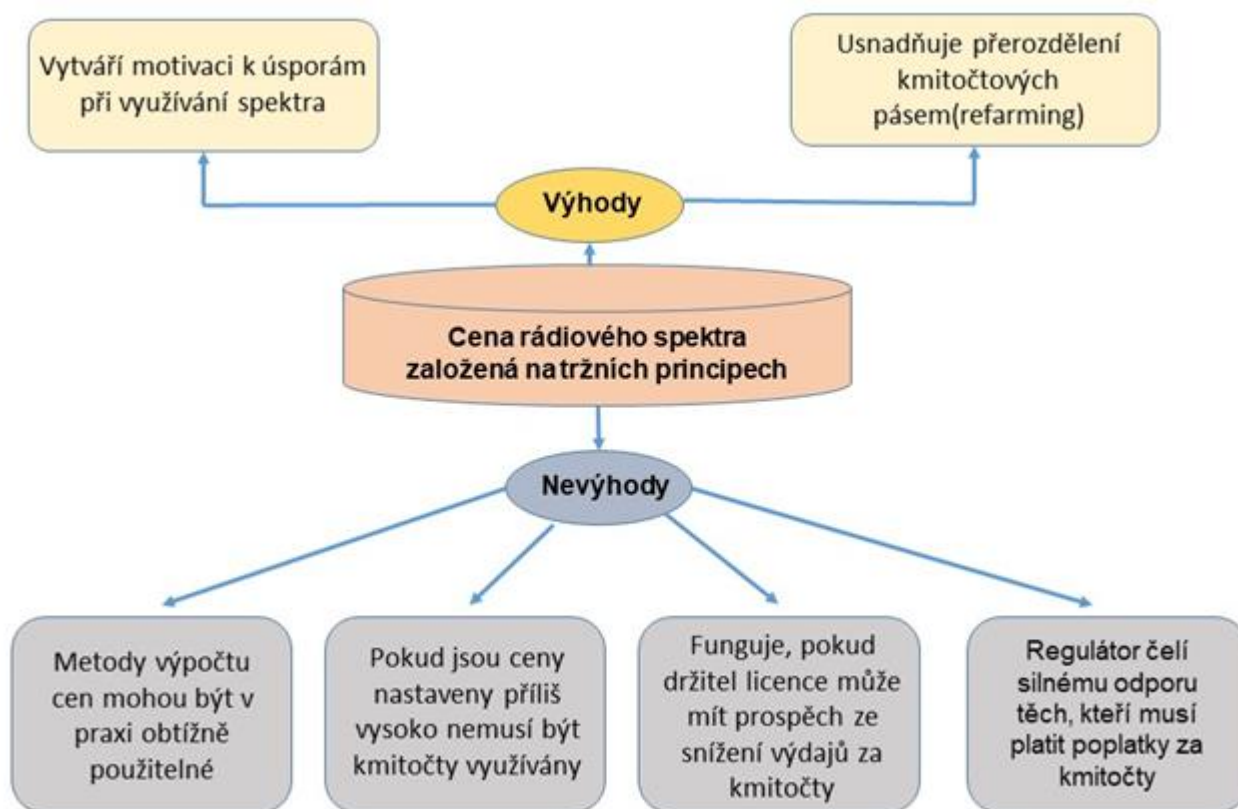
Národní regulátor spektra vypočítává a nastavuje ceny, které odrážejí nedostatek daného kmitočtového úseku rádiového spektra. Tento přístup vede ke stanovení ročních poplatků. Takto stanovené ceny však

mohou být agregovány, aby v průběhu let poskytly vyšší kapitálovou hodnotu přístupu k rádiovému spektru.

Aby ceny za přidělené kmitočtové úseky měly požadované účinky, je důležité zajistit, aby jejich uživatelé dostávali určitou odměnu. Například formou poklesu ceny za dobrovolné omezení využívání spektra. To je nezbytné, pokud mají být ochotni odevzdat přidělené kmitočty zpět dřívě, než jim skončí platnost jejich uživatelských práv.

Rovněž je důležité nestanovovat příliš vysoké ceny. To by mohlo mít za následek, že dané služby nebudou z podnikatelského hlediska přijatelné (příliš vysoké investice, pomalá návratnost, malý počet zákazníků díky vysokým cenám za službu), nebo to může vést i k nevyužívání daného kmitočtového úseku rádiového spektra.

Výhody a nevýhody využívání tržních metod při stanovování ceny kmitočtů jsou shrnuty na obr. 44.



Obr. 44: Výhody a nevýhody využití tržních metod pro stanovení ceny kmitočtových úseků rádiového spektra

Pro obchodování s rádiovým spektrem se v závislosti na stupni liberalizace trhu používá těchto způsobů soutěže:

- **Nejlepší cena (Beauty contest)** – jinak také známá jako „obálková metoda“, vítězem se stává ten, kdo nabídne nejvyšší cenu. To však s sebou nese rizika, že vítěz nakonec nezaplatí dohodnutou částku

v daném termínu a může tím blokovat konkurenci, nebo se ukáže, že není schopen danou službu zajistit v požadované kvalitě nebo dokonce vůbec.

- **Loterie** – vítěz je vybrán losováním. Z pohledu státu a příjmu do státního rozpočtu se to nemusí ukázat jako přínosné. Do jisté míry se tím potlačuje negativní dopad stanovené, avšak neodpovídající ceny za přidělení práv na využívání daných kmitočtů.
- **Aukce** – dnes nejužívanější způsob obchodování s kmitočty na dostatečně liberalizovaných trzích.

Každá taková soutěž vychází z určitých základních podmínek stanovených státem ve spolupráci s regulačními subjekty. V případě ČR je to mezi vládou (prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu) a ČTÚ. Příkladem aukce v ČR může být dražení kmitočtových úseků o šířce 10 MHz v pásmu 700 MHz pro potřeby mobilních sítí 5G, které mají zajistit vysokorychlostní služby do jednotek Gb/sec.

V případě aukce mohou být tyto podmínky stanoveny na základě využití následujících tržních metod:

- **Prostá aukce** – vycházející z počátečního ocenění udělované licence. Místo výběru totožnosti držitelů licence daného kmitočtového pásma by regulátor mohl dražit licenci s výhradou požadavků na to, jak jaké a služby musí být poskytovány. To by mělo zajistit požadovaný příjem do státního rozpočtu a umožnit, že licence přejdou k nejlepším provozovatelům.
- **Liberalizace** – (další snížení regulace) nebo dání držiteli licence větší výběr, pokud jde o technologii, kterou používá, nebo službu, kterou poskytuje. V tomto případě má nabyvatel licence na výběr, jakou technologii používá (např. 3G, 4G nebo 5G u mobilních sítí) a případně na to, jaké služby na použitých technologiích poskytne. Negativní stránkou je riziko možnosti vzniku nežádoucích interferenčních rušení.
- **Úplný primární a sekundární (další) trh s licencemi** – v tomto případě lze licenci vydraženého kmitočtového pásma (nebo jeho části) zakoupit a prodat nebo pronajmout jinému subjektu v průběhu doby platnosti licence. Zde je velké riziko interferencí a narušení podmínek soutěžního trhu omezováním konkurence nebo neutrality přístupu.
- **Poskytování kmitočtových pásem zákazníkům velkoobchodníkem nebo jejich správcem** – kmitočtové pásmo je přiřazeno zprostředkující firmě, která je zpřístupňuje skupině zákazníků. Tento způsob je výhodný pro uživatele s nízkými nebo občasnými potřebami využití daného kmitočtového pásma. Opět jsou tu možná rizika interferencí a ohrožení neutrality přístupu.

Tržní prvky obchodování se využívají i v dalších perspektivních metodách správy pro efektivní využívání rádiového spektra, jako je sdílení nebo flexibilní přístup k jednotlivým kmitočtům nebo kmitočtovým úsekům.

6.4 Bezlicenční pásma rádiového spektra

Bezlicenční pásma rádiového spektra jsou jedním ze stále více využívaných způsobů užívání vybraných kmitočtových úseků rádiového spektra. Zejména jsou určena k používání zařízení s krátkým dosahem uvnitř budov nebo v blízkém okolí a nevyžadující zvláštní ochranu vůči nežádoucím rušení.

Tato pásma patří do skupiny označované jako „Commons“, jak bylo uvedeno na obr. 42 v kap. 3.2. Z hlediska práva jde o veřejné vlastnictví přístupových práv, za která jejich vlastník neplatí státu žádné poplatky.

Na druhé straně ale nemůže vyžadovat ochranu svých služeb v případě, že nejsou porušeny podmínky stanovené regulátorem pro takové úseky rádiového spektra. Ty vycházejí z Radiokomunikačního řádu, regionálních harmonizací a národních kmitočtových tabulek. Rovněž tak jejich užívání nesmí způsobovat nežádoucí interferenční rušení radiokomunikačním službám s přednostním právem podle Radiokomunikačního řádu.

Příkladem služeb využívajících bezlicenční pásma jsou lokální rádiové sítě Wi-Fi pro přístup do internetu a vzájemného propojování elektronických zařízení, ovládání dronů a různých dálkově řízených modelů v pásmech 2,4 a 5 GHz, občanské radiostanice CB v pásmu 27 MHz pro různé veřejné služby, informační systémy a různé nouzové systémy ve VKV a UHF pásmech, bezešňurové telefony systému DECT v pásmu 1890 MHz atd.

Hlavní výhody a přínosy zavádění bezlicenčních pásem do metod správy rádiového spektra lze spatřovat v následujících aspektech.

Pro využívání rádiových kmitočtů není třeba zavádět procesy pro udělování licencí na straně regulátora, protože nejsou vyžadovány žádné poplatky. To se odráží i ve snížení nákladů na provozování takových radiokomunikačních sítí a služeb na straně poskytovatele a mělo by se příznivě odrazit i v cenách za poskytované služby u koncového zákazníka. Do jisté míry je tím odstraněna překážka pro vstup potencionálních poskytovatelů služeb, která existuje v případě značně omezených licencovaných úseků rádiového spektra, a nutnost platit obvykle vysoké poplatky. Vysoká cena a nedostatek licencovaných úseků rádiového spektra představují hlavní překážky vstupu pro další potenciální poskytovatele služeb s negativním dopadem na omezování konkurence na daném segmentu trhu.

Bezlicenční pásma umožňují rychlejší zavádění nových radiokomunikačních technologií a služeb. Nelicencované úseky rádiového spektra nevyžadují nebo podstatně snižují náklady na provádění předběžných kmitočtových vymezení a stanovení podmínek koordinací v Radiokomunikačním řádu a následně v plánech na využívání rádiového spektra a v národních kmitočtových tabulkách.

Tento přístup je cenný zvláště v různých systémech pro prevenci a řešení přírodních katastrof a hromadných událostí (PPDR krizové systémy) a v armádních aplikacích, kde taktické komunikační systémy musí být absolutně pohyblivé, mobilní a škálovatelné.

V české legislativě je umožněno využívání bezlicenčních kmitočtových pásem na základě zákona o elektronických komunikacích, kde je zaveden institut opatření obecné povahy. Tím je ČTÚ zmocněno vydávat pro vymezené úseky rádiového spektra „Všeobecná oprávnění“. V nich jsou uvedeny podmínky pro provoz sítí elektronických komunikací a poskytování služeb elektronických komunikací a pro provozování elektronických přístrojů, pro které není třeba získat licenci podle zákona o elektronických komunikacích ve formě „Individuálního oprávnění k využívání rádiových kmitočtů“.

Aktuální seznam vydaných všeobecných oprávnění je na internetových stránkách ČTÚ (<https://www.ctu.cz/vseobecna-opravneni>).

V závěru lze zdůraznit, že potřeba využívání bezlicenčních pásem bude narůstat zejména v oblasti využívání aplikací typu „stroj – stroj“ (M2M), pro potřeby lokalizačních zařízení jako RFID, pro různé senzory v aplikacích internetu věcí a při využívání rádiových technologií v robotizaci v digitální ekonomice, v inteligentních dopravních systémech, ve zdravotnictví apod.

7 Trendy ve správě a využívání rádiového spektra

Telekomunikace a její součást radiokomunikace v posledních dekádách prošly obrovskou změnou spočívající jak v přechodu z analogových zpracování signálů na digitální technologie kódování a přenosu v pozemských i kosmických službách a aplikacích.

Infrastruktura, služby pro podporu rozvoje digitální ekonomiky a informační společnosti a jejich přínosů budou v budoucnu vyžadovat zavádění vysokorychlostních (nesprávně používaný pojem „širokopásmových“) komunikačních sítí. A to pokud možno mobilních sítí. Vlády si stále výrazněji uvědomují, že vysokorychlostní přístup k internetu je právo člověka i právnické osoby a není to luxus.

Proto se dnes tvoří národní telekomunikační/ICT politika takzvaného „Broadbandu pro vysokorychlostní internet“. V ČR jsou to mj. vládou schválené strategie (např. Digitální Česko 2, EU operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost, ...).

Zejména rozvoj mobilních rádiových sítí z počátku 90. let minulého století a příchod internetu byly tím urychlujícím faktorem změn ve způsobech správy rádiového spektra a použitých metod regulace. Nárůst přenosových rychlostí v mobilních sítích od jednotek kbit/sec k jednotkám Gbit/sec se děje v periodě necelých 30 let.

To vše má v případě radiokomunikací samozřejmě vliv na požadavky směrem k rádiovému spektru a jeho metodám správy. Jako jeden z příkladů takového dopadu může být změna Radiokomunikačního řádu na každé WRC pro mobilní systém nejdříve označovaný jako IMT 2000 a tehdejší uplatnění v mobilním systému GSM 2G a 3G, po WRC 12 na současný IMT 2020, který zahrnuje mobilní sítě 4G a po WRC 19 i pro nastupující generaci mobilních sítí 5G.

Obecné důvody, které vedou k potřebě zavádění nových metod ve správě rádiového spektra, lze shrnout do těchto oblastí:

- Historicky byl přístup a využívání rádiového kmitočtového spektra vysoce regulován, aby se zabránilo rušení mezi různými uživateli v sousedních kmitočtových pásmech.
- V současné době je stále více zřejmé, že pro telekomunikační / ICT trh a regulační trendy je klíčová neutralita v přístupu k rádiovému spektru a k on-line službám (např. je zásadní pro hledání zaměstnání, získání platu, placení účtů a daní, hlasování, učení a individuální a obchodní rozhodnutí, ...). Neutralita by měla zajistit všem zájemcům o rádiové spektrum spravedlivé a rovné podmínky pro jeho získání a využívání.
- Rádiové spektrum je vzácný omezený obnovitelný veřejný přírodní zdroj a bude nadále komoditou na segmentu trhu Telekomunikací / ICT.
- Vývoj nových, zejména mobilních technologií a radiokomunikačních služeb spolu s požadavky na zvyšování přenosových rychlostí vyžaduje účinné a efektivní využívání rádiového spektra.
- Regulační orgány docházejí k poznání, že v tak rychle se měnícím a dynamickém prostředí bude třeba nová regulační paradigmaty v podobě „Čtvrté generace regulace radiokomunikací“ formulované v ITU.

K tomu přistupují další faktory jako stále se zvyšující požadavky na přidělování dalších kmitočtů vlivem rozvoje inovací stávajících a příchodem zcela nových radiokomunikačních technologií. Dynamika tohoto procesu má stále kratší periody.

To je patrné zejména na trhu mobilních pozemských služeb. Perioda mezi 3G a 4G byla přibližně deset let. Avšak perioda mezi 4G a 5G už je zhruba kolem pěti let. Ještě se tyto sítě ve větší míře neprovozují, ale nejen v ITU už se intenzivně pracuje na 6G.

Avšak ani kosmické radiokomunikace nezůstávají stranou. Stále masivnějším využíváním sítí malých družic operujících v rozsáhlých konstelacích na nízkých oběžných dráhách například pro potřeby přístupu do internetu nebo monitorování Země je novým a perspektivním elementem v radiokomunikacích.

To vše ovšem dále zvýší tlak na přidělení dalších kmitočtových pásem s přednostním právem pro ochranu před nežádoucím interferenčním rušením a potřebou legislativních garancí udělených práv.

K tomu přidejme očekávaný nárůst zařízení patřících do skupiny komunikace M2M a robotizace s tlakem na další bezlicenční kmitočtová pásma.

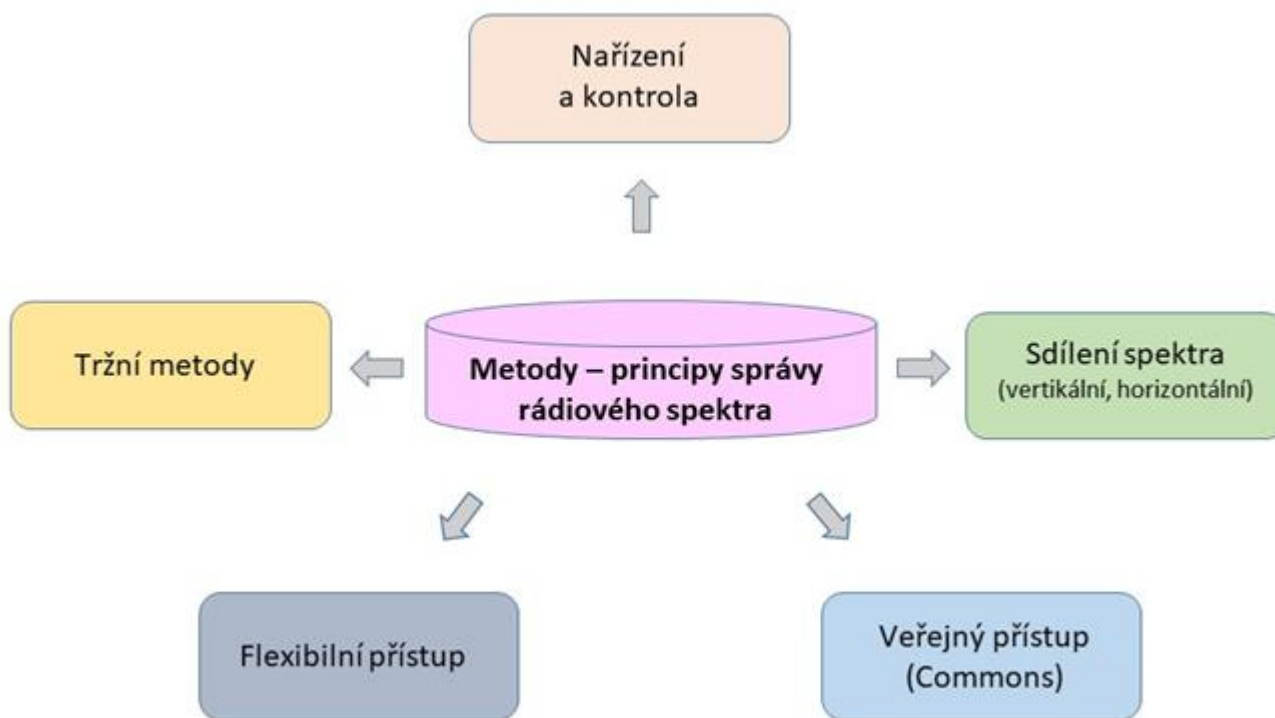
Rozvoj trhů s telekomunikacemi / ICT se řídí potřebami zajištění udržitelného rozvoje pomocí ekosystémů a musí být spravedlivý soutěžní trh. Je to otázka nalezení rovnováhy mezi vytvořením správných pobídek a prosazováním nezbytných pravidel. S přechodem k regulaci ex-post se překážky vstupu na trh postupně snižují prakticky ve všech tržních segmentech, které otevírají cestu novým účastníkům trhu a novým obchodním modelům.

Z hlediska budoucnosti ve správě rádiového spektra si lze tedy položit následující otázky:

- Jak zajistit spolehlivou, bezpečnou a kvalitní radiokomunikační infrastrukturu pro požadované služby při respektování svobodného soutěžního trhu a rovnocenného přístupu pro všechny uživatele, tedy technologickou neutralitu a neutralitu přístupu ke službám?
- Jak dosáhnout toho, aby aplikace a služby efektivně využívaly rádiové spektrum?
- Jak zajistit kybernetickou bezpečnost při využívání rádiového spektra na Zemi i v kosmu?
- Jak dosáhnout takzvaného „udržitelného rozvoje telekomunikačního / ICT trhu“?

To vše výše uvedené opět dokládá, proč správa rádiového spektra potřebuje nové paradigma.

Na tomto místě bude užitečné si připomenout, jakých v současné době známých metod lze použít pro správu rádiového spektra. Ty jsou přehledně uvedeny na obr. 45.



Obr. 45: *Metody – principy využívané pro správu rádiového spektra*

Z výše uvedeného je bezpochyby zřejmé, že trendy správy rádiového spektra musí být orientovány nejen na technicky, ale i na ekonomicky efektivní uplatňování principů založených na metodách sdílení a flexibility kmitočtových úseků rádiového spektra. To spolu se snahou trvalého hledání a využívání bezlicenčních práv k využívání kmitočtových úseků na principu vzájemného nerušení a bez ochrany provozovaných služeb.

Příkladem použití nových přístupů ve správě rádiového spektra může být takzvaná digitální dividenda. Ta je výsledkem přechodu pozemského analogového rozhlasového a televizního vysílání na digitální DVB-T. Tím došlo k uvolnění kmitočtových úseků (kanálů) v pásmu 790 MHz – 895 MHz a následně po WRC 15 v 2. dividendě v pásmu 694 MHz – 790 MHz pro nové služby na principu sdílení pro sítě poskytující vysokorychlostní internet nebo M2M komunikace. Důsledkem toho však je nutnost přechodu na nový kódovací systém DVB-T2, který zaručuje ochranu služeb proti nežádoucímu rušení ve sdíleném pásmu.

Dalším příkladem jsou trendy ve využívání „bílých míst“ (White space) v VHF/UHF rádiovém spektru v pásmu pozemské televize (470–890 MHz), kde v rámci 2. digitální dividendy bylo odňato přidělené kmitočtové pásmo nad 694 MHz ve prospěch mobilních sítí 4G.

Nedílnou součástí jednotlivých přístupů ke správě rádiového spektra je rozvoj jejich technické podpory. Ta se odráží především ve stále větší míře využívání principů automatizace jednotlivých technických a administrativních procesů ve správě rádiového spektra zahrnujících i jeho monitorování.

Trendem bude bezpochyby nasazování automatizovaných systémů využívajících prvků umělé inteligence a výkonných prostředků pro monitorování rádiového spektra. To v souladu se zaváděním nových

radiokomunikačních technologií a potřebami pro podporu zajištění efektivního a bezpečného využívání rádiového spektra a jeho ochrany před nežádoucím interferenčním rušením. To spolu s rozvojem prostředků a metod pro vyhledávání a odstranění zdrojů nežádoucích rušení.

V závěru lze pro trendy ve správě rádiového spektra zdůraznit následující zásadní atributy:

- Radiokomunikační sítě musí poskytovat moderní a inteligentní služby (smart services) na základě zásad neutrality, spravedlivého, svobodného a bezpečného přístupu na konkurenční trh.
- To ovšem pro regulátory radiokomunikací znamená, že musí čelit výzvám, které tyto nové služby a aplikace přináší. To vše za růstu podpory zavádění automatizace procesů spojených se správou rádiového spektra a jeho potřebami.
- Trendy ve správě rádiového spektra jsou podmíněny i změnami v příslušné legislativě a harmonizaci v případě regionálních uskupení. V ČR to znamená implementaci regulace a harmonizaci elektronických komunikací v EU a jejich strategických cílů.

Výrazným trendem směřujícím k novému paradigmatu správy rádiového spektra je, aby čtvrtá generace správy rádiového spektra zajistila dohled na větší rozsah služeb poskytovaných prostřednictvím vysokorychlostních a konvergovaných sítí, které tvoří digitální „ekosystém“ a zaručí jeho udržitelnost.

Ekosystém obecně zahrnuje politiky, strategie, procesy, informace, technologie, aplikace a účastníky (stakeholders), kteří společně vytvářejí technologie a formují životní prostředí. Přitom se bere v úvahu, že lidé jsou různí jednotlivci, kteří vytvářejí, kupují, prodávají, regulují, řídí a používají k tomu soustavu různých technologií. Ekosystém zdůrazňuje aspekty poskytování hodnotových řetězců, na kterých se účastní více subjektů (multistakeholder user principe).

8 Příprava odborníků pro správu rádiového spektra

Správa rádiového spektra a její rozvoj ve všech jeho částech nepochybně vyžaduje mít k dispozici odborníky s příslušným vzděláním (lidské zdroje). To na straně všech subjektů, které vytvářejí a zajišťují dohled nad uplatňováním pravidel správy a využívání rádiového spektra, tak na straně jeho uživatelů (poskytovatelů infrastruktury a jejích služeb, vývojářů a výrobců radiokomunikačních technologií, spotřebitelů).

Z předchozích kapitol je zřejmé, že se jedná odborníky, kteří mají příslušné vzdělání v technických, ekonomických a právních oborech. Zájem o takové odborníky je vysoký jak ve vyspělých, tak zejména v rozvojových zemích. A to jak u státních organizací, tak ve výrobním průmyslu a u provozovatelů. Není tedy ani nijak překvapující, že i bankovní sektor jako zdroj investic v radiokomunikacích si žádá takové odborníky. Příkladem může být vzdělávací program o správě rádiového spektra u Světové banky.

Dalším atributem je, že správa rádiového spektra není vědní obor, který by se komplexně vyučoval na některé univerzitě. Alespoň autorovi se to dohledat nepodařilo a u nás takové vzdělání žádná univerzita neposkytuje. Bohužel neexistuje ani v podobě tematických přednášek zařazených do akreditace programů na našich technických univerzitách.

Je přitom zřejmé, že bez zajištění přípravy těchto odborníků bude velice obtížné dosáhnout cílů a strategií v radiokomunikacích, jak bylo diskutováno v předchozí kapitole.

Nejen u nás je však kardinálním problémem nedostatečný zájem nastupující generace o technické obory. Vzhledem k problematice správy rádiového spektra je potřebné, aby takový odborník měl vedle speciálních znalostí potřebných pro vykonávání své konkrétní pracovní činnosti také základní znalosti ze všech ostatních oblastí správy rádiového spektra.

V současné době se příprava odborníků realizuje formou specializovaných kurzů, tematicky zaměřených workshopů, konferencí, vládních vzdělávacích programů, specializovaných kurzů různých asociací poskytovatelů radiokomunikačních služeb (např. asociace GSMA pro mobilní sítě) nebo formou specializovaných firemních školení jak u regulátorů, tak výrobců a poskytovatelů radiokomunikačních služeb.

Součástí softwarových produktů pro automatizaci správy rádiového spektra jsou i nabídky na příslušná školení. Ty jsou však většinou orientována na témata spojená s použitím jejich produktů.

Význam takové přípravy narůstá i z hlediska stále většího používání automatizovaných a softwarových systémů a prostředků ve všech částech správy rádiového spektra.

Jedním z účinných způsobů jak podpořit vzdělávání odborníků pro správu rádiového spektra je program ITU s názvem „Spectrum Management Training Programme“ (SMPT - <https://academy.itu.int/itu-d/projects-activities/curriculum-development/smtp>).

Jeho počátek je v roce 2013 a je aktivitou ITU Academy rozvojového sektoru ITU-D ve spolupráci s radiokomunikačním sektorem ITU-R. Na jeho vývoji se podíleli přední světoví experti jak z ITU, tak z dalších telekomunikačních organizací, univerzit a institucí celého světa. To i včetně katedry telekomunikační techniky elektrotechnické fakulty ČVUT v Praze. SMTP získal mezinárodní akreditaci pro magisterský univerzitní stupeň od evropské organizace ZEvA (Central Evaluation and Accreditation Agency (<https://www.zeva.org/english-version>)).

Program má dvě úrovně základní (Basic) a jednu pokročilou (Advance). Každá obsahuje povinné moduly a volitelné moduly v anglickém jazyce. V současné době jsou k dispozici tyto povinné moduly.

OM 1 Legal basis and regulatory framework (Právní základ a regulační rámec správy spektra)

Tento modul pokrývá celkový kontext a cíle správy spektra a jeho praktickou realizaci v komplexní vícevrstvé struktuře mezinárodní, regionální a národní úrovně. Zahrnuje roli a funkce různých zúčastněných stran, právní rámec, na kterém jsou založeny všechny interakce, roli a provozní zásady autorizačních procesů (licencování) rádiových služeb.

OM 2 Spectrum Engineering Fundamentals (Základy inženýrství spektra)

Cílem je poskytnout studentům technické základy inženýrství rádiového spektra tak, aby získali znalosti k provádění výpočtů v přenosovém řetězci, analýzy interferencí a porozuměli 3D modelování šíření pro plánování kmitočtů radiokomunikačních služeb. To má za cíl podporovat moderní správu rádiového spektra.

OM 3 Wireless Telecommunications Technologies (Bezdrátové telekomunikační technologie)

Jeho cílem je poskytnout komplexní pohled na některé z nejdynamičtěji se rozvíjejících podnikatelských oblastí radiokomunikací. Cílem je popsat radiokomunikační technologie a jejich směry vývoje, které jsou v daném oboru provozovány ve světě. Jde o samostatný kurz, který poskytuje technické znalosti na vysoké úrovni a je také propojen s dalšími moduly.

OM-4 Economic and Market Tools of Spectrum Management (Ekonomické a tržní nástroje správy rádiového spektra)

Tento výukový modul představuje základní objem znalostí v kontextu obsahu ostatních částí SMTP na pokročilé úrovni se zaměřením na ekonomické otázky správy spektra. Cílem tohoto modulu je seznámit studenty s hlavními ekonomickými principy a tržními mechanismy správy rádiového spektra. Předkládá a analyzuje dostupné tržní nástroje pro ekonomickou efektivitu při využívání spektra, jako jsou aukce a ceny spektra. Bere v úvahu potřebu studentů pochopit celkový kontext ve správě rádiového spektra. Tedy zejména jak a kde se tržní a cenové nástroje mohou uplatnit v moderní správě rádiového spektra.

OM-5 Strategic Planning and Policies for Wireless Innovation (Strategické plánování a politiky pro bezdrátové inovace)

Tento výukový modul poskytne studentům podrobné znalosti o teoriích, nástrojích a postupech používaných pro strategické plánování správy rádiového spektra a pro vývoj jeho politik, které jsou v souladu s perspektivními přístupy založenými na analytických metodách pro inovace bezdrátových technologií.

Volitelné části mají za cíl rozvíjet a prohlubovat základní znalosti z povinných modulů. Pro OM1, 2 a 3 to jsou volitelné moduly:

- EM1-1: Spectrum Monitoring
- EM1-2: Enforcement and Type Approval of Equipment
- EM1-3: SM for Satellite Systems
- EM1-4: SM for HF Systems, Science, Maritime and Amateur Services
- EM1-5: SM for Aeronautical and Radio Determination Services and Military Systems
- EM1-6: Computer-aided Spectrum Management

Pro povinné moduly OM4 a OM5 pak:

- EM2-1: (Legal Specialization): Advanced Spectrum Authorization Regimes
- EM2-2: (Legal Specialization): Socio-Economic Impact of Spectrum Regulation; Competition and Consumer Protection
- EM2-3: (Technical Specialization): Terrestrial TV Broadcasting Planning and Digital Transition
- EM2-4: (Technical Specialization): Opportunistic Spectrum Access and Cognitive Radio
- EM2-5: (Technical Specialization): Electro Magnetic Fields and Health

Například po absolvování modulu EM1-1 Spectrum Monitoring (Monitorování rádiového spektra) by student měl být schopen jasně popsat roli, funkce a základní techniky monitorování rádiového spektra. Měl by rozumět účelu a vlastnostem různých typů zařízení užívaných pro jeho monitorování. Dále by měl být student schopen prokázat svou schopnost definovat monitorovací úkoly (seznamy úloh) a analyzovat získané výsledky, jakož i samostatně plánovat základní operace, metody a organizaci měření při monitorování rádiového spektra.

Z uvedeného výčtu témat modulů je zřejmý komplexní přístup SMTP ke všem prvkům správy rádiového spektra a vzdělávání odborníků pro jejich uplatňování v praxi.

Vypracované materiály jednotlivých modulů (sylaby, prezentace, otázky k testům) jsou bezplatně na smluvním základě s ITU-D k dispozici všem vzdělávacím institucím členských států ITU. Lze je využít i pro tvorbu vlastních vzdělávacích programů. Moduly programu jsou rovněž využívány v různě koncipovaných kurzech v rámci Center excellence ITU-D. Ty působí zejména na akademické půdě a ve veřejných vzdělávacích institucích.

Snahou ITU je uplatnění SMTP zejména na univerzitní půdě, což dokládá jak obsah, tak konkrétní kroky směrem k mezinárodním akreditacím. Zjednodušeně vyjádřeno – dosáhnout toho, aby se správa rádiového spektra stala řádným a uznávaným oborem.

Primárním cílem tvorby SMTP sice byla příprava odborníků pro rozvojové státy, ale je jasné, že tato problematika nabyde v budoucnu na své důležitosti a dotkne se všech států využívajících pozemských a kosmických radiokomunikačních služeb.

V závěru lze vyslovit přání, aby se tato snaha ITU promítla do univerzitních programů i u nás a vhodným způsobem se začlenila do výuky zejména na našich středních elektrotechnických školách.

9 Závěr

V závěru tohoto materiálu bude vhodné provést krátké shrnutí toho, co bylo jeho náplní a cílem.

Rádiové spektrum a metody jeho správy již od doby možnosti přenášení zpráv pomocí elektromagnetických vln vždy hrály důležitou roli v podpoře budování infrastruktury rádiové komunikace a její využívání pro potřeby různých radiových služeb v každém státním zřízení.

Vždy tu existovaly a budou existovat rádiové kmitočty, potřeba je vlastnit a toto vlastnictví na právním i technickém základě chránit. Kmitočty jsou vzácným, omezeným ale obnovitelným veřejným přírodním zdrojem. Právo na jejich využívání má všeobecný charakter lidského práva. Kmitočty mají svoji ekonomickou hodnotu a jsou obchodovatelnou tržní komoditou.

Využívání kmitočtů rádiového spektra vždy tvořilo důležitý prvek v rozvoji národních ekonomik pro řízení a ochranu státu a působilo na míru uspokojování kulturních, vzdělávacích a sociálních potřeb obyvatelstva. Bude tomu i tak i v budoucnu.

Všechny tyto vlastnosti a aspekty jsou základním fundamentem existence všeobecně respektovaných pravidel a prostředků pro kontrolu a ochranu využívání kmitočtů rádiového spektra.

Tím se postupně dospělo ke vzniku celosvětové správy rádiového spektra v kmitočtovém úseku od 9 kHz do 3000 GHz a k jeho rozdělení na kmitočtová pásma přidělená jednotlivým radiokomunikačním službám spolu s podmínkami jejich ochrany. To je obsaženo v Radiokomunikačním řádu ITU-R.

Správa rádiového spektra a regulace jeho využívání je nevyhnutelnou nutností fungování radiokomunikační infrastruktury pro poskytování radiokomunikačních služeb. To zejména v prostředí stále se rozšiřující nabídky nových radiokomunikačních technologií umožňující poskytovat sofistikované služby se stále větší rychlostí, mobilitou a uzemním pokrytím jak na Zemi, tak v kosmu.

Zatím ještě dlouho (nebo možná nikdy) nebude možné vyloučit prostřednictvím plné automatizace neopominutelné úlohy lidského faktoru v komplexu procesů představujících správu a regulaci rádiového spektra.

Jedním z vyústění tohoto faktu je nutnost mít k dispozici člověka – odborníka s potřebným rozsahem a hloubkou znalostí této problematiky. To však vyžaduje zajistit vhodným způsobem jeho trvalé cíleně zaměřené vzdělávání.

Ovšem takovou potřebu nemá jen správa rádiového spektra, ale prakticky všechny oblasti lidského konání na velice omezeném trhu počtu lidských zdrojů, které je možné využít. Jednou z účinných cest jak zajistit potřebné lidské zdroje je včasná motivace v průběhu školních let na základních a následně středních školách, která pak přirozeně může vyústit ve studium daného oboru na univerzitě.

K tomu bude vždy potřeba dvou elementů – toho, kdo se vzdělává a toho, kdo vzdělává. Tedy studenta a učitele. V případě vzdělávání v oblasti rádiového spektra je tento vztah zcela zásadním faktorem. To

z důvodu, že se nejedná o jeden předmět nebo jeden samostatný obor, který by v ČR (a potažmo ve světě) nějaká střední škola nebo univerzita systematicky poskytovala a rozvíjela ve svých výukových programech.

Výše uvedené je důvodem jak vzniku tohoto materiálu, tak způsobu prezentace ne zrovna jednoduché ho a mnoha-oborového tématu, jakým je správa rádiového spektra na jeho vymezeném prostoru. Proto jsou texty v tomto materiálu doprovázeny řadou obrázků, které by měly usnadnit jak tvorbu prezentací učitele, tak jednoduše graficky zvýraznit základní aspekty a souvislosti probíraného tématu.

Zásadní snahou autora bylo podat pokud možno komplexní pohled na jednotlivé prvky tvořící správu rádiového spektra. To s ohledem na předpokládané výchozí středoškolské znalosti z řady příslušných oborů jak studenta, tak učitele.

Hlavní důraz výkladu ve všech kapitolách byl zaměřen vždy na základní aspekty, vzájemné souvislosti a dopady při používání jednotlivých současných a předpokládaných metod správy rádiového spektra. To v řadě případů vyvolalo nutnost různých zjednodušení nebo předpoklad vlastní iniciativy při doplnění potřebných znalostí.

Dnes je na internetu obrovská možnost si potřebné informace vyhledat a snadno si chybějící znalosti doplnit. Bohužel jejich studium vyžaduje určitou úroveň psaného technického anglického jazyka. V českém jazyce zatím není k dispozici ucelená monografie s tímto tématem. Pro usnadnění studia anglických dokumentů a Radiokomunikačního řádu uvedených v publikačních zdrojích tohoto materiálu byly v textu uváděny základní pojmy i v angličtině.

Aby bylo možné vycházet z nějakého společného základu potřebných znalostí, zaměřila se první kapitola na popis souhrnu základních znalostí z oblasti radiokomunikačních technologií a jejich využívání ve vztahu k rádiovému spektru. To s přihlédnutím i k Radiokomunikačnímu řádu.

V dalších kapitolách už jsou podrobněji na tomto základě probírána a rozvíjena jednotlivá témata tvořící správu rádiového spektra a jejich vzájemné souvislosti. To včetně inspirací v kapitole 4, jak by bylo možné využít toho, co je v ITU dostupné pro tvorbu koncepce systémového vzdělávání v této oblasti v českém školském systému.

Pro ověření získaných znalostí a pochopení tématu (učitelům jako podklad pro vypracování vlastních testů) by měl posloužit přiložený soubor s testovacími otázkami.

Základy správy rádiového spektra-TEST.xlsx

V závěru je třeba upozornit na významnou skutečnost, proč se snažit o tuto odbornost. Tou skutečností je bezesporu to, že nabyté vzdělání v této oblasti zajišťuje finančně atraktivní, lukrativní a perspektivní celoživotní uplatnění jak v mezinárodních organizacích a ve státní správě, tak ve výrobním, obchodním, vědecko-výzkumném a vzdělávacím sektoru u nás i ve světě – zvláště v rozvojových zemích.

K tomu lze přidat i to, že v souvislosti s ochranou klimatu bude kladen stále větší důraz na to, aby metody správy rádiového spektra vedly k zajištění ekosystému a udržitelnému rozvoji radiokomunikací. Dalšími motivacemi pro studium správy rádiového spektra může být nastupující přechod na digitální ekonomiku využívající robotizace, rádiové M2M komunikace a budoucnost ve využívání kosmu a s tím spojené potřeby kosmických radiokomunikací. To jistě představuje lákavé důvody, proč se do studia správy rádiového spektra cíleně pustit.

Autor tohoto materiálu doufá, že se mu podařilo použitou formou výkladu jednotlivých témat vzbudit zájem jeho čtenářů o zahájení hlubšího studia správy rádiového spektra.

□□□

10 Zkratky a akronymy

3G, 4G, 5G – označení generace mobilních sítí.

AM – amplitudová modulace – nosná vlna vysílaného signálu mění amplitudu v závislosti na amplitudě vstupního modulačního signálu.

ABU (Asia-Pacific Broadcasting Union) – regionální sdružení organizací poskytovatelů televizního a rozhlasového vysílání v regionu Asie-Pacifik, je sektorovým členem ITU-R, ITU-T a ITU-D.

AICTO (Arab Information and Communication Technology Organisation) – regionální telekomunikační sdružení arabských států.

AOS (aquisition of signal) – čas, kdy pozemní stanice může zahájit příjem signálů z družice s elevací 0° nad zemským horizontem.

Apogee – apogeum – nejvzdálenější bod na oběžné dráze mezi geocentrem Země a družicí.

APT (Asia-Pacific Telecommunity) – mezivládní organizace spolupracující s poskytovateli telekomunikačních služeb, výrobci komunikačních zařízení a výzkumnými a vývojovými organizacemi působícími v oblasti komunikačních, informačních a inovačních technologií v regionu Asie – Pacifik, regionální organizace ITU a sektorový člen ITU-R, ITU-T a ITU-D.

ASK (Amplitude Shift Keying) – druh digitální modulace vysílaného signálu, u kterého se přenáší digitální informace pomocí diskrétních změn amplitudy nosné elektromagnetické vlny.

ASMG (Arab States Spectrum Management Group) – sdružení arabských států pro záležitosti spojené se správou rádiového spektra a světovými radiokomunikačními konferencemi ITU.

Azimut – úhel v horizontální zemské rovině měřený ve směru pohybu hodinových ručiček od severního zemského pólu.

B2B – Business to business communication – označení pro obchodní vztahy mezi obchodními společnostmi, pro jejich potřeby, které se netýkají dodávek produktů a služeb konečnému spotřebiteli.

BDT (Telecommunication Development Bureau) – úřad ITU spravující záležitosti rozvojového sektoru ITU-D.

BER (Bit Error Rate) – veličina vyjadřující kvalitu digitálního přenosového kanálu na straně přijímače, stanovena buď jako počet chybových bitů dělených celkovým počtem přenášených bitů nebo počtem chybových bitů za sekundu dělený přenosovou rychlostí.

BFSK (Binary Frequency Shift Keying) – druh digitální modulace s dvoustavovou změnou kmitočtu nosné vysokofrekvenční elektromagnetické vlny.

CATV (Cable TV) – označení pro kabelovou televizi.

CDMA (Code Division Multiple Access) – druh kódování signálu v základním pásmu přístupové buňkové sítě.

CEPT (European Conference of Postal and Telecommunication Administrations) – mezivládní evropská organizace sdružující 48 států, zabývá se spoluprací v oblasti obchodních, provozních, regulačních a technických otázek standardizace v oblasti telekomunikací a poštovních služeb, sestává z Výboru pro elektronické komunikace ECC (European Communication Committee), Výboru pro záležitosti COM-ITU (Committee for ITU affairs), Výboru pro poštovní služby (CERP) a provozní organizace ECO (European Communication Office). Je regionální organizací ITU pro Evropu, Střední Evropu Severní Asii a sektorovým členem ITU-R, ITU-T a ITU-D.

CITEL (Comisión Interamericana de Telecomunicaciones) – regionální mezivládní telekomunikační organizace sdružující státy Severní a Jižní Ameriky, sektorový člen ITU-R, ITU-T a ITU-D.

C/N (Carrier to Noise) – označení poměru napěťové nebo výkonové úrovně nosné elektromagnetické vlny vůči daným hodnotám šumu (obdoba obecného vyjádření a označení poměru signál/šum – S/N (Signal to Noise)).

COSPAR (Committee on Space Research) – Výbor pro výzkum vesmíru – mezinárodní vědecké sdružení ustavené v roce 1958 Mezinárodní radou pro vědu a pro záležitosti týkající se výměny informací vztahujících se k využívání kosmu.

CPG (Conference Preparatory Group) – pracovní skupina expertů při CEPT/ECC pro přípravu Světové radiokomunikační konference ITU-R (WRC – World Radiocommunication Conference).

CRAF (Committee on Radio Astronomy Frequencies) – mezinárodní výbor expertů v organizaci European Science Foundation (ESF), který se věnuje otázkám rádiového spektra pro potřeby astronomického výzkumu, spolupracuje s ITU, CEPT a dalšími organizacemi v záležitostech využívání rádiového spektra.

CS (Constitution of ITU) – zkratka pro Ústavu ITU, **CV (Convension of ITU)** – zkratka pro Úmluvu ITU, obě představují základní dokumenty ITU.

CTU (Caribbean Telecommunication Union) – regionální telekomunikační organizace karibských států, sektorový člen ITU-R, ITU-T a ITU-D.

CW (Continuous Wave) – metoda modulace přerušováním nosné vlny používaná v telegrafii (vysílání zpráv v Morseově kódu).

DAS (Dynamic Access to Spectrum) – zkratka pro označení dynamického přístupu k rádiovému spektru.

DAB (Digital Audio Broadcasting) – standardizovaný systém (technologie) pro velkoplošné digitální vysílání rozhlasových pořadů.

dB – decibel – jednotka pro poměr úrovní napětí nebo proudů vyjádřená vztahem $20 \times \log_{10}$ (poměr napětí nebo proudů) nebo $10 \times \log_{10}$ (poměr výkonů) elektrického signálu.

dBd – velikost zisku vyzářené elektrické energie dané antény vůči jednoduchému dipólu vyjádřenému v decibelech pro daný úhel směru vyzařování.

dB_i – velikost zisku vyzářené elektrické energie dané antény vůči izotropnímu zářiči (vyzařuje stejnou energii ve všech směrech) pro daný úhel směru vyzařování.

dBm – velikost výkonu elektrického signálu vůči výkonu 1 mW vyjádřená v decibelech, v případě větší jak 0 dBm vyjadřuje zisk, v opačném případě útlum signálu.

DBS (Direct Broadcast Satellite) – označení přímého družicového televizního a rozhlasového vysílání.

DRM (Digital Radio Mondiale) – standard ITU pro digitální vysílání rozhlasových programů v pásmech s amplitudovou modulací (do 30 MHz).

DTH (Direct to Home) – označení pro přímý příjem družicového vysílání televizních programů v domácnostech.

Downlink – označení pro směr vysílání rádiového signálu od jeho zdroje k přijímači užívaný zejména v družicových systémech a sítích pro vysílání signálů z družice na pozemní stanici.

EBU (European Broadcasting Union) – evropské sdružení organizací poskytovatelů televizního a rozhlasového vysílání v regionu Evropa, Střední Evropa a Severní Asie, sektorový člen ITU-R, ITU-T a ITU-D.

EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution) – digitální systém pro přenos dat (paketů) rychlostí do 384 kb/sec v mobilních sítích standardu GSM s časovým dělením slotů v přístupové síti podle standardu TDMA.

EEO (Extremely Eccentric Earth Orbit) nebo HEO (Highly Eccentric Orbit) extrémně nebo vysoce excentrická oběžná dráha Země – oběžná dráha s vysokou excentricitou, někdy nazývaná podle ruské družice Molniya, která byla prvně využita pro telekomunikační účely.

E.I.R.P. (Equivalent Isotropically Radiated Power) – velikost celkového výkonu izotropního zářiče (antény) potřebného k dosažení určité hodnoty intenzity záření v daném směru.

Elevace – úhel s lokální horizontální zemskou rovinou.

EMF (Electro Magnetic Field) – používané pro označení elektromagnetického pole.

EMI (Electromagnetic Interference) – zkratka pro elektromagnetickou interferenci při využívání rádiového spektra zařízeními pro vysílání a příjem rádiové komunikace.

E.R.P. (Effective Radiated Power) – velikost celkového výkonu potřebného pro vyzáření určité hodnoty intenzity pomocí dipólové antény v daném směru.

ESA (European Space Agency) – Evropská kosmická agentura – kosmická agentura pro společné vědecké a rozvojové kosmické programy Evropské unie. Česká republika je jejím členem od roku 2009 a podílí se na financování a využívání povinných a nepovinných programů formou spolupráce v rámci účasti jednotlivých projektových a programových konsorcií a na řízení ESA.

ETSI (European Telecommunications Standardization Institute) – evropský institut pro standardizaci v telekomunikacích, spolupracuje s CEPT/ECC a dalšími standardizačními světovými organizacemi (ISO, IEC, CENELEC, ...), Česká republika je tu zastoupena prostřednictvím Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ).

EUTELSAT (European Telecommunications Satellite Organization) – Evropská telekomunikační družicová organizace – vládní organizace pro družicové a rozhlasové vysílání. Česká republika je jejím členem, k vysílacím službám využívá zejména geostacionární konstelace sítí družicového operátora SES – Astra.

FCC (Federal Communications Commission) – regulátor elektronických komunikací v USA.

FDD (Frequency Division Duplexing) – kmitočtově dělený duplex je technika, při které se na straně vysílače a přijímače používají samostatná kmitočtová pásma pro jednotlivé nosné vlny.

FDMA (Frequency Division Multiple Access) – metoda používaná v protokolech ve vícenásobných přístupových sítích pro rozdělení jednotlivých kmitočtových kanálů, umožňuje individuální přidělení jednoho nebo několika kmitočtových pásem nebo kanálů.

FM (Frequency Modulation) – kmitočtová modulace, kmitočet nosné vysokofrekvenční vlny na výstupu modulátoru vysílače se mění v závislosti na amplitudové úrovni vstupního signálu.

FS (Fixed Service) – pevná služba, v případě družicové služby se používá označení FSS (Fixed Satellite Service).

FSK (Frequency Shift Keying) – druh digitální modulace vysílaného signálu, u kterého se přenáší digitální informace pomocí diskretních změn kmitočtu nosné elektromagnetické vlny. Podle druhu a způsobu klíčování se rozlišují BFSK (Binary Frequency Shift Keying) - binární, AFSK (Audio Frequency Shift Keying) - audio, MSK – s minimálním klíčovým posunem a její varianta GMSK pro mobilní sítě GSM.

Footprint – stopa – kontura na zemském povrch, která ohraničuje plochu, kde je možný příjem signálu z družice.

FWS (Fixed Wireless Service) – pevná bezdrátová služba.

GEO (Geostacionary Earth Orbit) / GSO (Geosynchronous Earth Orbit) – geostacionární dráha – rovníková dráha s výškou nad 35 800 km. Z pohledu pozorovatele na Zemi se jeví bez pohybu. GSO je teoretické vyjádření pro oběžnou dráhu přesně v rovině zemského rovníku.

Geocenter – geocentrum – střed Země.

GALILEO – evropský družicový navigační systém.

GLONASS – ruský družicový navigační systém.

GMDSS – Global Maritime Distress and Safety System) – globální námořní tísňový a bezpečnostní systém.

GNSS (Global Navigation Satellite Systems) – obecný termín používaný pro označení globálního družicového navigačního systému.

GPS (Global Positioning System) – americký družicový navigační systém.

Ground station – pozemní stanice – radiokomunikační stanice na zemském povrchu, která zajišťuje vysílání rádiových signálů na družici a příjem rádiových signálů z družice.

HDTV (High Definition Television) – digitální televize s vysokou kvalitou.

HEO (Highly Eccentric Orbit) – oběžná dráha kolem Země s extrémně vysokou excentricitou.

HF (High Frequency) – úsek rádiového spektra s krátkými vlnami v kmitočtovém pásmu 3 MHz – 30 MHz.

Hz (Hertz) – základní jednotka kmitočtu, násobky 1000 – kHz, MHz, GHz, THz.

INMARSAT (International Maritime Satellite Organization) – významný družicový operátor poskytující telekomunikační služby pro mobilní družicové komunikace a globální nebo lokální bezpečnostní a záchranné systémy letecké (GADSS – Global Aeronautical Distress and Safety System, Global Flight Tracking) a námořní dopravy (GMDSS – Global Maritime Distress and Safety System).

IAU (International Astronautical Union) – Mezinárodní astronautická unie, která s tříletou periodou konání pořádá v různých zemích světa astronautické kongresy.

IARU (International Amateur Radio Union) – Mezinárodní radioamatérská unie, sektorový člen ITU-R a ITU-D, zabývá se i otázkami koordinace kmitočtů pro amatérskou službu v návaznosti na Radiokomunikační řád.

ICAO (International Civil Aviation Organization) – Mezinárodní organizace pro civilní letectví.

IMO (International Maritime Organization) – Mezinárodní námořní organizace, spolupracuje s ITU-R ve věcech spojených s rádiovou infrastrukturou pro námořní tísňový a bezpečnostní systém GMDSS, rádiová navigační zařízení a další námořní pozemskou a družicovou rádiovou komunikaci v pásmu VHF.

IMSO (International Mobile Satellite Organization) – mezivládní organizace pro mobilní družicovou komunikaci, sektorový člen ITU-R.

IMT (International Mobile Telecommunication) – postupně se rozvíjející standard ITU pro mezinárodní mobilní sítě všech generací, pro tento systém jsou celosvětově přiděleny kmitočtové úseky v Radiokomunikačním řádu.

Inmarsat – družicový operátor provozující síť geostacionárních družic, poskytuje mobilní veřejné družicové služby a pro komunikaci v rámci systému GMDSS a záchranné a sledovací systémy v letecké dopravě, spolupracuje a poskytuje mobilní telekomunikační družicové služby členským státům IMSO.

Intelsat – družicový operátor provozující síť geostacionárních družic, poskytuje družicovou rozhlasovou službu (distribuci a přímé vysílání televizních a rozhlasových programů) a pevné služby zejména pro členské státy ITSO.

IP (Internet Protokol) – komunikační protokol pro internetovou síť.

ISM (Industrial, Scientific and Medical) – zkratka užívaná v Radiokomunikačním řádu pro skupinu zařízení pro rádiovou komunikaci pro potřeby průmyslu, vědy a zdravotnictví.

ITSO (International Telecommunication Satellite Organization) – mezivládní organizace pro družicové telekomunikace, sektorový člen ITU-R, ITU-T a ITU-D.

ITU (International Telecommunication Union) – Mezinárodní telekomunikační unie

Organizace sdružující 193 států členských států OSN zabývající se ve třech sektorech (ITU-R – radiokomunikační, ITU-T – standardizační a ITU-D – rozvojový) globální správou rádiového spektra, standardizací v telekomunikacích a rozvojem telekomunikací a informačních a komunikačních technologií ve světě.

Iridium – globální mobilní radiokomunikační systém využívající konstelace malých družic na nízkých polárních oběžných dráhách.

LEO (Low Earth orbit) – pojem používaný pro nízkou oběžnou dráhu Země ve výškách od 300 km do 1500 km. Většina LEO drah je polárních a pohyb na nich využívá synchronizaci pomocí Slunce.

LF (Long Frequency) – zkratka pro dlouhé vlny.

MPEG (Moving Picture Experts Group) – pracovní skupina pro vývoj standardizovaných kódování televizních a zvukových signálů (například MPEG-2, MPEG-4, ...).

LTE (Long – Term Evolution) – zkratka pro mobilní pozemské sítě 4G

MEO (Medium Earth Orbit) – střední oběžná dráha Země ve výškách zhruba od 2 000 km do 35 000 km.

NASA (The National Aeronautical and Space Administration) – jedna nejvýznamnějších vládních kosmických agentur světa. NASA je nezávislá organizace federální vlády Spojených států, která je zodpovědná za civilní kosmický program, výzkum kosmického letectví a kosmu.

NRA (National Regulatory Authority) – obecně užívaná zkratka pro označení národního regulátora telekomunikací používaná i v Radiokomunikačním řádu.

NSM (National Spectrum Management) – obecně užívaná zkratka pro metodiku národní správy rádiového spektra.

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) – označení pro druh digitální modulace v přístupových sítích s vícenásobným přístupem, jde o jednu z verzí ortogonálního multiplexu s kmitočtovým dělením (OFDM), kdy je vícenásobného přístupu dosaženo přiřazením podskupin subnosných jednotlivým uživatelům.

OneWeb – významný projekt využívající technologie malých družic pro vysokorychlostní přístup do internetu. Projekt iniciovaný vizionářem E. Muskem, spolufinancovaný R. Bransonem ve spolupráci s Googlem a Facebookem. Cílem je postupně prostřednictvím družic vypuštěných nosnými raketami ruské agentury Roskosmos a privátní Space X dosáhnout v roce 2021 konstelace 800 malých družic vyrobených společností Astruim Airbus DS obíhajících ve výšce 1200 km.

Outer space – kosmos (vesmír) – obecně používaný termín, ale ne vždy přijímaný, pro prostor pro výšky větší jak 100 km na zemském povrchu (tzv. Von Karman line). Někdy se používá hodnoty o výšce 160 km (horní hranice takzvané protozóny).

Perigee – perigeum – bod na oběžné dráze družice nejbližší od geocentra Země.

Polar, Sun-synchronous orbits – polární a sluncem synchronizované oběžné dráhy – jsou vedeny těsně nad oběma póly Země a jsou využívány pro družicové dálkové monitorování (senzorké sledování) zemského povrchu a stavu atmosféry a oceánů. Doba oběhu činí 1/365 dne, a tak jsou družice a senzory udržovány v relativně stálé pozici vůči Slunci během celého roku. Tím jsou i zajištěny podobné světelné podmínky pro družicové senzory.

PPDR – Public Protection and Disaster Relief – systémy a služby pro ochranu obyvatelstva a pro zmírnění následků katastrof, PP (public protection), pro organizace a složky pověřené udržováním práva a pořádku, ochranou životů a zdraví a majetku, řešením stavů nouze a DR (disaster relief) a pro složky a organizace zabývající se řešením krizových situací (způsobených přírodními katastrofami, lidskou

činností či nepředvídatelnými nehodami), jež ohrožují lidské životy, zdraví, majetek a/nebo životní prostředí. PPDR je definováno v ITU-R rezolucí WRC-2003 č. 646.

PSK (Phase Shift Keying) – druh digitální modulace, u kterého se digitální informace přenáší pomocí diskretních změn fáze nosné vysokofrekvenční elektromagnetické vlny.

PSTN (Public Switched Telephone Network) – zkratka pro označení veřejné telefonní sítě.

QAM (Quadrature Amplitude) – označení pro digitální modulaci signálů pomocí změn jejich amplitudy, metoda kombinování dvou amplitudově modulovaných signálů do jediného kanálu, čímž se zdvojnásobí efektivní šířka pásma přenosového kanálu.

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) – druh fázové modulace (PSK) vysílané nosné vysokofrekvenční vlny pomocí změny fází 0, 90, 180, 270 stupňů pro kódování dvou digitálních bitů.

RAN (Radio Access Network) – zkratka pro označení rádiové přístupové sítě.

RDS (Radio Data System) – zkratka pro označení rádiové datové sítě.

RF (Radio frequency) – zkratka pro rádiový kmitočet využívaný pro rádiovou komunikaci v rozsahu pásma 9 kHz až 3000 GHz, jeho využívání je dáno kmitočtovým přidělem (vyhrazením úseku kmitočtů v rádiovém spektru) uvedeným v Radiokomunikačním řádu ITU-R.

RFID (Radio Frequency Identification Device) – označení pro skupinu zařízení s krátkým dosahem používanou pro identifikaci osob, zboží a dalších objektů.

RLAN (Radio Local Area Network) – označení pro lokální rádiovou datovou síť.

RMS (Root Mean Square) – označení efektivní hodnoty harmonického signálu.

RNSS (Radio Navigation Satellite Service) – označení družicové radionavigační služby v Radiokomunikačním řádu ITU.

RR (Radio Regulation) – anglická zkratka pro Radiokomunikačním řádu ITU-R.

RSC (Radio Spectrum Committee) – výbor Evropské komise Evropské unie pro rádiové spektrum,

RSPG (Radio Spectrum Policy Group) – pracovní skupina Evropské komise pro politiku a strategie využívání rádiového spektra v členských státech Evropské unie.

SDR (Software Defined Radio) – zkratka pro softwarové rádio, jedná se o moderní rádiovou technologii využívající digitálního způsobu zpracování signálu v rádiových vysílačích a přijímačích.

SFN (Single Frequency Network) – označení pro jednofrekvenční rádiové sítě určené pro dosažení většího územního pokrytí. Jsou využívány zejména pro digitální systémy pozemského vysílání televizních a rozhlasových programů.

Sidereal day – siderický den – doba, po kterou trvá Zemi než se otočí o 360°. Siderický den trvá 1436,07 minut.

SSB (Single Side Band) – vysílání s jedním postranním pásmem (s potlačenou nosnou vlnou): USB (horní postranní pásmo) nebo LSB (dolní postranní pásmo).

T-DAB (Terrestrial Digital Audio Broadcasting) – pozemský digitální systém pro vysílání rozhlasových pořadů.

TDD (Time Division Multiplexing) – způsob vytvoření duplexního komunikačního spojení, kde je uplink oddělen od downlinku pomocí přidělení různých časových slotů ve stejném kmitočtovém pásmu.

TDMA (Time Division Multiple Access) – metoda používaná v přístupových sítích, která umožňuje více uživatelům sdílet stejný kmitočtový kanál pomocí rozdělení signálu do různých časových slotů.

Transponder – širokopásmový lineární převaděč (vysílač a přijímač) umístěný na družici pracující s různými modulacemi nosné vlny (AM, FM, SSB, CW, FSK, ...) a to beze změny nebo se změnou kmitočtu nosné vlny přijímaného signálu při vysílání.

UHF (Ultra high frequency) – označení ultra kmitočtového pásma v rozsahu 300 MHz – 3000 MHz (délka vlny od 1 m do 10 cm).

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) – mobilní systém 3G založený na celosvětovém standardu mobilních sítí GSM.

Uplink – označení pro směr vysílání rádiového signálu od jeho zdroje k přijímači užívaný zejména v družicových systémech a sítích pro vysílání z pozemní stanice na družici.

UWB (Ultra Wideband Band) – označení pro rádiová širokopásmová zařízení s krátkým dosahem.

VHF (Very high frequency) – velmi vysoké kmitočtové pásmo – označení kmitočtového pásma v rozsahu 30 MHz až 300 MHz (délka vlny od 1 m do 10 m).

Wi-Fi (Wireless Fidelity) – označení standardu IEEE pro bezdrátové internetové sítě.

WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – označení vysokorychlostních rádiových datových sítí s přenosovými rychlostmi do 1 Gb/sec do vzdálenosti 50 km v mikrovlnných kmitočtových pásmech.

WRC (World Radiocommunication Conference) – Světová radiokomunikační konference – je pořádána radiokomunikačním sektorem ITU-R s periodou 3–4 let za účelem rozvoje správy rádiového

spektra. Jejím výsledkem je aktualizace Radiokomunikačního řádu, schválení doporučení, studijní zprávy a formulace studijních otázek pro další období.