

5G Broadcast

Připraveno pro Ministerstvo
průmyslu a obchodu

31.10.2024



**Národní
plán
obnovy**



Obsah

Seznam zkratk a vysvětlivek	8
Seznam tabulek	15
Seznam obrázků	16
Zdroje	18
Manažerské shrnutí	26
Management summary	29
1 Úvod	32
1.1 Cíl studie	32
1.2 Definice základních pojmů	32
1.2.1 <i>Broadcast</i>	32
1.2.2 <i>Mobilní technologie/sítě 5G/LTE</i>	40
2 Typy Broadcastu	42
2.1 Multimediální broadcast	42
2.1.1 <i>Audio broadcasting</i>	42
2.1.2 <i>Video broadcasting</i>	43
2.1.3 <i>Web broadcasting</i>	43
2.1.4 <i>Technologie a platformy</i>	43
2.2 Broadcast pro bezpečnostní účely	43
2.2.1 <i>Role broadcastu v nouzových situacích</i>	44
2.3 Hromadné zprávy	44
2.3.1 <i>Typy hromadných zpráv</i>	45
2.3.2 <i>Technologie pro šíření hromadných zpráv</i>	45
3 Popis služby FeMBMS	47
3.1.1 <i>Vlastnosti FeMBMS</i>	47
3.2 Z pohledu uživatele	50
3.3 Z pohledu poskytovatele obsahu	51
3.4 Z pohledu šířitele signálu	52
3.4.1 <i>Očekávaný přechod na 5G pro distribuci televizního obsahu</i>	54
3.5 Porovnání terestriálního a satelitního vysílání	55
3.5.1 <i>Terestriální vysílání</i>	55
3.5.2 <i>Satelitní vysílání</i>	59
3.5.3 <i>Porovnání bezpečnostních aspektů terestriálního a satelitního vysílání</i>	63
3.6 Hodnocení možností poskytování služeb FeMBMS v ČR	64
3.6.1 <i>Současný stav vysílačích a mobilních sítí v ČR</i>	64

3.6.2	<i>Testování FeMBMS v České republice</i>	64
3.6.3	<i>Perspektivy a plánovaný rozvoj FeMBMS v ČR</i>	66
3.6.4	<i>Potenciální přínosy a výhody FeMBMS v ČR</i>	66
3.6.5	<i>Výzvy a omezení implementace FeMBMS v ČR</i>	66
4	Legislativa 5G Broadcastu	68
4.1	Směrnice EU o audiovizuálním obsahu	68
4.1.1	<i>Definice Audiovizuální mediální služby</i>	68
4.1.2	<i>Hlavní body směrnice</i>	68
4.1.3	<i>Aktualizace</i>	69
4.2	Úloha ETSI v oblasti telekomunikačních standardů	69
4.2.1	<i>ETSI TS 103 720 – Technická specifikace pro LTE-based 5G Broadcast systém</i>	69
4.3	Role 3GPP v tvorbě telekomunikačních standardů	70
4.3.1	<i>Hlavní úkoly a cíle 3GPP</i>	70
4.3.2	<i>Vývoj 5G Broadcast v rámci 3GPP Release</i>	71
4.3.3	<i>Přínos 3GPP Releases pro 5G Broadcast</i>	72
4.3.4	<i>Změny v Releases 3GPP a jejich dopad na legislativu 5G Broadcast</i>	73
4.4	Právní rámec v České republice	73
4.4.1	<i>Zákon č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích</i>	73
4.4.2	<i>Zákon č. 231/2001 Sb., o provozování rozhlasového a televizního vysílání</i>	74
4.4.3	<i>Zákon č. 132/2010 Sb., o audiovizuálních mediálních službách na vyžádání</i>	74
4.4.4	<i>Zákon č. 483/1991 Sb., o České televizi, a Zákon č. 484/1991 Sb., o Českém rozhlasu</i>	75
4.4.5	<i>Zákon č. 194/2017 Sb., o opatřeních k zajištění bezpečnosti a integrity elektronických komunikací</i>	75
4.4.6	<i>Zákon č. 202/2023 Sb., novela zákona o elektronických komunikacích</i>	75
5	Zahraniční benchmark	77
5.1	Německo	77
5.1.1	<i>5G Media2Go</i>	78
5.1.2	<i>5G Broadcast v Hamburku</i>	81
5.1.3	<i>Projekt 5G Today</i>	82
5.1.4	<i>IMB5</i>	83
5.1.5	<i>Tower Overlay improving mobile network</i>	83
5.2	Rakousko	84
5.2.1	<i>Vienna Field Trials v Rakousku</i>	84
5.3	Itálie	86
5.3.1	<i>5G TOURS LTE-based 5G Broadcast Trial v Turíně</i>	86
5.3.2	<i>Testování Tower Overlay v údolí Aosta</i>	87
5.4	Velká Británie	88
5.4.1	<i>Projekt: 5G RuralFirst</i>	88
5.5	Finsko	90
5.5.1	<i>Wireless for Verticals – WIVE</i>	90
5.5.2	<i>5GTN+ Project</i>	91
5.5.3	<i>5G eMBMS Demo</i>	92

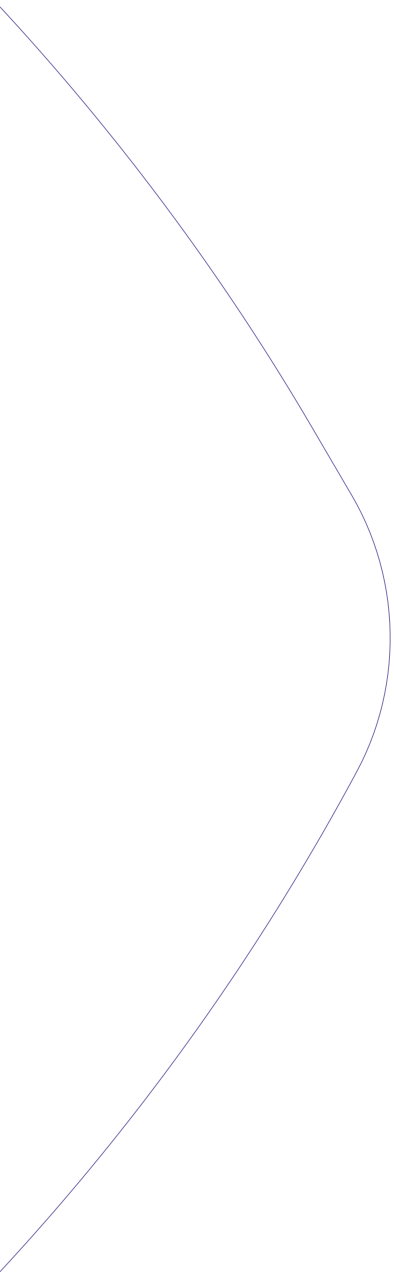
5.6	Norsko.....	93
5.6.1	<i>Trial of LTE-B in rural Norway</i>	93
5.7	Francie.....	94
5.7.1	<i>Tower Overlay</i>	94
5.8	Evropské projekty.....	95
5.8.1	<i>5G Broadcast of the Eurovision Song Contest</i>	95
5.8.2	<i>5G-Xcast</i>	96
5.9	Světové projekty.....	98
5.9.1	<i>Olympijské hry</i>	98
6	Kompatibilita a interoperabilita technologie FeMBMS.....	100
6.1	Kompatibilita s architekturou a infrastrukturou 5G sítí (SA/NSA).....	100
6.1.1	<i>Porovnání SA a NSA architektury</i>	100
6.1.2	<i>Výhody kombinace SA a NSA s FeMBMS</i>	101
6.1.3	<i>Porovnání LDM-NOMA a FeMBMS-OMA</i>	102
6.2	Integrace s existujícími televizními vysílacími sítěmi.....	104
6.2.1	<i>FeMBMS a současné televizní standardy</i>	104
6.2.2	<i>Využití HPHT (High-Power High-Tower) sítí</i>	106
6.2.3	<i>Standalone downlink-only sítě</i>	107
6.2.4	<i>Použití rozhraní xMB pro integraci</i>	108
6.2.5	<i>FeMBMS a budoucí multimediální aplikace</i>	109
6.2.6	<i>Přechod na hybridní modely vysílání</i>	110
6.3	Kompatibilita s různými zařízeními.....	110
6.3.1	<i>Mobilní zařízení a tablety</i>	110
6.3.2	<i>Smart TV a set-top boxy</i>	111
6.3.3	<i>Automobilová zařízení a infotainment systémy</i>	112
7	Strategie pro optimalizaci přenosu dat.....	114
7.1	Optimalizace přenosu televizních a audiovizuálních dat.....	114
7.2	Kompresní techniky.....	115
7.2.1	<i>Výběr vhodných kompresních technik</i>	115
7.2.2	<i>MPEG-2 (Moving Picture Experts Group - 2)</i>	115
7.2.3	<i>H.264 (Advanced Video Coding – AVC)</i>	115
7.2.4	<i>HEVC (High Efficiency Video Coding - H.265)</i>	116
7.2.5	<i>Srovnání nástrojů MPEG-2, H.264 a HEVC</i>	116
8	Zabezpečení přenosu dat.....	117
8.1	Bezpečnostní aspekty FeMBMS.....	118
8.1.1	<i>Ověřování a autentizace</i>	118
8.1.2	<i>Odolnost vůči útokům</i>	121
8.2	Zabezpečení obsahu.....	124
8.2.1	<i>Ochrana proti neoprávněnému přístupu a pirátství</i>	125
8.2.2	<i>Autentizace a autorizace uživatelů</i>	125
8.2.3	<i>Ochrana integrity dat</i>	125



8.2.4	Ochrana před kybernetickými útoky	125
8.2.5	Význam šifrování v televizních a audiovizuálních službách.....	126
8.2.6	Analýza šifrovacích technologií	126
8.2.7	Integrace šifrovacích technik do FeMBMS	134
8.3	Dodržování právních a regulačních požadavků.....	136
8.3.1	Ochrana osobních údajů	136
8.3.2	Audit a sledování zálohovacích a bezpečnostních procesů	136
8.3.3	Odpovědnost a compliance	136
9	Zálohování údajů a technologií.....	138
9.1	Mechanismy pro zálohování a obnovu dat	138
9.1.1	Typy záloh	138
9.1.2	Automatizace zálohovacích procesů	139
9.1.3	Replikace dat a geografická redundance	140
9.2	Autorské a licenční práva na nahrávání	140
10	Finanční analýza a náklady na implementaci FeMBMS	142
10.1	Rámcové náklady na nasazení technologie FeMBMS	142
10.1.1	Požadavky na hardware (HW)	142
10.1.2	Licencování spektra	143
10.2	Provozní náklady a údržba	144
10.2.1	Spotřeba energie	144
10.2.2	Pronájem spektra	144
10.2.3	Náklady na personál	144
10.2.4	Modelování provozních nákladů	145
10.3	Finanční udržitelnost investice	146
10.3.1	Návratnost investice (ROI).....	146
10.3.2	Efektivní využití spektra	147
10.3.3	Plánování životního cyklu infrastruktury.....	147
10.3.4	Potenciální růst příjmů	147
10.3.5	Strategie pro zajištění finanční udržitelnosti	147
11	Využití kmitočtového pásma pro broadcastové vysílání	148
11.1	Možnosti využití pásma 600 MHz pro TV vysílání	148
11.1.1	Charakteristika pásma 600 MHz	148
11.1.2	Přechod na digitální vysílání	148
11.1.3	Interoperabilita s DVB-T2	148
11.2	Optimalizace využití pásma v rámci FeMBMS	149
11.2.1	FeMBMS a efektivní využití spektra	149
11.2.2	Duplexní mezera v pásmu 700 MHz	149
11.2.3	Dynamická alokace šířky pásma	149
11.3	Optimalizace spektra a maximalizace pokrytí.....	150
11.3.1	Využití SFN (Single Frequency Network)	150
11.3.2	Minimalizace interferencí s jinými službami	150



11.3.3 *Maximalizace pokrytí* 150



Seznam zkratek a vysvětlivek

Zkratka	Celé znění	Vysvětlení
(fΔ)	Frequency Shift	Posun frekvence
μs	Microseconds	Jednotka času odpovídající miliontině sekundy
2FA	Two-Factor Authentication	Dvoufaktorové ověřování
3DES	Triple Data Encryption Standard	Zlepšená verze DES, využívající trojnásobné šifrování pro zvýšení bezpečnosti
3G	Third Generation	Třetí generace mobilních sítí
3GPP	3rd Generation Partnership Project	Organizace vyvíjející standardy pro mobilní sítě
4G	Fourth Generation	Technologie 4. generace mobilních sítí
4K	Ultra High Definition	Velmi vysoké rozlišení obrazu (4K a vyšší)
5G	Fifth Generation	Nová generace mobilní technologie, poskytující vyšší rychlosti a kapacitu
5G NR CPE	5G New Radio Customer Premises Equipment	Zařízení pro koncové zákazníky v sítích 5G NR
5GC	5G Core	Jádro 5G sítí
5G-MAG	5G Media Action Group	Skupina zaměřená na rozvoj mediálních služeb v 5G
5GTN+	5G Test Network Plus	Testovací 5G síť
5GTNF	5G Test Network Finland	Testovací 5G síť ve Finsku
5G-Xcast	5G Broadcast and Multicast Communications	Projekt zaměřený na vývoj multicastových a broadcastových technologií v rámci 5G sítí
8K	8K Resolution	Rozlišení 8K
AAA	Authentication, Authorization, Accounting	Protokoly pro autentizaci, autorizaci a účtování
ABR	Adaptive Bitrate Streaming	Technologie umožňující změnu datového toku dle dostupné šířky pásma
AES	Advanced Encryption Standard	Symetrický šifrovací algoritmus
AI	Artificial Intelligence	Umělá inteligence
API	Application Programming Interface	Rozhraní pro komunikaci aplikací
AR	Augmented Reality	Rozšířená realita
ARD	Arbeitsgemeinschaft der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten der Bundesrepublik Deutschland	Sdružení veřejnoprávních rozhlasových a televizních stanic v Německu
ARD/SWR Mediathek	ARD/SWR Mediathek	Mediální knihovna německých veřejnoprávních stanic ARD a SWR
ARQ	Automatic Repeat Request	Automatická opakovaná žádost
ATSC	Advanced Television Systems Committee	Organizace pro standardizaci televizních vysílání
AVC	Advanced Video Coding	Pokročilý video kompresní standard, také známý jako H.264
AVMSD	Audiovisual Media Services Directive	Směrnice o audiovizuálních mediálních službách
AVOD	Ad-Supported Video on Demand	Služba videa na vyžádání podporovaná reklamami
BBC	British Broadcasting Corporation	Veřejnoprávní vysílací organizace ve Velké Británii
Blowfish	Algoritmus navržený pro rychlé šifrování	
BM-SC	Broadcast Multicast Service Center	Centrum pro multicast a broadcast služby
BS	Base Station	Základnové stanice v mobilních sítích
BSCC	Broadcast Service & Control Centre	Centrum pro správu a kontrolu vysílacích služeb

BSP	Base Station Power	Výkon základnové stanice
BSS/OSS	Business Support System / Operational Support System	Podpora podnikových a provozních systémů
CA	Certificate Authority	Certifikační autorita
CABAC	Context-adaptive binary arithmetic coding	Kontextově adaptivní binární aritmetické kódování, efektivní metoda komprese
CAS	Cell Acquisition Subframe	Podrámec pro získání buňky
CAS	Conditional Access Systems	Systémy podmíněného přístupu
CAVLC	Context-adaptive variable-length coding	Kontextově adaptivní proměnlivé dlouhé kódování, používané v H.264
CDG	Czech Digital Group	Skupina provozujících digitální vysílání v České republice
CDMA2000	Code Division Multiple Access 2000	Kódový dělený přístup do 2000
CDN	Content Delivery Network	Síť pro doručování obsahu
CDR	China Digital Radio	Digitální rozhlasový systém v Číně, který kombinuje analogové FM vysílání s moderními technologiemi
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations	Evropská konference poštovních a telekomunikačních administrací
CMAF	Common Media Application Format	Standardní formát pro distribuci streamovaného video obsahu
CMS	Content Management System	Systém pro správu obsahu
CP	Cyclic Prefix	Cyklická předpona zajišťující odolnost proti vícecestnému šíření signálu
CRA	České Radiokomunikace	
C-RAN	Cloud-Radio Access Network	Cloudová rádiová přístupová síť
CSR	Certificate Signing Request	Žádost o podepsání certifikátu
ČR	Česká republika	
ČT	Česká televize	Česká veřejnoprávní televizní společnost
ČTÚ	Český telekomunikační úřad	
DAB	Digital Audio Broadcasting	Digitální rozhlasové vysílání
DAB+	Digital Audio Broadcasting Plus	Pokročilý standard pro digitální rozhlasové vysílání
DASH	Dynamic Adaptive Streaming over HTTP	Technologie pro adaptivní streamování videa přes HTTP
DCT	Discrete Cosine Transform	Diskrétní kosinová transformace používaná v kompresi videa
DDoS	Distributed Denial of Service	Útok odepřením služby rozprostřený přes mnoho zdrojů
DES	Data Encryption Standard	Standard pro šifrování dat
DoS	Denial-of-Service	Útok odepřením služby
DRM	Digital Rights Management	Správa digitálních práv
DSA	Digital Signature Algorithm	Algoritmus pro generování a ověřování digitálních podpisů
DST	Discrete Sine Transform	Diskrétní sinusová transformace, využívaná v intra predikci
DTT	Digital Terrestrial Television	Zemské digitální televizní vysílání
DTTB	Digital Terrestrial Television Broadcasting	Digitální pozemní televizní vysílání
DTV	Digital Television	Digitální televize
DVB	Digital Video Broadcasting	Standard pro digitální televizní vysílání
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial	Standard pro digitální pozemní vysílání
DVB-T2	Digital Video Broadcasting – Second Generation Terrestrial	Druhá generace standardu pro digitální pozemní vysílání
EAP	Extensible Authentication Protocol	Protokol pro rozšířenou autentizaci
EAP-PEAP	Protected Extensible Authentication Protocol	Chráněný protokol EAP
EAP-TLS	Transport Layer Security	Transportní vrstva zabezpečení

EAP-TTLS	Tunneled Transport Layer Security	Tunelovaná transportní vrstva zabezpečení
EBU	European Broadcasting Union	Evropská vysílací unie
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution	Zvýšená rychlost přenosu dat v sítích GSM
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power	Efektivní izotropní vyzářený výkon
eLAA	Enhanced Licensed Assisted Access	Vylepšený přístup přes licencované spektrum
EIGamal	Šifrovací algoritmus	Asymetrický šifrovací algoritmus založený na výpočtu diskrétního logaritmu
eLWA	Enhanced LTE-WLAN Aggregation	Vylepšená agregace LTE a Wi-Fi
eMBMS	Evolved Multimedia Broadcast Multicast Service	Multicast a broadcastová technologie v sítích LTE
eNB	evolved NodeB	Vysílací stanice v LTE a 5G sítích
EnTV	Enhanced TV	Vylepšená televize
EPC	Evolved Packet Core	Jádro vyspělých mobilních sítí
EPC/5GC/NGC	Evolved Packet Core/5G Core/Next Generation Core	Vyspělá a nová generace mobilních jader pro 5G sítě
ERP	Effective Radiated Power	Efektivní vyzářený výkon vysílače, který definuje celkový výkon přenosu
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Evropský ústav pro telekomunikační normy
ETSI TS	European Telecommunications Standards Institute Technical Specification	Technická specifikace vytvořená Evropským inštitútom pre telekomunikačné normy (ETSI)
EU	Evropská unie	
EuCNC	European Conference on Networks and Communications	Konference o sítích a komunikacích v Evropě
EWBS	Emergency Warning Broadcast System	Systém pro nouzové vysílání varování
FEC	Forward Error Correction	Oprava chybového přenosu
FEFs	Future Extension Frames	Rozšiřující rámce pro DVB-T2, které umožňují pokročilé funkce vysílání
FeMBMS	Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service	Vylepšená technologie pro multicast a broadcast v sítích 5G
FeMBMS-OMA	Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service-Orthogonal Multiple Access	Vylepšená technologie FeMBMS s ortogonálním vícenásobným přístupem
FeMBSM	Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service	Vylepšená technologie pro multicast a broadcast v sítích 5G
FIPS	Federal Information Processing Standards	Federální standard pro zpracování informací v USA
FIPS 186	Federal Information Processing Standard 186	Federální standard pro digitální podpisy v USA
FM	Frequency Modulation	Frekvenční modulace
FTA	Free-to-Air	Volně dostupné vysílání
GHz	Gigahertz	Jednotka frekvence odpovídající miliardě cyklů za sekundu
GPS	Global Positioning System	Globální navigační systém
GSM	Global System for Mobile Communications	Celosvětový standard pro mobilní komunikaci
H.264	Advanced Video Coding	Pokročilý standard pro kompresi videa
H.265	High Efficiency Video Coding (HEVC)	Vysoce efektivní kompresní standard pro video
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request	Hybridní automatická opakovaná žádost
HbbTV	Hybrid Broadcast Broadband TV	Hybridní televizní služba kombinující vysílání a širokopásmový internet
HD	High Definition	Vysoké rozlišení obrazu, obvykle 720p, 1080p nebo vyšší
HDR	High Dynamic Range	Vysoký dynamický rozsah
HEVC	High Efficiency Video Coding	Vysoce efektivní kompresní standard, také známý jako H.265
HLS	HTTP Live Streaming	Protokol pro streamování videa
HPHT	High-Power High-Tower	Vysílací technologie využívající vysokovýkonné vysílače
HTTP	Hypertext Transfer Protocol	Protokol pro přenos hypertextu a dat po internetu

ID	Identifier	Identifikátor
IDCT	Inverse Discrete Cosine Transform	Inversní diskrétní kosinová transformace pro dekompresi videa
IDEA	International Data Encryption Algorithm	Symetrický šifrovací algoritmus vyvinutý jako náhrada za DES
IDS	Intrusion Detection Systems	Systémy detekce průniků do sítě
IDS/IPS	Intrusion Detection and Prevention Systems	Kombinace detekčních a preventivních systémů průniků
iFN	Intermediate Frequency Network	Síť mezifrekvenčního signálu
ILS	Internet Link Service	Služba umožňující přístup k internetovým odkazům
IMB5	Integration of Broadcast and Broadband in LTE/5G	Projekt integrace vysílání a širokopásmového připojení v LTE/5G
IMT	International Mobile Telecommunications	Mezinárodní mobilní telekomunikační služby
IoT	Internet of Things	Síť propojující různá zařízení a senzory přes internet
IP	Internet Protocol	Internetový protokol
IPS	Intrusion Prevention Systems	Systémy prevence průniků do sítě
IPTV	Internet Protocol Television	Televizní vysílání prostřednictvím IP sítí
ISD	Inter-Site Distance	Vzdálenost mezi vysílacími stanovišti
ITU	International Telecommunication Union	Mezinárodní organizace pro telekomunikace
JSON	JavaScript Object Notation	Formát pro výměnu dat mezi systémy
kHz	Kilohertz	Jednotka frekvence odpovídající tisíci cyklům za sekundu
km/h	Kilometers per hour	Kilometry za hodinu
KML	Keyhole Markup Language	Formát pro zobrazení geografických dat
kW	Kilowatt	Jednotka výkonu odpovídající tisíci wattům
LDM-NOMA	Layered Division Multiplexing-Non-Orthogonal Access	Vícenásobný přístup s dělením vrstev a neortogonálním přístupem
LL	Lower Layers	Dolní vrstvy v komunikačním protokolu
LP Tx	Low-Power Transmitters	Nízkopříkonové vysílače
LPLT	Low-Power Low-Tower	Nízkopříkonový nízkověžičkový vysílač pro pokrytí hustě osídlených oblastí
LTE	Long Term Evolution	Technologie 4. generace mobilních sítí
LTE enTV	LTE enhanced TV	Technologie pro distribuci televizního vysílání prostřednictvím LTE sítí
LTE-A	Long Term Evolution Advanced	Pokročilá technologie mobilních sítí LTE
LTE-A+	Long Term Evolution Advanced Plus	Pokročilá verze LTE s vyšší kapacitou
LTE-B	LTE Broadcast	Technologie pro vysílání v LTE sítích
M&E	Media and Entertainment	Sektor médií a zábavy
mABR	Multicast Adaptive Bitrate Streaming	Adaptivní multicastové vysílání
MB	Media Broadcast	Mediální vysílací služba
MBB	Mobile Broadband	Mobilní širokopásmové připojení
Mbit/s	Megabits per second	Jednotka rychlosti přenosu dat
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Service	Technologie pro multicast a broadcast v mobilních sítích
MBMS-GW	MBMS Gateway	MBMS brána pro multicastové a broadcastové služby
Mbps	Megabits per second	Jednotka přenosové rychlosti odpovídající milionu bitů za sekundu
MBS	Multicast and Broadcast Services	Multicastové a broadcastové služby
MBSFN	Multicast Broadcast Single Frequency Network	Síť s jednou frekvencí pro multicast a broadcast
MCE	Multicast Coordination Entity	Entita pro koordinaci multicastových služeb
MCS	Modulation and Coding Scheme	Modulační a kódovací schémata pro přenos dat

MHz	Megahertz	Jednotka frekvence odpovídající milionu cyklů za sekundu (1 MHz = 1 000 000 Hz)
MIMO	Multiple Input, Multiple Output	Technologie pro přenos dat s více anténami
MME	Mobility Management Entity	Entita pro správu mobility v LTE/5G sítích
MNO	Mobile Network Operator	Mobilní síťový operátor
MooD	MBMS on Demand	Funkce umožňující dynamickou alokaci zdrojů na základě aktuální poptávky
MPEG-2	Moving Picture Experts Group - 2	Starší kompresní standard pro digitální video
MPEG-DASH	Dynamic Adaptive Streaming over HTTP	Adaptivní streamování videa přes HTTP
MPMT	Medium-Power Medium-Tower	Středně výkonné středněvěžkové vysílače
NDR	Norddeutscher Rundfunk	Severoněmecký rozhlas
NGMN	Next Generation Mobile Networks	Konference zaměřená na mobilní technologie nové generace
NLP	Natural Language Processing	Zpracování přirozeného jazyka
NPN ID	Non-Public Network Identifier	Identifikátor neveřejné sítě
NR	New Radio	Nový rádiový přístup využívaný v sítích 5G
NRK	Norsk rikskringkasting	Norská veřejnoprávní rozhlasová a televizní stanice
NSA	Non-Standalone	Technologie 5G fungující ve spojení se 4G sítěmi
OBECA	Open Broadcast Edge Cache Appliance	Zařízení pro okrajové ukládání broadcast obsahu
OBS	Olympic Broadcasting Services	Organizace zajišťující vysílání olympijských her
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Technologie pro ortogonální dělení frekvence
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access	Technologie pro víceuživatelský přístup pomocí ortogonálního dělení frekvence
OpenSSH	Open Secure Shell	Otevřený protokol pro zabezpečené připojení přes SSH
OTT	Over-The-Top	Distribuce obsahu přes internet mimo tradiční vysílací sítě
OWC	Optical Wireless Communication	Optická bezdrátová komunikace
PGP	Pretty Good Privacy	Šifrovací software pro bezpečné odesílání dat
P-GW	Packet Gateway	Brána pro přenos datových paketů
PKI	Public Key Infrastructure	Infrastruktura veřejného klíče
PLS	Physical Layer Security	Fyzická bezpečnost na vrstvě přenosu
PMCH	Physical Multicast Channel	Fyzický kanál pro multicast
PTM	Point-to-Multipoint	Komunikace typu bod-na-více bodů
PTP	Point-to-Point	Komunikace typu bod-na-bod
PVV	Pay-Per-View	Služba placení za sledování jednotlivých programů
PWS	Public Warning Systems	Veřejný varovný systém
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Modulační technika, která kombinuje amplitudovou a fázovou modulaci pro efektivnější přenos dat
QoS	Quality of Service	Kvalita služby
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying	Modulace s kvadraturním fázovým posunem
R&S	Rohde & Schwarz	Německý výrobce měřicí a vysílací techniky
RADIUS	Remote Authentication Dial-In User Service	Služba pro vzdálenou autentizaci uživatelů
RAI	Radiotelevisione Italiana	Italská veřejnoprávní vysílací společnost
RAN	Radio Access Network	Rádiová přístupová síť
RBS	Resource Blocks	Bloky zdrojů pro přenos dat
ROI	Return on Investment	Návratnost investice
ROM	Receive-Only Mode	Režim pouze pro příjem

RRC	Radio Resource Control	Řízení rádiových zdrojů
RSA	Rivest-Shamir-Adleman	Asymetrická šifrovací metoda
SA	Stand-Alone	Samostatná 5G technologie
SAO	Sample Adaptive Offset	Adaptivní úprava vzorků, nástroj používaný v HEVC
SaT5G	Satellite and Terrestrial 5G	Kombinace satelitního a pozemního vysílání pro 5G
S-boxy	Substitution boxes	Část algoritmu DES, nahrazují části bloku jinými hodnotami
SC-PTM	Single-Cell Point-to-Multipoint	Přenos z jednoho vysílacího bodu k více uživatelům současně
SCS	Subcarrier Spacing	Rozteč nosných vln
SD	Standard Definition	Standardní rozlišení obrazu
SDK	Software Development Kit	Sada nástrojů pro vývoj softwaru
SDL	Supplemental Downlink	Doplňkový downlink v NSA/SA sítích
SDR	Software Defined Radio	Softwarově definované rádio
SEN	Shared eMBMS Network	Sdílená síť eMBMS umožňující více mobilním operátorům sdílet náklady spojené s distribucí obsahu
SFN	Single Frequency Network	Síť používající jedinou frekvenci pro vysílání
S-GW	Serving Gateway	Brána pro poskytování služeb v LTE sítích
SIM	Subscriber Identity Module	Karta s identifikačním modulem pro mobilní zařízení
SNPN	Stand-alone Non-Public Network	Samostatná neveřejná síť
SSL	Secure Sockets Layer	Bezpečnostní protokol, předchůdce TLS
StatMux	Statistical Multiplexing	Statistický multiplexing
SVOD	Subscription Video on Demand	Služba předplatného pro sledování videa na vyžádání
SWR	Südwestrundfunk	Regionální veřejnoprávní rozhlasová a televizní stanice pro německé spolkové země Bádensko-Württembersko a Porýní-Falc
TDF	Télédiffusion de France	Francouzská národní vysílací společnost
TDM	Time Division Multiplexing	Multiplex s časovým dělením
TLS	Transport Layer Security	Bezpečnostní protokol pro šifrování dat na internetu
TOoL+	Tower Overlay LTE Advanced Plus	Technologie, která umožňuje vysílání dat pomocí LTE-A+ s využitím vysílačů s vysokým dosahem
TTI	Transmission Time Interval	Časový interval pro přenos dat
TV	Televize	
TVOD	Transactional Video on Demand	Služba videa na vyžádání placená za jednotlivé transakce
UE	User Equipment	Uživatelské zařízení
UHD	Ultra High Definition	Ultra vysoké rozlišení obrazu
UL	Upper Layers	Horní vrstvy v komunikačním protokolu
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	Univerzální mobilní telekomunikační systém
V2V	Vehicular-to-Vehicular	Komunikace mezi vozidly
VDCM	Virtual Digital Content Manager	Virtuální správce digitálního obsahu
VHF	Very High Frequency	Velmi vysoká frekvence
VLC	Variable Length Coding	Kódování s proměnlivou délkou používané v MPEG-2
VOD	Video on Demand	Video dostupné na vyžádání
VR	Virtual Reality	Virtuální realita
VTT	VTT Technical Research Centre of Finland	Technické výzkumné centrum ve Finsku
W	Watt	Jednotka výkonu
Wavefront	Wavefront Parallel Processing	Paralelní zpracování vlnové čelní strany, nástroj v HEVC pro více jader

WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access	Technologie pro širokopásmový kódový dělený přístup
WiFi	Wireless Fidelity	Bezdrátová technologie pro připojení k internetu
WIVE	Wireless for Verticals	Projekt zaměřený na vývoj 5G technologií pro různá vertikální průmyslová odvětví
xMB	xMB Interface	Rozhraní xMB pro broadcast služby
XR	Extended Reality	Rozšířená realita
ZOH	Zimní olympijské hry	

Seznam tabulek

Tabulka 1: Tabulka rozdílů mezi technologiemi eMBMS a FeMBMS	35
Tabulka 2: Přenosové parametry testované během terénních zkoušek pro DVB-T2 a LTE-A+	94
Tabulka 3: Srovnání nástrojů MPEG-2, H.264 a HEVC.....	116
Tabulka 4: Náklady na Opex pro mobilní síť.....	145

Seznam obrázků

Obrázek 1: Architektura 5G vysílání	33
Obrázek 2: Hybridní distribuce obsahu přes 5G Broadcast a unicast sítě	34
Obrázek 3: Porovnání unicast a broadcast komunikace	35
Obrázek 4: Architektura OTT Ekosystému	37
Obrázek 5: Proces poskytování služby Video on Demand	39
Obrázek 6: Proces odesílání upozornění pomocí broadcastu	45
Obrázek 7: Broadcast architektura	47
Obrázek 8: Architektura Overlay NSA/SA pro venkovské a příměstské oblasti	49
Obrázek 9: Architektura SDL NSA/SA pro hustě osídlené oblasti	50
Obrázek 10: Pokrytí území vysílači pomocí HPHT/MPMT a LPLT v sítích FeMBMS	53
Obrázek 11: Očekávání vysílatelů ohledně přechodu na 5G a jeho výzvy pro distribuci TV obsahu	54
Obrázek 12: Schéma terestriálního vysílání	55
Obrázek 13: Schéma OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	56
Obrázek 14: Single Frequency Network (SFN) s čtyřmi vysílači	57
Obrázek 15: Satelitní vysílání	59
Obrázek 16: Satelity na geostacionární (GEO) a nízké oběžné dráze (LEO)	60
Obrázek 17: Mapa pokrytí vysílačů Praha – Strahov a Praha – Žižkov pro testování 5G Broadcast	65
Obrázek 18: Vývoj Broadcast od 3G po 5G v 3GPP vydáních	71
Obrázek 19: Multicast/broadcast služby a jejich vývoj pro LTE a 5G MBS a některé technické aspekty	72
Obrázek 20: Globální pilotní projekty a zkoušky 5G Broadcast pro digitální TV vysílání	77
Obrázek 21: Přehled celého řetězce distribuce a využití	78
Obrázek 22: Zjednodušený blokový diagram toku infotainment informací	80
Obrázek 23: Oblast pokrytí	81
Obrázek 24: Zkušební oblast včetně vysílacích stanic, hlavních lokalit a umístění měřicích bodů pro stacionární měření	84
Obrázek 25: Vozidla pro stacionární měření a měření při vysokých a nízkých rychlostech pro 5G Broadcast	85
Obrázek 26: Distribuce video služby prostřednictvím vysílání	87
Obrázek 27: OWC spoj na solární články	89

Obrázek 28: Nasazení technologie OWC v rámci projektu RuralFirst	89
Obrázek 29: Struktura 5G testovací sítě v projektu 5GTN+	91
Obrázek 30: Přehled úrovně vstupního výkonu přijímače měřeného v terénní zkoušce v centrální a jihovýchodní části Paříže	95
Obrázek 31: Schéma vysílání Eurovision Song Contest 2022 pomocí technologie 5G Broadcast	96
Obrázek 32: Konvergovaná architektura doručování médií 5G-Xcast	97
Obrázek 33: Porovnání architektury 5G NSA a 5G SA	101
Obrázek 34: Porovnání spektrální efektivity mezi OMA (OFDMA) a NOMA	102
Obrázek 35: Obecný přehled systému BSP (Base Station Power) s multiplexováním uživatelů	103
Obrázek 36: Princip a příklad časového multiplexování	104
Obrázek 37: Architektura FeMBMS v LTE/EPC sítích s HPHT topologií	105
Obrázek 38: Schéma Single-Frequency Network	107
Obrázek 39: Schéma stand-alone Non-Public Network (SNPN) a veřejné mobilní sítě	107
Obrázek 40: Architektura FeMBMS s využitím rozhraní xMB pro distribuci obsahu	109
Obrázek 41: Přenos aktualizací a dat v automobilovém prostředí pomocí FeMBMS	113
Obrázek 42: Faktory Ovlivňující FeMBMS	117
Obrázek 43: Fungování PKI	118
Obrázek 44: Fungování EAP	119
Obrázek 45: AAA protokol	120
Obrázek 46: Denial-of-Service (DoS) útok	122
Obrázek 47: Radio Jamming Attack	123
Obrázek 48: Symetrické šifrování	127
Obrázek 49: Porovnání šifrovacích metod DES a AES	129
Obrázek 50: Asymetrické šifrování	131
Obrázek 51: Porovnání metod zálohování	139

Zdroje

Informace nacházející se v tomto dokumentu byly čerpány z následujících zdrojů:

1 Úvod

Zdroj	URL
5G BROADCAST – THE ROAD TO COMMERCIALIZATION by Mohamed Aziz Taga	
5G ONE4HDD Overview 2024	
5G Evolution for Multicast and Broadcast Services in 3GPP Release 17	https://www.techrxiv.org/users/681071/articles/677413-5g-evolution-for-multicast-and-broadcast-services-in-3gpp-release-17
OTT	https://www.cetin.cz/-/ott
Commercial Grade OTT Client Development – An Analysis	https://www.hsc.com/resources/blog/commercial-grade-ott-client-development-an-analysis/
FAQ – Video On-Demand	https://videospace.co/faq-video-ondemand

2 Typy Broadcastu

Zdroj	URL
5G ONE4HDD Overview 2024	
GSA July 2024 5G Broadcas	https://gsacom.com/paper/5g-broadcast-july-2024/
Digital Broadcasting Services: What it is, How it Works, and Why it Matters	https://godreamcast.com/blog/solution/live-streaming-and-webcasting/what-is-digital-broadcasting-and-service/
Roads to Multimedia Broadcast Multicast Services in 5G New Radio	https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8436874
Provision of Broadcast Multimedia Content in 5G Mobile Systems Using Satellite Broadcasting	https://ieeexplore.ieee.org/document/10496729
China Digital Radio (CDR) System and Its Application in Emergency Broadcasting	https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8643576
An Emergency Broadcasting Scheme Based on TS for Digital TV	https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7883177
Mapping a China Digital Radio (CDR) receiver on a Software-Defined-Radio platform	https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/92615851/0977257_MasterThesis_YanCheng.pdf
IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING Special Issue on: Convergence of Broadcast and Broadband in the 5G Era	https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9109604
Cell Broadcast Solutions	https://www.alertus.com/cell-broadcasting

3 Popis služby FeMBMS

Zdroj	URL
MBMS-based Multi-node 5G Broadcast Performance Assessment	https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10211388
Realising a vRAN based FeMBMS Management and Orchestration Framework	https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9379891

Comparative Study on KPIs between FeMBMS and DTMB	https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9148226
VNF Lifecycle Evaluation Study for Virtualized FeMBMS	https://ieeexplore.ieee.org/document/9815676
5G Broadcast – A New Era Of Content Delivery	https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/solution/broadcasting/content_distribution/5g_broadcast/ieee_broadcast_technology_5g_broadcast.pdf
5G BROADCAST/MULTICAST	https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/Rohde-Schwarz_5G-Broadcast-Multicast_bro_3609_6135_92_v0100.pdf
LTE/5G Broadcast – Technology Overview	https://www.set.org.br/wp-content/uploads/2019/07/3%C2%BA-14H-AZIZ-TAGA-5G_Broadcast-SET19.pdf
A Software Defined Radio based FeMBMS Measurement Receiver: Test Results	https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8971847
A New Optimization Approach for Hybrid LDM-NOMA and FeMBMS-OMA in 5G Cellular Broadcasting	https://ieeexplore.ieee.org/document/10214288
Further Enhanced Multimedia Broadcast/Multicast Service in LTE-Advanced Pro	https://ieeexplore.ieee.org/document/8928167
DVB-T2 – Informační web o digitálním vysílání DVB-T a DVB-T2	https://dvb-t2.cz/
5G Broadcast nahradí DVB-T2 a satelitní vysílání?	https://www.parabola.cz/clanky/6893/5g-broadcast-nahradi-dvb-t2-a-satelitni-vysilani/
Radiokomunikace testují nový standard TV vysílání. Do provozu půjde za pět let	https://www.idnes.cz/technet/audio-foto-video/ceske-radiokomunikace-test-vysilani-5g-broadcast.A220406_100426_audio-foto-video_nyv
Druhá fáze 5G Broadcast testu v Praze – Radiokomunikace doplnily Žižkov Strahovem	https://www.televizniweb.cz/2023/05/druha-faze-testu-5g-vysilani-zahajenaceske-radiokomunikace-pouziji-sfn-sit/
ROZVOJ 5G BROADCAST MARCEL PROCHÁZKA	https://i-day.cz/admin/fileGet.aspx?f=iilzbgpsos
Making 5G broadcast ready for prime time	https://www.qualcomm.com/news/onq/2021/04/making-5g-broadcast-ready-prime-time
5G Broadcast: Nowhere Near Ready For Prime Time	https://www.eetasia.com/5g-broadcast-nowhere-near-ready-for-prime-time/
THE POTENTIAL OF 3GPP TECHNOLOGIES FOR BROADCAST SERVICE	https://tech.ebu.ch/files/live/sites/tech/files/shared/events/webinar2020_5GDistribution/presentations/Webinar_5G_for_distribution_AssuntaDeVita.pdf

4 Legislativa 5G Broadcastu

Zdroj	URL
SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/1808	https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex%3A32018L1808
SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2010/13/EU	https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex%3A32010L0013
ETSI, 5G Broadcast System for linear TV and radio services; LTE-based 5G terrestrial broadcast system	https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103700_103799/103720/01.02.01_60/ts_103720v010201p.pdf
Zákon č. 127/2005 Sb.	https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-127
Zákon č. 202/2023 Sb.	https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2023-202
5G Evolution for Multicast and Broadcast Services in 3GPP Release 17	https://www.techrxiv.org/users/681071/articles/677413-5g-evolution-for-multicast-and-broadcast-services-in-3gpp-release-17
Zákon č. 483/1991 Sb.	https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1991-483
Zákon č. 132/2010 Sb.	https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2010-132
Zákon č. 194/2017 Sb.	https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2017-194

Zákon č. 231/2001 Sb.

<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-231>

Zákon č. 202/2023 Sb.

<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2023-202>

5 Zahraniční benchmark

Zdroj	URL
Performance Evaluation of 5G Broadcast and ATSC 3.0 for Cellular Broadcasting Scenarios	https://ieeexplore.ieee.org/document/10608271
Italian state TV to sell up to 15% of tower unit Rai Way	https://www.reuters.com/markets/deals/italian-state-tv-sell-up-15-tower-unit-rai-way-2024-01-18/
Italy sets terms for RaiWay stake sale, TV towers tie-up	https://www.reuters.com/markets/deals/italy-sets-terms-raiway-stake-sale-tv-towers-tie-up-2024-05-24/
First multi-site 5G Broadcast trials deliver Eurovision Song Contest in Italy, Austria, France and Germany	https://www.ebu.ch/news/2022/05/first-europe-wide-5g-broadcast-trials-delivering-eurovision-song-contest-in-italy-austria-france-and-germany
5G Broadcast Trials & Launches	https://www.thebroadcastbridge.com/content/entry/20186/5g-broadcast-part-3-5g-broadcast-trials-launches
Cellnex Telecom and RTVE broadcast opera in 4K Ultra High-Definition	https://www.cellnex.com/news/noticia-36/
TRIALS TESTS AND PROJECTS RELATING TO 4G/5G BROADCAST SUPPORTED BY EUROPEAN PSB	https://tech.ebu.ch/docs/techreports/tr044.pdf
Final report of the 5G Media2Go project	https://drive.google.com/file/d/1CznXRhhNboNVvXVI6oTqiF2f6brlONxb/view
NDR tests 5G broadcast networks in Hamburg	https://www.telecompaper.com/news/ndr-tests-5g-broadcast-networks-in-hamburg--1401993
NDR and Media Broadcast trial 5G Broadcast in Hamburg	https://www.broadbandtvnews.com/2021/10/26/ndr-and-media-broadcast-trial-5g-broadcast-in-hamburg/
German 5G Today Project Starts Field Trials For Mobile Broadcast	https://www.thebroadcastbridge.com/content/entry/13443/german-5g-today-project-starts-field-trials-for-mobile-broadcast
Kick-Off event at IRT: Official launch of the 5G TODAY Broadcasting field trial	https://www.kathrein-bca.com/en/kick-off-event-at-irt-official-launch-of-the-5g-today-broadcasting-field-trial
New 5G Broadcast trial to launch in Germany	https://www.broadbandtvnews.com/2024/05/02/new-5g-broadcast-trial-to-launch-in-germany/
Integration of Broadcast and Broadband in LTE/5G (IMB5) - experimental results from the eMBMS testbeds	https://ieeexplore.ieee.org/document/7561055
Tower Overlay over LTE-Advanced+ (TOL+) – Field Trial Results	https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7391283
Tower Overlay over LTE-Advanced+ (TOL+): Results of a Field Trial in Paris	https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7521952
Technical implementation status of 5G Broadcast: Vienna Field Trial	https://www.ors.at/fileadmin/user_upload/ors/5G_Broadcast/PTD_2_1_012_Technical_implementation_status_of_5G_Broadcast_-_Vienna_Field_Trial_.pdf
Solar Cell Receiver Free-Space Optical for 5G Backhaul	https://ieeexplore.ieee.org/document/8696679
5G RuralFirst	https://www.gov.uk/government/case-studies/5g-ruralfirst-rural-coverage-and-dynamic-spectrum-access-testbed-and-trial
5G RuralFirst	https://censis.tech/censis_projects/5g-ruralfirst/
WIVE	https://5gtnf.fi/projects/wive/
WIVE project looks for 5G vertical applications	https://convergedigest.com/wive-project-looks-for-5g-vertical/
WIVE project uses 5G to increase the business value of automated transport, smart grids, massive machine connectivity and media delivery	https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2017/09/18/wive-project-uses-5g-to-increase-the-business-value-of-automated-transport-smart-grids-massive-machine-connectivity-and-media-delivery/

WIVE – PROJECT FOCUS	https://wive.turkuamk.fi/arkisto/index.html
Wireless for Verticals	https://research.abo.fi/en/projects/wireless-for-verticals
Wireless for Verticals (WIVE)	https://www.tuas.fi/en/research-and-development/projects/wireless-verticals-wive/
5GTN+	https://5gtnf.fi/projects/5gtnplus/
Support for mobile broadcast streaming service as part of 5G test network in Oulu	https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/support-mobile-broadcast-streaming-service-part-5g-test-network-oulu
Past 5GTN+ project and ongoing projects using 5GTN+	https://5gtn.fi/overview/
5G Test Network+ (5GTN+)	https://net.centria.fi/en/project/5gtn/
Yle, MTV, Elisa, Nokia, ENENSYS, Bittium and Qualcomm Showcase the Future of TV, Paving the Way to 5G Broadcast	https://yle.fi/aihe/artikkeli/2018/05/16/yle-mtv-elisa-nokia-enensys-bittium-and-qualcomm-showcase-the-future-of-tv
5G projects and trials in Finland	https://www.traficom.fi/en/communications/communications-networks/5g-projects-and-trials-finland
Tre trusler jager DAB mot stupet – men ett fortrinn kan bli redningen.	https://www.forskning.no/media-teknologi/vil-nettradio-drepe-dab/258116
Tower overlay over LTE-Advanced+ (TOL+): Results of a field trial in Paris	https://ieeexplore.ieee.org/document/7521952
TDF and RAI launch first LTE-A+ Broadcast trials	https://www.broadbandtvnews.com/2015/04/15/tdf-and-rai-launch-first-lte-a-broadcast-trials/
5G Broadcast trials during Eurovision Song Contest (Ateme, EBU, France TV, ORS, Qualcomm, RAI, SWR)	https://www.5g-mag.com/post/multi-site-5g-broadcast-trials-during-eurovision-song-contest-in-italy-austria-france-and-germany
First multi-site 5G Broadcast trials deliver Eurovision Song Contest in Italy, Austria, France and Germany	https://tech.ebu.ch/news/2022/05/first-multi-site-5g-broadcast-trials-deliver-eurovision-song-contest-in-italy-austria-france-and-germany
5G Broadcasts of the Eurovision Song Contest – the what, how and why	https://tech.ebu.ch/news/2022/05/5g-broadcasts-of-the-eurovision-song-content--the-what-how-and-why
ESC 2022, il 5G Broadcast al Museo della Radio e Tv della Rai	https://www.rai.it/ufficiostampa/assets/template/us-articolo.html?ssiPath=/articoli/2022/05/ESC-2022-il-5G-Broadcast-al-Museo-della-Radio-e-Tv-della-Rai-abdff1be-7f1c-4ddd-9fd8-33cda7c61121-ssi.html
SWR beteiligt sich an europaweitem 5G Broadcast-Test beim Eurovision Song Contest	https://www.swr.de/unternehmen/kommunikation/pressemeldungen/pressemeldung-5g-esc-100.html
5G-XCast	http://5g-xcast.eu/
5G-Xcast: Broadcast and Multicast Communication Enablers for the Fifth Generation of Wireless Systems	https://5g-ppp.eu/5g-xcast/
Spectrum sharing in 5G -experience from 5G-Xcast project	https://www.cept.org/files/127382/S4%20-%20Terro%20Jokela%20-%205G-Xcast.pdf
5G-XCast: Object oriented broadcasting	https://global5g.org/5g-xcast-object-oriented-broadcasting
Media Rights-Holders - Olympics	https://olympics.com/ioc/media-rights-holders
Olympic Broadcasting Services	https://www.obs.tv/home
Broadcasting the Olympic Games : [Paris 2024] / Olympic Broadcasting Services	https://library.olympics.com/Default/doc/SYRACUSE/3154742/broad-casting-the-olympic-games-paris-2024-olympic-broadcasting-services?_lg=en-GB
Samsung Brings 200 Samsung Galaxy S24 Ultra to Broadcast The 2024 Olympics in Paris	https://theidealmobile.com/2024/06/20/samsung-brings-200-samsung-galaxy-s24-ultra-to-broadcast-the-2024-olympic-in-paris/
How 2024 has become the 5G Broadcast Olympics	https://www.ibt.org/opinion/how-2024-has-become-the-5g-broadcast-olympics/11217.article
Paris 2024: Private 5G Network to Revolutionize Olympic Broadcasting	https://5gstore.com/blog/2024/07/15/paris-2024-private-5g-network-to-revolutionize-olympic-broadcasting/?srsltid=AfmBOooHtmTSiHg8xWX5t6zcuMBpKRsv4g7OMkMVlIfDrZWG-EMBF4G
Orange runs up private 5G for Olympic broadcasters	https://www.mobileworldlive.com/orange/orange-runs-up-private-5g-for-olympic-broadcasters/

6 Kompatibilita a interoperabilita technologie FeMBMS

Zdroj	URL
Realising a vRAN based FeMBMS Management and Orchestration Framework	https://www.researchgate.net/profile/Javier-Morgade/publication/350189935_Realising_a_vRAN_based_FeMBMS_Management_and_Orchestration_Framework/links/6204c07650d0b450188dc66c/Realising-a-vRAN-based-FeMBMS-Management-and-Orchestration-Framework.pdf
A New Optimization Approach for Hybrid LDM-NOMA and FeMBMS-OMA in 5G Cellular Broadcasting	https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=10214288
Convergence of Broadcast and Broadband Performance Evaluation of Layered Division Multiplexing for 5G and Beyond	https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9547122
Further Enhanced Multimedia Broadcast/Multicast Service in LTE-Advanced Pro	https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8928167
3GPP Enhancements for Television Services: LTE-based 5G Terrestrial Broadcast	https://www.researchgate.net/profile/David-Gomez-Barquero/publication/341556825_3GPP_Enhancements_for_Television_Services_LTE-Based_5G_Terrestrial_Broadcast/links/5ecd31a1299bf1c67d1c6625/3GPP-Enhancements-for-Television-Services-LTE-Based-5G-Terrestrial-Broadcast.pdf
VNF Lifecycle Evaluation Study for Virtualized FeMBMS	https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9815676
Using Layered Division Multiplexing for Mixed Unicast-Broadcast Service Delivery in 5G-MBMS	https://dam-oclc.bac-lac.gc.ca/download?is_thesis=1&oclc_number=1335046009&id=12b25550-a7f9-49e5-8f79-7fcbbe1a9305&fileName=Xue_Yu_%20201911_MAS_thesis.pdf
5G Broadcast receiver profile for Europe released for review	https://tech.ebu.ch/news/2024/09/5g-broadcast-receiver-profile-for-europe-released-for-review
Taking a broader view on media distribution	https://tech.ebu.ch/files/live/sites/tech/files/shared/tech-i/tech-i-043.pdf
5G Media2Go Audiovisual Services for In-Car Infotainment Systems	https://drive.google.com/file/d/1CznXRhhNboNVvXVI6oTqiF2f6brIO_Nxb/view
SMPTÉ – NEXTGEN TV SUMMIT MOBILE & AUTOMOTIVE APPLICATIONS AND FEMBMS (5G-BROADCAST)	https://f.hubspotusercontent00.net/hubfs/5253154/16%20-%20Mobile%20%26%20Automotive%20Applications%20and%20FeMBMS%20(5G-Broadcast)%20-%20Janner-1.pdf

7 Strategie pro optimalizaci přenosu dat

Zdroj	URL
The video and transport protocol stack for 5G	https://datatracker.ietf.org/meeting/111/materials/slides-111-mops-5g-edge-for-streaming-media-00
5G BROADCAST/MULTICAST	https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/Rohde-Schwarz_5G-Broadcast-Multicast_bro_3609_6135_92_v0100.pdf
LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description;	https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136300/14.10.0_0_60/ts_136300v141000p.pdf
5G Broadcast Trials using FeMBMS	https://thebroadcastknowledge.com/tag/fembms/
5G Broadcast System for linear TV and radio services; LTE-based 5G terrestrial broadcast system	https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103700_103799/103720/01.02.0_1_60/ts_103720v010201p.pdf

New Codecs for 5G	https://dashif.org/docs/workshop-2019/04-thierry%20fautier%20-%20Harmonic%20Codec%20Comparison%205G%20Media%20Workshop_Final%20v3.pdf
Next-Generation Video Transcoding	https://www.pipelinepub.com/video_and_content/transcoding/2
A Guide to Video Encryption for Secure Video Streaming	https://www.gumlet.com/learn/video-encryption/
General Principles of the AVMSD	https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/general-principles-avmsd
AES Algorithm for the Next Generation of 5G Network Encryption Standards	https://ieeexplore.ieee.org/document/10199794
Encryption in virtualized 5G environments	https://www.ericsson.com/en/blog/2020/6/encryption-in-virtualized-5g-environments
Selective encryption of video MPEG use RSA algorithm	https://ieeexplore.ieee.org/document/7065727
Architectural Implementation of AES based 5G Security Protocol on FPGA	https://ieeexplore.ieee.org/document/9998367
Symmetric vs. Asymmetric Encryption: What's the Difference?	https://www.trentonsystems.com/en-us/resource-hub/blog/symmetric-vs-asymmetric-encryption
Symmetric vs. Asymmetric Encryption – What are differences?	https://www.ssl2buy.com/wiki/symmetric-vs-asymmetric-encryption-what-are-differences

8 Zálohování a zabezpečení dat

Zdroj	URL
5G-based V2V broadcast communications: A security perspective	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590005621000321
SECURING 5G BROADCAST MESSAGES	https://etda.libraries.psu.edu/files/final_submissions/25032
Design of a 5G Multimedia Broadcast Application Function Supporting Adaptive Error Recovery	https://oa.upm.es/78687/1/2023-IEEE-Multimedia-Design_of_a_5G_Multimedia_Broadcast_Application_Function_Supporting_Adaptive_Error_Recovery.pdf
5G Broadcast/Multicast	https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/Rohde-Schwarz_5G-Broadcast-Multicast_bro_3609_6135_92_v0100.pdf
IBC2023 Tech Papers: 5G Broadcast Receivers: Optimizing Performance under Implementation Constraints	https://www.abc.org/technical-papers/abc2023-tech-papers-5g-broadcast-receivers-optimizing-performance-under-implementation-constraints/10251.article
The Difference Between Incremental, Differential, and Full Backup	https://www.mityung.com/blog/the-difference-between-incremental-differential-and-full-backup

9 Porovnání bezpečnostních aspektů a technologií

Zdroj	URL
Convergence of Satellite and Terrestrial Networks: A Comprehensive Survey	https://ieeexplore.ieee.org/document/8946626
On Terrestrial and Satellite communications for telecommunication future	https://ieeexplore.ieee.org/document/9408249
Competition and Convergence of Satellite and Terrestrial Networks	https://ieeexplore.ieee.org/document/10211582
Satellite and Terrestrial Network Convergence on the Way Toward 6G	https://ieeexplore.ieee.org/document/10077212
SECURING 5G BROADCAST MESSAGES	https://etda.libraries.psu.edu/files/final_submissions/25032

5G-based V2V broadcast communications: A security perspective	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590005621000321
AES vs RSA Encryption	https://www.phalanx.io/blog/aes-vs-rsa-encryption
What is RSA Asymmetric Encryption? How Does it Work?	https://www.securew2.com/blog/what-is-rsa-asymmetric-encryption
What is AES Advanced Encryption Standard?	https://www.wallarm.com/what/what-is-aes-advanced-encryption-standard
What is a Public Key Infrastructure (PKI)?	https://www.essendi.ch/en/was_ist_eine_pki/
EAP Overview	https://mrnciew.com/2013/03/03/eap-overview/
Authentication, Authorization and Accounting (AAA)	https://medium.com/@sabinajafar533/authentication-authorization-and-accounting-aaa-75592e37642b
What is a DoS (Denial of Service) Attack?	https://www.wallarm.com/what/dos-denial-of-service-attack
Radio Jamming Attack Network Projects	https://networksimulationtools.com/radio-jamming-attack-network-projects/
Digital Terrestrial Television	https://www.techtel.com.au/digital-terrestrial-tv-distribution
Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) implementation as part of a software devined radio (SDR) environment	https://www.researchgate.net/publication/44139400_Orthogonal_frequency_division_multiplexing_OFDM_implementation_as_part_of_a_software_devined_radio_SDR_environment
The Basics of Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFDM)	https://blog.minicircuits.com/the-basics-of-orthogonal-frequency-division-multiplexing-ofdm/
Single Frequency Networks (SFN) in Digital Terrestrial Broadcasting	https://www.radioeng.cz/fulltexts/2007/07_04_002_006.pdf
Satellite Broadcasting: Meeting the Demands of the New Decade	https://www.orbofleet.com/satellite-broadcasting-market-meeting-the-demands-of-the-new-decade/
The Differences, Strengths, and Weaknesses of LEO and GEO Satellites	https://www.skytrac.ca/resources/magazine/skytrac-satcomseries-the-differences-strengths-and-weaknesses-of-leo-and-geo-satellites/
Practical Information For Broadcasters	https://www.ebu.ch/files/live/sites/ebu/files/Publications/EBU-Legal-Copyright-Guide.pdf
Směrnice (EU) 2019/789 — pravidla pro výkon autorského práva a práv s ním souvisejících, jež se použijí na některá online vysílání vysílacích organizací a převzatá vysílání televizních a rozhlasových programů	https://eur-lex.europa.eu/CS/legal-content/summary/copyright-broadcasters-online-transmissions-and-retransmissions-of-television-and-radio-programmes.html
Rozhlasové a televizní vysílání v provozovnách	https://www.pravniprostor.cz/clanky/obcanske-pravo/rozhlasove-a-televizni-vysilani-v-provozovnach
Udělení licence k provozování digitálního vysílání	https://portal.gov.cz/sluzby-vs/udeleni-licence-kprovozovani-digitalniho-vysilani-S1841

10 Finanční analýza a náklady na implementaci FeMBMS

Zdroj	URL
Building 5G Broadcast SFN based on existing T-DAB Broadcast infrastructure	https://progira.com/product/building-5g-broadcast-sfn-t-dab-broadcast-infrastructure/
5G Broadcast Technology Market Projected to Surge from USD 6.4 Billion in 2024 to USD 1,638.4 Billion by 2032, with a CAGR of 100.0%	https://www.linkedin.com/pulse/5g-broadcast-technology-market-projected-surge-from-usd-ske5f/
5G Broadcast: What can consumers expect?	https://www.qualcomm.com/news/onq/2023/12/5g-broadcast-what-can-consumers-expect
Cost analysis of orchestrated 5G networks for broadcasting	https://tech.ebu.ch/docs/techreview/EBU_Tech_Review_2019_Lombardo_Cost_analysis_of_orchestrated_5G_networks_for_broadcasting.pdf
Broadcast Tower Lease: Rates, Negotiations, Agreements	https://www.steelintheair.com/negotiating-broadcast-tower-leases/

HOW WILL 5G AFFECT CELL TOWERS?	https://www.steeintheair.com/wp-content/uploads/2020/02/How-Will-5G-Affect-Cell-Towers-and-Cell-Tower-Leases.pdf?utm_source=optimonk_flow&utm_medium=landowners&utm_campaign=email&utm_term=
CRA prozradily plány s DVB-T2 a DAB+ Innovation Day 2024 se dotkl i 5G Broadcastu	https://www.televizniweb.cz/2024/05/na-dni-inovaci-o-platformach-pro-vysilani-zverejnen-prvni-plan-vystavby-dab-siti/
Jak ovlivní 5G televizní vysílání	https://acra-mk.cz/wp-content/uploads/2021/09/BLOK-II_DIGIMEDIA-2021_prezentace_Marcel-Prochazka.pdf
České Radiokomunikace Launches Second Phase of 5G Television Broadcasting	https://www.cra.cz/ceske-radiokomunikace-launches-second-phase-of-5g-television-broadcasting
Milestones in the development of 5G Broadcast: Q&A with Johann Mika, ORS Group	https://www.broadbandtvnews.com/2024/09/10/milestones-in-the-development-of-5g-broadcast-qa-with-johann-mika-chief-innovation-officer-ors-group/
MIMO Antennas Explained: An In-Depth Guide	https://www.waveform.com/a/b/guides/mimo-antenna-guide?srsltid=AfmBOorPDEfpNbmcfH8K9_Ow4CexMmUltgQkGj2uSrZa6h_pe6tYPCHn

11 Využití kmitočtového pásma pro broadcastové vysílání

Zdroj	URL
České Radiokomunikace zahajují druhou fázi testů 5G vysílání	https://www.cra.cz/files/clanky_upld/230503_cra_test_5g_vysilani_finanal.pdf
Use of the 600 MHz band: What lies ahead for our television?	https://www.grantthornton.cz/en/news/use-of-the-600-mhz-band-what-lies-ahead-for-our-television/

Manažerské shrnutí

Tato studie se zaměřuje na analýzu technologie FeMBMS (Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service) v současných 5G sítích, a jejího potenciálního využití v České republice. FeMBMS nabízí možnost efektivnějšího přenosu audiovizuálních dat a hromadných sdělení s vysokou účinností, a to jak pro komerční použití, tak pro veřejné služby, včetně krizové komunikace. Studie hodnotí současný stav implementace technologie, analyzuje její kompatibilitu s existujícími systémy a zkoumá možné budoucí aplikace.

Závěr ke kapitole 1:

- FeMBMS přináší revoluční model pro širokopásmové vysílání v rámci 5G, který zvyšuje stabilitu a efektivitu při distribuci multimediálního obsahu i krizových sdělení.
- Přístup „one-to-many“ zajišťuje, že technologie je připravena zvládat masové přenosy při událostech s vysokou koncentrací lidí nebo při krizových stavech, šetří šířku pásma oproti unicastu.
- Díky podpoře vysokovýkonných vysílačů a širokého dosahu pomáhá FeMBMS rozšiřovat přístup k multimediálním službám do odlehklých regionů, přispívá k zajištění dostupnosti informací a bezpečnosti.

Závěr ke kapitole 2:

- Multimediální broadcast prostřednictvím 5G poskytuje efektivní řešení pro distribuci digitálního obsahu v různých odvětvích, od zábavy po zdravotní péči a vzdělávání.
- FeMBMS zajišťuje vysoce kvalitní přenos a nízkou latenci, což vede k plynulému a stabilnímu uživatelskému zážitku při velkém počtu připojených zařízení.
- Narrowcasting v rámci této technologie napomáhá cílení obsahu na vybrané uživatelské skupiny, například v krizové komunikaci či marketingu, kde je potřeba zasáhnout konkrétní publikum.
- 5G broadcast zaručuje spolehlivou distribuci nouzových zpráv pro širokou veřejnost i v případech přetížení běžných sítí.

Závěr ke kapitole 3:

- FeMBMS rozšiřuje možnosti šíření multimediálního obsahu prostřednictvím 5G sítí a přináší efektivnější využití frekvenčního spektra, kvalitnější přenos a větší geografické pokrytí.
- Spojení multicastového a broadcastového přístupu napomáhá optimalizaci šířky pásma, zatímco režimy HPHT a LPLT přizpůsobují dosah podle hustoty osídlení, ať už ve městech nebo vzdálených oblastech.
- Oddělená architektura transportních a servisních funkcí zlepšuje flexibilitu a přizpůsobitelnost pro digitální terestrické vysílání, které zjednodušuje zavedení technologie do existující infrastruktury.
- Nasazení FeMBMS v ČR vyžaduje řešení otázek spojených se správou frekvencí, technickými aspekty jednofrekvenčních sítí a potřebou investic do modernizace stávajících vysílacích zařízení.

Závěr ke kapitole 4:

- A Směrnice AVMSD, aktualizovaná s ohledem na digitální média, se zaměřuje na ochranu spotřebitelů, podporu evropské tvorby a regulaci reklamy a nežádoucího obsahu.
- Technické normy ETSI podporují interoperabilitu zařízení v rámci 5G Broadcast, zatímco 3GPP definuje specifikace pro FeMBMS, co umožňuje bezpečný a efektivní přenos.

- Právní rámec v ČR zahrnuje zákony o elektronických komunikacích a vysílání, které se přizpůsobují požadavkům na moderní technologie, včetně správy spektra a ochrany spotřebitelů.
- Implementace FeMBMS a 5G Broadcast v ČR čelí technickým a legislativním výzvám, které je třeba překonat pro plné využití potenciálu nových funkcí a zajištění bezpečnosti a efektivity spektra.

Závěr ke kapitole 5:

- Strategie nasazení FeMBMS se mezi zeměmi liší, Itálie se soustředí na venkovské pokrytí, zatímco Francie provádí testy pro velké akce.
- Mezinárodní pilotní projekty FeMBMS ukazují technické a regulační výzvy, optimalizaci přenosu dat a reakce uživatelů na nové služby.
- Německo klade důraz na multimediální služby ve vozidlech a na spolupráci s automobilovým průmyslem, čímž ovlivňuje vývoj nových modelů vysílání.
- Mezinárodní zkušenosti nabízejí inspiraci pro přizpůsobení strategií nasazení FeMBMS v ČR, kde mezi zásadní témata patří finanční udržitelnost, ochrana obsahu, efektivní využití spektra a spolupráce s dalšími odvětvími.

Závěr ke kapitole 6:

- FeMBMS podporuje samostatný (SA) i nesamostatný (NSA) režim 5G sítí, přičemž NSA usnadňuje přechod na 5G s využitím LTE, zatímco SA přináší plnou autonomii, vyšší kapacitu a nízkou latenci.
- Integrace s DVB-T2 přidává hodnotu tím, že přináší televizní obsah na mobilní zařízení, čímž odpovídá na současné požadavky na flexibilitu multimediálních služeb.
- Kombinace SFN a HPHT architektury zajišťuje rozsáhlé pokrytí a eliminuje rušení, zlepšuje stabilitu signálu i v komplikovaných podmínkách.
- FeMBMS je přizpůsobena širokému spektru zařízení, od telefonů po infotainment systémy, podporuje sledování obsahu na cestách a rozšiřuje možnosti konzumace multimédií.

Závěr ke kapitole 7:

- FeMBMS využívá pokročilé kompresní technologie, jako jsou H.265 (HEVC) a AV1, a dosahuje vysoké kvality obrazu při nízké spotřebě šířky pásma.
- Adaptivní streamování prostřednictvím MPEG-DASH přizpůsobuje kvalitu přenosu síťovým podmínkám a zaručuje plynulý a stabilní obraz i při vyšší zátěži sítě.
- Jednofrekvenční sítě (SFN) snižují interferenci a zajišťují stabilní přenos, čímž zvyšují dostupnost a kvalitu signálu v oblastech s vysokou koncentrací uživatelů nebo složitým terénem.
- FeMBMS optimalizuje využití spektra a tím zajišťuje stabilní distribuci multimediálního obsahu i při vysokém zatížení.

Závěr ke kapitole 8:

- FeMBMS obsahuje komplexní bezpečnostní opatření pro ochranu multimediálního obsahu a prevenci neoprávněného přístupu, minimalizuje riziko finančních ztrát a právních problémů.
- Autentizace uživatelů a zařízení je podpořena PKI infrastrukturou pro správu šifrovacích klíčů a certifikátů, stejně jako autentizačními protokoly, jako jsou EAP a AAA.
- Ochrana proti DoS útokům a rušení zahrnuje detekční systémy, šifrování signálu, omezení přístupové rychlosti a rozproštění spektra.

- Moderní šifrovací algoritmy, jako AES a RSA, vytvářejí bezpečné prostředí pro přenos, zatímco DRM a CAS systémy spravují přístupová práva a omezují neoprávněné šíření obsahu.

Závěr ke kapitole 9:

- FeMBMS umožňuje automatické přepínání mezi multicastem a unicastem a zachovává kontinuitu služeb i při výpadcích infrastruktury.
- Volba strategie zálohování – plné, inkrementální či diferenciální – se přizpůsobuje specifickým potřebám na obnovu a úložnou kapacitu.
- Automatizace zálohování a geografická replikace dat minimalizují riziko výpadků a posilují celkovou odolnost systému.
- Technologie OFDM a SFN zajišťují efektivitu spektra a posilují spolehlivost přenosu, přispívají k robustnímu digitálnímu vysílání odolnému proti rušení a fyzickým útokům.

Závěr ke kapitole 10:

- Implementace FeMBMS vyžaduje investice do modernizace hardwaru, infrastruktury a spektrálních licencí. Náklady lze snížit využitím stávajících prvků infrastruktury, zejména v odlehlých oblastech.
- Náklady na spektrální licence, které jsou zásadní pro provoz, se mohou lišit podle regionálních a regulačních podmínek.
- Provozní náklady zahrnují spotřebu energie, údržbu a poplatky za spektrum. Úspory mohou přinést energeticky efektivní technologie a automatizace údržby.
- FeMBMS rozšiřuje možnosti příjmů díky novým obchodním příležitostem, jako je cílená reklama a interaktivní vysílání, což přináší další monetizační strategie.

Závěr ke kapitole 11:

- Spektrální pásmo 600 MHz nabízí efektivní pokrytí rozsáhlých oblastí s minimálním počtem vysílačů a zajišťuje stabilní příjem i v městských prostředích.
- FeMBMS podporuje efektivní distribuci obsahu prostřednictvím multicastového vysílání a dynamického řízení šířky pásma a zvyšuje flexibilitu sítě podle aktuálních potřeb.
- Jednofrekvenční sítě (SFN) zlepšují pokrytí a snižují náklady na infrastrukturu tím, že využívají vysílání stejného signálu z více vysílačů na jedné frekvenci.
- FeMBMS obsahuje technologie řízení přenosu, které minimalizují interferenci, a tím udržují kvalitu přenosu i při vysokém zatížení sítě.

Management summary

This study focuses on analyzing the FeMBMS (Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service) technology in current 5G networks and its potential applications in the Czech Republic. FeMBMS enables efficient transmission of audiovisual data and mass communications, catering to both commercial use and public services, including emergency communications. The study evaluates the current implementation status, compatibility with existing systems, and potential future applications of the technology.

Summary of Chapter 1:

- FeMBMS introduces a groundbreaking model for broadband broadcasting within 5G, enhancing stability and efficiency in distributing multimedia content and emergency notifications.
- Its "one-to-many" approach ensures robust performance during events with high population density or in crisis scenarios, optimizing bandwidth usage compared to unicast.
- High-power transmitters and wide coverage expand access to multimedia services in remote areas, improving information availability and safety.

Summary of Chapter 2:

- 5G multimedia broadcasting offers an effective solution for distributing digital content across industries, from entertainment to healthcare and education.
- FeMBMS ensures high-quality transmissions with low latency, providing a seamless experience for large numbers of connected devices.
- Narrowcasting capabilities allow for targeted communication, essential in emergency response or marketing to specific audiences.
- 5G broadcast delivers reliable emergency alerts to the public, even during network congestion.

Summary of Chapter 3:

- FeMBMS enhances multimedia distribution through 5G, maximizing spectrum efficiency, improving quality, and extending geographic reach.
- Combining multicast and broadcast approaches optimizes bandwidth usage, while high-power-high-tower (HPHT) and low-power-low-tower (LPLT) modes adapt coverage to urban and rural needs.
- A modular architecture for transport and service functions ensures flexibility and easier integration into existing infrastructures.
- Deployment in the Czech Republic requires addressing frequency management, single-frequency network (SFN) technicalities, and investment in infrastructure upgrades.

Summary of Chapter 4:

- The AVMSD directive, updated for digital media, focuses on consumer protection, promoting European content, and regulating advertising and harmful material.
- ETSI standards ensure device interoperability for 5G Broadcast, while 3GPP specifications support secure and efficient FeMBMS transmissions.
- Czech legal frameworks, including electronic communications and broadcasting laws, align with modern technology requirements, emphasizing spectrum management and consumer protection.
- Implementing FeMBMS and 5G Broadcast faces technical and regulatory challenges that must be resolved to unlock their full potential.

Summary of Chapter 5:

- Deployment strategies vary internationally, with Italy focusing on rural coverage and France testing large-scale event applications.
- Pilot projects demonstrate challenges in data transmission, user acceptance, and regulatory adjustments.
- Germany prioritizes multimedia services for vehicles, collaborating with the automotive industry to shape new broadcasting models.
- Lessons from global experiences highlight the need for sustainable financing, content protection, efficient spectrum usage, and cross-industry collaboration in the Czech Republic.

Summary of Chapter 6:

- FeMBMS supports both standalone (SA) and non-standalone (NSA) 5G modes, with NSA easing the transition from LTE while SA offers full autonomy, greater capacity, and low latency.
- Integration with DVB-T2 enhances value by bringing TV content to mobile devices, meeting modern demands for multimedia flexibility.
- SFN and HPHT architectures ensure extensive coverage, reduced interference, and reliable signal delivery in challenging conditions.
- The technology supports a range of devices, from smartphones to in-vehicle systems, enabling on-the-go multimedia consumption.

Summary of Chapter 7:

- Advanced compression technologies like H.265 (HEVC) and AV1 deliver high-quality visuals while minimizing bandwidth usage.
- Adaptive streaming through MPEG-DASH adjusts to network conditions, ensuring smooth playback even under high traffic.
- SFN reduces interference and ensures stable transmissions, enhancing signal availability in densely populated or challenging terrains.
- FeMBMS optimizes spectrum usage, supporting consistent multimedia distribution under heavy load.

Summary of Chapter 8:

- Comprehensive security measures protect multimedia content, preventing unauthorized access and minimizing financial and legal risks.
- PKI-based authentication secures users and devices, complemented by protocols like EAP and AAA for robust access management.
- Defense against DoS attacks and interference includes encryption, traffic rate limiting, and spectrum spreading.
- Modern algorithms like AES and RSA secure transmissions, while DRM and CAS systems manage access rights and restrict unauthorized content sharing.

Summary of Chapter 9:

- FeMBMS supports seamless switching between multicast and unicast, maintaining service continuity during infrastructure outages.
- Tailored backup strategies—full, incremental, or differential—address specific recovery needs and storage constraints.
- Automated backups and geographic data replication reduce downtime risks and enhance system resilience.
- OFDM and SFN technologies improve spectrum efficiency and ensure robust digital broadcasting, resistant to interference or physical disruption.

Summary of Chapter 10:

- Deploying FeMBMS requires investments in hardware, infrastructure, and spectrum licenses, with costs mitigated by leveraging existing infrastructure, particularly in remote areas.
- Spectrum license costs depend on regional and regulatory conditions.
- Operational costs include energy consumption, maintenance, and spectrum fees, which can be reduced with energy-efficient technologies and automated maintenance.
- FeMBMS opens new revenue streams through targeted advertising and interactive broadcasting, offering innovative monetization opportunities.

Summary of Chapter 11:

- The 600 MHz band enables cost-effective coverage of large areas with minimal transmitters, ensuring stable reception even in urban settings.
- FeMBMS supports efficient multicast broadcasting, dynamically adapting bandwidth allocation to network demands.
- SFN enhances coverage and reduces infrastructure costs by broadcasting the same signal from multiple transmitters on a single frequency.
- Advanced transmission management minimizes interference, maintaining quality even under high network loads.

1 Úvod

Technologie 5G představuje revoluci v oblasti mobilních sítí, přičemž jedním z jejích hlavních přínosů je možnost efektivního přenosu multimediálních a hromadných zpráv. Inovací v této oblasti je technologie **Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service (FeMBMS)**, která umožňuje poskytování vysoce kvalitních televizních a audiovizuálních služeb v sítích 5G. FeMBMS navazuje na předchozí technologie, jako je eMBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service) ve standardu LTE, a přináší významná vylepšení pro poskytování služeb velkým množstvím uživatelů současně.

1.1 Cíl studie

Tato studie se věnuje detailní analýze technologie FeMBMS a jejímu významu pro současné 5G sítě s potenciální aplikací v České republice. FeMBMS rozšiřuje možnosti tradičního standardu eMBMS a přináší zásadní zlepšení pro přenos multimediálního obsahu, zejména prostřednictvím jednofrekvenčních sítí a režimů optimalizovaných pro vysoký výkon. Vzhledem k rostoucím požadavkům na šířku pásma, spolehlivost přenosu a minimální latenci nabízí tato technologie nové možnosti nejen pro komerční sféru, ale také pro veřejné služby, včetně krizové komunikace.

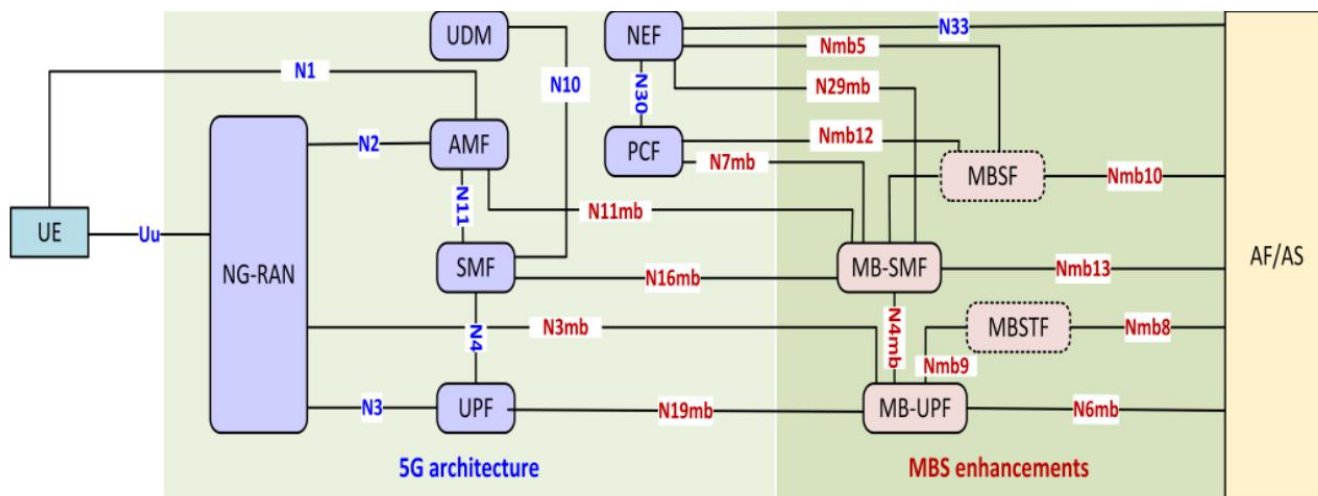
Před nasazením FeMBMS v České republice je ovšem nutné překonat výzvy, především v oblasti správy spektra, kompatibility s existujícími systémy a financování infrastruktury. Právní rámec, včetně evropských regulací a národní legislativy, má vliv na to, jakým způsobem bude možné technologii implementovat a využít jejích výhod, jako je rozšíření multimediálních služeb, cílené vysílání či mobilní televize. Studie rovněž zahrnuje přehled zahraničních projektů a zkušeností, které mohou nabídnout inspiraci pro řešení praktických i technických aspektů zavádění FeMBMS v místním prostředí.

Dynamický rozvoj digitálního vysílání a rostoucí technologické požadavky zvyrazňují potenciál FeMBMS jako platformy schopné přenášet multimediální obsah efektivněji, s menšími nároky na šířku pásma a vyšší odolností vůči výpadkům v síti. Studie proto nejenže hodnotí současný stav implementace FeMBMS, ale také se zaměřuje na její možný budoucí přínos, zejména při kombinaci s tradičními systémy, jako je DVB-T2. Tím se otevírají nové perspektivy pro rozvoj multimediálních služeb, které zajistí vyšší kvalitu přenosu, rozšířené pokrytí a flexibilnější modely šíření obsahu.

1.2 Definice základních pojmů

1.2.1 Broadcast

Broadcast, známý také jako hromadné vysílání, je metoda přenosu dat, při které se obsah šíří jednosměrně z jednoho zdroje k velkému počtu příjemců najednou. Tento způsob distribuce informací je tradičně využíván v televizním a rozhlasovém vysílání či datových zpráv a je efektivní pro oslovení velkého množství uživatelů s minimálními nároky na síťovou infrastrukturu a šířku pásma.



Obrázek 1: Architektura 5G vysílání

Zdroj: <https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/16888/16758>

Obrázek znázorňuje architekturu 5G Broadcast systému, který umožňuje efektivní distribuci multicastového a broadcastového obsahu k velkému počtu uživatelů. Tento proces zahrnuje několik aktérů:

- **Koncový uživatel (UE – User Equipment):** To jsou koncová zařízení, jako jsou chytré telefony nebo tablety, která přijímají obsah.
- **Operátor (podnikatel v elektronických komunikacích):** Mobilní operátor hraje podstatnou roli v šíření signálu. Zajišťuje rádiovou přístupovou síť (NG-RAN) a spravuje 5G jádro, které zprostředkovává komunikaci mezi koncovými zařízeními a obsahem. Operátor je zodpovědný za správu sítě, přidělení zdrojů a přenos dat, včetně broadcastového obsahu.
- **Poskytovatel obsahu (Content Provider):** Tento subjekt je odpovědný za tvorbu nebo získávání multimediálního obsahu, který je následně distribuován prostřednictvím multicastu nebo broadcastu. Komunikuje s architekturou sítě prostřednictvím serverů a aplikačních funkcí (AF/AS).

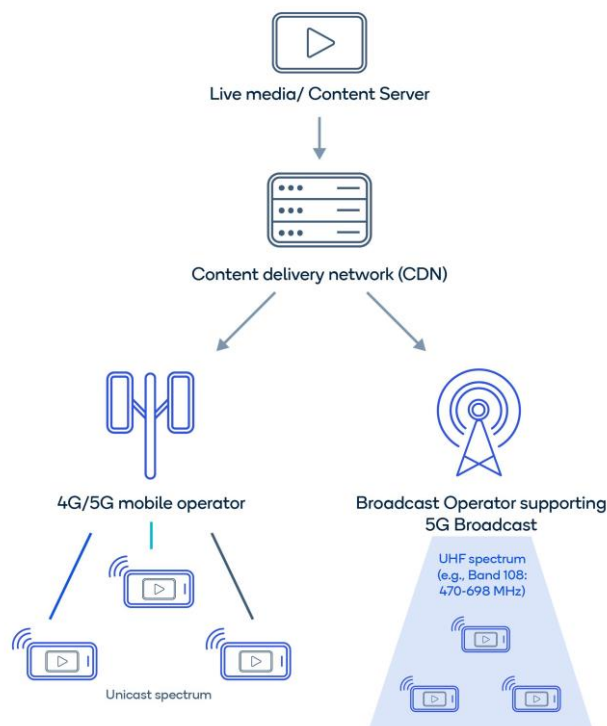
Multicast/Broadcast server a další síťové funkce:

- **MBSF (Multicast Broadcast Service Function)** řídí a organizuje distribuci obsahu prostřednictvím multicastu/broadcastu.
- **MB-SMF a MB-UPF** zajišťují řízení a přenos multicastových sessions přes síť.
- **Rozhraní jako N3mb, N11mb** spojují jednotlivé síťové komponenty, aby zajišťovaly správné fungování a přenos dat.

Hlavní rozdíl mezi unicastem a broadcastem (někdy se o něm hovoří z pohledu vysílání jako o multicastu) spočívá v tom, že unicast přenáší data ke každému uživateli individuálně. To znamená, že pokud tisíce uživatelů sledují stejný obsah, například živý přenos, každý dostává svůj vlastní datový proud. Tento model klade vysoké nároky na šířku pásma, protože pro každé spojení je potřeba vlastní kanál. V situacích s vysokou sledovaností může unicast vést k přetížení sítě, což má za následek zhoršení kvality služeb, jako jsou zpoždění přenosu, snížení kvality obrazu nebo výpadky.

Broadcast (někdy i multicast) funguje na principu "one-to-many", kdy jeden nebo více vysílačů šíří stejný obsah mnoha uživatelům současně. V tomto jednosměrném přenosu přijímají všichni uživatelé v pokrytí stejný datový proud bez nutnosti vytvářet samostatná spojení pro každého zvlášť. Díky tomu je broadcast efektivnější z hlediska šířky pásma a lépe škáluje přenosy při hromadných událostech. Zatímco unicastové sítě mohou při velkém zatížení selhat, broadcast poskytuje stabilní přenos, neboť kapacita sítě není závislá na počtu připojených uživatelů.

Praktické důsledky tohoto rozdílu jsou zřetelné při přenosech masově sledovaných událostí, jako jsou sportovní zápasy nebo živé koncerty. Pokud by operátor používal unicast, musel by spravovat tisíce nebo miliony spojení současně, a to by výrazně zatížilo jeho síť a pravděpodobně by vedlo ke zhoršení kvality přenosu. Broadcast ale šíří jeden datový proud, který mohou přijímat všichni diváci současně bez nutnosti navyšovat kapacitu sítě.



Obrázek 2: Hybridní distribuce obsahu přes 5G Broadcast a unicast sítě

Zdroj: <https://www.qualcomm.com/news/onq/2023/12/5g-broadcast-what-can-consumers-expect>

Příklad efektivního využití kombinace unicastu a 5G broadcastu lze vidět na následujícím schématu. Obsah je nejprve uložen na serveru, který slouží jako zdroj živého vysílání nebo mediálních souborů. Tento obsah je následně distribuován přes Content Delivery Network (CDN), která optimalizuje doručování dat k operátorům.

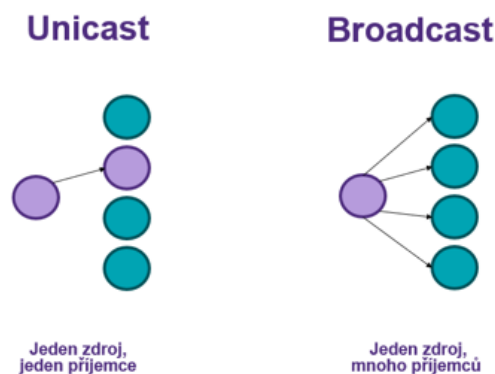
Na jedné straně je zde 4G/5G mobilní operátor, který využívá unicastové spojení, kdy je každému uživateli zaslán individuální datový proud. To může v případě masového sledování vést k přetížení sítě a ke snížení kvality přenosu, protože operátor musí spravovat tisíce nebo dokonce miliony spojení současně.

Na druhé straně stojí operátor podporující 5G broadcast, který vysílá obsah prostřednictvím UHF spektra (například pásmo 470–698 MHz). Tento systém umožňuje šíření jednoho datového proudu, který mohou současně přijímat všichni uživatelé bez nutnosti zvyšování kapacity sítě. Tím dochází k výraznému snížení zátěže na síti a zajištění stabilního přenosu i při vysokém počtu diváků.

Kombinace těchto dvou technologií umožňuje operátorům dynamicky přepínat mezi unicastem a broadcastem podle aktuálních podmínek sítě.

V mobilních sítích, kde je unicast hlavní metodou přenosu, přináší broadcast výraznou úsporu kapacity tím, že eliminuje potřebu vytvářet samostatné přenosové toky pro každého uživatele. Broadcast přenáší stejný datový tok k mnoha uživatelům najednou z jednoho nebo více vysílačů, přičemž všechny přijímače v pokrytí vysílače dostávají stejný obsah. Na rozdíl od unicastu, kde každý uživatel navazuje individuální spojení se serverem, broadcast nabízí značné výhody v oblasti úspory šířky pásma a snížení zatížení sítě.

Broadcast také hraje zásadní roli při šíření krizových informací a nouzových varování, kde je potřeba rychle oslovit velké množství lidí bez zpětné komunikace s každým jednotlivcem. Tento jednosměrný přenos umožňuje efektivní a spolehlivé doručení důležitých zpráv, zejména v situacích, kdy je síť vystavena vysokému zatížení nebo nouzovým stavům.



Obrázek 3: Porovnání unicast a broadcast komunikace

Obrázek znázorňuje základní rozdíl mezi dvěma způsoby přenosu dat: unicast a broadcast. V případě unicast komunikace je data odesílána z jednoho zdroje pouze jednomu příjemci. Naopak při broadcast komunikaci je jeden zdroj schopen posílat stejný signál více příjemcům současně.

Broadcastový signál v mobilních sítích se šíří jednosměrně, tedy z jednoho centrálního vysílače (nebo více vysílačů) k mnoha příjemcům současně. Tento typ šíření se označuje jako "one-to-many". Signál může být vysílán z velkých, vysoce výkonných věží, které pokrývají rozsáhlé geografické oblasti, nebo z menších buněčných vysílačů ve městských oblastech s vysokou hustotou populace. Technologie High-Power High-Tower (HPHT) je jedním z prvků, díky kterým lze dosáhnout širokého pokrytí signálu při nižší frekvenci vysílání. Tím je dosaženo spolehlivého přenosu dat i ve venkovských a odlehlých oblastech.

1.2.1.1 Technologie podporující broadcast

V mobilních sítích je broadcast podporován několika technologiemi, které je nutné implementovat do sítě a které se v průběhu let vyvinuly v reakci na rostoucí poptávku po efektivním šíření multimediálního obsahu. V této kapitole jsou popsány hlavní technologie, které podporují broadcast v mobilních sítích, jako jsou eMBMS a FeMBMS. Tyto technologie jsou navrženy především pro mobilní síť, kde umožňují efektivní šíření obsahu k velkému počtu uživatelů současně. Kromě toho se využívají i varianty DVB (Digital Video Broadcasting), které se běžně používají v kombinaci s mobilními sítěmi pro poskytování multimediálního obsahu a rozšíření pokrytí. Níže jsou podrobně popsány jednotlivé služby a jejich využití v mobilních a fixních sítích.

eMBMS (Evolved Multimedia Broadcast Multicast Service)

Jednou z prvních služeb, která byla zavedena v mobilních sítích 4. generace (LTE), je služba eMBMS (Evolved Multimedia Broadcast Multicast Service). Tato technologie umožnila šíření multimediálního obsahu (například televizních programů) k velkému počtu uživatelů současně bez nutnosti vytvářet paralelní samostatné spojení pro každého uživatele individuálně. eMBMS se osvědčilo při živých událostech a krizové komunikaci, kde je důležité rychlé a efektivní šíření informací bez rizika přetížení sítě.

FeMBMS (Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service)

S příchodem sítě 5. generace (5G) byla vyvinuta služba FeMBMS, která staví na základech eMBMS a přináší významná vylepšení, zejména v oblasti šířky pásma, kvality přenosu a pokrytí. FeMBMS přenáší obsah ve vysokém rozlišení, s nízkou latencí a na velkých geografických územích.

FeMBMS dosahuje vyšší efektivity využití spektra a podporuje vyšší výkon vysílačů a vede k poskytování multimediálních služeb i v oblastech s nízkou hustotou obyvatelstva nebo ve venkovských lokalitách, kde by tradiční mobilní síť mohly mít omezené pokrytí.

Tabulka 1: Tabulka rozdílů mezi technologiemi eMBMS a FeMBMS

Funkce	eMBMS (Enhanced MBMS)	FeMBMS (Further evolved MBMS)
Standard	3GPP Release 9-14	3GPP Release 14 a vyšší
Spektrum	Omezeno na mobilní síť (<6 GHz)	Podporuje více mobilních pásem i TV pásma (až do 700 MHz)

Pokrytí	Menší pokrytí, závislé na mobilních buňkách	Rozšířené pokrytí, může používat širší pásmo
Využití sítě	Sdílí spektrum s unicast službami	Vyhrazené spektrum pro broadcast/multicast
Požadavek na zpětnou vazbu	Zpětná vazba od zařízení je požadována	Zpětná vazba není nutná
Vysílače	Většinou používá nízko výkonné mobilní vysílače	Může využívat vysoko výkonné TV vysílače (HPHT)
Podpora pro SFN (Single Frequency Network)	Podporováno, ale s omezenou flexibilitou	Vylepšená podpora pro širokopásmové SFN
Dosah signálu	Větší závislost na blízkosti k mobilní základně	Schopnost dosáhnout vzdálenějších oblastí
Dynamické přepínání mezi unicast/multicast	Omezená schopnost	Vylepšená možnost dynamického přepínání
Cílové aplikace	Mobilní video, multicast streaming	Mobilní video, TV vysílání, veřejné bezpečnostní služby
Kapacita pro masové události	Limitovaná kapacita při velkém počtu uživatelů	Navrženo pro vyšší kapacitu při masových událostech

Tato tabulka porovnává rozdíly mezi technologiemi eMBMS (enhanced Multimedia Broadcast Multicast Service) a FeMBMS (Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service), které jsou využívány pro multicast a broadcast v mobilních sítích. Zatímco eMBMS je starší technologii, FeMBMS přináší vylepšení v oblastech pokrytí, spektrální flexibility, využití vysokovýkonných vysílačů a podpory pro širokopásmové sítě. FeMBMS umožňuje efektivnější přenosy médií, včetně veřejných vysílání, a je připraveno pro masové události s vysokou koncentrací uživatelů.

Kromě eMBMS a FeMBMS jsou dalšími podpůrnými technologiemi pro broadcast různé varianty DVB (Digital Video Broadcasting), které se používají v kombinaci s mobilními sítěmi pro poskytování multimediálního obsahu. Vysílání přes DVB je často integrované s mobilními službami, rozšiřuje pokrytí a zvyšuje kvalitu přenosu pro uživatele.

1.2.1.2 Výhody broadcastu

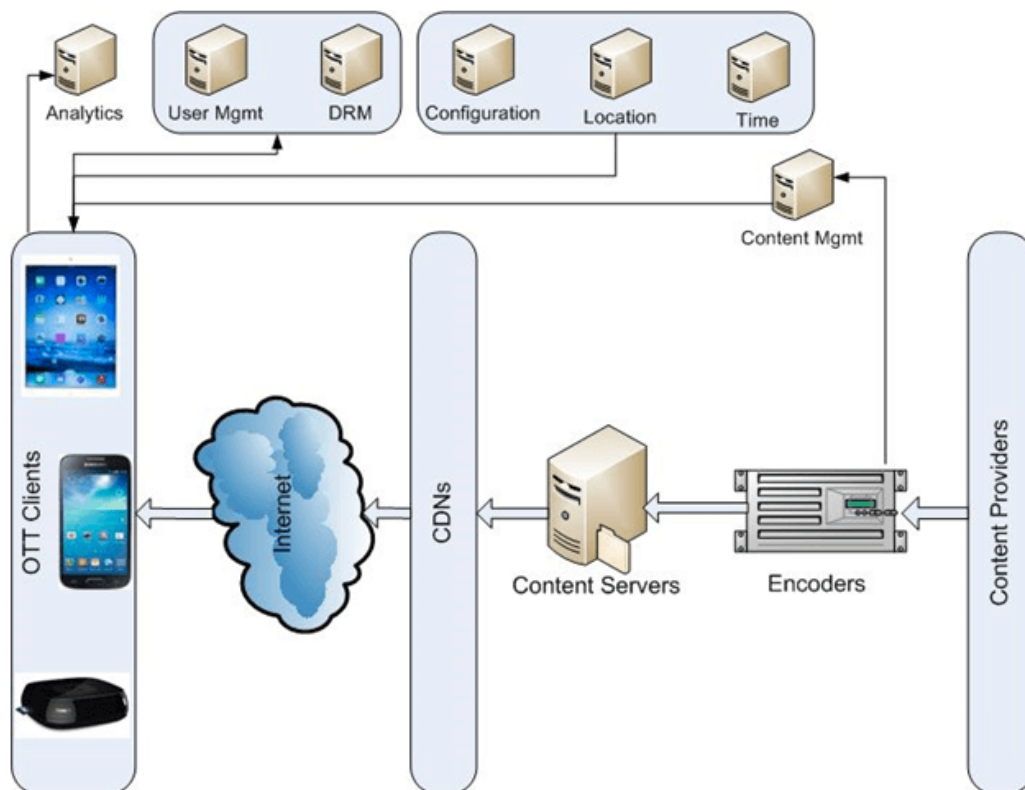
Broadcast poskytuje operátorům možnost šířit multimediální obsah a to i v případech, kdy by unicastové přenosy selhaly kvůli vysokým nárokům na kapacitu. FeMBMS jako technologie nové generace přináší zlepšení pokrytí a kvality přenosu.

Broadcast také operátorům snižuje náklady díky nižším požadavkům na šířku pásma a infrastrukturu. Je vhodný pro scénáře, kde je potřeba oslovit velký počet uživatelů najednou, ať už jde o zábavní obsah, zpravodajství nebo kritickou komunikaci během krizových situací.

1.2.1.3 OTT (Over-the-Top)

Existují různé technologie a služby umožňující přenos multimediálního obsahu v digitálních sítích, které nabízejí jak unicastové, tak broadcastové možnosti. OTT (Over-the-Top) je jednou z technologií, která umožňuje doručování obsahu přes internet bez potřeby tradiční televizní či satelitní infrastruktury.

Využívá **principu unicastového přenosu**, co znamená, že každý uživatel dostává svůj vlastní datový tok, a obsah je tak doručován individuálně podle požadavků uživatele. OTT se stává stále více populární díky schopnosti poskytovat flexibilní, personalizované služby, které jsou dostupné kdykoliv a odkudkoliv, kde je připojení k internetu.



Obrázek 4: Architektura OTT Ekosystému

Zdroj: <https://www.hsc.com/resources/blog/commercial-grade-ott-client-development-an-analysis/>

Diagram znázorňuje hlavní komponenty OTT ekosystému a jejich vzájemné propojení, zahrnující různé moduly a technologie pro efektivní doručení multimediálního obsahu přes internet. Mezi hlavní komponenty patří:

- **OTT klienti:** Zařízení jako mobilní telefony, chytré televize nebo set-top boxy, která přijímají obsah přes internet. Jejich úkolem je správné přehrávání multimediálního obsahu s využitím adaptivních technik streamování.
- **Content Delivery Networks (CDNs):** Síť pro doručování obsahu optimalizují distribuci multimediálního obsahu cachováním a přenosem z geograficky nejbližších serverů, což zvyšuje kvalitu přehrávání a snižuje latenci.
- **Content Servers (servery obsahu):** Servery ukládají obsah a streamují ho k uživatelům. Obsah je přenášen od poskytovatelů obsahu a následně enkódován pro potřeby OTT klientů.
- **Encoders (enkodéry):** Enkodéry převádějí multimediální obsah do formátů vhodných pro efektivní přehrávání na OTT klientech. Vyvažují přitom čas enkódování a kvalitu streamu, zejména při živém vysílání.
- **Content Management (správa obsahu):** Tato vrstva spravuje informace o programovém plánu a dostupném obsahu pro uživatele OTT klientů, včetně dat o živých vysíláních a přístupových právech.
- **User Management (správa uživatelů):** Modul zajišťuje autorizaci uživatelů na základě jejich předplatného a poskytuje přístup pouze k autorizovanému obsahu.
- **DRM (Digital Rights Management):** Tento prvek chrání obsah pomocí šifrování a dešifrování, aby nedošlo k neoprávněnému přístupu k multimediálním streamům.
- **Analytics:** Analyzuje data z OTT klientů pro sledování kvality služeb, uživatelských preferencí a výkonu systému. Tato data slouží k dalšímu zlepšování uživatelské zkušenosti a obchodních strategií.
- **Configuration/Location/Time Management (konfigurace, lokace a čas):** Poskytuje data pro nastavení OTT klientů, jako jsou regionální omezení, synchronizace času a přizpůsobení obsahu podle geografické polohy uživatele.

Schéma komplexně ukazuje, jak OTT platformy propojují poskytovatele obsahu s uživateli prostřednictvím internetových a distribučních sítí, s důrazem na vysokou kvalitu a bezpečnost doručení obsahu.

Hlavní rysy OTT:

- **Unicastový přenos:** OTT služby fungují na unicastovém principu, kde každý uživatel obdrží vlastní datový tok, který je určen výhradně pro něj. Na rozdíl od broadcastového přenosu, kde je stejný signál odeslán všem uživatelům najednou

(one-to-many), v unicastu dochází k přenosu obsahu na principu one-to-one, tedy od jednoho serveru k jednotlivému uživateli.

- **Přístup na vyžádání (on-demand):** OTT služby nabízejí uživatelům možnost sledovat obsah kdykoli, čímž se zásadně liší od tradičních broadcastových služeb. Uživatelé nejsou vázáni na pevný vysílací rozvrh a mají volnost vybrat si pořady nebo filmy podle vlastního výběru. Typickými příklady jsou platformy jako Netflix, Hulu nebo Amazon Prime Video, kde je k dispozici rozsáhlá knihovna multimediálního obsahu.
- **Široká dostupnost na různých zařízeních:** OTT služby jsou přístupné na různých zařízeních, jako jsou chytré televize (Smart TVs), mobilní telefony, tablety, notebooky a stolní počítače. Kromě toho existují specializovaná zařízení, jako je Amazon Fire Stick, Apple TV nebo Google Chromecast, která umožňují pohodlné sledování obsahu na velkých obrazovkách. To dává uživatelům neomezenou flexibilitu, protože mohou sledovat obsah kdekoli, kde je k dispozici připojení k internetu.
- **Jednodušší infrastruktura:** OTT služby nevyžadují tradiční vysílací nebo kabelovou infrastrukturu, jako je tomu u satelitního nebo terestrického vysílání. Místo toho jsou tyto služby distribuovány prostřednictvím internetu za pomoci Content Delivery Networks (CDNs). CDN je síť serverů rozmístěných po celém světě, které optimalizují distribuci obsahu na základě geografické polohy uživatele, čímž se minimalizuje zpoždění a zajišťuje vysoká kvalita streamování.
- **Personalizace obsahu:** OTT platformy nabízejí uživatelům možnost personalizace obsahu na základě jejich preferencí. Pomocí pokročilých algoritmů jsou schopny analyzovat předchozí chování uživatelů, jejich hodnocení a interakce s platformou, a na základě toho generují doporučení. Tímto způsobem se zvyšuje pravděpodobnost, že uživatelé objeví obsah, který je pro ně relevantní, a stráví více času na platformě.
- **Interaktivní funkce:** Jednou z hlavních výhod OTT služeb je možnost interaktivní kontroly nad obsahem. Uživatelé mohou přehrávání videa kdykoli pozastavit, přetočit zpět, přehrát znovu, nebo si dokonce obsah stáhnout pro pozdější sledování offline. Tato úroveň kontroly a flexibility je pro uživatele velmi atraktivní a výrazně přispívá k uživatelskému zážitku.
- **Monetizační modely:** OTT platformy využívají různé způsoby financování, včetně:
 - Předplatného (Subscription-based): Uživatelé platí pravidelný měsíční poplatek za přístup k obsahu (např. Netflix, Disney+).
 - Reklamy (Ad-supported): Obsah je dostupný zdarma, ale uživatelé jsou během sledování vystaveni reklamám (např. YouTube, Pluto TV).
 - Modely typu Pay-Per-View (PPV): Uživatelé platí za jednotlivé pořady nebo filmy, které chtějí sledovat (např. Amazon Prime Video). Tento flexibilní přístup k monetizaci umožňuje poskytovatelům přizpůsobit se různým segmentům trhu a preferencím uživatelů.
- **Adaptivní streaming (ABR – Adaptive Bitrate Streaming):** ABR je technologie, která dynamicky mění kvalitu videa podle aktuální rychlosti připojení uživatele. Při nižší rychlosti systém automaticky sníží rozlišení, aby se zabránilo přerušování přenosu. Jakmile se připojení zrychlí, rozlišení se opět zvýší, takže přehrávání probíhá plynule a bez výpadků.
- **Content Delivery Networks (CDNs):** CDN je síť serverů, které distribuují obsah co nejbliže k uživatelům. Tímto způsobem se minimalizuje latence a zvyšuje se kvalita přenosu, nezbytná pro streamování videa ve vysokém rozlišení, jako je HD nebo 4K. OTT platformy využívají CDN pro rychlé a spolehlivé doručení obsahu uživatelům na celém světě.

Technologické aspekty OTT:

- **Protokoly pro přenos dat:** OTT platformy využívají specifické protokoly pro přenos dat, jako jsou:
 - HLS (HTTP Live Streaming): Tento protokol je široce používán pro streamování videa, zejména na zařízeních Apple.
 - MPEG-DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP): Tento protokol přizpůsobuje kvalitu videa podle aktuálních podmínek připojení uživatele.

Výhody OTT oproti tradičním vysílacím službám:

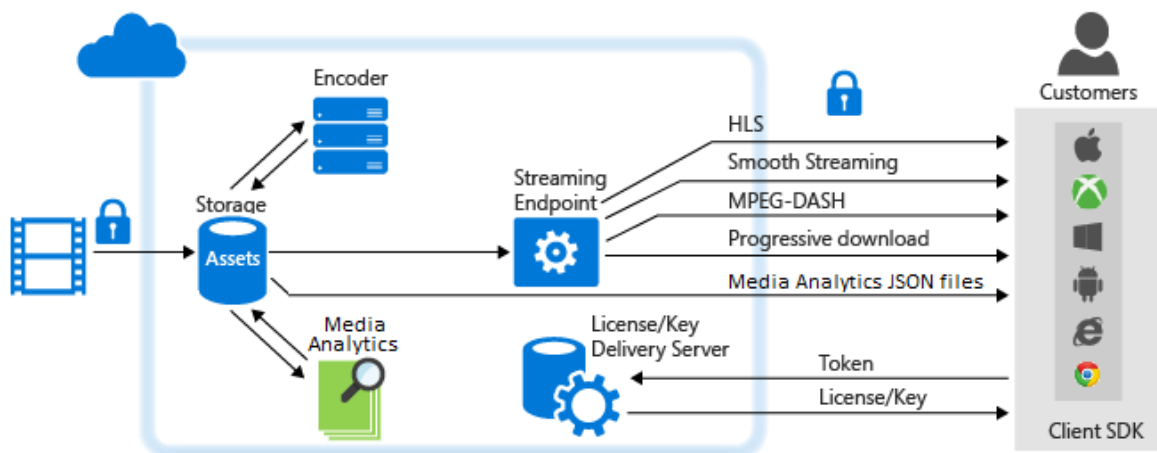
- **Flexibilita a přístupnost:** OTT služby poskytují obsah uživatelům kdykoliv a kdekoliv, což je hlavní výhodou oproti klasickému televiznímu vysílání. Uživatelé nejsou vázáni na časový plán vysílání a mohou si přehrát obsah podle vlastního harmonogramu.
- **Efektivní využití sítě:** I když je OTT technologie unicastová, což znamená vyšší nároky na šířku pásma než u broadcastu, poskytuje uživatelům větší kontrolu nad obsahem a interaktivitou. To je zejména důležité v dnešní době, kdy diváci vyžadují větší personalizaci a okamžitý přístup k obsahu.
- **Vysoká míra personalizace:** Na rozdíl od broadcastových služeb, které nabízejí obsah pro masu, OTT platformy využívají data o chování uživatelů k poskytování personalizovaných doporučení a nabídky.

OTT vs. IPTV:

OTT a IPTV představují dvě hlavní technologie pro doručování televizního a multimediálního obsahu prostřednictvím internetu. Přestože obě technologie využívají internetové protokoly, zásadně se liší v přístupu ke správě a distribuci obsahu. Porovnání těchto dvou přístupů pomáhá pochopit rozdíly v infrastruktuře, řízení kvality služby a uživatelském přístupu. Zatímco IPTV vyžaduje kontrolovanou síť a dedikované poskytovatele služeb, OTT funguje nezávisle na síťové infrastruktuře, což nabízí větší flexibilitu. V následujících sekcích jsou proto tyto dvě technologie porovnány, aby se ukázaly jejich výhody a omezení v moderním přenosu multimediálního obsahu.

Video on Demand (VOD)

Video on Demand (VOD) je služba, která umožňuje uživatelům sledovat multimediální obsah na vyžádání, tedy kdykoli podle jejich potřeb, aniž by museli sledovat obsah podle pevného vysílacího plánu. VOD služby poskytují flexibilní přístup k filmům, televizním pořadům, dokumentům nebo dalším multimediálním materiálům, které jsou uloženy na serverech a jsou přístupné přes internet.



Obrázek 5: Proces poskytování služby Video on Demand

Zdroj: <https://videospace.co/faq-video-ondemand>

Tento diagram znázorňuje proces poskytování služby Video on Demand (VOD). Videá jsou nejprve uložena v úložišti (Assets) a následně kódována prostřednictvím Encoderu do kompatibilních formátů pro různá zařízení. Poté jsou distribuována přes Streaming Endpoint pomocí technologií jako HLS, MPEG-DASH nebo Progressive Download.

License/Key Delivery Server chrání obsah pomocí DRM a doručuje dešifrovací klíče. Media Analytics monitoruje kvalitu přenosu a poskytuje data o výkonu, zatímco CDN sítě efektivně distribuují obsah po celém světě. Uživatelé přistupují k obsahu na různých zařízeních díky SDK, které podporuje kompatibilitu a přehrávání na různých platformách.

Základní charakteristika VOD

Na rozdíl od tradičního lineárního televizního vysílání, kde je obsah vysílán podle pevného časového rozvrhu, VOD umožňuje uživatelům vybrat si a přehrát jakýkoli dostupný obsah kdykoli chtějí.

Typickými příklady VOD služeb jsou platformy jako Netflix, Amazon Prime Video nebo **Hulu**, kde uživatelé mohou vybírat z obrovské knihovny pořadů a filmů a přehrávat je podle své vůle. Tyto platformy obvykle nabízejí obsah ve formě streamování, což znamená, že není potřeba stahovat celý obsah předem, ale video se přehrává v reálném čase přes internet.

Hlavní rysy VOD:

- **Přístup na vyžádání:** VOD poskytuje uživatelům možnost přístupu k obsahu kdykoli. Tento přístup umožňuje uživatelům sledovat libovolný pořad nebo film podle jejich rozvrhu, bez závislosti na čase vysílání.
- **Personalizace obsahu:** VOD platformy využívají pokročilé algoritmy pro analýzu preferencí uživatelů a jejich sledovacích návyků. Na základě těchto dat jsou uživatelům doporučovány filmy nebo seriály, které odpovídají jejich zájmům.
- **Široká škála zařízení:** Uživatelé mohou k obsahu přistupovat prostřednictvím různých zařízení, jako jsou chytré televize, mobilní telefony, tablety nebo počítače. Tento aspekt činí VOD platformy flexibilní, protože uživatelé mohou sledovat obsah kdykoli a odkudkoli, kde mají přístup k internetu.

- **Interaktivní funkce:** VOD platformy často zahrnují různé interaktivní prvky, jako je pozastavení, přetáčení nebo uložení obsahu pro pozdější sledování offline. Funkce umožňují uživatelům přizpůsobit zážitek ze sledování jejich aktuálním potřebám, představující významnou výhodu oproti lineárnímu vysílání.
- **Monetizace:** VOD platformy obvykle fungují na bázi předplatného (Subscription Video on Demand – SVOD), reklam (Ad-Supported Video on Demand – AVOD) nebo modelu placení za zhlédnutí (Transactional Video on Demand – TVOD). Díky flexibilnímu obchodnímu modelu mohou poskytovatelé obsahu přizpůsobit své služby různým trhům a uživatelům.

Technologické aspekty VOD:

- **CDN (Content Delivery Network):** Sítě pro doručování obsahu (CDN) jsou důležitou technologií v oblasti VOD, protože zajišťují efektivní doručení obsahu uživatelům. Servery CDN jsou umístěny na různých místech po celém světě a poskytují data nejbližšímu uživateli, což zabezpečuje plynulé streamování bez zpoždění.
- **Adaptivní streamování (ABR – Adaptive Bitrate Streaming):** ABR dynamicky přizpůsobuje kvalitu videa podle aktuální šířky pásma uživatele. I při nižší rychlosti internetu tak může uživatel sledovat obsah, přičemž kvalita videa se automaticky přizpůsobuje dostupnému připojení.
- **Podpora různých zařízení:** VOD platformy musí být kompatibilní s různými typy zařízení a operačními systémy, od chytrých televizí a herních konzolí až po mobilní zařízení. To vyžaduje flexibilní uživatelské rozhraní, které je optimalizováno pro různé obrazovky a ovládací prvky.

Rozdíl mezi VOD a OTT

VOD (Video on Demand) je podmnožinou OTT (Over-the-Top), kde VOD označuje konkrétní službu umožňující sledování videa na vyžádání. OTT jako širší pojem zahrnuje veškeré služby, které poskytují obsah prostřednictvím internetu, včetně VOD, živého vysílání, a dalších streamovacích služeb. Zatímco OTT pokrývá celou škálu obsahu doručovaného přes internet, VOD se specificky zaměřuje na videa, která uživatelé mohou sledovat kdykoli podle jejich preferencí.

Výzvy a omezení VOD:

- **Závislost na šířce pásma:** Kvalita VOD služeb přímo závisí na kvalitě a rychlosti internetového připojení. Pokud je připojení pomalé, může docházet k častému ukládání do vyrovnávací paměti (buffering) nebo snížení kvality videa.
- **Licencování obsahu:** VOD platformy často čelí problémům s licencováním obsahu na globálním trhu. Různé země mají různé předpisy ohledně autorských práv a licencování, což může omezit dostupnost určitého obsahu v některých regionech.
- **Přetížení sítě:** S rostoucím počtem uživatelů může docházet k přetížení sítě, zejména během špičkových časů, což může vést k poklesu kvality streamování nebo úplnému výpadku služby.

Video on Demand přináší revoluci ve způsobu, jakým lidé konzumují multimediální obsah. Nabízí uživatelům možnost sledovat své oblíbené pořady a filmy podle jejich vlastního rozvrhu, poskytuje maximální flexibilitu a pohodlí. Kombinace vysoké kvality přenosu, personalizace obsahu a přístupu na různých zařízeních činí z VOD jednu z nejpobulárnějších technologií pro moderní spotřebu médií.

1.2.2 Mobilní technologie/sítě 5G/LTE

5G a LTE představují dvě generace mobilních sítí, které se zásadně liší v technologických možnostech, rychlosti a rozsahu poskytovaných služeb, včetně podpory broadcastu. V rámci těchto technologií došlo k významnému vývoji v oblasti multicastu a broadcastu, tedy hromadné distribuce obsahu, kdy je jeden proud dat sdílen mnoha uživateli najednou.

LTE, často označovaná jako technologie 4. generace (4G), přinesla eMBMS, což byla první implementace multicastu a broadcastu v mobilních sítích. Tato technologie efektivně šířila televizní programy, videa a další multimediální služby k velkému počtu uživatelů současně. Hlavní výhodou eMBMS v LTE sítích byla schopnost poskytovat obsah pro masu bez přetížení sítě, zejména při živých událostech nebo distribuci nouzových zpráv.

5G však v této oblasti přináší ještě výraznější pokrok. Technologie FeMBMS rozšiřuje možnosti broadcastu, zejména v pokrytí, kapacitě a efektivním využití spektra. FeMBMS šíří obsah ve vysoké kvalitě s minimální latencí na širokém geografickém území.

Zatímco LTE sítě již poskytovaly multicast a broadcast prostřednictvím eMBMS, 5G sítě s FeMBMS nabízejí širší možnosti z hlediska kvality a pokrytí, včetně podpory pokročilejších multimediálních služeb a větší flexibility v nasazení broadcastu v městských i venkovských oblastech.

1.2.2.1 LTE (Long Term Evolution)

LTE je technologie 4. generace, která byla zavedena s cílem zlepšit rychlost přenosu dat, efektivitu sítě a kvalitu služeb v mobilních sítích. Jednou z hlavních vlastností LTE je podpora širokopásmových aplikací, jako je streamování videa a přenos dat ve vysokém rozlišení. Technologie LTE zavedla eMBMS, první technologii pro multicast a broadcast v mobilních sítích. Tato technologie poskytovala televizní vysílání a jiný multimediální obsah velkému počtu uživatelů současně, avšak její nasazení bylo limitováno nízkou poptávkou po multimediálním obsahu na mobilních zařízeních v té době.

1.2.2.2 5G (Pátá generace mobilních sítí)

5G je nástupcem LTE a představuje pátou generaci mobilních sítí. Tato technologie přináší zásadní vylepšení v oblastech jako rychlost přenosu dat, snížení latence (odezvy sítě), spolehlivost připojení a kapacita sítě. 5G nabízí mnohem větší šířku pásma a je navržena tak, aby zvládla masivní množství připojených zařízení a podporovala budoucí aplikace, jako je Internet věcí (IoT), autonomní vozidla, průmyslová automatizace a pokročilé multimediální služby.

Jedním z přínosů 5G je podpora MBS (Multicast and Broadcast Services), která byla implementována ve verzích 16 a 17 standardu 3GPP. Na rozdíl od LTE poskytuje 5G pokročilejší možnosti pro multicast a broadcast a zajišťuje efektivnější využití sítě při distribuci multimediálního obsahu velkému počtu uživatelů. Technologie FeMBMS (Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service), která je součástí 5G, přináší výrazná vylepšení oproti starším technologiím, jako je eMBMS, a poskytuje vyšší kvalitu a spolehlivost při šíření obsahu i v hustě osídlených oblastech.

1.2.2.3 Hlavní rozdíly mezi LTE a 5G

Zatímco LTE se zaměřovalo na zvýšení rychlosti a kapacity pro individuální uživatele, 5G nabízí mnohem širší škálu služeb, včetně podpory kritických komunikačních systémů (např. zdravotnictví nebo záchranných složek), rozsáhlých IoT sítí a vysoce kvalitního streamování multimédií v reálném čase. Navíc 5G zlepšuje efektivitu sítě a umožňuje simultánní poskytování broadcastových služeb pro velký počet uživatelů, což vede k nepřerušnému toku dat i v náročných podmínkách, jako jsou velké sportovní události nebo koncerty.

2 Typy Broadcastu

2.1 Multimediální broadcast

Multimediální broadcast patří mezi nejvýznamnější a nejrozšířenější způsoby distribuce obsahu v digitálním světě. Díky rozvoji technologií, jako televize, rádio, internet a mobilní sítě, se multimediální broadcast stal efektivním prostředkem šíření široké škály obsahu, včetně videí, audia, obrázků a dalších multimediálních dat.

V posledních letech poptávka po multimediálním obsahu rychle vzrostla. S nástupem sítí 5G, rozšířením kapacity sítí a vývojem technologií jako FeMBMS se multimediální broadcast stal důležitým nástrojem pro poskytovatele obsahu, operátory a marketingové společnosti. Tento systém nabízí šíření obsahu ve vysokém rozlišení a s nízkou latencí, čímž zajišťuje konzistentní a kvalitní zážitek pro všechny uživatele, bez ohledu na jejich polohu či počet připojených zařízení.

Multimediální broadcast se vyznačuje nejen efektivním využitím šířky pásma, ale také širokou škálou aplikací, které zahrnují nejen zábavu, ale i vzdělávání, marketing, zdravotnictví a další obory. Tradiční média, jako televize a rádio, zůstávají populární, ale digitální a mobilní platformy přinesly nové formy distribuce, jako podcasty, webináře a live streaming, které umožňují interakci a přímou zpětnou vazbu uživatelů.

S technologickými pokroky lze multimediální broadcast využít nejen pro širokou veřejnost, ale i pro úzce zaměřené publikum (narrowcasting). Tento typ vysílání se zaměřuje na konkrétní segmenty trhu nebo uživatelské skupiny a stává se efektivním nástrojem pro komunikaci, vzdělávání a marketing.

Multimediální broadcast zahrnuje několik typů vysílání, které se liší formou i obsahem, ale všechny mají společný cíl – šíření multimediálních dat širokému publiku. V této kapitole se zaměříme na tři hlavní formy broadcastu, které jsou podrobněji popsány níže:

- **Audio broadcasting** – tradiční rádio i moderní formáty, jako je podcasting a internetové rádio.
- **Video broadcasting** – jak tradiční televizní vysílání, tak internetové video vysílání prostřednictvím platform, jako je YouTube nebo Netflix.
- **Web broadcasting** – živé vysílání (live streaming) a přehrávání nahraného obsahu na webových stránkách nebo sociálních sítích.

Narrowcasting v multimediálním vysílání

Narrowcasting je personalizovaný model distribuce obsahu, který cílí na specifické publikum, na rozdíl od masového dosahu tradičního broadcastingu. Tento přístup se soustředí na doručování obsahu přizpůsobeného preferencím, chování nebo geografické poloze menších segmentů uživatelů.

V kontextu sítí 5G a sbližování vysílacích a širokopásmových technologií hraje narrowcasting roli při poskytování lepšího uživatelského zážitku prostřednictvím přizpůsobených služeb. Jak je uvedeno ve výzkumu týkajícím se sbližování broadcastingu a širokopásmových sítí v éře 5G, narrowcasting poskytovatelům obsahu nabízí možnost přizpůsobit služby jednotlivým uživatelům, například prostřednictvím cílených reklam, obsahu na vyžádání a interaktivních funkcí, jako jsou hlasování či ankety.

2.1.1 Audio broadcasting

Audio broadcasting je nejstarší formou multimediálního vysílání, zaměřenou na přenos zvukového obsahu. Tradičně se realizuje prostřednictvím rádia, které šíří zvuk pomocí rádiových vln na velké vzdálenosti.

2.1.1.1 Tradiční rádio

Vysílání prostřednictvím rádiových vln je stále široce využívanou formou broadcastu, zejména pro distribuci hudby, zpráv a rozhlasových programů. Rádio je obzvláště efektivní v krizových situacích, kdy je potřeba rychle šířit informace do rozsáhlých oblastí.

2.1.1.2 Podcasting

Moderní formát audio vysílání, který umožňuje tvůrcům obsahu nahrávat a distribuovat zvukové soubory k odběratelům prostřednictvím internetových platform.

2.1.2 Video broadcasting

Video broadcasting zahrnuje přenos audiovizuálního obsahu, jako jsou televizní pořady, filmy, sportovní události nebo živé vysílání. Tento formát poskytuje divákům obraz i zvuk zároveň.

2.1.2.1 Televizní vysílání

Tradiční televize využívá rádiové vlny pro přenos audiovizuálního obsahu. Televizní stanice mohou šířit obsah k milionům diváků najednou. Televizní vysílání využívá technologie jako DVB-T a satelitní vysílání.

2.1.2.2 Internetové video vysílání

Se vzestupem streamovacích služeb, jako jsou YouTube, Netflix nebo Twitch, se video broadcasting přesunul také na internetové platformy a uživatelé tak mohou sledovat obsah na požádání nebo v reálném čase prostřednictvím internetového připojení.

2.1.3 Web broadcasting

Web broadcasting je forma vysílání, která využívá internetové technologie pro distribuci obsahu, a to jak v reálném čase, tak formou nahraných multimédií. Zahrnuje živé vysílání (live streaming) a distribuci nahraného obsahu prostřednictvím webových stránek nebo sociálních médií.

2.1.3.1 Live streaming

Živé vysílání poskytuje uživatelům možnost sledovat události v reálném čase přes internet. Populární platformy jako Facebook Live, Instagram Live a YouTube Live nabízejí tuto funkci širokému publiku a vytváří prostor pro okamžitou interakci mezi tvůrcem a diváky.

2.1.3.2 Webové vysílání

Mimo live streaming zahrnuje web broadcasting i přehrávání nahraného obsahu, jako jsou webináře, videonávody a další formáty. Firmy často využívají tento formát pro marketingové účely, prezentace a komunikaci s klienty.

2.1.4 Technologie a platformy

Multimediální broadcast využívá několik technologií, které se zaměřují na šíření obsahu na různých platformách. Mezi hlavní patří:

- **Satelitní vysílání:** Technologie přenosu televizního a rozhlasového signálu přes satelit, široce používaná v oblastech s omezeným pokrytím pozemních vysílačů.
- **Kabelové vysílání:** Kabelové společnosti poskytují obsah prostřednictvím kabelových sítí, kde si zákazníci předplácejí přístup k rozsáhlé nabídce kanálů a programů.
- **Mobilní broadcasting:** Síť 5G podporují multimediální broadcast na mobilních zařízeních, kdy uživatelé mohou sledovat obsah, jako jsou živé přenosy, videa či podcasty, na telefonech a tabletech.

2.2 Broadcast pro bezpečnostní účely

Broadcast pro bezpečnostní účely je součástí moderní komunikační infrastruktury, navržený pro rychlé šíření kritických informací při mimořádných událostech, jako jsou přírodní katastrofy, teroristické útoky nebo jiné hrozby pro veřejnou bezpečnost. Tento typ vysílání je vytvořen tak, aby varovné zprávy dosáhly co nejširšího publiku bez ohledu na jejich geografickou polohu nebo

přístup k internetu či mobilním službám. S využitím širokopásmového vysílání jsou bezpečnostní oznámení schopna okamžitě informovat populaci o hrozícím nebezpečí a poskytovat potřebné pokyny pro ochranu životů a majetku.

2.2.1 Role broadcastu v nouzových situacích

V době krize je rychlá a spolehlivá komunikace nutností pro minimalizaci škod na lidských životech a majetku. Bez ohledu na povahu krize, ať už jde o přírodní katastrofy, teroristické útoky nebo technologické havárie, je potřeba zajistit, aby se důležité informace dostaly k veřejnosti co nejrychleji. Broadcastové technologie v těchto situacích sehrávají nezastupitelnou roli, protože umožňují šířit varovné zprávy širokému publiku najednou, aniž by došlo k přetížení komunikačních sítí.

V krizových situacích může unicastové šíření, kde je každému uživateli zasílán samostatný datový proud, způsobit přetížení sítě, vedoucí k zpoždění nebo dokonce k selhání celého komunikačního systému. Při použití broadcastu je obsah, například varovné zprávy, šířen jedním proudem dat k mnoha uživatelům najednou, výrazně snižuje zátěž na síťovou infrastrukturu a zaručuje, že kritické informace se dostanou k co nejširšímu publiku v co nejkratším čase. Tento jednosměrný přenos (one-to-many) je efektivní, protože stejné informace doručuje všem příjemcům současně, bez ohledu na jejich počet nebo geografickou polohu.

Nouzový broadcast je navržen tak, aby využíval spolehlivé a široce dostupné technologie, jako jsou rádiové a televizní signály. Tyto technologie mají oproti mobilním nebo internetovým sítím jednu zásadní výhodu – širší pokrytí. Zatímco mobilní sítě mohou být omezeny nedostatečným pokrytím nebo přetížením v hustě obydlených oblastech, rádiové a televizní signály mohou být šířeny na rozsáhlé geografické území s minimální infrastrukturou. To znamená, že i uživatelé, kteří nejsou připojeni k internetu nebo nemají přístup k mobilní síti, mohou být rychle informováni o situaci.

Rozhlasové vysílání je jedním z nejspolehlivějších médií pro šíření nouzových zpráv, protože funguje i při výpadcích elektrické energie nebo selhání jiných komunikačních kanálů. V mnoha zemích jsou rádiové stanice povinny přerušit svůj běžný program a okamžitě vysílat nouzové varovné zprávy, čímž se zajistí, že i při výpadku internetu nebo mobilních sítí bude široká veřejnost informována o hrozícím nebezpečí. Televizní vysílání hraje také významnou roli, zejména v situacích, kdy je nutné poskytnout vizuální informace, jako jsou mapy evakuačních zón nebo bezpečnostní pokyny.

2.2.1.1 China Digital Radio (CDR)

Jedním z příkladů efektivního využití broadcastu v krizových situacích je systém China Digital Radio (CDR), který kombinuje tradiční analogové FM vysílání s moderními digitálními technologiemi. Tento systém šíří nouzové zprávy jak prostřednictvím klasického rozhlasového signálu, tak digitálními kanály. CDR slouží vládním orgánům a záchranným složkám k rychlému zasílání varovných signálů široké veřejnosti, i v oblastech bez mobilních či internetových služeb. Díky tomu jsou obyvatelé informováni o aktuální situaci v reálném čase. Tento systém je využíván například při evakuacích, informování o nebezpečných oblastech či poskytování pokynů, jak se chránit před hrozícím nebezpečím. CDR se osvědčil zejména během povodní a zemětřesení, kdy tradiční komunikační infrastruktura selhává.

2.2.1.2 Význam broadcastu pro varování v reálném čase

Jedním z nejdůležitějších aspektů nouzového broadcastu je schopnost vysílat varovné zprávy v reálném čase. Rychlost doručení zpráv je důležitá, protože v mnoha krizových situacích mohou mít zpožděné informace fatální důsledky. Například při zemětřesení, tsunami nebo výbuchu průmyslového zařízení.

Nouzové broadcastové systémy slouží záchranným složkám k okamžitému spuštění nouzového vysílání, které přeruší všechny ostatní programy. EWBS je součástí televizních a rozhlasových sítí a přenáší nejen zvuková varování, ale i vizuální pokyny a mapy evakuačních zón. Tyto systémy jsou navrženy pro provoz i v situacích, kdy jsou ostatní komunikační kanály přetížené nebo mimo provoz.

Další výhodou nouzového broadcastu je možnost cíleného vysílání. Nouzové zprávy mohou být šířeny pouze v konkrétních regionech, které jsou nejvíce ohroženy. To znamená, že například při povodních mohou být obyvatelé nízko položených oblastí varováni před evakuací, zatímco lidé v bezpečnějších lokalitách dostanou méně urgentní informace.

2.3 Hromadné zprávy

Hromadné zprávy jsou dalším nástrojem nouzového broadcastu, který šíří informace k široké veřejnosti. Tento typ vysílání slouží nejen pro varování v krizových situacích, ale také pro distribuci informací s významem pro společnost, politiku, ekonomiku nebo jiné veřejně důležité oblasti. Hromadné zprávy mohou zahrnovat oficiální oznámení vlád, výzvy k evakuaci, zdravotní varování nebo informace o změnách v právních předpisech.

Hromadné zprávy mohou být šířeny prostřednictvím různých komunikačních kanálů, jako jsou televize, rádio, internet, sociální média a mobilní sítě. Cílem je zajistit, aby se zpráva dostala k co největšímu počtu lidí současně, a to i v případě, že jsou tradiční komunikační kanály omezeny. Pro zajištění maximálního dosahu se hromadné zprávy často vysílají multiplatformním způsobem, tedy prostřednictvím několika médií současně. Díky tomu je možné zasáhnout co nejširší publikum, včetně těch, kteří mají přístup pouze k jednomu typu médií (například rozhlasovým stanicím nebo mobilním sítím).



Obrázek 6: Proces odesílání upozornění pomocí broadcastu

Zdroj: <https://www.alertus.com/cell-broadcasting>

Obrázek znázorňuje proces šíření upozornění pomocí systému hromadného vysílání v mobilních sítích. Nejprve je upozornění aktivováno z centrálního systému (krok 1). Poté je zpráva odeslána do speciální jednotky, která ověřuje, zda je odesílatel oprávněný, a následně upozornění předává mobilním operátorům (krok 2). Mobilní operátoři přijmou upozornění ve svých vysílacích centrech a předávají ho příslušným vysílačům (krok 3). Nakonec je upozornění doručeno na mobilní telefony uživatelů v určené oblasti (krok 4). Tento postup umožňuje rychlé a spolehlivé šíření informací bez zatížení mobilních sítí nebo nutnosti instalace speciálních aplikací.

2.3.1 Typy hromadných zpráv

Hromadné zprávy mohou být rozděleny do několika kategorií v závislosti na účelu a obsahu, který šíří:

2.3.1.1 Politické a vládní zprávy

Týkají se oficiálních vládních oznámení, jako jsou změny v zákonech, regulacích nebo politikách. Také zahrnují vyhlášení výjimečných stavů, celostátních akcí nebo politických voleb.

2.3.1.2 Ekonomické zprávy

Šíření informací o důležitých ekonomických změnách, jako jsou nové fiskální politiky, změny úrokových sazeb, nové obchodní dohody nebo oznámení o významných projektech.

2.3.1.3 Sociální zprávy

Informace týkající se veřejných služeb, jako jsou zdravotní výstrahy, očkovací kampaně, školení nebo kulturní akce. Tento typ hromadných zpráv se také používá k informování občanů o veřejných shromážděních, demonstracích nebo důležitých společenských změnách.

2.3.1.4 Nouzové zprávy

I když jsou nouzové zprávy specifickou kategorií v rámci nouzového broadcastu, mohou být také zařazeny do hromadných zpráv v případě, že se jedná o varování týkající se celé populace, například během pandemie nebo jiné zdravotní krize.

2.3.2 Technologie pro šíření hromadných zpráv

Podobně jako u nouzových zpráv, i hromadné zprávy využívají různé technologie pro dosažení širokého publika. Mobilní operátoři mohou pomocí technologie Cell Broadcast šířit zprávy k mobilním uživatelům v konkrétních geografických oblastech a je efektivní zejména při šíření lokálně relevantních informací.

Systémy pro šíření hromadných zpráv jsou navrženy tak, aby pracovaly i při zvýšeném zatížení komunikační infrastruktury. Mobilní sítě a internetové platformy jsou často prvními kanály, které zaznamenají přetížení během krizových situací, a proto jsou

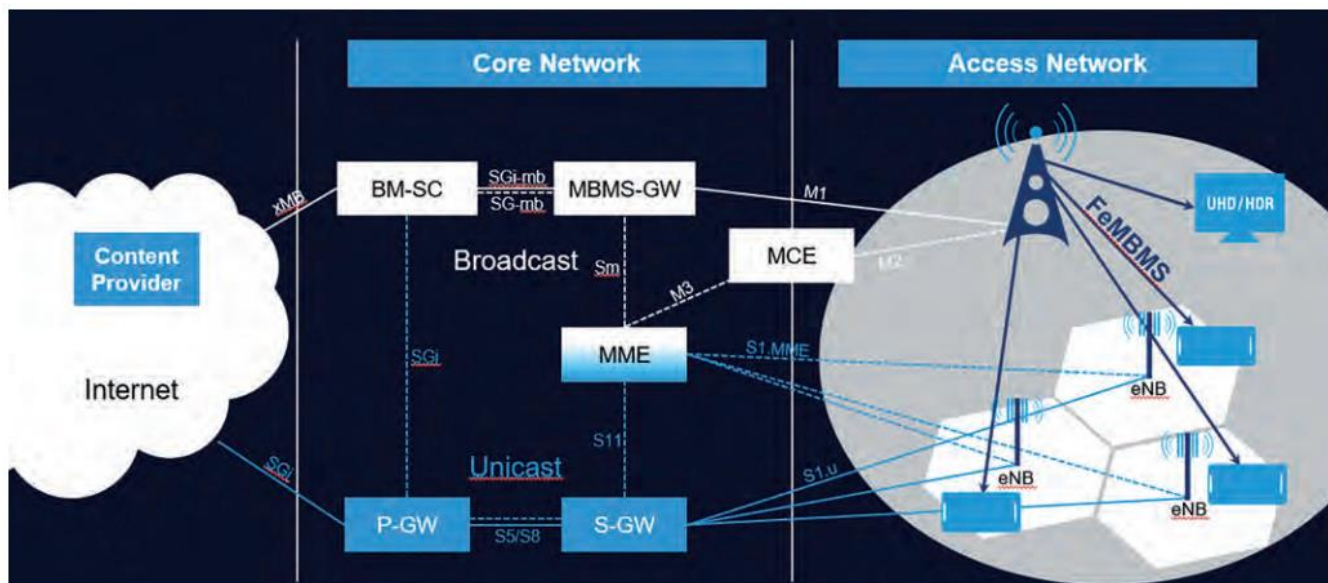
hromadné zprávy vysílány také prostřednictvím rádiových a televizních stanic, které poskytují spolehlivé kanály pro doručení zpráv.

Hromadné zprávy poskytují širokou škálu možností pro efektivní komunikaci s veřejností. S pokrokem v oblasti 5G a dalších komunikačních technologií budou systémy pro šíření hromadných zpráv schopny poskytovat cílené a personalizované zprávy na základě polohy uživatelů, jejich zájmů a konkrétních potřeb. To umožní, aby byly hromadné zprávy více přizpůsobeny specifickým situacím a přinášely relevantní informace v reálném čase.

Do budoucna se očekává, že systémy pro šíření hromadných zpráv budou stále více využívat umělou inteligenci a strojové učení pro analýzu velkých objemů dat a rozhodování o tom, jaké informace jsou pro veřejnost nejrelevantnější. Zlepší se tím schopnost vlád a dalších institucí efektivně komunikovat s občany v době krizí i mimo ně.

3 Popis služby FeMBMS

FeMBMS představuje pokročilou technologii, která je nedílnou součástí 5G standardu a je navržena pro efektivní šíření multimediálního obsahu k velkému množství uživatelů současně. Tato technologie je výsledkem evoluce předchozího standardu eMBMS používaného v sítích LTE (4G) a přináší výrazná vylepšení v oblasti výkonu, efektivity a využití šířky spektra. Díky těmto vylepšením je FeMBMS schopna podporovat šíření obsahu ve vyšším rozlišení a s větší spolehlivostí.



Obrázek 7: Broadcast architektura

Zdroj: https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/solution/broadcasting/content_distribution/5g_broadcast/ieee_broadcast_technology___5g_broadcast.pdf

Tento obrázek zobrazuje architekturu služby a ukazuje, jak tato technologie funguje v 5G sítích. Architektura je rozdělena do dvou hlavních částí: Core Network (jádrová síť) a Access Network (přístupová síť).

Core Network (Jádrová síť):

- **BM-SC (Broadcast Multicast Service Center):** Spravuje členství, relace, přenos a bezpečnost obsahu. Poskytuje MBMS služby, nastavuje relace e-MBMS a zajišťuje distribuci obsahu z poskytovatele přes jádro sítě k uživatelům.
- **MBMS-GW (MBMS Gateway):** Distribuuje data MBMS na eNBs (evolved NodeBs) pomocí IP multicastu a spravuje MBMS signalizaci v uživatelské rovině.
- **MME (Mobility Management Entity):** Řídí řízení mobility a spravuje MBMS relace mezi MBMS-GW a přístupovou sítí.

Access Network (Přístupová síť):

- **MCE (Multicast Coordination Entity):** Řídí obsah MBMS a zdroje pro efektivní vysílání. Spolupracuje s eNBs na doručení obsahu uživatelům.
- **eNB (evolved NodeBs):** Přístupové body, které poskytují jak unicastové, tak multicastové služby, a přenášejí obsah k uživatelům prostřednictvím FeMBMS.

Celkově tento obrázek zobrazuje, jak FeMBMS funguje v síti 5G, kde obsahový poskytovatel (Content Provider) doručuje data přes různé entity (BM-SC, MBMS-GW, MME, eNBs) až k přijímačům, které mohou být například mobilní telefony nebo televize podporující UHD/HDR rozlišení. Systém kombinuje jak unicast, tak broadcastové funkce pro efektivní distribuci multimediálního obsahu.

3.1.1 Vlastnosti FeMBMS

FeMBMS integruje několik inovací, které zvyšují jeho efektivitu a schopnost poskytovat vysoce kvalitní služby:

- **Kombinace Multicast a Broadcast:** FeMBMS efektivně spojuje multicast (jednosměrné vysílání obsahu pro skupinu uživatelů) a broadcast (vysílání obsahu pro široké publikum). Tato kombinace optimalizuje využití dostupné šířky pásma, snižuje zatížení sítě a zvyšuje efektivitu přenosu dat. Na rozdíl od unicastu, který přenáší datový tok ke každému uživateli zvlášť a může vést k přetížení sítě při vysoké poptávce, FeMBMS přenáší jeden datový tok k mnoha uživatelům současně.
- **Podpora Rozsáhlých Geografických Oblastí:** FeMBMS je navržen pro vysílání na rozsáhlé geografické oblasti. Toho je dosaženo použitím vysokovýkonných vysílačů s dlouhým dosahem, které mohou pokrýt široké území bez potřeby husté

sítě vysílacích bodů, což je zvláště výhodné ve venkovských či horských oblastech, kde tradiční vysílací technologie nemusí být tak efektivní.

- **Režimy HPHT a LPLT:** FeMBMS podporuje režimy HPHT (High-Power High-Tower) a LPLT (Low-Power Low-Tower), čímž zajišťuje flexibilní nasazení v různých prostředích. Režim HPHT je ideální pro pokrytí rozsáhlých a méně hustě osídlených oblastí, zatímco režim LPLT je vhodný pro hustě obydlené městské oblasti, kde je potřeba zajistit stabilní a kvalitní signál.
- **Oddělení Transportu a Služeb:** FeMBMS zavádí oddělení transportu a služeb prostřednictvím API (Application Programming Interface), což mobilnímu systému dovoluje přenášet televizní obsah v jeho nativním formátu. Celá mobilní platforma tak může fungovat jako plnohodnotný systém digitálního terestrického vysílání (DTTB – Digital Terrestrial Television Broadcasting), čímž je zajištěna vysoká flexibilita a kompatibilita s existujícími multimediálními formáty a službami.
- **Zvýšená Spektrální Efektivita:** FeMBMS dosahuje vysoké spektrální efektivity až 97,5 %, což je výrazné zlepšení oproti předchozím technologiím. Tato efektivita vychází z nově navržené struktury rámce, která umožňuje alokovat téměř 100 % nosičových zdrojů pro vysílání, čímž se maximalizuje využití šířky pásma a zvyšuje kapacita sítě pro přenos dat.

3.1.1.1 Technická Struktura FeMBMS

FeMBMS využívá rozšířený Cyclic Prefix (CP) s délkou 200 μ s, čímž systém lépe odolává multi-path interferencím a realizuje Single Frequency Network (SFN) na velkých plochách. Struktura rámce FeMBMS je navržena pro vysokou spektrální efektivitu a robustní přenos dat.

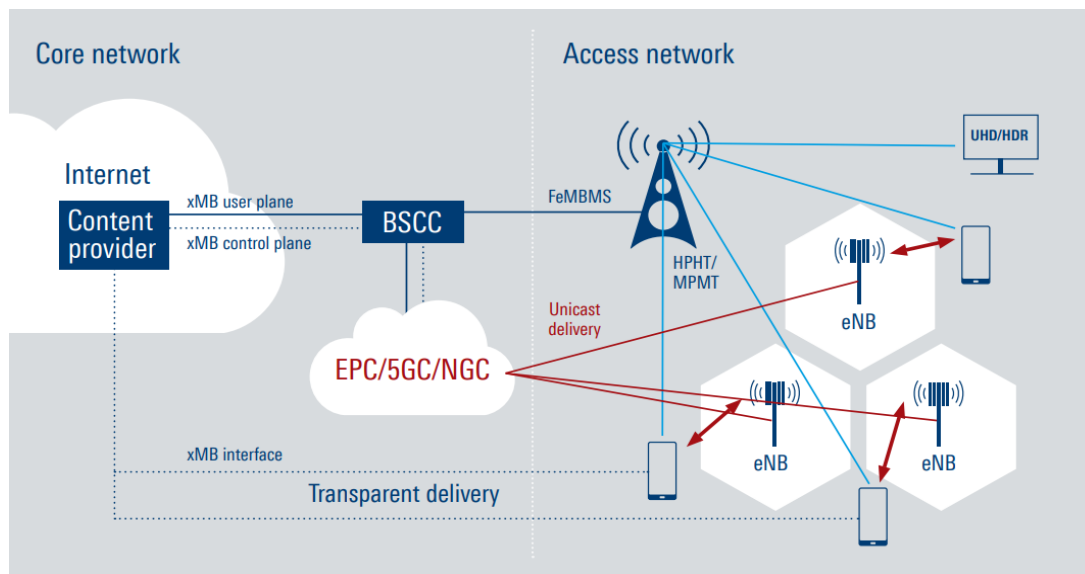
- **Numerologie FeMBMS:** FeMBMS rozšiřuje tradiční eMBMS přidáním dvou nových hodnot délky CP – 33,3 μ s a 200 μ s – a podporuje maximální inter-site distance (ISD) až 60 km. Tato vylepšená numerologie zajišťuje širší pokrytí a lepší výkon v různých prostředích. FeMBMS se přizpůsobuje specifickým požadavkům vysílacích scénářů díky podpoře šířek pásma od 1,25 kHz až po 200 kHz.
- **Struktura Rámce:** Ve fyzické vrstvě FeMBMS existují dvě hlavní řešení: MBSFN (Multicast Broadcast Single Frequency Network) a SC-PTM (Single-Cell Point-to-Multipoint). MBSFN koordinuje vysílání na stejné frekvenci z více vysílacích bodů, což zlepšuje pokrytí a kvalitu signálu. SC-PTM, určené pro scénáře s jedním vysílacím bodem, není kompatibilní se SFN, a proto se v praxi FeMBMS často používá ve spojení s MBSFN pro širší pokrytí a efektivní využití spektra.
- **Modulační a Kódovací Schémata (MCS):** FeMBMS nabízí různé MCS indexy, které určují kódovací rychlosti a modulační techniky. S 35 MCS indexy FeMBMS dynamicky přizpůsobuje přenosové parametry aktuálním podmínkám sítě a požadavkům na kvalitu služby. Vyšší MCS indexy poskytují vyšší datové rychlosti a jsou využívány pro přenos obsahu ve vysokém rozlišení, jako je například 4K video.

3.1.1.2 Různá řešení pro efektivní šíření obsahu

Technologie FeMBMS nabízí tři hlavní řešení pro efektivní šíření obsahu v různých prostředích. Tato řešení se liší podle charakteristik oblastí, kde jsou nasazena, a podle specifických požadavků na šíření signálu.

Overlay NSA/SA pro venkovské a příměstské oblasti

Overlay NSA (Non-Stand Alone) nebo SA (Stand-Alone) je ideální pro pokrytí venkovských a příměstských oblastí s dostupným přímým výhledem (line-of-sight). V těchto oblastech se doporučuje využít vysokovýkonných a středně výkonných vysílačů (HPHT/MPMT), které zajišťují široké pokrytí a větší dosah signálu. Tento model overlay pracuje buď s již existující sítí založenou na non-standalone architektuře, nebo na zcela samostatné (stand-alone) architektuře, čímž poskytuje efektivní a nákladově úsporné šíření obsahu v méně hustě osídlených oblastech.



Obrázek 8: Architektura Overlay NSA/SA pro venkovské a příměstské oblasti

Zdroj: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/Rohde-Schwarz_5G-Broadcast-Multicast_bro_3609_6135_92_v0100.pdf

Obrázek uveden výše znázorňuje architekturu Overlay NSA/SA (Non-Standalone/Standalone) určenou pro použití ve venkovských a příměstských oblastech. Tento model využívá vysílače typu HPHT/MPMT (High-Power High-Tower/Medium-Power Medium-Tower), které poskytují široké pokrytí prostřednictvím FeMBMS (Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service) pro efektivní distribuci obsahu k mnoha uživatelům současně.

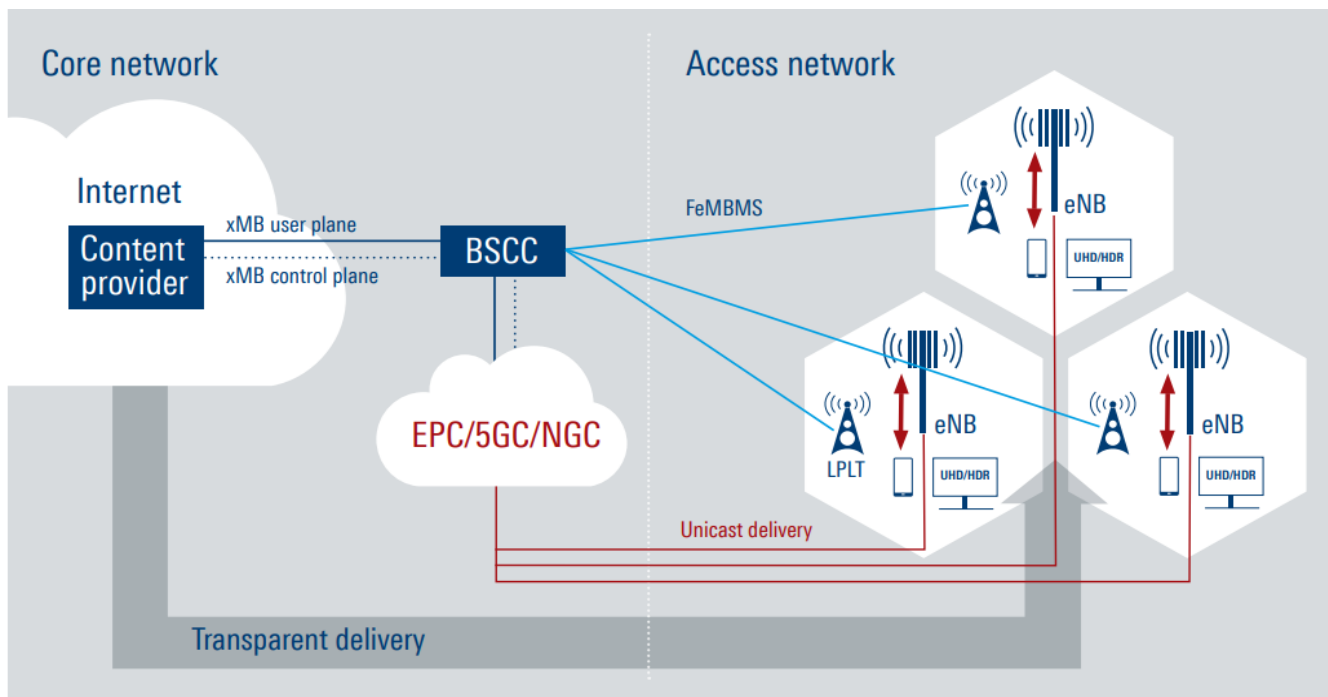
Základní prvky architektury zahrnují:

- Poskytovatel obsahu (Content Provider), který zajišťuje multimediální obsah. Tento obsah je doručován přes rozhraní xMB do BSCC (Broadcast Service and Control Center), kde se řídí přenosy obsahu.
- EPC/5GC/NGC (Evolved Packet Core/5G Core/Next Generation Core) představuje jádro sítě, které zajišťuje doručení
- V přístupové síti jsou základnové stanice typu eNB (evolved NodeB), které poskytují jak unicast, tak multicast přenos obsahu.
- FeMBMS technologie zajišťuje doručení obsahu ve vysoké kvalitě (např. UHD/HDR) přímo do mobilních zařízení a dalších přijímačů s minimální latencí.

Tento model je ideální pro oblasti, kde je dostupné přímé spojení a je možné využít vysílače s velkým dosahem, což snižuje potřebu husté sítě vysílacích bodů. To zajišťuje efektivní a ekonomicky výhodné pokrytí rozsáhlých geografických oblastí.

SDL NSA/SA pro hustě osídlené oblasti

Pro oblasti s vysokou hustotou obyvatelstva, jako jsou městská centra, je vhodné nasazení řešení Supplemental Downlink (SDL) NSA/SA. Toto řešení zajišťuje lokalizované vysílání v rámci existujících celulárních sítí, kdy jsou do stávajících vysílacích bodů přidány nízkovýkonné vysílače (LP Tx). Tento model efektivně využívá existující infrastrukturu s minimálními náklady, protože je založen na softwarové integraci do cloudové RAN (C-RAN) bez potřeby dodatečného hardwaru.



Obrázek 9: Architektura SDL NSA/SA pro hustě osídlené oblasti

Zdroj: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/Rohde-Schwarz_5G-Broadcast-Multicast_bro_3609_6135_92_v0100.pdf

Tento obrázek znázorňuje architekturu Supplemental Downlink (SDL) NSA/SA, která je určena pro hustě osídlené městské oblasti. Tento model využívá nízko výkonné vysílače, které jsou integrovány do existujících mobilních buněk za minimální náklady, a to především díky softwarové integraci do cloudové RAN (C-RAN).

Základní prvky architektury zahrnují:

- Poskytovatel obsahu (Content Provider), který zajišťuje multimediální obsah, jenž je prostřednictvím rozhraní xMB doručován do BSCC (Broadcast Service and Control Center), kde je řízen přenos dat.
- EPC/5GC/NGC (Evolved Packet Core/5G Core/Next Generation Core) představuje jádro sítě, které zajišťuje transparentní doručení obsahu do přístupových bodů.
- V přístupové síti jsou základnové stanice typu eNB (evolved NodeB), které zajišťují doručení obsahu pomocí unicastu i multicastu.
- FeMBMS technologie umožňuje doručování obsahu s vysokou kvalitou, například UHD/HDR, do mobilních zařízení i dalších přijímačů s nízkou latencí.

Tento model je ideální pro městské prostředí, kde je třeba zaručit vysoce kvalitní a stabilní signál ve velmi hustě osídlených oblastech. Díky nízkovýkonným vysílačům lze tento model snadno nasadit do existující infrastruktury mobilních sítí bez nutnosti rozsáhlých úprav či přidání fyzických zařízení. Tím se zajišťuje efektivní a ekonomicky výhodné pokrytí s vysokou kapacitou a spolehlivostí, které je nutné pro masové mediální události nebo přenosy.

Kombinace obou řešení pro celoplošné pokrytí

Kombinace Overlay NSA/SA a SDL NSA/SA představuje efektivní strategii pro dosažení celoplošného pokrytí. Tato kombinace zajišťuje kvalitní vysílání v hustě osídlených oblastech, zatímco současně poskytuje široké pokrytí ve venkovských a příměstských regionech. Tento přístup přináší optimální šíření multimediálního obsahu s minimálními náklady a maximální efektivitou, přičemž poskytuje vysokou kvalitu služby (QoS) a spolehlivost přenosu ve všech typech prostředí.

3.2 Z pohledu uživatele

Technologie FeMBMS přináší koncovým uživatelům řadu výhod, které zlepšují kvalitu služeb a celkový uživatelský zážitek při přijímání multimediálního obsahu. Zároveň je však důležité zmínit i některé potenciální nevýhody nebo výzvy, se kterými se

uživatelé mohou setkat. V této části se zaměříme na podstatné aspekty, které ovlivňují uživatele při využívání služeb poskytovaných prostřednictvím FeMBMS, včetně pozitiv i negativ.

- **Kvalita služby a uživatelský zážitek** – FeMBMS přenáší audiovizuální obsah ve vysokém rozlišení, včetně podpory formátů 4K a 8K. Díky efektivnímu využití spektra a pokročilým kompresním technikám je zajištěna vysoká kvalita obrazu a zvuku s minimální latencí. Uživatelé mohou sledovat živé vysílání nebo on-demand obsah bez přerušení a zpoždění.
- **Dostupnost a pokrytí v různých oblastech** – Jednou z hlavních výhod FeMBMS je schopnost poskytovat služby v různých geografických oblastech, včetně venkovských a odlehlých lokalit. Využití režimů HPHT (High-Power High-Tower) a LPLT (Low-Power Low-Tower) zajišťuje široké pokrytí signálem i v místech s obtížnými podmínkami. Uživatelé v těchto oblastech mají přístup ke stejnému obsahu a kvalitě služeb jako ve městech.
- **Úspora energie a efektivní využití zařízení** – FeMBMS podporuje režim Receive Only Mode (ROM), při kterém zařízení přijímají vysílání bez nutnosti odesílat zpětné signály. To vede k nižší spotřebě energie a prodloužení životnosti baterie u mobilních zařízení. Uživatelé mohou déle využívat své smartphony nebo tablety bez nutnosti častého nabíjení.
- **Nezávislost na internetovém připojení** – Díky vysílacímu charakteru FeMBMS není uživatel závislý na dostupnosti mobilních dat nebo Wi-Fi připojení. Obsah je distribuován prostřednictvím širokopásmového vysílání, což zajišťuje služby i v oblastech s omezeným nebo žádným internetovým pokrytím.
- **Interaktivní a personalizované služby** – FeMBMS může být kombinován s unicastovými službami, které přinášejí interaktivní a personalizovaný obsah. Uživatelé mohou využívat funkce jako volba jazykové stopy, přístup k doplňkovým informacím nebo interaktivní reklamy, kde integrace zvyšuje hodnotu poskytovaných služeb a přináší nové možnosti pro interakci s obsahem.
- **Nouzové a krizové informace** – FeMBMS je efektivním nástrojem pro šíření nouzových upozornění a krizových informací k široké veřejnosti. V případě mimořádných událostí mohou uživatelé rychle obdržet důležité zprávy a pokyny. Spolehlivost a široké pokrytí technologie zajišťuje, že tyto informace dorazí i do oblastí s omezeným přístupem k tradičním komunikačním kanálům.
- **Kompatibilita s existujícími zařízeními** – I když je FeMBMS navrženo tak, aby bylo kompatibilní s moderními mobilními zařízeními, v praxi je nutné mít zařízení, které tuto technologii podporuje. Někteří uživatelé budou muset investovat do nových telefonů nebo tabletů schopných přijímat FeMBMS signál. Starší nebo cenově dostupnější zařízení tuto funkci nemusí podporovat.
- **Potřeba aktualizace softwaru a aplikací** – Kromě hardwarové kompatibility může být nutné aktualizovat operační systém nebo nainstalovat speciální aplikace pro přijímání FeMBMS vysílání.
- **Potenciální náklady spojené s přístupem ke službám** – I když FeMBMS přenáší obsah bez využití mobilních dat, poskytovatelé mohou za přístup k prémiovému obsahu nebo speciálním funkcím účtovat poplatky.
- **Závislost na pokrytí signálem FeMBMS** – Ačkoli je cílem technologie zajistit široké pokrytí, v počátečních fázích nasazení mohou existovat oblasti, kde signál FeMBMS není dostupný. Uživatelé v těchto oblastech nebudou moci službu využít.
- **Bezpečnost a ochrana osobních údajů** – FeMBMS obsahuje pokročilé šifrovací a autentizační mechanismy, které chrání obsah před neoprávněným přístupem a zajišťují integritu přenášených dat. No uživatelé by měli být opatrní při sdílení osobních údajů, zejména pokud jsou služby kombinovány s interaktivními funkcemi vyžadujícími registraci nebo přihlášení.

3.3 Z pohledu poskytovatele obsahu

Technologie FeMBMS představuje pro poskytovatele obsahu významný krok vpřed v oblasti distribuce multimediálních služeb. Efektivnější šíření obsahu k širokému publiku, snížení nákladů na distribuci a nové možnosti pro služby jsou jen některé z výhod této technologie. Nyní se zaměříme na podstatné aspekty, které ovlivňují poskytovatele obsahu při jejím využívání.

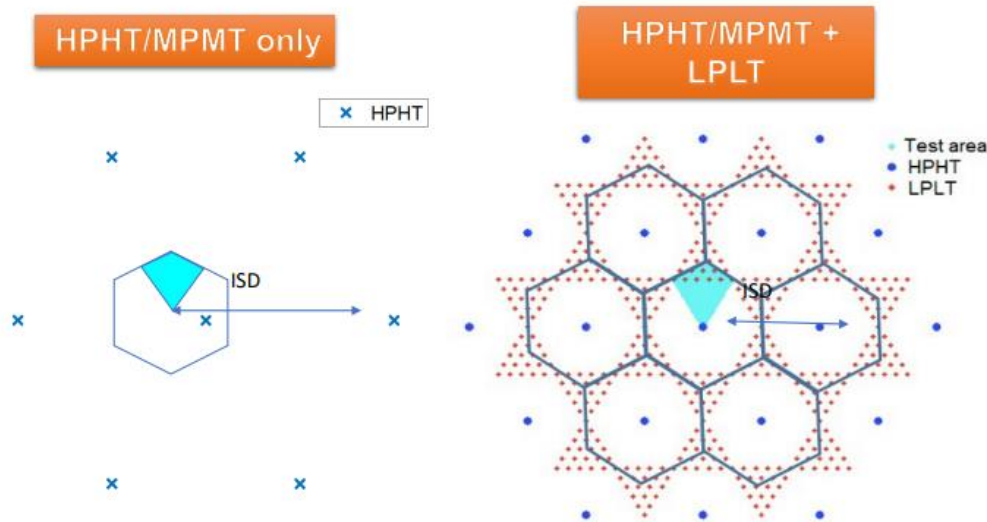
- **Efektivní distribuce obsahu** – FeMBMS poskytuje simultánní vysílání audiovizuálního obsahu k velkému počtu uživatelů bez zvýšeného zatížení sítě. Díky multicastovým a broadcastovým schopnostem technologie mohou poskytovatelé obsahu efektivně šířit živé přenosy, sportovní události, zpravodajství a další obsah s vysokou poptávkou, eliminuje potřebu opakovaného unicastového přenosu ke každému uživateli zvlášť.
- **Snížení nákladů na distribuci** – Využití FeMBMS vede k optimalizaci nákladů spojených s distribucí obsahu. Jednorázové vysílání obsahu k mnoha uživatelům současně minimalizuje provozní náklady a přispívá k efektivnějšímu využití dostupných zdrojů.
- **Rozšíření dosahu a penetrace trhu** – FeMBMS umožňuje poskytovatelům obsahu rozšířit svůj dosah do venkovských a odlehlých oblastí, kde bylo dříve obtížné nebo neekonomické poskytovat služby. Díky širokému pokrytí a schopnosti překonávat geografické překážky mohou poskytovatelé oslovit nové segmenty trhu a zvýšit svou uživatelskou základnu.

- **Zajištění vysoké kvality služeb (QoS)** – Technologie FeMBMS zajišťuje konzistentní a vysokou kvalitu přenosu, včetně podpory pro obsah ve vysokém rozlišení (HD, 4K) a s vysokým dynamickým rozsahem (HDR). Minimální latence a odolnost vůči přetížení sítě přispívají k lepšímu uživatelskému zážitku.
- **Ochrana obsahu a zabezpečení** – Bezpečnost je pro poskytovatele obsahu zásadní, zejména pokud jde o ochranu duševního vlastnictví a prevenci pirátství. FeMBMS využívá pokročilé šifrovací a autentizační mechanismy, které zajišťují, že obsah je přístupný pouze oprávněným uživatelům. Implementace DRM (Digital Rights Management) systémů poskytuje kontrolu nad distribucí obsahu a dodržování licenčních podmínek.
- **Integrace s existujícími infrastrukturami** – FeMBMS je navržena tak, aby byla kompatibilní s aktuálními standardy a technologiemi v oblasti vysílání a mobilních sítí. To usnadňuje integraci do stávajících pracovních postupů a systémů pro správu obsahu (CMS). Poskyvatelé mohou využít své dosavadní investice do infrastruktury a minimalizovat náklady na implementaci nové technologie.
- **Možnosti personalizace a interaktivity** – I když je FeMBMS primárně broadcastová technologie, může být kombinována s unicastovými službami pro poskytování personalizovaného a interaktivního obsahu. Poskyvatelé mohou nabízet hybridní služby, které umožňují uživatelům přístup k doplňkovým informacím, volbu různých úhlů kamer nebo interaktivní reklamy. To otevírá nové příležitosti pro zapojení uživatelů a zvyšování hodnoty nabízených služeb.
- **Splnění regulačních požadavků a standardů** – FeMBMS je vyvíjena v souladu s mezinárodními standardy (např. 3GPP, ETSI) a zohledňuje legislativní požadavky týkající se vysílání a telekomunikací. Poskyvatelé obsahu mohou mít jistotu, že technologie splňuje příslušné licenční politiky a regulační rámce.
- **Výzvy při implementaci FeMBMS** – Při zavádění FeMBMS musí poskyvatelé obsahu zvážit několik výzev:
 - Kompatibilita koncových zařízení: Ne všechna zařízení na trhu podporují FeMBMS. Poskyvatelé musí zohlednit penetraci kompatibilních zařízení mezi uživateli.
 - Spolupráce s operátory: Úspěšné nasazení FeMBMS vyžaduje úzkou spolupráci s mobilními operátory a případně dalšími subjekty v ekosystému.
 - Investice do infrastruktury: I když je FeMBMS kompatibilní se stávajícími systémy, mohou být nutné investice do aktualizace vysílací technologie a softwarových platforem.
- **Strategické přínosy a budoucí perspektivy** – FeMBMS představuje strategickou příležitost pro poskytovatele obsahu rozšířit své služby, zvýšit efektivitu a otevřít nové zdroje příjmů. Technologie je připravena podporovat budoucí inovace, jako je virtuální realita (VR), rozšířená realita (AR) nebo Internet věcí (IoT), což může dále rozšířit nabídku služeb a posílit pozici poskytovatelů na trhu.

3.4 Z pohledu šířitele signálu

Technologie FeMBMS představuje inovaci pro šířitele signálu, tedy subjekty zodpovědné za distribuci vysílacího signálu k uživatelům. FeMBMS efektivněji využívá frekvenční spektrum, zvyšuje kvalitu poskytovaných služeb a otevírá nové možnosti pro pokrytí různých geografických oblastí. V této části se zaměříme na podstatné aspekty, které ovlivňují šířitele signálu při implementaci a provozu FeMBMS.

- **Efektivní využití spektra a zvýšení kapacity sítě** – FeMBMS optimalizuje využití dostupného frekvenčního spektra díky vysoké spektrální efektivitě až 97,5 %. Technologie alokuje téměř veškeré zdroje nosiče pro vysílání obsahu, čímž se zvyšuje kapacita sítě a přenáší více datových toků v rámci stejné šířky pásma.
- **Podpora režimů HPHT a LPLT pro různé oblasti** – FeMBMS podporuje jak vysokovýkonné vysílače s vysokými věžemi (HPHT), tak nízkovýkonné vysílače s nízkými věžemi (LPLT). Tato flexibilita dovoluje šířitelům signálu přizpůsobit infrastrukturu podle specifik dané geografické oblasti:
 - HPHT: Vhodné pro venkovské a odlehlé oblasti, kde je potřeba pokrýt rozsáhlé území s menším počtem vysílačů. Vysokovýkonné vysílače poskytují široké pokrytí a jsou schopny překonávat geografické překážky.
 - LPLT: Ideální pro hustě osídlené městské oblasti, kde je vyžadována vysoká kapacita sítě a je třeba minimalizovat interferenci mezi vysílači. Nízkovýkonné vysílače mohou být strategicky rozmístěny pro optimalizaci pokrytí.



Obrázek 10: Pokrytí území vysílači pomocí HPHT/MPMT a LPLT v sítích FeMBMS

Zdroj:

https://tech.ebu.ch/files/live/sites/tech/files/shared/events/webinar2020_5GDistribution/presentations/Webinar_5G_for_distribution_AssuntaDeVita.pdf

Tento obrázek ilustruje dva různé přístupy k pokrytí území vysílači pomocí technologií HPHT/MPMT a jejich kombinaci s LPLT.

HPHT/MPMT only (levý diagram): Tento model zobrazuje vysílače s vysokým výkonem (HPHT/MPMT), které pokrývají rozsáhlá území s minimálním počtem vysílačů. Je ideální pro venkovské nebo odlehle oblasti, kde je potřeba pokrýt velké geografické oblasti s nižší hustotou obyvatel. Vysílače mají široký dosah (ISD – Inter-Site Distance), který zajišťuje pokrytí i přes větší vzdálenosti mezi vysílači.

HPHT/MPMT + LPLT (pravý diagram): Tento diagram znázorňuje kombinaci vysokovýkonných (HPHT/MPMT) a nízkovýkonných (LPLT) vysílačů. Tento přístup je vhodný pro městské a hustě osídlené oblasti, kde je vyžadována vyšší kapacita sítě a lepší pokrytí. Nízkovýkonné vysílače jsou rozmístěny mezi vysokovýkonnými vysílači, to umožňuje optimalizaci pokrytí, zlepšení kvality signálu a minimalizaci interference mezi vysílači.

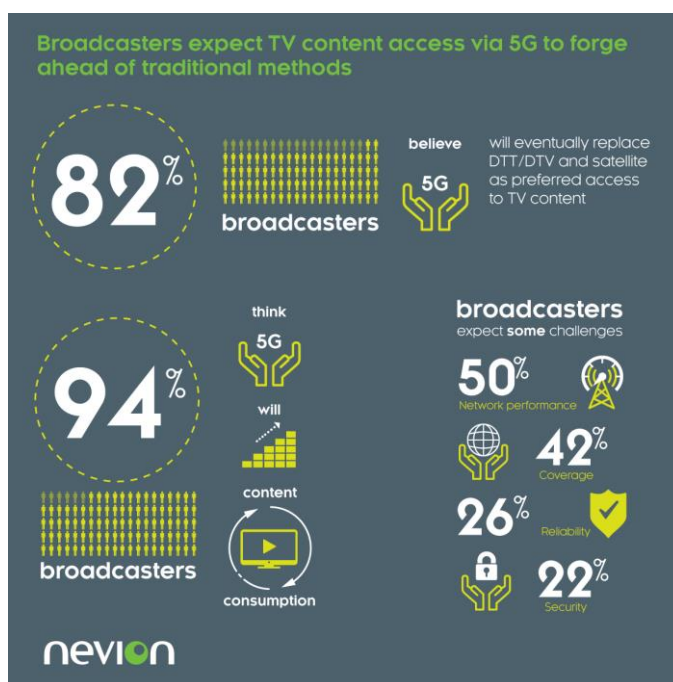
Základní rozdíl mezi těmito dvěma přístupy spočívá v efektivním využití různých typů vysílačů podle specifických potřeb oblastí, kde se vysílá.

- **Integrace s existující infrastrukturou a sítěmi** – FeMBMS je navržena tak, aby byla plně kompatibilní se stávajícími mobilními sítěmi LTE a 5G (SA/NSA), což šířitelům signálu dovoluje tuto technologii integrovat do současných systémů bez nutnosti kompletního přepracování infrastruktury. FeMBMS lze implementovat jako softwarový upgrade v existujících základnových stanicích.
- **Podpora Single Frequency Network (SFN)** – FeMBMS umožňuje síť s jednou frekvencí (SFN), kde více vysílačů synchronně vysílá stejný signál na stejné frekvenci. To zlepšuje pokrytí a kvalitu signálu, zejména v oblastech s náročným terénem. SFN také optimalizuje využití spektra, protože eliminuje potřebu různých frekvencí pro jednotlivé vysílače.
- **Zajištění kvality služeb (QoS) a spolehlivosti přenosu** – Pro šířitele signálu je zásadní udržet vysokou kvalitu služeb a spolehlivost přenosu, zejména při vysokém zatížení sítě. FeMBMS poskytuje mechanismy pro řízení kvality služeb (QoS), zajišťuje prioritizaci datových toků a minimální latenci, což je zásadní pro služby, jako je živé vysílání nebo kritické informační služby.
- **Bezpečnost a ochrana sítě** – Šířitelé signálu musí zajistit bezpečnost přenášeného obsahu a ochranu sítě před neoprávněným přístupem. FeMBMS podporuje pokročilé šifrovací a autentizační protokoly, které chrání obsah před pirátstvím a zajišťují integritu dat. Implementace bezpečnostních opatření je nezbytná pro dodržování právních a licenčních požadavků.
- **Řízení interferencí a koordinace spektra** – Při implementaci FeMBMS je důležité minimalizovat interference s jinými službami a optimalizovat využití přiděleného spektra. Šířitelé signálu musí pečlivě plánovat frekvenční alokace a koordinovat vysílání s ostatními operátory a službami. Využití pokročilých technik modulace a kódování, stejně jako adaptivních vysílačích parametrů, pomáhá snižovat interference a zvyšuje efektivitu sítě.
- **Náklady na implementaci a provoz** – Implementace FeMBMS přináší úspory nákladů díky efektivnějšímu využití infrastruktury a spektra, ale vyžaduje počáteční investice do upgradu sítě a zařízení. Šířitelé signálu musí provést finanční analýzu zahrnující:
 - Investiční náklady: Upgrade vysílačů, základnových stanic, softwaru a síťových prvků.
 - Provozní náklady: Údržba sítě, spotřeba energie, poplatky za licence a spektrum.
 - Potenciální příjmy: Nové služby, zvýšená kapacita, rozšířené pokrytí.

- **Legislativní a regulační požadavky** – Šířitelé signálu musí dodržovat platné právní a regulační rámce týkající se využití frekvencí a vysílání. Implementace FeMBMS vyžaduje získání příslušných licencí a povolení od regulačních orgánů, jako je Český telekomunikační úřad (ČTÚ). Důležité je také zajistit kompatibilitu s mezinárodními standardy (např. 3GPP, ETSI) a dodržovat zásady správy spektra v České republice.
- **Plánování zálohování a obnovy dat** – Pro zajištění kontinuity služeb musí šířitelé signálu plánovat mechanismy pro zálohování a obnovu dat v případě výpadku nebo havárie. To zahrnuje redundantní síťové prvky, záložní napájecí zdroje a postupy pro rychlou obnovu provozu. Efektivní plánování minimalizuje dopady výpadků na uživatele a zajišťuje vysokou dostupnost služeb.
- **Technická podpora a údržba** – Pro spolehlivý provoz FeMBMS je také důležitá pravidelná údržba infrastruktury a aktualizace softwaru. Šířitelé signálu musí zajistit školení technického personálu, monitorování výkonu sítě a rychlou reakci na technické problémy. Proaktivní přístup k údržbě zvyšuje životnost zařízení a snižuje riziko neplánovaných výpadků.
- **Inovace a budoucí rozvoj** – FeMBMS je platforma pro budoucí inovace v oblasti vysílání a telekomunikací. Šířitelé signálu mohou rozvíjet nové služby, jako interaktivní televizi, přenos dat pro IoT zařízení či podporu autonomních systémů. Investice do FeMBMS zajišťují flexibilní reakci na technologický pokrok a měnící se potřeby trhu.

3.4.1 Očekávaný přechod na 5G pro distribuci televizního obsahu

Výsledky průzkumů mezi vysílateli a šířiteli obsahu naznačují, že technologie 5G má potenciál stát se dominantní platformou pro distribuci televizního obsahu v nadcházejících letech. Rozvoj 5G broadcastu, a zejména technologie FeMBMS, zvyšuje tlak na nahrazení tradičních metod vysílání, jako jsou DTT/DTV a satelitní vysílání. FeMBMS, s jeho schopností efektivního využití šířky pásma, vyšší spektrální efektivitou a schopností souběžně obsloužit velké množství uživatelů při zachování vysoké kvality služeb, představuje důležitý prvek v tomto očekávaném přechodu na 5G.



Obrázek 11: Očekávání vysílatelů ohledně přechodu na 5G a jeho výzvy pro distribuci TV obsahu

Zdroj: <https://nevision.com/news/press-releases/survey-5g-to-be-preferred-access-to-tv/>

Podle globálního průzkumu mezi vysílateli a poskytovateli signálu, 82 % respondentů věří, že 5G technologie nakonec nahradí tradiční metody vysílání, jako jsou DTT/DTV a satelit, jako preferovaný způsob přístupu k televiznímu obsahu. Navíc 94 % z nich očekává, že s příchodem 5G dojde ke zvýšení spotřeby obsahu, zejména díky rostoucí poptávce po streamování na mobilních zařízeních. Nicméně, až 50 % respondentů považuje za největší výzvu síťový výkon a dalších 42 % pokrytí. Problémy se spolehlivostí a bezpečností zmiňuje 26 %, 22 % vysílatelů popisuje jako výzvu bezpečnost.

Nicméně současná infrastruktura vysílání, zejména systém DVB-T2, zůstává stále nejefektivnějším řešením pro distribuci lineárního video obsahu do velkých diváckých skupin se stacionárním příjmem. Tento stav je způsoben především vysokou efektivitou využití zdrojů a infrastruktury, přičemž zahrnuje optimální poměr mezi šířkou užitečného datového toku, počtem a výkonem vysílačů a potřebnými frekvenčními zdroji. Proto je otázkou, zda technologie 5G v současné podobě dokáže plně nahradit stávající distribuční systémy.

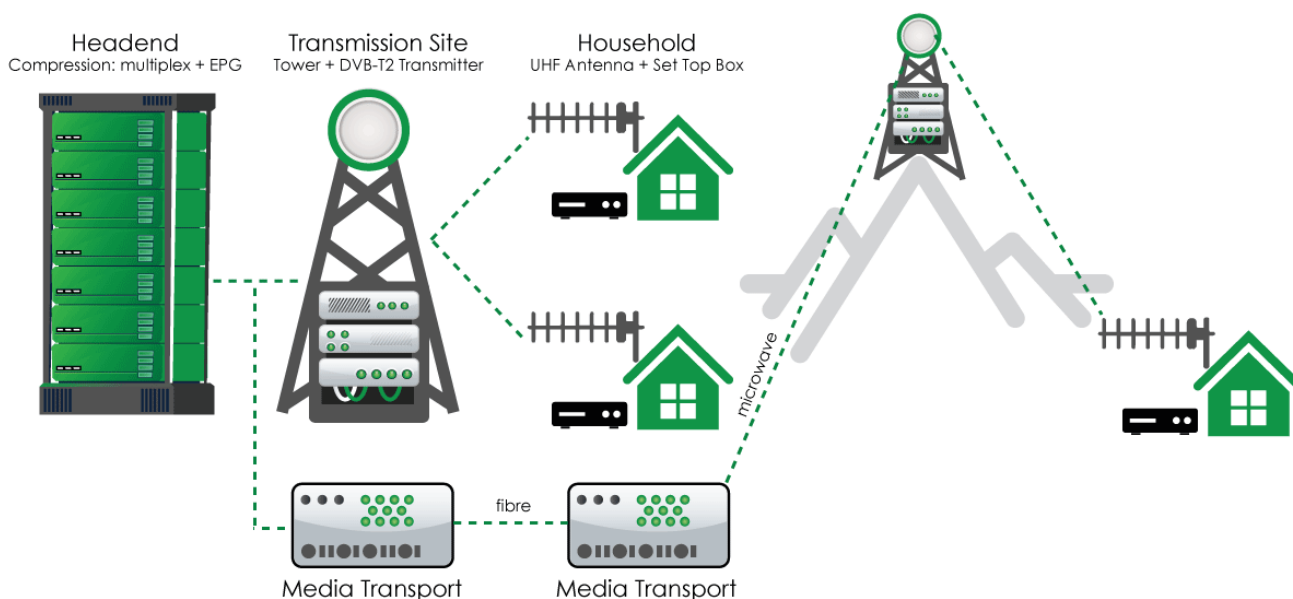
Standard 5G Broadcast by proto neměl být považován za přímého nástupce stávajícího vysílacího standardu DVB-T2, ale spíše jako komplementární technologie, která umožňuje distribuci video obsahu do mobilních přijímacích zařízení. Tento způsob využití se zásadně liší od tradiční distribuce lineárního obsahu a zůstává do jisté míry v experimentální fázi, kdy stále nejsou plně definovány cílové skupiny potenciálních uživatelů, a není zřejmé, kdo, kdy a jaký obsah bude přijímat. Tato nejasnost se promítá i do absence jasného obchodního modelu, který by ekonomicky opodstatnil rozšíření 5G Broadcastu.

Přechod na 5G není bez výzev, a to zejména v oblasti výkonu sítě, jejího pokrytí a zajištění dostatečné spolehlivosti. Tyto aspekty je nutné důkladně řešit, aby technologie 5G mohla v budoucnu skutečně převzít roli dominantního média pro distribuci obsahu. FeMBMS sice přináší některá inovativní řešení, která mohou tyto problémy mitigovat, jako například vysílání na rozsáhlé geografické oblasti s nízkými náklady a vysokou efektivitou, avšak jeho role v distribuci lineárního video obsahu zůstává spíše doplňková a nelze jej aktuálně považovat za plnohodnotnou náhradu.

3.5 Porovnání terestriálního a satelitního vysílání

3.5.1 Terestriální vysílání

Terestriální vysílání, známé také jako pozemní vysílání, je způsob přenosu televizního a rozhlasového signálu pomocí elektromagnetických vln vysílaných z pozemních vysílačů. Toto vysílání je stěžejní pro širokou distribuci informací a zábavy bez nutnosti použití kabelové infrastruktury nebo satelitního přenosu. V současné době se terestriální vysílání opírá o pokročilé technologie, které zajišťují efektivní, kvalitní a bezpečný přenos signálu.



Obrázek 12: Schéma terestriálního vysílání

Zdroj: <https://www.techtel.com.au/digital-terrestrial-tv-distribution>

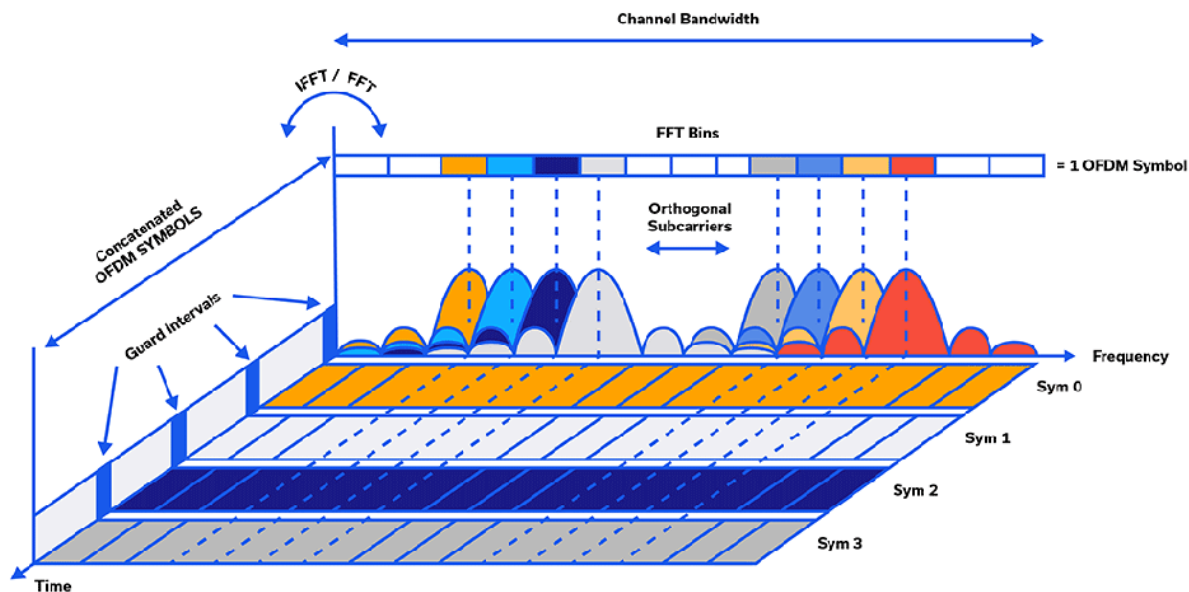
Tento diagram znázorňuje proces distribuce digitálního terestriálního televizního signálu (DTT). Proces začíná v headendu, kde jsou televizní kanály komprimovány, multiplexovány a přidávají se elektronické programové průvodce (EPG). Následně se signál přenáší pomocí optických vláken nebo mikrovlnných spojů na přenosové místo, kde se moduluje signál pro vysílání prostřednictvím vysílačů (DVB-T2). Z vysílače je signál vyslán do cílových domácností, které používají UHF antény a set-top boxy pro příjem signálu.

Technologické aspekty terestriálního vysílání

Moderní terestriální vysílání využívá několik technologií, které zlepšují jeho výkon a bezpečnost. Mezi nejvýznamnější patří Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) a Single Frequency Networks (SFN).

3.5.1.1 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

OFDM je pokročilá digitální modulační technika, která rozděluje datový tok na několik paralelních úzkopásmových kanálů nebo podnosných frekvencí. Tyto podnosné jsou ortogonální, což znamená, že jsou vzájemně nezávislé a neovlivňují se, i když se překrývají v frekvenční doméně.



Obrázek 13: Schéma OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Zdroj: <https://blog.minicircuits.com/the-basics-of-orthogonal-frequency-division-multiplexing-ofdm/>

Tento diagram ilustruje základní principy Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), technologie využívané v moderních bezdrátových komunikačních systémech, jako jsou 4G, 5G a Wi-Fi. Na obrázku vidíme, jak jsou jednotlivé subnosné (subcarriers) uspořádány ortogonálně, což znamená, že jejich vrcholy se nacházejí na nulových průsecích sousedních subnosných, čímž se minimalizuje interference.

OFDM pracuje na základě rychlé Fourierovy transformace (FFT), která převádí data mezi časovou a frekvenční doménou. Každý symbol OFDM je tvořen několika subnosnými, které mohou přenášet různé části datového toku paralelně. Tato ortogonální struktura umožňuje efektivní využití šířky pásma, protože subnosné se mohou částečně překrývat bez vzájemného rušení.

Diagram také ukazuje guard intervals, které jsou umístěny mezi jednotlivými symboly, aby se zabránilo problémům způsobeným multipath interferencí, což je situace, kdy signál dorazí k přijímači po několika různých cestách. Tento systém zajišťuje vysokou odolnost proti mezi-symbolové interferenci (ISI), což je hlavní výhodou OFDM oproti jiným technologiím.

Vlastnosti OFDM:

- Spektrální efektivita: OFDM maximalizuje využití dostupného frekvenčního spektra tím, že minimalizuje mezeru mezi jednotlivými podnosnými.
- Odolnost vůči vícecestnému šíření: V terestriálním prostředí se signál často odráží od budov, terénu a dalších překážek, což způsobuje vícecestné šíření. OFDM je navrženo tak, aby minimalizovalo dopady tohoto jevu, což vede k lepší kvalitě signálu.
- Flexibilita: OFDM umožňuje snadnou adaptaci na různé přenosové podmínky a je kompatibilní s různými šířkami pásma a přenosovými rychlostmi.

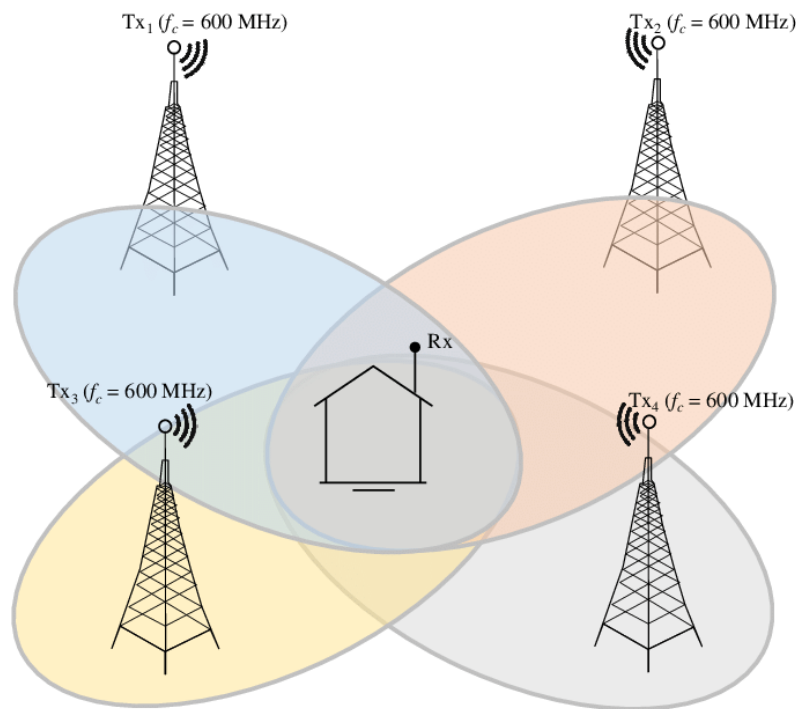
Role OFDM v zabezpečení přenosu:

- Odolnost vůči rušení: Díky své schopnosti rozložit data přes mnoho podnosných frekvencí je OFDM méně náchylné k rušení na jednotlivých frekvencích.
- Redundance dat: Rozdělením datového toku na více podnosných může OFDM zachovat integritu přenosu i v případě, že některé podnosné jsou ovlivněny rušením.

- Integrace bezpečnostních mechanismů: OFDM umožňuje implementaci pokročilých šifrovacích a autentizačních metod přímo na fyzické vrstvě přenosu.

3.5.1.2 Single Frequency Networks (SFN)

SFN je koncept, kde více vysílačů vysílá stejný signál na stejné frekvenci současně. To je opakem tradičních sítí, kde každý vysílač používá odlišné frekvence, aby se zabránilo interferenci mezi nimi.



Obrázek 14: Single Frequency Network (SFN) s čtyřmi vysílači

Zdroj: https://www.researchgate.net/figure/Single-Frequency-Network-SFN-constituted-by-four-transmitters-that-use-the-same-RF_fig1_324659350

Tento diagram ilustruje princip Single Frequency Network (SFN), kde čtyři vysílače (Tx1, Tx2, Tx3, Tx4) vysílají na stejné frekvenci (600 MHz) současně. Všechny vysílače jsou synchronizované a pokrývají překrývající se oblasti, což umožňuje přijímači (Rx) uvnitř oblasti pokrytí přijímat signál ze všech vysílačů současně.

SFN využívá jednu frekvenci pro více vysílačů, což optimalizuje využití spektra a zlepšuje kvalitu signálu na okrajích pokrytí díky kombinovaným signálům z více vysílačů. Tento koncept minimalizuje interference a zvyšuje efektivitu distribuce vysílání. Pokud jeden z vysílačů v síti selže, zbylé vysílače mohou nadále poskytovat stabilní signál, což zvyšuje odolnost sítě vůči výpadkům a technickým problémům.

Vlastnosti SFN:

- Efektivní využití spektra: Použitím jedné frekvence pro celé pokrytí sítě se optimalizuje využití dostupného frekvenčního spektra.
- Zlepšení pokrytí a kvality signálu: Signály z různých vysílačů se mohou vzájemně posilovat, což vede k lepšímu pokrytí a kvalitě signálu, zejména na okrajích oblastí pokrytí.
- Snížení interferencí: Synchronizace vysílačů minimalizuje problémy s interferencí mezi nimi.

Role SFN v zabezpečení přenosu:

- Odolnost vůči výpadkům: Pokud jeden vysílač selže nebo je napaden, ostatní vysílače v síti mohou nadále poskytovat signál, což zvyšuje celkovou spolehlivost.
- Složitější útok pro útočníky: Pro narušení celého vysílání by útočník musel současně napadnout více vysílačů, což je technicky náročnější.
- Redundance: SFN poskytuje přirozenou redundanci, která zvyšuje odolnost sítě vůči různým typům útoků a rušení.

3.5.1.3 Bezpečnostní výzvy

Terestriální vysílání čelí několika bezpečnostním výzvám, které mohou ovlivnit kvalitu a dostupnost služeb. Mezi hlavní problémy patří rušení a lokální útoky.

Rušení – Rušení je jedním z nejčastějších problémů, které ovlivňují kvalitu terestriálního vysílání.

- Může být způsobeno různými faktory:
 - Přírodní jevy: Atmosférické podmínky, jako jsou bouřky, sluneční erupce nebo geomagnetické bouře, mohou ovlivnit šíření elektromagnetických vln.
 - Lidská činnost: Neúmyslné rušení může vzniknout z elektronických zařízení, která vyzařují elektromagnetický šum, nebo z nesprávně nastavených vysílačů.
 - Záměrné rušení: Útočníci mohou záměrně vysílat signály na stejné frekvenci s cílem narušit přenos.
- Dopady rušení:
 - Zhoršení kvality signálu: Ztráta obrazu nebo zvuku, pixelizace, výpadky.
 - Snížení pokrytí: Uživatelé v určitých oblastech mohou ztratit přístup k vysílání.
 - Narušení služeb: Ovlivnění kritických informačních služeb, jako jsou nouzová hlášení.
- Opatření proti rušení:
 - Spektrální řízení: Monitorování a regulace používání frekvencí, aby se minimalizovalo neúmyslné rušení.
 - Technické řešení: Použití technologií jako OFDM a SFN, které jsou inherentně odolnější vůči rušení.
 - Školení a osvěta: Informování veřejnosti a techniků o správném používání zařízení a dodržování norem.
 - Právní opatření: Vymáhání zákonů proti záměrnému rušení, včetně pokut a trestního stíhání.

Lokální útoky – Lokální útoky jsou cílené akce, které mají za cíl narušit nebo převzít kontrolu nad vysíláním v určité oblasti. Mohou mít vážné dopady na bezpečnost a důvěru veřejnosti.

- Typy lokálních útoků:
 - Jamming (Rušení signálu): Útočník vysílá silný signál na stejné frekvenci, aby zablokoval originální vysílání.
 - Spoofing (Podvržení signálu): Vysílání falešného signálu s cílem oklamat příjemce a nahradit legitimní obsah.
 - Sabotáž infrastruktury: Fyzické poškození vysílačů, antén nebo přenosových cest.
- Dopady lokálních útoků:
 - Šíření dezinformací: Falešné zprávy mohou způsobit paniku nebo zmatení veřejnosti.
 - Bezpečnostní rizika: Narušení kritických komunikací, zejména v nouzových situacích.
 - Ekonomické ztráty: Náklady na opravu infrastruktury a ztráta příjmů z reklamy.
- Opatření proti lokálním útokům:
 - Technická ochrana:
 - Šifrování signálu: Implementace šifrovacích algoritmů, které zabrání neoprávněnému přístupu a modifikaci signálu.
 - Digitální podpisy: Ověření autenticity vysílaného obsahu pomocí kryptografických metod.
 - Autentizace zařízení: Použití bezpečnostních protokolů pro ověření legitimacy vysílačů a příjemců.
 - Fyzická bezpečnost:
 - Ochrana vysílacích zařízení: Instalace bezpečnostních systémů, kamer a alarmů na vysílačích a anténách.
 - Přístupové kontroly: Omezení fyzického přístupu k citlivým částem infrastruktury.
 - Monitorování a detekce:
 - Spektrální analýza: Neustálé sledování frekvenčního spektra pro detekci neobvyklých signálů nebo rušení.
 - Systémy včasného varování: Automatizované systémy, které upozorní na potenciální útoky nebo anomálie v signálu.
 - Právní a regulační opatření:
 - Spolupráce s bezpečnostními složkami: Rychlá reakce na incidenty a vyšetřování útoků.

- Mezinárodní spolupráce: Sdílení informací a postupů mezi zeměmi pro řešení přeshraničních hrozeb.

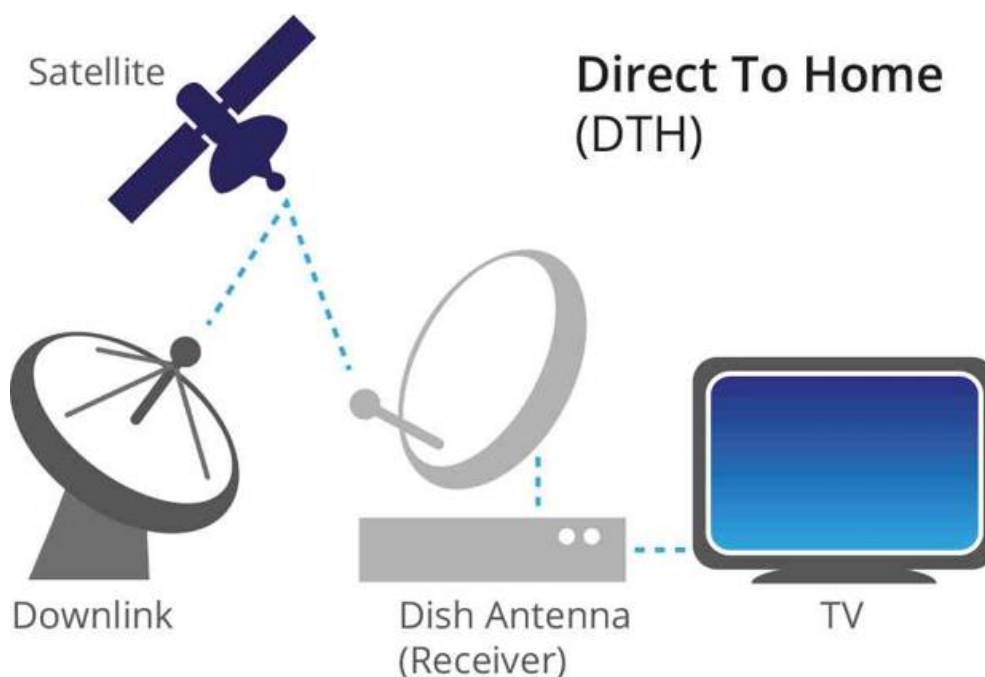
Terestriální vysílání zůstává důležitým médiem pro šíření informací a zábavy. Technologický pokrok, jako je zavedení OFDM a SFN, přináší významná zlepšení v efektivitě a bezpečnosti přenosu. Nicméně s těmito výhodami přicházejí i nové bezpečnostní výzvy.

Je nezbytné, aby poskytovatelé služeb, regulační orgány a další zainteresované strany spolupracovali na implementaci komplexních bezpečnostních opatření. Tato opatření by měla zahrnovat technická řešení, právní rámce a osvětu veřejnosti.

Zajištění bezpečnosti terestriálního vysílání je zásadní pro udržení důvěry veřejnosti a pro ochranu kritických komunikačních služeb. Pokračující investice do výzkumu a vývoje v oblasti bezpečnostních technologií, spolu s proaktivním přístupem k identifikaci a řešení hrozeb, jsou zásadní pro udržení integrity a dostupnosti terestriálního vysílání v budoucnosti.

3.5.2 Satelitní vysílání

Satelitní vysílání hraje podstatnou roli v globální komunikaci, poskytuje širokopásmový přístup k informacím a umožňuje přenos dat na velké vzdálenosti, často do odlehkých nebo obtížně dostupných oblastí. Tato technologie využívá umělých satelitů obíhajících kolem Země k přenosu signálů mezi pozemskými stanicemi. Satelity jsou umístěny na různých orbitálních drahách, přičemž nejčastěji se používají GEO (Geostationary Earth Orbit) a LEO (Low Earth Orbit) satelity.



Obrázek 15: Satelitní vysílání

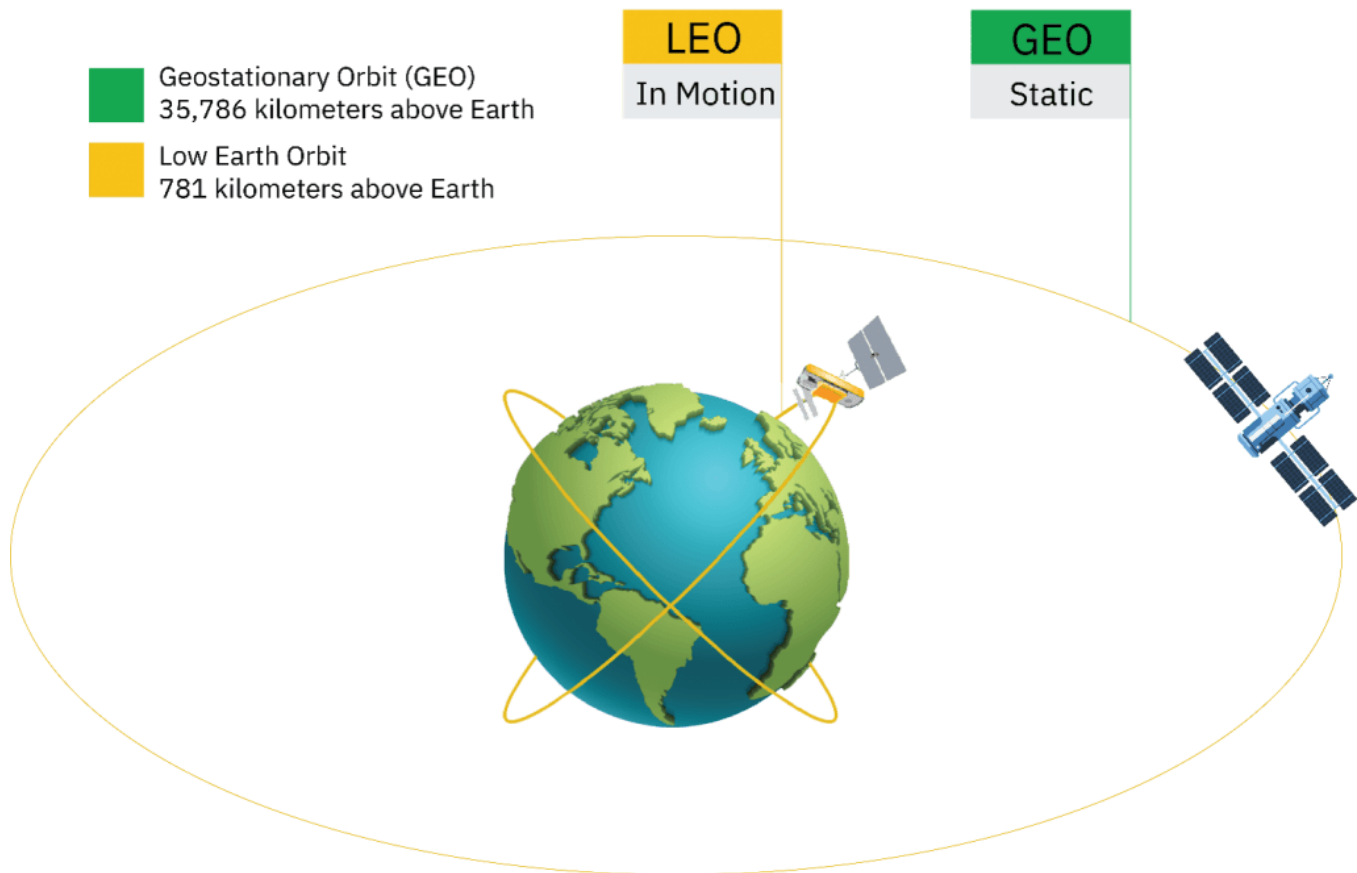
Zdroj: <https://www.orbofleet.com/satellite-broadcasting-market-meeting-the-demands-of-the-new-decade/>

Tento diagram znázorňuje základní proces satelitního vysílání, které je jednou z hlavních metod přenosu televizního a rozhlasového signálu na rozsáhlé geografické oblasti. Satelitní vysílání zahrnuje přenos signálu z satelitu na přijímací antény na zemi, což může být buď přímé doručení do domácností, známé jako Direct-to-Home (DTH), nebo přenos na retranslační stanice, které dále distribuují signál prostřednictvím pozemních nebo kabelových sítí

Signál je nejprve vyslán z pozemní vysílací stanice (uplink) na satelit, který se nachází na geostacionární oběžné dráze. Satelit tento signál zesílí a vrátí zpět na zem (downlink), kde je přijímán anténou. Tento signál může být zpracován přijímačem a následně zobrazen na televizní obrazovce.

3.5.2.1 GEO (Geostationary Earth Orbit)

Geostacionární satelity se nacházejí na orbitální dráze ve výšce přibližně 35 786 kilometrů nad rovníkem. V této výšce obíhají Zemí stejnou rychlostí, jakou se Země otáčí kolem své osy, což způsobuje, že se z pohledu pozorovatele na Zemi jeví jako stacionární.



Obrázek 16: Satelity na geostacionární (GEO) a nízké oběžné dráze (LEO)

Zdroj: <https://www.skytrac.ca/resources/magazine/skytrac-satcomseries-the-differences-strengths-and-weaknesses-of-leo-and-geo-satellites/>

Tento diagram znázorňuje rozdíly mezi geostacionárními satelity (GEO) a satelity na nízké oběžné dráze (LEO). Satelit na geostacionární dráze (GEO) se nachází ve výšce přibližně 35 786 kilometrů nad Zemí a zůstává statický vůči povrchu Země, což znamená, že z pohledu pozemního pozorovatele je na jednom místě. Tento typ satelitu je ideální pro dlouhodobou komunikaci, například pro televizní vysílání, protože poskytuje stálé pokrytí jedné oblasti.

Na druhé straně, satelit na nízké oběžné dráze (LEO) obíhá Zemi ve výšce kolem 784 kilometrů a je v neustálém pohybu vůči povrchu Země. LEO satelity mají menší latenci a jsou často využívány pro služby, které vyžadují rychlou odezvu, jako je internet nebo sledování a pozorování Země.

GEO satelity poskytují široké pokrytí, ale trpí vyšší latencí kvůli jejich vzdálenosti od Země, zatímco LEO satelity mají nižší latenci, ale vyžadují více satelitů pro zajištění nepřetržitého globálního pokrytí. Tyto dvě oběžné dráhy mají různé výhody a nevýhody v závislosti na účelu jejich využití.

Vlastnosti GEO satelitů

Geostacionární satelity (GEO) se vyznačují několika vlastnostmi, které je činí ideálními pro specifické komunikační účely. Díky své stacionární pozici na oběžné dráze poskytují stabilní a nepřetržité pokrytí určité oblasti na Zemi. Tato stálost znamená, že z pohledu pozemního pozorovatele se satelit jeví jako nehybný bod na obloze, což usnadňuje komunikaci bez nutnosti neustálého sledování jeho pohybu.

Jedním z nejvýznamnějších atributů GEO satelitů je jejich schopnost širokého pokrytí. Jeden takový satelit může pokrýt až třetinu zemského povrchu, což umožňuje globální komunikaci s použitím pouhých tří satelitů rozmístěných nad rovníkem. Toto rozsáhlé pokrytí je zvláště výhodné pro aplikace, které vyžadují přenos informací na velké vzdálenosti bez přerušení.

GEO satelity jsou také ideální pro různé formy vysílání. Jsou široce využívány pro televizní a rozhlasové vysílání, kde zajišťují distribuci signálů do domácností a podniků po celém světě. Kromě toho slouží meteorologickým službám pro sběr a přenos důležitých meteorologických dat, což je důležité pro předpovědi počasí a sledování klimatických jevů.

Použití v přenosu dat

V oblasti přenosu dat hrají GEO satelity zásadní roli. Poskytují signály pro satelitní televizi a rádio, což umožňuje divákům a posluchačům přijímat širokou škálu programů bez ohledu na jejich geografickou polohu. V telekomunikacích podporují mezinárodní hovory a datové služby, čímž usnadňují globální obchodní komunikaci a propojení mezi různými částmi světa. Dále poskytují internetový přístup v oblastech, kde je pozemní infrastruktura nedostatečná nebo neexistuje.

V meteorologii jsou GEO satelity nepostradatelné pro sběr a přenos meteorologických dat. Umožňují nepřetržité sledování atmosférických podmínek, což je zásadní pro přesné předpovědi počasí, včasné varování před extrémními povětrnostními jevy a pro výzkum klimatických změn.

Výhody GEO satelitů

Jednou z hlavních výhod GEO satelitů je stálá komunikace, kterou poskytují. Díky své pevné pozici vůči Zemi umožňují nepřetržité spojení s pevnými anténami, aniž by bylo nutné sledovat pohyb satelitu. To značně zjednodušuje design a provoz přijímacích zařízení a zvyšuje spolehlivost komunikace.

Další významnou výhodou je jejich široké pokrytí. GEO satelity jsou efektivní pro pokrytí velkých geografických oblastí, což je činí ideálními pro globální vysílání a komunikaci. Tato vlastnost umožňuje poskytovatelům služeb dosáhnout velkého počtu uživatelů s minimálním počtem satelitů, což je ekonomicky výhodné.

Nevýhody GEO satelitů

Navzdory svým výhodám mají GEO satelity i několik nevýhod. Jednou z nich je vysoká latence způsobená velkou vzdáleností, kterou musí signál urazit mezi Zemí a satelitem. Signál cestuje přibližně 35 786 kilometrů jedním směrem, což způsobuje zpoždění kolem 250 milisekund. Toto zpoždění může být problematické pro aplikace citlivé na čas, jako jsou interaktivní videokonference nebo online hry.

Dalším omezením jsou vysoké náklady spojené s vypuštěním a údržbou satelitů na vysokých orbitách. Proces vynesení satelitu na geostacionární dráhu je technicky náročný a finančně nákladný. Kromě toho je údržba těchto satelitů složitá, protože jakékoli opravy nebo aktualizace vyžadují buď drahé vesmírné mise, nebo jsou zcela nemožné.

GEO satelity také čelí výzvě slabšího signálu. Vzhledem k velké vzdálenosti od Země vyžadují výkonné vysílače na straně satelitu a citlivé přijímače na straně uživatele. To může zvýšit náklady na zařízení a energetické nároky, a tím i celkové provozní náklady systému.

3.5.2.2 LEO (Low Earth Orbit)

Nízké oběžné dráhy se nacházejí ve výšce 160 až 2 000 kilometrů nad zemským povrchem. Satelity v této výšce obíhají Zemi rychleji a z pohledu pozemního pozorovatele se pohybují po obloze.

Vlastnosti LEO satelitů

Satelity na nízké oběžné dráze Země (LEO) mají několik charakteristických vlastností, které je odlišují od satelitů na vyšších orbitách. Jednou z vlastností je jejich rychlý pohyb kolem Země; tyto satelity obíhají naši planetu za přibližně 90 až 120 minut. Tento rychlý oběh znamená, že z pohledu pozemského pozorovatele se satelity neustále pohybují po obloze, což vyžaduje dynamické sledování pro udržení spojení.

Dalším důležitým rysem je menší pokrytí jednotlivých LEO satelitů. Každý satelit pokrývá relativně malou oblast zemského povrchu, což znamená, že pro zajištění nepřetržitého globálního pokrytí je nutné mít konstelaci mnoha satelitů pracujících synchronně. Tato síť satelitů spolupracuje tak, aby poskytovala spojení kdekoli na Zemi.

Jednou z významných výhod LEO satelitů je nižší latence v komunikaci. Vzhledem k menší vzdálenosti mezi satelitem a Zemí je zpoždění signálu kratší, což umožňuje rychlejší přenos dat. Tato vlastnost je zvláště důležitá pro aplikace citlivé na čas, jako jsou videokonference, online hry nebo jiné interaktivní služby.

Použití v přenosu dat

LEO satelity nacházejí široké uplatnění v různých oblastech přenosu dat. Jedním z hlavních využití je satelitní internet, kde poskytují vysokorychlostní internetový přístup v odlehlých nebo špatně dostupných oblastech. Projekty jako Starlink od společnosti SpaceX jsou příkladem využití rozsáhlých konstelací LEO satelitů k dosažení globálního pokrytí internetem.

Další významnou oblastí je sledování a pozorování Země. LEO satelity jsou ideální pro monitoring životního prostředí, mapování a vědecký výzkum, protože jejich blízkost k Zemi umožňuje sběr dat s vysokým rozlišením. Tato data jsou nezbytná pro sledování klimatických změn, přírodních katastrof a dalších jevů ovlivňujících naši planetu.

V oblasti komunikace podporují LEO satelity mobilní a datové služby, včetně zařízení pro Internet věcí (IoT). Umožňují propojení zařízení na globální úrovni, což je stěžejní pro rozvoj chytrých měst, autonomních vozidel a dalších pokročilých technologií.

Výhody LEO satelitů

Mezi hlavní výhody LEO satelitů patří nízká latence, která umožňuje rychlejší komunikaci vhodnou pro interaktivní aplikace. To zlepšuje uživatelský zážitek a otevírá nové možnosti v oblasti telemedicíny, vzdálené práce a dalších oblastí vyžadujících okamžitou odezvu.

Další výhodou jsou nižší náklady na vypuštění. Díky menším rozměrům a hmotnosti mohou být LEO satelity vypuštěny s nižšími finančními náklady ve srovnání se satelity na vyšších oběžných drahách. To umožňuje rychlejší obnovu a modernizaci satelitních sítí.

Lepší signál je také významnou výhodou. Blízkost k Zemi znamená, že signál je silnější a méně ztrátový, což zlepšuje kvalitu přenosu a snižuje energetické nároky na vysílací zařízení.

Nevýhody LEO satelitů

Na druhé straně mají LEO satelity i své nevýhody. Jednou z nich je komplexita sítě. Nepřetržité globální pokrytí vyžaduje velký počet satelitů, což zvyšuje složitost řízení a koordinace celé sítě. Udržování synchronizace mezi satelity a zajištění plynulého přenosu dat představuje technickou výzvu.

Krátká životnost je dalším omezením. LEO satelity jsou vystaveny vyššímu opotřebením v důsledku působení atmosférického odporu a radiace, což vede k jejich rychlejšímu stárnutí. To znamená, že je nutné je častěji nahrazovat, což může zvyšovat dlouhodobé náklady na provoz sítě.

Kromě toho musí pozemní stanice neustále sledovat pohyb satelitů kvůli jejich rychlému oběhu kolem Země. Tento požadavek na neustálé sledování vyžaduje sofistikovanou technologii a může komplikovat provoz pozemní infrastruktury.

3.5.2.3 Výhody a nevýhody satelitního vysílání v kontextu bezpečnosti

Satelitní vysílání nabízí v oblasti bezpečnosti několik významných výhod. První z nich je globální pokrytí, které umožňuje poskytovat komunikační služby v oblastech bez existující infrastruktury. Díky tomu mohou být vzdálené nebo izolované regiony propojeny se zbytkem světa, což je nutné pro humanitární pomoc, nouzové situace nebo rozvojové projekty.

Další významnou výhodou je odolnost vůči pozemním katastrofám. Satelity, nacházející se mimo zemskou atmosféru, nejsou přímo ovlivněny pozemními událostmi, jako jsou zemětřesení, povodně či sopečné erupce. To zajišťuje nepřetržitou komunikaci i v případě, že pozemní infrastruktura byla zničena nebo poškozena, což je zásadní pro koordinaci záchranných a obnovovacích prací.

Satelitní technologie také umožňují širokopásmový přenos, tedy schopnost přenášet velké objemy dat na velké vzdálenosti. Tato kapacita je nezbytná pro moderní aplikace, jako je vysokorychlostní internet, přenos videa ve vysokém rozlišení nebo komplexní datové služby pro podniky a vládní instituce.

Nicméně satelitní vysílání má i své nevýhody z hlediska bezpečnosti. Jednou z nich je zranitelnost signálu. Satelitní signály mohou být během přenosu zachyceny nebo rušeny, což představuje riziko pro důvěrnost a integritu dat. Útočníci mohou využít techniky jako je odposlech, rušení (jamming) nebo podvržení signálu (spoofing), což vyžaduje implementaci pokročilých šifrovacích a autentizačních metod k ochraně komunikace.

Další nevyzvou jsou kybernetické hrozby. Satelity a jejich pozemní stanice mohou být cílem kybernetických útoků, které mohou narušit jejich funkčnost, získat neoprávněný přístup k systémům nebo odcizit citlivá data. Zabezpečení proti těmto útokům vyžaduje komplexní přístup zahrnující síťovou bezpečnost, kontrolu přístupu, pravidelné aktualizace softwaru a školení personálu.

Konečně, satelity čelí také fyzickým hrozbám. Mohou být ohroženy vesmírným odpadem, který může při kolizi způsobit vážné poškození nebo zničení satelitu. Navíc existuje riziko záměrných útoků, například použití anti-satelitních zbraní jinými státy nebo nevládními aktéry. Tyto hrozby vyžadují monitorování vesmírného prostředí, mezinárodní spolupráci při řízení vesmírného provozu a vývoj obranných technologií.

Celkově satelitní vysílání poskytuje nesmírné výhody v globální komunikaci a bezpečnosti, ale zároveň přináší specifické výzvy, které je nutné řešit prostřednictvím technických, organizačních a právních opatření.

3.5.2.4 Bezpečnostní výzvy satelitního vysílání

Satelitní vysílání čelí specifickým bezpečnostním výzvám, které vyplývají z povahy technologie a prostředí, ve kterém funguje. Vzhledem k tomu, že satelitní signály jsou šířeny přes široké geografické oblasti, stávají se zranitelnými vůči různým typům útoků a neoprávněným přístupům.

Jedním z hlavních problémů je zachytávání signálů. Signály vysílané satelity mohou být snadno odposlouchávány, protože jsou šířeny přes velké oblasti a mohou je zachytit i nepovolané subjekty. Bez adekvátního šifrování mohou útočníci dešifrovat tyto signály a získat citlivé informace, což představuje vážné riziko pro bezpečnost přenášených dat.

Další výzvou je rušení a jamming. Útočníci mohou vysílat signály na stejné frekvenci jako legitimní komunikace, aby narušili přenos a způsobili rušení signálu. Jamming představuje záměrné zahlcení frekvence silným signálem s cílem zablokovat komunikaci. Tyto útoky mohou vést k výpadkům služeb a narušení důležitých komunikačních kanálů.

Spoofing, neboli podvržení signálu, je další bezpečnostní hrozbou. Útočníci mohou vysílat falešné signály s cílem oklamat příjemce a získat neoprávněný přístup k systémům nebo šířit dezinformace. Tento typ útoku může mít závažné důsledky, zejména pokud ovlivňuje kritické infrastruktury nebo nouzové komunikační systémy.

Pro ochranu satelitních signálů před těmito hrozbami je nezbytné implementovat účinná bezpečnostní opatření. Šifrování komunikace je jedním z přístupů. End-to-end šifrování zajišťuje, že data jsou šifrována od vysílače až k příjemci, což znemožňuje útočníkům získat přístup k obsahu komunikace. Nasazení pokročilých šifrovacích algoritmů, jako je AES (Advanced Encryption Standard), zvyšuje úroveň zabezpečení a odolnost proti pokusům o dešifrování.

Autentizace a autorizace jsou dalšími důležitými prvky bezpečnosti. Použití digitálních certifikátů umožňuje ověřit identitu komunikujících stran a zajistit, že pouze oprávněné subjekty mají přístup k systému. Implementace bezpečnostních protokolů, jako jsou IPsec nebo TLS, přispívá k zabezpečení datových přenosů a ochraně před neoprávněným přístupem.

Detekce a prevence rušení je rovněž nezbytná pro udržení integrity satelitního vysílání. Spektrální monitorování umožňuje neustálé sledování frekvenčního spektra pro detekci anomálií nebo podezřelých aktivit. V případě detekce rušení může systém využít adaptivní frekvence, tedy schopnost měnit frekvence komunikace, aby se vyhnul interferenci a udržel kontinuitu služeb.

Fyzická ochrana satelitů je také důležitá. Satelity musí být konstruovány s odolností vůči radiaci a vesmírným podmínkám, aby vydržely extrémní prostředí, ve kterém fungují. Protiprovozní opatření zahrnují technologie pro detekci a reakci na fyzické útoky, jako jsou anti-satelitní zbraně. To může zahrnovat například manévrovací schopnosti satelitů nebo ochranné štíty.

Nakonec je nezbytná kybernetická bezpečnost pozemních stanic. Použití firewallů a antivirových systémů chrání pozemní infrastrukturu před kybernetickými útoky, které by mohly ohrozit komunikaci nebo umožnit neoprávněný přístup k systémům. Aktualizace a záplaty softwaru jsou nezbytné pro odstranění známých zranitelností a udržení vysoké úrovně zabezpečení.

Celkově satelitní vysílání vyžaduje komplexní přístup k bezpečnosti, který zahrnuje technická, organizační a fyzická opatření. Řešení těchto výzev je pro zajištění spolehlivosti a bezpečnosti komunikace na globální úrovni.

3.5.3 Porovnání bezpečnostních aspektů terestriálního a satelitního vysílání

Bezpečnost přenosu dat je prvkem jak v terestriálním, tak v satelitním vysílání. Obě technologie slouží k šíření informací, avšak liší se ve způsobech implementace šifrování, autentizace a v odolnosti vůči různým typům útoků. Následující srovnání se zaměřuje na tyto aspekty, aby objasnilo rozdíly a podobnosti mezi těmito dvěma technologiemi.

3.5.3.1 Šifrování a autentizace

V terestriálním vysílání je šifrování často realizováno pomocí standardu DVB (Digital Video Broadcasting), který využívá Common Scrambling Algorithm (CSA). CSA je symetrický šifrovací algoritmus navržený pro efektivní šifrování audiovizuálního obsahu v reálném čase. Autentizace uživatelů a zařízení v terestriálním vysílání se obvykle řeší prostřednictvím Conditional Access Systems (CAS). CAS umožňuje poskytovatelům služeb kontrolovat přístup k obsahu pomocí kódovacích a dekódovacích klíčů, často implementovaných prostřednictvím smart karet nebo modulů CI (Common Interface).

Na druhé straně satelitní vysílání, využívající standardy jako DVB-S a DVB-S2, implementuje pokročilejší šifrovací metody vzhledem k širšímu geografickému pokrytí a vyššímu riziku zachycení signálu. Advanced Encryption Standard (AES) je často používán pro svou vysokou úroveň bezpečnosti a schopnost odolat známým kryptografickým útokům. Autentizační protokoly v satelitním vysílání jsou také komplexnější a mohou zahrnovat Digital Rights Management (DRM) systémy pro správu a ochranu autorských práv k digitálnímu obsahu. DRM umožňuje detailní kontrolu nad tím, kdo a jak může obsah přehrávat, kopírovat nebo sdílet.

Rozdíly v šifrovacích metodách a autentizačních protokolech mezi terestriálním a satelitním vysíláním jsou dány především technickými omezeními a požadavky každé technologie. Terestriální vysílání, které je převážně jednosměrné a pokrývá menší oblasti, může využívat jednodušší šifrovací algoritmy bez výrazného dopadu na bezpečnost. Naproti tomu satelitní vysílání, které pokrývá globální oblasti a je náchylnější k zachycení signálu, vyžaduje silnější šifrovací algoritmy a komplexnější autentizační protokoly pro zajištění integrity a důvěrnosti přenášených dat.

3.5.3.2 Odolnost vůči útokům

Citlivost terestriálního a satelitního vysílání vůči různým typům útoků se výrazně liší vzhledem k odlišné povaze těchto technologií.

V případě terestriálního vysílání jsou fyzické útoky na infrastrukturu, jako jsou vysílače a antény, reálnou hrozbou. Tato zařízení jsou často umístěna na přístupných místech a mohou být cílem vandalizmu nebo sabotáže. Rušení signálu je dalším problémem, kdy útočník může záměrně vysílat na stejné frekvenci a způsobit interferenci, což vede k degradaci nebo úplné ztrátě signálu. Nicméně terestriální vysílání využívá technologie jako OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), která zvyšuje odolnost vůči vícecestnému šíření a rušení, a SFN (Single Frequency Networks), jež umožňuje synchronizované vysílání na stejné frekvenci z více vysílačů, čímž se zlepšuje pokrytí a odolnost vůči lokálním útokům.

Satelitní vysílání je méně náchylné k fyzickým útokům na samotné satelity, protože ty obíhají ve vysokých výškách nad Zemí. Avšak pozemské stanice a řídicí centra mohou být terčem fyzických i kybernetických útoků. Rušení satelitního signálu (jamming) je vážnou hrozbou, která může ovlivnit velké geografické oblasti. Vzhledem k tomu, že satelitní signál musí překonat velké vzdálenosti, je náchylnější k rušení a vyžaduje citlivé přijímače. DoS (Denial-of-Service) útoky mohou být prováděny prostřednictvím zahlcení komunikačních kanálů nebo útoků na síťovou infrastrukturu pozemských stanic. Satelitní systémy proto často implementují pokročilé detekční mechanismy a protokoly pro mitigaci těchto hrozeb, jako jsou spektrální monitorování a adaptivní frekvenční plánování.

Celkově je terestriální vysílání obecně méně citlivé na DoS útoky, protože jednosměrná povaha přenosu a absence nutnosti potvrzení od přijímače odesílateli omezuje možnosti útočníka. Satelitní vysílání, které může zahrnovat obousměrnou komunikaci, je vůči těmto útokům zranitelnější a vyžaduje sofistikovanější obranné mechanismy.

3.6 Hodnocení možností poskytování služeb FeMBMS v ČR

3.6.1 Současný stav vysílacích a mobilních sítí v ČR

Česká republika disponuje vyspělou infrastrukturou digitálního terestrického vysílání (DVB-T2) a postupně rozšiřujícími se 5G sítěmi. DVB-T2 je v současnosti nejrozšířenější platformou pro příjem televizního vysílání, kterou využívá přibližně 57,4 % českých domácností. Mobilní operátoři pokračují v budování 5G sítí, což vytváří vhodné podmínky pro integraci nových technologií, jako je FeMBMS.

3.6.2 Testování FeMBMS v České republice

Nasazení technologie FeMBMS v České republice probíhá v souvislosti s národními strategiemi pro správu rádiového spektra a výstavbou digitálních vysílacích sítí. České Radiokomunikace (ČRa) hrají významní roli při testování a implementaci 5G Broadcast technologie, která nabízí významné výhody oproti tradičním vysílacím technologiím.

V roce 2024 zahájily ČRa druhou fázi testování 5G Broadcast vysílání z pražských vysílačů Žižkov a Strahov. Testy probíhají v rámci jednofrekvenční sítě (SFN) a jejich cílem je optimalizace pokrytí signálem a zajištění kvalitního mobilního příjmu televizního vysílání. Vysílání probíhá na frekvenci 746 MHz (kanál 55) v pásmu 700 MHz, konkrétně v duplexní mezeře, což umožňuje efektivní využití spektra bez interferencí s dalšími službami. Výkon vysílače Žižkov je 32 kW a Strahov 2 kW. Oba vysílače, Žižkov a Strahov, používají vertikální polarizaci. To znamená, že elektromagnetické vlny vysílané těmito vysílači oscilují ve vertikální rovině, což je výhodné především v městských oblastech, kde signál potřebuje pronikat skrz budovy a jiné překážky. Vertikální polarizace zajišťuje lepší pokrytí v hustě osídlených místech, protože umožňuje stabilnější příjem signálu v pohybu, například u mobilních zařízení, která jsou často vybavena anténami optimalizovanými právě pro vertikální polarizaci. Tento typ polarizace také minimalizuje rušení s jinými vysílacími službami, které mohou používat horizontální polarizaci.



Obrázek 17: Mapa pokrytí vysílačů Praha – Strahov a Praha – Žižkov pro testování 5G Broadcast

Zdroj: <https://i-day.cz/admin/fileGet.aspx?f=ilzbgpsos>

Na mapě je znázorněna oblast Prahy s umístěním dvou vysílačů, které se podílí na testování technologie 5G Broadcast. Vysílače se nachází v lokalitách Strahov a Žižkov, přičemž vzdálenost mezi nimi je přibližně 5,4 km. Vysílač na Strahově je zobrazen vlevo a Žižkovský televizní vysílač vpravo. Tyto vysílače jsou zapojeny do jednofrekvenční sítě (SFN) a slouží k testování pokrytí signálem a kvality vysílání v městských oblastech.

Cílem těchto testů je získání praktických zkušeností s provozem a optimalizací technologie, která by umožnila široké využití 5G Broadcast pro šíření televizního obsahu na mobilní zařízení, jako jsou telefony a tablety. Tato technologie je nejen ekonomicky výhodnější, ale také šetrnější k životnímu prostředí než tradiční technologie, protože nevyžaduje použití mobilních datových sítí pro příjem vysílání.

3.6.2.1 Další kroky a výhled do budoucna

České Radiokomunikace pokračují ve vývoji digitálního vysílání nejen v oblasti televizního, ale také rozhlasového vysílání. Příkladem je zahájení rozvoje sítí DAB+ (digitální rozhlas), kde byly v roce 2024 dokončeny aukce kmitočtů pro dvě celoplošné a 27 regionálních sítí. Celoplošnou síť „B“ získala společnost CDG (Czech Digital Group), která je dceřinou společností ČRa. Aukční výsledky přinesly výnosy ve výši 80 milionů Kč, z nichž CDG získala kmitočty za 26,35 milionu Kč.

Investice do výstavby těchto digitálních sítí však výrazně převýší náklady na aukce kmitočtů. Očekává se, že pokrytí celoplošné sítě dosáhne 50 % obyvatel a dálnic do konce roku 2025 a 80 % do konce prvního čtvrtletí roku 2026. Regionální sítě pak mají být rozšířeny na 40 % obyvatel příslušných regionů do roku 2026 a 70 % do roku 2028.

3.6.2.2 Mezinárodní spolupráce a rozvoj

Česká republika není jedinou zemí, kde probíhá testování 5G Broadcast technologie. Podobné testy probíhají také v Německu, Rakousku a Itálii, kde jsou rovněž realizovány pilotní projekty zaměřené na využití této technologie.

Technologie 5G Broadcast má potenciál výrazně ovlivnit způsob, jakým je televizní obsah distribuován, zejména v kombinaci s hybridními technologiemi, jako je HbbTV, které umožňují interaktivní prvky a cílenou reklamu. V České republice zůstává digitální terestrické vysílání (DTT) dominantní platformou, kterou využívá více než 57 % domácností. S přechodem na DVB-T2 a zavedením dalších interaktivních služeb se ČRa profilují jako lídr v oblasti digitálního vysílání a inovací.

Implementace technologie FeMBMS představuje pro Českou republiku vhodnou příležitost pro modernizaci televizního a rozhlasového vysílání, zejména v kontextu 5G sítí. V této kapitole se zaměříme na hodnocení současných možností poskytování služeb FeMBMS v ČR, s ohledem na nedávné testování, identifikované výzvy a perspektivy budoucího rozvoje.

3.6.2.3 Výsledek testování a identifikované výzvy

Testování přineslo cenné poznatky, ale také odhalilo technické výzvy. Jednou z hlavních překážek bylo problémové dekódování tzv. Cell Acquisition Subframe (CAS) v rámci SFN. Tento systémový problém souvisí s využíváním různých numerologií (starší LTE numerologie s 15 kHz SCS pro CAS a novější pro MBSFN podrámce). CRA spolupracují s mezinárodními partnery na řešení této komplikace.

Dalším zjištěním bylo, že kvalita signálu a pokrytí nesplynily s původní očekáváním, což vyžaduje další optimalizaci vysílacích parametrů a konfigurací sítě.

3.6.3 Perspektivy a plánovaný rozvoj FeMBMS v ČR

I přes identifikované výzvy je potenciál FeMBMS v České republice významný. CRA plánují pokračovat v testování a vývoji technologie s cílem připravit ji pro komerční nasazení v horizontu několika let, s možným zavedením do provozu kolem roku 2027.

Oblasti rozvoje zahrnují:

- **Řešení technických obtíží:** Pokračující práce na odstranění problémů s vysíláním v rámci SFN a optimalizace síťové architektury.
- **Integrace s internetem:** Vývoj aplikací propojujících 5G Broadcast s internetovými službami, například implementace funkcionalit podobných HbbTV ("červené tlačítko") v mobilních zařízeních.
- **Dostupnost kompatibilních zařízení:** Spolupráce s výrobci čipů a mobilních zařízení, jako je Qualcomm, pro zajištění podpory FeMBMS v nových modelech smartphonů a tabletů.
- **Obchodní modely:** Identifikace udržitelných obchodních strategií, včetně možností monetizace služeb, poskytování obsahu při sportovních či kulturních událostech a využití pro výrobu obsahu.

3.6.4 Potenciální přínosy a výhody FeMBMS v ČR

Implementace FeMBMS přináší řadu významných výhod pro Českou republiku. Jedním z hlavních přínosů je zajištění nezávislosti na mobilních sítích. Díky této technologii mohou uživatelé přijímat lineární televizní a rozhlasové vysílání přímo, aniž by potřebovali přístup k mobilním datům nebo SIM kartě. To nejen odlehčuje zatížení mobilních sítí, ale také eliminuje spotřebu datových limitů pro uživatele.

Další výhodou je vysoká škálovatelnost systému. Neomezený počet diváků může současně sledovat vysílání, aniž by to mělo negativní vliv na kvalitu poskytovaných služeb. Tato vlastnost je důležitá v době vysoké poptávky po multimediálním obsahu, kdy tradiční sítě mohou být přetíženy.

V krizových situacích se FeMBMS ukazuje jako spolehlivější než tradiční mobilní sítě. Vysílání z vysokovýkonných vysílačů je méně náchylné k výpadkům způsobeným přetížením nebo poškozením infrastruktury. To zajišťuje kontinuální přístup k důležitým informacím pro obyvatelstvo během mimořádných událostí.

3.6.5 Výzvy a omezení implementace FeMBMS v ČR

Ačkoli FeMBMS nabízí mnoho výhod, jeho zavedení v České republice přináší také několik výzev. Jednou z hlavních je potřeba nových zařízení, protože současné mobilní telefony a tablety nedokážou přijímat signál FeMBMS. Uživatelé by si tedy museli pořídit nové kompatibilní přístroje.

Dalším problémem jsou technické komplikace. Řešení otázek spojených s vysíláním v jednofrekvenčních sítích (SFN) a integrací různých numerologií vyžaduje další výzkum a vývoj. Tyto technické výzvy mohou prodloužit dobu potřebnou k plné implementaci a vyžadují specializované odborné znalosti.

Regulační aspekty hrají také důležitou roli. Je nutné získat potřebné licence ohledně využití frekvenčního spektra. K tomu je třeba dodržovat mezinárodní standardy stanovené organizacemi jako 3GPP a ETSI.

Finanční náklady na implementaci FeMBMS mohou být značné a představují významnou výzvu. Investice do nové infrastruktury a vývoje vyžadují důkladné plánování a efektivní alokaci zdrojů. K pokrytí těchto výdajů a zajištění úspěšného zavedení technologie FeMBMS v České republice může být nezbytná podpora ze strany státu nebo využití evropských fondů.

4 Legislativa 5G Broadcastu

4.1 Směrnice EU o audiovizuálním obsahu

Směrnice o audiovizuálních mediálních službách (AVMSD) je nejdůležitějším legislativním nástrojem Evropské unie, který upravuje poskytování audiovizuálních obsahů napříč členskými státy. Směrnice byla původně přijata v roce 2010 jako směrnice 2010/13/EU a následně významně aktualizována směrnicí (EU) 2018/1808, aby reflektovala rychle se měnící prostředí digitálních médií a technologických inovací. Cílem této směrnice je zajistit jednotný trh pro audiovizuální služby v rámci EU a podpořit kulturní rozmanitost, ochranu spotřebitelů a zvláště nezletilých osob.

4.1.1 Definice Audiovizuální mediální služby

Audiovizuální mediální služby jsou definovány podle souboru kumulativních kritérií: obvykle poskytované za úplatu; poskytovat pořady v rámci redakční odpovědnosti poskytovatele (tj. určuje výběr obsahu a jeho organizaci); informovat, bavit a vzdělávat širokou veřejnost; prostřednictvím sítí elektronických komunikací.

Audiovizuální mediální služby mohou být lineární televizní vysílání (pro současné sledování pořadů na základě programového schématu) nebo nelineární/na vyžádání (pro sledování v okamžiku zvoleném uživatelem a na jeho individuální žádost na základě katalogu).

4.1.2 Hlavní body směrnice

Směrnice AVMSD zahrnuje jak tradiční televizní vysílání, tak audiovizuální služby na vyžádání (Video-on-Demand, VoD). Základní principy směrnice lze rozdělit do několika oblastí:

- **Koordinace právních předpisů:** Směrnice zajišťuje minimální harmonizaci právních předpisů v oblasti audiovizuálních mediálních služeb. Členské státy EU jsou povinny implementovat tuto směrnici do svých právních systémů a zajistit, že audiovizuální obsah poskytovaný na jejich území splňuje společné standardy ochrany spotřebitelů a poskytování obsahu.
- **Svoboda příjmu a přeshraniční přenosy:** Členské státy musí respektovat princip svobody příjmu, což znamená, že audiovizuální obsah legálně vysílaný z jednoho členského státu musí být volně dostupný v dalších státech EU. Nicméně existují situace, kdy členské státy mohou dočasně omezit šíření určitého obsahu, pokud ten porušuje jejich vnitrostátní právní předpisy, např. v oblasti ochrany nezletilých či prevence nenávistných projevů.
- **Ochrana nezletilých a spotřebitelů:** Směrnice klade důraz na ochranu nezletilých před škodlivým obsahem. Audiovizuální služby musí zavést opatření, jako je ověření věku a stanovení časových limitů vysílání pro obsah, který by mohl negativně ovlivnit fyzický, duševní nebo mravní vývoj nezletilých. Zvláštní pozornost je věnována online platformám pro sdílení videí, které musí přijmout přísnější opatření k ochraně dětí před nevhodným obsahem.
- **Podpora evropských děl:** Směrnice zavádí kvóty pro audiovizuální služby na vyžádání, které musí zajistit, aby alespoň 30 % jejich katalogu tvořila evropská díla. Dále jsou tyto služby povinny zajistit viditelnost a propagaci evropských děl, čímž se podporuje kulturní rozmanitost a posiluje postavení evropské produkce na digitálním trhu.
- **Regulace audiovizuální reklamy:** Reklama v audiovizuálních službách musí být snadno rozpoznatelná a nesmí podporovat diskriminaci, ohrožovat lidskou důstojnost, ani propagovat chování nebezpečné pro zdraví či životní prostředí. Směrnice také stanovuje přísná pravidla pro reklamy zaměřené na nezletilé, zejména v souvislosti s propagací potravin s vysokým obsahem tuku, soli či cukru.
- **Nenávistné projevy a terorismus:** Audiovizuální služby nesmí obsahovat obsah podněcující k násilí, nenávisti nebo terorismu. Tato ustanovení jsou v souladu s Listinou základních práv Evropské unie a mají za cíl chránit veřejnost před nebezpečným a extremistickým obsahem.

- **Dostupnost služeb pro osoby se zdravotním postižením:** Směrnice vyžaduje, aby poskytovatelé audiovizuálních mediálních služeb postupně zpřístupnili své služby osobám se zdravotním postižením. To zahrnuje například přístupnost nouzových informací nebo podporu ve vývoji plánů na zvýšení přístupnosti.

4.1.3 Aktualizace

Směrnice byla poslední aktualizací doplněna o řadu nových ustanovení, která se vztahují na poskytovatele platforem pro sdílení videí, jako je YouTube, aby zlepšila ochranu nezletilých a veřejnosti před škodlivým obsahem. Členské státy měly povinnost implementovat směrnici do svých právních předpisů do září 2020, avšak implementace probíhala i po tomto datu. Hlavní novinky ze Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1808:

- Rozšíření působnosti na platformy pro sdílení videí – Platformy jako YouTube a sociální sítě nyní spadají pod pravidla směrnice.
- Zvýšená ochrana nezletilých – Přísnější opatření pro kontrolu přístupu nezletilých k škodlivému obsahu, včetně povinného věkového ověřování.
- Boj proti nenávisným projevům – Zavedení opatření proti obsahu podněčujícímu k násilí, nenávisti nebo terorismu.
- Flexibilita v umísťování reklamy – Zvýšená flexibilita v pravidlech pro reklamy, včetně omezení na 20 % denního vysílacího času.
- Podpora evropských děl – Poskytovatelé VoD služeb musí zajistit, že alespoň 30 % jejich obsahu tvoří evropská díla.
- Dostupnost pro osoby se zdravotním postižením – Poskytovatelé mají povinnost zvyšovat přístupnost audiovizuálního obsahu.

Směrnice o audiovizuálním obsahu tedy nejen sjednocuje právní rámec poskytování audiovizuálních služeb v Evropě, ale také reflektuje technologické inovace, jako jsou digitální platformy, a posiluje pravidla pro ochranu spotřebitelů a kulturní diverzitu.

4.2 Úloha ETSI v oblasti telekomunikačních standardů

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) je evropská nezávislá organizace pro standardizaci v oblasti telekomunikací, informačních technologií a dalších komunikačních služeb. ETSI vytváří mezinárodně uznávané technické standardy, které pokrývají širokou škálu oblastí, jako jsou mobilní a bezdrátové sítě, internet věcí (IoT), kybernetická bezpečnost, umělá inteligence a mnoho dalších technologií. Hlavním cílem ETSI je zajistit interoperabilitu mezi zařízeními a systémy, zvyšovat efektivitu, kvalitu služeb a podporovat inovace v rychle se rozvíjejícím digitálním prostředí.

V kontextu 5G technologií ETSI hraje významnou roli při definování standardů, které umožňují poskytovatelům vysílacích služeb (broadcasterům) využívat možnosti 5G sítí pro šíření lineárního televizního a rozhlasového vysílání. ETSI vytváří technické specifikace, které nastavují základní parametry pro implementaci a provoz 5G Broadcast systémů. Tyto standardy podporují efektivní nasazení 5G Broadcast služeb v praxi a zajišťují, že různí výrobci a poskytovatelé mohou vytvářet interoperabilní systémy, které splňují technické požadavky pro moderní vysílání v síti 5G.

4.2.1 ETSI TS 103 720 – Technická specifikace pro LTE-based 5G Broadcast systém

Dokument představuje jednu z technických specifikací ETSI pro 5G Broadcast systémy. Tento technický standard definuje architekturu a implementační profily pro LTE-based 5G Broadcast systém, který je navržen pro poskytování lineárních televizních a rozhlasových služeb prostřednictvím sítí 5G.

Nejpodstatnější prvky systému definované ve specifikaci:

- **Podpora Free-to-Air (FTA) vysílání:** Tento systém poskytuje volně dostupné televizní a rozhlasové vysílání, které nevyžaduje předplatné od operátorů mobilních sítí.
- **Režim pouze příjem (Receive-Only Mode – ROM):** Zařízení mohou přijímat vysílání bez nutnosti zpětné komunikace s mobilní sítí. To je obzvláště užitečné pro zařízení, která jsou určena výhradně pro příjem vysílání, jako jsou televizory nebo rádiové přijímače.

- **Nasazení v režimu Single Frequency Network (SFN):** Tento systém podporuje SFN nasazení s velkými vzdálenostmi mezi vysílacími body (ISD > 100 km). To zajišťuje efektivnější pokrytí velkých území, což je důležité pro vysílání lineární televize nebo rádia, zejména v méně osídlených oblastech.
- **Podpora mobility:** Systém je navržen pro podporu mobilních scénářů, včetně příjmu vysílání při rychlostech až 250 km/h, což ho činí vhodným například pro rychle jedoucí automobily s vnějšími anténami.
- **Podpora standardních formátů pro streamování:** Specifikace zahrnuje podporu pro běžné formáty streamování, jako jsou **Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH)**, **HTTP Live Streaming (HLS)** a **Common Media Application Format (CMAF)**. Díky tomu je zajištěna flexibilita v poskytování obsahu a optimalizace kvality vysílání podle dostupné šířky pásma.
- **Kombinace unicast a broadcast metod:** 5G Broadcast systém podporuje hybridní přístup, který kombinuje unicastové a broadcastové metody doručování obsahu. To znamená, že služby mohou být poskytovány jak jednosměrným (broadcast), tak obousměrným (unicast) přenosem.
- **Nouzová oznámení a veřejné výstrahy:** Specifikace zahrnuje podporu pro Public Warning Systems (PWS), které šíří nouzová oznámení prostřednictvím broadcast systémů, například využitím služeb Cell Broadcast pro výstrahy při přírodních katastrofách.
- **Interoperabilita s IPTV a dalšími IP-based službami:** Systém je navržen pro podporu IP služeb, jako je IPTV nebo multicastové doručování obsahu, což vysílacím provozovatelům a telekomunikačním operátorům dává možnost integrovat 5G Broadcast s různými digitálními platformami.

4.2.1.1 Architektura a nasazení 5G Broadcast systémů

Technická specifikace **ETSI TS 103 720** rovněž popisuje referenční architekturu systému. Architektura zahrnuje:

- **Poskytovatele televizních a rozhlasových obsahových služeb** (TV/Radio Content Service Provider), který provozuje "head-end" pro poskytování lineárních televizních a rozhlasových služeb.
- **Aplikace pro TV a rádio** (Broadcast TV/Radio Service Application) na uživatelských zařízeních, která komunikuje s broadcast přijímačem prostřednictvím API.
- **Broadcast systém provozovatele** (Broadcast System Operator), který spravuje 5G Broadcast vysílače a infrastrukturu (ETSI-TS-103-720-V1-2-1-...).

4.3 Role 3GPP v tvorbě telekomunikačních standardů

3GPP (3rd Generation Partnership Project) je mezinárodní spolupráce mezi šesti regionálními standardizačními organizacemi, vzniklá v roce 1998. Jejím hlavním cílem je vytvářet globální telekomunikační standardy pro zajištění interoperability mobilních sítí a technologií na celosvětové úrovni. 3GPP se zabývá tvorbou specifikací pro mobilní komunikační systémy, včetně technologií 3G (UMTS), 4G (LTE) a 5G.

Organizace 3GPP sehrává zásadní úlohu v rozvoji moderních telekomunikačních sítí, od rádiové vrstvy až po základní infrastrukturu a aplikace. Jejím cílem je realizovat nejen vysokorychlostní datové přenosy, ale také efektivní hlasové služby, bezpečný přenos dat a podporu nových technologií, jako je internet věcí (IoT) a autonomní systémy.

4.3.1 Hlavní úkoly a cíle 3GPP

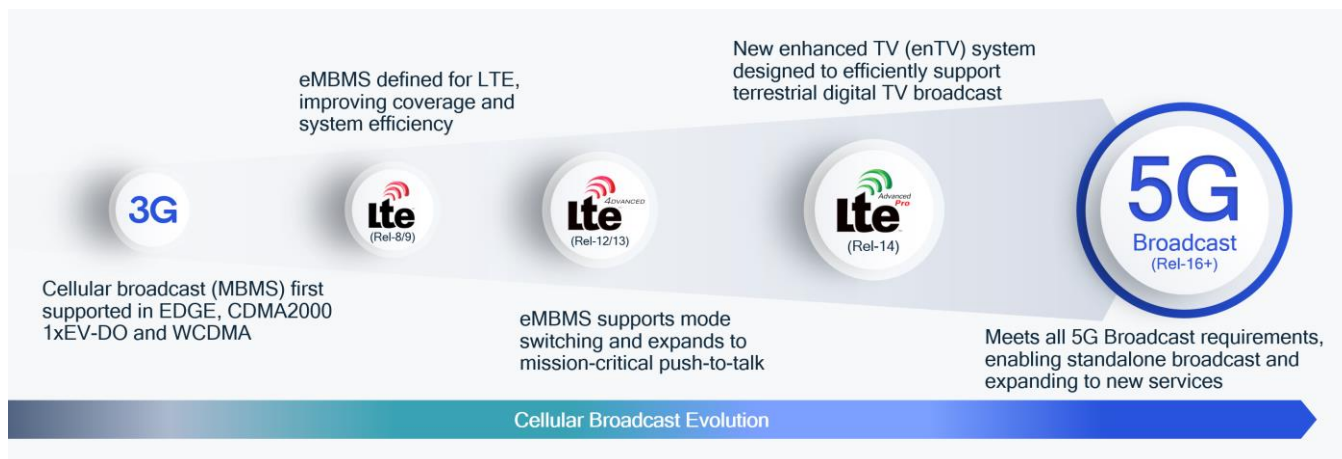
3GPP vytváří technické specifikace pro mobilní technologie, které jsou zásadní pro globální komunikační ekosystém. Cílem je dosáhnout kompatibility a interoperability různých zařízení, sítí a služeb, čímž se podporuje jejich celosvětové nasazení.

- **Standardizace mobilních sítí:** 3GPP vytváří jednotný rámec pro vývoj mobilních komunikačních systémů, zahrnující rádiové přístupové technologie, sítě a aplikační vrstvy. Tento rámec pokrývá nejen 3G a 4G technologie, ale především současný vývoj 5G, který přináší nové možnosti, jako je vysoká rychlost, nízká latence a podpora miliard připojených zařízení včetně IoT.
- **Podpora inovací a nových služeb:** 3GPP neustále rozšiřuje své standardy s cílem podpořit nové technologie a aplikace, jako jsou internet věcí (IoT), autonomní systémy, chytrá města a průmyslové aplikace. Standardy jsou navrženy tak, aby byly flexibilní a přizpůsobitelné dalšímu technologickému vývoji.
- **Globální interoperabilita:** Díky 3GPP jsou mobilní zařízení a sítě různých výrobců kompatibilní napříč zeměmi a kontinenty, takže globální roaming a sjednocené poskytování služeb je možné v různých regionech světa.

- Zabezpečení a ochrana soukromí: 3GPP se rovněž zaměřuje na vytváření silných bezpečnostních opatření v mobilních sítích. Tyto specifikace poskytují ochranu uživatelských dat a bezpečný přenos informací. Tyto aspekty jsou nezbytné zejména v současném prostředí rostoucích kybernetických hrozeb.

4.3.2 Vývoj 5G Broadcast v rámci 3GPP Release

3GPP hraje roli ve vývoji standardů pro 5G Broadcast, známý také jako FeMBMS (Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service). Vývoj této technologie probíhá prostřednictvím postupných verzí (Releases) specifikací 3GPP, které postupně přidávají nové funkce a vylepšení pro podporu 5G Broadcast služeb.



Obrázek 18: Vývoj Broadcast od 3G po 5G v 3GPP vydáních

Zdroj: https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/images/blog/managed-images/image_1_20.png

Tento obrázek ilustruje vývoj technologie Cellular Broadcast, která procházela několika fázemi a 3GPP vydáními (releases) od 3G po 5G, přičemž každé vydání přineslo nová vylepšení a rozšíření možností.

4.3.2.1 Release 14

- Zavedení FeMBMS: Release 14, dokončený v roce 2017, představil koncept FeMBMS jako evoluci předchozího eMBMS používaného v LTE sítích. FeMBMS zajišťuje vysílání multimediálního obsahu k velkému počtu uživatelů současně prostřednictvím mobilních sítí.
- Rozšíření pokrytí a efektivity: V Release 14 byla zavedena podpora pro velké oblasti pokrytí s možností využití Single Frequency Network (SFN), které synchronizuje vysílání z více vysílačů na stejné frekvenci. Prodloužení délky cyklického prefixu (CP) až na 200 μ s dovoluje pokrytí větších geografických oblastí.
- Release 14 přinesl významná vylepšení v oblasti LTE-Advanced Pro. Patří mezi ně enhanced LAA (eLAA), které rozšiřuje využití nelicencovaného spektra díky podpoře uplinku, což umožňuje efektivnější využití dostupných frekvencí. Další vylepšení zahrnuje enhanced LWA (eLWA), které přidává uplink přes WLAN a podporu pro pásmo 60 GHz. V2V (vehicular-to-vehicular) komunikace umožňuje přímou komunikaci mezi vozidly, což podporuje vývoj autonomních systémů. Vylepšení latence, zkrácení TTI a nový Light Connection mezistav v RRC optimalizují přechody mezi aktivními a neaktivními stavy a zlepšují efektivitu při malých datových přenosech. Multi-connectivity pak přidává podporu pro více rádiových spojení na jednoho uživatele, zvyšuje spolehlivost a kapacitu sítě.

4.3.2.2 Release 16

- Vylepšení FeMBMS: Release 16, dokončený v roce 2020, přinesl další vylepšení technologie FeMBMS. Byly zavedeny nové funkce pro zlepšení efektivity spektra a kvality služeb, včetně podpory vyšších modulačních schémata a kódovacích technik.
- Receive Only Mode (ROM): Jednou z funkcí bylo zavedení režimu pouze pro příjem (ROM), který zajišťuje, že zařízení mohou přijímat vysílání bez potřeby odesílat zpětné signály do sítě. To je důležité pro úsporu energie a dovoluje přijímat vysílání bez nutnosti přihlášení do sítě nebo použití SIM karty.

4.3.2.3 Release 17

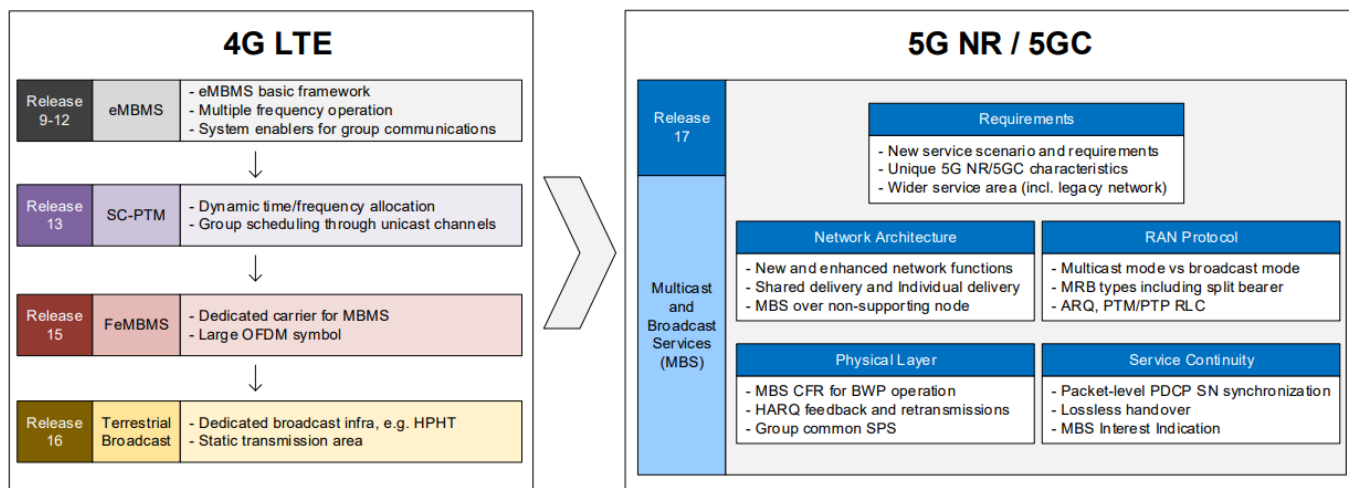
- Další optimalizace 5G Broadcast: Release 17, dokončený v roce 2022, přinesl další vylepšení 5G Broadcast. Byly zavedeny nové numerologie a rozšířena podpora pro širší škálu frekvenčních pásem. Zlepšena byla také podpora pro pohybující se přijímače (např. v automobilech) a optimalizace pro energetickou účinnost.
- Podpora pro nové služby: Release 17 zahrnuje podporu pro nové typy služeb, jako je vysílání softwarových aktualizací pro vozidla, veřejné informační služby a podpora pro kritické komunikační aplikace.
- Architektura a mobilita: Release 17 také zdůraznil potřebu dynamického přepínání mezi režimy Point-to-Multipoint (PTM) a Point-to-Point (PTP), což zlepšuje spolehlivost přenosu. Byly zavedeny pokročilé mechanismy zpětné vazby, jako je HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) a podpora pro bezchybné předávání mezi základnovými stanicemi.

Na obrázku níže je znázorněna komplexní architektura 5G Broadcast/Multicast (MBS), která byla vyvinuta jako součást 3GPP Release 17. Tento obrázek ilustruje, jakým způsobem se technologie vyvinula z předchozích verzí LTE a zahrnuje klíčové aspekty 5G MBS, které byly postupně vylepšeny. Architektura reflektuje zapojení základnových stanic (eNB), jádra sítě (Core Network), a to jak pro unicast, tak multicast a broadcast služby.

Mezi vlastnosti standardizovaného 5G MBS patří mechanismus pro skupinové plánování, díky kterému mohou uživatelská zařízení (UE) přijímat MBS služby, a to i během současného unicastového příjmu. Dále je podporována dodávka obsahu v 5G jádru (5GC) prostřednictvím sdíleného doručení, což zvyšuje efektivitu šíření obsahu. Spolehlivost doručování je zajištěna dynamickými změnami mezi Point-to-Multipoint (PTM) a Point-to-Point (PTP) doručením, včetně podpory mechanismů jako jsou Automatic Repeat Request (ARQ) a Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ), což zajišťuje korekci chyb a zlepšení spolehlivosti přenosu dat.

Architektura rovněž podporuje mobilitu a bezvýpadekový handover, což je důležité pro přenos v mobilních sítích. Další významnou funkcí je možnost přijímání broadcastových dat bez ohledu na stav Radio Resource Control (RRC) u zařízení. Tento systém je navržen tak, aby byl kompatibilní i s dřívějšími sítěmi, jako jsou ty z Release 15 a 16.

Cílem 5G MBS je zlepšit efektivitu, spolehlivost a flexibilitu přenosu, takže je možné vysílat obsah mnoha uživatelům současně, aniž by to vedlo k přetížení sítě. Tato technologie najde využití například při vysílání aktualizací softwaru pro vozidla, ve veřejných bezpečnostních službách nebo v aplikacích pro kritickou infrastrukturu.



Obrázek 19: Multicast/broadcast služby a jejich vývoj pro LTE a 5G MBS a některé technické aspekty.

Zdroj: <https://www.techrxiv.org/users/681071/articles/677413-5g-evolution-for-multicast-and-broadcast-services-in-3gpp-release-17>

4.3.3 Přínos 3GPP Releases pro 5G Broadcast

- Standardizace a kompatibilita: Díky specifikacím 3GPP jsou 5G Broadcast technologie standardizovány, zajišťující kompatibilitu mezi různými zařízeními a sítěmi. Tím je dosaženo globálního nasazení a interoperability služeb.
- Inovace a nové funkce: Postupné verze přinášejí nové funkce a vylepšení, které zvyšují efektivitu, spolehlivost a kvalitu služeb. Poskytovatelé obsahu a operátoři mohou díky tomu nabízet pokročilé služby odpovídající potřebám moderních uživatelů.

- Efektivní využití spektra: Aktualizace v Releases zahrnují optimalizace pro lepší využití frekvenčního spektra, což je zásadní pro poskytování vysokokapacitních služeb v omezeném spektru.
- Bezpečnost a ochrana obsahu: 3GPP specifikace zahrnují pokročilé bezpečnostní mechanismy, které chrání obsah před neoprávněným přístupem, což je nezbytné pro ochranu autorských práv a dodržování licenčních podmínek.

Vylepšení 5G služeb v Release 17

Tento release pokračuje v optimalizaci stěžejních oblastí, jako jsou kapacita, pokrytí, latence a úspora energie, čímž podporuje rozšíření 5G technologií do nových zařízení a aplikací.

Mezi hlavní vylepšení patří:

- Rozšíření masivního MIMO: Release 17 přináší vylepšení v oblasti vícebodového vysílání a příjmu (multi-TRP) a vícenásobného směrování paprsků. Zlepšení se také zaměřují na SRS (sounding reference signals) a měření/reportování CSI (channel state information).
- Zlepšení pokrytí: V Release 17 byla zavedena vylepšení uplinkových kanálů pro větší spolehlivost v různých frekvenčních pásmech (sub-7 GHz, mmWave) a podporu nepozemních sítí (non-terrestrial networks).
- Úspora energie pro zařízení: Nové techniky pro snížení spotřeby energie zahrnují optimalizaci pagingového systému a zjednodušení měření rádiového signálu, což prodlužuje životnost baterie jak ve spojení, tak v neaktivním režimu.
- Rozšíření spektra: Release 17 rozšiřuje podporu 5G NR do nového pásma FR2-2 (24.25–71 GHz), včetně globálního nelicencovaného pásma 60 GHz, což otevírá nové možnosti pro nasazení a aplikace.
- Vylepšená podpora URLLC a privátních sítí: Nová vylepšení zajišťují lepší podporu ultra-spolehlivých, nízkolatenčních komunikačních služeb (URLLC), zejména v aplikacích průmyslového internetu věcí (IIoT), včetně optimalizace fyzické vrstvy a multiplexování zařízení.

4.3.4 Změny v Releases 3GPP a jejich dopad na legislativu 5G Broadcast

Postupné změny a aktualizace v Releases 3GPP mají přímý dopad na legislativu a regulační rámce:

- Adaptace legislativy na nové technologie: S vývojem nových funkcí v jednotlivých verzích je nezbytné aktualizovat legislativní rámce, aby nasazení těchto technologií bylo možné. To zahrnuje například povolení pro využití nových frekvenčních pásem nebo implementaci nových bezpečnostních standardů.
- Zajištění kompatibility s mezinárodními standardy: Národní legislativa musí být v souladu s mezinárodními standardy definovanými v 3GPP Releases, aby byla zajištěna interoperabilita a kompatibilita služeb na globální úrovni.
- Ochrana spotřebitelů a poskytovatelů obsahu: Aktualizace v Releases mohou zavádět nové mechanismy pro ochranu dat a obsahu. Legislativa musí tyto změny reflektovat a zajistit, že práva uživatelů a poskytovatelů jsou chráněna.

4.4 Právní rámec v České republice

Právní rámec v oblasti elektronických komunikací a telekomunikací v České republice je postaven na základě národní legislativy a předpisů Evropské unie, které společně vytvářejí komplexní regulační prostředí pro implementaci moderních telekomunikačních technologií, včetně sítí 5G. Tyto předpisy zajišťují transparentní a efektivní fungování trhu s telekomunikacemi, chrání práva spotřebitelů a zajišťují bezpečnost dat a sítí. V souvislosti s nasazením technologie FeMBMS (Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service) v sítích 5G je důležité se orientovat nejen v obecných předpisech o elektronických komunikacích, ale také v konkrétních technických a licenčních požadavcích, které se na tuto technologii vztahují.

4.4.1 Zákon č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích

Zákon č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích představuje základní právní normu v oblasti telekomunikací a elektronických komunikací v České republice. Tento zákon upravuje široké spektrum činností, včetně provozu telekomunikačních sítí, správy a přidělování rádiových frekvencí, podmínek udělování licencí a přístupu k infrastruktuře. Současně definuje práva a povinnosti poskytovatelů telekomunikačních služeb a jejich vztah k zákazníkům. Ustředním aspektem zákona je rovněž zajištění ochrany osobních údajů a bezpečnosti telekomunikačních sítí. Tato opatření jsou zásadní zejména při nasazování moderních technologií, které vyžadují bezpečné a spolehlivé připojení. Český telekomunikační úřad (ČTÚ) dohlíží na implementaci zákona, přidělování frekvencí a regulaci trhu, což zajišťuje konkurenční prostředí a efektivní využívání telekomunikační infrastruktury.

Novela zákona č. 202/2023 Sb., která vstoupila v platnost v roce 2023, přináší řadu změn reflektujících nástup sítí 5G a souvisejících pokročilých technologií. Novela usnadňuje výstavbu a rozšiřování sítí elektronických komunikací tím, že zjednodušuje legislativní podmínky pro jejich provozovatele. To má zásadní význam pro urychlení implementace 5G infrastruktury, která se stává základem pro poskytování moderních telekomunikačních služeb. Aktualizace se také zaměřuje na zvýšení ochrany telekomunikačních sítí před kybernetickými hrozbami a útoky, což je stále důležitější s rozšiřováním digitálních služeb a rostoucím využíváním sítí v kritických sektorech, jako jsou zdravotnictví, doprava a energetika.

Dalším významným bodem novely je flexibilnější správa rádiového spektra, která umožňuje efektivnější využívání frekvencí pro širokou škálu telekomunikačních aplikací, včetně 5G a internetu věcí. Přístup k frekvencím je nyní lépe koordinován, což podporuje konkurenci a inovace v telekomunikačním sektoru. Zároveň novela zavádí nová pravidla pro ochranu spotřebitelů, zejména s ohledem na přístup k tísňovým službám a transparentnost smluvních podmínek.

4.4.2 Zákon č. 231/2001 Sb., o provozování rozhlasového a televizního vysílání

Zákon č. 231/2001 Sb., o provozování rozhlasového a televizního vysílání, je právní normou, která upravuje podmínky rozhlasového a televizního vysílání na území České republiky. Tento zákon stanoví práva a povinnosti fyzických a právnických osob provozujících vysílání, jakož i podmínky udělování licencí nezbytných pro provozování rozhlasového nebo televizního vysílání.

Zákon se též zabývá otázkami ochrany plurality informací, zajištění přístupu k informacím pro různé názorové proudy a ochranou nezletilých před nevhodným obsahem. Upravuje práva provozovatelů při distribuci obsahu a určuje, jaký obsah je vhodné vysílat.

Zákon specifikuje postupy pro Český telekomunikační úřad a Radu pro rozhlasové a televizní vysílání, které se podílejí na udělování licencí a dohledu nad dodržováním těchto podmínek. Zvláštní důraz je kladen na to, aby byly licence udělovány transparentně a aby byly zajištěny podmínky pro rovnou soutěž mezi jednotlivými provozovateli.

V souvislosti s 5G broadcastem je zákon důležitý, protože určuje podmínky udělování vysílacích licencí a pravidla šíření multimediálního obsahu. 5G broadcast umožňuje šířit televizní nebo rozhlasový obsah přímo do mobilních zařízení a dalších terminálů, a proto je nutné, aby tito poskytovatelé splňovali požadavky stanovené tímto zákonem, zejména v oblastech obsahu a licencování. Tento zákon tak zůstává dokumentem pro provozovatele 5G broadcastu, kteří chtějí poskytovat legální a regulované vysílání v souladu s národními předpisy.

4.4.3 Zákon č. 132/2010 Sb., o audiovizuálních mediálních službách na vyžádání

Zákon č. 132/2010 Sb. upravuje poskytování audiovizuálních mediálních služeb na vyžádání v České republice. Tento zákon implementuje příslušné předpisy Evropské unie a stanoví podmínky, za kterých mohou fyzické nebo právnické osoby poskytovat tyto služby. Zákon se zaměřuje na definování audiovizuálních služeb na vyžádání, povinnosti poskytovatelů a podmínky, které musí být splněny pro legální provoz.

Audiovizuální mediální služby na vyžádání zahrnují zejména poskytování videoobsahu, jako jsou filmy, seriály nebo jiné pořady, které si mohou uživatelé pustit kdykoliv podle svých potřeb. Hlavním rysem těchto služeb je, že jsou nabízeny na základě katalogu sestaveného poskytovatelem a jsou přístupné v okamžiku zvoleném uživatelem. Poskytovatel má redakční odpovědnost za obsah, který je nabízen.

Součástí zákona jsou pravidla pro reklamu, sponzorování a umístění produktů v pořadech, které poskytovatelé audiovizuálních mediálních služeb musí dodržovat. Cílem těchto pravidel je zajistit ochranu spotřebitelů, zejména dětí, a transparentnost při poskytování obsahu. Sponzorované pořady musí být vždy jasně označeny.

Dále se zákon zaměřuje na ochranu nezletilých osob, kdy poskytovatelé musí zajistit, aby obsah, který by mohl narušit jejich fyzický, psychický nebo mravní vývoj, nebyl snadno přístupný. To zahrnuje použití opatření jako ověřování věku uživatele.

Část zákona se také věnuje zpřístupnění audiovizuálních služeb pro osoby se sluchovým a zrakovým postižením, včetně povinnosti poskytovat titulky nebo audiopopisy tam, kde je to účelné.

Zákon o audiovizuálních mediálních službách na vyžádání tvoří důležitou součást legislativního rámce pro mediální obsah v digitálním prostředí v ČR a zajišťuje, že poskytování těchto služeb probíhá transparentně a v souladu s právy spotřebitelů.

4.4.4 Zákon č. 483/1991 Sb., o České televizi, a Zákon č. 484/1991 Sb., o Českém rozhlasu

Zákon o České televizi stanovuje pravidla pro fungování České televize (veřejnoprávní televize) jako právnické osoby se sídlem v Praze. Tento zákon zřizuje Českou televizi s cílem poskytovat službu veřejnosti tvorbou a šířením televizních programů a dalšího multimediálního obsahu na celém území České republiky.

Mezi hlavní účely veřejné služby patří poskytování objektivních a ověřených informací, příspěvek k právnímu vědomí občanů, rozvoj kulturní identity a podpora společenské soudržnosti. Česká televize má povinnost vytvářet vyváženou nabídku pořadů pro různé skupiny obyvatel, včetně menšin, a provozovat zemské digitální vysílání alespoň čtyř televizních programů.

Ve vztahu k 5G broadcastu je Česká televize povinna zajistit provoz multiplexu veřejné služby, který umožňuje šíření televizních a rozhlasových programů pomocí digitálních technologií, přičemž rádiové kmitočty jsou ČT vyhrazeny správou kmitočtů podle zákona o elektronických komunikacích. Tato pravidla podporují zavádění moderních technologií a formátů vysílání, včetně nových mediálních služeb a audiovizuálního obsahu na vyžádání.

Zákon o Českém rozhlasu definuje obdobná pravidla pro fungování Českého rozhlasu jako veřejnoprávní instituce. Český rozhlas má za cíl poskytovat řádný a vyvážený obsah ve formě rozhlasového vysílání, podporovat kulturní identitu, zajišťovat výrobu zpravodajských, kulturních a vzdělávacích programů. V kontextu broadcastu má Český rozhlas povinnost poskytovat své programy prostřednictvím multiplexu veřejné služby, společně s ČT.

4.4.5 Zákon č. 194/2017 Sb., o opatřeních k zajištění bezpečnosti a integrity elektronických komunikací

Zákon č. 194/2017 Sb., nazývaný také jako zákon o opatřeních ke snížení nákladů na zavádění vysokorychlostních sítí elektronických komunikací, je důležitý právní dokument v České legislativě zaměřený na rozvoj moderní telekomunikační infrastruktury. Tento zákon upravuje pravidla pro zavádění vysokorychlostních sítí a stanovuje podmínky, které vedou k efektivnější výstavbě a provozu elektronických komunikačních sítí.

Cílem tohoto zákona je zajistit dostupnost vysokorychlostních sítí elektronických komunikací napříč Českou republikou. Zákon obsahuje opatření ke snižování nákladů na budování infrastruktury, která zahrnují lepší koordinaci stavebních prací, využití existující fyzické infrastruktury a efektivnější přístup k informacím o probíhajících stavebních projektech.

Důležitou částí zákona je role ČTÚ, který slouží jako jednotné informační místo pro informace o fyzické infrastruktuře a stavebních pracích. Zákon umožňuje oprávněným osobám přístup k těmto informacím za účelem usnadnění realizace vysokorychlostních sítí. Dále zákon zahrnuje pravidla pro sdílení infrastruktury mezi jednotlivými poskytovateli, což má za cíl snížit duplicitu infrastruktury a zefektivnit investice.

V kontextu 5G a broadcastového vysílání je třeba zmínit, že zákon zahrnuje opatření, která mohou přispět k rozvoji infrastruktury potřebné pro poskytování kvalitních mediálních služeb, včetně 5G broadcastu. Zavádění vysokorychlostních sítí umožňuje lepší přenos dat a multimediálního obsahu, což může podpořit nové formy vysílání, jako jsou služby veřejných systémů nebo šíření obsahu pro široké publikum.

4.4.6 Zákon č. 202/2023 Sb., novela zákona o elektronických komunikacích

Zákon č. 202/2023 Sb. představuje novelizaci zákona č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích a o změně některých souvisejících zákonů. Tato novela nabyla platnosti 30. června 2023 a její účinnost započala 1. července 2023. Cílem novely je zajistit odpovědné a efektivní fungování elektronických komunikací v souladu s aktuálními potřebami trhu a zajistit maximální ochranu práv spotřebitelů.

Novela zavedla různá opatření, která zahrnují změny v oblasti řízení přístupu k identifikačním účastnickým kartám (SIM kartám), což zahrnuje jejich blokování nebo znemožnění přístupu do sítí ve specifických případech. Též byla posílena ochrana osob se zvláštními sociálními potřebami, což zahrnuje zvýhodněné tarify a povinnosti poskytovatelů univerzální služby.

Novela rovněž zahrnuje aktualizace pro ČTÚ, který bude shromažďovat informace o malých bezdrátových přístupových bodech a poskytovat tyto informace Komisi EU, což má zajistit lepší evidenci a dostupnost dat pro český i evropský trh.

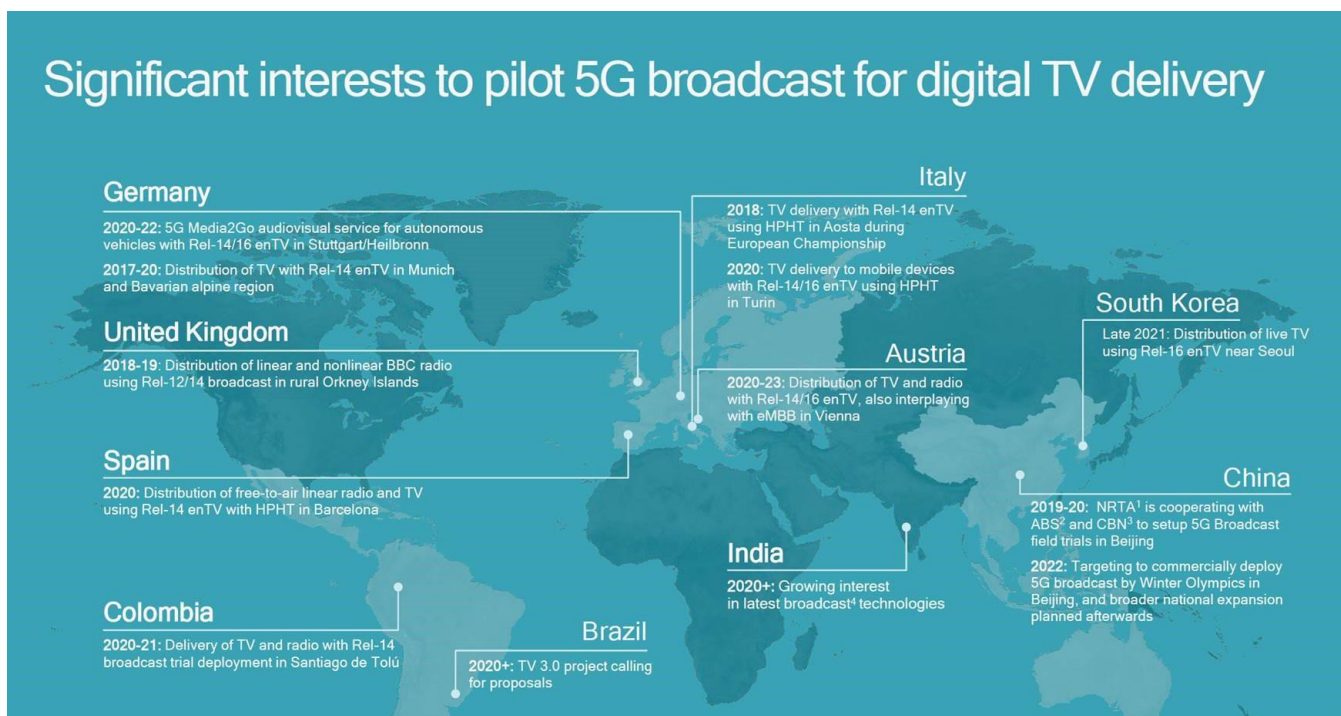
Z hlediska vysílání a broadcastu novela zahrnuje změny, které se týkají úprav zákona o provozování rozhlasového a televizního vysílání, což může přímo ovlivnit dostupnost mediálních obsahů prostřednictvím 5G broadcastů a dalších nových forem distribuce obsahu, které jsou ve veřejném zájmu a odpovídají moderním technologiím.

5 Zahraniční benchmark

Zahraniční projekty a pilotní testy poskytují cenné informace o praktických aspektech nasazení FeMBMS a 5G Broadcast. Zabývají se technickými výzvami, které bylo nutné překonat, optimalizačními strategiemi pro přenos dat, způsoby kompatibility s existující infrastrukturou a zařízeními, stejně jako reakcemi uživatelů na nové služby.

Různé země přistupují k implementaci FeMBMS a 5G Broadcast různými způsoby, což odráží jejich specifické technické, ekonomické a regulační podmínky. Například Itálie se soustředí na integraci této technologie do stávajících vysílačích sítí s cílem zlepšit pokrytí v odlehlých oblastech, zatímco Francie testuje možnosti během velkých kulturních a sportovních akcí v Paříži.

Analýza těchto různorodých přístupů umožňuje identifikovat osvědčené postupy a strategie, které lze přizpůsobit českému prostředí. Zahraniční zkušenosti odhalují potenciální překážky, jako jsou regulační omezení nebo technické potíže, a nabízejí řešení pro jejich překonání. Implementace v zahraničí často zahrnují spolupráci mezi různými zainteresovanými stranami, včetně telekomunikačních operátorů, vysílatelů, poskytovatelů obsahu a regulačních orgánů.



Obrázek 20: Globální pilotní projekty a zkoušky 5G Broadcast pro digitální TV vysílání

Zdroj: <https://www.qualcomm.com/content/dam/qcomm-martech/dm-assets/images/blog/managed-images/image3new2.jpg>

Mapa zobrazuje některé mezinárodní projekty a pilotní zkoušky 5G broadcast pro digitální televizní vysílání.

Níže jsou uvedeny a popsány některé z příkladů ze zahraničí.

5.1 Německo

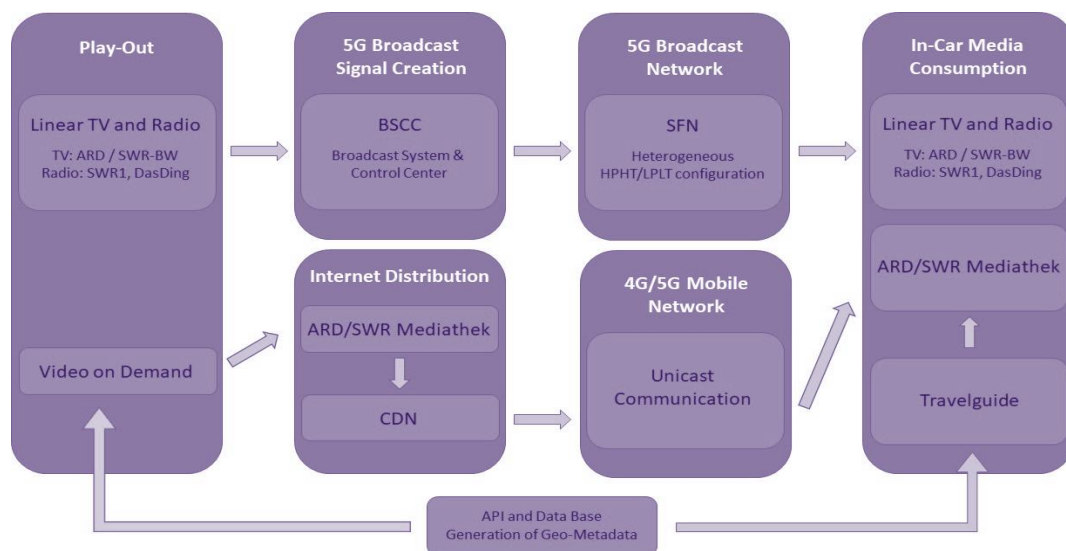
Německo sehraje významnou roli ve vývoji a zavádění technologie 5G pro multimediální služby, zejména prostřednictvím projektů FeMBMS a jeho integrace do 5G sítí. Tyto iniciativy zahrnují testování a optimalizaci distribuce televizních a rozhlasových programů, stejně jako poskytování interaktivních multimediálních služeb přes mobilní sítě. Mezi hlavní německé projekty patří 5G Media2Go, 5G Broadcast v Hamburku a projekt 5G Today, které se věnují pokrytí různých geografických oblastí, ověřování kvality přenosu a možnostem interakce s mobilními zařízeními v pohybu.

Projekty kladou důraz na finanční udržitelnost, ochranu obsahu, efektivní využití spektra a spolupráci s automobilovým průmyslem. Zkoumají také budoucí využití technologie 5G pro multimediální služby na cestách a v městském prostředí. Tímto způsobem Německo přispívá k formování budoucnosti multimediálního vysílání v rámci 5G infrastruktury, s důrazem na vysokou kvalitu přenosu a personalizované zážitky uživatelů.

5.1.1 5G Media2Go

Projekt 5G Media2Go začal 1. října 2020 a skončil 30. září 2022. Probíhal v širším okolí Stuttgartu a Heilbronnu v Německu. Cílem bylo prozkoumat, jak využít technologii FeMBMS v sítích 5G k distribuci audiovizuálního obsahu do mobilních zařízení a vozidel. Projekt se zaměřoval na poskytování lineárních televizních a rozhlasových programů, přístup k mediálním knihovnám (ARD/SWR Mediathek) a geo-referenční doporučení obsahu během cestování.

Níže uvedený obrázek ukazuje celý proces distribuce médií od výběru obsahu v playout centru SWR v Baden-Badenu až po jeho příjem v infotainment systému auta. Lineární televizní a rozhlasové programy jsou převedeny do vhodného transportního formátu a odeslány do Broadcast System & Control Center (BSCC), které slouží jako rozhraní k síti 5G Broadcast. Signály putují k jednotlivým vysílačům prostřednictvím optického vlákna. Antény v autě přijímají signál, který se pomocí SDR přijímače a WiFi hotspotu propojí s infotainment systémem vozu. Uživatelé mají také možnost přistupovat k obsahu na vyžádání z ARD/SWR Mediathek buď manuálně, nebo prostřednictvím doporučení aplikace Travelguide, jež využívá geo-senzitivní data. Obsah je doručován přes mobilní síť prostřednictvím CDN.



Obrázek 21: Přehled celého řetězce distribuce a využití.

Zdroj: <https://drive.google.com/file/d/1CznXRhhNboNVvXVI6oTqiF2f6brlONxb/view>

Projekt 5G Media2Go měl několik cílů:

- **Hodnocení možností poskytování služeb:** Testování schopnosti technologie FeMBMS poskytovat televizní a audiovizuální služby v různých geografických oblastech, včetně venkovských a odlehlých oblastí. Zajištění spolehlivého a vysokého standardu kvality obrazu a zvuku i při vysokém zatížení sítě.
- **Kompatibilita a interoperabilita:** Posouzení kompatibility technologie FeMBMS s architekturou a infrastrukturou stávajících 5G sítí (SA/NSA) a zajištění její bezproblémové integrace. Zohlednění možnosti integrace s existujícími televizními vysílacími sítěmi a zajištění kompatibility s různými zařízeními.
- **Optimalizace přenosu dat:** Navržení scénářů pro optimalizaci přenosu televizních a audiovizuálních dat, včetně výběru vhodných kompresních a kódovacích technik.
- **Zajištění spolehlivosti:** Plánování mechanismů pro zálohování a obnovu dat v případě výpadku nebo havárie.
- **Zabezpečení obsahu:** Prozkoumání možností zabezpečení obsahu vysílaného pomocí technologie FeMBMS a ochrany proti neoprávněnému přístupu a pirátství.

- **Analýza právních a regulačních aspektů:** Analýza právních a regulačních požadavků spojených s využitím technologie FeMBMS a zajištění dodržování příslušných licenčních politik.
- **Finanční udržitelnost:** Stanovení rámcových nákladů spojených s nasazením a provozem technologie FeMBMS a zajištění finanční udržitelnosti investice.
- **Optimalizace využití spektra:** Posouzení možností a přínosů využití kmitočtového pásma 600 MHz pro TV vysílání a současná optimalizace jeho využití v rámci 5G sítí (služba FeMBMS).

5.1.1.1 Poskytované služby

V rámci projektu byly poskytovány následující služby:

- **Lineární televizní programy:** Distribuce dvou 24/7 živých TV programů ARD a SWR Baden-Württemberg prostřednictvím sítě 5G Broadcast.
- **Lineární rozhlasové programy:** Přidání různých rozhlasových programů SWR do nabídky lineárních služeb.
- **ARD/SWR Mediathek:** Přístup k on-demand obsahu prostřednictvím mobilní sítě.
- **Geo-referenční doporučení ("Travelguide"):** Vývoj aplikace poskytující uživatelům doporučení obsahu na základě jejich aktuální polohy nebo plánované trasy.

5.1.1.2 Technologie

Projekt využíval kombinaci technologií:

- FeMBMS (Release 14) a LTE-based 5G Terrestrial Broadcast (Release 16) pro efektivní vysílání multimediálního obsahu.
- LTE Unicast pro přístup k ARD/SWR Mediathek a interaktivním službám.

5.1.1.3 Vybavení a infrastruktura

Pro realizaci projektu byla použita následující infrastruktura:

- **Vysílače:**
 - 2 HPHT vysílače ve Stuttgartu a Heilbronnu s efektivním vyzářeným výkonem (ERP) přibližně 73 kW a 20 kW, které pokrývaly široké oblasti a zajišťovaly hlavní signál.
 - 4 LPLT vysílače umístěné na mobilních základnových stanicích, sloužící jako opakovače pro zlepšení pokrytí v oblastech se slabším signálem, zejména v městských a venkovských prostředích.
- **Anténní systémy:** Použity byly antény s kruhovou polarizací, které výrazně zlepšily příjem signálu v mobilních zařízeních a vozidlech. Tato technologie zvyšuje odolnost vůči vícecestnému šíření a odrazům, což přispívá ke spolehlivému příjmu v pohybu.
- **Systém přenosu signálu:**
 - SWR signal contribution system pro HPHT vysílače, který zajišťoval vysokokapacitní a spolehlivý přenos obsahu do hlavních vysílacích bodů.
 - On-channel repeatery pro LPLT vysílače, které umožnily opakování a zesílení signálu v oblastech se slabším pokrytím bez nutnosti použití dalších frekvenčních zdrojů.
- **Mobilní síť LTE:** Byla využita pro unicastové služby a přístup k on-demand obsahu prostřednictvím ARD/SWR Mediathek. Tím byla zajištěna integrace tradičního vysílání s interaktivními službami a aplikacemi.

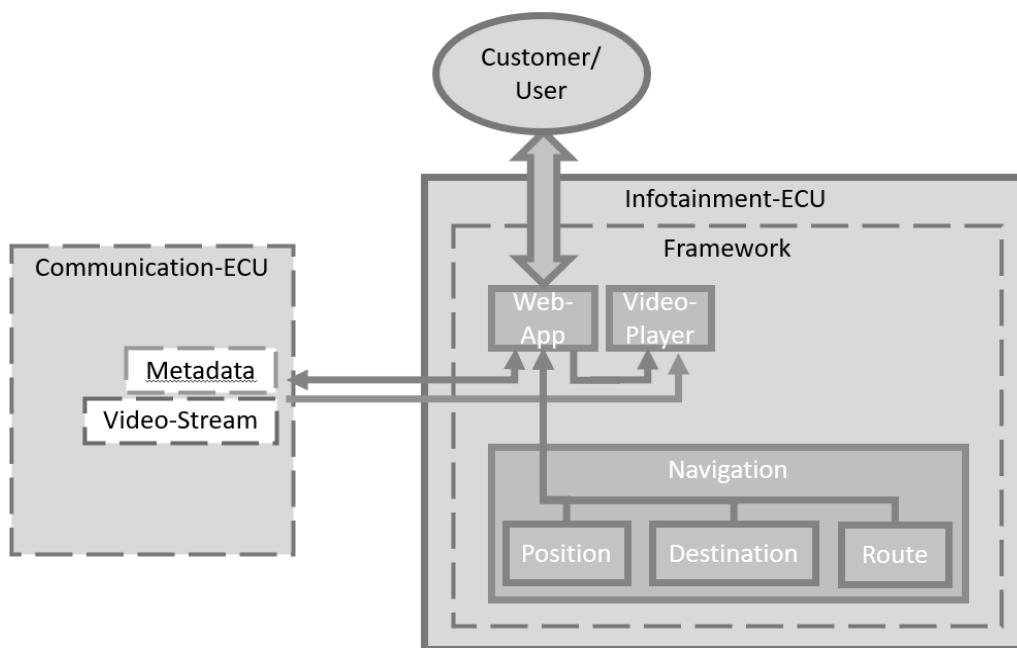
5.1.1.4 Spektrum a frekvence

- **Šířka pásma:** Pro optimalizaci pokrytí a kvality přenosu byly použity nosné o šířce pásma 5 MHz a 8 MHz v televizním kanálu 40 (622–630 MHz). Rozšíření šířky pásma umožnilo zvýšit datovou propustnost a kvalitu služeb poskytovaných uživatelům.
- **Komerční LTE spektrum:** Bylo využito pro unicastové služby a přístup k ARD/SWR Mediathek, což umožnilo poskytovat interaktivní a on-demand obsah vedle lineárního vysílání.

5.1.1.5 Travelguide služba

Vývoj inovativní služby Travelguide ukázal potenciál pro nové formy interakce s uživateli prostřednictvím geo-referenčního obsahu. Cílem této služby je poskytnout uživatelům relevantní obsah na základě jejich polohy nebo trasy, čímž se zvyšuje personalizace a zážitek z používání mediálních služeb během cestování. Implementace zahrnovala využití NLP algoritmů pro analýzu audio stop a metadat videí z ARD/SWR Mediathek, extrakci geodat a jejich uložení do databáze přístupné prostřednictvím API. Služba byla integrována do infotainment systémů vozidel, poskytujících uživatelům doporučení v reálném čase. Uživatelé tak mohli prostřednictvím aplikace získat přístup k obsahu souvisejícímu s jejich aktuální polohou nebo plánovanou trasou.

Níže uvedený obrázek zobrazuje zjednodušený blokový diagram toku informací v infotainment systému. Ilustruje, jak aplikace Travelguide na základě GPS a dat z navigace doporučuje obsah z ARD/SWR Mediathek odpovídající trase auta a jak aplikace Media2Go tento obsah navrhuje k přehrávání v infotainment systému vozu.



Obrázek 22: Zjednodušený blokový diagram toku infotainment informací

Zdroj: <https://drive.google.com/file/d/1CznXRhhNboNVvXVI6oTqiF2f6brlONxb/view>

5.1.1.6 Shrnutí a závěry

Během projektu 5G Media2Go byly provedeny rozsáhlé měřicí kampaně, které potvrdily schopnost technologie FeMBMS poskytovat kvalitní obsah i při vysokých rychlostech a v různých geografických podmínkách. Stacionární měření byla uskutečněna na 18 lokalitách, zahrnujících různé geografické oblasti, a potvrdila stabilní a kvalitní přenos signálu v různých prostředích. Mobilní měření zahrnovala měřicí jízdy na dálnici A81 mezi Stuttgartem a Heilbronnem, kde byla testována spolehlivost přenosu při rychlostech až 180 km/h. Výsledky ukázaly, že technologie FeMBMS je schopna poskytovat nepřerušovaný a kvalitní přenos i při vysokých rychlostech.

Analýzou síťových parametrů byly testovány různé konfigurace, jako jsou modulační a kódovací schémata (MCS), rozestup mezi subnosnými (subcarrier spacing) a šířka pásma, pro optimalizaci přenosu a pokrytí. Byly identifikovány optimální konfigurace pro efektivní přenos dat, včetně výběru vhodných kompresních a kódovacích technik, což vedlo k optimalizaci efektivity přenosu.

Projekt 5G Media2Go tak úspěšně demonstroval možnosti využití technologie FeMBMS v sítích 5G pro poskytování televizních a audiovizuálních služeb. Byla ověřena schopnost poskytovat kvalitní obsah i při vysokých rychlostech a v různých geografických podmínkách, což potvrzuje spolehlivost přenosu pomocí technologie FeMBMS. Úspěšná integrace technologie FeMBMS se stávajícími 5G sítěmi a zařízeními potvrdila kompatibilitu a interoperabilitu.

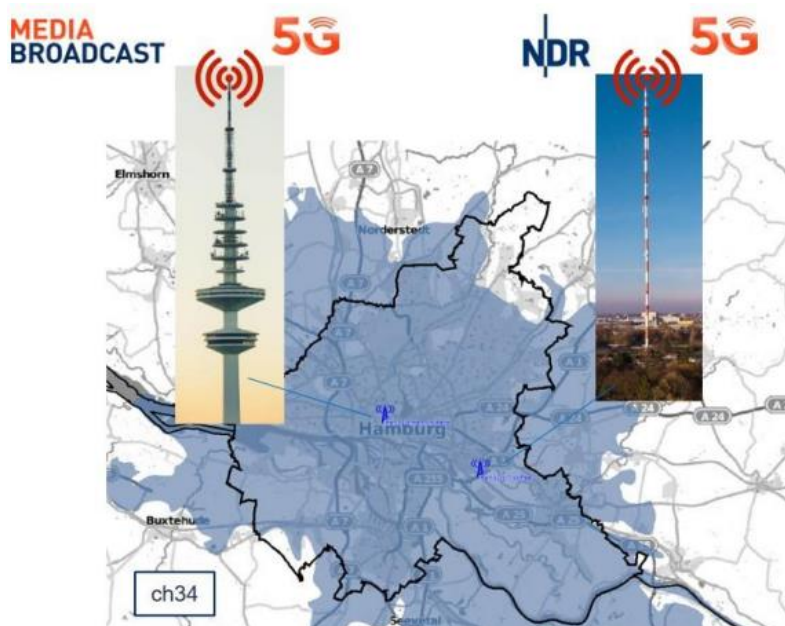
Vývoj inovativní služby Travelguide ukázal potenciál pro nové formy interakce s uživateli prostřednictvím geo-referenčního obsahu, což přináší nové možnosti personalizace a zvyšuje hodnotu poskytovaných služeb.

Projekt přinesl cenné poznatky pro budoucí nasazení technologie FeMBMS v sítích 5G, zejména v oblasti poskytování mediálních služeb v mobilních prostředích. Získané zkušenosti a výsledky měření budou zásadní pro plánování a realizaci podobných projektů v jiných regionech a mohou přispět k dalšímu rozvoji technologií pro distribuci mediálního obsahu.

5.1.2 5G Broadcast v Hamburku

Pilotní projekt 5G Broadcast v Hamburku se zaměřuje na testování technologie LTE-based 5G Broadcast v městském prostředí. Projekt je veden německým veřejnoprávním vysílatelem Norddeutscher Rundfunk (NDR) ve spolupráci se společností Media Broadcast (MB). Dva vysílače v režimu Single Frequency Network (SFN) poskytují signál pro analýzu vlivu síťových parametrů na kvalitu příjmu.

Projekt 5G Broadcast v Hamburku má několik cílů. Prvním je hodnocení městského pokrytí, tedy testování poskytování televizních a rozhlasových služeb pomocí technologie FeMBMS v hustě osídlených městských oblastech. Dále se zaměřuje na analýzu síťových parametrů, kde zkoumá vliv parametrů, jako jsou modulační a kódovací schémata (MCS) a délka cyklického prefixu, na kvalitu příjmu, čímž získává důležité informace pro budoucí plánování sítí. Projekt také testuje kompatibilitu zařízení, tedy přijímačů a terminálů s podporou FeMBMS, aby zajistil interoperabilitu a kompatibilitu s různými zařízeními. Kromě toho slouží jako otevřená platforma pro vývoj a testování aplikací, umožňující další testování a vývoj v oblasti distribuce videa a multimediálních služeb pro vysílatele.



Obrázek 23: Oblast pokrytí

Zdroj: <https://tech.ebu.ch/docs/techreports/tr044.pdf>

5.1.2.1 Poskytované služby

V rámci projektu jsou poskytovány následující služby:

- 1 televizní služba: Distribuce živého televizního obsahu.
- 2 rozhlasové služby: Přenos rozhlasových programů prostřednictvím 5G Broadcast.
- Internet Link Service (ILS): Služba umožňující přístup k internetovým odkazům.
- HbbTV: Hybridní televizní služba kombinující vysílání a širokopásmový internet.

5.1.2.2 Technologie

- LTE-based 5G Broadcast (FeMBMS): Technologie umožňující efektivní vysílání multimediálního obsahu v rámci sítí 5G.
- Single Frequency Network (SFN): Použití dvou vysílačů v režimu SFN pro optimalizaci využití spektra a zlepšení pokrytí.
- Virtual Digital Content Manager (VDCM) od společnosti Synamedia pro správu a distribuci obsahu.

- Broadcast Service & Control Centre (BSCC) od společností Rohde & Schwarz (R&S) a Enensys pro řízení vysílací sítě.
- Vysílače od společnosti Rohde & Schwarz (R&S).

5.1.2.3 Vybavení a infrastruktura

Pro realizaci projektu je využita následující infrastruktura:

- **Vysílače:** Dva vysílače s efektivním vyzářeným výkonem (ERP) 5 kW a 10 kW, umístěné na vysílacích stanovištích Hamburg-Moorfleet a Heinrich-Hertz-Turm.
- **Playout centrum:** Obsah je generován a zpracováván v playout centru NDR v Hamburg-Lokstedt.

5.1.2.4 Spektrum a frekvence

Vysílání probíhá na kanálu K34 (578 MHz) s šířkou pásma 5 MHz, s plánovaným rozšířením na 8 MHz pro zvýšení datové propustnosti a kvality služeb.

5.1.3 Projekt 5G Today

Projekt 5G Today se zaměřuje na distribuci mediálního obsahu v režimu vysílání (broadcast) na základě mobilních technologií. Cílem projektu je prozkoumat možnosti efektivního šíření televizního a rozhlasového obsahu prostřednictvím technologie FeMBMS v sítích 5G.

Projekt 5G Today úspěšně demonstroval možnosti distribuce televizního obsahu prostřednictvím technologie FeMBMS v sítích 5G. Byly vyvinuty a nasazeny prototypy vysílačů a přijímačů, a bylo vytvořeno testovací pole s vysokovýkonnými vysílači. Terénní měření potvrdila schopnost technologie FeMBMS poskytovat kvalitní mobilní TV příjem ve velkých částech měřeného území. Projekt přinesl nové poznatky v oblasti síťových parametrů, návrhu antén a modelů šíření signálu. Výsledky projektu ukazují, že FeMBMS může dosáhnout charakteristik klasického vysílacího systému a nabízí efektivní a nákladově efektivní řešení pro distribuci obsahu v sítích 5G.

Jedním z cílů je vývoj a nasazení FeMBMS vysílačů a přijímačů, což zahrnuje vytvoření prototypů těchto zařízení založených na technologii FeMBMS. Dále projekt usiluje o vytvoření vysílací sítě na bázi FeMBMS v oblasti Horního Bavorska, což znamená zřízení testovacího pole s využitím vysokovýkonných vysílačů pro pokrytí rozsáhlých území. Třetím cílem je získání nových poznatků o síťových parametrech, návrhu antén a modelech šíření signálu prostřednictvím analýzy vlivu různých parametrů na kvalitu příjmu a optimalizaci vysílací sítě. Projekt také poskytuje otevřenou platformu pro vývoj a testování aplikací, což umožňuje vysílatelům dále testovat a vyvíjet řešení v oblasti distribuce videa a multimediálních služeb.

5.1.3.1 Technologie

FeMBMS byla specifikována v rámci 3GPP Release 14 v roce 2017 a umožňuje:

- Podporu větších vzdáleností mezi vysílači (cyklický prefix 200 μ s).
- Kombinaci MBMS/unicast přenosu a dedikovaný MBMS přenos.
- Nový typ subrámcce pro efektivnější vysílání.
- Režim pouze pro příjem (receive-only mode) a možnost bezplatného vysílání (free-to-air capability).

5.1.3.2 Vybavení a infrastruktura

Pro realizaci projektu byla použita následující infrastruktura:

- **Vysílače:** Dva vysokovýkonné vysílače s ERP 100 kW umístěné v Ismaningu a na hoře Wendelstein v Bavorsku. Vysílače jsou provozovány jako Single Frequency Network (SFN) na kanálu 56/57 (750–760 MHz).
- **Anténní systémy:** Antény od společnosti Kathrein optimalizované pro mobilní příjem, integrované na vysílacích stanovištích.
- **Přijímače:** Vývoj FeMBMS přijímačů založených na technologii Software Defined Radio (SDR) s využitím Open Air Interface Toolkit.

5.1.3.3 Spektrum a frekvence

Vysílání probíhá na kanálu 56/57 (750–760 MHz).

5.1.4 IMB5

Projekt Integration of Broadcast and Broadband in LTE/5G (IMB5) se zaměřil na testování schopností a omezení současné technologie LTE eMBMS pro celonárodní vysílací pokrytí. Projekt byl financován Bavorskou výzkumnou nadací a probíhal v Mnichově a Erlangenu v Německu.

Cíle projektu IMB5 byly otestovat schopnosti a omezení současné technologie LTE eMBMS pro celonárodní vysílací pokrytí v Německu, vytvořit optimalizovanou systémovou architekturu pro sítě založené na eMBMS a definovat návrhy pro úpravy standardizace eMBMS v rámci 3GPP.

5.1.4.1 Technologie a testovací infrastruktura

Projekt zkoumal režim vysílání eMBMS v LTE prostřednictvím dvou detailních SFN (Single Frequency Network) testovacích sítí v Erlangenu a Mnichově. Byly identifikovány potenciální zlepšení stávajících vysílacích funkcí směrem k technologiím 4G/5G.

Na straně uživatelského zařízení (UE) byly použity terminály od společností Qualcomm a Samsung, založené na komerčních čipsetech, převážně pro testy na aplikační vrstvě. Pro detailní testy na fyzické vrstvě byly nasazeny dvě různé LTE SDR (Software Defined Radio) platformy od OpenAirInterface a National Instruments. Tyto platformy umožnily provádět detailní experimenty s existujícími a budoucími rozšířenými eMBMS vlnovými formami nad rámec standardizovaných vlnových forem ve 3GPP Release 12.

5.1.4.2 Výsledky projektu

Na aplikační vrstvě bylo prokázáno, že pomocí LTE eMBMS lze poskytovat flexibilní mix unicastového mobilního širokopásmového připojení (MBB) a lineárního televizního vysílání. Pro celonárodní nasazení eMBMS SFN sítí byla doporučena rozšíření vlnových forem na fyzické vrstvě, například zvýšení cyklického prefixu oproti aktuálně standardizovaným LTE signálům. Dalším významným výsledkem projektu byla úspěšná demonstrace koexistence LTE eMBMS se spektrálně sousedícím digitálním pozemním vysíláním (DTT).

Projekt IMB5 úspěšně prozkoumal schopnosti a omezení současné technologie LTE eMBMS pro celonárodní vysílací pokrytí. Díky detailním experimentům na fyzické a aplikační vrstvě byly identifikovány možnosti optimalizace systémové architektury eMBMS sítí. Projekt poskytl důležité vstupy pro budoucí úpravy standardizace eMBMS v rámci 3GPP, které mohou vést ke zlepšení výkonnosti a efektivity sítí pro distribuci vysílacího obsahu v sítích LTE a budoucích 5G sítích.

5.1.5 Tower Overlay improving mobile network

Během konference NGMN Industry Conference & Exhibition ve Frankfurtu v říjnu 2016 byla předvedena demonstrace, která ukázala přínosy využití technologie High Tower LTE Broadcast pro zlepšení výkonu mobilních sítí.

Cílem projektu bylo ověřit přínosy využití vysokých vysílačů v LTE Broadcast pro snížení zátěže mobilní sítě při vysokém využití datové náročných služeb, jako je živé video, a simulovat reálný scénář mobilní sítě s možností obsluhy uživatelů prostřednictvím tří různých síťových vrstev.

5.1.5.1 Technologie a scénář

V rámci demonstrace byla použita simulace mobilní sítě založená na reálném scénáři v Hannoveru, kde každý uživatel mohl být obslužen jednou ze tří síťových vrstev:

- **Standardní LTE unicastová vrstva:** Tradiční mobilní připojení pro individuální datové přenosy.
- **Klasická LTE Broadcastová vrstva:** Vysílání prostřednictvím běžných LTE-A vysílacích stanovišť s využitím technologie Rel-9 eMBMS.
- **Tower Overlay vrstva:** Využití High Tower rozšíření LTE Broadcast (označované jako LTE-A+), kde signál může být vyslán z vysokého vysílače s mnohem větším pokrytím a stále přijímán na standardních LTE zařízeních.

5.1.5.2 Průběh demonstrace

V rámci simulace vysokého zatížení sítě bylo modelováno intenzivní využití živého video přenosu, které vytvářelo tlak na kapacitu. S rostoucím počtem uživatelů sledujících živý přenos byla v příslušných buňkách spuštěna eMBMS vrstva, vedoucí k částečnému snížení zátěže sítě. Při dalším nárůstu zatížení se aktivovala Tower Overlay vrstva, výrazně snižující zátěž v mobilní síti, neboť většina LTE stanic převedla video službu na tuto vrstvu.

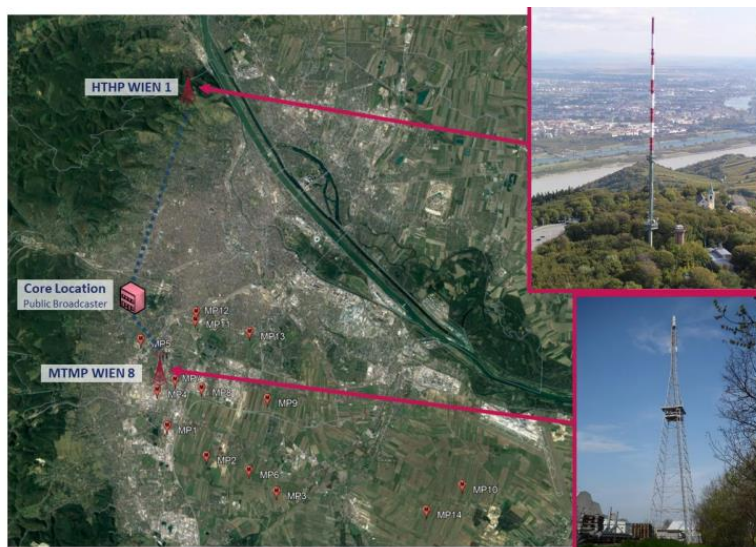
5.1.5.3 Výsledky

Demonstrace prokázala, že využití eMBMS a zejména Tower Overlay vrstvy může významně snížit zátěž mobilní sítě při vysoké poptávce po stejném obsahu. Zařízení, jako jsou tablety, automaticky přepínala mezi jednotlivými vrstvami sítě v reálném čase, aniž by uživatel zaznamenal jakékoli přerušení nebo snížení kvality služby. Tento vícevrstvý přístup umožňuje optimalizovat distribuci obsahu a zlepšit celkovou efektivitu sítě díky efektivnímu využití síťových zdrojů.

5.2 Rakousko

5.2.1 Vienna Field Trials v Rakousku

Projekt Vienna Field Trials v Rakousku se zaměřil na testování výkonu technologie LTE-based 5G Broadcast (Release 14 a Release 16) v porovnání s DVB-T2 a DAB+. Cílem bylo posoudit vyspělost produktů v oblasti infrastruktury a přijímačů, studovat případy použití a aplikace a podpořit vývoj ekosystému 5G broadcastu.



Obrázek 24: Zkušební oblast včetně vysílacích stanic, hlavních lokalit a umístění měřicích bodů pro stacionární měření

Zdroj: https://www.ors.at/fileadmin/user_upload/ors/5G_Broadcast/PTD_21_012_Technical_implementation_status_of_5G_Broadcast_-_Vienna_Field_Trial_.pdf

Obrázek znázorňuje testovací oblast ve Vídni, která zahrnuje polohu vysílacích stanic Wien Kahlenberg a Wien Liesing, hlavní lokality jádrových systémů a umístění měřicích bodů pro stacionární měření. Mapa poskytuje přehled o geografickém rozmístění infrastruktury použité během 5G Broadcast polních testů, což pomohlo při analýze pokrytí signálem a kvality příjmu v různých částech města.



Obrázek 25: Vozidla pro stacionární měření a měření při vysokých a nízkých rychlostech pro 5G Broadcast.

Zdroj: https://www.ors.at/fileadmin/user_upload/ors/5G_Broadcast/PTD_21_012_Technical_implementation_status_of_5G_Broadcast_-_Vienna_Field_Trial_.pdf

Na obrázku jsou vozidla použita pro měření 5G Broadcast ve Vídni. Vozidla byla vybavena měřicí technikou a anténami pro provádění stacionárních měření, stejně jako měření při různých rychlostech pohybu. Díky těmto vozidlům mohli technici provádět testy příjmu signálu jak v klidu, tak při pohybu v městském provozu, a to při nízkých i vysokých rychlostech, což umožnilo získat komplexní data o výkonu 5G Broadcast sítě v reálných podmínkách městského prostředí.

Hlavní cíle projektu byly posoudit výkon LTE-based 5G Broadcast (Release 14 a 16) v porovnání s DVB-T2 a DAB+, studovat vyspělost produktů v oblasti infrastruktury a přijímačů ve spolupráci s výrobcí, vyhodnotit případy použití a aplikace a podpořit vývoj ekosystému 5G broadcastu, a dále podpořit evoluci tohoto ekosystému prostřednictvím vývoje a poskytování open-source přijímače pro testování a vývoj aplikací.

5.2.1.1 Technologie a infrastruktura

- **Technologie:** FeMBMS (Release 14) a LTE-based 5G Terrestrial Broadcast (Release 16).
- **Infrastruktura:**
 - 2 vysílače HPHT (High Power High Tower) na místech Wien Kahlenberg a Wien Liesing.
 - 2 jádrové systémy.
 - Přijímače:
 - Open-source přijímač OBECA (Open Broadcast Edge Cache Appliance) a 5G-MAG Reference Tools.
- **Spektrum/frekvence:**
 - 739 MHz, šířka pásma 10 MHz do 1.7.2020.
 - 667 MHz, šířka pásma 8 MHz (Kahlenberg) a 10 MHz (Liesing) od 1.7.2020.
 - 640,5 MHz, šířka pásma 5 MHz (Liesing) od 1.2.2022.

5.2.1.2 Výsledky projektu

V období let 2020 až 2021 se projekt zaměřil na porovnání simulací a měření FeMBMS Release 14/16 s DVB-T2 a DAB+ a na technické hodnocení použití 5G Broadcast pro různé služby a aplikace. Výsledky této fáze byly shrnuty v dokumentu předloženém CEPT.

Ve druhé fázi projektu (2021–2023) se projekt soustředí na zkoumání hybridních případů použití 5G Broadcast a širokopásmového připojení a na další vývoj ekosystému 5G Broadcast. V roce 2021 byl vyvinut nejmenší open-source 5G Broadcast přijímač OBECA, který je nyní součástí 5G-MAG Reference Tools. V únoru a březnu 2022 proběhly první testy příjmu se zařízeními ve formátu smartphonu s podporou 5G Broadcast v HPHT testovacím prostředí.

Projekt Vienna Field Trials prokázal, že zařízení podporující 5G Broadcast mohou být použita pro přenosný venkovní příjem a výrazně rozšířit dosah pozemního vysílání. Technologie 5G Broadcast dosáhla výkonu srovnatelného s DVB-T2 a umožňuje inovace a nové obchodní modely v oblasti pozemního vysílání díky své IP povaze a schopnosti přenášet běžné OTT streamy.

Navzdory tomu, že 5G Broadcast je v rané fázi vývoje a vyžaduje další vylepšení pro plné provozní využití, výsledky podporují pokračující využívání spektra pod 700 MHz pro vysílací služby až do roku 2030 a dále. To poskytuje vysílatelům nové příležitosti pro inovace a rozšíření služeb na mobilní zařízení, čímž se výrazně zvyšuje počet potenciálních uživatelů.

5.3 Itálie

5.3.1 5G TOURS LTE-based 5G Broadcast Trial v Turíně

Projekt 5G TOURS LTE-based 5G Broadcast Trial v Turíně, Itálie, se zaměřil na poskytování 5G broadcastového vysílání širokému publiku prostřednictvím infrastruktury High-Power High-Tower (HPHT). Hlavním cílem bylo studovat výkon 5G broadcastového signálu v mobilním prostředí (scénář v automobilu) a v městských venkovních podmínkách, zlepšit uživatelský zážitek z videa a distribuovat audiovizuální obsah a služby potenciálně neomezenému počtu uživatelů.

Cíli projektu bylo poskytnout 5G broadcastové vysílání masovému publiku pomocí HPHT infrastruktury, studovat výkon 5G broadcastového signálu v mobilitě (scénář v automobilu) a v městských venkovních podmínkách (analýza pokrytí), zlepšit uživatelský zážitek z videa prostřednictvím pokročilých technologií a distribuovat audiovizuální obsah a služby potenciálně neomezenému počtu uživatelů.

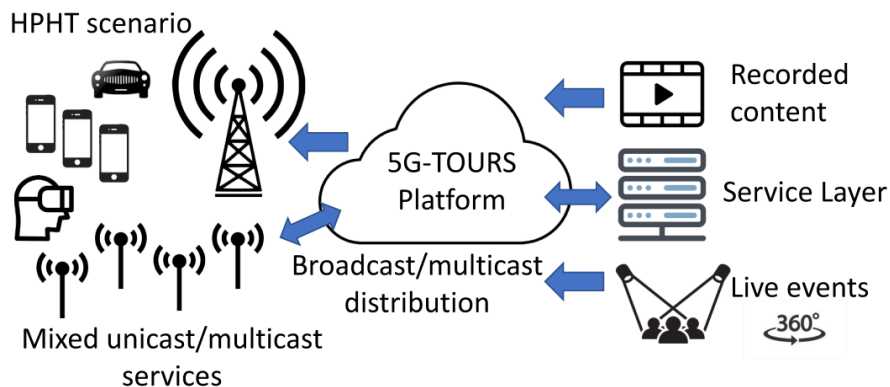
5.3.1.1 Technologie a infrastruktura

- **Technologie:** FeMBMS (Release 14) a LTE-based 5G Broadcast (Release 16).
- **Infrastruktura:**
 - Jeden HPHT vysílač.
 - EnTV/EPC jádro od společnosti Rohde & Schwarz.
 - Hardwarový a softwarově definovaný přijímač (SDR) od Rohde & Schwarz a iFN.
- **Frekvenční spektrum:** VHF kanál 11 (216–223 MHz, střední frekvence 219,5 MHz)

5.3.1.2 Popis případů použití

Projekt 5G-TOURS implementoval několik případů použití zaměřených na zlepšení turistického zážitku prostřednictvím technologií 5G:

- **Rozšířená turistická zkušenost:** Vývoj platformy XR (Extended Reality), která poskytuje turistům vylepšený a interaktivní zážitek pomocí AR/VR aplikací uvnitř i vně muzea Palazzo Madama a interaktivní stěny v muzeu GAM pro děti a studenty.
- **Robotický průvodce v muzeu a telepresence:** Nasazení robotů v muzeích, které mohou sloužit jako průvodci nebo umožnit vzdálené prohlídky pro uživatele, kteří nemohou být fyzicky přítomni. Roboty také slouží k telesurveillance muzea během dne i noci.
- **Distribuce vysoce kvalitních video služeb:** Poskytování vzdělávacího a informativního obsahu ve vysoké kvalitě pro turisty prostřednictvím smartphonů, tabletů nebo VR zařízení. Využití multicastových a broadcastových technologií pro efektivní distribuci obsahu velkému počtu uživatelů.
- **Vzdálená a distribuovaná video produkce:** Testování produkce živých událostí, jako je multi-lokalitní hudební koncert, kde hudebníci hrají na různých místech a jejich vystoupení jsou kombinována prostřednictvím 5G sítě v reálném čase.



Obrázek 26: Distribuce video služby prostřednictvím vysílání

Zdroj: [https://5gtours.eu/documents/publications/Globecom2020_Touristic_City%20\(1\).pdf](https://5gtours.eu/documents/publications/Globecom2020_Touristic_City%20(1).pdf)

Obrázek znázorňuje přístup zaměřený na broadcast velkých multimediálních služeb pomocí High-Power High-Tower (HPHT) infrastruktury, jak je uvedeno na obrázku. Tento scénář využívá LTE-based 5G Terrestrial Broadcast technologii, která umožňuje jednosměrné vysílání videa (downlink-only) na všechna zařízení současně, bez ohledu na počet připojených uživatelů.

5.3.1.3 Výsledky projektu

Projekt 5G TOURS LTE-based 5G Broadcast Trial v Turíně se zaměřil na studium výkonu 5G broadcastového signálu v mobilním prostředí a městských venkovních podmínkách. Byly provedeny testy příjmu v automobilu a analýza pokrytí ve městě, které prokázaly schopnost technologie 5G Broadcast poskytovat vysoce kvalitní audiovizuální služby velkému počtu uživatelů prostřednictvím HPHT infrastruktury.

Nasazení 5G sítí umožnilo implementaci nových služeb náročných na vysokou přenosovou kapacitu, nízkou latenci a vysokou spolehlivost, což výrazně zlepšilo uživatelský zážitek z videa a interaktivních aplikací. Testy ukázaly, že 5G broadcastový signál může efektivně pokrýt městské oblasti i při mobilním příjmu, což zlepšuje kvalitu služeb pro uživatele.

Projekt také demonstroval, jak mohou technologie 5G podpořit inovace v turistickém sektoru a otevřít nové obchodní modely v oblasti pozemního vysílání. Tím se výrazně zvyšuje potenciál pro rozšíření služeb na mobilní zařízení a oslovuje se širší publikum.

5.3.2 Testování Tower Overlay v údolí Aosta

V dubnu 2015 zahájilo Rai CRIT experimentální test v údolí Aosta, zaměřený na hodnocení výkonnosti systému TOoL+, řešení založeného na evoluci technologie LTE-A+ (4G), které umožňuje vysílání dat do mobilních zařízení za využití nákladově efektivní infrastruktury High-Tower High-Power (HTHP).

Projekt byl zaměřen na ověření výkonnosti systému TOoL+ v reálném prostředí a na měření vlivu různých přenosových parametrů LTE-A+ pro efektivní plánování sítě TOoL+. Součástí bylo také zkoumání přenosu dat prostřednictvím signálů DVB-T2 a LTE-A+ a zajištění mobilních a vysokokapacitních služeb s využitím technologií Unicast, eMBMS a TOoL+.

5.3.2.1 Technologie

- **LTE-A+ (Advanced)** – evoluční technologie LTE pro efektivní distribuci dat.
- **High-Tower High-Power (HTHP)** – nákladově efektivní infrastruktura pro širokoplošné vysílání.
- **Software Defined Radio (SDR)** – technologie softwarově definovaného rádia využitá pro generování a příjem signálů TOoL+.

5.3.2.2 Zařízení a infrastruktura

- TOoL+ využívá SDR pro přenos datových proudů signálů DVB-T2 a LTE-A+, které jsou implementovány do Future Extension Frames (FEFs).
- Přenos signálů pomocí první verze živého TOoL+ demonstrátoru.
- Měření probíhala v městských, příměstských a venkovských oblastech a na dálnicích.

- **Frekvence/spektra:** Kanál 53 (730 MHz) s možností využití až pěti vysílačů současně v síti na stejném kanálu.

5.4 Velká Británie

5.4.1 Projekt: 5G RuralFirst

Projekt 5G RuralFirst je jedním z hlavních projektů financovaných britskou vládou v rámci programu 5G Trials and Testbeds, jehož cílem je posílit venkovskou konektivitu a využít výhod technologie 5G pro různé průmyslové sektory, včetně zemědělství, vysílání a veřejných služeb. Projekt je veden společností Cisco a hlavním partnerem je Univerzita Strathclyde. Tento projekt má za úkol testovat nové způsoby zavádění 5G v obtížných geografických podmínkách, jako jsou venkovské oblasti Spojeného království, a budovat obchodní modely pro udržitelné zavádění 5G technologií v těchto lokalitách.

Primární oblasti testování zahrnují Orknejské ostrovy, Shropshire a Somerset. Projekt kombinuje sdílení spektra pro 5G, přináší konektivitu do venkovských komunit a umožňuje „chytřejší zemědělství“ ve spolupráci s Agri-EPI Centre. Mezi další inovace patří využití dronů, autonomních zemědělských strojů a vzdálené veterinární prohlídky. Projekt rovněž zahrnuje spolupráci s BBC na inovativních způsobech šíření rozhlasového vysílání přes 5G síť. Kromě toho 5G RuralFirst nabízí připojení k internetu věcí pro veřejné služby a další odvětví v těchto venkovských oblastech.

Jedním z hlavních případů užití je šíření rozhlasového vysílání přes 5G, ve spolupráci s BBC, které zkoumá, jak 5G technologie může nahradit tradiční způsoby vysílání. BBC věří, že doručování rozhlasového obsahu přes internet bude v budoucnu stále důležitější. V rámci tohoto testování na Orknejských ostrovech BBC zkouší schopnosti 5G pro šíření tradičního rádia i nových forem audio obsahu.

5.4.1.1 Služby a technologie

Projekt 5G RuralFirst nabízí řadu služeb a implementuje pokročilé technologie pro dosažení svých cílů, včetně:

Poskytování služeb:

- Šíření 13 živých stanic BBC Radio přímo ke koncovým uživatelům.
- On-demand (na vyžádání) služby BBC Radio.
- Obecný přístup k internetu pro venkovské komunity.

Technologie:

- **3GPP Rel-12 eMBMS a LTE unicast:** Tyto technologie jsou využívány pro šíření rozhlasových služeb a další obsahové služby. Rel-12 eMBMS je efektivní řešení pro doručování multimediálního obsahu více uživatelům prostřednictvím mobilních sítí.
- **3GPP Rel-14/15 FeMBMS:** Pokročilejší verze eMBMS specifikace, která umožňuje šíření obsahu prostřednictvím LTE a 5G sítí. Tyto technologie umožňují využití 5G Terrestrial Broadcast pro venkovské oblasti.
- **Software Defined Radio (SDR):** Základnová stanice, která využívá flexibilitu SDR pro optimalizaci přenosu a šíření signálu ve venkovských oblastech.
- **eMBMS-kompatibilní mobilní zařízení:** Členové veřejnosti v testovaných lokalitách dostali mobilní telefony a chytré zařízení s podporou 5G a eMBMS, aby mohli přijímat rozhlasové vysílání.
- **Custom-designed FPGA-based 5G Broadcast modem:** Modemy navržené speciálně pro tento projekt implementují nejnovější funkce mobilního vysílání, které nejsou dostupné v běžných komerčních zařízeních.

Frekvence a spektrum

- Projekt využíval frekvenci 700 MHz (3GPP Band 28), která byla použita pro šíření signálu a přenos multimediálního obsahu.



Obrázek 27: OWC spoj na solární článěk

Zdroj: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8696679>

Tento obrázek znázorňuje testovací prostředí na King's Buildings Campus, Univerzita v Edinburghu, kde byl testován optický bezdrátový spoj (OWC) se solárním článkem. Solární panel o rozměrech 20 cm × 20 cm přijímá data rychlostí 20 Mbps na vzdálenost 80 metrů.



Obrázek 28: Nasazení technologie OWC v rámci projektu RuralFirst

Zdroj: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8696679>

Obrázek zobrazuje nasazení OWC technologie na majáku Hoy High na ostrově Graemsay, který propojuje optickou sítí na pevninské části Orknej s domy v okolí pomocí solárních OWC transceiverů. Tato technologie umožňuje bezdrátový přenos dat tam, kde tradiční infrastruktura chybí.

5.4.1.2 Výsledky

Projekt 5G RuralFirst přinesl důkazy o životaschopnosti a spolehlivosti technologie 5G pro venkovské oblasti, které byly tradičně zanedbávány z pohledu komunikační infrastruktury. Testy jednoznačně prokázaly, že vysílání přes 5G může efektivně pokrývat rozsáhlé a obtížně přístupné oblasti, kde jinak není dostatečná mobilní síťová konektivita. Základnové stanice SDR zajistily stabilní a spolehlivé pokrytí, které poskytovalo vysokou kvalitu služeb veřejnosti. Tato technologie byla uživateli pozitivně přijata a přinesla naději pro trvalé zavádění pokročilých komunikačních technologií do venkovských oblastí.

Projekt rovněž demonstroval, že 5G technologie mohou přinést zásadní změny v přístupu k zásadním službám, jako jsou rozhlasové vysílání a vysokorychlostní internet. Díky tomu, že 5G umožňuje přímé doručování multimediálního obsahu na mobilní zařízení, výrazně se zlepšuje kvalita života obyvatel venkova, kteří se doposud museli spoléhat na méně spolehlivé formy konektivity.

Vedle komunikačních přínosů projekt ukázal potenciál technologie 5G pro nové průmyslové aplikace, jako je chytré zemědělství. Díky integraci technologií, jako jsou drony a autonomní zemědělská vozidla, nabízí 5G možnosti, jak zvýšit efektivitu v zemědělství a zlepšit jeho udržitelnost. Projekt rovněž umožnil zkoumat vzdálené veterinární prohlídky a IoT řešení pro veřejné služby, čímž otevřel nové cesty k technologickým inovacím v těchto oblastech.

5.5 Finsko

5.5.1 Wireless for Verticals – WIVE

Projekt WIVE (Wireless for Verticals) se zaměřuje na rozvoj technologií 5G a jejich aplikaci v různých průmyslových odvětvích, známých jako vertikály. Jeho hlavním cílem je zvýšení konkurenceschopnosti v oblastech jako automatizovaná doprava, chytré energetické sítě, masivní konektivita strojů a distribuce médií. Projekt, financovaný finskou vládou prostřednictvím agentury Tekes, zahrnuje široké spektrum partnerů z průmyslového a akademického prostředí, mezi které patří například Nokia Bell Labs, Telia, ABB, Digita a několik předních finských univerzit.

Projekt se zabývá technologiemi 5G, které přinášejí zásadní výhody pro různá odvětví, a zároveň klade důraz na vývoj obchodních modelů pro jejich efektivní aplikaci. Cílem WIVE je podpora odvětví, kde spolehlivá a škálovatelná konektivita tvoří základní prvek.

5.5.1.1 Hlavní cíle projektu

- **Podpora vertikál:** Projekt je zaměřen na zvýšení obchodní hodnoty a technologického pokroku v sektorech, jako jsou automatizovaná doprava, chytré sítě a masivní konektivita strojů. Analyzuje a testuje nové technologické možnosti, které mohou být efektivně využity prostřednictvím 5G sítí.
- **Obchodní aspekty:** V rámci pracovního balíčku věnovaného obchodním aspektům projekt analyzuje příležitosti, nové modely a scénáře, které mohou vzniknout nasazením 5G technologií. Cílem je vytvořit rentabilní a široce využitelné obchodní modely.
- **Média a zábava:** Projekt se zaměřuje také na mediální a zábavní sektor. Testovací případy zahrnují vysílání televizního a rozhlasového obsahu prostřednictvím mobilních sítí, což představuje inovativní způsob distribuce médií. Zvláštní důraz je kladen na vysílání národních úředních zpráv a nouzových hlášení, která mohou být široce distribuována prostřednictvím multicastu.

5.5.1.2 Technologický přístup

WIVE projekt studuje a testuje nové přístupy v oblasti bezdrátové konektivity, přičemž se zaměřuje na výzvy, které přináší nasazení 5G sítí ve vertikálních odvětvích. Hlavní technologické prvky zahrnují:

- **Jednokanálová síť (SFN)** – Projekt zkoumá využití mobilních sítí pro distribuci TV a rozhlasového obsahu, který se v současnosti vysílá přes dedikované vysílací sítě. Klade se důraz na jednokanálovou síť (Single Frequency Network – SFN), která simultánně vysílá přes několik vysílačů na stejné frekvenci, čímž se optimalizuje pokrytí na celostátní úrovni.
- **Robustnost signálu a průchodnost** – Další aspekt je hledání rovnováhy mezi robustností signálu a jeho průchodností pomocí různých modulačních schémat (MCS). To je důležité zejména při zajištění vysoké kvality signálu a nízké latence v různých podmínkách, například při vysoké rychlosti přenosu dat nebo mobilitě uživatelů.
- **Řízení mobility** – Projekt také řeší výzvy spojené s mobilitou uživatelů, jako je plynulý přechod mezi různými buňkami mobilní sítě (handover). To je nezbytné pro zajištění nepřerušovaného připojení při přechodu mezi vysílači.

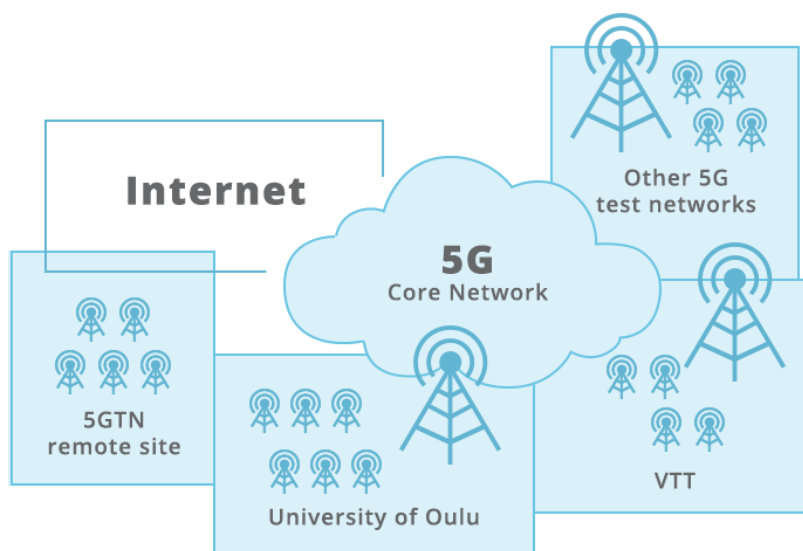
5.5.2 5GTN+ Project

Projekt 5GTN+ (5G Test Network Plus) byl zahájen s cílem otestovat a vyvinout pokročilé technologie 5G, které umožní inovace v různých odvětvích, známých jako vertikály. Tento projekt, vedený Univerzitou v Oulu a VTT Technickým výzkumným centrem Finska, zahrnoval spolupráci více než 20 průmyslových partnerů. Hlavním cílem projektu bylo vytvořit škálovatelnou platformu pro testování nových technologií 5G, zkoumání obchodních modelů a poskytování služeb v reálném prostředí. Jedním z pilířů projektu bylo testování a ověřování technologie eMBMS pro distribuci obsahu, jako jsou TV a rádio, přímo koncovým uživatelům.

Mezi vertikální případy zahrnuté do projektu patřily:

- Péče, wellbeing a fitness
- eHealth v nemocnicích i v mobilních aplikacích
- Digitální továrna s podporou 5G
- Výroba a distribuce médií

Projekt spojuje různé 5G iniciativy pod hlavičkou 5G Test Network Finland (5GTNF) a poskytuje unikátní inovativní platformu pro testování technologií, služeb a aplikací v průmyslových sektorech, jako jsou média, průmyslové aplikace, chytré sítě a doprava.



Obrázek 29: Struktura 5G testovací sítě v projektu 5GTN+

Zdroj: <https://5gtn.fi/overview/>

Tento obrázek znázorňuje strukturu testovací 5G sítě v rámci projektu 5GTN+, který spojuje různé testovací sítě a výzkumné organizace prostřednictvím páteřní 5G sítě. Hlavními uzly jsou Univerzita v Oulu, VTT a 5GTN vzdálená lokalita, které jsou napojené na 5G jádrovou síť a propojeny s internetem a dalšími testovacími 5G sítěmi.

5.5.2.1 Technologie:

V rámci projektu 5GTN+ byly testovány různé technologie 5G zaměřené na distribuci médií a podporu nových průmyslových aplikací:

- **eMBMS (Evolved Multimedia Broadcast Multicast Service):** Tato technologie je navržena pro efektivní distribuci velkého objemu dat, zejména mediálního obsahu, přes mobilní sítě. V projektu 5GTN+ byla implementována v testovací síti v Oulu a ukázala vysokou spolehlivost a nízkou latenci při přenosu mediálního obsahu.
- **Unicast uplink a distribuce obsahu:** Byly testovány i 4K streamy (H.264) přes unicast uplink, což umožnilo přenos mediálních dat z Oulu do Espoo prostřednictvím světelné trasy s propustností až 130 Mbit/s. Tato technologie zajišťuje vysoko kvalitní přenos médií nejen pro spotřebitele, ale i pro průmyslové aplikace, jako jsou chytré továrny a zdravotní péče.
- **Nízká latence a vysoká kapacita přenosu:** Technologie 5G umožňuje přenos dat s velmi nízkou latencí, což je rozhodující pro průmyslové aplikace a přenos živého obsahu. V Oulu byly tyto technologie testovány pro vysílání v reálném čase.

- **Light Path Backbone Network:** Projekt vyvinul páteřní síť založenou na světelných trasách, která propojuje všechny projekty 5GTNF. Tato síť zajišťuje rychlou a efektivní distribuci dat mezi vzdálenými lokalitami s vysokou propustností.

5.5.2.2 Výsledky a závěr

Projekt 5GTN+ přinesl několik podstatných výsledků, které demonstrovaly potenciál technologií 5G pro distribuci médií a průmyslové aplikace. Testování technologie eMBMS prokázalo, že tato technologie dokáže efektivně distribuovat mediální obsah velkému počtu uživatelů s minimálními nároky na šířku pásma. To umožňuje poskytovatelům mediálních služeb zajistit vysokou kvalitu přenosu, aniž by docházelo k přetížení sítě.

V rámci testů unicast uplinku mezi Oulu a Espoo byla dosažena propustnost až 130 Mbit/s. Technologie 5G zároveň poskytuje nízkou latenci, což je zásadní pro vysílání v reálném čase a aplikace náročné na rychlou odezvu. Projekt 5GTN+ ukázal, že technologie 5G může efektivně podporovat průmyslové aplikace, zejména v oblasti chytrých sítí a IoT, s minimálními náklady a vysokou spolehlivostí. Testování zahrnovalo přenos dat z průmyslových senzorů a zařízení v reálném čase.

Významným úspěchem projektu bylo vytvoření inovativní platformy, která umožnila propojení různých projektů prostřednictvím světelných tras. Tato platforma byla zásadní pro rozsáhlé testování 5G technologií v reálném prostředí a nabízí nové možnosti pro výzkum, vývoj a nasazení v průmyslových odvětvích a službách.

Celkově projekt 5GTN+ sloužil jako validační platforma pro teoretický výzkum 5G, s důrazem na praktické aplikace v různých vertikálních sektorech. Výzkum a testování vedly k produktizaci řešení v oblastech péče, wellbeing, eHealth, digitální továrny a distribuce médií a ukazuje široký potenciál technologií 5G pro průmysl i spotřebitele.

5.5.3 5G eMBMS Demo

Projekt se uskutečnil v roce 2018 v sídle Nokia v Karaportti, Finsko. Hlavním cílem projektu bylo demonstrovat schopnosti 5G sítí poskytovat služby podobné vysílání a propagovat jejich využití pro distribuci multimediálního obsahu. Na akci se podíleli zástupci mediálního a telekomunikačního průmyslu, ministerstev, tisku, a organizací jako EBU (European Broadcasting Union). Klíčovou demonstrací bylo vysílání kvalitních DASH streamů (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) na mobilní zařízení prostřednictvím 5G sítě v pásmu 2,9 GHz. Účastníci projektu zahrnovali významné technologické partnery jako Nokia, Qualcomm a Enensys, stejně jako mediální společnosti Yle, MTV a telekomunikační operátor Elisa.

5.5.3.1 Technologie

V rámci projektu 5G eMBMS Demo byly testovány následující technologie:

- **LTE enTV (enhanced TV):** Technologie, která umožňuje vysílání digitální televize přes mobilní síť. Standardizována v rámci 3GPP Release 14, tato technologie přináší vylepšení v oblasti kapacity vysílání, pokrytí a flexibility nasazení. LTE enTV podporuje jak mobilní, tak pevná zařízení a umožňuje vysílání bez potřeby SIM karet nebo předplatného služeb, což usnadňuje konvergenci mezi tradičním televizním vysíláním a mobilními sítěmi.
- **eMBMS (Evolved Multimedia Broadcast Multicast Service):** eMBMS je technologie vyvinutá pro efektivní distribuci multimediálního obsahu přes mobilní síť. Umožňuje operátorům distribuovat obsah velkému počtu uživatelů prostřednictvím jediné frekvence a bez nadměrného zatížení sítě. eMBMS se ukázala jako podstatná pro poskytování vysílacích služeb přes mobilní síť.
- **Pásmo 2,9 GHz:** Pásmo, ve kterém byla technologie testována, je důležité pro šíření vysílacích služeb v rámci 5G sítí. Přenosy probíhaly prostřednictvím nízkofrekvenčního spektra, které zajišťuje stabilní a kvalitní vysílání mediálního obsahu.
- **Více zařízení přijímajících DASH streamy:** Testování zahrnovalo distribuci DASH streamů na více mobilních zařízení v reálném čase, přičemž tato zařízení byla schopná přijímat vysílání s vysokou kvalitou obrazu a zvuku. Demonstrace potvrdila, že 5G sítě jsou schopny distribuovat obsah masovému publiku.
- **Podpora SIM-free zařízení:** V rámci technologie LTE enTV byla testována možnost přenosu na zařízení, která nevyžadují SIM kartu ani předplatné, což přináší nové možnosti pro digitální distribuci televizního vysílání přímo na mobilní zařízení.

5.5.3.2 Výsledky

Projekt 5G eMBMS Demo přinesl několik výsledků, které ukázaly schopnosti 5G sítí a jejich technologie pro vysílání a distribuci multimediálního obsahu. Testování prokázalo, že technologie eMBMS efektivně distribuuje mediální obsah na velký počet zařízení bez výrazného zatížení sítě, což umožnilo poskytovatelům služeb dosáhnout vysoké kvality vysílání bez potřeby dodatečné šířky pásma. Demonstrace zahrnovala distribuci kvalitních DASH streamů s vysokou kvalitou videa a zvuku prostřednictvím 5G sítě na různá mobilní zařízení, což potvrdilo schopnost této technologie poskytovat vysílání v masovém měřítku s minimální latencí a vysokou stabilitou přenosu.

Další významnou výhodou této technologie je schopnost současně distribuovat obsah na velké obrazovky a mobilní zařízení prostřednictvím jediné sítě, otevírající nové možnosti pro poskytovatele obsahu. Testování také odhalilo, že je možné vysílat digitální obsah na zařízení bez SIM karty nebo předplatného, čímž se rozšířily možnosti distribuce obsahu na širší publikum. Projekt navíc ukázal, že technologie LTE enTV a eMBMS mohou v budoucnu nahradit tradiční pozemní digitální televizní vysílání (DTT) a otevírají cestu k využití 5G sítí jako nové platformy pro poskytování mediálních služeb v masovém měřítku.

Závěrem projekt 5G eMBMS Demo jasně ukázal, že technologie 5G a eMBMS mají velký potenciál pro distribuci multimediálního obsahu a mohou nahradit tradiční systémy digitálního televizního vysílání. Dokázalo se, že 5G sítě jsou připraveny poskytovat vysokokapacitní a vysoce kvalitní vysílací služby nejen na mobilní zařízení, ale i na velké obrazovky. Tento technologický pokrok otevírá nové možnosti pro mediální společnosti, poskytovatele obsahu a operátory mobilních sítí a zároveň přináší uživatelům vyšší kvalitu a flexibilitu při sledování obsahu.

5.6 Norsko

5.6.1 Trial of LTE-B in rural Norway

Projekt LTE-B v Norsku byl zaměřen na testování technologie LTE Broadcast (LTE-B) pro distribuci lineární televize do velkých televizních obrazovek prostřednictvím 4G nebo 5G sítí. Hlavním cílem projektu bylo zjistit, zda lze LTE-B technologii efektivně využít v odlehlých venkovských oblastech, které nejsou pokryty satelitním nebo DTT signálem. Tento projekt se odehrával v Norsku, kde přibližně 0,26 % domácností žije v tzv. "stínových" oblastech bez pokrytí běžným televizním signálem. Projekt se rovněž zaměřil na možnosti komerční realizace a potenciální přínosy pro poskytování širokopásmového přístupu a rozšíření pokrytí nouzových sítí.

5.6.1.1 Technologie

V rámci projektu byly použity následující technologie a metody:

- **LTE-Broadcast (LTE-B):** Technologie pro distribuci lineární televize prostřednictvím mobilních sítí 4G nebo 5G. V tomto projektu byla využita pro distribuci televizních kanálů v odlehlých oblastech bez tradičního DTT pokrytí.
- **Frekvence:** Pro přenos signálu byly použity frekvenční rozsahy 758–778 MHz pro downlink a 708–718 MHz pro uplink.
- **Vysílače:** Byly použity vysílače o výkonu 40 W, což umožnilo efektivní pokrytí testovaných oblastí.
- **Distribuce signálu:** Hlavním způsobem distribuce signálu byl systém DVB-T, avšak byla testována i možnost distribuce přes internet.
- **Přenosové rychlosti:** Každý z NRK kanálů byl přenášen v HD kvalitě s datovým tokem 4–5 Mbit/s.

5.6.1.2 Výsledky

Projekt LTE-B v Norsku přinesl několik výsledků. Především potvrdil, že technologie LTE-B je schopna efektivně distribuovat televizní obsah do odlehlých oblastí, kde není možné zajistit tradiční pokrytí satelitem nebo DTT. Testy ukázaly, že je možné poskytovat až čtyři kanály NRK v HD kvalitě, aniž by došlo k výraznému zatížení sítě. Technologie LTE-B rovněž umožnila snížit náklady na distribuci signálu v těchto "stínových" oblastech, což by mohlo v budoucnu znamenat značné úspory.

Projekt rovněž ověřil komerční proveditelnost přechodu z tradičního DTT vysílání na LTE-B ve spolupráci s mobilními operátory, vládními subjekty a dalšími partnery. Kromě distribuce televizního signálu projekt zkoumal, zda lze LTE-B využít i pro rozšíření širokopásmového přístupu a zlepšení nouzové komunikace v těchto odlehlých oblastech.

Celkově projekt ukázal, že LTE-B může být životaschopnou alternativou k tradičním vysílacím systémům a může přinést nové možnosti v poskytování služeb v těžko dostupných oblastech.

5.7 Francie

5.7.1 Tower Overlay

V roce 2015 spustily TDF a RAI první terénní zkoušky technologie LTE-Advanced+ (LTE-A+) Broadcast z vysokovýkonného televizního vysílače v Paříži. Tento projekt, založený na konceptu „Tower Overlay“, vyvinutém Technickou univerzitou v Braunschweigu v roce 2013, měl za cíl prozkoumat možnosti konvergence mezi ekosystémem LTE a tradiční vysílací infrastrukturou. Základním principem projektu bylo přenášet digitální média a televizní vysílání pomocí technologie LTE, což by umožnilo sdílení obsahu jak pro mobilní zařízení, tak pro domácí televizní přijímače bez nutnosti vyhrazených přijímačů v mobilních telefonech.

5.7.1.1 Technologie

- **LTE-Advanced+ (LTE-A+) Broadcast:** V rámci testu byla využita experimentální verze technologie LTE-A+, která byla navržena tak, aby zlepšila přenosy médií a videa přes mobilní sítě. Tato technologie, implementovaná ještě před standardizací v rámci EnTV 3GPP Release 14, zahrnovala funkce jako je větší Cyclic Prefix (CP), který umožňuje vysokovýkonným vysílačům (High Tower/High Power) efektivně přenášet signál eMBMS.
- **Přenos z Eiffelovy věže:** Pro testování v Paříži byl použit vysílač na Eiffelově věži, který vysílal na experimentální frekvenci v pásmu 700 MHz (kanál 54). Cílem bylo demonstrovat schopnost této technologie agregovat širokou škálu digitálního obsahu, jako jsou živé televizní přenosy, video na vyžádání, živé rádio, podcasty, noviny a aktualizace softwaru. Všechny obsahy byly vysílány do mobilních zařízení a uloženy pro pozdější přístup uživatelem. Tímto přístupem se výrazně snižovalo zatížení unicastové LTE sítě.
- **Sdílení kanálu mezi DVB-T2 a LTE-A+:** Jedním z ústředních aspektů technologie Tower Overlay bylo umožnění časového dělení vysílacího kanálu mezi tradiční vysílání HDTV signálu pomocí DVB-T2 a mobilní datový tok pomocí LTE-A+. Tento způsob přenosu dovoluje efektivní využití jednoho vysílacího kanálu pro různé typy zařízení.

Tabulka 2: Přenosové parametry testované během terénních zkoušek pro DVB-T2 a LTE-A+

Parametr	DVB-T2	LTE-A+
Nosná frekvence	738,166 MHz	738,166 MHz
Šířka pásma	8 MHz	8 MHz
Výkon přenosu	2,7 kW ERP	2,7 kW ERP (vertikální polarizace)
Podíl TDM (časové dělení)	50 % / 0 %	50 % / 100 %
Subcarrier Spacing	558 Hz	2,5; 7,5 nebo 15 kHz
Ochranný interval / Cykl. předpona	266 μ s	100 μ s, 3,3 μ s nebo 16,67 μ s
FFT velikost	16K	6144, 2048 nebo 1024
Modulace	64 QAM	QPSK (PMCH 1 & 2), 16-QAM (PMCH 3), 64-QAM (PMCH 4)
Kódovací poměr	0.5	0.28 (PMCH 1), 0.49 (PMCH 2), 0.51 (PMCH 3), 0.43 (PMCH 4)

Zdroj: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7521952>

Tabulka shrnuje přenosové parametry testované během terénních zkoušek, a to jak pro DVB-T2, tak pro LTE-A+ část hybridního signálu. LTE-A+ obsahuje multiplex čtyř tzv. fyzických multicastových kanálů (PMCH), které podobně jako fyzické vrstvy u DVB-T2 umožňují různé úrovně robustnosti pro jednotlivé služby na stejném LTE-A+ nosiči. Toho se dosahuje použitím různých modulačních a kódovacích schémat (MCS). Tento koncept umožňuje současné vyhodnocení různých nastavení modulace a FEC (Forward Error Correction) za daných kanálových podmínek.

Pro účely měření byla vybrána kombinovaná přenosová konfigurace DVB-T2 a LTE-A+ signálu, která umožňuje spektrální sdílení a zároveň použila DVB-T2 jako referenční signál. Ve scénářích byly testovány tři různé subnosné frekvence (f_{Δ}) pro LTE-A+: 15 kHz ($K = 1$), 7,5 kHz ($K = 2$) a 2,5 kHz ($K = 6$). Pro hybridní přenos byl také zvolen scénář s LTE-A+ (bez DVB-T2), který zahrnoval subnosnou frekvenci $f_{\Delta} = 2,5$ kHz. Parametry pro DVB-T2 byly odvozeny na základě předchozích zkoušek provedených v severním Německu, kde byly doporučeny jako vhodný režim pro zavedení DVB-T2.

5.7.1.2 Výsledky

Testy v Paříži přinesly řadu významných výsledků, které zdůraznily potenciál technologie LTE-A+ Broadcast pro konvergenci mezi mobilními a tradičními vysílacími sítěmi. Během zkoušek se prokázalo, že jeden vysílač může současně obsluhovat jak mobilní zařízení, tak tradiční televizory bez nutnosti specifického přijímače na straně mobilních uživatelů. Mobilní uživatelé mohli přijímat a ukládat různé druhy multimediálního obsahu, včetně živého televizního vysílání.

Testování rovněž ukázalo, že tato technologie má potenciál snížit energetické nároky a provozní náklady vysílacích i mobilních sítí díky možnosti sdílet vysílací infrastrukturu a spektrum. Výsledky terénních zkoušek zahrnovaly rozsáhlá měření výkonu vlnové formy, která byla využita k dalšímu zdokonalení technologie LTE-A+ a systému Tower Overlay, a přispěla k vytvoření efektivního mobilního vysílacího systému.



Obrázek 30: Přehled úrovně vstupního výkonu přijímače měřeného v terénní zkoušce v centrální a jihovýchodní části Paříže

Zdroj: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7521952>

Obrázek zobrazuje úroveň vstupního výkonu signálu LTE-A+ přijímaného v terénní zkoušce v centrální a jihovýchodní části Paříže. Data byla shromážděna s použitím GPS informací a časových razítek pro synchronizaci výsledků z různých částí přijímače. Výsledky jsou zobrazeny na mapě pomocí souborů ve formátu KML pro Google Earth, umožňuje vizualizaci výkonových charakteristik signálu v závislosti na poloze přijímače a mobilitě v oblasti. Obrázek demonstruje, jak se výkon signálu liší v různých částech Paříže na základě vzdálenosti od vysíláče a místních podmínek.

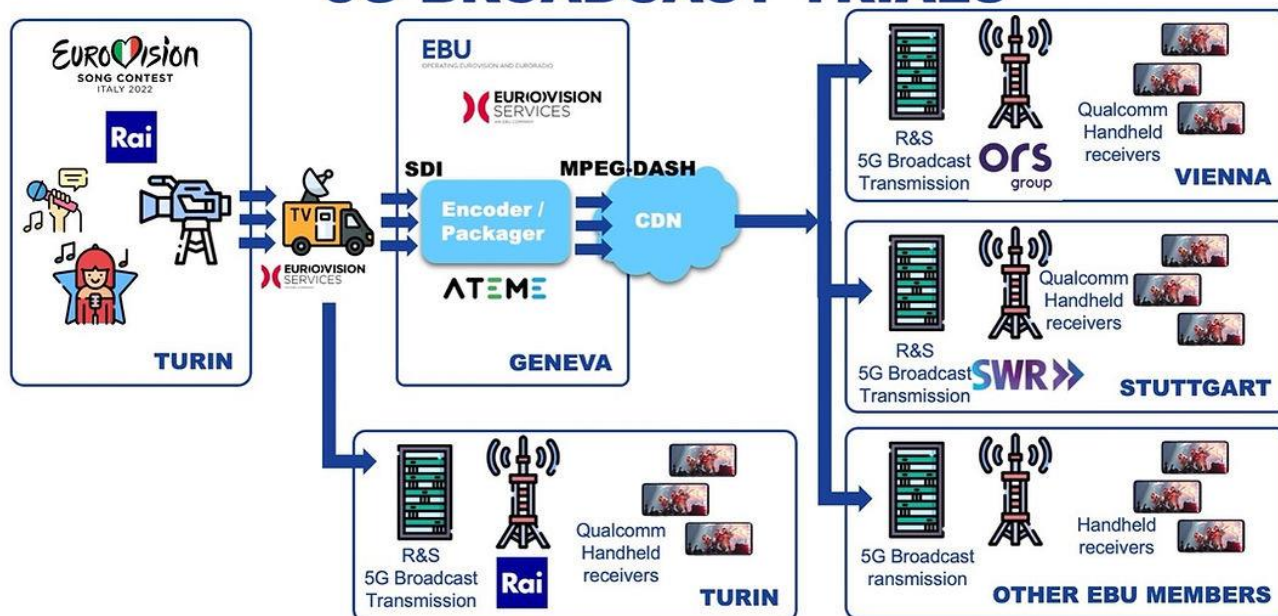
5.8 Evropské projekty

5.8.1 5G Broadcast of the Eurovision Song Contest

Během soutěže Eurovision Song Contest 2022 byl živě vysílán signál pomocí technologie 5G Broadcast z několika významných evropských měst – Paříže, Stuttgartu, Turína a Vídně. Tato událost poskytla ideální příležitost k představení technologie 5G Broadcast, která umožňuje živé vysílání na mobilní zařízení bez potřeby SIM karty či předplatného. Během zkušebního vysílání byl signál k dispozici pouze omezenému počtu uživatelů s 5G Broadcast kompatibilními telefony. Hlavním cílem projektu bylo demonstrovat potenciál technologie 5G Broadcast pro distribuci mediálního obsahu masovému publiku a její přínos pro mediální společnosti a jejich infrastrukturu.

Technologie 5G Broadcast umožňuje efektivní doručení živého vysílání velkému počtu uživatelů a zároveň snižuje zatížení stávajících mobilních sítí. Tradiční způsob distribuce živého vysílání přes mobilní síť může při velkých událostech, jako je Eurovision Song Contest, způsobit přetížení, kdy vysílání sledují miliony diváků současně. 5G Broadcast nabízí řešení tohoto problému prostřednictvím technologie "one-to-many", která umožňuje přenášet obsah na mnoho zařízení najednou, aniž by bylo potřeba individuálních přenosů dat. Navíc umožňuje uživatelům přijímat živý obsah bez nutnosti SIM karty nebo registrace u poskytovatelů mobilních služeb. Tento bezplatný a volně přístupný model přináší nové možnosti konzumace mediálního obsahu a zároveň poskytuje efektivnější a méně náročnou distribuční infrastrukturu.

EUROVISION SONG CONTEST 5G BROADCAST TRIALS



Obrázek 31: Schéma vysílání Eurovision Song Contest 2022 pomocí technologie 5G Broadcast

Zdroj: <https://www.5g-mag.com/post/multi-site-5g-broadcast-trials-during-eurovision-song-contest-in-italy-austria-france-and-germany>

Obrázek znázorňuje proces přenosu živého vysílání soutěže Eurovision Song Contest 2022 prostřednictvím technologie 5G Broadcast ve čtyřech evropských městech: Turín, Vídeň, Stuttgart a Paříž. Signál byl vytvořen italskou televizí RAI v Turíně a poté byl doručen do sídla Eurovision Services v Ženevě, kde ho enkodér od společnosti Ateame převodl do formátu MPEG-DASH pro distribuci. Signál byl poté přes síť CDN odeslán do vysílacích zařízení v jednotlivých městech, kde byl retransmitován pomocí vysílacích systémů Rohde & Schwarz. Uživatelé s prototypovými telefony Qualcomm v těchto lokalitách mohli sledovat živé vysílání bez nutnosti SIM karty nebo registrace. Tento diagram shrnuje spolupráci mezi evropskými vysílateli a technologickými partnery při demonstraci možností technologie 5G Broadcast pro distribuci obsahu na mobilní zařízení.

5.8.1.1 Technologie

- Postavena na funkcích standardu 3GPP Release 16.
- Funguje v režimu "Receive-Only Mode" (ROM) – pouze pro příjem, bez potřeby zpětného kanálu.
- Uživatelé nepotřebují SIM kartu ani přístup k mobilní síti pro příjem signálu.
- Umožňuje volně přístupný mediální obsah bez nutnosti registrace.
- Využívá stávající infrastrukturu digitálního pozemního televizního vysílání.
- Rozšiřuje dosah tradičního vysílání na mobilní zařízení.
- Vhodná pro přenos médií, nouzové varovné systémy a využití v automobilovém průmyslu.
- Distribuuje obsah bez přetěžování mobilních sítí a zároveň zajišťuje vysokou kvalitu služeb při udržitelných nákladech.

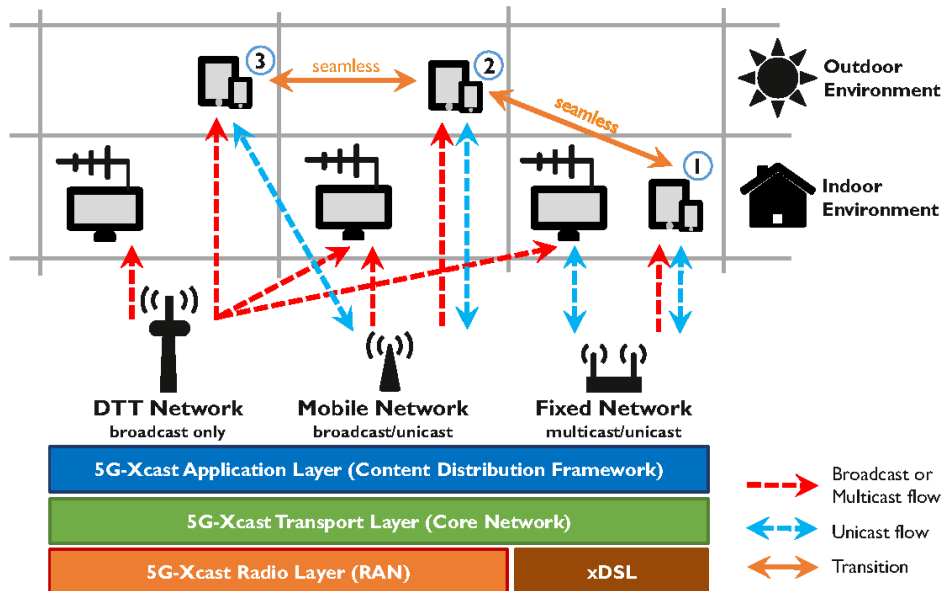
5.8.2 5G-Xcast

Projekt 5G-Xcast, který je součástí druhé fáze iniciativy 5G-PPP (Public Private Partnership), byl zaměřen na vývoj technologie point-to-multipoint (PTM) komunikace v rámci 5G sítí. Hlavním cílem tohoto projektu bylo splnit technické požadavky vertikály Média a Zábava (M&E) a navrhnout inovativní síťovou architekturu, která umožní doručování multimediálního obsahu ve velkém měřítku. Projekt se soustředil na implementaci multicastových a broadcastových funkcionalit, které jsou podstatné pro optimalizaci kapacit v rámci 5G systémů. Tyto funkce doplňují unicastové služby a společně umožňují efektivní doručování obsahu mnoha uživatelům současně.

Na základě původních plánů projekt testoval devět demonstrací:

- Hybridní broadcastová služba – Lineární TV s přídavným obsahem.
- Živé vysílání s nízkou latencí mABR ve spolupráci se SaT5G.
- Demonstrace spektra správ.
- Hybridní broadcastová služba „s MBMS na vyžádání (MooD)“.
- Hybridní broadcastová služba „s Multi-Link“.
- Konvergované, autonomní MooD ve fixních/mobilních sítích.
- Objektově založené vysílání v 5G síti s využitím Dynamic Adaptive Streaming přes IP Multicast.
- Multimediální veřejné varování.
- Spolehlivé doručování multicastu v 5G sítích.

Jedním z aspektů projektu bylo využití moderních testovacích prostředí. Tato testovací prostředí byla aktualizována pro testování technologií založených na Hybridních broadcastových službách v Mnichově, objektově založeném vysílání v britském Surrey a veřejných varovných službách v Turku. Například zkoušky objektově založeného vysílání v Surrey využívaly Dynamic Adaptive Streaming over IP Multicast, který byl integrován s jádrem 5G a 5G NR CPE a poté prezentován na demonstraci na konferenci EuCNC v červnu 2019.



Obrázek 32: Konvergovaná architektura doručování médií 5G-Xcast

Zdroj: <http://5g-xcast.eu/about/>

Tento obrázek představuje konvergovanou architekturu distribuce médií v rámci projektu 5G-Xcast, která zajišťuje bezproblémový a nepřerušovaný přístup k obsahu pro uživatele. Architektura propojuje pevné širokopásmové sítě (fixed broadband), mobilní širokopásmové sítě (mobile broadband) a terestrické vysílání (terrestrial broadcast) tak, aby uživatelé mohli plynule přecházet mezi těmito různými sítěmi bez přerušení služby.

5.8.2.1 Technologie a inovace

- Pokročilá technologie eMBMS
 - Vychází z enhanced Multimedia Broadcast Multicast Service (eMBMS).
 - Poprvé představena v LTE a dále vylepšena ve standardu 3GPP Release 14.
- Architektura 5G sítí
 - Optimalizace Radio Access Network (RAN) a jádrové sítě pro doručování médií.
 - Zavedení dynamické architektury sítě, která umožňuje automatické přepínání mezi unicastem, multicastem a broadcastem, případně jejich paralelní použití.
- Využití caching technologií

- Navrženo flexibilní řešení pro efektivní distribuci obsahu prostřednictvím pevných, mobilních a terestriálních vysílacích sítí.
- Testovací prostředí
 - Tři testovací prostředí: Německo (Institut für Rundfunktechnik), Velká Británie (University of Surrey), Finsko (Turku University of Applied Sciences).
 - Testování technologií v reálném prostředí, například při vysílání během Mistrovství Evropy 2018.
- Hybridní broadcastové modely
 - Kombinace lineární televize a on-demand obsahu pro maximalizaci uživatelského zážitku.
 - Demonstrace hybridního vysílání s možností propojit tradiční televizi a nové formáty služeb.
- Objektově založené vysílání
 - Přenos mediálního obsahu (audio, video, titulky) jako samostatných objektů.
 - Sestavení obsahu v reálném čase na zařízení uživatele podle jeho preferencí.

5.8.2.2 Výsledky

Projekt 5G-Xcast přinesl zásadní výsledky pro budoucnost distribuce mediálního obsahu prostřednictvím 5G sítí, s důrazem na multicastové a broadcastové schopnosti. Technologie demonstrovala významný potenciál pro konvergenci mobilních, pevných a vysílacích sítí, umožní efektivní doručování vysoce kvalitního a imerzivního mediálního obsahu širokému spektru uživatelů a zařízení. Tento přístup otevřel cestu novým obchodním modelům a aplikacím nejen v oblasti médií, ale také ve veřejné bezpečnosti, automobilovém průmyslu a Internetu věcí. Projekt 5G-Xcast tak položil základy pro plynulou migraci mediálních služeb z tradičních sítí na novou 5G infrastrukturu.

Realizované zkoušky a demonstrace prokázaly funkčnost inovací v reálném prostředí. Testovací prostředí v Mnichově, Surrey a Turku se ukázala jako podstatná pro ověření hybridního broadcastu, objektově založeného vysílání a veřejných varovných služeb. Tyto zkoušky potvrdily technologickou vyspělost řešení vyvinutých v rámci projektu a ukázaly, jak může 5G nabídnout efektivní a škálovatelné prostředky pro masivní distribuci mediálních služeb.

Projekt 5G-Xcast také významně přispěl ke standardizaci 5G systémů a poskytl pevný základ pro další rozvoj vertikálních průmyslových odvětví, jako je zábavní průmysl, veřejná bezpečnost a IoT, čímž položil základy pro budoucí aplikace a nové technologie.

5.9 Světové projekty

5.9.1 Olympijské hry

Olympijské hry a jejich vysílání se v průběhu let staly jedním z největších mediálních fenoménů na světě, a to díky postupnému technologickému pokroku, který zpřístupnil hry širokému globálnímu publiku. Význam televizního vysílání Olympijských her je patrný na neustále rostoucím počtu diváků, kteří hry sledují. Londýnské hry 2012 jsou toho příkladem, když je sledovalo více než 4,8 miliardy diváků, což představuje 69 % světové populace.

Historie vysílání Olympijských her sahá až do 20. let 20. století, kdy se díky rozhlasovému přenosu staly hry dostupné pro širší publikum. Předtím lidé mohli sledovat pouze krátké filmové záznamy a zprávy z her. Zásadní zlom přišel v Berlíně v roce 1936, kdy byly hry poprvé vysílány televizí, byť ve velmi omezeném měřítku. Diváci měli přístup k těmto přenosům pouze ve speciálně upravených místnostech poblíž stadionů, ale i přesto tento historický moment přitáhl přes 162 000 diváků.

Po druhé světové válce začal rychlý vývoj televizních technologií a Londýnské hry 1948 již mohlo sledovat půl milionu diváků ve vzdálenosti až 200 km od stadionu. Následně se díky technologii satelitního vysílání během Římských her 1960 staly hry poprvé skutečně globální záležitostí, což znamenalo přelom v mezinárodním vysílání. Hry v Tokiu 1964 pak byly první, které byly vysílány přes satelit přímo do USA a Japonska, čímž se výrazně rozšířil jejich dosah. Do roku 1968 už vysílání Olympijských her pokrývalo tři kontinenty a sledovalo je přes 17 % světové populace.

Od 70. let minulého století, s nástupem barevné televize a dalšími technologickými inovacemi, se přenosy stávaly stále sofistikovanějšími. Zimní hry v Sapporu 1972 byly prvními zimními hrami vysílanými v přímém přenosu a plně barevně. V roce 1984 přinesly Losangeleské hry pokrok v podobě digitálního videa a super zpomalených záběrů, což otevřelo nové možnosti pro vysílání sportovních událostí.

Olympic Broadcasting Services (OBS), který vznikl v roce 2001, se od té doby stal důležitým hráčem v oblasti vysílání Olympijských her. OBS nejen že zajišťuje technickou stránku přenosu, ale také se stará o to, aby diváci po celém světě mohli sledovat hry v co nejvyšší kvalitě a za použití nejmodernějších technologií. V roce 2012, během Londýnských her, bylo na přenos použito více než 1000 kamer a 4000 mikrofonů, což umožnilo zachytit každý detail soutěží z různých úhlů a perspektiv.

S rozvojem digitálních technologií a internetu se možnosti vysílání výrazně rozšířily. Olympijské hry již nejsou jen o televizních přenosech – nyní je možné sledovat hry na různých digitálních platformách, mobilních zařízeních a skrze interaktivní aplikace. OBS neustále inovuje a zajišťuje, že diváci mají přístup k živým přenosům, záznamům na požádání, a dokonce i k analytickým nástrojům, které divákům umožňují sledovat hry podle svých preferencí.

5.9.1.1 Technologie

Technologie, které používá Olympic Broadcasting Services (OBS), prošly během posledních let významným vývojem a dnes patří mezi nejpokročilejší ve světě sportovního vysílání. OBS se neustále snaží inovovat, aby zajišťovalo divákům co nejvyšší a nejefektivnější zážitky z přenosů Olympijských her.

Technologie používané OBS:

- Umělá inteligence (AI): AI hraje v pokrytí Olympijských her roli, zejména při analýze sportovních dat v reálném čase. AI umožňuje automatizovat zpracování záběrů, doporučovat nejzajímavější momenty a analyzovat soutěže. To produkčním týmům poskytuje možnost rychle reagovat na dění na hřišti a doručit divákům ty nejlepší záběry co nejefektivněji.
- Cinematic Approach (Filmový přístup): Olympijské hry v Paříži 2024 přináší nový přístup k vysílání, který klade důraz na filmovou estetiku. OBS používá více kamerových úhlů, dynamické záběry a zpomalené sekvence, čímž vytváří pohlcující zážitek pro diváky a posouvá hranice tradičního sportovního přenosu.
- Inovace v distribuci obsahu: S narůstajícím počtem digitálních platform OBS poskytuje divákům širší možnosti sledování Olympijských her, a to nejen živě, ale i na vyžádání, s multi-kanálovým obsahem a vícejazyčnými verzemi. Diváci si nyní mohou přizpůsobit svůj zážitek podle preferencí a vybrat si, co chtějí sledovat.
- 5G technologie a jejich význam: Technologie 5G Broadcast se na Olympijských hrách stává zásadním prostředkem pro zajištění spolehlivosti a rychlosti přenosu. Na hrách v Paříži 2024 se spoléhá na 5G jako hlavní technologii pro přenosy, které přináší mnoho výhod:
 - Rychlejší datové přenosy: 5G umožňuje efektivnější přenos dat, který je schopen zvládnout obrovský objem dat, jež Olympijské hry generují. To je zásadní při masových událostech, kde sledují hry miliony diváků po celém světě, a to, jak živě, tak prostřednictvím mobilních zařízení.
 - Network slicing: Tato technologie umožňuje rozdělit kapacitu 5G sítě na specifické úkoly. Díky tomu mohou organizátoři přidělit část kapacity sítě pouze pro přenosy her, snižují riziko přetížení sítě a zajišťují, že i v okamžicích maximálního zatížení zůstávají přenosy plynulé.
 - Mobilní kamery a nové úhly pohledu: 5G umožňuje použití mobilních kamer přímo na sportovcích, což nabízí divákům zcela nový pohled na dění na hřišti. Tento přístup byl poprvé testován na ZOH 2018 v Pchjongčchangu a od té doby se dále rozvíjí.
 - Privátní sítě 5G: Na hrách v Paříži 2024 byla zavedena privátní síť 5G, která byla využita při slavnostním zahájení, včetně lodní přehlídky na řece Seině. Privátní sítě jsou využívány i na sportovištích, jako je Stade de France a Arena Bercy. Tato samostatná infrastruktura umožňuje garantovat vysokou kvalitu přenosu, plnou kontrolu nad vysíláním, a především zajišťuje stabilitu i při maximálním zatížení veřejných sítí.

Podle Franka Copsidase, prezidenta 5G Broadcast Collective, má 5G Broadcast obrovský potenciál, který se neomezuje pouze na tradiční lineární vysílání. 5G Broadcast umožňuje přenosy jak video a audio streamů přímo do mobilních zařízení, tak kritické nouzové signály, které mohou dorazit do méně než půl sekundy. Olympijské hry v Paříži 2024 jsou dokonalou příležitostí, jak tento potenciál plně využít a posunout hranice sportovního vysílání na zcela novou úroveň.

6 Kompatibilita a interoperabilita technologie FeMBMS

6.1 Kompatibilita s architekturou a infrastrukturou 5G sítí (SA/NSA)

FeMBMS bylo navrženo s ohledem na plnou kompatibilitu s různými architekturami sítí 5G, včetně samostatného (SA – Standalone) i nesamostatného (NSA – Non-Standalone) režimu. V režimu NSA FeMBMS využívá stávající LTE infrastrukturu, což umožňuje operátorům hybridní přístup, při kterém LTE poskytuje základní kotvicí síť, zatímco 5G technologie rozšiřuje možnosti pro multicastové a broadcastové služby. Tento hybridní model umožňuje poskytovatelům služeb využívat stávající síťové prvky a současně implementovat nové funkcionality bez nutnosti zásadních investic do modernizace celé infrastruktury. NSA režim tedy představuje ekonomicky výhodnou cestu k přechodu na 5G, umožňující operátorům maximálně využít dostupné síťové zdroje a zároveň zajistit plynulý přechod mezi technologiemi.

Na druhé straně, samostatný režim (SA) plně využívá výhod virtualizované a autonomní architektury 5G. Tato architektura zajišťuje nízkou latenci, vyšší kapacitu a efektivní správu síťových zdrojů, což je zásadní pro aplikace náročné na spolehlivost a přenosovou kapacitu, například živé vysílání ve vysokém rozlišení, průmyslové aplikace nebo zdravotnické služby vyžadující nízkou latenci. Architektura SA také umožňuje efektivní podporu pro aplikace s vysokými požadavky na šířku pásma, čímž je zajištěna optimální kvalita přenosu pro rozličné multimediální aplikace.

6.1.1 Porovnání SA a NSA architektury

6.1.1.1 Nesamostatný režim (NSA)

FeMBMS v nesamostatném režimu (NSA) vychází z již existující LTE infrastruktury, což je pro mnoho operátorů ekonomicky výhodné. NSA kombinuje LTE jako základní kotvicí síť s 5G technologií, která přidává nové možnosti pro multicastové a broadcastové služby. LTE zde plní funkci správy mobility a řídicích signálů, zatímco 5G zajišťuje přenos vysokých rychlostí dat, zejména pro aplikace náročné na šířku pásma, jako jsou streamování videí ve vysokém rozlišení, rozšířená realita (AR) nebo virtuální realita (VR).

Díky této architektuře mohou operátoři efektivně využít stávající LTE komponenty, výrazně snižuje náklady na modernizaci infrastruktury a zrychluje návratnost investic. LTE rovněž rozšiřuje pokrytí a zvyšuje kapacitu sítí a usnadňuje zavádění 5G služeb. NSA poskytuje plynulý přechod mezi 4G a 5G a uživatelům s 5G zařízeními nabízí možnost přístupu k vyšším rychlostem dat i v oblastech, kde je pokrytí 5G omezené.

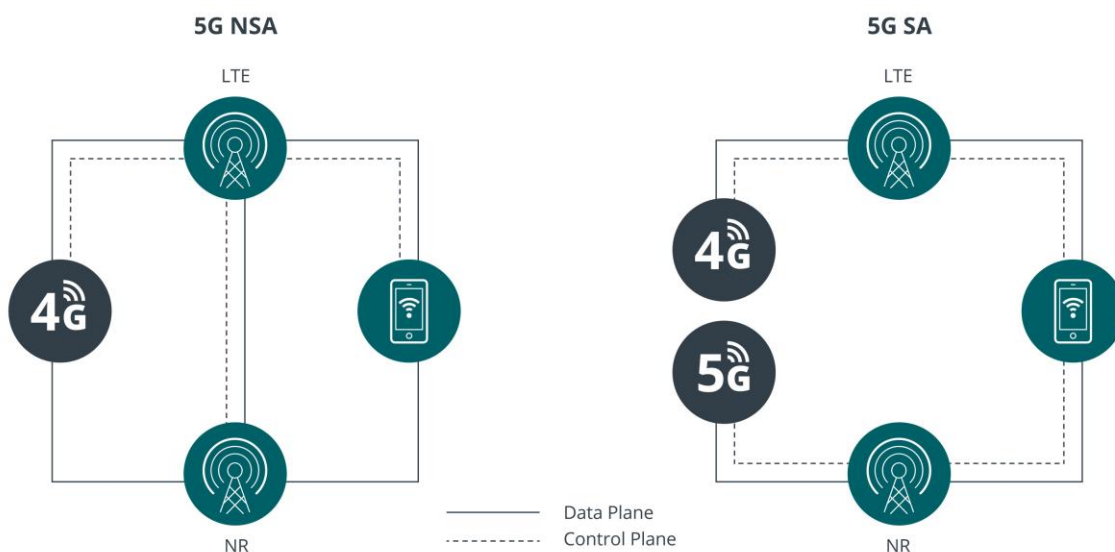
Hybridní přístup zlepšuje správu spektrálních zdrojů a umožňuje postupné přidávání nových 5G funkcí bez potřeby zásadních změn v celkové infrastruktuře. Pro operátory, kteří hledají rychlé nasazení 5G technologií s minimálními náklady, je tento model velmi přínosný.

6.1.1.2 Samostatný režim (SA)

Samostatný režim (SA) představuje plně nezávislou 5G architekturu, kde jsou jak rádiová část (RAN), tak i jádrová síť (5G Core) virtualizované a oddělené od LTE. Tento přístup poskytuje síť plnou autonomii a plně využívá potenciál 5G technologií, zejména v oblastech, kde je podstatná nízká latence, vysoká kapacita a spolehlivost. SA je zásadní pro aplikace, které vyžadují ultra nízkou latenci, například autonomní vozidla, dálkově řízené operace nebo průmyslové automatizační systémy.

SA architektura navíc podporuje pokročilé funkce, jako je network slicing, tedy vytváření virtuálních sítí přizpůsobených specifickým požadavkům aplikací. Tento přístup je využíván pro aplikace v oblasti Internetu věcí, kde různé typy zařízení mohou mít velmi odlišné nároky na šířku pásma, latenci nebo spolehlivost.

Dále SA režim lépe podporuje aplikace náročné na šířku pásma, jako jsou živé přenosy ve vysokém rozlišení, průmyslové nasazení nebo zdravotnické služby, kde je spolehlivost a nízká latence zásadní. Z dlouhodobého hlediska nabízí SA větší flexibilitu a lepší možnosti pro další rozvoj 5G sítí. I když implementace SA vyžaduje vyšší náklady a delší čas, je to strategická volba pro operátory, kteří chtějí plně rozvinout možnosti 5G technologií a kteří se chtějí zaměřit na inovace, jako jsou průmyslové IoT systémy nebo inteligentní města, a potřebují spolehlivou a škálovatelnou síť.



Obrázek 33: Porovnání architektury 5G NSA a 5G SA

Zdroj: <https://www.netscout.com/what-is/5g-sa-vs-nsa>

Tento obrázek porovnává dvě různé architektury pro síť 5G: **5G NSA (Non-Standalone)** a **5G SA (Standalone)**.

5G NSA, zobrazené vlevo, využívá stávající LTE (4G) infrastrukturu ve spojení s novou 5G NR (New Radio). Řídící rovina, která se stará o správu signálů a mobilitu, je stále řízena prostřednictvím LTE, zatímco datová rovina, zajišťující přenos vysokorychlostních dat, je spravována přes 5G NR. Tato architektura představuje hybridní přístup, kde jsou některé funkce stále závislé na 4G, ale samotné datové přenosy už probíhají přes 5G síť.

Naopak **5G SA**, zobrazené vpravo, je plně nezávislé na LTE. V této architektuře jsou jak řídicí, tak datová rovina spravovány výhradně přes 5G NR, což dává síti plnou autonomii. Všechny funkce sítě, včetně přenosu dat, jsou zajišťovány prostřednictvím 5G technologie, což přináší nižší latenci, vyšší kapacitu a větší spolehlivost.

Tento rozdíl ilustruje, jak NSA stále spoléhá na LTE pro řízení určitých funkcí, zatímco SA funguje zcela samostatně v rámci nové 5G technologie.

6.1.2 Výhody kombinace SA a NSA s FeMBMS

FeMBMS je navrženo tak, aby bylo plně kompatibilní s oběma režimy 5G sítí, tedy NSA i SA, to přináší operátorům značnou flexibilitu při nasazování technologií. V případě NSA mohou operátoři těžit z ekonomických výhod, kdy se dá přejít na 5G s využitím již existující LTE infrastruktury. Tento postup přináší možnost maximálně využít dostupné zdroje a plynule přejít mezi LTE a 5G sítěmi, aniž by byly nutné rozsáhlé investice do modernizace celé sítě. Díky tomu je NSA často první volbou pro operátory, kteří chtějí zavést 5G rychle a efektivně.

Na druhé straně, SA představuje cestu k plnému využití potenciálu 5G technologií, zejména v kontextu virtualizované infrastruktury, která přináší možnost provozovat pokročilé aplikace budoucnosti. Tento režim poskytuje lepší výkon, nižší latenci a vyšší spolehlivost, což je zásadní pro aplikace náročné na přenosovou kapacitu a rychlou odezvu. SA rovněž podporuje funkce, jako je network slicing, což je nezbytné pro IoT aplikace a další technologie, které budou v blízké budoucnosti vyžadovat vysokou úroveň flexibility a přizpůsobení konkrétním požadavkům.

Kombinace FeMBMS s NSA nabízí operátorům ekonomickou výhodu v podobě využití stávajících zdrojů, zatímco SA otevírá cestu k rozvoji nových služeb a aplikací, které plně využívají kapacity a vlastnosti 5G sítí. Tato variabilita v přístupu umožňuje

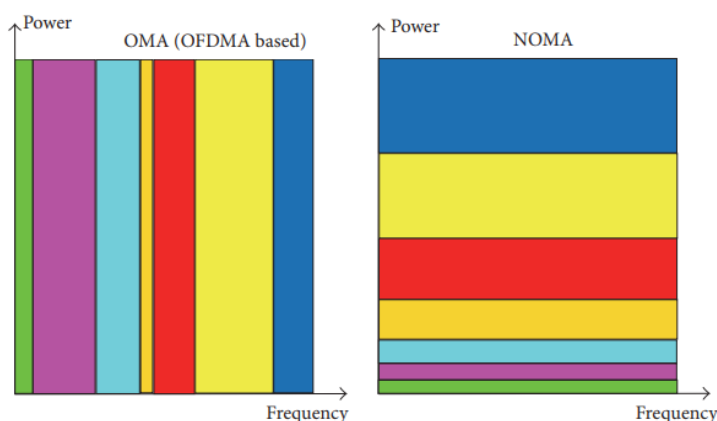
postupné rozšiřování 5G infrastruktury a minimalizuje nutnost okamžitých velkých investic, což zároveň zkracuje čas potřebný k návratnosti vložených prostředků.

Kompatibilita FeMBMS s oběma režimy (SA i NSA) poskytuje flexibilitu při implementaci, umožňuje operátorům přizpůsobit nasazení podle zralosti jejich stávající infrastruktury, postupně upgradovat své sítě, aniž by byli nuceni provádět nákladné změny celé infrastruktury. Navíc hybridní model zajišťuje lepší správu spektrálních zdrojů a zvyšuje kapacitu pro poskytování multicastových a broadcastových služeb, což má pozitivní dopad na efektivitu a kvalitu poskytovaných služeb. Kombinace různých přístupů k multiplexování přináší vyšší spektrální efektivitu a kvalitu služeb. Tato kombinace umožňuje efektivnější využití spektrálních zdrojů a poskytuje vyšší kapacitu pro multicastové služby v různých prostředích.

6.1.3 Porovnání LDM-NOMA a FeMBMS-OMA

Kompatibilita FeMBMS s oběma režimy (SA i NSA) nabízí flexibilitu při implementaci, takže operátoři mohou přizpůsobit nasazení podle zralosti své stávající infrastruktury a modernizovat síť postupně, bez nutnosti nákladných úprav celé soustavy. Hybridní model navíc přispívá k efektivnějšímu využití spektrálních zdrojů a zvyšuje kapacitu pro multicastové a broadcastové služby, čímž se zlepšuje efektivita a kvalita poskytovaných služeb. Různorodé metody multiplexování přinášejí vyšší spektrální účinnost a lepší kvalitu přenosu. Tento přístup zajišťuje lepší správu spektrálních zdrojů a rozšiřuje kapacitu pro multicastové aplikace v různých podmínkách, což je zásadní pro rozvoj 5G sítí a jejich budoucí aplikace.

FeMBMS-OMA (Orthogonal Multiple Access) a LDM-NOMA (Layered Division Multiplexing-Non-Orthogonal Multiple Access) představují dvě odlišné technologie, které jsou navrženy pro efektivní využití spektra v rámci 5G sítí. Každá z těchto metod má své specifické výhody a cílové aplikace, přičemž obě slouží ke zvýšení kapacity a flexibility sítí.



Obrázek 34: Porovnání spektrální efektivnosti mezi OMA (OFDMA) a NOMA

Zdroj: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2018/9713450>

Obrázek vizuálně porovnává spektrální efektivitu a propustnost mezi dvěma přístupy k multiplexování uživatelů: **OMA (Orthogonal Multiple Access)**, založeným na **OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)**, a **NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access)**.

OMA (OFDMA based): Vlevo je zobrazen princip OMA, kde je každému uživateli přidělen specifický frekvenční zdroj bez ohledu na jeho podmínky kanálu. To znamená, že uživatel s dobrými nebo špatnými podmínkami kanálu dostává stejnou část frekvenčního spektra a vede k nižší spektrální efektivitě. Tento přístup omezuje celkovou propustnost systému, protože nevyužívá plný potenciál frekvenčních zdrojů, zvláště když má některý z uživatelů špatné podmínky.

NOMA: Na pravé straně je znázorněn přístup NOMA, kde je stejný frekvenční zdroj sdílen více mobilními uživateli současně, a to i v případě, že mají různé podmínky kanálu. Uživatel s horšími podmínkami (slabší uživatel) a uživatel s lepšími podmínkami (silnější uživatel) používají stejné frekvenční pásmo. Interference mezi nimi je omezována pomocí technik SIC (Successive Interference Cancellation) na přijímačích. Tento přístup zvyšuje spektrální efektivitu a výrazně zlepšuje celkovou propustnost systému.

6.1.3.1 LDM-NOMA

LDM-NOMA využívá neortogonální přístup k přidělování spektra, který umožňuje více uživatelům sdílet jeden kanál současně. Technologie rozděljuje výkon mezi uživatele na základě jejich podmínek příjmu signálu, čímž zvyšuje efektivitu využití zdrojů. To vede ke zvýšení kapacity sítě a zajišťuje větší flexibilitu při správě různých požadavků na šířku pásma. LDM-NOMA se proto hodí pro situace, kdy je třeba přidělit zdroje uživatelům s různou kvalitou spojení.

Ve srovnání s konvenčním ortogonálním přístupem (OMA) je uživatel FeMBMS zařazen jako **středně výkonný uživatel**, zatímco uživatel UL získává výhodu z přiděleného vyššího výkonu kanálu. Tento přístup přináší spravedlivější alokaci zdrojů. Přidělení nižšího výkonu uživateli LL mírně sníží jeho kapacitu, ale má výrazný dopad na výkon uživatele UL, kterému poskytuje lepší přenosovou kapacitu.

Signál, který je přenášen, je definován pomocí počtu RBS (Resource Blocks) a sub-carrierů, a počet uživatelů K je uveden níže jako součást navrženého systému BSP.

Tento obrázek tak ilustruje celkový přehled navrhovaného systému, kde základnová stanice spravuje přidělování výkonu různým uživatelům v závislosti na jejich podmínkách signálu, čímž zajišťuje spravedlivější a efektivnější využití spektra a přenosových zdrojů.

6.2 Integrace s existujícími televizními vysílacími sítěmi

Integrace technologie FeMBMS s existujícími televizními vysílacími sítěmi je zásadním prvkem pro rozšíření možností multimediálního vysílání a dosažení širšího pokrytí. FeMBMS umožňuje rozšířit funkčnost tradičního digitálního vysílání, jako je DVB-T2, a umožňuje poskytování lineárních televizních služeb prostřednictvím mobilních sítí 5G. Tento model poskytuje koncovým uživatelům přístup k televiznímu obsahu na mobilních zařízeních.

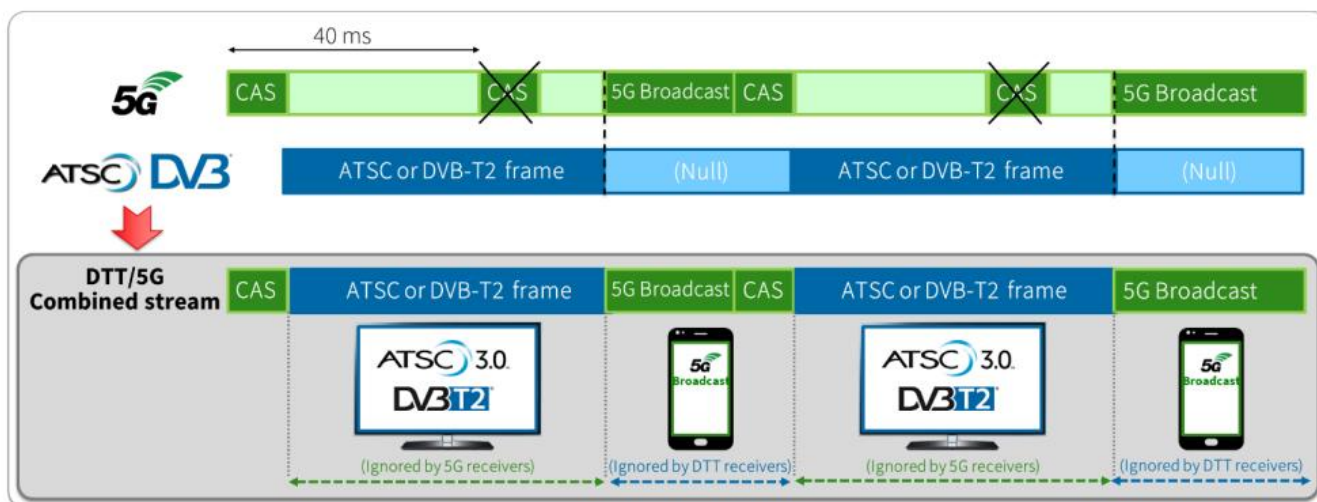
6.2.1 FeMBMS a současné televizní standardy

FeMBMS pokrok v oblasti televizního vysílání pomocí 5G sítí. Jeho hlavní výhodou je rozšíření tradičních vysílacích možností o nové způsoby distribuce obsahu, přičemž zůstává kompatibilní s existujícími televizními technologiemi, jako je DVB-T2. Tento fakt usnadňuje přechod na moderní multimediální vysílání bez nutnosti zásadních změn v dosavadní infrastruktuře.

6.2.1.1 Koexistence DVB-T2 a FeMBMS

DVB-T2 se již dlouhodobě používá pro pozemní digitální vysílání a představuje osvědčený způsob distribuce televizního signálu. FeMBMS však poskytuje nový přístup k šíření obsahu prostřednictvím 5G sítí, což umožňuje uživatelům sledovat televizní vysílání i na mobilních zařízeních. Tímto způsobem se zásadně rozšiřuje dosah televizního vysílání, které je díky tomu dostupné nejen prostřednictvím televizorů a set-top boxů, ale také na telefonech a tabletech.

FeMBMS navíc doplňuje stávající infrastrukturu DVB-T2, aniž by zasahovalo do jejích základních funkcí. Umožňuje přenos televizního obsahu přes mobilní sítě, čímž otevírá nové možnosti pro poskytovatele obsahu a divákům nabízí větší flexibilitu v přístupu k vysílání. DVB-T2 nadále plní svou roli v domácnostech, zatímco FeMBMS umožňuje divákům konzumovat obsah na cestách, a to činí tuto technologii velmi atraktivní.



Obrázek 36: Princip a příklad časového multiplexování

Zdroj: https://dvb.org/wp-content/uploads/2024/04/202404_DVB_IP-based-Broadcast-meets-5G_E-Dubs_FINAL.pdf

Tento obrázek ilustruje princip **časového multiplexování (Time Division Multiplexing)**, kde dochází k souběžnému použití vysílacích standardů **DVB-T2 (nebo ATSC 3.0)** a **5G Broadcast** ve stejném rádiovém kanálu. Tento přístup zajišťuje koexistenci obou technologií v jedné frekvenci prostřednictvím rozdělení vysílacího časového rámce mezi oba standardy.

Na vrcholu obrázku je znázorněn rámec pro 5G Broadcast, který zahrnuje tzv. **CAS (Cell Acquisition Subframe)** - synchronizační signál vysílaný každých 40 ms. Tento signál umožňuje přijímačům detekovat a synchronizovat 5G vysílání. Následuje časové okno pro samotné 5G Broadcast

vysílání. Podobně je zde znázorněn rámeček pro **ATSC** nebo **DVB-T2**, který má pevně stanovené časové úseky pro přenos televizního signálu. **Null okna** mezi nimi slouží k vyrovnání mezi různými standardy.

Ve spodní části obrázku je znázorněn princip společného vysílacího streamu (**DTT/5G Combined stream**), kde jsou ve stejném časovém rámci přenášeny jak **DVB-T2**, tak **5G Broadcast**. Každý přijímač (např. televize s DVB-T2 nebo mobilní zařízení s podporou 5G) rozpozná a přijme pouze ten signál, který je pro něj relevantní. Například **DVB-T2 přijímače** ignorují vysílání pro 5G a naopak. Tím je zajištěna koexistence obou technologií na stejném rádiovém kanálu bez vzájemného rušení.

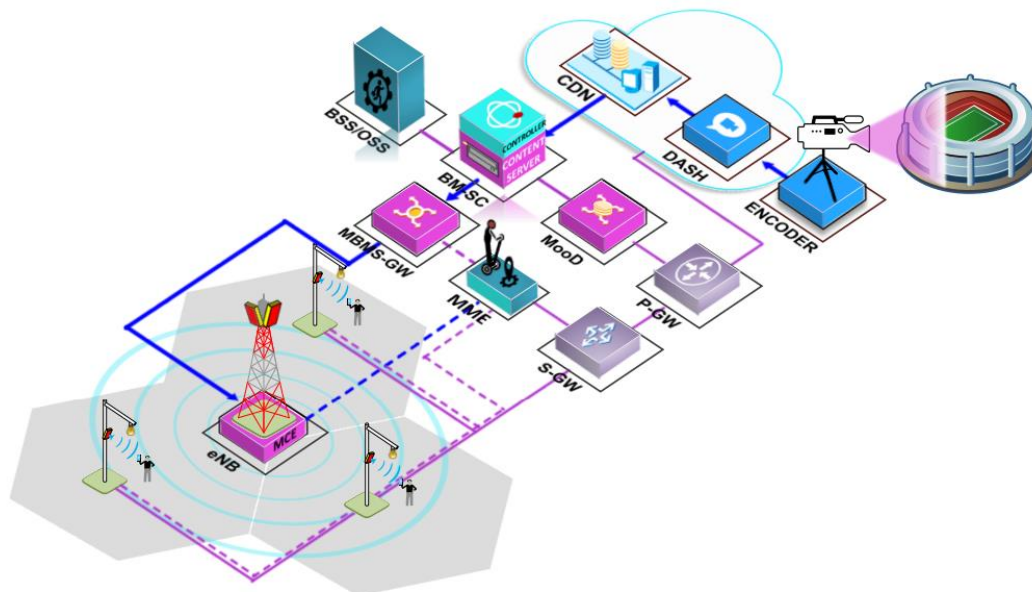
Tato metoda časového multiplexování umožňuje efektivní využití rádiového spektra a současnou podporu různých typů zařízení, aniž by bylo nutné vyhradit samostatné frekvenční pásmo pro každou technologii. Tento přístup je zvláště vhodný v situacích, kde je potřeba zajistit koexistenci starších přijímačů (DVB-T2 nebo ATSC 3.0) s novými 5G zařízeními, aniž by bylo narušeno jejich fungování.

6.2.1.2 Technické požadavky na integraci

Integrace FeMBMS do současné televizní infrastruktury vyžaduje několik technických úprav. Jednou z podmínek je podpora Single Frequency Networks (SFN), které umožňují přenos signálu na rozsáhlé geografické oblasti prostřednictvím jediné frekvence, což vede k efektivnějšímu využití spektra, nižším provozním nákladům a širšímu dosahu vysílání.

Podpora High-Power High-Tower (HPHT) sítí představuje další technickou výzvu. Využití stávající vysílací infrastruktury pro pokrytí rozsáhlých oblastí minimalizuje potřebu výstavby nové infrastruktury. Nasazení HPHT sítí s FeMBMS přináší další úspory nákladů a rozšiřuje pokrytí bez nutnosti rozsáhlých investic.

FeMBMS navíc podporuje tzv. standalone downlink-only síť zaměřené výhradně na vysílání obsahu, aniž by bylo nutné alokovat zdroje pro unicastové služby. To umožňuje poskytování lineárního televizního vysílání bez závislosti na připojení k mobilnímu operátorovi.



Obrázek 37: Architektura FeMBMS v LTE/EPC sítích s HPHT topologií

Zdroj: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10360845>

Obrázek znázorňuje architekturu technologie FeMBMS (Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service) v síti LTE/EPC s použitím HPHT (High-Power High-Tower) topologie. Tato architektura zajišťuje distribuci mediálního obsahu prostřednictvím 5G Broadcast technologie na různá zařízení, jako jsou mobilní telefony, tablety či televizory.

BSS/OSS (Business Support System / Operational Support System) se starají o správu sítí a služeb na nejvyšší úrovni, zatímco Content Server a BM-SC (Broadcast Multicast Service Center) řídí distribuci multicastových a broadcastových služeb a spravují oprávnění k obsahu. CDN (Content Delivery Network) zajišťuje rychlou a efektivní distribuci obsahu k uživatelům.

DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) a ENCODER jsou zodpovědné za optimalizaci mediálních toků, přičemž DASH dynamicky přizpůsobuje streamování tak, aby byla zachována kvalita a efektivita přenosu. MBMS-GW (Multimedia Broadcast Multicast Service Gateway) zajišťuje přenos multicastových a broadcastových služeb v LTE jádřové síti, zatímco MME (Mobility Management Entity) spravuje mobilitu uživatelů a síťovou signalizaci.

Dále P-GW (Packet Gateway) a S-GW (Serving Gateway) zajišťují přenos dat směrem ke koncovým uživatelům a jejich zařízením, včetně směrování a poskytování služeb. eNB (evolved Node B), tedy základnové stanice, vysílají signál na velké geografické oblasti a zajišťují pokrytí rozsáhlých území. MCE (Multicast Coordination Entity) dohlíží na efektivní přidělování vysílacích zdrojů pro multicastové služby.

Komplexní architektura FeMBMS v síti LTE umožňuje efektivní distribuci mediálního obsahu na široké spektrum zařízení a zajišťuje kvalitní a stabilní vysílání v rámci 5G Broadcast.

6.2.1.3 Výhody integrace FeMBMS s DVB-T2

Integrace FeMBMS s DVB-T2 přináší řadu výhod. Jednou z nich je **rozšířené pokrytí**, díky kterému je televizní obsah dostupný na mobilních zařízeních, což uživatelům poskytuje přístup k vysílání i mimo tradiční prostředí. To je velmi přínosné zejména při přenosech živých událostí, jako jsou sportovní utkání nebo zpravodajství, kde je požadováno široké pokrytí a vysoká spolehlivost. Další výhodou je efektivní využití spektra, které FeMBMS zajišťuje díky kombinaci SFN a HPHT sítí. Tímto způsobem lze výrazně snížit potřebu duplicitního pokrytí a minimalizovat rušení mezi vysílacími stanicemi.

Zavedení FeMBMS do současných televizních vysílacích sítí je tedy logickým krokem, který poskytovatelům obsahu umožňuje nabídnout flexibilní a moderní řešení pro televizní vysílání prostřednictvím 5G sítí. Tímto způsobem mohou rozšířit dosah svých služeb na mobilní zařízení a současně zachovat stávající infrastrukturu, což zvyšuje ekonomickou i technickou výhodnost tohoto přístupu.

6.2.2 Využití HPHT (High-Power High-Tower) sítí

Technologie FeMBMS efektivně využívá **HPHT (High-Power High-Tower)** sítě pro rozšíření pokrytí a optimalizaci využití spektra, zejména ve velkých geografických oblastech. Tento model vysílání se opírá o výkonné vysílače umístěné na vysokých věžích, které dokážou pokrýt rozsáhlé území jedinou frekvencí, což snižuje potřebu dalších vysílačů a nákladů spojených s jejich provozem. HPHT sítě jsou tedy velmi vhodné pro vysílání zpravodajských a sportovních událostí, kde je vyžadována stabilita a vysoká kvalita přenosu.

6.2.2.1 Výhody HPHT sítí

Široké geografické pokrytí patří mezi hlavní výhody HPHT sítí. Vysílače s vysokým výkonem, často dosahujícím desítky kilowattů EIRP (Effective Isotropic Radiated Power), umožňují šíření signálu na velké vzdálenosti. Umístění na vyvýšených místech, jako jsou věže nebo kopce, zajišťuje stabilní pokrytí i v náročném terénu. Vlastnosti HPHT sítí redukuje potřebu rozsáhlé vysílací infrastruktury, protože pokrytí rozlehlých oblastí zvládne menší počet stanic. Efektivita tohoto přístupu se projevuje nižšími náklady na instalaci a údržbu a lepší dostupností signálu v odlehlých regionech, kde tradiční vysílací metody nejsou tak účinné.

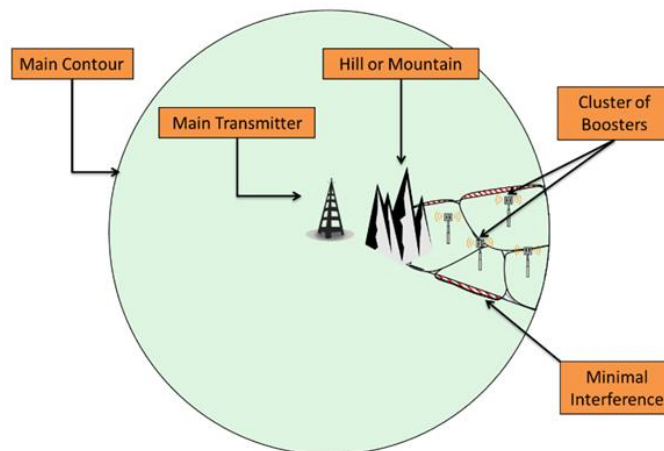
Výhodou je také vysílání na jedné frekvenci (Single Frequency Network, SFN), kdy všechny vysílače v dané oblasti pracují na stejné frekvenci, což eliminuje potřebu přepínání mezi kanály a zaručuje plynulé pokrytí velkých území bez rušení. SFN technologie synchronizuje vysílače, aby signál ze všech stanic dorazil k přijímači současně a zabránilo se vzájemné interferenci.

HPHT sítě zvládají přenos velkého objemu dat bez degradace kvality, což ocení zejména při událostech, jako jsou sportovní přenosy nebo kulturní akce, které vyžadují vysokou kvalitu obrazu a nízkou latenci. Nabízejí také vysoký výkon i v náročných podmínkách, například v hustě osídlených městských oblastech nebo regionech s komplikovaným terénem.

6.2.2.2 Jednotná frekvenční síť (SFN)

Jednotná frekvenční síť (SFN) představuje optimální řešení pro spektrální efektivitu v kombinaci s HPHT sítěmi. Všechny vysílače v dané oblasti využívají stejnou frekvenci, což přináší výhody, jako je optimalizace spektra a vyšší kvalita signálu. Tato metoda funguje tak, že se signál z jednotlivých vysílačů v síti synchronizuje, aby dorazil ke každému přijímači v dané oblasti ve stejném čase. Tento proces eliminuje rušení mezi signály jednotlivých vysílačů, což zlepšuje celkovou kvalitu pokrytí a zajišťuje plynulý přenos bez výpadků.

Výhodou SFN je rovněž zvýšená kapacita sítě, která umožňuje vysílat na rozsáhlé geografické území pomocí jediné frekvence. Tento přístup nejen maximalizuje efektivitu spektrálního využití, ale také přináší větší flexibilitu v přenosu obsahu. SFN umožňuje přenášet různé typy vysílání, včetně živých přenosů, zpravodajství, kulturních událostí a dalšího multimediálního obsahu, přičemž se zachovává vysoká kvalita a nízká latence.



Obrázek 38: Schéma Single-Frequency Network

Zdroj: <https://www.gatesair.com/solutions/single-frequency-networks-sfn>

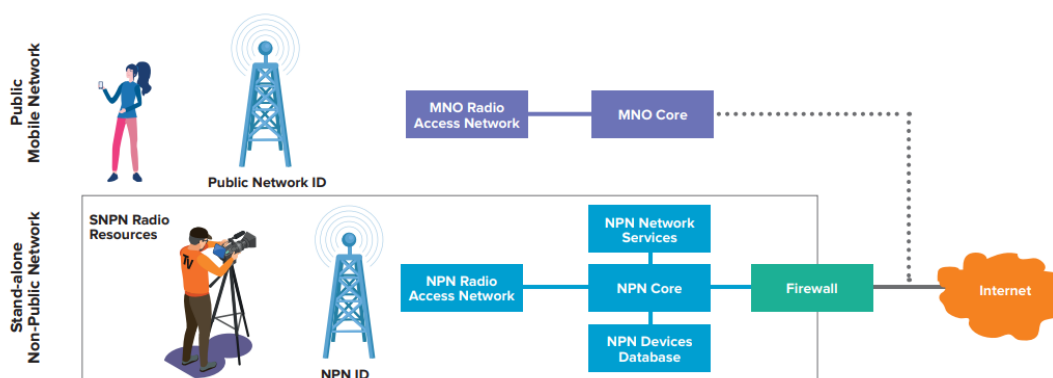
Obrázek znázorňuje princip Single-Frequency Network (SFN), který využívá jeden vysílací kanál pro pokrytí rozsáhlého území. Hlavní vysílač generuje primární signál s vysokým výkonem, pokrývajícím většinu oblastí, známou jako Main Contour. Pro zlepšení pokrytí v obtížně dostupných lokalitách, jako jsou oblasti za horami či kopci (Hill or Mountain), se používají posilovače signálu (boostery). Tyto posilovače se umísťují strategicky v místech, kde signál hlavního vysílače nemůže proniknout kvůli terénním překážkám.

Díky synchronizaci mezi hlavním vysílačem a posilovači je zajištěno, že nedochází k rušení a vysílaný signál z posilovačů plynule doplňuje pokrytí v těžko dostupných oblastech, čímž se minimalizuje interference. Tento systém je obzvláště efektivní pro rozsáhlé území s náročným terénem, protože umožňuje rovnoměrné pokrytí bez potřeby dalších frekvencí nebo výrazného zvyšování výkonu hlavního vysílače. Model SFN tak zajišťuje kvalitní a konzistentní vysílání, které dosáhne i do vzdálenějších míst.

FeMBMS v kombinaci s HPHT a SFN přináší poskytovatelům vysílání možnost efektivně využívat dostupné spektrum a zároveň zajistit vysokou úroveň kvality služeb pro uživatele v rozlehlých geografických oblastech.

6.2.3 Standalone downlink-only síť

FeMBMS v modelu standalone downlink-only sítí představuje řešení pro efektivní distribuci obsahu, především tam, kde je prioritou doručování broadcastových služeb bez nutnosti unicastových přenosů. Model umožňuje, aby celá dostupná kapacita sítě byla vyhrazena výhradně pro vysílání..



Obrázek 39: Schéma stand-alone Non-Public Network (SNPN) a veřejné mobilní sítě

Tento obrázek znázorňuje základní rozdíl mezi stand-alone Non-Public Network (SNPN) a veřejnou mobilní sítí. Veřejná mobilní síť je určena pro široké využití veřejností, zatímco SNPN je izolovaná síť navržena pro specifické účely, například pro mediální organizace. Tuto síť může plně spravovat subjekt, který ji provozuje, a její provoz je zcela nezávislý na veřejných mobilních sítích.

Veřejná mobilní síť zahrnuje MNO Radio Access Network, která zajišťuje přístup ke službám prostřednictvím rádiové části sítě, spravované mobilními operátory. Jádrem veřejné mobilní sítě, MNO Core, poskytuje síťové funkce a propojení s internetem, což umožňuje uživatelům přístup k veřejným službám. Tato veřejná síť je identifikována prostřednictvím Public Network ID, což jí zpřístupňuje široké veřejnosti.

Na druhé straně SNPN (Stand-alone Non-Public Network) využívá vlastní rádiové zdroje (SNPN Radio Resources), které jsou izolovány od veřejných sítí. NPN Radio Access Network slouží specifickým účelům, jako je například produkce médií, a má vlastní identifikátor NPN ID. Jádro této sítě, NPN Core, poskytuje kompletní kontrolu a správu síťových funkcí, přičemž veškerá data a služby jsou odděleny od veřejných mobilních sítí. Kromě toho NPN Network Services nabízejí specifické funkce, jako je nízká latence, vysoká propustnost a monitorování v reálném čase, přičemž všechny připojené zařízení jsou spravovány prostřednictvím NPN Devices Database.

Bezpečnost je zajištěna prostřednictvím Firewall, který chrání přístup mezi izolovanou SNPN sítí a veřejnými sítěmi. Firewall může rovněž umožnit propojení s internetem či zajištění roamingových dohod s veřejnými mobilními sítěmi, pokud je to potřeba. Tento model izolovaných sítí nabízí vyšší míru kontroly a bezpečnosti ve srovnání s veřejnými sítěmi a zajišťuje spolehlivost pro specifické aplikace a potřeby.

6.2.3.1 Výhody downlink-only modelu

- **Maximalizace pokrytí a kapacity:** Standalone downlink-only model umožňuje plně využít spektrum pro vysílání, vede k rozšířenému pokrytí a vyšší kapacitě. Díky tomu mohou poskytovatelé médií efektivně oslovit široké publikum bez ohledu na geografické překážky. Signál zůstává stabilní a spolehlivý i v oblastech s vysokou hustotou obyvatelstva. Efektivní využití spektra a absence unicastových přenosů také přispívají ke zvýšené dostupnosti služeb a umožňuje vyšší počet uživatelů současně přijímat obsah bez degradace kvality přenosu.
- **Eliminace potřeby unicastu:** V modelu downlink-only nejsou potřeba unicastové přenosy. Tím, že se síť nemusí věnovat individuálnímu doručování dat jednotlivým uživatelům, se výrazně zjednodušuje správa přenosových kapacit. Veškeré zdroje jsou vyhrazeny pro vysílání jediného streamu, který může dosáhnout velkého množství diváků současně. Tento model tak umožňuje přenášet události s vysokými požadavky na šířku pásma a kapacitu, jako jsou například živé sportovní utkání, koncerty nebo kulturní akce.

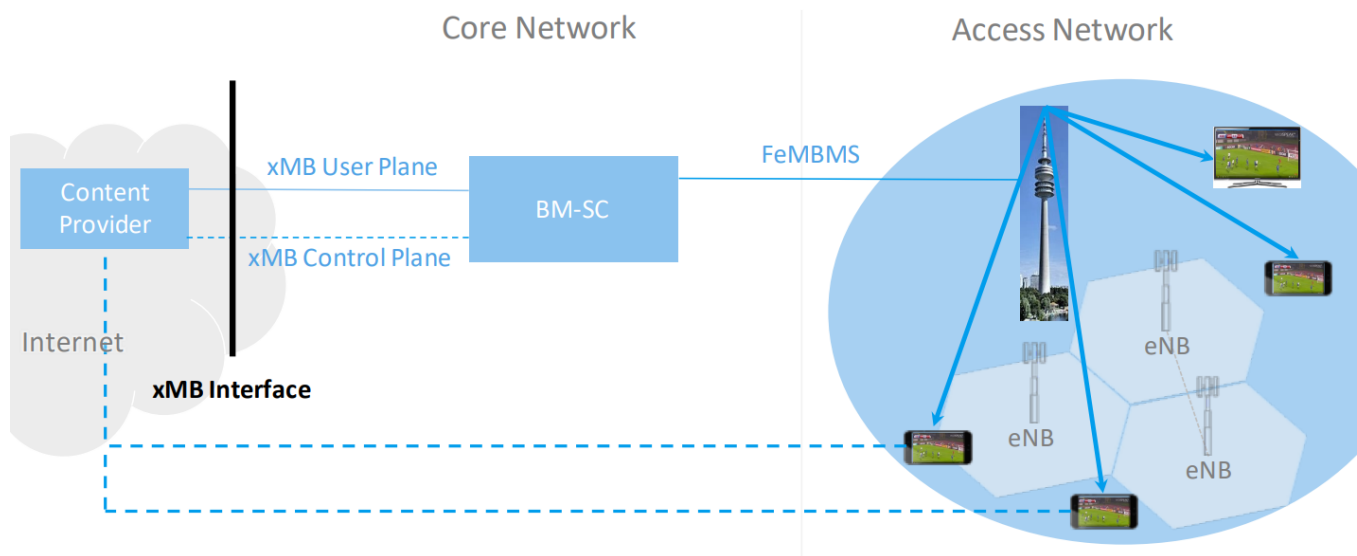
6.2.3.2 Poskytování bezplatných služeb (free-to-air)

FeMBMS ve standalone downlink-only sítích umožňuje provozovatelům poskytovat televizní vysílání jako bezplatné (free-to-air) služby bez nutnosti propojení s mobilními operátory. Tento přístup přináší uživatelům možnost sledovat obsah bez dodatečných nákladů na mobilní data či speciální služby poskytované operátory. Lineární televizní vysílání lze snadno zprostředkovat širokému publiku, a to na různých zařízeních, včetně mobilních telefonů, tabletů či chytrých televizí.

Tento model free-to-air je výhodný nejen z ekonomického hlediska, ale i z hlediska dostupnosti a spolehlivosti. V případě krizových situací, jako jsou přírodní katastrofy nebo mimořádné události, umožňuje tato technologie zachovat plynulost vysílání a rychle informovat veřejnost, a to i v oblastech, kde jsou běžné komunikační sítě přetížené nebo mimo provoz. Díky této schopnosti je standalone downlink-only síť kritickým prvkem moderního vysílacího ekosystému, který zajišťuje nepřetržitý přístup k informacím pro široké vrstvy obyvatelstva.

6.2.4 Použití rozhraní xMB pro integraci

Rozhraní xMB umožňuje snadnou integraci technologie FeMBMS do stávajících vysílacích a mobilních sítí. Tento standardizovaný protokol zjednodušuje přechod na 5G vysílání a umožňuje flexibilní správu audiovizuálních služeb prostřednictvím mobilních a vysílacích sítí.



Obrázek 40: Architektura FeMBMS s využitím rozhraní xMB pro distribuci obsahu

Zdroj: https://tech.ebu.ch/docs/events/asbu_wot2019/presentations/Dav3-slot6-EBU-ASBU-WoT-5G_today-Aneta%20Baier-IRT-2019.pdf

Schéma popisuje tok obsahu od poskytovatele (Content Provider) až po koncové uživatele prostřednictvím technologie FeMBMS v 5G sítích. Poskyvatel obsahu, jako jsou mediální společnosti nebo televizní stanice, distribuuje obsah (např. živé sportovní přenosy) přes internet. Data jsou přenášena pomocí **xMB rozhraní**, které je rozděleno do dvou částí: **xMB User Plane**, zajišťující samotný přenos obsahu, a **xMB Control Plane**, který řídí komunikaci a synchronizaci.

Následně obsah prochází centrální jednotkou **BM-SC (Broadcast Multicast Service Center)**, která spravuje a distribuuje obsah směrem k základnovým stanicím (eNB). Tyto základnové stanice vysílají obsah ke koncovým uživatelům na různých zařízeních, jako jsou mobilní telefony, tablety a televizory.

Celý proces je optimalizován pro vysílání k velkému počtu uživatelů současně, čímž se minimalizuje zatížení sítě a zajišťuje vysoká kvalita přenosu v reálném čase.

6.2.4.1 Snadná integrace s vysílacími sítěmi

Rozhraní xMB poskytuje nástroj pro poskytovatele vysílacích služeb, kteří chtějí rozšířit své služby o nové vysílací platformy, jako je 5G Broadcast nebo FeMBMS. Toto rozhraní umožňuje provozovatelům snadno řídit audiovizuální služby, jako jsou streamování nebo přenosy v reálném čase, prostřednictvím mobilních a vysílacích sítí bez potřeby složitých úprav. Podle specifikací, které byly zavedeny ve standardu 3GPP Release 14 a dále rozšířeny v Release 16, xMB odděluje řízení služeb a přenosovou vrstvu. Tato separace usnadňuje správu a provoz jak unicastových, tak multicastových služeb. Pomocí tohoto rozhraní mohou poskyvatelé médií přecházet na FeMBMS, přičemž jsou schopni efektivně zajišťovat přenos audiovizuálních dat mezi vysílacími stanicemi a koncovými uživateli.

6.2.4.2 Flexibilita a rozšiřitelnost

Jednou z výhod rozhraní xMB je jeho schopnost zajistit vysokou míru flexibility a rozšiřitelnosti v různých typech vysílacích sítí. xMB rozhraní umožňuje poskytovatelům médií snadno přizpůsobit služby různým zařízením a technologiím, včetně mobilních sítí a televizního vysílání. Toto řešení zajišťuje podporu pro široké spektrum audiovizuálních formátů, od standardního rozlišení (SD) až po ultra vysoké rozlišení (UHD). Dále umožňuje využívání dynamických funkcí, jako je automatické přizpůsobení služeb na základě poptávky (např. eMBMS Operation on Demand - Mood). xMB také podporuje společné vysílání (shared broadcast networks), což umožňuje agregovat více sítí do jedné platformy a zvyšuje efektivitu využití spektra a dostupných vysílacích zdrojů.

Tento přístup činí xMB nejen kompatibilním se stávajícími vysílacími systémy, ale také připraveným pro budoucí technologie a rozšíření, jako je například integrace s novými aplikacemi a funkcemi, které přinese 5G Broadcast.

6.2.5 FeMBMS a budoucí multimediální aplikace

FeMBMS přináší potenciál poskytovat obsah v mimořádně vysoké obrazové kvalitě prostřednictvím 5G sítí. Tato vlastnost je zásadní především pro aplikace, které vyžadují detailní zobrazení, například sportovní přenosy nebo kulturní události. Podpora

vysokých rozlišení, jako jsou HD a UHD, umožňuje zlepšení diváckého zážitku, protože nabídne ostřejší a věrnější obraz, včetně pokročilých technologií, jako je HDR (High Dynamic Range). Díky tomu může FeMBMS hrát významnou roli při formování budoucích televizních standardů a poskytnout nové možnosti pro mediální průmysl v oblasti vysílání ve vysoké kvalitě.

Technologie FeMBMS je navržena tak, aby výrazně snižovala latenci, což zlepšuje přenos multimediálních služeb, které jsou závislé na rychlé odezvě. To je obzvláště důležité pro živé sportovní přenosy nebo interaktivní vysílání, kde je potřeba minimální zpoždění mezi událostí a jejím přenosem k divákovi. Nízká latence rovněž otevírá nové možnosti pro moderní interaktivní aplikace, jako je e-sport nebo živé události, kde je okamžitá odezva naprosto zásadní pro plynulý zážitek. Schopnost poskytovat stabilní a rychlé přenosy se stává základním předpokladem pro budoucí multimediální služby, kde rychlost a kvalita vysílání budou hrát roli.

6.2.6 Přechod na hybridní modely vysílání

Hybridní vysílání přináší nové možnosti propojení s digitálním videovysíláním (DVB) a umožňuje vyšší efektivitu využití spektra.

- **Hybridní vysílání s FeMBMS a DVB:** Tento model propojuje schopnosti 5G vysílání s klasickými DVB technologiemi, čímž dochází ke sjednocení obou systémů. Poskytovatelé vysílání mohou tímto způsobem zefektivnit své pokrytí a přenášet obsah jak lineárně, tak i na vyžádání.
- **FeMBMS a tradiční vysílací sítě:** Využití hybridních modelů umožňuje zachování kompatibility se stávajícími tradičními sítěmi, což poskytuje flexibilitu v přechodu na moderní technologie, aniž by bylo nutné kompletně měnit stávající infrastrukturu.
- **Hybridní TV modely s 5G:** Kombinace FeMBMS a DVB umožňuje vznik nových hybridních modelů televizního vysílání, které podporují jak lineární, tak i interaktivní vysílání. Tento model je výhodný pro širokou škálu multimediálních služeb, od přímých přenosů po aplikace na vyžádání.
- **FeMBMS pro lineární a vysílání na vyžádání:** Flexibilita FeMBMS dovoluje přenášet obsah v různých formátech, jak pro lineární vysílání, tak pro obsah dostupný na vyžádání. To otevírá nové možnosti pro poskytování obsahu uživatelům s různými preferencemi.
- **Integrace 5G se stávající vysílací infrastrukturou:** Nasazení FeMBMS jako součásti hybridních modelů umožňuje snadnější integraci s již existující vysílací infrastrukturou, což usnadňuje přechod na pokročilé technologie bez narušení stávajících služeb.

Hybridní modely vysílání přináší vyšší flexibilitu, efektivitu a rozšiřitelnost služeb, což umožňuje lepší přizpůsobení potřebám moderního trhu a zároveň zachování podpory tradičních vysílacích technologií.

6.3 Kompatibilita s různými zařízeními

Technologie FeMBMS byla navržena tak, aby zajišťovala širokou kompatibilitu s různými koncovými zařízeními, včetně chytrých telefonů, tabletů, chytrých televizorů a dalších multimediálních zařízení. Tento cíl je dosažen prostřednictvím využití standardizovaných protokolů a technologií, které jsou běžně podporovány v moderních zařízeních. Technologie FeMBMS využívá koncept LTE Broadcast, což umožňuje zařízením vybaveným LTE modemem přijímat broadcastové vysílání bez nutnosti výrazných hardwarových úprav. Tento přístup rozšiřuje možnosti využití FeMBMS zejména v mobilním prostředí, kde uživatelé očekávají bezproblémový přístup k multimediálnímu obsahu bez ohledu na typ zařízení.

FeMBMS podporuje různé režimy příjmu – od unicastu až po plně broadcastový režim. Tato flexibilita umožňuje poskytovatelům optimalizovat využití síťových zdrojů, zlepšit uživatelskou zkušenost a snížit zatížení sítě v době vysoké poptávky po obsahu. Schopnost adaptace mezi unicastem a broadcastem je klíčová pro efektivní distribuci obsahu, což umožňuje poskytovatelům flexibilně reagovat na změny poptávky, zejména během živých přenosů populárních událostí. Kompatibilita s různými zařízeními je nezbytná pro úspěšnou adopci technologie FeMBMS na trhu. Možnost nasazení bez nutnosti rozsáhlých úprav na straně koncového uživatele usnadňuje zavádění této technologie a snižuje bariéry vstupu na trh. Díky tomu mohou poskytovatelé obsahu a telekomunikační operátoři rychle reagovat na dynamické potřeby trhu, což činí FeMBMS atraktivní volbou pro širokou škálu aplikací. Univerzálnost a snadná integrace FeMBMS představují významný faktor pro udržení konkurenceschopnosti na trhu a pro efektivní distribuci multimediálního obsahu bez nutnosti rozsáhlých investic do infrastruktury nebo koncových zařízení.

6.3.1 Mobilní zařízení a tablety

FeMBMS poskytuje mobilním zařízením a tabletům bezproblémový přístup k lineárnímu televiznímu vysílání, který přináší zásadní posun ve způsobu konzumace médií na těchto zařízeních. Mobilní telefony a tablety jsou dnes neodmyslitelnou součástí

každodenního života, a díky technologiím jako FeMBMS se mobilní multimediální zážitky stávají stále dostupnějšími a kvalitnějšími.

6.3.1.1 Výhody pro mobilní uživatele

Jednou z hlavních výhod FeMBMS je zajištění přístupu k televiznímu obsahu na cestách. Uživatelé mohou bez přerušení sledovat televizi v reálném čase, ať už jsou kdekoli, bez ohledu na kvalitu signálu nebo připojení k internetu. FeMBMS výrazně snižuje závislost na tradičních připojeních a nabízí stabilní příjem obsahu i v oblastech se slabším pokrytím.

Díky podpoře unicast a broadcast přenosů v rámci mobilních sítí 5G, FeMBMS kombinuje nejlepší prvky obou světů – unicastu pro individuální obsah a broadcastu pro masové vysílání, například sportovní události nebo živé koncerty. Tento přístup šetří síťové zdroje a poskytuje stabilní přenos i pro velké množství uživatelů najednou.

6.3.1.2 Podpora vysokého rozlišení (HD a UHD)

S příchodem technologie 5G se dramaticky zvyšuje kvalita multimediálního obsahu na mobilních zařízeních. FeMBMS využívá vysoké přenosové rychlosti a nízkou latenci, což umožňuje streamování obsahu v HD nebo dokonce ve formátu UHD (4K), aniž by došlo k přerušení nebo zhoršení kvality obrazu. Uživatelé mohou očekávat hladké přehrávání videa, a to i ve vysoce zatížených oblastech.

6.3.1.3 Kompatibilita s různými operačními systémy

FeMBMS je navržen tak, aby fungoval na mobilních zařízeních se systémy Android a iOS. Výrobci zařízení spolu s technologickými partnery, jako je Qualcomm, již pracují na vývoji specifických chipsetů, které podporují přijímání 5G broadcast signálu. Tyto čipy zahrnují pokročilé dekodovací funkce a energetickou optimalizaci, která umožňuje dlouhé sledování obsahu bez nadměrného vybíjení baterie. Harmonizované technické standardy pro FeMBMS v rámci Evropy zajišťují, že zařízení budou vzájemně kompatibilní, což umožní jednotný přístup k vysílání ve všech zemích.

6.3.1.4 Technické požadavky na hardware

Systémy podporující FeMBMS na mobilních telefonech vyžadují přítomnost 5G modemů s funkcemi multicastu a broadcastu, pokročilé antény schopné přijímat signál v různých frekvenčních pásmech, a také speciální dekodéry optimalizované pro příjem vysokého rozlišení (HD a UHD).

6.3.2 Smart TV a set-top boxy

Technologie FeMBMS představuje pokročilý přístup k integraci televizního vysílání přímo do chytrých televizorů (Smart TV) a set-top boxů, čímž poskytuje uživatelům rozsáhlé možnosti inovativního využití multimediálního obsahu bez potřeby tradičních přijímových systémů. Tato technologie se opírá o nejmodernější přenosové standardy a představuje revoluční krok vpřed v oblasti distribuce televizního obsahu, který odpovídá požadavkům na digitální transformaci a přináší vyšší flexibilitu, dostupnost a efektivitu.

6.3.2.1 Moderní chytré televize

Díky technologii FeMBMS jsou chytré televize schopné přijímat televizní signál prostřednictvím 5G sítí přímo, což eliminuje nutnost připojení pomocí tradičních antén nebo satelitních zařízení. Tento způsob příjmu představuje výrazné zjednodušení pro koncové uživatele, jelikož eliminuje potřebu instalace a konfigurace komplexních přijímacích systémů. FeMBMS umožňuje distribuci lineárního televizního vysílání ve vysoké kvalitě, což zahrnuje obraz i zvuk odpovídající nejvyšším standardům současné audiovizuální produkce. Tato technologie zajišťuje flexibilní příjem obsahu prostřednictvím širokopásmové 5G infrastruktury, čímž přispívá k celkovému zvýšení uživatelské spokojenosti. FeMBMS nejenže usnadňuje proces přijímání vysílání, ale také zvyšuje možnosti multimediálních služeb, což zahrnuje přístup k rozšířeným interaktivním funkcím a integraci dalších digitálních služeb přímo v prostředí chytrých televizí.

FeMBMS rovněž podporuje implementaci jednokanálových systémů SFN (Single Frequency Network), které významně optimalizují spektrální efektivitu a zajišťují konzistentní pokrytí ve všech geografických oblastech, včetně venkovských a obtížně přístupných regionů. To umožňuje efektivnější využití dostupného spektra, což je zásadní pro zachování kvality a dostupnosti služeb v oblastech s omezeným přístupem k tradičním vysílacím systémům. Podle zdrojů společnosti SPINNER byla technologie FeMBMS úspěšně testována v několika regionech, včetně rozsáhlých experimentů v Bavorsku a na vzdálených lokalitách ve Velké Británii. Výsledky těchto testů ukazují, že FeMBMS dokáže zajistit spolehlivý a stabilní přenos i v náročných podmínkách, čímž se zvyšuje jeho potenciál pro široké nasazení.

6.3.2.2 Integrace s domácími zařízeními

FeMBMS také poskytuje možnost bezproblémové integrace s existujícími set-top boxy, což umožňuje uživatelům postupně modernizovat jejich domácí přijímací zařízení. K dosažení plné podpory technologie FeMBMS je však často nutné provést technické úpravy některých set-top boxů, jako je například přidání kompatibilního 5G modemu nebo aktualizace softwaru pro podporu specifických funkcionalit. Integrace FeMBMS s domácími zařízeními byla navržena s důrazem na minimální komplikace pro koncové uživatele, čímž zajišťuje jednoduchý a snadný přístup k novým televizním službám bez zásadní potřeby měnit stávající domácí infrastrukturu. Díky tomu mohou uživatelé využívat pokročilé multimediální funkce a přístup ke kvalitnímu televiznímu obsahu bez zbytečných technických překážek. Modernizace set-top boxů prostřednictvím FeMBMS rovněž umožňuje integraci dalších digitálních služeb, jako jsou aplikace pro on-demand služby, což výrazně zvyšuje atraktivitu této technologie pro uživatele.

Podle zprávy Evropské vysílací unie (EBU) technologie FeMBMS poskytuje výhodu v kombinaci vysílací infrastruktury s multicastovou a unicastovou distribucí. Tato kombinace umožňuje univerzální pokrytí, které poskytuje vysokou úroveň kvality služeb i při vysoké hustotě uživatelů, čímž je zajištěna udržitelnost poskytovaných služeb i při vysokých nárocích na kapacitu sítě. Kombinace multicastu a unicastu rovněž umožňuje efektivní využití dostupných zdrojů sítě, což snižuje náklady na distribuci obsahu a zvyšuje efektivitu celého systému. FeMBMS tak představuje technologii, která dokáže efektivně kombinovat různé přenosové metody za účelem dosažení co nejširšího pokrytí a co nejvyšší kvality služeb.

6.3.2.3 Bezplatné vysílání (free-to-air)

Technologie FeMBMS rovněž umožňuje distribuci lineárního televizního vysílání ve formátu "free-to-air", což znamená, že uživatelé mohou přijímat televizní signál přímo, aniž by potřebovali přístup prostřednictvím mobilního operátora či jiného poskytovatele připojení. Tento způsob distribuce činí FeMBMS mimořádně atraktivním pro uživatele, kteří vlastní chytré televizory nebo set-top boxy, a zároveň chtějí minimalizovat náklady na přístup k televizním službám. FeMBMS umožňuje rychlý a spolehlivý přenos i v prostředí s vysokou hustotou síťového provozu, což výrazně zlepšuje dostupnost a kvalitu služeb pro uživatele v různých geografických lokalitách, včetně venkovských oblastí. Díky tomu se FeMBMS stává ideálním řešením pro poskytování televizního obsahu tam, kde jsou tradiční systémy příliš nákladné nebo technologicky neefektivní.

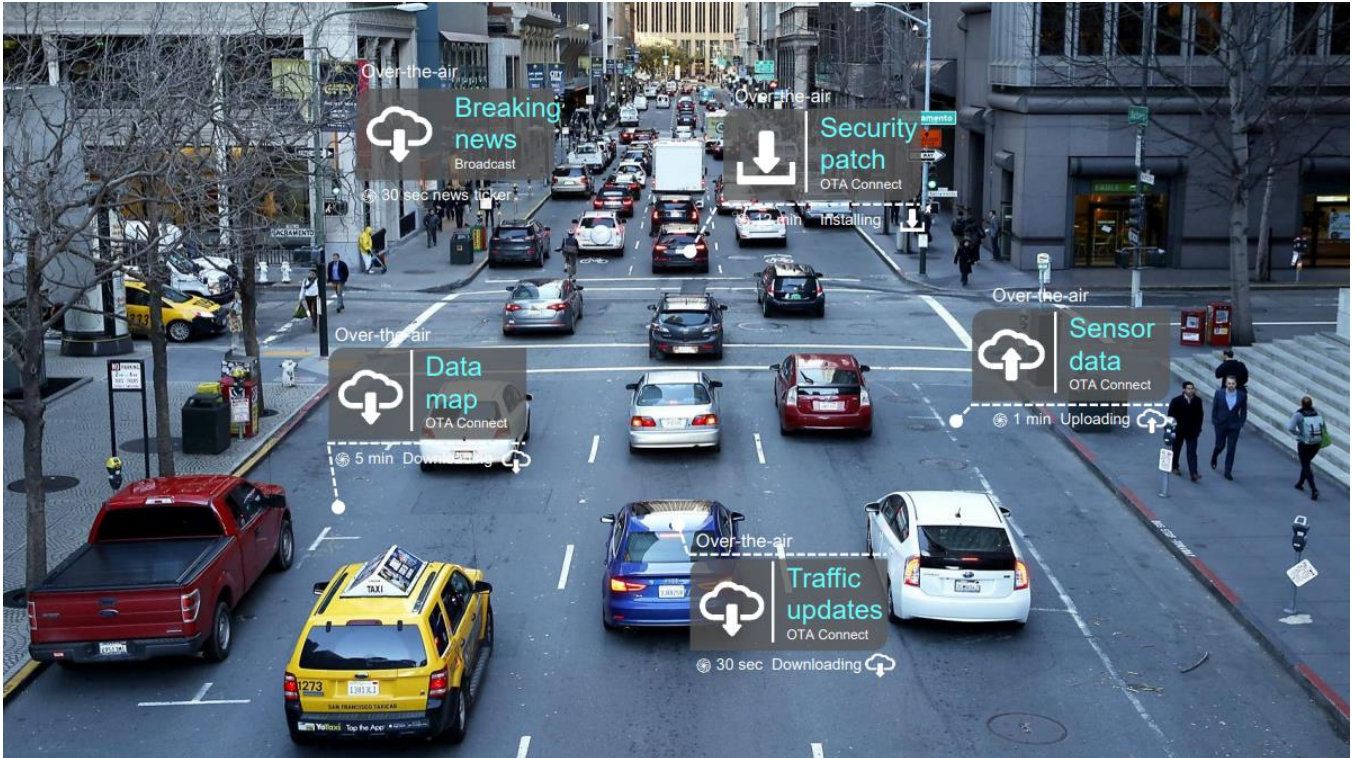
Integrace technologie FeMBMS do chytrých televizorů a set-top boxů tedy přináší řadu významných výhod, od snadného přístupu k vysoce kvalitnímu obsahu bez potřeby složitých instalačních procesů až po optimalizaci výhod technologie 5G při šíření televizního vysílání. Tato kombinace efektivity, technologické modernizace a uživatelsky přívětivého řešení vytváří silný předpoklad pro masové rozšíření této technologie jako standardního způsobu distribuce audiovizuálního obsahu v budoucnosti. Důležité je také zmínit, že FeMBMS může sloužit jako základ pro další rozvoj multimediálních služeb, které zahrnují například rozšířené interaktivní možnosti, přístup ke speciálním tematickým kanálům nebo integraci s dalšími digitálními platformami. Takové rozšíření poskytovaných služeb může zásadně změnit způsob, jakým spotřebitelé přistupují k televiznímu obsahu, a přispět k vytvoření zcela nové úrovně interaktivity a uživatelského komfortu.

6.3.3 Automobilová zařízení a infotainment systémy

Vzhledem k tomu, že většina současných automobilů je vybavena pokročilými infotainment systémy s připojením k internetu, je potřeba analyzovat, jak technologie FeMBMS ovlivňuje tuto oblast a rozšiřuje možnosti multimediálního obsahu pro cestující. Technologie FeMBMS přináší zásadní inovace do automobilového prostředí, nejen z hlediska zlepšení přístupu k audiovizuálním službám, ale také z hlediska efektivní komunikace a informačního servisu během jízdy.

- **Automobilové systémy:** FeMBMS umožňuje efektivní distribuci multimediálního obsahu přímo do infotainment systémů vozidel. Tento přímý přenos obsahu eliminuje nutnost připojení k tradičním mobilním sítím, což umožňuje cestujícím sledovat televizní pořady, filmy a další multimediální obsah na vyžádání, a to i během pohybu automobilu v oblastech s omezeným nebo nespolehlivým mobilním pokrytím. Tímto způsobem FeMBMS zajišťuje stabilní a bezproblémový příjem obsahu nezávisle na aktuálním zatížení mobilní sítě. V budoucnu se tato technologie pravděpodobně stane prvkem pro autonomní vozidla, kde infotainment bude hlavním prostředkem zábavy a relaxace pro cestující, jelikož autonomní řízení nevyžaduje jejich plnou pozornost.
- **Vysokorychlostní pokrytí na dálnicích:** FeMBMS bylo navrženo pro zajištění vysoké kvality signálu i při vysokých rychlostech, což je využitelné například pro cestující v automobilech a autobusech sledující vysílání v reálném čase. Nasazení technologie SFN umožňuje dosažení konzistentního pokrytí i na dlouhých dálničních trasách, což garantuje stabilitu signálu i v náročných geografických podmínkách. Výsledky pilotních projektů ukazují, že FeMBMS dokáže poskytovat rozsáhlé pokrytí prostřednictvím vysílačů s vysokým výkonem, což je nezbytné pro dosažení spolehlivosti a kvality multimediálních služeb v automobilovém prostředí. Tato technologie je navíc vhodná pro přenášení vysílání s nízkou latencí zajišťuje uživatelský komfort během cest.
- **Nouzové a dopravní hlášení:** FeMBMS má potenciál poskytovat kritická nouzová a dopravní hlášení. Tato funkce umožňuje v reálném čase informovat cestující o mimořádných událostech, jako jsou dopravní nehody, uzavírky nebo náhlé změny povětrnostních podmínek, které mohou ovlivnit jejich trasu. Díky vysoké spolehlivosti a rychlosti přenosu zajišťuje

FeMBMS, že tyto důležité informace dorazí k uživatelům bez zpoždění či výpadků. Schopnost včasného informování má přímý vliv na zvýšení bezpečnosti a plynulosti dopravy.



Obrázek 41: Přenos aktualizací a dat v automobilovém prostředí pomocí FeMBMS

Zdroj: [https://f.hubspotusercontent00.net/hubfs/5253154/16%20-%20Mobile%20%26%20Automotive%20Applications%20and%20FeMBMS%20\(5G-Broadcast\)%20-%20Janner-1.pdf](https://f.hubspotusercontent00.net/hubfs/5253154/16%20-%20Mobile%20%26%20Automotive%20Applications%20and%20FeMBMS%20(5G-Broadcast)%20-%20Janner-1.pdf)

Obrázek ukazuje, jak technologie FeMBMS zajišťuje přenos důležitých informací, jako jsou aktuální zprávy, bezpečnostní záplaty a dopravní informace. Také demonstruje, jak je možné využívat data ze senzorů automobilu pro včasnou diagnostiku a lepší rozhodování během jízdy.

Technologie FeMBMS představuje krok vpřed v oblasti automobilové zábavy a komunikační infrastruktury. Integrace FeMBMS nejen zjednodušuje přístup k audiovizuálnímu obsahu pro cestující, ale také poskytuje zásadní informační služby, které mohou významně přispět k celkovému komfortu a bezpečnosti cestování. FeMBMS tak nabízí nejen rozšířené multimediální možnosti, ale také přináší nové obchodní příležitosti díky efektivnímu využití spektra, což je výhodné jak pro poskytovatele multimediálních služeb, tak pro výrobce automobilů, kteří chtějí nabídnout svým zákazníkům inovativní a moderní zážitky z cestování.

7 Strategie pro optimalizaci přenosu dat

Optimalizace přenosu audiovizuálního obsahu v prostředí 5G se soustředí na zajištění co nejlepší kvality obrazu a zvuku při co nejmenším zatížení šířky pásma. Technologie FeMBMS nabízí sofistikovaný způsob využití dostupného spektra, při masové distribuci obsahu s různými nároky na přenosovou kapacitu. Úspěšné řešení přenosu vyžaduje nasazení pokročilých kompresních metod, které umožňují dynamické přizpůsobení kvality přenosu podle aktuálních podmínek v síti a charakteristik přenášeného materiálu.

Efektivní hospodaření s šířkou pásma je nejen pro kvalitu poskytovaných služeb, ale také pro zajištění dostatečné přenosové kapacity pro široké spektrum uživatelů. Současný přenos více programů na jediném kanálu, například ve formátu DVB-T, umožňuje šířit v jedné vysílací síti až 8 televizních programů ve standardním rozlišení (SD) a klade vysoké nároky na účinnost kompresních metod, aby byla zachována požadovaná kvalita při omezené kapacitě. Standard DVB-T2 umožňuje šířit až 18 stanic ve standardním rozlišení, nebo až 7 stanic ve vysokém rozlišení (HD). S využitím DVB-T2 může pozemní vysílání programy šířit i v Ultra HD (4K) rozlišení. Mezi aplikace náročné na přenosovou rychlost, kde je potřeba zajistit nepřerušovaný přenos, patří živé reportáže do studia s minimální rychlostí přenosu 70 Mbit/s.

Zavedení FeMBMS do sítí 4G a 5G přináší výhody v podobě flexibilnějšího řízení parametrů přenosu, včetně efektivnějšího využití spektra a schopnosti přenášet velké objemy dat bez zhoršení kvality služeb. Kodek je obecné označení pro systémy zajišťující kódování (a dekódování) signálu při odesílání i při příjmu. Moderní kodeky, jako jsou H.265 (HEVC) a AV1, poskytují vysokou kompresní efektivitu, která umožňuje udržet vysokou kvalitu obrazu při nižších požadavcích na šířku pásma. AV1 navíc díky otevřeným licenčním podmínkám podporuje snadné nasazení na různých platformách.

Omezení prodlevy je zásadní zejména pro přímé přenosy a interaktivní události, kde je nutná okamžitá reakce. Adaptivní streamovací technologie, jako například MPEG-DASH, zajišťují hladký průběh přenosu prostřednictvím dynamického přizpůsobení kvality obrazu a zvuku aktuálním síťovým podmínkám a dostupné šířce pásma. Nasazení jednofrekvenčních sítí (SFN) přispívá k rovnoměrnému pokrytí a ke zvýšení stability signálu v oblastech s vyšší koncentrací uživatelů.

Úspěšná optimalizace přenosu zahrnuje nejen účinné kompresní metody a efektivní využití dostupného spektra, ale také správnou volbu přenosových protokolů. Pro zajištění synchronizace a spolehlivosti jsou rozhodující protokoly RTP/RTCP, jejichž úprava pro prostředí 5G umožňuje lepší řízení kvality služeb i za vysokého síťového zatížení. Zároveň je nutné dbát na bezpečnostní opatření, jako je ochrana dat před neoprávněným přístupem a zajištění jejich integrity, pro zabezpečení citlivého a chráněného obsahu.

7.1 Optimalizace přenosu televizních a audiovizuálních dat

Efektivní využití spektra je jedním ze základních předpokladů úspěšného zavedení masových distribučních služeb v sítích 5G. Spektrální efektivita se zaměřuje na maximalizaci objemu dat přenesených prostřednictvím dostupného frekvenčního pásma. FeMBMS umožňuje optimalizovat vysílací kapacitu nejen rozšířením využití nových frekvenčních pásem, ale také kombinací stávající infrastruktury s pokročilými technologiemi, jako jsou jedno-frekvenční sítě (Single Frequency Networks, SFN). Implementace SFN přináší simultánní přenos identického obsahu z více vysílačů na stejné frekvenci. Tento přístup rovněž zvyšuje celkovou stabilitu vysílací sítě, neboť díky redundantnímu pokrytí umožňuje přenos i v případě výpadku jednotlivých vysílačů. Efektivní pokrytí je obzvláště důležité v hustě osídlených oblastech, kde je nezbytné zajistit vysokou kvalitu příjmu pro velký počet uživatelů.

Minimalizace latence je dalším aspektem optimalizace přenosu, zejména pro živé vysílání a interaktivní audiovizuální obsah. Nízké latence lze dosáhnout nasazením pokročilých technik, jako jsou adaptivní streaming a pokročilé kódovací metody, které se dynamicky přizpůsobují podmínkám v síti. Adaptivní streaming umožňuje měnit kvalitu přenosu na základě aktuální kapacity sítě, pro zajištění konzistentního uživatelského zážitku. Tato technologie v kombinaci s pokročilými kódovacími metodami, jako jsou H.265 a AV1, umožňuje efektivnější využití šířky pásma díky vyšším kompresním poměrům a vede ke snížení nároků na přenosovou kapacitu a zároveň minimalizuje ztrátu kvality. Význam adaptivního streamingu spočívá v jeho schopnosti reagovat na proměnlivé síťové podmínky, udržení kvality audiovizuálního obsahu bez přerušování či snížení kvality přenosu.

Technologie 5G zároveň umožňuje integraci vysílání a unicastového streamingu, zvyšuje flexibilitu přenosových možností a zajišťuje poskytování personalizovaného obsahu jednotlivým uživatelům. Hybridní přístup, jenž kombinuje FeMBMS s OTT (Over-the-Top) službami, představuje robustní model pro distribuci televizního obsahu, spojuje výhody vysílacích technologií s unicastovou personalizací. Tento hybridní model umožňuje nejen širokou dostupnost tradičního televizního vysílání, ale také podporuje interaktivitu a možnost uživatelského přizpůsobení, jaké poskytují OTT služby. Kombinace FeMBMS a OTT je proto ideálním řešením pro poskytovatele, kteří chtějí uspokojit potřeby širokého spektra diváků a zároveň nabídnout možnost personalizace.

Další fází optimalizace přenosu je implementace moderních video kodeků, jako H.265 a AV1, které využívají pokročilé algoritmy komprese pro efektivní přenos dat při minimálním snížení kvality obrazu. Tyto kodeky ve spojení s adaptivním streamováním umožňují udržet vysokou kvalitu přenosu i při omezené kapacitě sítí. Optimalizace zahrnuje také pokročilé metody řízení, jako dynamickou úpravu přenosové rychlosti a adaptivní nastavení vysílacího výkonu, které podporují efektivní využití síťových zdrojů a zlepšují kvalitu přenosu. Dynamické řízení přenosové rychlosti přizpůsobuje kapacitu aktuálním podmínkám sítě.

V oblasti přenosu televizních a audiovizuálních dat v sítích 5G hraje významnou roli také interoperabilita mezi různými platformami a standardy. Začlenění technologie FeMBMS do stávající vysílací infrastruktury představuje inovativní přístup, který využívá potenciál 5G jak pro tradiční televizní vysílání, tak pro moderní OTT služby. Pro poskytovatele, kteří chtějí dosáhnout maximálního pokrytí a dostupnosti služeb pro široké spektrum uživatelů, je interoperabilita mezi různými vysílacími platformami nezbytná. Tento přístup zároveň zlepšuje využití synergií mezi klasickými vysílacími technologiemi a moderními metodami distribuce obsahu, přispívá ke zvýšení konkurenceschopnosti a inovativnosti nabízených služeb.

7.2 Kompresní techniky

7.2.1 Výběr vhodných kompresních technik

Účinná komprese je nezbytná pro optimalizaci šířky pásma při přenosu audiovizuálního obsahu v 5G sítích s využitím technologie FeMBMS, která podporuje simultánní vysílání televizního a multimediálního obsahu velkému počtu uživatelů. Vzhledem k nárokům na šířku pásma při přenosech ve vysokém rozlišení (např. 4K či 8K) je efektivní komprese důležitá pro snížení objemu dat, provozních nákladů a zátěže sítě. Vyžaduje se nalezení rovnováhy mezi kvalitou komprese, šířkou pásma a výpočetními nároky.

Kodeky jako H.264 (AVC) a H.265 (HEVC) hrají v tomto ohledu důležitou roli. H.264 nabízí zlepšení oproti starším standardům, jako je MPEG-2, avšak pro velmi vysoká rozlišení (např. 4K) může být datový tok stále náročný. H.265 se těší oblibě díky dvojnásobné efektivitě, která umožňuje dosáhnout stejné kvality obrazu při polovičním objemu dat.

7.2.2 MPEG-2 (Moving Picture Experts Group - 2)

MPEG-2 je jedním z nejstarších a nejrozšířenějších kompresních formátů používaných pro digitální video a televizní vysílání. Tato technologie byla vyvinuta v 90. letech a rychle se stala standardem pro přenos digitálního televizního signálu (například pro vysílání ve standardu DVB). I přesto, že MPEG-2 poskytuje nižší kompresní efektivitu ve srovnání s novějšími standardy, je stále hojně využíván zejména pro aplikace, kde nejsou vysoké nároky na šířku pásma a kvalitu obrazu, například v méně datově náročných prostředích.

MPEG-2 má schopnost přenášet obraz v rozlišení SD (Standard Definition) a částečně HD (High Definition) při relativně vyšších datových tocích. Jeho kompresní algoritmus pracuje na principu predikce obrazu na základě předchozích snímků, což může být efektivní, ale ve srovnání s novějšími standardy, jako je H.264 nebo HEVC, je méně výkonný v minimalizaci datového toku. MPEG-2 je vhodný pro přenosy v prostředích, kde je šířka pásma relativně velká a latence není kritická, například při pozemním vysílání nebo ve starších systémech kabelové televize. Pro mobilní sítě, kde je šířka pásma omezená a požadavky na přenosovou kapacitu jsou vyšší, však není ideální volbou.

7.2.3 H.264 (Advanced Video Coding – AVC)

MPEG-2, vyvinutý v 90. letech, je jedním z nejrozšířenějších formátů pro digitální video a televizní vysílání, zejména ve standardu DVB. Přestože nabízí nižší kompresní efektivitu než novější kodeky jako H.264 nebo HEVC, je stále používán tam, kde nejsou vysoké nároky na šířku pásma a kvalitu obrazu. MPEG-2 dokáže přenášet obraz v rozlišení SD a částečně HD při vyšších datových tocích a to jej činí vhodným pro pozemní vysílání nebo starší kabelové systémy, ale méně vhodným pro mobilní sítě s omezeným pásmem.

7.2.4 HEVC (High Efficiency Video Coding - H.265)

H.264, také známý jako AVC, je populární kompresní formát představený v roce 2003, který nabízí vyšší efektivitu než MPEG-2. Umožňuje přenos HD videa při nižších datových tocích. Je vhodný pro televizní vysílání, streamování, videokonference a záznam na různá média. Využívá pokročilý kompresní algoritmus s predikcí na základě předchozích i následujících snímků, umožňuje efektivní kompresi bez ztráty kvality. Oproti MPEG-2 dosahuje až dvojnásobné úspory šířky pásma. H.264 je atraktivní pro FeMBMS díky podpoře přenosu vysoce kvalitního obsahu a široké kompatibilitě s různými zařízeními.

7.2.5 Srovnání nástrojů MPEG-2, H.264 a HEVC

Tabulka 3: Srovnání nástrojů MPEG-2, H.264 a HEVC

Nástroj	MPEG-2	H.264	HEVC
Velikost bloku	16x16 (Makroblok)	16x16 (Makroblok)	8x8 až 64x64 (Jednotka kódování)
Dělení	Inter 16x16, Intra 8x8	Sub bloky až do 4x4	Intra: Dolů do 4x4 (symetrické), Inter 4x8 a 8x8 v dvousměrném, asymetrické 4x4
Transformace	Plovoucí DCT	Integer DCT 8x8 4x4	Čtvercová IDCT od 32x32 do 4x4 + DST Luma Intra 4x4
Intra predikce	DC prediktor	Až 9 prediktorů	35 prediktorů
Predikce pohybu	Vektor od jednoho souseda	Medián prostorový (5 bloků)	Pokročilá predikce pohybu s prostorovými i časovými prvky
Mód kompenzace pohybu	Přímý mód	Přímý mód	Sloučený mód (Merge Mode)
Přesnost pohybu	½ pixel, lineární	¼ pixel (systém 6 kohoutků) + ½ pixel lineární	½ pixel nebo ¼ pixel chroma s 1/8 pixel Luma
Entropické kódování	VLC	CABAC nebo CAVLC	CABAC (s paralelními operacemi)
Filtry	Filtr Deblocking	Filtr Deblocking	Filtr Deblocking a adaptivní offset SAO
Nástroje pro více jader	Slices	Slices	Wavefront paralelní zpracování, tiles, slices
Nástroje pro škálovatelnost	Prostřednictvím rozšíření	Prostřednictvím rozšíření	Dočasná škálovatelnost zahrnuta (další se diskutují)

Tabulka srovnává nástroje používané třemi hlavními standardy pro kompresi videa: MPEG-2, H.264 a HEVC. Každý z těchto standardů nabízí různé techniky komprese dat, které ovlivňují kvalitu obrazu, efektivitu komprese, šířku pásma a výpočetní náročnost. Níže je detailní popis jednotlivých aspektů:

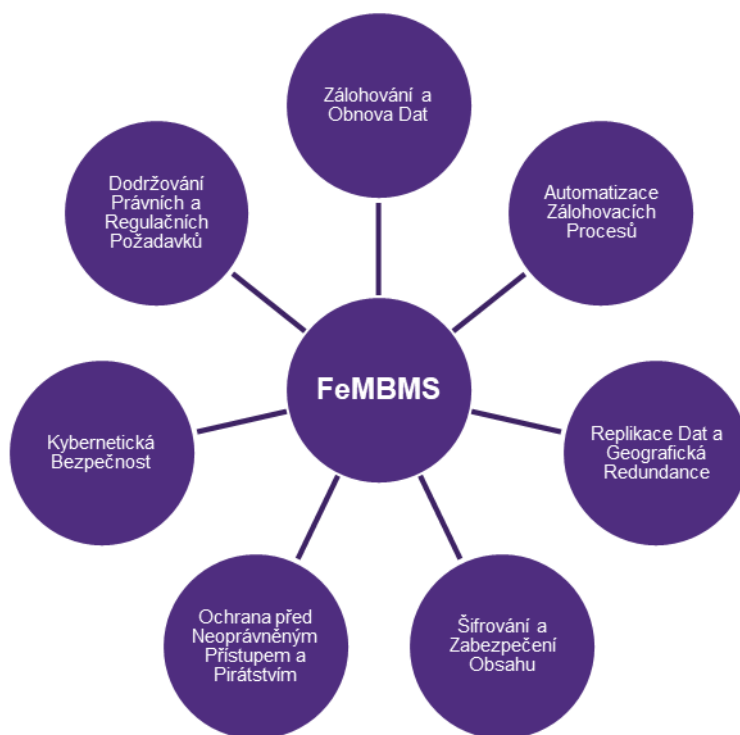
- Velikost bloku a dělení: MPEG-2 a H.264 používají pevné makrobloky 16x16 pixelů, zatímco HEVC zavádí variabilní jednotky 8x8 až 64x64 pixelů, což umožňuje efektivnější kompresi velkých i složitých oblastí obrazu. HEVC také nabízí asymetrické dělení bloků pro lepší přizpůsobení detailům.
- Transformace: MPEG-2 spoléhá na plovoucí DCT, H.264 využívá celočíselnou DCT pro nižší výpočetní náročnost, zatímco HEVC zavádí pokročilé techniky jako IDCT a DST s proměnlivou velikostí transformací pro vyšší kvalitu a nižší datový tok.
- Intra predikce: MPEG-2 používá jednoduchý prediktor, H.264 nabízí 9 směrů predikce, a HEVC zvyšuje počet na 35, což výrazně zlepšuje kompresi u detailních obrazů.
- Predikce a kompenzace pohybu: MPEG-2 má základní predikci pohybu, H.264 přidává mediánovou metodu a HEVC kombinuje prostorové a časové prvky s vyšší přesností (až 1/8 pixelu), což zlepšuje kompresi rychlých scén.
- Entropické kódování: MPEG-2 používá základní VLC, H.264 zavádí pokročilé CABAC/CAVLC, a HEVC využívá paralelní CABAC pro vyšší kompresní efektivitu.
- Filtry a vícejádrové zpracování: MPEG-2 a H.264 spoléhají na "Deblocking filter", HEVC navíc přidává SAO filtr a využívá paralelní zpracování (Wavefront) pro lepší efektivitu.
- Škálovatelnost: MPEG-2 a H.264 nabízejí základní škálovatelnost, zatímco HEVC zavádí časovou škálovatelnost pro dynamické přizpůsobení kvality podle síťových podmínek, což je výhodné pro 5G streaming.

8 Zabezpečení přenosu dat

V 5G sítích a technologii FeMBMS je zálohování a ochrana dat podstatnou součástí pro spolehlivost poskytovaných služeb. FeMBMS umožňuje vysílání multimediálního obsahu na rozsáhlé geografické území a klade nároky nejen na rychlost přenosu, ale také na bezpečnost a dostupnost dat. Jakákoli ztráta nebo kompromitace může způsobit přerušení služeb, ohrozit pověst poskytovatelů nebo vést k právním důsledkům.

FeMBMS zajišťuje dostupnost televizního a audiovizuálního vysílání pro široké publikum a vyžaduje účinné řízení rizik spojených s ochranou obsahu. Šifrovací techniky chrání data před neoprávněným přístupem a zaručují, že nelze vysílat falešné zprávy či jiný podvržený obsah, který by mohl vést k šíření dezinformací.

Rovněž je kladen důraz na ochranu autorských práv, aby bylo zamezeno neoprávněnému kopírování a distribuci chráněného obsahu, čímž se předchází finančním ztrátám a právním problémům. Opatření proti pirátství a zabezpečení před neoprávněným přístupem pomáhají udržovat kvalitu služeb a chránit práva autorů



Obrázek 42: Faktory Ovlivňující FeMBMS

Diagram znázorňuje oblasti, které mají vliv na fungování technologie FeMBMS. FeMBMS je umístěno uprostřed jako centrální prvek, zatímco kolem něj jsou uvedeny faktory, jako je zálohování a obnova dat, automatizace zálohovacích procesů, replikace a geografická redundance, šifrování a zabezpečení obsahu, ochrana před neoprávněným přístupem a pirátstvím, kybernetická bezpečnost a dodržování právních a regulačních požadavků. Diagram ilustruje propojenost a význam každého faktoru pro celkovou funkčnost a bezpečnost poskytované služby FeMBMS.

Tato kapitola se zaměřuje na mechanismy pro zálohování a obnovu dat přenášených pomocí FeMBMS, stejně jako na opatření pro zabezpečení obsahu před neoprávněným přístupem, pirátstvím a útoky na integritu dat. Důkladná analýza těchto mechanismů a bezpečnostních opatření je nezbytná pro zajištění kontinuity a bezpečnosti služeb v 5G sítích, zvláště při jejich nasazení v kritických aplikacích, jako jsou televizní a audiovizuální přenosy.

8.1 Bezpečnostní aspekty FeMBMS

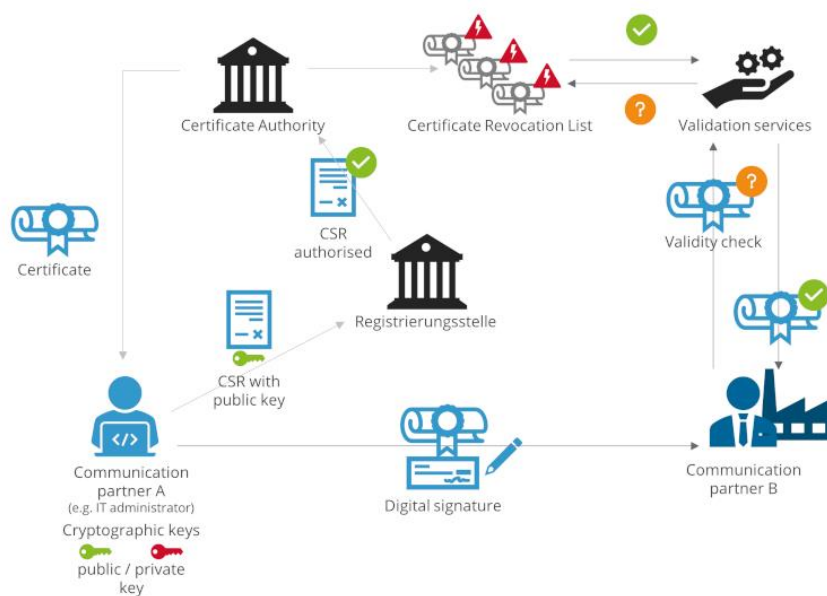
8.1.1 Ověřování a autentizace

Autentizace uživatelů a zařízení umožňuje efektivní distribuci multimediálního obsahu přes mobilní síť. Zajišťuje, že pouze oprávněné entity mohou přistupovat k vysílanému obsahu, minimalizuje riziko neoprávněného přístupu a potenciálních bezpečnostních hrozeb.

Jedním z hlavních pilířů autentizace v rámci FeMBMS je infrastruktura veřejných klíčů (PKI). PKI umožňuje bezpečnou správu, distribuci a ověřování veřejných a soukromých klíčů využívaných pro šifrování a dešifrování komunikace v síti.

8.1.1.1 Public Key Infrastructure (PKI)

- PKI je komplexní systém, který zahrnuje:
 - Certifikační autority (CA): Důvěryhodné entity, které vydávají digitální certifikáty potvrzující vlastnictví veřejného klíče konkrétního subjektu.
 - Registrace a správa klíčů: Procesy pro generování, ukládání a obnovu párů (veřejného a soukromého klíče).
 - Distribuce certifikátů: Mechanismy pro bezpečné šíření veřejných klíčů a souvisejících certifikátů mezi uživateli a zařízeními.
- PKI funguje na principu asymetrické kryptografie, kde:
 - Veřejný klíč je dostupný všem subjektům v síti a slouží k šifrování zpráv nebo ověření digitálního podpisu.
 - Soukromý klíč je tajný a je držen pouze vlastníkem; slouží k dešifrování zpráv nebo vytváření digitálního podpisu.
- Proces autentizace pomocí PKI:
 - Generování páru: Uživatel nebo zařízení vytvoří dvojici klíčů (veřejný a soukromý).
 - Získání certifikátu: Veřejný klíč je zaslán certifikační autoritě, která ověří identitu žadatele a vydá digitální certifikát.
 - Distribuce certifikátu: Certifikát je distribuován do sítě, kde jej ostatní subjekty mohou použít k ověření identity vlastníka veřejného klíče.
 - Autentizace: Když se uživatel nebo zařízení chce připojit k síti nebo přistoupit k obsahu, prokáže svou identitu pomocí svého soukromého klíče v kombinaci s veřejným klíčem obsaženým v certifikátu.



Obrázek 43: Fungování PKI

Zdroj: https://www.essendi.de/en/what_is_a_pki/

Tento diagram ilustruje fungování infrastruktury veřejných klíčů (PKI), která umožňuje bezpečnou správu a distribuci certifikátů v rámci sítě. Proces začíná vytvořením žádosti o certifikát (CSR) s veřejným klíčem od uživatele (komunikačního partnera A). Certifikační autorita ověřuje tuto žádost a vydává digitální certifikát, který poté uživatel může využít pro digitální podpis. Certifikáty jsou poté kontrolovány validačními službami, které ověřují jejich platnost na základě seznamu odvolaných certifikátů (CRL). Komunikační partner B poté obdrží certifikát od partnera A a může ověřit jeho platnost a autenticitu, což zajišťuje bezpečnou a důvěryhodnou komunikaci.

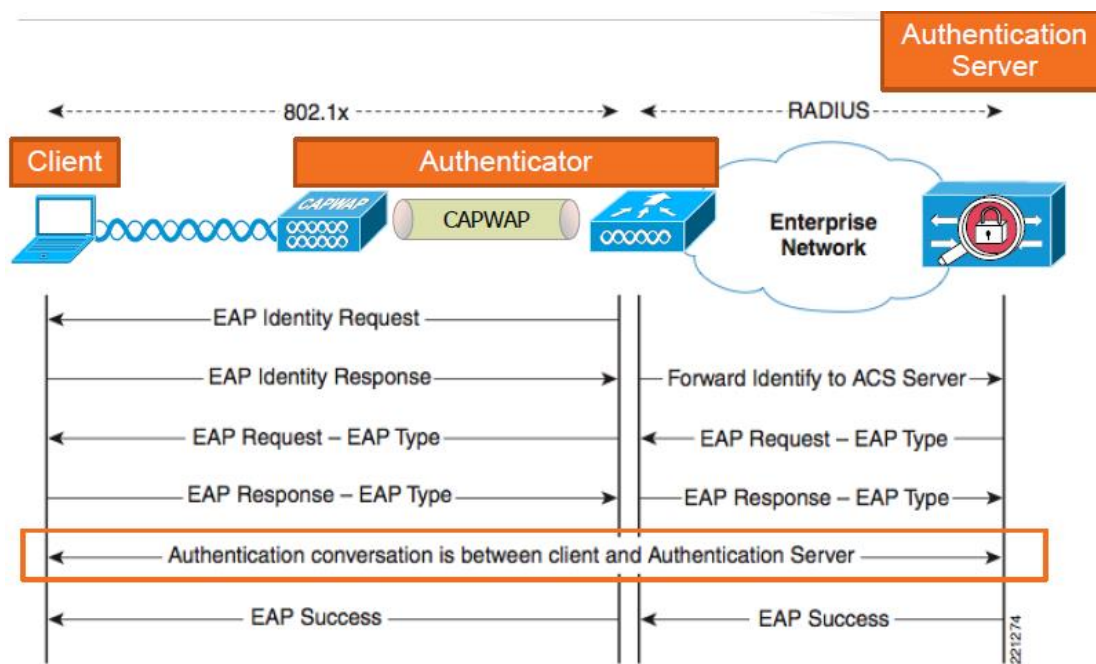
Celý proces vychází z asymetrické kryptografie, kde veřejný klíč slouží k šifrování nebo ověření digitálních podpisů, zatímco soukromý klíč se používá k dešifrování nebo vytváření podpisů.

- Výhody PKI:
 - Bezpečnost: Vysoká úroveň zabezpečení díky použití asymetrické kryptografie.
 - Důvěryhodnost: Certifikáty vydávané důvěryhodnými autoritami zajišťují autenticitu subjektů.
 - Škálovatelnost: Vhodné pro sítě s velkým počtem uživatelů a zařízení.

8.1.1.2 Autentizační protokoly

Pro integraci autentizačních mechanismů do síťové architektury FeMBMS se používají různé autentizační protokoly. Tyto protokoly zajišťují nejen ověření identity, ale také správu oprávnění a sledování aktivit.

- EAP (Extensible Authentication Protocol)



Obrázek 44: Fungování EAP

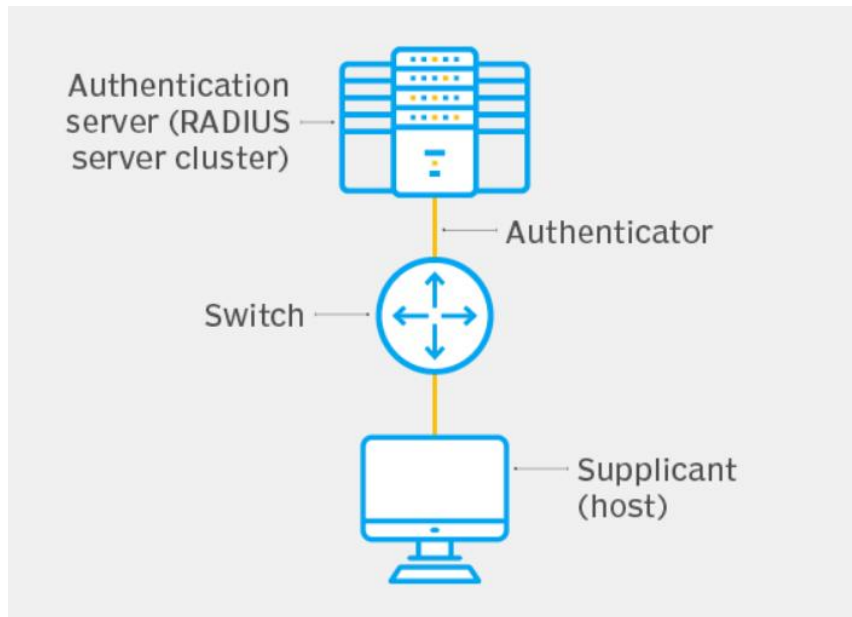
Zdroj: <https://mmcciew.com/2013/03/03/eap-overview/>

Tento diagram znázorňuje proces autentizace v rámci protokolu EAP (Extensible Authentication Protocol). EAP se používá k bezpečnému ověření identity klienta, autentizátoru a autentizačního serveru prostřednictvím sítě. Klient odesílá identitu a obdrží žádost EAP o další údaje potřebné pro autentizaci. Po výměně žádostí a odpovědí mezi klientem a serverem probíhá autentizační konverzace přímo mezi klientem a autentizačním serverem, přičemž proces je zakončen úspěšným ověřením (EAP Success).

Tento obrázek znázorňuje tok zpráv mezi klientem, autentizátorem a autentizačním serverem, využívajícími protokol RADIUS v rámci podnikové sítě. EAP umožňuje flexibilní a modulární přístup k autentizaci pomocí různých metod, jako jsou EAP-TLS, EAP-TTLS nebo EAP-PEAP, což zajišťuje vysokou úroveň bezpečnosti a kompatibilitu v různých typech sítí.

- EAP je flexibilní rámec pro autentizaci, který umožňuje použití různých autentizačních metod:
 - EAP-TLS (Transport Layer Security): Používá digitální certifikáty pro vzájemnou autentizaci mezi klientem a serverem. Je považován za jeden z nejbezpečnějších protokolů.
 - EAP-TTLS (Tunneled TLS): Umožňuje jednosměrnou autentizaci serveru pomocí certifikátu a následnou autentizaci klienta prostřednictvím zabezpečeného tunelu.
 - EAP-PEAP (Protected EAP): Vytváří zabezpečený tunel mezi klientem a serverem, ve kterém probíhá autentizace pomocí dalších metod, jako jsou hesla nebo tokeny.

- Výhody EAP:
 - Modularita: Snadná integrace nových autentizačních metod podle potřeb sítě.
 - Bezpečnost: Podpora silných šifrovacích algoritmů a zabezpečených autentizačních metod.
 - Kompatibilita: Široká podpora v různých typech sítí, včetně Wi-Fi, Ethernet a mobilních sítí.
- AAA protokoly (Authentication, Authorization, Accounting) - AAA protokoly jsou nezbytné pro komplexní správu uživatelského přístupu a aktivit v síti.



Obrázek 45: AAA protokol

Zdroj: <https://medium.com/@sabinajafar533/authentication-authorization-and-accounting-aaa-75592e37642b>

Tento diagram znázorňuje základní komponenty AAA (Authentication, Authorization, Accounting) systému. Na obrázku je zobrazena interakce mezi třemi hlavními prvky:

Supplicant (host): Klient nebo zařízení, které žádá o přístup do sítě.

Switch (Authenticator): Zařízení, které zprostředkovává komunikaci mezi supplicantem a autentizačním serverem.

Authentication server (RADIUS server cluster): Server, který spravuje procesy autentizace, autorizace a účetnictví v rámci sítě. Server ověřuje uživatelské informace a rozhoduje o oprávnění k přístupu.

- RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Service):
 - Autentizace: Ověřuje uživatele při přihlášení do sítě.
 - Autorizace: Určuje, k jakým službám má uživatel přístup.
 - Účetnictví: Sleduje uživatelské aktivity pro účely monitorování a fakturace.
- Diameter:
 - Vyvinut jako nástupce RADIUS pro potřeby moderních sítí.
 - Podporuje pokročilejší autentizační mechanismy a lepší zabezpečení.
 - Vhodný pro sítě s vysokými nároky na výkon a škálovatelnost, jako jsou LTE a 5G.
- Funkce AAA protokolů ve FeMBMS:
 - Zabezpečení přístupu: Zajišťují, že pouze oprávnění uživatelé a zařízení mohou přistupovat k síti a obsahu.
 - Správa oprávnění: Umožňují definovat a aplikovat pravidla pro přístup k různým typům obsahu.
 - Monitorování a audit: Poskytují nástroje pro sledování uživatelských aktivit, což je důležité pro bezpečnostní analýzy a dodržování předpisů.
 - Další autentizační metody a technologie

Kromě PKI a výše uvedených protokolů mohou být v rámci FeMBMS implementovány i další autentizační metody:

- Biometrická autentizace:
 - Otisk prstu, rozpoznávání obličeje nebo skenu duhovky pro ověření identity uživatele.
 - Zvyšuje bezpečnost tím, že využívá unikátní fyzické charakteristiky.
- Jednorázová hesla (OTP):
 - Hesla, která jsou platná pouze pro jedno přihlášení nebo transakci.
 - Zasílána prostřednictvím SMS, e-mailu nebo generována speciálními aplikacemi.
- Dvoufaktorová autentizace (2FA):
 - Kombinace dvou nezávislých autentizačních faktorů, například hesla a OTP.
 - Výrazně snižuje riziko neoprávněného přístupu v případě kompromitace jednoho z faktorů.
- Certifikáty založené na hardwaru:
 - Ukládání soukromých klíčů na bezpečných hardwarových zařízeních, jako jsou TPM (Trusted Platform Module) nebo smart karty.
 - Zvyšuje bezpečnost tím, že klíče nikdy neopustí bezpečné prostředí hardwaru.
- Implementace a výzvy – Implementace efektivních autentizačních mechanismů v FeMBMS přináší určité výzvy:
 - Komplexita správy: Správa velkého počtu klíčů, certifikátů a uživatelů vyžaduje robustní systémy a procesy.
 - Výkon a latence: Autentizační procesy mohou přidávat zpoždění, což je kritické v real-time aplikacích.
 - Kompatibilita a standardizace: Zajištění, že různá zařízení a systémy mohou spolupracovat bez problémů, vyžaduje dodržování standardů a protokolů.
 - Bezpečnostní hrozby: Neustále se vyvíjející hrozby, jako jsou phishing, malware nebo útoky typu man-in-the-middle, vyžadují pravidelnou aktualizaci bezpečnostních opatření.

Autentizace uživatelů a zařízení je zásadní pro zabezpečení obsahu a služeb poskytovaných prostřednictvím FeMBMS. Použití pokročilých metod, jako je PKI, v kombinaci s flexibilními autentizačními protokoly, jako jsou EAP a AAA, poskytuje robustní rámec pro ochranu před neoprávněným přístupem.

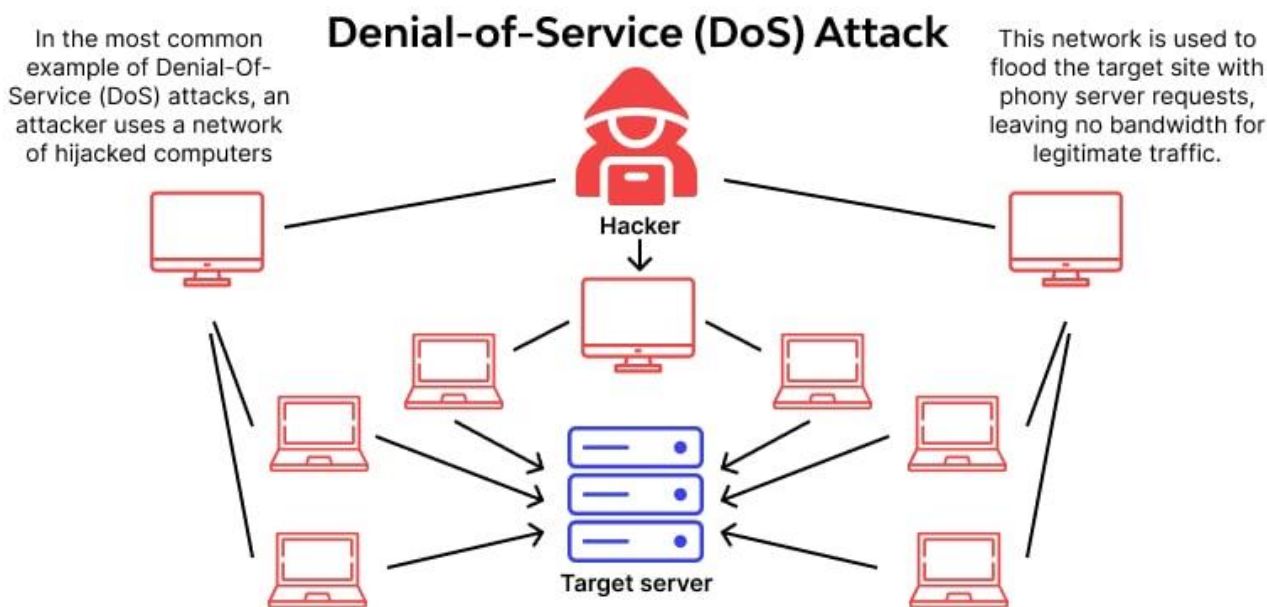
Implementace těchto technologií vyžaduje pečlivé plánování a správu, ale přináší významné výhody v podobě zvýšené bezpečnosti, důvěryhodnosti a spokojenosti uživatelů. V dynamickém prostředí moderních mobilních sítí je důležité neustále sledovat vývoj v oblasti bezpečnosti a přizpůsobovat autentizační mechanismy novým hrozbám a požadavkům.

8.1.2 Odolnost vůči útokům

V dnešní digitální éře je odolnost vůči útokům rozhodujícím aspektem bezpečnosti v telekomunikačních sítích. S rostoucím počtem hrozeb je nezbytné implementovat robustní mechanismy ochrany, které zajistí kontinuitu služeb a ochranu před různými typy útoků, včetně kybernetických a fyzických.

8.1.2.1 Denial-of-Service (DoS) útoky

Denial-of-Service (DoS) útoky jsou pokusy útočníka narušit dostupnost sítě nebo služby tím, že ji zahltní nadměrným množstvím dat nebo požadavků. To může vést k přetížení systémů, zpomalení služeb nebo úplnému výpadku, což má negativní dopad na uživatele i poskytovatele služeb.



Obrázek 46: Denial-of-Service (DoS) útok

Zdroj: <https://www.wallarm.com/what/dos-denial-of-service-attack>

Tento diagram znázorňuje proces útoku typu Denial-of-Service (DoS), při kterém útočník používá síť kompromitovaných počítačů (botnet) k zaplavení cílového serveru falešnými požadavky. To způsobí, že server nebude schopen obsluhovat legitimní provoz, což vede k výpadku nebo zpomalení poskytovaných služeb. Útočník využívá různé počítače k tomu, aby zahltil cílový server, a tím mu zabránil v běžné funkci. Tento typ útoku je běžným způsobem, jak narušit dostupnost online služeb a způsobit škody poskytovatelům těchto služeb i uživatelům.

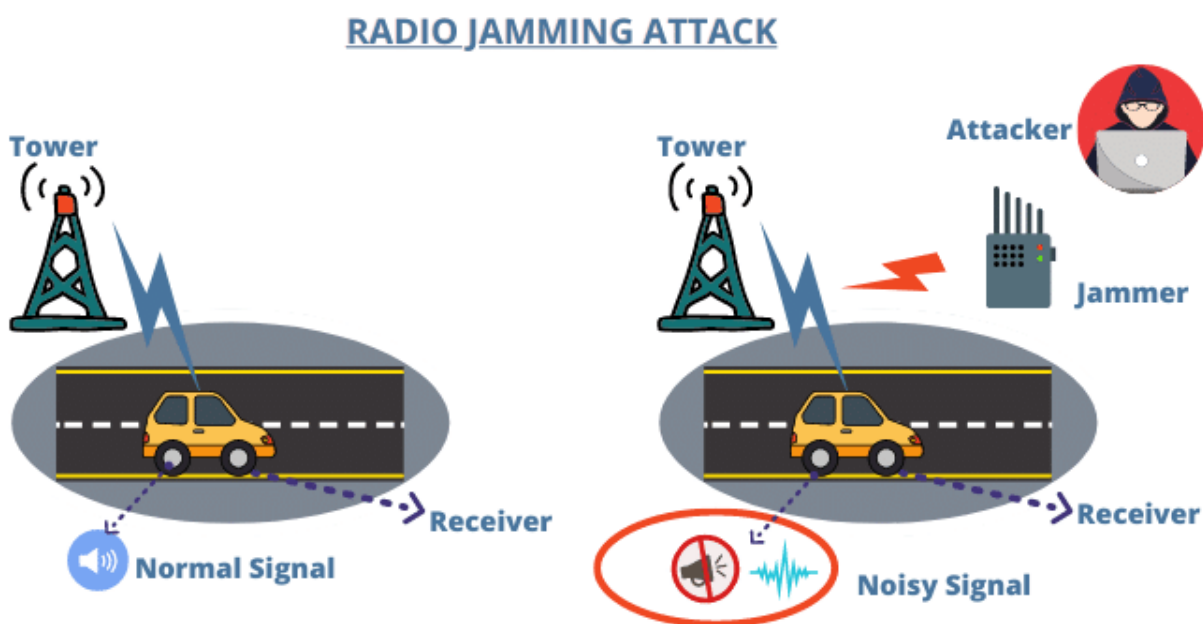
Mechanismy ochrany proti DoS útokům:

- Detekční systémy (IDS/IPS):
 - Intrusion Detection Systems (IDS) monitorují síťový provoz a vyhledávají podezřelé aktivity nebo vzorce, které naznačují probíhající útok.
 - Intrusion Prevention Systems (IPS) nejen detekují, ale také aktivně blokují škodlivý provoz, čímž zabraňují útoku v reálném čase.
- Šifrování signálů:
 - Šifrování komunikace mezi zařízeními zajišťuje, že pouze oprávněné entity mohou přistupovat k síti a vyměňovat si data.
 - Autentizace uživatelů a zařízení pomocí certifikátů nebo kryptografických klíčů zabraňuje neoprávněnému přístupu a zneužití sítě.
- Omezení rychlosti (Rate Limiting):
 - Implementace politik, které omezují počet požadavků z jedné IP adresy nebo zařízení, může zabránit zahlcení sítě.
 - Throttling zajišťuje, že i při zvýšeném provozu zůstává síť dostupná pro ostatní uživatele.
- Redundantní infrastruktura:
 - Load balancery a distribuované servery rozkládají zátěž na více zařízení, což zvyšuje odolnost proti útokům zaměřeným na jeden bod.
 - Geograficky rozložené sítě (CDN) mohou absorbovat útoky tím, že rozptýlí provoz po celém světě.
- Analýza síťového provozu:
 - Použití strojového učení a umělé inteligence pro detekci anomálií v síťovém provozu umožňuje rychlou identifikaci a reakci na podezřelé aktivity.
 - Proaktivní monitorování pomáhá předcházet útokům ještě předtím, než způsobí škody.
- Firewall a filtrování paketů:
 - Pokročilé firewally mohou blokovat škodlivý provoz na základě předdefinovaných pravidel a dynamických analýz.

- Filtrování paketů umožňuje kontrolu a řízení přístupu na úrovni jednotlivých datových paketů.

8.1.2.2 Ochrana proti fyzickým útokům

Fyzické útoky, jako je jamming nebo rušení signálu, jsou zaměřeny na narušení bezdrátové komunikace tím, že útočník vysílá signály na stejné frekvenci a způsobuje interferenci. Tyto útoky mohou vést k degradaci kvality služeb nebo úplnému výpadku komunikace.



Obrázek 47: Radio Jamming Attack

Zdroj: <https://networksimulationtools.com/radio-jamming-attack-network-projects/>

Popis obrázku: Tento diagram ilustruje útok typu Radio Jamming, při kterém útočník (označený jako "Jammer") vysílá škodlivé signály na stejné frekvenci, kterou používá legální zařízení pro bezdrátovou komunikaci. Na levé straně obrázku je znázorněna běžná situace, kdy přijímač obdrží normální signál od vysílače (tower). Na pravé straně vidíme útok, při kterém útočník ruší komunikaci mezi vysílačem a přijímačem tím, že vytváří šumové signály, což vede k degradaci kvality signálu nebo úplnému výpadku komunikace.

V kontextu ochrany proti fyzickým útokům, jako je jamming, je třeba implementovat různé techniky, například techniky rozptření spektra (FHSS, DSSS), odolné modulační techniky (OFDM), směrové antény, detekci rušení a další ochranná opatření popsaná v textu. Tyto technologie zajišťují lepší odolnost vůči takovýmto útokům a zvyšují bezpečnost bezdrátové komunikace.

Ochranná opatření proti fyzickým útokům:

- Techniky rozptření spektra:
 - Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS): Rychlé přepínání mezi frekvencemi v předem určeném vzoru, což ztěžuje útočníkovi sledování a rušení signálu.
 - Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS): Šíření signálu přes široké frekvenční pásmo pomocí speciálního kódu, který musí přijímač znát pro správné dekódování.
- Odolné modulační techniky:
 - Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM): Rozdělení signálu na více ortogonálních frekvencí zvyšuje odolnost vůči rušení na jednotlivých frekvencích.
 - Adaptivní modulační schémata umožňují přizpůsobit se měnícím se podmínkám v reálném čase.
- Směrové antény a beamforming:
 - Směrové antény koncentrují vysílací energii do konkrétního směru, což snižuje možnost rušení z jiných směrů.
 - Beamforming využívá více antén pro vytvoření silného signálu v požadovaném směru a potlačení rušení z ostatních směrů.

- Detekce a lokalizace rušení:
 - Spektrální senzory monitorují rádiové spektrum a detekují neobvyklé signály nebo rušení.
 - Geolokační technologie mohou určit polohu zdroje rušení, což usnadňuje jeho odstranění nebo právní kroky.
- Regulace a spolupráce s orgány:
 - Právní rámce a regulace stanovují sankce za nelegální rušení rádiových signálů.
 - Spolupráce s vládními a bezpečnostními agenturami může pomoci při rychlém řešení incidentů rušení.
- Záložní komunikační kanály:
 - Redundantní systémy využívající různé frekvence nebo technologie mohou zajistit kontinuitu služeb v případě rušení primárního kanálu.
 - Automatické přepínání na méně zatížené frekvence zvyšuje odolnost sítě.
- Šifrování a autentizace na fyzické vrstvě:
 - Fyzická vrstvená bezpečnost (PLS) využívá vlastností fyzického kanálu pro zabezpečení komunikace, což ztěžuje útočníkovi úspěšné rušení nebo odposlech.
 - Autentizační protokoly zajišťují, že pouze autorizovaná zařízení mohou komunikovat v síti.

8.1.2.3 Implementace a výzvy

Implementace účinných ochranných opatření proti útokům přináší několik výzev:

- Technická složitost:
 - Pokročilé technologie, jako je beamforming nebo adaptivní modulační schémata, vyžadují sofistikované hardwarové a softwarové řešení.
 - Integrace různých bezpečnostních mechanismů může být náročná z hlediska kompatibility a výkonu.
- Náklady:
 - Investice do pokročilých bezpečnostních systémů a infrastruktury může být finančně náročná.
 - Balancování mezi náklady a úrovní bezpečnosti je klíčové pro efektivní implementaci.
- Aktualizace a údržba:
 - Pravidelné aktualizace jsou nezbytné pro udržení ochrany proti novým typům útoků.
 - Správa bezpečnostních politik a konfigurací vyžaduje odborné znalosti a zdroje.
- Lidský faktor:
 - Školení personálu v oblasti bezpečnosti je nezbytné pro efektivní reakci na incidenty.
 - Povědomí uživatelů o bezpečnostních hrozbách může snížit riziko úspěšných útoků využívajících sociální inženýrství.
- Právní a etické aspekty:
 - Ochranná opatření musí být v souladu s právními předpisy a etickými standardy.
 - Zajištění soukromí uživatelů při monitorování a analýze síťového provozu je zásadní.

Odolnost vůči útokům je nezbytná pro udržení bezpečnosti a spolehlivosti moderních komunikačních sítí. Kombinace technických řešení, jako jsou detekční systémy, šifrování a pokročilé anténní technologie, spolu s organizačními opatřeními, jako je školení a spolupráce s regulačními orgány, vytváří komplexní obrannou strategii.

Proaktivní přístup k bezpečnosti, zahrnující neustálé sledování hrozeb a aktualizaci ochranných mechanismů, je nutné pro úspěšnou ochranu proti DoS útokům a fyzickým hrozbám, jako je jamming. Tím se zajišťuje nepřetržitá dostupnost služeb a důvěra uživatelů v bezpečnost poskytovaných komunikačních systémů.

8.2 Zabezpečení obsahu

Vysílání prostřednictvím technologie FeMBMS (Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service) zahrnuje nejen distribuci multimediálního obsahu, ale také rozhodující otázky zabezpečení dat. Při přenosu audiovizuálních služeb a jiného

obsahu v reálném čase je nezbytné chránit tato data před neoprávněným přístupem, piráctvím a kybernetickými útoky. Tato opatření jsou důležitá jak z důvodu ochrany práv duševního vlastnictví, tak zajištění integrity a bezpečnosti dat pro koncové uživatele.

8.2.1 Ochrana proti neoprávněnému přístupu a piráctví

V prostředí FeMBMS je nutné zajistit, aby byl obsah dostupný pouze oprávněným uživatelům. To zahrnuje ochranu proti piráctví a neoprávněnému šíření obsahu, které by mohlo ohrozit finanční zájmy poskytovatelů obsahu i porušovat práva duševního vlastnictví.

- Digitální práva (DRM – Digital Rights Management): DRM systémy jsou implementovány jako součást FeMBMS k ochraně obsahu před neoprávněným kopírováním nebo přehráváním. DRM systémy kontrolují, kteří uživatelé mají oprávnění přistupovat k danému obsahu a jakým způsobem ho mohou využívat (např. omezení počtu přehrávání nebo sdílení).
- Podmíněný přístup (Conditional Access Systems – CAS): FeMBMS může využívat technologie CAS, které umožňují řídit přístup k vysílanému obsahu na základě platného předplatného nebo jiných autorizací. CAS zabraňuje neoprávněným uživatelům přijímat obsah bez odpovídajících práv. Tento systém je klíčový pro vysílání placeného obsahu, jako jsou například prémiové televizní kanály.

8.2.2 Autentizace a autorizace uživatelů

Autentizace uživatelů je dalším důležitým mechanismem pro zajištění bezpečnosti obsahu. Pomocí autentizačních metod lze zajistit, že pouze oprávnění uživatelé mohou přistupovat k vysílanému obsahu.

- Dvoufaktorová autentizace (2FA): Dvoufaktorová autentizace přidává další vrstvu zabezpečení tím, že vyžaduje dva různé druhy ověření (například heslo a jednorázový kód zasláný na mobilní telefon uživatele). To minimalizuje riziko neoprávněného přístupu, i když jsou přihlašovací údaje kompromitovány.
- Autentizace pomocí certifikátů: V prostředí FeMBMS mohou být uživatelé autentizováni také pomocí digitálních certifikátů. Tento proces využívá asymetrické šifrování, kdy je zařízení uživatele vybaveno certifikátem vydaným důvěryhodnou certifikační autoritou. Certifikát je ověřován při každém připojení k vysílacímu serveru, čímž je zajištěna bezpečná komunikace mezi serverem a koncovým zařízením.

8.2.3 Ochrana integrity dat

Prostřednictvím FeMBMS je nezbytné zajistit, že přenášená data budou během celého procesu přenosu chráněna a že nedojde k jejich neautorizované změně nebo úpravě.

- Kontrolní součty a hashování: FeMBMS implementuje techniky jako kontrolní součty a kryptografické hashovací funkce (např. SHA-256) k ověření integrity přenášených dat. Tyto techniky zajišťují, že data nebyla během přenosu poškozena nebo změněna, a umožňují okamžité odhalení jakýchkoli neoprávněných zásahů.
- Detekce neoprávněných změn: Pokud během přenosu dojde k narušení integrity dat, vysílací systém může okamžitě reagovat a buď přenos obnovit, nebo odeslat nové, nepoškozené datové pakety. Tento mechanismus je kritický zejména pro živé přenosy, kde jakékoli zpoždění nebo výpadek signálu může způsobit významné narušení služby.

8.2.4 Ochrana před kybernetickými útoky

FeMBMS infrastruktura je citlivá na různé typy kybernetických hrozeb, od přímých útoků typu DDoS (Distributed Denial of Service) po pokusy o narušení sítě a odcizení dat. Proto je nezbytné implementovat pokročilé bezpečnostní mechanismy k ochraně jak přenosové infrastruktury, tak přenášených dat.

- Detekce a prevence útoků (IDS/IPS): Vysílací síť FeMBMS jsou vybaveny systémy detekce a prevence útoků (Intrusion Detection Systems/Intrusion Prevention Systems), které monitorují provoz v reálném čase a identifikují pokusy o neoprávněný přístup nebo útok. Tyto systémy mohou automaticky zablokovat podezřelou aktivitu nebo přesměrovat provoz na bezpečné servery, čímž minimalizují dopady útoku.
- Ochrana proti DDoS útokům: U 5G sítí je nezbytné chránit se před distribuovanými útoky, které mohou přetížit síť a způsobit výpadky služby. FeMBMS implementuje různé metody mitigace DDoS útoků, včetně rozkládání zátěže, filtrování provozu a automatického odklánění nežádoucího provozu do sandboxu pro analýzu.

8.2.5 Význam šifrování v televizních a audiovizuálních službách

Šifrování se stalo jedním z nástrojů ochrany obsahu v moderních televizních a audiovizuálních službách. S rozvojem digitálního vysílání a streamovacích platforem, které zpřístupňují obsah široké veřejnosti prostřednictvím internetu, kabelových sítí nebo mobilních zařízení, vzrůstají i rizika spojená s neoprávněným přístupem, pirátským a porušením autorských práv. Bez správně nastavené ochrany by jakýkoli citlivý obsah, včetně placených televizních kanálů, filmů nebo soukromých videí, mohl být snadno odcizen, šířen a využit bez souhlasu vlastníků práv.

8.2.5.1 Bezpečnostní rizika spojená s přenosem mediálních dat

Přenos mediálních dat přes veřejné sítě, jako je internet, je vystaven různým bezpečnostním hrozbám. Jedním z největších rizik je neoprávněný přístup, při kterém útočník získá přístup k audiovizuálnímu obsahu bez oprávnění, často s úmyslem jej šířit nebo zneužít. Dalším problémem je pirátství, které představuje neoprávněnou distribuci chráněného obsahu bez souhlasu vlastníků autorských práv. Tento problém je obzvláště závažný v zábavním průmyslu, kde nelegální kopie filmů, televizních pořadů nebo sportovních přenosů mohou vést k miliardovým ztrátám.

Šifrování zajišťuje, že data během přenosu zůstávají nečitelná pro neoprávněné osoby. Když jsou data šifrována, jsou přeměněna na formát, který je možné rozšifrovat pouze pomocí specifického klíče. Tento proces zajišťuje, že i když útočník získá přístup k datům, nebude schopen je dešifrovat bez znalosti šifrovacího klíče.

8.2.5.2 Ochrana soukromí a autorských práv

V televizních a audiovizuálních službách je ochrana soukromí uživatelů a autorských práv nepostradatelná. Placené televizní programy, streamingové služby a on-demand obsah musí být chráněny tak, aby byl zajištěn přístup pouze oprávněným uživatelům. Bez šifrování by bylo pro uživatele jednodušší obcházet platební systémy a konzumovat obsah nelegálně.

Šifrovací technologie, jako je AES (Advanced Encryption Standard) nebo RSA (Rivest-Shamir-Adleman), jsou navrženy tak, aby zajistily vysokou úroveň ochrany obsahu. AES je rychlý symetrický šifrovací algoritmus, který zajišťuje, že přenášený obsah je chráněn i v reálném čase. RSA, jako asymetrická šifrovací metoda, zajišťuje bezpečné přenosy mezi poskytovateli služeb a koncovými uživateli.

8.2.5.3 Šifrování jako součást legislativních požadavků

V Evropské unii je ochrana autorských práv a přenosu audiovizuálního obsahu zakotvena v legislativě, konkrétně v Audiovizuální mediální službě (AVMSD), která požaduje, aby poskytovatelé audiovizuálních služeb zajistili, že jejich obsah je chráněn proti neoprávněnému přístupu. Kromě ochrany autorských práv je kladen důraz na ochranu zranitelných skupin, jako jsou děti, proti nevhodnému obsahu, to vyžaduje dodatečné mechanismy šifrování a zabezpečení přenosu.

Šifrovací technologie jsou tedy nejen technologickým, ale i legislativním požadavkem pro poskytovatele obsahu, kteří chtějí dodržovat předpisy týkající se ochrany dat a soukromí. V mnoha případech jsou navíc kombinovány s dalšími technologiemi, jako je digitální správa práv (DRM), která zajišťuje kontrolu nad tím, kdo má přístup k jakému obsahu, a zabraňuje jeho nelegálnímu šíření.

8.2.5.4 Role šifrování v zabezpečení streamovacích služeb

Streamovací služby jako Netflix, Amazon Prime Video nebo Disney+ spoléhají na robustní šifrovací protokoly, které zajišťují, že jejich obsah je bezpečně přenášen od serverů k uživatelům. Tyto platformy využívají kombinaci symetrických a asymetrických šifrovacích technik pro ochranu obsahu a řízení přístupu. TLS/SSL protokoly se často používají pro šifrování komunikace mezi uživatelem a serverem, zatímco AES se používá pro samotný přenos mediálního obsahu.

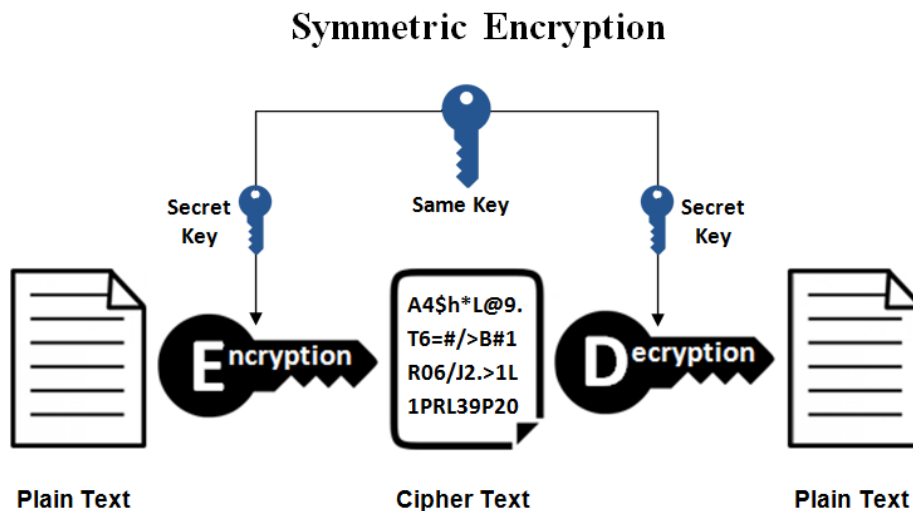
Šifrování zajišťuje, že obsah může být bezpečně distribuován i v sítích, kde je vysoké riziko útoků, a že uživatelé mohou konzumovat obsah bez obav z úniku jejich osobních údajů nebo neoprávněného přístupu k jejich zařízením.

8.2.6 Analýza šifrovacích technologií

Šifrovací technologie jsou základem zabezpečení dat a obsahu v moderních komunikačních sítích, včetně 5G sítí a multimediálních služeb, jako jsou televizní vysílání a streamovací platformy. Různé šifrovací algoritmy se liší podle způsobu použití, výpočetní náročnosti, rychlosti a bezpečnosti, a jejich výběr závisí na konkrétním účelu a požadavcích. V televizních a audiovizuálních službách se šifrování využívá jak k ochraně samotného přenosu obsahu, tak k autentizaci uživatelů a ochraně citlivých informací.

8.2.6.1 Symetrické šifrovací technologie

Symetrické šifrování je založeno na použití jednoho klíče pro šifrování i dešifrování dat. Tento typ šifrování je oblíbený především pro svou rychlost a efektivitu, které z něj činí ideální volbu pro přenosy velkých objemů dat, jako jsou videa a multimediální soubory.



Obrázek 48: Symetrické šifrování

Zdroj: <https://www.ssl2buy.com/wiki/symmetric-vs-asymmetric-encryption-what-are-differences>

Tento obrázek znázorňuje princip symetrického šifrování. Na levé straně je obyčejný text (Plain Text), který je zašifrován pomocí tajného klíče (Secret Key) v procesu šifrování (Encryption). Výsledkem je šifrovaný text (Cipher Text), který lze dešifrovat pomocí stejného tajného klíče na pravé straně v procesu dešifrování (Decryption), čímž se obnoví původní obyčejný text. U symetrického šifrování se pro šifrování i dešifrování používá stejný klíč, což vyžaduje bezpečný způsob sdílení klíče mezi odesílatelem a příjemcem.

AES (Advanced Encryption Standard)

AES (Advanced Encryption Standard) je jedním z nejpoužívanějších symetrických šifrovacích algoritmů na světě, který se stal zlatým standardem pro šifrování dat ve vládních, finančních a zdravotnických systémech. Byl navržen v roce 2001 jako nástupce staršího algoritmu DES (Data Encryption Standard), který se stal zranitelným vůči moderním útokům. AES přinesl nejen vyšší bezpečnost, ale také výrazně lepší výkon a flexibilitu.

- Principy fungování AES: AES je symetrický šifrovací algoritmus, což znamená, že stejný klíč se používá jak pro šifrování, tak pro dešifrování dat. AES pracuje s blokovým šifrováním, to znamená, že zpracovává pevně definované bloky dat o velikosti 128 bitů (16 bajtů). Kromě toho AES podporuje různé délky šifrovacích klíčů, které mohou být 128, 192 nebo 256 bitů. Delší klíče zajišťují vyšší úroveň bezpečnosti, ale zároveň jsou náročnější na výpočetní výkon.
- AES funguje na základě opakovaných operací známých jako kola šifrování. Počet těchto kol se liší podle délky klíče:
 - 10 kol pro klíče o délce 128 bitů,
 - 12 kol pro klíče o délce 192 bitů,
 - 14 kol pro klíče o délce 256 bitů.

Každé kolo zahrnuje několik základních kroků, jako je nahrazení bajtů (SubBytes), posun řádků (ShiftRows), mixování sloupců (MixColumns) a přidání klíče (AddRoundKey). Tyto operace přeměňují původní data na šifrovanou zprávu, která je bezpečně přenášena.

- Použití AES v audiovizuálních službách: V oblasti televizních a audiovizuálních služeb je AES velmi důležitý díky své schopnosti rychle šifrovat velké objemy dat bez výrazného dopadu na výkon zařízení. Audiovizuální obsah, jako jsou filmy, televizní pořady nebo živé sportovní přenosy, vyžaduje efektivní zpracování dat v reálném čase. AES, díky své optimalizované struktuře, umožňuje přenos těchto dat bez znatelného zpoždění. Šifrování pomocí AES je běžně využíváno v kombinaci s TLS/SSL protokoly, které zajišťují zabezpečení komunikace mezi servery a koncovými zařízeními. AES zde slouží jako hlavní mechanismus pro šifrování přenášeného obsahu, zatímco asymetrické algoritmy, jako je RSA, jsou používány pro výměnu šifrovacích klíčů a autentizaci uživatelů.
- Pro audiovizuální služby, které poskytují obsah milionům uživatelů po celém světě, je AES ideálním řešením, protože zajišťuje:

- Rychlé šifrování a dešifrování dat: Díky své vysoké rychlosti může AES snadno šifrovat multimediální obsah v reálném čase.
- Nízký výpočetní dopad: I když AES zajišťuje vysokou úroveň bezpečnosti, má minimální dopad na výkon zařízení a umožňuje, aby byl použit i na méně výkonných zařízeních, jako jsou chytré telefony nebo tablety.
- Široká podpora napříč platformami: AES je standardizován a podporován většinou moderních platform, což znamená, že může být efektivně používán na různých typech zařízení, včetně televizorů, počítačů a mobilních zařízení.
- Bezpečnostní vlastnosti AES: Jednou z hlavních výhod AES je jeho odolnost proti širokému spektru útoků. Díky své struktuře je AES považován za velmi bezpečný i při moderních technikách útoků, jako jsou brute-force útoky nebo diferenciální kryptoanalýza. Jeho bezpečnost je úměrná délce klíče. Klíče o délce 128 bitů poskytují více než dostatečnou bezpečnost pro většinu aplikací, zatímco klíče o délce 256 bitů jsou považovány za prakticky neprolomitelné pomocí současných výpočetních kapacit.
- AES je také efektivní z hlediska energetické náročnosti. Jeho použití je výhodné v mobilních a cloudových prostředích, kde je potřeba optimalizovat spotřebu energie.
- Výhody a nevýhody AES
 - Výhody AES:
 - Rychlost: AES je navržen pro rychlé zpracování dat, a to z něj činí ideální algoritmus pro streaming a online vysílání.
 - Bezpečnost: Nabízí vysokou úroveň bezpečnosti i při použití kratších klíčů (128 bitů), přičemž delší klíče poskytují téměř neprolomitelnou ochranu.
 - Efektivita: Vzhledem k tomu, že AES vyžaduje relativně nízké výpočetní zdroje, může být nasazen na širokém spektru zařízení, od výkonných serverů po mobilní zařízení.
 - Nevýhody AES:
 - Symetrická povaha: Jelikož AES je symetrický algoritmus, vyžaduje, aby odesílatel a příjemce sdíleli stejný klíč, a to může být komplikované při distribuci klíčů ve velkých systémech. Tento problém se řeší kombinací AES s asymetrickými algoritmy, jako je RSA, pro bezpečnou výměnu klíčů.

AES zůstává jedním z nejdůležitějších šifrovacích algoritmů současnosti. Jeho kombinace rychlosti, bezpečnosti a efektivity z něj činí ideální řešení pro šifrování velkých objemů dat, zejména v oblasti televizních a audiovizuálních služeb. Díky své široké podpoře, robustním bezpečnostním vlastnostem a nízkému dopadu na výkon je AES nepostradatelnou součástí moderních šifrovacích systémů napříč mnoha průmyslovými odvětvími, včetně 5G sítí a digitálního vysílání.

DES (Data Encryption Standard)

DES (Data Encryption Standard) byl jedním z prvních široce používaných šifrovacích algoritmů pro ochranu digitálních dat. DES vznikl v 70. letech 20. století a byl standardizován jako šifrovací metoda pro federální vládu USA v roce 1977. Ačkoli byl v té době považován za průlomový, jeho postupné nahrazování modernějšími a bezpečnějšími algoritmy, jako je AES, ukazuje jeho omezení v kontextu současných bezpečnostních potřeb.

- Principy fungování DES: DES je symetrický blokový šifrovací algoritmus, což znamená, že používá stejný klíč jak pro šifrování, tak pro dešifrování dat. DES pracuje s bloky dat o velikosti 64 bitů a používá klíč o délce 56 bitů (8 bitů je rezervováno pro kontrolu parity, čímž efektivní délka klíče činí 56 bitů). Tato relativně krátká délka klíče se stala jedním z hlavních důvodů, proč byl DES považován za zranitelný vůči moderním útokům, jako je brute-force útok.
- DES funguje na základě Feistelovy struktury, která zahrnuje 16 kol šifrování. Každé kolo obsahuje následující operace:
 - Rozdělení vstupního bloku na dvě poloviny (levá a pravá část).
 - Permutace a substituce – Substituční boxy (S-boxy) jsou klíčovým prvkem DES, kde probíhá nahrazování částí bloku jinými hodnotami podle definovaných pravidel.
 - Bitové posuny a XOR operace s klíči generovanými pro každé kolo.

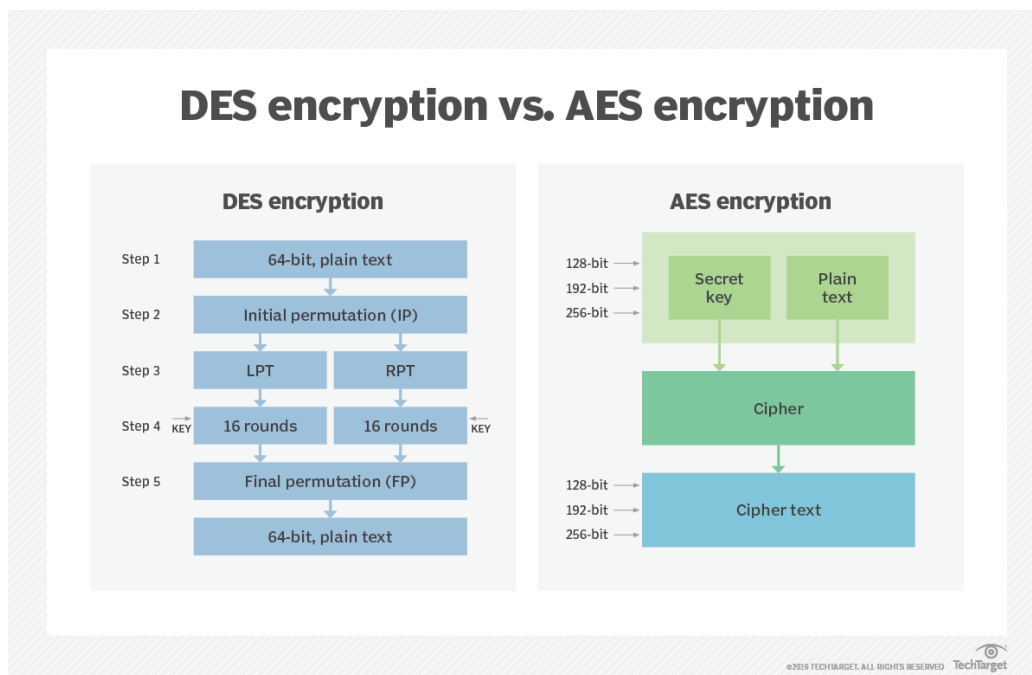
Po těchto operacích vzniká šifrovaný text, který může být následně dešifrován, pokud je k dispozici správný klíč.

- Historický význam DES: V době svého vzniku byl DES považován za revoluční. Stal se základem pro šifrování dat v mnoha průmyslových odvětvích, včetně bankovního sektoru a vládních systémů. Vzhledem k relativně nízkým výpočetním schopnostem v 70. a 80. letech byla délka klíče 56 bitů považována za dostatečně bezpečnou proti pokusům o prolomení šifry. Jednou z hlavních výhod DES v té době byla jeho jednoduchost implementace. Algoritmus byl navržen tak, aby byl snadno použitelný v hardwaru i softwaru, to z něj činilo přístupnou volbu pro široké spektrum aplikací. Navíc jeho Feistelova struktura poskytovala přijatelnou úroveň bezpečnosti při relativně nízké výpočetní náročnosti.
- Nevýhody DES:

- S rostoucí výpočetní silou moderních počítačů se však DES stal zranitelným. Brute-force útoky, při nichž útočník systematicky zkouší všechny možné kombinace klíče, se staly hlavní hrozbou pro bezpečnost DES. Díky délce klíče 56 bitů je počet možných kombinací 2^{56} (přibližně 72 bilionů), což bylo dříve považováno za nepřekonatelný počet. Nicméně moderní výpočetní technologie umožňují tyto kombinace prozkoumat relativně rychle, a znamená, že DES již nelze považovat za bezpečný algoritmus.
- Další slabinou DES je jeho zranitelnost vůči útokům na strukturu. S-boxy používané v DES byly navrženy tak, aby odolávaly určitým typům útoků, ale s postupem času byly objeveny nové metody, jako je diferenciální kryptoanalýza, které dokázaly tyto bezpečnostní prvky prolomit.
- Triple DES (3DES): Aby byla překonána bezpečnostní omezení DES, byl vyvinut Triple DES (3DES). Tento algoritmus využívá DES třikrát za sebou s různými klíči, čímž efektivně prodlužuje délku klíče na 112 nebo 168 bitů. I když 3DES nabízí výrazně vyšší bezpečnost než původní DES, je také podstatně pomalejší, to z něj činí méně vhodnou volbu pro aplikace náročné na výkon, jako je šifrování audiovizuálních dat v reálném čase. 3DES byl široce používán v bankovníctví a finančních transakcích, kde byl považován za dostatečně bezpečný pro ochranu citlivých informací. Nicméně s příchodem modernějších a rychlejších algoritmů, jako je AES, jeho využití postupně kleslo.
- Výkon a využití DES: V kontextu šifrování audiovizuálních dat byl DES v minulosti používán pro základní zabezpečení přenosů. Nicméně kvůli své relativně krátké délce klíče a slabé odolnosti vůči moderním útokům byl DES postupně nahrazen modernějšími algoritmy, jako je AES, které poskytují mnohem vyšší úroveň zabezpečení a lepší výkon. Při šifrování velkých objemů dat, jako jsou streamované videa nebo multimediální přenosy, je výpočetní efektivita rozhodujícím faktorem. DES, který pracuje s relativně krátkými klíči a má 16 kol šifrování, je pomalejší než moderní algoritmy. Vzhledem k tomu, že současné služby vyžadují šifrování velkých datových objemů s minimálním zpožděním, DES již není považován za vhodnou volbu pro tato prostředí.

DES byl v době svého vzniku považován za špičkovou šifrovací technologii a dlouhou dobu sloužil jako standard pro zabezpečení dat. Nicméně v důsledku rychlého rozvoje výpočetních technologií a nových metod útoků se jeho bezpečnostní profil výrazně zhoršil. Dnes je DES považován za zastaralý a jeho místo bylo nahrazeno modernějšími a bezpečnějšími algoritmy, jako je AES.

DES je stále užitečný pro historické účely a pro pochopení vývoje šifrovacích technologií, ale pro moderní aplikace, jako je zabezpečení audiovizuálních přenosů v 5G sítích, se doporučuje používat novější algoritmy s delšími klíči a lepší odolností vůči útokům.



Obrázek 49: Porovnání šifrovacích metod DES a AES

Zdroj: <https://www.techtarget.com/searchsecurity/definition/Advanced-Encryption-Standard>

Šifrovací procesy DES (Data Encryption Standard) a AES (Advanced Encryption Standard) se výrazně liší, ačkoli oba patří mezi symetrické blokové šifry. DES používá 64bitový blok pro čistý text a 56bitový klíč pro šifrování. Během šifrovacího procesu dochází k 16 kolům šifrování, při kterých se data rozdělí na levou a pravou polovinu a transformují se pomocí klíčem řízených permutací.

Na druhé straně AES nabízí klíče o délce 128, 192 nebo 256 bitů a poskytuje výrazně vyšší úroveň bezpečnosti než DES. Šifrovací proces AES zahrnuje více kol (10, 12 nebo 14 kol v závislosti na délce klíče), zajišťuje vyšší odolnost vůči útokům. AES je také mnohem efektivnější, což ho činí vhodným pro aplikace vyžadující vysoký výkon, jako jsou moderní šifrovací systémy.

Blowfish a IDEA

Blowfish a IDEA (International Data Encryption Algorithm) jsou symetrické šifrovací algoritmy, které byly vyvinuty jako alternativy k tehdejšímu standardu DES, který se postupně stal zastaralým a zranitelným vůči útokům hrubou silou. I když oba tyto algoritmy přinesly v době svého vzniku zlepšení v oblasti bezpečnosti a výkonu oproti DES, byly nakonec překonány modernějšími algoritmy, zejména AES, který dnes představuje standard pro většinu šifrovacích aplikací.

- Blowfish – Blowfish byl navržen Bruce Schneierem v roce 1993 jako rychlý a bezpečný šifrovací algoritmus, který by mohl nahradit DES. Mezi jeho hlavní vlastnosti patří:
 - Rychlost a efektivita: Blowfish je známý pro svou vysokou rychlost, což ho činí vhodným pro aplikace, které vyžadují rychlé šifrování dat, například v síťových protokolech a šifrování souborů. Algoritmus je obzvláště rychlý při šifrování dat na 32bitových procesorech.
 - Flexibilita: Blowfish umožňuje délku klíče v rozsahu od 32 bitů do 448 bitů, zajišťuje flexibilní úroveň bezpečnosti podle potřeby konkrétní aplikace. Na rozdíl od DES, který měl pevnou délku klíče 56 bitů, Blowfish poskytuje mnohem širší možnosti konfigurace a tím i vyšší úroveň zabezpečení.
 - Bezpečnost: Blowfish zůstává považován za bezpečný algoritmus, pokud je správně implementován a používá dostatečně dlouhý klíč. Neexistují žádné známé efektivní útoky proti plně implementovanému Blowfish algoritmu, ačkoli byly objeveny některé slabiny při použití zkrácených klíčů a v aplikacích s omezenými zdroji.

Blowfish používá bloky o velikosti 64 bitů, což však může být považováno za nevýhodu ve srovnání s AES, který používá 128bitové bloky. Šifrování s menšími bloky může být zranitelnější vůči určitým typům útoků, zejména v kontextu moderních datových toků s velkým objemem.

Blowfish byl široce používán v různých šifrovacích aplikacích, například v OpenSSH a v nástrojích pro šifrování disků. Nicméně s příchodem AES, který nabízí vyšší bezpečnost a efektivitu při větších blocích dat, byl Blowfish postupně nahrazen modernějšími algoritmy.

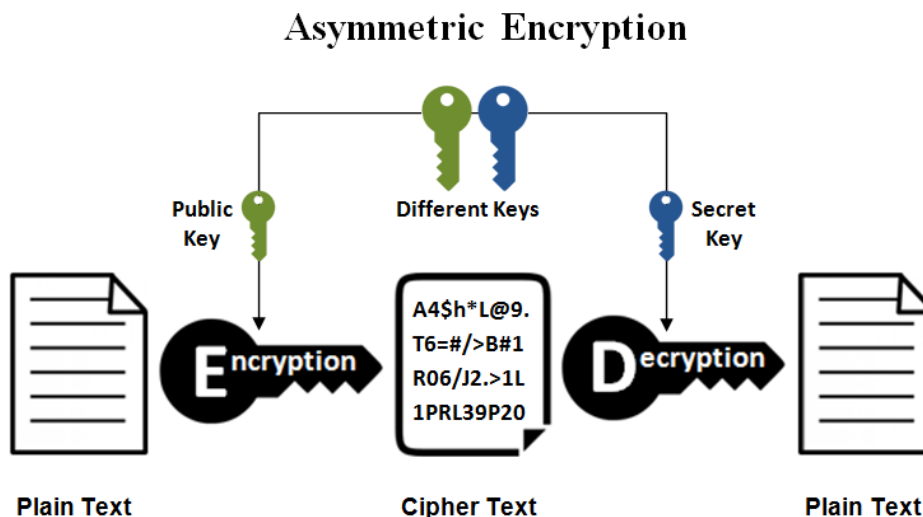
- IDEA (International Data Encryption Algorithm) - IDEA byl vyvinut v roce 1991 Jamesem Masseyem a Xuejiem Laiem jako náhrada za DES. Tento algoritmus byl navržen s cílem vyřešit některé slabiny DES, zejména jeho zranitelnost vůči útokům hrubou silou. IDEA se stal oblíbeným zejména v Evropě a byl používán v různých kryptografických protokolech. Mezi hlavní vlastnosti IDEA patří:
 - Silná bezpečnost: IDEA využívá 128bitový klíč, což poskytuje mnohem vyšší úroveň bezpečnosti ve srovnání s DES. Díky své konstrukci je IDEA považován za velmi odolný vůči kryptoanalytickým útokům, včetně diferenciální a lineární kryptoanalýzy.
 - Blokované šifrování: Stejně jako DES i IDEA pracuje s bloky o velikosti 64 bitů. V každém kroku šifrování probíhá řada operací, včetně modulárních sčítání a násobení, zajišťuje složitou transformaci vstupních dat.
 - Použití v PGP (Pretty Good Privacy): Jedním z hlavních úspěchů IDEA bylo jeho využití v PGP, což je populární software pro šifrování e-mailů a souborů. PGP se stal jedním z nejdůležitějších nástrojů pro zajištění bezpečné komunikace na internetu, a IDEA díky tomu získal širokou pozornost.
 - Licencování a omezení: IDEA byl původně patentován, to omezovalo jeho širší nasazení v některých aplikacích, kde byly preferovány open-source šifrovací algoritmy, jako Blowfish nebo později AES. Patent na IDEA vypršel v roce 2012, což odstranilo licenční překážky, ale mezitím byl algoritmus v mnoha oblastech nahrazen.

Stejně jako Blowfish je i IDEA považován za velmi bezpečný algoritmus, ale jeho použití v moderních systémech ustoupilo ve prospěch AES, který nabízí efektivnější výkon a flexibilitu při šifrování velkých datových objemů.

- Nahrazení Blowfish a IDEA algoritmy AES – I když byly Blowfish a IDEA vyvinuty jako vylepšení oproti DES, oba algoritmy byly postupně nahrazeny AES. AES se stal dominantním algoritmem pro šifrování v mnoha aplikacích, protože nabízí lepší kombinaci bezpečnosti, rychlosti a efektivity. AES šifruje data v blocích o velikosti 128 bitů, což zajišťuje vyšší bezpečnost při zpracování velkých objemů dat, zejména v kontextu moderních komunikačních sítí, jako jsou 5G nebo cloudové služby. Navíc AES poskytuje různé délky klíčů (128, 192, 256 bitů), nabízí flexibilitu v zabezpečení a jeho rychlost umožňuje efektivní šifrování v reálném čase bez významného dopadu na výkon zařízení. V současné době jsou Blowfish i IDEA považovány za bezpečné algoritmy, avšak z hlediska výkonu a univerzálnosti je AES považován za standardní řešení pro většinu šifrovacích potřeb ve světě IT a komunikačních technologií.

8.2.6.2 Asymetrické šifrovací technologie

Asymetrické šifrování, známé také jako šifrování s veřejným klíčem, používá dvě různá klíče: veřejný klíč pro šifrování a soukromý klíč pro dešifrování. Tento přístup je méně efektivní pro šifrování velkých datových objemů, ale je zásadní pro bezpečné přenosy klíčů, autentizaci a zabezpečení komunikace v reálném čase.



Obrázek 50: Asymetrické šifrování

Zdroj: <https://www.ssl2buy.com/wiki/symmetric-vs-asymmetric-encryption-what-are-differences>

Tento obrázek znázorňuje princip asymetrického šifrování. Na levé straně je obyčejný text (Plain Text), který je zašifrován pomocí veřejného klíče (Public Key) během procesu šifrování (Encryption). Výsledkem šifrování je šifrovaný text (Cipher Text). Tento šifrovaný text je následně dešifrován na pravé straně pomocí odpovídajícího soukromého klíče (Secret Key) v procesu dešifrování (Decryption), čímž je text převeden zpět na původní obyčejný text. Klíčovým aspektem asymetrického šifrování je, že pro šifrování a dešifrování se používají různé klíče – veřejný klíč pro šifrování a soukromý klíč pro dešifrování.

RSA (Rivest-Shamir-Adleman)

RSA (Rivest-Shamir-Adleman) je jedním z nejznámějších a nejpoužívanějších asymetrických šifrovacích algoritmů. Byl vyvinut v roce 1977 třemi matematiky – Ronem Rivestem, Adim Shamirem a Leonardem Adlemanem – z MIT, odtud také název algoritmu. RSA se stal základem pro moderní kryptografii a digitální bezpečnost a je široce využíván pro bezpečnou komunikaci na internetu, zejména v oblasti elektronického obchodu, elektronického podpisu a autentizace.

- Princip fungování RSA:
 - Na rozdíl od symetrických šifrovacích algoritmů, jako je AES nebo DES, které používají stejný klíč pro šifrování i dešifrování, RSA využívá dvojici klíčů – veřejný klíč a soukromý klíč. Tento princip se nazývá asymetrická kryptografie. Veřejný klíč se používá pro šifrování zpráv, zatímco soukromý klíč je používán pro jejich dešifrování.
 - RSA funguje na základě faktorizace velkých čísel. Bezpečnost algoritmu spočívá v obtížnosti rozkladu velmi velkých čísel (produkty dvou velkých prvočísel) na jejich prvočinitele. Tento problém je výpočetně náročný a nelze jej vyřešit v rozumném čase ani s moderními výpočetními prostředky, což činí RSA bezpečným, i když jeho teoretický základ je relativně jednoduchý.
- Kroky algoritmu RSA:
 - Generování klíčů: V RSA se nejprve generují dvě velká prvočísla (označme je p a q), která se vynásobí a vytvoří tzv. modul n . Modul n je veřejnou součástí klíče. Z těchto prvočísel je také odvozen veřejný exponent (obvykle malé číslo, často 65537) a soukromý exponent, který spolu s n tvoří soukromý klíč.
 - Šifrování: Odesílatel zprávy použije veřejný klíč příjemce (složený z n a veřejného exponentu) k zašifrování původní zprávy (označované jako plaintext). Výsledkem je ciphertext, který může být bezpečně odeslán přes nezabezpečenou síť, protože pouze příjemce se soukromým klíčem jej může dešifrovat.
 - Dešifrování: Příjemce zprávy použije svůj soukromý klíč (složený z n a soukromého exponentu) k dešifrování zprávy zpět na původní plaintext. Tento krok je výpočetně složitý a bez znalosti soukromého klíče prakticky nemožný.
- Výhody RSA:

- Bezpečnost: RSA je velmi bezpečný šifrovací algoritmus, zejména při použití dlouhých klíčů. RSA klíče mohou mít délku od 1024 bitů až po 4096 bitů, přičemž delší klíče poskytují vyšší úroveň bezpečnosti. Algoritmus je extrémně odolný proti útokům hrubou silou, jelikož rozklad velmi velkých čísel na prvočinitele je matematicky obtížný.
- Autentizace a digitální podpisy: RSA je široce používán pro digitální podpisy a autentizaci uživatelů. Kromě šifrování umožňuje ověřit autenticitu odesílatele, protože pouze odesílatel se správným soukromým klíčem může podepsat zprávu, kterou může ověřit kdokoli s veřejným klíčem.
- Široké využití: RSA je prvkem v mnoha bezpečnostních protokolech, jako jsou TLS/SSL (pro zabezpečení internetových stránek), PGP (šifrování e-mailů) a SSH (bezpečné přihlašování k serverům). Je také široce používán při zabezpečení digitálních certifikátů.
- Nevýhody RSA:
 - Výpočetní náročnost: RSA je mnohem pomalejší než symetrické šifrovací algoritmy, jako je AES. Proces šifrování a dešifrování pomocí RSA vyžaduje mnoho výpočetních zdrojů, zejména při použití dlouhých klíčů, což může být nevýhodou při šifrování velkých datových objemů nebo v prostředích s omezeným výkonem, například u mobilních zařízení.
 - Větší délky klíčů: I když větší délky klíčů poskytují vyšší bezpečnost, současně to znamená větší zátěž pro systém a delší čas potřebný k šifrování a dešifrování. Proto se RSA často používá pouze k šifrování malých datových bloků nebo k šifrování symetrických klíčů, které se následně používají k šifrování hlavních dat pomocí rychlejších algoritmů, jako je AES.
- Použití RSA v kombinaci s AES – Kvůli výpočetní náročnosti RSA se v praxi často používá v kombinaci se symetrickými algoritmy, jako je AES. Tento přístup funguje následovně:
 - Nejprve je generován symetrický klíč (např. pro AES), který se použije pro rychlé šifrování dat.
 - Tento symetrický klíč je následně zašifrován pomocí RSA a bezpečně přenesen k příjemci.
 - Příjemce dešifruje symetrický klíč pomocí svého soukromého klíče RSA a následně s ním dešifruje hlavní data šifrovaná AES.

Tento postup kombinuje bezpečnost RSA s výkonem AES a je často používán v moderních kryptografických systémech, například při šifrování souborů, zabezpečení připojení (TLS) a v cloudových systémech.

ElGamal

ElGamal je asymetrický šifrovací algoritmus vyvinutý v roce 1985 Tahar ElGamalem. Je založen na obtížnosti výpočtu diskrétního logaritmu, což je matematický problém, který je složitý na výpočet, a proto se používá jako základ pro kryptografické operace. ElGamal je oblíbený pro své využití ve šifrování a digitálních podpisech.

- Princip fungování ElGamal: ElGamal používá dvojici klíčů – veřejný klíč a soukromý klíč. Veřejný klíč je používán k šifrování zpráv a soukromý klíč k jejich dešifrování. Algoritmus je založen na matematických operacích spojených s grupami, což poskytuje silné zabezpečení.
 - Generování klíčů: ElGamal generuje veřejný a soukromý klíč pomocí velkých prvočísel a matematických operací, což zajišťuje vysokou bezpečnost.
 - Šifrování: Odesílatel použije veřejný klíč příjemce k zašifrování zprávy. Výsledkem šifrovací operace jsou dva kryptogramy, které jsou odeslány příjemci.
 - Dešifrování: Příjemce zprávy použije svůj soukromý klíč k dešifrování přijatých kryptogramů a získá původní zprávu.
- Výhody:
 - ElGamal je považován za velmi bezpečný, protože jeho bezpečnost vychází z obtížnosti výpočtu diskrétního logaritmu, což je problém, který nelze efektivně řešit ani pomocí moderních výpočetních metod.
- Nevýhody:
 - Nevýhodou ElGamal je jeho relativně velká délka šifrovaného textu ve srovnání s ostatními algoritmy. To může způsobovat vyšší nároky na úložiště a šířku pásma při přenosu zašifrovaných dat. Navíc je ElGamal pomalejší než některé modernější šifrovací algoritmy, což omezuje jeho využití v některých aplikacích s vysokými výkonnostními nároky.

ElGamal je často používán v kryptografických systémech, kde je potřeba šifrování a generování digitálních podpisů, například v aplikacích pro elektronické volby, šifrovanou komunikaci nebo blockchain technologie.

DSA (Digital Signature Algorithm)

DSA je algoritmus pro digitální podpisy, který byl navržen Davidem Kravitzem a v roce 1991 byl přijat jako federální standard pro digitální podpisy ve Spojených státech (FIPS 186). DSA je asymetrický algoritmus, který využívá dvojici klíčů pro vytvoření digitálního podpisu a jeho ověření.

- Princip fungování DSA: DSA pracuje na principu generování veřejného a soukromého klíče. Soukromý klíč je používán k vytvoření digitálního podpisu, zatímco veřejný klíč slouží k ověření tohoto podpisu.
 - Generování klíčů: Stejně jako ElGamal, DSA generuje dvojici klíčů – veřejný a soukromý klíč – na základě matematických operací spojených s prvočíslly.
 - Digitální podpis: Když uživatel chce podepsat dokument nebo zprávu, použije svůj soukromý klíč k vytvoření digitálního podpisu. Tento podpis je připojen ke zprávě a odeslán spolu s ní.
 - Ověření podpisu: Příjemce použije veřejný klíč odesílatele k ověření podpisu. Pokud je podpis platný, znamená to, že zpráva nebyla změněna a pochází od deklarovaného odesílatele.
- Výhody:
 - DSA je velmi efektivní pro generování digitálních podpisů a jejich ověření. Algoritmus je standardizován a široce používán pro zajištění integrity a autenticity dat. DSA je také relativně rychlý při generování podpisů a méně náročný na výpočetní výkon ve srovnání s jinými asymetrickými algoritmy.
- Nevýhody:
 - Hlavní nevýhodou DSA je, že je používán pouze pro digitální podpisy a nelze ho využít pro šifrování dat. Navíc, pokud není správně implementován, může být zranitelný vůči určitým typům útoků, jako je například útok na opakované využití nonce.

Využití ElGamal a DSA: ElGamal a DSA jsou oblíbené v prostředích, kde je kladen důraz na bezpečnost a ověřování digitálních podpisů. ElGamal je často používán v aplikacích, které vyžadují šifrování a digitální podpisy, zatímco DSA je standardem pro digitální podpisy v různých bezpečnostních protokolech, jako jsou SSL/TLS, SSH a digitální certifikáty.

DSA byl například přijat americkou vládou jako standard pro podepisování oficiálních dokumentů a vedlo k jeho širokému přijetí po celém světě.

ElGamal a DSA jsou důležité asymetrické kryptografické algoritmy, které se používají pro různé účely. ElGamal se osvědčil v šifrovacích aplikacích a generování digitálních podpisů a DSA je standardizovaný algoritmus pro digitální podpisy, který je používán k ověřování autenticity a integrity zpráv. I když oba algoritmy mají své specifické výhody, moderní kryptografické systémy často kombinují různé algoritmy pro dosažení vyšší bezpečnosti a výkonnosti.

8.2.6.3 Kombinace symetrických a asymetrických šifrovacích technik

Kombinace symetrických a asymetrických šifrovacích technik se stala rozšířenou metodou pro zajištění vysoké úrovně bezpečnosti v moderních televizních a audiovizuálních službách. Tento přístup spojuje výhody obou druhů šifrování a poskytuje komplexní ochranu pro data během přenosu přes veřejné sítě, jako je internet nebo mobilní síť. Zvláště v prostředí, kde je nutné rychle a bezpečně přenášet velké objemy dat, například u streamování videí nebo živých televizních přenosů, se tato kombinace ukazuje jako nezbytná.

Symetrické a asymetrické šifrování: Základní rozdíly

Symetrické šifrování, jako je AES, využívá jediný klíč pro šifrování i dešifrování dat. Tento klíč musí být sdílen mezi odesílatelem a příjemcem, čímž činí symetrické šifrování rychlým a efektivním pro zpracování velkých datových objemů, ale zvyšuje to riziko v případě, že by došlo k úniku nebo odcizení klíče.

Asymetrické šifrování, jako je RSA, používá dvojici klíčů – veřejný klíč pro šifrování a soukromý klíč pro dešifrování. Výhodou tohoto přístupu je, že veřejný klíč může být volně sdílen, zatímco soukromý klíč zůstává tajný a zajišťuje, že pouze oprávněný příjemce může data dešifrovat. Asymetrické šifrování je tedy velmi bezpečné, ale pomalejší než symetrické šifrování, a to omezuje jeho využití při šifrování velkých objemů dat.

Výměna klíčů a autentizace

V moderních televizních a audiovizuálních službách, kde je potřeba zajistit jak rychlé zpracování velkých datových toků, tak bezpečnou výměnu šifrovacích klíčů, se často používá kombinace obou metod. Zde hraje důležitou roli asymetrické šifrování, konkrétně při výměně šifrovacích klíčů a autentizaci uživatelů a zařízení.

Například v protokolech jako TLS (Transport Layer Security) nebo SSL (Secure Sockets Layer), které se používají pro zabezpečení přenosů dat mezi servery a klientskými zařízeními, asymetrické šifrování slouží k bezpečné výměně symetrických

klíčů. Jakmile je tento klíč bezpečně předán, je následně používán k šifrování a dešifrování dat během přenosu pomocí rychlejšího symetrického šifrování, jako je AES.

Tento proces lze shrnout do následujících kroků:

- **Asymetrická fáze (RSA):**
 - Odesílatel a příjemce si nejprve vymění veřejné klíče pomocí asymetrického šifrování. Příjemce použije veřejný klíč odesílatele k zašifrování symetrického klíče (např. AES klíče).
 - Tento zašifrovaný klíč je pak bezpečně předán příjemci, který jej dešifruje svým soukromým klíčem.
- **Symetrická fáze (AES):**
 - Po výměně šifrovacích klíčů je použit symetrický klíč (například AES) k samotnému šifrování dat, jako jsou videa, soubory nebo televizní přenosy. Symetrické šifrování umožňuje efektivní a rychlé šifrování velkých objemů dat bez výrazného zpomalení procesu.

Tato kombinace využívá výhody obou přístupů: asymetrické šifrování poskytuje bezpečnou výměnu klíčů, zatímco symetrické šifrování poskytuje výkonné zpracování dat, což je důležité zejména pro přenosy v reálném čase, kde by zpomalení způsobené čistě asymetrickým šifrováním nebylo akceptovatelné.

Výhody kombinovaného přístupu

- **Bezpečnost klíčů** – Asymetrické šifrování (např. RSA) zajišťuje, že klíče pro symetrické šifrování nemusí být předávány nechráněně. Tento přístup minimalizuje riziko úniku klíče a je častým problémem u čistě symetrických šifrovacích metod, kde musí být klíč sdílen mezi odesílatelem a příjemcem.
- **Výkon a rychlost** – Jakmile je symetrický klíč předán, šifrování a dešifrování dat probíhá velmi rychle díky symetrickému šifrování. To je podstatné pro multimediální služby, které vyžadují rychlé šifrování a dešifrování velkých datových objemů, například během streamování HD videí nebo vysílání živých přenosů.
- **Autentizace** – Asymetrické šifrování také umožňuje autentizaci uživatelů a zařízení. Díky použití veřejných a soukromých klíčů lze bezpečně ověřit identitu odesílatele a příjemce dat.
- **Flexibilita** – Tento přístup lze snadno škálovat a přizpůsobit různým požadavkům na zabezpečení. Uživatelé mohou například použít delší klíče pro asymetrické i symetrické šifrování, aby zvýšili úroveň bezpečnosti, aniž by tím výrazně zpomalili výkon systému.

Aplikace v televizních a audiovizuálních službách

V kontextu televizních a audiovizuálních služeb je tato kombinace šifrovacích technik důležitá. Například při streamování videa nebo při distribuci digitálního obsahu prostřednictvím platform, jako jsou Netflix, YouTube nebo jiné OTT (over-the-top) služby, je bezpečná výměna klíčů prostřednictvím asymetrického šifrování a rychlé šifrování dat pomocí symetrických algoritmů nezbytné pro ochranu autorských práv a prevenci pirátství.

Kromě toho je tento kombinovaný přístup používán i v dalších oblastech, jako je digitální televize, kde je třeba chránit obsah před neoprávněným přístupem, a v aplikacích on-demand video služeb, které zajišťují, že obsah mohou sledovat pouze autorizovaní uživatelé.

8.2.6.4 Výkon a bezpečnost šifrovacích algoritmů

Výběr správného šifrovacího algoritmu závisí na požadavcích na výkon a bezpečnost. AES je považován za velmi výkonný a bezpečný algoritmus, který je vhodný pro šifrování velkých objemů dat v reálném čase, jako jsou videa nebo streamy. RSA je naopak výpočetně náročnější, ale nabízí vysokou úroveň bezpečnosti při autentizaci a distribuci klíčů.

Při nasazení šifrovacích technologií do systémů, jako je FeMBMS (Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service), je důležité zohlednit jak rychlost přenosu dat, tak bezpečnostní nároky. Kombinace AES a RSA poskytuje optimální řešení pro přenos televizního a audiovizuálního obsahu s vysokou bezpečností a efektivitou.

8.2.7 Integrace šifrovacích technik do FeMBMS

FeMBMS je technologie, která umožňuje efektivní vysílání multimediálního obsahu, jako jsou televizní programy a videa, prostřednictvím 5G sítí. Tento systém je navržen pro distribuci dat na velký počet zařízení současně a optimalizuje šířku pásma, což z něj činí ideální řešení pro hromadné přenosy, například během sportovních přenosů, krizových situací nebo aktualizací

softwaru. Vzhledem k tomu, že se jedná o veřejné vysílání, je bezpečnost jedním z klíčových aspektů, které je třeba zajistit prostřednictvím robustních šifrovacích technik.

8.2.7.1 Role šifrování ve FeMBMS

Šifrování je podstatnou technologií pro ochranu obsahu před neoprávněným přístupem, pirátstvím a ochranou citlivých dat. Ve FeMBMS je šifrování implementováno za účelem zabezpečení datových toků, a to i během přenosu na veřejné sítě, aby bylo zajištěno, že pouze oprávnění uživatelé budou mít přístup k přenášenému obsahu. Zároveň šifrovací techniky hrají důležitou roli při ochraně autorských práv a citlivých informací, které jsou součástí televizního vysílání a audiovizuálních médií.

V prostředí FeMBMS je důležitým požadavkem zajistit, aby šifrování neovlivnilo kvalitu přenosu, a to znamená, že použité šifrovací techniky musí být dostatečně rychlé a efektivní, aby nebyly narušeny multimediální služby poskytované koncovým uživatelům.

8.2.7.2 Symetrické šifrování ve FeMBMS

Symetrické šifrovací algoritmy, jako je AES, jsou nejčastěji používané pro ochranu dat ve FeMBMS. AES je symetrický blokový šifrovací algoritmus, který zajišťuje vysokou úroveň bezpečnosti a zároveň poskytuje dostatečný výkon pro rychlé šifrování velkých objemů dat, jako jsou videa ve vysokém rozlišení nebo živé televizní přenosy.

AES se používá v různých délkách klíčů (128, 192 nebo 256 bitů), přičemž delší klíče poskytují vyšší bezpečnost. Díky své efektivitě a rychlosti je AES schopen šifrovat multimediální obsah v reálném čase bez znatelného zpoždění, což je podstatné pro aplikace, jako jsou live streaming a on-demand videa.

8.2.7.3 Asymetrické šifrování a distribuce klíčů

Pro distribuci šifrovacích klíčů v rámci FeMBMS se často používá asymetrické šifrování, zejména algoritmy jako RSA. Asymetrické algoritmy využívají dvojici klíčů – veřejný a soukromý klíč – to umožňuje bezpečné sdílení klíčů mezi poskytovatelem obsahu a koncovými uživateli.

V realitě FeMBMS funguje RSA tak, že generovaný symetrický klíč (například pro AES) je zašifrován veřejným klíčem a bezpečně přenesen uživateli, který má odpovídající soukromý klíč pro jeho dešifrování. Tento model zajišťuje, že i když jsou data přenášena přes veřejné sítě, neoprávněné osoby se nemohou dostat k šifrovacím klíčům, a tím pádem ani k obsahu samotnému. Po dešifrování symetrického klíče uživatel používá AES k dešifrování samotného multimediálního obsahu.

8.2.7.4 Kompatibilita a efektivita

Při integraci šifrovacích technik do FeMBMS je nutnost zajistit kompatibilitu s širokou škálou zařízení. FeMBMS cílí na různé typy zařízení – od mobilních telefonů a tabletů až po chytré televizory a další připojená zařízení. Proto musí být šifrovací algoritmy optimalizovány pro různé hardwarové platformy, aby byla zajištěna stejná úroveň zabezpečení napříč všemi zařízeními, aniž by došlo k narušení výkonu.

Jednou z výzev je zajistit, aby šifrovací algoritmy byly dostatečně flexibilní, aby je bylo možné použít i na méně výkonných zařízeních, která nemusí mít dostatečnou výpočetní kapacitu na zpracování složitých šifrovacích operací. Zároveň je důležité, aby moderní zařízení, která podporují pokročilé šifrovací techniky, poskytovala vysokou úroveň bezpečnosti i výkonu při přenosu dat.

8.2.7.5 Ochrana proti neoprávněnému přístupu

Jedním z hlavních cílů integrace šifrovacích technik do FeMBMS je zabránit neoprávněnému přístupu k přenášenému obsahu. V prostředí televizních služeb je pirátství stále velkou hrozbou, zejména u živých přenosů nebo prémiového obsahu. Šifrování zajišťuje, že pouze oprávnění uživatelé, kteří mají odpovídající šifrovací klíče, mohou přenášený obsah dešifrovat a sledovat.

Díky šifrování jsou data chráněna před manipulací nebo odcizením během přenosu. Kromě toho mohou být implementovány pokročilé techniky, jako je zabezpečení integrity dat, které zajišťují, že jakékoli neoprávněné změny v přenášeném obsahu budou detekovány a přenos bude odmítnut.

8.3 Dodržování právních a regulačních požadavků

Vzhledem k narůstajícímu množství přenášených dat a zvyšujícím se regulačním požadavkům je dodržování právních předpisů a regulačních standardů jedním z faktorů při implementaci technologií jako je FeMBMS. Aby byla zajištěna ochrana uživatelských dat, musí poskytovatelé služeb dodržovat celou řadu pravidel a směrnic, které chrání nejen multimediální obsah, ale i osobní údaje uživatelů. V prostředí 5G sítí, kde jsou přenášeny velké objemy dat, je nutné zajistit, že veškeré postupy zálohování a zabezpečení jsou v souladu s platnými zákony a standardy.

Dodržování právních a regulačních požadavků je v oblasti televizních a audiovizuálních služeb zásadní pro zajištění ochrany autorských práv, soukromí uživatelů a bezpečnosti přenášených dat. Evropská legislativa, zejména Audiovizuální mediální služba (AVMSD), stanovuje povinnosti poskytovatelů audiovizuálního obsahu týkající se ochrany před neoprávněným přístupem a zabezpečení přenosu mediálních dat. Implementace šifrovacích technologií, jako je AES nebo RSA, nejen že zajišťuje bezpečnost a soukromí uživatelů, ale také umožňuje poskytovatelům služeb splnit zákonné povinnosti týkající se ochrany dat a digitální správy práv (DRM). Tato legislativní opatření jsou nezbytná pro ochranu citlivého obsahu před piráctvím a neoprávněným šířením, a zároveň přispívají k ochraně zranitelných skupin před nevhodným obsahem.

8.3.1 Ochrana osobních údajů

Jedním z nejdůležitějších aspektů dodržování právních předpisů je ochrana osobních údajů. Technologie FeMBMS může přenášet nejen multimediální obsah, ale i citlivé informace, jako jsou osobní údaje uživatelů, které podléhají speciálním právním ochranám, zejména v rámci GDPR (General Data Protection Regulation) a dalších předpisů.

- **GDPR a ochrana dat:** GDPR je regulační rámec, který stanovuje přísné podmínky pro zpracování a uchování osobních údajů. Při přenosu dat prostřednictvím FeMBMS je nutné zajistit, aby veškeré osobní údaje byly chráněny pomocí silného šifrování a aby k nim měli přístup pouze oprávněné strany. To znamená, že poskytovatelé služeb musí implementovat šifrovací protokoly, které zajistí, že data jsou chráněna během přenosu i ukládání.
- **Šifrování osobních údajů:** K ochraně osobních údajů před neoprávněným přístupem je nezbytné využít moderní šifrovací techniky, jako jsou šifrovací algoritmy AES nebo RSA. Tyto metody zajišťují, že data nelze číst ani modifikovat bez odpovídajícího dešifrovacího klíče. Při vysílání prostřednictvím FeMBMS je důležité, aby byly veškeré osobní údaje přenášeny zašifrované, což minimalizuje riziko jejich úniku nebo zneužití.

8.3.2 Audit a sledování zálohovacích a bezpečnostních procesů

Pro zajištění souladu s regulačními standardy, jako je GDPR, a dalšími právními předpisy, je nutné provádět pravidelné audity zálohovacích a bezpečnostních procesů. Tyto audity ověřují, zda jsou všechny procesy v souladu s právními a technickými požadavky a zda jsou splněny veškeré bezpečnostní standardy, které chrání data před neoprávněným přístupem nebo kybernetickými hrozbami.

- **Pravidelné audity:** Audity jsou stěžejním nástrojem pro zajištění dodržování právních předpisů. Během auditu se kontrolují zálohovací procesy, šifrovací protokoly, autentizační mechanismy a další prvky infrastruktury FeMBMS. Pravidelné audity pomáhají odhalit případné nedostatky v zabezpečení a umožňují včasná opatření k jejich nápravě.
- **Sledování bezpečnostních procesů:** Sledování a dokumentace zálohovacích a bezpečnostních procesů jsou nezbytné k zajištění nepřetržité ochrany dat. Automatizované systémy pro sledování mohou detekovat podezřelou aktivitu, jako jsou neoprávněné pokusy o přístup k datům nebo porušení bezpečnostních pravidel, a okamžitě zasáhnout. Tímto způsobem lze minimalizovat riziko kybernetických útoků a zajistit, že data budou chráněna v reálném čase.
- **Dokumentace procesů:** Pro zajištění souladu s právními předpisy je nutné vést podrobnou dokumentaci všech zálohovacích a bezpečnostních procesů. Tato dokumentace je podstatná nejen pro potřeby auditů, ale také pro rychlé identifikování problémů v případě, že dojde k výpadku nebo porušení bezpečnosti. Dokumentace zahrnuje podrobné záznamy o použitých šifrovacích algoritmech, zálohovacích metodách, replikaci dat a dalších bezpečnostních opatřeních.

8.3.3 Odpovědnost a compliance

Dodržování právních předpisů v oblasti zabezpečení dat je nejen technickým, ale i právním požadavkem. Poskytovatelé služeb, kteří využívají technologie jako FeMBMS, musí být připraveni nést odpovědnost za správu a ochranu dat svých uživatelů. Nedodržení těchto požadavků může vést k právním postihům, ztrátě důvěry uživatelů nebo reputačním škodám.

- **Compliance s GDPR:** Poskytovatelé musí zajistit, že všechny procesy spojené se zpracováním osobních údajů jsou v souladu s GDPR, včetně práva uživatelů na přístup, opravu nebo výmaz jejich dat. To vyžaduje nasazení systémů, které umožňují transparentní správu osobních údajů a zajišťují jejich bezpečnost během celého procesu zpracování.

- Odpovědnost poskytovatelů služeb: Poskytovatelé vysílacích služeb prostřednictvím FeMBMS musí nést plnou odpovědnost za správu a ochranu dat. To zahrnuje implementaci technických opatření pro ochranu dat, pravidelné audity bezpečnostních procesů a dodržování všech relevantních právních předpisů a regulačních standardů.

9 Zálohování údajů a technologií

Proces zálohování dat hraje zásadní roli, jelikož umožňuje zajistit kontinuální dostupnost obsahu i při dočasných výpadcích sítě nebo jiných provozních problémech na straně poskytovatele vysílání. Pokud dojde k narušení multicastového přenosu, jak je zmíněno v kapitole 1, technologie FeMBSM umožňuje automatický přechod z broadcastového na unicastový režim, čímž se koncový uživatel přesune z režimu skupinového přenosu do individuálního přenosu. Hlavní aktéři, zapojení do tohoto procesu, jsou:

- **Poskytovatel vysílání** (například telekomunikační operátor): Poskytovatel vysílání nese odpovědnost za zajištění spolehlivé distribuce obsahu prostřednictvím broadcastového mechanismu. Zároveň je povinen přidělit adekvátní šířku pásma nezbytnou pro efektivní šíření obsahu a zabezpečit jeho nepřetržitou dostupnost.
- **Koncový uživatel**: Koncoví uživatelé, kteří přijímají obsah na svých zařízeních, jako jsou mobilní telefony či chytré televizory, se mohou připojit prostřednictvím multicastu nebo unicastu, v závislosti na kvalitě připojení a dostupnosti vysílání. Jednou z hlavních výhod technologie 5G broadcastu je možnost dynamického přepínání mezi unicastovým a broadcastovým režimem, což uživatelům poskytuje vysokou míru flexibility při sledování obsahu, i pokud se režim vysílání mění.
- **Poskytovatel licenčních práv**: Tento aktér má na starosti správu licenčních práv a zajišťuje, že vysílaný obsah odpovídá všem právním a licenčním požadavkům. Poskytovatel licenčních práv musí úzce spolupracovat s poskytovatelem vysílání, aby bylo dosaženo souladu mezi právními závazky a technickými specifikacemi distribuce.

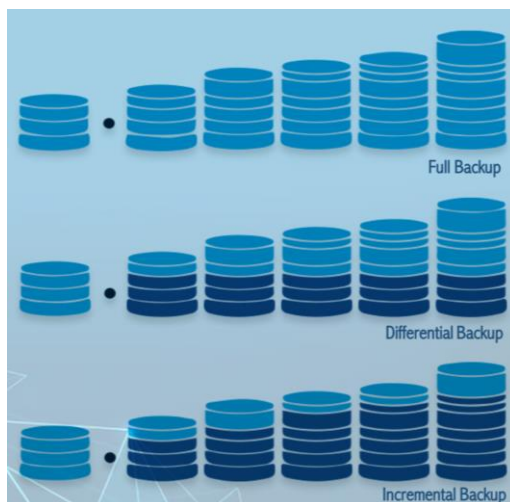
9.1 Mechanismy pro zálohování a obnovu dat

V kontextu 5G sítí, zejména při poskytování broadcastových služeb prostřednictvím technologie, je potřeba navrhnout mechanismy zálohování a obnovy dat s ohledem na objem dat, rychlost přenosu a požadavky na nízkou latenci. Tyto faktory jsou kritické pro zajištění spolehlivého přenosu multimediálních služeb, zejména v situacích s vysokou zátěží, jako jsou živé přenosy. Rychlost, s jakou je obsah distribuován a konzumován, vyžaduje sofistikované a automatizované zálohovací procesy, které minimalizují riziko ztráty dat při jakémkoli výpadku nebo havárii systému. Vysílací sítě založené na FeMBMS musí být schopny rychle obnovit přenos, aby nedošlo k přerušení služeb, což je pro uživatele audiovizuálních médií nepřijatelné, zejména při živém vysílání nebo událostech s vysokou prioritou.

Pro zajištění této spolehlivosti je nezbytné, aby zálohovací mechanismy dokázaly reagovat v reálném čase a byly dostatečně robustní, aby zvládly nečekané výpadky. To zahrnuje nejen rychlé obnovení dat, ale i prevenci jejich ztráty a zajištění integrity přenášených informací. V případě živého vysílání, jako jsou sportovní přenosy nebo krizová hlášení, je schopnost okamžité obnovy dat zásadní, protože ztráta nebo zpoždění signálu může mít značné negativní dopady na uživatelský zážitek i celkovou důvěru v poskytované služby. Proto je nutné mít implementované záložní kopie i mechanismy redundance na úrovni infrastruktury, aby se minimalizovalo riziko selhání.

9.1.1 Typy záloh

Pro zajištění kontinuity broadcastových služeb v případě havárií, výpadků nebo kybernetických útoků je důležité zavést vhodné zálohovací metody, které maximalizují rychlost obnovy dat a minimalizují riziko jejich ztráty. V prostředí FeMBMS lze rozlišit tři základní typy záloh: plné zálohy, inkrementální zálohy a diferenciální zálohy. Každá z těchto metod má své specifické charakteristiky a výhody, které umožňují efektivní obnovu broadcastových služeb.



Obrázek 51: Porovnání metod zálohování

Zdroj: <https://www.mityung.com/blog/the-difference-between-incremental-differential-and-full-backup>

Tento obrázek vizuálně znázorňuje rozdíly mezi třemi hlavními typy záloh: plnou, diferenciální a inkrementální zálohou.

Plná záloha (Full Backup): Každá záloha v této metodě obsahuje kompletní kopii všech dat. To znamená, že každá úroveň zálohy je stejná, bez ohledu na předchozí zálohy. Tento typ zálohy zabírá nejvíce místa a trvá nejdéle na provedení, ale umožňuje rychlou a snadnou obnovu systému.

Diferenciální záloha (Differential Backup): Diferenciální záloha kopíruje všechny změny provedené od poslední plné zálohy. Jak vidíme na obrázku, s každou další úrovní se objem zálohy zvyšuje, protože se přidávají všechny změny od poslední plné zálohy. Tento přístup šetří čas při obnově, protože je potřeba použít pouze poslední plnou zálohu a poslední diferenciální zálohu.

Inkrementální záloha (Incremental Backup): Tato metoda zaznamenává pouze změny, které byly provedeny od poslední zálohy (plné nebo inkrementální). Na obrázku je znázorněno, jak každá nová úroveň obsahuje pouze nově přidané nebo upravené soubory, což šetří úložný prostor a čas zálohování, ale prodlužuje čas potřebný na obnovu systému, protože je nutné načíst všechny zálohy v pořadí od poslední plné zálohy.

9.1.1.1 Plná záloha

Plné zálohy poskytují kompletní kopii veškerých dat, což znamená rychlou obnovu v případě selhání. Tato metoda je dobrá pro zachování obsahu v kritických situacích nebo při delších vysíláních, kde je kontinuita podstatnou součástí. Plné zálohy jsou sice náročné na úložný prostor a šířku pásma, ale jejich hlavní výhodou je možnost rychlého obnovení bez nutnosti kombinace více záložních kopií. V broadcastovém prostředí FeMBMS jsou plné zálohy ideální pro zajištění kontinuity během kritických událostí, kde nelze tolerovat žádné zpoždění při obnově.

9.1.1.2 Inkrementální zálohy

Inkrementální zálohy zaznamenávají pouze změny od poslední zálohy, čímž šetří úložný prostor a čas zálohování. Tato metoda je výhodná v situacích, kde je nutné minimalizovat objem přenášených dat, což snižuje nároky na síťovou infrastrukturu. V prostředí FeMBMS může inkrementální zálohování snížit zatížení infrastruktury, což je užitečné při běžném provozu. Nevýhodou však může být delší doba obnovy, protože pro obnovu systému je nutné načíst všechny předchozí inkrementální zálohy. Tato metoda tedy vyžaduje pečlivé plánování a sledování, aby byla zajištěna dostatečná dostupnost dat pro obnovu.

9.1.1.3 Diferenciální zálohy

Diferenciální zálohy představují kompromis mezi plnými a inkrementálními zálohami. Zahrnují všechny změny od poslední plné zálohy, což zjednodušuje proces obnovy ve srovnání s inkrementálními zálohami, protože není nutné postupně načítat všechny jednotlivé změny. Diferenciální zálohy tak umožňují rychlejší obnovu při udržení relativně nízkých nároků na úložný prostor. Tento přístup je optimální v prostředí, kde je kladen důraz na rychlou obnovu, ale zároveň na efektivní využití dostupných zdrojů.

9.1.2 Automatizace zálohovacích procesů

Automatizace zálohovacích procesů je podstatná pro udržení plynulosti vysílání multimediálního obsahu v rámci FeMBMS. Automatizované systémy záloh provádějí pravidelné zálohy bez nutnosti manuálního zásahu, čímž se snižuje riziko lidských chyb a zachovává se kontinuita vysílání. To je obzvláště důležité při živých přenosech nebo při krizové komunikaci, kde je potřeba minimalizovat zpoždění.

Díky pravidelnosti a flexibilitě těchto systémů lze dynamicky nastavit frekvenci zálohování dle specifických potřeb obsahu. Například důležitá data mohou být zálohována častěji, což je přínosné při přenosech s vysokou prioritou, jako jsou sportovní události nebo krizová hlášení. Automatizace záloh také optimalizuje využití zdrojů, což vede k nižším provozním nákladům a menší zátěži sítě. Tyto procesy mohou být doplněny analytickými nástroji, které pomáhají předvídat potenciální problémy a rychle na ně reagovat.

Dalším přínosem automatizace je schopnost pravidelného testování obnovy dat. Tyto testy potvrzují, že zálohy jsou plně funkční a data lze v případě potřeby obnovit. Automatizované testy přinášejí vyšší jistotu, že infrastruktura je připravena na mimořádné situace, což je zásadní v prostředí, kde záleží na nepřetržitém vysílání. Rychlá reakce na incidenty a minimalizace doby potřebné k obnově zajišťují, že negativní dopady na uživatele jsou co nejmenší.

9.1.3 Replikace dat a geografická redundance

Replikace dat a geografická redundance jsou důležitými prvky pro dosažení vysoké dostupnosti a odolnosti broadcastových služeb FeMBMS. Vysoká dostupnost je nutná pro udržení kvality vysílání, zejména u živých přenosů, kde může i krátký výpadek nebo zpoždění výrazně ovlivnit divácký zážitek.

Replikace dat do různých geografických oblastí zajišťuje, že data zůstanou přístupná i v případě výpadku v jedné lokalitě. Tento postup pomáhá zachovat kontinuitu vysílání v situacích, kdy vysílací infrastruktura čelí neočekávaným problémům, jako jsou přírodní katastrofy nebo technické poruchy. FeMBMS umožňuje replikaci nejen samotných dat, ale i vysílacích služeb, což umožňuje okamžité převzetí vysílání jiným serverem z jiné geografické oblasti, čímž se zajistí nepřerušovaný provoz pro uživatele.

Geografická redundance také zajišťuje rovnoměrnou distribuci zátěže mezi jednotlivými lokalitami. Vysílání lze optimalizovat tak, aby nedocházelo k přetížení infrastruktury, což je obzvláště důležité během vysoké poptávky po vysílání, například při sportovních přenosech nebo krizových situacích. Rozložení zátěže mezi oddělené lokality nejen zlepšuje výkonnost, ale také snižuje riziko selhání jednotlivých částí infrastruktury.

Replikace a geografická redundance jsou proto podstatnými prvky efektivního řešení pro broadcastové služby v rámci 5G sítí, které zajišťují dostupnost multimediálního obsahu i při místních výpadcích nebo přetížení. Tento přístup nejen zvyšuje spolehlivost a bezpečnost, ale také zlepšuje uživatelský zážitek, což je důležité pro úspěch FeMBMS služeb. Díky těmto mechanismům lze pružně přizpůsobit kapacitu vysílací infrastruktury aktuálním potřebám, což napomáhá zachovat konkurenceschopnost na trhu.

Zálohovací a replikační mechanismy hrají v broadcastovém prostředí FeMBMS významnou roli při zajišťování spolehlivosti a kvality služeb. Správná kombinace zálohovacích strategií, automatizace a replikace dat umožňuje poskytovatelům minimalizovat riziko výpadků a zajistit maximální kontinuitu vysílání. FeMBMS tak nabízí inovativní a robustní řešení pro moderní multimediální služby, které vyhovují vysokým nárokům na kvalitu, rychlost a dostupnost obsahu v reálném čase.

9.2 Autorské a licenční práva na nahrávání

Proces udělování licencí na nahrávání vyžaduje uzavření příslušných smluvních dohod, které umožňují tvůrcům rozhodovat o způsobech, jakým bude jejich obsah zaznamenáván, vyslán a distribuován. Úspěšný licenční proces závisí na koordinaci mezi poskytovateli obsahu, vysílateli a koncovými uživateli, což zajišťuje ochranu práv tvůrců a dodržení veškerých právních závazků. To zahrnuje zajištění přísné právní ochrany a garanci spravedlivé distribuce příjmů spojených s nahráváním a šířením obsahu.

Právní rámec licenčních práv na nahrávání a vysílání se zakládá na principech, které autorům a vysílatelům poskytují právo specifikovat podmínky, za nichž může být obsah uložen a následně reprodukován. Pro oblast digitálního vysílání je nutné přihlížet nejen ke klasickému autorskému právu, ale i k právům souvisejícím s vysíláním, včetně retransmise a přeshraniční distribuce obsahu. Zásadní je, aby každá retransmise nebo zaznamenávání probíhala pouze se souhlasem oprávněných držitelů práv, a to v souladu s předepsanými licenčními podmínkami.

Veřejné vysílání rozhlasových a televizních programů v komerčních provozovnách představuje specifický případ, který vyžaduje specifická licenční práva nejen na samotné vysílání, ale také na nahrávání a případnou následnou reprodukci obsahu. Tato práva jsou často nezbytná zejména v situacích, kdy se obsah vysílá ve veřejných nebo poloveřejných prostředích. Transparentní stanovení licenčních podmínek a dodržování těchto závazků je nezbytné pro zajištění souladu s právními předpisy a pro ochranu práv všech zúčastněných stran.

Proces udělování licence pro provozování digitálního vysílání zahrnuje nejen souhlas s vysíláním obsahu, ale také požadavky na technické zabezpečení vysílání, které umožňují i nahrávání. Licence pak funguje jako právní důkaz souhlasu vlastníků obsahu s jeho šířením a zaznamenáváním, což je důležitá podmínka pro legální provoz digitálních vysílacích služeb. Technické

požadavky zahrnují zajištění odpovídajících standardů kvality vysílání a bezpečnosti, což dále posiluje důvěru mezi všemi účastníky tohoto procesu.

10 Finanční analýza a náklady na implementaci FeMBMS

10.1 Rámcové náklady na nasazení technologie FeMBMS

Nasazení technologie FeMBMS vyžaduje investice do několika oblastí: hardware, infrastruktura, licencování spektra a splnění specifických požadavků regulačních orgánů. Rámcové náklady lze rozdělit do následujících kategorií:

10.1.1 Požadavky na hardware (HW)

Nasazení FeMBMS technologie vyžaduje jak aktualizaci stávající infrastruktury, tak investice do nového hardwaru. Na základě podkladů a studií lze identifikovat oblasti, ve kterých bude nutné nasadit nové technologie nebo optimalizovat stávající prvky infrastruktury.

10.1.1.1 Aktualizace existující infrastruktury

Jedním z hlavních přístupů ke snížení nákladů na nasazení FeMBMS je využití stávající vysílací infrastruktury, zejména systémů T-DAB (Digital Audio Broadcasting) a DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial). Simulace ukazují, že existující infrastruktura pro T-DAB může být upravena na podporu FeMBMS. To zahrnuje:

- **Zvýšení vysílacího výkonu:** Pro přechod na 5G broadcast je nezbytné zvýšit vysílací výkon na stávajících vysílačích, aby bylo dosaženo vyššího pokrytí a kapacity sítě. Simulace ukazují, že zvýšení výkonu až o 6 dB je nutné pro kompenzaci zhoršených podmínek šíření signálu v UHF pásmu oproti VHF pásmu, kde běží T-DAB.
- **Optimalizace anténních systémů:** FeMBMS bude vyžadovat optimalizaci anténních systémů, včetně instalace nových antén nebo úpravy stávajících, aby byl signál rovnoměrně šířen do cílových oblastí. Dokument zmiňuje, že vysílací stanice s anténními výškami od 30 do 290 metrů mohou být použity pro FeMBMS, což minimalizuje potřebu výstavby nových antén.

10.1.1.2 Požadavky na nový hardware

I když může být část stávající infrastruktury využita, FeMBMS přesto vyžaduje nasazení nové technologie pro zvýšení efektivity a pokrytí sítě.

- **Nové vysílače:** Pro pokrytí velkých oblastí a zajištění dostatečného výkonu pro FeMBMS bude potřeba instalovat nové vysílače. Tyto vysílače musí být vybaveny pokročilými energeticky efektivními technologiemi, které umožní provoz s vysokým dosahem při nízké spotřebě energie. Výstavba nových vysílačů se zaměřuje zejména na venkovské a odlehle oblasti, kde stávající infrastruktura není dostatečná.
- **Energetická účinnost a delší dosah:** Nové vysílače musí podporovat vysokou energetickou účinnost a delší dosah, což zahrnuje implementaci technologií, jako jsou **QPSK** a **256QAM** modulace, které umožňují efektivnější přenos dat i při vyšším zatížení sítě. Tato vylepšení jsou klíčová pro zajištění spolehlivého přenosu ve vysokém rozlišení a s minimálním zpožděním.

10.1.1.3 Vysílací stanice a servery

Implementace technologie FeMBMS zahrnuje významné náklady na modernizaci stávajících vysílacích stanic, které musí podporovat 5G broadcast. Pravděpodobně bude ve většině oblastí využita existující infrastruktura makrobuněk (macrocells). Tato strategie umožní využití současných makrobuněk, které jsou již vybaveny pro vysokofrekvenční vysílání, a jejich aktualizaci pro 5G broadcast. Tímto způsobem se výrazně sníží náklady na výstavbu nových vysílačů, protože:

- **Makrobuňky budou použity jako základní síťové prvky:** Tyto buňky jsou již integrovány do většiny sítí 4G a 5G a jejich upgrade na podporu FeMBMS umožní zvýšit jejich přenosovou kapacitu.
- **Servery a datová centra:** FeMBMS vyžaduje podporu z hlediska úložiště a serverové infrastruktury, která bude zajišťovat spolehlivý přenos obsahu do širokých geografických oblastí. Náklady na servery zahrnují jak jejich pořízení, tak provoz a údržbu. Tento aspekt bude hrát důležitou roli zejména v případech, kdy je vyžadováno zálohování dat a dynamické přepínání mezi vysílaným a unicast obsahem.

Využití stávající infrastruktury výrazně sníží náklady na nasazení FeMBMS, avšak vyžaduje určité investice do nových vysílačů a technologií, které zajistí dostatečný výkon a pokrytí. Klíčovým aspektem je modernizace stávajících makrobuněk a přidání nové anténní technologie a energeticky úsporných vysílačů, které budou schopny zajišťovat vysokokapacitní přenos v rámci 5G broadcastu.

10.1.2 Licencování spektra

Licencování spektra představuje jednu z nejdůležitějších oblastí nákladů při nasazení technologie FeMBMS. Vzhledem k vysoké poptávce po využívání UHF spektra, které je tradičně používáno pro televizní vysílání, se očekává výrazný růst cen licencí na spektrum. Přístup ke spektru v pásmech, jako je 600 MHz, je nutný a potřebný pro efektivní nasazení FeMBMS, což s sebou nese značné finanční náklady. Správa spektra je zajišťována jak na mezinárodní úrovni prostřednictvím Mezinárodní telekomunikační unie (ITU), tak na národní úrovni Českou správou spektra (ČTÚ).

10.1.2.1 Poptávka po frekvenčním spektru

V příštích letech se očekává rostoucí poptávka po spektru pro 5G broadcast. Zejména pásmo UHF je ideální pro šíření signálů na velké vzdálenosti a překonávání překážek, což je vhodné pro FeMBMS. Tradičně je UHF využíváno pro televizní vysílání (DVB-T a DVB-T2), což znamená, že bude nutné sladit požadavky na přístup k tomuto spektru s dalšími poskytovateli vysílacích služeb. Správa spektra musí probíhat v souladu s pravidly ITU a rozhodnutími ČTÚ, která ovlivňují možnosti rozvoje a přístupu ke spektru.

10.1.2.2 Frekvenční pásma a poplatky za spektrum

Dalším aspektem nasazení FeMBMS je získání licencí na využití konkrétních frekvenčních pásem, která jsou vhodná pro přenos audiovizuálního obsahu ve vysoké kvalitě s minimálním zpožděním. Pro efektivní provoz FeMBMS je často využíváno spektrum v pásmu 600 MHz, které poskytuje dostatečnou šířku pásma pro přenos velkého množství dat. Frekvence v tomto pásmu umožňují lepší penetraci do budov a větší dosah než vyšší frekvence.

- **Poplatky za spektrum:** Poplatky za využití spektra se mohou značně lišit v závislosti na regionu, specifickém pásmu a typu vysílání. Vzhledem k tomu, že spektrum je omezený zdroj, regulační orgány, jako jsou národní telekomunikační úřady (např. ČTÚ v České republice), často přidělují spektrum prostřednictvím aukcí. Při vysoké poptávce po 5G vysílání lze očekávat, že cena spektra poroste. Ve větších zemích s hustší populací mohou být náklady na licenci na spektrum výrazně vyšší než v menších a méně zalidněných oblastech.
- **Regionální rozdíly:** Náklady na licencování spektra mohou být také ovlivněny rozdílnými regulačními požadavky v jednotlivých zemích. V některých případech je možné, že lokální telekomunikační úřady budou požadovat další poplatky za licence na spektrum, které by měly pokrývat náklady na správu a monitorování využití spektra.

10.1.2.3 Vliv regulačních požadavků

Další náklady mohou vzniknout v důsledku nutnosti dodržet regulační pravidla pro přidělování spektra. Regulační úřady mohou nastavit specifické požadavky na minimální využití pásma nebo na implementaci technologií, které zajistí minimální rušení s jinými poskytovateli vysílacích služeb. To může zahrnovat povinnost provádět technické úpravy vysílacích zařízení nebo aplikovat speciální technologie pro redukci interferencí, což zvyšuje náklady na licenci a provoz spektra.

10.1.2.4 Dopad na finanční plánování

Vysoké náklady na licencování spektra mohou mít významný dopad na finanční udržitelnost projektu FeMBMS. Je důležité, aby poskytovatelé vysílání zahrnuli do svých finančních plánů náklady na spektrum nejen v počátečních fázích, ale i v dlouhodobém horizontu, protože licenční poplatky jsou obvykle placeny pravidelně (ročně nebo víceletě). Kromě toho se mohou náklady zvýšit v závislosti na změnách v regulačních politikách nebo při přechodu na novější verze technologií, jak bude vyžadováno pro budoucí 5G vysílací služby.

10.1.2.5 Mezinárodní a národní správa spektra

Správa spektra je faktorem při zajištění efektivního fungování a dostupnosti 5G broadcast technologií. ITU, jako globální organizace, stanovuje mezinárodní pravidla a standardy pro využití spektra. Tato pravidla jsou dále implementována národními regulačními orgány, jako je Český telekomunikační úřad, který zajišťuje, aby byla pravidla dodržována a přizpůsobena místním podmínkám. Spolupráce mezi ITU a ČTÚ tak hraje zásadní roli při vyvážení potřeb vysílacích služeb, optimalizaci využití spektra a zajištění kompatibility s evropskými a mezinárodními standardy. Tato koordinace umožňuje efektivní využití spektra a minimalizaci interference.

10.2 Provozní náklady a údržba

Provozní náklady představují pravidelné finanční výdaje nezbytné pro udržení a provoz vysílací infrastruktury. Tyto náklady zahrnují několik položek:

10.2.1 Spotřeba energie

Provoz vysílacích zařízení vyžaduje značné množství elektrické energie, zejména u vysílačů s vysokým výkonem, které pokrývají rozsáhlé geografické oblasti. Energetická náročnost zahrnuje:

- **Vysílací zařízení:** Transmítory a anténní systémy spotřebovávají energii potřebnou k vysílání signálu na požadované frekvenci a výkonu. Například makrobuňky v mobilních sítích mají typický vysílací výkon kolem **100 W** s účinností přibližně **50 %**, což znamená skutečnou spotřebu energie **200 W** na vysílač.
- **Chladicí systémy:** Elektronická zařízení generují teplo, které musí být efektivně odváděno, aby nedošlo k přehřátí a poškození zařízení. Chladicí systémy přidávají dodatečnou spotřebu energie.
- **Datová centra:** Servery a síťová infrastruktura podporující přenos a distribuci dat pro FeMBMS vyžadují stálý přísun energie pro provoz i chlazení.

10.2.1.1 Příklad výpočtu nákladů na energii:

Při ceně elektrické energie **0,15 €** za kWh a nepřetržitém provozu (8 760 hodin ročně) jsou roční náklady na energii pro jeden vysílač makrobuňky:

$$\text{Roční náklady na energii} = 0,2 \text{ kW} \times 8760 \text{ h} \times 0,15 \text{ €/kWh} = 262,8 \text{ €}$$

Pokud síť obsahuje například **20 360** makrobuňkových vysílačů, celkové roční náklady na energii jsou:

$$262,8 \text{ €} \times 20\,360 = 5\,350\,608 \text{ €}$$

10.2.2 Pronájem spektra

Využívání frekvenčního spektra pro vysílání FeMBMS podléhá licenčním poplatkům stanoveným regulačními orgány. Náklady zahrnují:

- **Licenční poplatky:** Pravidelné platby za využívání přidělených frekvenčních pásem. Výše poplatků se liší v závislosti na geografické oblasti, typu spektra a regulačních politikách.
- **Administrativní náklady:** Náklady spojené s udržováním souladu s licenčními podmínkami, jako je monitorování dodržování pravidel a komunikace s regulačními orgány.

10.2.3 Náklady na personál

Údržba a provoz vysílací infrastruktury vyžaduje kvalifikovaný personál. Náklady zahrnují:

- **Platy techniků a inženýrů:** Zaměstnanci zodpovědní za údržbu vysílačů, řešení technických problémů a monitorování sítě.
- **Školení a rozvoj:** Investice do kontinuálního vzdělávání personálu pro udržení aktuálních znalostí o nejnovějších technologiích a standardech.

- **Monitorovací systémy:** Náklady na implementaci a provoz systémů pro sledování výkonu sítě, detekci poruch a řízení provozu.

10.2.4 Modelování provozních nákladů

Provozní náklady lze vyjádřit pomocí následujícího vzorce:

Rovnice 1: Vzorec výpočtu provozních nákladů

$$Opex = \sum_{i=1}^{\text{tříd vysílačů}} \sum_{k=1}^{\text{lokality}} (\text{Spotřeba_energie}_{i,k} + \text{Odvod_tepla}_{i,k}) + \sum_{j=1}^{\text{lokality}} (\text{Nájem}_j + \text{O\&U}_j)$$

Kde:

- $\text{Spotřeba_energie}_{i,k}$ - je spotřeba energie k-tého vysílače třídy i.
- $\text{Odvod_tepla}_{i,k}$ - je energie potřebná pro odvod tepla k-tého vysílače třídy i.
- Nájem_j - je nájemné za lokalitu j.
- O\&U_j - jsou náklady na provoz a údržbu (O&U) lokality j.

10.2.4.1 Příklad výpočtu provozních nákladů

Vycházejme z údajů uvedených ve studii EBU¹, která analyzuje provozní náklady mobilních sítí:

Jednotkové náklady na Opex pro mobilní síť:

Tabulka 4: Náklady na Opex pro mobilní síť

Kategorie lokality	Výkon vysílače	Účinnost	O&U náklady	Nájemné
Makrobuňka	100 W	50 %	3 300 €	5 000 €
Mikrobuňka	50 W	50 %	1 000 €	2 500 €
Pikobuňka	10 W	50 %	900 €	0 €

Celkové provozní náklady pro makrobuňky:

- Počet makrobuňkových vysílačů: 20 360
- Roční náklady na energii pro jeden vysílač: 262,8 €

Celkové náklady na energii:

$$262,8 \text{ €} \times 20\,360 = 5\,350\,608 \text{ €}$$

Celkové náklady na nájem a O&U:

$$(5\,000 \text{ €} + 3\,300 \text{ €}) \times 20\,360 = 168\,988\,000 \text{ €}$$

Celkové provozní náklady pro makrobuňky:

$$5\,350\,608 \text{ €} + 168\,988\,000 \text{ €} = 174\,338\,608 \text{ €}$$

Celkové provozní náklady sítě:

Pokud přidáme náklady pro mikrobuňky a případné pikobuňky, celkové provozní náklady sítě mohou dosáhnout:

¹

https://tech.ebu.ch/docs/techreview/EBU_Tech_Review_2019_Lombardo_Cost_analysis_of_orchestrated_5G_networks_for_broadcasting.pdf

Odhadované celkové Opex pro 5G síť v roce 2030: 214,3 milionů € ročně pro jednoho operátora pokrývajícího třetinu populace.

10.2.4.2 Optimalizace provozních nákladů

Pro snížení provozních nákladů FeMBMS infrastruktury lze zvážit následující opatření:

- **Energeticky úsporné technologie:** Investice do vysílačů s vyšší energetickou účinností a efektivních chladicích systémů mohou snížit spotřebu energie.
- **Sdílení infrastruktury:** Sdílení vysílacích věží a dalších infrastrukturních prvků mezi operátory může snížit náklady na nájem a údržbu.
- **Automatizace a vzdálený monitoring:** Implementace pokročilých monitorovacích systémů umožňuje efektivnější údržbu a rychlejší řešení problémů, což snižuje náklady na personál.
- **Použití MIMO antén:** Technologie MIMO (Multiple Input, Multiple Output) umožňuje dynamické řízení vysílacího výkonu podle počtu koncových uživatelů v pokrytí buňky. Tím dochází k efektivnějšímu využití dostupné šířky pásma a ke snížení energetických nákladů, protože vysílání se adaptuje na aktuální podmínky. Tento přístup je ideální pro snížení provozních nákladů a maximalizaci efektivity vysílání.

10.2.4.3 Výnosy a ekonomické přínosy FeMBMS

Technologie FeMBMS nejenže přináší pokročilé možnosti přenosu multimediálního obsahu, ale zároveň nabízí řadu příležitostí pro generování nových výnosů. Implementace FeMBMS umožňuje poskytovatelům vysílání rozšířit své služby a přinést nové obchodní modely, které mohou významně přispět k jejich finanční stabilitě.

Možnosti generování výnosů

- **Cílená reklama:** Technologie FeMBMS umožňuje poskytovatelům využívat interaktivní prvky a cílenou reklamu, která přináší možnost dosáhnout lepší efektivity reklamních kampaní. Cílená reklama je zaměřena na konkrétní skupiny diváků, což zvyšuje její účinnost a přináší vyšší výnosy ve srovnání s tradičními reklamními modely. Například s využitím DAB (Digital Audio Broadcasting) lze efektivněji oslovit posluchače a poskytnout reklamní obsah přizpůsobený jejich preferencím.
- **Rozšíření programové nabídky:** Díky efektivnímu využití spektra a možnostem, které nabízí technologie StatMux (Statistický Multiplexing), mohou poskytovatelé vysílání rozšířit svou programovou nabídku.
- **Aukce kmitočtů:** Například v rámci České republiky bylo za aukce kmitočtů pro digitální rozhlas (DAB+) získáno přibližně 80 milionů Kč. Tento příjem byl rozdělen mezi poskytovatele kmitočtů, přičemž Czech Digital Group (CDG), dceřiná společnost Českých Radiokomunikací, získala kmitočty za 26,35 milionu Kč.
- **Prémiové a doplňkové služby:** Nabídka exkluzivního obsahu, jako jsou sportovní přenosy, kulturní akce nebo specializované programy, umožňuje poskytovatelům vysílání generovat dodatečné výnosy z předplatného nebo placeného obsahu.

FeMBMS má potenciál transformovat způsoby, jakým jsou mediální služby poskytovány a monetizovány. Kombinace lineárního vysílání s moderními interaktivními prvky přináší nejen vyšší kvalitu přenosu, ale také nové možnosti výtěžku. Spolupráce mezi poskytovateli vysílání, operátory a dalšími hráči v odvětví tak může otevřít cestu pro inovativní obchodní modely a zajistit finanční udržitelnost vysílací infrastruktury do budoucna.

10.3 Finanční udržitelnost investice

Investice do technologie FeMBMS představuje finanční závazek, který vyžaduje plánování a analýzu pro zajištění dlouhodobé udržitelnosti. Finanční udržitelnost této investice závisí na několika faktorech, včetně optimalizace provozních nákladů, efektivního využití spektra, technologických inovací a potenciálu pro generování příjmů z nových služeb.

10.3.1 Návratnost investice (ROI)

Jedním z hlavních ukazatelů finanční udržitelnosti je **návratnost investice (Return on Investment, ROI)**. FeMBMS umožňuje snížit provozní náklady díky efektivnějšímu využití infrastruktury a spektra, přičemž nabízí nové obchodní příležitosti. Například poskytování lineárního vysílání na mobilních zařízeních bez potřeby využití mobilních dat může přilákat širší publikum a zvýšit hodnotu reklamního prostoru.

Růst cílených služeb, jako jsou interaktivní televizní aplikace a personalizovaná reklama, může přispět k návratnosti investice. Dále může FeMBMS sloužit jako platforma pro nové služby, jako je mobilní Content Delivery Network (CDN), což může otevřít další zdroje příjmů.

10.3.2 Efektivní využití spektra

Efektivní využití spektra je klíčové pro finanční udržitelnost investice do FeMBMS:

- **Optimalizace frekvenčních pásem:** FeMBMS může pracovat na nižších frekvenčních pásmech, jako je **pásmo 600 MHz a 700 MHz**, které poskytují lepší pokrytí a vyžadují méně vysílačů.
- **Technologie StatMux:** Jak bylo zmíněno, StatMux umožňuje efektivněji využít dostupné spektrum, což vede k úspoře nákladů na spektrum a zvýšení kapacity pro přenos více služeb.
- **Standardizace a harmonizace:** Vydání nového **5G Broadcast Receiver Profile** evropskou pracovní skupinou usnadňuje standardizaci technických požadavků na zařízení. To podporuje kompatibilitu napříč Evropou a zvyšuje atraktivitu investice pro výrobce zařízení a poskytovatele služeb.

10.3.3 Plánování životního cyklu infrastruktury

Dlouhodobá finanční udržitelnost vyžaduje pečlivé **plánování životního cyklu** infrastruktury:

- **Pravidelná modernizace:** Aktualizace hardwaru a softwaru zajišťují, že síť zůstává kompatibilní s nejnovějšími standardy a technickými požadavky.
- **Škálovatelnost:** Infrastruktura by měla být navržena tak, aby umožňovala snadnou expanzi a integraci nových technologií, jako je **5G Broadcast**.
- **Údržba a provoz:** Efektivní strategie údržby mohou snížit provozní náklady a prodloužit životnost zařízení.

10.3.4 Potenciální růst příjmů

FeMBMS otevírá nové možnosti pro **generování příjmů**:

- **Lineární vysílání na mobilních zařízeních:** Umožňuje uživatelům sledovat živé televizní vysílání na mobilních telefonech bez využití datového tarifu, což může zvýšit počet diváků a atraktivitu pro inzerenty.
- **Cílená reklama:** Díky interaktivním funkcím mohou poskytovatelé nabídnout personalizovanou reklamu, což zvyšuje efektivitu reklamních kampaní a potenciální příjmy.
- **Prémiové služby:** Nabídka placeného obsahu nebo exkluzivních služeb, jako jsou sportovní přenosy nebo kulturní akce, může generovat dodatečné příjmy.
- **Partnerství s operátory:** Spolupráce s mobilními operátory může otevřít nové obchodní modely, jako je využití FeMBMS pro offloading datového provozu, což snižuje zatížení jejich sítí a vytváří další zdroje příjmů.

10.3.5 Strategie pro zajištění finanční udržitelnosti

Pro minimalizaci rizik a zajištění finanční udržitelnosti investice je důležité:

- **Spolupráce v odvětví:** Partnerství mezi vysílacími společnostmi, operátory, výrobci zařízení a regulačními orgány může usnadnit standardizaci a sdílení nákladů.
- **Inovace v obchodních modelech:** Vývoj nových služeb a monetizačních strategií, které využívají unikátní možnosti FeMBMS.
- **Efektivní využití technologií:** Implementace pokročilých technologií, jako je StatMux, pro maximalizaci efektivity a minimalizaci nákladů.

11 Využití kmitočtového pásma pro broadcastové vysílání

11.1 Možnosti využití pásma 600 MHz pro TV vysílání

11.1.1 Charakteristika pásma 600 MHz

Pásmo 600 MHz spadá do nižší části UHF (Ultra High Frequency) spektra, což je výhodné z několika technických hledisek. Nižší frekvence mají obecně lepší schopnost šířit se na delší vzdálenosti a lépe pronikají fyzickými překážkami, jako jsou budovy, stromy nebo hory. Tato vlastnost umožňuje pokrytí rozlehlých území s menším počtem vysílačů, což vede k nižším nákladům na výstavbu a provoz infrastruktury. Pásmo 600 MHz se stává důležitým nástrojem pro efektivní pokrytí venkovských a odlehlých oblastí, kde je potřeba zabezpečit stabilní televizní signál s minimálními náklady na infrastrukturu.

V městských oblastech se rovněž projevuje výhoda lepší prostupnosti signálu skrze překážky, což zajišťuje vyšší kvalitu příjmu i v hustě zastavěných městech. Mnoho vyšších frekvencí používaných pro televizní vysílání nebo mobilní sítě má horší schopnost šířit se v městském prostředí, zejména ve vyšších patrech budov, kde se signál hůře odráží a proniká do interiéru. Naopak pásmo 600 MHz díky svým fyzikálním vlastnostem nabízí stabilnější šíření signálu a vyšší kvalitu obrazu bez nutnosti dalšího investování do doplňkových technologií nebo opakovacích.

Další významnou výhodou tohoto pásma je možnost využití v prostředí s menším výkonem vysílačů. To znamená, že televizní provozovatelé mohou snížit spotřebu energie a zároveň dosáhnout vysoké úrovně pokrytí, což má pozitivní dopad na provozní náklady a ekologickou udržitelnost.

11.1.2 Přechod na digitální vysílání

V průběhu digitalizace televizního vysílání došlo k uvolnění některých frekvenčních pásem, zejména v pásmech 700 MHz a 800 MHz, která byla přerozdělena pro mobilní služby (např. 4G/LTE a 5G). Tento proces, známý jako "digitální dividenda", umožnil efektivnější využití spektra pro moderní mobilní komunikace. Přestože tato frekvence byla uvolněna, pásmo 600 MHz zůstalo nadále vyhrazeno pro terestrické televizní vysílání, což představuje strategickou výhodu pro provozovatele televizních služeb.

Pásmo 600 MHz je v současnosti jedním z frekvenčních rozsahů pro pokračování vysílání ve vysoké kvalitě prostřednictvím DVB-T2, což je standard používaný pro digitální pozemní televizi. Vzhledem k tomu, že tento standard umožňuje vyšší kompresi a lepší kvalitu obrazu než starší DVB-T, mohou televizní provozovatelé poskytovat divákům více programů v rámci stejného spektra, aniž by došlo ke zhoršení kvality. To znamená, že provozovatelé mohou zachovat nebo dokonce zvýšit kvalitu vysílání a zároveň připravit půdu pro integraci nových technologií, jako je FeMBMS.

Z praktického hlediska je vhodné zachovat pásmo 600 MHz pro současné DVB-T2 vysílání, které je určeno pro stacionární příjem. Pokud se ukáže, že 5G Broadcast má ekonomický potenciál pro distribuci multimediálního obsahu na mobilní zařízení, bude možné uvažovat o využití tohoto pásma i pro tento účel. Nicméně, toto pásmo by nemělo být určeno pro 5G mobilní sítě s unicastovým provozem, aby zůstaly zachovány výhody vysokovýkonných vysílačů typu HPHT (High Power High Tower) pro efektivní pokrytí širokých oblastí.

11.1.3 Interoperabilita s DVB-T2

Využití pásma 600 MHz je plně kompatibilní se stávajícími technologiemi pro pozemní televizní vysílání, jako je DVB-T2. To znamená, že stávající vysílací infrastruktura, včetně vysílačů, přijímacích antén a dalších součástí sítě, může být nadále

používána, což výrazně snižuje náklady na nutné technologické upgrady. Místo výstavby zcela nové infrastruktury mohou provozovatelé využít již existující sítě a postupně přecházet na modernější systémy, jako je FeMBMS.

Interoperabilita mezi DVB-T2 a FeMBMS přináší výhodu kombinace tradičního lineárního televizního vysílání s novými multimediálními službami. FeMBMS umožňuje multicastové vysílání nejen na klasické televizní přijímače, ale také na mobilní zařízení, jako jsou smartphony a tablety. To otevírá nové možnosti pro televizní společnosti, které mohou nabídnout hybridní vysílací modely, kde diváci sledují televizi jak na svých televizních přijímačích, tak na přenosných zařízeních.

Taková interoperabilita by umožnila postupnou modernizaci infrastruktury, kde by tradiční vysílání koexistovalo s pokročilejšími technologiemi, jako je mobilní streaming, bez nutnosti nákladného a rychlého přechodu na novou technologii. Tento přístup je nákladově efektivní a umožňuje přizpůsobit se postupným změnám v požadavcích na šířku pásma a způsobu spotřeby médií.

11.2 Optimalizace využití pásma v rámci FeMBMS

11.2.1 FeMBMS a efektivní využití spektra

FeMBMS (Further evolved Multimedia Broadcast Multicast Service) představuje zásadní inovaci v oblasti efektivního využití spektra, především díky své schopnosti simultánně šířit různé typy obsahu, jako je lineární televizní vysílání, multimediální služby a interaktivní aplikace. Tato technologie umožňuje využití multicastového režimu, kdy je jeden signál šířen na více zařízení současně. Díky této vlastnosti nedochází ke zvýšení nároků na šířku pásma ani při narůstajícím počtu uživatelů, což zlepšuje spektrální efektivitu.

FeMBMS tak umožňuje poskytovatelům vysílat několik kanálů nebo služeb v rámci jediného frekvenčního pásma, čímž se nejen zvyšuje spektrální efektivita, ale také se snižují náklady na provoz. Tato technologie je ideální pro situace, kdy je potřeba pokrýt širokou oblast s menším počtem vysílačů, a to zejména v případě služeb jako je mobilní video streaming nebo hybridní vysílání, kde diváci mohou sledovat obsah na různých zařízeních (televize, mobilní telefony, tablety) současně.

V praxi je FeMBMS schopna podporovat vysokou kvalitu přenosu bez kompromisů v oblasti šířky pásma, což je obzvláště důležité v regionech s omezenými frekvenčními zdroji. Tato technologie tedy výrazně zvyšuje kapacitu sítě a zároveň umožňuje poskytování kvalitnějších služeb.

11.2.2 Duplexní mezera v pásmu 700 MHz

Mezi zásadní prvky pro optimalizaci spektra v rámci FeMBMS je využití **duplexní mezery v pásmu 700 MHz**. Duplexní mezera je volný frekvenční prostor, který se nachází mezi frekvencemi určenými pro uplink a downlink v mobilních sítích. Tento prostor je často nevyužitý, což poskytuje vynikající příležitost pro nasazení technologií jako FeMBMS.

České Radiokomunikace provedly testy na frekvenci 746 MHz (kanál 55), která se nachází právě v této duplexní mezeře, a tyto testy prokázaly, že pásmo 700 MHz může být efektivně využito pro šíření televizního vysílání pomocí technologie 5G Broadcast, která je úzce propojena s FeMBMS. Testy ukázaly, že tato část spektra může být použita bez výrazných interferencí s mobilními sítěmi, což otevírá cestu k širšímu využití těchto frekvencí pro šíření multimediálního obsahu. Tento krok by mohl výrazně zlepšit dostupnost a kvalitu služeb v rámci hybridních vysílacích systémů, které kombinují televizní vysílání a mobilní sítě.

Technické parametry testů, které zahrnovaly vysílání na dvou pražských vysílačích (Žižkov a Strahov), prokázaly, že vysílání v duplexní mezeře může nabídnout vysoký výkon a stabilní signál i v hustě obydlených oblastech. Signál byl vysílán s vyzářeným výkonem ERP 32 kW na Žižkově a 2 kW na Strahově, což zajišťuje dostatečný dosah a kvalitu vysílání pro mobilní zařízení bez nutnosti využívat mobilní data.

11.2.3 Dynamická alokace šířky pásma

Jedním z nejdůležitějších aspektů technologie FeMBMS je její schopnost dynamické správy spektra. To znamená, že šířka pásma může být flexibilně přidělena podle aktuálních potřeb vysílání a počtu aktivních uživatelů. Například, pokud je během určitého časového úseku vyšší poptávka po určitých službách (například sledování sportovních přenosů), FeMBMS dokáže přizpůsobit kapacitu sítě tak, aby poskytla dostatečnou šířku pásma pro tyto služby, aniž by došlo k přetížení sítě.

Dynamická alokace pásma je zásadní pro efektivní správu dostupných frekvencí, zejména v hustě osídlených oblastech, kde dochází k velké fluktuaci poptávky po televizním a multimediálním obsahu. Tato flexibilita umožňuje poskytovatelům služeb

optimalizovat jejich přenosovou kapacitu podle aktuálních podmínek, což vede k lepšímu využití spektra, vyšší kvalitě služeb a snížení celkových nákladů.

Tato schopnost dynamického řízení zdrojů také přispívá k prevenci přetížení sítě, což se hodí zejména při vysílání velkých živých událostí nebo při nárůstu počtu uživatelů, kteří sledují obsah na mobilních zařízeních. Flexibilní správa šířky pásma navíc minimalizuje výpadky a zajišťuje konzistentní kvalitu přenosu, což je pro uživatele zásadní.

11.3 Optimalizace spektra a maximalizace pokrytí

11.3.1 Využití SFN (Single Frequency Network)

Jednofrekvenční síť (SFN) představuje pokročilou vysílací technologii, která umožňuje šíření identického signálu z několika vysílačů na stejné frekvenci. Tato technologie je zásadní pro optimalizaci spektra v pásmech, jako je 600 MHz, kde poskytuje efektivní pokrytí rozsáhlých geografických oblastí s minimálními nároky na další frekvence. V praxi to znamená, že více vysílačů pokrývá různá území, ale protože všechny vysílají na stejné frekvenci, nedochází k rušení a signál se v různých lokalitách spojuje do jednoho koherentního přenosu.

To má zásadní vliv na kvalitu signálu a optimalizaci spektrálního využití, protože umožňuje obsluhovat velké území s méně přenosovými prostředky. SFN také snižuje potřebu budovat samostatné vysílače pro každou geografickou oblast, čímž se výrazně snižují náklady na infrastrukturu i energetické nároky.

Úspěch této technologie byl potvrzen během testů 5G Broadcast, které probíhaly v Praze na vysílačích Žižkov a Strahov. Oba vysílače byly schopné vysílat synchronizovaný signál v jednofrekvenční síti, přičemž se podařilo dosáhnout stabilního a vysoce kvalitního pokrytí městských oblastí s minimálním počtem výpadků a bez interference. To ukazuje na potenciál SFN pro efektivní využití nižších frekvencí, jako je 600 MHz, zejména v kombinaci s pokročilými vysílacími standardy, jako je FeMBMS.

11.3.2 Minimalizace interferencí s jinými službami

Při využívání nižších frekvenčních pásem, jako je 600 MHz, je potřeba zajistit, aby nedocházelo k interferencím s jinými vysílacími službami nebo mobilními sítěmi operujícími v přilehlých pásmech. FeMBMS, jako vysílací technologie, se může účinně integrovat s dalšími službami díky pokročilým metodám řízení přenosu a sofistikované modulaci. V kombinaci s **duplexní mezerou v pásmu 700 MHz** je možné zajistit, že vysílací služby nebudou kolidovat s mobilními sítěmi, které využívají frekvence pro uplink a downlink.

Technologie FeMBMS využívá sofistikované metody pro správu frekvencí a minimalizaci rušení mezi vysílači, což vede ke zlepšení celkové kvality přenosu a snížení rizika interference s dalšími službami. To je zvláště důležité v hustě osídlených městských oblastech, kde mobilní služby často využívají přilehlá pásma a kde je třeba zajistit, aby televizní vysílání a mobilní služby mohly fungovat souběžně bez přerušení.

11.3.3 Maximalizace pokrytí

Jednou z hlavních výhod pásma 600 MHz je jeho schopnost dosáhnout dlouhého dosahu při relativně nízkém výkonu vysílačů. To znamená, že s menším počtem vysílačů lze pokrýt rozsáhlé území, což je velmi užitečné zejména v řídko osídlených venkovských oblastech. V těchto oblastech by výstavba hustší sítě vysílačů byla neekonomická, ale použití nižších frekvencí umožňuje dosáhnout spolehlivého pokrytí s minimálními náklady.

V kombinaci s technologií **SFN**, která snižuje potřebu dalších vysílacích frekvencí, je dosaženo optimálního využití spektra, což nejen snižuje dlouhodobé náklady na provoz, ale také zajišťuje vysokou kvalitu přenosu i na rozsáhlých územích. Technologie **dynamické alokace šířky pásma**, která je součástí FeMBMS, umožňuje přizpůsobit šířku pásma aktuálním potřebám, což vede k efektivnějšímu využití spektra i při špičkových zatíženích sítě.

Maximalizace pokrytí a optimalizace spektra pomocí těchto technologií je zásadní pro zajištění toho, že televizní a multimediální vysílání může být poskytováno na vysoké úrovni kvality, a to jak ve venkovských oblastech, tak v městských regionech, kde je potřeba vysoké kapacity a kvality přenosu.

