



**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ČVUT V PRAZE**

Analýza problematiky připojení základnových stanic mobilní sítě k páteřní síti v ČR v období 2018 - 22 s výhledem do roku 2027

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra telekomunikační techniky

Doc. Ing. Jiří Vodrážka, Ph.D.
Ing. Zdeněk Brabec, CSc.

V Praze, **říjen** 2017

Verze dokumentu a provedené změny

Verze	Datum	Provedené změny	Provedl
1.2	7. 6. 2017	Akceptace změn navržených Úřadem, vypořádání komentářů. Doplnění výsledků ze zpracování dotazníků.	Vodrážka
1.3	8. 6. 2017	Korekce textu	Brabec
1.4	9. 6. 2017	Korekce textu	Vodrážka
2.1	19.6.2017	Doplnění výsledků zpracování dotazníků – doplnění informací, korekce textu.	Vodrážka Brabec
2.2	3.7.2017	Vypořádání připomínek ČTÚ	Vodrážka
2.3	28.8.2017	Korekce na základě osobního jednání na ČTÚ	Vodrážka
2.4	26.10.2017	Korekce na základě jednání rady ČTÚ	Vodrážka

1 Obsah

2	Úvod.....	4
3	Rozbor.....	4
3.1	Vymezení předmětu analýzy.....	4
3.2	Metodika zpracování.....	5
3.2.1	Informace získané pomocí dotazníku	6
3.2.2	Postup při zpracování dat o přenosových kapacitách	7
3.2.3	Postup při zpracování dat o využívaných technologiích	9
4	Využívané technologie a jejich zhodnocení	10
4.1	Sumarizace statistik o využívaných technologiích	10
4.2	Obecné možnosti technologií.....	10
4.2.1	Optická vlákna.....	11
4.2.2	Pronajaté okruhy.....	11
4.2.3	Metalická vedení.....	12
4.2.4	Radioreleové spoje.....	12
4.2.5	Možnosti rozšíření kanálů radioreleových spojů.....	13
4.2.6	Navýšení kapacity spojů a využití pásma 80 GHz	15
5	Zhodnocení technologií s ohledem na rozvoj mobilních služeb.....	16
5.1	Struktura přípojné sítě.....	16
5.1.1	Topologie sítě	16
5.2	Odhad potřebné přenosové kapacity	17
5.2.1	Agregace přenosu z více základnových stanic	18
5.2.2	Zhodnocení potenciálu radioreleových spojů při nárůstu požadavků	19
5.2.3	Zajištění kapacitních požadavků v delším časovém horizontu.....	21
6	Souhrn.....	22
6.1	Konvergence přípojné sítě pro fixní a mobilní sítě.....	22
7	Odkazy	25

2 Úvod

Český telekomunikační úřad (dále také ČTÚ nebo Úřad) v souladu s ustanovením § 51 zákona č. 127/2005 Sb., „Zákona o elektronických komunikacích a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o elektronických komunikacích)“ (dále také ZEK), ve znění pozdějších předpisů, hodlá provést vyhodnocení situace na trhu služeb mobilního páteřního propojení - tzv. mobilního backhauu včetně posouzení podmínek pro jeho budoucí rozvoj. Následující text byl zpracován na základě požadavku Úřadu, jako podklad pro toto vyhodnocení.

Úkolem analýzy je zejména posouzení, zda dosavadní způsoby realizace mobilního backhauu budou schopny pokrýt předpokládané potřeby na objemy přenášených dat v období 2018 - 22 s výhledem do roku 2027.

Toto posouzení by mělo být postaveno na odhadu očekávaného rostoucího objemu přenášených dat v mobilních sítích ve stanoveném výhledu i s ohledem na předpokládaný budoucí vývoj technologií mobilních sítí (4G/5G).

3 Rozbor

3.1 Vymezení předmětu analýzy

Telekomunikační síť je možno obecně rozdělit do dvou základních hierarchických úrovní:

- páteřní síť (Backbone, Core) sloužící k přenosu dat mezi uzly sítě operátora;
- přístupová síť (Access) sloužící k připojení jednotlivých účastníků k síťovým uzlům operátora.

Předmětem této analýzy je přípojná síť „Backhaul“ k síti páteřní. Výše uvedené rozdělení se obvykle rozšiřuje o tuto přípojnou úroveň a dále dělí do podúrovní takto:

- Páteřní (Backbone, Core):
 - tranzitní (např. mezinárodní, na národní úrovni zahrnuje největší města, např. krajská);
 - regionální (např. úroveň okresních měst).
- Přípojná (Backhaul, např. připojení místních uzlů, RSU, DSLAM, BTS makrobuněk).
- Přístupová (radiová část mobilních či FWA sítí), případně dále dělená na:
 - primární (typicky optická sekce fixní přístupové sítě, např. připojení vysunutých DSLAM, BTS mikrobuněk);
 - sekundární (typicky metalická sekce fixní přístupové sítě).

Nadále v textu bude v textu používáno originální označení „backhaul“ bez skloňování. Dále bude používáno obecné označení „základnová stanice“ bez rozlišení, ke které generaci mobilní sítě náleží.

Předmětem analýzy je backhaul mobilní sítě. V návaznosti na to je možno konstatovat, že v dnešní době jsou v provozu a v přípravách tyto technologie mobilních sítí:

- **2/2.5. generace - GSM** (Global System for Mobile Communications)
- **3. generace - UMTS** (Universal Mobile Telecommunications System)
- **4. generace - LTE** (3GPP Long Term Evolution), **LTE-A** (LTE Advanced)
- **5. generace** – připravovaná další generace mobilní sítě

V dalším rozboru nebudou striktně oddělovány jednotlivé generace sítí. Vzhledem k tomu, že nižší generace mobilních sítí budou postupně opouštěny (nejdříve pravděpodobně 3G, v delším horizontu 2G) a bude se postupně přecházet na LTE-A a 5G, budou sledovány očekávané datové toky podle

použitých frekvenčních pásem s vědomím, že pásma uvolněná staršími generacemi budou s větší efektivitou využita novými generacemi sítí.

V současné době jsou k dispozici tato pásma (vrstvy radiové přístupové sítě):

- 800 MHz – pásmo LTE;
- 900 MHz – pásmo GSM, v dlouhodobém výhledu lze očekávat přechod na LTE/5G;
- 1800 MHz – pásmo GSM, dochází k postupnému uvolňování pásma ve prospěch LTE;
- 2100 MHz – pásmo UMTS, ve střednědobém výhledu dojde k přechodu na LTE/5G;
- 2600 MHz – pásmo LTE.

Z dalších pásem se dle sdělení Odboru správy kmitočtového spektra ČTÚ připravují k použití pro veřejné sítě:

- Pásmo 3,7 GHz – připravovaná aukce (aktuálně – květen 2017 – projevilo zájem se účastnit aukce 7 uchazečů) – pásmo je určeno primárně pro implementaci služeb 5G. Podmínky VŘ jsou nastaveny tak, aby s tímto cílem nekolidovaly, rozvojová kritéria jsou stanovena pro oblasti s menší hustotou osídlení. To současně nebrání rozvoji sítí 5G, který se předpokládá primárně naopak v hustě osídlených oblastech. Proto lze očekávat realizaci fixního LTE, ale současně v hustě osídlených oblastech lze předpokládat i jiné využití.
- Pásmo 700 MHz - v souladu s prováděcím rozhodnutím Evropské komise č. 2016/687 lze v pásmu 700 MHz v úsecích 703-733/758-788 MHz přidělit 6 duplexních bloků o šířce 5 MHz. Záměrem ČTÚ je uvolnit pásmo 700 MHz pro využití pro mobilní širokopásmové služby ve lhůtě stanovené Rozhodnutím Rady a EP k pásmu 700 MHz, tj. do 30. 6. 2020. O realizaci aukce bude rozhodnuto zřejmě až po závazném určení termínu uvolnění pásma 700 MHz, který stanoví vláda ČR. Novela zákona 127/2005 Sb. (ZEK), která toto bude kodifikovat, je aktuálně (květen 2017) v Poslanecké sněmovně ve 3. čtení.
- Rozhodnutím Evropské komise č. 2015/750 bylo harmonizováno pásmo 1,5 GHz pro LTE SDL. V ČR bude toto pásmo, které je nyní využíváno pro digitální rozhlasové vysílání, uvolněno v roce 2021.
- Pásmo 2300-2400 MHz bude pravděpodobně také alespoň částečně využito pro širokopásmové mobilní služby.
- Pásmo 3400-3600 MHz, u něhož se předpokládá stejné využití jako u pásma 3,7 GHz, bude uvolněno od současného využití převážně sítěmi WiMAX k 30. 6. 2020.
- Pro sítě 5G bylo rovněž identifikováno pásmo 26 GHz, ale k budoucímu využití tohoto pásma nejsou v současné době žádné podrobnější informace. Pásmo 26 GHz je v současné době využíváno v ČR pro pevnou službu.

Diskuze o identifikaci případných dalších kandidátských pásem dále probíhají.

Mezi roky 2020 až 2030 tak bude k dispozici vedle stávajících 5 pásem dalších 5 se šířkami kanálů typicky mezi 5 až 20 MHz. Přidávání dalších vrstev na základnových stanicích samozřejmě postupně zvyšuje nároky na přenosovou kapacitu přípojné sítě.

3.2 Metodika zpracování

Metodika vychází z expertního posouzení situace a také z dostupných informací získaných zpracovatelem. Pro řádné zpracování vyjádření bylo nutné získat informace od mobilních operátorů. Za tímto účelem byl sestaven dotazník, který byl zaslán Úřadem operátorům podle ustanovení § 115 odst. 3 písm. h) ZEK.

3.2.1 Informace získané pomocí dotazníku

Zpracovatel navrhl formulář pro získání informací od operátorů, který byl dopracován v interakci s Úřadem. Dotazník obsahuje následující části:

Část 1.
Předpokládané zatížení základnové stanice
Uvedeny budou průměrné/typické a špičkové hodnoty přenosových rychlostí pro typ oblasti aglomerace / město /venkov.
Formulář č. 1 má čtyři téměř shodné části 1a) až 1d) pro různé časové horizonty - pro současný stav, dobudované pokrytí LTE, dokončení LTE-A (stav s předpokládaným rozšířením o pásma 700 MHz a 3,7 GHz) a výhled k 5G.
Tabulky jsou uzpůsobeny na vyplnění dílčí rychlosti na 1 sektor a vrstvu (kmitočtové pásmo). Alternativním, zjednodušeným způsobem vyplnění je uvedení celkové průměrné a špičkové rychlosti sumárně za celou základnovou stanicí (přes všechna pásma a sektory), a to v souladu s níže uvedenými průměrnými počty sektorů a vrstev na základnovou stanicí. Tuto sumární rychlost prosím uvádějte do řádků "jiná" vrstva.
Tabulky jsou uzpůsobeny na vyplnění dílčí rychlosti pro směr downlink a uplink. Alternativním, zjednodušeným způsobem vyplnění je uvedení pouze rychlosti downlink a poté poměru mezi směry přenosu v subtabulce v pravé části - předpokládá se poměr shodný pro všechna pásma a sektory.
Část 2.
Způsob připojení základnových stanic (způsob řešení backhaul) v současnosti a s výhledem na 2 roky:
Formulář č. 2 má dvě části. Část 2a) slouží k vyplnění způsobu připojení základnových stanic včetně průměrné ceny za připojení, Část 2b) uvádí seznam nejvýznamnějších poskytovatelů připojení.
Uvedeny budou počty připojených základnových stanic daným způsobem (odhad počtu) podle typu oblasti aglomerace / město /venkov v současnosti a s výhledem na 2 roky.
Dále uveďte průměrnou měsíční cenu či (vlastní) měsíční náklad daného typu řešení v závislosti na typu oblasti. Z toho uvést počet řešení s využitím regulovaných velkoobchodních nabídek SMP operátora (např. regulovaný přístup k pasivní infrastruktuře, LLU, RADO apod.)
Seznam poskytovatelů služeb připojení základnových stanic – uvést jednotlivé poskytovatele, od kterých odebíráte služby připojení základnových stanic (mobilního backhau) a počet připojených základnových stanic s využitím služeb daného poskytovatele v požadovaném členění. Uvedený celkový počet (v řádku SOUČET) by měl odpovídat počtu připojených základnových stanic prostřednictvím jiné než vlastní infrastruktury.

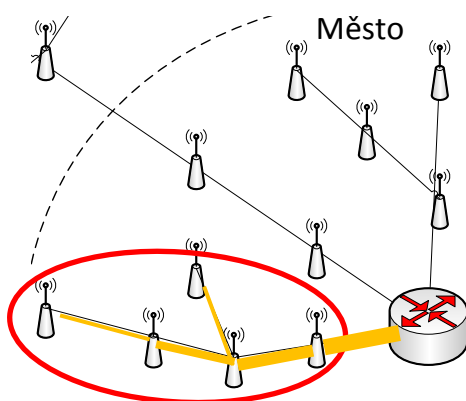
Na základě **doplňujícího formuláře** byly dále doplněny následující informace:

- Průměrný počet zákl. stanic v jednom topologickém stromě v členění dle typu oblasti na základě zpřesnění definice - počet základnových stanic připojených jako celek na páteřní nebo regionální síť pomocí společného kmenového spoje, který přenáší agregované toky těchto základnových stanic
- Další podrobnější informace rovněž v členění dle typu oblasti:

Podíly stanic a skupin připojené RR spojem	
Jednotlivé základnové stanice individuálně připojené RR spojem	
Skupiny základnových stanic připojené jedním společným kmenovým spojem	podíl skupin (topologických stromů) obsahujících 2 nebo 3 základnové stanice
	podíl skupin (topologických stromů) obsahujících 4 až 6 základnových stanic
	podíl skupin (topologických stromů) obsahujících 7 a více základnových stanic
Podíl případů, kdy RR spoj dosahuje délky z uvedeného intervalu	
	délka spoje 1 km a nižší
	délka spoje vyšší než 1 km ale nižší než 2 km včetně
	délka spoje vyšší než 2 km ale nižší než 4 km včetně
	délka spoje vyšší než 4 km
Požadavky na kapacitu kmenového spoje - výhled	
Jednotlivé základnové stanice individuálně připojené RR spojem	
Skupiny základnových stanic připojené jedním společným kmenovým spojem	počet skupin (topologických stromů) obsahujících 2 nebo 3 základnové stanice
	počet skupin (topologických stromů) obsahujících 4 až 6 základnových stanic
	počet skupin (topologických stromů) obsahujících 7 a více základnových stanic

3.2.2 Postup při zpracování dat o přenosových kapacitách

Zpracování vychází z metodiky uvedené v [1]. Předpokládá uspořádání sítě modelově ukázané na obrázku 1.



Obr. 1 – Typická topologie stromu mobilní připojné sítě

Připojná síť základnových stanic je v elementárním modelovém případě (vyznačeno červeným oválem) vytvářena postupným připojováním do kaskády, takže toky jsou postupně slučovány (agregovány –

naznačeno žlutou zesilující se čarou) až po nejvíce zatížený kmenový spoj, který topologický strom připojuje k uzlu páteřní sítě.

V topologickém stromě může být různý počet základnových stanic (obecně N), kdy případ $N=1$ znamená základnovou stanicí připojenou individuálně na páteřní síť. Je zřejmé, že s narůstajícím N budou narůstat požadavky na mezilehlé spoje a zejména na kmenový spoj přípojně sítě.

Cílem výpočtu je odhadnout příslušnou kapacitu spoje v závislosti na:

- počtu základnových stanic v topologickém stromě;
- počtu sektorů základnové stanice;
- počtu vrstev (kmitočtových pásem) používaných mobilní sítě;
- typu lokality (aglomerace – město – venkov);
- časovém horizontu, ve kterém se promítá jednak nárůst počtu vrstev (dostupných kmitočtových pásem), jednak nárůst zatížení sítě s nárůstem provozu;
- směru přenosu – primárně pro směr downlink, orientačně pro směr uplink, který má obvykle několikanásobně nižší požadavky než směr downlink.

Základními vstupními údaji byly:

- průměrná (typická) přenosová rychlost MR_{ij} (Mean Rate) na sektor a vrstvu (případně celková rychlost na základnovou stanicí MR_{sj}) v době silného provozu;
- špičková přenosová rychlost PR_{ij} (Peak Rate) na sektor a vrstvu (případně celkově za základnovou stanicí PR_{sj}).

Díličmi výpočty byla získána:

- Celková průměrná přenosová rychlost na základnovou stanicí pro S sektorů (pro výpočet použit průměrný počet sektorů pro daný typ oblasti):

$$MR_{Sj} = S \cdot \sum_i^{\text{počet vrstev}} MR_{ij}$$

- Špičková rychlost za základnovou stanicí (z dat stanovených měření):

$$PR_{Sj} = MR_{Sj} + \max_i(PR_{ij})$$

- Špičková rychlost za základnovou stanicí (z odhadu na základě šířky pásem jednotlivých vrstev – použitou v tomto dokumentu):

$$PR_{Sj} = MR_{Sj} + \max_i(PR_{ij} - MR_{ij})$$

- Celková průměrná přenosová rychlost na základnovou stanicí zohledňující vstupy od všech operátorů stanovená výpočtem prostého průměru, P je počet operátorů:

$$MR_S = \frac{1}{P} \cdot \sum_j^P MR_{Sj}$$

- Špičková rychlost za základnovou stanicí zohledňující data všech P operátorů výběrem maxima z díličích špičkových rychlostí:

$$PR_S = \max_{j=1..P}(PR_{Sj})$$

- Korigovaná celková průměrná přenosová rychlost na základnovou stanicí zohledňující rezervu na služební komunikace R (uvažována hodnota $R=0,1$ odpovídající navýšení o 10%)

$$MR_{Sc} = MR_S \cdot (1 + R)$$

- Korigovaná špičková přenosová rychlost na základnovou stanici zohledňující rezervu na služební komunikace R (uvažována hodnota $R=0,1$ odpovídající navýšení o 10%)

$$PR_{sc} = PR_s \cdot (1 + R)$$

Výsledným výpočtem byla získána závislost potřebné přenosové rychlosti kmenového spoje na počtu základnových stanic N v topologickém stromě, která respektuje nutnost obsloužit jak špičky provozu, tak ustálené agregované toky v období silného provozu:

$$SR = \max (N \cdot MR_{sc}; PR_{sc})$$

Výsledné přenosové rychlosti budou vyneseny graficky v závislosti na počtu základnových stanic dle typu oblasti a časového horizontu (současný stav a odhad budoucího vývoje).

3.2.3 Postup při zpracování dat o využívaných technologiích

Využívané technologie jsou sumarizovány přes jednotlivé operátory a je vyhodnoceno procentuální zastoupení v současnosti a ve výhledu 2 let podle typu lokality (aglomerace – město – venkov) a celkově.

Zastoupení i -té technologie TR (Technology Rate) je dáno prostým průměrem přes všechny operátory P a je vyjádřeno v %:

$$TR_i = \frac{100}{\sum_{ij} T_{ij}} \cdot \sum_j^P T_{ij}$$

Výsledné procentuální zastoupení technologií je vyneseno tabelárně.

Mezní hodnoty přenosových kapacit radioreléových spojů jsou vyhodnoceny takto:

- minimální využívaná kapacita RR spojů jako minimum z údajů uvedených jednotlivými operátory;
- maximální využívaná kapacita RR spojů jako maximum z údajů uvedených jednotlivými operátory.

4 Využívané technologie a jejich zhodnocení

4.1 Sumarizace statistik o využívaných technologiích

Na základě postupu v kapitole 3.2.3 byly z dotazníků získány údaje, které jsou shrnuty v tabulce 1. Typ lokality je označován takto: A – aglomerace, M – město, V – venkov. Pro každou z technologií je uveden podíl na celku.

Tab. 1: Sumarizace technologií využívaných pro mobilní backhaul s uvedeným podílem

Sumarizace	současnost	A	M	V	výhled na 2 roky	A	M	V
Optická vlákna:								
Vlastní vlákna	13,1%	20,9%	12,1%	5,5%	16,8%	26,9%	16,7%	7,1%
Pronajatá vlákna/vlnové délky	6,2%	7,6%	7,9%	3,4%	10,0%	13,4%	11,2%	5,7%
Připravené HDPE trubky k základnové stanici	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Pronajatá kapacita (pronajaté okruhy, Ethernet, MPLS, VPN, VLAN)	2,0%	1,1%	2,8%	2,3%	3,5%	1,3%	5,2%	4,5%
Radioreleové spoje:								
Vlastní	64,5%	60,2%	59,9%	72,4%	56,0%	48,3%	51,2%	67,3%
Pronajatý	3,2%	0,2%	3,5%	6,1%	3,2%	0,2%	3,3%	5,9%
z toho RR v pásmu 80 GHz	5,5%	10,2%	4,8%	1,1%	11,9%	18,9%	11,6%	5,3%
Rozsah využívané kapacity RR spojů (např. min.100 Mbit/s, max. 1 Gbit/s)	min.	80			200			
	max.	1107			1107			
Další technologie								
xDSL - MBH	11%	10,0%	13,8%	10,3%	10,5%	9,9%	12,4%	9,5%

Pozn.: Výhled na 2 roky uvedly jen 2 ze 3 oslovených subjektů. U třetího subjektu byl proto ve výhledu započítán současný stav.

Je zřejmé, že stále dominují technologie radioreleových spojů (68 %), které ovšem ve výhledu 2 let poklesnou k cca 59 % z celkového počtu připojených základnových stanic. Cca 12 % z toho budou tvořit vysokorychlostní spoje v pásmu 80 GHz.

Optická vlákna v současnosti tvoří cca 19 % z celkového počtu připojených základnových stanic s odhadovaným nárůstem na cca 27 % do 2 let.

Další cca 2 % (ve výhledu 3,5%) tvoří pronajatá kapacita. U této kategorie není vždy zřejmé (a pronajímatele to ani nezajímá), jakým způsobem je konektivita řešena. Dá se však předpokládat, že dnes i do budoucna bude pronajatá kapacita řešena rovněž na technologiích využívající optická vlákna. Zhruba 11 % tvoří připojení pomocí metalických vedení s technologií xDSL – MBH (Mobile BackHaul), tj. technologií založenou na více sdružených přípojkách VDSL2. Na základě obdržených údajů je však předpoklad, že podíl tohoto připojení ve výhledu na 2 roky mírně poklesne, a to na úroveň 10,5 %.

4.2 Obecné možnosti technologií

Následující přehled uvádí popis technologií, které jsou využívány a využitelné k napojení základnových stanic k páteřní síti.

S různou mírou významnosti lze využít podle potřeby všechna tři základní přenosová média v uvedených modifikacích:

- Optické prostředí:
 - optické vlákno (jednovodová vlákna - SM) - nejperspektivnější způsob připojení;
 - optické směrové spoje využívající volného prostoru (FSO – Free Space Optics) – využitelné jen na krátké vzdálenosti, nízká spolehlivost.
- Metalické vedení:
 - symetrické páry v místních kabelech – v omezené míře je využitelná technologie VDSL2 s potlačováním přeslechů a sdružením více párů pro připojování základnových stanic v městské zástavbě.
- Radiové prostředí:
 - radioreléové směrové spoje bod-bod – v současné době stále nejrozšířenější způsob připojení základnových stanic.

4.2.1 Optická vlákna

Z pohledu dlouhodobé perspektivy a komunikačních možností se jeví výhodnými optická vlákna. Výhody optické sítě: vysoká spolehlivost a velmi nízká bitová chybovost při přenosu (menší než 10^{-12}), odolnost proti elektromagnetickému rušení a proti odposlechu, prakticky neomezená přenosová kapacita a velký dosah:

- současné komunikační systémy – překlenutelná vzdálenost 120 km, šířka pásma 4 THz, dvouúrovňový kód, rychlost 2 Tbit/s;
- budoucí komunikační systémy – překlenutelná vzdálenost 180 km, šířka pásma 8 THz, 64-QAM, dvojí polarizace - rychlost teoreticky 96 Tbit/s.

Optické vlákno je schopno překlenout typicky o 2 až 3 řády větší vzdálenosti a dosáhnout o 3 až 4 řády vyšší přenosové rychlosti než jiná přenosová média.

Optické vlákno se může v přípojné síti vyskytnout v těchto variantách:

- vlastní optický kabel operátora;
- pronajatá vlákna (tzv. nenasvícená optická vlákna);
- pronajaté vlnové délky ve vlnovém multiplexu CWDM nebo DWDM;
- pronajaté okruhy na technologiích využívajících optických vláken.

Hlavní výhodou služby nenasvíceného vlákna je její flexibilita a škálovatelnost. Je možno poměrně snadno skokově zvyšovat přenosové rychlosti od 1 Gbit/s do $n \times 10$ Gbit/s a více.

Vícenásobné využití optických vláken může zajistit WDM (Wavelength Division Multiplexing) – vlnový multiplex.

- DWDM (Dense WDM) – hustý vlnový multiplex s nejčastějšími odstupy kanálů 50 GHz. Zapouzdření SDH, Ethernetu 1G, 10G, 40G a dalších formátů pro přenos DWDM je standardizováno dle ITU-T G.709 – optická hierarchie OTH (Optical Transport Hierarchy).
- CWDM (Coarse WDM) – hrubý vlnový multiplex – 20 nm kanálové rozteče při použití vlnových délek mezi 1270 nm a 1610 nm (ITU-T G.694.2).

4.2.2 Pronajaté okruhy

Na optických vláknech či jiných médiích lze provozovat vlastní technologie, nebo si pronajímat přenosovou kapacitu. Původní, klasická a dnes již zastarávající technologie je SDH (Synchronous Digital Hierarchy) dle ITU-T G.707 – přenos po optických vláknech synchronními transportní moduly STM-N, kde N vyjadřuje hierarchický stupeň od STM-1 (155,52 Mbit/s) do STM 256 (39 813,12 Mbit/s).

Ethernet – pochází z prostředí místních sítí LAN, je specifikována standardy IEEE 802.3. Na fyzické vrstvě je možné použít jak metalické, tak optické vedení a tím dosahovat široké škály přenosových rychlostí od 10 Mbit/s až do 100 Gbit/s.

Nad Ethernetem je možno provozovat technologii MPLS, respektive MPLS-TP pro realizaci pronajatých okruhů a VPN.

4.2.3 Metalická vedení

V omezené míře jsou pro mobilní backhaul využitelné v posledním úseku i metalická vedení. Jde typicky o využití existujících přístupových sítí pro připojení základnových stanic:

- **VDSL2** (Very high Speed Digital Subscriber Line) – dovoluje dosažení přenosových rychlostí v řádech desítek až stovek Mbit/s. VDSL2 (doporučení ITU-T G.993.2) pracuje s kmitočtovým pásmem do 12, 18 nebo 30 MHz, případně až 35 MHz na vzdálenost typicky stovky m (až 1,6 km). Při použití potlačování přeslechů (tzv. Vectoring) lze dosáhnout přenosové rychlosti 100 Mbit/s na vzdálenost cca 800 m, případně 250 Mbit/s na vzdálenost cca 350 m. Zvýšení se dosahuje sdružením více párů (2 až 8) při případném využití tzv. fantomových okruhů.
- **G.fast** – přípojka s rychlostí až řádově Gbit/s dle doporučení ITU-T G.9701 využívá pásmo až do cca 100, 200 nebo 300 MHz a může být použita na vzdálenosti desítek až jednotky stovek metrů (rozvody uvnitř budov a menších areálů) v architektuře FTTdp (Fiber To The distribution point).
- **TDSL** – Terabit DSL – zatím teoretický koncept slibující dosažení až rychlosti Tbit/s na krátké vzdálenosti při použití pásma 100 až 300 GHz. Pro připojení základnových stanic 5G by bylo v budoucnu možné využít rychlostí v desítkách Gbit/s na vzdálenost stovek metrů.

4.2.4 Radioreleové spoje

Přirozeným způsobem připojování základnových stanic k páteřní síti, je využití radiového přenosu, obdobně jako v přístupové části mobilní sítě. To není problém u sítí nižších generací, kde jsou relativně nízké požadavky na přenosovou kapacitu. S narůstajícími požadavky vyšších generací mobilních technologií (a tím i vyššími objemy přenášených dat) postupně přestávají radiové prostředky pro backhaul kapacitně postačovat.

Obecné hledisko dělení bezdrátových sítí je rozlišení podle typu pásma na:

- nelicencovaná pásma (využívání rádiových kmitočtů na základě všeobecného oprávnění) – nevyžadují poplatek za využití spektra, existuje však vyšší riziko rušení interferencemi od jiných systémů provozovaných v tomtéž pásmu;
- licencovaná pásma (využívání rádiových kmitočtů na základě individuálního oprávnění), využívaná především radioreleovými spoji (RR).

Podle dosažitelné přenosové rychlosti (souvisí se šířkou využívaného pásma) je možno radioreleové spoje rozdělit do těchto skupin:

- úzkopásmové – rychlosti $n \times 2$ Mbit/s (pro n od 1 do typicky 16) – typické pro realizaci backhaul sítí 2G a 2,5G;
- středněpásmové – rychlosti typicky kolem 50 až 100 Mbit/s (Ethernet), příp. 155 Mbit/s (STM-1);
- širokopásmové – rychlosti nad cca 155 Mbit/s až do 1 Gbit/s – vhodné pro mobilní backhaul síť LTE;
- extrémně širokopásmové – rychlosti nad 1 Gbit/s (typicky do 5 či 10 Gbit/s) – využitelné pro mobilní backhaul síť LTE-A.

V oblasti radioreléových spojů jsou následující trendy:

- rozšiřování frekvenčního kanálu směrem k šířkám 56 MHz, 112 MHz, 250 MHz a jejich násobkům;
- optimalizace kanálového kódování směrem k většímu kódovému zisku;
- zvyšování počtu stavů modulace až na 1024-QAM, a to včetně pásma 80 GHz, což rovněž souvisí s požadavkem telekomunikačního sektoru na zpřístupnění i užších kanálů o šířce 62,5 MHz a 125 MHz v části dotčeného pásma;
- zdvojnásobení kapacity pomocí oddělení polarizací vlny za pomoci obvodů potlačujících interference vyvolané křížovou polarizací XPIC (Cross Polarization Interference Canceller).

Dosažení rychlostí ve stovkách Mbit/s až přes 1 Gbit/s je na jedné straně podmíněno možností využít dostatečně širokého kanálu, na druhé straně je podmíněno obměnou radioreléových stanic, případně i výměnou antén pro dosažení většího zisku a splnění vyšších nároků na SNR (Signal-to-Noise Ratio – poměr signálu k šumu) pro mnohastavové modulace (nárůst SNR dovoluje dosažení vyšší přenosové kapacity).

Dalším očekávaným trendem u spojů bod-bod je aplikace techniky MIMO (Multiple-input Multiple-output). Pomocí víceprvkového anténního systému, více paralelních tranciverů a adaptivního potlačování interferencí lze dosáhnout typicky dvojnásobné (MIMO 2x2) či čtyřnásobné (MIMO 4x4) přenosové rychlosti oproti klasickým spojům (SISO - Single-input Single-output). V tuto chvíli ovšem není využití MIMO prioritou výrobců ani operátorů, protože komplikuje instalaci v lokalitách, kde není dostatek místa pro složitější a rozměrnější anténní systémy a není jisté, zda se tato koncepce dočká významnějšího rozvoje v mobilním backhau.

4.2.5 Možnosti rozšíření kanálů radioreléových spojů

Podmínky využití rádiových kmitočtů jsou stanoveny v příslušné části plánu využití rádiového spektra (<http://www.ctu.cz/predpisy-a-opatreni/plan-vyuziti-radioveho-spektra.html>).

Změny v tomto plánu (pokud nejsou vynuceny např. harmonizačním záměrem EU apod.) mohou být implementovány pouze na základě řádně odůvodněného požadavku, jehož odůvodněnost posuzuje ČTÚ. K jakýmkoliv změnám je nejprve nutné provést veřejnou konzultaci podle § 130 zákona č. 127/2005 Sb. (ZEK). Po ukončení veřejné konzultace je ČTÚ povinen obdržené příspěvky vypořádat. Podoba návrhu do veřejné konzultace tak může po vypořádání připomínek doznat změn, a to i takových, že se v krajním případě ustoupí od původního záměru. Mohou nastat i případy, že je nutné provést opětovnou veřejnou konzultaci v případě, že změny budou zásadního charakteru.

Technické parametry pevné radiokomunikační služby odpovídá evropským harmonizovaným kanálovým uspořádáním, v tomto případě podle doporučení CEPT/ERC.

Tab. 2: Přehled licencovaných pásem a šířek kanálu pro pevné spoje bod-bod v ČR

pásmo GHz	rozsah	šířka kanálu max. MHz	Doporučení CEPT/ERC/REC
4	3 810–4 197 MHz	29	ITU-R F.382-7
6	5925–6425 MHz	29,65	ERC/REC 14-01
7	6425–7125 MHz	40	ERC/REC 14-02
7,5	7425–7725 MHz	14	ITU-R F.385-7
11	10,7–11,7 GHz	80	ERC/REC 12-06
13	12,75–13,25 GHz	28	ERC/REC 12-02
15	14,5–15,35 GHz	28	ERC/REC 12-07E
18	17,7–19,7 GHz	110	ERC/REC 12-03
23	22,0–22,6/23,0–23,6 GHz	28	ERC/REC T/R 13–02
26	24,773–25,445/25,781–26,453 GHz	56	ERC/REC T/R 13–02
32	31,8–33,4 GHz	56	ERC/REC/(01)02
38	37,093–38,178 / 38,353– 39,438 GHz	56	ERC/REC T/R 12–01
42	40,5–43,5 GHz	112	ECC/REC/(01)04
58	57,1–58,9 GHz	100	CEPT/ECC/REC (09)01

Pro narůstající provoz v mobilní síti jsou perspektivní pásma se šířkou vyšší než 100 MHz. V současnosti jsou se šířkou kanálu větší než 100 MHz dostupná tato kmitočtová pásma:

- 18 GHz (kanál 110 MHz);
- 42 GHz (kanál 112 MHz);
- 58 GHz (kanál 100 MHz).

Dále je k dispozici pásmo 70/80 GHz v režimu všeobecného oprávnění, které disponuje kanály o celistvých násobcích (případně podílech) 250 MHz. Vzhledem k šířce pásma a specifickým vlastnostem je systémům v uvedeném pásmu věnována samostatná kapitola.

Podle sdělení ČTÚ v průběhu roku 2017 proběhla jednání se zástupci sektoru (mobilní operátoři, ICT Unie a další.), kteří vyjádřili požadavek na zpřístupnění širších kanálů i ve stávajících kmitočtových pásmech. ČTÚ identifikoval pásma, kde je změna rastru možná a je v souladu s mezinárodně uznávanými doporučeními pro kanálová uspořádání. Je důležité upozornit, že tato změna nepřináší žádné nové spektrum, ale pouze možnost využití již dostupného pásma pro široké kanály za cenu menšího počtu kanálů v porovnání se současným využitím. Pro zpřístupnění je nutná změna příslušné části plánu využití rádiového spektra.

Zároveň probíhají na evropské úrovni diskuze o zpřístupnění pásem nad hranicí 90 GHz, kde je v tuto chvíli mezi návrhy i využití pásem s kanály se šířkou v násobcích 250 MHz, ale jiné využití (už vzhledem ke konvergenci služeb pevná/pohyblivá), než jaké je uvedeno výše, rovněž v tuto chvíli nelze vyloučit. Předpokládané dokončení aktivit je v průběhu roku 2018.

Protože se v tuto chvíli nepředpokládá zcela zásadní zlom v použité technologii pevných bezdrátových spojů, je otázkou, jaká bude situace mezi léty 2025 a 2030 z hlediska potřeby či možná již nepotřeby širokých kanálů. Trend požadavku na neustále rostoucí šířku kanálu je z dlouhodobého hlediska neudržitelný. Vyšší kmitočtová pásma, vzhledem k útlumu šíření rádiových vln, budou určena spíše pro připojení koncových uživatelů v husté zástavbě (tzv. roof-street level či tzv. roof-roof level spojení). Velmi vysoká pásma lze jen s obtížemi použít pro vybudování základní infrastruktury sítě provozovatele. K tomu by měla sloužit především optická síť či nižší kmitočtová pásma.

4.2.6 Navýšení kapacity spojů a využití pásma 80 GHz

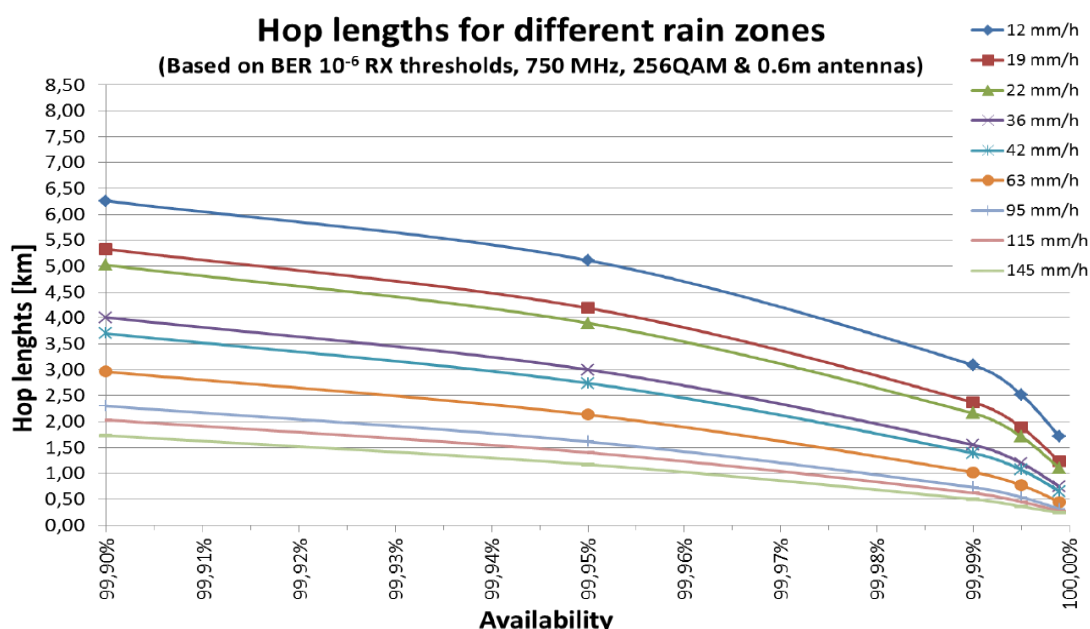
Navýšení kapacity radioreléových spojů je možné v zásadě těmito způsoby:

- Modernizací koncových zařízení (transceiverů) pro vyšší přenosové kapacity, která se docílují jedním nebo pomocí více z následujících způsobů:
 - vyšší šířkou kanálu;
 - více stavovými modulacemi;
 - přenosem dvojí polarizací se systémem XPIC;
 - přenosem více paralelními cestami MIMO;
 - výkonnějším a efektivnějším kanálovým kódováním.
- Navýšením rozměru antén pro získání vyššího zisku.
- Zkrácováním vzdálenosti mezi komunikujícími body.

Pásmo 80 GHz (označované také jako E-band) nabízí 19 × 250 MHz kanálů v rozsahu 71,125–75,875/81,125–85,875 GHz pro FDD spoje. Spoje v režimu TDD zpravidla využívají dolní část pásma 71–76 GHz. Spojováním sousedních kanálů lze vytvořit šířku pásma až 2 GHz, a tím realizovat prakticky kapacitu spoje až 10 Gbit/s. Dle tiskové zprávy [4] T-Mobile již koncem roku 2016 nainstaloval ve své síti první mikrovlnný spoj s kapacitou až 10 Gbit/s v konfiguraci 2+0 s délkou spoje 4,85 kilometru.

Výhodou pásma 80 GHz je zejména vysoká hustota spojů a nízké provozní náklady (bez licenčních poplatků). Nevýhodou je nízká překlenutelná vzdálenost, typicky jednotky km, jak plyne z následujících odstavců.

Pro požadovanou maximální přípustnou chybovost spoje 10^{-6} , daný počet stavů modulace (256-QAM) dává graf (Obr. 2) do souvislosti překlenutelnou vzdálenost s dostupností spoje pro příslušnou srážkovou zónu. Graf byl převzat z materiálů společnosti Ericsson pro zařízení MINI-LINK 6352 [2] určené pro rychlosti do 5 Gbit/s.



Obr. 2 – Dosažitelné překlenutelné vzdálenosti spoje v pásmu 80 GHz dle [2]

Dle [3] je dosah RR spoje v pásmu 80 GHz omezen nejen útlumem signálu, ale zejména velkou směrovostí, kdy je spoj náchylný na odchytky způsobené pohybem konstrukce stožáru (vítr, tepelné

dilatace, vibrace). Pro spoj délky cca 2 km je třeba započítat rezervu na výkyv a zkrut věže typicky 5 dB pro průměr antény 0,6 m a 3 dB pro průměr antény 0,3 m.

Možným kompromisním řešením je provoz kombinovaných spojů Dual-Band, kde se kombinuje pásmo 70/80 GHz (poskytuje vysokou rychlost) s pásmem 18–38 GHz (poskytuje vysokou dostupnost):

- 18–38 GHz, kapacita 183 Mbit/s, dostupnost 99,99 %;
- 70/80 GHz, kapacita > 1 Gbit/s, dostupnost 99,5 %.

Kombinace pásem umožňuje navýšení kapacity stávajících spojů s překlenutím vzdáleností až 7 km [3] s akceptovatelným poklesem přenosové rychlosti v době zhoršených podmínek šíření.

5 Zhodnocení technologií s ohledem na rozvoj mobilních služeb

5.1 Struktura přípojných sítí

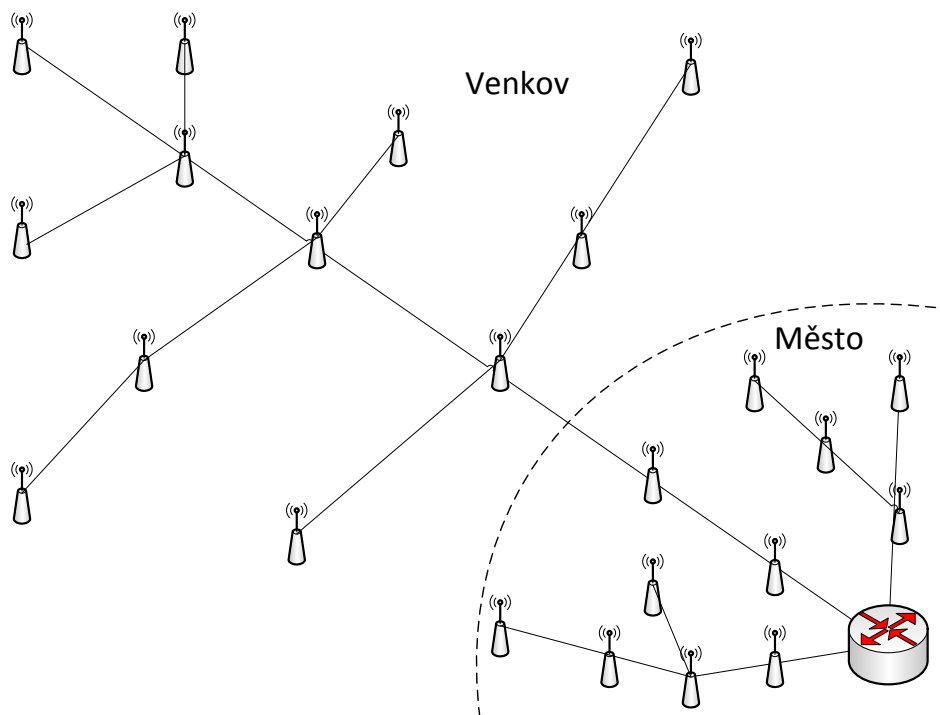
Pro infrastrukturu základnových stanic je možno provést základní rozdělení podle typu oblasti:

- A. Centra velkých měst (aglomerace)
- B. Města a jejich okolí (města)
- C. Vesnice a rozptýlená zástavba (venkov)

Speciální kategorii pak tvoří pokrytí dálnic, rychlostních silnic a železničních koridorů. V závislosti na typu oblasti pak bude různá velikost buněk – potažmo vzdálenost základnových stanic (určující pro typickou velikost skoku při jejich zasítování – připojení k páteřní síti), potřebná kapacita (počet sektorů, vytížení datovým provozem) i použité kmitočtové pásmo.

5.1.1 Topologie sítě

Na rozdíl od páteřních sítí, které se budují na redundantní kruhové a mřížové topologii a přístupové síti, která má vesměs charakter hvězdicové topologie, tradiční mobilní backhaul má obvykle stromovou strukturu. Jednotlivé základnové stanice tvoří koncové větve i společné body stromu a datové toky se postupně sdružují až ke kmenovému spoji, pomocí kterého je strom připojen k uzlu (směrovači) páteřní (regionální) síti. Na obrázku 4 je naznačen jeden „kvadrant“ se stromy v oblastech typu město a venkov.



Obr. 3 – Typická topologie klasického případu mobilního backhaul

Postupem času s ohledem na nároky a celkovou koncepci rozvoje sítí vyšších generací se struktura sítě mění. S narůstajícím objemem provozu dochází k redukcí základnových stanic v rámci jednoho stromu tak, aby se eliminovalo úzké hrdlo v kmeni stromu (agregace provozu z velkého počtu bodů). Více základnových stanic je připojováno přímo na páteřní optické síť nebo na postupně se rozrůstající optický backhaul, případně se přechází na hvězdicovou topologii.

5.2 Odhad potřebné přenosové kapacity

Na základě postupu uvedeném v kapitole 3.2.2 byly z dotazníků od operátorů získány údaje shrnuté v tabulce. Typ oblasti je označován takto: A – aglomerace, M – město, V – venkov.

Tab. 3: Sumarizace přenosových rychlostí pro mobilní backhaul

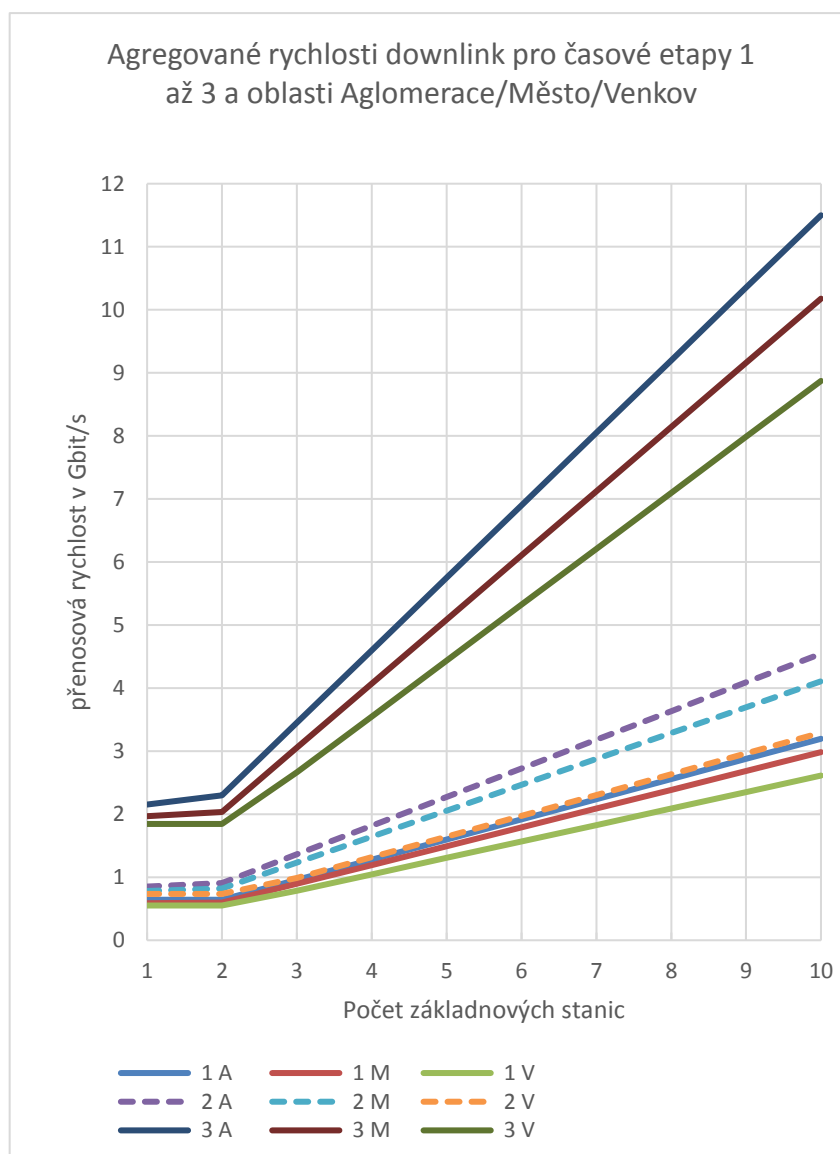
Směr downlink	Rychlost v Mbit/s	současnost			dokončení LTE			LTE-A		
		A	M	V	A	M	V	A	M	V
1 sektor	průměrná	101	97	92	144	134	116	355	340	320
	špičková	332	336	336	350	350	350	1500	1500	1500
základnová stanice	průměrná	290	271	237	413	373	299	1045	925	807
	špičková	584	534	501	774	710	668	1957	1789	1677
Směr uplink	Odhad. poměr downlink/uplink	5			5,4			6		
	prům. rychlost na základnovou stanici v Mbit/s	58	54	47	77	69	55	174	154	134

Ve výše uvedené tabulce jsou uvedeny průměrné a špičkové rychlosti směru downlink (vyšší, tedy určující rychlosti pro kapacitu duplexních, symetrických backhaul spojů) pro jeden sektor a celou základnovou stanici pro 3 typy oblastí a 3 časové horizonty. Výhled pro síť 5G není možno v tuto chvíli učinit, protože jejich parametry a využitelná pásma nejsou v tuto chvíli známé. Směr uplink je orientačně uveden formou očekávaného poměru mezi oběma směry přenosu a průměrnou rychlostí na základnovou stanici.

5.2.1 Agregace přenosu z více základnových stanic

Následným postupem uvedeným v kapitole 3.2.2 byla výpočtem získána závislost potřebné přenosové rychlosti kmenového spoje na počtu základnových stanic N v topologickém stromě, která respektuje nutnost obsloužit jak špičky provozu, tak ustálené agregované toky v období silného provozu.

Výsledné přenosové rychlosti jsou vyneseny graficky v závislosti na počtu základnových stanic dle typu oblasti a časového horizontu – etapy (1 - současný stav, 2 - dokončení LTE, 3 - LTE-A).



Obr. 4 – Graf nárůstu přenosové rychlosti kmenového spoje s počtem základnových stanic v topologickém stromě v závislosti na typu oblasti (A, M, V) a časové etapě (1 až 3)

Z grafu je zřejmé, že již nyní požadavky překračují i pro nízký počet základnových stanic hranici 1 Gbit/s a v delších časových horizontech budou vyžadovat rychlosti kolem 5 a 10 Gbit/s, což je dáno zejména přidáváním dalších kmitočtových pásem (vrstev) v přístupové části mobilní sítě. Lze také konstatovat, že z kalkulace nevycházejí příliš rozdílné výsledky pro různé typy oblastí.

5.2.2 Zhodnocení potenciálu radioreléových spojů při nárůstu požadavků

Z výše uvedeného rozboru je patrné, že potřebné přenosové rychlosti se nijak zvlášť výrazně nebudou lišit podle typu oblasti. Je to způsobeno rozdílnou hustotou základnových stanic – ve městě je obvykle silnější provoz na jednotku plochy, ale tomu odpovídající vyšší hustota základnových stanic. Ve venkovských oblastech se očekává vyšší zastoupení služby připojení v pevném místě než ve městech, což kompenzuje obvykle nižší objem provozu pohybujících se účastníků.

Topologické stromy byly pro podrobnější zhodnocení rozčleněny do skupin v rozsahu 1; 2 nebo 3; 4 až 6; 7 a více, a k nim byly přiřazeny očekávané požadavky na přenosové rychlosti kmenového spoje podle předchozí kapitoly, jak shrnuje následující tabulka (pro skupinu 2 nebo 3 stanovena vyšší hodnota rychlosti pro N=3; pro skupinu 4 až 6 stanovena hodnota rychlosti odpovídající průměrnému počtu v této skupině N=5; pro skupinu 7 a více stanovena hodnota rychlosti odpovídající očekávané střední hodnotě N=9).

Tab. 4: Odhad požadavků na kapacitu kmenového spoje v Gbit/s podle počtu stanic stromu (výhled na 2 roky)

Požadavky na kapacitu kmenového spoje - výhled 2 roky		aglomerace	město	venkov
Jednotlivé základnové stanice individuálně připojené RR spojem		0,9	0,8	0,7
Skupiny základnových stanic připojené jedním společným kmenovým spojem	počet skupin (topologických stromů) obsahujících 2 nebo 3 základnové stanice	1,4	1,2	1,0
	počet skupin (topologických stromů) obsahujících 4 až 6 základnových stanic	2,3	2,1	1,6
	počet skupin (topologických stromů) obsahujících 7 a více základnových stanic	4,1	3,7	3,0

Na základě dodatečného dotazu byly pak od operátorů získány informace o podílech případů topologických situací v síti, jak shrnuje následující tabulka.

Tab. 5: Sumarizace podílu situací s určitým počtem stanic v topologickém stromě

Podíly stanic a skupin připojené RR spojem		aglomerace	město	venkov	suma
Jednotlivé základnové stanice individuálně připojené RR spojem		72%	57%	54%	62%
Skupiny základnových stanic připojené jedním společným kmenovým spojem	podíl skupin (topologických stromů) obsahujících 2 nebo 3 základnové stanice	25%	34%	32%	31%
	podíl skupin (topologických stromů) obsahujících 4 až 6 základnových stanic	1,3%	4%	7%	2%
	podíl skupin (topologických stromů) obsahujících 7 a více základnových stanic	1,4%	5%	8%	5%

Z výsledků je zřejmé, že výrazně převažují individuálně přípojné základnové stanice a stromy s velmi nízkým počtem uzlů (2 a 3). Operátoři se logicky snaží redukovat počty uzlů tak, aby omezili potenciální úzká hrdla kmenových spojů a připravovali se na další nárůst kapacity.

Zároveň byly zjištěny rozsahy délek radioreléových spojů v rozložení podle typu oblastí, jak shrnuje další tabulka. Byly zvoleny hraniční délky 1, 2 a 4 km podle předpokládaných limitů spojů v pásmu 80 GHz, které jsou pro další rozvoj radiového backhaul klíčové.

Tab. 6: Sumarizace analýzy délky radioreléového spoje

Podíl případů, kdy RR spoj dosahuje délky z uvedeného intervalu	aglomerace	město	venkov	suma
délka spoje 1 km a nižší	30%	18%	1%	15%
délka spoje vyšší než 1 km ale nižší než 2 km včetně	31%	20%	8%	19%
délka spoje vyšší než 2 km ale nižší než 4 km včetně	26%	22%	16%	21%
délka spoje vyšší než 4 km	13%	40%	75%	44%

Na základě předchozí analýzy provedené v kapitole 4.2.6 lze shrnout potenciál spojů provozovaných v pásmu 80 GHz, které dokáží poskytnout rychlosti 1 Gbit/s a více. Pro zjednodušení byly zvoleny dvě hodnoty intenzity srážek (v nižší a vyšší oblasti škály).

Tab. 7: Sumarizace překlenutelných vzdáleností spojů v pásmu 80 GHz

Limity vzdálenosti pro určitou dostupnost RR spoje 80 GHz	99,90%	99,95%	99,99%
intenzita srážek 63 mm/hod	3 km	2 km	1 km
intenzita srážek 19 mm/hod	5 km	4 km	2,3 km

Za limitní vzdálenost pro spoje v pásmu 80 GHz lze považovat délku 4 km. Spoje nad 4 km jsou rizikové z hlediska nemožnosti splnit požadavky na přenosovou kapacitu, protože musí být realizovány spojením v nižším kmitočtovém pásmu s nižší šířkou pásma, nebo spojením s menším počtem stavů modulace, v obou případech s přenosovou rychlostí nesplňující prognózu rozvoje sítě.

Do rizikové kategorie jsou zahrnuty všechny případy topologických stromů (od 2 společně připojených základnových stanic). Z těchto východisek vychází procentuální podíly rizikových základnových stanic.

Tab. 8: Odhad podílu základnových stanic, které v horizontu 2 let nemusí mít dostatečnou přenosovou kapacitu realizovanou radioreléovým spojením

Rizikové základnové stanice - nedostatečná konektivita	aglomerace	město	venkov
Podíl připojených RR spojem (bez 80 GHz)	49%	55%	73%
Podíl skupinově připojených stanic (bez individuálních sp)	28%	43%	46%
Podíl z celkového počtu základnových stanic	14%	23%	34%
Podíl případů, kdy je riziko delšího spoje než 4 km	2%	9%	25%

Podíl rizikových spojů v aglomeracích a městech je relativně malý (a může být řešen cíleným vybudováním optických spojů či úpravou topologie tak, aby se dosáhlo vyhovujících překlenutelných vzdáleností).

Podíl rizikových spojů na venkově je relativně velký a indikuje nedostatečnou kapacitu, která může omezit rozvoj vysokorychlostních služeb mobilních sítí v tomto typu oblasti. Určitým dočasným řešením je použití výše zmíněných kombinovaných spojů Dual-Band, kde se kombinuje pásmo 80 GHz

(poskytuje vysokou rychlost) s pásmem 18–38 GHz (poskytuje vysokou dostupnost) s překlenutelnou vzdáleností až 7 km [3].

5.2.3 Zajištění kapacitních požadavků v delším časovém horizontu

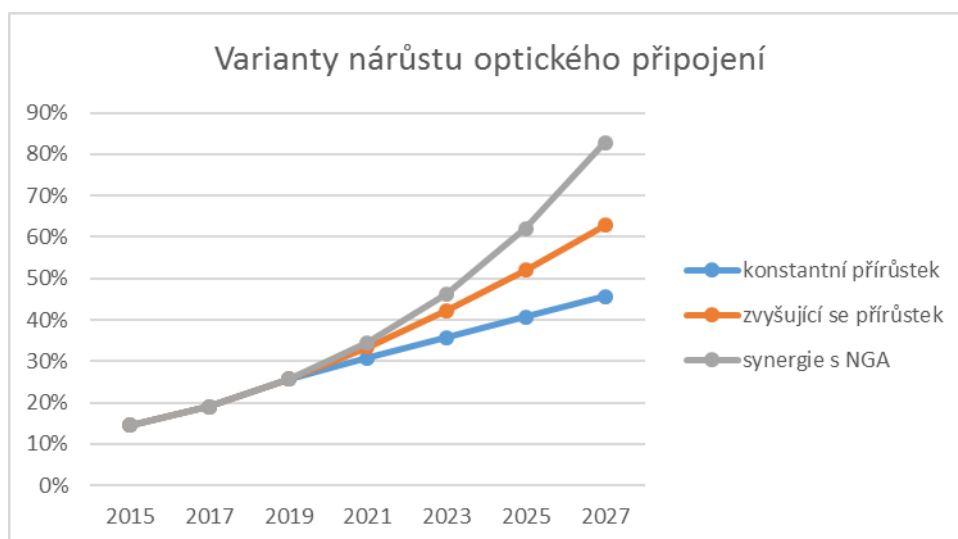
S rozšiřováním kmitočtových pásem (LTE-A) a dále s nástupem 5G lze očekávat další nárůst požadavků na přenosovou kapacitu. Bude tedy nutno zajistit podstatný podíl opticky připojených základnových stanic, základnové stanice připojené radioreleovým spojem budou omezeny na jeden skok (individuálně připojené základnové stanice na optický backhaul) a radioreleové spoje budou muset disponovat velkou šířkou pásma (násobky 250 MHz), což dnes splňují jen spoje v pásmu 80 GHz, které budou omezeny na překlenutelnou vzdálenost max. 4 km (ideálně do 2 km).

Následující tabulka uvádí ve dvou variantách prognózu připojování základnových stanic pomocí optických vláken (vlastní vlákna, pronajatá vlákna a vlnové délky) na základě údajů z roku 2015, 2017 a výhledu na 2 roky.

Tab. 9: Odhad vývoje podílu základnových stanic připojených optickými vlákny

Očekávaný nárůst podílu optických vláken		2015	2017	2019	2021	2023	2025	2027
	konstantní přírůstek	14%	19%	26%	31%	36%	41%	46%
	zvyšující se přírůstek	14%	19%	26%	33%	42%	52%	63%
	synergie s NGA	14%	19%	26%	34%	46%	62%	83%

Za pravděpodobnější lze považovat druhou variantu se zvyšujícím se přírůstkem, která může být ještě umocněna v důsledku budování infrastruktury pro síť NGA a v důsledku aplikace „Zákona o opatřeních ke snížení nákladů na zavádění vysokorychlostních sítí elektronických komunikací“. Pokud budeme uvažovat i tuto skutečnost, můžeme dospět k variantám extrapolace dle následujícího grafu.



Obr. 5 – Varianty nárůstu podílu optického připojení mobilního backhaul

V každém případě rozvoj mobilních sítí vyžaduje investice i do rozvoje backhaul spočívající v zásadním navýšování podílu optických vláken, podílu spojů v pásmu 80 GHz a vyžaduje postupnou změnu topologie od stromové struktury ke struktuře základního optického backhaul (základnové stanice připojené přímo na optickou síť) s individuálními radioreleovými spoji.

6 Souhrn

Přehled současných technologií v mobilním backhaul s uvedením současného podílu i podílu ve výhledu 2 let uvádí souhrnná tabulka v kapitole 4.1 zpracovaná na základě vyhodnocení dotazníků od operátorů.

Dále byl na základě dotazníků zpracován odhad vývoje kapacitních požadavků pro různé časové horizonty a typové oblasti. Z grafu uvedeného v kapitole 5.2.1 je zřejmé, že již nyní požadavky překračují i pro nízký počet základnových stanic napojených společným kmenovým spojem hranici 1 Gbit/s a v delších časových horizontech budou vyžadovat rychlosti kolem 5 a 10 Gbit/s, což je dáno zejména přidáváním dalších kmityčtových pásem (vrstev) v přístupové části mobilní sítě. Lze také konstatovat, že z kalkulace nevycházejí příliš rozdílné výsledky pro různé typy oblastí (aglomerace, města, venkov), takže cílové řešení bude muset být zajištěno technologiemi s obdobnými vlastnostmi pro všechny typy oblastí.

V návaznosti na to a na další provedené rozborů uvádíme přehled technologií, které lze považovat za perspektivní pro využití jako mobilní backhaul a které podle našeho názoru jsou schopny vyhovět požadavkům nárůstu provozu:

- Optická jednovláknová vlákna s technologií Ethernet s rychlostí 1 Gbit/s či vyšší (případně v dobíhajících systémech STM-1 až STM-64 s rychlostí 10 Gbit/s) provozovaná v režimech:
 - dvouvláknový nebo jednovláknový spoj bod-bod na vlastním či pronajatém vlákně;
 - s vícenásobným využitím - vlnový multiplex CWDM (příp. DWDM) – pronájem vlnové délky v multiplexu;
 - pronajatý okruh realizovaný multiplexním systémem vyššího řádu (SDH, OTH, MPLS VPN, Ethernet VLAN).
- Širokopásmové radioreleové spoje (šířka kanálu nad 100 MHz, perspektivně v násobcích 250 MHz, typicky v pásmu 80 GHz) s mnohastavovými modulacemi (64-QAM, 256-QAM, perspektivně až 4096-QAM, za cenu enormního požadavku na SNR a tím i relativně krátkou překlenutelnou vzdáleností několik málo jednotek km) a pokročilým kanálovým kódováním (případně s přenosem s dvojí polarizací a MIMO).
- Alternativně je pak možno využít prostředky širokopásmových fixních přístupových sítí, jako jsou:
 - metalické přípojky VDSL2 s více vedeními (bonding) a potlačováním přeslechů (Vectoring) – rychlosti podle počtu vedení a vzdálenosti v násobcích $n \times 100$ až 250 Mbit/s ve směru downlink;
 - pasivní optické sítě XG-PON, 10G-EPON (očekávaná synergie s budováním sítí NGA);
 - pronajatá kapacita (pronajaté okruhy) s rychlostmi 1 Gbit/s a výše realizovaná jinou, výše nezmíněnou technologií.

Nejperspektivnější je bezesporu realizace backhaul pomocí optických vláken. Rozvoj optického připojení bude podle našeho názoru umožněn v synergii s budováním sítí NGA. V koncových úsecích přípojné sítě, kde není ekonomické budování optické infrastruktury (kopce, odlehlá místa, koncové BTS topologie stromu) budou nadále používány radioreleové spoje, které mohou zajistit komunikaci až rychlostí 1 Gbit/s, případně 10 Gbit/s (v pásmech s násobky 250 MHz). Dosažení takové rychlosti je ovšem spojeno s provedením upgrade současných technologií a se zkracováním dosahu typicky na 4 až 2 km.

6.1 Konvergence přípojné sítě pro fixní a mobilní sítě

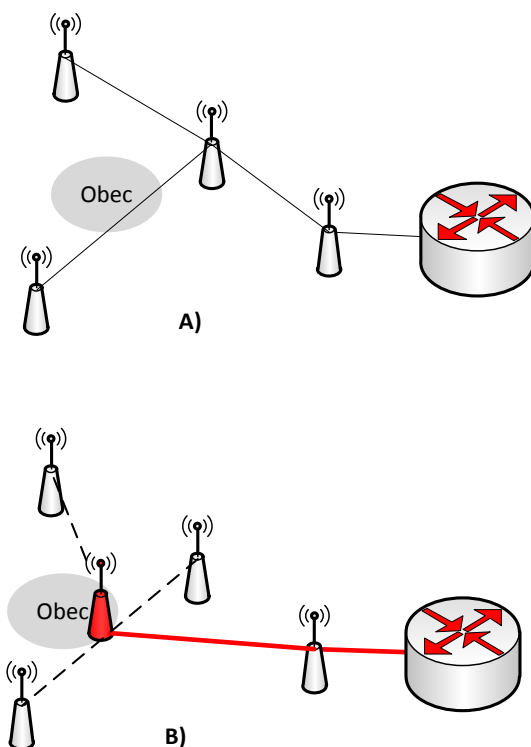
Vzhledem ke konvergenci sítí pro mobilní a fixní přístup (rozvoj fixního LTE, na druhé straně budování NGA) se zdá účelné nerozlišovat mobilní a fixní bachaul, a to zejména z těchto důvodů:

- Jak fixní síť (budování NGA, splnění požadavků rychlostí 30 a 100 Mbit/s do roku 2020), tak i mobilní síť (rozšiřování rychlostí a počtu pásem, přechod k LTE-A a 5G) vyžadují z kapacitních důvodů vybudování přípojné sítě primárně na optických vláknech.
- Část potřeb na fixní připojení bude realizováno prostřednictvím radiových sítí (FWA - Fixed Wireless Access, přechod z technologie WiMAX na fixní LTE), zejména v pásmu 2,6 GHz, dále pak 3,7 GHz (připravovaná aukce) a následně 3,5 GHz.
- Lze předpokládat, že při provozování FWA/fixního LTE bude využito velké procento existujících základnových stanic, které tak budou na společném backhaul připojení provozovat jak fixní, tak mobilní přístup.
- Společné budování, rozvíjení a provozování jednotné přípojné sítě je v souladu se zájmem EK a státu na snížení nákladů a usnadnění budování vysokorychlostních sítí přístupu k Internetu.

Rozvoj NGA ať už na základě investičních záměrů operátorů, tak s podporou dotačního programu OP PIK „Vysokorychlostní internet“ povede k rozšíření optické sítě, kterou bude možno využít i k připojování základnových stanic. V dalších výzvách dotačního programu by z tohoto úhlu pohledu bylo žádoucí, aby se jasně deklaroval zájem budovat optický backhaul i za účelem připojení základnových stanic, které budou využity pro fixní radiový přístup.

Dalším impulsem pro budování optických přípojných sítí by měl být „Zákon o opatřeních ke snížení nákladů na zavádění vysokorychlostních sítí elektronických komunikací“ a případné využití synergie s venkovními energetickými vedeními, zejména na hladině VN a NN. Zde je možné využít závěsných optických dielektrických kabelů, čímž lze ušetřit náklady oproti pokládce kabelů do země, případně využít sdílení kabelů, které budou pravděpodobně distribuční společnosti instalovat pro rozvoj komunikačních sítí pro podporu distribuce energie (rozvoj inteligentních energetických sítí Smart Grid). Dále lze očekávat, že dojde ke změně topologie sítě vyvolaná nárůstem požadavků na přenosovou kapacitu (zahušťování sítě, instalace základnových stanic blíže obytným oblastem) a zkracováním dosahu radioreléových spojů v pásmu 80 GHz (z délek přes 10 km u jiných pásem na délky jen několik málo km).

Příklad jednoho z elementárních možných případů uvádí následující schéma.



Obr. 6 – Příklad změny topologie přípojné sítě, A – původní stav, B – nový stav

V tomto příkladu – některé původní radioreleové spoje budou nahrazeny optickým připojením (zobrazeno červeně). Pro pokrytí fixním bezdrátovým (a částečně také plně optickým FTTH, FTTC) přístupem bude dovedena optická konektivita do obce a bude vystavěna nová základnová stanice (zobrazena červeně) pro fixní LTE. Ta poskytne možnost okolní základnové stanice, nadále sloužící primárně pro mobilní službu, připojit radioreleovými spoji s nižší délkou k optické síti.

7 Odkazy

- [1] „Guidelines for LTE Backhaul Traffic Estimation“. A White Paper by the NGMN Alliance. Next Generation Mobile Networks Alliance. July 2011.
- [2] „MINI-LINK 6352“. Technical Presentation. Ericsson, 2016.
- [3] Getmančuk, M.: „Rádioreléové spoje v pásmu 80 GHz v mobilní komunikaci“. Konference Radiokomunikace, 2016.
- [4] Tisková zpráva - <https://www.t-press.cz/cs/tiskove-materialy/tiskove-zpravy-t-mobile/t-mobile-se-chysta-na-5g-postavil-prvni-radiovou-linku-s-kapacitou-10-gbit-s.html>
- [5] „Fixed networks for mobile backhaul. The FTTx infrastructure that enables advancements in the Radio Access Network“. Application note. NOKIA 2016.