



6G, ÚSPĚCHY SUDÝCH RELEASESŮ

T-MOBILE CZECH REPUBLIC

MARTIN PIŠTĚK



LIFE IS FOR SHARING.

OBSAH

01 Historie a budoucnost mobilních sítí

02 Porovnání generací mobilních sítí

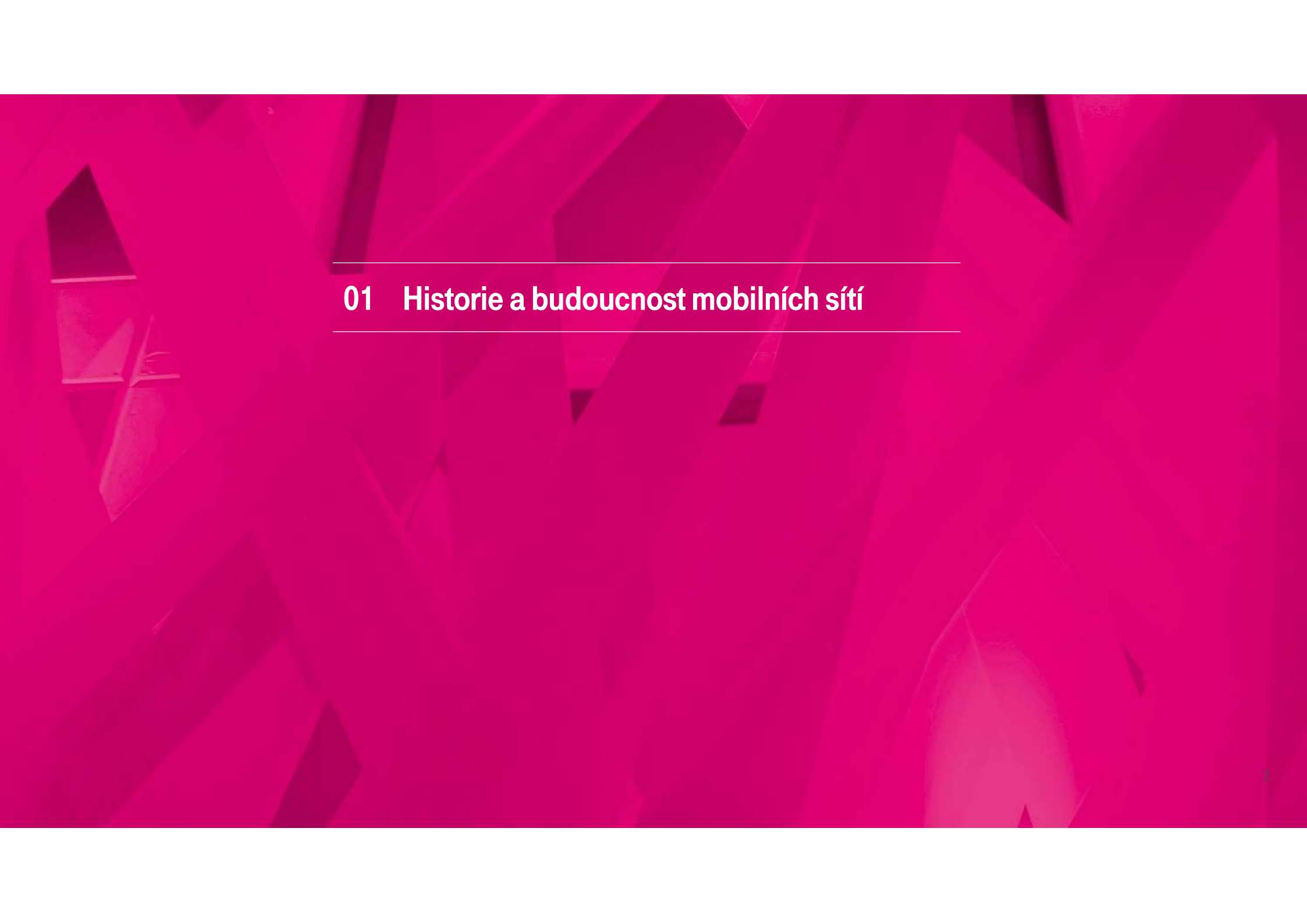
03 Pokrytí mobilních sítí v čase

04 Porovnání výkonu mobilních sítí v čase

05 Srovnání generací mobilních sítí

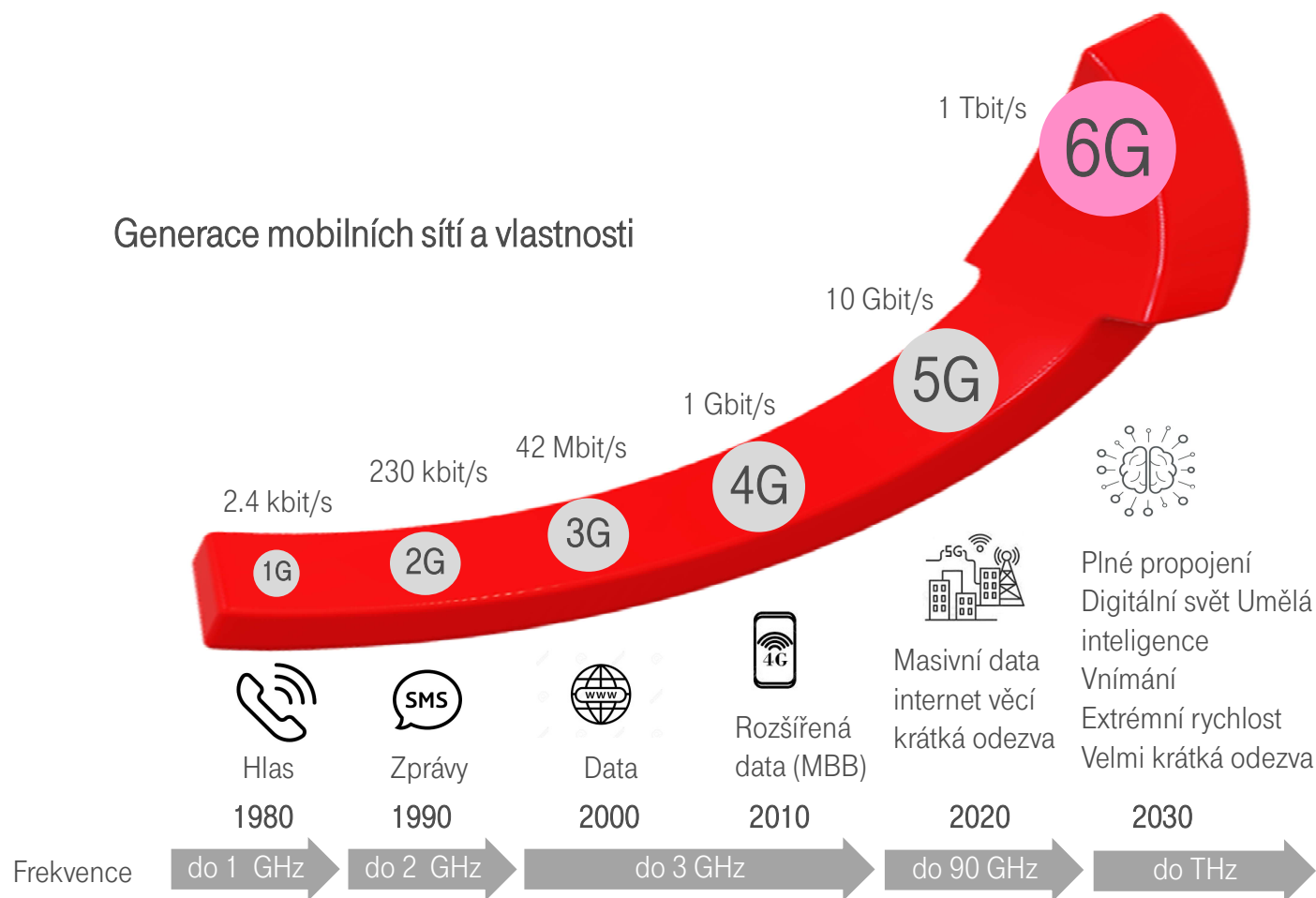
06 Vývoj 5G a 6G sítí

07 Závěr



01 Historie a budoucnost mobilních sítí

HISTORIE A BUDOUCNOST MOBILNÍCH SÍTÍ

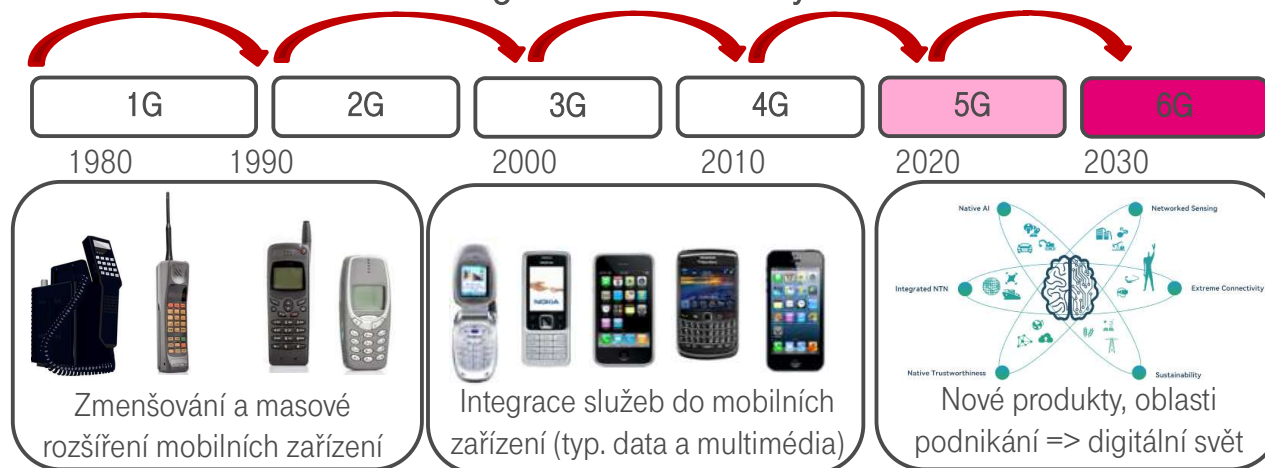


TECHNOLOGICÁ EVOLUCE

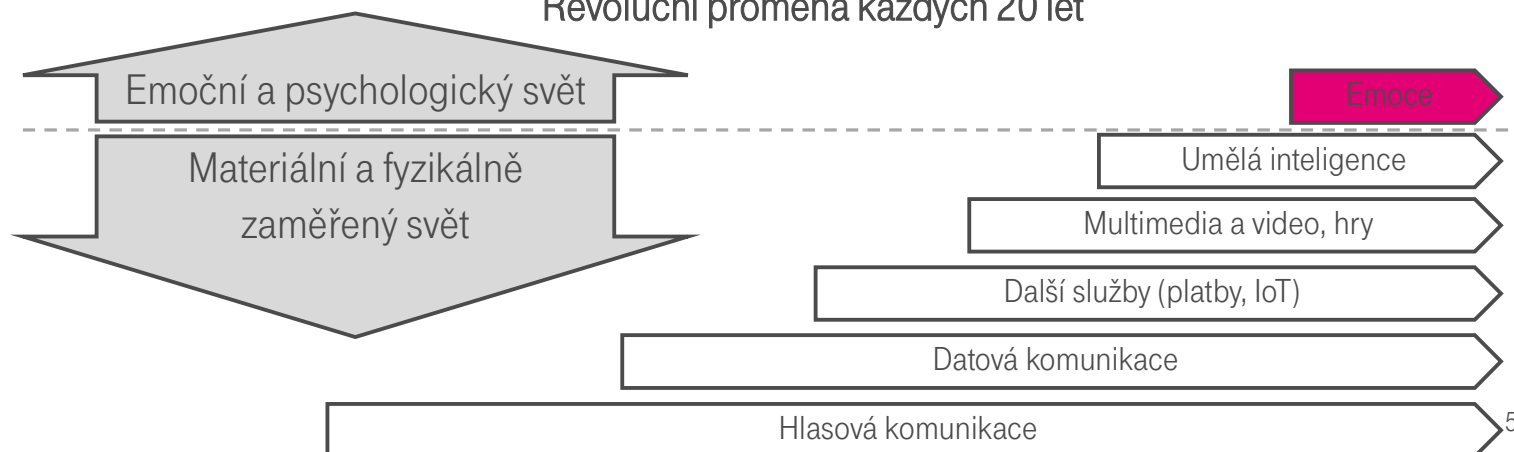
Rozvoj sítí

- Zmenšování zařízení
- Zvyšování kvality služeb
- Zvyšování rychlosti a kapacity sítí
- Rozšíření pokrytí
- Rozšiřování frekvenčního pásma
- Integrace nových služeb
- Decentralizace a Cloud Computing
- Snižování odezvy
- Snižování energetické náročnosti (udržitelnost)
- Průmyslové aplikace
- Chytré senzory (IoT)
- Přesné lokační služby
- Automatizace
- Robotizace
- Přímá komunikace (V2X, D2D)
- Zvyšování bezpečnosti
- Rozšířená realita
- Virtuální realita
- Umělá inteligence (strojové učení)
- Vnímání
- Pocity a emoce

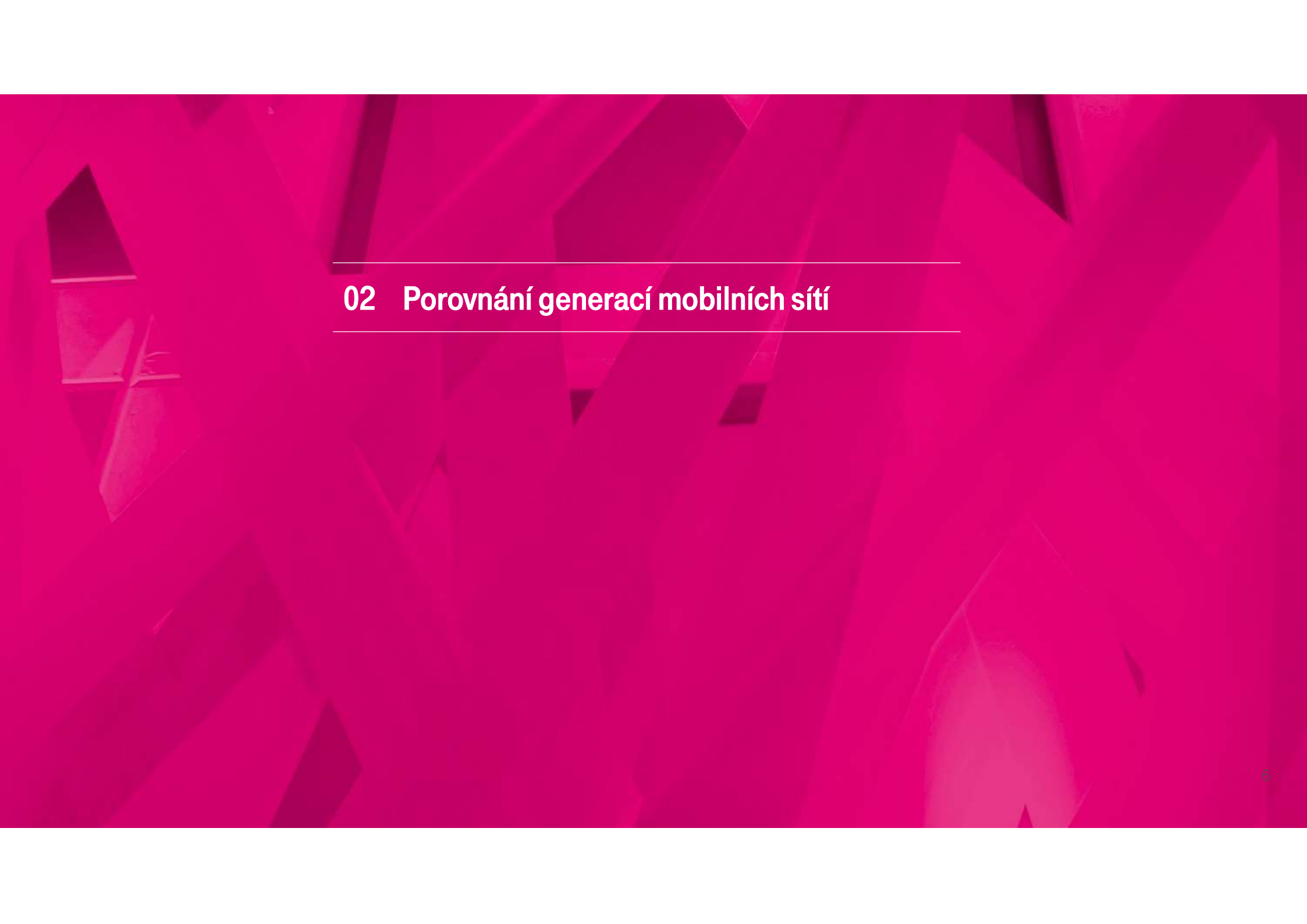
Technologická evoluce každých 10 let



Revoluční proměna každých 20 let



LIFE IS FOR SHARING.



02 Porovnání generací mobilních sítí

POROVNÁNÍ GENERACÍ MOBILNÍCH SÍTÍ

Porovnání data uvedení a prvního komerčního nasazení dané generace mobilní sítě v ČR (od jakéhokoliv operátora)

Standardizace	Generace	Datum uvedení	Nasazení v ČR	Standard	Release	Technologie	Služba	Přenosová rychlost přijímání (DL maximální)	Přenosová rychlost odesílání (UL maximální)
7 let	1G	1980	1991	NMT	TIA-EIA 95	FDMA	Hlas	2.4 kbit/s (CSD)	2.4 kbit/s (CSD)
15 let	2G	1990	1996	GSM	CDMAOne	TDMA	Hlas + SMS + Data (mobilní internet)	14.4 kbit/s (CSD)	14.4 kbit/s (CSD)
	2.5G		2000	GPRS	Rel. 97			80 kbit/s	40 kbit/s
	2.75G		2004	EDGE	Rel. 98			236.8 kbit/s	118.4 kbit/s
9 let	3G	2000	2005	UMTS	Rel. 99	W-CDMA		384 kbit/s	384 kbit/s
	3.5G		2006	HSPA	Rel. 5&6			14.4 Mbit/s	5.76 Mbit/s
	3.75G		2010	HSPA+	Rel. 7			42 Mbit/s	11.5 Mbit/s
5 let	3.9G	2010	2013	LTE	Rel. 8&9	OFDM		300 Mbit/s	75 Mbit/s
	4G		2015	LTE-A	Rel. 10-12			1 Gbit/s	150 Mbit/s
	4.5G		2018	LTE-A Pro	Rel. 13&14			3 Gbit/s	1.5 Gbit/s
5 let?	5G	2020	2020	NR (NSA, SA)	Rel. 15 a dále	OFDM		20 Gbit/s	10 Gbit/s
	6G	2030	n.a.	n.a.	n.a.	OFDM	Hlas + Data	1 Tbit/s	10 Gbit/s



LIFE IS FOR SHARING.

POROVNÁNÍ GENERACÍ MOBILNÍCH SÍTÍ

Parametr	1991 1G	1996 2G	2005 3G	2013 4G	2020 5G	2030 6G
Max. DL rychlost (teoretická)	2.4 kbit/s	473.6 kbit/s	42 Mbit/s	3 Gbit/s	20 Gbit/s	1 Tbit/s
Průměrná DL rychlost (praktická)	2 kbit/s	50 kbit/s	8 Mbit/s	100 Mbit/s	300 Mbit/s	1 Gbit/s
Max. UL rychlost (teoretická)	2.4 kbit/s	473.6 kbit/s	11.5 Mbit/s	1.5 Gbit/s	10 Gbit/s	10 Gbit/s
Průměrná UL rychlost (praktická)	2 kbit/s	50 kbit/s	2 Mbit/s	50 Mbit/s	100 Mbit/s	1 Gbit/s
E2E odezva (uRLLC)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1 ms	0.1 ms
E2E odezva (praktická)	1000 ms	600 ms	120 ms	30 ms	10 ms	1 ms
Spolehlivost	n.a.	99%	99.9%	99.99%	99.999%	99.99999%
Hustota zařízení	n.a.	n.a.	n.a.	10 ⁵ zařízení/km ²	10 ⁶ zařízení/km ²	10 ⁷ zařízení/km ²
Rychlost pohybu	n.a.	150 km/h	300 km/h	350 km/h	500 km/h	1000 km/h

Primárně pro hlasové služby

Opravdové datové sítě
Převyšuje požadavek na datové služby

Rychlost stahování 3 GB souboru	139 dnů	5.5 dne	50 minut	4 minuty	1.5 minuty	24 sekund
---------------------------------	---------	---------	----------	----------	------------	-----------



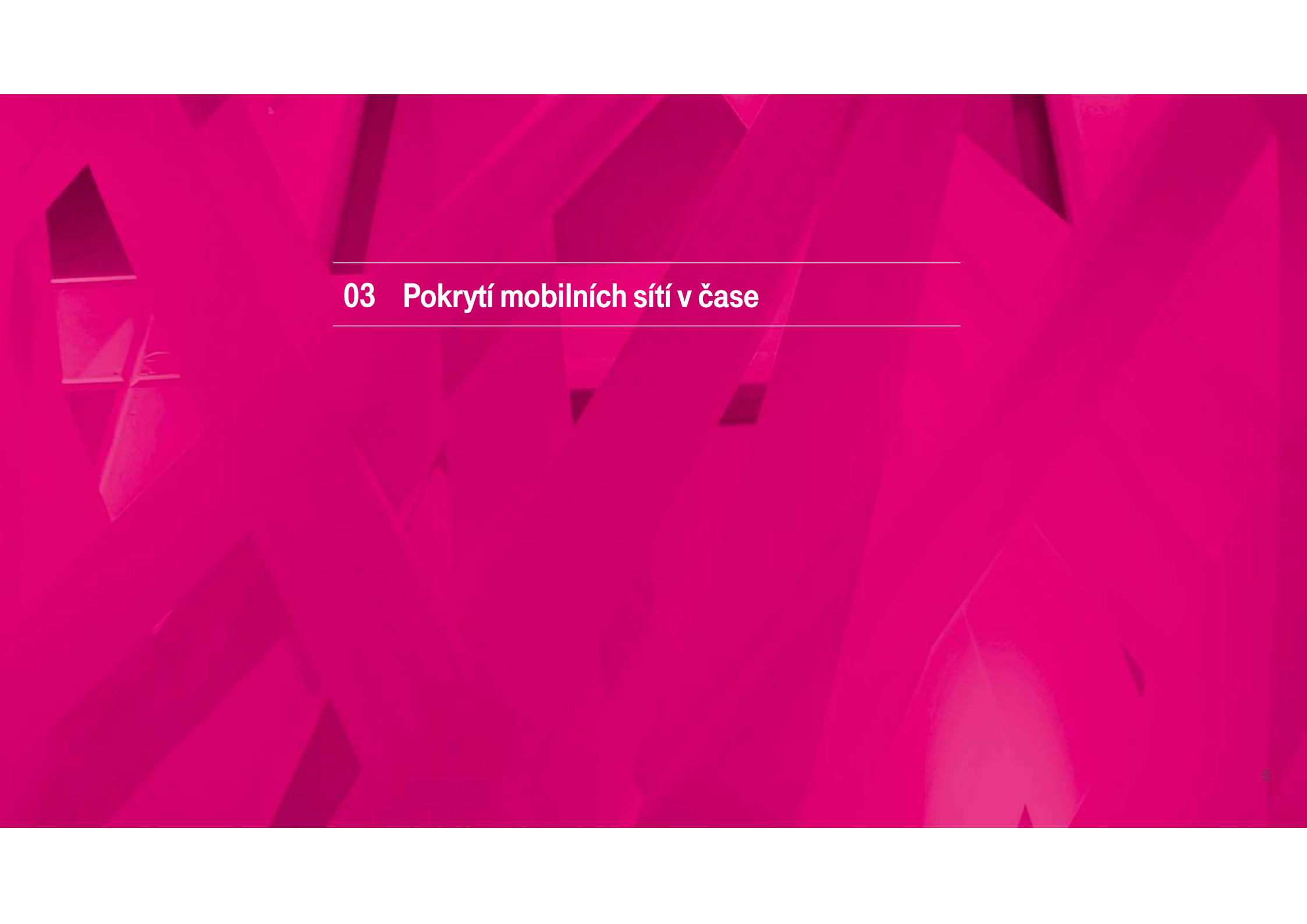
LIFE IS FOR SHARING.

Požadavky aplikací na přenosovou rychlost

- 3G síť byla první síť splňující požadavky na sledování videa
- Aktuálně jakákoli 4G síť splňuje požadavky na sledování videa ve vyšším rozlišení (v závislosti na vytížení sítě a rádiových podmínkách)
- 5G přináší zlepšení parametrů 4G a v SA podporu služeb a jejich prioritizace (network slicing)

6G přinese zásadní posun umožňující hmatovou odezvu, virtuální realitu a holografické přenosy (TB)

Aktivita	Min. přenosová rychlost DL (UL)	Minimální odezva
Skype/WhatsApp hovor	0.1 Mbit/s	
Skype video hovor	0.5 (0.5) Mbit/s	
Skype video hovor (HD)	1.5 Mbit/s	
Poslech online rádia	0.2 Mbit/s	
Sledování internetu	10 (10) Mbit/s	
Hraní online her	5 (1) Mbit/s	50 ms
Streamování	15 Mbit/s	50 ms
Sledování YouTube videa (základní kvalita)	0.5 Mbit/s	
Sledování YouTube videa (720p HD kvalita)	2.5 Mbit/s	
Sledování YouTube videa (1080p HD kvalita)	4 Mbit/s	
Sledování iPlayer/Netflix (standardní rozlišení)	1.5 Mbit/s	150 ms
Sledování iPlayer/Netflix (vysoké rozlišení)	5 Mbit/s	150 ms
Sledování iPlayer/Netflix (4K UHD)	25 Mbit/s	150 ms



03 Pokrytí mobilních sítí v čase

ZAVÁDĚNÍ NOVÝCH SÍTÍ

Motivace zavádění nových sítí

- ✓ Zlepšit výkon stávajících sítí (rychlost a kapacitu)
- ✓ Zvýšit dostupnost (pokrytí) sítí
- ✓ Zlepšit efektivitu a zákaznickou zkušenost

Konec rozvoje 3G sítě

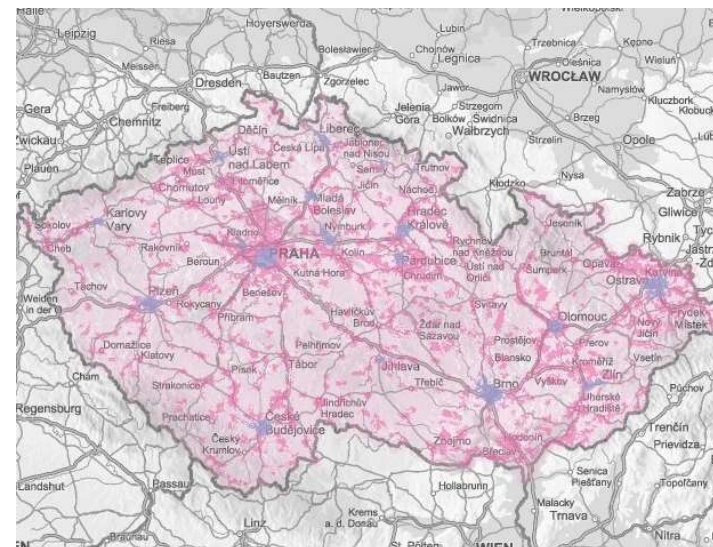
- Od roku 2013 se ukončil rozvoj a pokrytí 3G sítě
- Dosáhlo se maximálně 50% pokrytí území (např. Německo až 99% území)
- Nákladné celoplošné pokrytí na kmitočtu 2100 MHz
- Nedošlo k úplnému využití celého přiděleného pásma (4x5MHz), tedy až 84 Mbit/s
- Nedostatečná rozvojová kritéria sítí 3G v rámci licenčních podmínek

Zavádění LTE sítě (pre-4G)

- Spouštění začalo v roce 2013 ještě na kmitočtech určených pro GSM (1800 MHz)
 - 19.6.2012 Telefonika (v Praze)
 - 1.7.2013 Vodafone (v K. Varech, 10.12.2013 - 900 MHz)
 - 1.10.2013 T-Mobile (v Praze)
- Urychlení rozvoje aukcí kmitočtů (hlavně 800 MHz), sdílení sítí (Telefonika a T-Mobile)
- Přínos mnoha vylepšení mimo jiné i hlasových služeb (VoLTE)
- Vyžaduje zcela novou architekturu sítě včetně jádra (EPC, IMS)
- Rozvojová kritéria 98% pokrytí území do 5 let

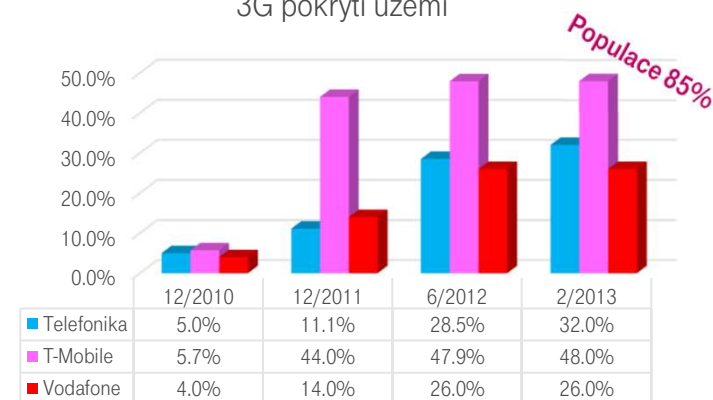
Pokrytí území k 31.10.2013 (T-Mobile):

- 2G EDGE (236,6 kbit/s)
- 3G HSPA+ (21 Mbit/s)
- 3G HSPA+ DC (42 Mbit/s)



Zdroj: T-Mobile

3G pokrytí území



Zdroj: ČTU

VYPÍNÁNÍ 3G SÍTĚ

Vypínání sítě má za cíl

- ✓ Uvolnit místo pro nové sítě
- ✓ Zvýšit efektivitu a zákaznickou zkušenost
- ✓ Snížit složitosti (komplexita mobility)
- ✓ Zlepšit energetickou náročnost

Jako první vypnul 3G síť Vodafone 31.3.2021

Následovalo O2 a to postupně od 31.5.2021

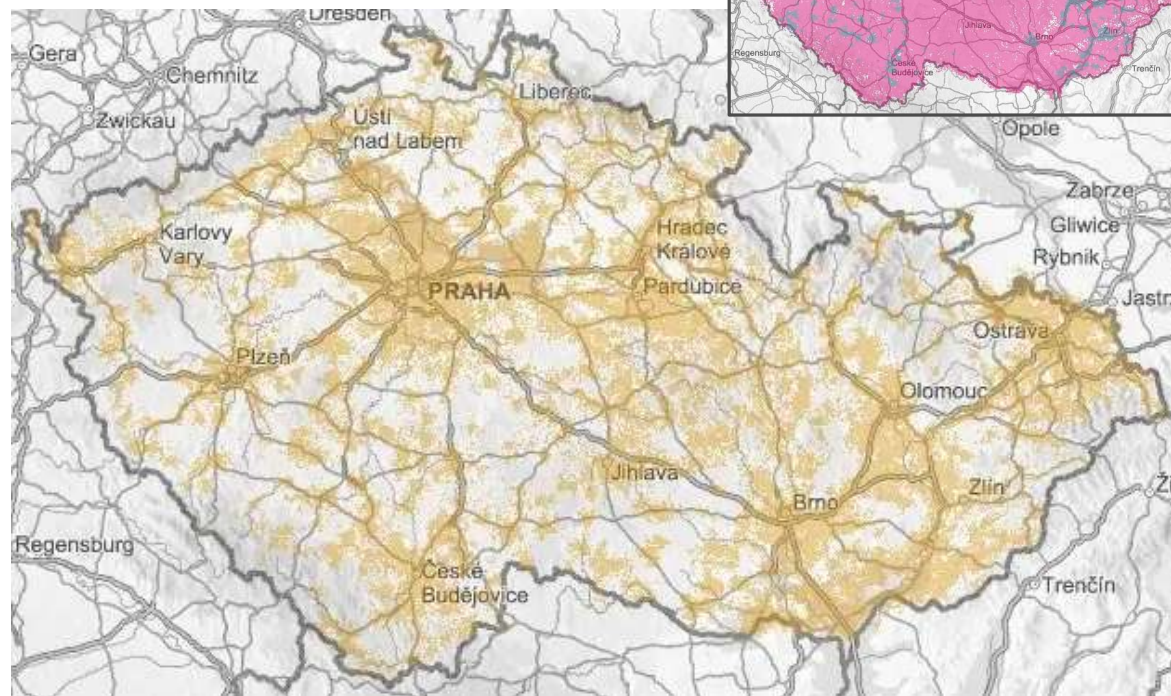
Poslední se s 3G rozloučil T-Mobile **30.11.2021**
(provozoval ji od 9.12.2009)

Doba dostupnosti 3G pro rozvoj sítě byla mezi 12 až 16 lety, reálně se rozvíjely cca 4 roky (do roku 2013) dokud je postupně nenahradily 4G sítě

- Za tu dobu se rychlost 3G sítě zvýšila asi 100 násobně
- Pokrytí za sítěmi 2G a 4G zaostávalo
- 4G sítě jsou v České republice od roku 2014, cca polovinu doby 3G sítě a pokrytí území je bylo téměř poloviční



Pokrytí T-Mobile 3G v den vypnutí



Zdroj: T-Mobile

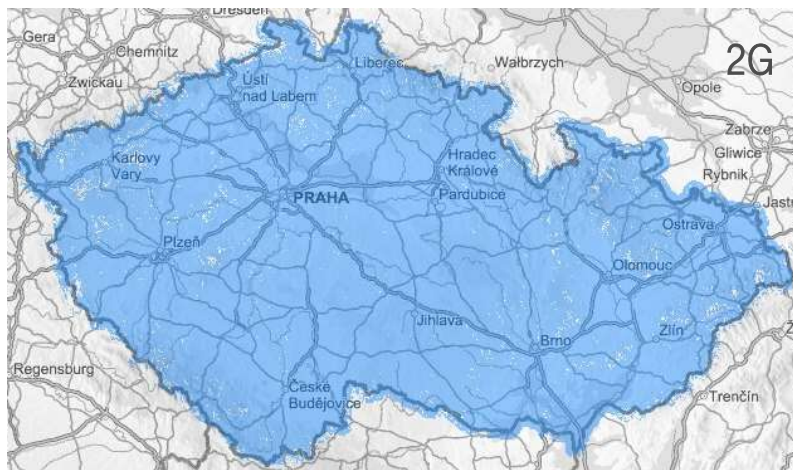
Pokrytí T-Mobile sítě k datu vypnutí 3G (30.11.2021):

	2G	3G	4G	5G
Populace venkovní:	99.92 %	86.49 %	99.2 %	17.8 %
Území venkovní:	98.03 %	51.70 %	92.0 %	2.03 %

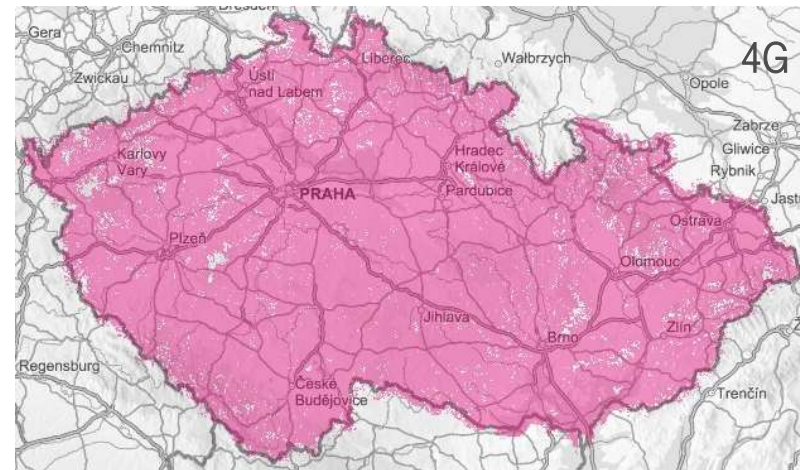
POKRYTÍ MOBILNÍCH SÍTÍ

Mobilní sítě 2G a 4G

- ✓ Pokrytí celoplošné
- ✓ Služby hlasové i datové
- ✓ 4G síť vícepásmová
- ✓ 2G síť nekooperuje s ostatními sítěmi jen zajišťuje nezbytnou mobilitu

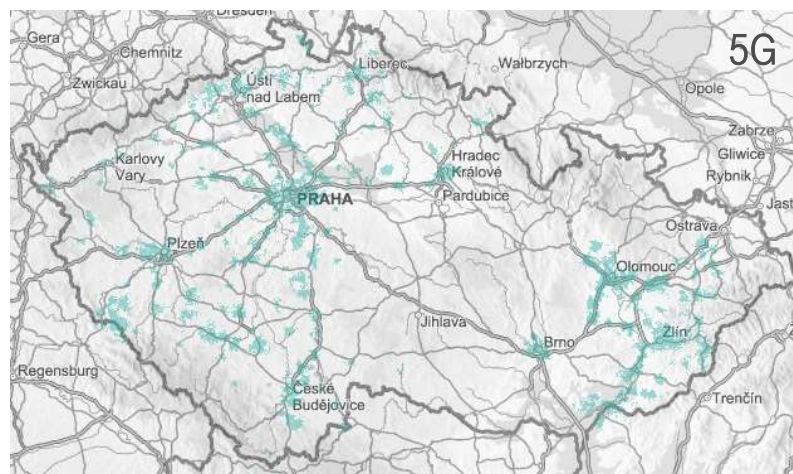


Pokrytí k 30.9.2022 (T-Mobile)	2G	4G	5G
Populace venkovní:	99.92 %	99.25 %	39.11 %
Území venkovní:	98.03 %	92 %	10.05 %



Současná mobilní síť 5G

- ✓ Pokrytí: nižší kmitočty ve standardu FDD
 - Výkon sítě v NSA obdobný jako 4G síť
- ✓ Kapacita: vyšší kmitočty ve standardu TDD
 - Výkon sítě v NSA přesahuje síť 4G
- ✓ Kooperace se sítí 4G a 5G (spojování pásem)
- ✓ Potenciál k dalšímu vývoji sítí (5.5G, budoucí 6G)



Budoucí 6G síť

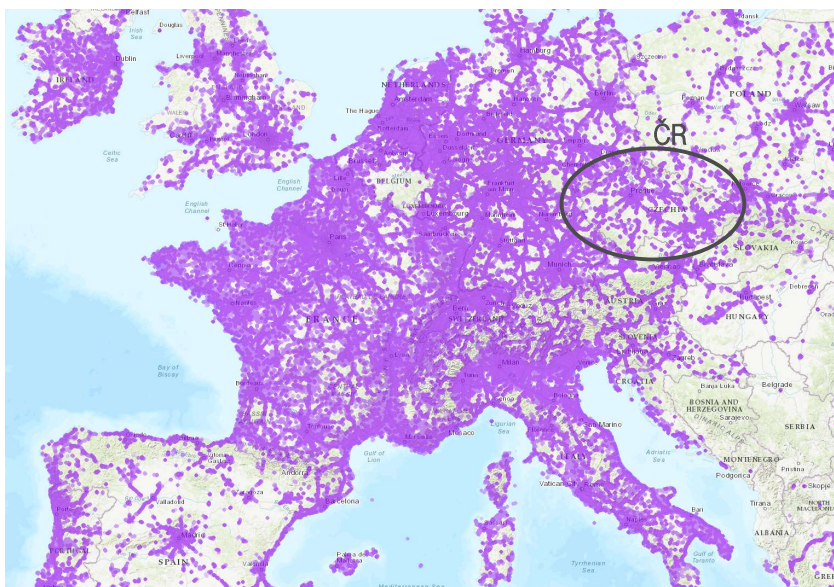
- ✓ Pokrytí ovlivněno použitím mmWave a mimo-pozemním vysíláním
- ✓ Větší důraz na pokrytí uvnitř budov
- ✓ Mezi síťová mobilita

POKRYTÍ MOBILNÍCH SÍTÍ Z MĚŘENÍ

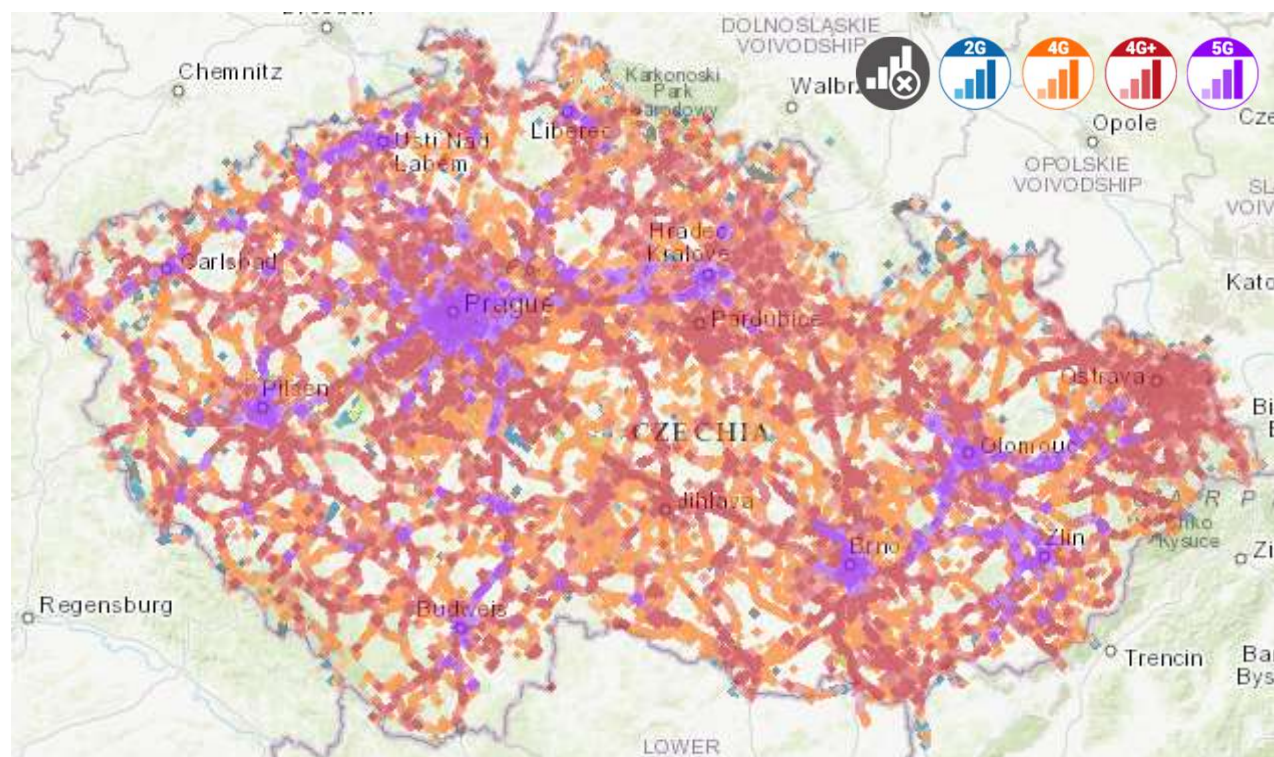
Měření pokrytí z uživatelských dat

- Data z aplikace nPerf
- Sbírána v období od 10.1.2020 do 16.10.2022
- Počet vzorků 10.5 mil.

Pokrytí 5G sítí ve střední Evropě



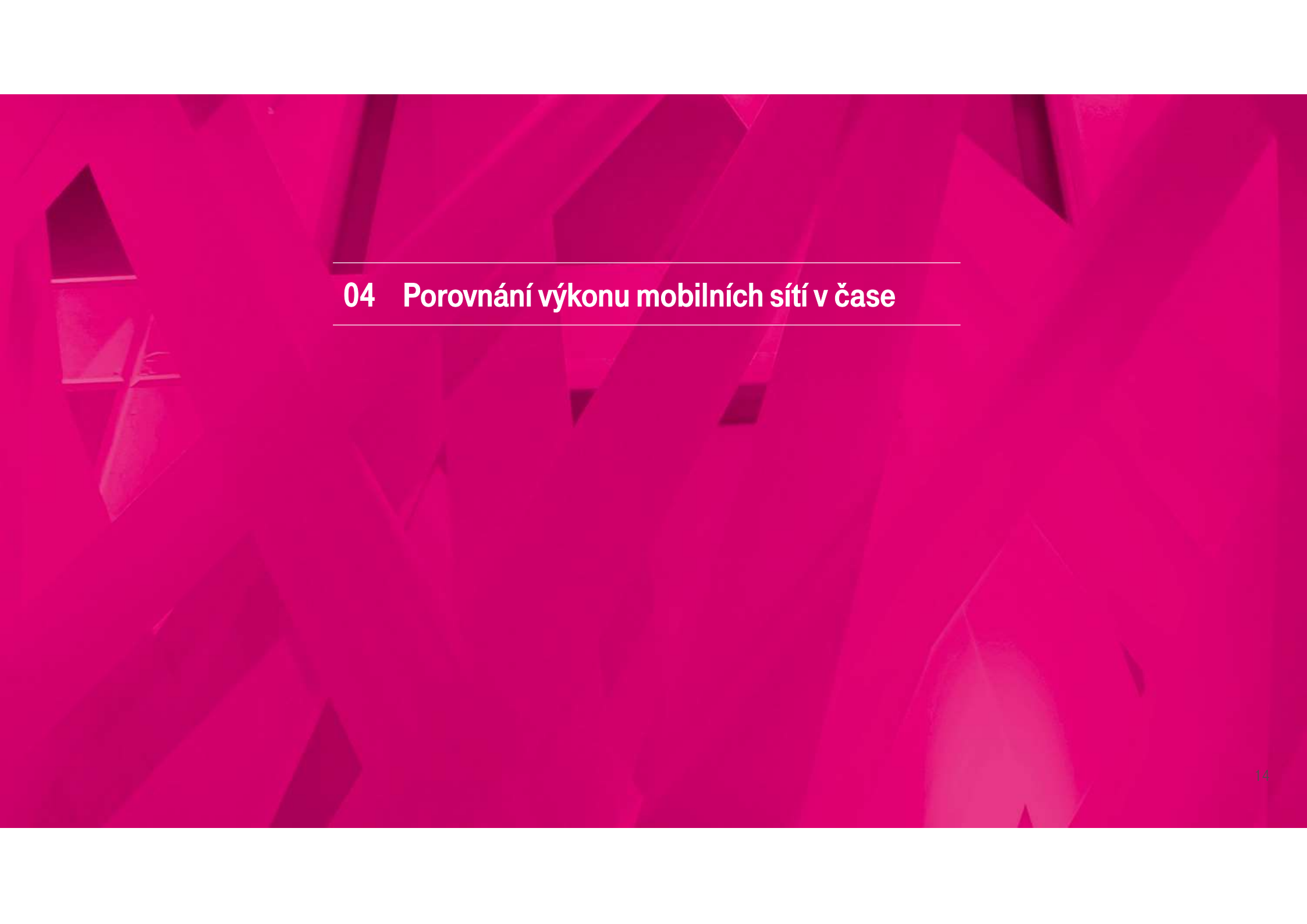
Pokrytí T-Mobile



Zdroj: <https://www.nperf.com/cs/map>



LIFE IS FOR SHARING.



04 Porovnání výkonu mobilních sítí v čase

POROVNÁNÍ VÝKONU MOBILNÍCH SÍTÍ V ČASE

Měřicí metoda a limitace

- Různá metodika poplatné dané době a vlastnostem měřené sítě (2G, 3G, 4G)
- Ovlivněno vlastnostmi uživatelských terminálů (podpora CA atp.)

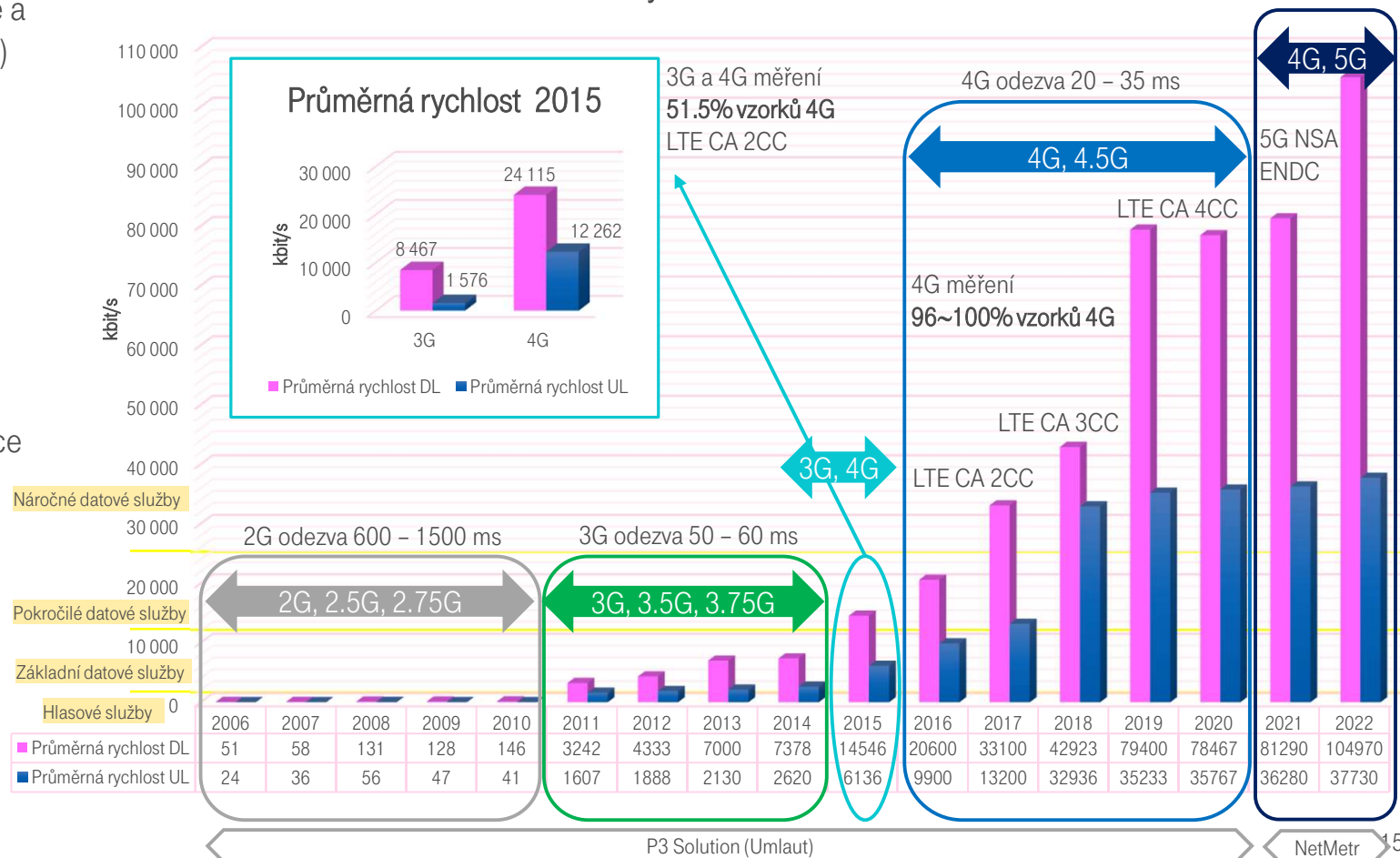
- Od roku 2019 hromadná data z aplikace chytrých telefonů:

- měřeno jako 90 percentil (P90) geografické oblasti 2x2 km (EA)
- měřeno uživateli po dobu týdnů
- krajská města, okresní města, sílice
- typické hodnoty P90 EA jsou:
 - **Stahování (DL): cca 30 Mbit/s**
(od 20 do 50 Mbit/s)
 - **Nahrávání (UL): cca 5 Mbit/s**
(od 2.5 do 7 Mbit/s)

Průměrná uživatelská rychlost stahování je **5.7 Mbit/s**

Průměrná rychlost 2006 - 2022

5G odezva 20 – 35 ms

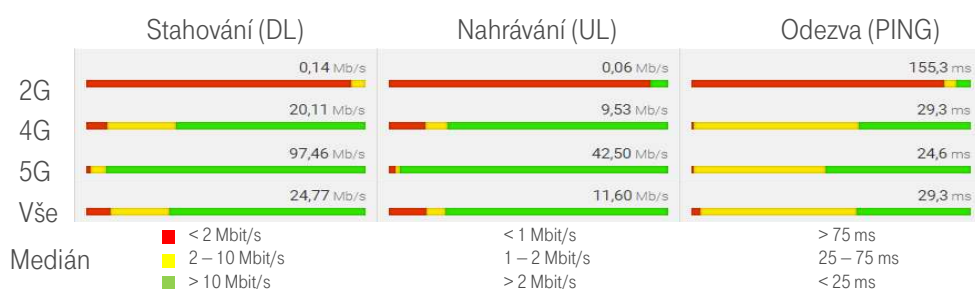


LIFE IS FOR SHARING.
Zdroj: T-Mobile, P3 Solution (Umlaut), DSL.cz, NetMetr.cz

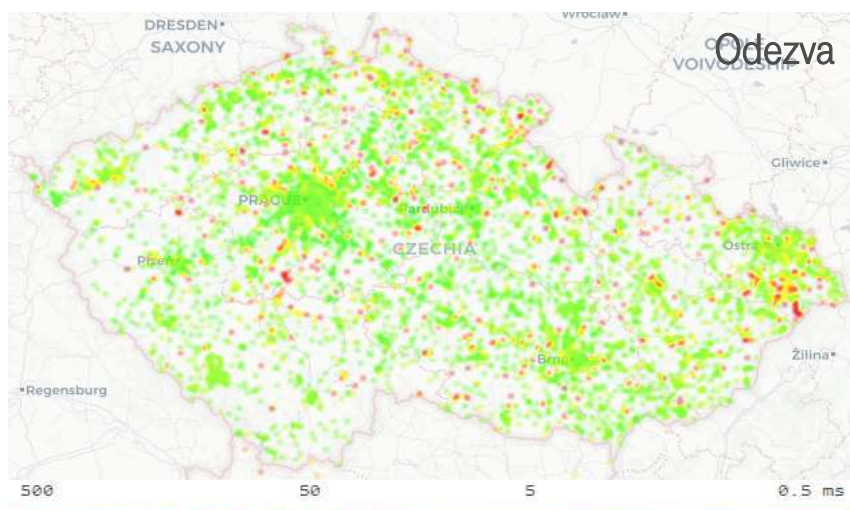
VÝKON MOBILNÍCH SÍTÍ Z MĚŘENÍ

Měření výkonu sítě z uživatelských dat sítě T-Mobile

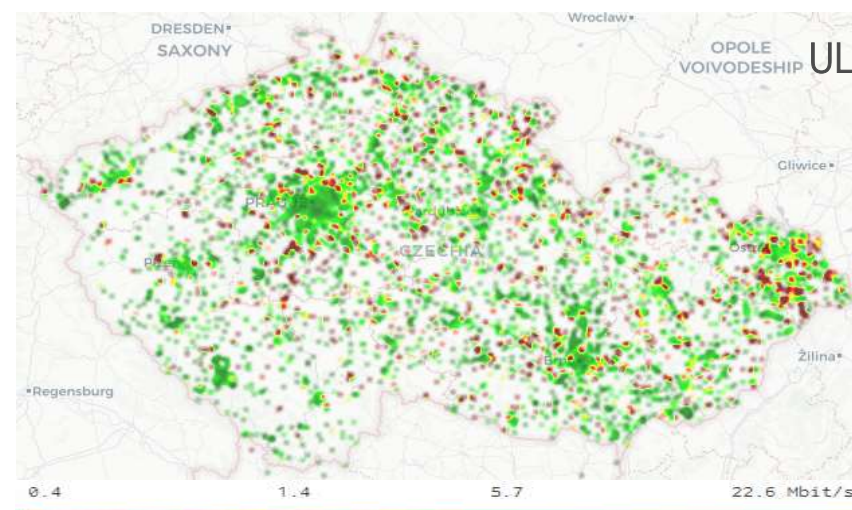
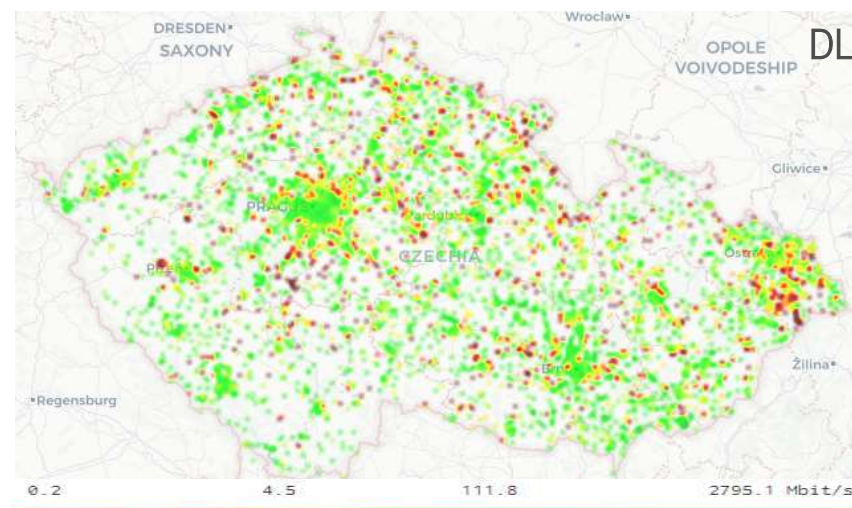
- Porovnání na základě aplikace NetMetr pod záštitou sdružení CZ.NIC
- Data za 6 měsíců (období 11/2021 – 4/2022)* celkem 4285 vzorků



Vzorky ze sítí
2G, 4G, 5G



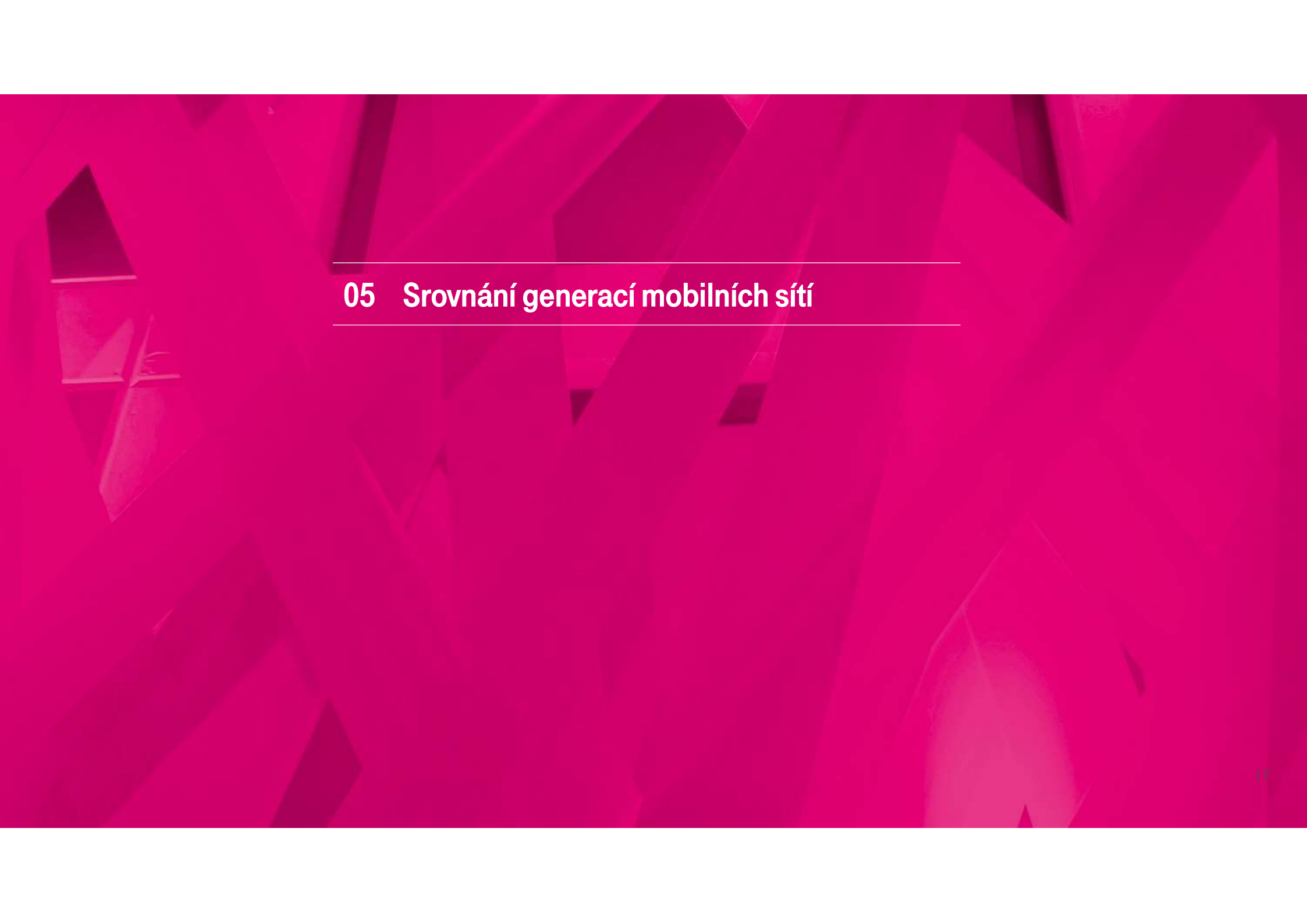
Odezva



LIFE IS FOR SHARING.

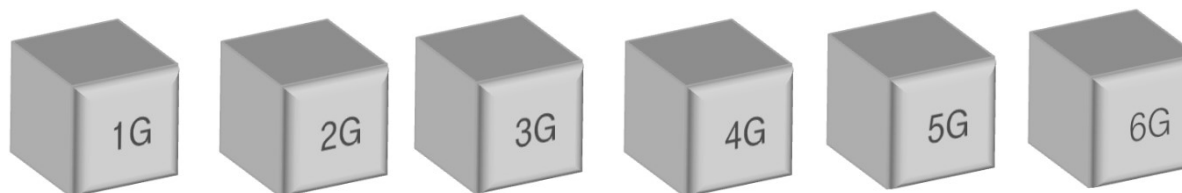
Poznámka: *projekt NetMetr byl k 30.4.2022 ukončen

Zdroj: <https://www.netmetr.cz/cs/mapa.html>



05 Srovnání generací mobilních sítí

SROVNÁNÍ RELEASEŮ



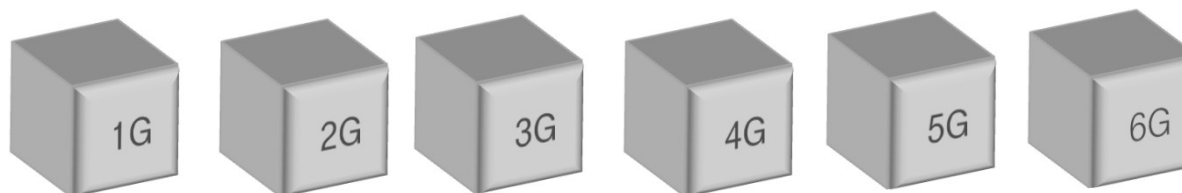
Hlavní přínosy jednotlivých generací mobilních sítí (releasů):

- 1G** vůbec první analogová komerční síť umožnila volnou komunikaci uživatelů ve formě hlasového hovoru
Neprosadila se kvůli nekompaktnosti zařízení a také ceně
- 2G** první digitální síť určená pro hlas a SMS, později doplněna o datovou nastavbu (GPRS/EDGE)
Tyto sítě stále fungují, mají největší pokrytí a proto jsou vrstva určená hlavně pro hlasové služby a jsou stále podporovány zařízeními
- 3G** je spojena hlavně s rozšířením internetu, mobilních aplikací, rozvojem smartphonů a vylepšením přenosové rychlosti
Nástup těchto sítí byl opožděn a pokrytí nedosahovalo pokrytí ostatních sítí, tyto sítě byly překonány a proto byly vypnuty
- 4G** zásadně vylepšila přenosové rychlosti umožňující využití multimediálních aplikací, sociálních sítí a streamování obsahu a tím umožnila například sledovat streamovaná videa či pracovat s větším objemem dat
Tyto sítě se nasadily velmi rychle a překonaly předchůdce v pokrytí, ale i svými parametry, zejména po zavedení LTE-A
- 5G** tyto sítě cílí nejen na přenosové rychlosti, ale vylepšují i další parametry (odezva, kapacita zařízení aj.) a proto mají uplatnění v nových oborech jako doprava, robotizace, internet věcí, které mají své specifické potřeby na způsob a parametry komunikace mezi uživateli
Tyto sítě se pomalu rozšiřují včetně pokrytí, ale stále se čeká na ten správný okamžik, kdy přijde opravdový požadavek na Stand Alone sítě
- 6G** specifikace této generace sítí se teprve utváří a hlavním motorem k jejich nasazení budou aplikace, které nabízené vlastnosti využijí, bohužel v současné době jsou jen ve stádiích vizionářských úvah



LIFE IS FOR SHARING.

ÚSPĚCHY SUDÝCH RELEASEŮ



Co stojí za úspěchy sudých generací mobilních sítí (releasů):

1G

drahá a nekompatibilní technologie

2G

přišla ve správný okamžik a přinesla to co zákazníci očekávali (hlas, zprávy a později data), stala se cenově dostupnou, stále dostačující pro hlasové služby, bezkonkurenční pokrytí

3G

nasazení WCDMA přišlo pozdě (hledaly se alternativy v jiných datových sítích), proto bylo pokrytí omezené a dále se nerozšiřovalo. Drahé spektrum a jeho vlastnosti omezovalo budoucí vývoj a v budoucnu by nenaplnilo zákaznické očekávání

4G

Dlouho očekávaná převratná technologie přišla ve správný okamžik, kdy byl hlad po datovém spojení a to ve všech koutech České republiky. Nasazení sítí bylo velmi rychlé, úsporné k bateriím v terminálech, s potenciálem pro budoucí rozvoj (LTE-A), nutnost pro 5G NSA

5G

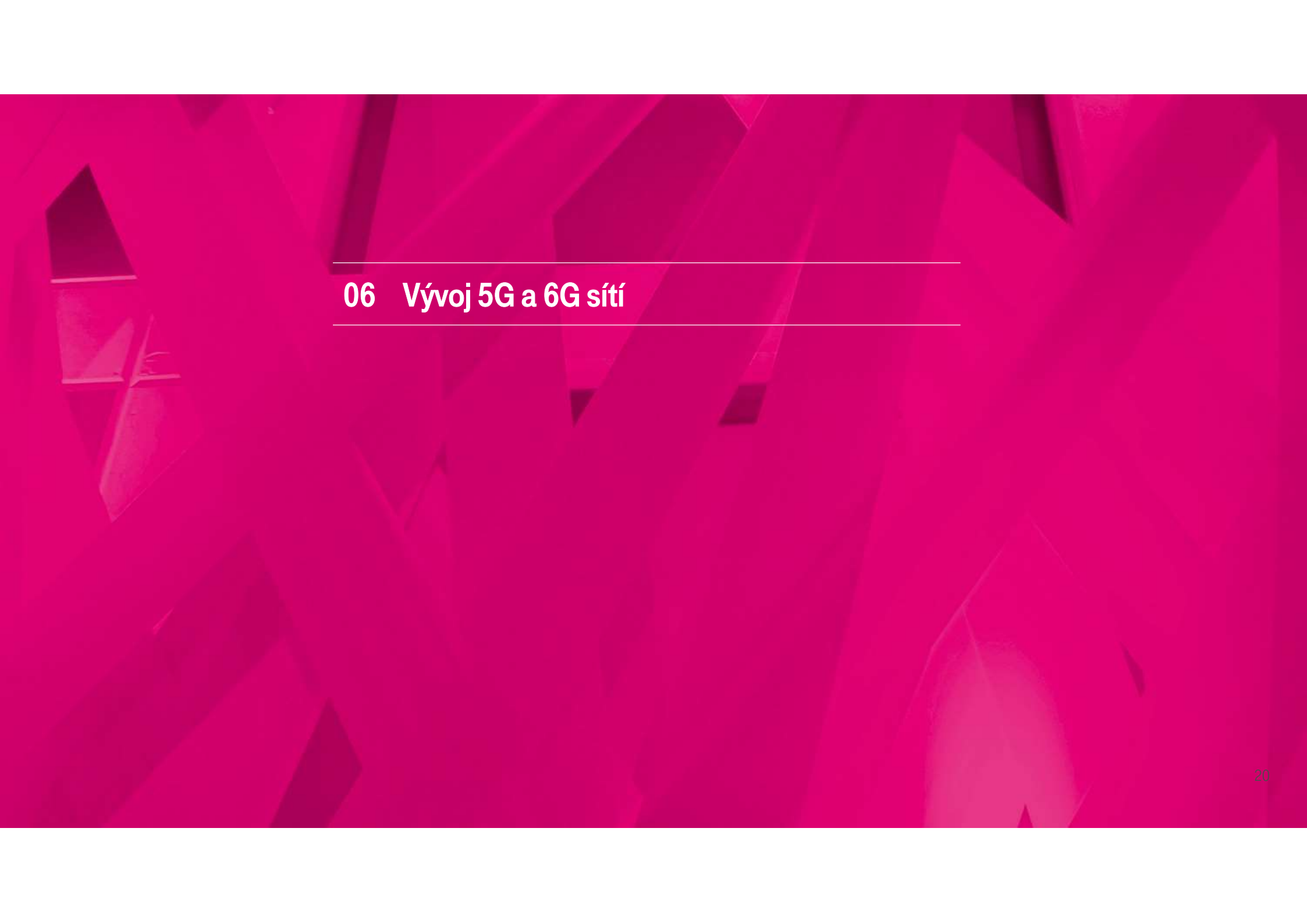
prozatím jen nástavba 4G sítí (NSA), SA sítě jsou s NSA nekompatibilní, aplikace pro SA sítě se stále hledají. Se zavedením SA se vyčkává, změna kompletní architektury včetně jádra sítě. Potenciál v průmyslových aplikacích a v dalších kmitočtových pásmech (C-band, mmWave)

6G

standardizace zatím nezačala (očekává se v roce 2025). Právý okamžik těchto sítí ještě přijde s ohledem na nárůst požadavků pro služby, různé typy spojení a nevyhnutelné budoucí komplexity po roce 2030



LIFE IS FOR SHARING.



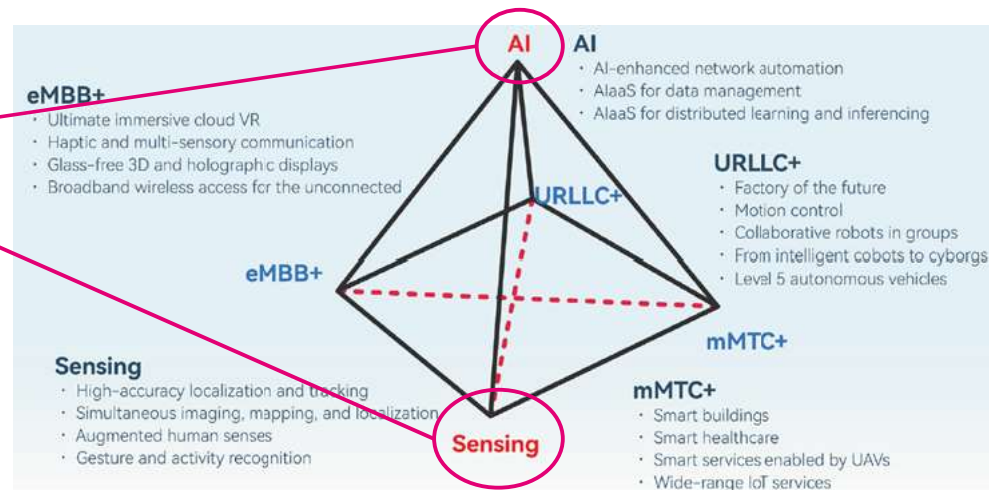
06 Vývoj 5G a 6G sítí

VÝVOJ 5G A 6G SÍTÍ

- Příchod 6G sítí mění obecný model doposud nasazených sítí
- Zavádí se přirozená podpora stávajících či nových vlastností
- Pokrývá větší obor působnosti/podnikání
- Zvyšuje zejména kybernetickou bezpečnost (obdoba 5G EU Toolbox)
- Zvyšuje nároky na výpočetní výkon (kvantové počítače)
- Propojuje dříve oddělenou síťovou infrastrukturu
- Výrazné rozšíření pokrytí
- Nárůst komplexity vyžaduje nové postupy autonomního řízení (umělá inteligence)

	3G, 4G, 5G	6G
Služba	Pouze spojení	Spojení, vnímání, umělá inteligence jako služba
Síť	Veřejný s rozšířením o privátní	Veřejný a privátní
Bezpečnost	Šifrování	Technologická důvěryhodnost
Algoritmus	Analytický	Analytický a datový s podporou umělé inteligence
Dohled	Automatizovaný	Přirozená bezdotyková automatizace
Podnikání	Síťová infrastruktura	Síťová a výpočetní infrastruktura
Pokrytí	Pouze pozemní	Integrovaný pozemní a nepozemní

Nová dimenze 6G proti 5G síti



POKRYTÍ 6G SÍTĚ

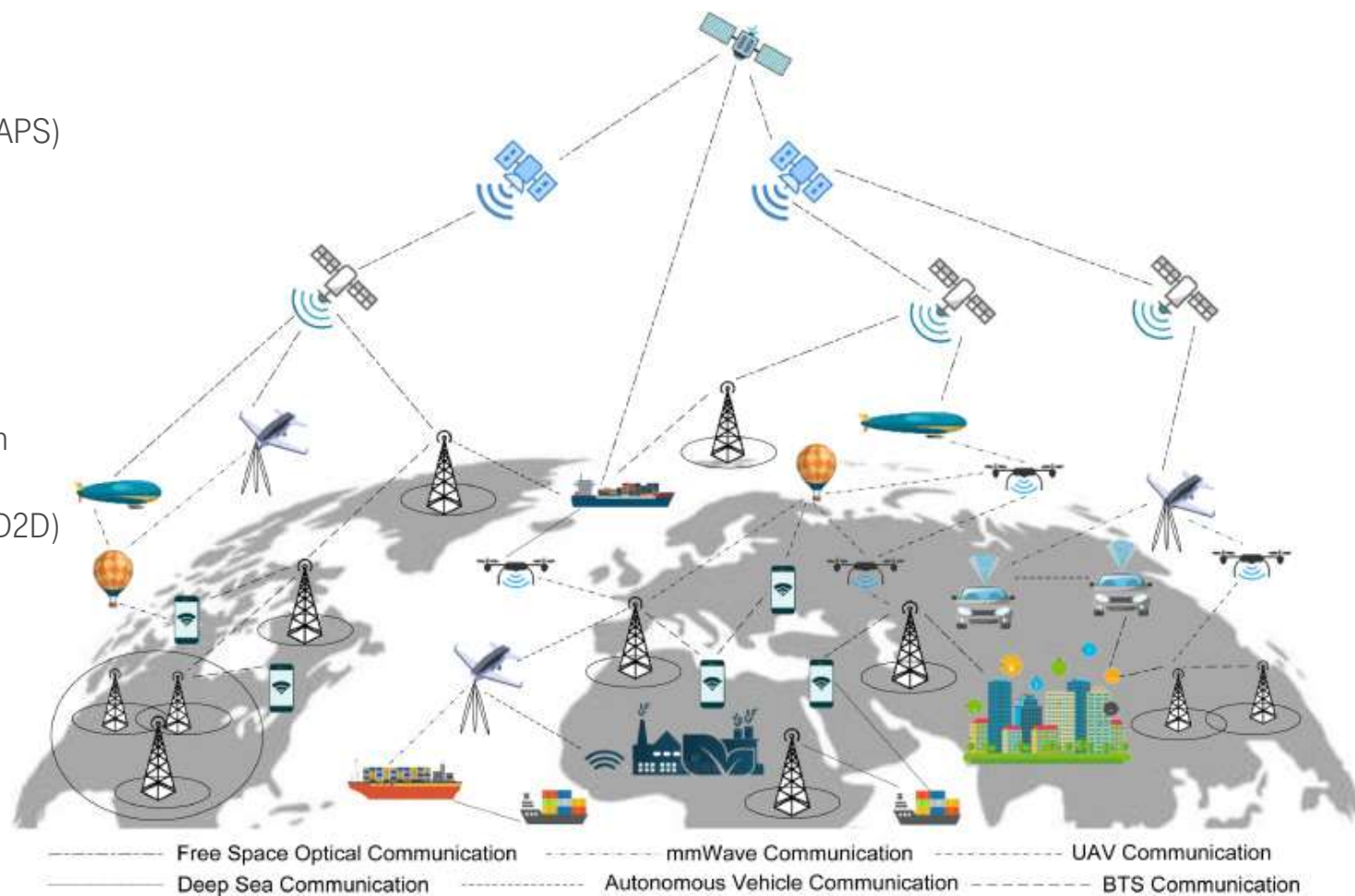
Typy sítí

- Satelitní (nízko, vysoko, orbitální)
- Vzdušné „létající“ základnové stanice (HAPS)
- Pozemní
- Podvodní

Veškeré sítě jsou vzájemně propojeny

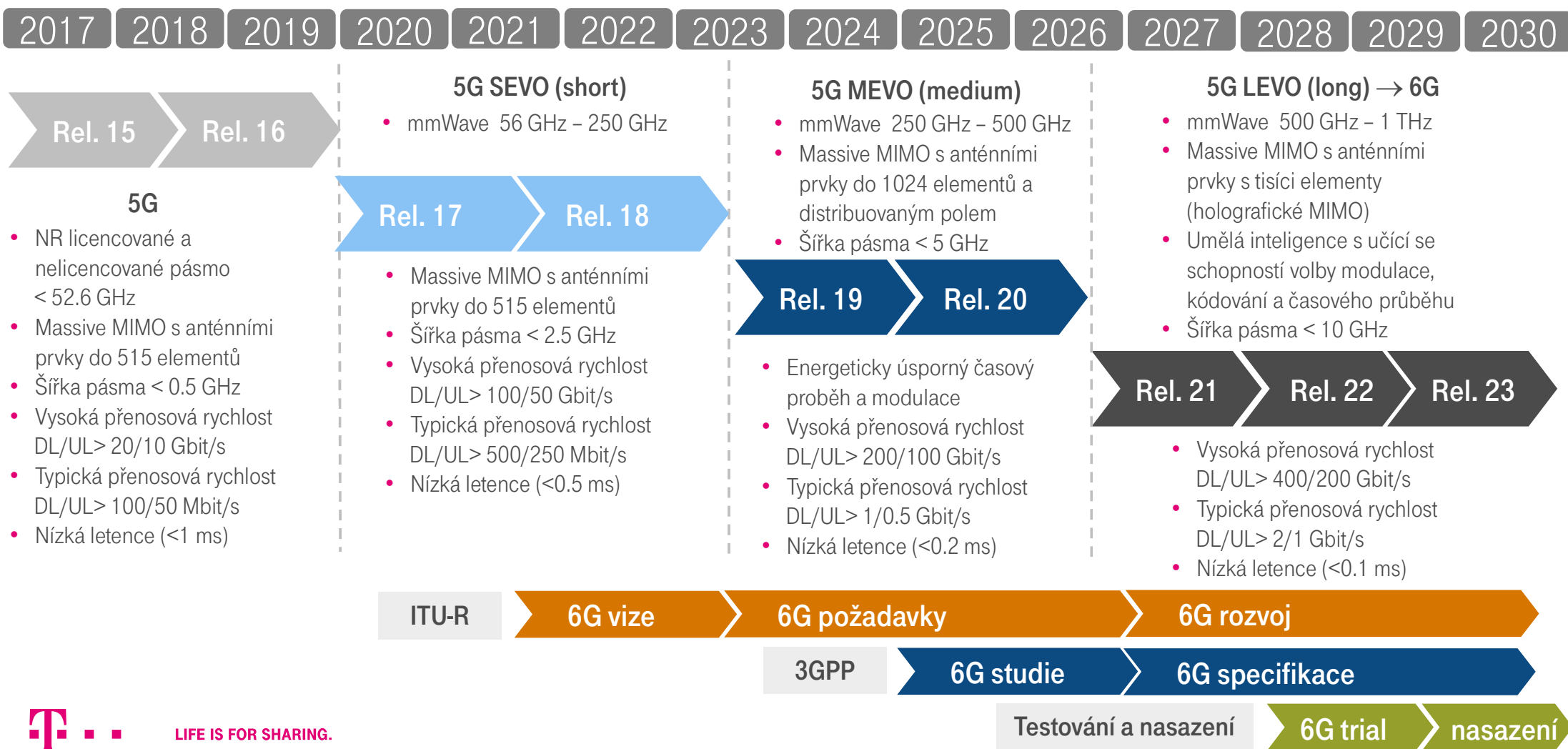
Komunikace

- Základnové stanice komunikují navzájem
- Komunikace vozidel s okolím (V2X)
- Koncová zařízení komunikují navzájem (D2D)
- S využitím viditelného světla či zvuku

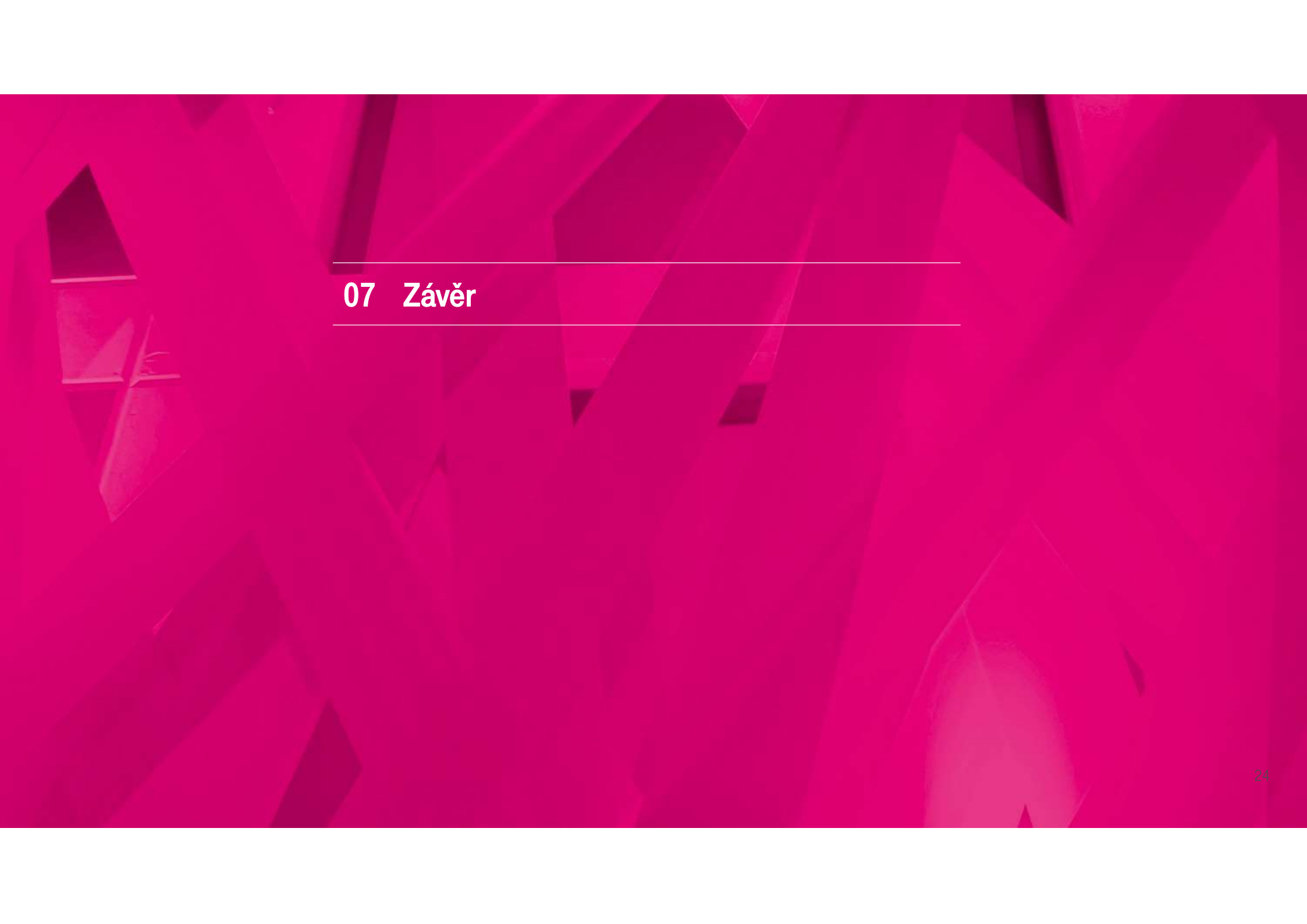


Zdroj: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383762121001302>

PŘEDPOKLÁDANÝ VÝVOJ 5G A 6G RELEASEŮ

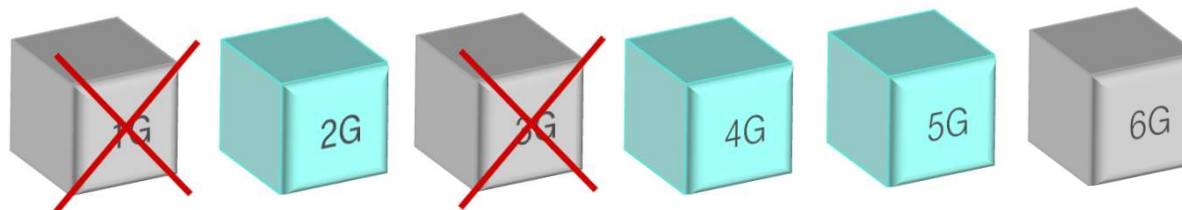


LIFE IS FOR SHARING.



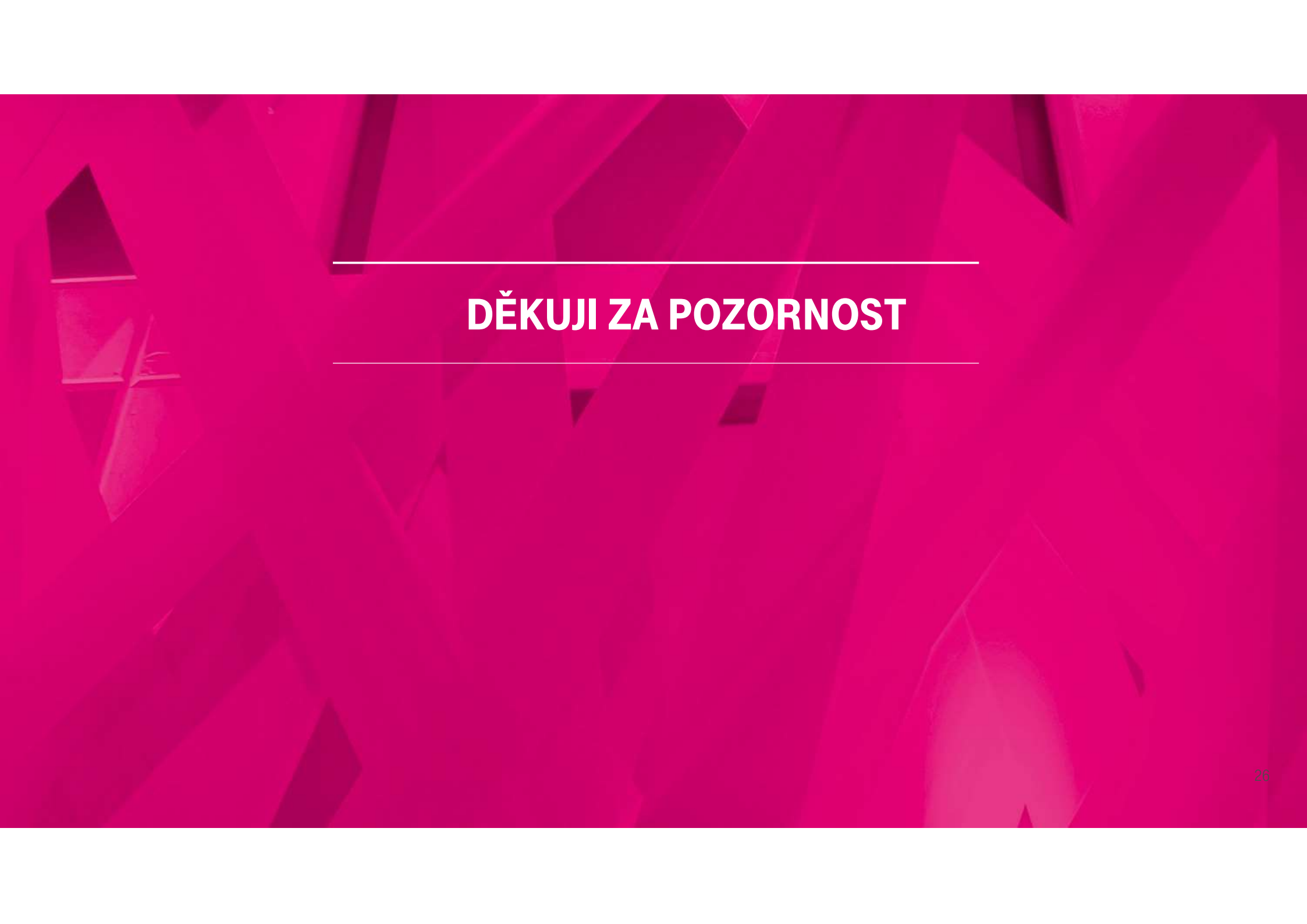
07 Závěr

ZÁVĚR



- Vývoj mobilních sítí je nezadržitelný a opakuje se přibližně v dekádoích cyklech
- Revoluční přeměna přichází pomaleji cca 15 až 20 letý cyklus, který přináší i nové produkty či služby
- Nedílnou součástí vývoje je i vypínání zastaralých generací mobilních sítí (1G a posledně 3G)
- Požadavky na jednotlivé generace mobilních sítí se zvyšují násobně
- Z uvedeného je zřejmé, že v rámci České republiky (na rozdíl od jiných Evropských zemí) se liché generace mobilních sítí postupně vypnuly a to z důvodu, že již nedostačovaly požadavkům zákazníků a tím se snížila síťová komplexita a uvolnilo se místo pro rozvoj současných a příchod dalších generací mobilních sítí (releasů)
- 5G je v současné době stále novinka (provozovaná v architektuře NSA) pro kterou se ale stále hledá oblast použití, což by mohlo nastartovat masivní nasazení průmyslových či jiných aplikací a pak v budoucnu zejména 5G SA
- Jistě v budoucnu nastane postupný přechod 5G na další plánovanou generaci 6G sítí. Kdy tato situace nastane a v jaké fázi bude současná či budoucí 5G síť můžeme jen odhadovat

Sudé generace (release) mobilních sítí v České republice stále žijí a ještě dlouho žít budou oproti těm lichým



DĚKUJI ZA POZORNOST