

# **Český telekomunikační úřad**

*Odbor kontroly  
Oddělení technické podpory Brno  
Jurkovičova 1, 638 00 Brno*

## **Z P R Á V A**

2109-592-00

o výsledcích srovnávacího měření pokrytí  
signálů mobilních sítí uvnitř vlakových souprav RailJet a InterJet  
na železničním koridoru Praha – Blansko

*Leden 2022*

**Měřeno** : 15.11., 19.11. a 22.12.2021  
**Měřil** : Ing. Vašina, Ing. Rokos, Ing. Bartek  
**Měř. přístroje**: RailJet ČD (modrá vlaková souprava bez opakovače)  
RailJet OBB (červená vlaková souprava s opakovačem)  
InterJet ČD (vlaková souprava s propustnými okny bez opakovače)  
měřicí přijímač (analyzátor sítí) R&S TSMA6  
sw NESTOR 21.2  
F-Tester drive box  
Antény Delock 88451

**Zpracoval** : Ing. Vašina

## 1. Úvod

Český telekomunikační úřad (dále také „Úřad“) provedl v průběhu měsíců listopadu a prosince 2021 experimentální měření dostupnosti mobilních radiokomunikačních sítí (GSM a LTE) uvnitř vlakové soupravy na tranzitním železničním koridoru Praha – Blansko. Měření byla provedena zaměstnanci Oddělení kontroly (Oddělení technické podpory Brno) ve spolupráci se společností České dráhy.

### 1.1 Cíle kontrolního měření:

- Ověřit a porovnat dostupnost mobilních radiokomunikačních sítí (GSM, LTE) ve vlakových soupravách RailJet a InterJet operátorů T-Mobile, O2 a Vodafone.

### 1.2 Objekt kontrolního měření:

- Objektem kontrolního měření bylo porovnání stavu dostupnosti mobilních radiokomunikačních sítí GSM a LTE uvnitř vlakové soupravy pro tři případy v soupravách RailJet a InterJet. V RailJetu ČD (modrá vlaková souprava) probíhalo měření bez instalovaného opakovače a souprava byla vybavena z pohledu rádiového signálu nepropustnými okny. V RailJetu OBB (červená vlaková souprava) probíhalo měření se zapnutým opakovačem se stejnými okny jako v případě „modrého“ RailJetu. Ve vlakové soupravě InterJet měření probíhalo v konfiguraci bez opakovače a z pohledu rádiového signálu s propustnými okny.

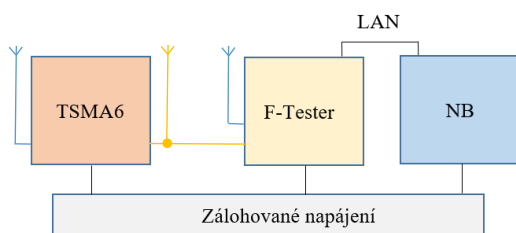
## 2. Měření mobilních signálů sítí uvnitř vlakové soupravy

### 2.1 Organizace měření

*Pro objektivní posouzení dostupnosti mobilních radiokomunikačních sítí uvnitř vlakové soupravy byla provedena následující měření:*

- měření pokrytí signály mobilních sítí za jízdy po železničním koridoru se záznamem naměřených hodnot rádiových parametrů všech dostupných GSM kanálů v pásmu 900 MHz a 1800 MHz.
- měření pokrytí signály mobilních sítí za jízdy po železničním koridoru se záznamem naměřených hodnot rádiových parametrů všech dostupných LTE pásem (800 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz).

Samotné měření probíhalo měřicí soupravou (blokové zapojení na obr. č. 1), tvořenou analyzátelem mobilních sítí R&S TSMA6 se softwarem NESTOR 21.2, F-Tester 4drive-box pro měření datových parametrů, notebook pro vzdálené ovládání měřících souprav a zálohované napájení. V blokovém schématu jsou modrou barvou znázorněny GSM a LTE antény a oranžovou barvou GPS anténa. Měřicí přístroje byly umístěny na sedadle pro cestující, přičemž měřicí antény (GSM a LTE) byly umístěny ve výšce odpovídající poloze mobilního telefonu osoby přepravující se na daném sedadle viz obr. č. 1 vpravo.



Obr. č. 1: Blokové schéma zapojení měřicí soustavy (vlevo), zapojením a umístěním měřících přístrojů (vpravo).

V případě sítě GSM (2G, telefonní hovory, sms) byla brána jako stěžejní hodnota PSCH (úroveň signálu) a současně C/I (odstup signál/šum). Pro posouzení pokrytí daného úseku koridoru signálem GSM byly při zpracování brány v úvahu vždy kanály s nejvyšší naměřenou hodnotou. V případě sítě LTE (4G, datové spojení) byl brán při zpracování v úvahu parametr RSRP (úroveň signálu) a současně parametr SINR (odstup signál/šum + interference).

Měření probíhalo pouze v jednom směru (z Prahy do Blanska) a četnost měření byla zvolena s periodou 1 vteřina, tzn. při maximální rychlosti vlakové soupravy 160 km/hod byly měřené body od sebe vzdáleny maximálně 44,5 m.

### 2.3 Vyhodnocení naměřených dat

Naměřená data byla pro rozdílné vlakové soupravy zpracována graficky a rozdělena podle druhu sítě a nabízené služby (2G síť se službou telefonní hovor a sms, 4G síť s datovými službami) a dále dle měřených operátorů T-Mobile, O2 a Vodafone. Z celkové délky měřené trasy (cca 180 km) byla vytvořena vizualizace, ze které je uveden příklad výsledků v mapovém podkladu o délce cca 4–8 km pro jednotlivé mobilní sítě a jednotlivé operátory. Ve vizualizaci jsou patrné jednotlivé úseky o délce 250 metrů, přičemž do každého takového úseku spadá větší počet změřených bodů, z nichž je počítán průměr a dle výsledných hodnot je úsek považován za pokrytý nebo nepokrytý dle úrovně uvedených v tabulce č. 1.

| Barva vizualizace    | Nepokryto            | Dostatečné           | Dobré                | Velmi dobré          | Výborné              |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                      | Úroveň signálu [dBm] | Úroveň signálu [dBm] | Úroveň signálu [dBm] | Úroveň signálu [dBm] | Úroveň signálu [dBm] |
| GSM (hovor, sms)     | < -98                | -98 až -90           | -90 až -80           | -80 až -70           | > -70                |
| LTE (data, internet) | < -114               | -114 až -108         | -108 až -98          | -98 až -88           | > -88                |

Tab. 1: Mezní hodnoty pro určení kvality pokrytí na železničním koridoru.

Stejně jako u vizualizace, byly všechny tři varianty měření zaneseny do grafů (závislost úrovně signálu dané měřené sítě (2G,4G) na ujeté vzdálenosti od prvního bodu měření) za účelem možnosti vizuálního vyhodnocení. Z důvodu velké měřené vzdálenosti (cca 180 km) se celkový graf stává nepřehledným viz obr. 1, 4 a 7 a proto byl zvolen pro ukázkou kratší úsek (4 km a 2 km) s vyznačenými body měření. Pro výpočty průměrných hodnot v celé délce měření byly použity všechny naměřené hodnoty.

**Síť GSM (2G, hovory a sms)** - Jedná se o síť, která je operátory využívána stále jako celoplošná síť pro uskutečňování telefonních hovorů a odesílání SMS zpráv. Měření bylo provedeno pro tři zmíněné scénáře (vlaková souprava bez opakovače, vlaková souprava s opakovačem a vlaková souprava s propustnými okny). Výsledky měření jsou uvedeny na následujících obrázcích rozdělených podle měřených operátorů T-Mobile obr. č. 2 – 4 (graf závislosti úrovně GSM sítě na celkové vzdálenosti měření, detail grafu závislosti měření úrovně GSM sítě na vzdálenosti měření s jednotlivě vyznačenými body měření, srovnávací vizualizace v mapovém podkladu pro všechny měřené scénáře), O2 obr. č. 5 – 7 (graf závislosti úrovně GSM sítě na celkové vzdálenosti měření, detail grafu závislosti měření úrovně GSM sítě na

vzdálenosti měření s jednotlivě vyznačenými body měření, srovnávací vizualizace v mapovém podkladu pro všechny měřené scénáře) a Vodafone obr. č. 8 - 10 (graf závislosti úrovně GSM sítě na celkové vzdálenosti měření, detail grafu závislosti měření úrovně GSM sítě na vzdálenosti měření s jednotlivě vyznačenými body měření, srovnávací vizualizace v mapovém podkladu pro všechny měřené scénáře).

Z uvedených grafů a vizualizace je patrné, že nejvyšší úrovně signálu GSM sítě a tím největší dostupnost služby hovorů a sms uvnitř vlakové soupravy je v případě, kdy vlaková souprava využívá opakovače. Naopak nejhorší dostupnost signálů sítě GSM je v případě vlakové soupravy bez opakovačů a bez propustných oken. V takovém případě dochází i ke stavům, kdy signály sítě GSM jsou tak slabé, že uvnitř železničního vozu jsou nedetekovatelné. Tato situace je zřejmá u operátora T-Mobile na horním obrázku č. 4 a u operátora O2 na horním obrázku č. 7, kdy v mapě měřené úseky chybí. Pro jednotlivé scénáře měření (vlaková souprava s opakovačem, vlaková souprava bez opakovače, vlaková souprava s propustnými okny) byla vypočtena průměrná hodnota z celého úseku měření pro všechny tři operátory. V následující tabulce č. 2 jsou shrnuty průměrné rozdíly (absolutní hodnoty) mezi uvedenými scénáři.

| <b>GSM</b>             | Rozdíl Opakovač vs Propustné okno | Rozdíl Propustné okno vs Bez opakovače | Rozdíl Opakovač vs Bez opakovače |
|------------------------|-----------------------------------|--|----------------------------------|
| <b>Průměrný rozdíl</b> | 3,7 dB                            | 9,6 dB                                 | 13,3 dB                          |

Tab. 2: Rozdíly naměřených hodnot sítě GSM (telefonní hovory, sms) mezi třemi měřenými scénáři.

Z uvedené tabulky vyplývá, že nejlepší dostupnost kvalitního signálu sítě GSM je ve vlakových soupravách s opakovačem, kdy signál je v průměru lepší o 3,7 dB než ve vlakové soupravě s propustnými okny. Nejhorší případ je ve vlakové soupravě bez opakovače a bez propustných oken, kdy je rozdíl v průměru o cca 10 dB horší než v případě vlakové soupravy s propustnými okny a o cca 13 dB horší než v případě vlakové soupravy s opakovačem.

**Sít' LTE (4G, určená pro přenos dat – připojení k internetu)** Jedná se o síť, která je operátory využívána pro uskutečňování datových spojení. Měření bylo provedeno pro tři zmíněné scénáře (vlaková souprava bez opakovače, vlaková souprava s opakovačem a vlaková souprava s propustnými okny). Výsledky měření jsou uvedeny na následujících obrázcích rozdělených podle měřených operátorů T-Mobile obr. č. 11 a 12 (detail grafu závislosti měření úrovně LTE sítě na vzdálenosti měření s jednotlivě vyznačenými body měření, srovnávací vizualizace v mapovém podkladu pro všechny měřené scénáře), O2 obr. č. 13 a 14 (detail grafu závislosti měření úrovně LTE sítě na vzdálenosti měření s jednotlivě vyznačenými body měření, srovnávací vizualizace v mapovém podkladu pro všechny měřené scénáře) a Vodafone obr. č. 15 a 16 (detail grafu závislosti měření úrovně LTE sítě na vzdálenosti měření s jednotlivě vyznačenými body měření, srovnávací vizualizace v mapovém podkladu pro všechny měřené scénáře).

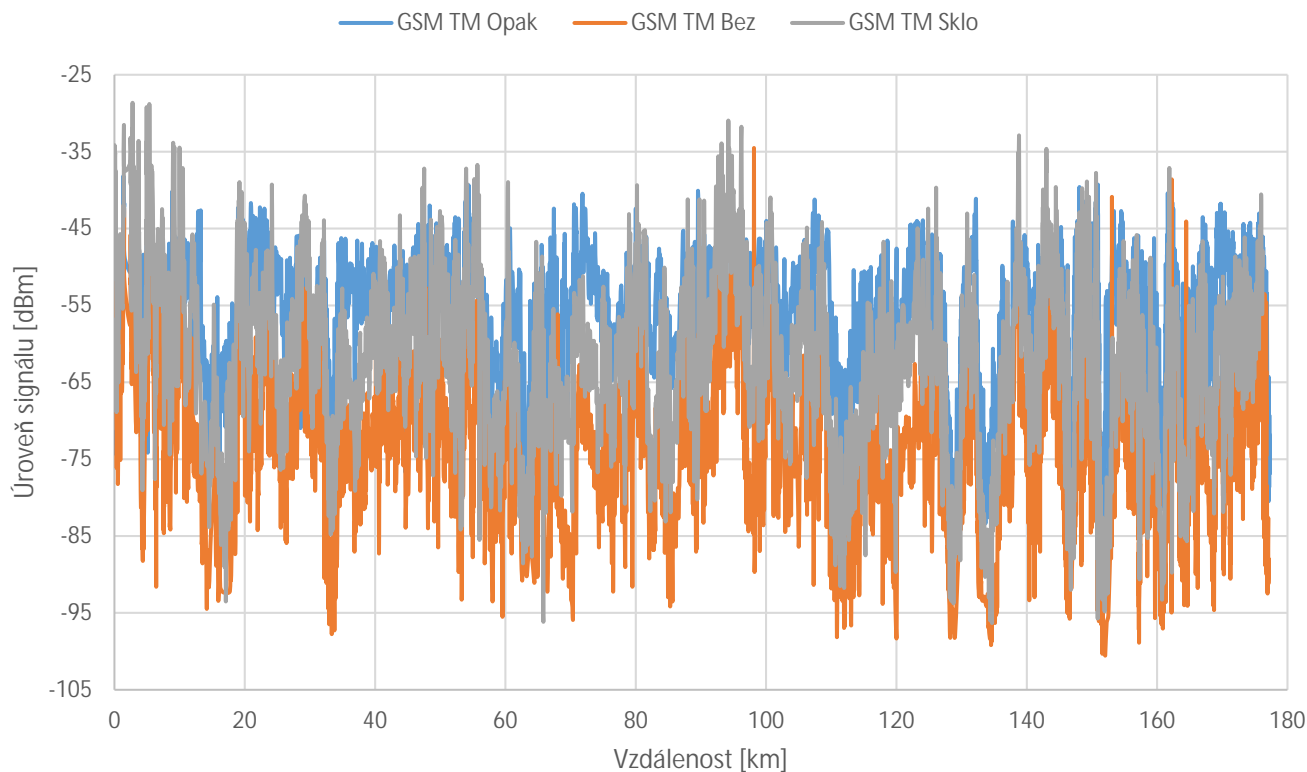
Z uvedených grafů a vizualizace je patrné, že nejvyšší úrovně signálu LTE sítě a tím největší dostupnost datových služeb (internetu) uvnitř vlakové soupravy je opět v případě, kdy vlaková souprava využívá opakovače. Naopak nejhorší dostupnost signálů sítě LTE je v případě vlakové soupravy bez opakovačů a bez propustných oken. V takovém případě dochází i k situacím, kdy signály sítě LTE jsou tak slabé, že uvnitř železničního vozu jsou nedetekovatelné. Tato situace je zřejmá v detailních grafech (oranžová barva znázorňuje průběh úrovní signálů ve vlakové soupravě bez opakovače) u operátora T-Mobile na obr. č. 11 mezi 141 a 141,6 km měření a u operátora Vodafone na obr. č. 15 mezi 141,2 a 141,6 km měření. Pro jednotlivé scénáře měření (vlaková souprava s opakovačem, vlaková souprava bez opakovače, vlaková souprava s propustnými okny) byla vypočtena průměrná hodnota z celého úseku měření pro všechny tři operátory. V následující tabulce č. 3 jsou shrnuty průměrné rozdíly (absolutní hodnoty) mezi uvedenými scénáři.

| <b>LTE</b>             | <b>Rozdíl Opakovač vs Propustné okno</b> | <b>Rozdíl Propustné okno vs Bez opakovače</b> | <b>Rozdíl Opakovač vs Bez opakovače</b> |
|------------------------|--|---|---|
| <b>Průměrný rozdíl</b> | <b>2,1 dB</b>                            | <b>8,8 dB</b>                                 | <b>9,3 dB</b>                           |

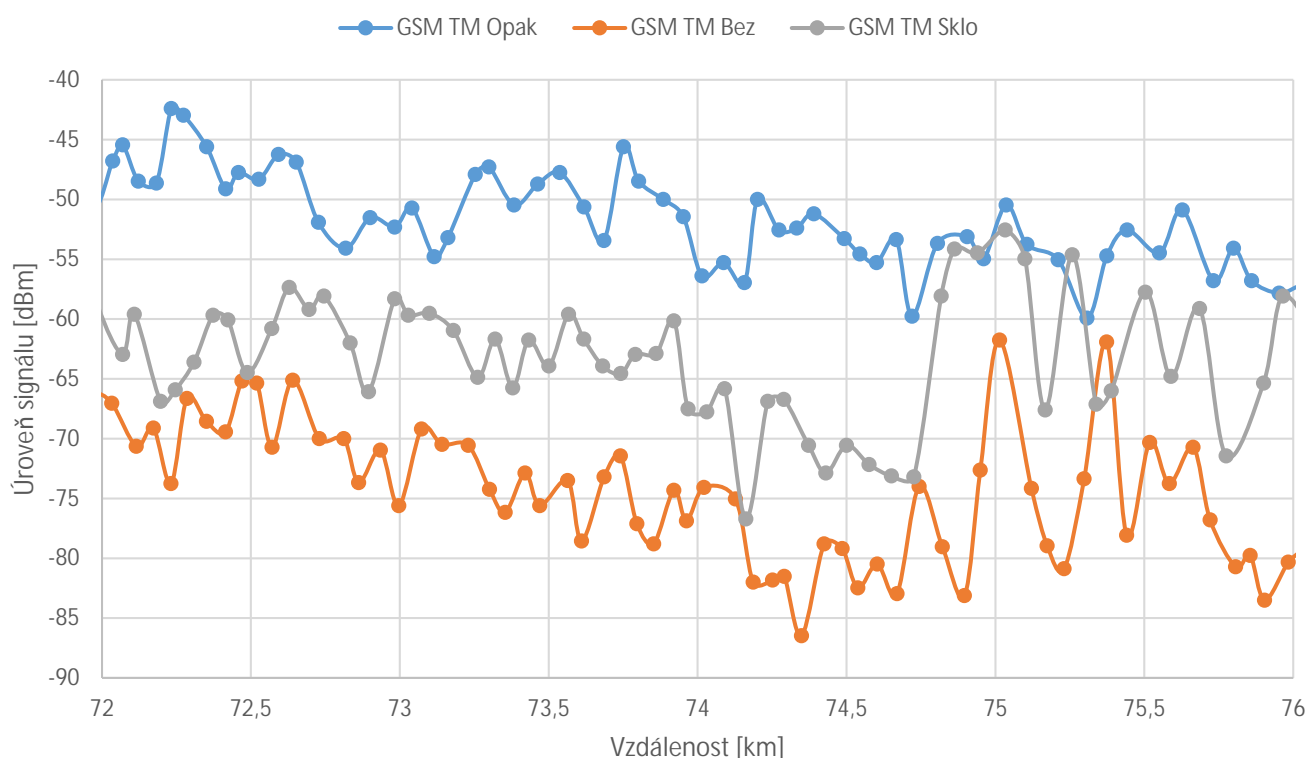
Tab. 3: Rozdíly naměřených hodnot sítě LTE (telefonní hovory, sms) mezi třemi měřenými scénáři.

Z uvedené tabulky vyplývá, že nejlepší dostupnost kvalitního signálu sítě LTE je ve vlakových soupravách s opakovačem, kdy signál je v průměru lepší o 2,1 dB než ve vlakové soupravě s propustnými okny. Nejhorší případ je ve vlakové soupravě bez opakovače a bez propustných oken, kdy je rozdíl v průměru o cca 8,8 dB horší než v případě vlakové soupravy s propustnými okny a o cca 9,3 dB horší než v případě vlakové soupravy s opakovačem.

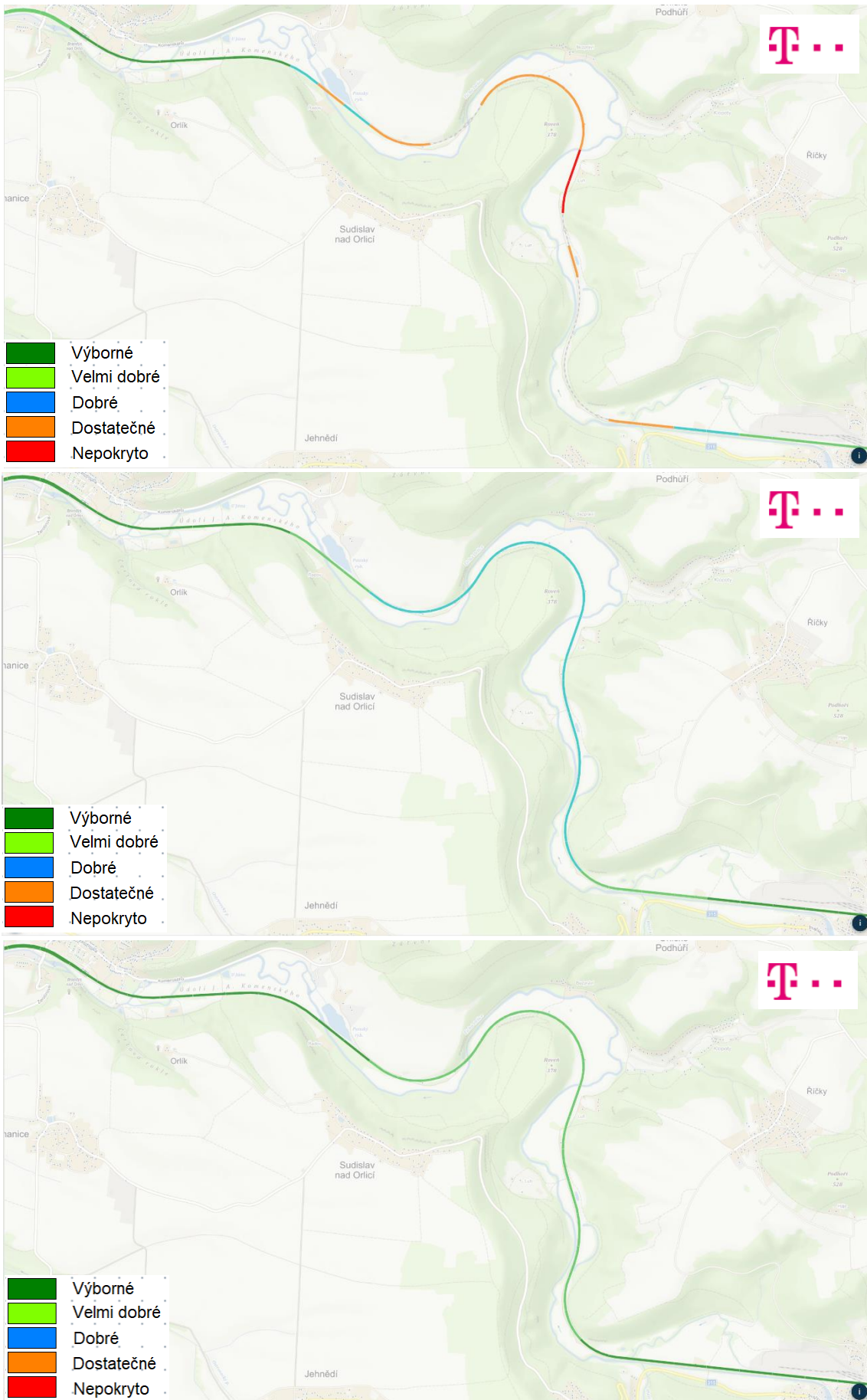
Z naměřených výsledků je zřejmé, že nejlepšího příjmu mobilního signálu uvnitř vozu lze dosáhnout ve vlakových soupravách, které jsou vybaveny opakovačem mobilního signálu. Výhodou použití varianty s opakovačem je navíc homogenní pole v jednotlivých železničních vozech, tj. v každém místě vozu je přibližně stejná úroveň mobilního signálu a nedochází k výraznému kolísání této úrovně. Toho je dosaženo vlastnostmi opakovače, kdy převádí signál z venkovního volného prostoru do vnitřní části vlakové soupravy (zdroj signálu pro všechna zařízení je uvnitř železničního vozu). V ostatních dvou případech jsou zdroje signálu vně vlakové soupravy a všechny překážky, kterými musí signál projít (venkovní terén, prostředí, okna, dveře, sloupky, zavazadlové prostory atd.) způsobují nehomogenitu pole ve vlakové soupravě, což má za následek, že v jednotlivých částech železničního vozu se úroveň a kvalita signálů může výrazně lišit.



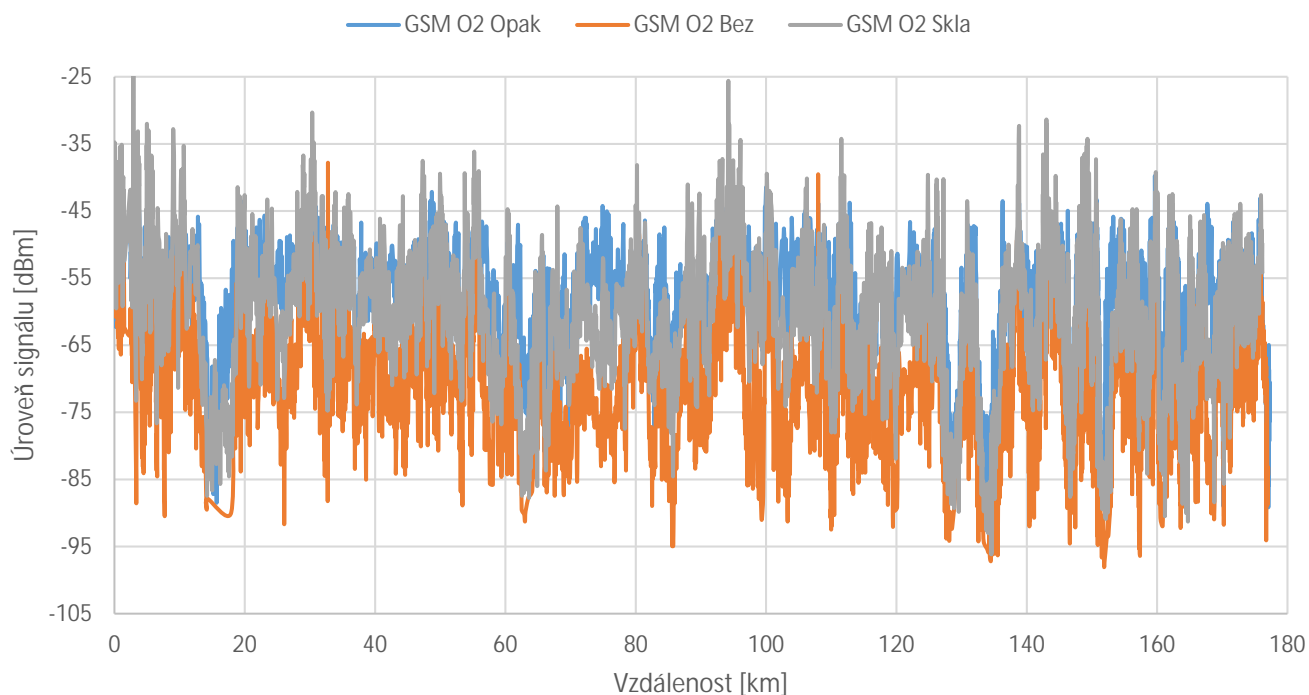
Obr. č. 2: Graf závislosti úrovně signálu GSM sítě operátora T-Mobile na ujeté vzdálenosti pro případ vlakové soupravy bez opakovací (oranžová barva), vlakové soupravy s propustnými okny (šedá barva) a vlakové soupravy s opakovacím (modrá barva).



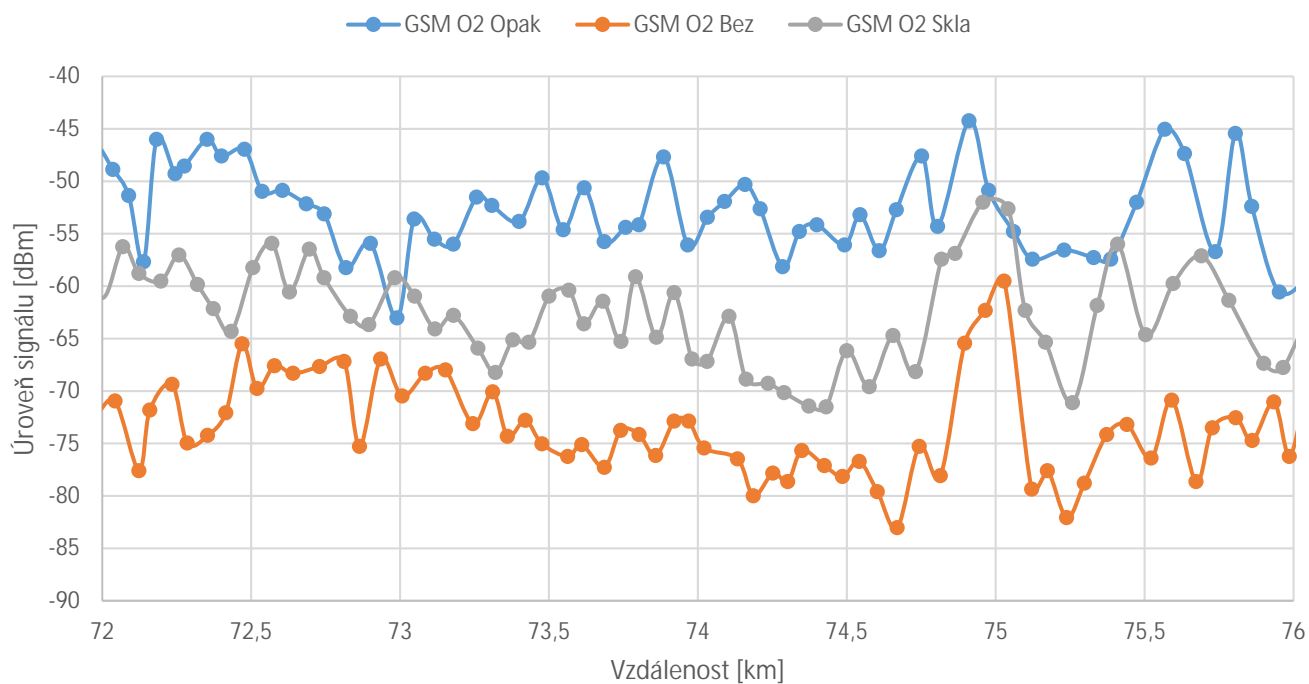
Obr. č. 3: Detail úrovní signálů GSM sítě operátora T-Mobile v závislosti na vlakové soupravě (soupravy bez opakovací (oranžová barva), soupravě s propustnými okny (šedá barva) a soupravě s opakovacím (modrá barva)).



Obr. č. 4: Srovnání úrovní signálů GSM sítí operátora T-Mobile ve vlakové soupravě bez opakovače (horní obrázek), ve vlakové soupravě s propustnými okny (prostřední obrázek) a ve vlakové soupravě s opakovačem (spodní obrázek).

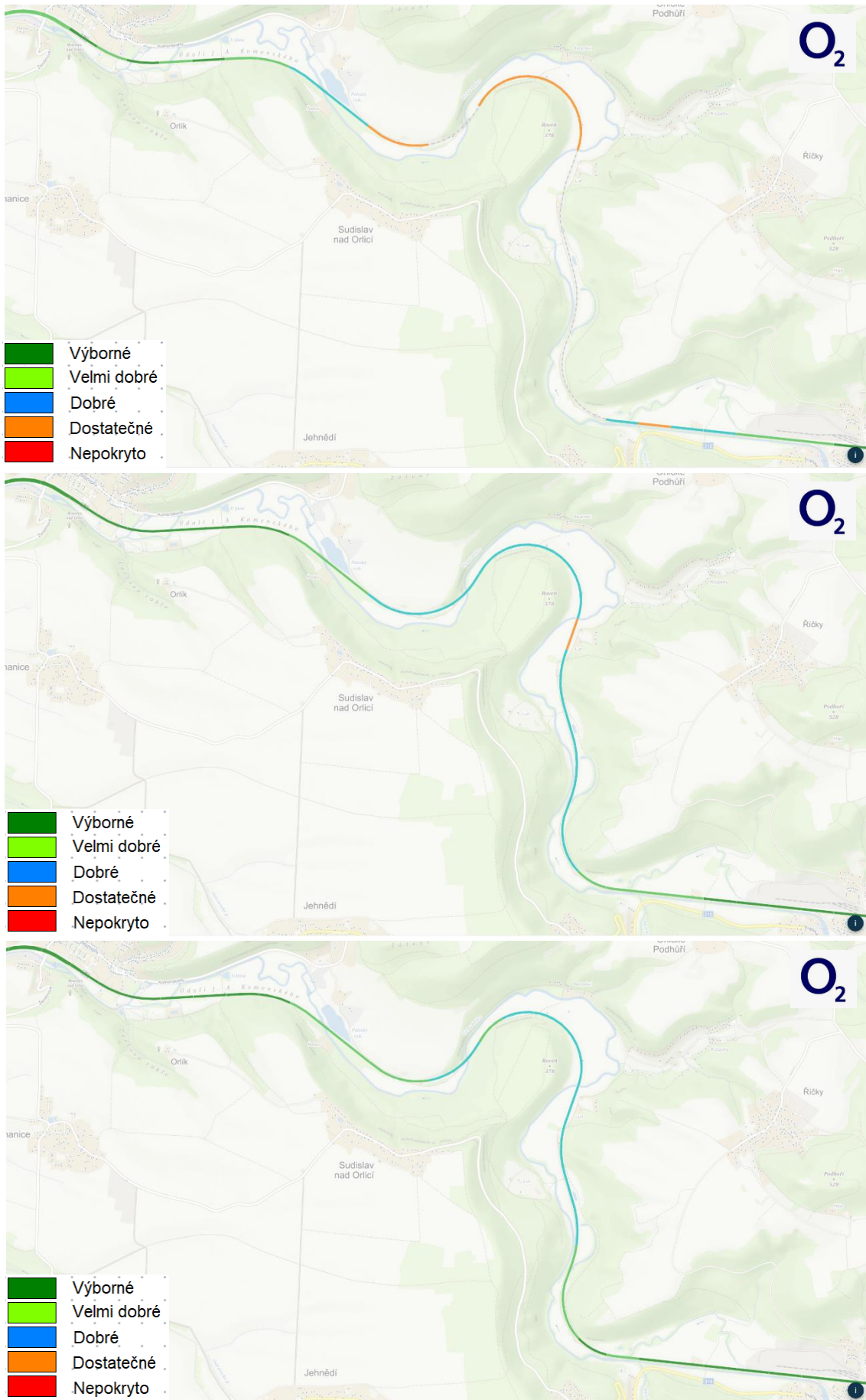


Obr. č. 5: Graf závislosti úrovně signálu GSM sítě operátora O2 na ujeté vzdálenosti pro případ vlakové soupravy bez opakovací (oranžová barva), vlakové soupravy s propustnými okny (šedá barva) a vlakové soupravy s opakovacím (modrá barva).

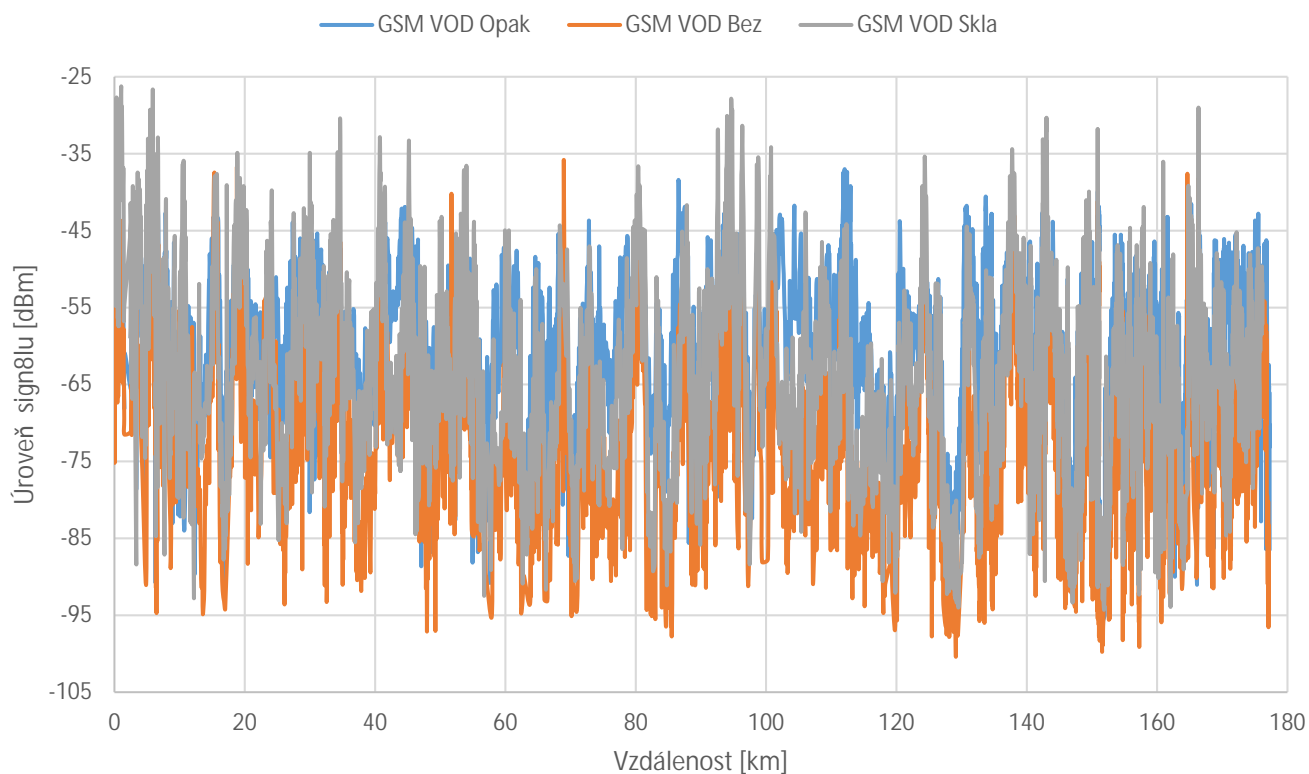


Obr. č. 6: Detail úrovní signálů GSM sítě operátora O2 v závislosti na vlakové soupravě (soupravy bez opakovací (oranžová barva), soupravě s propustnými okny (šedá barva) a soupravě s opakovacím (modrá barva)).

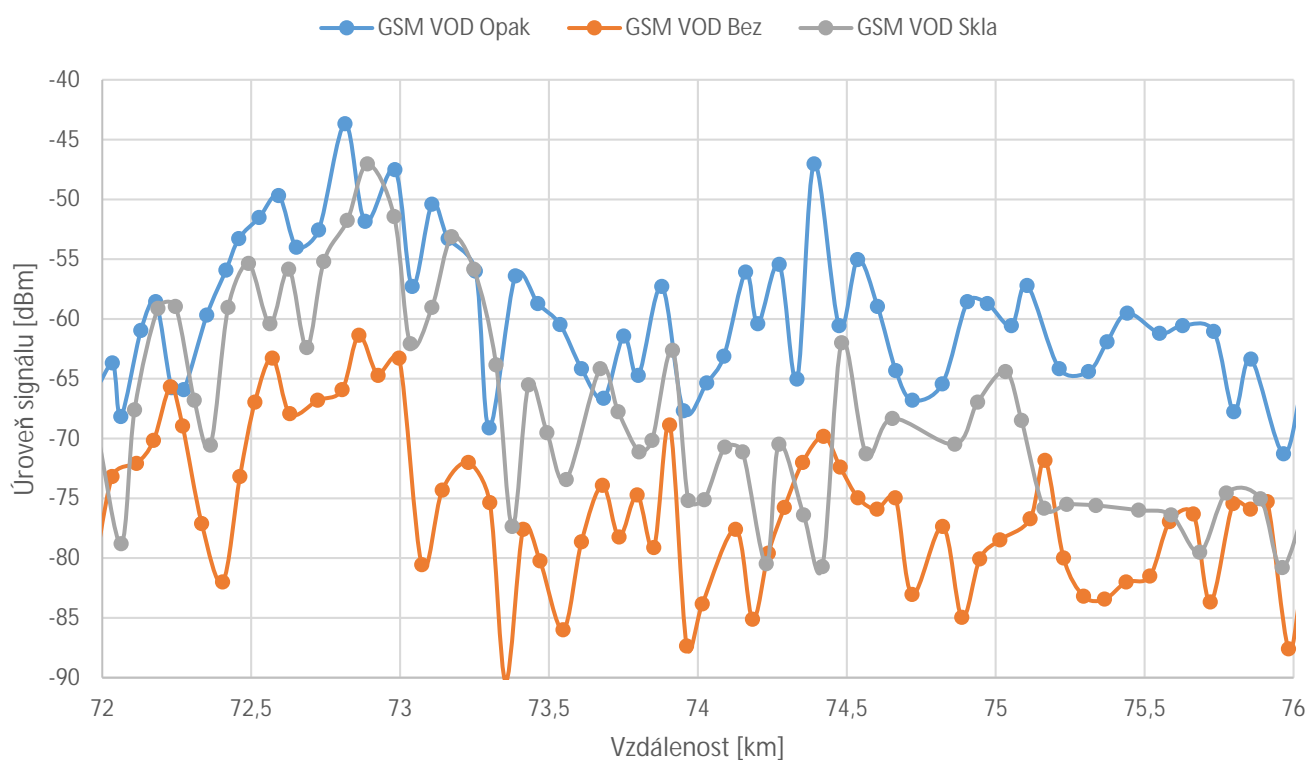




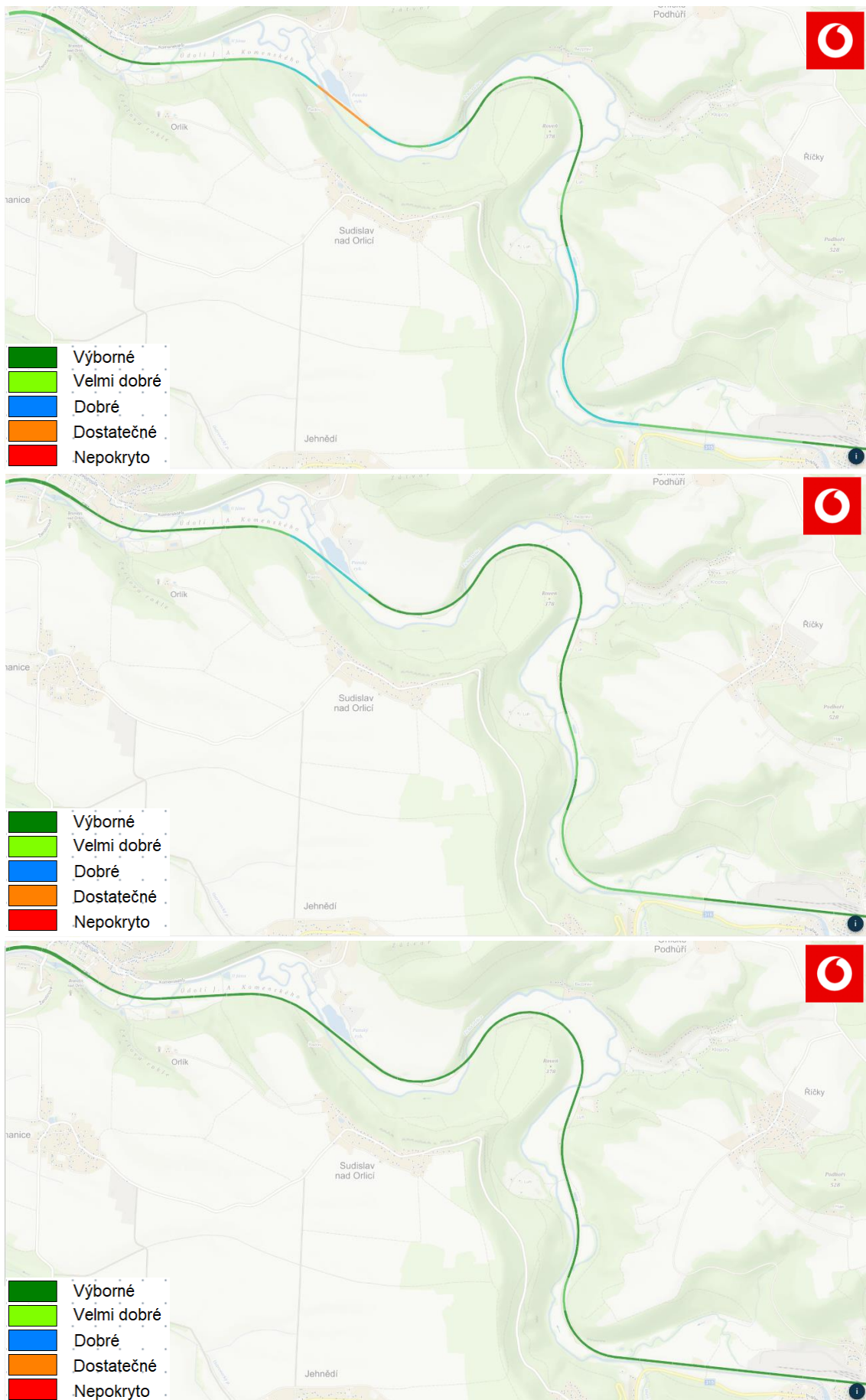
Obr. č. 7: Srovnání úrovní signálů GSM sítí operátora O2 ve vlakové soupravě bez opakače (horní obrázek), ve vlakové soupravě s propustnými okny (prostřední obrázek) a ve vlakové soupravě s opakačem (spodní obrázek).



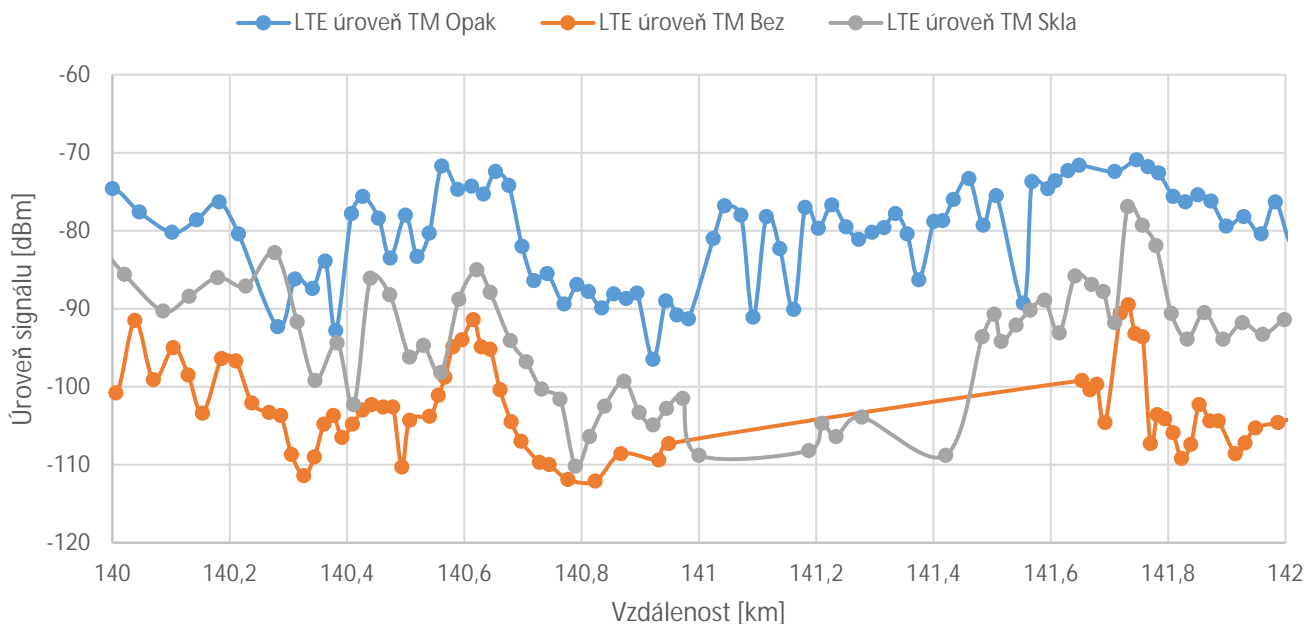
Obr. č. 8: Graf závislosti úrovně signálu GSM sítě operátora Vodafone na ujeté vzdálenosti pro případ vlakové soupravy bez opakovače (oranžová barva), vlakové soupravy s propustnými okny (šedá barva) a vlakové soupravy s opakovačem (modrá barva).



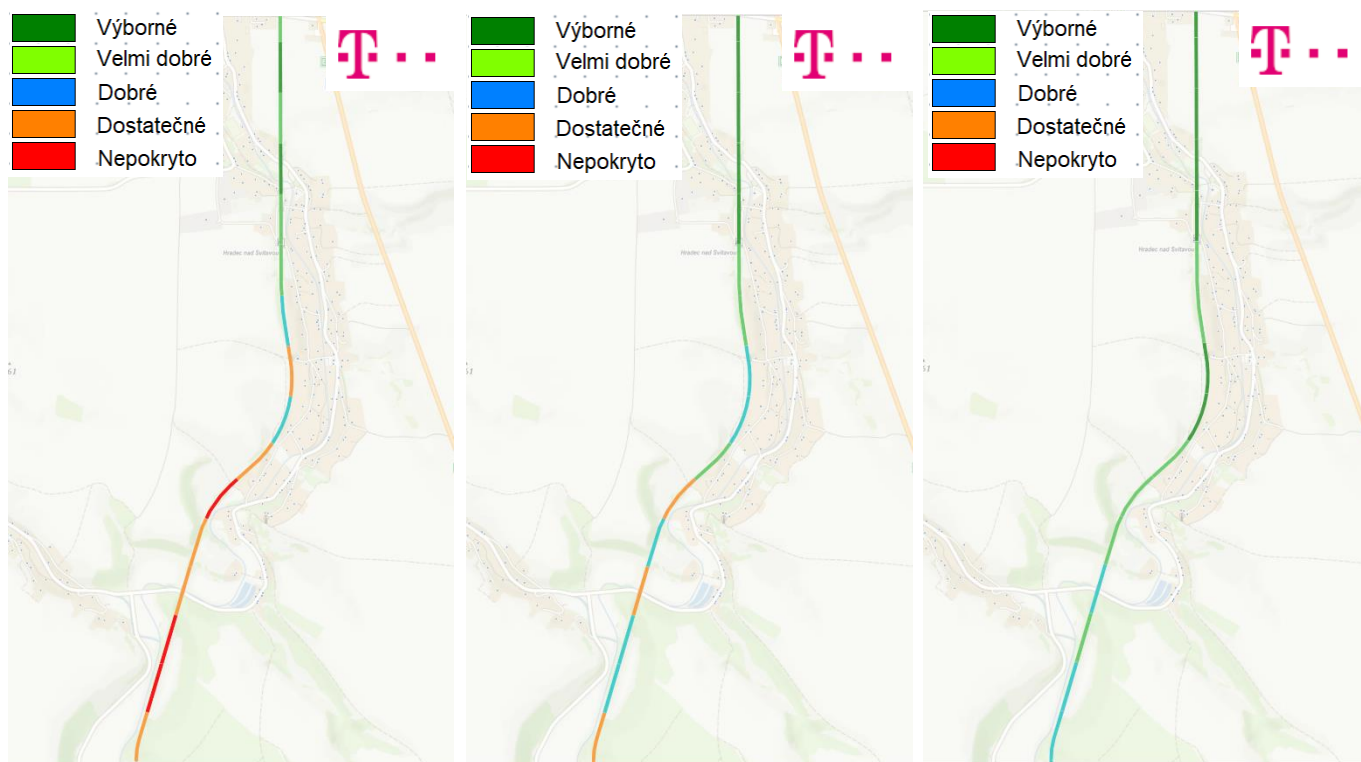
Obr. č. 9: Detail úrovní signálů GSM sítě operátora Vodafone v závislosti na vlakové soupravě (soupravy bez opakovače (oranžová barva), soupravě s propustnými okny (šedá barva) a soupravě s opakovačem (modrá barva)).



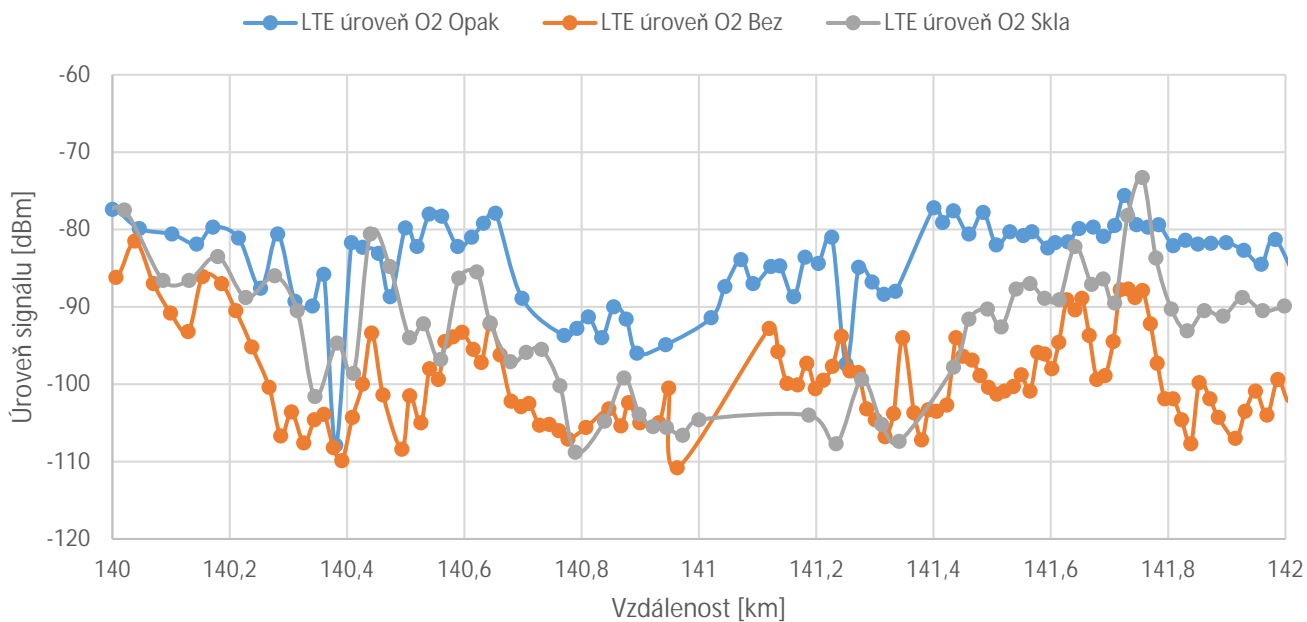
Obr. č. 10: Srovnání úrovní signálů GSM sítí operátora Vodafone ve vlakové soupravě bez opakovače (horní obrázek), ve vlakové soupravě s propustnými okny (prostřední obrázek) a ve vlakové soupravě s opakovačem (spodní obrázek).



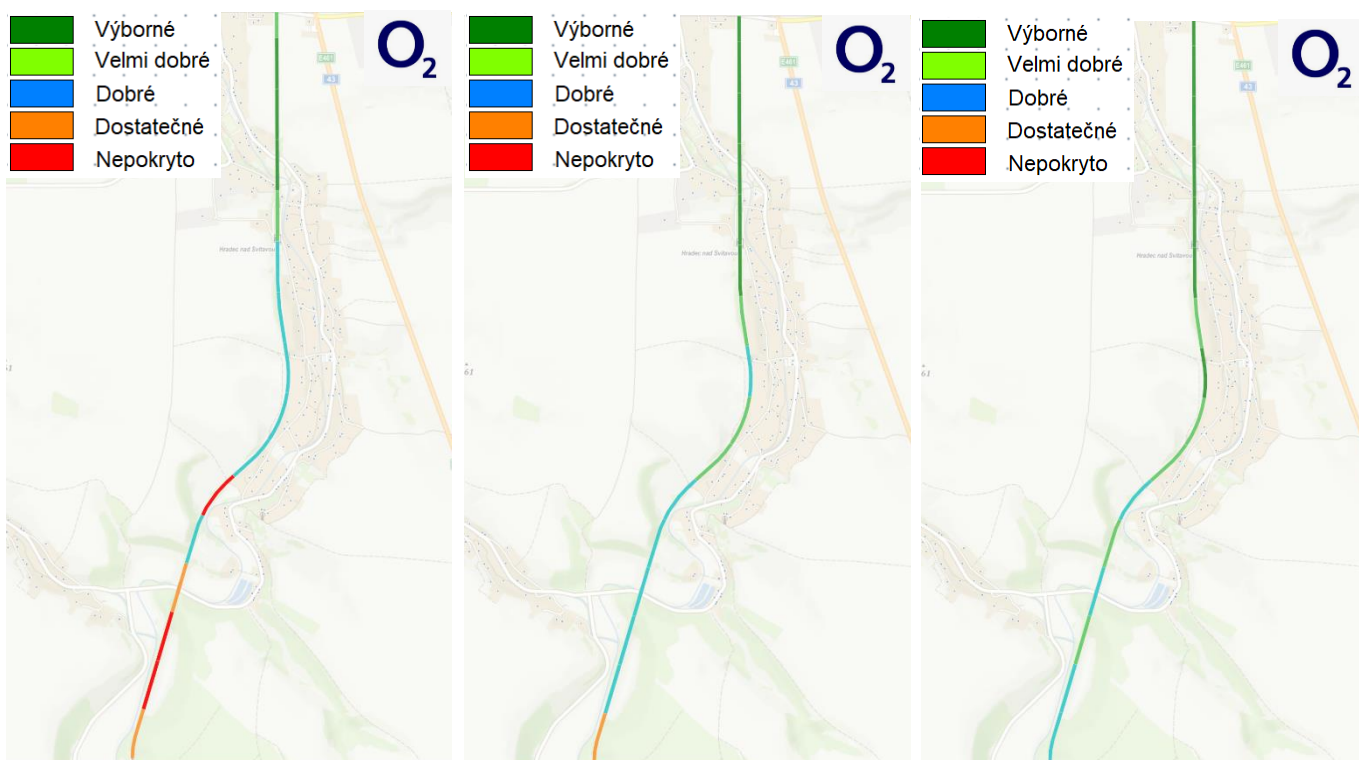
Obr. č. 11: Detail úrovní signálů LTE sítí operátora T-Mobile v závislosti na vlakové soupravě (soupravy bez opakováče (oranžová barva), soupravě s propustnými okny (šedá barva) a soupravě s opakováčem (modrá barva)).



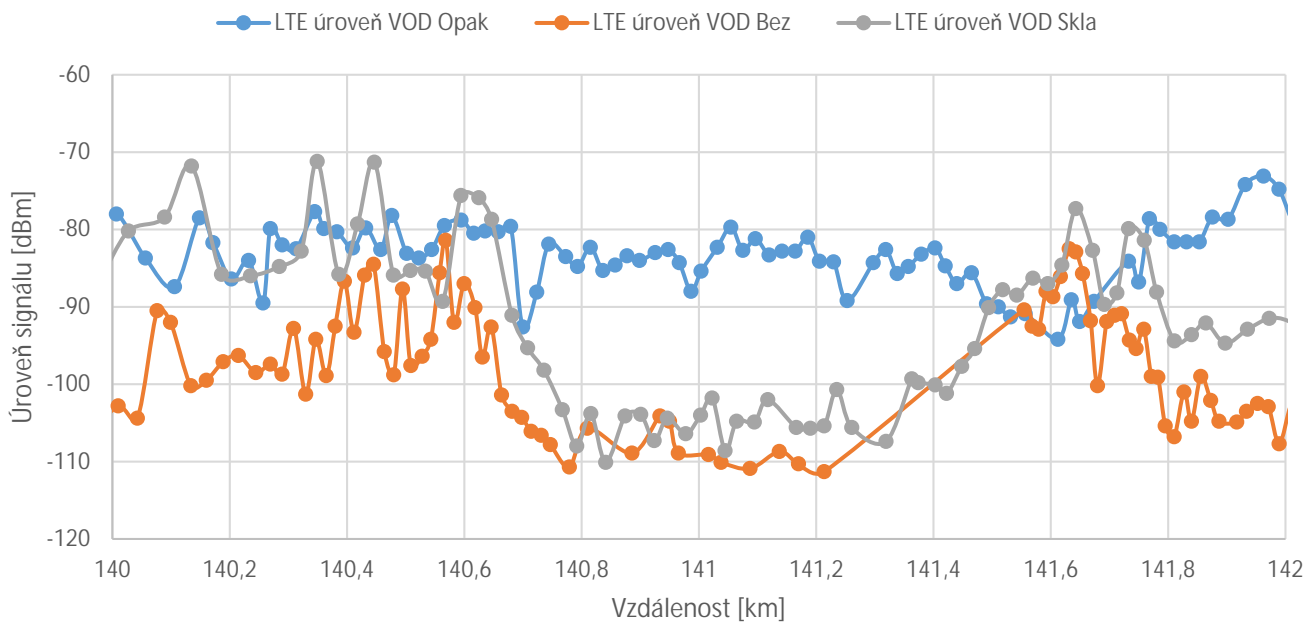
Obr. č. 12: Srovnání úrovní signálů LTE sítí operátora T-Mobile ve vlakové soupravě bez opakováče (vlevo), ve vlakové soupravě s propustnými okny (uprostřed) a ve vlakové soupravě s opakováčem (vpravo).



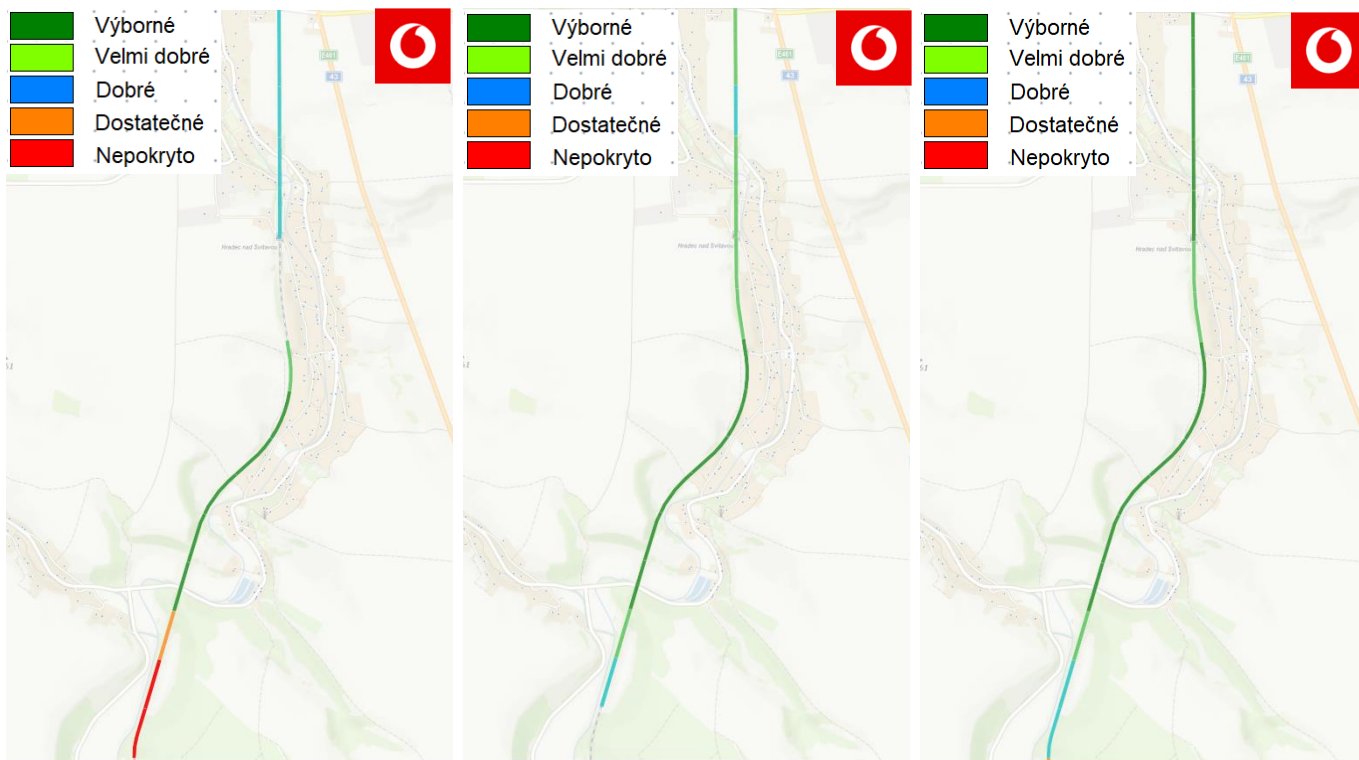
Obr. č. 13: Detail úrovní signálů LTE sítě operátora O2 v závislosti na vlakové soupravě (soupravy bez opakovací (oranžová barva), soupravy s propustnými okny (šedá barva) a soupravy s opakovacím (modrá barva)).



Obr. č. 14: Srovnání úrovní signálů LTE sítě operátora O2 ve vlakové soupravě bez opakovací (vlevo), ve vlakové soupravě s propustnými okny (uprostřed) a ve vlakové soupravě s opakovacím (vpravo).



Obr. č. 15: Detail úrovní signálů LTE sítí operátora Vodafone v závislosti na vlakové soupravě (soupravy bez opakovací (oranžová barva), soupravě s propustnými okny (šedá barva) a soupravě s opakováčem (modrá barva).



Obr. č. 16: Srovnání úrovní signálů LTE sítí operátora Vodafone ve vlakové soupravě bez opakovací (vlevo), ve vlakové soupravě s propustnými okny (uprostřed) a ve vlakové soupravě s opakováčem (vpravo).

### 3. Závěr

Na konci roku 2021 bylo provedeno porovnávací měření za účelem zjištění dostupnosti a kvality mobilních radiokomunikačních sítí (GSM a LTE) uvnitř vlakových souprav RailJet a InterJet. Měření bylo provedeno pro tři dostupné konfigurace: vlaková souprava s nepropustnými okny (z pohledu rádiového signálu) s opakovačem, vlaková souprava s nepropustnými okny bez opakovače a vlaková souprava s propustnými okny bez opakovače.

Z naměřených dat je patrné, že ve vlakové soupravě využívající opakovač je (právě díky využití opakovače) dostupnost a kvalita GSM (služby telefonní hovory, sms) i LTE (data, přístup k internetu) sítí nejstabilnější. Po celou dobu měření bylo možné uskutečňovat zkušební hovory (GSM síť), při kterých bylo navázáno telefonní spojení bez výskytu abnormalit, šumu nebo výpadků uskutečněných spojení. Obdobný závěr lze konstatovat i u datových spojení (LTE síť), kdy byla měřena úroveň signálu a rychlost stahování dat. K výpadkům docházelo pouze v případech, kdy i vně vlakové soupravy bylo pokrytí mobilním signálem již nedostatečné (neosídlená území, tunely a podobně).

V případě vlakové soupravy s propustnými okny bez opakovače je z měření zřejmé, že v porovnání s vlakovou soupravou bez propustných oken s opakovačem je intenzita elektromagnetického pole v místě měření (měřicího přístroje, mobilního telefonu) více než o polovinu menší (o 3,7 dB) oproti soupravě s opakovačem v případě GSM sítí (telefonní hovory, sms) a o něco méně než o polovinu menší (o 2,1 dB) oproti soupravě s opakovačem v případě LTE sítí. V místech s dobrým pokrytím vně vlakové soupravy nedochází uvnitř vlakové soupravy k poklesu úrovně signálu sítí (GSM, LTE) na mezní hodnotu a případným rozpadům spojení. V případě míst s dostatečným pokrytím vně železničního vozu se z důvodu útlumu vlakové soupravy začínají v místě měření uvnitř železničního vozu již vyskytovat abnormality a výpadky měřených sítí.

V soupravě bez propustných oken a bez opakovače při měření docházelo v sítích GSM i LTE k výpadkům signálů uvnitř vlakové soupravy a tím docházelo k nedostupnosti služeb jednotlivých mobilních radiokomunikačních sítí (telefonní hovory, sms, přístup k internetu). Průměrný rozdíl úrovně signálu z celkového měření byl v sítích GSM i LTE větší než 9 dB ve srovnání s vlakovou soupravou bez propustných oken s opakovačem a vlakovou soupravou s propustnými okny bez opakovače. Zmíněné je způsobeno velkým útlumem jednotlivých železničních vozů.

Dle rozvojových kritérií mají operátoři plnit pokrytí signálem LTE na tranzitních železničních korydorech I. až IV vně vlakové soupravy ve výšce 4,5 m. Na základě měřených výsledků je zřejmé, že přístup ke službám mobilních sítí uvnitř železničních vozů bude bez dalších technických řešení značně omezen, viz výsledky z vlakové soupravy bez propustných oken a bez opakovače. Nejvhodnějším řešením je jednoznačně instalace tzv. opakovačů v železničních vozech, kdy je možné dosáhnout homogenního pokrytí jednotlivých železničních vozů. V případě slabého, avšak dostatečného pokrytí korydoru vně vlakové soupravy je možné díky použití opakovače pokrýt vnitřní části železničního vozu mobilními sítěmi s dostatečnou kvalitou. V případě soupravy s propustnými okny bez opakovače by díky útlumu oken a ostatních komponent vlakové soupravy byl signál uvnitř železničního vozu nehomogenní a objevovala by se místa, kde by služby mobilních operátorů nebyly dostupné.

Naměřených výsledků bylo dosaženo za jednoho stavu nastavení opakovače. V případě optimalizace nastavení jeho provozně technických parametrů lze očekávat ještě lepších výsledků.

V Brně 19. 1. 2022

Ing. Pavel Cídl  
vedoucí OTP Brno