

Centrum techniky a diagnostiky

# ETCS Rádiové plánování a handover mezi BTS - zkušenosti z provozu

Ing. Jiří Šustr  
Vedoucí střediska rádiových systémů

ČVTS 12. 9. 2023

L2

# Cíl prezentace

## **Rádiové rozhraní**

Vlastnosti, diagnostika a potřebný background

## **Rádiové plánování**

Co je úkolem, popis procesu, co je výstupem

## **Předání hovoru**

K čemu slouží, jak funguje, co může být problém

## **Zkušenosti z provozu**

Poznatky z provozu se zaměřením na problémy

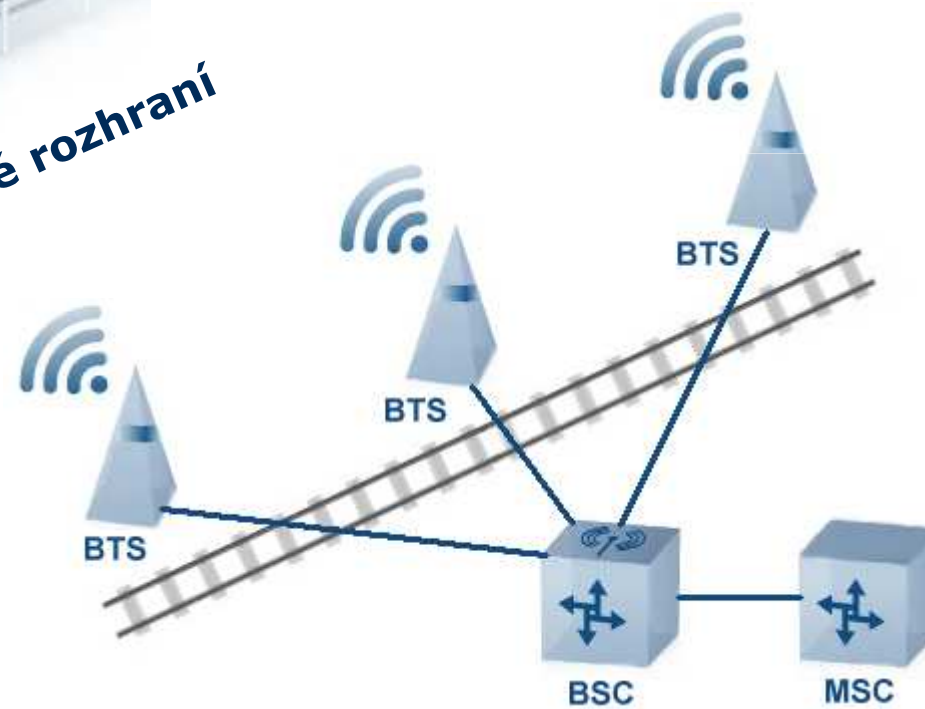
# Základní části GSM-R

System GSM-R poskytuje mobilní datovou komunikaci pro ETCS v aplikační úrovni 2 a vyšší

Mobilní část



Rádiový segment GSM-R



Dnes přenos dat pomocí CS do budoucna PS (GPRS)

# Rádiové rozhraní

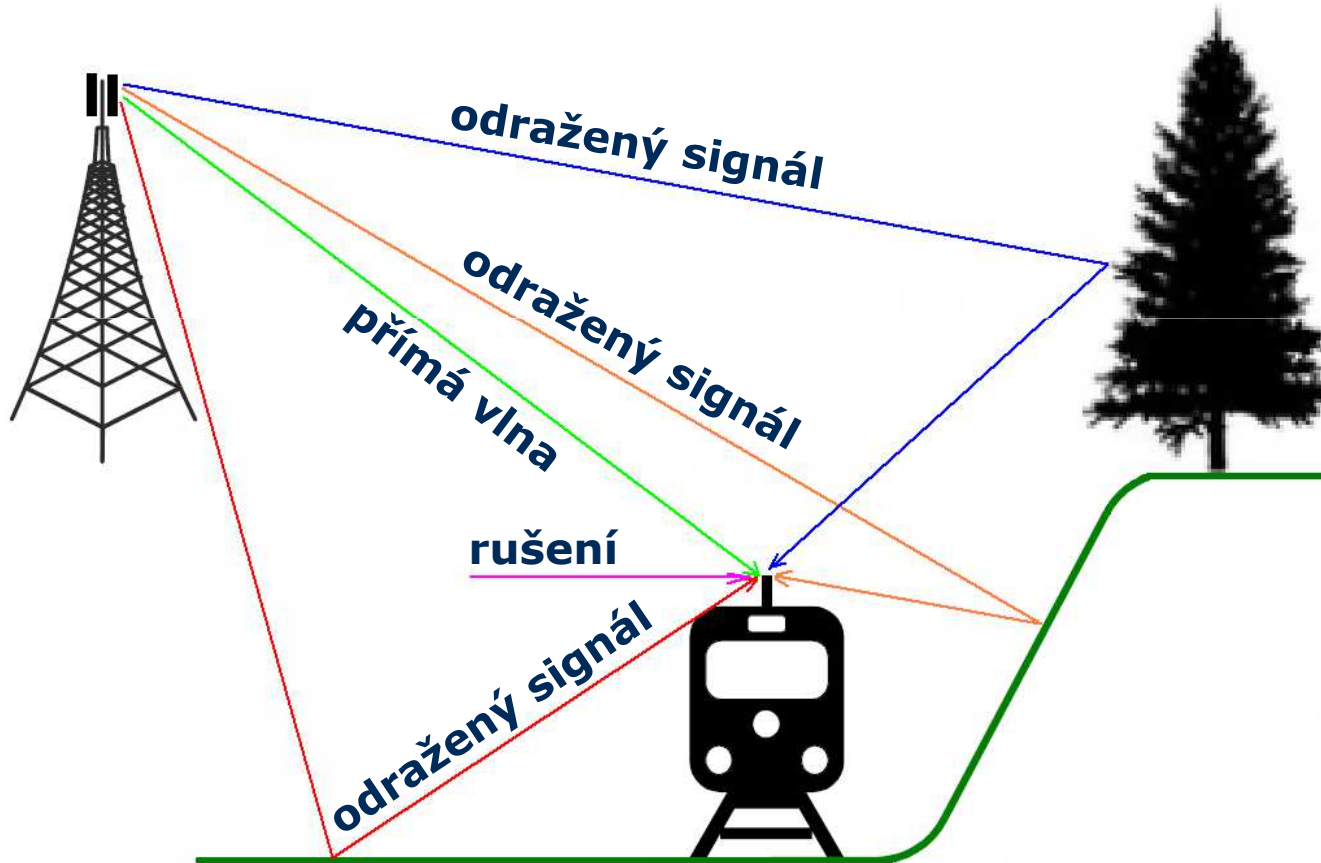
Základní rozhraní každého rádiového systému představující prostor mezi infrastrukturní a mobilní stranou systému.

## Hlavní vlastnosti a s čím je potřeba počítat

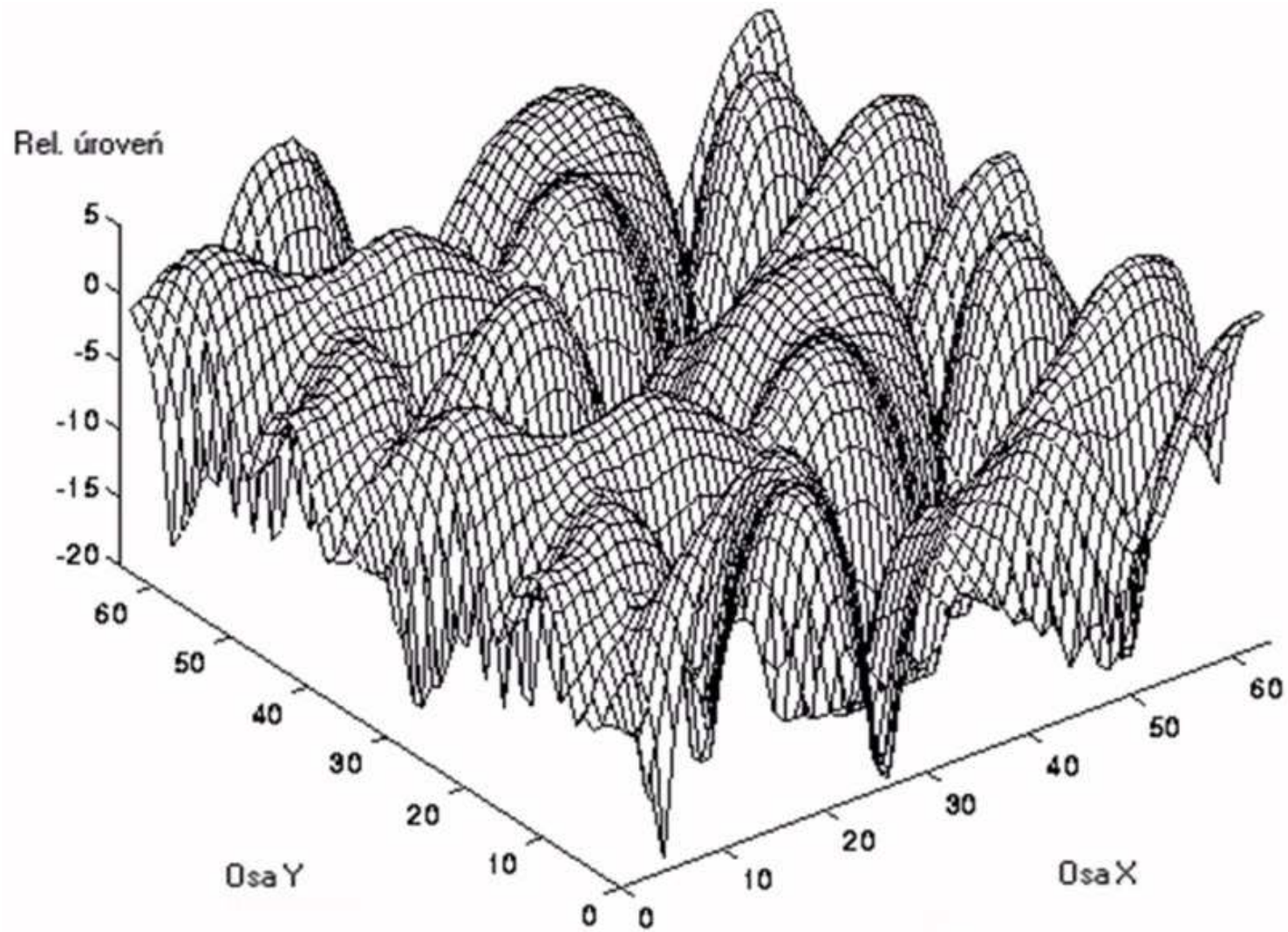
- Vlastnosti šíření závislé na vlnové délce
- Ve volném prostoru úroveň klesá s kvadrátem vzdálenosti
- Pomalý únik (Log Normal)
- Rychlý únik (Multipath)
- Vnější rušení (postupně se zhoršující situace)

## Vícecestné šíření (multipath)

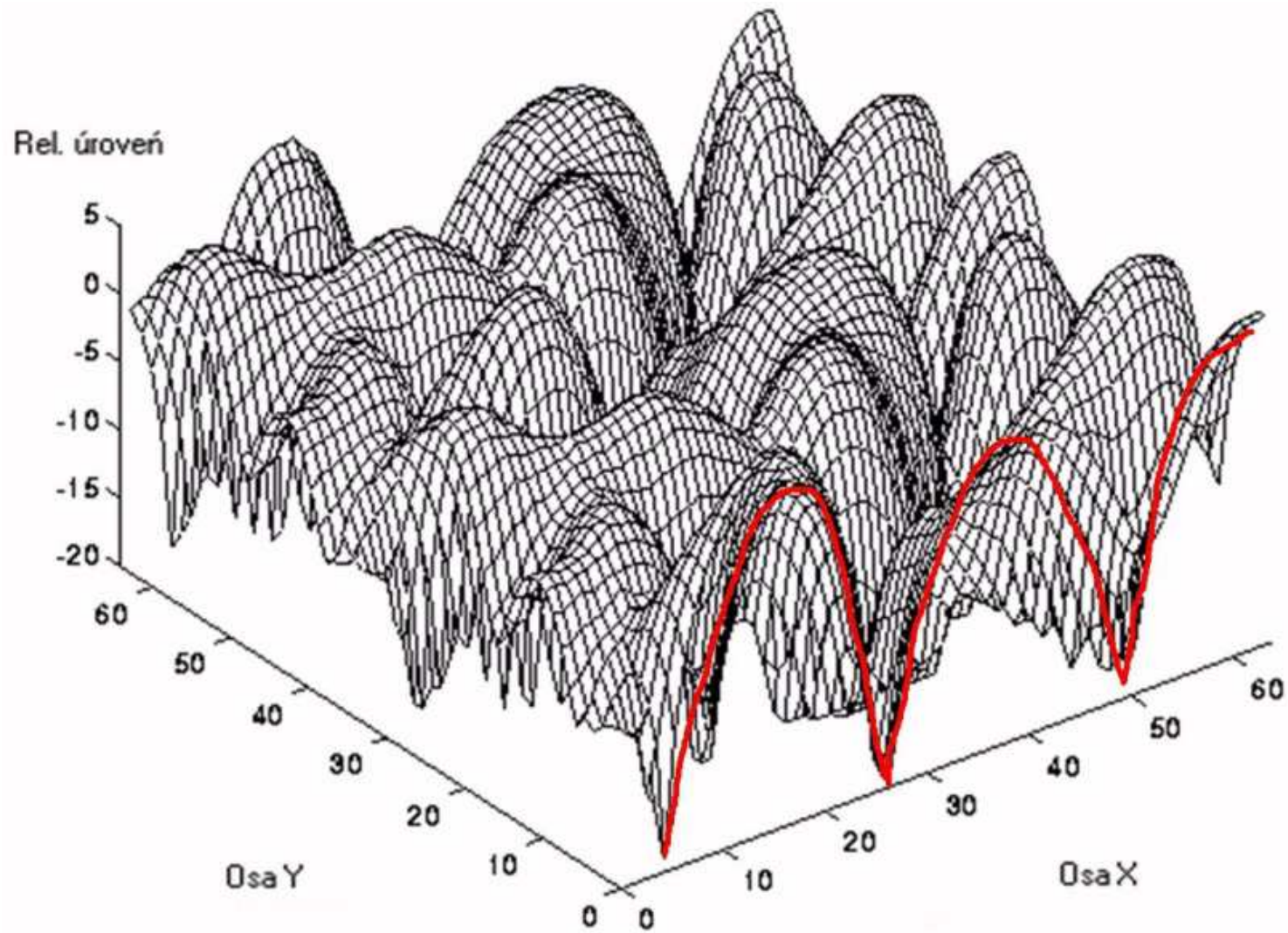
V každém bodě vektorové sčítání přímého a nekonečného počtu odražených signálů (zpožděný signál s různou úrovní a fází)



# Rozložení signálu v prostoru



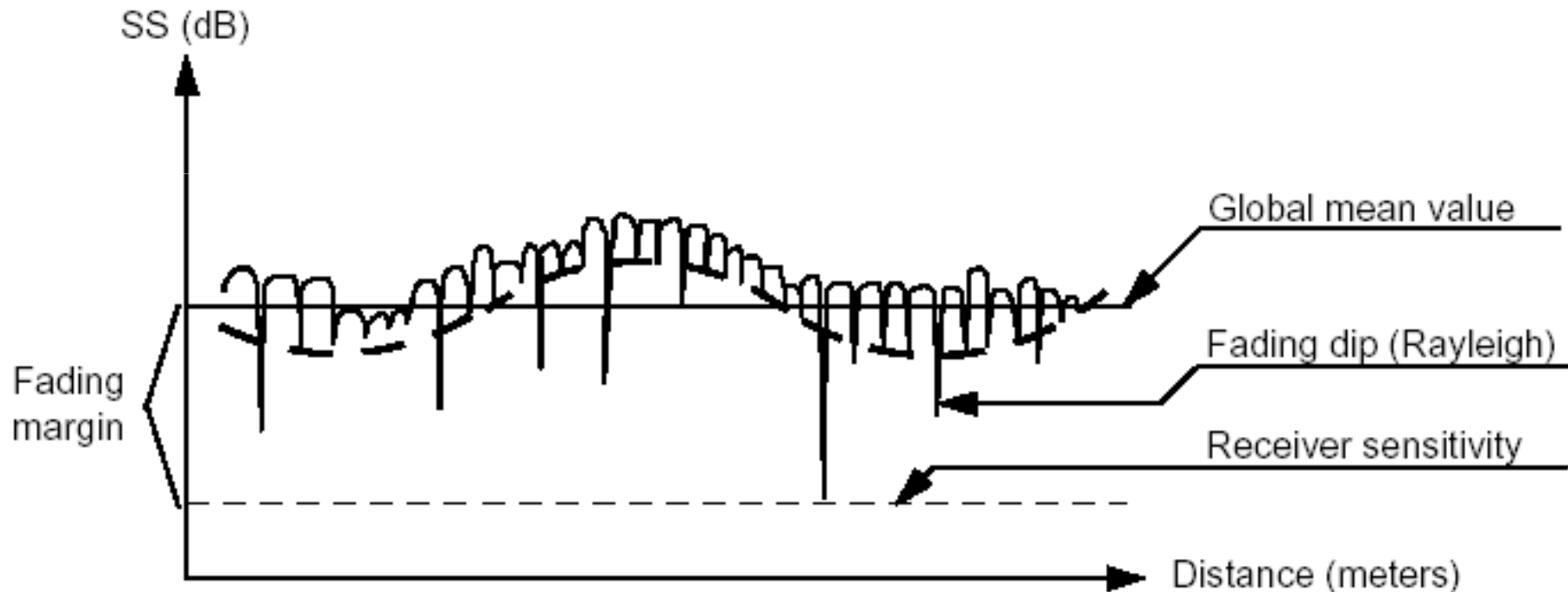
# Rozložení signálu při pohybu



# Rozložení signálu 2D

## Hustota pravděpodobnosti

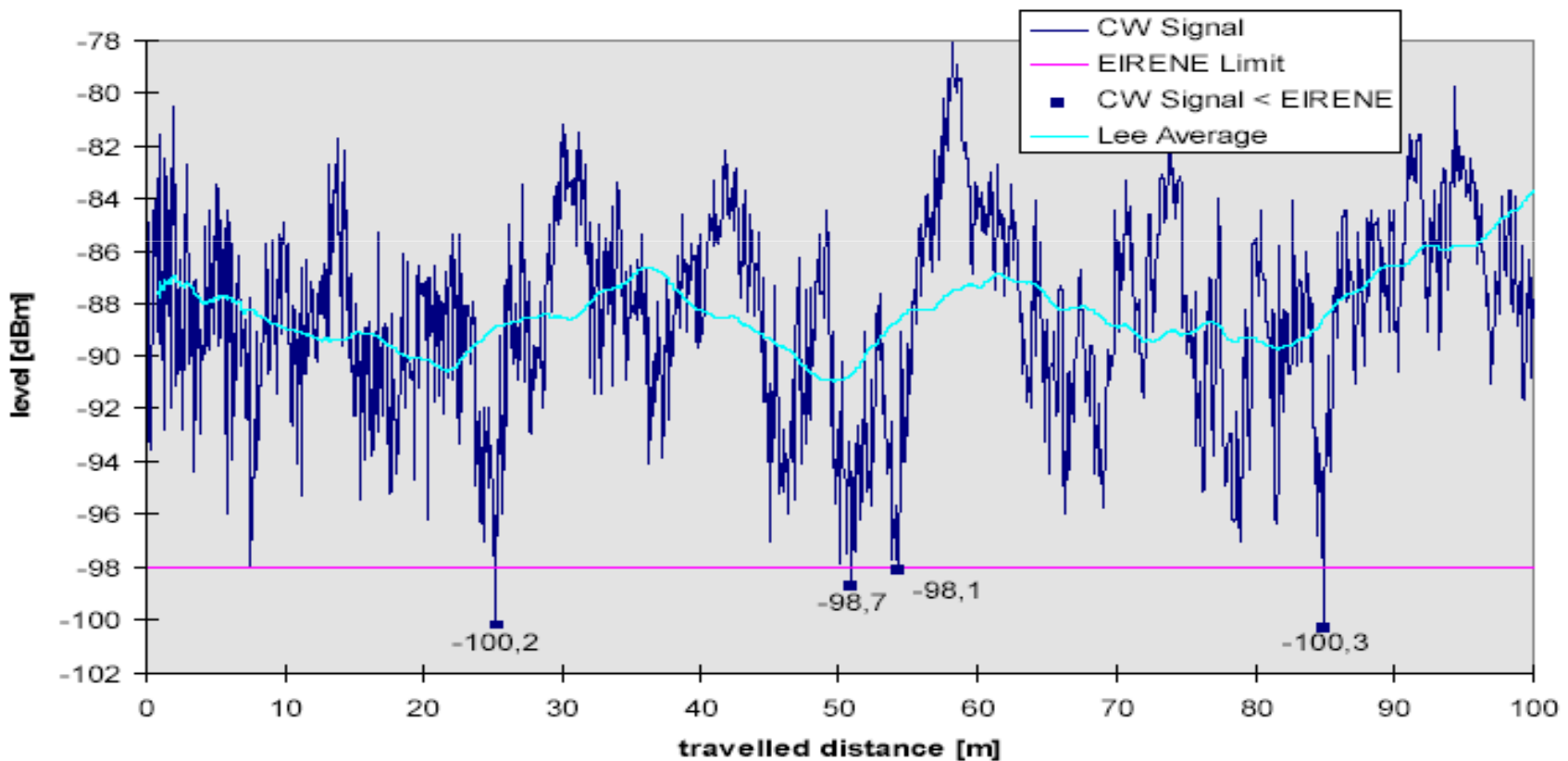
- Závislá na prostředí (na poměru složek přímého a odraženého signálu)
- Fading margin cca 11-12 dB pro přepočítání z 95% na 50% (Rice rozložení)





# Úroveň signálu - vyhodnocení

Pro možnost vyhodnocení je nezbytné signál velice rychle vzorkovat (Lee kriterium), měřit a ukládat pro možnost statistického vyhodnocení. Dle Eirene v každém 100 m úseku s pravděpodobností 95 % (zde pro hlasová volání -98 dBm a rychlost do 220 km/h)



# Prostředky CTD pro diagnostiku rádio

## Motorový vůz

vznikl v roce 2014  
přestavbou  
motorového vozu  
řady 851  
s maximální  
povolenou rychlostí  
120 km/h



## Tažený vůz

vznikl v roce 1995  
přestavbou  
poštovního vozu  
řady POST-W  
s maximální  
povolenou rychlostí  
160 km/h



## Anténní systém MV



# Požadavky na antény vozidel

Eirene specifikace (SRS v.16.0) u vozidel jednoznačně požaduje všesměrovou anténu a to jak pro plánování, tak pro provozní využití.

## sekce 3. (strana 53 SRS):

### 3.2 Pokrytí

3.2.1 Pro plánování sítě je úroveň pokrytí definována jako intenzita pole na anténě na střeše vozu (nominálně ve výšce 4 m nad tratí). Předpokládá se izotropická anténa. tedy se ziskem 0dBi.

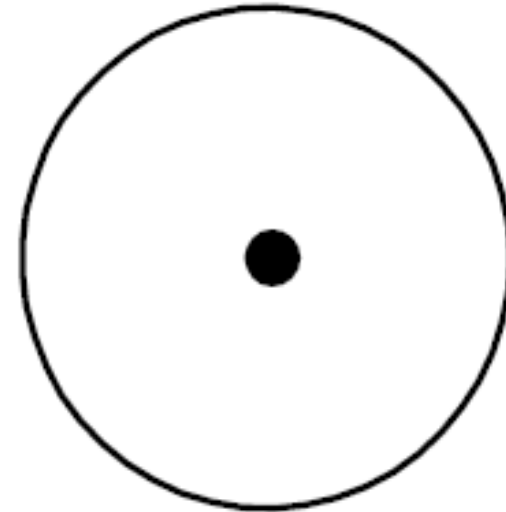
### SRS strana 64:

Instalace antén na vozidlech musí být navržena tak, aby zajistila provoz mobilních terminálů v sítích, které splňují návrhová kritéria definovaná v oddílu 3. (MI)

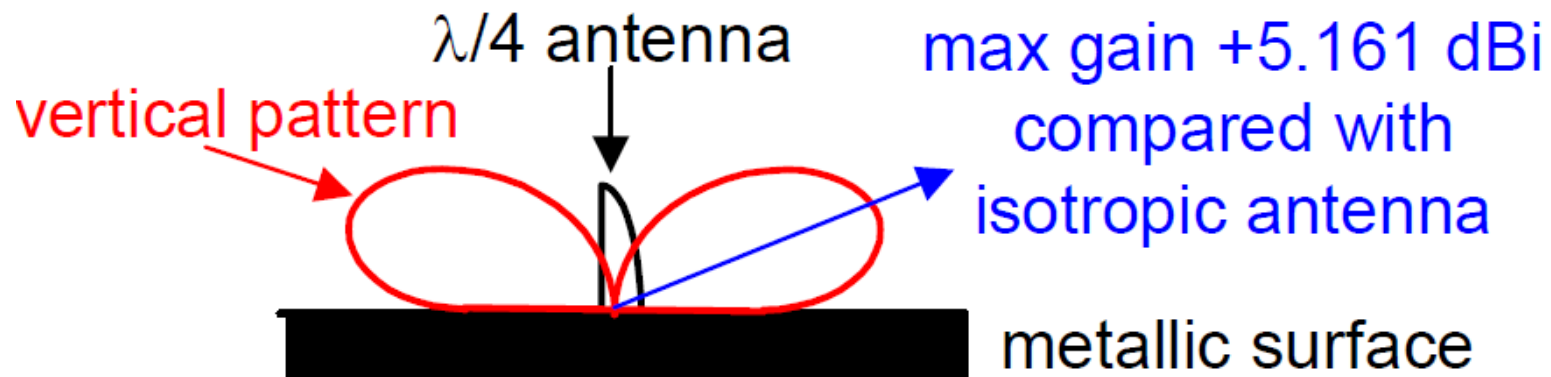
# GSM-R antény měřicího vozu

Izotropický zářič se ziskem 0 dBi

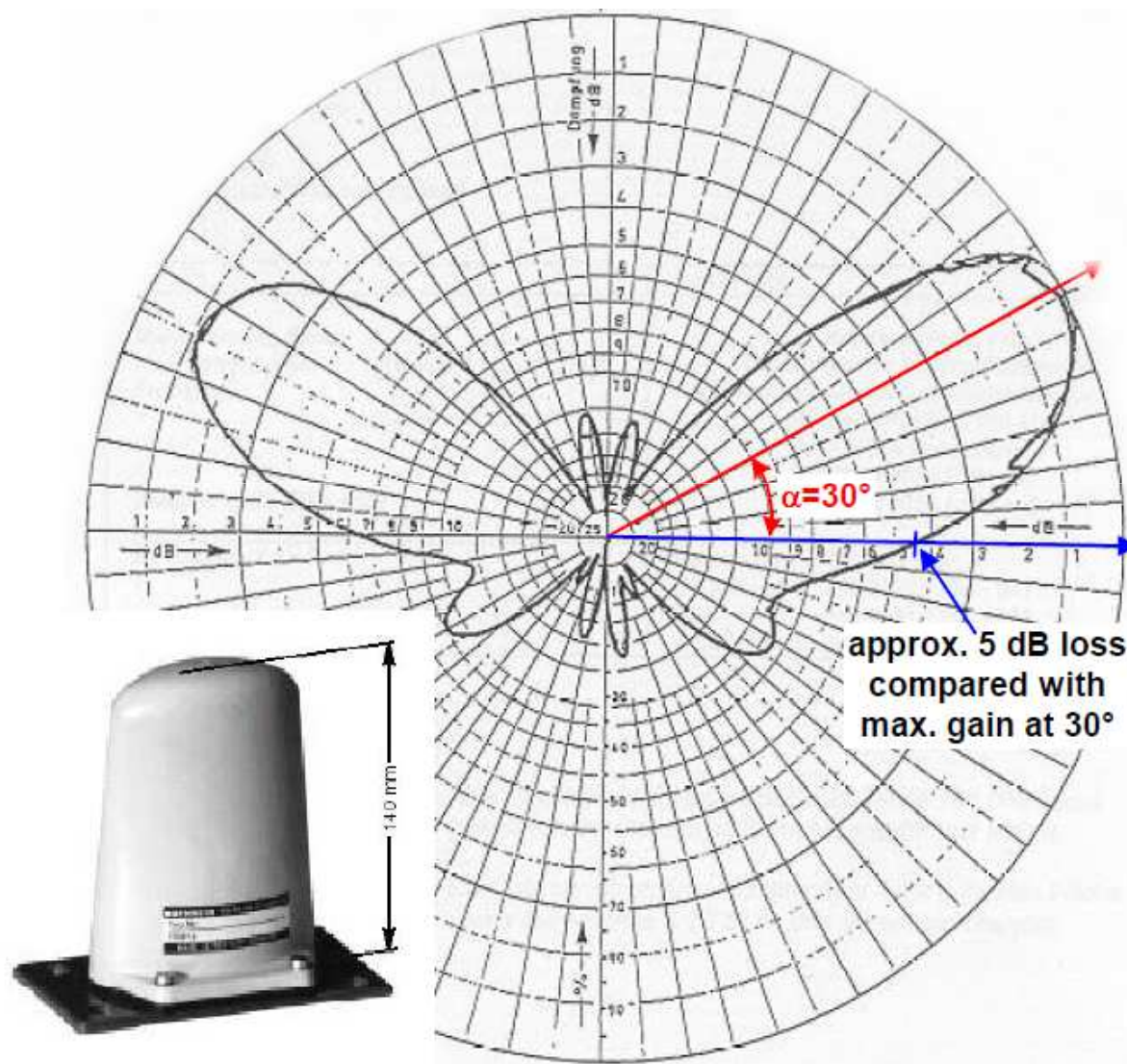
Horizontální diagram



Vertikální diagram



# Vertikální diagram – datasheet výrobce



# Rádiové plánování

Je komplikovaný proces kterým se převážně za pomoci SW simulace určí rozmístění a konfigurace BTS pro splnění požadavků zadání na pokrytí zájmového území s příslušnými KPI.

Požadavky na pokrytí pro potřebu ETCS jsou definovány specifikací Eirene a požadavky QoS pak Subsetem 093.

Požadavky na kapacitu jsou určeny dopravním technologem.

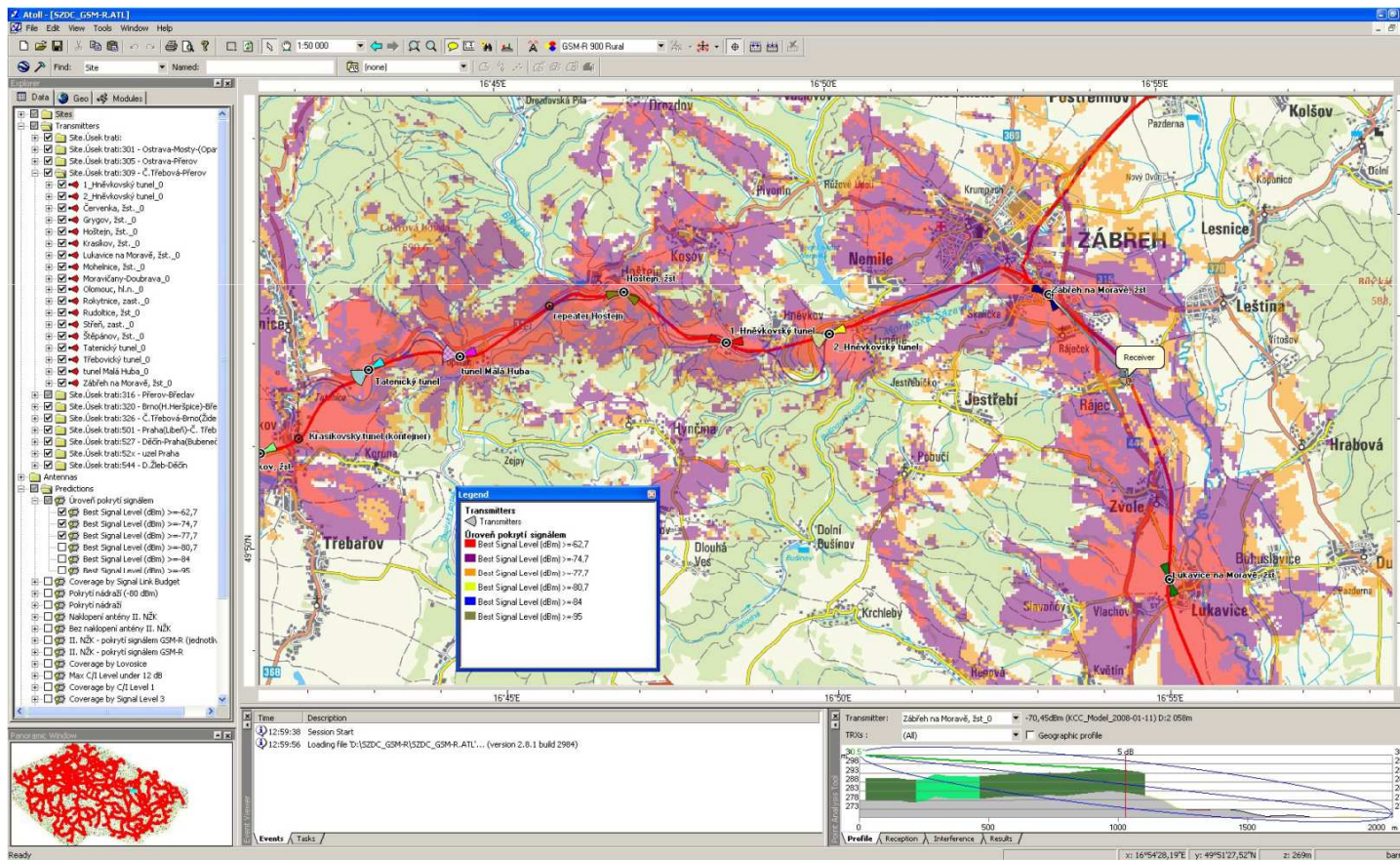
## Výstupem rádiového plánování jsou zejména:

- GPS souřadnice BTS
- výška anténního stožáru
- typy antén, jejich směrování a klopení
- konfigurace BTS a kmitočtové řešení



# Výběr lokalit

Na základě SW simulace šíření s přihlédnutím k realizovatelnosti (vlastnictví pozemku, konektivita, možnost územního schválení atp) jsou vybrány lokality BTS (i variantně). V rádiově problematických lokalitách je simulace ověřována měřením. SW nástroj využívá přesný DMT a model šíření kalibrováný měřeními:





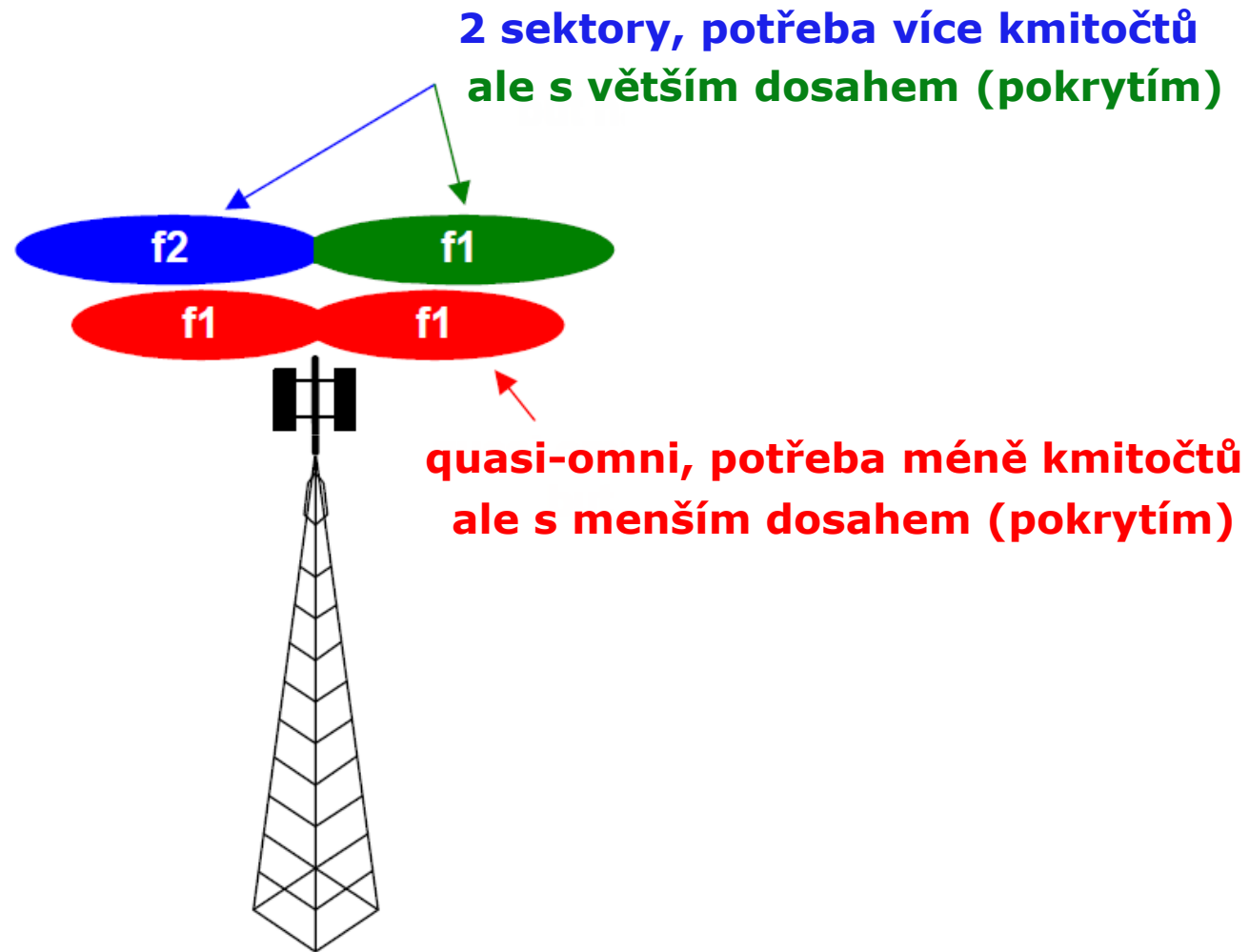
# Návrhová pravidla pro výběr lokalit

Dle pokrývaného území, jeho členitosti, způsobu využití, (širá trať v rovině, zářez, tunel, příhraničí, zastavěná oblast, zářez v lese, posun atp).

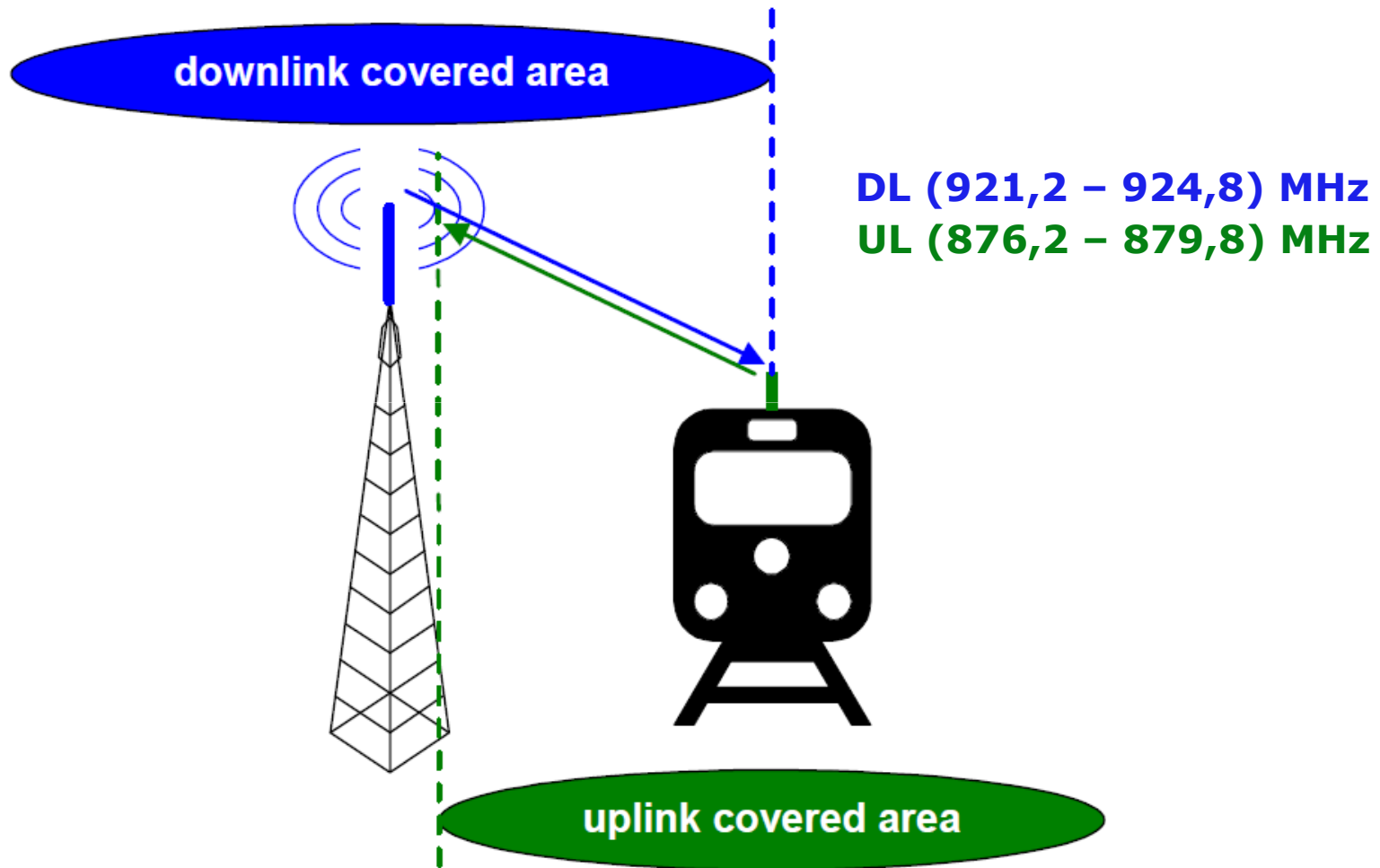
## Obecně je vhodné:

- Využívat přednostně pozemky SŽ
- Dbát na dostupnost BTS pro servis a údržbu i v zimních měsících
- BTS umísťovat pokud možno do oblouků
- Pokrytí s dominantní přímou vlnou (přímá viditelnost)
- Předání hovorů by nemělo být v prostoru ŽST a zastávek
- Lépe vyšší stožár a klopení (mech. popř. el.)
- Neumísťovat BTS na vyvýšených lokalitách (zejména ve městech)
- V sevřených odbočkách signál ven z „Véčka“
- Předání hovorů koncipovat vzhledem k traťové rychlosti a QoS (DI EF 20s)

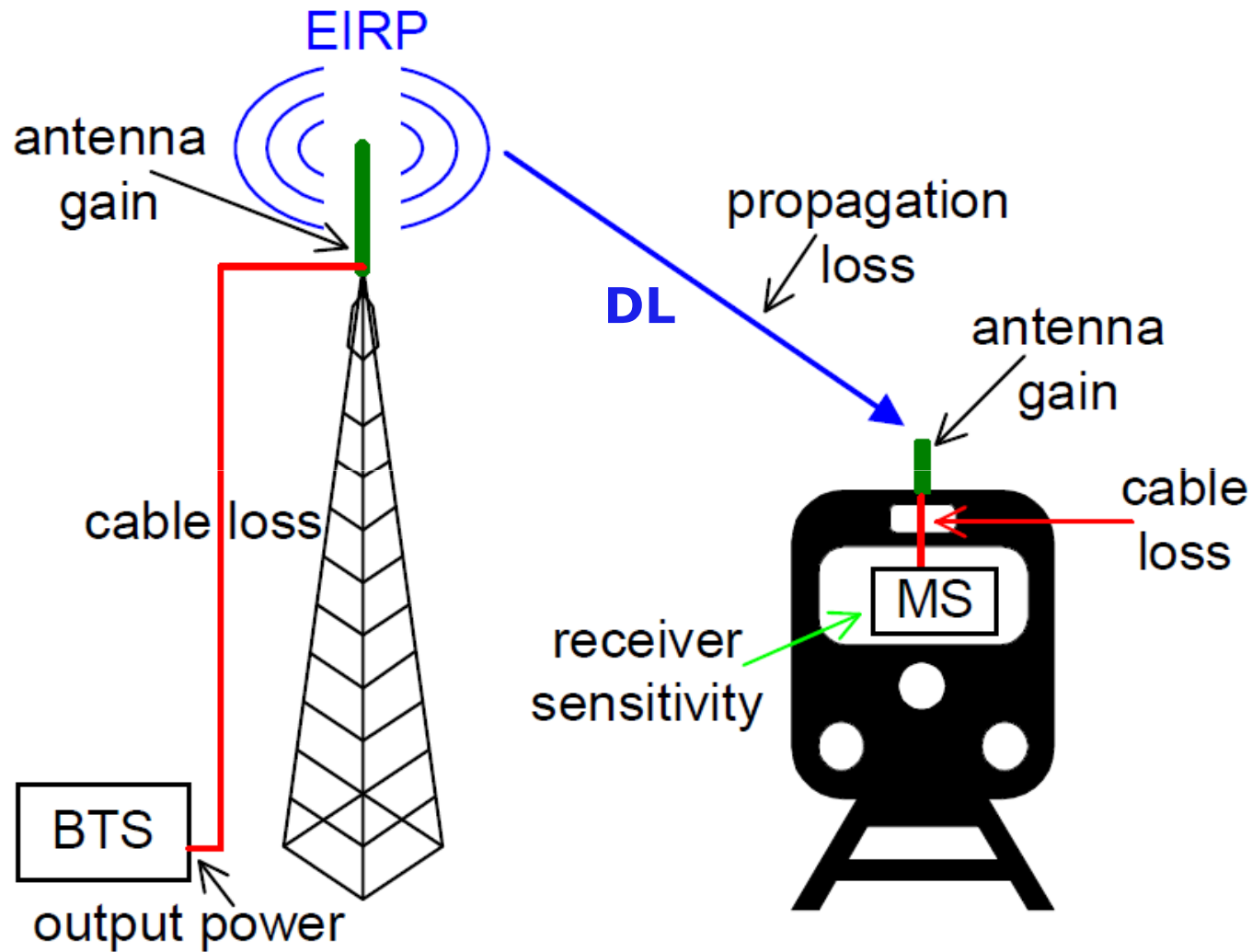
# Konfigurace BTS



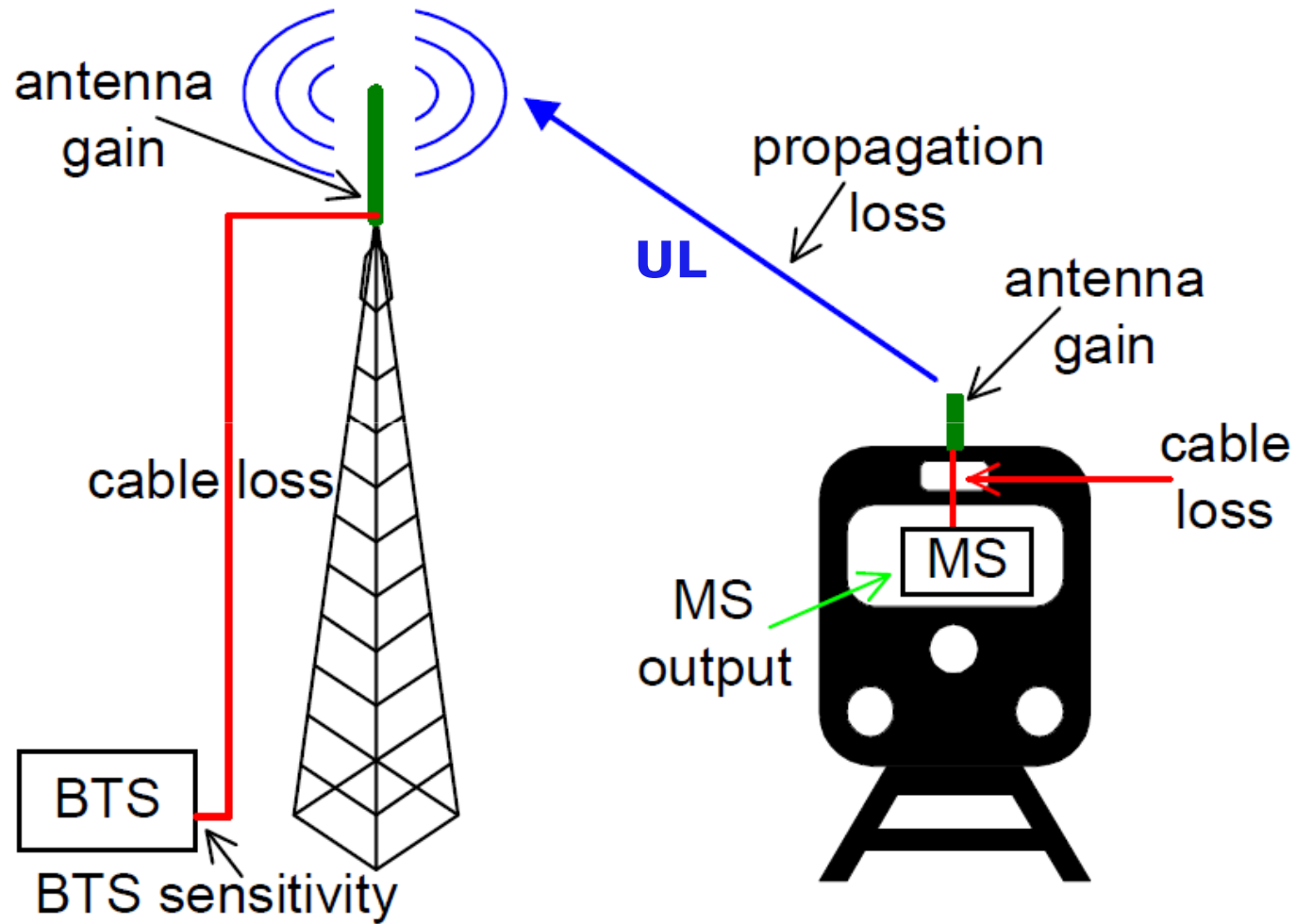
# Power (link) budget



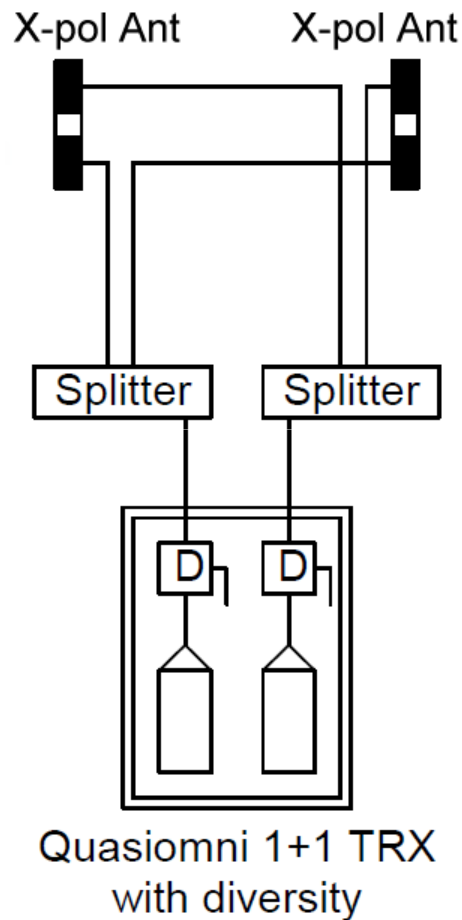
# Downlink



# Uplink

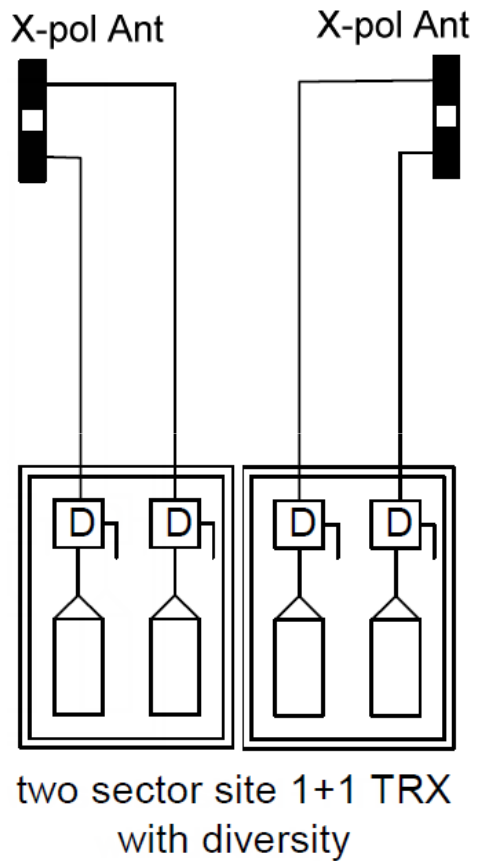


# Quasi-omni konfigurace BTS a link budget



	Uplink	Downlink	
base station transmit power		43.0	dBm
feeder cable loss		-3.0	dB
power splitter		-3.0	dB
jumper cable loss		-0.5	dB
base station antenna gain		17.0	dBi
<b>base station EIRP</b>		<b>53.5</b>	<b>dBm</b>
EIRENE (95%) value at antenna connector		-98.0	dBm
fading margin (95% to 50%)		-11.4	dB
EIRENE train antenna gain		0.0	dBi
<b>required 50% signal level at train antenna</b>		<b>-86.6</b>	<b>dBm</b>
<b>maximum allowed path loss (at 4.5 m &amp; 50%)</b>		<b>140.1</b>	<b>dB</b>
mobile station transmit power	39.0		dBm
in train cable loss	-3.0		dB
EIRENE train antenna gain	0.0		dBi
EIRENE equipment aging	-3.0		dB
<b>mobile station EIRP</b>	<b>33.0</b>		<b>dBm</b>
fading margin (95% to 50%)	-11.4		dB
base station antenna gain	17.0		dBi
feeder cable loss	-3.0		dB
power splitter	-3.0		dB
jumper cable loss	-0.5		dB
diversity gain	3.0		dB
base station sensitivity	-107.0		dBm
<b>maximum allowed path loss (at 4.5 m &amp; 50%)</b>	<b>142.1</b>		<b>dB</b>

## 2 sektorová konfigurace BTS a link budget



	Uplink	Downlink	
base station transmit power		43.0	dBm
feeder cable loss		-3.0	dB
<del>power splitter</del>		<del>-3.0</del>	<del>dB</del>
<del>jumper cable loss</del>		<del>-0.5</del>	<del>dB</del>
base station antenna gain		17.0	dBi
base station EIRP		57.0	dBm
EIRENE (95%) value at antenna connector		-98.0	dBm
fading margin (95% to 50%)		-11.4	dB
EIRENE train antenna gain		0.0	dBi
required 50% signal level at train antenna		-86.6	dBm
maximum allowed path loss (at 4.5 m & 50%)		143.6	dB
mobile station transmit power	39.0		dBm
in train cable loss	-3.0		dB
EIRENE train antenna gain	0.0		dBi
EIRENE equipment aging	-3.0		dB
mobile station EIRP	33.0		dBm
fading margin (95% to 50%)	-11.4		dB
base station antenna gain	17.0		dBi
feeder cable loss	-3.0		dB
<del>power splitter</del>	<del>-3.0</del>		<del>dB</del>
<del>jumper cable loss</del>	<del>-0.5</del>		<del>dB</del>
diversity gain	3.0		dB
base station sensitivity	-107.0		dBm
maximum allowed path loss (at 4.5 m & 50%)	145.6		dB

# Kmitořtové řešení

Pro ETCS standardně na širé trati BTS s jedním BCCH a jedním TCH kanálem

## **Kapacitu BTS lze navýšit přidáním dalšího TCH kanálu:**

- BCCH + 1x TCH = 13 současných volání
- BCCH + 2x TCH = 21 současných volání
- BCCH + 3x TCH = 29 současných volání

## **Přidáním kmitořtů navýšíme kapacitu, ale může nastat problém s QoS**

Vždy důsledně analyzovat soudobou potřebu komunikace pro daný sektor s uvážením hranic HO a s přihlédnutím k prioritizaci ETCS komunikace a možnosti předání na sousední sektor v případě vyčerpání kapacit.

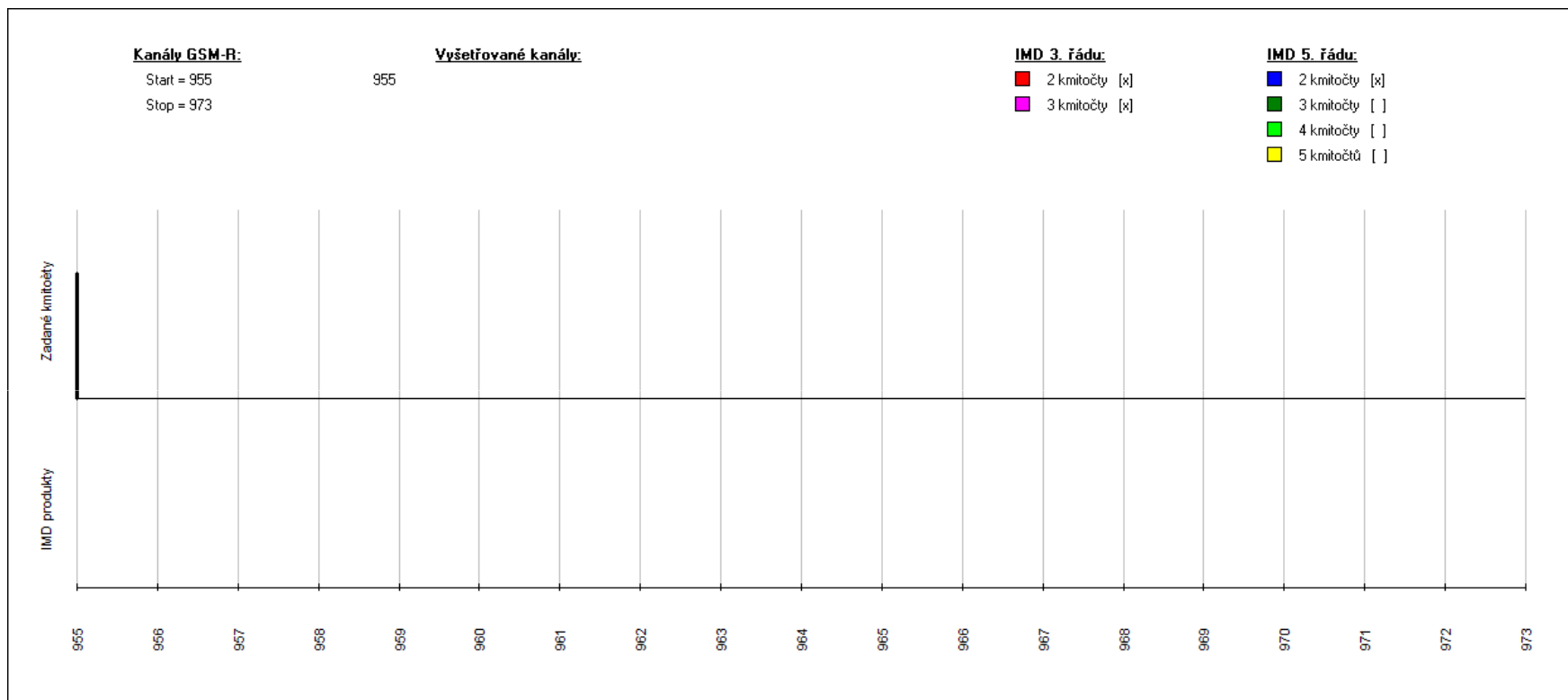
Při přidání kmitořtu důsledně provést intermodulační analýzu pro posouzení možného vzniku intermodulačních produktů, kontrola C/I odstupu

## **Další možnost zvýšení kapacity je:**

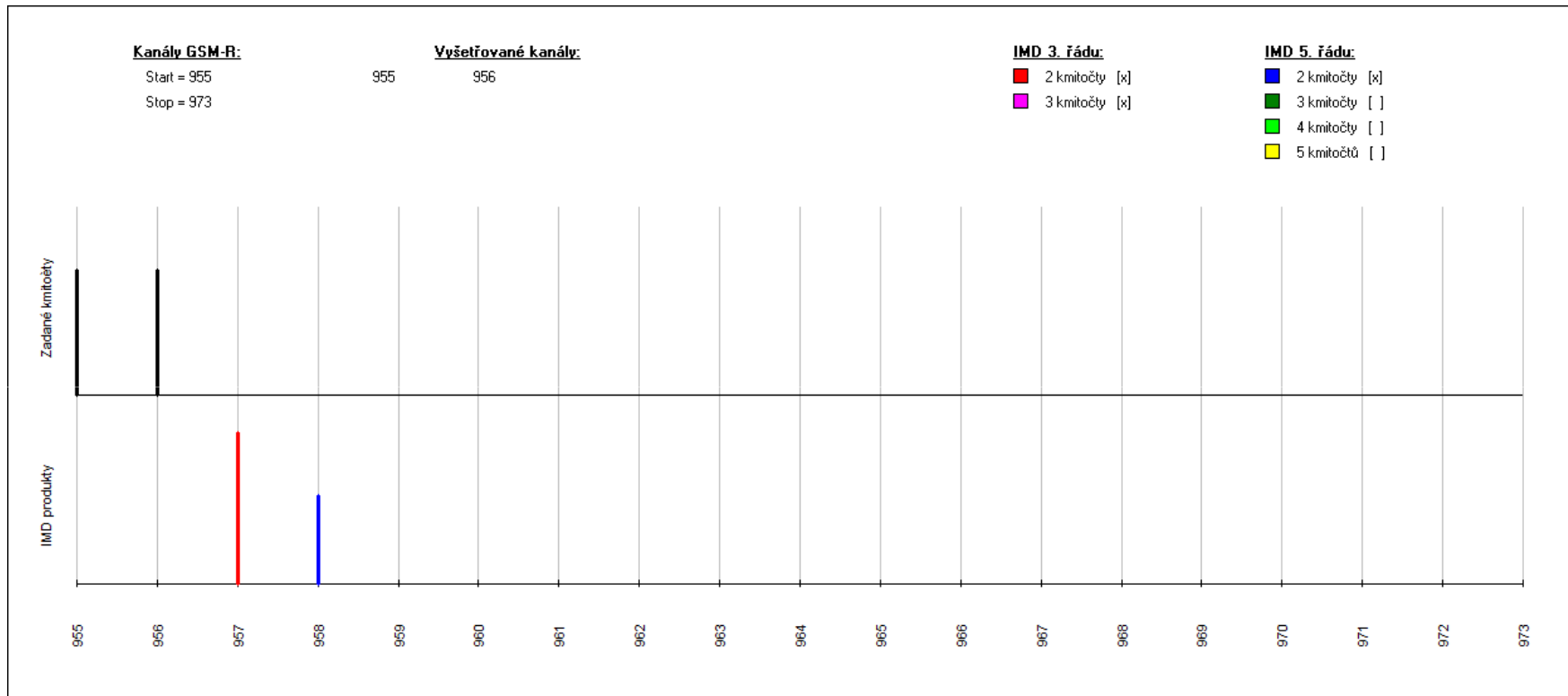
- zmenšování buněk
- zlepšení separace a tím opakovatelnosti kmitořtů
- využití nových kmitořtů v pásmu 900 MHz
- přechod ve vybraných lokalitách (železniční uzly) na technologii GPRS



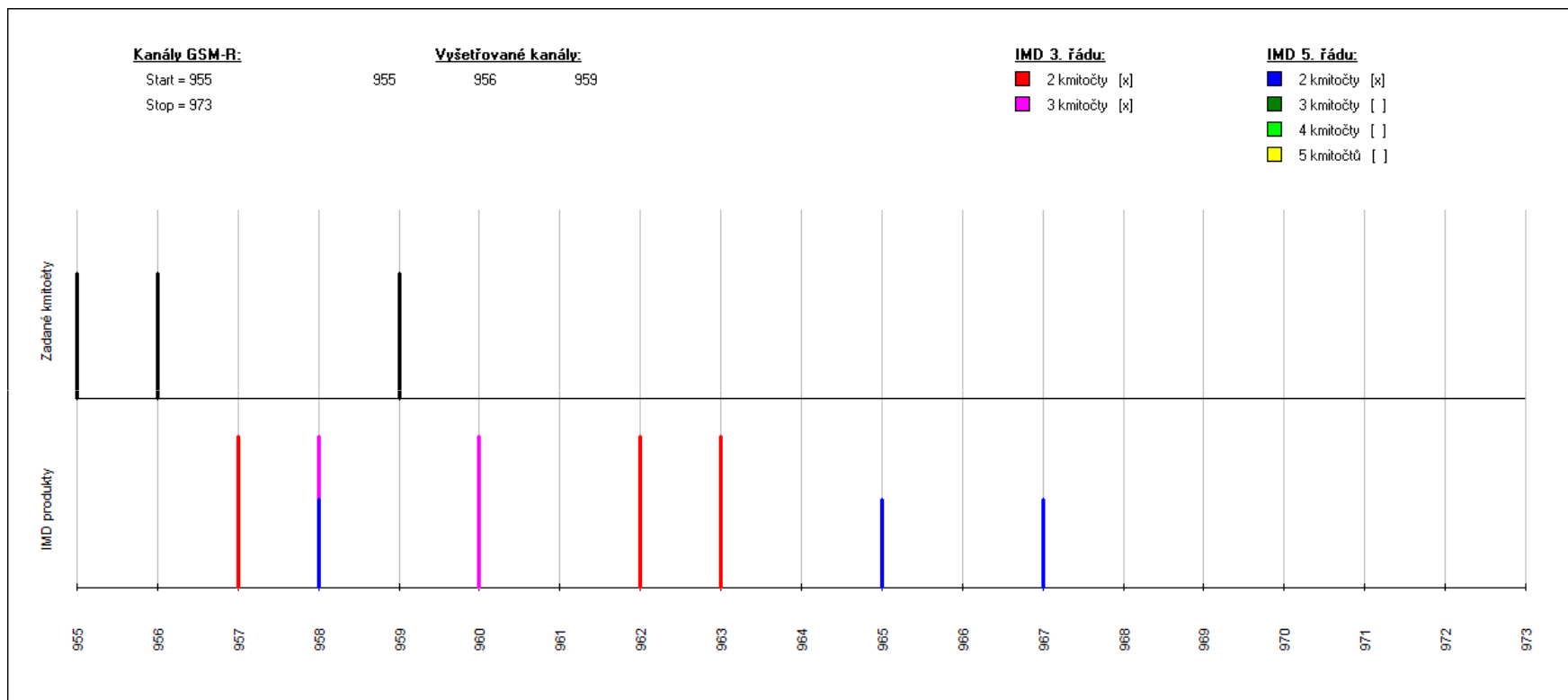
# Intermodulační analýza – 1 kmitočet



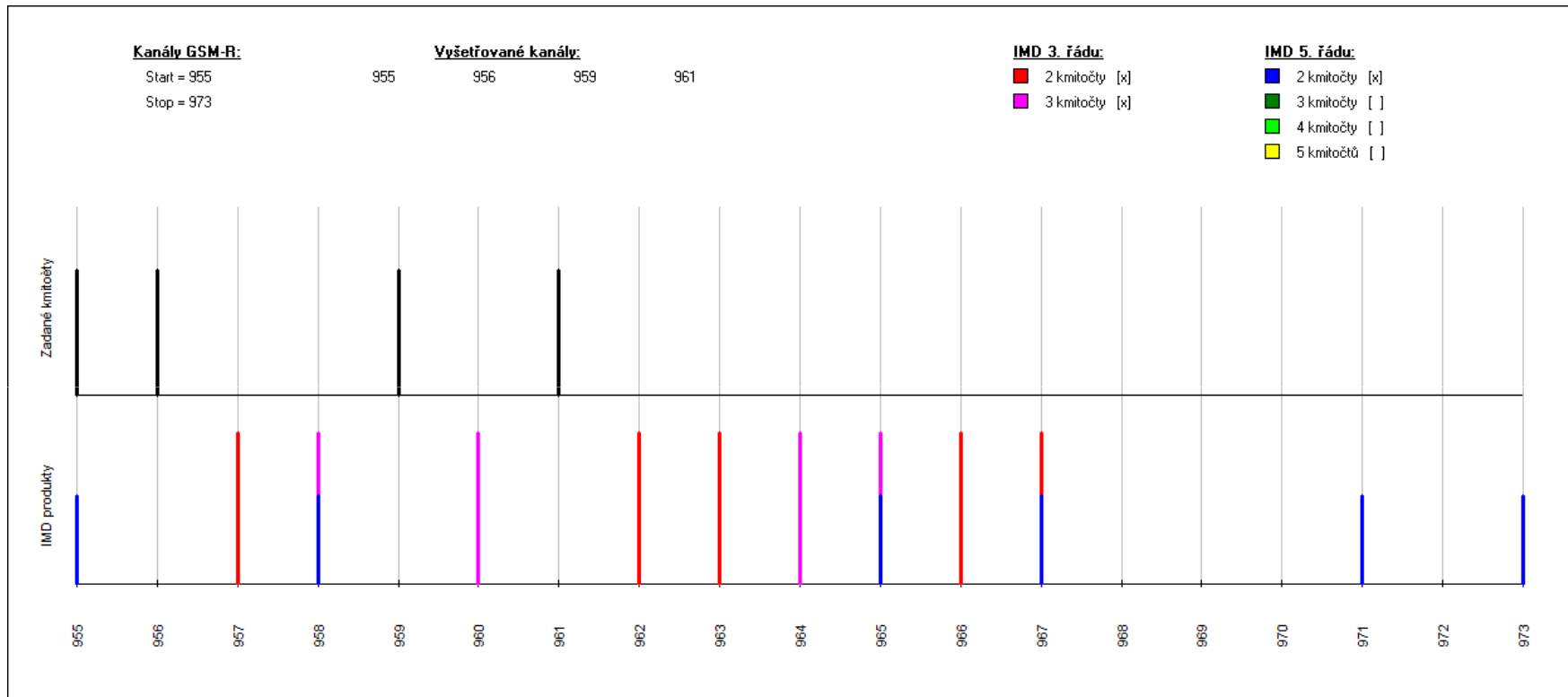
# Intermodulační analýza – 2 kmitočty



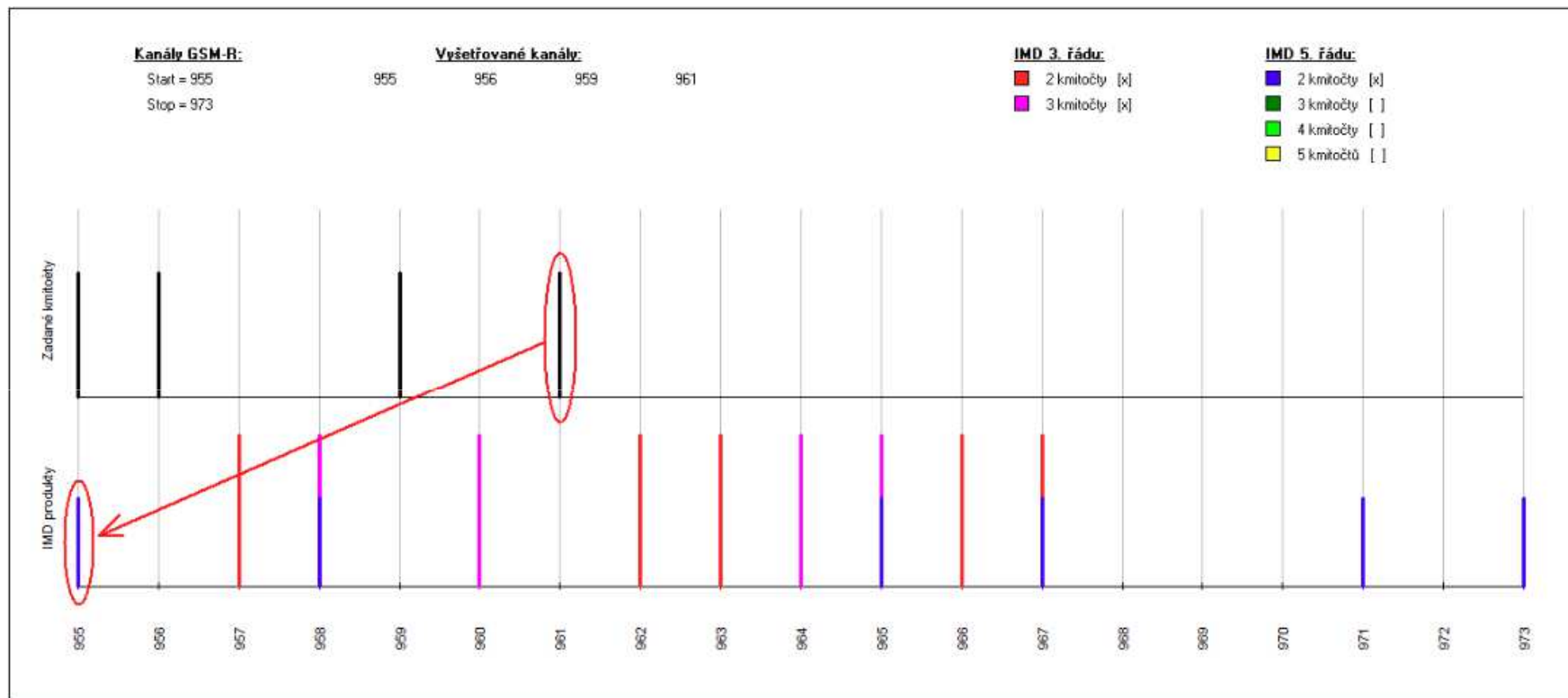
# Intermodulační analýza – 3 kmitočty



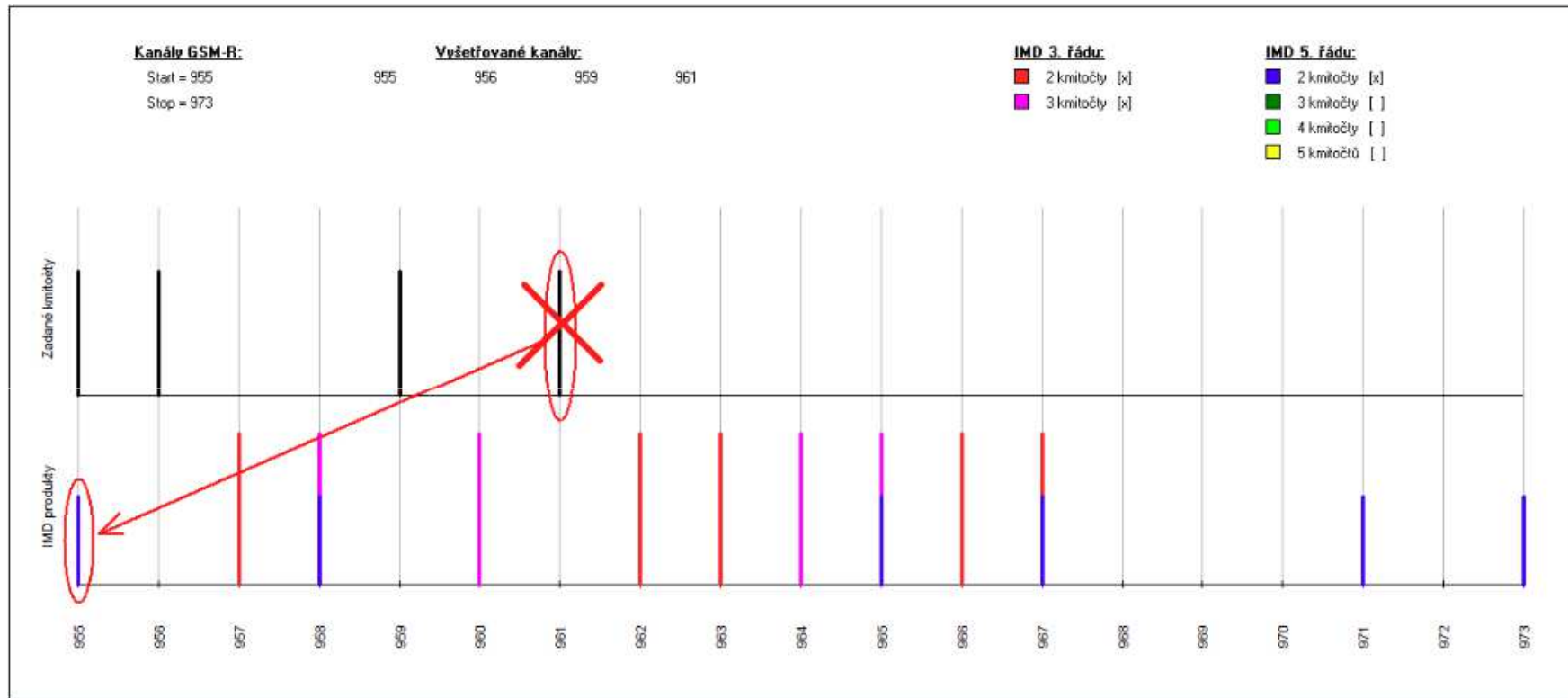
# Intermodulační analýza – 4 kmitočty



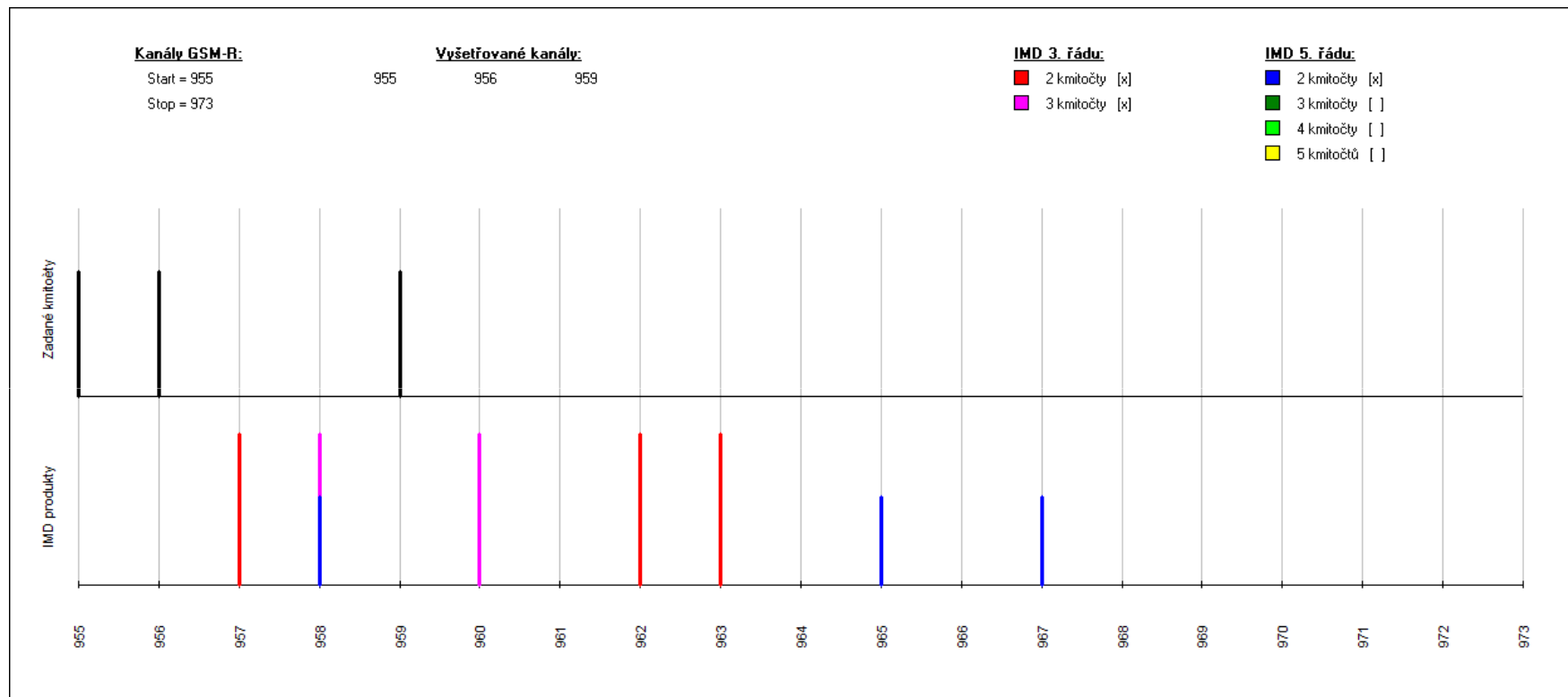
# Intermodulační analýza – 4 kmitočty (961 !)



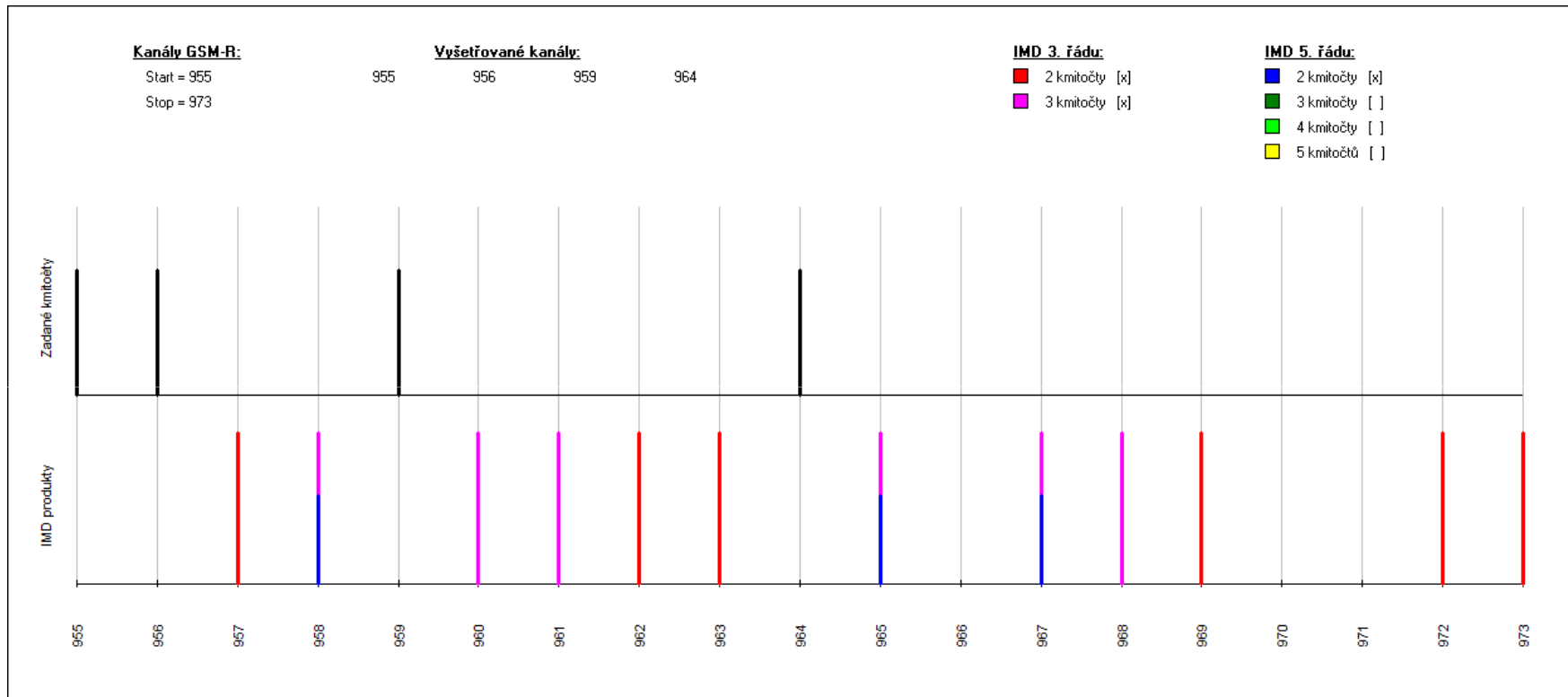
# Intermodulační analýza – ch 961 nelze použít



# Intermodulační analýza – zpět 3 kmitočty

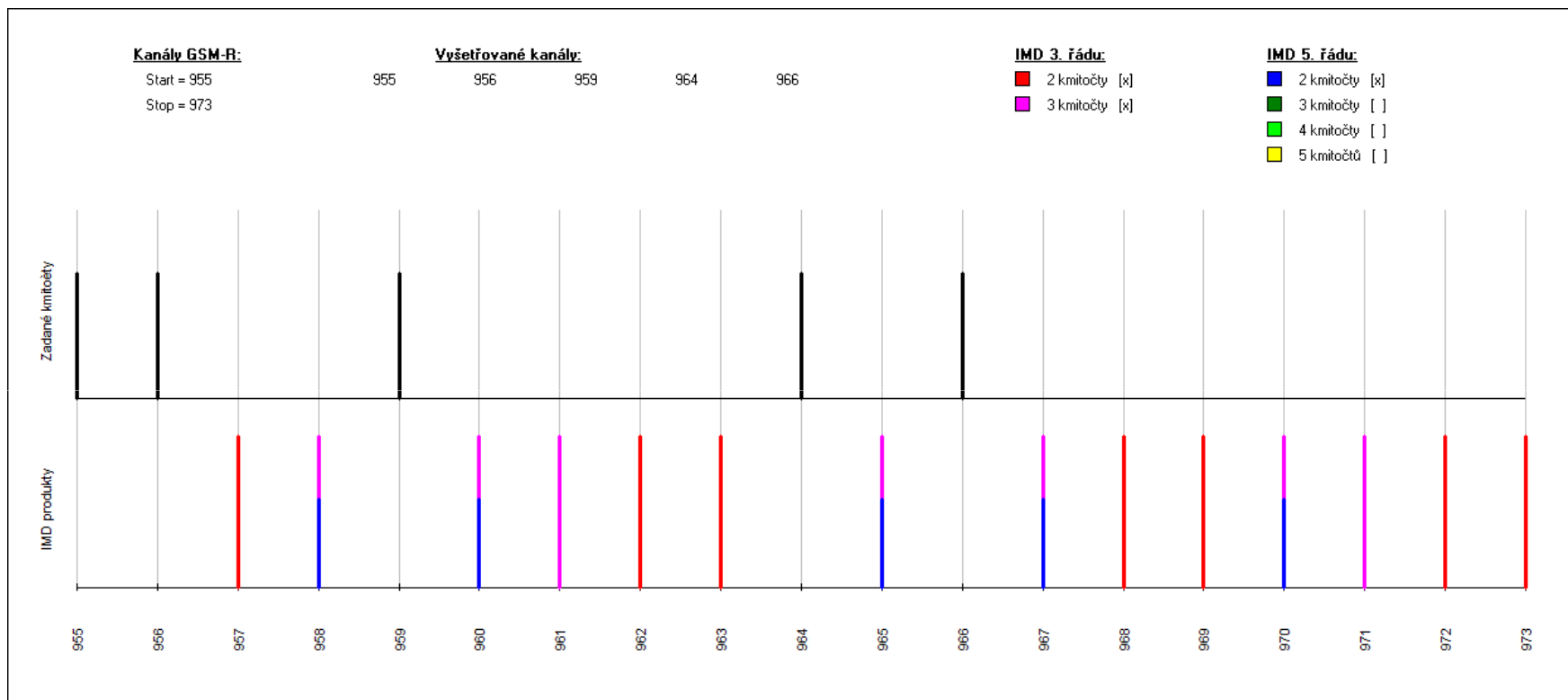


# Intermodulační analýza – 4 kmitočty

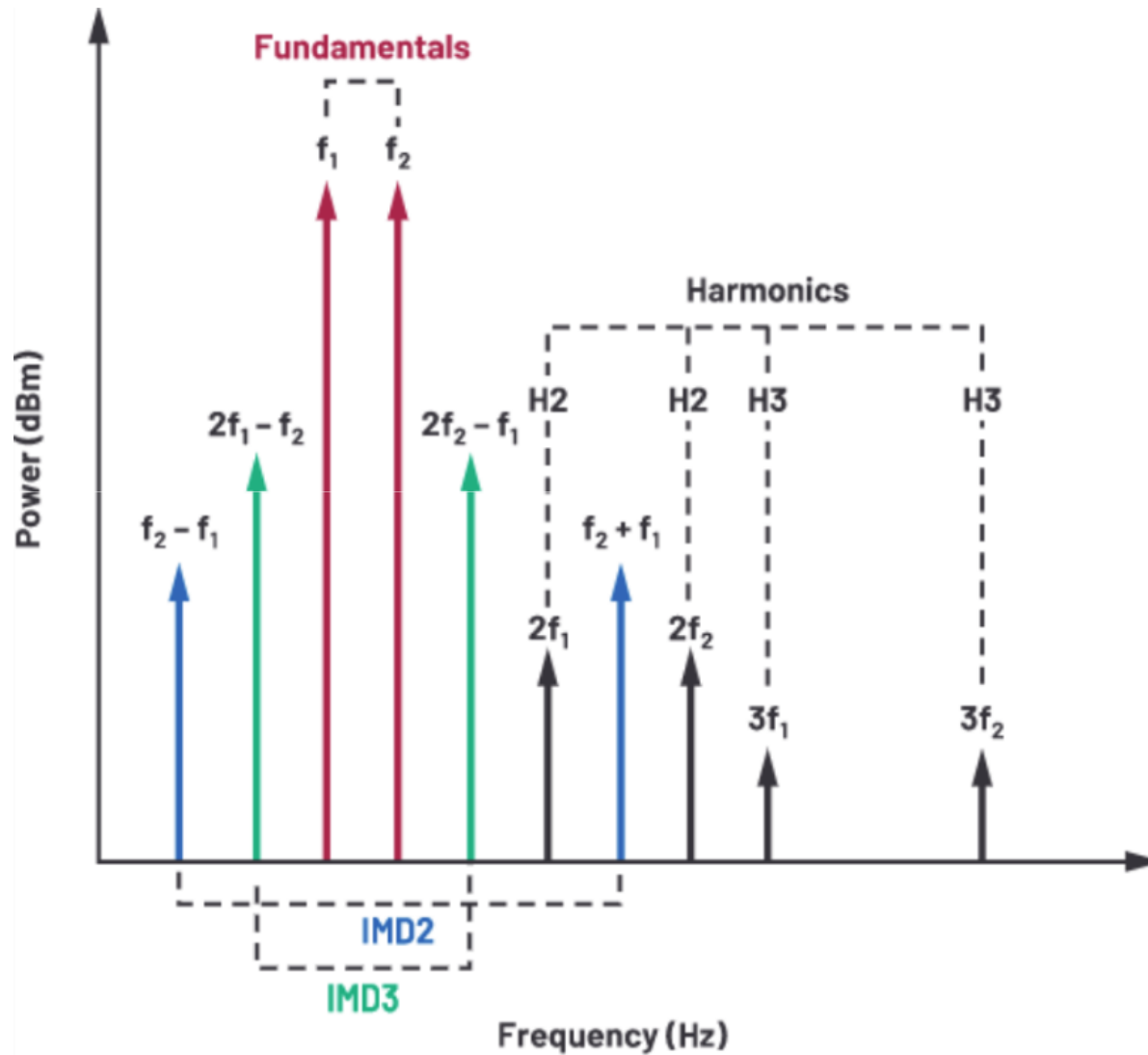




# Intermodulační analýza – 5 kmitočetů



# IMD produkty – spadají do pásma !!!

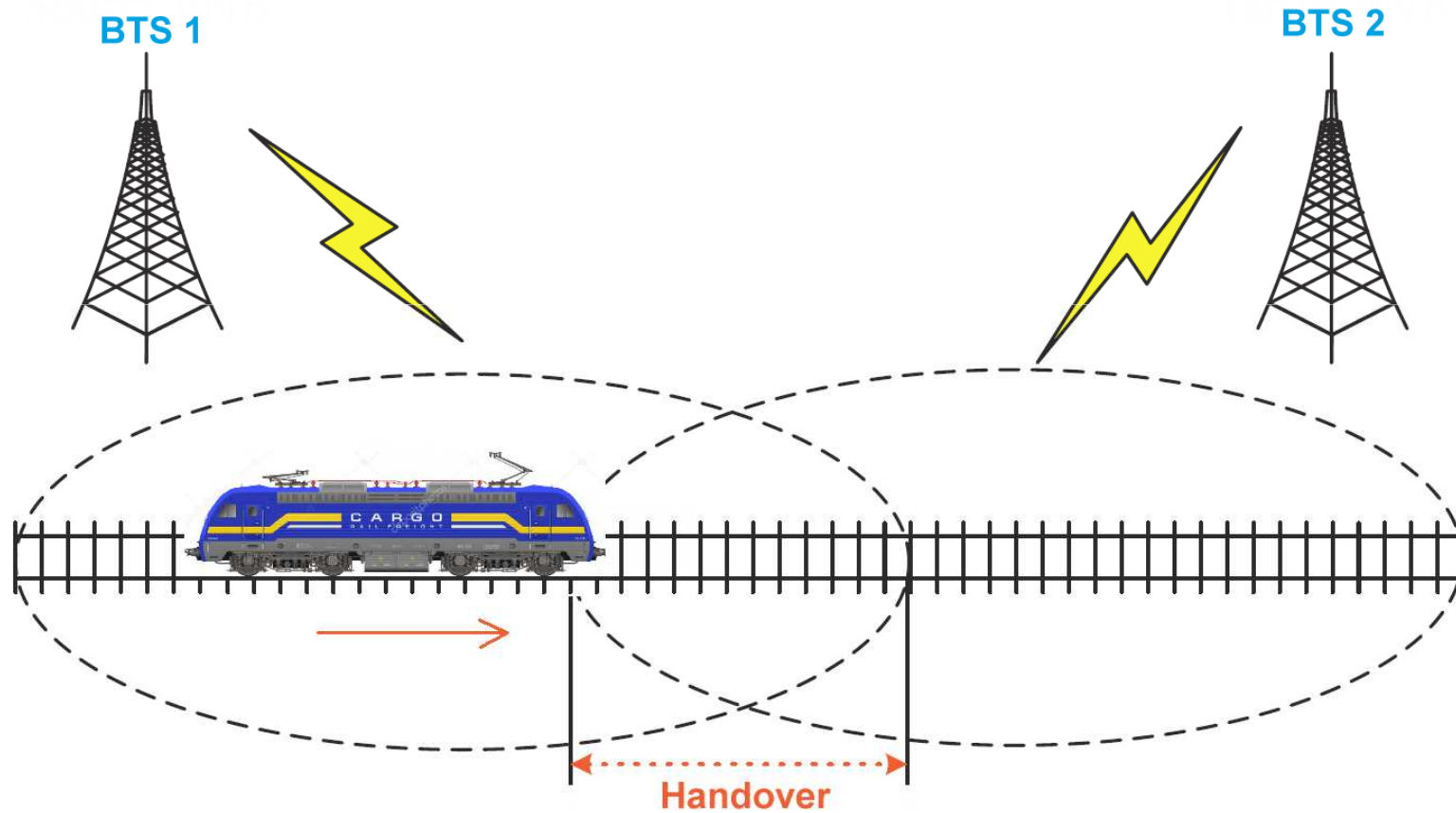




# Handover BTS – předání hovoru

Úkolem HO je udržet sestavené volání při pohybu MT v síti GSM-R

Požadován HO Success Rate  $\geq 99.5\%$

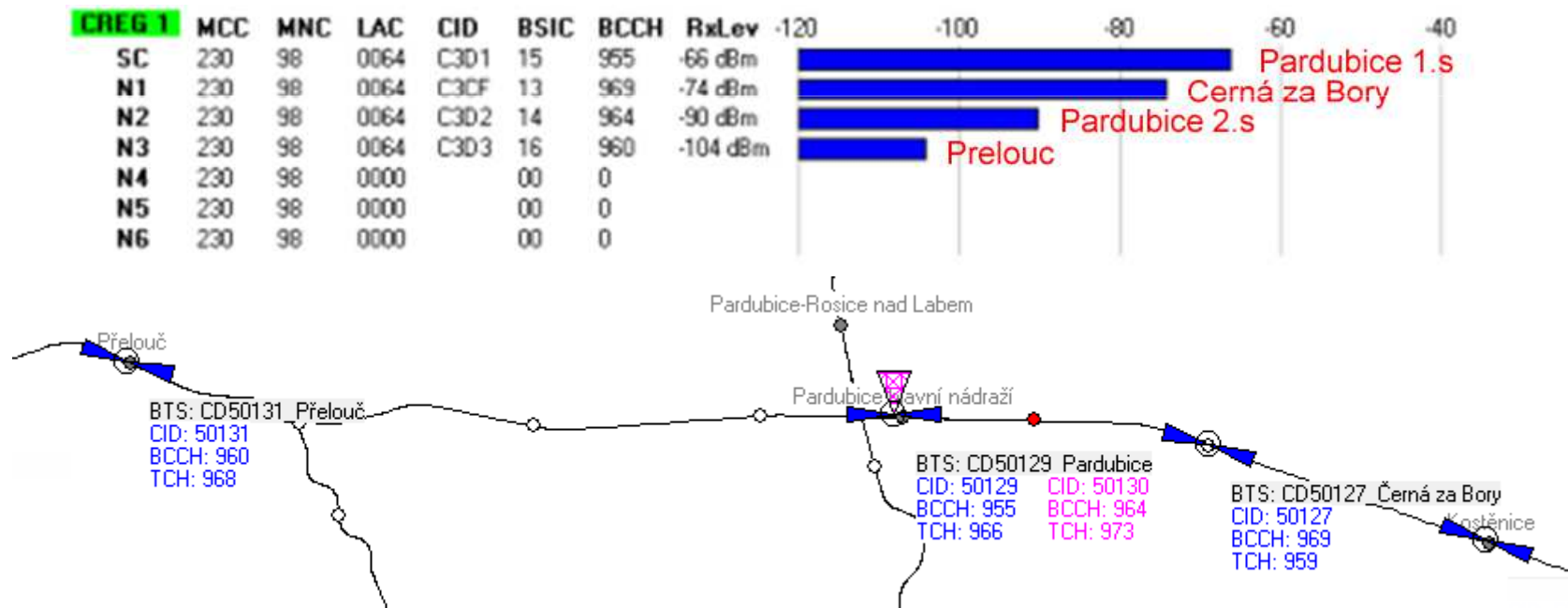


# Handover BTS – rozdíly v HO

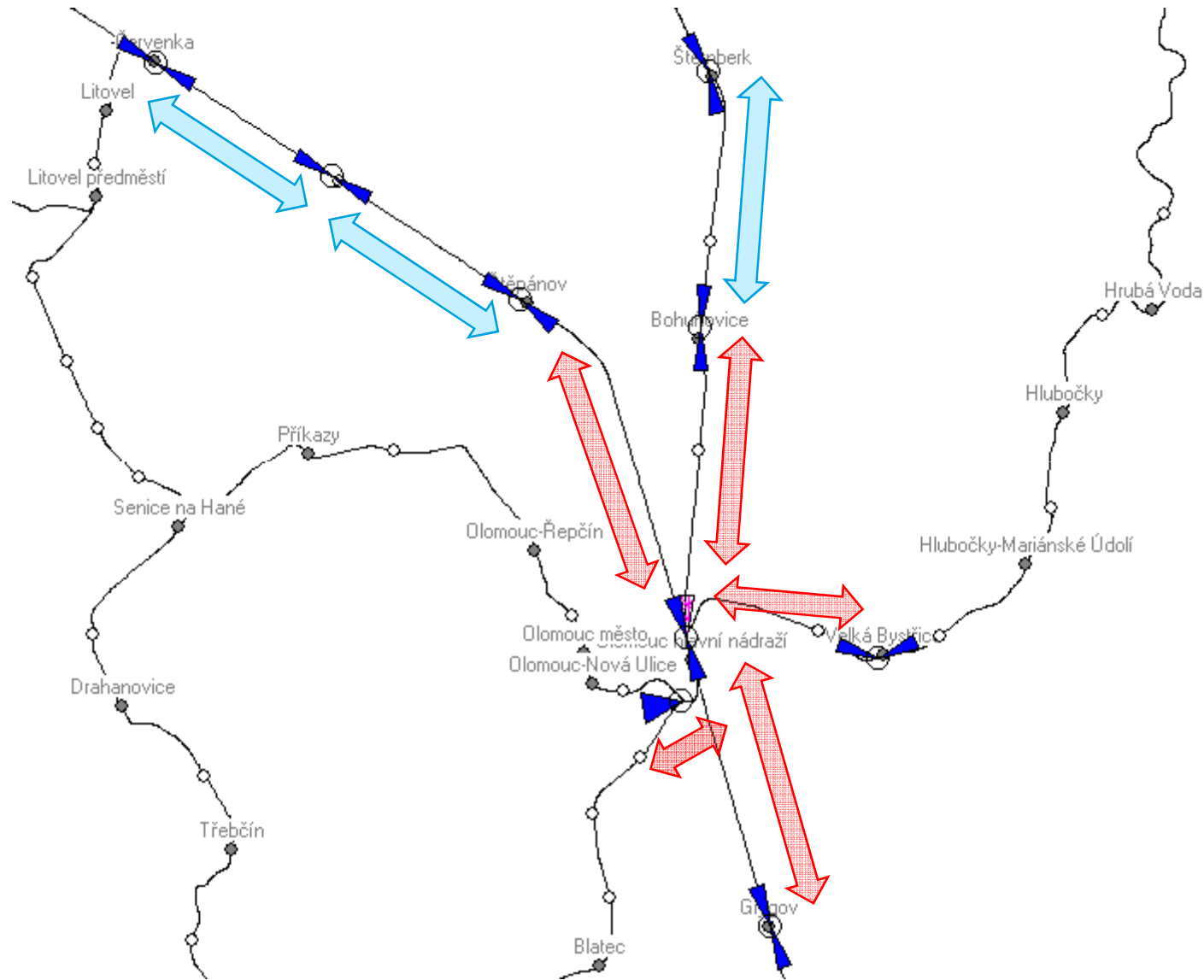
## Typy předání:

- Intra BTS HO – změna Ch nebo TS v rámci BTS
- Inter BTS HO (Intra BSC) – změna BTS v rámci jednoho BSC
- Inter BSC HO – změna BTS i BSC
- Inter MSC HO – změna BTS včetně BSC i MSC

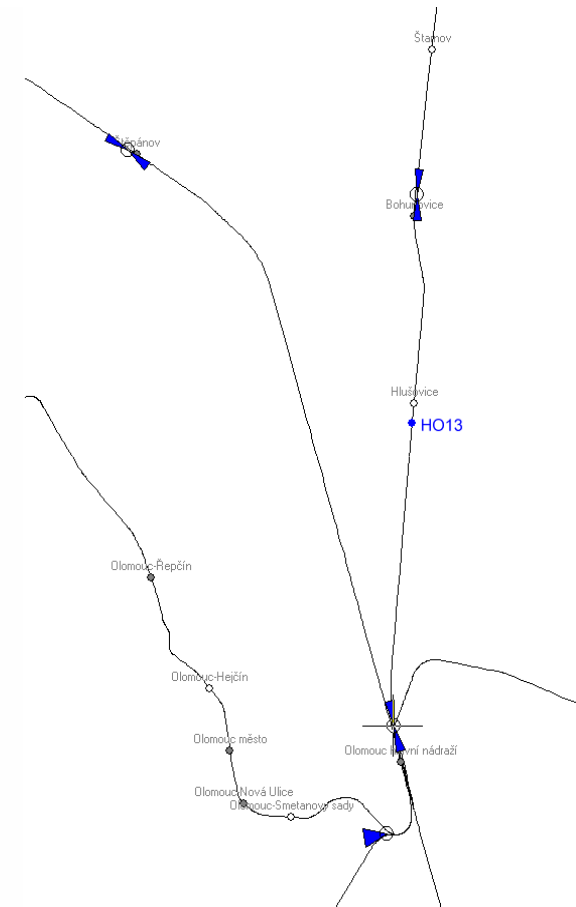
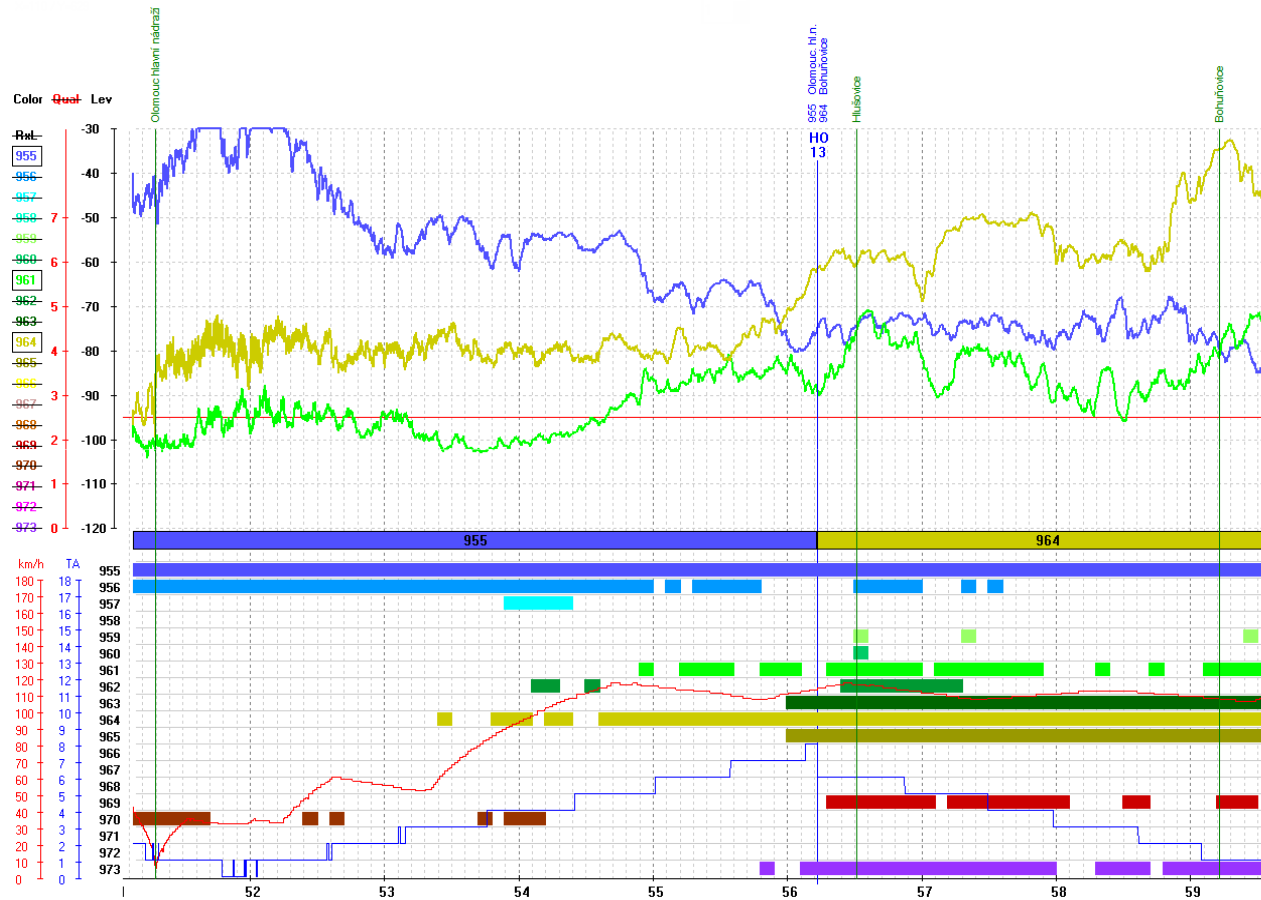
**Z pohledu MT není v HO rozdíl - MAHO (Mobile Assisted Hand Over)**



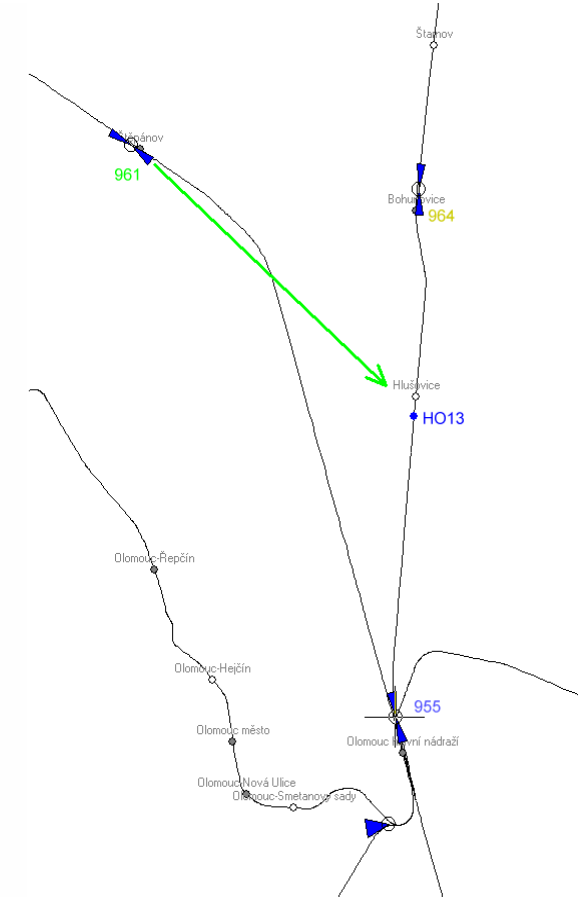
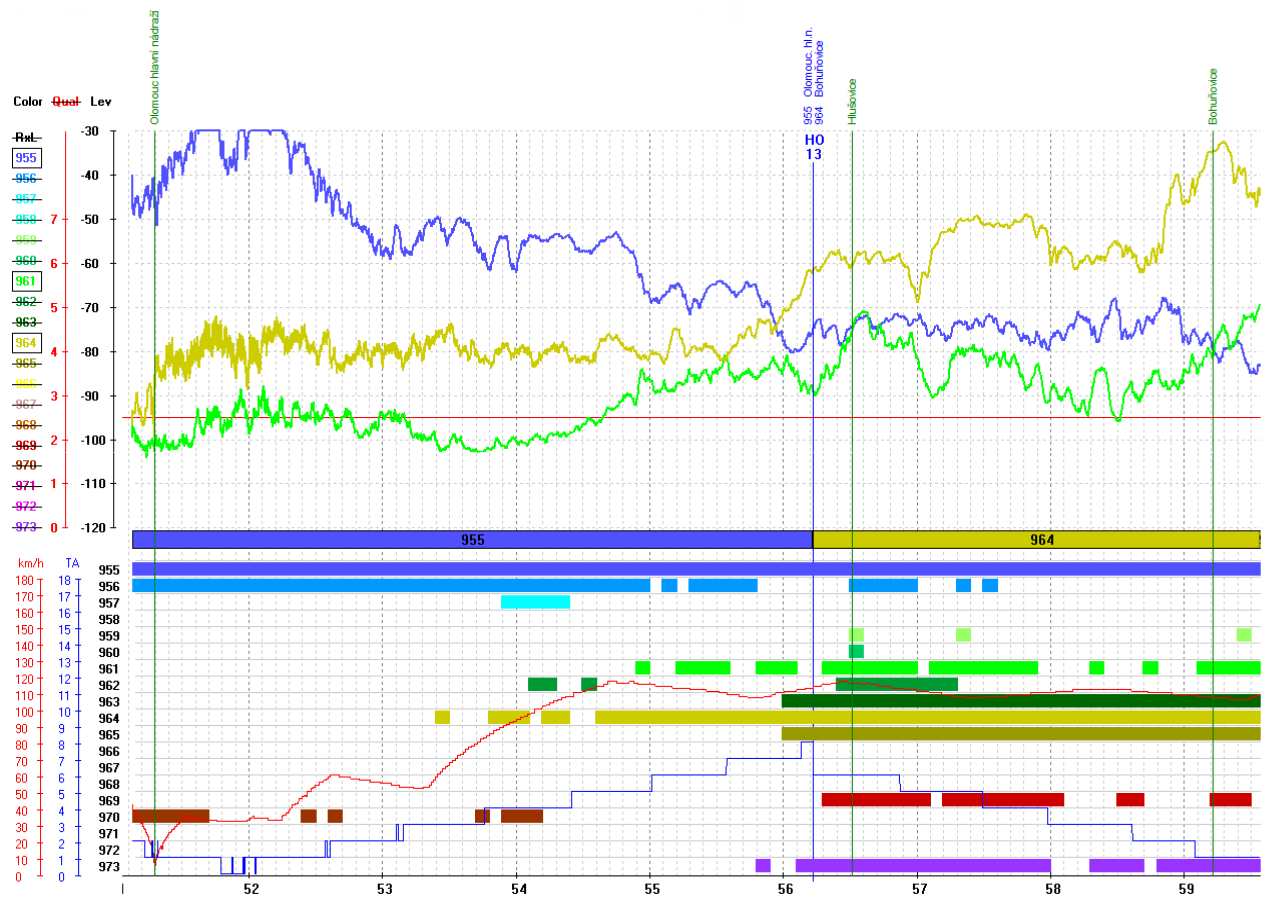
# Handover BTS – sousedství



# Handover BTS – nešťastné „Véčko“ u Olomouce

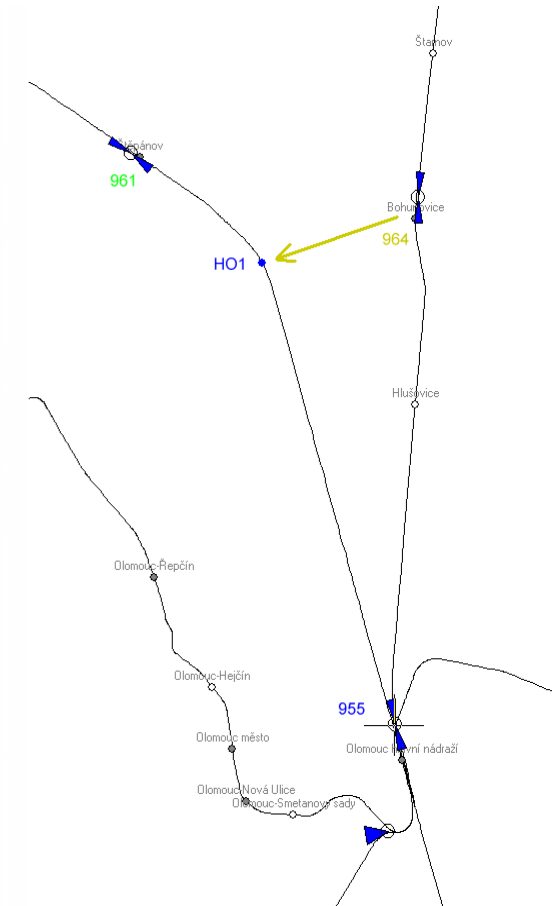


# Handover BTS – jízda Olomouc - Bohuňovice





# Handover BTS – jízda Štěpánov - Olomouc

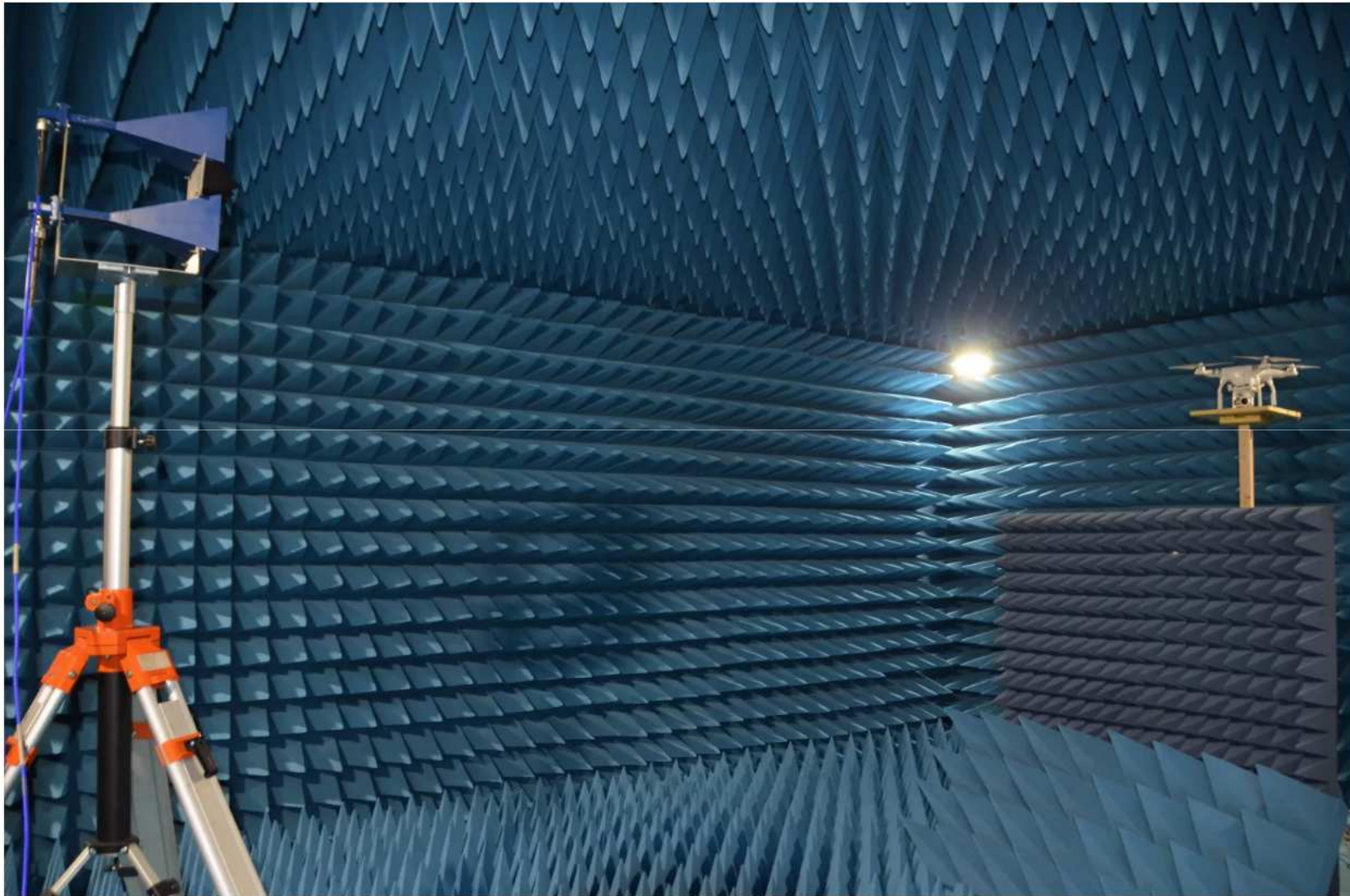


# Měření GSM-R antén pro ETCS na RegioPanteru

Cílem měření bylo zdokumentovat a posoudit možný vliv umístění a způsob instalace GSM-R antén určených pro systém ETCS na střeše jednotky RegioPanter 640.201-0 na jejich vyzařování.

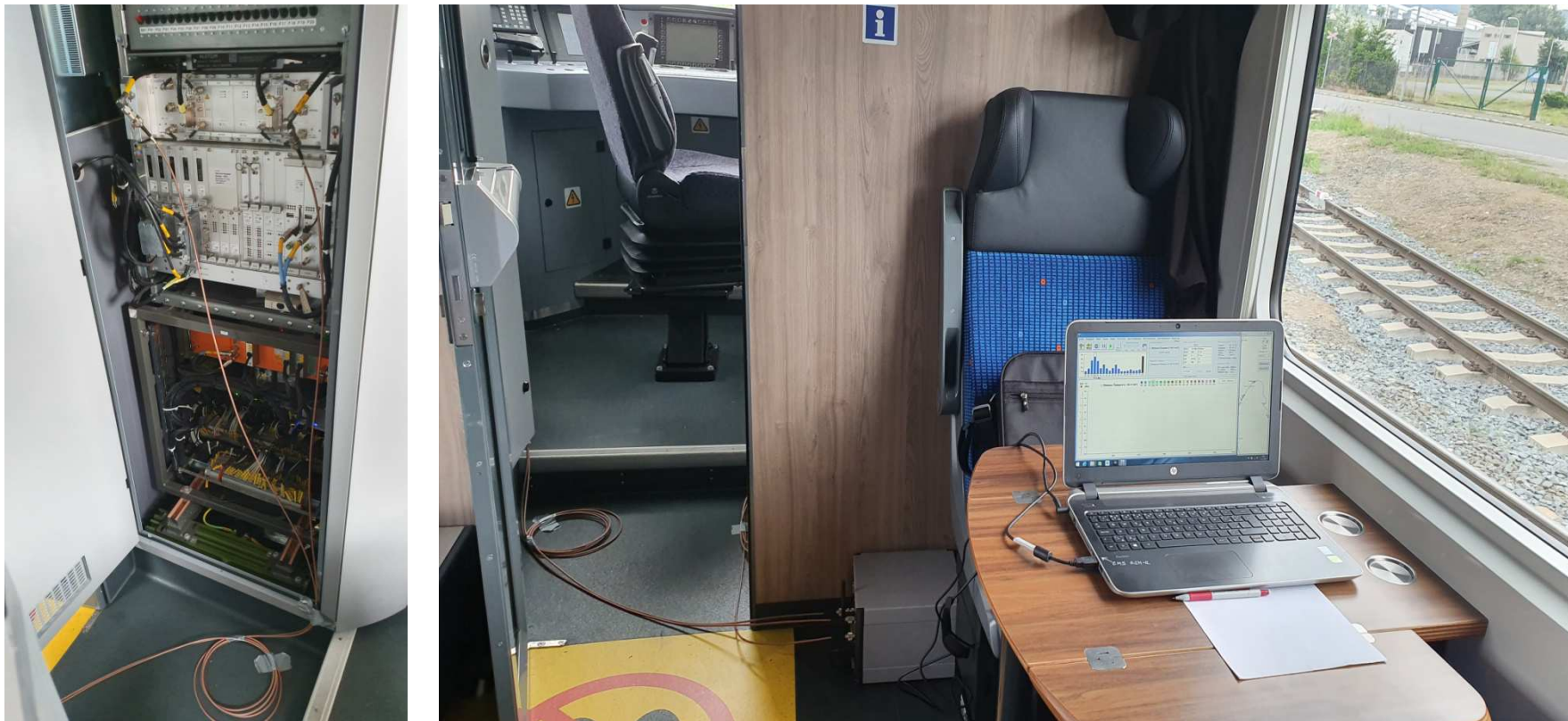


## Standardně – měření v bezodrazové komoře



## Použitá metodika měření

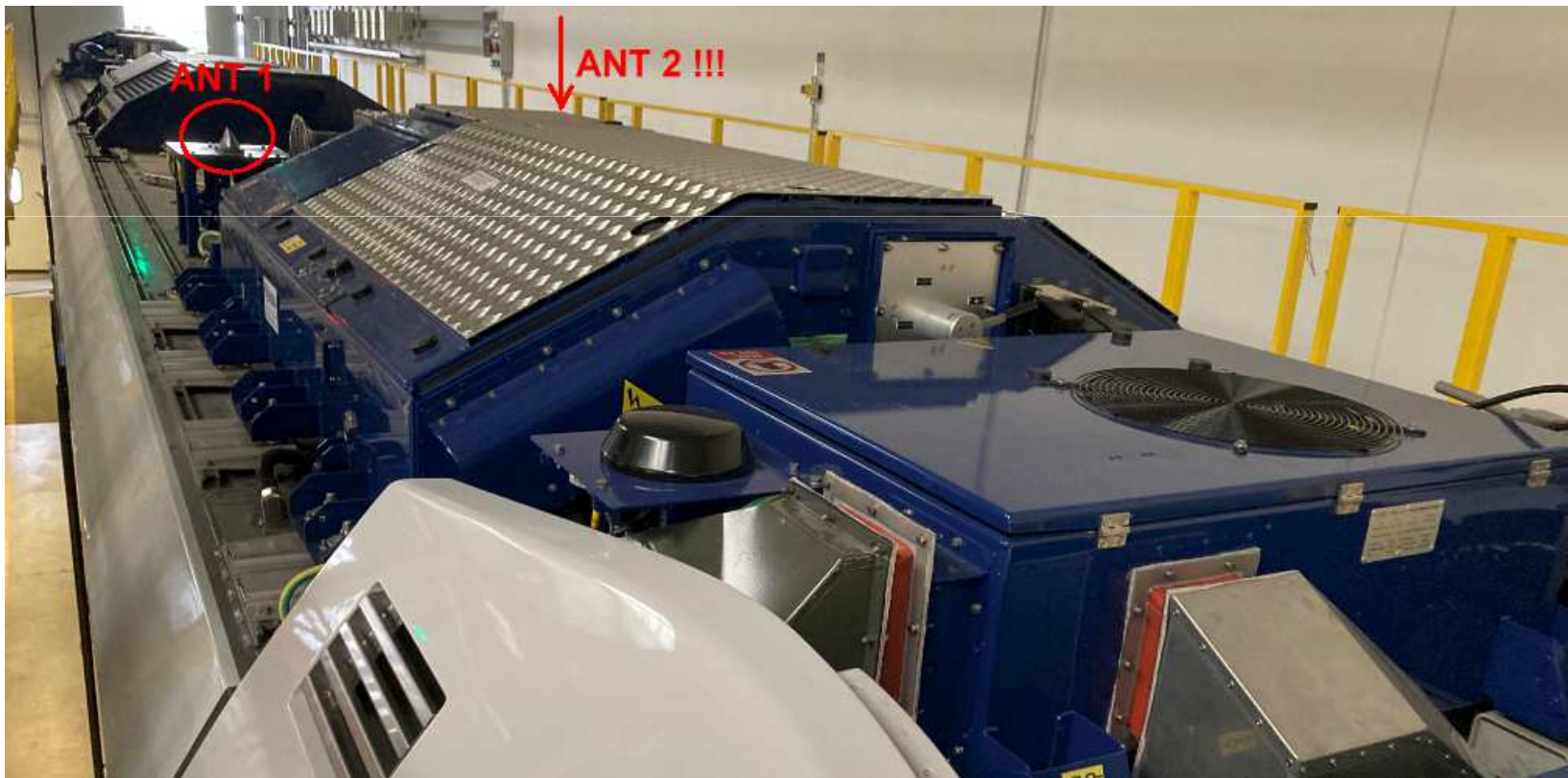
Srovnávací měření úrovně signálu posuzovaných antén navzájem i vzhledem k referenční úrovni signálu zdokumentované za srovnatelných podmínek pomocí měřicího vozu SŽ CTD ERTMS – max důraz na všesměrovost antén.



## Dosažené výsledky posuzovaných antén

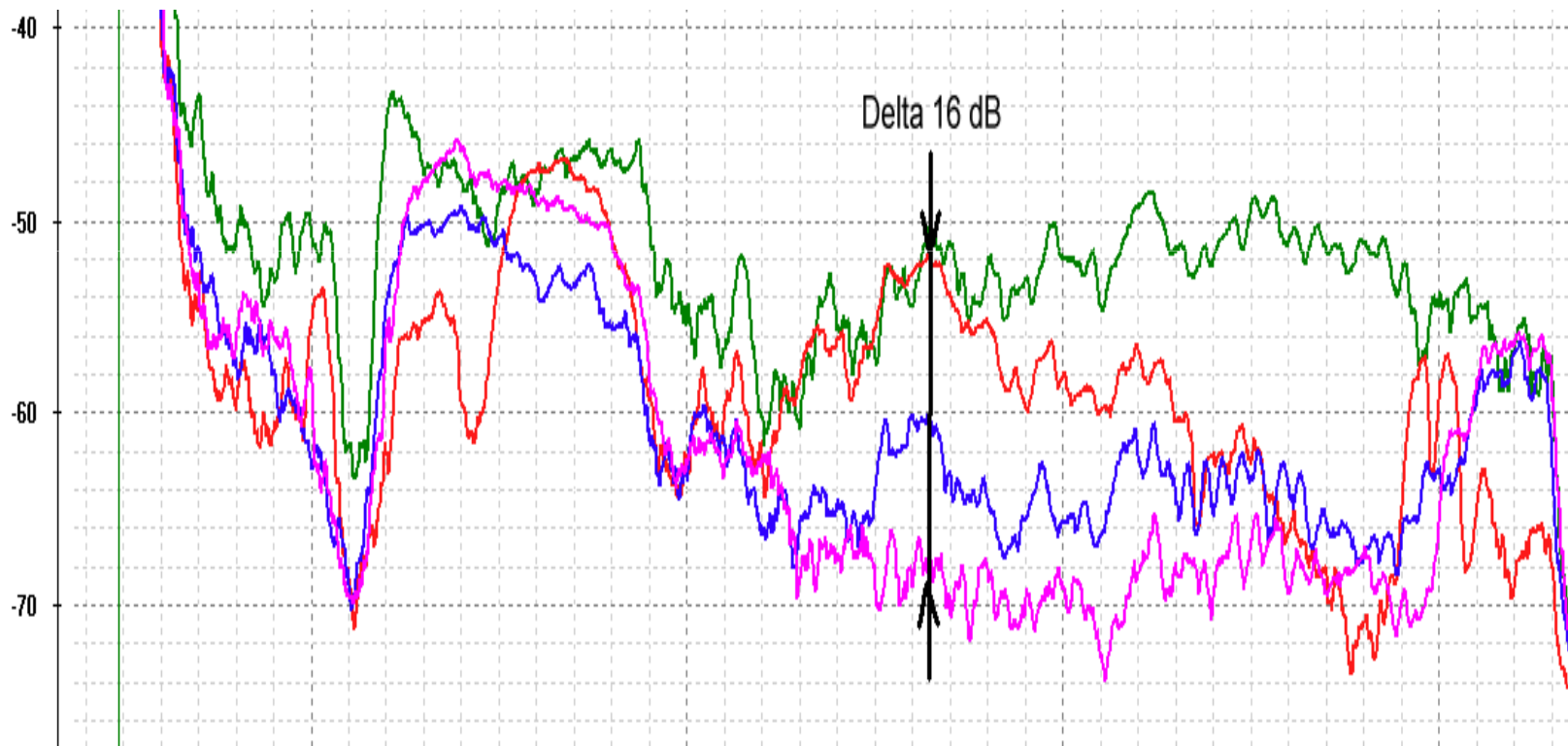
Naprosto nevyhovující a neakceptovatelné pro spolehlivý provoz systému ETCS, ale i pro bezproblémové fungování systému GSM-R.

Signál posuzovaných antén je podstatně slabší než referenční signál a dochází k zásadním změnám úrovně jak vzhledem k referenčnímu signálu, tak i mezi posuzovanými anténami navzájem a to i v závislosti na orientaci vozidla.



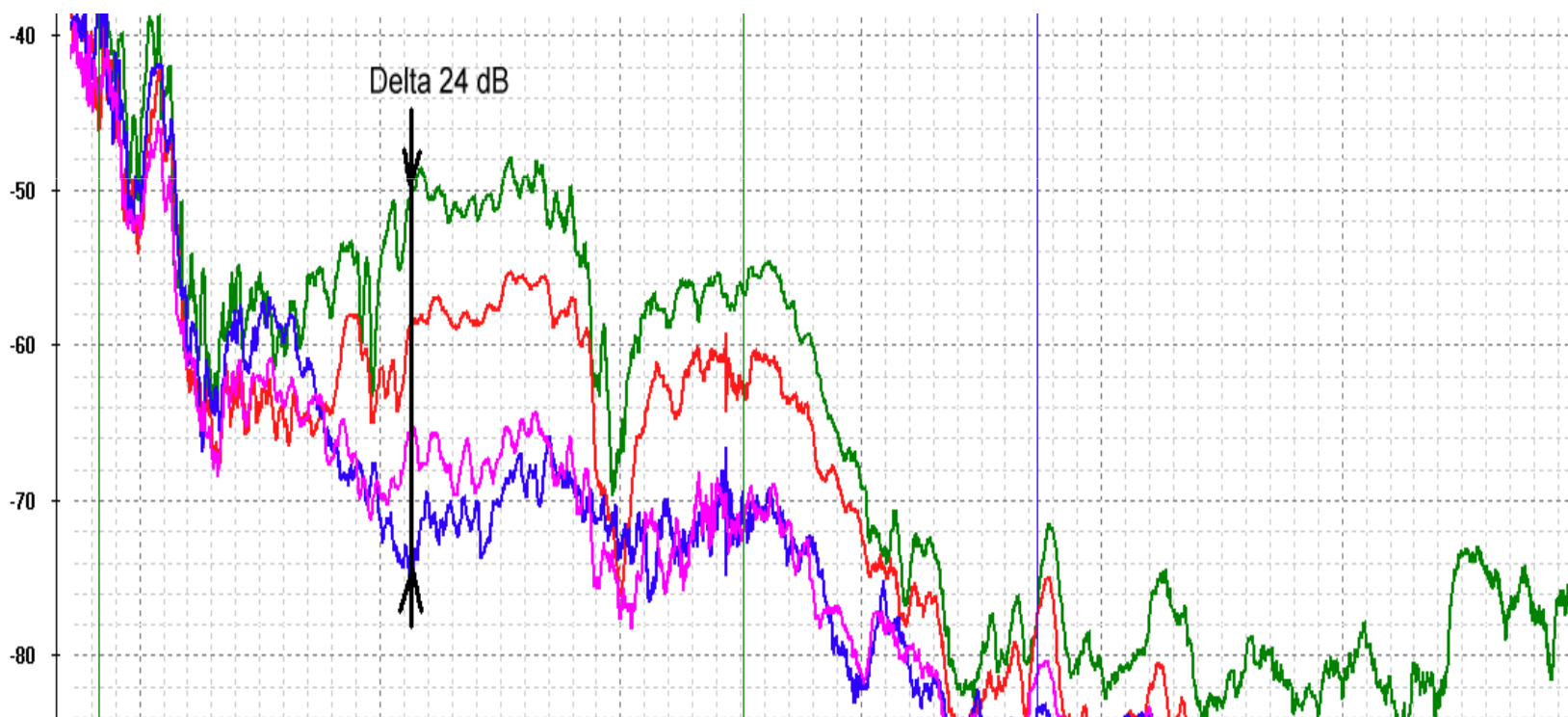
## Rozdíl mezi ANT1 a ANT2 navzájem

Rozdíl v úrovni přijímaného signálu mezi jednotlivými ETCS anténami RegioPanteru je až 16 dB, tedy ve stejném místě na trati je na jedné ETCS anténě až 40x slabší signál než na té druhé !!!



## Srovnání s ANT MV ERTMS

Při srovnání s referenční úrovní změřenou pomocí MV ERTMS je rozdíl v úrovni přijímaného signálu na ETCS anténách často slabší o 20 dB (tj 100x), ale také o 24 dB, jak je vidět na výseči grafu níže, tedy přijímaný signál může být u RegioPanteru o více než 250x slabší, než by měl být.



## Závěr – antény na vozidlech dopravců

Problematiku antén a jejich vlastností na vozidlech dopravců je potřeba podrobit další důkladné investigaci, nejlépe pomocí certifikovaných měření a to i v širším kontextu možných vlivů (např. možnost rušení).

Konstrukce vozidel často využívají (technologii je zastavěn) průjezdný profil, proto prosadit výjimku pro možnost instalace GSM-R antén do průjezdného profilu určeného pro pantograf.

Stávající stav je v rozporu s Eirene požadavky pro MI (povinné pro interoperabilitu), tedy vozidla jsou neinteroperabilní.

Na straně infrastruktury v rádiově problematických lokalitách značně omezená možnost kompenzace (margin pro HO).

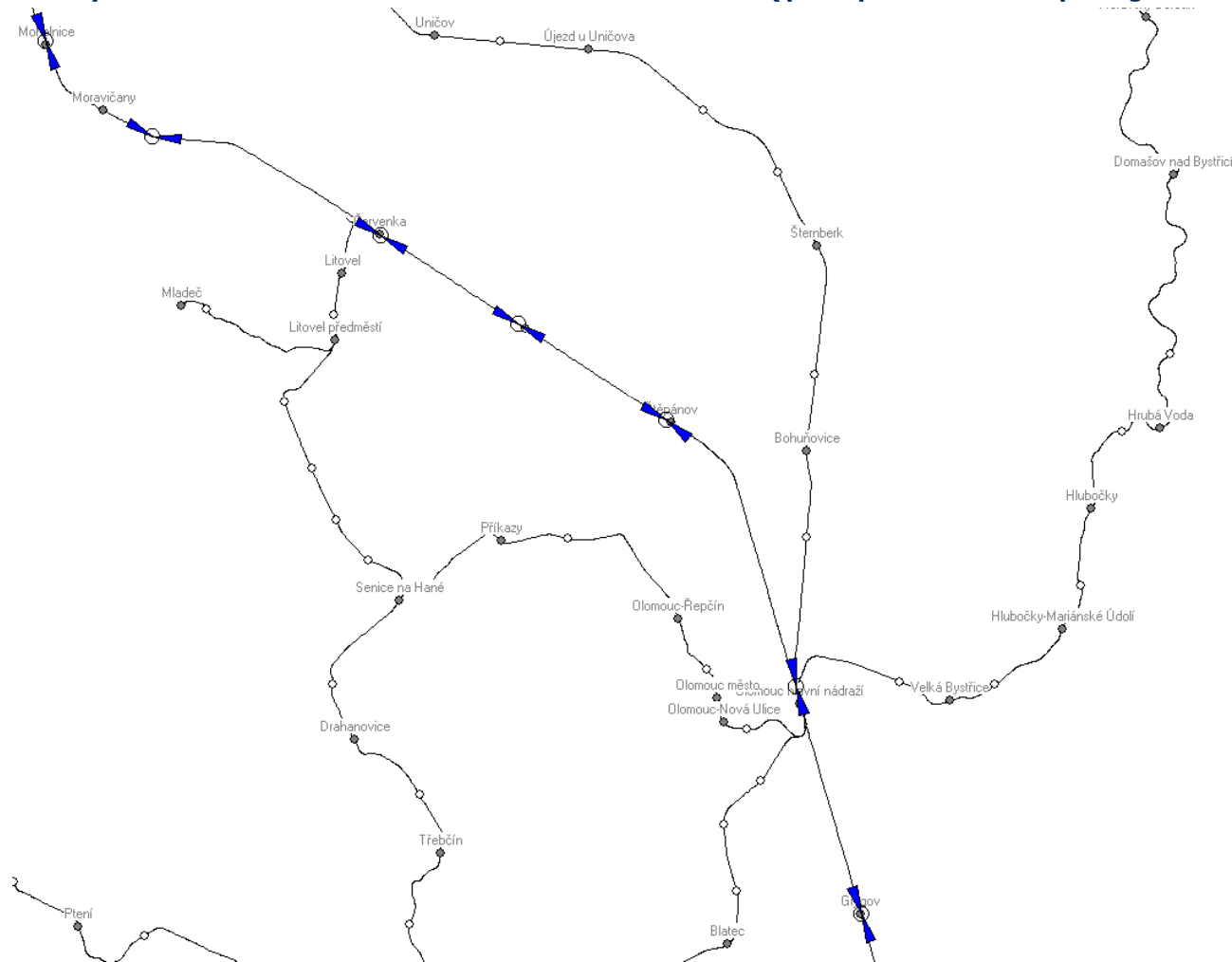
Bez řešení, nebo jen částečné řešení problému (odchylka od všesměrovosti a příp. záporný zisk antén) povede v závislosti na použité anténě, směru jízdy a orientaci vozidla k:

- ping-pongům – nesplnění QoS pro ETCS
- rozpadům volání vlivem nežádoucího předání např. na sousední trať
- nesplnění Eirene kritéria pro úroveň pokrytí ETCS L2



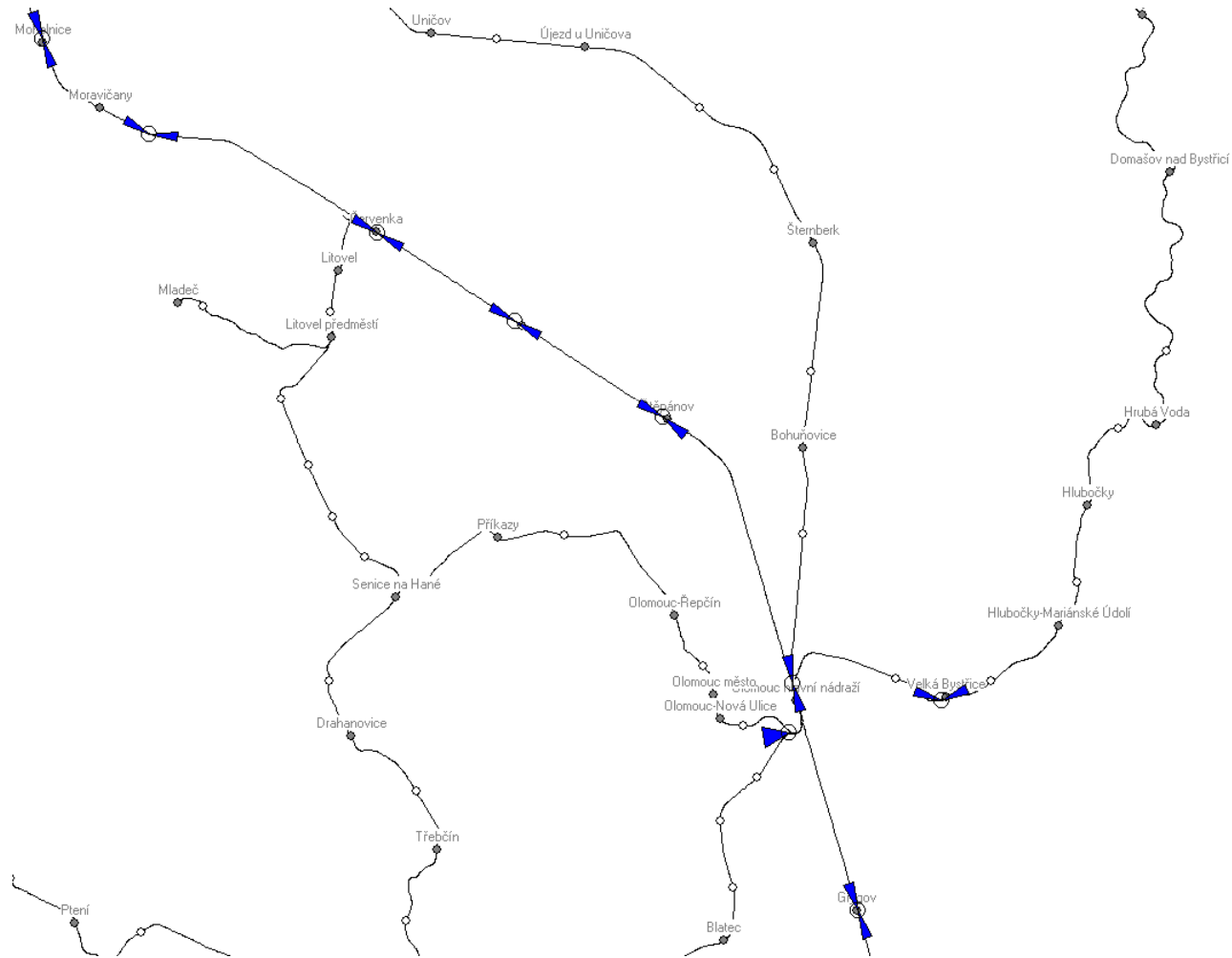
# Závěr – Výstavba infrastruktury GSM-R

Problém oddělených a neprovázaných staveb – „stavby lepíme jak vlašťovky hnízdo“ – Dokončení I.NŽK (po pilotním projektu GSM-R)



# Závěr – Výstavba infrastruktury GSM-R

Následovala stavba Vstup do oblasti ETCS



# Závěr – Výstava GSM-R a spouštění ETCS

Následovala výstavba Uničovky a hned spuštěn výhradní provoz ETCS se vším co jezdí ...



**Co následující tratě ...**

**Spouštění ETCS – postupně, jen ověřené komponenty  
– omezení proměnných ...**

**Prodloužení Section Timeru ???**



# Děkuji za pozornost

**Ing. Jiří Šustr**

sustrj@spravazeleznic.cz

© Správa železnic, státní organizace  
Centrum techniky a diagnostiky  
Malletova 2363/10, 190 00 Praha 9

[www.spravazeleznic.cz](http://www.spravazeleznic.cz)