

Využitelnost' 5G sietí pre potreby inteligentnej mobility

Ing. Daniel Sedlár

*Ministerstvo dopravy Slovenskej republiky
Odbor Národného koordinátora inteligentnej mobility*

1. ÚVOD

Jedným zo smerov, ktorými sa uberá vývoj automobilizmu sú autonómne a automatizované vozidlá. K ďalším smerom patrí snaha o znižovanie nehodovosti a zníženie negatívnych dopadov na životné prostredie.

Vozidlá schopné navigácie, prepravy ľudí a materiálu bez zásahu človeka boli dlho predmetom snov rojkov, sci-fi kníh a filmov. Aby však boli vozidlá schopné pohybovať sa po cestách, a podčiarknime, pohybovať sa bezpečne, budú potrebovať „vnímať“ svoje okolie, komunikovať s okolím, s ostatnými účastníkmi cestnej premávky, vedieť primerane reagovať na meniacu sa situáciu, neohrozovať okolie, ovládať dopravné predpisy. Okrem toho očakávame, že nás vozidlá budú zabávať (pomocou infotainmentu), umožnia nám pracovať počas jazdy.

Napriek tomu, že uvedený zoznam nie je ani zďaleka kompletný, vidíme, že od vozidiel budúcnosti toho očakávame naozaj veľa. Aby dokázali všetky tieto nároky zvládnuť, z vozidiel sa stali počítače na kolesách. Pritom proces elektronizácie a automatizácie stále pokračuje. V rôznych štádiách sa dočítame, že elektronika ma predstavovať v autách roku 2030 približne 40-50% jeho ceny.

Je tu však jeden dôležitý rozdiel. Ak zlyhá desktop, laptop, na obrazovke sa objaví nápis "reštartujem počítač", tak si dáme kávu, alebo vybavíme telefonát. Možno sme prišli o prácu za posledných 15 minút (pracujeme predsa so zálohovaním), ale v zásade sa nič nestalo.

A teraz tá istá situácia (obrazovka) pri rýchlosti 130km/h, nebudaj v zákrute... Ten rozdiel je takmer hmatateľný, však?

Očakávanie, alebo ak chcete, požiadavka na autonómne vozidlo je, že bude bezpečnejšie ako vozidlo s človekom za volantom. Celoeurópsky priemer sa pohybuje na úrovni 1×10⁻⁷ smrteľnej nehody na najazdenú hodinu, inými slovami, na každých 10 miliónov najazdených hodín pripadá jeden mŕtvy účastník cestnej premávky. Zároveň si je potrebné uvedomiť, že spomenuté číslo, to nie je cieľ, ale matematická úroveň akceptácie verejnosťou. Nikto sa nepodpíše pod premávku autonómnych vozidiel, ktoré by mali horšie výsledky z pohľadu počtu nehôd než vozidlá s ľuďmi za volantom - politicky by to neprežil ani jeden minister, primátor, šéf automobilky. Je tu však ešte jeden rozdiel voči ľuďom.

Smerovanie ku autonómnej mobilite má však ešte ďalší aspekt.

Každý človek má svoju osobnosť - od toho sa odvíja jeho správanie a teda aj spôsob jazdy - opatrný, uponáhľaný, bojazlivý, agresívny, môžeme doplniť ďalšie vlastnosti. Ak nebudaj príde k smrteľnej nehode, pod ktorú sa podpísala niektorá z horeuvedených vlastností, tak je to tragédia pre rodinu, blízkych, pre iných účastníkov nehody, ale na ostatných ľudí takáto nehoda žiaden vplyv nemá. Iní ľudia jazdia iným spôsobom, majú iné skúsenosti, inú reakčnú dobu. Ak sa však nesprávne naprogramuje vozidlo, v zmysle - nastavenie programu spôsobilo nehodu, tak všetky vozidlá s týmto programom môžu potenciálne spraviť rovnakú chybu (nehodu). A potom sa budeme rozprávať o desiatkach tisíc, stovkách tisíc, či nebudaj o miliónoch „chýb v premávke“.

Jedným zo základných predpokladov autonómnej jazdy je fungujúce spojenie. Keďže ako spojenie blízkej budúcnosti (z pohľadu možností) sa budujú siete 5. generácie, budúcnosť autonómnej mobility sa spája s ich rozvojom. Dá sa povedať, že sa spomínajú jedným dychom: autonómna jazda a 5G siete, 5G siete a autonómna jazda - siamské dvojčatá.

Z horeuvedeného vyplýva, že tak ako očakávame dokonalosť od hardwaru/software (vozidla), mali by sme očakávať aj dokonalé (spoľahlivé) spojenie. Ak bude mať čitateľ pocit, že sa článok zaoberá nedokonalosťami, tak je to preto, že práve nedostatky majú potenciál prispieť k nehodovosti. Príklad - šofér najazdil milión kilometrov bez nehody, a potom spôsobil smrteľnú nehodu. Ako sa o ňom bude rozprávať: „to je ten čo najazdil milión kilometrov“? Asi nie. To isté platí pre autonómne vozidlá.

Z toho dôvodu, ak odstránime chyby, resp. znížime ich závažnosť, predpokladáme, že prispejeme k bezpečnosti cestnej premávky. Kvalitu celého systému ovplyvňuje jeho najslabší článok - prvok.

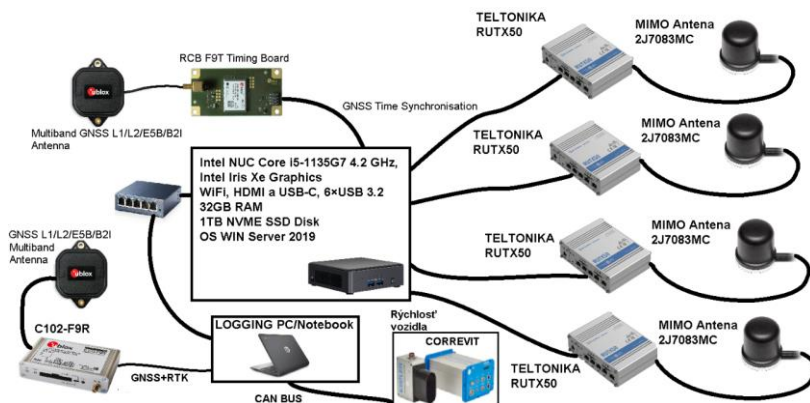
2. PROJEKT

Ministerstvo dopravy a výstavby Slovenskej republiky (ďalej len „MDV SR“ – pozn. od 1.1.2023 Ministerstvo dopravy SR) realizovalo v rámci projektu “Zlepšenie verejných politík v oblasti dopravy, inovačnej kapacity v doprave a podpora partnerstva v zavádzaní inteligentnej mobility” jeden z testov, v angličtine Proof of Concept (ďalej len „PoC“), nazvaný: „Využitelnosť 5G sietí z pohľadu zvýšenia bezpečnosti cestnej premávky a inteligentnej mobility“. Samotný PoC realizovala Strojnícka fakulta Slovenskej technickej univerzity v Bratislave (ďalej len „STUBA“). Dĺžka trvania projektu bola 6 mesiacov a samotné finálne testovanie (jazdy) prebiehalo počas mesiacov september a október 2022.

Testovacie vozidlo (obr.1) bolo zapožičané univerzite závodom Jaguar Land Rover v Nitre. Na prispôsobenie podmienkam testovania zamestnanci a študenti univerzity doplnili a upravili strešný nosič vozidla, osadili meracie zariadenia, vytvorili softvér (schéma zapojenia viď obr.2).



Obr. 1 – Testovacie vozidlo



Obr. 2 – Schéma zapojenia

Meracie zariadenia boli osadené SIM kartami štyroch operátorov (nie poskytovateľov virtuálnych služieb). Operátori mobilných sietí neboli vopred informovaní o prebiehajúcom teste. Dôvodom bola snaha o zmeranie skutočnosti pre bežného užívateľa 5G/4G LTE sietí. Ak by sa pre potreby testovacích meraní použili SIM karty s privilégiami, potom by bolo ťažké skonštatovať, aké sú podmienky pre bežných užívateľov. Keď niekedy v budúcnosti budú po cestách jazdiť autonómne vozidlá vo veľkých počtoch, budú osadené e-SIM kartami. Tieto vozidlá pri všetkých svojich nárokoch na poskytovanie signálu, budú pracovať v režime automotive a bude nutné realizovať vytvorenie noriem, ktoré budú špecifikovať kritéria prevádzkovateľnosti. V súčasnosti norma pre aplikovateľnosť automotive a 5G sietí neexistuje.

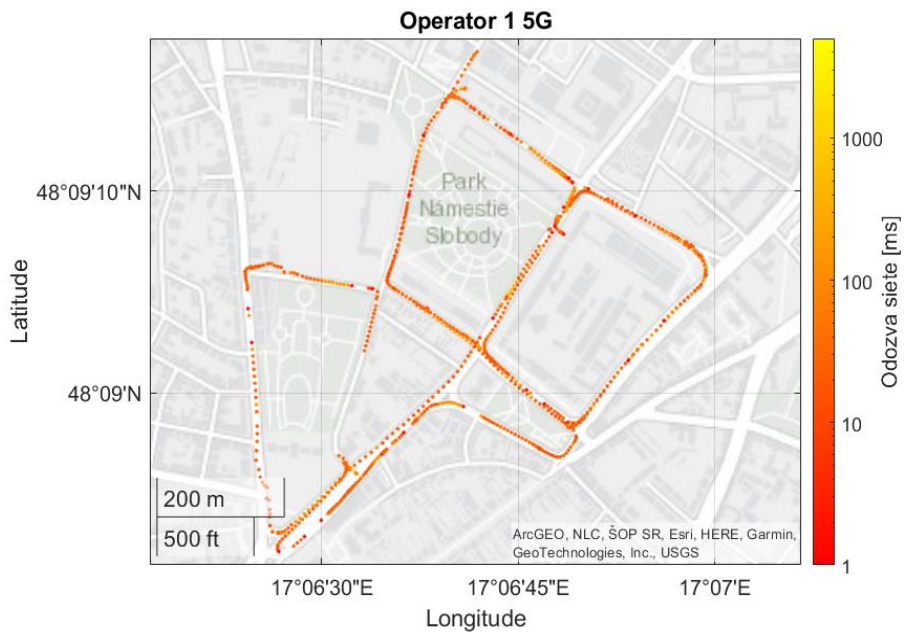
Základné podmienky meraní

- Meranie prebiehalo v štyroch vytipovaných oblastiach Bratislavy
- Samostatné merania cez deň, samostatné merania v noci
- Veľkosti balíkov dát – 10kB, 100kB, 1MB, 10MB a 100MB
- Rýchlosti vozidla 20km/h, 40km/h, 60km/h a 80km/h
- Porovnanie rýchlosti uploadu a downloadu 4G a 5G sietí
- Porovnanie pokrytia signálom 4G a 5G sietí
- Porovnanie latencie 4G a 5G sietí
- Všetky merania štyroch operátorov prebiehali simultánne, tak aby boli výsledky porovnateľné.

Oblasti merania – obr. 3 až 6:

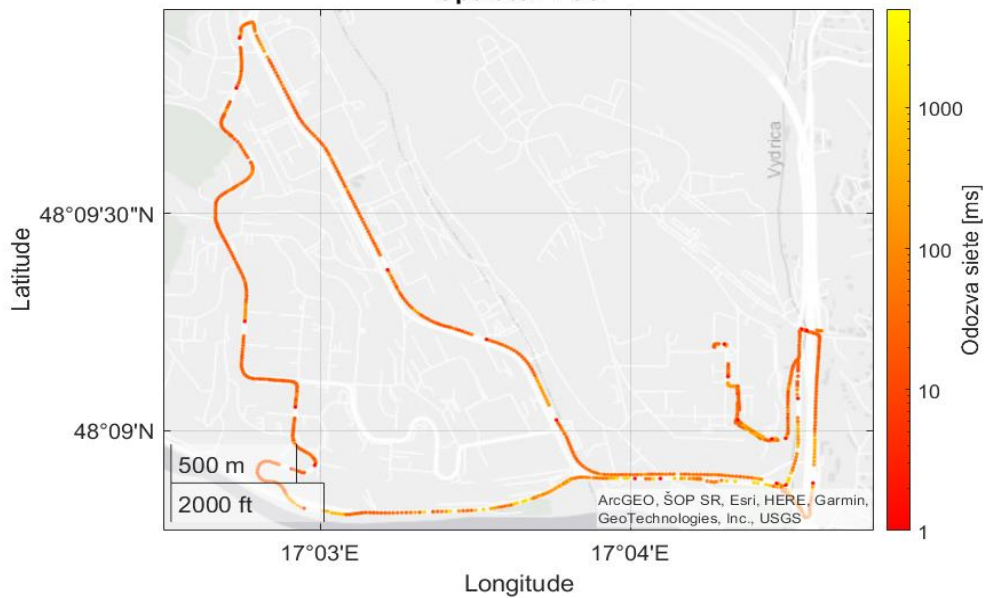


Obr. 3 – Pre rýchlosť 20km/h (Petržalka)



Obr.4 - Pre rýchlosť 40km/h (centrum)

Operator 1 5G



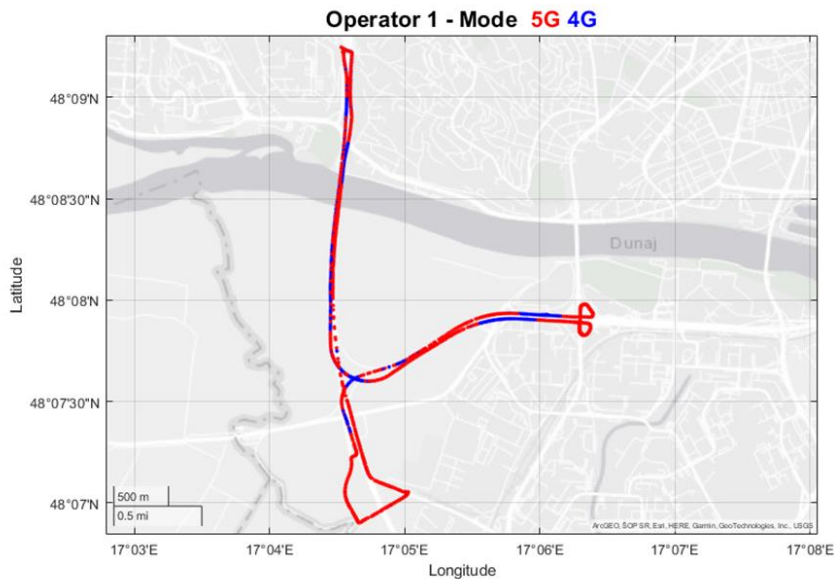
Obr. 5 – Pre rýchlosť 60km/h (Karlova Ves)



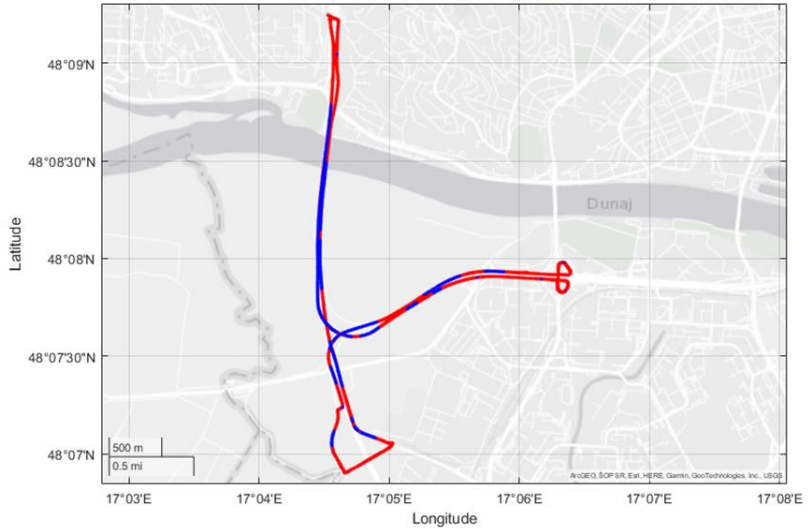
Obr. 6 – Pre rýchlosť 80km/h (most Lafranconi – Petržalka)

Prepínanie signálu

Počas testovacích jász u všetkých operátorov sa prepínal signál medzi ich 4G a 5G sieťou. Z pohľadu bezpečnosti by to znamenalo, že vozidlo nestratí signál (kontakt s okolitým svetom). Zároveň to však môže znamenať následné spomalenie rýchlosti prenosu signálu, bez ohľadu na to, či sa signál prepína v poradí 4G → 5G, alebo 5G → 4G. (viď obr. 7 – 10, pre rýchlosť 80km/h, nočné hodiny).

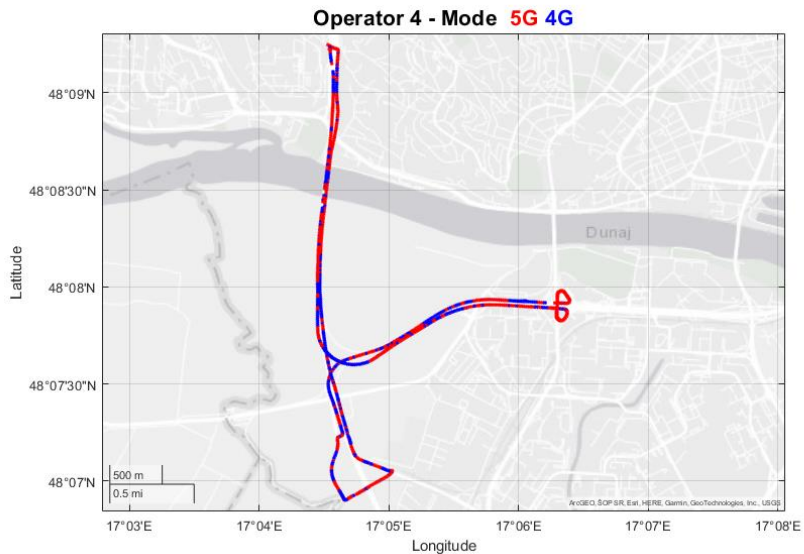


Operator 2 - Mode 5G 4G



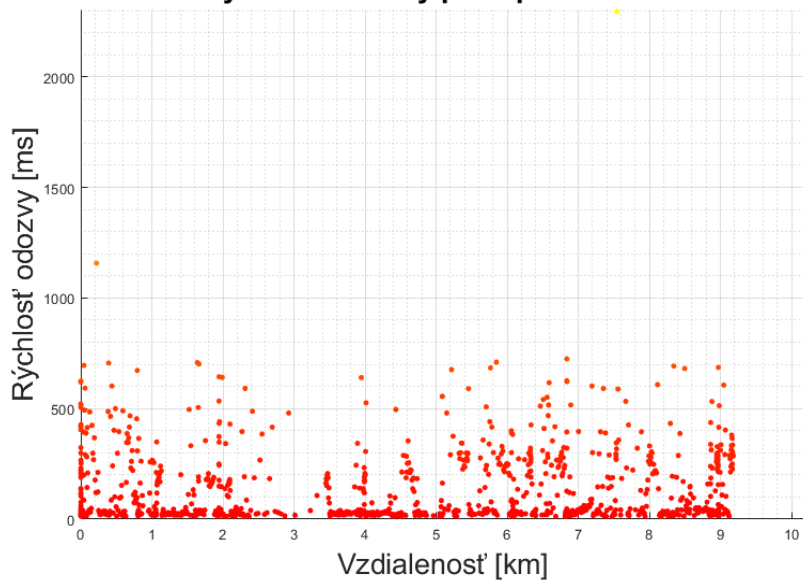
Operator 3 - Mode 5G 4G



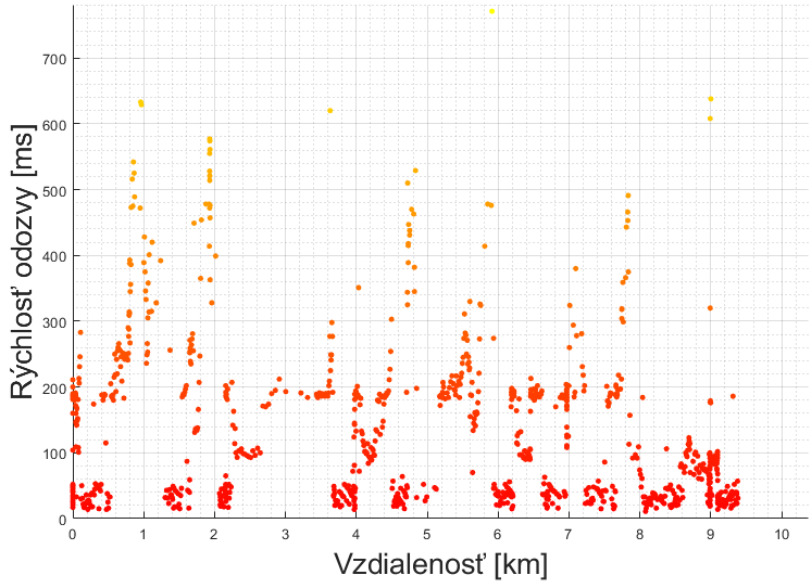


Príklady rýchlosti odozvy 5G sietí pre rýchlosť vozidla 40km/h v nočných hodinách. Ide o prípad jazdy v meste, čo môže negatívne ovplyvňovať dosah signálu a počas nočných hodín, kedy je pripojených menej spotrebiteľov. Upozornenie – jednotlivé grafy boli spracovávané na zhodnotenie stavu odozvy signálu jednotlivých sietí. Z toho dôvodu nie je mierka rovnaká pri všetkých štyroch grafoch.

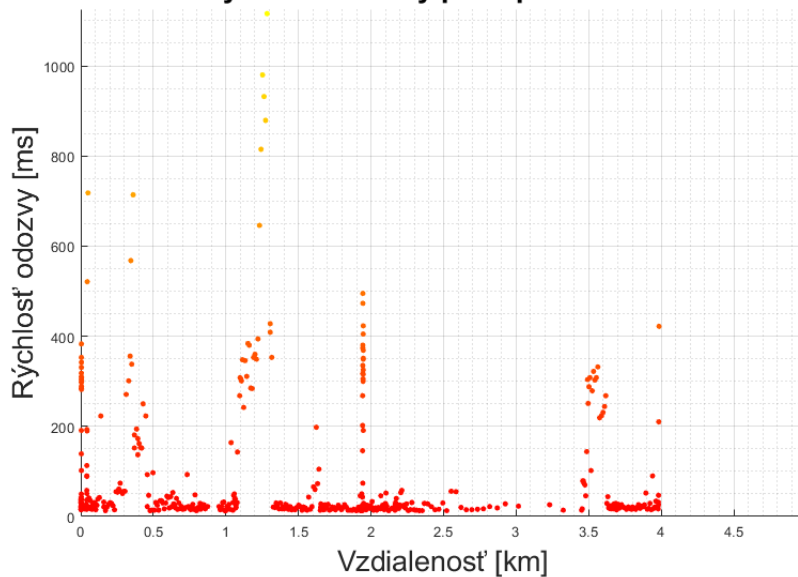
Rýchlosť odozvy pre Operator 1 5G



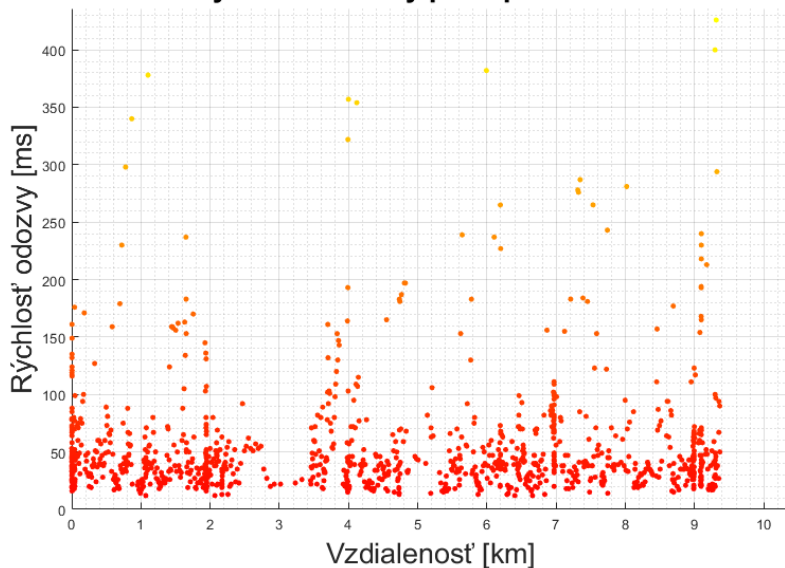
Rýchlosť odozvy pre Operator 2 5G



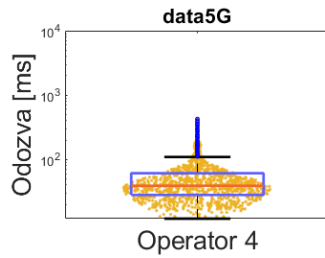
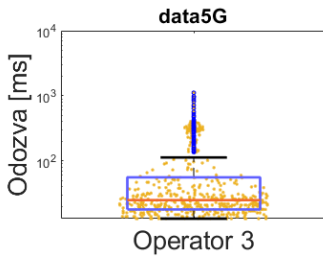
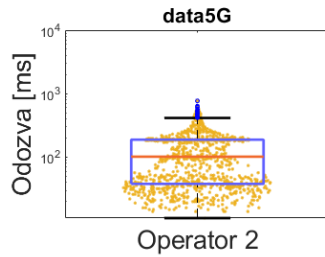
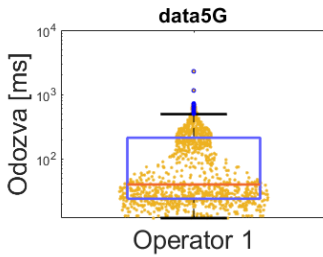
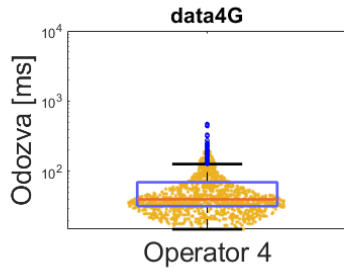
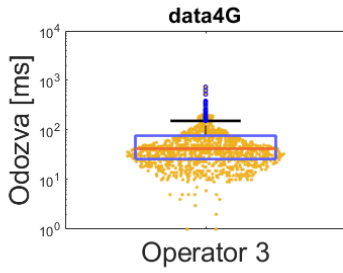
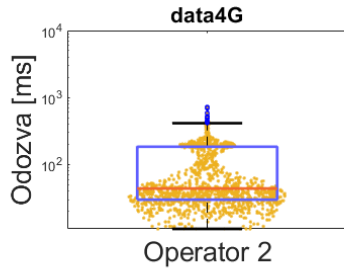
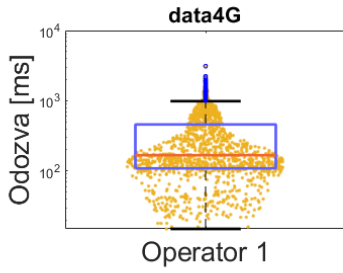
Rýchlosť odozvy pre Operator 3 5G



Rýchlosť odozvy pre Operator 4 5G



Zobrazenie štatistiky odozvy – porovnanie 4G sietí a 5G sietí – nočné hodiny, rýchlosť vozidla 40km/h. Z porovnania grafov vyplýva, že u všetkých operátorov bola odozva 5G siete rýchlejšia.



Porovnanie priemernej prenosovej rýchlosti balíkov dát veľkosti 10kB, 100kB, 1MB, 10MB, 100MB medzi sieťami 4G a 5G (rýchlosť vozidla 80km/h, denné hodiny).

Z tabuľky je vidieť, že pri menších objemoch dát sú rozdiely v rýchlosti zanedbateľné, „nožnice rozdielu“ sa postupne roztvárajú pri väčších objemoch.

	Priemerná prenosová rýchlosť download [Mbps]				
	10kB	100kB	1MB	10MB	100MB
1 Operátor 1 4G	3.89	8.0439	20.8418	40.2388	47.7090
2 Operátor 2 4G	2.54	7.77	22.9139	44.3816	45.6985
3 Operátor 3 4G	1.77	6.22	16.0159	25.3830	32.6039
4 Operátor 4 4G	2.98	6.94	28.8794	58.6565	53.8645
5 Operátor 1 5G	3.36	7.07	18.3289	23.1081	26.0154
6 Operátor 2 5G	3.18	9.34	32.8236	69.3719	67.7956
7 Operátor 3 5G	2.09	7.24	16.3606	17.7629	15.3582
8 Operátor 4 5G	2.37	6.37	27.9236	65.7897	54.1561

Ak predpokladáme, že vozidlá budú používať na komunikáciu medzi sebou (V2V) a okolím (V2X) hlavne menšie objemy dát, potom by sa na prvý pohľad mohlo zdať, že investovať do výstavby 5G sietí nedáva ekonomický význam. Veľké náklady a rozdiely v rýchlosti prenosu rádovo v nižších desiatkach percent. Je však potrebné si všimnúť, že u niektorých operátorov dokonca rýchlosť poklesla u 5G sietí (viď 100MB porovnanie 4G a 5G siete).

Takisto sú viditeľné veľké rozdiely medzi jednotlivými operátormi – ide o násobky rýchlostí.

Preto je vhodné konštatovať, že kým nebude pokrytie územia Slovenskej republiky 5G sieťou hustejšie, bude dochádzať k výpadkom signálu a takisto budú v jednotlivých oblastiach rýchlosti prenosov závislé od použitého operátora.

3. ZÁVER

Na záver si dovoľím citovať zo záverečnej správy vypracovanej STUBA:

„Súčasná technológia implementácie 5G sietí NSA realizovaná v Slovenskej republike vykazuje nie deklarované teoretické hodnoty latencie – odozvy siete. Pri pohybujúcich sa dopravných prostriedkoch je teda otáznne, či nasadenie technologických operácií v súčasnosti pre autonómne vozidlá a prípady plátóoningu sú reálne dosiahnuteľné.

Taktiež je zrejmé, že prenosy údajov pri malých dátach nedosahujú značné rýchlosti. Výhoda veľkých rýchlostí prenosu údajov je zrejماً pri veľkých balíkoch. Tu je treba konštatovať, že pri prepojených vozidlách prostredníctvom 5G sietí je očakávaný prenos údajov zo senzorov, ktorý nebude veľkoobjemový. Výsledný efekt smerujúci k inteligentnej doprave je smerovaný do EDGE Computingu, kde výpočtový výkon je inštalovaný vo vozidle. Často zmieňovaný výpočtový výkon v Cloud Computingu je v súčasnosti len teoretický a bude zameraný na predikciu vybraných stavov z pohľadu vplyvu meteo informácií.

Záver číslo 1:

Zber údajov a ich centralizácia zo statickej infraštruktúry je realizovateľná na úrovni 4G/LTE. Parametre sú postačujúce.

Záver číslo 2:

Vzhľadom na existujúci stav 5G sietí z pohľadu mobility a cestnej premávky je súčasný stav pre autonómne vozidlá, automatizovaný systém riadenia dopravy a prípadné systém vzdialeného riadenia vozidiel vo všeobecnosti ešte nedostatočný. Orientácia telekomunikačných operátorov je na koncového zákazníka z pohľadu marketingu zrejماً, no nasadenie na technologické operácie pracujúce v reálnom čase zatiaľ vzdialená. Pre testovacie účely bude nevyhnutné realizovať konzultácie s operátormi tak, aby dopravné prostriedky boli v sieti so stupňom prioritizácie. Odozvy – latencia sa počas pohybu dopravných prostriedkov menili a v niektorých prípadoch presahovali deklarované hodnoty. Pri posudzovaní stanovenej odozvy nie je dôležité dosiahnuť priemerné hodnoty prístupu, ale zabezpečiť maximálne hodnoty na úrovni do 100 ms, ktoré nesmú byť prekročené z dôvodu bezpečnosti vozidla. Alternatívne riešenia sú realizovateľné iba v spolupráci s výrobcami/vývojármi dopravných prostriedkov, kde musí byť v prípade výpadku alebo predĺženia odozvy zabezpečená funkčná bezpečnosť vozidiel pri strate spojenia.”

Ako bolo spomenuté v texte, merania ku ktorým sa vzťahuje tento článok sa končili v októbri 2022, čiže konštatujú stav k tomuto obdobiu. Jednotliví operátori neustále budujú 5G sieť, zlepšujú pokrytie a kvalitu signálu a postupom času sa jednotlivé 5G mestá začnú postupne prepájať, čiže budú sa pokrývať pozemné komunikácie pozdĺž celej svojej dĺžky 5G signálom.

Bolo by zaujímavé zopakovať takéto merania v horizonte povedzme troch rokov a porovnať, ako sa zmenila situácia na území Slovenskej republiky.