



RĪGAS TEHNISKĀ  
UNIVERSITĀTE

**Alīna Stafecka**

**MOBILĀ INTERNETA PAKALPOJUMA  
KVALITĀTES MĒRĪJUMU NODROŠINĀŠANAS  
RISINĀJUMA IZSTRĀDE**

Promocijas darbs



**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

Elektronikas un telekomunikāciju fakultāte

Telekomunikāciju institūts

**Alīna Stafecka**

Doktora studiju programmas «Telekomunikācijas» doktorante

**MOBILĀ INTERNETA PAKALPOJUMA  
KVALITĀTES MĒRĪJUMU NODROŠINĀŠANAS  
RISINĀJUMA IZSTRĀDE**

**Promocijas darbs**

Zinātniskais vadītājs

Profesors Dr. sc. ing.

**VJAČESLAVS BOBROVS**

Rīga 2023

## PATEICĪBA

Izsaku sirsnīgu pateicību promocijas darba vadītājam profesoram Vjačeslavam Bobrovam par atbalstu, vērtīgiem padomiem un neļaušanu padoties darba izstrādes gaitā. Pateicos arī saviem kolēģiem no Rīgas tehniskās universitātes, Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas un *CEPT* par padomiem, atbalstu un izaicinājumiem, kas viennozīmīgi sekmēja darba izstrādi un aktualitāti.

No sirds pateicos savam dzīvesbiedram un ģimenei par izturību, un milzīgu spēka ieguldījumu no Jūsu puses atbalstot mani un pielāgojoties situācijai.

Paldies visiem, ar kuriem kopā esmu strādājusi vai kuri mani ir atbalstījuši, bet kuru vārds šeit nav pieminēts.

## ACKNOWLEDGMENT

I express my sincere gratitude to the supervisor of the thesis, professor Vjačeslavs Bobrovs, for his support, valuable advice and not allowing me to give up during the development of the thesis. I would also like to thank my colleagues from Riga Technical University, the Public Utilities Commission and *CEPT* for their advice, support and challenges, which clearly contributed to the development and relevance of the work.

From the bottom of my heart, I thank my spouse and family for their endurance, and a huge investment of strength on your part in supporting me and adapting to the situation.

I would also like to thank everyone with whom I have worked together, or who has supported me, but whose name is not mentioned here.

## ANOTĀCIJA

**Darba nosaukums:** «Mobilā interneta pakalpojuma kvalitātes mērījumu nodrošināšanas risinājuma izstrāde»;

**Darba autors:** Alīna Stafecka;

### **Darba saturs:**

Ievērojot ik gadu pieaugošo ar interneta starpniecību sniegto pakalpojumu klāstu, kā arī arvien vairāk palielinoties tiešsaistes satura daudzumam, interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes rādītāji, īpaši mobilā tīkla gadījumā, kas jau tagad galalietotāju skaita ziņā būtiski pārsniedz fiksētā tīkla galalietotāju skaitu, kļūst arvien svarīgāki, izvērtējot iespēju saņemt pakalpojumu vai piekļūt saturam. Līdz ar to ir paredzēts normatīvais regulējums, kas nosaka, ka atbildīgajām institūcijām ir jānodrošina interneta piekļuves pakalpojuma atklāta un caurskatāma novērtēšana un uzraudzība.

Promocijas darbā gaitā veikts pētījums, kurā izskatīts un novērtēts interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes uzraudzības un novērtēšanas process, kas balstās mērījumu veida izvēlē atkarībā no normatīvā regulējuma prasībām un mērījumu veikšanas mērķiem, mērījumu ietekmējošiem faktoriem un citiem tehniskiem un regulatīviem aspektiem. Papildus regulējumā noteiktām normām promocijas darbā tiek piedāvāti un praktiski izvērtēti papildu mērījumu iekārtu izvietojuma kritēriji, kuru pamatā ir signāla parametru izvērtējums.

Darba rezultātā izstrādātas interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes mērījumu veikšanas vadlīnijas, kas paredz konkrētu darbību un nosacījumu kopu, nosakot mērījumu veikšanas laikus, mērījumu iekārtu izvietojumu, references parametru vērtības un citus nosacījumus, lai nodrošinātu mērījumu procesa atklātumu un caurskatāmību, kā arī mērījumu rezultātu salīdzināmību un objektivitāti.

### **Darba apjoms:**

155 lappuses, darbā ir 29 tabulas, 25 attēli, 136 literatūras avoti un 7 pielikumi.

## ANNOTATION

**Title of the thesis:** «Development of the solution for provision of mobile internet service quality measurements»;

**Author of the thesis:** Alina Stafecka;

**Content of the thesis:**

In the light of the annual increase in the range of services provided via the Internet, as well as the increasing amount of online content, the quality of Internet access service, especially in the case of the mobile network, where the number of end-users already significantly exceeds the number of landline end-users, is becoming increasingly important when assessing the possibility of receiving the service or accessing content. Consequently, a regulatory framework is provided, within the framework of which the responsible authorities must ensure an open and transparent assessment of the Internet access service.

In the Doctoral Thesis, a study has been carried out, within the framework of which the process of monitoring and evaluating the quality of Internet access service has been examined and evaluated, in regard to the choice of the type of measurements depending on the requirements of the regulatory framework and the objectives of performing measurements, factors affecting the measurement and other technical and regulatory aspects. In addition to the norms specified in the regulation, the Doctoral Thesis proposes and practically evaluates the additional criteria for placement of the measurement equipment, which are based on the assessment of signal parameters.

As a result of the research, guidelines for the performance of measurements of the quality of the Internet access service have been developed, which provide a specific set of activities and conditions, determining the time of the measurements, the location of measurement equipment, values of reference parameters, and other conditions in order to ensure openness and transparency of the measurement process, as well as comparability and objectivity of measurement results.

**Thesis contains:**

155 pages, 29 tables, 25 figures, 136 literature sources and 7 appendices.

# SATURS

SAĪSINĀJUMU SARAKSTS .....	7
IEVADS .....	11
1. Mobilā interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu principi un nepieciešamība.....	19
1.1. Internets un tā mērījumu pamatprincipi .....	20
1.2. Interneta pakalpojuma <i>QoS</i> mērījumu parametri .....	24
1.3. Signāla parametri .....	26
1.4. Regulatīvo mērījumu veidi .....	29
1.5. Mērījumu rīki un to izvēle .....	31
1.6. Mērījumu servera izvēle .....	34
1.7. Mērījumus ietekmējošie faktori .....	38
1.8. Normatīvais regulējums .....	42
1.9. Interneta pakalpojuma mērījumu izmantošana frekvenču un mobilā tīkla attīstības uzraudzībā .....	44
1.10. Nodaļas kopsavilkums .....	45
2. Mērījumu vietas un mērījumu aparatūras izvietojuma izvēle .....	47
2.1. Mērījumu lokācijas noteikšana mērījumiem iekštelpās .....	48
2.2. Mērījumu lokācijas noteikšana mērījumiem ārtelpās .....	52
2.3. Mērījumu iekārtu izvietojums mērījumu veikšanai transportlīdzeklī .....	55
2.4. Iekštelņu un mērījumu transportlīdzeklī izvērtējums .....	59
2.5. Mērījumi ceļa posmā.....	64
2.6. Izlases mērījumu un mērījumu kustībā novērtējums .....	72
2.7. Nodaļas kopsavilkums .....	79
3. Mērījumu laika un apjoma noteikšana .....	81
3.1. Mērījumu veikšanas laika izvēle atkarībā no mērījumu veida.....	81
3.2. Mērījumu apjoma noteikšana dažādiem mērījumu veidiem .....	86
3.3. Mērījumu kļūdas un to noteikšana.....	90
3.4. Cilvēkresursu un iekārtu skaita faktors.....	92
3.5. Mērījumu vietu izvēle un sadalījums.....	93
3.6. Nodaļas kopsavilkums .....	95
4. Kvalitātes un signāla parametru savstarpējas sakarības izvērtējums .....	97

4.1. <i>QoS</i> parametru izmaiņas dažādos frekvenču spektra diapazonos .....	97
4.2. <i>QoS</i> un signāla parametru atkarība no mērījumu vietas .....	99
4.3. Korelācijas starp <i>QoS</i> un signāla parametriem noteikšana .....	103
4.4. Nodaļas kopsavilkums .....	110
NOBEIGUMS UN SECINĀJUMI.....	112
Izmantotā literatūra.....	120
PIELIKUMU SARAKSTS.....	128

## SAĪSINĀJUMU SARAKSTS

*2G – The second generation of wireless mobile telecommunications technology* – mobilā elektronisko sakaru tīkla otrā paaudze

*3G – The third generation of wireless mobile telecommunications technology* – mobilā elektronisko sakaru tīkla trešā paaudze

*3GPP – The third Generation Partnership Project* – trešās paaudzes partnerības projekts

*4G – The fourth generation of wireless mobile telecommunications technology* – mobilā elektronisko sakaru tīkla ceturtnā paaudze

*5G – The fifth generation of wireless mobile telecommunications technology* – mobilā elektronisko sakaru tīkla piektā paaudze

### A

*AS – Autonomous system* – autonomā sistēma

### B

*BEREC – Body of European Regulators for Electronic Communications* – Eiropas Elektronisko komunikāciju regulatoru iestāde

*BGP – Border Gateway Protocol* – robežvārtējas protokols

*BOR – BEREC Report* – BEREC pārskats

### C

*Cat – Category* – kategorija

*CDMA – Code division multiple access* – koddāles daudzpiekļuve

*CEPT – The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations* – Eiropas Pasta un telekomunikāciju administrācija

*CISCO – Commercial & Industrial Security Corporation* – tirdzniecības un rūpnieciskās drošības korporācija

*CQI – Channel Quality Indicator* – kanāla kvalitātes indikators

### D

*dB – decibel* – decibels

*dBm – decibel-milliwatts* – decibels uz vienu milivatu

### E

*EC – European Commission* – Eiropas Komisija

*ECC – Electronic Communication Committee* – Elektronisko sakaru komiteja

*EECC – European Electronic Communication Code* – Eiropas elektronisko sakaru kodekss

*EENA – The European Emergency Number Association* – Eiropas ārkārtas numuru asociācija

*EG – ETSI Guide* – ETSI rokasgrāmata

*eNodeB – E-UTRAN Node B* – E-UTRAN mezgls B



*EU – European Union* – Eiropas Savienība (ES)

*ETSI – European Telecommunications Standards Institute* – Eiropas Telekomunikāciju standartu Institūts

*EVDO – Evolution-Data Optimized Standard* – Evolution-Data Optimizētais standarts

## **G**

*GB – Gigabyte* – gigabaiti

*GPS – Global Positioning System* – Globālā pozicionēšanas sistēma

*GSM – Global System for Mobile communications* – Globālā mobilo sakaru sistēma

*GSMA – Global System for Mobile Communications Association* – Globālā mobilo sakaru sistēmu asociācija

## **H**

*HTTP – Hypertext Transfer Protocol* – hiperteksta pārsūtīšanas protokols

*HSPA – High speed packet access* – ātrgaitas pakešu piekļuve

## **I**

*IANA – Internet Assigned Numbers Authority* – interneta piešķirto numuru iestāde

*IETF – Internet Engineering Task Force* – interneta tehniskā uzdevumgrupa

*IoT – Internet of Things* – lietu Internets

*IP – Internet Protocol* – interneta protokols

*IPv4 – Internet Protocol version 4* – interneta protokola ceturtnā versija

*IPv6 – Internet Protocol version 6* – interneta protokola sestā versija

*ITEST – Interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes kontroles sistēma*

*ITU – International Telecommunication Union* – starptautiskā telekomunikāciju savienība

*ITU-T – ITU Telecommunication Standardization Sector* – ITU Telekomunikāciju standartizācijas sektors

*IXP – Internet exchange point* – interneta apmaiņas punkts

## **L**

*LTE – Long-Term Evolution* – ceturtnās paaudzes mobilie sakari

## **M**

*M2M – Machine-to-machine* – iekārta-iekārta saziņas veids

*MCC – Mobile Country Code* – publiskā mobilā telefonu tīkla valsts kods

*MNC – Mobile Network Code* – publiskā mobilā telefonu tīkla kods

*MHz – Megahertz* – megaherci

*Mbps – Megabit per second* – megabiti sekundē

*ms – milliseconds* – milisekundes

*MSC – Mobile Switching Center* – mobilo sakaru komutācijas centrs

## **N**

*NaN – Networks and Numbering* – tīkli un numerācija  
*NR – New Radio* – mobilā elektronisko sakaru tīkla piektā paaudze  
*NNI – network/network interface* – tīkla/tīkla saskarne  
*NTP – network termination point* – tīkla pieslēguma punkts

## **O**

*OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development* – ekonomiskās sadarbības un attīstības organizācija

## **P**

*PDN – packet data network* – pakešu datu tīkls  
*PTDN – public packet telecommunication data network* – publiskais pakešu telekomunikāciju datu tīkls

## **Q**

*QoS – Quality of Service* – pakalpojuma kvalitāte

## **R**

*R – Router* – maršrutētājs  
*RFC – Request for Comments* – komentāru pieprasījums  
*RIPE NCC – Regional Internet Registries* – reģionālais interneta reģistrs  
*RSRP – Reference Signal Received Power* – uztvertā references signāla jauda  
*RSRQ – Reference Signal Received Quality* – uztvertā references signāla kvalitāte  
*RSSI – Received Signal Strength Indication* – uztvertā signāla stipruma rādītājs  
*R&D – Rohde&Schwarz*

## **S**

*SNR – Signal-to-noise ratio* – signāla – trokšņa attiecība  
*SINR – Signal-to-interference-plus-noise ratio* – signāla un traucējumu trokšņa attiecība  
*SPRK – Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisija*

## **T**

*TCP – Transmission Control Protocol* – pārraides vadības protokols  
*TS – Technical specification* – tehniskā specifikācija

## **U**

*UMTS – Universal Mobile Telecommunications System* – Universālā mobilo telekomunikāciju sistēma  
*UNI – User network interface* – lietotāja tīkla saskarne

## **V**

*VoIP* – *Voice over IP* – IP balss pārraide

*VoLTE* – *Voice over Long-Term Evolution* – balss pārraide izmantojot ceturrtās paaudzes mobilo elektronisko sakaru tīklu

## **W**

*WG* – *working group* – darba grupa

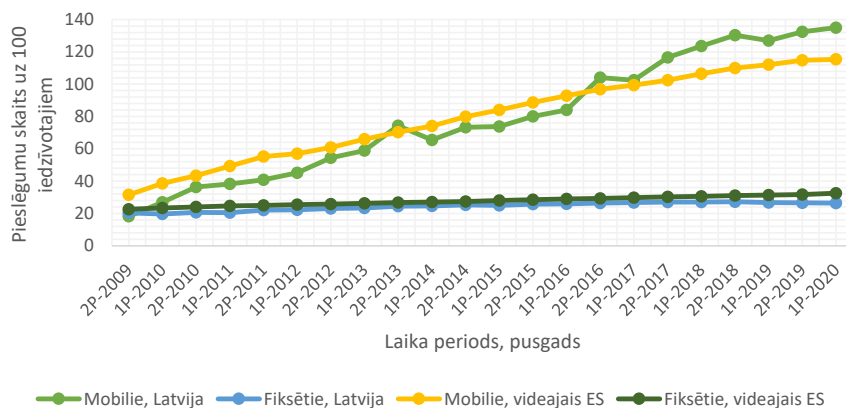
## IEVADS

Platjosla un interneta piekļuves pakalpojums pēdējās desmitgades laikā kļuva par neatņemamo ikdienas sastāvdaļu gandrīz katram Eiropas un pasaules iedzīvotājam.

Mobilā interneta piekļuves pakalpojuma nepieciešamība tika aktualizēta 2019. gada beigās sākušās pandēmijas dēļ, kuras ietekmē cilvēki bija spiesti mācīties un strādāt neizejot no mājas, izmantojot attālināto piekļuvi mācību un darba sistēmām. Lielāka daļa komunikācijas, mācību un darba procesu tika nodrošināti izmantojot interneta piekļuves pakalpojumu. Tas arī parādīja cik svarīga cilvēkiem ir sniegtā pakalpojuma kvalitāte, jo vienas mājsaimniecības ietvaros pakalpojumu izmanto vairāki galalietotāji, noslogojot esošo pieslēgumu vairāk nekā sākotnēji bija paredzēts izvēloties pakalpojuma sniedzēju, saņemto pakalpojumu un tā kvalitāti.

Īpaši svarīga iedzīvotājiem kļuva arī piekļuve internetam izmantojot mobilo elektronisko sakaru tīklu, kura pārklājums, lielākoties, īpaši ārpus lielām pilsētām, ir plašāks, nekā ir piekļuve fiksētiem elektronisko sakaru tīkliem, un tā izmantošana ir lētāka nekā fiksēto pieslēgumu gadījumā, ļaujot arī samērā brīvi pārvietojoties mainīt pakalpojuma saņemšanas vietu [117], [126].

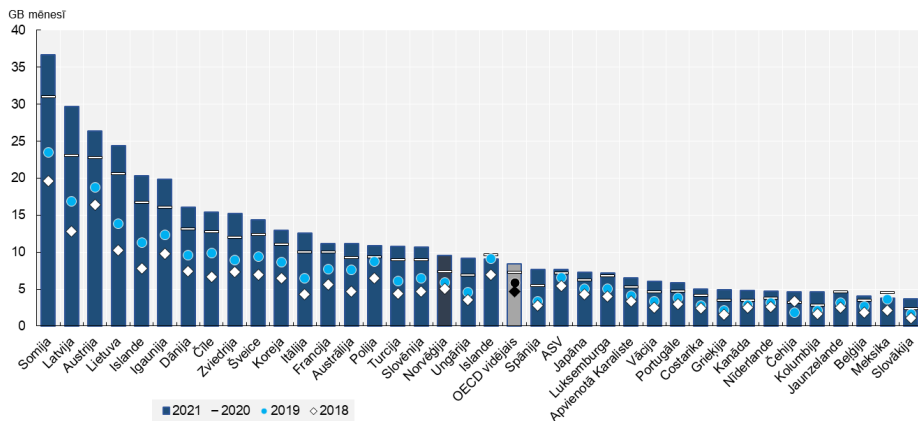
Analizējot statistiskos datus Eiropas Savienībā (ES), var novērot arī mobilo pieslēgumu skaita pakāpenisko palielināšanos pēdējās desmitgades laikā, ko var redzēt attēlā 1.1.



1.1. att. *OECD* dati par interneta piekļuves pakalpojuma pieslēgumu skaitu Latvijā un Eiropas Savienībā [101].

*OECD* dati liecina, ka pieslēgumu skaits Eiropas savienības valstīs 2020. gadā, salīdzinot ar 2009. gada otrā ceturkšņa datiem, palielinājās 3,65 reizes priekš mobiliem elektronisko sakaru tīkliem, tad kad fiksēto pieslēgumu skaita palielinājums nav būtisks, ko var novērot 1.1. attēlā. Tas saistīts ar to, ka vienai mājsaimniecībai parasti tiek nodrošināts viens pieslēgums publiskām tīklam, tad kad mobilā elektronisko sakaru tīkla gadījumā, katram galalietotājam tiek nodrošināts viens vai pat vairāki atsevišķi pieslēgumi [103], [118], [119].

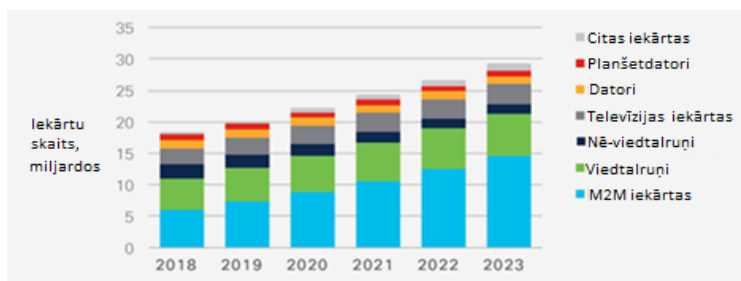
Lai novērtētu patērēto datu apjoma pieaugumu pēdējo gadu laikā, nepieciešams veikt arī datu patēriņa apjoma novērtējumu mobilā elektronisko sakaru tīklā, kas ir parādīts 1.2. attēlā, un kas balstās uz *OECD* iegūtiem datiem, kur redzams, ka gandrīz visās izskatītās valstīs, galalietotāju patērēto datu apjoms būtiski pieauga pēdējo gadu laikā, daudzās valstīs pat divkārtšojoties.



1.2. att. *OECD* dati par mobilo datu lietojumu mēnesī uz vienu galalietotāju pasaules valstīs un tā izmaiņu no 2018. gada [101].

1.2. attēlā redzamie dati parāda, ka Latvija ir otrā vietā pēc datu patēriņa mēnesī uz vienu galalietotāju, tādējādi arī saņemtā interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes novērtējums galalietotājiem ir īpaši svarīgs, ievērojot pieprasījumu pēc mobiliem datiem, un strauju patērēto datu apjoma pieaugumu, kas var rezultēties ar pakalpojuma kvalitātes rādītāju samazināšanos, ja mobilo elektronisko sakaru tīklu operatori nespēs savus tīklus tādām datu patēriņam pielāgot.

Nepieciešams atzīmēt, ka arī *M2M/IoT* iekārtu skaits, kas tiek izmantots mobilā elektronisko sakaru tīklā, strauji palielinās, radot papildus noslodzi un vajadzību pēc tīkla kapacitātes palielināšanas [49]. Saskaņā ar *CISCO* datiem jau tuvākos gados *M2M* iekārtu skaits pakāpeniski turpinās augt, sasniedzot gandrīz 15 miljardus iekārtu, divreiz pārsniedzot viedtālrunu skaitu, kas pasaulē tiek izmantoti piekļuvei internetam [24].



1.3. att. *CISCO* dati un prognoze par iekārtu, kas izmanto interneta piekļuves pakalpojumu, skaitu pasaulē [24].

Ievērojot iekārtu, kurām tiek nodrošināta datu pārraide izmantojot mobilo elektronisko sakaru tīklu, skaita palielināšanos un arī satura resursu izmantošanas daudzkārtīgu pieaugumu pēdējos gados, ļoti svarīgi ir ne tikai nodrošināt iespēju visām iekārtām pieslēgties elektronisko sakaru tīklam, bet arī, lai galalietotājiem sniegtā pakalpojuma kvalitāte nepazeminās [24]. Tāpēc ir nepieciešama arī kvalitātes uzraudzība, gan no mobilo elektronisko sakaru tīklu komersantu, gan no valsts regulējošo iestāžu puses.

Interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes novērtējums nepieciešams, lai objektīvi noteiktu vai pakalpojums saņemts atbilstošā kvalitātē un vai ir izpildīti elektronisko pakalpojuma līguma nosacījumi starp elektronisko sakaru komersantu un galalietotāju [122]. Izvēloties noteikto tarifu plānu galalietotājs izvērtē, kāds ir viņa pakalpojuma izmantošanas mērķis, un atbilstoši jāizvēlas sev piemērots pakalpojums ar noteiktām kvalitātes garantijām.

Fiksētā pieslēguma gadījumā pakalpojuma kvalitātes garantijas, ko var piedāvāt komersants, ir daudz vieglāk paredzamas, jo pieslēgumu skaits ir noteikts un ierobežots ar faktisko fizisko līniju skaitu, līdz ar to, dodot iespēju jau sākotnēji komersantam zināt kādu tīkla kapacitāti viņš var novirzīt katram galalietotājam un arī kādā apmērā ierobežot galalietotājam sniegto pakalpojumu parametrus, piemēram maksimālo lejupielādes ātrumu, atbilstoši galalietotāja izvēlētam tarifu plānam, tādējādi, nodrošinot, ka citiem komersanta tīklā esošiem galalietotājiem pietiek pieejamo tīkla resursu [43].

Mobilā elektronisko sakaru tīkla gadījumā, galalietotāju skaits vienas bāzes stacijas nodrošinātā pārklājuma robežās ir mainīgs, līdz ar ko ir grūtāk paredzēt nepieciešamo kapacitāti noteiktā ģeogrāfiskā vietā, un nodrošināt katram galalietotājam garantētās kvalitātes parametru vērtības kļūst daudz grūtāk [80]. Papildus, var piebilst, ka iekārtu skaits, kas izmanto mobilo elektronisko sakaru tīklu un ir paredzēts interneta piekļuves pakalpojuma izmantošanai, ir daudz lielāks nekā fiksētā elektronisko sakaru tīkla gadījumā, kā liecina 1.3. attēlā parādītie apkopotie *CISCO* dati.

Līdz ar to, nepieciešams nodrošināt, lai valstī būtu institūcija, kas varētu uzraudzīt mobilā elektronisko sakaru tīkla kvalitāti un informēt galalietotājus par viņiem pieejamā pakalpojuma faktiskiem kvalitātes parametriem. Tāda funkcija Eiropas Savienības un vairākās pasaules valstīs ir Nacionālām Regulējošām iestādēm, kas piedalās gan nozares politikas veidošanā, gan sadarbojas ar Eiropas un pasaules standartizācijas iestādēm, lai nodrošinātu vienotu tehnoloģiju ieviešanu un uzraudzību, kā arī sniegto elektronisko sakaru pakalpojumu kvalitātes atbilstību normatīvos aktos noteiktam līmenim [26].

Papildus norādāms, ka regulējošo iestāžu funkcijas ir ļoti dažādas, un ietver ne tikai pakalpojumu kvalitātes uzraudzību, bet arī ierobežotu resursu piešķiršanu un to uzraudzību, kas iekļauj gan frekvenču spektra komercdarbībai, gan *IP* resursu izmantošanas uzraudzību [39].

Latvijas Republikā atšķirībā no daudzām citām Eiropas Savienības dalībvalstu regulatīvām iestādēm, nozari regulējošās funkcijas, tai skaitā spektra uzraudzības un pakalpojuma kvalitātes uzraudzības funkcijas, ir sadalītas starp vairākām institūcijām, līdz ar ko svarīgi nodrošināt, ka vienas iestādes mērījumi ir salāgojami ar citu iestāžu mērījumiem, neizslēdzot vieniem otru un papildinot tos [39]. Tāpēc, veicot pakalpojuma kvalitātes mērījumus, ir svarīgi apzināties un nodrošināt arī saistītu parametru mērījumus, kas kā palīdzētu iespējamo problēmu identifikācijā, tā arī nodrošinātu iestādes funkciju izpildi. Tādējādi, kvalitātes mērījumu laikā,

veicot tīkla un citu parametru mērījumus, signāla parametru mērījumi var ļaut arī konstatēt vai frekvenču lietošanas tiesības tiek izmantotas atbilstoši piešķirtām atļaujām un licencēm, kā arī novērtēt aktuālas tehnoloģiju izmaiņas, nodrošinot pēc iespējas ātrāku regulējuma pilnveidojumu.

Pašlaik izplatītākā un izmantojamākā mobilo elektronisko sakaru tīklu tehnoloģija ir ceturtais paaudzes (4G) mobilie elektronisko sakaru tīkli jeb LTE tīkls [50]. Kaut gan piektās paaudzes elektronisko sakaru tīkli strauji attīstās un tiek ieviesti plašāk pēdējo gadu laikā, tomēr tagad vēl NR (New radio – 5G) tiek nodrošināts izmantojot LTE pamattīklu, un pat NR pilnīgas ieviešanas gadījumā mobilo elektronisko sakaru tīklu, izmantojot LTE tehnoloģiju, ir plānots nodrošināt vēl ilgāku laiku, tādējādi nevis aizvietojo tīklus, bet ļaujot tiem papildināt vienu otru [27], [50], [97], [98], [128].

Kaut gan Eiropas Savienība paredz ļoti plašu regulējumu attiecībā uz interneta piekļuves pakalpojuma novērtējumu, definējot gan QoS parametrus, gan mērījumu rīka specifikāciju, gan datu apkopošanas prasības, tomēr nav noteikti vienoti praktisko mērījumu veikšanas principi un nosacījumi, līdz ar ko katras valsts regulējošā iestāde veic mērījumus pēc pašas ieskatiem [12], [15], [17], [18], [20]. Līdz ar to, ja mērījumu veikšanas process nav vienāds, un nav balstīts uz vienotiem mērījumu veikšanas principiem, nevar garantēt iegūto rezultātu salīdzināmību, kā tas ir paredzēts ES rekomendācijās, kuru nolūks ir balstoties uz iegūtiem mērījumu rezultātu datiem, veikt galalietotājiem sniegtā interneta pakalpojuma kvalitātes novērtējumu un salīdzinājumu dažādās ES valstīs [11], [17]. Ievērojot, ka pašlaik nedz pasaules, nedz ES, nedz Latvijas Republikas dokumenti neparedz mērījumu veikšanas procesa nosacījumu noteikšanu, mērījumu veikšanas process nav atklāts un caurskatāms pakalpojumu sniedzējiem un galalietotājiem, kā to nosaka normatīvie akti [26], [30], [108].

Uz darba izstrādes brīdi, Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas 2022. gada 27. septembra lēmums Nr. 1/31 “Elektronisko sakaru pakalpojumu kvalitātes mērījumu metodika” neiekļauj nosacījumus interneta piekļuves pakalpojuma mērījumiem [123]. Norādāms, ka darba rezultāti tiek un tiks izmantoti, gan interneta piekļuves rīka prasību izstrādes procesā, gan turpmāk, pēc interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes mērījumu sistēmas izstrādes un, definējot interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu veikšanas kārtību [12].

Darba kontekstā mobilā interneta piekļuves pakalpojums, ir interneta piekļuves pakalpojums, kas sniegts izmantojot publisko mobilo elektronisko sakaru tīklu [39], [120].

Ņemot vērā visu iepriekš minēto, it īpaši to, ka nav vienotu mobilā interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu veikšanas vadlīniju, kas būtu piemērojamas neatkarīgi no elektronisko sakaru tīklā izmantotās tehnoloģijas un nodrošinātu pamatotu un salīdzināmu kvalitātes mērījumu rezultātu iegūšanu, ir definēts šāds **promocijas darba mērķis**:

**Veikt mobilā interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu procesa nodrošināšanai nepieciešamo aspektu un parametru izpēti, izstrādājot mērījumu veikšanas procesa vadlīnijas, kas balstās uz standartiem, rekomendācijām, matemātiskiem aprēķiniem un praktiskajiem rezultātiem un nodrošina mērījumu procesa atklātumu un caurskatāmību.**

### **Promocijas darba pamatuzdevumi:**

1. Izvērtēt dažādus interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu veidus, nosakot katra mērījumu veida priekšrocības un trūkumus, definējot katram mērījumu veidam raksturīgus mērījumu veikšanas nosacījumus un mērījumu rezultātus ietekmējošos faktorus.
2. Noteikt optimālo interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu servera izvietojuma vietu Latvijas Republikas publiskā interneta tīklā, kas apmierinātu Eiropas Savienības regulējuma prasības un nodrošinātu salīdzināmu mērījumu rezultātu iegūšanu nacionālā līmenī.
3. Izstrādāt mērījumu automatizācijas algoritmu, nosakot kritērijus interneta piekļuves pakalpojuma un signāla parametru mērījumu veikšanai un nolasīšanai, kā arī iegūto rezultātu apkopošanai datubāzē.
4. Izpētīt elektronisko sakaru pakalpojuma kvalitātes parametru un signāla parametru vērtību atkarību no mērījumu veikšanas vietas un laika.
5. Noteikt mobilā interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu sadalījumu starp dažādiem apdzīvoto vietu tipiem, balstoties uz praktiski iegūto rezultātu matemātisko apstrādi.
6. Novērtēt mērījumu iekārtu izvietojuma ietekmi uz mobilā interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu rezultātiem un noteikt mērījumu iekārtu izvietojuma kritērijus dažādiem mērījumu veidiem.
7. Salīdzināt izlases mērījumu un mērījumu kustībā (*drive test*) efektivitāti apdzīvotās vietās, balstoties uz praktisko rezultātu matemātiskiem aprēķiniem un patērēto mērījumu laiku.
8. Novērtēt sakarību un korelāciju starp mobilā interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes parametru un signāla parametru vērtībām.
9. Izstrādāt mobilā interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu veikšanas vadlīnijas, kas paredzētas mērījumu veicējam un var būt publiskas, lai nodrošinātu nacionālās regulējošās iestādes darbības atklātumu un caurskatāmību.

### **Pētījuma metode:**

Promocijas darba mērķa sasniegšanai un uzdevumu izpildei ir veikta literatūras analīze, praktiskie mērījumi, matemātiskie aprēķini, statistikas datu analīze un matemātisko apstrādes algoritmu izveide. *QoS* un signāla parametru mērījumiem un to datu apkopošanai tika uzrakstīts programmas kods *python* programmēšanas valodā, izmantojot dažādu uzņēmumu un institūciju interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes vai signāla parametru mērījumu rīkus. Mērījumu rezultātu apstrāde tika veikta, izmantojot matemātiskās un statistiskās analīzes metodes. Definējot mērījumiem un to plānošanai nepieciešamos lielumus, tika izteikti matemātiskas apstrādes algoritmi formulu veidā. Datu analīzei tika izmantots programmas kods *python* programmēšanas valodā un *Microsoft Excel* programatūra. Mērījumu datu plūsmas uzraudzībai tika izmantota *Command Prompt* saskarne.



### **Promocijas darbā aizstāvamās tēzes:**

1. Latvijas Republikā ir iespējams izvēlēties vienu interneta pakalpojuma kvalitātes mērījumu servera izvietojuma vietu tīklā tā, lai tā atbilstu visām regulējuma prasībām un nodrošinātu salīdzināmus un objektīvus mērījumu rezultātus.
2. Signāla parametri ir jāizmanto mērījumu vietas noteikšanai un turpmākai analīzei, tādējādi nodrošinot rezultātu salīdzināmību, pamatotību un turpmāko darbību mobilā tīkla attīstībai, prognozējamību.
3. Mērījumu veikšanas laika, apjoma un ģeogrāfiskā izvietojuma noteikšanai un plānošanai valsts mērogā katram pārskata periodam ir nepieciešams veikt starptautiskiem standartiem atbilstošus statistiskos prognozes aprēķinus, ņemot vērā pieejamos resursu un mērījumu veidiem raksturīgos nosacījumus.
4. Starp signāla un *QoS* parametriem *LTE* mobilā elektronisko sakaru tīklā pastāv stingra korelācija.

Veicot teorētisko datu analīzi, ka arī izvērtējot praktisko eksperimentālo mērījumu rezultātus un veicot to apstrādi ar matemātiskām un statistiskām metodēm, ir secināms, ka izvirzītās tēzes ir pierādītas.

Promocijas darba rezultātā izvirzītie secinājumi un izstrādātas vadlīnijas ir definētas promocijas darba pēdējā nodaļā.

### **Promocijas darba praktiskā vērtība un jaunieguvumi:**

1. Izstrādāts mērījumu automatizācijas un datu apkopošanas algoritms programmas koda veidā, ko var izmantot, veicot turpmākos pētījumus un nodrošinot interneta piekļuves pakalpojuma uzraudzības mērījumus Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas vajadzībām.
2. Izvērtēti un piedāvāti interneta piekļuves pakalpojuma praktiskie mērījumu veikšanas modeļi un to parametri, kas ņemti vērā, nosakot prasības interneta pakalpojuma kvalitātes mērījumu sistēmai, kas tiks izmantota Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas funkciju izpildei.
3. Pamatojoties uz veikto pētījumu rezultātiem un novērojumiem, izstrādātas universālas interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu veikšanas vadlīnijas, ko pēc interneta pakalpojuma kvalitātes novērtēšanas sistēmas izstrādes var izmantot, nosakot prasības attiecībā uz interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes mērījumu kārtību un izpildi un iekļaujot tās Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas normatīvos aktos.
4. Izstrādātos interneta piekļuves mērījumu veikšanas principus piedāvāts izskatīt Eiropas mērogā, tādējādi nodrošinot vienotu mērījumu veikšanas principu ieviešanu Eiropas līmenī.

Promocijas darba galvenie rezultāti prezentēti astoņās starptautiskajās zinātniskajās konferencēs, kā arī ietverti vienā publikācijā zinātniskajā žurnālā un septiņos rakstos pilna teksta konferenču rakstu krājumos. Viens raksts iesniegts, pieņemts un prezentēts zinātniskā konferencē, kas notika 2023. gada jūlijā, un tas tiks publicēta tuvākajā laikā.

Promocijas darbā ir apkopoti pabeigtu pētījumu rezultāti un definēti iespējamie **turpmākie pētījumu virzieni**:

1. Pēc patstāvīgi funkcionējošās *NR* tehnoloģijas ieviešanas mobilo elektronisko sakaru tīklos interneta piekļuves pakalpojuma nodrošināšanai praksē izvērtēt promocijas darbā definēto interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes mērījumu veikšanas principu lietojumu un noteikt iespējamus pilnveidojumus, kas būtu nepieciešami, veicot interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes uzraudzību jaunās paaudzēs mobilos tīklos.
2. Izstrādāt un izvērtēt mērījumos iegūto datu analīzes algoritmus, kuru ietvaros, balstoties iegūtajās signāla un *QoS* parametru vērtībās, varētu noteikt teorētisko *QoS* parametru vērtību sadalījumu mobilās šūnas pārklājuma robežās.

Promocijas darba apjoms ir 155 lappuses. Tajā ir ievads, četras nodaļas, literatūras saraksts un septiņi pielikumi.

Darba pirmajā nodaļā izskatīti interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes novērtēšanas principi un parametri, izvērtēti dažādi regulatīvo mērījumu veidi un mērījumu rīki, pamatojoties uz pasaules, Eiropas un valsts regulējuma nostādņēm. Nodaļā izvērtēti Latvijas Republikas autonomu sistēmu starpsavienojumi, tādējādi nosakot to autonomu sistēmu, kurā jānodrošina interneta pakalpojuma mērījumu servera izvietošana, lai mērījumi atbilstu Eiropas Savienības regulējumam un lai dažādu operatoru tīklos veikto mērījumu rezultāti būtu objektīvi un salīdzināmi. Nodaļā izskatīti un izvērtēti arī mērījumus ietekmējošie faktori, tai skaitā galiekārtas, kas paredzētas regulatīvo interneta pakalpojuma kvalitātes mērījumu veikšanai, izvēles ietekme uz mērījumu rezultātiem. Normatīvā regulējumā kontekstā analizēta papildu signāla parametru mērījumu veikšanas nepieciešamība, kas nodrošinātu arī citu regulējošās iestādes funkciju izpildi, tai skaitā elektronisko sakaru tirgus un pakalpojumu atbilstības uzraudzību.

Promocijas darba otrajā nodaļā analizēta mērījumu iekārtu izvietošanas ietekme uz mērījumu rezultātiem, veikta rezultātu matemātiskā apstrāde, definēti secinājumi un sniegti priekšlikumi par nosacījumiem, kādi jānosaka attiecībā uz mērījumu ģeogrāfisko vietu izvēli un iekārtu izvietošanu telpās vai transportlīdzeklī, kas būtu lietojami praktisko mērījumu veikšanai, nodrošinot visu veikto mērījumu salīdzināmību. Novērtēta arī dažādu mērījumu veidu alternatīvā izmantošana, tai skaitā salīdzināti iekštelpu un ārtelpu mērījumi, kā arī izlases mērījumi vienā vietā un *drive test* mērījumi. Izvērtētas dažādu mērījumu veidu priekšrocības un trūkumi.

Darba trešajā nodaļā definēti interneta pakalpojuma mērījumu apjoma noteikšanas kritēriji un mērījumu laika izvēles principi atkarībā no mērījumu veida, kas nepieciešams, lai nodrošinātu to, ka mērījumi ir veikti atbilstoši starptautiskos standartos noteiktai ticamības pakāpei un mērījumu rezultātu apkopojums ļauj galalietotājiem novērtēt faktiski pieejamo pakalpojuma kvalitāti. Ņemot vērā definēto mērījumu skaita aprēķināšanas metodi, analizēti un piedāvāti mērījumu vietu izvietošanas modeļi valsts un atsevišķu apdzīvoto vietu teritorijās. Noteikti mērījumus ietekmējošie faktori, tai skaitā cilvēciskais, ko nepieciešams ņemt vērā, veicot kvalitāte mērījumu un iegūto datu apstrādi un analīzi.

Promocijas darba ceturtajā daļā izskatītas un, izmantojot matemātiskās un statistiskās metodes, analizētas noteiktas sakarības starp radiofrekvenču spektru, signāla parametru

vērtībām un *QoS* parametru vērtībām, pamatojoties uz praktiski iegūtiem mērījumu rezultātiem. Nodaļā noteikta korelācija starp *QoS* parametriem un signāla parametriem, kā arī analizēti mērījumu rezultāti atkarībā no mērījumu veikšanas vietas.

Promocijas darba nobeigumā apkopoti pētījumu rezultāti, tai skaitā definēti galvenie pētījuma laikā izvirzītie secinājumi un, pamatojoties uz pētījumu laikā iegūtiem rezultātiem, aprakstīta interneta piekļuves mērījumu veikšanas kārtība un nosacījumi universālo vadlīniju formā.

Darba pielikumos pievienots promocijas darba gaitā izstrādātais interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu automatizācijas un datu apkopošanas programmas kods, pētījumu rezultātu attēlojumi un apkopojumi, zinātnisko konferenču un publikāciju saraksti, kā arī *CEPT* apliecinājums par dalību dokumentu izstrādē.

# 1. MOBILĀ INTERNETA PIEKĻUVES PAKALPOJUMA MĒRĪJUMU PRINCIPI UN NEPIECIEŠAMĪBA

Interneta piekļuves pakalpojumam jeb interneta pakalpojumam mūsdienās ir ļoti liela nozīme cilvēku ikdienas dzīvē, tai skaitā veicot darba pienākumus un studiju procesā. Eiropas Savienība ir izvirzījusi ļoti apjomīgus mērķus gan attiecībā uz interneta pakalpojuma kvalitātes prasībām, gan uz daudzu pakalpojumu pieejamību tieši izmantojot interneta piekļuves pakalpojumu Eiropas Savienības valstīs [26].

Interneta piekļuves pakalpojums pakāpeniski aizvieto citus vēsturiskus pakalpojumus, tādus kā televīzija un balss telefonija, ievērojot, ka savstarpēju saziņu daudz plašākā apjomā, tas ir, arī nodrošinot video zvanus un papildus aplikācijas, var nodrošināt interneta vidē. Tomēr, tas rada arī jaunus izaicinājumus, radot nepieciešamību attīstīt tīklus un paša interneta pakalpojuma nodrošināšanu, palielinot pārraides jaudas, nosakot stingrākas kvalitātes prasības[34].

Jāuzsver, ka daudzās pasaules valstīs, dažādus valsts iestāžu pakalpojumus, kas ir saistīti ar medicīnu, dokumentu noformēšanu, finanšu darījumiem un citiem jautājumiem, nodrošina tiešsaistē, kas būtiski atvieglo un paātrina ikdienas gaitas, mazinot klātienes rindas. Bet šo pakalpojumu saņemšanai ir nepieciešams interneta pieslēgums, un līdz ar to valstīm jānodrošina, ka tas ir pieejams viesiem vai vismaz lielākai daļai valsts iedzīvotāju [99].

Pasaules valstīs ir izveidotas interneta pakalpojumu un interneta vidi uzraugošas iestādes, kas darbojas gan pasaules, gan Eiropas, gan valstu mērogā [23]. Šīs iestādes izstrādā standartus, rekomendācijas, normatīvus aktus, kas ļauj jebkuram pasaules iedzīvotājam šo pakalpojumu izmantot tādā apjomā un kvalitātē, kāda nepieciešama pakalpojumu saņemšanai, studiju vai darba procesa nodrošināšanai. Daudzas valstis, tai skaitā Eiropas Savienības valstis, kur tas paredzēts kopēja regulējuma ietvaros, ir izveidojušas Nacionālās regulējošās iestādes, kuru pienākums, nodrošinot līdzsvaru starp valsti, pakalpojumu sniedzējiem un galalietotājiem, ir veikt elektronisko sakaru pakalpojumu uzraudzību [39]. Latvijas Republikā tāda iestāde ir Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisija [108].

Regulējošo iestāžu mērķis ir nodrošināt, ka elektronisko sakaru pakalpojumi, tai skaitā interneta pakalpojums, tiek attīstīti un ir pieejami visiem pasaules un valsts iedzīvotājiem, kas šos pakalpojumus var izmantot, tādējādi nodrošinot visas pasaules savstarpējo iespēju sazināties. Tomēr, lai izvirzītos mērķus sasniegtu, ir jānodrošina iespēja to izpildi pārbaudīt, tai skaitā pārbaudīt vai iedzīvotājiem jeb galalietotājiem, ir iespēja šos pakalpojumus saņemt un kādā kvalitātē šie pakalpojumi lietotājiem ir pieejami. Tas ļauj izvērtēt vai ar nodrošinātu pakalpojuma, tai skaitā interneta piekļuves pakalpojuma, kvalitāti ir iespējams veikt noteiktas darbības, tādas kā, piemēram, skatīties tiešsaistes video, piekļūt valsts informācijas portāliem, saņemt valsts nodrošinātos e-pakalpojumus, un citas [39], [99], [121].

Ievērojot iepriekš minēto, Regulējošām iestādēm ir jānodrošina interneta pakalpojuma mērījumi, kas būtu salīdzināmi, tehniski pamatoti, un spētu nodrošināt Eiropas Savienības mērķu izpildi un galalietotāju tiesību izpildes uzraudzību. Neskatoties uz interneta pakalpojuma un prasību globālo raksturu, Regulējošās iestādes pašas izvēlās gan mērījumu rīkus, gan mērījumu metodiku, gan mērījumu veikšanas kārtību, bet to izvēlei ir jābūt pamatotai un

jābalstās uz kopējiem pasaules principiem, kas tiek apskatīti šīs darba nodaļas ietvaros [26], [37].

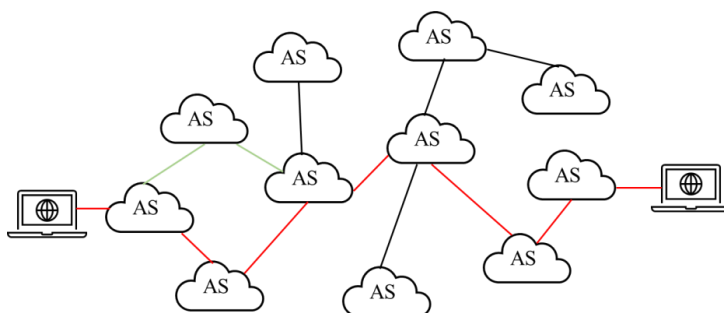
## 1.1. Internets un tā mērījumu pamatprincipi

Internets ir globāls tīkls, kura ietvaros vairāki tīkli ir starpsavienoti savā starpā, un spēj savstarpēji komunicēt izmantojot vispārīgo standartu un protokolu kopu. Atsevišķi tīkli, kas ir globālā interneta tīkla sastāvdaļas, ir gan privāto organizāciju, gan valsts iestāžu, privāto kompāniju un citu institūciju īpašumā, un sevī iekļauj iekārtu un programatūras kopu, kas nepieciešams tīkla funkcionēšanai [9], [56].

Interneta tīkla darbības princips balstās uz visu tīkla iekārtu savienošānu vienā vienotā tīklā, kas ļauj pārraidīt informāciju starp tā iekārtām izmantojot vienotus principus un algoritmus, tai skaitā protokolus. Interneta tīkla arhitektūra balstās uz gals-gals savienojuma principu informācijas pārraidei, tomēr, ievērojot mūsdienu interneta tīkla mērogu, tā pārvaldīšana ir loģiski sagrupēta, tādējādi nodrošinot atvieglotu maršrutēšanu un mazāku aizturi [23], [82].

Lai nodrošinātu globālā interneta tīkla funkcionēšanu, tai skaitā atsevišķu tīklu uzraudzību, vienlaikus nodrošinot vienotu adresācijas shēmu, pastāv starptautiskā organizācija *IANA*, kura pārvaldībā ir reģionālās uzraudzības institūcija, piemēram tādas kā *RIPE NCC* priekš Eiropas reģiona [54]. Šo organizāciju funkcijas ietver *IP* adresu izdalīšanu globālas interneta adresācijas nodrošināšanai, kā arī atsevišķu tīklu, kuriem ir savi īpašnieki, uzskaiti [111]. Līdz ar ko, katrs tāds tīkls, kuram ir savā tīklā vienotā maršrutēšanas politika, ir uzskatāms par autonomu sistēmu, un tam tiek piešķirts autonomās sistēmas numurs [9], [19].

1.4. attēlā ir shematiski attēlots piemērs gals-gals datu pārraidei, kad gala iekārtas var atrasties dažādās autonomās sistēmās, kurām nav tiešais starpsavienojums jeb *peer*. Tādā gadījumā datu paketes maršrutēšanā jāpiedalās vairākām autonomām sistēmām, nodrošinot tranzītu. Piemērā paketes ceļš parādīts ar sarkano krāsu un iespējama ceļa alternatīva – ar zaļo. Tomēr norādāms, ka piemērs parāda samērā nelielu tīkla daļu, un reālā gadījumā var būt nepieciešams tranzīts caur vēl vairākām autonomām sistēmām, atkarībā no galalietotāja fiziskās atrašanās vietas globālā interneta tīklā [9], [56], [57].

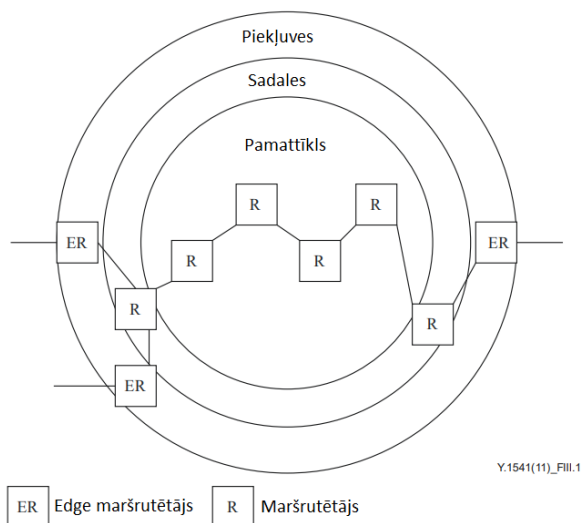


1.4. att. Gals-gals autonomu sistēmu starpsavienojumu vienkāršots grafiskā attēlojuma piemērs, kurā ar sarkano krāsu atzīmēts datu paketes iespējamais ceļš, un ar zaļo – ceļa alternatīva.

Saturs, kas ir interneta resursi, faili, un viss ko var lejupielādēt un augšupielādēt interneta tīklā, arī atrodas noteiktās autonomās sistēmās, un fiziski saturs dati tiek uzglabāti tīkla iekārtās, tai skaitā serveros. Tādējādi, lai sasniegtu pieprasīto saturu, piemēram informāciju tīmekļa vietnē, datu paketes var būt nepieciešams pārsūtīt cauri vairākām autonomām sistēmām, kas iespaidos arī interneta pakalpojuma kvalitāti [71]. Jo tālākā autonomā sistēmā atrodas resursa dati, jo grūtāk sasniegt augstu pakalpojuma kvalitāti, attiecībā uz piekļuvi šim konkrētam resursam, jo to iespaido katrs tīkla elements katrā autonomā sistēmā, kas iesaistīts datu paketes maršrutēšanā [13], [75], [112].

Līdz ar to, ne tikai globāla tīkla starpsavienojumi iespaido interneta pakalpojuma kvalitāti, bet arī katrs atsevišķs tīkla elements [55]. Norādāms, ka attiecībā uz nacionālo regulatīvo iestāžu mērījumiem, kas ir apskatīti šajā darbā, privāto tīklu iespaids netiek apskatīts darba kontekstā, jo regulatīvo mērījumu ietvaros tiek vērtēta pakalpojuma sniedzēja nodrošinātā pakalpojuma kvalitāte, līdz ar to mērījumiem jābūt veiktiem tīkla pieslēguma punktā (*NTP*), neņemot vērā pašā privātā tīklā esošās iekārtas [14].

1.5. attēlā var redzēt viena pakalpojuma sniedzēja tīkla, kas paredzēts elektronisko sakaru pakalpojumu sniegšanai galalietotājiem, iedalījumu tīkla daļās, kas ir pamattīkls, sadales tīkls un piekļuves tīkls, no kā arī izriet *QoS* novērtēšanas modelis viena operatora tīklā. Autonomā sistēmā, šajā gadījumā, iekļaus visas tīkla daļas, kā arī atsevišķus galalietotājus, kas saņems pakalpojumus no autonomas sistēmas īpašnieka. Ja gan galalietotājs, gan resurss atrodas viena tīkla ietvaros, tad *QoS* iespaidotu tikai attēlā redzamiem tīkla elementiem, tai skaitā to savienojumiem [83], [84], [85].

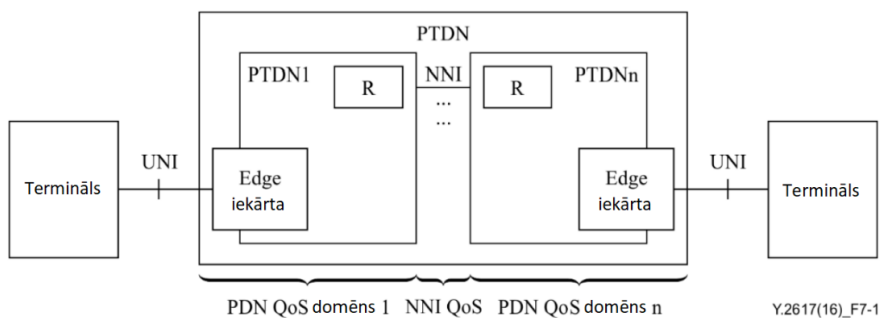


1.5. att. Tīkla daļu un elementu grafiskais attēlojums [85].

1.5. attēlā atēloti maršrutētāji ir paredzēti datu noslodzes maršrutēšanai publiskā pakešu tīkla ietvaros, tad kad edge maršrutētāji ir nepieciešami, lai savienotu publisko tīklu ar tīkla pieslēguma punktu [14], [81], [85].

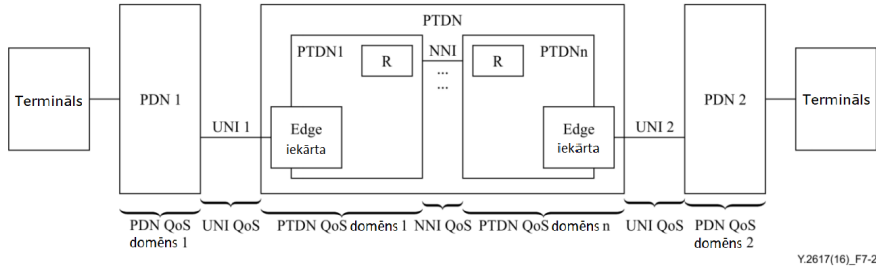
1.6. attēls parāda gals-gals *QoS* novērtēšanas modeli, kad galiekārtas, piemēram, galalietotāja iekārta un resursa serveris, atrodas dažādu komersantu tīklos, līdz ar to arī dažādās autonomās sistēmās. Šajā gadījumā iespaidu uz *QoS* rada ne tikai viena tīkla elementi – *QoS PDN* domēni, kas publiskā tīkla gadījumā būs *PTDN* domēni, bet arī tranzīta tīkli, kurus var nosaukt par *QoS NNI* domēniem [85], [86]. Tāds *QoS* modelis lielākoties tiek izmantots veicot interneta pakalpojuma novērtējumu nacionālo regulējošo iestāžu gadījumā, kad lai novērtētu *QoS* parametrus, mērījumu serveris atrodas statistiski vienā tīkla punktā, tad kad mērījumi notiek, atkarībā no situācijas, pieslēdzoties tīkla pieslēguma punktam, kura parametri, tai skaitā pieslēguma adrese, ir aprakstīti galalietotāja līgumā [78], [121].

Tranzīta gadījumā datu pakešu tranzīts parasti tiek nodrošināts tikai izmantojot pamattīkla elementus, līdz ar ko, novērtējot iespaidu uz datu pakešu pārsūtīšanu starp vairāku operatoru tīkliem, būtu nepieciešams izvērtēt arī saistīto tranzīta tīklu pamattīklu iekārta iespaidu uz interneta pakalpojuma *QoS* [84], [86].



1.6. att. Gals-gals *QoS* modelis, kur *UNI* ir lietotāja tīkla interfeiss jeb tīkla pieslēguma punkts, *PTDN* ir publiskais pakešu komutācijas tīkls jeb interneta tīkls, *R* ir maršrutētājs un *NNI* ir tīkla interfeiss [86].

Mērot *QoS* publiskajā elektronisko sakaru tīklā ir svarīgi nodrošināt, lai mērījums tiktu veikts no galiekārtas, kas tieši pieslēgta tīkla pieslēguma punktam, kā parādīts 1.7. attēlā. Regulatīvie mērījumi neparedz papildus privāto tīklo daļu iespaidu uz *QoS*, kas attēlā attēlots kā *PDN* domēni, novērtēšanu [86]. Veicot mērījumus izmantojot privātā tīklā esošo galiekārta, kas nav tieši pieslēgta *NTP*, nevar novērtēt operatora sniegta pakalpojuma kvalitāti, tomēr var novērtēt kopējo vienai galiekārtai nodrošināto *QoS*, kas varētu būt izmantots nolūkā izvērtēt privātā tīkla efektivitāti. Tomēr tāds mērījumu veids parasti nav saistošs mērījumiem, kurus veic regulējošās iestādes, jo tāds mērījumu veids neatspoguļo konkrēta operatora sniegtā pakalpojuma kvalitāti.



Y.2617(16)\_F7-2

1.7. att. Gals-gals *QoS* modelis, ievērojot privātā datu tīkla (*PDN*) ietekmi [86].

Ievērojot, ka veicot interneta pakalpojuma *QoS* parametru mērījumus, nav iespējams iespaidot datu paketes maršruta izvēli, un lielākoties nedz galalietotājam, nedz regulējošai iestādei detalizēta informācija par operatora tīklu un tajā lietotām iekārtām, tai skaitā to savienojumiem, nav pieejama. *QoS* parametru aprēķiniem tiek izmantots vienkāršots modelis, kurš neanalizē atsevišķi katru no *QoS* ietekmējošām daļām, bet nodrošina tikai kopēja rezultāta izvērtējumu, kurā ņemti vērā visi elementi, kas piedalās datu paketes maršrutēšanā. Tādā gadījumā no beigu mērījumu rezultāta nav iespējams tieši izdalīt rezultātu ietekmējošos faktorus [40], [73], [76].

Viens no būtiskiem aspektiem attiecībā uz interneta piekļuves pakalpojuma mērījumiem, ir tas, ka lielākoties šie mērījumi attiecas tikai uz mērījumiem līdz noteiktiem interneta resursiem, tai skaitā mērījumu serveriem. Taču vienlaicīgi interneta pakalpojums tiek izmantots arī citu pakalpojumu sniegšanai, tai skaitā balss telefonijai (*VoIP*), lietu interneta (*IoT*) iekārtu pieslēgšanai un citiem. Liels *IP* pakalpojumu klāsts iespaido kopējo galalietotāja saņemtā interneta pakalpojuma kvalitāti, un īpaši svarīgi tas ir mobilo tīklu gadījumā, jo šie pakalpojumi arī patērē pieejamos tīkla resursus un bieži vien nav maršrutēti kopējā interneta plūsmā, jo pakalpojuma sniedzējs var šiem pakalpojumiem noteikt tīklā pakešu prioritizāciju, ja šiem pakalpojumiem tiek nodrošinātas kvalitātes garantijas [24], [43]. Rezultātā svarīgi uzsvērt, ka interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu rezultātus nevar attiecināt uz citiem *IP* elektronisko sakaru pakalpojumiem, kurus nodrošina elektronisko sakaru komersants, līdz ar to darbā citi pakalpojumi netiek apskatīti. Ņemams vērā arī fakts, ka palielinoties citu *IP* tīklu izmantojušo elektronisko sakaru pakalpojumu noslodzei, mērāmie interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes parametri pasliktināsies, ja tiem nav atvēlēts pietiekami liels tīkla resurss, līdz ar ko tas ir svarīgs aspekts kāpēc nepieciešams nodrošināts interneta piekļuves pakalpojuma mērījumus, ņemot vērā pieaugušo noslodzi uz *IP* tīklu [19].

Cits svarīgs aspekts tiešu regulatīvo mērījumu kontekstā ir mērījumu mērķis, kas var būt gan konkrēta komersanta tīkla kapacitātes novērtēšana, gan galalietotājiem vai konkrētam galalietotājam maksimāli pieejamās pakalpojuma kvalitātes noteikšana, gan valstī vai atsevišķās tās teritorijās pieejamas vidējās pakalpojuma kvalitātes analīze. No šī mērķa atkarīga gan mērījumu metodika, gan mērījumu rīka izvēle, gan mērījumu veikšanas gaita [11]. Parasti regulatīvie mērījumi ir tādi mērījumi, kuru mērķis ir izskatīt tieši galalietotājiem pieejamo pakalpojumu kvalitāti, līdz ar ko mērījumu gaitā ir jānodrošina, ka mērījumu apstākļi ir



maksimāli pietuvināti reāliem galalietotāju interneta pakalpojuma lietošanas paradumiem un ierobežojumiem, kā arī nodrošināt, ka galalietotāji paši var veikt tāda paša veida mērījumus [16].

## 1.2. Interneta pakalpojuma *QoS* mērījumu parametri

*ITU-T* rekomendācija E.800 nosaka starptautisko standartu attiecībā uz telekomunikāciju pakalpojumu kvalitāti (*QoS*), tai skaitā nosacījumus, definīcijas, pamatprincipus un parametrus. No šīs *ITU-T* rekomendācijas izriet vairākas citas rekomendācijas no E.801. Līdz E.899, kas detalizēti apraksta katru aspektu atsevišķi attiecībā uz tīklu un sniegtiem elektronisko sakaru jeb telekomunikāciju, pakalpojumiem [78]. Arī citas standartizācijas iestādes ir izstrādājušas daudzus standartus un rekomendācijas, kas tieši var netieši attiecināties arī uz interneta pakalpojuma kvalitāti un *QoS* parametriem, tai skaitā kontekstā ar protokoliem un mērījumu datu analīzi.

Eiropas Savienība paredz arī speciālas prasības attiecībā uz interneta pakalpojuma *QoS* parametriem, definējot tās Eiropas Savienības Elektronisko sakaru kodā (*EECC*), kas paredz Nacionālām regulējošām iestādēm veikt mērījumus un vākt datus par noteikto elektronisko sakaru pakalpojumu kvalitātes parametriem. Tā *EECC* desmitais pielikums paredz interneta piekļuves pakalpojumam papildus uzraudzīt latentumu, trīci un pakešu zudumu.

Pamatojoties uz *EECC* prasībām *BEREC* ir izstrādājusi vadlīnijas par saistošiem kvalitātes parametriem, kas būtu mērāmi interneta pakalpojuma uzraudzības ietvaros [15], [17]. Norādāms, ka *BEREC* arī mēģināja izstrādāt vienotu Eiropas Savienības mērījumu rīku, tomēr rezultātā tika izstrādāts tikai pamata kods (ang. – source code), līdz ar ko katrai Eiropas Savienības valstij jāizstrādā savs rīks, par pamatu izmantojot *BEREC* pamata kodu vai metodoloģiju, ar kura palīdzību varētu nodrošināt interneta pakalpojuma uzraudzību valstī [12].

Latvijas Republikas ietvaros Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisija savos noteikumos nosaka interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes parametrus. Tomēr norādāms, ka pašlaik parametri tiek aprakstīti un definēti tikai attiecībā uz elektronisko sakaru komersantu iesniedzamo informāciju, turpretī nav definēta interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu metodika, un jau vairākus gadus nav strādājošs nacionālais interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes mērījumu rīks, ar kura palīdzību varētu veikt objektīvus un salīdzināmus interneta pakalpojuma kvalitātes parametru mērījumus [39], [121], [123]. Līdz ar to, šī darba rezultātus ir paredzēts izmantot gan definējot prasības mērījumu rīkam, gan turpmāk izstrādājot mērījumu metodiku un mērījumu veikšanas vadlīnijas interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes novērtējumam, kas būtu pielietojams no nacionālās regulējošās iestādes puses, veicot sniegto pakalpojumu kvalitātes uzraudzību un varēs tikt izmantotas arī no komersantu un galalietotāju puses, veicot interneta pakalpojuma salīdzināmus mērījumus [126].

Analizējot gan starptautiskos standartus un rekomendācijas, gan Eiropas un atsevišķu valstu regulējumu, var izdalīt šādus interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes novērtēšanas parametrus, kuru mērījumu veikšana ir paredzēta interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes novērtējumam:

1. pieslēguma ātrums
  - 1.1. lejupielādes ātrums;

- 1.2. augšupielādes ātrums;
2. latentums;
3. trīce;
4. pakešu zuduma koeficients [15], [17], [23], [26], [32].

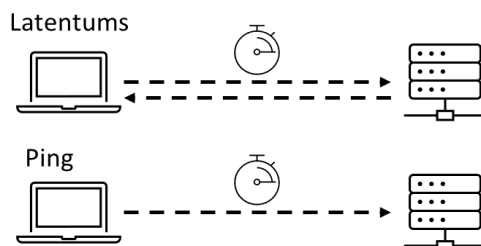
Pieslēguma ātrums ir *QoS* parametrs, kas raksturo augšupielādes un lejupielādes informācijas apmaiņas ātrumu datu pārraides kanālos. Lejupielādes ātrums raksturo datu jeb informācijas apmaiņas ātrumu virzienā no publiskā interneta tīklā uz galalietotāja pieslēgumu jeb galiekārtu, un augšupielādes ātrums raksturo datu jeb informācijas apmaiņas ātrumu virzienā no galiekārtas uz publisko interneta tīklu. Ievērojot galalietotāju interneta lietošanas paradumus, tas ir, ka vairāk datu tiek lejupielādēti, nekā augšupielādēti publiskajā interneta tīklā, parasti lejupielādes un augšupielādes pieslēguma ātrumi nav simetriski, kas nozīmē, ka vairāk kapacitātes tīklā tiek paredzēts lejupielādei. Pieslēguma ātruma mērvienība ir biti sekundē [79], [87].

Latentums jeb aizture, ir parametrs, kas sekundēs raksturo, laiku starp avota paketes pirmā bita nosūtīšanu tīklā, un apliecinājuma paketes pēdējā bita saņemšanu atpakaļ avota iekārtā, pēc šo apliecinājuma pakešu nosūtīšanas no galamērķa iekārtas. Praktiski, mērījumu veikšanas gadījumos, tas ir laiks starp pakešu nosūtīšanu no galalietotāja iekārtas līdz atbildes pakešu saņemšanai no mērījumu servera. Latentumu nosaka saskaņā ar formulu:

$$\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_1 - t_2)}{n}, \quad (1.1.)$$

kur  $\bar{L}$  – vidējais latentums milisekundēs mērījuma cikla laikā;  $t_1$  – paketes saņemšanas laiks milisekundēs;  $t_2$  – paketes nosūtīšanas laiks milisekundēs;  $n$  – kopējais pārsūtīto pakešu skaits mērījuma cikla laikā [15], [55].

Bieži mērījumu sistēmas izmanto tādu parametru kā “ping”, kas ir arī ziņojumi, izmantoti sistēmai pastāvīgi pārbaudot savienojumu, un, kas nosaka laiku kas nepieciešams paketei, lai no iekārtas sasniegtu serveri [5]. Lai gan bieži latentuma un *ping* parametrus izmanto kā alternatīvas, tomēr kā redzams pēc definīcijas tie ir dažādi lielumi, kur *ping* lielums nosakāms kā laiks, kas nepieciešams lai sasniegtu serveri, turpretī latentumu ir iespējams noteikt pēc laika, kas pēc paketes nosūtīšanas no galiekārtas, nepieciešams lai saņemtu *ping* atbildi no servera uz šo galiekārtu. Sekojoši, *ping* ziņojumus var izmantot arī latentuma un trīces parametru vērtību noteikšanai. Latentuma un *ping* grafisko salīdzinājumu var redzēt 1.8. attēlā.



1.8. att. Latentuma un *ping* parametru grafiskais salīdzinājums, kur ar bultiņu apzīmēts datu plūsmas jeb pakešu plūsmas virziens.

Trīce ir parametrs, kas sekundēs nosaka laika aiztures nevienmērību jeb variāciju, starp pakešu nosūtīšanas un saņemšanas laikiem. Trīci aprēķina saskaņā ar formulu:

$$J = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n-1}}, \quad (1.2.)$$

kur  $J$  – trīce milisekundēs,  $\bar{L}$  – vidējais latentums milisekundēs mērījuma cikla laikā;  $n$  – kopējais pārsūtīto pakešu skaits mērījuma cikla laikā;  $L_i$  – secīgas paketes latentums milisekundēs [15], [32].

Pakešu zuduma koeficients ir *QoS* parametrs, kas procentos nosaka zaudēto pakešu attiecību pret kopējo nosūtīto pakešu skaitu. Pakešu zuduma koeficientu nosaka saskaņā ar formulu:

$$Z = \frac{D}{n} \times 100, \quad (1.3.)$$

kur  $Z$  – pakešu zuduma koeficients procentos;  $n$  – kopējais nosūtīto pakešu skaits mērījuma cikla laikā;  $D$  – zaudēto pakešu skaits mērījumu laikā [15], [86], [121].

Starptautiskie standarti paredz arī citus interneta piekļuves pakalpojuma *QoS* parametrus, tomēr, darbā tiek apskatīti tieši tie parametri, kas ir aprakstīti standartos, rekomendācijās un normatīvos aktos, kā primāri parametri, kuru mērījumi ir nepieciešami no regulējošo iestāžu puses, un kuru mērīšana tiek praktiski realizēta, izmantojot interneta kvalitātes mērīšanas rīkus [5], [18], [37], [42].

### 1.3. Signāla parametri

Normatīvais regulējums paredz *QoS* parametru mērījumus interneta pakalpojuma kvalitātes novērtējumam, tomēr mobilā tīkla gadījumā veicot mobilā signāla izplatības un kvalitātes novērtējumu, plānojot mobilo tīklu, operatori parasti nevērtē *QoS* parametrus, un arī tīkla plānošanas un uzraudzības sistēmas lielākoties balstās tieši uz signāla parametru vērtībām, nevis uz prognozētām *QoS* parametru vērtībām [32], [52]. Līdz ar to pakalpojuma sniedzējiem, lai pilnībā izprastu iemeslu *QoS* parametru vērtībām un konkrētām problēmām, kas rezultātā ietekmē pakalpojuma kvalitātes parametrus, ir nepieciešamas arī signāla parametru vērtības. Tāpat analizējot mērījumu iekārtu izvietojumu reālā laikā, bez paša pakalpojuma izmantošanas, ir iespējams novērtēt tikai signāla parametru vērtības, kas tiek nolasītas no galiekārtas vai no signāla uztvērēja, līdz ar to nav nepieciešams veikt ilgstošākus *QoS* parametru mērījumus lai novērtētu signāla kvalitāti noteiktā vietā [50]. Līdz ar to, viens no darba uzdevumiem ir veikt analīzi, kā signāla parametrus iespējams izmantot mobilā interneta pakalpojuma mērījumiem, uzlabojot mērījumu veikšanas procesu.

Analizējot dažādus mērījumu rīkus, var redzēt, ka interneta pakalpojuma *QoS* mērījumu rīki ir dažādi, un ir tādi, kas atbalsta signāla parametru vērtību nolasīšanu un tādi, kas veic tikai *QoS* parametru mērījumus [18]. Kā jau bija minēts, normatīvais regulējums neparedz signāla parametru mērījumus kā obligātus, veicot interneta *QoS* parametru novērtējumu, līdz ar to arī rīku funkcionalitāte atšķiras, īpaši gadījumos, kad regulatīvā iestāde neveic frekvenču spektra uzraudzību, līdz ar ko signāla parametri pašai iestādei ir maz aktuāli.

Frekvenču spektra uzraudzībai ir izstrādāti vairāki rīki un iekārtas, tomēr, tās bieži vai nu neatbalsta pakalpojuma kvalitātes parametru uzraudzību, vai nav paredzētas fiksēto tīklu *QoS* parametru mērījumiem, vai arī to funkcionalitāte attiecībā uz frekvenču spektra uzraudzību ir pārāk plaša un nav koncentrēta uz pakalpojuma novērtējumu, kas rezultējas ar augstu cenu un specifisku funkcionalitāti [109]. Turpretī, atbilstoši normatīvām regulējumam, mērījumu rīkam jāatbalsta primāri *QoS* parametru mērījumus gan fiksētos, gan mobilos elektronisko sakaru tīklos, un citi parametri ir tikai opcionāli [26].

Tomēr, ir standarta signāla parametru klāsts, kurus lielākoties ir iespējams nolasīt arī no galiekārtas, kas ir nepieciešami savienojuma nodrošināšanai mobilā tīklā, un pēc kuriem ir iespējams novērtēt signāla pamata raksturlielumus [8], [45], [129]. Pie tādiem parametriem *LTE* mobilā tīklā var attiecināt:

1. *RSRP*;
2. *RSSI*;
3. *RSRQ*;
4. *SNR* vai *SINR*;
5. *CQI* [46], [47].

Viennozīmīgi, ir arī citi parametri, kas var būt nepieciešami vērtējot signālu, kas ir frekvenču diapazons, bāzes stacijas un šūnas numurs, kā arī vairāki citi parametri, tomēr tie ir mazāk mainīgi noteiktā vietā, un regulatīvo interneta pakalpojuma *QoS* parametru mērījumu gadījumā to izmantošana var būt nepieciešama, lai novērtētu vai mērījumi notiek vienas šūnas ietvaros, vai ir novērota pārslēgšanās starp šūnām un citiem nolūkiem [10]. Līdz ar to, darba kontekstā bija izvēlēti tieši signāla parametri, kas nosaka signāla līmeni un kvalitāti, kā tādi, kas ir mainīgi vienas lokācijas ietvaros un no kuriem var secināt par pakalpojuma pieejamību un iespējamo iespaidu uz *QoS* parametriem. Tālāk darbā tiek izskatīti signāla parametri, kas ir raksturīgi *LTE* tehnoloģijai, pēc kuriem tīkla iekārtu konfigurācijās ir definēti parametru lielumi un situācijas, kad notiek konfigurāciju izmaiņas, pārslēgšanās uz citu šūnu un citas darbības.

*RSRP*, kas ir references signāla uztvertā jauda, ir parametrs, kurš nosaka resursu elementu, kas nodrošina noteiktās bāzes stacijas šūnas references signāla pārraidi noteiktā mērāmā frekvenču diapazonā, elementu lineāro vidējo jaudu. References punkts *RSRP* noteikšanai jābūt galiekārtas antenas spraudnim. Parasti kā *RSRP* mērvienību izmanto dBm, un parametru lielākoties izmanto, lai izvēlētos mobilo šūnu, kuras signālam galiekārtai pieslēgties, tādējādi arī novērtējot attālumu no raidītāja. Tipiski *LTE* gadījumā *RSRP* līmeņi izmantojamām signālam atbilst no -75dBm – tuvāk raidītājam, līdz -120dBm – šūnas pārklājuma robežā. *RSRP* nosaka saskaņā ar šādu formulu:

$$RSRP \text{ (dBm)} = RSSI \times (\text{dBm}) - 10 \times \log \times (12 \times N), \quad (1.4.)$$

kur  $N$  – *E-UTRA* nesēja resursu bloku skaits [45], [47], [55].

*RSSI* jeb uztvertā signāla stipruma rādītājs ir parametrs, kurš sniedz informāciju par kopā saņemto platjoslas jaudu, ieskaitot visu interferenci un termiskos trokšņus mērāmā frekvenču diapazonā. Piemēram, *RSSI* vērtība ietver blakus esošo bāzes staciju signālus, iekšējos un ārējos traucējumus, trokšņus. *RSSI* parametra vērtību paziņo bāzes stacijai (e-NodeB) galalietotāja

iekārta, vai to iespējams izrēķināt no  $RSRQ$  vai  $RSRP$  vērtībām.  $RSSI$  parametru nosaka saskaņā ar šādu formulu:

$$RSSI = \text{troksnis} + \text{uztvērtā signāla jauda} + \text{interferences jauda}, \quad (1.5.)$$

vai gadījumā, ja netiek ņemti vērā trokšņi un interference, pēc formulas:

$$RSSI = 12 \times N \times RSRP, \quad (1.6.)$$

kur  $RSRP$  ir viena resursa elementa uztvērta jauda,  $RSSI$  ir vērtībā kas atbilst mērījumam visā frekvenču diapazonā, un  $N$  ir nesēja resursu skaits atbilstoši joslas platumam [45], [49], [130].

$RSRQ$  jeb references signāla uztvērta kvalitāte, ir signāla parametrs, kas norāda uz uztvērta references signāla mobilā šūnā kvalitāti.  $RSRQ$  nodrošina papildus informāciju, ja informācija saņemta par  $RSRP$  ir nepietiekama, lai izdarītu šūnas maiņas izvēli.  $RSRQ$  vērtība ir atkarīga no apkalpojošās šūnas jaudas un raidītāju antenu skaita. References punkts  $RSRQ$  mērījumiem ir galiekārtas uztvērēja antena.  $RSRQ$  mērvienība ir dB.  $RSRQ$  parametra aprēķinam izmanto  $RSSI$  un  $RSRP$  vērtības un var noteikt saskaņā ar šādu formulu:

$$RSRQ = N \times (RSRP / RSSI), \quad (1.7.)$$

kur  $N$  –  $E-UTRA$  nesēja resursu bloku skaits [45], [49], [130].

$SINR$  jeb signāla trokšņu attiecība un signāla interferences trokšņu attiecība, ir parametrs, kas nosaka signāla attiecību pret citu avotu traucējumiem, trokšņiem.  $SINR$  parametru nosaka saskaņā ar šādu formulu:

$$SINR = \frac{S}{I+N}, \quad (1.8.)$$

kur  $S$  – signāla jauda;  $I$  – vidējā interferences jauda;  $N$  – citu avotu traucējumi [27], [41], [100].

$CQI$  jeb kanāla kvalitātes indikators, kas skalā no 0 līdz 15 norāda uz datu pārraides ātrumu, kuru var atbalstīt galiekārta, ievērojot esošos radio apstākļus.  $CQI$  informācija tiek pārraidīta no lietotāja galiekārtas uz  $eNodeB$  mezglu, par pārraides kanāla kvalitāti, t.i. atbilstošu modulācijas un kodēšanas shēmas ( $MCS$ ) vērtību.  $CQI$  vērtība tiek noteikta, ņemot vērā lietotāja galiekārtas tehniskās iespējas, piemēram, antenu skaitu, uztvērēja veidu, citus signāla parametrus [45], [47].

Signāla parametri ne tikai tiek izmantoti kā pārslēgšanas kritēriji, bet pēc tiem var arī definēt vai signāls ir pietiekami labs, vai nav nepieciešami papildus pastiprinātāji, lai nodrošinātu labāku signālu. Signāla parametru aptuveno sadalījumu signāla kvalitātei  $LTE$  tīklā var redzēt 1.1. tabulā, kur sliktā signāla parametra kvalitāte norāda arī uz to, ka galiekārta atrodas šūnas pārklājuma robežā [8]. Praktiski, ja algoritms konstatē, ka signāla parametru vērtības nav pietiekamas, un ir zemākas par slietākā vērtībām, kas varētu būt vai nu, kas definē sliktu signālu, vai arī zemākas, atkarībā no tīkla konfigurācijas, tad tiek uzskatīts, ka signāls nav pieejams, un galiekārta atslēdzas no tīkla. Vērtības var nedaudz atšķirties atkarībā no konkrētā tīkla un tīkla iekārtu konfigurācijas [33], [45].

Signāla kvalitāti raksturojošie lielumi [45].

Signāla kvalitāte	<i>RSRP</i> (dBm)	<i>RSSI</i> (dBm)	<i>RSRQ</i> (dB)	<i>SINR</i> (dB)
Teicams signāls	$\geq -80$	$\geq -65$	$\geq -10$	$\geq 20$
Labs signāls	-80 līdz -90	-65 līdz -75	-10 līdz -15	13 līdz 20
Apmierinošs signāls	-90 līdz -100	-75 līdz -85	-15 līdz -20	0 līdz 13
Slikts signāls/ šūnas pārklājuma robeža	$< -100$	$< -85$	$< -20$	$< 0$

Ir arī vairāki citi parametri, kas var tikt analizēti veicot signāla mērījumus, tomēr iepriekš minētie ir visvairāk izmantoti, un tos parasti atbalsta arī mērījumu rīki.

Papildus norādāms, ka atkarībā no tehnoloģijas un mērķa, signāla parametru klāsts un to raksturojošo vērtību lielumi ir atšķirīgi, līdz ar ko *UMTS* jeb *3G*, signāla pamata parametru kopa nebūs tāda pati kā *LTE* signāla pamata parametru kopa, un pat tie signāla parametri, kas ir līdzīgi *LTE* un *NR* gadījumā, vērtību ziņā var liecināt par dažādu signāla kvalitāti [2], [3], [45].

Piemēram, tādus parametrus kā *RSRP*, *RSSI*, *SINR* var redzēt gan *LTE*, gan *NR* mobilā tīkla signāla novērtēšanas algoritmos, tomēr *NR* gadījumā, ievērojot tīkla tehnoloģisko sarežģītību, šiem parametriem ir vairākas specifikācijas, kas paredz atsevišķu pārklājuma un savienojuma analīzi [1], [2], [3].

Vienlaicīgi atzīmējams, ka atsevišķi nolasot tikai signāla parametrus, nevar apgalvot ka pakalpojums, ir pieejams, piemēram galalietotājam, līdz ar to regulatīviem mērījumiem ir svarīgi lai gan *QoS* parametri, gan signāla parametri tiktu mērīti izmantojot vienu iekārtu vienlaicīgu, pēc iespējas izmantojot vienu rīku.

Ievērojot šajā apakšnodaļā aprakstīto, papildus var izdarīt secinājumu, ka par signāla parametru references punktu pēc starptautiskiem standartiem ir definēts galiekārtas uztvērēja antenas spraudnis, sekojoši tīkla pieslēguma punkts mobilā elektronisko sakaru tīkla gadījumā būtu arī definējams kā galiekārtas un uztvērēja antenas savienojums, kas ir precīzāk, nekā *BEREC* vadlīnijās, un sekojoši arī Latvijas normatīvos aktos definētais punkts gaisā starp raidītāju un uztvērēju [14], [39], [120].

## 1.4. Regulatīvo mērījumi veidi

Lai veiktu interneta piekļuves pakalpojuma mērījumus, kas būtu izmantojami gan kā informatīvais materiāls, gan kā rīks sniegtā pakalpojuma novērtēšanai, ir izstrādātas dažādas mērījumu metodikas un rekomendācijas, no kurām izriet arī mērījumu veidi, kurus iespējams veikt, lai izpildītu dažādas funkcijas. Tādus mērījumus parasti veic valsts elektroniskos sakarus

regulējošās iestādes, kas garantē mērījumu objektivitāti, līdz ar to darbā tiek aprakstīti un pētīti tieši tādi regulatīvo mērījumu veidi, kas ļauj objektīvi novērtēt elektronisko sakaru komersanta jeb operatora, galalietotājiem sniegtā interneta pakalpojuma kvalitāti.

Pēc mērījumu iekārtu izvietojuma mērījumus var iedalīt:

1. Iekštelpu mērījumi;
2. Ārtelpu mērījumi [36], [40], [75], [80].

Pamatojoties uz normatīviem aktiem un rekomendācijām var izdalīt šādus regulatīvo mērījumu veidus:

1. Izlases mērījumi;
2. Sērijveida mērījumi;
3. Sērijveida mērījumi kustībā (*drive test* vai *walk test*);
4. *Crowdsourcing* mērījumi jeb galalietotāju veiktie mērījumi [36], [40], [80].

Izlases mērījumi apzīmē tādu mērījumu veidu, kad vienā ģeogrāfiskā vietā īsā laika posmā tiek veikti vairāki mērījumi. Tādi mērījumi varētu būt pielietojami, ja nav iespējams veikt ilgstošus mērījumus vienā vai vairākās vietās, vai ir nepieciešami mērījumi vairākās ģeogrāfiski tuvās vietās, piemēram, tā var veikt mērījumus vienas apdzīvotās vietas ietvaros, ja nav pieejama mērījumu rīka funkcionalitāte, kas atbalsta mērījumus kustībā. Tādā gadījumā var novietot transportlīdzekli, ar tajā esošo mērījumu aparātūru, vairākos apdzīvotas vietas punktos, un veikt noteiktu mērījumu skaitu, iegūstot mērījumu rezultātus, kas ir izklaidēti visas apdzīvotas vietas, piemēram, pilsētas teritorijā. Izlases mērījumi var tikt veikti manuāli vai automatizēti, atkarībā no izmantotās mērījumu sistēmas un nepieciešamā mērījumu skaita [36], [80].

Sērijveida mērījumi apzīmē mērījumu veikšanu vienā ģeogrāfiskā vietā ilgstošā laika posmā. Tāds mērījumu veids ir izmantojams gadījumos, kad ir iespēja ilgstoši izvietot mērījumu iekārtas vienā mērījumu vietā, parasti ilgāk par diennakti. Sērijveida mērījumus parasti veic lai novērtētu pakalpojuma *QoS* dinamiku noteiktā vietā un laikā, vai izvērtējot, ar sniegtā pakalpojuma nodrošināšanu, saistītas problēmas, kas nav pastāvīgas. Parasti sērijveida mērījumi tiek īstenoti iekštelpās, kur ir pieejama pastāvīga elektrobarošana un mērījumu iekārtas ir aizsargātas no ārējās ietekmes. Tāds mērījumu veids paredz arī obligātu mērījumu automatizāciju, kas ļauj izslēgt nepieciešamību mērījumus uzraugošam darbiniekam aktīvi piedalīties mērījumu procesā, tādējādi taupot darbaspēka resursus [36], [80].

Mērījumi kustībā var tikt realizēti dažādos veidos, gan kā mērījumu veikšana staigājot (*walk-test*), gan kā mērījumi kustībā esošā transportlīdzeklī (*drive-test*), kas ir ļoti populārs mērījumu veids, kas ļauj gan veikt liela apjoma mērījumus, gan nodrošināt mērījumus ļoti daudzos ģeogrāfiskos punktos, novērtējot ne tikai *QoS* parametrus, bet arī signāla pārklājumu [36], [80]. Tomēr jāņem vērā, ka mērījumus kustībā atbalsta ne visi mērījumu rīki, turklāt, ievērojot mērījumu veikšanas specifiku mērījumiem obligāti jābūt automatizētiem un pēc iespējas īsākiem, jo mērījumu rezultātu iespaido visi fizikālie apstākļi ne tikai vienā ģeogrāfiskā punktā, bet pat noteiktā ceļa garumā [36]. Ievērojot minēto, daži no mērījumu rīkiem, kas atbalsta mērījumus kustībā, lai minimizētu mērījumu kļūdu, ierobežo rekomendējamo pārvietošanas ātrumu, kas reālo mērījumu laikā var būt apgrūtināši mērījumu veicējam, jo īpaši ceļa posmos, kuros atļautais pārvietošanas ātrums būtiski pārsniedz mērījumu rīka izstrādātāja

noteiktus ierobežojumus, tādējādi radot bīstamu situāciju arī citu transportlīdzekļu vadītājiem, kuri spiesti tādā situācijā veikt apdzīšanas manevru.

Darba ietvaros netiek skatīts tāds mērījumu veids, kā galalietotāju pašu veiktie mērījumi un to apkopošana jeb *crowdsourcing*, kas ir samērā plaši izmantots rīku izstrādātāju vidū, ievērojot mērījumu rīku funkcionalitātes nodrošināšanu galalietotājiem, pamatojoties uz to, ka tāds datu apkopošanas veids nevar garantēt mērījumu objektivitāti, jo mērījumu veicējiem atšķiras gan mērījumiem izmantotas iekārtas, gan paralēli var būt ieslēgtas lietotnes un lietojumprogrammas, kas būtiski ietekmē rezultātus, turpretī nav arī iespējams nodrošināt šo parametru pārbaudi privāto datu aizsardzības regulējuma dēļ [72]. Ievērojot minēto, *crowdsourcing* mērījumu veids nav ieteicams izmantošanai regulējumu noteicošiem mērījumiem, jo to rezultāti nav salīdzināmi, un uz šo rezultātu pamata nevar izvirzīt objektīvus secinājumus par galalietotājiem pieejamo pakalpojuma kvalitāti. Tomēr atsevišķi, piemēram, kartē, tādi rezultāti var tikt attēloti, nodrošinot lietotājiem iespēju iepazīties ar citu lietotāju veikto mērījumu rezultātiem.

Secināms, ka ir vairākas pieejas mērījumu procesa nodrošināšanai, un katram no tiem ir sava funkcionalitāte un priekšrocības. Jāuzsver, ka mērījumu veidi neizslēdz viens otru, bet papildina, ļaujot izvērtēt pakalpojuma *QoS* no dažādiem skatupunktiem, tomēr ievērojot Regulējošo iestāžu cilvēku un iekārtu resursus, iestādei var nākties izvēlēties tai piemērotākos mērījumu veidus un to realizāciju.

## 1.5. Mērījumu rīki un to izvēle

Lai nodrošināt regulatīvo mērījumu veikšanu ir nepieciešams primāri apzināties mērījumu mērķus, un uz tā pamata izvēlēties mērījumu rīku, metodiku un mērījumu gaitu.

Ir iespējams brīvpielūvē atrast diezgan daudz dažādu mērījumu rīku, izmantojot kurus jebkurš lietotājs var veikt interneta pakalpojuma kvalitātes mērījumus, pakalpojumam ko viņš saņem, izmantojot savas galiekārtas. Tomēr šie rīki izmanto gan dažādus mērījumu serverus, par kuriem detalizētāk aprakstīts darba nākamā apakšnodaļā, gan dažādus mērījumu algoritmus, gan mēra dažādus *QoS* un signāla parametrus, vai dažus parametrus nemēra vispār [48].

Papildus norādāms, ka vairāki mērījumu sistēmu ražotāju tirgū pieejamie mērījumu rīki darbojas tikai pēc galiekārtu “*root*”, kas nodrošina iekārtu funkcionalitātes, kas nav pieejamas parastam galalietotājam, atbloķēšanas, kas faktiski padara neiespējamu parastam galalietotājiem tādus mērījumus atkārtot, bez speciālu iekārtu iegādes [109]. Šāda mērījumu veikšana ir iespējama pie noteikta mērījumu veikšanas mērķa, piemēram, lai apkopotu operatora *QoS* parametru rezultātus regulatīvo mērījumu ietvara pārskatam, bet, ja tādu mērījumu veikšanas mērķis ir atspoguļot galalietotājam pieejamo interneta pakalpojuma kvalitāti, būtu normatīvo vai informatīvo materiālu ietvaros jānosaka, ka mērījumus nevar veikt ar standarta galalietotāja aprīkojumu, jo tad nevar 100 % apgalvot, ka mērījumu rezultāti būtu pilnīgi līdzvērtīgi galalietotāju veiktiem mērījumiem.

Viena no iespējām regulatīvo mērījumu veikšanai, ir arī regulējošai iestādei izstrādāt pašai savu mērīšanas rīku. Šim nolūkam *BEREC* ir izstrādājusi gan vadlīnijas, gan rīka specifikāciju, kas Eiropa Savienības dalībvalstīm var kalpot kā pamats, tomēr prasības rīka izstrādei var būt



arī plašākas, atkarībā no konkrētas valsts un iestādes vajadzībām [12], [16]. Kā jau bija minēts, *BEREC* mēģināja izstrādāt arī vienotu Eiropas Savienības mērījumu sistēmu, kas būtu pieejama visās Eiropas Savienības valstīs, kā rezultātā bija izstrādāts sistēmas pamata kods, kuru regulējošas iestādes var izmantot savu rīku izstrādei [12].

Arvien vairāk rīku izstrādātāju papildina savu izstrādāto rīku funkcionalitāti, nodrošinot arī signāla mērījumus, kurus atbilstoši var nomērīt un nolasīt jaunāku paaudžu mobilos elektronisko sakaru tīklos. Tomēr gribētos atzīmēt, ka vienlaikus, sekojot tendencēm un orientējoties uz mobilo tīklu uzraudzību, var novērot, ka vairāki rīki neparedz iespēju veikt fiksēto elektronisko sakaru tīklu mērījumus, un nacionālām regulējošām iestādēm vai nu jāmeklē rīks, kas atbalsta gan mobilā, gan fiksētā elektronisko sakaru tīkla mērījumus, vai jāizmanto vairāki rīki, kas neļautu mērījumu rezultātu objektīvi salīdzināt, vai arī jāizstrādā savs rīks [106].

Daudzas Eiropas Savienības valstu regulējošas iestādes ir izstrādājušas savus interneta pakalpojuma mērījumu rīkus, bet jāņem vērā, ka šie rīki ir pielāgoti noteiktas valsts prasībām, līdz ar ko tiem atšķiras gan mērījumu serveris, gan funkcionalitāte, gan platformas, kurās rīki tiek nodrošināti.

Arī darbā atspoguļotiem pētījumiem vairāki veiktie mērījumi bija veikti izmantojot rīkus, kas atbalsta tikai mērījumus mobilā tīklā, bet kurus nav iespējams izmantot mērījumu veikšanai fiksētā elektronisko sakaru tīklā, kas darba un pētījuma ietvaros nebija būtisks apsvērums, bet no regulējošās iestādes skatu punktā, tādi rīki neļautu pilnībā izpildīt iestādei uzliktos pienākumus [39], [48].

Iespējams, ka mobilā iekārta var neatbalstīt arī noteiktās mērījumu rīka platformas, tā, ievērojot, ka Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes novērtēšanas rīka ITEST programmatūras platforma web pārlūkā bija uz java koda balstīta, mobilo iekārtu pārlūki neatbalstīja tā darbību [64].

1.2. tabulā salīdzinājumam ir apkopoti vairāku bezmaksas mērījumu rīku parametri, kur var redzēt, ka tirgū galalietotājiem ir pieejami pietiekami daudz dažādi mērījumu rīki, kas ir gan privāti izstrādāti, gan kuri ir izstrādāti kā valsts oficiālais interneta pakalpojuma mērījumu rīks, tomēr platformas kurās rīku darbība tiek atbalstīta ir dažādas un atkarīgas no konkrēta rīka izstrādātāja, un mērāmie parametri arī atšķiras. Ir pieejami arī tādi rīki, kas neatbalsta *QoS* parametru mērījumus, bet atbalsta tikai signāla parametru mērījumus, bet tādi rīki ir privāti izstrādāti ar nolūku novērtēt signālu, un var tikt izmantoti kā papildus rīks, ja pamata, piemēram, oficiāls Latvijas Republikas regulējošās iestādes interneta pakalpojuma *QoS* mērījumu rīks, neatbalsta signāla parametru mērījumus [58], [59], [60], [61], [62], [63], [64], [65], [66], [67], [68], [69], [70].

Mērījumiem rīko un to parametru piemēri [58], [59], [60], [61], [62], [63] [64], [65], [66], [67] [68], [69], [70].

Nosaukums	Piederība	Platforma			Mērāmie parametri					
		Pārlik-programmas lietošana	Datora lietošana	Viedtālruna lietošana	Lejupielādes ātrums	Augšupielādes ātrums	Latentums	Tīce	Pakešu zuduma koeficients	Signāla parametri
<i>Ookla Speedtest</i>	Privātais	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Nē
<i>G-Net Track Pro</i>	Privātais	Nē	Nē	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā
<i>OpenSignal</i>	Privātais	Nē	Nē	Jā	Jā	Jā	Jā	Nē	Nē	Nē
<i>Network Cell Info</i>	Privātais	Nē	Nē	Jā	Nē	Nē	Nē	Nē	Nē	Jā
<i>Meteor</i>	Privātais	Nē	Nē	Jā	Jā	Jā	Jā	Nē	Nē	Nē
<i>Alladin Nettest</i>	Privātais	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā
ITEST	Regulators (līdz 2020. gadam)	Jā	Nē	Nē	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Nē
<i>RTR-Netztest</i>	Regulators	Jā	Nē	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā
<i>CTU-NetTest</i>	Regulators	Jā	Nē	Nē	Jā	Jā	Jā	Nē	Nē	Nē
<i>HAKOMetar</i>	Regulators	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā
<i>Checkmynet.lu</i>	Regulators	Jā	Nē	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā
<i>Netfart</i>	Regulators	Jā	Nē	Jā	Jā	Jā	Jā	Nē	Nē	Nē
<i>AKOSTestNet</i>	Regulators	Jā	Nē	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā
<i>Meracinternet</i>	Regulators	Jā	Nē	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā	Jā

Secināms, ka tirgū ir pieejams liels gan privāti, gan regulējošo iestāžu izstrādāto mērījumu rīku klāsts, tomēr to funkcionalitāte var atšķirties. Izvēloties mērījumu rīku ir jāsaprot mērījumu veikšanas mērķis, un, regulējošo iestāžu mērījumu gadījumā, parasti ir nepieciešams daudzfunkcionāls mērījumu rīks, kas strādās dažādās platformās un kurš var būt brīvi pieejams arī galalietotājam, lai veiktu interneta pakalpojuma mērījumus. Ievērojot minēto, regulatīviem mērījumiem var izvēlēties jau eksistējošo rīku, bet jāpārbauda vai tā darbības princips atbilst

pasaules standartiem un Eiropas Savienības gadījumā, vai tas atbilst arī *BEREC* vadlīnijās noteiktām prasībām.

## 1.6. Mērījumu servera izvēle

Viens no svarīgiem mērījumu sistēmas izvēles faktoriem ir mērījumu servera atrašanas vieta, kas būtiski iespaido mērījumu rezultātus, jo tā ir tā vieta tīklā, kuras sasniedzamība tiek izvērtēta. Regulatīvo iestāžu mērījumu sistēmas parasti paredz tikai vienu mērījumu serveri, tādējādi taupot resursus.

Eiropas regulējumu attiecībā uz mērījumu serveri var sadalīt divās daļās: viens, kas nosaka, ka mērījumu serverim jāatrodas tuvāk nacionālā interneta apmaiņas punktam (*IXP*), bet otrs, kas paredz iespēju izvērtēt konkrētā operatora tīkla kapacitāti, nosaka nepieciešamību izvietot mērījumu serveri pēc iespējas tuvāk mērāmajam elektronisko sakaru tīklam jeb tā autonomai sistēmai [13], [20], [133].

Lai novērotu un definētu cik lielas var būt mērījumu rezultātu atšķirības atkarībā no mērījumiem izvēlēta servera, tika veikti testa mērījumi, izmantojot mērījumu rīku, kas ļauj mainīt mērījumu serveri un izvēlēties mērījumu sesiju skaitu. Mērījumi tika veikti divu mobilo elektronisko sakaru operatoru tīklos, atrodoties fiksētā ģeogrāfiskā vietā, un rezultātus var redzēt tabulā 1.3.

1.3. tabula

Kvalitātes parametru vidējo vērtību atkarībā no izvēlēta mērījumu servera.

Operators	1					2				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Mērījumu serveris										
Hopu skaits	11	15	12	8	15	12	4	10	18	16
Vidējais lejupielādes ātrums, Mbit/s	62,10	61,23	58,71	63,09	60,25	42,00	107,88	37,81	41,27	40,53
Vidējais augšupielādes ātrums, Mbit/s	19,91	19,18	19,06	19,31	7,63	31,22	31,54	30,95	29,63	30,30
Vidējais latentums, ms	38,44	37,29	42,01	34,01	41,41	26,02	23,46	22,35	26,45	40,05

Lai noteiktu 1.3. tabulā redzamās parametru vidējās vērtības, līdz katram mērījumu serverim veikti 100 mērījumi, kas secīgi veikti viens pēc otra, lai nodrošinātu pēc iespējas mazāku laika izkliedi starp mērījumiem. Katrs mērījumu serveris atradās atsevišķa operatora autonomā sistēmā un ceļš līdz katram serverim ir dažāds. Visi mērījumu serveri atradās Latvijas Republikas teritorijā.

Mērījumu veikšanai bija uzrakstīts programmatūras kods, *python* programmēšanas valodā, kas nodrošina iespēju veikt ilgtermiņa sērījveida interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes

mērījumus, secīgi līdz vairākiem references serveriem. Programmatūras lietotājam ir iespēja definēt references serveru sarakstu. Papildus, pirms mērījuma uzsākšanas, programmatūra automātiski pieslēdzas mērījumos izmantotam mobilā tīkla maršrutētājam –modemam, veic autentifikāciju un nolasa tīkla parametru vērtības. Kvalitātes noteicošo parametru mērījumu rezultāti un tiem atbilstošas tīkla parametru vērtības tiek automātiski ierakstīti *MS Excel* failā. Mērījumi tiek nodrošināti tik ilgi, cik mērījumu ciklus ir definējis programmatūras lietotājs. Papildus, lietotājam ir iespēja izvēlēties pauzi starp mērījumiem, kā arī piešķirt mērījumiem unikālu mērījumu identifikatoru. Mērījumu veikšanas programmatūras kodu var atrast darba 1. pielikumā un to ir iespējams izmantot un pielāgot atbilstoši vajadzībām, pielāgojot to citai mērījumu sistēmai vai tīkla iekārtai.

Mērījumu laikā novērots, ka labākie rezultāti tika sasniegti veicot mērījumus līdz tā operatora elektronisko sakaru tīkla serverim, kura tīklā tiek veikti mērījumi, kas visvairāk izdalās otrā operatora mērījumu rezultātos, kur rezultāts mērījumiem līdz šī operatora mērījumu serverim lejupeļādes ātrumam ir par 60 % augstāks salīdzinot ar citiem mērījumiem, un redzams, ka hopu skaits ir vismaz 2,5 reizes mazāks līdz serverim nekā citu mērījumu serveru gadījumā [48].

Operatora Nr.5 elektronisko sakaru tīkls un mērījumu serveris ģeogrāfiski atrodas attālumā, kas pārsniedz attālumu līdz pārējiem mērījumu serveriem, tomēr fiziskā attāluma ietekme uz mērījumu rezultātiem ir ļoti maza, un salīdzinājumā ar citiem mērījumu serveriem, izņemot paša mērāmā operatora serveri, nepārsniedz 5 %.

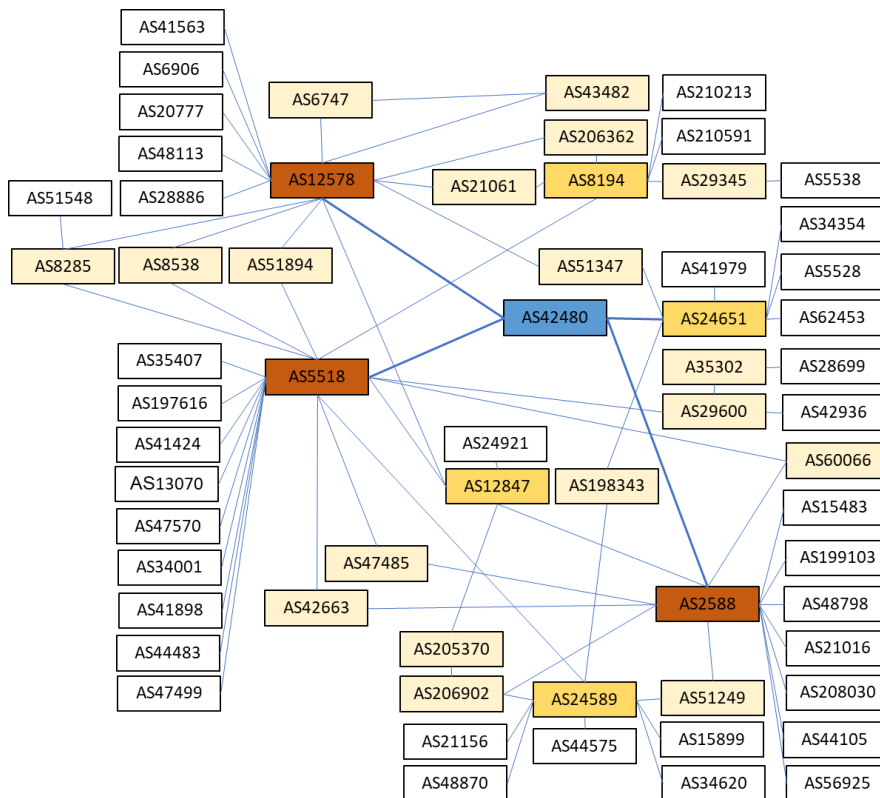
Kā var novērot no eksperimentāliem rezultātiem, veicot mērījumus pie dažādiem nosacījumiem, piemēram, izvēloties dažādus mērījumu serverus, rezultāti var atšķirties, dažreiz pat būtiski, tas ir vairāk kā par 10 %. Līdz ar to, lai rezultāti būtu samērāmi jeb to izpildes nosacījumi būtu pārbaudāmi (piemēram, iekļaujot nosacījumus līgumā ar galalietotāju), nepieciešams lai mērījumu sistēma nodrošina vienādus nosacījumus attiecībā uz visiem mērījumiem.

Sekojoši, izvēloties mērījumu serveri jāpieturas pie vienlīdzības principa, kas ir vai nu mērīt līdz vienotām references punktam – mērījumu serverim, vai kā paredz dažas mērījumu metodoloģijas – līdz tuvākām references punktam, ārpus savas autonomās sistēmas [44]. Līdz ar to, ievērojot, ka gandrīz neiespējami nodrošināt references punktu katra elektronisko sakaru tīkla posmā, vieglākais variants izvēloties mērījumu sistēmu, ir nodrošināt, ka mērījumi notiek līdz vienotam references punktam – mērījumu serverim *TCP* gadījumā un tīkla resursam *HTTP* mērījumu gadījumā. attiecīgi, vērtējot galalietotājiem sniegtā pakalpojuma kvalitāti, būs iespējams jau primāri noteikt atbilstošus nosacījumus, ar konkrētu references punktu un mērījumu parametriem, tai skaitā sesiju skaitu [48].

Ņemot vērā iepriekš minēto, kā arī to, ka darbā tiek apskatīta “legālo” jeb reģistrēto kā elektronisko sakaru komersanti, interneta piekļuves pakalpojuma sniedzēju nodrošinātā interneta piekļuves pakalpojuma kvalitāte, mērījumu servera atrašanās vietas kritērijs būtu arī nosakāms attiecībā uz pakalpojuma sniedzēja autonomās sistēmas izvietojumu nacionālā elektronisko sakaru tīklā [120].

Lai noteiktu kādas ir iespējas izvietot mērījumu serveri, ievērojot kā ES regulējums paredz nacionālās noslodzes mērījumus, primāri jāapkopo dati par elektronisko sakaru komersantiem

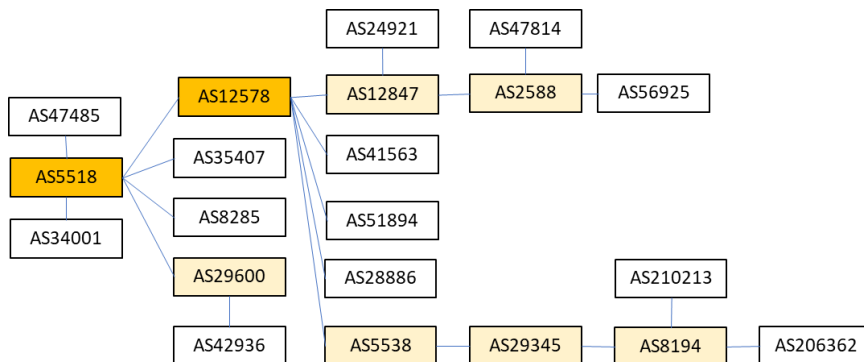
piederošām sistēmām, jo tās ir autonomās sistēmas caur kurām trafiks jeb noslodze, tiek maršrutēts. Šim nolūkam tika analizētas Latvijas Republikas autonomās sistēmas un to piederība, izsekojot autonomu sistēmu reģistrācijas datus, Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas datus par reģistrētiem elektronisko sakaru komersantiem un noslodzes maršrutēšanas dalībniekus. Autonomu sistēmu starpsavienojumu apkopojumu IPv4 noslodzei var redzēt 1.9. attēlā, un IPv6 noslodzei – 1.10. attēlā [53], [110], [124].



1.9. att. Latvijas Republikas interneta piekļuves pakalpojuma sniedzēju autonomu sistēmu topoloģija IPv4 noslodzei [53], [110], [124].

Attēlā 1.9. ar zilo krāsu ir apzīmēts nacionālais interneta apmaiņas punkts (angl. – exchange, jeb *IXP*), kas pieder četriem uzņēmumiem, starpsavienojumus ar kuriem var redzēt attēlā. Norādāms, ka tiešo starpsavienojumu ar šo apmaiņas punktu izveidot nevar, un noslodze tiek maršrutēta uz apmaiņas punkta autonomu sistēmu caur operatoru, kas ir *IXP* īpašnieki, autonomām sistēmām. Turpat, ar sarkano krāsu ir atzīmētas autonomās sistēmas, kurām ir desmit un vairāk starpsavienojumi ar citām nacionālām autonomām sistēmām, ar oranžu – autonomās sistēmas, kurām ir no pieciem līdz desmit nacionāliem starpsavienojumiem, ar dzeltenu – autonomās sistēmas, kurām ir no diviem līdz pieciem nacionāliem starpsavienojumiem un ar balto – autonomās sistēmas, kurām ir tikai viens nacionālais starpsavienojums. Līdz ar ko, redzams, ka ir tikai trīs autonomās sistēmas, kurām ir vairāk par

desmit starpsavienojumu ar nacionālām autonomām sistēmām, un lielākoties operatori ir starpsavienoti tikai ar vienu citu nacionālo autonomu sistēmu.



1.10. att. Latvijas Republikas interneta piegāves pakalpojuma sniedzēju autonomu sistēmu topoloģija IPv6 noslodzei [53], [110], [124].

Attēlā 1.10 izmantotie krāsu apzīmējumi ir tādi paši, kā attēlā 1.9., no kā uzreiz var secināt, ka IPv6 noslodze ir joprojām samērā maza. Papildus jāatzīmē, ka IPv6 noslodzes maršrutēšanai tiek izmantoti ārvalstu komersantu elektronisko sakaru tīkli, kam par iemeslu ir ļoti ierobežots nacionāla līmeņa saturs elektronisko sakaru tīklos, un tas, ka Latvijā atrodas ļoti maz ārzemju saturs sniedzēju serveru, kas atbalsta IPv6 [99].

Kaut gan 1.9. un 1.10. attēlā redzamās topoloģijas ir mainīgas, tomēr gadu griezumā veidojot uzskaiti, konstatēts, ka koncentrēšanas punkti paliek nemainīgi, kaut gan gadās, ka mainās autonomo sistēmu īpašnieki. Praktiski, tas norāda uz to, ka, ja regulējošā iestāde nodrošina savu mērījumu sistēmu un mērījumu serveru izvietojumu, tad tai paredzēto pieslēgumu var nodrošināt vienā vietā. Rekomendējoši būtu tomēr reizi gadā autonomo sistēmu topoloģiju pārskatīt veicot pārbaudi un nodrošinot, ka mērījumi tiek veikti atbilstoši standartiem un BEREK regulējumam, kas paredz, ka, ja tiek mērīta tīkla veiktspēja, mērījumu serverim jāatrodas pēc iespējas tuvāk elektronisko sakaru autonomai sistēmai, kurā tiek veikti mērījumi [13].

Viens novērojums, kas izriet, no nacionālo autonomo sistēmu arhitektūras ir tas, ka ne visiem elektronisko sakaru komersantiem ir sava autonomā sistēma, un vairumtirdzniecības pakalpojumu ietvaros viņiem ir iespēja izmantot citu, lielāku elektronisko sakaru komersantu autonomās sistēmas, jeb pēc būtības pakļauties tā komersanta maršrutēšanas principiem. Tāpat, veicot analīzi, novērots, ka uzņēmumi, kas pēc būtības ir galalietotāji, piemēram, universitātes, un kuriem ir savas autonomās sistēmas, parasti nodrošina arī rezerves savienojumu ar vairāku elektronisko sakaru pakalpojumu sniedzēju autonomām sistēmām. Norādāms, ka lielākiem elektronisko sakaru komersantiem parasti ir vairākas autonomās sistēmas.

Secināms, ka, ja nepieciešams izvēlēties autonomu sistēmu, kurā izvietot mērījumu serveri, vai ar kuru mērījumu serveri starpsavienot, būtu jāizvēlas tāda autonomā sistēma, kas atbalsta gan IPv4, gan IPv6 noslodzes maršrutēšanu, gan kurai ir lielākais nacionālo starpsavienojumu skaits, tādējādi nodrošinot gan mērījumus līdz nacionālām apmaiņas

punktam, gan pēc iespējas tuvāk mērījumos vērtējama operatora autonomai sistēmai. Ievērojot veikto pētījumu rezultātu, secināms – ja mērījumu sistēmas darbībai ir paredzēts tikai viens mērījumu serveris, ieteicams mērījumu serveri izvietot *AS5518* vai *AS12578* autonomā sistēmā, kas praktiski nozīmētu savienot servera iekārtas ar šo autonomo sistēmu īpašnieku *BGP* maršrutētājiem.

Arī gadījumos, ja ir iespēja izvēlēties mērījumu serveri, ieteicam izvēlēties kādu no augstāk minētiem mērījumu serveriem, vai citus, balstoties uz starpsavienojumu skaitu, lai nodrošinātu mērījumus līdz interneta apmaiņas punktam un īsāko ceļu līdz serverim, tādējādi nodrošinot, ka mērījumu rezultāti ir savstarpēji salīdzināmi.

## 1.7. Mērījumus ietekmējošie faktori

Pat secīgi laikā veicot interneta piekļuves pakalpojuma *QoS* parametru mērījumus mobilā elektronisko sakaru tīklā, šo mērījumu rezultāti atšķiras, ko var novērot visos šajā darbā aprakstītos mērījumos. Tam par iemeslu ir ļoti daudzi faktori, vairumu no kuriem nav iespējams ietekmēt no galalietotāju puses, piemēram, bāzes stacijas kapacitāti, precīzu lietotāju skaitu bāzes stacijas pārklājuma zonā vai ar signāla izplatību un kvalitāti saistītus faktorus. Tomēr pastāv arī tādi mērījumus ietekmējošie faktori, kuri var būt kontrolēti un uzraudzīti [105].

Viens no mērījumu veikšanas aspektiem ir mērījumu veikšanas vieta, tas ir vai mērījumi tiek veikti iekštelpās vai ārtelpās. Jāņem vērā, ka mobilo elektronisko sakaru tīklu operatori, veicot mobilā tīkla plānošanu un simulāciju, pārklājuma zonu un provizoriskus signāla parametru vērtības paredz tikai ārtelpām. Nav iespējams ņemt vērā visus iekštelpās signālu ietekmējošos faktorus, ievērojot gan pašu ēku materiālu dažādību, gan iekšējā interjerā izmantotus materiālus un elementus [105], [107]. Plašāk par mērījumiem iekštelpās ir pētīts darba 2. nodaļā, kur iespējams iepazīties gan ar praktisko testu rezultātiem, gan ar izvirzītiem secinājumiem.

Tomēr, ne tikai iekštelpās ir novērojama apkartējās vides ietekme uz signāla izplatību, bet arī ārtelpās, kur tāpat fizikālu faktoru ietekmē signāls ir mainīgs, un tas atkarīgs gan no apbūves, gan no apstādījumiem, kas var mainīties gan sezonāli, gan no laikapstākļiem [107].

Cits faktors, kuru nav iespējams ietekmēt no galalietotāja puses ir kopējais galalietotāju skaits bāzes stacijas vai šūnas pārklājuma zonā. Jo lielāks ir galalietotāju skaits, jo starp vairākiem pārraidēs kanāliem tiek sadalīta kopēja bāzes stacija kapacitāte, kas rezultātā var ietekmēt vienam galalietotājam izdalītos tīkla resursus, pazeminot galalietotājam pieejamā pakalpojuma *QoS* parametru vērtības [22], [33], [47], [48].

Ievērojot ka ierobežota frekvenču spektra piešķiršana un izmantošana ir stingri uzraudzīta, arī attiecībā uz interferenci, var pieņemt, ka interference starp dažādiem operatoriem piešķirto ierobežota spektra joslām ir minimāla, ievērojot aizsargjoslas un citus pasākumus, līdz ar ko, šis aspekts nav ņemams vērā [100], [127]. Tomēr interference, reti būtiska, var rasties arī citu ārējo faktoru ietekmē, piemēram signāla atstarošanas gadījumā, līdz ar to tas var būt attiecināms uz ārējiem faktoriem, kas var ietekmēt *QoS* mērījumu rezultātus [23], [92], [107].

Ievērojot iepriekš minēto pie nekontrolējamiem vai vāji kontrolējamiem, ārējiem mērījumus ietekmējošiem faktoriem var attiecināt:

1. elektronisko sakaru tīkla uzbūve un parametri, tai skaitā pārklājuma zona, tīkla iekārtas, tīkla kopīga izmantošana ar citu operatoru, frekvenču kanālu platums, programatūras ierobežojumi;
2. ainava: ēkas, ūdenstilpnes un citi tās elementi, kas iespaido signāla izplatīšanas iespēju, un kuru rezultātā rodas signāla fizikālie efekti, tai skaitā interference, atstarojums, absorbcija, difrakcija, izkliede un citi [94];
3. kopējais galalietotāju skaits bāzes stacijas pārklājuma zonā;
4. citi [92].

Lai gan augstāk minētie faktori ir ļoti būtiski galalietotājam saņemot pakalpojumu, tomēr tos galalietotājs ietekmēt tiešā veidā nevar, un tieši šie parametri lielākoties noteiks galalietotājam reāli pieejamo pakalpojuma kvalitāti noteiktā vietā. Tomēr arī pats galalietotājs, un viņam pieejama aparatūra ir noteicošais faktors tam, vai galalietotājs viņam teorētiski pieejamo pakalpojuma kvalitāti var saņemt.

Pie kontrolējamiem ārējiem mērījumus ietekmējošiem faktoriem var attiecināt:

1. izmantojamā galiekārta;
2. paralēli mērījumiem mērījumu iekārtā aktivizēta, tīkla resursus patērējoša programatūra un procesi [48], [87].

Lai pārbaudītu galiekārtu parametru ietekmi uz mērījumu rezultātiem, tika veikts pētījums, kura ietvaros veikti *QoS* un signāla parametru mērījumi pie vienādiem apstākļiem, tai skaitā līdz vienam mērījumu serverim divu mobilo operatoru mobilos tīklos. Mērījumiem izmantoto iekārtu parametrus var redzēt 1.4. tabulā.

1.4. tabula

Mērījumiem izmanto galiekārtu parametri [113], [114], [115].

Iekārtas modelis	<i>Samsung Galaxy A3</i> (2016)	<i>Samsung Galaxy A70</i> (2019)	<i>Samsung Galaxy S22 Ultra</i> (2022)
Atbalstāmās tīkla tehnoloģijas	<i>GSM / HSPA / LTE</i>	<i>GSM / HSPA / LTE</i>	<i>GSM / CDMA / HSPA / EVDO / LTE / 5G</i>
2G frekvenču joslas	<i>GSM 850 / 900 / 1800 / 1900</i>	<i>GSM 850 / 900 / 1800 / 1900</i>	<i>GSM 850 / 900 / 1800 / 1900 CDMA 800 / 1900 &amp; TD-SCDMA</i>
3G frekvenču joslas	<i>HSDPA 850 / 900 / 1900 / 2100</i>	<i>HSDPA 850 / 900 / 1700(AWS) / 1900 / 2100</i>	<i>HSDPA 850 / 900 / 1700(AWS) / 1900 / 2100 CDMA2000 1xEV-DO</i>
4G frekvenču joslas	1, 3, 5, 7, 8, 20, 40	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 12, 13, 17, 20, 28, 38, 40, 41, 66	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 25, 26, 28, 32, 38, 39, 40, 41, 66
LTE kategorija	<i>Cat 4</i>	<i>Cat 11</i>	<i>Cat 20</i>
5G frekvenču joslas	–	–	1, 2, 3, 5, 7, 8, 12, 20, 25, 28, 38, 40, 41, 66, 75, 77, 78 SA/NSA/Sub6
Operētājsistēma	<i>Android 7.0</i>	<i>Android 11</i>	<i>Android 13</i>



Čipsets	<i>Exynos 7578</i>	<i>Qualcomm SDM675 Snapdragon 675</i>	<i>Qualcomm SM8450 Snapdragon 8 Gen 1</i>
Procesors	<i>Quad-core 1.5 GHz Cortex-A53</i>	<i>Octa-core (2x2.0 GHz Kryo 460 Gold &amp; 6x1.7 GHz Kryo 460 Silver)</i>	<i>Octa-core (1x2.8 GHz Cortex-X2 &amp; 3x2.50 GHz Cortex-A710 &amp; 4x1.8 GHz Cortex-A510)</i>
Grafiskā karte	<i>Mali-T720MP2</i>	<i>Adreno 612</i>	<i>Xclipse 920 - Europe</i>
Operatīvā atmiņa	<i>1.5 GB</i>	<i>6 GB</i>	<i>12 GB</i>

Salīdzinot iekārtas novērojams, ka to ražošanas gadi atšķiras par trim gadiem, līdz ar to atšķiras arī iekārtu pamata parametri, tai skaitā procesors, čipsets, grafiskā karte, operatīvas atmiņas lielums un operētājsistēma, kas tieši ietekmē iekārtas veiktspēju, līdz ar to arī resursu patēriņa iespēju un ātrumu.

Tomēr vieni no būtiskākajiem parametriem attiecībā uz interneta pakalpojuma saņemšanu un līdz ar to arī *QoS* ierobežojumiem, ir tīkla parametru atšķirības, tai skaitā iekārtas antenu tehnoloģijas, iekārtas atbalstāmā modulācija, mobilā tīkla tehnoloģijas, kategorija un frekvenču diapazoni. Tikai viena no iekārtām atbalsta pakalpojumu saņemšanu izmantojot *NR* mobilo tīklu, kas jau primāri parāda, ka vecāku iekārtu izmantošana regulatīvo mērījumu veikšanai būtu ierobežota gadījumā, ja operators *NR* mobilo tīklu ir izvērsis. Frekvenču diapazoni, kurus atbalsta iekārtas arī būtiski atšķiras, kas atkarībā no valstī komercdarbībai piešķirtiem frekvenču diapazoniem arī var būtiski ietekmēt pakalpojuma saņemšanu un tā kvalitāti, ja iekārtas atrodas bāzes stacijas pārklājuma zonā, kas raida frekvencē, kuru šī galiekārta neuztver.

1.5. tabulā ir redzami mērījumu rezultāti *QoS* un signāla parametru mērījumiem, kas veikti izmantojot trīs dažādas augstāk minētās iekārtas. Mērījumi salīdzinājumam bija veikti identiskos apstākļos divu mobilo operatoru *LTE* mobilos tīklos.

Vislabāk atšķirība starp iekārtām redzama lejupeļādes ātruma parametra iegūtos rezultātos, kur izmantojot vecāku iekārtu sasniegtās *QoS* vērtības ir ļoti zemas, un pirmā operatora gadījumā, kura tīklā bija iespēja sasniegt lielākus ātrumus, vidējā lejupeļādes ātruma vērtība vidēja vecuma iekārtai un jaunākai iekārtai atšķirās par 36 %, un starp vecāko iekārtu un vidēja vecuma iekārtu atšķirās par 79 %. Ievērojot, ka jaunākas iekārtas varēja pieslēgties vairākiem frekvenču diapazoniem, pat gadījumā, kad signāla parametru vērtības tām bija sliktākas un mazāk stabilas, *QoS* parametru vērtības tomēr bija labākas, nekā vecākai iekārtai.

1.5. tabula

Mērījumu rezultāti mērījumiem, kas veikti divu operatoru elektronisko sakaru tīklos, izmantojot trīs dažādas galiekārtas.

	Parametrs	<i>RSRP</i> , dBm			<i>RSSI</i> , dBm			<i>RSRQ</i> , dB		
	Viedtālrunis	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
1. operators	<i>Samsung Galaxy A6 (2016)</i>	-94,34	-94,00	0,65	-77,98	-78,00	1,24	-13,04	-13,00	1,19

	<i>Samsung Galaxy A70 (2019)</i>	-87,14	-87,00	1,22	-55,89	-55,00	1,63	-12,38	-13,00	0,93
	<i>Samsung Galaxy S22 Ultra (2022)</i>	-88,00	-83,00	7,95	-89,00	-89,00	0,00	-11,09	-11,00	1,49
2. operators	<i>Samsung Galaxy A6 (2016)</i>	-93,77	-94,00	1,06	-77,37	-77,00	0,85	-9,35	-10,00	0,88
	<i>Samsung Galaxy A70 (2019)</i>	-84,11	-84,00	1,27	-54,16	-53,00	2,50	-11,73	-12,00	1,43
	<i>Samsung Galaxy S22 Ultra (2022)</i>	-86,07	-83,00	6,21	-86,42	-83,00	6,19	-11,30	-12,00	2,05
	Parametrs	CQI			Lejupielādes ātrums, Mbit/s			Augšupielādes ātrums, Mbit/s		
	Viedtālrunis	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
1. operators	<i>Samsung Galaxy A6 (2016)</i>	7,33	8,00	1,25	9,16	7,47	4,91	8,15	7,55	1,79
	<i>Samsung Galaxy A70 (2019)</i>	-	-	-	43,48	43,40	2,85	15,53	15,96	1,93
	<i>Samsung Galaxy S22 Ultra (2022)</i>	8,35	9,00	2,90	68,20	73,05	16,82	15,35	15,47	0,93
2. operators	<i>Samsung Galaxy A6 (2016)</i>	8,87	9,00	3,53	13,62	11,07	5,83	11,74	11,41	1,24
	<i>Samsung Galaxy A70 (2019)</i>	-	-	-	27,10	26,16	10,39	9,06	9,12	0,65
	<i>Samsung Galaxy S22 Ultra (2022)</i>	9,77	10,00	1,50	26,72	26,79	5,06	10,38	10,09	1,02
	Parametrs	Latentums, ms			Trīce, ms			Pakešu zuduma koef. %		
	Viedtālrunis	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais		
1. operators	<i>Samsung Galaxy A6 (2016)</i>	106,80	107,00	2,57	11,60	11,50	1,71	0,00		
	<i>Samsung Galaxy A70 (2019)</i>	34,00	34,00	3,50	9,90	6,50	6,59	0,00		
	<i>Samsung Galaxy S22 Ultra (2022)</i>	123,90	123,50	7,16	17,50	15,50	5,38	0,00		
2. operators	<i>Samsung Galaxy A6 (2016)</i>	111,50	111,00	7,06	17,00	17,00	6,39	0,00		
	<i>Samsung Galaxy A70 (2019)</i>	34,40	35,00	5,64	13,40	12,50	5,10	0,00		
	<i>Samsung Galaxy S22 Ultra (2022)</i>	137,90	139,00	6,52	19,30	19,00	6,72	0,00		

Ievērojot Regulatīvo iestāžu funkcijas, tam ir nepieciešams sniegto pakalpojumu izvērtēt pēc iespējas objektīvāk, minimizējot iespējamo ietekmi uz mērījumiem, līdz ar ko iestādei mērījumu veikšanai jānodrošina tādas iekārtas, kas atbalsta visus operatoriem mobilā tīkla

nodrošināšanai piešķirtos frekvenču diapazonus, un visas operatoru izmantotās mobilā tīkla tehnoloģijas [16] [22].

No veiktiem mērījumu rezultātiem seko, ka mērījumu iekārtas, ja tās ir parastas tirgū pieejamas galiekārtas, būtu ieteicams mainīt ne retāk, kā reizi trijos gados, turklāt izvēloties populāra ražotāja iekārtas, ko var uzzināt pieprasot pārdoto iekārtu datus, un izvēloties tādu iekārtas modeli, kas atbalsta plašāku frekvenču diapazonu, un kuram ir labāka veiktspēja – tā saucamo “*flagmani*”.

No veiktā pētījuma var arī secināt, ka mērījumiem izmantotās iekārtas jāatjaunina, ko ietekmē arī vidējais iekārtas dzīves termiņš, kas ir 2 vai 3 gadi, atkarībā no avota, kā arī ņemot vērā kā populāri galiekārtu ražotāji piedāvā jaunas iekārtas ne retāk, kā vienreiz gadā [7], [134]. Ievērojot minēto un eksperimenta rezultātus, kas veikts ar iekārtam kuru ražošanas gads atšķiras par 3 gadiem, var secināt, ka optimālais iekārtu atjaunināšanas termiņš ir 3 gadi, nodrošinot gan tehnisko uzlabojumu ieviešanu, gan ņemot vērā nepieciešamos ieguldījumus.

Būtisks apsvēruma mērījumu laikā ir arī nodrošināt, ka paralēli mērījumiem mērījumu iekārtas programmnodrošinājums un tajā uzstādītā programatūra nepatērē interneta resursus, un tikai tādā gadījumā, izmantojot atbilstošas iekārtas un izslēdzot blakusprogrammas, ir iespējams veikt tādus mērījumus, kas būtu salīdzināmi un objektīvi [108].

## 1.8. Normatīvais regulējums

Interneta pakalpojuma darbība balstās uz daudzu starptautisko iestāžu standartiem un rekomendācijām, uz kuru pamata tiek izstrādātas tīkla iekārtas un veikta to konfigurācija [90]. Tomēr, ievērojot globālā interneta tīkla ieguvumus un riskus, kā arī to, ka pēdējo desmitgadu laikā internets kļuva par vienu no pasaules attīstības neatņemamām sastāvdaļām, kas nodrošina vienotu pasaules līmeņa platformu savstarpējai komunikācijai un piekļuvei, tehniskie standarti nav pietiekams rīks lai ierobežotu nevēlamos globālā tīkla efektus, vienlaicīgi stimulējot tā attīstību tādā virzienā, kas atbalstītu sabiedrību un tajā esošus cilvēkus [49].

Lai nodrošināt elektronisko sakaru tīklu, interneta pakalpojumu, un uz tā balstīto pakalpojumu attīstību, pasaulē, Eiropā un katrā atsevišķā valstī ir izstrādāts normatīvais, jeb legālais regulējums, kas ļauj pēc iespējas efektīvāk izmantot tehnoloģiskus risinājumus [26].

Latvijas Republiku kopsakarā ar interneta pakalpojumu un regulējošām funkcijām, tai skaitā pakalpojuma mērījumiem, visvairāk ietekmē Eiropas Savienības un pašas valsts normatīvie akti, kas nosaka prasības gan attiecībā uz pakalpojuma nodrošināšanu, gan daļēji uz regulatīviem pakalpojuma mērījumiem [26], [39].

Attiecībā uz mērķiem, kas jāsasniedz valstī, prasības tiek izvirzītas no Eiropas Komisijas puses, kas nosaka gan termiņus, gan parametrus interneta pakalpojumam, kas jāsasniedz noteiktā periodā, piemēram, ka visās Eiropas Savienības dalībvalstīs līdz 2020. gadam bija jāuzsāk *NR* mobilā tīkla ieviešanu, un katrai mājāsaimniecībai līdz 2025. gadam jābūt pieejamam interneta pakalpojuma lejupielādes ātrumam 100 Mbit/s [26]. Izvirzot prasības, stimulējot tās ar projektu ietvaru un finansējumu, tiek nodrošināts, ka dalībvalstīm ir iespēja realizēt prasības tehnisko iespēju robežās, jo ievērojot minēto prasību attiecībā uz *NR*, tās izpilde rezultātā bija aizkavējusies, jo tīkla iekārtu ražotāji nebija spējīgi nodrošināt tehnisko aprīkojumu [26], [109].

Balstoties uz pasaules un Eiropas Savienības normatīviem un tendencēm, valstis izstrādā elektronisko sakaru nozares rīcības plānus, kuru ietvaros jau valsts līmenī tiek paredzēti mērķi, uzdevumi, konkrēti izpildītāji un termiņi [109].

Uzdevumu izpilde ir jāuzrauga, līdz ar ko ir paredzēts arī Eiropas un Latvijas normatīvais regulējums, kas nosaka atbildīgās institūcijas, darbības un nosacījumus. Eiropas līmenī ir izstrādāts Elektronisko sakaru kodekss, kurā, starp citiem nosacījumiem, ir paredzēts, ka valstis veic interneta pakalpojuma kvalitātes parametru uzraudzību, tai skaitā nodrošinot regulatīvos mērījumus, veic komersantu sniegto datu analīzi un nodrošina kvalitātes parametru kartēšanu. Interneta pakalpojuma kvalitāte ir svarīgs aspekts kas tiek ņemts vērā analizējot elektronisko sakaru tirgus, līdz ar ko datiem par to ir jābūt patiesiem un aktuāliem. *EECC* pielikumā ir arī definēti pamata interneta pakalpojuma kvalitātes parametri, kuru uzraudzība ir jānodrošina regulējošām iestādēm [26]. *EECC* arī paredz uzdevumus *BEREC* izstrādāt saistošas vadlīnijas par kvalitātes novērtēšanas parametriem, mērījumu metodiku un publicējamo informāciju [18], [20], [26].

Kopsakarā ar interneta pakalpojumu un tā kvalitāti, *BEREC* ir izstrādājusi vadlīnijas gan par pakalpojuma kvalitātes parametriem, gan par pakalpojuma kvalitāti atvērtā interneta prasību kontekstā, kas paredz un definē kvalitātes uzraudzības mehānisma ieviešanu Eiropas valstīs un detalizēti apraksta mērāmo pakalpojumu kvalitātes parametru minimālo kopu [12], [15], [20].

Jau valsts ietvaros tiek izstrādāti likumi un noteikumi, kas ir balstīti uz pasaules un Eiropas dokumentiem, kuru ietvaros ir definētas prasības regulējošai iestādei veikt kvalitātes mērījumus un izstrādāt mērījumu veikšanas metodiku, kas tieši attiecināma uz interneta pakalpojuma uzraudzību. Šie normatīvie akti ietver dokumentus:

1. Elektronisko sakaru likums [39];
2. Elektronisko sakaru pakalpojumu kvalitātes prasību noteikumi [121];
3. Elektronisko sakaru pakalpojumu kvalitātes mērījumu metodika [123];
4. Elektronisko sakaru pakalpojumu līguma noteikumi [122].

Dati, kas tiek iegūti no komersantu sniegtās informācijas un no regulējošo iestāžu mērījumiem, tiek apkopoti arī Eiropas līmenī, tāpēc svarīgi nodrošināt, lai sniegtie dati ir salīdzināmi, un paši mērījumi ir veikti tādā veidā, kas nodrošina to salīdzināmību un objektivitāti [108].

Lai izvērtēt galalietotāju sūdzības attiecībā uz sniegtā interneta pakalpojuma kvalitāti, pakalpojuma mērījumi ir nepieciešami, ko paredz gan *EECC*, gan Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas noteikumi, gan arī Patērētāju aizsardzības centrs savās vadlīnijās, kur arī noteikts ierobežojums, ka mērījumi var tikt veikti tikai izmantojot valstī oficiālu atzīto regulējošās iestādes mērījumu rīku un mērījumu metodiku [39].

Kaut gan ir samērā daudz dokumentu kas nosaka prasības attiecībā uz mērāmiem parametriem, mērīšanas metodikas pamatprincipiem, mērīšanas rīkiem, neviens normatīvais akts, standarts vai vadlīnijas nedefinē stingras prasības regulatīvo mērījumu veikšanas kārtībai Līdz ar to mērījumus veicošai iestādei ir pašai jādefinē mērījumu veikšanas kārtība un nosacījumi, ņemot vērā izmantojamo mērīšanas rīku, cilvēkresursus un iekārtu resursus. Promocijas darbā tiek izskatīta universāla pieeja mērījumu veikšanas metodikas un vadlīniju definēšanai.

## 1.9. Interneta pakalpojuma mērījumu izmantošana frekvenču un mobilā tīkla attīstības uzraudzībā

Viennozīmīgi, frekvenču spektra un pakalpojumu kvalitātes uzraudzība ir dažādi regulējuma aspekti, kurus Latvijas Republikas regulējuma ietvaros realizē divas dažādas institūcijas, kas ir Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisija un valsts akciju sabiedrība “Elektroniskie sakari” [39]. SPRK, kaut gan tieši neuzrauga frekvenču spektra izmantošanas aspektus, tomēr veic ierobežotu frekvenču spektra joslu piešķiršanu, frekvenču spektra joslu tālāknodošanu, kopīgas izmantošanas un citu jautājumu izvērtēšanu, kā arī uzrauga tīklu un pakalpojumu attīstību valstī [39].

Ievērojot, ka frekvenču spektra joslu piešķirumi ir tehnoloģiski neitrāli, neparedz tehnoloģiskos ierobežojumus, kas ir ļoti pozitīvs aspekts tīkla attīstības ziņā, tomēr regulējuma ietvaros, tas var radīt arī ierobežojumus regulējumam, kā arī regulējuma nepilnības un trūkumus. Piemēram, frekvenču joslu kopīga izmantošana ir iespējamā tikai ar SPRK lēmumu, turpretī neviens normatīvais akts konkrēti nedefinē, kas ir frekvenču kopīga izmantošana un kādi vairumtirdzniecības vai mazumtirdzniecības pakalpojumi, šajā kontekstā var tikt nodrošināti. Pakalpojumu uzraudzība arī nav valsts akciju sabiedrības “Elektroniskie sakari” kompetencē, līdz ar to SPRK rodas nepieciešamība uzraudzīt vai ierobežotas frekvenču joslas netiek izmantotas tā, lai apietu esošo regulējumu. Lai to uzraudzītu ir jāuzrauga arī komersantu raidītais signāls un tajā pārraidāmā informācija, tai skaitā MCC, MNC, izmantotā mobilā tehnoloģija, frekvenču diapazons un josla, kā arī citi parametri [77], [90], [99]. Tāpat vienlaicīgi jāsaprot, vai signāls tiek izmantots elektronisko sakaru pakalpojuma sniegšanai, jo tikai tādā gadījumā SPRK var veikt darbības.

Liela daļa signāla un tā parametru analīzes rīku un iekārtu neparedz pakalpojuma kvalitātes parametru mērījumus, līdz ar ko optimālais variants ir vienlaicīgi ar QoS parametru mērījumiem veikt arī signāla parametru un tajā parādāmās informācijas nolasīšanu, tādējādi ļaujot veikt secinājumus par pakalpojuma sniedzēju un regulatīvas iestādēs prasību, attiecībā uz ierobežotu radiofrekvenču spektru, izpildi.

Signāla parametru uzraudzība ļauj prognozēt frekvenču spektra joslu sadali operatora tīklā, kuras ietvaros var paredzēt tīkla pārplānošanu, tai skaitā piekļuves tīkla noteikto paudžu iekārtu atslēgšanu, kas ir īpaši aktuāls jautājums mūsdienās, jo jau vairākās valstīs tika atslēgti 3G un/vai 2G tīkli, kā rezultātā galalietotāji, īpaši tie kas atrodas viesabonēšanā, ja viņu iekārtas neatbalsta jaunākas balss pārraides tehnoloģijas mobilā tīklā – VoLTE, nevar veikt izsaukumus, tai skaitā uz ārkārtas palīdzības dienestiem, atrodoties noteiktā valstī vai noteiktā operatora tīklā [51], [38].

Pastāvīga ierobežota frekvenču spektra analīze, ļauj savlaicīgi pamanīt frekvenču diapazonu pārdali, tādējādi, pat, ja operators par to regulējošai iestādei nepaziņo, tā var spektra diapazona pārdali pamanīt un veikt nepieciešamās darbības, tai skaitā izvērtēt saistīto pakalpojumu sniegšanas iespējas un apgrūtinājumus [31].

Signāla parametri ļauj arī definēt galalietotāju atrašanas vietu, kas ir saprotama operatoram, operatora elektronisko sakaru tīklā, tādējādi, konstatējot problēmas, mērījumus veicošai

iestādei ir iespējams ļoti detalizēti aprakstīt gan pašu problēmu, gan vietu, kur šī problēma ir konstatēta.

Salīdzinot vairākās Eiropas Savienības valstīs nodrošināto interneta pakalpojuma mērījumu rīku funkcionalitāti, konstatēts, ka tie paredz nepieciešamo parametru nolasīšanu un mērījumus. Līdz ar ko secināms, ka izstrādājot interneta kvalitātes mērījumu rīku ir iespējams nodrošināt arī ierobežotu radiofrekvenču spektra joslu lietošanas nosacījumu uzraudzību.

Ievērojot minēto secināms, ka kaut gan signāla parametru nolasīšana un mērījumi nav obligāti interneta pakalpojuma uzraudzības ietvaros, tie ļauj nodrošināt papildus funkcionalitāti un regulējošas iestādes funkciju izpildi, tai skaitā laicīgi paredzot iespējamās nākotnes problēmas, risinot tās ex-ante.

## 1.10. Nodaļas kopsavilkums

Nodaļā tiek aprakstīti interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes novērtēšanas principi un parametri, tai skaitā interneta *QoS* un signāla parametri, kas tiek izmantoti, lai novērtētu galalietotājam sniegtā interneta pakalpojuma kvalitāti un, lai noteiktu uztvertā signāla kvalitāti, tādējādi nodrošinot vispusīgu saņemtā interneta pakalpojuma novērtējumu un ļaujot izvirzīt secinājumus par pakalpojuma kvalitāti un tās uzlabošanas iespējām.

Ņemot vērā definēto interneta piekļuves pakalpojuma *QoS* parametru kopu, nodaļā tiek arī izvērtēti dažādi regulatīvo mērījumu veidi, kā arī mērījumu rīki un to izvēles principi, kuru pamatā ir pasaules, Eiropas un valsts regulējuma nostādnes. Tiek detalizēti izskatīti pašlaik pasaulē pieejami interneta pakalpojuma kvalitātes novērtēšanas rīki, un veikts to salīdzinājums.

Ievērojot, ka viens no svarīgākiem regulatīvos mērījumus veikšanas ietekmējošiem faktoriem ir mērījumu serveris, nodaļā tiek izvērtēti Latvijas Republikas autonomu sistēmu starpsavienojumi, tādējādi nosakot to autonomu sistēmu, kurā jānodrošina interneta pakalpojuma mērījumu servera izvietošana, lai mērījumi atbilstu Eiropas Savienības regulējumam, un lai tie būtu objektīvi un salīdzināmi. Šīm nolūkam veikta elektronisko sakaru komersantu un autonomu sistēmu analīze, izmantojot *SPRK*, *RIPE NCC* un *Hurricane electric* datubāzes un rīkus, kā rezultātā izstrādātas Latvija Republikas elektronisko sakaru komersantu autonomu sistēmu starpsavienojumu shēmas, un noteikta autonomā sistēma ar lielāku starpsavienojumu skaitu.

Nodaļā tiek arī izskatīti un izvērtēti mērījumu ietekmējošie faktori, tai skaitā galiekārtas, kas paredzētas regulatīvo interneta pakalpojuma kvalitātes mērījumu veikšanai, izvēles ietekme uz mērījumu rezultātiem. Lai galiekārtu ietekmi uz mērījumu rezultātiem izvērtētu, tika veikti praktiskie mērījumi, un noteiktas mērījumu rezultātu atšķirības, uz kā pamata, ņemot vērā arī galiekārtu raksturlielumus, izvirzīti secinājumi.

Nodaļas ietvaros tiek izskatīts normatīvais regulējums, kas paredz gan interneta pakalpojuma kvalitātes uzraudzību, gan elektronisko sakaru komersantiem piešķirtā ierobežotā radiofrekvenču spektra uzraudzību. Līdz ar to, tiek izskatīta papildus signāla parametru mērījumu veikšanas nepieciešamība, kas nodrošinātu arī citu regulējošās iestādes funkciju izpildi, elektronisko sakaru tirgus un pakalpojumu attīstības uzraudzību.

Ievērojot iepriekš minēto, secināms, ka, lai izpildītu regulējošās iestādes funkcijas, ieteicams veikt signāla parametru mērījumus, kas ļauj gan novērtēt interneta pakalpojuma kvalitātes izmaiņas, gan konstatēt iespējamus mobilā tīkla bojājumus un trūkumus, un uzraudzīt elektronisko sakaru tīklu attīstības tendences.

Ievērojot Regulējošo iestāžu cilvēku un iekārtu resursus, iestādei var nākties izvēlēties tai piemērotākos mērījumu veidus un to realizāciju.

Secināms, ka, lai nodrošinātu vispusīgus, precīzus un salīdzināmus mērījumus, mērījumu rīkam ir jāatbalsta gan *QoS*, gan signāla parametru mērījumi, nodrošinot iespēju veikt mērījumus dažādās platformās un būt piemērotam, gan mobilo, gan fiksēto elektronisko sakaru tīklu mērījumiem. Tikai pie šiem nosacījumiem, regulatīva iestāde varēs sniegt objektīvu galalietotājam pieejama pakalpojuma kvalitātes novērtējumu.

Latvijas Republikā ir iespējams izvietot mērījumu serveri tikai vienā autonomā sistēmā, konkrēti – *AS5518* un *AS12578*, vienlaikus izpildot visas mērījumu un regulējuma prasības, nodrošinot īsāku ceļu līdz mērījumu serverim arī gadījumos, ja mērījumi tiek veikti no citām autonomām sistēmām, jeb citu elektronisko sakaru komersantu elektronisko sakaru tīkliem.

Mērījumus ietekmējošos faktorus ir iespējams iedalīt uz tiem, kurus nav iespējams ietekmēt, un uz tiem, kurus ir iespējams ietekmēt. Viens no faktoriem, kas būtiski ietekmē mērījumu rezultātus ir izvēlētā galiekārta. Izvērtējot mērījumu rezultātus un dažādos avotos pieejamo informāciju var secināt, ka mērījumu iekārtas ir nepieciešams aizvietot ar jaunākām galiekārtām vismaz reizi trijos gados, tādējādi nodrošinot, ka iekārtas atbalsta jaunākās tirgū pieejamās tehnoloģijas. Ieteicams iekārtu izvēlēties pamatojoties uz iekārtu tirgus datiem, atbilstoši izvēloties populārākā iekārtu ražotāja galiekārtu, tādu, kas atbalsta visas, uz izvēles brīdi jaunākās tehnoloģijas.

## 2. MĒRĪJUMU VIETAS UN MĒRĪJUMU APARATŪRAS IZVIETOJUMA IZVĒLE

Kā jau tika minēts iepriekšējā nodaļā, Eiropas Savienības regulējums paredz noteiktas prasības, kas interneta piekļuves pakalpojuma sniedzējiem jāizpilda, un, kuru izpildi jāuzrauga regulējošām iestādēm [26]. Tomēr nav nedz standartu, nedz rekomendāciju, kas noteiktu ļoti konkrētus mērījumu veikšanas izpildes kritērijus, tai skaitā kritērijus mērījumu aparatūras izvietojumam, veicot mobilā interneta piekļuves pakalpojuma mērījumus [132].

Lielākoties regulējošās iestādes pašas izvēlās kā notiks mobilā interneta piekļuves pakalpojuma mērījumi un kā tie tiks veikti [36]. Ievērojot minēto, secināms, ka katras valsts regulatīvo mērījumu veikšanas apstākļi ir atšķirīgi, un apkopojot dažādu valstu mērījumu rezultātus, nevar viennozīmīgi teikt, ka tie ir salīdzināmi.

Pat izmantojot vienādus mērīšanas rīkus un vienotu mērījumu serveri, bet nosakot dažādus mērījumu aparatūras izvietojuma kritērijus, vai nenosakot tos vispār, rezultātā iegūtie mērījumu rezultāti var nebūt salīdzināmi.

Līdz ar to šajā promocijas darba nodaļā tika ietverts pētījums, kura ietvaros tika analizēta mērījumu iekārtu izvietojuma ietekme uz mērījumu rezultātiem, veikta rezultātu matemātiskā apstrāde, izvirzīti secinājumi un doti priekšlikumi par nosacījumiem, kādi jāizvirza attiecībā uz mērījumu ģeogrāfisko vietu un iekārtu izvietošanu, kas būtu pielietojami praktisko mērījumu veikšanai, nodrošinot visu veikto mērījumu salīdzināmību.

Ievērojot dažādus iespējamus mērījumu veidus, kas tika aprakstīti 1.4. apakšnodaļā, veicot pētījumu bija nepieciešams noteikt kritērijus katram no tiem, jo mērījumu apstākļi atšķiras atkarībā no mērījumu veida. Tādējādi, tika izskatīti interneta piekļuves pakalpojuma mērījumi iekštelpās un ārtelpās, tai skaitā attiecībā uz iekārtu izvietojumu iekštelpās, transportlīdzeklī un transportlīdzekļa izvietojums ģeogrāfiskā vietā.

Lielākoties mērījumu iekārtām, lai ilgstoši veiktu mērījumus, nepieciešami tādi apstākļi, kuru ietvaros mērījumu iekārtas ir pasargātas no apkartējas vides un iekārtām ir nodrošināta elektrobarošana. Norādāms, ka mērījumu aparatūras ražotāji samērā bieži paredz ne tikai vienu iekārtu mērījumu veikšanai, bet savstarpēji savienotus iekārtu blokus [109]. Tā, piemēram, lai varētu veikt mērījumus no galalietotāja skatupunkta, būtu jāizmanto galalietotājam paredzētas iekārtas, kas mobila interneta piekļuves pakalpojuma gadījumā būtu vai nu mobilā iekārta, t.i. mobilais telefons vai viedtālrunis, vai speciālais modems. Ievērojot, ka tāda iekārta nav speciāli pielāgota mērījumiem, tās darbībai, lai nodrošinātu pakalpojuma kvalitātes vai signāla mērījumus, ir nepieciešama arī vadības vai uzraudzības iekārta, kuras izvietošanai parasti arī ir nepieciešama vieta, kurā tiek nodrošināts elektrobarošanas pieslēgums. Papildus norādāms, ka ja iekārta tiek atstāta bez uzraudzības, piemēram, ilgstošu mērījumu veikšanai, tai jābūt pasargātai no bojājumu vai zādzības iespējas. Ievērojot minēto, pētījuma ietvaros tika apskatītas tikai tādas mērījumu iekārtu izvietojuma vietas, kas ļauj nodrošināt mēriekārtu aizsardzību, apsardzi un elektrobarošanu, tādējādi reducējot iespējamās mērījumu vietas uz vietām iekštelpās un transportlīdzeklī.



## 2.1. Mērījumu lokācijas noteikšana mērījumiem iekštelpās

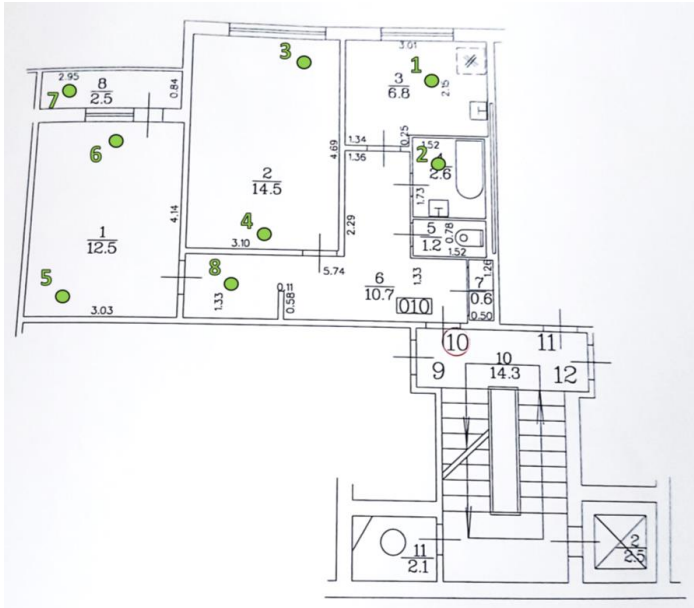
Nepārtraukto, vairāku diennakts garumā nodrošināto, regulatīvo mērījumu veikšanai, nepieciešams iekārtas izvietot iekštelpās, kur ir gan pieeja patstāvīgai elektrobarošanai, gan mērījumu iekārtas ir pasargātas no ārējiem faktoriem, tādiem kā laikapstākļi, zādzības un citiem [126].

Mobilo tīklu operatori nevar garantēt konkrētu pakalpojumu kvalitāti iekštelpās, ja konkrētās iekštelpās iepriekš nebija veiktas darbības, lai pieejamo kvalitāti novērtētu. Nav iespējams pārbaudīt signāla pieejamību katrā valsts ēkā un katrā tās telpā. Tam par iemeslu ir ne tikai komersanta nodrošinātais signāla pārklājums, bet ārējie faktori, kas minēti šī darba pirmajā nodaļā, kuru rašanās iemels ir materiāli no kuriem ēka ir izgatavota, vai, kas ir pielietoti iekštelpu apdarē [107]. Pat zinot materiālus no kura ēka ir izgatavota, un veicot sarežģītākas simulācijas, nevar paredzēt kādi materiāli izmantoti iekštelpās, tai skaitā kabeļu un citu elementu, kas var ietekmēt mobilo signālu, daudzumu un izvietojumu.

Jāvērš uzmanība uz Latvijas Republikas regulējumu, kas nenosaka mobilo elektronisko sakaru tīklu gadījumā, izņemot pakalpojuma sniegšanu fiksētā ģeogrāfiskā vietā, minimālo interneta piekļuves pakalpojuma kvalitāti, nosakot tikai prasības attiecībā uz maksimālo, jeb reklamēto interneta piekļuves pakalpojuma lejupielādes un augšupielādes ātrumu [121], [122]. Runājot par Eiropas savienības regulējumu, tas ir pat mazāk prasošs un nosaka tikai prasības attiecībā uz sagaidāmo maksimālo lejupielādes un augšupielādes ātrumu mobilā elektronisko sakaru tīklā [26].

Tomēr gadījumā, kad mobilais interneta pakalpojums tiek nodrošināts fiksēta vietā, piemēram, izmantojot mobilo modemu, līgumā iekļaujot pakalpojuma sniegšanas adresi, Latvijas Republikas regulējuma prasības ir līdzvērtīgas prasībām pret fiksēto tīklu, un arī veicot Regulatīvos mērījumus ir svarīgi apzināties, un nepieciešamības gadījumā ņemt vērā iekārtu izvietojumu telpā, lai nodrošinātu salīdzināmus un pamatotus mērījumus, līdz ar to jābūt izvirzītiem arī mēraparatūras izvietojuma kritērijiem. Līdz ar iepriekš minēto, šajā apakšnodaļā tiek izklāstīts veiktais pētījums par iespējamām signāla un *QoS* parametru vērtību izmaiņām atkarībā no aparatūras izvietojuma telpā.

Lai konstatētu iespējamās signāla un *QoS* parametru vērtību izmaiņas telpā, tika veikti mērījumi izvietojot mērījumu iekārtas viena dzīvokļa, kas atrodas dzelzsbetona deviņu stāvu ēkā, teritorijā. Telpas plānu un mērījumu vietu izvietojumu var redzēt 2.1. attēlā. Norādāms, ka visi pārējie mērījumu veikšanas apstākļi, izņemot vietu telpā, bija nemainīgi, tai skaitā iekārtu izvietojuma augstums.



2.1. att. Iekštelpu mērījumu vietu izvietojums, kur uz telpas plāna norādīti punkti, kuros veikti mērījumi.

2.1. tabulā ir apkopotas mērījumu iekštelpās rezultātu statistikās vērtības, kur var novērot signāla un  $QoS$  parametru vērtību izmaiņu atbilstoši mērījumu vietai. Tabulā var redzēt, ka signāla parametru vērtības ir labas vietā, kas ir tuvākas logiem un sliktākas vietās, kas ir atdalītas ar starpsienām vai atrodas tālāk no loga. Tas var būt atkarīgs no konkrētas telpas, jeb šajā gadījumā – istabas, kā jau iepriekš aprakstīts – telpu konstruktīvo īpašību dēļ, kā arī bāzes stacijas novietojuma un signāla izplatības virziena dēļ [8], [132].

Tomēr, attiecībā uz pakalpojuma kvalitātes parametriem rezultāti nav tik viennozīmīgi, un vietās, kur signāla parametri ir sliktākie, bija novēroti labi  $QoS$  parametru mērījumu rezultāti. Šis novērojums ir skaidrojams ar to, ka tieši 8.vietā mērījumu iekārta bija divu bāzes staciju pārklājuma zonā, un balstoties uz signāla parametriem, savienojums notika ar citu bāzes staciju, atšķirībā no visām pārējām mērījumu vietām telpās. No tā izriet secinājums, ka izvēloties mērījumu veikšanas vietu iekštelpās, svarīgi analizēt ne tikai signāla parametru vērtības, bet vienlaicīgi arī bāzes staciju, šūnu un frekvenču diapazonu, ar kuru notiek savienojums pakalpojuma saņemšanai. Tādējādi, gadījumā ja vienas telpas ietvaros ir konstatēts, ka atkarībā no izvietojuma mērījumu iekārta izveido savienojumu ar dažādām bāzes stacijām vai šūnām, būtu jāveic arī testa mērījumi  $QoS$  parametriem, lai konstatētu labāku izvietojuma vietu, ja tas nepieciešams un iespējams.

2.1. tabula

Praktisko mērījumu rezultāti, salīdzinot  $QoS$  un signāla parametru vērtības, mērījumiem, kas veikti atrodies dažādās vietās telpā.

Parametrs	$RSRP$ , dBm			$RSSI$ , dBm			$RSRQ$ , dB		
Vieta	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
1	-93,13	-96,00	5,24	-93,13	-97,00	5,15	-10,27	-10,00	1,33
2	-93,73	-94,00	0,70	-94,33	-95,00	0,98	-12,93	-13,00	0,80
3	-91,80	-97,00	7,08	-91,00	-95,00	6,46	-10,60	-10,00	1,50
4	-91,53	-92,00	0,74	-92,07	-93,00	1,03	-12,13	-13,00	1,46
5	-94,13	-91,00	6,76	-94,47	-91,00	6,74	-10,13	-10,00	1,60
6	-93,67	-91,00	5,14	-94,87	-91,00	6,16	-10,80	-10,00	2,40
7	-86,47	-84,00	5,41	-87,13	-85,00	5,32	-10,60	-10,00	1,50
8	-101,60	-106,00	8,53	-102,20	-107,00	8,61	-9,53	-9,00	1,73
Parametrs	$CQI$			Lejupielādes ātrums, Mbit/s			Augšupielādes ātrums, Mbit/s		
Vieta	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
1	8,87	9,00	2,17	28,14	31,60	15,24	11,38	10,91	1,38
2	9,33	10,00	2,77	15,39	14,00	8,29	3,31	3,64	2,16
3	8,47	9,00	1,41	23,35	21,57	9,36	9,67	9,05	1,19
4	8,80	9,00	2,14	20,77	20,66	5,17	5,68	5,93	2,02
5	10,60	11,00	2,75	13,74	13,32	4,13	6,98	7,13	1,53
6	9,47	9,00	2,39	14,52	12,73	2,67	9,27	8,70	1,46
7	9,33	10,00	1,40	17,91	18,96	5,18	11,21	8,81	3,78
8	9,93	10,00	1,79	25,55	27,05	14,66	7,05	7,35	1,78
Parametrs	Latentums, ms			Trīce, ms			Pakešu zuduma koef. %		
Vieta	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais		
1	124,00	121,00	5,34	22,60	19,00	9,24	0,00		
2	124,40	120,00	9,34	16,20	16,00	2,49	0,00		
3	123,40	127,00	9,71	23,60	22,00	8,11	0,00		
4	118,40	119,00	11,04	21,00	17,00	13,77	0,00		
5	126,40	128,00	10,09	23,80	18,00	13,20	0,00		
6	121,40	124,00	5,59	21,60	18,00	9,02	0,00		
7	127,00	123,00	9,35	26,40	23,00	12,34	0,00		
8	121,80	124,00	4,49	18,80	16,00	5,93	0,00		

Lai izvērtētu iespējamās signāla un  $QoS$  parametru izmaiņas atkarībā no vietas ēkā atrašanās augstuma, tajā pašā ēkā, atrodies kāpņu telpā tika veikti mērījumi katrā stāvā, kur augstuma atšķirība starp mērījumu vietām sastādīja aptuveni 3 metrus, bet pārējie mērījumu parametri bija nemainīgi. Mērījumu rezultātu statistiskās vērtības ir apkopotas 2.2. tabulā.

2.2. tabula

Praktisko mērijumu rezultāti, salīdzinot *QoS* un signāla parametru vērtības, mērijumiem, kas veikti atrodies dažādos vienas ēkas stāvos.

Parametrs	<i>RSRP</i> , dBm			<i>RSSI</i> , dBm			<i>RSRQ</i> , dB		
Stāvs	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
1	-104,73	-105,00	3,06	-105,93	-107,00	3,28	-12,67	-12,00	1,91
2	-105,93	-106,00	2,02	-105,27	-105,00	2,37	-12,67	-12,00	1,72
3	-108,67	-109,00	1,45	-108,60	-109,00	1,88	-12,73	-12,00	1,33
4	-91,33	-91,00	2,74	-92,20	-91,00	3,19	-12,80	-13,00	1,21
5	-98,13	-101,00	5,04	-98,60	-101,00	4,29	-10,60	-10,00	1,24
6	-95,33	-96,00	1,45	-95,27	-95,00	1,67	-12,87	-13,00	0,92
7	-96,07	-96,00	2,25	-96,73	-97,00	1,67	-12,47	-12,00	0,92
8	-94,40	-94,00	1,92	-94,60	-93,00	2,16	-13,47	-13,00	1,06
9	-97,93	-97,00	1,49	-98,87	-99,00	1,60	-12,87	-13,00	0,35
Parametrs	<i>CQI</i>			Lejupielādes ātrums, Mbit/s			Augšupielādes ātrums, Mbit/s		
Stāvs	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
1	7,67	8,00	1,23	14,62	13,40	6,16	4,89	3,71	2,53
2	7,13	7,00	1,25	10,55	10,30	2,30	7,11	6,43	2,63
3	7,33	8,00	1,35	12,24	11,10	5,40	8,63	8,70	0,18
4	8,47	8,00	1,77	12,84	10,07	6,98	6,20	7,85	3,36
5	10,73	10,00	2,12	13,41	14,97	3,24	6,19	6,87	2,74
6	7,27	7,00	0,88	8,42	9,01	3,19	6,14	8,41	4,21
7	8,53	7,00	2,56	3,68	4,06	0,77	3,79	4,45	2,18
8	8,33	8,00	1,63	27,39	37,10	16,53	3,79	3,24	2,02
9	7,93	8,00	1,87	24,37	20,22	16,54	2,10	1,09	2,34
Parametrs	Latentums, ms			Trīce, ms			Pakešu zuduma koef. %		
Stāvs	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais		
1	122,20	121,00	4,82	17,40	15,00	4,16	0,00		
2	130,40	130,00	5,59	21,00	19,00	4,74	0,00		
3	129,40	128,00	3,44	22,60	21,00	8,32	0,00		
4	123,00	122,00	2,00	18,20	18,00	3,11	0,00		
5	127,40	130,00	7,44	19,00	19,00	6,75	0,00		
6	133,40	132,00	10,95	19,60	19,00	6,73	0,00		
7	128,20	128,00	3,63	17,40	17,00	3,21	0,00		
8	119,20	117,00	4,92	17,00	17,00	3,61	0,00		
9	122,80	125,00	7,09	18,60	15,00	7,80	0,00		

Apkopojot 2.2. tabulā redzamos rezultātus var secināt, ka zemākajos stāvos signāla parametri ir sliktāki, līdz ar to zemākos stāvos novērojamas arī *QoS* vērtību sliktākie rezultāti. Aptuveni starp sesto un septīto stāvu novērojamas gan signāla, gan *QoS* parametru vērtību pasliktināšanās, kas skaidrojams ar to, ka ēkai tiešā tuvumā atrodas mežs, kur koku vainagu augstums ir ēkas aptuveni sestā un septītā stāva augstumā, līdz ar ko fizikālu parādību, tai skaitā atstarojuma un interferences, rezultātā ir novērojams kvalitātes kritums [132]. Var novērot arī lielāku vērtību izkliedi, kas norāda uz mazāku signāla un sniegtā pakalpojuma kvalitātes parametru stabilitāti.

Šajā apakšnodaļā minētie skaitliskie rezultāti ir attiecināmi tikai uz konkrētu ēku, un citās ēkās mērījumu rezultāti būs atkarīgi, no ārējiem parametriem, tai skaitā ēkas materiāliem un tuvumā esošās apbūves, koku un citu ainavu elementiem. Līdz ar to iekārtu izvietojums katrā telpā būtu vērtējams individuāli, un regulatīvo mērījumu ideālā gadījumā, publicējot rezultātus, būtu norādāmi mērījumu laikā konstatēto signāla parametru vērtības mērījumu vietā. Tomēr secināms, kā pat vienā istabā, kas ir samērā maza telpa, signāla un saņemtā pakalpojuma kvalitātes parametri var atšķirties, ja iekārtas izvietotas pat dažu metru attālumā.

## 2.2. Mērījumu lokācijas noteikšana mērījumiem ārtelpās

Ārtelpu mērījumi sevī iekļaus mērījumus, kad signāla uztvērējs atrodas ārpus telpas, transportlīdzekļa vai citas aizsargājošās konstrukcijas. Mērījumi, kas veikti transportlīdzeklī, kad uztvērējs atrodas transportlīdzeklī, šī darba ietvaros tiek uzskatīts par atsevišķu mērījumu veidu, kas nav attiecināms pie ārtelpu mērījumiem [80], [132]. Detalizētāk par mērījumu iekārtu izvietošana autotransportlīdzeklī ir aprakstīts darba nākamajā apakšnodaļā.

Tādus mērījumus ir iespējams veikt vai nu izvietojot mērījumu iekārtu ārējā vidē, kas būtiski iespējams iekārtas aizsardzību pret ārējām ietekmēm, vai nu izmantojot ārējo antenu, kas savienota ar mērījumu aparatūru, kas atrodas telpās vai transportlīdzeklī.

Tomēr, kā jau minēts iepriekš, ārējas antenas pievienošana mērījumu veikšanai būtu galalietotājam piemēroto apstākļu neievērošana, gadījumā, ja tiek vērtēta pakalpojuma kvalitāte standarta galalietotāja pakalpojuma saņemšanas apstākļiem. Izņēmumu varētu sastādīt gadījumi, kuru ietvaros notiek sūdzību izskatīšana, vai kad tiek vērtēta pakalpojumu kvalitāte tieši ārtelpās, piemēram, mērījumu kustībā gadījumā, kad mērījumi nenotiek transportlīdzeklī [31].

Ārtelpu mērījumi var dod iespēju izvērtēt pārklājuma simulāciju faktiskos rezultātus, līdz ar to veicot ārtelpu mērījumus, būtu jānodrošina, ka iekārta atrodas 1,5 metru augstumā no zemes, kas būtu nepieciešams lai izpildītu simulāciju pamata uzstādījumus [52]. Ievērojot apkartējas vides izmaiņas, obligāti būtu jānodrošina *GPS* lokācijas fiksācija, lai mērījumu vieta būtu attēlojama kartē, jo citi ģeogrāfiskās atrašanās vietas fiksācijas veidi nespēj norādīt precīzo mērījumu veikšanas vietu [33], [36].

Ja netiek aprēķināts konkrēts mērījumu daudzums, kas nepieciešams atsevišķu mērījumu sēriju veikšanai, atbilstoši promocijas darba 3. nodaļā minētajam, tad mērījumu vietām būtu vienmērīgi jāpārklāj mērāmās apdzīvotās vietas teritorija, tādējādi, pēc iespējas vienmērīgāk, aptverot visu apdzīvotās vietas teritoriju. Precīzi pozicionēt mērījumu vietu, ja mērījumi tiek

veikti tikai noteiktās vietās, var pamatojoties uz signāla parametriem, izvēloties vietu noteiktā rādiusā, parasti *GPS* kļūdas rādiusā, ar labākiem signāla parametriem, kā aprakstīts zemāk šajā apakšnodaļā.

Ārtelpu mērījumi var būt nepieciešami arī gadījumā, ja nepieciešams izvērtēt mobilā signāla pieejamību un kvalitāti uz autoceļiem, kopsakarā ar projektiem, kas skar visu nākotnes transportlīdzekļu savienošanu vienā *IoT* tīklā. Šajā gadījumā, paredzēts, ka uztvērējs ir izvietots uz transportlīdzekļa jumta, tādējādi pārbaudot funkcionalitātes pieejamību, līdz ar ko mērījumi veicami apstākļos, kādos ir nodrošināti ārtelpu mērījumi [132]. Šajā gadījumā uztvērējs būtu jānovieto vietā, kur paredzēts uztvērēja, kas nodrošina *IoT* funkcionalitāti, izvietošana [91].

Lai novērtētu, kā var atšķirties mērījumu rezultāti iekštelpu un ārtelpu gadījumā, tika veikts praktiskais eksperiments, kur ar viena modeļa iekārtu, izmantojot *G-Net Track Pro* programatūru, veikti mērījumi vienas bāzes stacijas pārklājuma zonā, tai skaitā vienas šūnas ietvaros, atrodoties ēkas starp konstrukcijas ārtelpu un iekštelpu pusē.

Izvērtējot atšķirības starp ārtelpu un iekštelpu mērījumu rezultātiem, konstatēts, ka atdoties ēkā un ārpus ēkas, tuvā attālumā, kur pa vidu ir starpsiena/logs, mērījumu rezultāti, var būtiski atšķirties, kas redzams arī pētījumā, kura rezultāti parādīti 2.3. tabulā.

2.3. tabula

Praktisko mērījumu rezultāti, salīdzinot *QoS* un signāla parametru vērtības, mērījumiem, kas veikti atrodies ārtelpās un iekštelpās, divās starpsienas pusēs.

Parametrs	<i>RSRP</i> , dBm			<i>RSSI</i> , dBm			<i>RSRQ</i> , dB		
Vieta	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
Pie loga iekštelpās	-100,13	-100,00	0,73	-101,20	-101,00	0,61	-12,33	-12,50	1,06
Pie loga ārtelpās	-91,10	-91,00	1,03	-91,80	-91,00	1,00	-10,20	-10,00	0,66
Pie sienas iekštelpās	-106,60	-106,00	2,31	-107,13	-107,00	1,89	-9,70	-10,00	0,65
Pie sienas ārtelpās	-87,40	-90,00	4,83	-87,87	-91,00	4,89	-10,97	-10,00	1,69
Parametrs	<i>CQI</i>			Lejupielādes ātrums, Mbit/s			Augšupielādes ātrums, Mbit/s		
Vieta	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
Pie loga iekštelpās	7,73	8,00	1,66	9,68	8,76	4,84	5,18	5,98	2,72
Pie loga ārtelpās	9,20	9,00	2,11	20,87	22,54	6,45	10,08	8,81	2,21
Pie sienas iekštelpās	9,33	9,00	1,75	11,22	10,75	3,55	2,31	1,82	1,86
Pie sienas ārtelpās	9,57	9,00	1,99	13,83	13,31	3,21	10,12	9,11	4,75

Parametrs	Latentums, ms			Trīce, ms			Pakešu zuduma koef. %
	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	
Pie loga iekšelpās	131,30	131,00	6,45	21,70	22,50	6,86	0,00
Pie loga ārtelpās	126,90	126,00	6,97	17,30	15,50	7,17	0,00
Pie sienas iekšelpās	130,70	131,50	6,72	14,80	15,00	3,26	0,00
Pie sienas ārtelpās	133,70	135,50	9,48	20,20	17,50	7,80	0,00

Papildus norādāms, ka mērījumi veikti vienas ēkas pretējos galos, vienas bāzes stacijas un vienas šīs bāzes stacijas sūnas ietvaros, līdz ar ko no praktiskiem rezultātiem var novērot arī ārējo faktoru ietekmi uz mērījumu rezultātiem, tas ir pašas ēkas, un tajā esošo materiālu un elementu, blakus esošo koku, ēku un citu faktoru ietekmi uz mērījumu rezultātu stabilitāti. Tādējādi gadījumā, kad veikti mērījumi, kas tabulā identificējami kā “pie sienas ārtelpās” ir novērojama lielāka standarta deviācija jeb standarta novirze, sekojoši lielāka rezultātu novirze no vidēja mērījumu rezultāta, kam par iemeslu ir tuvumā esošā mežs, un fizikālie efekti, kas rodas tā iespaidā.

2.3. tabulā var novērot, ka iekštelņu mērījumu gadījumā, eksperimentāli veicot praktiskos mērījumus, sasniedzamie ātrumi ir zemāki iekštelņu mērījumu gadījumā, kas izpaužas arī signāla līmeņa un *RSSI* vērtību lielumos, un viennozīmīgi parāda, ka šķērslis, kas šajā gadījumā bija armēta betona siena vai logs, ietekmē iekārtas uztvertā signāla stiprumu un kvalitāti. Eksperimenta ietvaros, pakešu zudumi nebija piefiksēti, jeb bija vienādi ar nulli, tāpēc arī 2.3. tabulā netika plaši izskatīti.

Katrā konkrētā gadījumā, katrā konkrētā vietā, mērījumu rezultāti atšķirsies, jo tos iespaidos ne tikai minēti ārējie faktori, bet arī tādi faktori, kā starpsienas, vai starplikas materiāls, to biežums, telpu iekšējā apdare, tāpēc teorētiski gandrīz nav iespējams paredzēt iekštelņu mērījumu rezultātus, vai arī var teikt, ka informācijas daudzums, kas nepieciešams simulācijai, būtu neadekvāti liels, un grūti apkopojams. Tāpēc vienīgā iespēja izzināt atšķirību starp pieejamā pakalpojuma kvalitāti konkrētā ēkā vai ēkas daļā ir veicot praktiskos mērījumus. Sekojoši papildus var izdarīt secinājumu, ka regulējuma ietvaros, mobilā interneta piekļuves pakalpojuma gadījumā, būtu jāparedz iespēja galalietotājam pirms līguma par pakalpojuma sniegšanu noslēgšanas, nodrošināt iespēju pārbaudīt vai pakalpojums ir pieejams šī galalietotāja dzīvesvietā. Arī Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas statistika liecina, ka liels sūdzību skaits tiek saņemts tieši par konkrētā vietā pieejamo interneta piekļuves pakalpojuma kvalitāti [116], [117], [118], [119].

### 2.3. Mērījumu iekārtu izvietojums mērījumu veikšanai transportlīdzeklī

Kaut gan mērījumi, kas veikti atrodoties kustībā esošā vai stāvošā transportlīdzeklī – parasti automobilī, ir samērā izplatīti radiofrekvenču spektra mērījumu ietvaros, tomēr uz doto brīdi tikai aptuveni desmit Eiropas regulējošās iestādes veic tādus mērījumus interneta piekļuves pakalpojuma *QoS* parametru uzraudzībai, bet to skaits pakāpeniski pieaug. Turklāt konstatēts, ka visās no minētam valstīm mērījumi automašīnā ir realizēti pilnīgi dažādi, izmantojot dažādus rīkus, pie dažādiem parametriem, un ar dažādu mērījumu iekārtu izvietojumu [10], [31], [33], [35], [36], [132], [136].

Viens no iemesliem, kāpēc *QoS* mērījumi transportlīdzeklī mazāk izplatīti, ir tas, ka mērījumu sistēmu ražotāji lielākoties orientējās uz radiofrekvenču spektra mērījumiem, tāpēc viņu ražotie rīki nav piemērojami, nedz no galalietotāju skata punkta, nedz mērījumiem fiksētā tīklā. Līdz ar to, lai regulējošā iestāde varētu pildīt visas funkcijas, tai būtu jāiegādājas vairāki rīki, kas būtu gan dārgi, gan nevarētu nodrošināt visu rezultātu vieglu apkopojumu un reizēm arī salīdzināmību [31], [33], [35], [36].

Ievērojot pieprasījumu pēc *drive test* mērījumiem, īpaši kopsakarā ar ceļu maģistrāļu projektiem, kur vienīgā mērījumu iespēja veikt *QoS* mērījumus ir *drive test* mērījumi, interese šādam mērījumu veidam sāk pieaugt. Tādu mērījumu veikšanā ir ieinteresētas gan regulatīvās iestādes, gan pakalpojumu sniedzēji, kas mērījumu rezultātus var izmantot publiskajos iepirkumos [28], [36]. Tomēr līdz šim brīdim nav izstrādātas nedz rekomendācijas, nedz vadlīnijas, pēc kurām varētu vadīties, lai veiktu praktiskos mērījumus ar mērījumu rīku, kas tādus mērījumus atbalsta.

Norādāms, ka mērījumu rīku un risinājumu ražotāji jau primāri izvirza prasības un nosacījumus rīka izmantošanai, piemēram, tādus kā transportlīdzekļa maksimālais ātrums, tomēr daudzas svarīgas lietas attiecībā uz mērījumu veikšanas procesu, kā piemēram iekārtu izvietojums, netiek noteiktas no ražotāja puses [31], [109].

Turpretī, iekārtu izvietojumu transportlīdzeklī iespaido dažādi faktori, tai skaitā konstrukcija, materiāli un pat transportlīdzekļa komplektācija, tāpēc ir svarīgi noteikt universālus kritērijus mērījumu aparatūras, precīzāk – signāla uztvērēja un raidītāja, izvietojumam transportlīdzeklī, ņemot vērā transportlīdzekļus un to konfigurāciju dažādību [33].

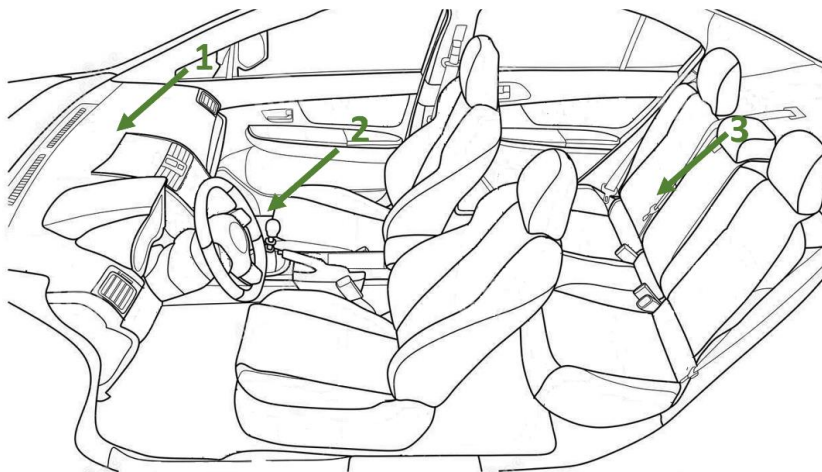
Šīm iemeslam, promocijas darba ietvaros tika veikti praktiski mērījumi dažādos automašīnu modeļos, lai noteiktu labākus kritērijus iekārtu izvietojumam. Rezultāti piemērojami ne tikai *drive-test* mērījumiem, bet arī mērījumiem uz vietas stāvošā transportlīdzeklī.

Pētījums bija veikts attiecībā uz mērījumiem, kad signāla uztvērējs un/vai raidītājs netiek izvietots ārpus automašīnas. Galalietotāji lielākoties izmantot mobilo tīklu uztverošās iekārtās, piemēram, viedtālrunis, transportlīdzeklī, bez papildus pastiprinātāja, vai uztvērēja antenas ārpus transportlīdzekļa virsbūves, līdz ar ko, lai precīzāk simulētu galalietotāja parastus lietošanas paradumus, ieteicams arī mērījumus veikt pie līdzīgiem apstākļiem [132].

Eksperimenta ietvaros tika izvēlētas trīs dažādās vietas automašīnā, kur praktiski varētu atrasties mērījumu aparatūra, tādā veidā, lai šīs vietas būtu sasniedzamas autovadītājam, kurš



būtu mērījumu procesu uzraugošā persona un netraucētu transportlīdzekļa vadīšanai. Norādāms, ka vairāki rīki paredz, ka signāla uztvērējs/raidītājs ir atsevišķa vienība, līdz ar to praktiski šī iekārta var atrasties arī uz automašīnas grīdas, tādējādi taupot vietu, līdz ar ko tika pārbaudīts vai tāda iekārta izvietošana ir pieņemama no sasniedzamo rezultātu skatu punkta. Pētāmo mērījumu vietu izvietojumu var redzēt 2.2. attēlā.



2.2. att. Mērījumu vietu izvietojums automašīnā. Automašīnas salona shematiskā zīmējumā norādīti punkti, kuros veikti mērījumi: 1) uz automašīnas priekšēja paneļa; 2) uz automašīnas priekšēja pasažieru sēdekļa grīdas; 3) uz aizmugurēja pasažieru sēdekļa logu augstumā.

Katrā 2.2. attēlā definētā mērījumu vietā bija veikti desmit testa mērījumi. Lai noteiktu vai mērījumu rezultātu tendences ir raksturīgas mērījumiem, neatkarīgi no automašīnas modeļa, mērījumi bija atkārtoti divos automašīnu modeļos. Viena automašīna ir vecāka, tai ir zemāka komplektācija, mazāks izmērs un augstums, tad kad otra automašīna ir jaunāka, augtākas komplektācijas, liela izmēra un augstuma. Mērījumu rezultāti ir redzami 2.4. un 2.5. tabulā.

2.4. tabula

Praktisko mērījumu, kas veikti automašīnā *Renault Clio* (2003), rezultāti.

Parametrs	RSRP, dBm			RSSI, dBm			RSRQ, dB		
	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
1	-94,10	-94,00	1,27	-94,53	-95,00	1,14	-9,47	-10,00	1,07
2	-99,67	-100,00	2,11	-100,07	-101,00	2,15	-9,90	-10,00	1,12
3	-94,43	-94,00	1,07	-94,67	-95,00	1,18	-9,70	-10,00	1,09
Parametrs	CQI			Lejupielādes ātrums, Mbit/s			Augšupielādes ātrums, Mbit/s		

Vieta	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
1	7,83	7,00	1,64	40,73	44,09	19,06	15,38	16,51	2,23
2	7,60	7,00	1,25	29,53	26,58	12,34	10,01	9,55	1,51
3	8,97	8,50	1,88	35,45	39,84	22,93	6,80	7,80	2,24
Parametrs	Latentums, ms			Trīce, ms			Pakešu zuduma koef. %		
Vieta	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais		
1	129,20	128,00	6,80	15,30	16,00	2,16	0,00		
2	133,30	134,00	5,76	15,20	13,00	6,09	0,00		
3	132,10	132,50	7,84	16,90	14,50	7,67	0,00		

2.4. tabulā novērojami rezultāti mērījumiem, kas veikti vecākā, līdz ar to arī būtiski mazāk aprīkotā automašīnā, kuras grīdas augstums virs zemes līmeņa ir mazs – aptuveni 12 cm un mašīnas jumts atrodas 142 cm augstumā, līdz ar ko izvietojot iekārtas tādā mašīnā paredzams, ka mērījumu iekārtas ir izvietotas zemāk, bet mazākas funkcionalitātes dēļ, automašīnā nav daudz devēju un citu komplicētu sistēmu, kas varētu ietekmēt signāla izplatību.

No 2.4. tabulā redzamiem aprēķinātiem datiem, seko ka signāla stiprums un kvalitāte ir labāka gadījumā, kad signāla uztvērējs izvietots automašīnas priekšēja paneļa augstumā, pie vējstikla. Sliktākie signāla parametri ir novērojami gadījumā, kad iekārtas izvietotas priekšējā pasažiera sēdekļa vietā, kur *RSRP*, *RSSI* vērtības ir zemākas, nekā pirmo mērījumu gadījumā par aptuveni 6 %.

Kvalitātes parametri ir būtiski labāki mērījumu pirmā vietā, nodrošinot lejupielādes un augšupielādes ātrumu vērtības aptuveni par 5 Mbit/s lielākas nekā 3. mērījumu vietā, un aptuveni par 10 Mbit/s lielākas salīdzinot ar 2. vietu. Izņēmums ir trīces vērtības, kur novērojams, ka trīce 2. mērījumu vietā bija zema, bet ievērojot samērā mazu veikto mērījumu skaitu, lai nodrošinātu mērījumus visās vietās noteiktā laika posmā, un attiecināti lielu standarta deviāciju šim parametram, var secināt, ka tāds rezultāts varētu būt laika nobīdes starp mērījumiem un citu ārējo faktoru dēļ, jo kā ir novērots arī citos darbā aprakstītos mērījumos, trīces vērtības nav stabilas, un tās var ietekmēt daudzi faktori.

Lai veiktu secinājumus par labāku iekārtu izvietojumu, mērījumi tika veikti citā automobilī, kurām ir citi gan izmēra, gan tehniskie parametri, un šo mērījumu rezultātu statistiskus raksturlielumus var redzēt 2.5. tabulā. Šī automobiļa grīdas augstums virs zemes sastāda 20 cm, un mašīnas jumta līmenis ir 169 cm augstumā, līdz ar ko, ievērojot arī salona elementus, mērījumu iekārtas ir iespējams izvietot lielākā augstumā, bet devēju un dažādu elektronisko sistēmu skaits šajā automobilī ir būtiski lielāks, salīdzinot ar iepriekš apskatīto automobili.

Praktisko mērījumu, kas veikti automašīnā *Skoda Kodiaq* (2017), rezultāti.

Parametrs	<i>RSRP</i> , dBm			<i>RSSI</i> , dBm			<i>RSRQ</i> , dB		
Vieta	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
1	-86,37	-87,00	3,39	-86,87	-87,00	2,87	-8,97	-9,00	1,71
2	-84,37	-81,00	6,78	-85,27	-83,00	7,06	-10,90	-10,50	1,75
3	-94,93	-95,00	1,17	-95,60	-95,00	1,07	-9,13	-10,00	1,31
Parametrs	<i>CQI</i>			Lejupielādes ātrums, Mbit/s			Augšupielādes ātrums, Mbit/s		
Vieta	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
1	10,87	10,50	2,37	23,87	19,70	10,04	14,12	15,29	3,17
2	11,73	12,00	2,39	23,69	23,72	7,95	7,84	8,65	4,24
3	9,30	9,00	1,90	28,06	27,45	9,39	11,76	10,58	3,26
Parametrs	Latentums, ms			Trīce, ms			Pakešu zuduma koef. %		
Vieta	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais		
1	136,10	138,00	4,15	15,20	14,00	2,82	0,00		
2	140,80	140,50	4,94	19,10	17,50	5,34	0,00		
3	140,50	140,50	4,40	15,00	15,50	3,33	0,00		

Otras automašīnas gadījumā mērījumu rezultāti jau nav tik viennozīmīgi un gadījumā, kad mērījumu iekārtas bija izvietotas 2. vietā signāla parametri, izņemot *RSRQ*, bija labāki, tomēr *QoS* parametri bija sliktāki, nekā citu izvietojuma vietu gadījumā. Sekojoši var secināt, ka kaut gan signāls bija samērā labs, tieši apskatāmā automobilī bija novēroti citi ietekmējošie faktori, kuru rezultātā saņemtā interneta pakalpojuma kvalitāte bija zema, salīdzinot ar interneta pakalpojuma kvalitāti, kas sasniegta citās mērījumu vietās šajā transportlīdzeklī.

No rezultātiem arī novērojams, ka *QoS* mērījumu rezultātu vērtības ir labākas 1. un 3. izvietojuma vietas gadījumā, pie tam daudziem signāla un *QoS* parametriem mediānas vērtība ir tuvākās vidējām tieši 3. mērījumu vietas gadījumā, un 3. vietā rezultātu deviācija bija mazāka, kas norāda uz to, ka mērījumu rezultātu vērtību izkliede ir mazāka.

Var secināt, ka, lai noteiktu labāku mērījumu iekārtu, vai tieši signāla uztvērēja un raidītāja, izvietojuma vietu mērījumiem transportlīdzeklī, ir primāri konkrētā transportlīdzeklī jāveic kontrolmērījumi, uz kuru pamata varēs veikt mēriekārtu izvietojumu. Par noteicošiem parametriem iekārtu izvietojuma novērtējumam var izvirzīt *RSRP* vai *RSSI*, un *RSRQ*, kas gan norāda uz saņemta signāla stiprumu, gan ļauj novērtēt ietekmi un signāla kvalitāti.

Ja kontrolmērījumus nav iespējams veikt, pamatojoties uz vispārīgām, pētījumā laikā novērotām tendencēm, ir secināms, ka mērījumu iekārtas vēlams izvietot uz transportlīdzekļa priekšējā paneļa vai tajā pašā līmenī virs priekšējā pasažiera sēdekļa [132].

## 2.4. Iekštelpu un mērījumu transportlīdzeklī izvērtējums

Regulējošām iestādēm salīdzinot un izvēloties labāku mērījumu veidu, nepieciešams izvērtēt kāds ir mērījumu nolūks un kāds ir izvirzītais mērījumu mērķis, tomēr ierobežoto tehnisko, cilvēku un laika resursu dēļ iestādei var nākties izvēlēties kāds mērījumu veids ir labāk piemērots un atbalsta izvirzītos mērķus.

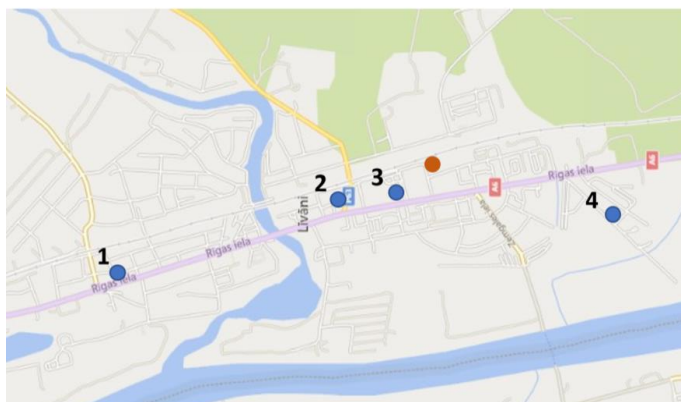
Tādēļ nākamā pētījuma daļas mērķis bija salīdzināt mērījumu rezultātus mērījumiem iekštelpās, kas veikti ilgstošā laika periodā, un izlases mērījumus, kas veikti tajā pašā apdzīvotā punktā, un secināt katra no mērījumu veidiem priekšrocības, trūkumus un izvērtēt to nepieciešamību [132] [136].

Jāvērš uzmanība, ka praktiski abi šajā nodaļā izskatīti mērījumu veidi parasti tiek izmantoti lai novērtētu mobilā interneta piekļuves pakalpojuma kvalitāti noteiktā apdzīvotā vietā.

Mērījumi iekštelpās ilgstošā laikā posmā ļauj novērtēt izmaiņas ilgākā laikā posmā, tomēr ir piesaistīti vienai konkrētai vietai, turklāt mērījumi notiek iekštelpās, kas, kā seko no darba 2.1. un 2.2. apakšnodaļā minētā var nenodrošināt iespēju veikt korektu skaitlisku pakalpojuma kvalitātes novērtējumu ģeogrāfiskā vietā, atbilstošā apdzīvotā punktā. Turpretī izlases mērījumi vairākās ģeogrāfiskās vietās vienā apdzīvotā vietā, kas parasti tiek veikti atrodoties automobilī, ļauj skaidrāk izsekot galalietotājiem pieejamā pakalpojuma kvalitātes vērtībām dažādos apdzīvotas vietas punktos, tomēr neļauj izvērtēt rezultātu izmaiņas ilgākā laikā posmā, jo prasa daudz lielākus cilvēkresursu ieguldījumus, līdz ar ko mērījumu apjoms ir būtiski mazāks [8]. Teorētiski var novērot, ka minētie mērījumu veidi, veicot tos vienlaicīgi, varētu papildināt viens otru.

Lai izvērtētu uz salīdzinātu augstāk minētos mērījumu veidus vienā apdzīvotā punktā, kura iedzīvotāju skaits ir aptuveni 7000 cilvēku, platība – 4,7 km, tika veikti praktiskie interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes un signāla mērījumi trīs mobilo elektronisko sakaru operatoru tīklos. Rezultātā tika veikti aptuveni 2000 mērījumi statiskā vietā iekštelpās, un 20 mērījumi transportlīdzeklī atrodoties apdzīvota punkta četrās dažādās lokācijās.

Attēlā.2.3. var redzēt mērījumu vietu izvietojumu izvēlētajā apdzīvotā punktā, kur ar punktiem zilā krāsā atzīmētas izlases mērījumu vietas un ar sarkanās krāsas punktu – ilgstošu mērījumu vieta iekštelpās.



2.3. att. Mērījumu vietu izvietojums, kur ar punktiem zilā krāsā atzīmētas izlases mērījumu vietas un ar sarkanās krāsas punktu – ilgstošu mērījumu vieta iekštelpās.

Mērījumi rezultāti, katra operatora mobilā elektronisko sakaru tīklā, ir apkopoti 2.6., 2.7 un 2.8. tabulās, kuru ietvaros mērījumi tika veikti izmantojot ITEST mērījumu sistēmu, kas uz mērījumu brīdi bija oficiāla Latvijas interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu sistēma, un līdz ar to, lai automatizētu mērījumu procesu un rezultātu apkopojumu, kā arī lai no mērījumiem izmantotām tīkla iekārtām nolasītu signāla parametrus, tika izmantots paštaisīts programmas kods, kas atrodams šī darba 1. pielikumā.

2.6. tabulā ir redzami rezultāti mērījumiem, kas veikti 1. mobilā operatora tīklā, kur apkopotas katras izlases mērījumu vietas, to apkopojuma un statistiskās mērījumu vietas mērījumu rezultātu statistiskie rezultāti.

2.6. tabula

Mērījumu rezultāti mērījumiem, kas veikti 1. mobilā elektronisko sakaru operatora elektronisko sakaru tīklā.

Parametrs	RSRP, dBm			RSSI, dBm			SINR, dB		
	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
1. izlases vieta	-85,60	-84,00	2,19	-57,80	-57,00	3,03	14,40	14,00	1,52
2. izlases vieta	-102,20	-102,00	0,45	-74,60	-75,00	0,89	17,80	17,00	1,10
3. izlases vieta	-76,00	-76,00	1,00	-51,00	-51,00	0,00	27,60	29,00	2,41
4. izlases vieta	-104,40	-104,00	0,55	-77,80	-77,00	1,10	7,00	8,00	1,87
Izlases vietas kopā	-92,05	-95,00	12,14	-65,30	-67,00	11,61	16,70	16,50	7,77
Statiskā vieta	-102,35	-104,00	6,96	-79,76	-83,00	8,18	11,59	12,00	3,50

Parametrs	RSRQ, dB			Lejupielādes ātrums, Mbit/s			Augšupielādes ātrums, Mbit/s		
Vieta	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
1. izlases vieta	-7,60	-8,00	0,89	23,05	23,52	5,09	31,72	32,43	2,18
2. izlases vieta	-8,20	-8,00	0,45	50,17	50,58	1,75	12,18	12,45	0,73
3. izlases vieta	-6,20	-5,00	2,59	58,35	55,66	10,69	42,28	41,45	1,56
4. izlases vieta	-8,60	-9,00	0,55	18,71	18,94	1,61	3,88	4,00	0,54
Izlases vietas kopā	-7,65	-8,00	1,60	37,57	38,89	18,31	22,52	21,05	15,69
Statiskā vieta	-5,44	-5,00	1,85	23,60	23,22	5,96	11,70	10,51	5,80
Parametrs	Latentums, ms			Trīce, ms			Pakešu zuduma koef., %		
Vieta	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais		
1. izlases vieta	31,60	31,00	3,13	5,40	5,00	0,55	0,00		
2. izlases vieta	23,00	23,00	2,00	3,60	4,00	0,55	0,00		
3. izlases vieta	29,20	30,00	7,36	7,20	7,00	0,84	0,00		
4. izlases vieta	23,00	23,00	1,00	3,80	3,00	1,30	0,00		
Izlases vietas kopā	26,70	25,00	5,45	5,00	5,00	1,69	0,00		
Statiskā vieta	27,67	28,00	2,71	7,02	3,00	6,54	0,04		

No 2.6. tabulā redzamiem mērījumu rezultātiem novērojams, ka gan signāla parametru vērtības, gan *QoS* parametru vērtības būtiski atšķiras gan izlases mērījumu vietās, gan izlases mērījumu un statisko mērījumu iekšējās rezultātiem, kur atšķirība sastāda aptuveni no 4 % līdz 48 %, atkarībā no parametra, kur vislielākā atšķirība novērojama starp augšupielādes ātruma vidējām vērtībām, un mazāka – starp latentuma vidējām vērtībām. Novērojams, ka pie lielākas mērījumu rezultātu vērtību izkliedes, pirmā operatora tīklā ir lielāka arī vidējo vērtību atšķirība starp mērījumiem statiskā un mērījumiem vairākās izlases vietās, kas, ievērojot apkopotus rezultātus, liecina par to, ka mērījumu vērtības dažādās izlases mērījumu ģeogrāfiskās vietās būtiski atšķiras.

2.7. tabulā ir redzami rezultāti mērījumiem, kas veikti 2. mobilā operatora tīklā, kur apkopotas katras izlases mērījumu vietas, to apkopojuma un statiskās mērījumu vietas mērījumu rezultātu statistiskie rezultāti.

2.7. tabula

Mērījumu rezultāti mērījumiem, kas veikti 2. mobilā elektronisko sakaru operatora elektronisko sakaru tīklā.

Parametrs	RSRP, dBm			RSSI, dBm			SINR, dB		
	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
1. izlases vieta	-88,60	-89,00	1,14	-61,80	-61,00	1,10	16,60	17,00	2,61
2. izlases vieta	-85,60	-86,00	0,55	-57,40	-57,00	0,89	15,80	16,00	1,64
3. izlases vieta	-88,40	-89,00	1,95	-61,00	-61,00	1,41	8,80	7,00	3,96
4. izlases vieta	-103,20	-103,00	0,84	-73,40	-73,00	0,89	4,60	5,00	2,07
Izlases vietas kopā	-91,45	-89,00	7,16	-63,40	-61,00	6,24	11,45	13,00	5,69
Statiskā vieta	-96,95	-96,00	2,32	-71,65	-73,00	3,82	10,37	10,00	2,90
Parametrs	RSRQ, dB			Lejupielādes ātrums, Mbit/s			Augšupielādes ātrums, Mbit/s		
Vieta	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
1. izlases vieta	-6,60	-7,00	1,67	46,34	45,96	3,54	34,82	34,15	1,25
2. izlases vieta	-7,20	-7,00	1,48	24,52	24,48	5,52	40,31	40,88	1,31
3. izlases vieta	-7,20	-8,00	1,30	41,74	43,76	4,03	33,32	33,96	1,31
4. izlases vieta	-10,20	-10,00	1,64	37,41	37,26	5,09	8,67	8,67	0,26
Izlases vietas kopā	-7,80	-8,00	2,02	37,50	40,29	9,36	29,28	34,01	12,54
Statiskā vieta	-7,71	-7,00	1,74	41,59	43,20	12,62	18,86	17,08	7,42
Parametrs	Latentums, ms			Trīce, ms			Pakešu zuduma koef., %		
Vieta	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais		
1. izlases vieta	16,20	16,00	0,45	3,40	4,00	1,34	0,00		
2. izlases vieta	16,00	16,00	0,00	2,20	2,00	0,45	0,00		
3. izlases vieta	16,40	16,00	0,55	3,80	4,00	0,84	0,00		
4. izlases vieta	15,40	15,00	0,55	4,20	4,00	1,10	0,00		
Izlases vietas kopā	16,00	16,00	0,56	3,40	3,50	1,19	0,00		
Statiskā vieta	16,33	16,00	0,65	2,10	2,00	1,04	0,00		

Līdzīgi, kā pirmā operatora gadījumā, no 2.7. tabulā redzamiem mērījumu rezultātiem novērojams, ka gan signāla parametru vērtības, gan  $QoS$  parametru vērtības būtiski atšķiras gan izlases mērījumu vietās, gan izlases mērījumu un statisko mērījumu iekšstelpās rezultātiem, kur

atšķirība sastāda aptuveni no 1 % līdz 38 %, atkarībā no parametra, kur vislielākā atšķirība novērojama starp trīces vidējām vērtībām un mazāka – starp *RSRQ* vidējām vērtībām. Tomēr novērojams, ka otra operatora tīklā veikto mērījumu gadījumā, tikai dažu parametru rezultāti būtiski, tas ir vairāk par 10 %, atšķiras, un lielākoties tas bija tāpēc, tāpat ka pirmā operatora mērījumu gadījumā, rezultāti dažādās mērījumu vietās atšķīrās. Sekojoši, kopumā, pie noteiktā mērījumu skaita un tīkla konfigurācijām, no vienā vietā veiktiem mērījumiem ir iespējams secināt par vidēji pieejamo interneta pakalpojuma kvalitāti apdzīvotā vietā. Tomēr vienlaicīgi norādāms, ka ņemot vērā izkliedes rādītāju, ka šis skaitlis neatspoguļos reāli galalietotājiem pieejamā pakalpojuma kvalitāti pat lielākā apdzīvotas vietas daļā.

2.8. tabulā ir redzami rezultāti mērījumiem, kas veikti 3. mobilā operatora tīklā, kur apkopotas katras izlases mērījumu vietas, to apkopojuma un statistiskās mērījumu vietas mērījumu rezultātu statistiskie rezultāti.

2.8. tabula

Mērījumu rezultāti mērījumiem, kas veikti 3. mobilā elektronisko sakaru operatora elektronisko sakaru tīklā.

Parametrs	<i>RSRP</i> , dBm			<i>RSSI</i> , dBm			<i>SINR</i> , dB		
Vieta	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
1. izlases vieta	-83,80	-84,00	0,84	-53,40	-53,00	1,67	-3,80	-5,00	1,64
2. izlases vieta	-87,80	-87,00	1,10	-57,40	-57,00	3,29	17,20	19,00	4,02
3. izlases vieta	-81,40	-81,00	0,55	-53,80	-53,00	3,03	9,60	6,00	5,86
4. izlases vieta	-104,60	-105,00	0,89	-73,00	-73,00	0,00	-1,80	-2,00	1,64
Izlases vietas kopā	-89,40	-86,00	9,34	-59,40	-56,00	8,50	5,30	3,00	9,43
Statiskā vieta	-96,34	-96,00	2,54	-66,66	-67,00	3,53	-0,55	-1,00	4,64
Parametrs	<i>RSRQ</i> , dB			Lejupielādes ātrums, Mbit/s			Augšupielādes ātrums, Mbit/s		
Vieta	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
1. izlases vieta	-11,40	-11,00	0,55	35,00	35,28	3,54	30,26	30,90	3,28
2. izlases vieta	-7,60	-6,00	3,21	69,61	88,55	42,69	30,71	30,03	6,12
3. izlases vieta	-9,40	-13,00	4,93	50,87	54,95	11,75	27,62	27,60	2,08
4. izlases vieta	-11,20	-11,00	0,84	50,39	47,89	9,98	10,44	10,77	0,54
Izlases vietas kopā	-9,90	-11,00	3,16	51,47	45,66	24,39	24,76	27,72	9,19
Statiskā vieta	-10,60	-11,00	2,84	34,88	32,80	21,34	7,80	7,28	3,72
Parametrs	Latentums, ms			Trīce, ms			Pakešu zuduma koef., %		



Vieta	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais
1. izlases vieta	28,00	28,00	0,00	1,80	1,00	1,10	0,00
2. izlases vieta	28,20	28,00	0,84	2,20	2,00	0,45	0,00
3. izlases vieta	36,00	38,00	2,83	4,20	4,00	0,45	0,00
4. izlases vieta	27,80	28,00	0,45	1,60	2,00	0,55	0,00
Izlases vietas kopā	30,00	28,00	3,81	2,45	2,00	1,23	0,00
Statiskā vieta	17,67	17,00	2,27	2,01	2,00	5,42	0,00

Interneta pakalpojuma mērījumi trešā operatora tīklā, bija interesanti ar to, ka visā apdzīvotā vietā bija novērota ļoti liela mērāmo signāla un kvalitātes vērtību izkliede un ļoti liela interference, kas raksturojams ar *SINR* parametru vērtībām, kas vairākās vietās, tai skaitā statiskā mērījumu vietā, bija zemākas par nulli. Rezultātā novērots, ka pie lielākas *SINR* parametra izkļedes, ir arī lielāka atšķirība starp citām un īpaši kvalitātes parametru vērtībām. Izlases mērījumu un statisko mērījumu iekšējās rezultātiem atšķirība sastādīja aptuveni no 7 % līdz 90 %, atkarība no parametra. Vislielākā atšķirība novērojama starp *SINR* vidējām vērtībām, un mazāka – starp *RSRP* vidējām vērtībām, un *QoS* parametru gadījumā nav mazāka par 18 %, izņemot pakešu zuduma koeficientu, kas netika ņemts vērā analizē, jo pakešu zudumi vai nu nav novēroti, vai ir ļoti mazi. Līdz ar to secināms, ka gadījumā, kad signāla parametru vērtības, īpaši *SINR*, ir “sliktas”, atbilstoši darba pirmajā nodaļā aprakstītam, tad nav iespējams aizstāt interneta pakalpojuma *QoS* izlases mērījumus ar mērījumiem statiskā vietā, jo rezultātu izkliede, un līdz ar to arī mērījumu kļūda ir būtiska, un mērījumi nevar atspoguļot galalietotājiem pieejamā pakalpojuma kvalitāti visā apdzīvotā vietā.

No mērījumu rezultātiem secināms, ka sērijveida mērījumi statiskās vietā nevar aizstāt izlases mērījumus un otrādi, bet tie var papildināt vieni otru, jo pēc ilgstošiem mērījumiem statiskā vietā var redzēt parametru izmaiņu tendenci laikā, kas ir aprakstīts darbā 3.1. apakšnodaļā, un, ievērojot izlases mērījumu veikšanas laiku, ļaus izvērtēt rezultātus atbilstoši ārējo faktoru ietekmei, tai skaitā nosakot iespējamās izmaiņas lielākas slodzes laikā, lielākas noslodzes laika posmu apdzīvotā vietā definējot atbilstoši statiskā vietā veiktiem mērījumiem.

## 2.5. Mērījumi ceļa posmā

Viens no svarīgiem mobilo tehnoloģiju attīstības un ieviešanas posmiem ir iespēja likumiski un projektu ietvaros ieviest jaunas tehnoloģijas, atbilstoši noteiktām prasībām vai nosacījumiem. Tādā veidā arī tiek mēģināts panākt plašāku *NR* jeb *5G* tīklu ieviešanu, Eiropas Komisijai izvirzot prasības Eiropas Savienības dalībvalstīm nodrošināt, ka *5G* pārklājums tiek nodrošināts lielāko ceļu maģistrāļu garumā un pilsētās, tādējādi panākot, ka nākotnē būs iespējams nodrošināt arī pilnīgi jaunus pakalpojumus, tādus kā tiešsaistes automobiļu saziņa, un to piesaisti globālām izsekošanas un kontroles sistēmām, attiecībā arī uz kravas

pārvadājumiem [30]. Eiropas projekti, kas vērsti uz ceļa maģistrāļu pārklājuma nodrošināšanu fokusējas arī uz interneta pakalpojuma kvalitātes un tās uzraudzības aspektiem, līdz ar ko praktisko mērījumu veikšanas algoritma noteikšana ir būtiska šādu projektu praktiskās realizācijas nodrošināšanā [29], [30].

Tāpēc jāpievērš uzmanība arī interneta pakalpojuma kvalitātes kontrolei, ievērojot, ka interneta piekļuves pakalpojums ir pamatā jaunu vertikālu pakalpojumu nodrošināšanai. Arī iespējas turpmāk nodrošināt tīkla līmeņu sadales (ang. – network slicing) mehānismu ieviešanu tāpat prasīs uzraudzības mehānismu, līdz ar to ir nepieciešams paredzēt kvalitātes mērījumu nodrošināšanas algoritmu [71], [98].

Izvērtējot ceļu izbūvi, ceļa satiksmes noteikumu ierobežojumus, kā arī mērījumu veidu, kas aprakstīti šī darba 1.4. apakšnodaļā, īpatnības, var konstatēt, kā vienīgais mērījumu veids, kas būtu piemērojams ceļa posmu mērījumiem ir mērījumi, kas veikti kustībā esošā transportlīdzeklī. Tas saistīts ar to, ka gar ceļa posmu parasti nevar pietiekami blīvi izvietot mēriekārtas, telpu un pašu iekārtu ierobežota skaita dēļ, kā arī apstāšanās samērā garos ceļa posmos bieži ir aizliegta, tādējādi nav iespējams izvērtēt pakalpojuma kvalitātes izmaiņas visā ceļa posmā, nodrošinot pietiekamu mērījumu un mērījumu vietu skaitu.

Dažādas mērījumu sistēmas un to izstrādātāji nosaka dažādus mērījumu veikšanas nosacījumus, lai nodrošinātu, ka mērījumu rezultāti ir ticami un ir noteiktās izstrādātāja definētās kļūdas robežās. Viens no tādiem mērījumu parametriem ir transportlīdzekļa pārvietošanas ātrums, kas bieži ir ierobežots ar aptuveni 40 km/st [8], [10], [33]. Tomēr dažās sistēmās arī neierobežo mērījumu ātrumu, atļaujot pārvietoties atbilstoši ceļa satiksmes noteiktiem ierobežojumiem, kas mērījumu ceļa posmā ir labākais variants, jo ir vistuvākais galalietotāju izmantošanas paradumiem pārvietojoties transportlīdzeklī.

Analizējot un izvēloties mērījumu rīku parametrus turpmākai mērījumu analīzei tika konstatēts, ka nodrošinot noteiktu mērījumu skaitu, būtisks mērījumu veikšanas aspekts ir viena mērījuma ilgums, kas var būt gan mainīgs, gan nemainīgs atkarībā no mērījumu sistēmas. Līdz ar to viennozīmīgi secināms, ka laiks starp mērījumiem nevar būt mazāks par paša mērījumu ilgumu. Ievērojot šo, ja mērķis ir veikt pēc iespējas vairāk mērījumu, mērījumu rīkam un tā automatizācijai būtu jāatbalsta funkcionalitāte, kas nodrošinātu ka starp mērījumiem var noteikt pārtraukumu, kas nepieciešamības gadījumā, var būt vienāds arī ar 0 (nulli). Šāds mehānisms arī ļauj pielāgot mērījumu skaitu, piemēram, ja secīgo mērījumu skaits ir pārmērīgs, radot liekos izdevumus mērījumu veicējam un nav nepieciešams, tad palielinot intervālu starp mērījumiem, var nodrošināt, ka noteiktā laika posmā tiek veikts limitēts mērījumu skaits.

Ja mērījumiem ir nepieciešamība noteikt konkrētas ģeogrāfiskas vietas, piemēram, nodrošinot mērījumus ik pēc noteiktā attāluma, tad mērījumu sistēmai jābūt iespējai nodrošināt mērījumu uzsākšanu detektējot attālumu, kas nobraukts no iepriekšējās mērījumu vietas. Šeit ir iespējami dažādi risinājumi, tas ir fiksējot attālumus starp mērījumu uzsākšanu, vai piefiksējot attālumu vai laiku starp iepriekšēja mērījuma beigu laiku un nākamā mērījuma uzsākšanas laiku. Pirmā gadījumā, nepieciešams nodrošināt, ka attālums ir pietiekami liels, lai šī attāluma garumā būtu pietiekams laiks mērījuma veikšanai, priekš kā ir nepieciešams veikt aprēķinus, kuru ietvaros ņemts vērā pārvietošanās ātrums. Otrā gadījumā ir vieglāk nodrošināt, ka

mērījumi ir veikti viens pēc otra, bet, ja mērījuma laiki vai braukšanas ātrums nav statisks, tad rezultātā attālums un laiks starp mērījumiem var atšķirties.

Papildus norādāms, ka lielākoties interneta pakalpojuma mērījumu sistēmas atbilstoši standartiem nodrošina, ka dažādu parametru mērījumi notiek secīgi, nevis vienlaicīgi, līdz ar to ģeogrāfiski katra parametra mērījuma rezultātu iegūšanas punkts atšķiras, ko ir nepieciešams ņemt vērā apstrādājot datus, īpaši gadījumā, kad mērījumu rezultāti tiek attēloti ģeogrāfiskā kartē [8], [42].

Tika novērots, ka, ja mērījumu rīks nodrošina mērījumu secīgu veikšanu bez pārtraukuma, mērījumu skaits, kas veikts vienādā ceļa posma garumā atšķiras, kas ir svarīgi plānojot kopējo plānoto mērījumu apjomu un izvietojumu [8].

Formulu, pēc kuras ir iespējams aprēķināt aptuveno mērījumu skaitu noteiktā ceļa posma garumā, pārvietojoties noteiktā ātrumā, *drive test* mērījumu veikšanai, var izteikt šādi:

$$ms = \frac{d_{cp}}{v_{cp} \times t_m} \quad (2.1.)$$

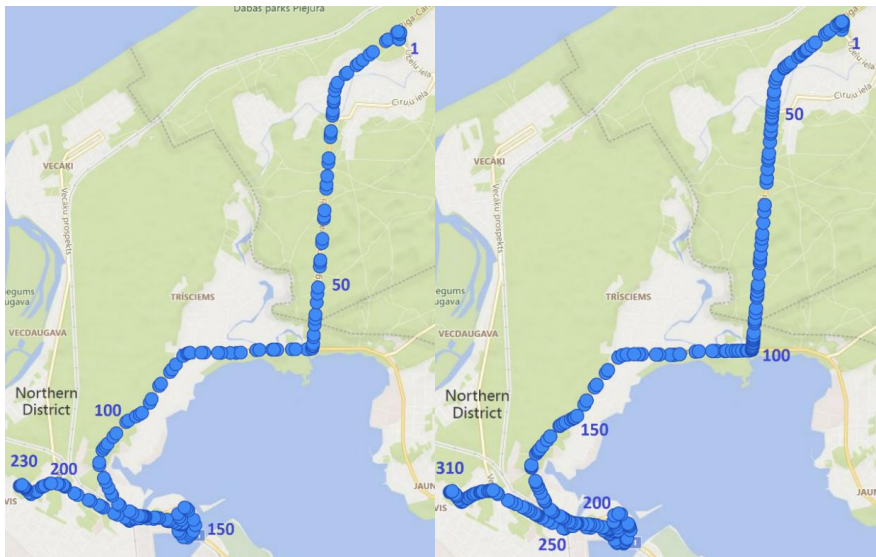
kur  $ms$  – mērījumu skaits ceļa posmā;  $d_{cp}$  – ceļa posma garums, kurā veicami mērījumi, km;  $v_{cp}$  – pārvietošanas ātrums ceļa posma garumā, km/st;  $t_m$  – vienam mērījumam nepieciešamais laiks, st.

Ja ceļa posmā ir dažādi ātruma ierobežojumi, tad būtu nepieciešams sadalīt ceļa posmu atbilstoši ātruma ierobežojumiem un katram no tiem veikt aprēķinus atsevišķi. Šis process var būt automatizēts, izmantojot programmu kodus.

Lai formulu pielietotu pareizi arī nepieciešams veikt testa mērījumus, lai piefiksētu vidējo mērījumam nepieciešamo laiku. Piemēram, praktiskie mērījumi parāda, ka izvēlētās mērījumu sistēmas *G-Net Track Pro* mērījumam nepieciešama laika kļūda sastādīja 2 %. Tomēr izmantojot citu mērījumu sistēmu būtu ieteicams veikt atkārtotos mērījumus dažāda tipa apdzīvotās vietās un ceļu maģistrāles, dažādu operatoru tīklos, lai novērtētu faktisko vienam mērījumam nepieciešamo laiku un iespējamo kļūdu [136].

Lai veiktu novērojumus un izdarīt secinājumus, tika veikti interneta pakalpojuma mērījumi *drive-test* režīmā divu operatoru mobilos tīklos, izmantojot *G-Net Track Pro* aplikāciju. Mērījumi tika veikti ceļa posma ietvaros, kur ir dažādi ātruma ierobežojumi. Mērījumu iekārtas atradās vienā transportlīdzeklī vienādos apstākļos, kas ļauj ievērojot mērījumu izvietojumu viendabīgumu. Norādāms, ka mērījumi bija veikti secīgi viens pēc otra, bez pārtraukuma [132].

Tādējādi, 2.4. attēlā var redzēt testa mērījumu veikšanas maršrutu, kura kopējais garums sastādīja 10,5 km, un mērījumi bija uzsākti un apstādināti vienlaicīgi.



2.4. att. Ģeogrāfiskais mērījumu vietu izvietojums kartē: kreisajā pusē 1. – operatora tīklā; labajā pusē – mērījumi 2. operatora tīklā.

2.4. attēlā var novērot, ka kaut gan mērījumu uzsākšanas punkti divu operatoru tīklos veikti mērījumiem ir vienādi, dažādu apstākļu dēļ, tai skaitā tīkla kapacitātes un pārklājuma pieejamības dēļ, mērījumu vietas atšķiras. Līdz ar to secināms, ka izmantojot mērījumu sistēmas, tai skaitā testa mērījumiem izmantotu *G-Net Track Pro* aplikāciju, var nebūt iespējams nodrošināt vairāku operatoru sniegto interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu vienlaicīgu veikšanu, līdz ar to mērījumu veikšanas vietas atšķirsies, un nevarēs būt salīdzinātas konkrētā ģeogrāfiskā punktā. Turpat 2.4. attēlā skaitliski sanumurētas mērījumu veikšanas vietas, kur ceļa ietvaros mērījumu uzsākšanas punkts definēts ar “1”, un mērījumu pēdējais punkts attēlots ar lielāko attēlā redzamo skaitli. Ievērojot minēto, norādāms, ka pie vienādiem apstākļiem un vienā ceļa posmā, pirmā operatora tīklā bija veikti 230 mērījumi, tad ka otrā – 310 mērījumi.

Izvēlēta mērījumu sistēma, *G-Net Track Pro*, nenosaka mērījumu veikšanas ātruma ierobežojumus, un atbalsta signāla parametru nolasīšanu katrā no punktiem, tomēr *QoS* parametru mērījumi notiek rindas kārtībā [8]. Līdz ar to arī nepieciešams ņemt vērā ka *QoS* parametri tika nolasīti atbilstošos punktos, kas apkopoti 2.9. tabulā.

2.9. tabula

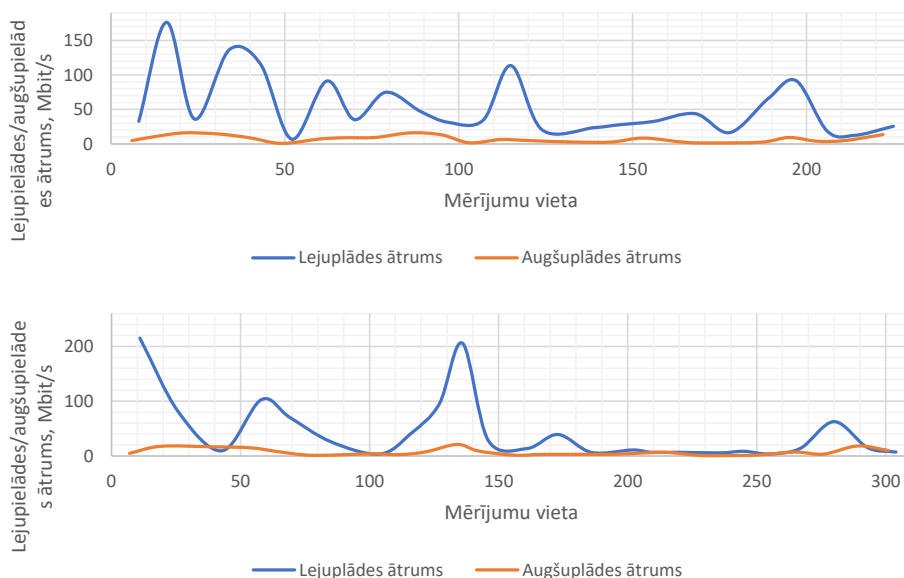
*QoS* parametra mērījumu vietas, atbilstoši mērījumu punktiem.

	Lejupielādes ātrums	Augšupielādes ātrums	Latentums un trīce
1. operators	8, 16, 24, 34, 43, 52, 62, 70, 79, 89, 97, 107, 115, 124, 139, 146, 156, 168,	6, 13, 21, 31, 40, 49, 60, 67, 76, 86, 95, 103, 112, 120, 133, 144, 153, 165,	4, 11, 19, 29, 38, 47, 56, 65, 74, 82, 93, 101, 110, 118, 129, 142, 150, 161,

	178, 189, 197, 206, 214, 225	173, 187, 195, 203, 211, 222	171, 182, 193, 201, 209, 220
2. operators	11, 26, 43, 58, 69, 85, 104, 116, 127, 136, 146, 161, 173, 186, 202, 209, 220, 236, 245, 255, 267, 280, 293, 304	7, 19, 39, 54, 65, 78, 100, 112, 122, 134, 142, 156, 167, 181, 195, 207, 215, 229, 243, 251, 265, 276, 289, 301	5, 16, 33, 47, 63, 74, 91, 107, 120, 130, 140, 153, 164, 177, 191, 205, 212, 225, 241, 249, 262, 271, 284, 298, 308

Ievērojot, ka 2.9. tabulā aprakstītie punkti ir numurēti secīgi mērījuma veikšanas kārtībā, redzams ka pirmais tika veikts latentuma un trīces tests, tad augšupielādes un tikai pēc tam – lejupielādes ātruma tests.

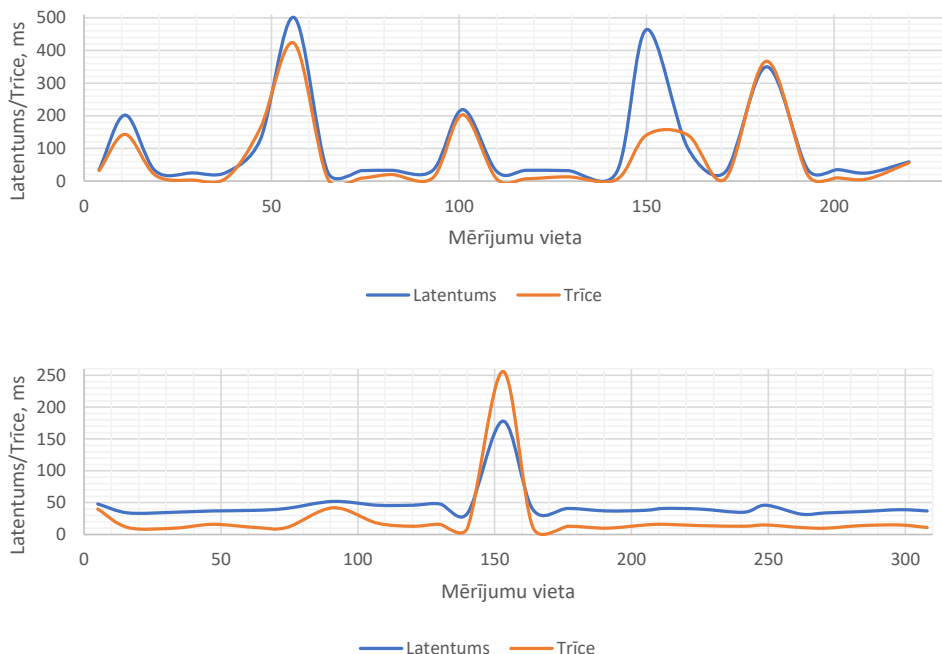
Lai salīdzinātu veikto mērījumu rezultātus, tie tika atspoguļoti grafiski attēlos no 2.5. līdz 2.9, kuros redzamas parametru vērtību izmaiņas definētā ceļa posmā diviem mobilā tīkla operatoriem, atkarībā no mērījumu vietas. Jāņem vērā, ka tikai signāla parametru vērtības tika iegūtas katrā mērījumu punktā, bet  $QoS$  mērījumu vērtības ir atbilstošas punktiem, kas minēti 2.9. tabulā.



2.5. att. Lejupielādes un augšupielādes ātruma mērījumu rezultāti, atkarībā no mērījumu vietas ceļa posmā: augšējā grafikā – rezultāti mērījumiem 1. operatora tīklā; apakšējā grafikā – rezultāti mērījumiem 2. operatora tīklā.

2.5. attēlā var novērot 1. un 2. operatora lejupielādes un augšupielādes parametru vērtību izmaiņas ceļa posma ietvaros, kur redzams, ka noslodze ir nesimetriska, tas ir – platāks frekvenču diapazons ir izdalīts lejupielādes noslodzei, ievērojot galalietotāju tipiskus lietošanas paradumus, un ceļa posmā lejupielādes ātruma vērtības būtiski mainās, pirmā operatora tīkla –

diapazonā no 2 Mbit/s līdz 180 Mbit/s, un otrā operatora tīklā – diapazonā no 2 Mbit/s līdz 220 Mbit/s. Papildus novērots, ka atbilstoši mērījumu punktiem var izdalīt ceļa posma daļu, kurā mērījumu rezultāti parametriem bija ļoti zemi jeb tuvi nullei.



2.6. att. Latentuma un trīces mērījumu rezultāti, atkarībā no vietas ceļa posmā: augšējā grafikā – rezultāti mērījumiem 1. operatora tīklā; apakšējā grafikā – rezultāti mērījumiem 2. operatora tīklā.

2.6. attēlā grafiski attēlotas latentuma un trīces vērtību izmaiņas izvēlētajā ceļa posma garumā, kas atbilst iepriekšējos attēlos lejupielādes un augšupielādes parametru mērījumu rezultātiem, kur pie lielākām latentuma vērtībām novērojams augšupielādes un lejupielādes ātrumu samazinājums.

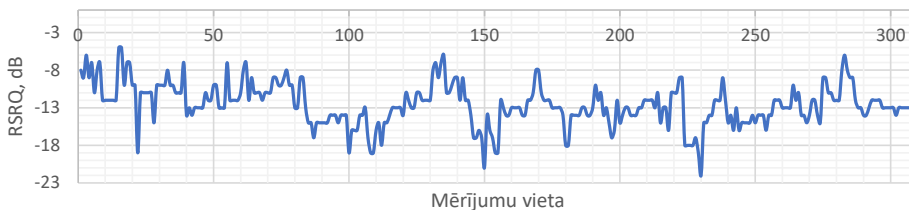
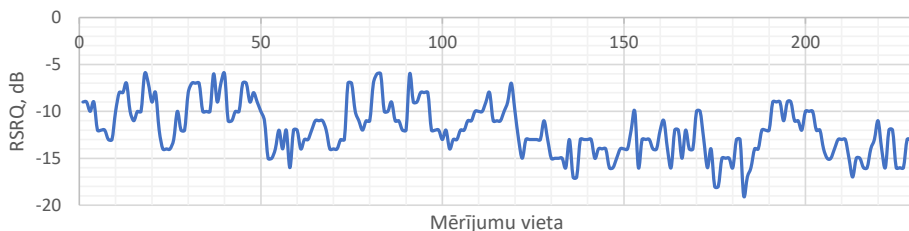
Nodrošinot interneta pakalpojuma *QoS* parametru mērījumus, papildus signāla parametru vērtību mērījumi ir nepieciešami, lai novērtētu un konstatētu iespējamās problēmas, turpmāk sadarbojoties arī ar mobilo tīklu operatoriem, kas var izmantot signāla parametru mērījumu rezultātus, lai savu elektronisko sakaru tīklu uzlabotu.

Izskatot *QoS* parametru vērtības izvēlētajā ceļa posmā, secināms, ka var izdalīt noteiktus ceļa posma daļas, un novērojama *QoS* parametru pasliktināšanās. Līdz ar ko, tālāk izskatot signāla parametru izmaiņas šī ceļa posma ietvaros, var spriest par signāla kvalitāti šajās ceļa posma daļās.



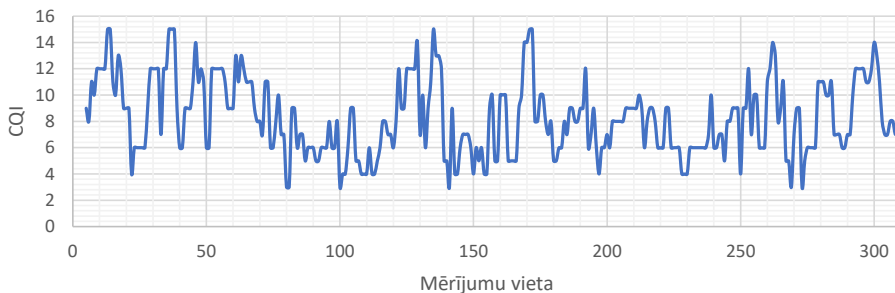
2.7. att. *RSRP* un *RSSI* mērijumu rezultāti, atkarībā no vietas ceļa posmā: augšējā grafikā – rezultāti mērijumiem 1. operatora tīklā; apakšējā grafikā – rezultāti mērijumiem 2. operatora tīklā.

2.7. attēlā ir attēloti *RSRP* un *RSSI* mērijumu rezultāti, kur var novērot, ka signāla stiprums ceļa posmā bija mainīgs, un detalizētāk analizējot mērijumu datus, kur var redzēt arī frekvenču diapazonu un šūnu pārslēgšanos, var secināt, ka sliktāki rezultāti ir šūnu malās, bet arī vienas šūnas ietvaros signāls ir mainīgs ko iespaido arī ārējie faktori, tai skaitā pārvietošanās ātrums. Turklāt, atrodoties zemāku frekvenču, piemēram 800 MHz diapazonā, šūnas pārklājuma robežās, kvalitātes parametri ir sliktāki, pat pie labākām signāla parametru vērtībām, nekā atrodoties augstāku frekvenču, piemēram 1800 MHz, pārklājuma zonā. Tas skaidrojams ar zemāku frekvenču šūnu pārklājuma zonu platību, līdz ar ko palielinās ārējo faktoru ietekme, kā arī tehniskiem pārraides ierobežojumiem, kad lielākam galalietotāju skaitam tiek nodrošināts šaurāks signāla kanāla platums [80]. Līdz ar to arī *drive test* mērijumu gadījumā, novērojamas rezultātu fluktuācijas, pārvietojoties ceļa posma ietvaros.



2.8. att. *RSRQ* mērījumu rezultāti, atkarībā no vietas ceļa posmā: augšējā grafikā – rezultāti mērījumiem 1. operatora tīklā; apakšējā grafikā – rezultāti mērījumiem 2. operatora tīklā.

2.8. attēlā novērojami *RSRQ* parametra mērījumu rezultāti, kuru fluktuācijas ir līdzīgas *RSRP* parametra vērtību izmaiņu grafikam izvēlētajā ceļa posma ietvaros, tomēr nav identiskas, kas liecina par to, ka ārējo faktoru iedarbības rezultātā signāla pārraides kvalitāte var atšķirties, un “labas” citu signālu parametru vērtības ne vienmēr var liecināt par uztvertā signāla kvalitāti.



2.9. att. *CQI* mērījumu rezultāti, atkarībā no vietas ceļa posmā, rezultāti mērījumiem 2. operatora tīklā.

Kā jau tika minēts darbā, izvēlētajā mērījumu iekārta var ierobežot mērījumu sistēmas funkcionalitāti, kas novērots arī *CQI* mērījumu gadījumā 1. operatoru elektronisko sakaru tīkla mērījumu gadījumā, līdz ar ko 2.9. attēlā var novērot parametra vērtības tikai 2. operatora mobilā tīklā. Mērījumu rezultātu fluktuācijas ir līdzīgas, kā citu signāla parametru gadījumā.

Pakešu zuduma koeficienta vērtības visu mērījumu gadījumā bija vienādas ar nulli, līdz ar to šis parametrs netika ņemts vērā analīzes laikā.



No mērījumu rezultātiem redzams, ka vietas ar zemākām *QoS* parametru vērtībām atbilst mērījumu vietām, kur signālā vērtības bija sliktākas, vai iekārtas atradās zemākā frekvenču diapazonā, vai arī notika pārslēgšanās starp šūnām.

Ievērojot minēto, var secināt, ka *drive test* mērījumi var precīzi raksturot galalietotājam noteiktā ceļa posmā pieejamā interneta pakalpojuma kvalitāti, ļaujot novērtēt gan signāla, gan *QoS* parametru izmaiņas ceļa posma ietvaros, kā arī izteikt secinājumus par *QoS* parametru vērtībām un signāla ietekmi uz tām. Tomēr jābrīdina ar to, ka veicot mērījumus vairāku operatoru mobilos tīklos, var nebūt iespējams, kas atkarīgs no mērījumu rīka, veikt rezultātu salīdzinājumu precīzi vienādos mērījumu punktos, ievērojot novērojumu, ka viens mērījums var aizņemt dažādu laiku, atkarība no mobilā tīkla un tā pārklājuma.

## 2.6. Izlases mērījumu un mērījumu kustībā novērtējums

Lai novērtētu interneta pakalpojuma kvalitāti konkrētā apdzīvotā vietā, jāveic mērījumi vairākos šīs apdzīvotas vietas ģeogrāfiskos punktos, ievērojot jau pirmajā darba nodaļā norādīto, ka vienas apdzīvotas vietas teritorijā parametri var būtiski atšķirties ļoti daudzu nekontrolējamo ārējo faktoru dēļ. Lai novērtētu sniegtā interneta piekļuves pakalpojuma kvalitāti vienā apdzīvotā vietā dažādos ģeogrāfiskos punktos, iespējams veikt statistiskos mērījumus, kad vairāki mērījumi tiek veikti vairākās ģeogrāfiskās vietās, vai mērījumus, kas veikti transportlīdzeklī, kas atrodas kustībā, jeb izmantojot *drive test* mērījumus [8]. Gan mērījumi vienā vietā stāvošā transportlīdzeklī, gan *drive test* mērījumi pēc veikšanas principa ir samērā līdzīgi un, ievērojot tehniskos un cilvēku resursus regulatīvai iestādei, var nākties izvēlēties kāds no šiem mērījumu veidiem ir piemērotāks un veiktspējīgāks.

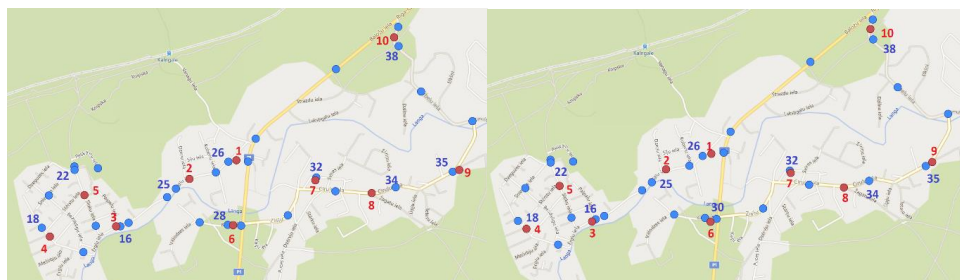
Lai salīdzinātu *drive test* un mērījumu vienā vietā efektivitāti bija veikti praktiskie mērījumi ciemā un vienā lielpilsētas rajonā, kas ģeogrāfiski ir tuvi platībās. Abās apdzīvotās vietās bija veikti interneta piekļuves pakalpojuma mērījumi, gan atrodoties kustībā esošā transportlīdzeklī, gan vienmērīgi visā pilsētas rajona vai ciema teritorijā izvēloties desmit mērījumu vietas, un katrā veicot 11 mērījumus. Mērījumi tika veikti pie pilnīgi vienādām mērījumu sistēmas konfigurācijām, kur mērījumi vienā vietā bija veikti tāpat kā *drive test* gadījumā, atrodoties vienā vietā tikmēr tiek veikti 11 secīgi mērījumi.

Izvēloties vietas, kur veikt statistiskos mērījumus, jāņem vērā, ka ne visur ir atļauts transportlīdzeklī apstāties vai arī noteiktās vietās fiziski nav iespējams novietot transportlīdzekli, lai pilnībā nebloķētu ceļa braucamo daļu citiem satiksmes dalībniekiem. Līdz ar to rodas nepieciešamība mērījumu laikā mainīt sākotnēji iepļānoto statistisko mērījumu vietu izvietojumu.

*Drive test* mērījumi ir vieglāk īstenojami, jo nav nepieciešamības novietot transportlīdzekli un var turpināt mērījumus braukšanas laikā. Ierobežojums var būt mērījumu sistēmas nosacījumi attiecībā uz braukšanas ātrumu veicot mērījumus, tomēr apdzīvotā vietā braukšanas ātruma ierobežojumi ir līdz 50 km/st, kas izmantotās mērījumu sistēmas gadījumā nepārsniedza maksimālo sistēmas atļauto pārvietošanas ātrumu. Mērījumu vietu izvietojumu var redzēt attēlā 2.10., kur ar sarkanās krāsas punktiem attēlotas statistisko mērījumu vietas un ar zilās krāsas punktiem – *drive test* mērījumu vietas. Izvēlētā mērījumu sistēma nodrošina dažādu parametru

mērījumus secīgi, līdz ar to, *QoS* parametru mērījumu ģeogrāfiskais izvietojums atšķirās, ko var novērot 2.10. un 2.11. attēlā un 2. pielikumā esošajos attēlos.

Papildus norādāms, ka lai izvērtētu mērījumu rezultātus, salīdzinājumam tika izvēlēti tuvākie statisko mērījumu un *drive test* mērījumu punkti pēc attāluma, un šie punkti ir izdalīti ar skaitliskiem identifikatoriem. Lai nodrošinātu, ka mērījumu rezultāti un izteiktie secinājumi nav raksturīgi tikai noteiktam mobilām elektronisko sakaru tīklam, mērījumi bija veikti divu dažādu mobilo operatoru tīklos. Šajā apakšnodaļā aprakstīti mērījumi bija veikti izmantojot *G-Net Track Pro* programatūru [8], [62].



2.10. att. Ģeogrāfiskais mērījumu vietu ciemā lejupielādes ātrumam izvietojums kartē: kreisajā pusē – mērījumu vietas 1. operatora tīklā; labajā pusē – mērījumi 2. operatora tīklā.



2.11. att. Ģeogrāfiskais mērījumu vietu pilsētas rajonā lejupielādes ātrumam izvietojums kartē: kreisajā pusē – mērījumi 1. operatora tīklā; labajā pusē – mērījumi 2. operatora tīklā.

2.10. un 2.11. attēlā ir parādītas mērījumu vietas priekš lejupielādes ātruma parametra, bet ģeogrāfisko mērījumu vietu izvietojumu kartē citiem *QoS* parametriem ir atrodams darba 2. pielikumā.

Attēlos 2.10., 2.11. un 2. pielikumā var novērot, ka kaut gan divu operatoru tīklā mērījumi bija uzsākti vienlaicīgi, tomēr mērījumu izvietojuma vietas var atšķirties, līdz ar to mainās arī statistiskais mērījumu vietai tuvākais *drive test* mērījums. Mērījumu sistēma neatbalstīja vienlaicīgu parametru mērījumus, līdz ar to mērījumi tika veikti secīgi, kas arī iespaidoja attālumus starp mērījumu vietām.

2.10., 2.11. tabulā un 3. pielikumā ir apkopoti praktisko eksperimentu jeb mērījumu rezultāti, kas ir matemātiski apstrādāti, lai noteiktu statisko un *drive test* mērījumu rezultātu vidējās vērtības, kā arī mediānas un standarta deviācijas vērtības, kas ļauj novērtēt rezultātu izkliedi un sniegt secinājumus un novērojumus. Tabulās, vietas taupīšanai tiek izmantots saīsinājums t.p., kas nozīmē – tuvākais punkts vietai.

Tabulā 2.10. ir parādīti apkopoti mērījumu rezultāti, kā arī veikto statistisko parametru aprēķinu rezultāti 1. operatora mobilā elektronisko sakaru tīklā, kas veikti vienā lielpilsētas rajonā.

No tabulā 2.10. apkopotiem mērījumu rezultātiem, var redzēt, ka mērījumu rezultāti dažādos mērījumu punktos būtiski atšķiras, un, ievērojot ka starp statisko mērījumu vietu, un tuvāko *drive-test* mērījumu vietu attālums ir mainīgs, arī tuvākā mērījumu vietā iegūtie mērījumu rezultāti *QoS* parametriem var trīsreiz atšķirties. Tas iespaido arī apkopotās statistiskās vērtības, kur atkarībā no parametru rezultātu vērtībām, kas iegūtas atsevišķās vietās, parādās arī atšķirība starp rezultātiem.

2.10. tabula

Pilsētā statiskā vietā veikto mērījumu un *drive test* mērījumu rezultātu salīdzinājums 1. operatoram.

Parametrs	Lejupielādes ātrums, Mbit/s			Augšupielādes ātrums, Mbit/s			Latentums, ms			Trīce, ms		
	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija
Kopā statistiski	66,65	54,05	49,83	13,33	5,11	17,36	89,28	30,00	189,89	41,02	10,00	84,43
<i>Drive test</i> kopā	59,79	48,67	38,17	15,58	11,37	11,97	88,98	29,00	200,09	44,29	8,00	110,96
1	59,16	61,28	7,96	14,78	14,58	2,33	26,45	26,00	2,25	5,91	6,00	3,08
t.p. 1	58,72	-	-	16,15	-	-	34,00	-	-	9,00	-	-
2	36,01	36,79	5,31	2,66	2,78	0,60	66,73	31,00	88,76	55,55	17,00	93,45
t.p. 2	107,13	-	-	14,32	-	-	25,00	-	-	5,00	-	-
3	22,10	17,21	15,53	8,16	8,87	1,31	29,00	28,00	5,23	10,82	6,00	10,70
t.p. 3	59,48	-	-	10,36	-	-	26,00	-	-	7,00	-	-
4	118,34	114,80	19,86	54,06	54,29	3,45	28,27	28,00	2,65	10,00	9,00	4,49
t.p. 4	128,29	-	-	33,16	-	-	32,00	-	-	17,00	-	-
5	88,90	93,01	22,47	1,11	0,88	0,39	29,91	31,00	3,81	13,00	10,00	8,50
t.p. 5	83,38	-	-	11,32	-	-	26,00	-	-	7,00	-	-
6	173,42	175,33	24,04	13,15	0,88	20,30	29,64	29,00	2,77	11,18	8,00	7,29
t.p. 6	127,24	-	-	9,24	-	-	32,00	-	-	24,00	-	-
7	26,16	19,52	16,09	4,24	3,11	2,54	217,36	162,00	226,99	103,18	119,00	92,61
t.p. 7	35,82	-	-	17,88	-	-	29,00	-	-	8,00	-	-
8	81,24	86,44	16,11	5,19	5,93	2,09	40,00	34,00	16,62	33,73	16,00	51,14
t.p. 8	82,88	-	-	6,39	-	-	29,00	-	-	10,00	-	-
9	39,87	44,23	14,08	29,09	31,91	9,48	29,91	29,00	4,06	8,73	7,00	5,98
t.p. 9	75,71	-	-	33,64	-	-	34,00	-	-	17,00	-	-
10	21,31	20,05	12,13	0,90	0,90	0,23	426,20	263,00	435,62	169,80	103,50	180,20
t.p. 10	26,54	-	-	2,86	-	-	30,00	-	-	8,00	-	-
Parametrs	Pakešu zuduma koef. %	RSRP, dBm			RSSI, dBm			RSRQ, dB				
Vieta	Vidējais	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija		

Kopā statistiski	0,37	-98,20	-101,00	9,73	-65,71	-67,00	7,97	-12,05	-12,00	2,32
<i>Drive test</i> kopā	0,42	-91,26	-92,00	9,95	-60,00	-59,00	7,28	-12,31	-12,00	2,46
1	0,91	-99,06	-99,00	1,25	-66,21	-67,00	2,29	-11,88	-12,00	1,90
t.p. 1	0,00	-94,00	-	-	-63,00	-	-	-12,00	-	-
2	0,00	-109,00	-109,00	1,00	-74,52	-75,00	1,80	-12,85	-13,00	1,50
t.p. 2	0,00	-86,00	-	-	-59,00	-	-	-9,00	-	-
3	0,00	-98,79	-99,00	1,08	-62,45	-63,00	1,44	-14,33	-14,00	1,29
t.p. 3	0,00	-91,00	-	-	-59,00	-	-	-11,00	-	-
4	0,00	-74,91	-75,00	1,51	-51,00	-51,00	0,00	-10,21	-10,00	1,49
t.p. 4	0,00	-91,00	-	-	-59,00	-	-	-12,00	-	-
5	0,00	-101,88	-102,00	0,99	-70,64	-71,00	2,57	-10,30	-10,00	1,70
t.p. 5	0,00	-100,00	-	-	-67,00	-	-	-12,00	-	-
6	0,00	-92,33	-92,00	1,67	-59,61	-63,00	5,28	-11,64	-10,00	3,95
t.p. 6	0,00	-87,00	-	-	-51,00	-	-	-17,00	-	-
7	0,91	-103,27	-103,00	1,40	-67,85	-67,00	2,83	-14,09	-14,00	1,86
t.p. 7	0,00	-94,00	-	-	-12,00	-	-	-59,00	-	-
8	0,00	-103,85	-104,00	1,50	-71,61	-71,00	3,06	-11,09	-11,00	1,55
t.p. 8	0,00	-90,00	-	-	-57,00	-	-	-14,00	-	-
9	0,00	-91,24	-90,00	4,18	-58,52	-57,00	5,00	-11,94	-12,00	1,39
t.p. 9	0,00	-77,00	-	-	-51,00	-	-	-13,00	-	-
10	2,00	-107,94	-108,00	1,93	-75,00	-75,00	2,54	-12,19	-12,00	0,86
t.p. 10	0,00	-108,00	-	-	-73,00	-	-	-15,00	-	-

Tabulā 2.11. ir parādīti apkopoti mērījumu rezultāti, kā arī veikto statistisko parametru aprēķinu rezultāti 1. operatora mobilā elektronisko sakaru tīklā, kas veikti ciemā.

Līdzīgi, kā mērījumu pilsētā gadījumā, novērojams, ka parametru vērtības mērījumiem statiskā vietā un *drive test* gadījumā atšķiras, tomēr rezultātu vērtības ir tuvākas, pat samērā attālinātu punktu gadījumā, kas skaidrojams ar to, ka ciemā signāla pārklājums tiek nodrošināts ar mazāku šūnu skaitu, un ir mazāks iedzīvotāju skaits, līdz ar ko, signāla kvalitātes un *QoS* izmaiņas ciema teritorijā ir mazākas.

2.11. tabula

Ciemā statiskā vietā veikto mērījumu un *drive test* mērījumu rezultātu salīdzinājums 1. operatoram.

Parametrs	Lejupielādes ātrums, Mbit/s			Augšupielādes ātrums, Mbit/s			Latentums, ms			Trīce, ms		
	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija
Kopā statistiski	82,29	54,82	56,04	13,79	14,62	8,70	45,72	28,00	58,22	30,95	8,00	64,31
<i>Drive test</i> kopā	89,46	78,74	44,51	12,60	12,03	5,80	52,07	31,00	95,32	29,93	12,00	65,44
1	57,33	55,30	13,20	25,82	25,26	2,46	27,18	27,00	2,44	7,00	7,00	2,00
t.p. 1	50,94	-	-	16,64	-	-	27,00	-	-	7,00	-	-
2	155,05	151,69	23,51	20,28	21,30	4,44	27,82	27,00	2,27	8,45	6,00	5,65
t.p. 2	170,84	-	-	16,51	-	-	26,00	-	-	8,00	-	-
3	48,21	50,77	6,88	6,49	6,61	1,19	43,09	27,00	38,12	36,73	8,00	64,06
t.p. 3	50,80	-	-	8,80	-	-	31,00	-	-	12,00	-	-
4	45,85	45,55	13,68	5,63	5,51	0,87	29,73	28,00	5,87	13,91	7,00	13,00
t.p. 4	83,31	-	-	7,35	-	-	31,00	-	-	14,00	-	-
5	40,60	43,20	9,16	3,97	3,95	0,60	64,27	37,00	48,46	64,82	26,00	68,45
t.p. 5	64,64	-	-	7,36	-	-	142,00	-	-	161,00	-	-
6	67,35	65,89	11,18	26,38	25,50	4,29	26,18	26,00	1,33	7,27	7,00	2,28
t.p. 6	45,33	-	-	19,60	-	-	31,00	-	-	18,00	-	-
7	177,72	169,03	24,44	15,31	15,65	1,49	27,27	27,00	1,85	6,82	5,00	3,03

t.p. 7	180,90	-	-	12,20	-	-	31,00	-	-	12,00	-	-	
8	155,60	154,52	19,07	16,97	17,47	4,71	27,91	28,00	2,95	9,27	8,00	6,72	
t.p. 8	90,21	-	-	16,11	-	-	27,00	-	-	5,00	-	-	
9	49,23	50,26	7,15	13,66	13,49	1,31	28,55	28,00	3,78	9,55	7,00	8,12	
t.p. 9	113,22	-	-	7,22	-	-	27,00	-	-	5,00	-	-	
10	26,02	24,74	5,25	3,38	3,29	0,95	155,18	159,00	130,49	145,73	122,00	128,02	
t.p. 10	47,03	-	-	4,42	-	-	535,00	-	-	333,00	-	-	
Parametrs	Pakešu zuduma koef. %	RSRP, dBm			RSSI, dBm			RSRQ, dB					
Vieta	Vidējais	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija	Vidējais	Mediāna	Standarta deviācija			
Kopā statistiski	0,09	-100,65	-98,00	5,61	-70,88	-69,00	6,66	-10,12	-10,00	1,82			
Drive test kopā	0,00	-93,60	-95,00	9,44	-65,28	-67,00	8,17	-9,74	-10,00	2,04			
1	0,00	-99,33	-99,00	2,29	-67,00	-67,00	2,50	-10,97	-11,00	1,57			
t.p. 1	0,00	-84,00	-	-	-53,00	-	-	-10,00	-	-			
2	0,00	-97,45	-97,00	1,77	-66,15	-65,00	2,35	-9,94	-10,00	1,64			
t.p. 2	0,00	-77,00	-	-	-53,00	-	-	-7,00	-	-			
3	0,00	-97,82	-98,00	1,51	-69,61	-69,00	2,52	-10,30	-10,00	1,70			
t.p. 3	0,00	-100,00	-	-	-73,00	-	-	-11,00	-	-			
4	0,00	-107,15	-107,00	1,50	-79,30	-79,00	2,70	-10,15	-10,00	1,70			
t.p. 4	0,00	-91,00	-	-	-63,00	-	-	-7,00	-	-			
5	0,00	-108,18	-109,00	2,05	-80,03	-79,00	2,79	-10,06	-10,00	1,64			
t.p. 5	0,00	-93,00	-	-	-67,00	-	-	-8,00	-	-			
6	0,91	-97,73	-98,00	1,13	-66,82	-67,00	2,89	-10,15	-10,00	1,84			
t.p. 6	0,00	-103,00	-	-	-67,00	-	-	-13,00	-	-			
7	0,00	-95,12	-95,00	0,99	-64,52	-65,00	2,45	-9,39	-9,00	1,89			
t.p. 7	0,00	-95,00	-	-	-67,00	-	-	-11,00	-	-			
8	0,00	-97,36	-97,00	3,39	-66,64	-67,00	4,01	-9,52	-9,00	2,06			
t.p. 8	0,00	-85,00	-	-	-57,00	-	-	-7,00	-	-			
9	0,00	-96,18	-96,00	1,33	-68,39	-67,00	2,42	-9,55	-9,00	1,77			
t.p. 9	0,00	-97,00	-	-	-67,00	-	-	-11,00	-	-			
10	0,00	-110,12	-110,00	1,83	-80,39	-81,00	3,06	-11,18	-12,00	1,69			
t.p. 10	0,00	-103,00	-	-	-67,00	-	-	-10,00	-	-			

Mērījumu, kas veikti 2. operatora mobilā elektronisko sakaru tīklā, rezultātu statistiskie lielumi ir atrodami darba 3. pielikumā.

Novērots, ka jo tuvākas ir statiskā un *drive test* mērījumu vietas, un jo tuvākas un šajās vietās iegūtās signāla parametru vērtības, jo tuvākas ir arī kvalitātes parametru mērījumos iegūtās vērtības. Tomēr ievērojot arī mērījumu laika atšķirību vērtības nav identiskas, ko iespaido ārējie faktori, tai skaitā lietotāju skaits vai noslodze uz bāzes staciju.

Izvērtējot praktisko eksperimentu rezultātus secināms, ka mērījumos iegūto parametru vidējā vērtība, kas lielākoties tiek izmantota izvērtējot un nosakot pieejamo *QoS* parametru lielumu vienā apdzīvotā vietā, mērījumu statiskās vietās un *drive test* gadījumā atšķiras atkarībā no mērījumu vietas un parametra no 0 % līdz pat 65 %, bet tas ir izskaidrojams ar to, ka *drive test* mērījumu gadījumā tiek veikti mērījumi vairākās vietās, tādējādi aptverot ne tikai dažus ģeogrāfiskos punktus apdzīvotā vietā, bet daudz lielāko to skaitu.

Pilsētā kvalitātes parametru vērtības ir vairāk ietekmētas ārējo faktoru rezultātā, ko var novērot no lielākām standarta deviācijas vērtībām. Latentuma un trīces parametru vērtības visos gadījumos ir ļoti mainīgas, bet tas vislabāk novērojams nevis atsevišķās mērījumu vietās, bet apkopojot statisko vai *drive test* mērījumu rezultātus, nosakot vienu vidējo rezultātu vērtību

visā apdzīvotā punktā, kur redzams, ka atkarībā no vietas, standarta deviācija var sastādīt vairāk ka 200 % no vidējās vērtības, kas īpaši izpaudās 1. operatora elektronisko sakaru tīkla mērījumu laikā pilsētā. Pilsētā, atšķirībā no ciema, lai nodrošinātu pārklājumu un bezvadu piekļuves tīkla kapacitāti, ir nepieciešamas vairākas bāzes stacijas, kas arī tika novērots testa mērījumu laikā. Turpretī ciema teritorijā pārklājums tika nodrošināts izmantojot tikai vienu bāzes staciju ar zemāku raidfrekvenci, kas, tāpat kā galalietotāju skaits pārklājumu zonā, ietekme arī *QoS* mērījumu rezultātus [8]. No statistiskiem mērījumiem pilsētā vislabāk novērojama galalietotāju skaita ietekme uz *QoS* mērījumu rezultātiem, jo veicot vairākus mērījumus vienā vietā redzams, ka mērījumu rezultātu izkliede var būt vairāk ka divas reizes lielākā nekā parametra vidējā vērtība šajā vietā, tad kad signālu parametru vērtību izkliede parāda, ka signāla parametru vērtības ir samērā stabilas. Norādāms, ka *QoS* parametru mērījumu rezultātu vērtību izkliede atkarīga arī no elektronisko sakaru komersantu tīkla, ko apliecina arī veikto mērījumu rezultāti, kur izkļedes rādītāji bija dažādi dažādu operatoru tīklos.

Tāpat no rezultātiem var apgalvot, ka mērījumi, kas veikti *drive test* un atrodies vienā vietā ir samērāmi tuvi, ņemot vērā mērījumu vietu nobīdes. Līdz ar šo seko, ka *drive test* mērījumi ir vairāk piemēroti, lai novērtētu kopējo vienas apdzīvotas vietas ietvaros sniegtā pakalpojuma *QoS*, jo ģeogrāfiski izvietoto mērījumu punktu skaits ir lielāks, līdz ar to ir vairāk ņemta vērā ārējo faktoru ietekme, par ko liecina arī signāla parametru vērtību deviācijas aprēķins. Tomēr minētā sakarība vislabāk redzama tieši ciema mērījumu gadījumā, bet mērījumu pilsētā gadījumā var novērot, ka mērījumiem atrodies samērā tuvu, tas ir līdz 2 metru attālumam, ārējo faktoru ietekmē, signāla parametru vērtības var būtiski atšķirties. Ievērojot minēto, iespējams, ka veicot mērījumus vairāku metru attālumā, gan signāla parametru, gan kvalitātes parametru vērtības ļoti būtiski atšķirsies, un pat veicot mērījumus vienā vietā standarta deviācijā mērījumiem var būt ļoti liela tieši pilsētās un īpaši *QoS* parametru gadījumā.

Svarīgs aspekts nodrošinot šajā nodaļā aprakstītos mērījumus bija nodrošināt, lai mērījumu skaits ir atbilstošs prasībām, kas aprakstītas tālāk darbā, līdz ar to arī praktisko eksperimentu gaitā novērots, ka mērījumu skaitu statistiskā vietā ir viegli definēt, tomēr *drive test* gadījumā mērījumu skaits ir atkarīgs no ceļu garuma, pārvietošanas ilguma, pārvietošanās ātruma un mērījumu ilguma. Līdz ar to pirms mērījumu uzsākšanas ir nepieciešams veikt aprēķinus, izmantojot augstāk definēto 2.1. formulu, lai noteiktu aptuveno mērījumu daudzumu. Ievērojot šo, var nākties precizēt ceļu posmus mērījumiem, braukšanas ātrumu, vai paredzēt ka vienu vai vairākus ceļa posmus apdzīvotā vietā būs jāizbrauc vairākas reizes.

Nepieciešams atzīmēt laika ieguldījuma aspektus, kas saistīti ar šajā darba apakšdaļā minēto mērījumu salīdzinājumu. Eksperimentāli 10 statistiskās vietās tika veikti 11 mērījumi katrā vietā, līdz ar to kopējais mērījumu skaits apdzīvotos punktos bija 110, bet pēc būtības tika nolasīti parametri tikai 10 ģeogrāfiskās lokācijās, kas ļauj veikt datu apstrādi verificējot iegūtos rezultātus, tomēr kopējais mērījumu laiks, kas bija nepieciešams atkarībā no vietas ir definēts 2.12. tabulā. Turpretī *drive test* gadījumā, veikto mērījumu skaits, kas ir vienāds ar ģeogrāfisko mērījumu vietu skaitu, pilsētā sastādīja aptuveni 50 vietas, bet ciemā aptuveni 30 vietas, kas kopskaitā attiecībā uz kopējo mērījumu skaitu ir mazāks lielums, tomēr nodrošina vismaz 3 reizes lielāku ģeogrāfisko mērījumu vietu kvalitātes parametru tvērumu. Par trūkumu *drive test*

viennozīmīgi var nosaukt mērījumu vienā vietā rezultātu verifikācijas iespējas ierobežojumus, jo vienā ģeogrāfiskā vietā tiek veikti tikai viens mērījums, bet ja mērījumu sistēmas statistiskie dati un izstrādātāja dati liecina, ka kļūdas iespēja ir minimāla, tad šis apsvērums var nebūt būtisks.

2.12. tabula

Mērījumiem, kas veikti statistiskā vietā, un *drive test* mērījumiem patērētā laika salīdzinājums.

		Pilsēta		Ciems	
		Kustībā (st., min)	Statiskā vietā (st., min)	Kustībā (st., min)	Statiskā vietā (st., min)
1. operators	Mērījumiem patērētais laiks	01.37	00.29	01.40	00.17
	Laiks, kas nepieciešams 100 mērījumiem	01.28	0.58	01.31	0.57
2. operators	Mērījumiem patērētais laiks	01.38	00.29	01.42	00.17
	Laiks, kas nepieciešams 100 mērījumiem	01.29	0.58	1.33	0.58

2.12. tabulā redzamais, mērījumu statistiskās vietās patērētais laiks, tika izvērtēts ņemot vērā arī pārvietošanas laiku starp mērījumu vietām. Līdz ar to secināms, ka *drive test* laika patēriņa ziņā, ir būtiski labāks nekā statistiski veikti mērījumu, un viennozīmīgi aptver vairāk ģeogrāfisko punktu apdzīvotās vietas ietvaros.

2.12. tabulā ir aprēķināts patērētais laiks uz 100 mērījumiem, kur redzams, ka pie testa nosacījumiem, patērētais laiks izlases mērījumiem bija par trešdaļu lielāks nekā laiks, kas būtu nepieciešams lai veiktu šo pašu mērījumu daudzumu izmantojot *drive test*. Līdz ar to laika patēriņa ziņā *drive test* mērījumi ir efektīvāki, un ļauj, ja nepieciešams attāluma vai mērījumu laika korekcijai, noteikt aiztures starp mērījumiem, jo salīdzinājumā aizņem īsāku laiku. Mērījumu statistiskā vietā gadījumā, palielinot mērījumu vietu skaitu un samazinot vienā vietā veikto mērījumu skaitu, laiks, kas nepieciešams viena mērījuma veikšanai var būt mainīgs, bet ievērojot, ka lielu daļu laika aizņem pārvietošanās starp statistiskām mērījumu vietām, paredzams, kā šajā gadījumā laiks, nepieciešamais mērījumu veikšanai būs pat lielāks, jo laiks vienam mērījumam, kaut gan arī variējas kļūdas robežās, bet ir gandrīz nemainīgs, un, piemēram, šajā apakšnodaļā aprakstītā testa gadījumā sastādīja 34 sekundes. Citas sistēmas gadījumā, kad mērījumu laiks ir mainīgs, mērījumiem nepieciešamais laiks būtu atkarīgs no vairākiem, tai skaitā tīkla, parametriem.

## 2.7. Nodaļas kopsavilkums

Šajā promocijas darba nodaļā tika ietverts pētījums, kura ietvaros tika analizēta mērījumu iekārtu izvietojuma ietekme uz mērījumu rezultātiem, veikta rezultātu matemātiskā apstrāde, izvirzīti secinājumi un doti priekšlikumi par nosacījumiem, kādi jāizvirza attiecībā uz mērījumu ģeogrāfisko vietu un iekārtu izvietojumu, kas būtu pielietojami praktisko mērījumu veikšanai, nodrošinot visu veikto mērījumu salīdzināmību.

Nodaļā tika izskatīta dažādu mērījumu veidu alternatīvā izmantošana, tai skaitā salīdzinot mērījumu iekštelpās un ārtelpās, ka arī izlases mērījumus vienā vietā un *drive test* mērījumus. Rezultātā izteikti secinājumi par dažādu mērījumu veidu pozitīvām un negatīvām īpatnībām.

Secināms, ka izvēloties mērījumu veikšanas vietu iekštelpās, svarīgi analizēt ne tikai signāla parametru vērtības, bet vienlaicīgi arī informāciju par bāzes staciju, šūnu un frekvenču diapazonu, ar kuru notiek savienojums pakalpojuma saņemšanai. Tādējādi, gadījumā, ja vienas telpas ietvaros ir konstatēts, ka atkarībā no izvietojuma mērījumu iekārta izveido savienojumu ar dažādām bāzes stacijām vai šūnām, būtu jāveic arī testa mērījumi *QoS* parametriem, lai konstatētu labāku izvietojuma vietu, ja tas ir nepieciešams un iespējams. Tas attiecas arī uz mērījumu veikšanas augstuma izvēli, ja nepieciešams izvēlēties ēkas stāvu, kurā izvietot mēriekārtas, jo ārējo faktoru dēļ, signāla kvalitāte dažādos ēkas stāvos var atšķirties.

Iekārtu izvietojums katrā telpā būtu vērtējams individuāli, un regulatīvo mērījumu ideālā gadījumā, publicējot rezultātus, būtu norādāmi mērījumu laikā konstatētās signāla parametru vērtības mērījumu vietā. Tomēr secināms, ka pat vienā istabā, kas ir samērā maza telpa, signāla un saņemtā pakalpojuma kvalitātes parametri var atšķirties, ja iekārtas izvietotas pat dažu metru attālumā.

Ievērojot minēto, mobilā interneta piekļuves pakalpojuma gadījumā, būtu jāparedz iespēja galalietotājam pirms līguma par pakalpojuma sniegšanu noslēgšanas, nodrošināt iespēju pārbaudīt vai pakalpojums ir pieejams šī galalietotāja dzīvesvietā.

Lai noteiktu labāku mērījumu iekārtu, vai tieši signāla uztvērēja un raidītāja, izvietojuma vietu mērījumiem transportlīdzeklī, ir primāri konkrētā transportlīdzeklī jāveic kontrolmērījumi, uz kuru pamata varēs veikt mēriekārtu izvietojumu. Par noteicošiem parametriem iekārtu izvietojuma novērtējumam var izvirzīt *RSRP* vai *RSSI*, un *RSRQ*, kas gan norāda uz saņemta signāla stiprumu, gan ļauj novērtēt ietekmi un signāla kvalitāti. Ja kontrolmērījumus nav iespējams veikt, mērījumu iekārtas vēlams izvietot uz transportlīdzekļa priekšējā paneļa vai tajā pašā līmenī virs priekšējā pasažiera sēdekļa.

Pie noteiktā mērījumu skaita, un tīkla konfigurācijas, no vienā statistiskā vietā veiktiem mērījumiem ir iespējams secināt par vidēji pieejamo interneta pakalpojuma kvalitāti apdzīvotā vietā. Tomēr šis skaitlis neatspoguļos reāli galalietotājiem pieejamā pakalpojuma kvalitāti pat lielākā apdzīvotās vietas daļā. Gadījumā, kad signāla parametru vērtības, īpaši *SINR*, ir "sliktas" jeb negatīvas, nav iespējams aizstāt interneta pakalpojuma *QoS* izlases mērījumus ar mērījumiem statistiskā vietā, jo rezultātu izkliede, un līdz ar to arī mērījumu kļūda ir būtiska, un mērījumi nevar atspoguļot galalietotājiem pieejamo pakalpojuma kvalitāti visā apdzīvotā vietā. Līdz ar ko, sērijveida mērījumi statistiskā vietā nevar aizstāt izlases mērījumus, un otrādi, bet tie



var papildināt viens otru, jo pēc ilgstošiem mērījumiem statistiskā vietā var redzēt parametru izmaiņu tendenci laikā, ko nav iespējams redzēt izlases mērījumu gadījumā.

*Drive test* mērījumi var precīzi raksturot galalietotājam noteiktā ceļa posmā pieejamā interneta pakalpojuma kvalitāti, ļaujot novērtēt gan signāla, gan *QoS* parametru izmaiņas ceļa posma ietvaros, kā arī izteikt secinājumus par *QoS* parametru vērtībām un signāla ietekmi uz tām. Tomēr, veicot mērījumus vairāku operatoru mobilos tīklos, var nebūt iespējams veikt rezultātu salīdzinājumu precīzi vienādos mērījumu punktos, ievērojot novērojumu, ka viena mērījuma ilgums var atšķirties, atkarība no mērījumu sistēmas, mobila tīkla parametriem un mobila tīkla pārklājuma.

*Drive test* mērījumi, laika patēriņa ziņā, ir būtiski labāki nekā statistiski veiktie mērījumi, un viennozīmīgi aptver vairāk ģeogrāfisko punktu apdzīvotās vietas ietvaros.

Vērtējot laiku, kas nepieciešams 100 mērījumu veikšanai, secināms, ka laika patēriņa un mērījumu ģeogrāfiskā izvietojuma ziņā *drive test* mērījumi ir efektīvāki salīdzinot ar izlases mērījumiem, tomēr izlases mērījumi ļauj verificēt mērījumu rezultātus katrā mērījumu vietā.

### 3. MĒRĪJUMU LAIKA UN APJOMA NOTEIKŠANA

Ievērojot, ka eksistē dažādi mērījumu veidi un dažādi mērījumu mērķi, tad vieni no svarīgākiem jautājumiem mērījumu procesa nodrošināšanā ir noteikt cik mērījumi ir nepieciešami un kur mērījumus nepieciešams veikt.

Ir dažādas pieejas kā regulatīvās iestādes šos jautājumus risina. Viens no variantiem ir nodrošināt mērījumu skaitu un mērījumu vietu sadalījumu atbilstoši esošiem darba resursiem. Tāds variants kaut gan arī ir samērā ekonomisks, un ļauj veikt mērījumus atbilstoši esošam darbinieku, iekārtu un citu nepieciešamā aprīkojuma skaitam, tomēr, ievērojot mērījumu rezultātu biežu neprognozējamību, jo operatori attīsta tīklu, ievieš jaunas tehnoloģijas, vai arī var rasties tehniskās problēmas, ir grūti prognozēt iegūto rezultātu ticamības pakāpi. Turpat tāda pieeja var būt kritiska pie maza darbinieku vai mērījumu iekārtu skaita, kur, ja nav darbinieka mērījumu veikšanai noteiktā brīdī, mērījumu apjoms būtiski sarūk [22].

Līdz ar to, lai nodrošinātu noteiktu mērījumu rezultātu ticamību, ir nepieciešams veikt minimāli nepieciešamā mērījumu skaita prognozi, kas balstās uz statistiskām aprēķinu metodēm [22], [36], [80], [85]. Prognoze ļauj gan definēt rezervi, gan paredzēt mērījumu vietu sadalījumu, gan izvirzīt mērķus attiecībā uz mērījumu rezultātiem.

Kaut gan mērījumu skaita aprēķinam var izmantot klasiskās statistiskās metodes, un mērījumu skaita aprēķināšanas metodes ir aprakstītas arī starptautiskās rekomendācijās un standartos, tomēr ievērojot regulējuma nianses, un valstu ģeogrāfiskās, iedzīvotāju skaita un citas atšķirības, nav definēta vienotā pieeja mērījumu vietu sadalījumam valsts robežās.

Viennozīmīgi, mērījumu vietu sadalījums ir cieši saistīts ar mērījumu skaitu, jo regulējošai iestādei jānodrošina, lai mērījumu rezultāti būtu ticami un visprecīzāk atspoguļotu tieši galalietotājiem pieejamo pakalpojuma kvalitāti, līdz ar ko mērījumu veikšanas vietām jābūt lielā apjomā, kā arī galalietotājiem sniegtai informācijai par mērījumu rezultātiem jābūt ticamai un pietiekami detalizētai, lai pēc iespējas lielāka daļa no iedzīvotājiem varētu mērījumu rezultātus attiecināt uz sev pieejamu pakalpojumu [17].

Līdz ar iepriekš minēto, šajā darba nodaļā tiek izskatītas mērījumu skaita aprēķināšanas metodes atbilstoši mērījumu veidam, mērījumu ticamības un kļūdu noteikšana, mērījumu laika izvēles kritēriju atbilstoši mērījumu veidam, mērījumu vietu izvēles kritēriji un citi mērījumu skaitu un vietu izvēli ietekmējoši faktori.

#### 3.1. Mērījumu veikšanas laika izvēle atkarībā no mērījumu veida

Ievērojot ka pastāv dažādi mērījumu veidi, kuru izpildes gaita būtiski atšķiras, plānojot interneta pakalpojuma regulatīvos mērījumus ir nepieciešams arī paredzēt mērījumu veikšanas laiku, ievērojot gan normatīvo aktu prasības, gan darba noslodzi, tai skaitā darba stundas.

*BEREC* vadlīnijas paredz arī mērījumu veikšanu pie lielākas tīkla noslodzes apstākļiem, tomēr jāņem vērā, ka atkarībā no mērījumu veikšanas vietas pīķa noslodzes stundas var atšķirties, līdz ar ko vienīga iespēja pīķa noslodzes stundas apstākļus izvērtēt ir veikt diennakts vai vairāku diennakts mērījumus. Tomēr visā valsts teritorijā novērots, ka pīķa noslodzes stundas parasti ir vakaros vai agrās nakts stundās. Ņemams vērā, ka darba tendences arī sāk

mainīties pēdējo gadu laikā, kad aktuāli kļuva gan attālinātais darbs, gan attālinātas studijas, līdz ar ko arī var būt plašāks noslodzes pīķa stundu diapazons [89], [116], [117], [118], [119], [126].

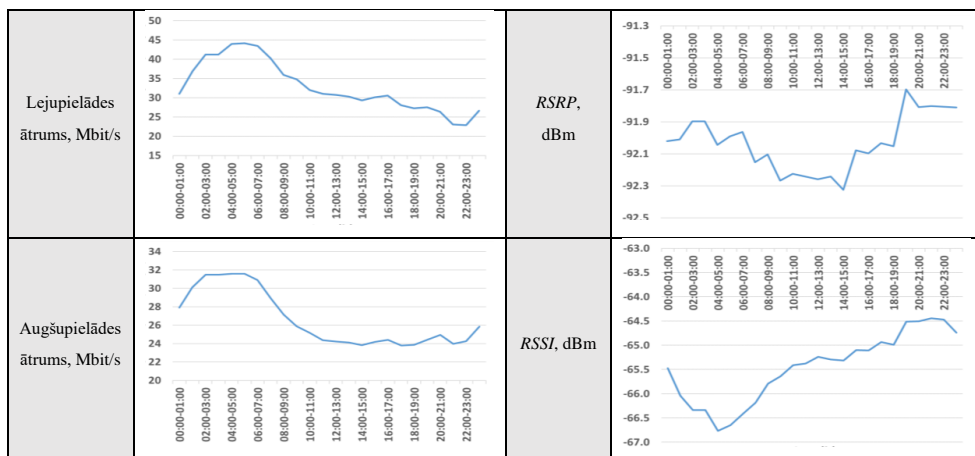
Ievērojot ka noslodzes pīķa stundas parasti ir ārpus standarta darba laika, tad, lai veiktu izlases mērījumus, tajā laikā ir nepieciešams darbinieks, kas šos mērījumus veiks, kas būs papildus finanšu ieguldījums. Līdz ar to, tālāk aprakstītais pētījums bija paredzēts, lai noteiktu kāds ir optimāls mērījumu veikšanas laiks mērījumu veidiem, kuriem tas ir saistošs – izlases un mērījumiem kustībā.

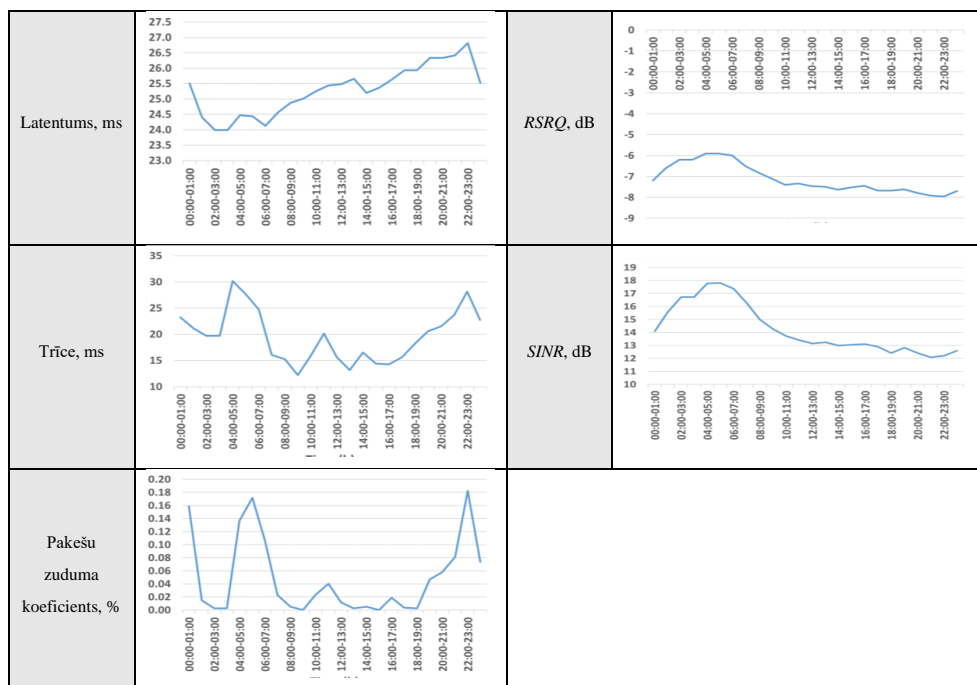
Mērījumu veikšanai bija uzrakstīts programmatūras kods, *python* programmēšanas valodā, kas nodrošina iespēju veikt ilgtermiņa sērijveida interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes mērījumus līdz vienam references serverim. Papildus, pirms mērījuma uzsākšanas, programmatūra automātiski pieslēdzas mērījumos izmantotām mobilām modemam, veic autentifikāciju un nolasa tīkla parametru vērtības. Kvalitātes noteicošo parametru mērījumu rezultātus un tiem atbilstošas tīkla parametru vērtības tiek automātiski ierakstītas datu failā. Mērījumi tiek nodrošināti tik ilgi, cik mērījumu ciklus ir definējis programmatūras lietotājs. Papildus, lietotājam ir iespēja izvēlēties pauzi starp mērījumiem, ka arī piešķirt mērījumiem unikālu mērījumu identifikatoru. Mērījumu veikšanas programatūras kodu var atrast darba 1. pielikumā un to ir iespējams izmantot un pielāgot atbilstoši vajadzībām, gan pielāgojot to citai mērījumu sistēmai, gan tīkla iekārtai.

Mērījumu rezultāti ir apkopoti 3.1. tabulā, kur grafikos, ir attēlotas vidējās *QoS* un signāla parametru mērījumu rezultātu vērtības diennakts ietvaros.

3.1. tabula

*QoS* un signāla parametru mērījumu rezultāti attēlojums diennakts griezumā atkarībā no mērījumu veikšanas laika.





Tika veikti mērījumi arī citās ģeogrāfiskās vietās un analizēti to rezultāti, bet kopumā līknes ir līdzīgas, un izmaiņas ir raksturīgas noteiktām diennakts stundām, līdzīgi kā grafiski tabulā 3.1. attēlotos rezultātos. No rezultātiem var novērot, ka parametru vērtības ir mainīgas diennakts laikā, bet jāpievērš uzmanība arī konkrētām vērtībām, jo kaut gan grafiski izmaiņas izskatās būtiskas, praktiski parametru izmaiņu lielums ir niecīgs, un kopumā var būt uzskatāms par stabili un otrādi. Tomēr var novērot, ka viennozīmīgi, laika posmā aptuveni no astoņiem no rīta lielākai daļai parametru sāk pakāpeniski pasliktināties vērtības, un laika posmā no aptuveni plkst. 21 līdz plkst. 23 ir novērojamas sliktākas, vai arī vienas no sliktākām *QoS* un signāla parametru vērtībām.

Lai identificētu pīķa stundas, bija papildus izvērtētas mērījumos iegūto parametru vērtību labākās un sliktākas vērtības, ka ir apkopotas 3.2. tabulā

3.2. tabula

Labāko un sliktāko *QoS* un signāla parametru mērījumu rezultātu salīdzinājums dažādās diennakts stundās.

Parametri	Labākas vērtības		Sliktākas vērtības	
	Laiks	Vērtība	Laiks	Vērtība
<i>SINR</i> , dB	05.00 – 06.00	17,81 dB	21.00 – 22.00	12,09 dB
<i>RSRP</i> , dBm	19.00 – 20.00	-91,70 dBm	14.00 – 15.00	-92,33 dBm
<i>RSSI</i> , dBm	21.00 – 22.00	-64,44 dBm	04.00 – 05.00	-66,77 dBm
<i>RSRQ</i> , dB	04.00 – 05.00	-5,90 dB	22.00 – 23.00	-7,96 dB

Lejupielādes ātrums, Mbit/s	05.00 – 06.00	44,11 Mbit/s	22.00 – 23.00	22,88 Mbit/s
Augšupielādes ātrums, Mbit/s	04.00 – 05.00	31,60 Mbit/s	17.00 – 18.00	23,77 Mbit/s
Latentums, ms	03.00 – 04.00	23,99 ms	22.00 – 23.00	26,81 ms
Trīce, ms	09.00 – 10.00	12,20 ms	04.00 – 05.00	30,14 ms
Pakešu zuduma koeficients, %	02.00 – 04.00; 09.00 – 10.00; 13.00 – 14.00; 15.00 – 16.00; 17.00 – 19.00	0 %	22.00 – 23.00	0,18 %

Ņemot vērā minēto, var secināt ka pīķa noslodzes stundas mērījumu vietā bija no aptuveni no plkst. 21 līdz plkst. 23, kas nav tipiskās darba laika stundas.

Ievērojot, ka uztverta signāla jauda diennakts laikā ir stabila un tās izmaiņas bija samēra mazas – 0,63 dBm robežās, bet ir novērotas citu signāla parametru izmaiņa diennakts laikā, tai skaitā attiecībā uz *RSRQ* parametru, kura vērtība atkarīga no *RSRP*, *RSSI* un resursu bloku skaita. Līdz ar ko secināms, ka raidītāja jauda netiek mainīta un interneta pakalpojuma *QoS* parametrus iespaido fizikālie parametri, tai skaitā galalietotāju, kas izmanto operatora sniegtos pakalpojumus, skaits bāzes stacijas pārklājuma zonā. Par to arī liecina laika sadalījums, kur sliktākie rezultāti novēroti tieši vakara un agrās nakts stundās. Ievērojot, ka signāla parametrus var pielāgot noteiktai noslodzei, piemēram noteiktās stundās palielinot bāzes stacijas raidīšanas jaudu, pīķa noslodzes stundas būtu vērtējamas attiecībā uz *QoS* parametru vērtībām, kaut gan, kā redzams no mērījumu rezultātiem signāla parametru vērtības pīķa noslodzes stundās arī var pasliktināties.

Kā redzams no datiem, pīķa rezultāti parasti ir novēroti stundās, kas ir stundas ārpus darba laika, līdz ar to plānojot izlases un *drive test* mērījumus, nav iespējams paredzēt mērījumus šajās stundās. Līdz ar to ir svarīgi saprast vai mērījumu rezultāti, kas veikti konkrētos laikos, var būt uzskatīti par pamatotiem un atspoguļoti pie noteiktiem nosacījumiem, atspoguļojot vismaz interneta pakalpojuma *QoS* parametru vidējo vērtību.

Lai to izanalizētu, pilsētās un lauku reģionos tika veikti interneta piekļuves *QoS* parametru sērijveida mērījumi, kur visu mērījumu rezultātu apkopojuma vidējā vērtība tika izmantota kā etalona vērtība, lai noteiktu atšķirību starp vidējo mērījumu rezultātu vērtību, attiecībā pret mērījumiem noteiktos laika diapazonos. Mērījumi veikti trīs mobilo operatoru tīklos un katram parametram bija veikti 1000 mērījumi. Ievērojot, ka pakešu zuduma koeficients bija ļoti tuvs nulles vērtībai, tas netika ņemts vērā. Labākos rezultātus un rezultātus salīdzinājumam dažādos laika diapazonos var redzēt 3.3. tabulā. Tabulā ar zaļo krāsu ir izdalīta vērtības, kur atšķirība no etalona vērtības nepārsniedz 1 %, līdz ar ko vērtības var uzskatīt par identiskām, ar dzelteno krāsu – kur atšķirība no etalona vērtības ir lielāka par 2 %, bet nepārsniedz 4 %, līdz ar ko ir kļūdas robežās.

3.3. tabula

QoS parametru mērījumu rezultāti dažādos laika diapazonos attiecībā pret diennakts mērījumu rezultātu.

Laika periods	pilsēta								Lauki							
	Lejupielādes ātrums, Mbit/s	Atšķirība, %	Augšupielādes ātrums, Mbit/s	Atšķirība, %	Latentums, ms	Atšķirība, %	Trīce, ms	Atšķirība, %	Lejupielādes ātrums, Mbit/s	Atšķirība, %	Augšupielādes ātrums, Mbit/s	Atšķirība, %	Latentums, ms	Atšķirība, %	Trīce, ms	Atšķirība, %
1. operators																
00.00 – 24.00	45,18		22,29		25,78		2,41		29,28		12,75		16,44		2,37	
09.00 – 15.00	44,78	1 %	22,07	1 %	25,99	1 %	2,42	1 %	29,32	0 %	13,06	2 %	16,48	0 %	2,31	2 %
09.00 – 17.00	43,95	3 %	22,09	1 %	25,76	0 %	2,43	1 %	28,33	3 %	13,07	3 %	16,48	0 %	2,36	0 %
00.00 – 09.00	51,71	14 %	22,48	1 %	26,61	3 %	2,30	5 %	37,55	28 %	12,89	1 %	16,22	1 %	2,21	6 %
15.00 – 23.59	39,36	13 %	22,28	0 %	24,96	3 %	2,50	4 %	21,57	26 %	12,39	3 %	16,61	1 %	2,55	8 %
17.00 – 23.59	38,64	14 %	22,32	0 %	24,91	3 %	2,51	4 %	20,38	30 %	12,19	4 %	16,65	1 %	2,57	8 %
2. operators																
00.00 – 24.00	53,95		19,48		38,19		2,11		49,07		16,13		26,14		1,81	
09.00 – 15.00	53,37	1 %	19,44	0 %	38,56	1 %	2,30	9 %	50,83	4 %	15,79	2 %	26,11	0 %	1,96	8 %
09.00 – 17.00	52,16	3 %	19,26	1 %	38,67	1 %	2,31	9 %	49,62	1 %	15,77	2 %	26,07	0 %	1,96	8 %
00.00 – 09.00	64,92	20 %	21,32	9 %	37,74	1 %	1,73	18 %	57,76	18 %	16,90	5 %	25,66	2 %	1,70	6 %
15.00 – 23.59	43,82	19 %	17,78	9 %	38,35	0 %	2,27	7 %	39,45	20 %	15,64	3 %	26,61	2 %	1,79	1 %
17.00 – 23.59	42,26	22 %	17,50	10 %	38,18	0 %	2,26	7 %	37,24	24 %	15,62	3 %	26,82	3 %	1,75	3 %
3. operators																
00.00 – 24.00	27,81		21,47		26,03		13,75		38,09		25,51		26,09		3,72	
09.00 – 15.00	26,61	4 %	20,15	6 %	25,93	0 %	15,66	14 %	39,04	3 %	24,88	2 %	25,88	1 %	3,99	7 %
09.00 – 17.00	26,23	6 %	19,88	7 %	25,96	0 %	15,59	13 %	38,89	2 %	24,78	3 %	25,85	1 %	3,91	5 %
00.00 – 09.00	33,61	21 %	24,19	13 %	25,57	2 %	14,61	6 %	38,71	2 %	26,55	4 %	26,56	2 %	3,78	2 %
15.00 – 23.59	23,25	16 %	19,97	7 %	26,56	2 %	11,95	13 %	36,78	3 %	24,98	2 %	25,79	1 %	3,49	6 %
17.00 – 23.59	22,65	19 %	20,23	6 %	26,71	3 %	10,95	20 %	36,32	5 %	25,15	1 %	25,80	1 %	3,43	8 %

Ņemot vērā datu analīzes rezultātus secināms, ka rezultāti, kas ir tuvāki diennakts laikā iegūtai mērījumu rezultātu vidējai vērtībai ir laika posmā no plkst. 9 līdz plkst. 15, kur novirze no etalona vērtības 79 % izskatīto, tabulā redzamo, rezultātu gadījumā nepārsniedza 4 %, kas ir mērījumu kļūdas robežās. Viennozīmīgi, vērtības var atšķirties atkarībā no operatora elektronisko sakaru tīkla konfigurācijām, tomēr secināms, ka mērījumu rezultātu vidējās vērtības noteiktās diennakts stundās ir pietiekami tuvas, mērījumu, kas veikti diennakts visās stundās, rezultātu vidējai vērtībai. Līdz ar to seko, ka izlases mērījumus un *drive test* mērījumus, kuriem nav iespējams iegūt diennakts rezultātus, un kur iespēja, ka mērījumu laikā būs pīķa noslodzes stundas vai stundas, kurās ir ļoti maza noslodze, kas parasti ir nakts stundas, ieteicams veikt noteiktā laikā periodā, kurā mērījumu rezultātu vērtības ir tuvākas diennakts mērījumu rezultātu vidējai vērtībai. No mērījumiem, kas minēti iepriekš, un kas apkopo mērījumu rezultātus mērījumiem, kas veikti dažādās apdzīvotās vietās gada laikā, var secināt ka mērījumiem labākais laika posms ir aptuveni no plkst. 9 līdz plkst. 15, kas ir standarta darba laika robežās.

### 3.2. Mērījumu apjoma noteikšana dažādiem mērījumu veidiem

Viens no svarīgiem aspektiem veicot mērījumus ir nodrošināt, ka mērījumu rezultāti ir ticami un to ticamības pakāpe un relatīva precizitāte ir pēc iespējas augstāka. Papildus norādāms, ka parasti, ievērojot budžeta plānošanu un darba plānus, mērījumi tiek plānoti uz nākamo kalendāro gadu, līdz ar to mērījumu skaitam, vismaz aptuvenam ir jābūt definētām pirms mērījumu uzsākšanas [116], [117].

Starptautiskie standarti paredz, ka mērījumu ticamības pakāpei ir jābūt 95 %, bet rekomendējamā relatīva precizitāte ir 2 %. [41], [43], [74], [79] Tomēr regulējošām iestādēm vienmēr jāņem vērā mērījumu skaits, ko iestādei, ievērojot mēriekārtu un darba spēka skaitu ir iespējams fiziski veikt, līdz ar to var būt gadījumi, kad nepieciešams izvirzīt mērījumu prasības, nodrošinot mērījumus ar mazāko ticamības pakāpi vai mazāku precizitāti. Parasti veicot aprēķinus ir pieņemts ticamības pakāpi tomēr nodrošināt pie 95 %, bet relatīvo mērījumu precizitāti pazemināt līdz 5 % vai 10 %, atkarībā no mērījumu veikšanas iespējām.

Lai nodrošinātu mērījumu 95 % ticamības pakāpi, ir jānodrošina noteikts mērījumu skaits. Vairāki standarti, tai skaitā *ETSI EG 202 057-4*, paredz mērījumu skaita aprēķināšanai izmantot klasiskās statistiskās formulas normālām sadalījumam, kas atbilstoši interneta pakalpojuma *QoS* parametru mērījumu specifikai var izteikt sekojoši:

$$n = \frac{z_{1-\alpha/2}^2}{a^2} \times \left( \frac{s}{\text{mean}(x)} \right)^2, \quad (3.1.)$$

kur  $n$  – nepieciešamais minimālais mērījumu skaits;  $a$  – relatīva precizitāte procentos;  $z_{1-\alpha/2}^2$  – normāla sadalījuma koeficients ticamības pakāpei;  $s$  – testa mērījumu rezultātu standartnovirze;  $\text{mean}(x)$  – testa mērījumu rezultātu vidējā vērtība [43], [45].

Pēc 3.1.formulas redzams, ka pie vienādām ticamības pakāpes un relatīvas precizitātes vērtībām, lielāka ietekme uz nepieciešamo mērījumu skaitu ir novirzei no mērījumu rezultātu vidējās vērtības, kur pie lielākas tās vērtībās attiecībā pret vidējo vērtību pieaug arī mērījumu

skaits. Ievērojot, ka tiek mērīti vairāki *QoS* parametri vairāku operatoru tīklos, minimālais mērījumu skaits, nodrošinot arī vienādu mērījumu skaitu katra operatora tīklā, būs vienāds ar lielāko minimālo mērījumu skaitu, kas iegūts salīdzinot aprēķinu rezultātus katra operatora tīklā katra parametra iegūto vērtību atsevišķi.

Viennozīmīgi jāsaprot, kādam mērījumu veidam un kādiem mērījumu rezultātiem ir jānodrošina noteikta ticamības pakāpe. Parasti, kā testa mērījumi, tiek izmantoti pagājušā kalendāra gada mērījumi, kas ļauj nodrošināt korekta nepieciešamā mērījumu skaita noteikšanu nākamām gadam. Ja rezultātā ir jānodrošina, ka mērījumu rezultāti valsts ietvaros ir ticami un ar augstu ticamības pakāpi, tiek izskatīti tikai visā valstī iegūtie rezultāti, līdz ar ko veicot mērījumu skaita aprēķinu jāņem vērā visi mērījumu rezultāti, un tad mērījumu skaitu var sadalīt valsts ietvaros. Tomēr, ja nepieciešams nodrošināt noteiktu ticamības pakāpi mazākā iedalījumā, piemēram, valsts reģionos, pilsētās vai noteiktās vietās, tad ir jāveic aprēķini katram reģionam, vai pilsētai, vai vietai atsevišķi, un pēc iegūtiem rezultātiem jānodrošina mērījumu skaits.

Ja mērījumi noteiktā vietā vai vispār, netika veikti, tad ieteicams veikt noteiktu testa mērījumu daudzumu, vismaz 100 mērījumus, kuru rezultātus izmanto aprēķiniem. Tomēr, ievērojot to, ka mērījumu rezultāti dažādās apdzīvotās vietās var būt dažādi, un mobilā tīkla pilnveidošanas gaitā var būt arī mainīgi, nepieciešams sekot līdzi faktiskiem mērījumu rezultātiem, pārbaudot vai prognozētais mērījumu skaits ir pietiekams, nepieciešamības gadījumā mērījumu skaitu palielinot.

Ievērojot ka *drive test* gadījumā vienā ģeogrāfiskā punktā tiek veikts tikai viens mērījums, tad ticamības pakāpe nevar būt noteikta katram punktam, bet var būt noteikta lielākā mērogā – piemēram pilsētā, tādejādi aprēķinot cik mērījumiem jābūt veiktiem izvēlētajā mērogā. Līdzīgi ir ar izlases mērījumiem, kur kaut gan vienā ģeogrāfiskā punktā veiktiem mērījumiem var būt noteikta ticamības pakāpe, tomēr atkarībā no mērījumu rezultātiem, pie lielas mērījumu rezultātu izklīdes, var būt nepieciešams liels mērījumu skaits, kas nav lietderīgi un ko var būt praktiski neiespējami realizēt, līdz ar to mērījumu ticamības pakāpe un precizitāte būtu nosakāma lielākā apgabalā.

Lai izvērtētu iespējamo nepieciešamo mērījumu skaitu Latvijas Republikas gadījumā, izmantojot formulu 3.1. tika veikti aprēķini faktiskiem *QoS* mērījumu rezultātiem, kas iegūti gada ietvaros, salīdzinājumam veicot nepieciešamo mērījumu skaita aprēķinu pie ticamības pakāpes 95 % un pie dažādām relatīvas precizitātes vērtībām – 2 % un 5 %. Piemēram, tika aprēķināts mērījumu rezultāts gadījumā, ja nolūks ir iegūt tikai vienu vērtību valsts ietvaros. Rezultātus var redzēt 3.4. tabulā.



3.4. tabula

Mērījumu skaita aprēķinu rezultāti, mērījumu gadījumā, kas veikti trīs operatoru mobilos tīklos gada griezumā un kopīgi pie dažādas relatīvas precizitātes.

Parametrs	Normāla sadalījuma koeficients pie ticamības pakāpes 95 %	Relatīva precizitāte	Relatīva precizitāte	Mērījumu rezultātu kopas standartnovirze	Mērījumu rezultātu kopas vidējā vērtība	Nepieciešamais minimālais mērījumu skaits pie relatīvas precizitātes 5 %	Nepieciešamais minimālais mērījumu skaits pie relatīvas precizitātes 2 %
Apkopoti rezultāti, kas iegūti no visu mobilo tīklu mērījumiem							
Lejupielādes ātrums, Mbit/s	1,96	0,05	0,02	20,90	44,34	341	2133
Augšupielādes ātrums, Mbit/s	1,96	0,05	0,02	14,23	23,61	558	3488
Latentums, ms	1,96	0,05	0,02	12,03	30,57	238	1488,22
Trīce, ms	1,96	0,05	0,02	49,37	9,04	45805	286282
Pakešu zuduma koeficients	1,96	0,05	0,02	1,55	0,07	666911	4168193
1. operators							
Lejupielādes ātrums, Mbit/s	1,96	0,05	0,02	16,57	46,25	197	1233
Augšupielādes ātrums, Mbit/s	1,96	0,05	0,02	13,94	22,51	590	3685
Latentums, ms	1,96	0,05	0,02	9,67	23,33	264	1651
Trīce, ms	1,96	0,05	0,02	32,04	5,73	48074	300461
Pakešu zuduma koeficients	1,96	0,05	0,02	2,32	0,16	333529	2084554
2. operators							
Lejupielādes ātrums, Mbit/s	1,96	0,05	0,02	22,28	52,86	273	1707
Augšupielādes ātrums, Mbit/s	1,96	0,05	0,02	14,80	21,90	702	4387
Latentums, ms	1,96	0,05	0,02	8,42	42,89	59	370
Trīce, ms	1,96	0,05	0,02	5,07	2,27	7663	47891
Pakešu zuduma koeficients	1,96	0,05	0,02	0,74	0,01	4247822	26548888
3. operators							
Lejupielādes ātrums, Mbit/s	1,96	0,05	0,02	18,46	32,80	487	3043
Augšupielādes ātrums, Mbit/s	1,96	0,05	0,02	13,38	26,54	391	2441

Latentums, ms	1,96	0,05	0,02	5,77	25,31	80	500
Trīce, ms	1,96	0,05	0,02	81,21	19,90	25581	159882
Pakešu zuduma koeficients	1,96	0,05	0,02	1,13	0,05	685258	4282865

Analizējot 3.4. tabulā redzamos rezultātus, secināms, ka mērījumu skaita aprēķins ir jāveic katra operatora tīklam atsevišķi, jo viena parametra vērtību izkliede vienam operatoram var pārsniegt apkopotos rezultātos iegūto, līdz ar ko mērījumu skaits viena operatora tīklā var būt nepieciešams lielāks, nekā rēķinot parametrus kopā. Turklāt, ļoti būtiska ir relatīva precizitāte, jo palielinot to, kā redzams 3.4. tabulā, nepieciešamo mērījumu apjoms var pieaugt ļoti būtiski, piemēram, pat vairāk kā sešas reizes. Uz 3.4. tabulā apkopotu datu piemēra var arī secināt, ka parametrs, kuram lielas datu kopas ietvaros, parasti tiek novērota mazāka novirze, būtu nepieciešams veikt lielāku mērījumu skaitu. Lai nodrošinātu ticamības pakāpi 95 %, pie relatīvas precizitātes 5 % visiem mērāmiem *QoS* parametriem, mērījumu skaits izskatītā gadījumā būtu noteicams atbilstoši pakešu zuduma koeficientam, kas notiek tāpēc, ka samērā labas interneta pakalpojuma kvalitātes dēļ pakešu zudumi netiek ļoti bieži novēroti.

Par praktisko piemēru var izmantot Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas mērījumu datus, kas apkopoti gada pārskatā, kur definēts, ka 2018. gadā tika veikti 18000 izlases mērījumi un 183700 sērijveida mērījumi. Ja par pamatu izmantot 3.4. tabulā izmantotās vērtības, tad var apgalvot, ka vērtējot mērījumus kopskaitā un sērijveida mērījumus atsevišķi, mērījumi veikti ar ticamības pakāpi 95 % un relatīvo precizitāti 10 %, tad kad izlases mērījumu gadījumā pie tas pašas ticamības pakāpes relatīva precizitāte sastāda tikai 31 % [116], [126]. Līdz ar to relatīvo precizitāti iespējams pielāgot arī konkrētiem mērījumiem.

Definējot mērījumu skaitu noteiktā punktā, var būt dažādi varianti tā noteikšanai, jo noteiktā vietā var nebūt novēroti pakešu zudumi vispār un minimālais mērījumu skaits būtu nosakāms atbilstoši citam *QoS* parametram, bet citā var būt novēroti mazi pakešu zudumi, līdz ar ko rezultātā, lai konkrētā vietā nodrošināt rezultātu ticamību un precizitāti, var būt nepieciešams ļoti dažāds mērījumu skaits. Piemēram, 3.5. tabulā tiek izskatīts gadījums, kad mērījumu laikā vienā vietā nav novēroti pakešu zudumi, līdz ar to arī mērījumu skaits būtu rēķināms no latentuma parametra vērtībām.

3.5. tabula

Mērījumu skaita aprēķinu rezultāti vienai mērījumu vietai.

	Normāla sadalījuma koeficients pie ticamības pakāpes 95 %	Relatīva precizitāte	Relatīva precizitāte	Mērījumu rezultātu kopas standartnovirze	Mērījumu rezultātu kopas vidējā vērtība	Nepieciešamais minimālais mērījumu skaits pie relatīvas precizitātes 5 %	Nepieciešamais minimālais mērījumu skaits pie relatīvas precizitātes 2 %
Lejupielādes ātrums, Mbit/s	1,96	0,05	0,02	14,85	32,33	324	2027

Augšupielādes ātrums, Mbit/s	1,96	0,05	0,02	7,61	34,26	76	474
Latentums, ms	1,96	0,05	0,02	3,56	23,74	34	215
Trīce, ms	1,96	0,05	0,02	2,94	2,43	2251	14072
Pakešu zuduma koeficients	1,96	0,05	0,02	0,00	0,00	0	0

Secināms, ka mērījumu skaits kopumā ir arī ļoti atkarīgs no mērījumu vietām, kur bija veikti kontroles mērījumi, uz kuru pamata tiek rēķināts plānojamais mērījumu skaits. Līdz ar to pat gadījumā, ja tiek izvirzītas prasības mērījumu precizitātei valsts mērogā, svarīgi gada gaitā mērījumu rezultātus uzraudzīt, jo var būt nepieciešami vai nu papildus mērījumi lai sasniegtu vēlamu precizitāti, kas notiktu gadījumā, ja references mērījumu būtu veikti vietās ar ļoti labiem sasniedzamiem *QoS* parametriem kā redzams 3.5. tabulā, vai nu mērījumu skaitu varētu būt iespējams samazināt, ekonomējot resursus, ja references mērījumu gadījumā rezultāti bija sliktāki.

Papildus norādāms, ka Elektronisko sakaru likums paredz, ka operatori neņem maksu no regulējošas iestādes par kvalitātes mērījumu veikšanu, tāpēc lielāks mērījumu skaits ir jāizvērtē, lai nerastos nepamatoti liels slogs operatoram [39].

### 3.3. Mērījumu kļūdas un to noteikšana

Veicot interneta pakalpojuma *QoS* mērījumus un apkopojot iegūtos datus, jārēķinās, ka iespējamas gan cilvēciskā faktora, gan mērījumu iekārtu, gan programatūras, gan statistikās kļūdas. Daļu no kļūdām ir iespējams ņemt vērā datu apstrādes laikā, bet dažas gandrīz nav iespējams konstatēt [22].

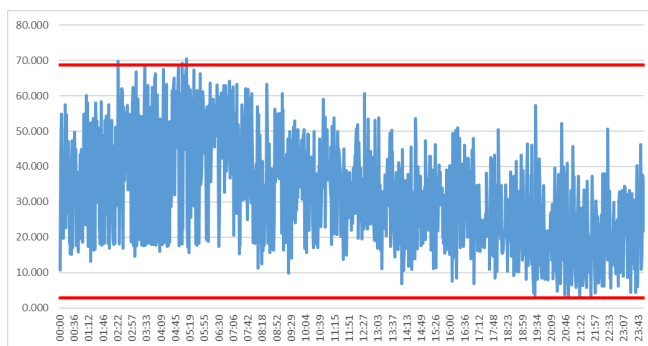
Cilvēciskās kļūdas var būt dažādas, tās var rasties nodrošinot fizisko savienojumu, piemēram pieslēdzot iekārtas, izvietojot iekārtas, vai manuāli ievadot datus, vai arī mērījumu laikā neizpildot mērījumu veikšanas prasības, piemēram, mērījumu iekārtā ieslēdzot aplikāciju, kas palielina noslodzi gan uz iekārtu, gan uz interneta pakalpojuma savienojumu. Dažas tādas kļūdas var būt atklātas pie noteiktās mērījumu rīka funkcionalitātes, piemēram, ja rīks atbalsta lieku paralēli mērījumiem strādājošo aplikāciju darbības atpazīšanu, vai nu nepieciešamo informāciju iekļaujot mērījumu datu failā, vai tādus mērījumus neapkopo tālākai apstrādei, vai liedz tādu mērījumu veikšanu. Diemžēl, tādas funkcionalitātes nodrošināšana ir dārga, kā arī prasa lielāku mērījumu sistēmas sarežģītību, kā arī reizēm, noteiktu operētājsistēmu iekārtām, kādu funkcionalitāti nav iespējams nodrošināt. attiecībā uz citām cilvēciskām kļūdām, tās ir daļēji iespējams atpazīt izmantojot statistiskos līdzekļus, tas ir – veicot rezultātu datu analīzi. Tomēr ja mērījumi tiek veikti kļūdaini lielu laika posmu, vai rezultātā radušās kļūdas nav lielas, tad statistiskā un cita datu analīze var kļūdu neatklāt. Līdz ar ko secināms, ka lai novērstu cilvēciskās kļūdas, galvenais ir darbinieka izglītošana, lai nodrošinātu, ka mērījumi tiek veikti atbilstoši prasībām, un savienojums un rezultāti tiek, pēc iespējas, pārbaudīti uzreiz pirms vai pēc mērījumu veikšanas.

Katras iekārtas darbības pamatā ir tās elementu, tai skaitā čipu, procesoru utt., darbība, tomēr arī katram elementam ir raksturīgas neprecizitātes. Ja šīs kļūdas nav izteiktas, tās parasti netiek ņemtas vērā, jo iekārtu ražotāji parasti nedefinē kļūdas, ja iekārtas, piemēram, viedtālrunis, ir paredzētas galalietotāju ikdienas vajadzībām, jo tas nav būtiskas [22].

Katram mērījumu programmatūras rīkam ir arī no izstrādātāja puses definēta noteikta mērījumu kļūda, kuru nepieciešams ņemt vērā pie rezultātu apkopošanas. Kļūdas vērtībā parasti tiek iekļauti tādi aspekti, kā skaitlisko vērtību noapaļošana, mērījumu tehniskai metodei, programmēšanas valodai un kodam tipiski raksturīgas kļūdas. Tomēr nav iespējams paredzēt visu izstrādājot mērījumu rīku un reizēm ir novērojamas arī mērījumu sistēmas kļūdas, tomēr to iespaidu, ja tikai vērtības statistikās apstrādes rezultātā netiek atņemtas, ir parasti grūti paredzēt [46].

Apstrādājot mērījumus ir jāpievērš uzmanība rezultātu izklidei konkrētā vietā veikto mērījumu kopai, jo šī vērtība ļauj izvērtēt, iespējamās kļūdainas vērtības, jo pēc datu apkopojuma šīs vērtības var nebūt redzamas, ievērojot to, ka tās var būt tuvas citā vietā veikto mērījumu rezultātiem.

Vēl viena pieeja mērījumu kļūdas novēršanai jeb rezultātu verificācijai, ir kopējā aprēķinā atņemt mērījumu rezultātu kopas lielākās un mazākās vērtības 5 % apmērā, kā tas grafiski parādīts attēlā 3.1. Tas ļauj atņemt kļūdainas vērtības, kas būtiski mainītu rezultātu rēķinot statistiskos parametrus, tai skaitā bieži izmantotu vidējo vērtību. Šī vērtība ir viegli aprēķināma datu apstrādes laikā, izmantojot klasiskās statistiskās metodes percentīles aprēķināšanai, kur ievērojot parastu interneta pakalpojuma mērījumu rezultātu raksturu pierasts aprēķināt percentīli normālām sadalījumam.



3.1. att. 5 % procentu no mērījumu kopas atņemšanas grafiskais attēlojums: ar zilo apzīmēti mērījumu kopas rezultāti; ar sarkanām līnijām apzīmēti 2.5 % no augstākām un zemākām vērtībām no mērījumu kopas.

Kā jau minēts iepriekšējā nodaļā, viens no būtiskākajiem mērījumu precizitātes novērtēšanas kritērijiem ir ticamības pakāpe un relatīva precizitāte, kas var tikt izmantots gan plānojot mērījumus, gan pēc to veikšanas. Tas ir pamata mērījumu precizitāti noteicošie lielumi, pēc kuriem ir jāorientējas pēc nepieciešamības, atkarībā no iegūtiem mērījumu rezultātiem palielinot mērījumu skaitu, atbilstoši definētai ticamības pakāpei [72], [74], [75].

Ievērojot regulatīvo mērījumu procesu un mērījumu skaitu, manuāla datu apstrāde nav iespējama un pieļaujama, jo tas ir viens no cilvēciskas kļūdas iespējamiem faktoriem, līdz ar ko ir jānodrošina mērījumu apstrādes automatizācijas algoritms, kas varēs gan izslēgt daļu no cilvēciskām kļūdām, gan veikt mērījumu statistisko analīzi, ņemot vērā iekārtu, programmatūras, un citas mērījumu datu kopas kļūdas.

### 3.4. Cilvēkresursu un iekārtu skaita faktors

Kā tika konstatēts augstāk, mērījumu apjomu ir ieteicams rēķināt pamatojoties uz iepriekšēja gada mērījumu rezultātiem, lai nodrošinātu mērījumu 95 % ticamības pakāpi, kā to prasa starptautiskais un Eiropa Savienības regulējums [16], [72].

Ievērojot nepieciešamo mērījumu skaitu ir iespējams plānot mērījumus gada griezumā, bet, īpaši liela apjoma mērījumu nepieciešamības gadījumā, ir nepieciešams ņemt vērā gan mērījumu vietu, mērījumu iekārtu un cilvēkresursu skaitu, tai skaitā mērījumu iekārtu pārvietošanai nepieciešamo laiku.

*Drive test* gadījumā bieži ir nepieciešams, lai darbinieks, kas ir autotransporta vadītājs, vienlaikus nodrošina arī pašu mērījumus uzraudzību. Standarta mērījumi tiek veikti darba laikā, bet līdz mērījumu uzsākšanas un beigu vietai ir arī nepieciešams laiks nokļūšanai, kā arī dažādu apstākļu dēļ mērījumi var tikt nodrošināti ne katru dienu. Līdz ar to pieņemot, ka vienam mērījumam ir nepieciešamas 5 minūtes, sanāk, ka stundā maksimāli ir iespējams veikt 12 mērījumus. Pieņemot, ka mēnesī ir aptuveni 160 stundas, bet dažādu apstākļu rezultātā, faktisko mērījumu veikšanas laiku mēnesī var reducēt uz 100 stundām, līdz ar to mēnesī ir iespējams veikt aptuveni 1200 mērījumus, un gadā – 14400 mērījumus, ja mērījumus veic viens darbinieks.

Sērījveida mērījumu gadījumā, parasti mērījumi tiek veikti nepatraukti diennakts laikā, līdz ar to mērījumu skaits, kuru var nodrošināt tādu mērījumu gadījumā ir ļoti liels. Pie nosacījuma, ka viens mērījums aizņem 5 minūtes, gada laikā, ja mērījumu iekārta atrodas vienā vietā un netiek pārvietota, kā arī negadās incidenti, var veikt aptuveni 105120 mērījumus izmantojot vienu mērījumu iekārtu. Tomēr sērījveida mērījumu gadījumā visi mērījumi būs veikti vienā, vai mazā vietu skaitā. Var arī aprēķināt cik iekārtas nepieciešamās, lai nodrošinātu mērījumu skaitu, kas tika izrēķināts atbilstoši noteiktiem apstākļiem 3.2. apakšnodaļā, kur sanāk, ka lai gada laikā veikt 685259 mērījumus, jābūt vismaz 7 mērījumu iekārtām.

Izslases mērījumu gadījumā mērījumu skaits būs būtiski zemāks, jo šādu mērījumu gadījumā nevar izslēgt pārvietošanas laiku, līdz ar ko arī aprēķini ir daudz grūtāk prognozējami, un atkarīgi gan no ceļa satiksmes apstākļiem, gan no attālumiem starp mērījumu vietām. Praktiski, tikai 10 mērījumu veikšana 6 vietās vienā apdzīvota vietā, piemēram, pilsētā, var aizņemt visu darba dienu, ieskaitot laiku, kas nepieciešams, lai aizbrauktu līdz mērījumu vietām. Līdz ar to gadā pie aprakstītiem apstākļiem viens darbinieks būs spējīgs veikt aptuveni 10000 mērījumus gada griezumā, ievērojot dažādus apstākļus.

Ievērojot iegūtos rezultātus secināms, ka cilvēku un iekārtu skaita faktors ir ļoti būtisks, jo no tā var būt atkarīgs vai ielāņotos pakalpojuma kvalitātes mērījumus būs iespējams veikt atbilstošā precizitātē, un tieši šis faktors var būt par iemeslu mērījumu plāna izpildei.

Ievērojot, ka mērījumu skaits ir balstīts uz iepriekšējā gada rezultātiem, ir iespējams, ka aprēķinātais mērījumu skaits var būtiski atšķirties, atkarībā no iepriekšēja gadā mērījumu vietu izvietojuma, un gadījumā, kad būs mazāka atšķirība starp parametra vidējo vērtību un izkliedi, tad arī mērījumu skaits būs nepieciešams būtiski mazāks, līdz ar ko arī darbaspēka un iekārtu lielāka skaita nepieciešamība zūd. Protams, var definēt ikgadēji standarta mērījumu skaitu, tādējādi fiksējot arī darbinieku un mērījumu iekārtu skaitu, tomēr tad pastāv risks, ka gada beigās gala rezultāts nesasnies nepieciešamo precizitātes līmeni.

### 3.5. Mērījumu vietu izvēle un sadalījums

*QoS* mērījumu vietu izvēle ir pirmkārt balstīta uz nolūku, kurš nosaka kādi rezultāti un kādā sadalījumā tie tiks atspoguļoti. Piemēram, ja iestādi interesē tikai vidējā interneta piekļuves pakalpojuma kvalitāte valstī, un tā tiks izteikta tikai un vienīgi kā viens cipars katram *QoS* parametram, tad atsevišķo vietu sadalījums nav ļoti būtisks, ar nosacījumu, ka mērījumi ir veikti vienmērīgi valsts robežās, un to skaits apmierina 3.2. apakšnodaļā minētos nosacījumus [116], [117], [118]. Tomēr tādi rezultāti nav pārskatāmi un nevar liecināt par patieso galalietotājiem pieejamo pakalpojuma kvalitāti valsts robežās.

Lai rezultāti būtu lietderīgi galalietotājiem, viens no visvairāk piemērojamiem mērījumu vietu sadalījumiem, ir sadalījums pēc apdzīvotām vietām. Pasaules standarti paredz apdzīvoto vietu sadalījumu atbilstoši iedzīvotāju skaitam, kā redzams 3.2. attēlā [41].



3.2. att. Apdzīvoto vietu sadalījums [41].

Tomēr, veicot Latvijas Republikas pilsētu analīzi konstatējams, ka lielākais iedzīvotāju skaits ir Rīga, kur ir apmēram 742 tūkstoši iedzīvotāju, tai seko Daugavpils ar 111 tūkstošiem iedzīvotāju un tad Liepāja ar 85 tūkstošiem iedzīvotāju [102]. Līdz ar ko, secināms, ka starptautiskos standartos minētais sadalījums Latvijas Republikai nav piemērojams, jo tikai viena pilsēta atbilst ceturtajai kategorijai, dažas atbilst otrai kategorijai, un lielākā daļa Latvijas Republika apdzīvoto vietu atbilst pirmajai kategorijai. Tāds sadalījums nav precīzs un neļauj detalizēti atspoguļot mērījumu rezultātus, jo vienā no kategorijām ir tikai viena pilsētā, bet trešajai kategorijai neviena Latvijas Republikas pilsētā neatbilst.

Līdz ar to apdzīvoto vietu sadalījumam, būtu jāizmanto nacionālie normatīvie akti, kur ir definēts apdzīvotas vietas tips, un kas paredz sekojošu apdzīvoto vietu sadalījumu:

1. Galvaspilsēta;
2. Valstspilsētas;
3. Novadu pilsētas;

#### 4. Ciemi [4].

Ievērojot Latvijas Republikas iedzīvotāju skaitu, apdzīvoto vietu sadalījumu un mērījumu specifiku, mazāku apdzīvotu vietu iedalījumu nav racionāli izmantot, jo mazciemu un viensētu skaits ir ļoti liels, bet iedzīvotāju skaits tajos ir ļoti mazs, līdz ar ko mērījumi tajos nav lietderīgi, un iespējami tikai gadījumā, ja neprasa papildus ieguldījumus un cilvēkstundas, piemēram, šķērsojot šo apdzīvoto punktu veicot *drive test* mērījumus [102], [103]. Ievērojot cilvēku skaita sadalījumu dažādās apdzīvotas vietās, secināms, ka prioritāri mērījumiem ir jāizvēlas apdzīvotas vietas ar lielāku iedzīvotāju skaitu, tomēr ir ieteicams sadalīt mērījumus starp dažāda tipa apdzīvotām vietām, kas ļautu izteikt secinājumus par pieejamu interneta pakalpojuma kvalitāti dažāda tipa apdzīvotās vietās, jo lauku reģionos atšķiras arī signāla pārraidei izmantoti frekvenču diapazoni, un arī operatori, lielākoties ir orientēti sniegt pakalpojumus apdzīvotās vietās ar lielāku iedzīvotāju skaitu, kas padara lauku iedzīvotājus mazāk aizsargātus kā patērētājus [102], [103].

Ņemot vērā minēto apdzīvoto vietu sadalījumu, mērījumus var izvietot vai pēc iespējas teritoriāli vienmērīgi valsts teritorijā, vai arī visās pilsētās un ciemos, vai daļā pilsētu un ciemu atbilstoši nepieciešamām mērījumu skaitam un resursiem. Latvijā ir 10 valstspilsētas, tai skaitā galvaspilsēta, 71 novadu pilsēta, 1361 ciems un aptuveni 5000 mazciemi [4], [103]. Ievērojot apdzīvoto vietu skaitu, pie maza cilvēkresursu daudzuma mērījumus katrā no apdzīvotiem punktiem nebūtu iespējams veikt, vai tas aizņemtu ļoti daudz laika uz resursu [101]. Turklāt mērījumu sadalījums būtu jāreķina atbilstoši apdzīvotas vietas lielumam vai iedzīvotāju skaitam, kā rezultātā mērījumu skaits ciemos būtu samērā mazs.

Veicot mērījumus apdzīvotos punktos, iespējams mērījumu skaitu konkrētos apdzīvotos punktos noteikt proporcionāli iedzīvotāju skaitam. Līdz ar to, ja ņemt 3.2. apakšnodaļā minētos aprēķinu rezultātus, tas ir pieņemts, ka ir jāveic minimāli 685259 mērījumi valstī, un valstī ir 1883000 iedzīvotāji, tad reķinot mērījumu skaitu vienā pilsētā vajadzētu iedzīvotāju skaitu reķināt ar koeficientu 0,364, kas reķināts nosakot mērījumu skaitu uz vienu iedzīvotāju [103]. Līdz ar to Rīgā, vajadzētu veikt minimāli 230220 mērījumus, tad kad ciemā ar 1000 iedzīvotājiem, izmantojot šo sadalījumu, pietiktu ar 364 mērījumiem. Tomēr, ievērojot, ka pilnībā visās apdzīvotās vietās nav iespējams veikt mērījumus, reķinot var ņemt vērā arī mērāmo apdzīvoto vietu skaitu un nosakot atbilstošu proporciju, kas ņemtu vērā gan iedzīvotāju skaitu apdzīvotā vietā, gan vietu skaitu, vienmērīgi sadalot mērījumu skaitu.

Vēl viens variants, kā sadalīt mērījumus ir pēc valsts novadiem, kurus skaits Latvijas Republikā ir 36 [99]. Tāds sadalījums paredz noteiktu mērījumu skaitu novada teritorijā, vai nu izpildot precizitātes nosacījumus novada ietvaros, vai nu vienmērīgi sadalot mērījumu skaitu, paredzot mērījumus vienmērīgi valsts teritorijas ietvaros katrā novadā. Tādējādi mērījumus vajadzētu sadalīt teritoriāli vienmērīgi viena novada ietvaros.

Mērījumu teritoriālajam sadalījumam var arī izmantot sadalījumu pēc kilometra režģa vai 100 uz 100 metru režģa, kuru paredz arī Eiropa Komisijas ikgadēja datu apkopošana par valstī pieejamu interneta pakalpojuma kvalitāti [71], [95], [96], [126]. Ievērojot, ka Latvijas platība ir 64589 kvadrāt kilometri, tad, ievērojot minimālo mērījumu daudzumu, lai nodrošinātu, ka katrā kilometra režģa šūnā ir veikts mērījums, vajadzētu veikt 10 mērījumu katrā režģa apgabālā. Tomēr to nav iespējams fiziski veikt, jo lielu daļu Latvijas Republikas teritorijas

aizņem meži, ezeri un citi elementi, kas traucē piekļuvei noteiktā kvadrātā [104]. Pat ņemot vērā, ka aptuveni 52 % Latvijas teritorijas noklāj mežs, un tur nav lietderīgi veikt mērījumus, tad tāpat katrā, no meža brīvā kvadrātkilometrā būtu jāveic 22 mērījumi, kā realizācija būtu apgrūtināša, jo mazu mērījumu skaitu ir lietderīgi veikt tikai izlases vai *drive test* mērījumu gadījumā, bet tad vajadzētu ļoti lielu iekārtu skaitu un darbinieku skaitu [93], [104].

Sērijveida mērījumu gadījumā viens no svarīgiem faktoriem ir arī iekārtu izvietošana. Ja iekārtas nevar izvietot mērījumu veikšanai ilgākajā laika posmā, tad tādus mērījumus nav iespējams veikt. Daudzos mazākos apdzīvotos punktos, mērījumu iekārtu izvietošana var būt apgrūtināta, vietas trūkumā dēļ. Izvietojuma vietu plānošana arī prasa papildus cilvēkresursus, kas mērījumiem paredzēto vietu atradīs un saskaņos, līdz ar to mērījumu iekārtu izvietošanas vietu skaits parasti ir ierobežots un nav brīvi visur pieejams, līdz ar ko vietas izvēle sērijveida mērījumu veikšanai ir ļoti ierobežota un parasti var tiks nodrošināta tikai lielākos apdzīvotos punktos.

Secināms, ka lai sadalītu mērījumus valsts teritorijā ir nepieciešams kombinēts risinājums, kas ļautu pie esošā resursu skaita nodrošināt mērījumu skaita izpildi, un vienlaicīgi iespēju veikt kvalitatīvu pakalpojuma kvalitātes uzraudzību, mērījumus analizējot arī diennakts griezumā. Nav iespējams nosegt katru valsts vietu, gan apdzīvoto vietu kontekstā, gan reģģa kontekstā, tāpēc jānodrošina, kā mērījumi ir vienmērīgi sadalīti valsts robežās, un to skaits ir proporcionāls iedzīvotāju skaitam. Papildus ieteicams nodrošināt mērījumus izmantojot *drive test*, jo tikai *drive test* mērījumi var nodrošināt mērījumu veikšanu ceļa posmu ietvaros un vismaz daļēji nodrošināt mērījumu mazciemos un viensētās.

### 3.6. Nodaļas kopsavilkums

Nodaļā tiek izskatīti interneta pakalpojuma mērījumu apjoma noteikšanas kritēriji un mērījumu laika izvēle atkarībā no mērījumu veida, kas nepieciešami lai nodrošinātu, ka mērījumi ir veikti atbilstoši starptautiskos standartos noteiktai ticamības pakāpei, un mērījumu rezultātu apkopojums ļauj novērtēt galalietotājiem faktiski pieejamo pakalpojuma kvalitāti.

Ņemot vērā definēto mērījumu skaita aprēķināšanas metodi, nodaļā tika arī izskatīti mērījumus ietekmējoši faktori, tai skaitā cilvēciskais, un definētas mērījumu vietu izvietošanas opcijas, kas ļautu novērtēt galalietotājiem sniegtā mobilā interneta pakalpojuma kvalitāti valsts robežās.

Ievērojot nodaļā izskatīto var secināt, ka izlases mērījumus un *drive test* mērījumus, kuriem nav iespējams iegūt diennakts rezultātus, un kur maz iespējams, ka mērījumu laikā būs novērotas pīķa noslodzes stundas vai stundas, kurās ir ļoti maza noslodze, ieteicams veikt noteiktā laikā periodā, kurā mērījumu rezultātu vērtības ir tuvākas diennakts mērījumu rezultātu vidējai vērtībai. Analizējot praktisko mērījumu laikā iegūtos rezultātus, var secināt ka mērījumiem labākais laika posms ir aptuveni no plkst. 9 līdz plkst. 15, kas ir standarta darba laika robežās [25].

Minimālais plānotais mērījumu skaits ir atkarīgs no mērījumu vietām, kur bija veikti kontroles mērījumi. Gadījumā, ja tiek izvirzītas prasības mērījumu precizitātei valsts mērogā, svarīgi gada gaitā mērījumu rezultātus uzraudzīt, jo var būt nepieciešami vai nu papildus



mērījumi, lai sasniegtu vēlamo precizitāti, vai nu mērījumu skaitu varētu būt iespējams samazināt, ekonomējot resursus. Viens no būtiskākiem mērījumu precizitātes novērtēšanas kritērijiem ir ticamības pakāpe un relatīva precizitāte, kas var tikt izmantoti gan plānojot mērījumus, gan pēc to veikšanas. Ja, darba spēku un mērījumu iekārtu resursu trūkuma dēļ, nav iespējams veikt vēlamo aprēķināto mērījumu skaitu, tad ieteicams samazināt precizitātes prasības un rēķināt tās atbilstoši faktiskai situācijai.

Ievērojot iegūtos rezultātus secināms, ka cilvēku un iekārtu skaita faktors ir ļoti būtisks, jo no tā var būt atkarīgs vai ielānētos pakalpojuma kvalitātes mērījumus būs iespējams veikt atbilstošā precizitātē, un tieši šis faktors var būt par iemeslu mērījumu plāna izpildei. Regulatīvo mērījumu rezultātiem manuāla datu apstrāde nav iespējama un pieļaujama, jo tas ir viens no cilvēciskas kļūdas iespējamiem faktoriem, līdz ar ko ir jānodrošina mērījumu apstrādes automatizācijas algoritms, kas varēs gan izslēgt daļu no cilvēciskām kļūdām, gan veikt mērījumu statistisko analīzi, ņemot vērā iekārtu, programmatūras, un citas mērījumu datu kopas kļūdas.

Starptautiskos standartos noteiktais apdzīvoto vietu sadalījums nav atbilstošs Latvijas Republikas situācijai, līdz ar ko apdzīvoto vietu sadalījumam ir jāizmanto nacionālie normatīvie akti, kur ir definēts apdzīvotas vietas tips, un kas paredz sekojošu apdzīvoto vietu sadalījumu: galvaspilsēta, valstspilsētas, novadu pilsētas un ciemi.

Lai vienmērīgi nodrošinātu mērījumus valsts teritorijā ir nepieciešams kombinēts risinājums, kas ļautu pie esošā resursu skaita nodrošināt aprēķinātā mērījumu skaita izpildi, un vienlaicīgi iespēju veikt kvalitatīvu pakalpojuma kvalitātes uzraudzību, mērījumus analizējot arī diennakts griezumā. Nav iespējams nosegt katru valsts vietu, gan apdzīvoto vietu kontekstā, gan teritoriālā režģa kontekstā, tāpēc jānodrošina, kā mērījumi ir vienmērīgi sadalīti valsts robežās, un to skaits ir proporcionāls iedzīvotāju skaitam. Papildus ieteicams nodrošināt mērījumus izmantojot *drive test*, jo tikai *drive test* mērījumi var nodrošināt mērījumu veikšanu ceļa posmu ietvaros un vismaz daļēji nodrošināt mērījumu mazciemos un viensētās.

## 4. KVALITĀTES UN SIGNĀLA PARAMETRU SAVSTARPĒJAS SAKARĪBAS IZVĒRTĒJUMS

Mobilā tīkla plānošanas stadijā, tīkla plānošanai tiek izmantoti signāla parametri, un izmantojot simulāciju tiek aprēķināta mobilā tīkla pārklājuma zona un prognozējamās signāla parametru vērtības tās ietvaros. Tas ir nepieciešams, jo *QoS* parametrus tīkla plānošanā nav lietderīgi izmantot, ievērojot, ka līnijas līdz bāzes stacijai kapacitāte var būt ierobežota atkarībā no nepieciešamības, un plānojot tīklu ir zināma šīs līnijas kapacitāte un *QoS* parametru vērtības. Lielāku iespaidu uz *QoS* parametriem šajā gadījumā rada tieši bezvadu piekļuves tīkls, kur signāla parametri ir mainīgi un kas prasa samērā komplicētu plānošanu. Līdz ar to, arī veicot piekļuves tīkla uzlabojumus, konstatējot problēmas, operatori balstās uz signāla parametru faktiskām vērtībām [52], [107].

Ievērojot minēto, Regulējošām iestādēm, veicot *QoS* parametru mērījumus mobilā tīklā ieteicams piefiksēt arī signāla parametru vērtības, jo tieši šīs vērtības ļaus mobilo tīklu operatoriem, analizējot iegūtos datus, spriest par iespējamām problēmām un to risinājumiem. Bet tas nav vienīgais faktors kāpēc signāla parametru mērījumi var būt lietderīgi regulējošām iestādēm.

Mērījumu kustībā gadījumā, plānojot mērījumus, ir iespējams nodrošināt samērā vienmērīgu mērījumu pārklājumu, un lielu atsevišķu mērījumu vietu skaitu, tomēr gadījumos kad tiek veikti izlases mērījumi vai arī sērijveida mērījumi noteiktā vietā, tai skaitā telpā, parasti nav iespējams bez papildus parametru mērījumu veikšanas noteikt labāku mērījumu vietu, vai secināt ka telpā vai ārpus telpas ir mainīgs signāls, kā jau izskatīts iepriekš darbā. To iespējams konstatēt tikai veicot signāla parametru analīzi, kopsakarā ar kvalitātes parametru analīzi.

Ja signāla parametri ir mainīgi apdzīvotas vietas teritorijā, tad pēc mērījumiem vienā vietā nevar spriest par kopēji apdzīvotā punktā pieejamo pakalpojuma kvalitāti galalietotājiem, un mērot tikai *QoS* parametrus sniegtā pakalpojuma kvalitāte visā apdzīvotā vietā arī nav prognozējama. Līdz ar to, nosakot iespējamo korelāciju starp signāla un *QoS* parametru vērtībām, un veicot šo parametru mērījumus, būtu iespējams vismaz aptuveni paredzēt citās apdzīvotā punkta vietās galalietotājiem pieejamo interneta pakalpojuma kvalitāti.

Šajā darba nodaļā minētie un aprakstīti mērījumi bija veikti vairāku gadu garumā visā Latvijas Republikas teritorijā, trīs mobilo operatoru elektronisko sakaru tīklos, lai varētu izteikt secinājumus gan par korelāciju starp interneta pakalpojuma *QoS* parametriem un signāla parametriem, gan noteikt mērījumu veikšanas īpatnības, definējot prasības mērījumu nodrošināšanas risinājumam pakalpojuma kvalitātes mērījumiem mobilā elektronisko sakaru tīklā.

### 4.1. *QoS* parametru izmaiņas dažādos frekvenču spektra diapazonos

Signāla parametri primāri tiek izmantoti, lai nodrošinātu tīkla darbību, plānojot elektronisko sakaru tīklus un pakalpojumus [52]. Regulatīvo mērījumu ietvaros signāla parametri tiek

izmantoti, lai uzraudzītu frekvenču spektru un to izmantošanu, atbilstoši piešķirtām licencēm, un nacionālām radiofrekvenču plānam [8], [39], [100], [127].

Veicot interneta pakalpojuma *QoS* parametru mērījumus, un papildus analizējot arī frekvenču spektru, var redzēt, ka mobilie operatori izmanto visus frekvenču spektra diapazonus, kas viņiem piešķirti komercdarbībai, lai nodrošinātu pakalpojumu sniegšanu galalietotājiem [127]. Ievērojot minēto, rodas pieņēmums, ka *QoS* parametru vērtības varētu būt atkarīgas lielā mērā no frekvenču diapazona, kurā notiek signāla raidīšana.

Lai minēto pārbaudītu visā valsts teritorijā tika veikti interneta pakalpojuma *QoS* mērījumi un vienlaicīgi arī signāla mērījumi trīs mobilo operatoru tīklos, lai konstatētu, kuri konkrēti frekvenču diapazoni tiek izmantoti pakalpojuma sniegšanai, un vai ir sakarība starp *QoS* parametru vērtībām un frekvenču diapazoniem, kuros notiek signāla pārraide pakalpojuma sniegšanai. Apkopotus mērījumu rezultātu var redzēt 4.1. tabulā.

4.1. tabula

*QoS* parametru mērījumu rezultāti dažādos frekvenču diapazonos.

		1. operators		2. operators		3. operators	
		min	max	min	max	min	max
Lejupielādes ātrums, Mbit/s	800 MHz	0,20	89,50	0,74	97,04	0,49	75,04
	1800 MHz	1,10	83,44	0,10	143,15	0,79	116,80
	2100 MHz	5,66	111,94	–	–	2,51	40,56
	2600 MHz	16,66	69,20	3,66	67,85	1,21	120,36
Augšupielādes ātrums, Mbit/s	800 MHz	0,07	24,27	0,05	21,94	0,21	46,75
	1800 MHz	0,13	46,76	0,18	47,66	0,05	94,37
	2100 MHz	4,73	42,34	–	–	0,19	14,57
	2600 MHz	5,76	35,54	1,26	12,81	0,24	93,90
Latentums, ms	800 MHz	14,00	49,00	16,00	88,00	16,00	60,00
	1800 MHz	11,00	28,00	12,00	159,00	13,00	79,00
	2100 MHz	11,00	28,00	–	–	16,00	39,00
	2600 MHz	15,00	22,00	22,00	28,00	13,00	39,00
Trīce, ms	800 MHz	0,00	349,00	0,00	374,00	0,00	2261,00
	1800 MHz	0,00	36,00	0,00	249,00	0,00	7747,00
	2100 MHz	0,00	17,00	–	–	2,00	2865,00
	2600 MHz	2,00	7,00	0,00	327,00	0,00	69,00
Pakešu zuduma koeficients, %	800 MHz	0,00	95,00	0,00	90,00	0,00	59,00
	1800 MHz	0,00	8,00	0,00	10,00	0,00	75,00
	2100 MHz	0,00	4,00	–	–	0,00	66,00
	2600 MHz	0,00	1,00	0,00	29,00	0,00	8,00

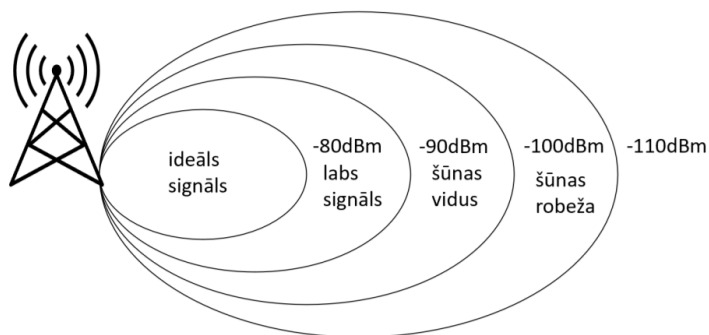
4.1. tabulā apkopotos datus redzams, ka jo augstāka frekvence izmantota signāla pārraidei, jo labākas *QoS* parametru vērtības ir sasniedzamas, tomēr var arī novērot, ka vērtības ir raksturīgas tikai konkrētam komersanta tīklam, un reizēm arī diapazonam, kā arī ģeogrāfiskai vietai, līdz ar ko secināms, ka kaut gan pie augstākām frekvencēm ir novērojamas labākas *QoS* parametru vērtības, tomēr tas ir lielākoties atkarīgs no tīkla plānošanas un fizikāliem frekvenču

izplatīšanas parametriem, tai skaitā no pārraides attāluma pie vienādas raidītāja jaudas, kā rezultātā parādās papildus fizikālu parādību iespaids. Tomēr pie noteiktām tīkla konfigurācijām operators var pilnībā mainīt gan pieejamo kapacitāti, gan citus parametrus, kā iespaidā *QoS* parametru vērtības pie zemākām frekvencēm var būt arī labākas, ko var redzēt arī 4.1. tabulā.

Ievērojot, ka frekvenču diapazonu nav iespējams izvēlēties galalietotājam, un iekārtas pieslēgšanās noteiktām frekvenču diapazonam ir atkarīga tikai no noteiktā vietā pieejamā signāla pārklājuma, secināms ka interneta pakalpojuma kvalitātes vērtēšanai nav jābūt piesaistītai frekvenču diapazoniem, tomēr ievērojot citus Regulējošās iestādes uzraudzības pienākumus, frekvenču diapazona un citu signāla parametru, un tajā parādāmas informācijas, piemēram *MCC* un *MNC*, fiksēšana varētu būt nepieciešama lai veiktu uzraudzību, kā arī piefiksēt vai galiekārta neatrodas cita operatora tīklā, piemēram, viesabonēšanā [77] [131].

## 4.2. *QoS* un signāla parametru atkarība no mērījumu vietas

No signāla kvalitātes ir atkarīga arī interneta pakalpojuma kvalitāte un *QoS* parametru lielumi. Pamatojoties uz signāla parametru lielumiem, mobilā tīklā notiek gan modulācijas, gan bāzes stacijas, gan citu parametru un darbības shēmu izvēle [8], [46], [47], [88]. Signāla parametri ir tie parametri, kurus operatori simulē, plānojot elektronisko sakaru tīklu. Signāla parametru vērtības var izteikt galiekārtas novietojumu pret bāzes staciju, kā parādīts uz *RSRP* parametra piemēra attēlā 4.1 [45]. Atkarībā no raidīšanas jaudas, faktiskais attālums var būt mainīgs, tomēr *RSRP* vērtības ļauj saprast aptuvenu izvietojumu pret bāzes staciju, kā arī iekārtas orientējas pēc šī parametra lai definētu signāla līmeni un attēlo to grafiski, galalietotājam saprotamā formātā, piemēram, kā svītras, kuru daļa pie noteiktām signāla *RSRP* vērtībām tiek uzrādīta galiekārtas ekrānā.



4.1. att. *RSRP* vērtību atkarībā no izvietojuma pret signālu raidošo bāzes staciju [45].

Ievērojot minēto, secināms, ka par mērījumu vietas izvietojumu pret bāzes stacijas signālu raidošo iekārtu var spriest pēc *RSRP* parametra vērtības.

Cits faktors, kurš būtu skatāms iekārtu izvietojuma ietvaros, ir valsts teritoriālais sadalījums. Analizējot Latvijas Republikā iegūtos mērījuma rezultātus, konstatēts, ka tos var sadalīt divās grupās: mērījumi pilsētās un mērījumi lauku teritorijās. Pamatojoties uz veiktiem

mērījumiem trīs mobilo operatoru tīklos tika izrēķināti rezultātu statistiski parametri katram no parametriem, atkarībā no mērījumu vietas. Šos aprēķinu rezultātus var redzēt 4.2. tabulā.

4.2. tabula

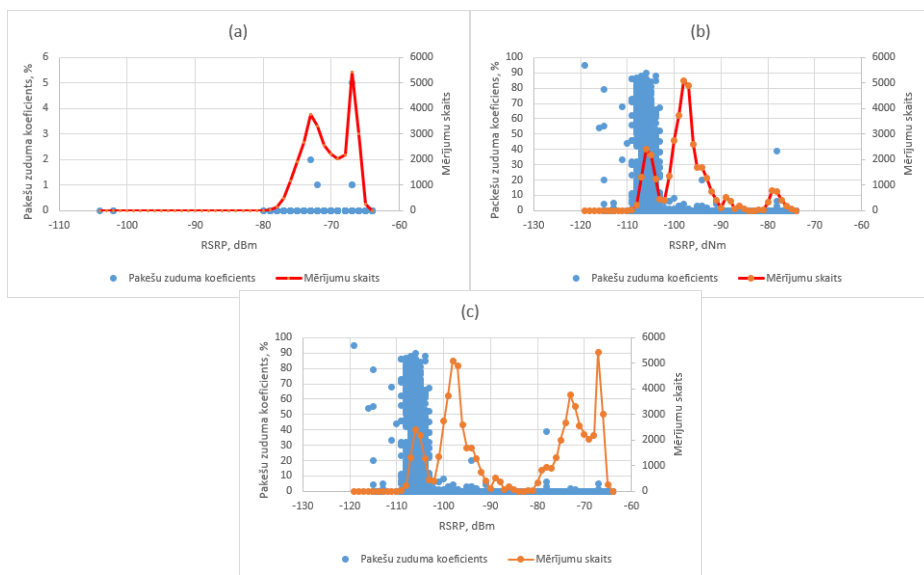
QoS un signāla parametru statistiski rādītāji atkarībā no mērījumu vietas.

1. operators									
Kopā									
Parametri	RSRP, dBm	RSSI, dBm	RSRQ, dB	SINR, dB	Lejupielādes ātrums, Mbit/s	Augšupielādes ātrums, Mbit/s	Latentums, ms	Trīce, ms	Pakešu zuduma koeficients, %
Vidējā vērtība	-85,30	-61,71	-7,76	12,53	32,13	19,57	14,40	5,93	0,57
Mediāna	-89,00	-63,00	-7,00	13,00	35,00	17,46	15,00	2,00	0,00
Standartnovirze	14,41	10,64	2,53	5,96	14,88	11,20	1,76	25,35	5,16
Pilsētā									
Parametri	RSRP, dBm	RSSI, dBm	RSRQ, dB	SINR, dB	Lejupielādes ātrums, Mbit/s	Augšupielādes ātrums, Mbit/s	Latentums, ms	Trīce, ms	Pakešu zuduma koeficients, %
Vidējā vērtība	-70,53	-51,39	-6,21	15,22	37,17	27,54	12,85	1,35	0,00
Mediāna	-71,00	-51,00	-6,00	16,00	38,21	21,49	13,00	1,00	0,00
Standartnovirze	3,24	1,01	1,71	5,41	8,61	10,11	0,66	1,07	0,03
Laukos									
Parametri	RSRP, dBm	RSSI, dBm	RSRQ, dB	SINR, dB	Lejupielādes ātrums, Mbit/s	Augšupielādes ātrums, Mbit/s	Latentums, ms	Trīce, ms	Pakešu zuduma koeficients, %
Vidējā vērtība	-97,32	-70,12	-9,02	10,34	28,03	13,09	15,66	9,65	1,03
Mediāna	-98,00	-71,00	-9,00	11,00	27,34	12,78	16,00	3,00	0,00
Standartnovirze	6,79	6,87	2,39	5,46	17,42	7,14	1,32	33,67	6,92
2. operators									
Kopā									
Parametri	RSRP, dBm	RSSI, dBm	RSRQ, dB	SINR, dB	Lejupielādes ātrums, Mbit/s	Augšupielādes ātrums, Mbit/s	Latentums, ms	Trīce, ms	Pakešu zuduma koeficients, %
Vidējā vērtība	-86,68	-64,18	-8,40	12,58	55,16	23,97	22,66	9,70	1,23
Mediāna	-97,00	-67,00	-8,00	15,00	58,46	19,21	23,00	1,00	0,00
Standartnovirze	17,65	11,48	3,00	7,62	24,71	15,01	6,71	37,51	6,83
Pilsētā									
Parametri	RSRP, dBm	RSSI, dBm	RSRQ, dB	SINR, dB	Lejupielādes ātrums, Mbit/s	Augšupielādes ātrums, Mbit/s	Latentums, ms	Trīce, ms	Pakešu zuduma koeficients, %
Vidējā vērtība	-65,92	-51,39	-7,95	12,80	56,25	40,09	20,59	1,88	0,02
Mediāna	-65,00	-51,00	-7,00	14,00	59,19	39,95	23,00	1,00	0,00
Standartnovirze	5,78	3,27	2,82	7,12	23,52	5,63	5,06	11,57	0,44
Laukos									
Parametri	RSRP, dBm	RSSI, dBm	RSRQ, dB	SINR, dB	Lejupielādes ātrums, Mbit/s	Augšupielādes ātrums, Mbit/s	Latentums, ms	Trīce, ms	Pakešu zuduma koeficients, %
Vidējā vērtība	-99,95	-72,35	-8,69	12,44	54,47	13,71	23,97	14,68	2,00
Mediāna	-100,00	-73,00	-8,00	16,00	58,05	13,26	26,00	2,00	0,00
Standartnovirze	6,13	6,17	3,08	7,92	25,42	8,81	7,27	46,41	8,64
3. operators									
Kopā									

Parametri	<i>RSRP</i> , dBm	<i>RSSI</i> , dBm	<i>RSRQ</i> , dB	<i>SINR</i> , dB	Lejupielādes ātrums, Mbit/s	Augšupielādes ātrums, Mbit/s	Latentums, ms	Trīce, ms	Pakešu zuduma koeficients, %
Vidējā vērtība	-79,52	-59,94	-5,69	20,79	45,49	35,64	23,47	10,36	0,12
Mediāna	-79,00	-57,00	-5,00	22,00	43,77	23,89	23,00	3,00	0,00
Standartnovirze	15,15	10,99	1,89	7,53	19,75	24,60	4,45	125,97	2,23
Pilsētā									
Parametri	<i>RSRP</i> , dBm	<i>RSSI</i> , dBm	<i>RSRQ</i> , dB	<i>SINR</i> , dB	Lejupielādes ātrums, Mbit/s	Augšupielādes ātrums, Mbit/s	Latentums, ms	Trīce, ms	Pakešu zuduma koeficients, %
Vidējā vērtība	-66,52	-51,49	-5,56	26,23	59,31	55,63	20,72	5,22	0,06
Mediāna	-67,00	-51,00	-5,00	27,00	60,84	46,81	20,00	3,00	0,00
Standartnovirze	6,06	4,33	1,85	4,09	17,08	21,39	3,41	70,07	1,43
Laukos									
Parametri	<i>RSRP</i> , dBm	<i>RSSI</i> , dBm	<i>RSRQ</i> , dB	<i>SINR</i> , dB	Lejupielādes ātrums, Mbit/s	Augšupielādes ātrums, Mbit/s	Latentums, ms	Trīce, ms	Pakešu zuduma koeficients, %
Vidējā vērtība	-90,87	-67,31	-5,80	16,04	33,44	18,21	25,87	14,75	0,08
Mediāna	-88,00	-63,00	-6,00	15,00	33,93	22,27	26,00	2,00	0,00
Standartnovirze	11,01	9,65	1,92	6,56	12,80	9,07	3,83	159,33	2,76

Novērots, ka mērījumu rezultātu izkliede lauku reģionos ir lielāka, un kopumā interneta pakalpojuma kvalitāte ir zemāka nekā pilsētās, bet šis apgalvojums attiecas tikai uz mērījumu apkopotiem rezultātiem, un atsevišķos gadījumos, piemēram, lauku reģionā atrodas bāzes stacijas tuvā pārklājuma zonā un pie maza lietotāju skaita, rezultāti var arī atšķirties, tomēr vērtējot mērījumu rezultātus visā valstī, var secināt, ka tādu vietu skaits ir samērā mazs.

Īpaši spilgti atkarība starp signāla un *QoS* parametru mērījumu rezultātiem parādās apkopojot liela apjoma mērījumu datus, kur mērījumi veikti vairākās vietās, kas izpaužas visu *QoS* parametru vērtībās, bet īpaši labi redzama uz pakešu zuduma koeficienta piemēra, kas attēlots 4.2. attēlā. Ir redzams, ka signāla stiprums, kas parasti atšķiras atkarībā no vietas, lauku reģionos ir daudz vājāks, līdz ar ko, arī citu signāla parametru ietekmē, vērtību izkliede var būt lielāka, salīdzinot ar mērījumu rezultātiem, mērījumiem, kas veikti pilsētā.



4.2. att. Sakarība starp mērījumu rezultātiem un mērījumu skaitu pakešu zuduma koeficientam un *RSRP*.

Grafikos, kas redzami attēlā 4.2, ir apkopoti sekojoši dati:

- (a) sakarība starp pakešu zuduma koeficienta un *RSRP* mērījumu rezultātiem, mērījumiem, kas veikti pilsētā, kur katrs atsevišķs mērījums attēlots kā zils punkts, un mērījumu skaits pie noteiktām *RSRP* vērtībām attēlots kā sarkana līnija;
- (b) sakarība starp pakešu zuduma koeficienta un *RSRP* mērījumu rezultātiem, mērījumiem, kas veikti lauku reģionā, kur katrs atsevišķs mērījums attēlots kā zils punkts, un mērījumu skaits pie noteiktām *RSRP* vērtībām attēlots kā sarkana līnija;
- (c) sakarība starp pakešu zuduma koeficienta un *RSRP* mērījumu rezultātiem, visiem mērījumiem kopā, kur katrs atsevišķs mērījums attēlots kā zils punkts, un mērījumu skaits pie noteiktām *RSRP* vērtībām attēlots kā sarkana līnija [131].

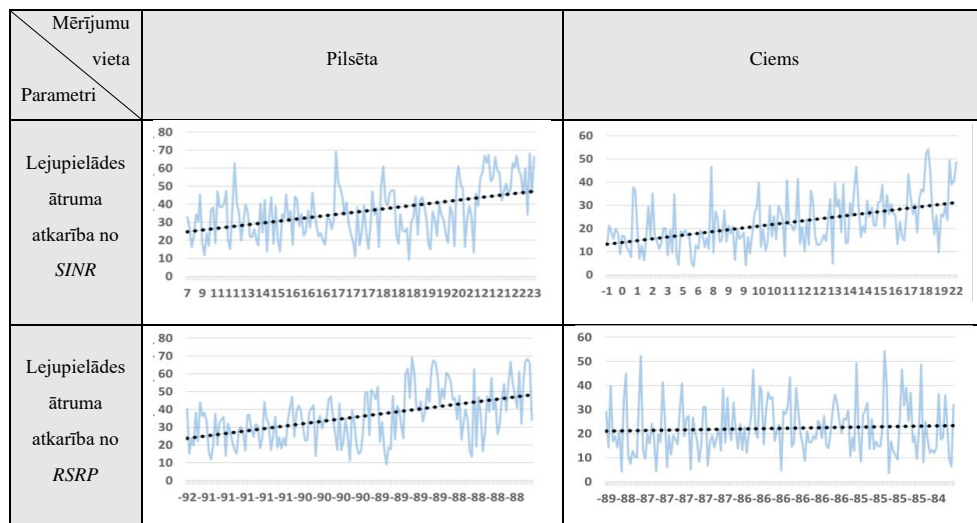
No mērījumu rezultātiem, kā arī 4.2. attēlā redzamā rezultātu grafiskā attēlojuma piemēra, var secināt, ka rezultāti lauku reģionos *QoS* parametriem parasti ir zemāki, kā arī signāla kvalitāte ir zemāka, līdz ar ko rezultāti lauku reģionos un pilsētās var būtiski atšķirties, kas arī ir redzams grafiski. Turklāt, pie zemākas signāla kvalitātes, *QoS* parametri ir vairāk izkļaidēti, un īpaši *RSRP* diapazonā zem  $-100$  dBm, kas atkārtoti pierāda to, ka regulatīvo mērījumu veikšana šajā *RSRP* diapazonā nav ieteicama, jo pēc rezultātiem nevarēs viennozīmīgi spriest nedz par parametru izmaiņām laikā, nedz par iespējamām *QoS* parametru vērtībām bāzes stacijas raidītāja pārklājuma zonā [130], [131].

Lai spriestu par atsevišķo apdzīvoto vietu mērījumiem, kur mērījumu skaits ir ierobežots un kur mērījumi tika veikti vienas bāzes stacijas pārklājuma robežā, tika analizēti dati par viena operatora mobilā tīklā veiktiem mērījumu rezultātiem divās ģeogrāfiskās vietās un vairākās ģeogrāfiskās vietās. Mērījumu rezultāti attēloti grafiski, kā arī noteikta to lineārā tendences

līkne. Viena mērījumu vieta atradās pilsētā, un otra mērījumu vieta atradās ciemā. Rezultātu piemēru var redzēt 4.3. tabulā, un visi grafiski rezultāti ir redzami darba 4. pielikumā.

4.3. tabula

*QoS* parametru atkarība no signāla parametriem, divās mērījumu vietās [129].



Secināms, ka lauku reģionā signāls var būt arī stabilāks, par ko liecina *RSRP* parametra tendences līknes, tomēr kopumā tendences līknes ir vienāda rakstura, tas ir dilstoša vai augoša, no kā var secināt, ka gan pilsētā, gan lauku reģionā mērījumus var veikt pēc vienādiem principiem, un nav nepieciešamības noteikt dažādu mērījumu kārtību, atkarībā no mērījumu ģeogrāfiskā izvietojuma [129].

### 4.3. Korelācijas starp *QoS* un signāla parametriem noteikšana

Kā jau iepriekš minēts darbā, signāla parametru mērījumi nav obligāti interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes uzraudzības ietvaros, tomēr tikai signāla parametru vērtības ir iespējams iegūt reālā laikā, bez ilgstošas mērījumu veikšanas, un kuru izmaiņas ir novērojamas tuvā attālumā vienam no otra. Līdz ar to, tieši pēc signāla parametru vērtībām ir iespējams ātri ievēlēties precīzu mērījumu vietu, kas ir ļoti svarīgi veicot praktiskos regulatīvos mērījumus, kur cilvēkresursi un laika resursi ir ļoti ierobežoti.

Vadoties pēc standarta signāla parametru grupējuma, pēc signāla kvalitātes, kas aprakstīts darba pirmajā nodaļā, mērījumu rezultāti bija sadalīti atbilstoši signāla kvalitātes līmeņiem, un to ietvaros aprēķinātas šajā grupā esošo parametru rezultātu vidējā vērtība, un izskatītas minimālās un maksimālās *QoS* parametru vērtības, kas bija sasniegtas [8]. Rezultātu apkopojumu var redzēt 4.4. tabulā.



QoS un signāla parametru vidējo vērtību sadalījums atkarībā no signāla parametru diapazoniem trīs mobilo operatoru tīklos.

1. operators																
	Vērtības	Lejupielādes ātrums, Mbit/s			Augšupielādes ātrums, Mbit/s			Latentums, ms			Trīce, ms			Pakešu zuduma koeficients, %		
		Minimāla	Maksimāla	Vidēja	Minimāla	Maksimāla	Vidēja	Minimāla	Maksimāla	Vidēja	Minimāla	Maksimāla	Vidēja	Minimāla	Maksimāla	Vidēja
RSRP, dBm	$> -80$	0,61	68,18	35,85	0,13	46,76	26,78	11	22	13,1	0	74	1,42	0	6	0
	-80 līdz -90	4,10	80,36	45,13	5,58	44,37	29,5	15	18	16,04	0	14	0,5	0	0	0
	-90 līdz -100	1,55	111,94	29,14	0,98	38,2	14,27	13	28	15,48	0	143	2,92	0	20	0
	$< -100$	0,2	79,4	25,91	0,07	30,5	8,28	13	49	15,83	0	349	24,14	0	95	3,17
RSRQ, dB	$> -10$	0,48	111,94	35,59	0,12	46,76	21,37	11	43	14,09	0	346	3,83	0	88	0,28
	-10 līdz -15	0,20	82,48	16,97	0,07	44,56	11,69	12	49	15,77	0	349	15,09	0	90	1,82
	-15 līdz -20	0,25	39,97	5,09	0,23	11,66	1,7	15	31	19,82	0	154	58,36	0	95	23,55
	$< -20$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SINR, dB	$> 20$	6,53	84,77	40,76	0,63	46,66	25,58	11	17	12,76	0	67	1,31	0	2	0
	13 līdz 20	1,14	111,94	36,13	0,13	46,76	20,83	11	28	14,16	0	143	2,13	0	39	0
	0 līdz 13	0,24	108,37	27,32	0,07	46,43	17,64	11	43	14,89	0	346	8	0	88	0,8
	$\leq 0$	0,2	77,94	11,8	0,08	42,43	4,97	13	49	16,98	0	349	60,59	0	95	10
2. operators																
	Vērtības	Lejupielādes ātrums, Mbit/s			Augšupielādes ātrums, Mbit/s			Latentums, ms			Trīce, ms			Pakešu zuduma koeficients, %		
		Minimāla	Maksimāla	Vidēja	Minimāla	Maksimāla	Vidēja	Minimāla	Maksimāla	Vidēja	Minimāla	Maksimāla	Vidēja	Minimāla	Maksimāla	Vidēja
RSRP, dBm	$> -80$	1,25	111,01	56,8	4,99	47,66	40,65	12	58	20,6	0	28	1	0	2	0,01
	-80 līdz -90	1,70	96,45	55,75	7,12	29,81	17,57	17	45	19,29	0	25	0,86	0	0	0
	-90 līdz -100	0,1	140,3	58,64	0,18	46,49	17	14	123	23,95	0	309	2,35	0	19	0
	$< -100$	0,23	143,15	50,8	0,05	41,35	10,16	14	159	24,33	0	374	25,21	0	93	3,55
R <sub>S</sub>	$> -10$	0,1	143,15	62,2	0,14	47,66	25,8	12	159	22,44	0	374	5,34	0	87	0,22

	-10 līdz -15	0,44	130,33	40,33	0,14	47,37	20,2	12	118	23,13	0	367	18,52	0	93	3,23
	-15 līdz -20	0,79	73,94	9,33	0,05	38,23	2,24	17	56	26,4	0	296	93,66	0	83	27,19
	< -20	3,43	3,43	3,43	0,55	0,55	0,55	28	28	28	45	45	45	23	23	23
SINR, dB	>=20	7,37	131,49	69,17	6,25	47,66	33,27	12	93	23,78	0	18	1,46	0	1	0
	13 līdz 20	0,1	143,15	62,03	0,18	47,54	23,64	12	159	22,48	0	87	1,83	0	3	0
	0 līdz 13	0,44	114,85	48,63	0,18	47,34	26,99	12	101	22,01	0	364	7,96	0	77	0,25
	<=0	0,69	96,45	21,94	0,05	46,14	6,54	13	118	24,09	0	374	63,17	0	93	11,42
3. operators																
		Lejupielādes ātrums, Mbit/s			Augšupielādes ātrums, Mbit/s			Latentums, ms			Trīce, ms			Pakešu zuduma koeficients, %		
	Vērtības	Minimāla	Maksimāla	Vidēja	Minimāla	Maksimāla	Vidēja	Minimāla	Maksimāla	Vidēja	Minimāla	Maksimāla	Vidēja	Minimāla	Maksimāla	Vidēja
RSRP, dBm	>= -80	0,68	120,36	55,05	0,24	94,37	49,47	13	43	21,78	0	7747	3,19	0	66	0,02
	-80 līdz -90	3,39	92,9	31,46	1,46	47,48	23,33	16	60	27,75	0	1497	2,36	0	22	0,01
	-90 līdz -100	0,49	74,86	19,81	0,05	46,75	12,83	14	102	26,09	0	7609	67,23	0	75	0,86
	< -100	2,51	91,74	39,55	0,19	47,16	9,28	16	39	23,97	0	2865	9,1	0	66	0,14
RSRQ, dB	>= -10	0,68	120,36	45,56	0,05	94,37	35,5	13	102	23,47	0	7747	9,51	0	75	0,1
	-10 līdz -15	0,69	96	39,63	0,19	93,35	51,8	14	37	23,74	0	2865	85,6	0	66	1,62
	-15 līdz -20	0,49	55,26	5,46	0,79	7,95	3,4	17	30	22,72	18	2261	452,22	0	59	8,17
	< -20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SINR, dB	>=20	0,68	120,36	53,92	0,24	94,37	47,8	13	43	22,1	0	7747	3,17	0	66	0,02
	13 līdz 20	2,64	103,57	35,46	0,05	93,46	23,52	13	60	26,25	0	7609	23,68	0	75	0,33
	0 līdz 13	2,47	74,86	29,78	0,16	47,16	9,96	16	102	24,99	0	5773	14,12	0	75	0,12
	<=0	0,49	66,63	11,11	0,19	46,75	11,56	16	37	23,44	0	2865	250,05	0	66	4,59

Analizējot tabulā 4.4. apkopotos datus, secināms, ka lielākoties visos gadījumos pie sliktākām signāla parametru vērtībām novērojamas sliktākas QoS parametru vērtības, bet apkopojumā ir redzami arī gadījumi, īpaši lejupielādes ātruma gadījumā, kad pie sliktākiem signāla parametriem var būt arī labākas kopējās QoS parametru vērtības. Tomēr tas ir pirmšķietami, jo apkopojumā ir definētas vidējās vērtības attiecībā uz visām mērījumu vietām valsts teritorijā, līdz ar ko, arī dažādu bāzes staciju pārklājuma zonā. Izvērtējot katrā mērījumu vietā iegūtos rezultātus var secināt, ka vienas ģeogrāfiskās vietas ietvaros pie sliktākām, jeb

salīdzinoši ar citām vērtībām zemākām, signāla parametru vērtībām, ir sliktākas arī *QoS* parametru vērtības. Gan atsevišķu vietu mērījumu rādītāji, gan apkopojuma rādītāji parāda, ka labāki rezultāti ir diapazonos ar labākām signāla kvalitātes vērtībām, līdz ar ko var secināt, ka izvietojot mēriekārtas ir ieteicams tās izvietot vietās, kur *RSRP* ir augstāks par  $-90$  dBm, *RSRQ* ir augstāks par  $-15$  dB, un *SINR* ir augstāks par  $13$  dB. Mērījumu gadījumā, kad tiek vērtēti vairāku operatoru sniegtā interneta pakalpojuma kvalitāte, ir ieteicams, ja tas iespējams, nodrošināt, ka signālu parametru vērtības ir vienādos diapazonos, kas nodrošinās parametru pamatotāku salīdzināšanu. Ja to nodrošināt nav iespējams, analizējot datus un tos apkopojot, *QoS* mērījumu rezultātus var grupēt atbilstoši signāla parametriem vai to vērtību grupām.

Nav ieteicams, bez pamatota iemesla, piemēram, galalietotāja sūdzības izskatīšanai, datu apkopošanas nolūkiem izvietot mērījumu iekārtas vietās, kur signāla parametru vērtības priekš *RSRP* ir zemākas par  $-100$  dBm, priekš *RSRQ* ir zemākas par  $-20$  dB, un priekš *SINR* ir zemākas par  $0$ , jo tādā gadījumā bieži novērota *QoS* parametru būtiskā pasliktināšanās. Izņēmums varētu būt, ja nav alternatīvo izvietojuma vietu, kur signāls būtu labāks.

Kopumā, iespēju robežās, neatkarīgo mērījumu datu apkopošanai, tehnisko iespēju robežās, ir ieteicams izvietot iekārtas tā, lai visā valsts teritorijā iekārtas būtu izvietotas vienā signāla parametru uztveršanas diapazonā, kas ļaus turpmāk veikt arī datu salīdzināšanu. Ievērojot ka darbā veiktiem mērījumiem mērījumu vietas tika izvēlētas nejauši, un iekārtas izvietotas, kur bija fiziski ērtāk tās izvietot, var apkopot statistiku, kuri signāla parametru diapazoni visbiežāk bija konstatēti mērījumu vietā, kas apkopots tabulā 4.5.

4.5. tabula

Mērījumu skaits dažādos signāla parametru vērtību diapazonos.

Parametrs	Diapazoni	1. operators			2. operators			3. operators		
		Kopa	Pilsēta	Lauki	Kopa	Pilsēta	Lauki	Kopa	Pilsēta	Lauki
<i>RSRP</i> , dBm	$\geq -80$	33816	31251	2565	27804	27073	731	39525	30914	8611
	$-80$ līdz $-90$	1350	0	1350	1381	1	1380	10430	50	10380
	$-90$ līdz $-100$	24838	0	24838	24277	25	24252	7431	61	7370
	$< -100$	9660	3	9657	16995	374	16621	9327	54	9273
<i>RSSI</i> , dBm	$\geq -65$	38853	31251	7602	32274	27064	5210	49404	30883	18521
	$-65$ līdz $-75$	23345	3	23342	26856	227	26629	7785	7	7778
	$-75$ līdz $-85$	7455	0	7455	11032	164	10868	9022	52	8970
	$< -85$	11	0	11	295	18	277	502	137	365
<i>RSRQ</i> , dB	$\geq -10$	56724	30403	26321	47907	20082	27825	66060	30628	35432
	$-10$ līdz $-15$	12929	851	12078	22400	7387	15013	635	433	202
	$-15$ līdz $-20$	11	0	11	149	4	145	18	18	0
	$< -20$	0	0	0	1	0	1	0	0	0
<i>SINR</i> , dB	$\geq 20$	7759	7322	437	8481	4774	3707	40561	29670	10891
	$13$ līdz $20$	28797	14013	14784	35538	10972	24566	13137	1301	11836
	$0$ līdz $13$	31557	9916	21641	20736	11431	9305	12785	10	12775
	$< 0$	1551	3	1548	5702	296	5406	230	98	132

No 4.5. tabulā apkopotā mērījumu skaita, redzams, ka vērtējot kopsummā, lielākais mērījumu skaits bija veikts tieši signāla parametru diapazonos, kas uzskatāmi par labākiem, bet liels mērījumu skaits bija veikts pie sliktākām signāla parametru vērtībām, īpaši lauku reģionos.

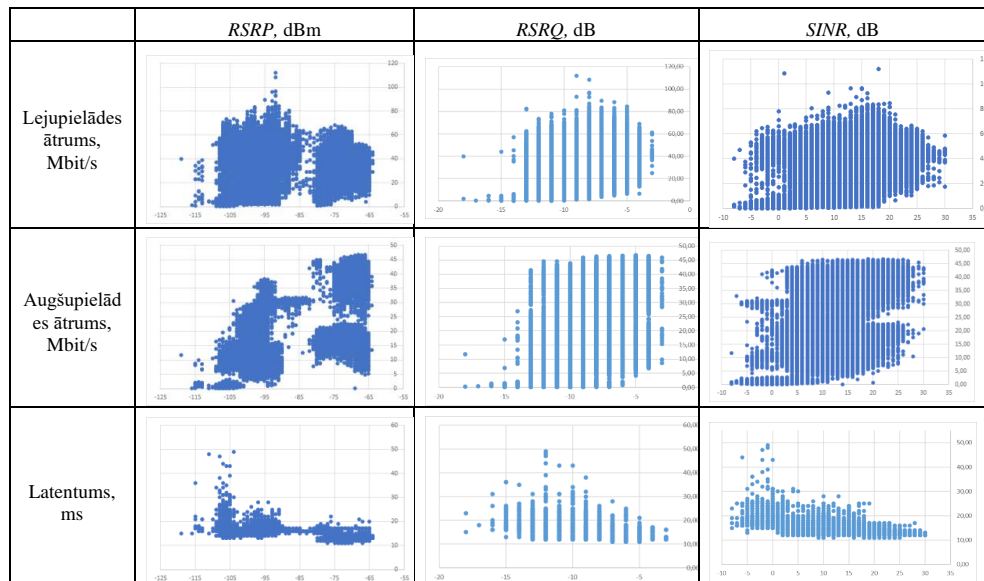
Pilsētā veiktiem mērījumiem sliktas signāla parametru vērtības, atkarībā no tīkla parametra, vai nu nav novērotas vispār, vai mazā daudzumā. Izņēmumu sastāda *SINR* parametrs, kur parasti mērījumi notika vidējos diapazonos.

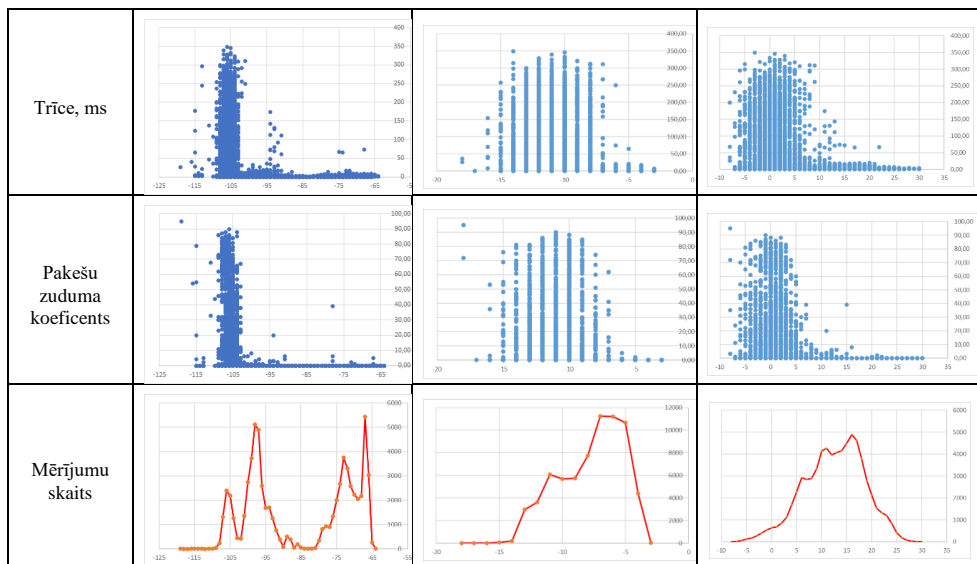
Ievērojot minēto, var secināt, ka jāmēģina nodrošināt mērījumi labākos signāla parametru vērtību diapazonos, bet var būt nepieciešams noteikt arī dažādus kritērijus mērījumu vietas izvēlei pilsētā un lauku reģionā [135], [136]. Jāņem vērā, ka lauku apgabalos, ievērojot arī signāla pārraidei izmantotus frekvenču diapazonus, var nebūt iespējams vienā apdzīvotā vietā sasniegt noteiktās signāla parametru vērtības, un pilsētās, ievērojot bāzes staciju skaitu, var būt arī augtākās signāla parametru vērtības, līdz ar to katrs konkrēts mērījumu iekārtu izvietojanas gadījums ir individuāli vērtējams.

Lai noteiktu vai starp *QoS* un signāla parametriem ir novērojama korelācija *LTE* mobilā tīklā, mērījumi kas tika veikti trīs mobilo operatoru tīklos, tika apkopoti un izvērtēta to attiecība. 4.6. tabulā ir redzami iegūto *QoS* parametru vērtību atkarības grafiki no *RSRP*, *RSRQ* un *SINR* parametru vērtībām pirmā operatora tīklā, kā grafiskais piemērs tam, kā izskatās sakarība starp mērījumos iegūto parametru vērtībām, mobilos tīklos [135]. Ievērojot, ka tendences bija līdzīgas visiem mērījumiem, dažādu operatoru tīklos, grafiskais rezultātu attēlojums otrā un trešā operatora tīklos iegūtiem rezultātiem darbā nav parādīts.

4.6. tabula

*QoS* un signāla parametru sakarību grafiskie attēlojumu piemērs, mērījumiem 1. operatora tīklā [125].





Lai noteiktu vai pastāv sakarības starp  $QoS$  un signāla parametru vērtībām, tika izrēķinātas korelāciju koeficientu vērtības, kas kopsakarā ar dažādiem parametriem, ir apkopotas 2.7. tabulā. Ievērojot, ka tika meklēta sakarība starp diviem parametriem, kur to praktiskam pielietojumam jāizpaužas kā lineārai sakarībai, tad aprēķinos tika izmantots Pīrsona korelācijas koeficienta aprēķins, kas tiek rēķināts pēc formulas:

$$r = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i) \times (\sum y_i)}{\sqrt{(n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2) \times (n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}} \quad (4.1.)$$

kur  $r$  – korelācijas koeficients;  $n$  – datu kopas vērtības skaits;  $x_i$  – pirmā parametra vērtības;  $y_i$  – otrā parametra vērtības [6], [21].

Tabulā 4.7. ar zaļo ir izdalītas korelācijas koeficientu vērtības, kas pārsniedz 0,5 to ieskaitot un ar dzeltenu – ka pārsniedz 0,25 to ieskaitot, bet ir mazākas par 0,5. Līdz ar ko, gadījumos, kad korelācijā koeficienta vērtība pārsniedz 0,5, tiek uzskatīts, ka ir stingra korelācija, pozitīva vai negatīva [6], [21].

Ņemot vērā lielu aprēķinos izmantotu mērījumu skaitu, kur katra operatora tīklā mērījumu skaits pārsniedza 10 tūkstošus mērījumus, visas 4.7. tabulā norādītas korelācijas koeficienta vērtības, atbilstoši aprēķinātām  $p$ , jeb būtiskuma koeficienta, parametra vērtībām pie būtiskuma līmeņa 0,01, parāda, ka korelācija ir statistiski nozīmīga.

Korelācijas koeficienti starp *QoS* un signāla parametru vērtībām.

Signāla parametri	1. operators				2. operators				3. operators			
	<i>RSRP</i> , dBm	<i>RSSI</i> , dBm	<i>RSRQ</i> , dB	<i>SINR</i> , dB	<i>RSRP</i> , dBm	<i>RSSI</i> , dBm	<i>RSRQ</i> , dB	<i>SINR</i> , dB	<i>RSRP</i> , dBm	<i>RSSI</i> , dBm	<i>RSRQ</i> , dB	<i>SINR</i> , dB
<i>QoS</i> parametri	Visi rezultāti				Visi rezultāti				Visi rezultāti			
Lejupielādes ātrums, Mbit/s	0,29	0,23	0,57	0,47	0,12	0,10	0,52	0,53	0,55	0,50	0,20	0,59
Augšupielādes ātrums, Mbit/s	0,74	0,69	0,46	0,33	0,92	0,91	0,25	0,26	0,77	0,69	0,00	0,61
Latentums, ms	-0,72	-0,69	-0,53	-0,45	-0,27	-0,26	-0,06	0,01	-0,37	-0,35	-0,09	-0,41
Trīce, ms	-0,24	-0,28	-0,21	-0,31	-0,29	-0,34	-0,25	-0,39	-0,06	-0,05	-0,09	-0,08
Pakešu zuduma koeficients, %	-0,16	-0,18	-0,15	-0,23	-0,23	-0,27	-0,27	-0,36	-0,05	-0,04	-0,07	-0,06
	Valsts galvaspilsēta				Valsts galvaspilsēta				Valsts galvaspilsēta			
Lejupielādes ātrums, Mbit/s	-0,14	-0,12	0,24	0,31	0,16	0,16	0,41	0,34	0,10	0,06	-0,01	0,10
Augšupielādes ātrums, Mbit/s	0,65	0,33	-0,02	-0,10	0,50	0,61	0,20	0,32	0,29	-0,02	-0,31	-0,18
Latentums, ms	0,13	0,09	-0,15	-0,25	-0,05	-0,06	0,12	0,09	0,04	-0,07	-0,16	-0,04
Trīce, ms	0,16	0,10	-0,03	-0,06	-0,49	-0,54	-0,04	-0,15	-0,17	-0,15	-0,11	-0,22
Pakešu zuduma koeficients, %	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,18	-0,21	-0,02	-0,06	-0,19	-0,16	-0,10	-0,21
	Valsts teritorijas, izņemot galvaspilsētu				Valsts teritorijas, izņemot galvaspilsētu				Valsts teritorijas, izņemot galvaspilsētu			
Lejupielādes ātrums, Mbit/s	0,05	-0,09	0,59	0,46	0,32	0,14	0,58	0,63	0,04	0,08	0,45	0,41
Augšupielādes ātrums, Mbit/s	0,50	0,49	0,35	0,32	0,75	0,61	0,32	0,53	0,81	0,83	0,37	0,78
Latentums, ms	0,06	0,02	-0,20	-0,25	-0,13	-0,11	-0,10	-0,01	0,25	0,18	-0,01	-0,02
Trīce, ms	-0,25	-0,29	-0,17	-0,37	-0,42	-0,43	-0,29	-0,47	-0,03	-0,01	-0,08	-0,04
Pakešu zuduma koeficients, %	-0,19	-0,20	-0,13	-0,28	-0,36	-0,34	-0,32	-0,44	-0,02	0,00	-0,05	-0,02

No aprēķinātiem korelācijas koeficientiem secināms, ka starp vairākiem parametriem operatoru tīklos var novērot korelāciju, tai skaitā arī stingro korelāciju, kur korelācijas koeficients ir lielāks par 0,5. Tomēr korelācija dažādu operatoru tīklos ir dažāda un var būt starp dažādiem parametriem, no kā secināms, ka korelācijas lielums starp *QoS* un signāla parametriem var būt atkarīgs no tīkla konfigurācijas.

Izvērtējot korelācijas koeficientus, var secināt, ka lielāka sakarība starp *QoS* un signāla parametru vērtībām, pastāv attiecībā uz augšupielādes ātrumu, bet tas var atšķirties dažādu operatoru tīklos. Izvērtējot korelācijas koeficientu vērtības starp augšupielādes ātruma mērījumu rezultātiem un *RSRP*, secināms, ka korelācija nav stingra tikai viena operatora gadījumā, kad mērījumi tika veikti valsts galvaspilsētā. Vērtējot mērījumu rezultātus, kas iegūti valsts galvaspilsētā šajā operatora tīklā secināms, ka korelācijas koeficients nav stiprs, bet tas ir izskaidrojams ar to, ka šajā vietā novērojams diezgan stabils signāls, kur parametru vērtību izkliede bija samērā neliela, un arī to vairāk ietekmēja tieši galalietotāju skaits šūnas pārklājuma zonā, līdz ar ko korelācija starp *RSRP* un augšupielādes ātrumu ir mazākā nekā citos gadījumos.

Stingras, vai tuvas tām korelācijas vērtības novērotas arī starp augšupielādes ātrumu un *RSSI* parametra vērtībām, kas kopumā liecina, ka lielāka sakarība starp signāla un *QoS* parametriem ir tieši augšupielādes ātrumam un *RSRP* un *RSSI* parametriem.

Lejupielādes ātruma gadījumā vairākos gadījumos arī ir novērota stingra pozitīva korelācija ar *RSRQ*, un retāk *SINR* parametru vērtībām. Dažreiz ir novērojama arī samērā stipra korelācija starp lejupielādes ātrumu un *RSRP*, *RSSI* parametriem, tomēr tā ir būtiski mazāka, līdz ar ko, iespējamo mērījumu izkliede pie saistošām parametru vērtībām ir lielāka.

Tikai otra operatora tīklā novērota lielāka negatīva korelācija starp signāla un trīces vai pakešu zuduma koeficienta vērtībām, bet pārējo operatoru mērījumu gadījumos, šī korelācija ir būtiski mazāka, vai gandrīz nav novērota. Trešā operatora tīklā korelācija starp signāla parametru vērtībām un trīces, pakešu zuduma vērtībām ir niecīgi maza, bet lielāka gadījumā, kad mērījumi tika veikti vienā vietā galvaspilsētā, no kā var secināt, ka korelācija starp parametriem var būt atkarīga arī no atrašanās vietas un tīkla konfigurācijas konkrētā vietā.

Viens mazu korelācijas koeficientu vērtību iemesls rezultātiem vienā vietā, ir mazāks datu apjoms, kas nav pilnībā pietiekams, lai korelāciju noteiktu, līdz ar to lielāki korelācijas koeficienti ir gadījumā, kad visi mērījumu dati tika apkopoti [125].

Secināms, ka korelācija starp *QoS* un signāla parametriem *LTE* mobilā tīklā ir novērojama, īpaši lejupielādes un augšupielādes ātrumu gadījumā, līdz ar to, izvērtējot mērījumu vietas izvēli signāla parametru lielumi var kalpot kā konkrēto mērījumu vietu noteicošs kritērijs.

## 4.4. Nodaļas kopsavilkums

Promocijas darba ceturtajā nodaļā tika izskatītas un, izmantojot matemātiskās un statistiskās metodes, analizētas sakarības starp radiofrekvenču spektru, signāla parametru vērtībām un *QoS* parametru vērtībām, pamatojoties uz praktiski veiktiem mērījumu rezultātiem. Nodaļā tika noteikta korelācija starp *QoS* parametriem un signāla parametriem *LTE* mobilā tīklā, kā arī izskatīti mērījumu rezultāti atkarībā no mērījumu veikšanas vietas.

Ievērojot ka frekvenču diapazonu nav iespējams izvēlēties galalietotājam, un iekārtas pieslēgšanās noteiktām frekvenču diapazonam ir atkarīga tikai no noteiktā vietā pieejama signāla pārklājuma, secināms ka interneta pakalpojuma kvalitātes vērtēšanai nav jābūt piesaistītai frekvenču diapazoniem, tomēr ievērojot citus regulējošās iestādes uzraudzības pienākumus, frekvenču diapazona un citu signāla parametru, un tajā paraidāmas informācijas uzraudzība var būt nepieciešama, lai nodrošinātu iestādes funkciju izpildi.

No mērījumu rezultātiem secināms, ka rezultāti lauku reģionos *QoS* parametriem parasti ir zemāki, kā arī signāla kvalitāte ir zemāka, līdz ar ko rezultāti lauku reģionos un pilsētās var būtiski atšķīties. Pie zemākas signāla kvalitātes, *QoS* parametri ir vairāk izkliedēti, īpaši *RSRP* diapazonā zem 100dBm, kas atkārtoti pierāda to, ka *QoS* mērījumu veikšana šajā *RSRP* diapazonā nav ieteicama, jo pēc rezultātiem nevarēs viennozīmīgi spriest nedz par parametru izmaiņām laikā, nedz par iespējamām *QoS* parametru vērtībām bāzes stacijas raidītāja pārklājuma zonā.

Secināms, ka *QoS* parametru izmaiņu tendences atkarībā no signāla parametru vērtībām ir vienāda rakstura neatkarīgi no mērījumu vietas, līdz ar ko gan pilsētās, gan lauku reģionā mērījumus var veikt pēc vienādiem principiem, un nav nepieciešams noteikt dažādu mērījumu kārtību, atkarībā no mērījumu ģeogrāfiskā izvietojuma.

Labākas *QoS* parametru vērtības ir pie labākām signāla kvalitātes vērtībām, līdz ar ko var secināt, ka izvietojot mēriekārtas ir ieteicams tās izvietot vietās, kur *RSRP* vērtība ir augstākā par  $-90$  dBm, *RSRQ* ir augstāks par  $-15$  dB, un *SINR* vērtība ir augstākā par 13 dB. Mērījumu gadījumā, kad tiek vērtēta vairāku operatoru sniegtā interneta pakalpojuma kvalitāte, ir ieteicams, ja tas iespējams, nodrošināt, ka signālu parametru vērtības ir vienādos diapazonos, kas nodrošinās parametru salīdzināmību. Ja to nodrošināt nav iespējams, analizējot datus un tos apkopojot, *QoS* mērījumu rezultātus var grupēt atbilstoši signāla parametriem vai to vērtību grupām.

Nav ieteicams, bez pamatota iemesla, piemēram, galalietotāja sūdzības izskatīšanai, datu apkopošanas nolūkiem izvietot mērījumu iekārtas vietās, kur signāla parametru vērtības priekš *RSRP* ir zemākas par  $-100$  dBm, priekš *RSRQ* ir zemākas par  $-20$  dB, un priekš *SINR* ir zemākas par 0, jo tādā gadījumā bieži novērota *QoS* parametru būtiskā pasliktināšanās. Izņēmums varētu būt, ja nav alternatīvo izvietojuma vietu, kur signāls būtu labāks.

Kopumā, iespēju robežās, neatkarīgo mērījumu datu apkopošanai, tehnisko iespēju robežās, ir ieteicams izvietot iekārtas tā lai visā valsts teritorijā iekārtas būtu izvietotas vienā signāla parametru uzsvēršanas diapazonā, kas ļaus turpmāk veikt arī datu salīdzināšanu. Jāmēģina nodrošināt mērījumi labākos signāla parametru vērtību diapazonos, bet var būt nepieciešams noteikt arī dažādus kritērijus mērījumu vietas izvēlei pilsētās un lauku reģionā.

Starp vairākiem *QoS* un signāla parametriem dažādu operatoru tīklos var novērot korelāciju, tai skaitā arī stingro korelāciju, kur korelācijas koeficients ir lielāks par 0,5. Tomēr korelācija dažādu operatoru tīklos ir dažāda un var būt starp dažādiem parametriem, no kā secināms, ka korelācijas lielums starp *QoS* un signāla parametriem var būt atkarīgs no tīkla konfigurācijas.

Izvērtējot korelācijas koeficientus, var secināt, ka lielāka sakarība starp *QoS* un signāla parametru vērtībām, pastāv attiecībā uz augšupielādes ātrumu. Stingras, vai tuvas tām korelācijas vērtības novērotas starp augšupielādes ātrumu un *RSRP*, *RSSI* parametru vērtībām.

Lejupielādes ātruma gadījumā vairākos gadījumos ir novērota stingra pozitīva korelācija ar *RSRQ*, un retāk *SINR* parametru vērtībām. Dažreiz ir novērojama arī samērā stipra korelācija starp lejupielādes ātrumu un *RSRP*, *RSSI* parametriem, tomēr tā ir būtiski mazāka, līdz ar ko, iespējamo mērījumu izkliede pie saistošām parametra vērtībām ir lielāka.

Secināms, ka korelācija starp *QoS* un signāla parametriem ir novērojama, īpaši lejupielādes un augšupielādes ātrumu gadījumā, līdz ar to, izvērtējot mērījumu vietas izvēli signāla parametru lielumi var kalpot kā konkrēto mērījumu vietu noteicošs kritērijs.



## NOBEIGUMS UN SECINĀJUMI

Ik gadu arvien lielāks publisko pakalpojumu, tai skaitā valsts sniegto pakalpojumu, skaits tiek integrēts interneta vidē, un pakāpeniski tiešsaistes pakalpojumi aizstāj pakalpojumu sniegšanu klātienē. Eiropas regulējums un atbalstāmie projekti paredz Eiropas Savienības dalībvalstīm izstrādāt elektroniskās pakalpojumu sistēmas, kuras būs pieejamas visiem valsts iedzīvotājiem, un kuras iedzīvotāji varēs izmantot, lai saņemtu aktuālo informāciju, noformētu dokumentus, kā arī saņemtu medicīniskas konsultācijas un citus pakalpojumus. Turklāt, attīstoties galiekārtu tehnoloģiskām iespējām un tiešsaistes satura platformām, kas ļauj veidot liela apjoma saturu un šo saturu izvietot tiešsaistes platformās, pieprasījums pēc augstas veiktspējas elektronisko sakaru tīkliem tikai pieaug. Līdz ar lielas daļas pakalpojumu integrāciju interneta vidē, pieaug arī interneta pakalpojuma sociālā vērtība, kuru nosaka galalietotāju ierobežotas iespējas integrēties un darboties mūsdienu sabiedrībā, bez piekļuves interneta pakalpojuma sniegtām iespējām.

Mobilās elektronisko sakaru tīkla tehnoloģijas, salīdzinot ar fiksētā elektronisko sakaru tīklu tehnoloģijām, piedāvā daudz plašāku funkcionalitāti, tai skaitā nodrošinot lietotāju mobilitāti visā pasaulē. attīstoties mobilā tīklā tehnoloģijām, pieaug arī to sniegtā elektronisko sakaru pakalpojumu kvalitāte, līdz ar ko ir novērojams mobilo pieslēgumu īpatsvara būtisks palielinājums, salīdzinot ar fiksētiem pieslēgumiem. Latvijas Republikā mobilo pieslēgumu skaits jau 2020. gada beigās septiņas reizes pārsniedza fiksēto pieslēgumu skaitu. Pēc *OECD* datiem, viens Latvijas Republikas iedzīvotājs jau tagad mēnesī patērē vairāk kā 30 GB datu, izmantojot tikai mobilo elektronisko sakaru tīklu.

Tomēr, līdz ar pieprasījuma palielināšanos, pieaug arī noslodze uz tīklu, kā rezultātā var būt novērota sniegta interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes pasliktināšanās, kas īpaši izpaužas mobilā elektronisko sakaru tīklā, ievērojot tā tehnoloģiskās īpatnības, kuru ietekmē mobilo pieslēgumu skaita un noslodzes pieaugums.

Ņemot vērā minēto, elektronisko sakaru paklājumu nodrošināšana mobilā elektronisko sakaru tīklā ir viena no Eiropas Savienības mērķu prioritāriem virzieniem, kaut gan, tas neizslēdz nepieciešamību stimulēt arī fiksēto elektronisko sakaru tīkli attīstību, ievērojot, ka fiksēti elektronisko sakaru tīkli tiek izmantoti ne tikai lai nodrošinātu elektronisko sakaru pakalpojumus galalietotājiem, bet arī nodrošinot mobilā tīkla kapacitāti līdz bāzes stacijai.

Eiropas Savienības regulējums paredz nacionālām regulējošām iestādēm ieviest stingru sniegtā interneta piekļuves pakalpojuma uzraudzības mehānismu, kā nolūkam ir izstrādāti normatīvie akti, vadlīnijas un citi saistošie dokumenti, kas nosaka prasības regulatīvos mērījumos izmantojamām interneta pakalpojuma mērījumu rīkam, mērāmiem *QoS* parametriem, datu apkopošanas un attēlošanas kritērijiem un tīklu attīstību veicinošiem pasākumiem.

Tomēr nedz starptautiskie, nedz Eiropas Savienības standarti, rekomendācijas un citi dokumenti neparedz detalizētus praktisko mērījumu veikšanas kritērijus un nosacījumus, līdz ar ko, nav vienotas pieejas mērījumu veikšanas kārtībai. Rezultātā nav nodrošināts mērījumu procesa atklātums un caurskatāmība, kas neļauj interneta pakalpojuma sniedzējiem un

galalietotājiem pastāvīgi veikt pakalpojuma mērījumus, kas būtu līdzvērtīgi regulatīviem mērījumiem un kurus varētu izmantot kā likumisku sniegta vai saņemta pakalpojuma kvalitātes apliecinājumu.

Lai nodrošinātu salīdzināmus iegūto mērījumu rezultātus, kurus pēc tam var apkopot, atbilstoši Eiropas Savienības normatīvo aktu prasībām, un pēc kuriem izteikt secinājumus par elektronisko sakaru komersantu nodrošinātā interneta piekļuves pakalpojuma kvalitāti mērījumu vietās un valsts ietvaros, nepietiek ar standarta mērījumu metodikas izstrādi, ko paredz Eiropas un nacionālais regulējums, bet nepieciešama paša mērījumu procesa prasību un nosacījumu definēšana un stingra uzraudzība.

Ievērojot iepriekš minēto promocijas darbā tika pētīti interneta piekļuves pakalpojuma praktisko mērījumu veikšana un ar to saistītie aspekti un nosacījumi, un pamatojoties uz pētījuma rezultātu izstrādātas interneta pakalpojuma kvalitātes mērījumu veikšanas vadlīnijas, kuru ievērošana ļauj nodrošināt salīdzināmus, pamatotus un Eiropas normatīvu prasībām atbilstošus, mērījumu datus, vienlaicīgi nodrošinot mērījumu veikšanas procesa atklātumu un caurskatāmību.

Darba pirmajā nodaļā tiek izskatīti interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes novērtēšanas principi un parametri, un uz tā pamata izvērtēti dažādi regulatīvo mērījumu veidi un mērījumu rīki, kuri tiek izmantoti Eiropas Savienības valstīs un citviet pasaulē. Ņemot vērā aplūkotos mērījumu veidus, nodaļā tiek definēti un izvērtēti mērījumus ietekmējošie faktori, tai skaitā galiekārtu, kas paredzētas regulatīvo interneta pakalpojuma kvalitātes mērījumu veikšanai, izvēles ietekme uz mērījumu rezultātiem. Līdz ar ko secināms, ka lai nodrošinātu visaptverošus un aktuālus interneta pakalpojuma kvalitātes mērījumus, mērījumiem izmatotas galiekārtas ir jāatjaunina vismaz reizi trijos gados, izvēloties tirgū populārākā ražotāja iekārtas, kas atbalsta visu mobilo tīklu elektronisko sakaru komersantiem komercdarbībai piešķirtos radiofrekvenču spektra diapazonus, jaunākās tīkla tehnoloģijas un tehnoloģiskos risinājumus.

Vienlaikus nodaļā ir analizēta Latvijas Republikas nacionālā interneta tīkla, jeb publiskā *IP* tīkla, uzbūve, to veidojošo pakalpojumu sniedzēju nodrošinātās tīkla daļas un to starpsavienojumi, uz kā pamata ir definētas konkrētas autonomās sistēmas un to uzturošie pakalpojumu sniedzēji, kuru elektronisko sakaru tīklos ir nepieciešams izvietot interneta pakalpojuma kvalitātes mērījumu serveri, tādējādi nodrošinot vienlīdzīgus un salīdzināmus interneta pakalpojuma kvalitātes mērījumus neatkarīgi no mērījumu veikšanas vietas nacionālā interneta tīklā.

Izvērtējot interneta pakalpojuma kvalitātes praktisko mērījumu veikšanas ierobežojumus un prasības, nodaļā tiek izskatīts saistošs Eiropas Savienības un Latvijas Republikas normatīvais regulējums, kopsakarā ar mobilo elektronisko sakaru tīklu un to nodrošināšanai nepieciešamām radiofrekvenču spektra uzraudzības prasībām. Secināms, ka kaut gan regulējums paredz pakalpojumu kvalitātes, tīkla un radiofrekvenču spektra uzraudzību kā atsevišķas nesaistītas funkcijas, tomēr nedaudz paplašinot interneta pakalpojuma kvalitātes uzraudzības rīka un procesa funkcionalitāti, iespējams nodrošināt vairāku regulatīvo funkciju vienlaicīgu izpildi.

Promocijas darba otrajā nodaļā tiek analizēta mērījumu iekārtu izvietojuma ietekme uz mērījumu rezultātiem, kuras ietvaros veikta mērījumu rezultātu matemātiskā apstrāde, izvirzīti secinājumi un doti priekšlikumi par nosacījumiem, kādi jāizvirza attiecībā uz mērījumu

ģeogrāfisko vietu izvēli un iekārtu izvietojšanu telpās vai transportlīdzeklī, kas būtu pielietojami praktisko mērījumu veikšanai, nodrošinot visu veikto mērījumu salīdzināmību.

Analizējot dažādus, pirmā darba nodaļā definētos, mērījumu veidus, to izpildes nosacījumus, kā arī izrietošas priekšrocības un trūkumus, pētījuma ietvaros tika veikti interneta pakalpojuma kvalitātes un signāla mērījumi, un nodaļas ietvaros izvērtēti šo mērījumu rezultāti. Ievērojot minēto, secināts, ka mērījumu iekārtu precīza izvietojuma noteikšanai ir nepieciešams izmantot signāla parametru mērījumus, konkrētu mērījumu vietu nosakot atbilstoši telpā, ārtelpās vai transportlīdzeklī uztvertā signāla stiprumam un kvalitātei. Ievērojot, iespējamās funkcionālos ierobežojumus signāla parametru mērījumu veikšanai, nodaļā tika izteikti ieteikumi interneta pakalpojuma kvalitātes mērījumu iekārtu izvietojšanai iekštelpās un transportlīdzeklī.

Pamatojoties uz mērījumu veidu funkcionālām īpatnībām un praktisko mērījumu rezultātiem, nodaļā tiek vērtētas mērījumu veidu savstarpējas aizstājamības iespējas, kas nodrošinātu mērījumus veicošās iestādes resursu ekonomiju. Tiek noteikti mērījumu veidi, kuru aizstāšana nav iespējama, un kas spēj nodrošināt normatīvā regulējuma prasību izpildi attiecībā uz interneta pakalpojuma kvalitātes uzraudzību, kā arī mērījumu veidi un apstākļi, kuru aizvietošana ir iespējama un neietekmē mērījumu rezultātu objektivitāti.

Darba trešajā nodaļā, balstoties uz starptautiskiem standartiem, tiek definēti interneta pakalpojuma mērījumu apjoma noteikšanas kritēriji un mērījumu laika izvēles principi atkarībā no mērījumu veida, kas nepieciešams lai nodrošinātu, ka mērījumi ir veikti atbilstoši noteiktai ticamības pakāpei, un mērījumu rezultātu apkopojums ļauj novērtēt galalietotājiem faktiski pieejamo pakalpojuma kvalitāti galalietotāja atrašanās vietā. Ņemot vērā definēto mērījumu skaita aprēķināšanas metodi, tiek analizēti un piedāvāti mērījumu vietu izvietojuma modeļi valsts un atsevišķo apdzīvoto vietu teritorijās. Noteikti mērījumus ietekmējoši faktori, tai skaitā cilvēciskais, kurus nepieciešams ņemt vērā veicot kvalitāte mērījumu un iegūto datu apstrādi un analīzi.

Promocijas darba ceturtajā nodaļā tiek izskatītas un, izmantojot matemātiskās un statistiskās metodes, analizētas un noteiktās sakarības starp radiofrekvenču spektra, signāla parametru vērtībām un *QoS* parametru vērtībām, pamatojoties uz praktiski iegūtiem mērījumu rezultātiem. Nodaļā tiek noteikta korelācija starp *QoS* parametriem un signāla parametriem, kā arī tiek analizēti mērījumu rezultāti atkarībā no mērījumu veikšanas vietas. Ņemot vērā iegūtos rezultātus, secināts par nepieciešamību mērījumu datu analīzē izmantot signāla parametru iegūtās vērtības, lai nodrošinātu, ka atspoguļotie mērījumu rezultāti ir caurskatāmi, pamatoti un salīdzināmi, kā arī ļauj veikt visā apdzīvotā vietā pieejamas interneta pakalpojuma kvalitātes prognozi, gan atkarībā no izvietojuma, gan no laika.

Papildus darbā tiek izskatīta interneta pakalpojuma mērījumu un mērījumu datu apkopšanas automatizācijas iespējas, līdz ar ko ir izstrādāts programmas kods, kuru var pielāgot atbilstoši izmantojamai mērījumu sistēmai, un kas var tikt izmantots regulatīvo mērījumu procesa automatizācijai.

Pamatojoties uz visā promocijas darbā veikto analīzi, teorētisko un praktisko pētījumu rezultātiem, darba rezultātā tiek izstrādātas interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes mērījumu veikšanas vadlīnijas.

Veicot promocijas darbā definēto uzdevumu izpildi iegūti šādi **galvenie promocijas darba rezultāti un secinājumi**:

1. Veicot autonomu sistēmu starpsavienojumu un elektronisko sakaru komersantiem piederošo autonomu sistēmu analīzi, konstatēts, ka Latvijas Republikā ir iespējams izvēlēties vienu interneta pakalpojuma kvalitātes mērījumu servera izvietojuma vietu, kas nodrošinātu īsāku ceļu līdz mērījumu serverim un nacionāliem satura resursiem veicot mērījumus no jebkuras Latvijas Republikas elektronisko sakaru tīkla vietas, tādējādi nodrošinot visu regulējuma prasību izpildi, kā arī salīdzināmu un objektīvu mērījumu rezultātu iegūšanu.
2. Ja mērījumu veikšanai tiek izmantotas galalietotājiem paredzētas galiekārtas, to nomaiņa uz jaunākām iekārtām ir jāveic vismaz reizi trijos gados, tādējādi nodrošinot, ka elektronisko sakaru komersantu sniegtais mobilā interneta piekļuves pakalpojums tiek vērtēts, ņemot vērā visas elektronisko sakaru tīklā izmantotās jaunākas tehnoloģijas un radiofrekvenču spektra joslas.
3. Mērījumi kustībā esošā transportlīdzeklī jeb *drive test* mērījumi ir vienīgais mērījumu veids, kas spēj nodrošināt Eiropas Savienības definēto prasību ceļu maģistrālēs nodrošināt interneta pakalpojuma pieejamību, pārbaudi un novērtējumu. Gan resursu, gan laika ietilpības ziņā tas ir efektīvāks par izlases mērījumu veidu, tāpēc *drive test* mērījumu atbalsts ir svarīgs mērījumu rīka izvēles kritērijs.
4. Signāla parametru mērījumus ir ieteicams izmantot regulatīvo mērījumu veikšanas vietas noteikšanai iekšstelpās, transportlīdzeklī vai ārtelpās, mērījumiem izvēloties vietu, kur signāla parametru vērtības ir labākas, vai nodrošinot mērījumus noteiktos signāla parametru vērtību diapazonos, tādējādi turpmākajā mērījumu rezultātu analizē nodrošinot, ka mērījumi ir veikti vienādos apstākļos un tāpēc ir salīdzināmi. Vienlaikus mērījumu rezultātu publikāciju nolūkā mērījumos iegūtos datus ieteicams šķirot atbilstoši signāla apstākļiem.
5. Ja regulatīvo mērījumu ietvaros signāla parametru novērtējums nav iespējams, tad transportlīdzeklī mērījumu iekārtas jāizvieto pie transportlīdzekļa priekšēja paneļa, logu augstumā, iekšstelpās – pēc iespējas tuvāk logam.
6. Plānoto un faktisko mērījumu skaita aprēķinam ir jāizmanto starptautiskos standartos definētā aprēķinu formula (3.1. formula), pielāgojot tās parametrus atbilstoši iestādē noteiktajiem ticamības pakāpes un relatīvās mērījumu precizitātes kritērijiem, kas definēti saistībā ar mērījumu rezultāta apstrādes mērķi. Tomēr mērījumu gaitā, ievērojot resursu pieejamību, var būt nepieciešams mērījumu skaitu pārskatīt, ievērojot to, ka plānoto mērījumu apjoms ir atkarīgs no kontroles mērījumu rezultātiem, bet praktisko mērījumu gadījumā pie atšķirīgām mērījumu rezultātu vērtībām, lai sasniegtu noteikto mērījumu ticamības pakāpi, var būt nepieciešams lielāks mērījumu skaits.
7. *Drive test* un izlases mērījumi, kuru veikšana nav paredzēts ārpus standarta darba laika, jāveic darbdienās laikā no plkst. 9 līdz plkst. 15, tādējādi turpmākā mērījumu rezultātu apstrādē nodrošinot, ka mērījumu rezultāti ir 4 % kļūdas robežās no diennakts laikā veikto mērījumu rezultātiem.

8. Pastāv tieša korelācija starp *QoS* un signāla parametriem *LTE* mobilā tīklā, kas izpaužas stingrās korelācijas koeficientu vērtībās starp lejupielādes, augšupielādes ātrumu vērtībām un *RSRP*, *RSSI* un *RSRQ* parametru vērtībām. Citu *QoS* parametru gadījumā korelācijas koeficients ir atšķirīgs, no kā izriet, ka, pamatojoties uz signāla parametru vērtībām, ir iespējams prognozēt signāla parametru vērtības mobilās šūnas pārklājuma zonā, tomēr konkrētas *QoS* parametru vērtības ir raksturīgas un paredzamas tikai konkrētā operatora tīklā.
9. Nav ieteicams bez pamatota iemesla, piemēram, galalietotāja sūdzības izskatīšanai, regulatīvo mērījumu datu apkopošanas nolūkiem izvietot mērījumu iekārtas vietās, kur signāla parametru vērtības *RSRP* ir zemākas par  $-100$  dBm, *RSSI* ir zemākas par  $-75$  dBm, *RSRQ* ir zemākas par  $-20$  dB, *SINR* ir zemākas par 0, jo tādā gadījumā bieži novērota *QoS* parametru būtiska pasliktināšanās, kas būtiski ietekmē mērījumu rezultātu apkopojumu un salīdzināmību.
10. Izstrādāts mērījumu automatizācijas algoritms programmas koda veidā, kas nodrošina interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu nepārtrauktu veikšanu, kā arī iegūto rezultātu apkopšanu datubāzē, kas nodrošina darbinieku un laika resursu ekonomiju, izslēdzot cilvēciskās kļūdas iespēju mērījumu veikšanas procesā.
11. Izstrādātas interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes mērījumu veikšanas vadlīnijas, kas balstītas uz standartiem, rekomendācijām, praktiskiem un matemātiski iegūtiem pētījumu rezultātiem un ko var izmantot regulatīvo mērījumu nodrošināšanai.

Darba izstrādes un informācijas analīzes laikā konstatēts, ka par signāla parametru references punktu pēc starptautiskiem standartiem ir noteikts galiekārtas uztvērēja antenas spraudnis, līdz ar to izdarīts papildus secinājums, ka tīkla pieslēguma punkts (*NTP*) mobilā elektronisko sakaru tīkla gadījumā būtu definējams kā galiekārtas un uztvērēja antenas savienojums. Tāds definējums noteiktu precīzāku *NTP* atrašanas vietu, salīdzinot ar *BEREC* vadlīnijās un Latvijas normatīvos aktos noteikto mobilā *NTP* atrašanas vietu, kas pašlaik definēta kā punkts gaisā starp raidītāju un uztvērēju.

### **Interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes mērījumu veikšanas vadlīnijas.**

1. Vispārīgie mērījumu nodrošināšanas nosacījumi:
  - 1.1. Mērījumu veikšana notiek atbilstoši saskaņotām mērījumu plānam, kurā noteikts provizoriskais mērījumu skaits un mērījumu veikšanas vietu provizoriskais izvietojums;
  - 1.2. Provizoriskais mērījumu skaits tiek rēķināts pēc 3.1. formulas. Mērījumu veikšanas vietas tiek vienmērīgi izkliedētas visā valsts teritorijā;
  - 1.3. Mērījumi tiek nodrošināti līdz vienotam mērījumu serverim;
  - 1.4. Mērījumu veikšanai dažādu operatoru tīklos tiek izmantotas vienādas mērījumu iekārtas ar vienādu un aktuālu programmnodrošinājumu;
  - 1.5. Mērījumu veikšanas laikā mērījumu iekārtās izslēgta visa mērījumu veikšanai un mērījumu rezultātu apstrādei neparedzēta funkcionalitāte;
  - 1.6. Izlases un drive-test mērījumi tiek veikti darbdienās, laikā posmā no plkst.9 līdz plkst.15;

- 1.7. Izvēloties konkrētas mērījumu vietas izlases un sērijveida mērījumu veikšanai, ja tas ir tehniski iespējams, tiek izvēlētas tādas mērījumu vietas, kurās signāla parametru vērtības priekš *RSRP* ir augstākas par  $-90$  dBm, priekš *RSSI* ir augstākas par  $-75$  dBm, priekš *RSRQ* ir augstākas par  $-15$  dB, un priekš *SINR* ir augstākas par  $13$  dB;
  - 1.8. Konstatējot, ka uztvertā *LTE* signālā parametru vērtības ir zemākas par  $-120$  dBm priekš *RSRP*,  $-110$  dBm priekš *RSSI*,  $-25$  dB priekš *RSRQ* vai  $-20$  dB priekš *SINR*, tiek uzskatīts, ka interneta piekļuves pakalpojums mērījumu vietā nav pieejams;
  - 1.9. Nodrošinot interneta piekļuves pakalpojuma mērījumus, mērīju laikā konstatēto signāla parametru vērtības tiek piefiksētas, analizētas un publicētas kopā ar mērījumu rezultātiem.
2. Mērījumu nodrošināšana kustībā esošā transportlīdzeklī (*drive test* mērījumi):
    - 2.1. Mērījumu iekārtas izvieto uz priekšējā paneļa (pie vējstikla) vai transportlīdzekļa logu augstumā;
    - 2.2. Ja tiek veikti vairāku elektronisko sakaru tīklu parametru mērījumi, vienlaicīgi izmantojot vairākas mērījumu iekārtas, tās izvieto pēc iespējas tālāk vienu no otras;
    - 2.3. Pirms konkrēta transportlīdzekļa izmantošanas mērījumu veikšanai, lai noteiktu optimālu mērījumu iekārtu izvietojuma vietu/vietas, tiek veikti kontroles mērījumi, izvietojot mērījumu iekārtu, vai signāla uztvērēju/raidītāju iespējamās iekārtu izvietojuma vietās transportlīdzeklī un veicot signāla parametru mērījumus;
    - 2.4. 2.3. apakšpunktā minētie kontroles mērījumi netiek veikti, ja mērījumu iekārta, vai tās signāla uztvērējs/raidītājs, tiek izvietots ārpus transportlīdzekļa salona, piemēram uz jumta;
    - 2.5. Mērījumu iekārtu, vai tās signāla uztvērēju/raidītāju izvieto transportlīdzeklī, pamatojoties uz 2.3. apakšpunkta minēto kontroles mērījumu rezultātiem, vietā, kur tiek konstatēti labākas uztvertā signāla, kas paredzēts interneta pakalpojuma nodrošināšanai, vērtības, atbilstoši 1.1. tabulā definētām parametru vērtību sadalījumam;
    - 2.6. Ja 2.5. punktā minētā signāla parametra vērtības katra parametru mērījumu vietā atšķiras, tad izvēlās pēc signāla stipruma parametra (*RSRP*) labākas vērtības;
    - 2.7. Jā mērījumu iekārtas un sistēma neparedz pārvietošanas ātruma ierobežojumus, veicot mērījumus kustībā transportlīdzeklī nepieciešams pārvietoties ievērojot ceļu satiksmes noteikumus noteikto un tādā pārvietošanās ātrumā, kas noteikts konkrētā ceļa posmā;
    - 2.8. Ja mērījumu iekārtas un sistēma paredz pārvietošanas ātruma ierobežojumus, veicot mērījumus kustībā transportlīdzeklī nepieciešams pārvietoties ievērojot ceļu satiksmes noteikumus noteikto un tādā pārvietošanās ātrumā, ievērojot mērījumu sistēmas noteikto pārvietošanās ātruma ierobežojumu;
    - 2.9. Veicot 2.8. apakšpunktā minētos mērījumus ieteicams uz transportlīdzekļa, citiem satiksmes dalībniekiem redzamā vietā, atbilstoši ceļa satiksmes noteikumiem, novietot brīdinājuma zīmi par transportlīdzekļa maksimālo kustības ātrumu;
    - 2.10. Lai noteiktu precīzu mērījumu veikšanas vietu, mērījumu laikā jābūt nodrošinātai *GPS* datu fiksācijai un ierakstīšanai;

- 2.11. Ja nepieciešams, laiks un attālums starp mērījumiem tiek noteikts, atbilstoši mērījumu plānā noteiktām mērījumu daudzumam un 2.1. formulai.
- 2.12. Mērījumi notiek automatizēti un nepārtraukti;
3. Mērījumu nodrošināšana iekšstelpā vienā ģeogrāfiskā vietā (sērijveida mērījumi):
- 3.1. Pirms iekārtu izvietojuma mērījumu veikšanai konkrētā telpā, lai noteiktu optimālu mērījumu iekārtu izvietojuma vietu/vietas, tiek veikti kontroles mērījumi, izvietojot mērījumu iekārtu, vai signāla uztvērēju/raidītāju iespējamās iekārtu izvietojuma vietās telpā un veicot signāla parametru mērījumus;
- 3.2. Mērījumu iekārtu, vai tās signāla uztvērēju/raidītāju izvieto telpā, pamatojoties uz 3.1. apakšpunkta minēto kontroles mērījumu rezultātiem, vietā, kur tiek konstatēti labākas uztvertā signāla, kas paredzēts interneta pakalpojuma nodrošināšanai, vērtības, atbilstoši 1.1. tabulā definētām parametru vērtību sadalījumam;
- 3.3. Ja tiek veikti vienlaicīgi mērījumi vairāku operatoru tīklos vienā mērījumu vietā, tad izvēloties mērījumu vietu, tehnisko iespēju robežās, jāizvēlas tāda mērījumu veikšanas vieta, kur visu operatoru tīkla signālā parametri ir vienā signāla parametru diapazonā, atbilstoši 1.1. tabulā definētām signāla parametru vērtībām;
- 3.4. Ja 3.3. apakšpunktā minēto nosacījumu nav iespējams izpildīt, mērījumu iekārtas tiek izvietotas vietā ar optimāli labākām signāla parametru kvalitātes vērtībām, un tiek piefiksētas signāla parametru vērtības, pēc tam tās atspoguļojot atskaitē;
- 3.5. Ja 3.2. punktā minētā signāla parametra vērtības katra parametru mērījumu vietā atšķiras, tad izvēlās pēc signāla stipruma parametra (*RSRP*) labākas vērtības;
- 3.6. Ja 3.3. apakšpunktā minēto nosacījumu nav iespējams izpildīt, un signāla parametru vērtības dažādu operatoru tīklos būtiski atšķiras, mērījumu iekārtu izvietojuma vieta tiek izvēlēta par labu elektronisko sakaru tīklam ar sliktāko signāla parametru vērtību;
- 3.7. Ja veicot 3.2. un 3.4. apakšpunktā aprakstīto signāla parametru novērtējumu, tiek konstatēts, ka mērījumu iekārta dažādās vietās telpā pieslēdzas pie dažādam bāzes stacijām vai mobilā tīkla šūnām, tad tiek veikti interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes (*QoS*) parametru kontroles mērījumi, un mērījumu iekārtas izvietojums tiek balstīts uz *QoS* parametru kontroles mērījumu rezultātu vērtībām;
- 3.8. Ja nav iespējams veikt signāla novērtējumu iekšstelpā, mērījumu iekārtas izvieto pēc iespējas tuvāk logam un iespējami augstākā ēkas stāvā;
- 3.9. Mērījumi notiek automatizēti un nepārtraukti;
4. Mērījumu nodrošināšana vienā ģeogrāfiskā lokācijā atrodoties transportlīdzeklī (izlases mērījumi):
- 4.1. Mērījumu iekārtu izvietojuma transportlīdzeklī notiek atbilstoši vadlīniju 2.1.-2.6. apakšpunktam;
- 4.2. Mērījumu veikšanas vietas tiek izvēlētas atbilstoši mērījumu plānā noteiktām mērījumu skaitam un mērījumu vietu izvietojumam, konkrētas mērījumu vietas apdzīvotā vietā izvēloties tādas, kas ir teritoriāli vienmērīgi izkliedētas apdzīvotas vietas teritorijā, un kur iespējams novietot transportlīdzekli mērījumu laikā, netraucējot satiksmei;
- 4.3. Ja mērījumu veikšanai ielānotā vietā signāla parametru vērtības ir zemākas kā vadlīniju 1.6. apakšpunktā noteiktās signālu parametru vērtības, tad, ja tas ir tehniski

iespējams, *GPS* uztvērēja kļūdas robežās, jeb 20 metru rādiusā, no plānotas mērījumu vietas, tiek veikta signāla parametru vērtību pārbaude, un mērījumu veikšana tiek nodrošinātā vietā, kurā konstatēti labāki signāla parametri;

- 4.4. Ja 4.3. punktā minētā signāla parametra vērtības katra parametru mērījumu vietā atšķiras, tad izvēlās pēc signāla stipruma parametra (*RSRP*) labākas vērtības;
- 4.5. Ja tiek veikti vienlaicīgi mērījumi vairāku operatoru tīklos vienā mērījumu vietā, tad izvēloties mērījumu vietu, tehnisko iespēju robežās, jāizvēlas tāda mērījumu veikšanas vieta, kur visu operatoru tīkla signāla parametri ir viena signāla parametru diapazonā, atbilstoši 1.1. tabulā definētām signāla parametru vērtībām;
- 4.6. Ja 4.5. apakšpunktā minēto nosacījumu nav iespējams izpildīt, un signāla parametru vērtības dažādu operatoru tīklos būtiski atšķiras, mērījumu iekārtu izvietojuma vieta tiek izvēlēta par labu elektronisko sakaru tīklam ar sliktāko signāla parametru vērtību;
5. Ja mērījumi tiek veikti citiem nolūkiem, piemēram izskatot galalietotāju sūdzības, ir ieteicams nodrošināt mērījumu veikšanu atbilstoši 1.-4. punktā minētām prasībām un kārtībai, ja nepieciešams, pielāgojot mērījumu veikšanas procesu konkrētai situācijai.

Nobeigumā norādāms, ka izvirzītais promocijas darba mērķis – veikt mobilā interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu procesa nodrošināšanai nepieciešamo aspektu un parametru izpēti, izstrādājot mērījumu veikšanas procesa vadlīnijas, kas ir balstītas uz standartiem, rekomendācijām, matemātiskiem aprēķiniem un praktiskajiem rezultātiem, un nodrošina mērījumu procesa atklātumu un caurskatāmību, ir veiksmīgi sasniegts, un visi definētie uzdevumi pilnībā izpildīti.

Promocijas darbā iegūtie rezultāti tiks piedāvāti izstrādājot Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas normatīvos aktus, nosakot prasības interneta piekļuves pakalpojuma mērījumu rīkam un izstrādājot vienotas interneta pakalpojuma kvalitātes mērījumu veikšanas vadlīnijas.



## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- [1] 3GPP TS 38.213 “5G NR; Physical layer procedures for control channels”, 2018., 9.–28. lpp.
- [2] 3GPP TS 38.214: “5G NR; Physical layer procedures for data channels”, 2020, 9.–21., 105.–107. lpp.
- [3] 3GPP TS 38.215 “5G NR; Physical layer measurements”, 2020, 8.–19. lpp.
- [4] Administratīvo teritoriju un apdzīvoto vietu likums (stājies spēkā 10.06.2020).
- [5] Agency for Electronic Communications & Postal Services, “Measuring *QoS* in fixed and mobile networks”, 2015, 5.–17. lpp.
- [6] Arhipova I., Bāliņa S., “Statistika ar Microsoft Excel ikvienam”, Rīga, Datorzinību Centrs, 2000, 133 lpp, 46.–78. lpp.
- [7] Average lifespan (replacement cycle length) of smartphones in the United States from 2014 to 2025, interneta resurss, <https://www.statista.com/statistics/619788/average-smartphone-life/>.
- [8] Ayman A. El-Saleh, Abdulraheeb Alhammadi, Ibraheem Shayea, Wan Haslina Hassan, Mohamed Shaik Honnurvali, Yousef Ibrahim Daradkeh, “Measurement analysis and performance evaluation of mobile broadband cellular networks in a populated city”, *Alexandria Engineering Journal*, Volume 66, 2023, Pages 927–946, ISSN 1110-0168, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.10.052>.
- [9] Beijnum I. van, “BGP: Building Reliable Networks with the Border Gateway Protocol”, O'Reilly Media, Inc., 2002, 290 pages, 1.–9., 54.–61., 68.–72., 95.–100., 228.–237. lpp.
- [10] Berisha t., Arther G., Krasniqi B., Duriqi b., “Measurement and Analysis of *LTE* Coverage for Vehicle Use Cases in Live Networks”, *IEEE APWC*, 2017., 1.–4. lpp.
- [11] BoR (17) 178 “Net Neutrality Regulatory Assessment Methodology”, 2017, 4.–8. lpp.
- [12] BoR (17) 179 “Net neutrality measurement tool specification”, 2017, 11.–15., 23.–25., 28.–30. lpp.
- [13] BoR (20) 165 “BEREC Guidelines on Very High Capacity Networks”, 2020, 9.–14. lpp.
- [14] BoR (20) 46 “BEREC Guidelines on Common Approaches to the Identification of the Network Termination Point in different Network Topologies”, 2020, 26. lpp.
- [15] BoR (20) 53 “BEREC Guidelines detailing Quality of Service Parameters”, 2020, 13., 19.–22. lpp.
- [16] BoR (20) 99 “BEREC Report on Member States’ best practices to support the defining of adequate broadband Internet Access Service (IAS)”, 2020, 30.–35. lpp.
- [17] BoR (21) 172 “BEREC Report to enable comparable national broadband coverage indicators throughout Europe”, 2021, 9.–14., 20.–22. lpp.
- [18] BoR (22) 128 “BEREC Report on the implementation of the Open Internet Regulation”, 2022, 11.–14., 50.–53., 65. lpp.
- [19] BoR (22) 167 “BEREC Report on the Internet Ecosystem”, 2022, 8.–23. lpp.
- [20] BOR (22) 81 “BEREC Guidelines on the Implementation of the Open Internet Regulation”, 2022, 37.–45. lpp.

- [21] Bryc W., "The Normal Distribution: Characterizations with Applications", Springer Science & Business Media, Dec 6, 2012, 139 pages 24.–26., 36.–7., 43.–45. 71.–74., 81.–86. lpp.
- [22] Budiman E., Wicaksono O., "Measuring quality of service for mobile internet services", ICSITech, 2016., 300–305. lpp .
- [23] 3. Charisma, A., Setiawan, A. D., Megiyanto Rahmatullah, G. and Hidayat, M. R., "Analysis Quality of Service (*QoS*) on 4G Telkomsel Networks In Soreang," 2019 IEEE 13th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA), Bali, Indonesia, 2019, pp. 145–148, doi: 10.1109/TSSA48701.2019.8985489.
- [24] CISCO, "Cisco Annual Internet Report (2018–2023)", 2020, 6.–8. lpp.
- [25] Darba likums (stājies spēkā 09.08.2001).
- [26] Directive (EU) 2018/1972 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 establishing the European Electronic Communications Code, 2018.
- [27] EC, "2030 DIGITAL COMPASS The European way for the digital decade", 2021. ISBN 978-92-76-30777-8, 2.–3., 5.–8. lpp.
- [28] EC, "5G coverage along transport corridors", interneta resurss, pieejams: [https://hadea.ec.europa.eu/calls-proposals/5g-coverage-along-transport-corridors-works-0\\_en](https://hadea.ec.europa.eu/calls-proposals/5g-coverage-along-transport-corridors-works-0_en).
- [29] EC, "5G cross-border corridors", interneta resurss, pieejams: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/cross-border-corridors>.
- [30] EC, "EU4Digital Facility", pieejams: <https://eufordigital.eu/discover-eu/eu4digital-supporting-digital-economy-and-society-in-the-eastern-partnership/>.
- [31] ECC Report 148 "Measurements on the performance of DVB-T receivers in the presence of interference from the mobile service (especially from *LTE*)", 2010, 7.–10., 23.–27. lpp.
- [32] ECC Report 195 "Minimum Set of Quality of Service Parameters and Measurement Methods for Retail Internet Access Services", 2013, 9.–37. lpp.
- [33] ECC Report 256 "LTE coverage measurements" 2016, 16.–23., 36.–38. lpp.
- [34] ECC Report 265 "Migration from PSTN/ISDN to IP-based networks and regulatory aspects", 2017, 14.–15. lpp.
- [35] ECC Report 293 "Mobile Spectrum Monitoring Units", 2019, 6.–50. lpp.
- [36] ECC Report 312 "Measuring and evaluating Mobile Internet Access Service Quality (Mobile IASQ)", 2020, 13.–14., 20.–35. lpp.
- [37] ECC/REC/(15)03 ECC Recommendation of 23 April 2015 on provision of Comparable Information on Fixed Retail Internet Access Service Quality, 2018, 4.–5. lpp.
- [38] EENA, "The Potential Perils of 2G and 3G Switch Offs", Crisis Response Journal, September 2022 Issue.
- [39] Elektronisko sakaru likums (stājies spēkā 28.07.2022).
- [40] ETSI EG 202 057-1, "Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related *QoS* parameter definitions and measurements; Part 1: General", 2011, 13.–22. lpp.

- [41] ETSI EG 202 057-2, "Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related *QoS* parameter definitions and measurements; Part 2: Voice telephony, Group 3 fax, modem data services and SMS", 2011, 42.–48. lpp.
- [42] ETSI EG 202 057-4, "Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related *QoS* parameter definitions and measurements; Part 4: Internet access", 2008, 14.–19., 24.–26. lpp.
- [43] ETSI TR 102 276, "User Group; Users' Quality of Service Criteria for Internet Access in Europe", 2003, 7.–8. lpp.
- [44] ETSI TS 102 250-1, "Speech and multimedia Transmission Quality (STQ) *QoS* aspects for popular services in mobile networks; Part 1: Assessment of Quality of Service", 2019, 13.22. lpp.
- [45] ETSI TS 136 133, "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for support of radio resource management (3GPP TS 36.133)", 2018, 562.–583., 605–607., 607.–611., 613.–615., 2079.–2787., 2965.–2971. lpp.
- [46] ETSI TS 136 214, "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer - Measurements (3GPP TS 36.214)", 2010, 6.12. lpp.
- [47] ETSI TS 36.211 "LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation", 2021, 16.–24., 37. lpp.
- [48] Feamster, N., Livingood, J., "Measuring Internet Speed. Current Challenges and Future Recommendations", Communications of the ACM, 2020, vol.63, pp 72–80, doi: <https://doi.org/10.1145/3372135>.
- [49] GSMA Intelligence, "Analysis. Cellular M2M forecasts and assumptions: 2010-2020", 2014, 5.–15.pp, pieejams: <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2016/09/GSMA-Intelligence-Cellular-M2M-forecasts-2010-2020.pdf>.
- [50] GSMA, "4G/5G Network Experience Evaluation Guideline", 2020, 12.–22. lpp.
- [51] GSMA, "Emergency Communication", 2021, 9.–12. lpp.
- [52] Guizani M., Rayes A., Khan B., Al-Fuqaha A., "Network Modeling and Simulation: A Practical Perspective", 2010, 304 pages, 221.–260. lpp.
- [53] Hurricane electric BGP toolkit, pieejams: <https://bgp.he.net/>
- [54] IANA Autonomous System (AS) Numbers, 2021, pieejams: <https://www.iana.org/assignments/as-numbers/as-numbers.xhtml>.
- [55] IETF RFC 2681 "A Round-trip Delay Metric for IPPM", 1999, 4.–17. lpp.
- [56] IETF RFC 4632 "Classless Inter-domain Routing (CIDR): The Internet Address Assignment and Aggregation Plan", 2006, 11.–17. lpp.
- [57] IETF RFC 7020 "The Internet Numbers Registry System", 2013, 3.–6. lpp.
- [58] Interneta piekļuves pakalpojuma *QoS* mērījumu rīks *AKOSTestNet*, pieejams: <https://www.akostest.net/sl/>.
- [59] Interneta piekļuves pakalpojuma *QoS* mērījumu rīks *Alladin Nettetst*, pieejams: <https://alladin.at/nettest.html>.
- [60] Interneta piekļuves pakalpojuma *QoS* mērījumu rīks *Checkmynet.lu*, pieejams: <https://checkmynet.lu/home>.

- [61] Interneta piekļuves pakalpojuma *QoS* mērījumu rīks *CTU-NetTest*, pieejams: <https://nettest.cz/en/>.
- [62] Interneta piekļuves pakalpojuma *QoS* mērījumu rīks *G-Net Track Pro*, pieejams: [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gyokovsolutions.gnettrackproplus&hl=en\\_US&gl=US&pli=1](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gyokovsolutions.gnettrackproplus&hl=en_US&gl=US&pli=1).
- [63] Interneta piekļuves pakalpojuma *QoS* mērījumu rīks *HAKOMetar*, pieejams: <https://www.hakom.hr/hr/hakometar/132>.
- [64] Interneta piekļuves pakalpojuma *QoS* mērījumu rīks *ITEST*, pieejams: [www.ITEST.sprk.gov.lv](http://www.ITEST.sprk.gov.lv) (līdz 2021.gada 1. janvārim)
- [65] Interneta piekļuves pakalpojuma *QoS* mērījumu rīks *Meracinternet*, pieejams: <https://www.meracinternetu.sk/sk/map>.
- [66] Interneta piekļuves pakalpojuma *QoS* mērījumu rīks *Meteor*, pieejams: <https://www.opensignal.com/apps>.
- [67] Interneta piekļuves pakalpojuma *QoS* mērījumu rīks *Nettfart*, pieejams: <https://www.nettfart.no/nb/test>.
- [68] Interneta piekļuves pakalpojuma *QoS* mērījumu rīks *Network Cell Info*, pieejams: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.wilysis.cellinfo&hl=lv&gl=US>.
- [69] Interneta piekļuves pakalpojuma *QoS* mērījumu rīks *OpenSignal*, pieejams: <https://www.opensignal.com/apps>.
- [70] Interneta piekļuves pakalpojuma *QoS* mērījumu rīks *RTR-Netztest*, pieejams: <https://www.netztest.at/de/Test>.
- [71] ITU background paper, “Broadband Mapping Systems in Europe and Regional Harmonization Initiatives”, 2021, 20.–25. lpp.
- [72] ITU Development sector, “Handbook for the collection of administrative data on telecommunications/ICT 2020 edition”, 2020, 41.–71. lpp.
- [73] ITU, “Definitions of World Telecommunication/ICT Indicators”, 2010, 4.–5., 7.–9. lpp.
- [74] ITU, “Quality of Service regulation manual”, 2017, 7.–13., 47.–49., 52.–54., 68.–94., 146. lpp.
- [75] ITU-T E. Recommendation E.804, “*QoS* aspects for popular services in mobile networks”, 2014, 16.–19., 269.–293., 408.–412. lpp.
- [76] ITU-T E. Recommendation E.840, “Statistical framework for end-to-end network performance benchmark scoring and ranking”, 2018, 9.–10. lpp.
- [77] ITU-T Recommendation E.212, “The international identification plan for public networks and subscriptions”, 2016, 2.–9. lpp.
- [78] ITU-T Recommendation E.800, “Definitions of terms related to quality of service”, 2008, 7.–21. lpp.
- [79] ITU-T Recommendation E.802: "Framework and methodologies for the determination and application of *QoS* parameters ", 2007, 5.–24. lpp.
- [80] ITU-T Recommendation E.806, “Measurement campaigns, monitoring systems and sampling methodologies to monitor the quality of service in mobile networks”, 2019, 3.–17. lpp.

- [81] ITU-T Recommendation G.1000: "Communications Quality of Service: A framework and definitions", 2001, 6. lpp.
- [82] ITU-T Recommendation I.350: "General aspects of quality of service and network performance in digital networks, including ISDNs", 1993, 1.–4. lpp.
- [83] ITU-T Recommendation Y.1540: "Internet protocol data communication service - IP packet transfer and availability performance parameters", 2019, 7.19. lpp.
- [84] ITU-T Recommendation Y.1541: "Network performance objectives for IP-based services", 2011, 7.–8., 21.–23. lpp.
- [85] ITU-T Recommendation Y.1545.1, "Framework for monitoring the quality of service of IP network services", 2017, 6.–13. lpp.
- [86] ITU-T Recommendation Y.2617, "Quality of service guaranteed mechanisms and performance model for public packet telecommunication data networks", 2016, 3.–7. lpp.
- [87] ITU-T Recommendation Y.3106, "Quality of service functional requirements for the IMT-2020 network", 2019, 3.–8. lpp.
- [88] Kajackas, A., Batkauskas, V., Saltis, A., & Gursnys, D. (2011). "Autonomous System for Observation of *QoS* in Telecommunications Networks". *Elektronika Ir Elektrotechnika*, 111(5), 15–18. <https://doi.org/10.5755/j01.eee.111.5.347>.
- [89] Kajaskas A., Vindašius A., "Analysis and Monitoring of end-user perceived *QoS* in Mobile Networks", *Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium*, 2010, pp.1–4.
- [90] Karnīts E., Virtmanis A., "Platjoslas sakari Latvijā: attīstība un perspektīva", *LU Akadēmiskais apgāds*, 2015, 21.–28., 79.–108. lpp.
- [91] Kollaikal P., Ravuri S., Ruvinsky E., "Connected Cars", *Berkeley University of California*, 2020, 3.–9. lpp.
- [92] Kottkamp M., Pandey A., Roessler A., Stuhlfauth R. Raddino D., "5G New Radio - Fundamentals, Procedures, Testing Aspects", *Rohde & Schwarz*, 2019, 462.pp, 40.–42., 121.–132., 137.–147. lpp.
- [93] Latvijas Republikas mežu platība, interneta resurss, pieejams: <https://mks.lv/2021/10/18/latvija-joprojam-ir-mezu-zeme/>.
- [94] Levis C., Johnson J. T., Teixeira F. L., "Radiowave Propagation: Physics and Applications", *John Wiley & Sons*, Jun 1, 2010, ISBN 0470542950, 320 pages, 56.–60., 120.–129.pp.
- [95] Lipenbergs, E., Smirnova, I., Stafecka, A., Ivanovs, G., Gavars, P. "Quality of service parameter measurements data analysis in the scope of net neutrality". *Progress in Electromagnetics Research Symposium*, 2017, 2017-November, pp. 1230–1234.
- [96] Lipenbergs, E., Stafecka, A., Ivanovs, G., Smirnova, I. "Quality of service measurements and service mapping for the mobile internet access". *Progress in Electromagnetics Research Symposium*, 2017, pp. 2526–2532.
- [97] Lizunovs, A., Stafecka, A., Bobrovs, V. "Internet Access Service *QoS* and Signal Parameter Measurements in Urban Environment". *Proceedings of the 23rd International Conference Electronics 2019, ELECTRONICS 2019*, 2019, 8765584.

- [98] Mardian, R. D., Suryanegara, M. and Ramli, K., "Measuring Quality of Service (QoS) and Quality of Experience (QoE) on 5G Technology: A Review," 2019 IEEE International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD), Jakarta, Indonesia, 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICIRD47319.2019.9074681.
- [99] Ministru kabineta 2021.gada 11.novembra rīkojums Nr. 826, "Elektronisko sakaru nozares attīstības plāns 2021. – 2027. gadam veicinās sakaru tīklu attīstību Latvijā".
- [100] Ministru kabineta 2022. gada 11. oktobra noteikumi Nr. 635 "Ierobežoto radiofrekvenču joslu noteikumi".
- [101] OECD dati par interneta piekļuves pakalpojuma pieslēgumu skaitu Latvijā un Eiropas Savienībā, pieejams: <http://www.oecd.org/sti/broadband/broadband-statistics/>.
- [102] Oficiālās statistika portāls, Latvijas Oficiālā statistika, "Iedzīvotāju skaita izmaiņu iemesli reģionos, novados, pilsētās, pagastos (atbilstoši robežām 2022. gada sākumā), apkaimēs un blīvi apdzīvotās teritorijās salīdzinot stāvokli divos datumos (eksperimentālā statistika) 2022", interneta resurss, pieejams: [https://data.stat.gov.lv/pxweb/lv/OSP\\_PUB/START\\_\\_POP\\_\\_IR\\_\\_IRS/RIG050](https://data.stat.gov.lv/pxweb/lv/OSP_PUB/START__POP__IR__IRS/RIG050).
- [103] Oficiālās statistika portāls, Latvijas Oficiālā statistika, "Iedzīvotāju skaits un tā izmaiņas", interneta resurss, pieejams: <https://stat.gov.lv/lv/statistikas-temas/iedzivotaji/iedzivotaju-skaits/247-iedzivotaju-skaits-un-ta-izmainas>.
- [104] Oficiālās statistika portāls, Latvijas Oficiālā statistika, "Latvijas Republikas ģeogrāfiskais stāvoklis", interneta resurss, pieejams: [https://data.stat.gov.lv/pxweb/lv/OSP\\_PUB/START\\_ENV\\_DR\\_DRT/DRT020/](https://data.stat.gov.lv/pxweb/lv/OSP_PUB/START_ENV_DR_DRT/DRT020/).
- [105] Olofsson M., "Signal Theory", Utbildningshuset/Studentlitteratur, 2011., 281 page, 118.–174. lpp.
- [106] Ookla Wind, pieejams: <https://www.ookla.com/wind#accurate-5g-testing>
- [107] Papas C. H., "Theory of Electromagnetic Wave Propagation", Dover Books on Physics, November 17, 2011, ISBN-10:9780486656786, pp.272., 8.–9.
- [108] Par sabiedrisko pakalpojumu regulatoriem.
- [109] R&S@5G Site Testing Solution, interneta resurss, pieejams: [https://www.rohde-schwarz.com/uk/products/test-and-measurement/network-data-collection/rs-5g-site-testing-solution\\_63493-766529.html](https://www.rohde-schwarz.com/uk/products/test-and-measurement/network-data-collection/rs-5g-site-testing-solution_63493-766529.html).
- [110] RIPE atlas, pieejams: <https://atlas.ripe.net/>
- [111] Ripe-508 "The RIPE Registry", 2011, pieejams: <https://www.ripe.net/publications/docs/ripe-508>.
- [112] Ripe-690 "Best Current Operational Practice for Operators: IPv6 prefix assignment for end-users - persistent vs non-persistent, and what size to choose", 2017, pieejams: <https://www.ripe.net/publications/docs/ripe-690>.
- [113] Samsung A3 viedtālruna tehniskā specifikācija, pieejams: [https://www.gsmarena.com/samsung\\_galaxy\\_a3\\_\(2016\)-7791.php](https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_a3_(2016)-7791.php).
- [114] Samsung A70 viedtālruna tehniskā specifikācija, pieejams: [https://www.gsmarena.com/samsung\\_galaxy\\_a70-9646.php](https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_a70-9646.php).
- [115] Samsung S22 Ultra viedtālruna tehniskā specifikācija, pieejams: [https://www.gsmarena.com/samsung\\_galaxy\\_s22\\_ultra\\_5g-11251.php](https://www.gsmarena.com/samsung_galaxy_s22_ultra_5g-11251.php).

- [116] SPRK 2018.gada pārskats, 2019, 63.–65. lpp, pieejams: [https://www.sprk.gov.lv/sites/default/files/editor/Gada\\_parskats2018\\_web\\_okt2.pdf](https://www.sprk.gov.lv/sites/default/files/editor/Gada_parskats2018_web_okt2.pdf).
- [117] SPRK 2019.gada pārskats, 2020, 81.–84. lpp, pieejams: [https://www.sprk.gov.lv/sites/default/files/editor/ED/Gada\\_parskats\\_2019\\_.pdf](https://www.sprk.gov.lv/sites/default/files/editor/ED/Gada_parskats_2019_.pdf).
- [118] SPRK 2020.gada pārskats, 2021., 73.–77. lpp, pieejams: <https://www.sprk.gov.lv/sites/default/files/editor/2020.gada%20parskats.pdf>.
- [119] SPRK 2021.gada pārskats, 2022., 35.–39. lpp, pieejams: [https://www.sprk.gov.lv/sites/default/files/editor/SPRK\\_gada\\_parskats\\_21\\_.pdf](https://www.sprk.gov.lv/sites/default/files/editor/SPRK_gada_parskats_21_.pdf).
- [120] SPRK 2022.gada 15.septembra lēmums Nr.1/22 “Vispārējās atļaujas un reģistrācijas noteikumi elektronisko sakaru nozarē”.
- [121] SPRK 2022.gada 22.septembra lēmums Nr.1/28 “Elektronisko sakaru pakalpojumu kvalitātes prasību noteikumi”.
- [122] SPRK 2022.gada 22.septembra lēmums Nr.1/30 “Elektronisko sakaru pakalpojumu līguma noteikumi”.
- [123] SPRK 2022.gada 27.septembra lēmums Nr.1/31 “Elektronisko sakaru pakalpojumu kvalitātes mērījumu metodika”.
- [124] SPRK, Elektronisko sakaru komersantu saraksts, pieejams: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNDg5N2RmODgtNGYzZi00NTJmLWE5ZmUtM2FmNzQ4MTAyNTdjliwidCI6ImU0MGNhOTA5LTg3YmEtNGQ2NS05MTllLTU1YjVIMGRlODUwNSIsImMiOjh9>.
- [125] SPRK Pārskati par pakalpojumu kvalitāti, pieejams: <https://sprk.gov.lv/content/parskati-elektronisko-sakaru-nozare>.
- [126] SPRK Priekšlikumu un komentāru apkopojums par konsultāciju dokumentu par elektronisko sakaru pakalpojumu kvalitātes mērījumu metodikas projektu”, 27.09.2022., 3.–4., 17.–31. lpp., pieejams: <https://sprk.gov.lv/content/publiskas-konsultacijas>.
- [127] SPRK Radiofrekvenču spektra lietošanas tiesību piešķirumi, pieejams: [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.sprk.gov.lv%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Feditor%2FESPD%2FFaili%2FFrekvencu\\_pieskirumu\\_kopsavilkums\\_03Mar2022.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.sprk.gov.lv%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Feditor%2FESPD%2FFaili%2FFrekvencu_pieskirumu_kopsavilkums_03Mar2022.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK).
- [128] Stafecka, A., Lipenbergs, E., Bobrovs, V., Sharashidze, T. “Quality of service methodology for the development of internet broadband infrastructure of mobile access networks”. Proceedings of the 21st International Conference on Electronics, 2017, 7995229.
- [129] Stafecka, A., Lizunovs, A., Bobrovs, V. “Mobile LTE network signal and Quality of Service parameter evaluation from end-user premises”. Proceedings - 2018 Advances in Wireless and Optical Communications, RTUWO 2018, 2018, pp. 209–212, 8587890.
- [130] Stafecka, A., Lizunovs, A., Bobrovs, V., Gavars, P., Zarins, Z. “Quality of Service and Signal Evaluation Parameter Comparison between Different Mobile Network Operators in Urban Area”. Progress in Electromagnetics Research Symposium, 2019, 2019-June, pp. 3887–3894, 9017680.

- [131] Stafecka, A., Lizunovs, A., Ivanovs, G., Bobrovs, V. "Dependence between Signal Parameter Values and Perceived Internet Access Service *QoS* in Mobile Networks". Progress in Electromagnetics Research Symposium, 2021, 2021-November, pp. 1419–1427.
- [132] Stafecka, A., Lizunovs, A., Olins, A., Rjumsins, M. and Bobrovs, V., "The Evaluation of the Internet Access Service *QoS* Measurement Equipment Placement Conditions Based on Signal Parameters Values " 2023 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Praque, Czech Republic, 2023, (tuvākā laikā tiks publicēts).
- [133] Todorov, N., Ganchev, I. and O'Droma, M., "Exploring the Congestion Level Index for Defining the *QoS* Performance Profile of Internet Paths," 2020 28th National Conference with International Participation (TELECOM), Sofia, Bulgaria, 2020, pp. 97-100, doi: 10.1109/TELECOM50385.2020.9299545.
- [134] What is the average smartphone lifespan, interneta resurss, Pieejams: <https://everphone.com/en/blog/smartphone-lifespan/#:~:text=Many%20sources%20believe%20that%20the,months%20for%20newer%20generation%20devices.>
- [135] Zmysłowski, Dariusz & Kelner, Jan. (2023). Relationships Between *QoS/QoE* Metrics in Selected Mobile Network Measurement Campaign. 10.1007/978-3-031-34776-4.
- [136] Zmysłowski, Dariusz & Kelner, Jan. (2022). Drive test-based correlation assessment of *QoS* parameters for exemplary measurements scenario in suburban environment. 497-504. 10.5220/0011575800003318.



## PIELIKUMU SARAKSTS

### **1.pielikums:**

Programatūras kodi mērījumu veikšanas automatizācijai un rezultātu apkopošanai.

### **2.pielikums:**

Ģeogrāfiskais mērījumu izvietojums kartē izlases un *drive test* mērījumu salīdzinājumam.

### **3.pielikums:**

Mērījumu, kas veikti pilsētā statiskā vietā, ciemā statiskā vietā un *drive test* rezultātu salīdzinājums 2. operatoram.

### **4.pielikums:**

Grafiki, kuros attēlotas *QoS* parametru atkarība no signāla parametriem, un noteiktās tendences līknes, mērījumiem pilsētā un ciemā.

### **5.pielikums:**

Ziņojumu starptautiskās konferencēs, publikāciju zinātniskajos žurnālos, rakstu pilna teksta konferenču rakstu krājumos saraksts.

### **6.pielikums:**

Promocijas darba rezultātu izmantošana starptautiskās darba grupās.

### **7.pielikums:**

CEPT apliecinājums par dalību, kā līdzautoram, starptautiskās rekomendācijas izstrādē.

## *Programatūras kodi mērījumu veikšanas automatizācijai un rezultātu apkopošanai.*

### ***1. Programmatūras kods, ilgtermiņa sērijveida interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes un signāla parametru mērījumu veikšanai un automatizācijai un rezultātu apkopošanai datubāzē, kas izmanto Speedtest mērījumu sistēmu un mērījumi tiek veikti līdz dažādiem mērījumu serveriem***

```
import ctypes
import logging
import os
import subprocess
import sys
import time
import tkinter as tk
import urllib.request
from datetime import datetime
import win32com.client
import xlswriter
from huawei_lte_api.AuthorizedConnection import AuthorizedConnection
from huawei_lte_api.Client import Client
from huawei_lte_api.Connection import Connection
from selenium import webdriver
from selenium.common.exceptions import TimeoutException
from selenium.webdriver.common.by import By
from selenium.webdriver.common.keys import Keys
from selenium.webdriver.support import expected_conditions as EC
from selenium.webdriver.support.ui import WebDriverWait
import speedtest

workmode = None
signal_icon = None
pci = None
cellid = None
RSRQ = None
RSRP = None
RSSI = None
SINR = None
rscp = None
ecio = None
band = None
modemtest = None
driver = None
wait = None
ds = None
us = None
ping = None
timestamp = None
url = None
srvlat = None
srvlon = None
srvname = None
srvcountry = None
srvcc = None
srvsponsor = None
srvid = None
srvhost = None
srvlancy = None
b_sent = None
b_rec = None
share = None
clip = None
cllat = None
cllon = None
```

```

clisp = None
clisprating = None
clrating = None
clispdlavg = None
clispulavg = None
clloggedin = None
clcountr = None
logging.basicConfig(filename='logfile.txt', level=logging.WARNING)
currtime = datetime.now().time()
def pc_restart():
    subprocess.call(["shutdown", "-f", "-r", "-t", "20"])
def modem_connect(host='http:admin//192.168.8.1'):
    try:
        urllib.request.urlopen(host) # Python 3.x
        modemtest = 1
        print(modemtest)
        return True
    except:
        modemtest = 0
        print('Modem web page is not available' + str(modemtest))
        logging.warning(str(currtime) + "Modem webpage is not available")
        return False
def ITEST_connect(host='https://isptest.sprk.gov.lv'):
    try:
        urllib.request.urlopen(host) # Python 3.x
        print('ITEST webpage is available')
        return True
    except:
        print('ITEST webpage is not available')
        logging.warning(str(currtime) + "ITEST webpage is not available")
        return False
def count_down():
    # create root/main window
    root = tk.Tk()
    root.attributes("-topmost", True)
    time_str = tk.StringVar()
    # create the time display label, give it a large font
    # label auto-adjusts to the font
    text_font = ('tacoma', 18)
    tk.Label(root, text='Līdz mērijuma sākamam:', font=text_font, bg='white').pack()
    label_font = ('helvetica', 40)
    tk.Label(root, textvariable=time_str, font=label_font, bg='white',
        fg='blue', relief='raised', bd=3).pack(fill='x', padx=5, pady=5)
    # Gets the requested values of the height and width.
    windowWidth = root.winfo_reqwidth()
    windowHeight = root.winfo_reqheight()
    # Gets both half the screen width/height and window width/height
    positionRight = int((root.winfo_screenwidth() / 2 - windowWidth / 2))
    positionDown = int((root.winfo_screenheight() / 2 - windowHeight / 2))
    # Positions the window in the center of the page.
    root.geometry("{}+{}".format(positionRight, positionDown))
    for t in range(10, -1, -1):
        # format as 2 digit integers, fills with zero to the left
        # divmod() gives minutes, seconds
        sf = "{:02d}:{:02d}".format(*divmod(t, 60))
        # print(sf) # test
        time_str.set(sf)
        root.update()
        # delay one second
        time.sleep(1)
    root.destroy()
file = open('Merijumu_nosacijumi.txt')
all_lines = file.readlines()
usr = str(all_lines[0].rstrip('\n'))
print('Username: ', usr)
pw = str(all_lines[1].rstrip('\n'))
print('Password: ', pw)
testNo = int(all_lines[2].rstrip('\n'))
print('Testu skaits: ', testNo)
itvl = str(all_lines[3].rstrip('\n'))

```

```

print('Intervals: ', itvl)
cikluSkaitis = int(all_lines[4].rstrip('\n'))
print('Ciklu skaits: ', cikluSkaitis)
modemUser = str(all_lines[5].rstrip('\n'))
print('Modem User: ', modemUser)
modemPw = str(all_lines[6].rstrip('\n'))
print('Modem PW: ', modemPw)
operators = str(all_lines[7].rstrip('\n'))
print('Operators: ', operators)
merijumaID = str(all_lines[8].rstrip('\n'))
print('ID: ', merijumaID)
merijumuVieta = str(all_lines[9].rstrip('\n'))
print('Merijumu vieta: ', merijumuVieta)
modem_connect()
if ITEST_connect():
    driver = webdriver.Ie()
    driver.set_window_position(0, 0)
    driver.set_window_size(800, 600)
    driver.set_page_load_timeout(15)
    wait = WebDriverWait(driver, 210)
    driver.capabilities = {'ignoreProtectedModeSettings': True, 'ignoreZoomSetting': True, 'nativeEvents': False,
        'acceptSslCerts': True}

    got = 1
    while got != 0:
        try:
            driver.get('https://isptest.sprk.gov.lv')
            got = 0
            print('Page load successfully')
        except TimeoutException as er:
            print('Error in loading page' + str(er))
    username = wait.until(EC.presence_of_element_located((By.XPATH, "//input[@id='username']")))
    username.clear()
    username.send_keys(usr)
    password = wait.until(EC.presence_of_element_located((By.XPATH, "//input[@name='password']")))
    password.clear()
    password.send_keys(pw)
    sbt = wait.until(EC.presence_of_element_located((By.XPATH, "//input[@name='login']")))
    sbt.send_keys(Keys.ENTER)
else:
    logging.warning(str(currtime) + "Can't make measurements due ITEST webpage availability. Process stopped.")
Excel = win32com.client.Dispatch("Excel.Application")
Excel.visible = True
wb = Excel.Workbooks.Open(u'C:\\Tikla_parametri.xlsx')
while cikluSkaitis != 0:
    sheet = wb.Worksheets.Item("Merijums")
    srcRowMax = wb.Worksheets.Item("Merijums").UsedRange.Rows.count
    print("MaxRow: ", srcRowMax)
    test_tup1 = wb.Worksheets.Item("Merijums").Range("A" + str(srcRowMax), "D" + str(srcRowMax)).Value
    res1 = len(test_tup1[0]) == test_tup1[0].count(None)
    if res1:
        print('True. A:D is None')
    else:
        print('False. A:D is not None')
    test_tup2 = wb.Worksheets.Item("Merijums").Range("N" + str(srcRowMax), "Y" + str(srcRowMax)).Value
    res2 = len(test_tup2[0]) == test_tup2[0].count(None)
    if res2:
        print('True. N:Y is None')
    else:
        print('False. N:Y is not None')
    if res1 and res2:
        srcRowMax = srcRowMax
        print("Write in Row " + str(srcRowMax))
    else:
        srcRowMax = srcRowMax + 1
        print("Write in Row " + str(srcRowMax))
    if modemtest == 1:
        print('Modema mājaslapa ir pieejama. Tiks nolasīti tīkla parametri:')
        login_on_demand = True
        connection = AuthorizedConnection('http:admin//192.168.8.1/')
        client = Client(connection)

```

```

data = client.device.signal()
# print(data)
technology = client.device.information()
# print(technology)
signal_strength = client.monitoring.status()
# print(signal_strength)
for key, value in technology.items():
    if key == 'workmode':
        workmode = str(value)
        print('workmode: ', workmode)
if workmode == 'LTE':
    workmode = '4G'
elif workmode == 'WCDMA':
    workmode = '3G'
elif workmode == 'GSM':
    workmode = '2G'
else:
    workmode = 'No Service'
logging.warning(str(currtime) + "Error in modem_connect. No Service.")
for key, value in signal_strength.items():
    if key == 'SignalIcon':
        signal_icon = str(value)
        print('SignalIcon: ', signal_icon)
for key, value in data.items():
    if key == 'pci':
        pci = str(value)
        print('pci: ', pci)
    elif key == 'cell_id':
        cellid = str(value)
        print('cell_id: ', cellid)
    elif key == 'RSRQ':
        RSRQ = str(value)
        print('RSRQ: ', RSRQ)
    elif key == 'RSRP':
        RSRP = str(value)
        print('RSRP: ', RSRP)
    elif key == 'RSSI':
        RSSI = str(value)
        print('RSSI: ', RSSI)
    elif key == 'SINR':
        SINR = str(value)
        print('SINR: ', SINR)
    elif key == 'rscp':
        rscp = str(value)
        print('rscp: ', rscp)
    elif key == 'ecio':
        ecio = str(value)
        print('ecio: ', ecio)
    elif key == 'band':
        band = str(value)
        print('band: ', band)
    elif key == 'ulbandwidth':
        ulbandwidth = str(value)
        print('ulbandwidth: ', ulbandwidth)
    elif key == 'dlbandwidth':
        dlbandwidth = str(value)
        print('dlbandwidth: ', dlbandwidth)
idnt = operators + "_" + merijumaVieta + "_" + merijumaID + "_" + workmode
print(idnt)
if wb.Worksheets.Item("Merijums").Range("A2", "B2").Value is None:
    sheet.Cells(2, 15).value = workmode
    sheet.Cells(2, 16).value = signal_icon
    sheet.Cells(2, 17).value = pci
    sheet.Cells(2, 18).value = cellid
    sheet.Cells(2, 19).value = RSRQ
    sheet.Cells(2, 20).value = RSRP
    sheet.Cells(2, 21).value = RSSI
    sheet.Cells(2, 22).value = SINR
    sheet.Cells(2, 23).value = rscp
    sheet.Cells(2, 24).value = ecio

```

```

sheet.Cells(2, 25).value = band
print('Pirmā rinda Excel lapā ir brīva')
else:
sheet.Cells(srcRowMax, 15).value = workmode
sheet.Cells(srcRowMax, 16).value = signal_icon
sheet.Cells(srcRowMax, 17).value = pci
sheet.Cells(srcRowMax, 18).value = cellid
sheet.Cells(srcRowMax, 19).value = RSRQ
sheet.Cells(srcRowMax, 20).value = RSRP
sheet.Cells(srcRowMax, 21).value = RSSI
sheet.Cells(srcRowMax, 22).value = SINR
sheet.Cells(srcRowMax, 23).value = rscp
sheet.Cells(srcRowMax, 24).value = ecio
sheet.Cells(srcRowMax, 25).value = band
else:
print('Modema mājaslapa nav pieejama. Nevar nolasīt tīkla parametrus')
logging.warning(str(currtime) + "Error in modem_connect. Impossible to read network parameters")
idnt = operators + "_" + merijumuVieta + "_" + merijumaID
print(idnt)
driver.get('https://isptest.sprk.gov.lv/sm')
ident = wait.until(EC.presence_of_element_located((By.XPATH, "//input[@name='ident']")))
ident.send_keys(idnt)
testu_skaitis = wait.until(EC.presence_of_element_located((By.XPATH, "//select[@name='testu_skaitis']")))
if testNo == 1:
testu_skaitis.send_keys("01")
print("testNo=1")
else:
testu_skaitis.send_keys(testNo)
print("testNo>1")
intervals = wait.until(EC.presence_of_element_located((By.XPATH, "//select[@name='intervals']")))
intervals.send_keys(itvl)
st = driver.find_element_by_name("merit")
st.send_keys(Keys.ENTER)
# print(driver.page_source)
try:
rezultats = wait.until(EC.presence_of_element_located((By.XPATH, "//table[@class='Cusco']")))
print('Mērijums ir pabeigts')
except TimeoutException as err:
print('Mērijums nav pabeigts. Kļūda:', err)
logging.warning(str(currtime) + "Error during ITEST measurement process. Measurement was not finished.")
pass
datums = 'Bez rezultāta'
laiks = 'Bez rezultāta'
ip = 'Bez rezultāta'
dns = 'Bez rezultāta'
downlink = 'Bez rezultāta'
uplink = 'Bez rezultāta'
latentums = 'Bez rezultāta'
trice = 'Bez rezultāta'
packetloss = 'Bez rezultāta'
if wb.Worksheets.Item("Merijums").Range("A2", "B2").Value is None:
sheet.Cells(2, 1).value = datums
sheet.Cells(2, 2).value = laiks
sheet.Cells(2, 3).value = ip
sheet.Cells(2, 4).value = dns
sheet.Cells(2, 5).value = merijumuVieta
sheet.Cells(2, 6).value = downlink
sheet.Cells(2, 8).value = uplink
sheet.Cells(2, 10).value = latentums
sheet.Cells(2, 11).value = trice
sheet.Cells(2, 12).value = packetloss
sheet.Cells(2, 14).value = operators
wb.Save()
# Excel.Quit()
# driver.quit()
print('Pirmā rinda Excel lapā ir brīva')
else:
sheet.Cells(srcRowMax, 1).value = datums
sheet.Cells(srcRowMax, 2).value = laiks
sheet.Cells(srcRowMax, 3).value = ip

```

```

sheet.Cells(srcRowMax, 4).value = dns
sheet.Cells(srcRowMax, 5).value = merijumuVieta
sheet.Cells(srcRowMax, 6).value = downlink
sheet.Cells(srcRowMax, 8).value = uplink
sheet.Cells(srcRowMax, 10).value = latentums
sheet.Cells(srcRowMax, 11).value = trice
sheet.Cells(srcRowMax, 12).value = packetloss
sheet.Cells(srcRowMax, 14).value = operators
print("Pirmā rinda Excel lapā ir aizņemta")
wb.Save()
# Excel.Quit()
driver.quit()
# time.sleep(2)
# pc_restart()
break
datums = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[1]")
print("Datums: ", datums.text)
laiks = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[2]")
print("Laiks: ", laiks.text)
ip = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[3]")
print("IP adrese: ", ip.text)
dns = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[4]")
print("DNS adrese: ", dns.text)
downlink = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[5]")
print("Lejupielādes ātrums: ", downlink.text)
uplink = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[6]")
print("Augšupielādes ātrums: ", uplink.text)
latentums = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[7]")
print("Latentums: ", latentums.text)
trice = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[8]")
print("Trīce: ", trice.text)
packetloss = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[9]")
print("Pakešu zuduma koeficients: ", packetloss.text)
if wb.Worksheets.Item("Merijums").Range("A2", "B2").Value is None:
    sheet.Cells(2, 1).value = datums.text
    sheet.Cells(2, 2).value = laiks.text
    sheet.Cells(2, 3).value = ip.text
    sheet.Cells(2, 4).value = dns.text
    sheet.Cells(2, 5).value = merijumuVieta
    sheet.Cells(2, 6).value = downlink.text
    sheet.Cells(2, 8).value = uplink.text
    sheet.Cells(2, 10).value = latentums.text
    sheet.Cells(2, 11).value = trice.text
    sheet.Cells(2, 12).value = packetloss.text
    sheet.Cells(2, 14).value = operators
    wb.Save()
    #driver.quit()
    print("Pirmā rinda Excel lapā ir brīva")
else:
    sheet.Cells(srcRowMax, 1).value = datums.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 2).value = laiks.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 3).value = ip.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 4).value = dns.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 5).value = merijumuVieta
    sheet.Cells(srcRowMax, 6).value = downlink.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 8).value = uplink.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 10).value = latentums.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 11).value = trice.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 12).value = packetloss.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 14).value = operators
    print("Pirmā rinda Excel lapā ir aizņemta")
    wb.Save()
servers = [1268] # references servera numurs - mainams
threads = None
# If you want to use a single threaded test
# threads = 1
st = speedtest.Speedtest()
print(st.get_servers(servers))
st.download(threads=threads)
st.upload(threads=threads)

```

```

results_dict = st.results.dict()
print(results_dict)
for key, value in results_dict.items():
    if key == 'download':
        ds = int(value)
        ds = ds / 1000 # show result in kbit/s
        print('download speed, kbps: ', ds)
    elif key == 'upload':
        us = int(value)
        us = us / 1000
        print('upload speed, kbps: ', us)
    elif key == 'ping':
        ping = str(value)
        print('ping, ms: ', ping)
    elif key == 'server':
        url = str(results_dict['server'], ['url'])
        print('Server URL: ', url)
        srvlat = str(results_dict['server'], ['lat'])
        print('Server latitude: ', srvlat)
        srvlon = str(results_dict['server'], ['lon'])
        print('Server longitude: ', srvlon)
        srvname = str(results_dict['server'], ['name'])
        print('Server name: ', srvname)
        srvcountry = str(results_dict['server'], ['country'])
        print('Server country: ', srvcountry)
        srvc = str(results_dict['server'], ['cc'])
        print('Server country code: ', srvc)
        srvsponsor = str(results_dict['server'], ['sponsor'])
        print('Server sponsor: ', srvsponsor)
        srvid = str(results_dict['server'], ['id'])
        print('Server ID: ', srvid)
        srvhost = str(results_dict['server'], ['host'])
        print('Server host: ', srvhost)
        d = str(results_dict['server'], ['d'])
        print('Server d: ', d)
        srvl = str(results_dict['server'], ['latency'])
        print('Server latency: ', srvl)
    elif key == 'timestamp':
        timestamp = str(value)
        print('timestamp: ', timestamp)
    elif key == 'bytes_sent':
        b_sent = str(value)
        print('Bytes sent: ', b_sent)
    elif key == 'bytes_received':
        b_rec = str(value)
        print('Bytes received: ', b_rec)
    elif key == 'share':
        share = str(value)
        print('Share: ', share)
    elif key == 'client':
        clip = str(results_dict['client'], ['ip'])
        print('Client IP: ', clip)
        cllat = str(results_dict['client'], ['lat'])
        print('Client latitude: ', cllat)
        cllon = str(results_dict['client'], ['lon'])
        print('Client longitude: ', cllon)
        clisp = str(results_dict['client'], ['isp'])
        print('Client ISP: ', clisp)
        clisprating = str(results_dict['client'], ['isprating'])
        print('Client ISP rating: ', clisprating)
        clrating = str(results_dict['client'], ['rating'])
        print('Client rating: ', clrating)
        clisplavg = str(results_dict['client'], ['isplavg'])
        print('Client ISP DL AVG: ', clisplavg)
        clispulavg = str(results_dict['client'], ['ispulavg'])
        print('Client ISP UL AVG: ', clispulavg)
        clloggedin = str(results_dict['client'], ['loggedin'])
        print('Client logged in: ', clloggedin)
        clcountry = str(results_dict['client'], ['country'])
        print('Client country: ', clcountry)

```



```

sheet1 = wb.Worksheets.Item("Result")
srcRowMax2 = wb.Worksheets.Item("Result").UsedRange.Rows.count
print("MaxRow: ", srcRowMax2)
test_tup3 = wb.Worksheets.Item("Result").Range("A" + str(srcRowMax2), "C" + str(srcRowMax2)).Value
res3 = len(test_tup3[0]) == test_tup3[0].count(None)
if res3:
    print('True. A:C is None')
    srcRowMax2 = srcRowMax2
    print("Write in Row " + str(srcRowMax2))
else:
    print('False. A:C is not None')
    srcRowMax2 = srcRowMax2 + 1
    print("Write in Row " + str(srcRowMax2))

if wb.Worksheets.Item("Result").Range("A2", "B2").Value is None:
    sheet1.Cells(2, 1).value = timestamp
    sheet1.Cells(2, 2).value = merijumuVieta
    sheet1.Cells(2, 3).value = ds
    sheet1.Cells(2, 5).value = us
    sheet1.Cells(2, 7).value = ping
    sheet1.Cells(2, 8).value = url
    sheet1.Cells(2, 9).value = srvlst
    sheet1.Cells(2, 10).value = srvlon
    sheet1.Cells(2, 11).value = srvname
    sheet1.Cells(2, 12).value = srvcountry
    sheet1.Cells(2, 13).value = srvcc
    sheet1.Cells(2, 14).value = srvsponsor
    sheet1.Cells(2, 15).value = srvvid
    sheet1.Cells(2, 16).value = srvhost
    sheet1.Cells(2, 17).value = srvlstlatency
    sheet1.Cells(2, 18).value = b_sent
    sheet1.Cells(2, 19).value = b_rec
    sheet1.Cells(2, 20).value = share
    sheet1.Cells(2, 21).value = clip
    sheet1.Cells(2, 22).value = cllat
    sheet1.Cells(2, 23).value = cllon
    sheet1.Cells(2, 24).value = clisp
    sheet1.Cells(2, 25).value = clisprating
    sheet1.Cells(2, 26).value = clrating
    sheet1.Cells(2, 27).value = clisplavg
    sheet1.Cells(2, 28).value = clispulavg
    sheet1.Cells(2, 29).value = clloggedin
    sheet1.Cells(2, 30).value = clcountry

#sheet.Cells(2, 6).value = downlink.text
#sheet.Cells(2, 8).value = uplink.text
#sheet.Cells(2, 10).value = latentums.text
#sheet.Cells(2, 11).value = trice.text
#sheet.Cells(2, 12).value = packetloss.text
#sheet.Cells(2, 14).value = operators
wb.Save()
#driver.quit()
cikluSkaitis = 1
print("Atlikušo ciklu mērijumu ciklu skaits: ", cikluSkaitis)
count_down()
if cikluSkaitis == 0:
    print("Mērijumu cikls ir pabeigts")
    Excel.Quit()
    driver.quit()
    # driver.quit()
    # pc_restart()
    break

```

**2. Programmatūras kods, ilgtermiņa sērijveida interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes un signāla parametru mērijumu veikšanai un automatizācijai un rezultātu apkopošanai datu bāzē, kas izmanto ITEST mērijumu sistēmu un Huawei ražotāja modemu.**

```

import ctypes
import logging
import os
import subprocess
import sys
import time
import tkinter as tk
import urllib.request
from datetime import datetime

import win32com.client
import xlswriter
from huawei_lte_api.AuthorizedConnection import AuthorizedConnection
from huawei_lte_api.Client import Client
from huawei_lte_api.Connection import Connection
from selenium import webdriver
from selenium.common.exceptions import TimeoutException
from selenium.common.exceptions import NoSuchElementException
from selenium.webdriver.common.by import By
from selenium.webdriver.common.keys import Keys
from selenium.webdriver.support import expected_conditions as EC
from selenium.webdriver.support.ui import WebDriverWait

logging.basicConfig(filename='logfile.txt', level=logging.WARNING)
currtime = datetime.now()

def count_down():
    # create root/main window
    root = tk.Tk()
    root.attributes("-topmost", True)
    time_str = tk.StringVar()
    # create the time display label, give it a large font
    # label auto-adjusts to the font
    text_font = ('tacoma', 18)
    tk.Label(root, text='Līdz mērijuma sākumam:', font=text_font, bg='white').pack()
    label_font = ('helvetica', 40)

    tk.Label(root, textvariable=time_str, font=label_font, bg='white',
             fg='blue', relief='raised', bd=3).pack(fill='x', padx=5, pady=5)
    # Gets the requested values of the height and width.
    windowWidth = root.winfo_reqwidth()
    windowHeight = root.winfo_reqheight()
    # Gets both half the screen width/height and window width/height
    positionRight = int((root.winfo_screenwidth() / 2 - windowWidth / 2))
    positionDown = int((root.winfo_screenheight() / 2 - windowHeight / 2))

    # Positions the window in the center of the page.
    root.geometry("+{ }+{ }".format(positionRight, positionDown))

    # root.mainloop()
    now = datetime.now()
    minutes = now.minute
    sekundes = now.second
    current_time_seconds = minutes * 60 + sekundes
    sheduled_time = int(current_time_seconds)
    while sheduled_time % 300 != 0:
        sheduled_time += 1

    duration = sheduled_time - current_time_seconds # + 60 #mēra katru 01 un 06 minūti (=60 jāmaina uz vajadzīgo)
    # start with 2 minutes --> 120 seconds
    for t in range(duration, -1, -1):
        # format as 2 digit integers, fills with zero to the left
        # divmod() gives minutes, seconds
        sf = "{:02d}:{:02d}".format(*divmod(t, 60))
        # print(sf) # test
        time_str.set(sf)
        root.update()
        # delay one second
        time.sleep(1)
    root.destroy()
def is_admin():
    try:
        return ctypes.windll.shell32.IsUserAnAdmin()
    except:
        return False
def network_restart():

```

```

# Show all network interfaces
subprocess.call(['netsh', 'interface', 'show', 'interface'])
time.sleep(5)
# It will disable Network
subprocess.call(['netsh', 'interface', 'set', 'interface', 'Ethernet', 'disabled'])
print("Network disabled")
subprocess.call(['netsh', 'interface', 'show', 'interface'])
time.sleep(5)
subprocess.call(['netsh', 'interface', 'set', 'interface', 'Ethernet', 'enabled'])
print("Network enabled")
subprocess.call(['netsh', 'interface', 'show', 'interface'])
time.sleep(5)
def modem_connect(host='http://192.168.8.1'):
    try:
        urllib.request.urlopen(host) # Python 3.x
        return True
    except:
        return False
def ITEST_connect(host='https://isptest.sprk.gov.lv'):
    try:
        urllib.request.urlopen(host) # Python 3.x
        return True
    except:
        return False
def pc_restart():
    subprocess.call(["shutdown", "-f", "-r", "-t", "20"])

def merijums():
    file = open('Merijumu_nosacijumi.txt') #faila defineti merijumu nosacijumi atbilstosi zemak mineti
    all_lines = file.readlines()
    usr = str(all_lines[0].rstrip('\n'))
    # print('Username: ', usr)
    pw = str(all_lines[1].rstrip('\n'))
    # print('Password: ', pw)
    testNo = int(all_lines[2].rstrip('\n'))
    print('Testu skaits: ', testNo)
    itvl = str(all_lines[3].rstrip('\n'))
    print('Intervals: ', itvl)
    merijumuVieta = str(all_lines[4].rstrip('\n'))
    print('Merijumu vieta: ', merijumuVieta)
    cikluSkaits = int(all_lines[5].rstrip('\n'))
    print('Ciklu skaits: ', cikluSkaits)
    operators = str(all_lines[6].rstrip('\n'))
    print('Operators: ', operators)
    idnt = "24ST" + ";;" + merijumuVieta + ";;" + operators + ";"
    print(idnt)
    try:
        os.system('taskkill /f /im Excel.exe')
        print('Excel process terminated')
    except OSError as er:
        print(er)
        pass
    try:
        os.system('taskkill /f /im iexplore.exe')
        print('IE process terminated')
    except OSError as er:
        print(er)
        pass

driver = webdriver.Ie()
driver.set_page_load_timeout(15)
driver.set_window_position(0, 0)
driver.set_window_size(800, 600)
wait = WebDriverWait(driver, 210)
driver.capabilities = {'ignoreProtectedModeSettings': True, 'ignoreZoomSettings': True, 'nativeEvents': False,
                      'acceptSslCerts': True}

while cikluSkaits != 0:

    count_down()
    Excel = win32com.client.Dispatch("Excel.Application")
    Excel.visible = True
    wb = Excel.Workbooks.Open(u'C:\\24H\\Datu_parraides_parametri.xlsx')
    sheet = wb.Worksheets.Item("Merijums")
    srcRowMax = wb.Worksheets.Item("Merijums").UsedRange.Rows.count

```

```

print("MaxRow: ", srcRowMax)

test_tup1 = wb.Worksheets.Item("Merijums").Range("A" + str(srcRowMax), "D" + str(srcRowMax)).Value
res1 = len(test_tup1[0]) == test_tup1[0].count(None)
if res1:
    print('True. A:D is None')
else:
    print('False. A:D is not None')

test_tup2 = wb.Worksheets.Item("Merijums").Range("N" + str(srcRowMax), "Y" + str(srcRowMax)).Value
res2 = len(test_tup2[0]) == test_tup2[0].count(None)
if res2:
    print('True. N:Y is None')
else:
    print('False. N:Y is not None')

if res1 and res2:
    srcRowMax = srcRowMax
    print("Write in Row " + str(srcRowMax))
else:
    srcRowMax = srcRowMax + 1
    print("Write in Row " + str(srcRowMax))

if modem_connect():
    print('Modema mājaslapa ir pieejama. Tiks nolasīti tīkla parametri:')
    login_on_demand = True
    connection = AuthorizedConnection('http://admin @192.168.8.1/')
    client = Client(connection)
    data = client.device.signal()
    # print(data)
    technology = client.device.information()
    # print(technology)
    signal_strength = client.monitoring.status()
    # print(signal_strength)
    for key, value in technology.items():
        if key == 'workmode':
            workmode = str(value)
            print('workmode: ', workmode)
    if workmode == 'LTE':
        workmode = '4G'
    elif workmode == 'WCDMA':
        workmode = '3G'
    elif workmode == 'GSM':
        workmode = '2G'
    else:
        workmode = 'No Service'
        logging.warning(str(curtime) + "Error in modem_connect. No Service.")

for key, value in signal_strength.items():
    if key == 'SignalIcon':
        signal_icon = str(value)
        print('Signāla stiprums: ', signal_icon)

for key, value in data.items():

    if key == 'pci':
        pci = str(value)
        print('pci: ', pci)

    elif key == 'cell_id':
        cellid = str(value)
        print('cell_id: ', cellid)

    elif key == 'RSRQ':
        RSRQ = str(value)
        print('RSRQ: ', RSRQ)

    elif key == 'RSRP':
        RSRP = str(value)
        print('RSRP: ', RSRP)

    elif key == 'RSSI':
        RSSI = str(value)
        print('RSSI: ', RSSI)

    elif key == 'SINR':

```

```

    SINR = str(value)
    print('SINR: ', SINR)

elif key == 'rscp':
    rscp = str(value)
    print('rscp: ', rscp)

elif key == 'ecio':
    ecio = str(value)
    print('ecio: ', ecio)

elif key == 'band':
    band = str(value)
    print('band: ', band)

# elif key == 'ulbandwidth':
#     ulbandwidth = str(value)
#     print('ulbandwidth: ', ulbandwidth)

# elif key == 'dlbandwidth':
#     dlbandwidth = str(value)
#     print('dlbandwidth: ', dlbandwidth)

if wb.Worksheets.Item("Merijums").Range("A2", "B2").Value is None:
    sheet.Cells(2, 15).value = workmode
    sheet.Cells(2, 16).value = signal_icon
    sheet.Cells(2, 17).value = pci
    sheet.Cells(2, 18).value = cellid
    sheet.Cells(2, 19).value = RSRQ
    sheet.Cells(2, 20).value = RSRP
    sheet.Cells(2, 21).value = RSSI
    sheet.Cells(2, 22).value = SINR
    #sheet.Cells(2, 23).value = dlbandwidth
    #sheet.Cells(2, 24).value = ulbandwidth
    sheet.Cells(2, 25).value = rscp
    sheet.Cells(2, 26).value = ecio
    sheet.Cells(2, 27).value = band

    print('Pirmā rinda Excel lapā ir brīva')
else:
    sheet.Cells(srcRowMax, 15).value = workmode
    sheet.Cells(srcRowMax, 16).value = signal_icon
    sheet.Cells(srcRowMax, 17).value = pci
    sheet.Cells(srcRowMax, 18).value = cellid
    sheet.Cells(srcRowMax, 19).value = RSRQ
    sheet.Cells(srcRowMax, 20).value = RSRP
    sheet.Cells(srcRowMax, 21).value = RSSI
    sheet.Cells(srcRowMax, 22).value = SINR
    #sheet.Cells(srcRowMax, 23).value = dlbandwidth
    #sheet.Cells(srcRowMax, 24).value = ulbandwidth
    sheet.Cells(srcRowMax, 25).value = rscp
    sheet.Cells(srcRowMax, 26).value = ecio
    sheet.Cells(srcRowMax, 27).value = band

else:
    print("Modema mājaslapa nav pieejama. Nevar nolasīt tikla parametrus")
    logging.warning(str(currttime) + "Error in modem_connect. Impossible to read network parameters")

try:
    driver.get('https://isptest.sprk.gov.lv/logout')
    time.sleep(2)
    driver.get('https://isptest.sprk.gov.lv/')
    print("Page succesfully loaded")
except TimeoutException as e:
    logging.warning(str(currttime) + str(e) + "Error in webdriver. Cant load web page")
    driver.delete_all_cookies()
    time.sleep(5)
    pc_restart()
    break

try:
    username = wait.until(EC.presence_of_element_located((By.XPATH, "//input[@id='username']")))
    username.clear()
    username.send_keys(usr)
    password = wait.until(EC.presence_of_element_located((By.XPATH, "//input[@name='password']")))
    password.clear()
    password.send_keys(pw)
    sbt = wait.until(EC.presence_of_element_located((By.XPATH, "//input[@name='login']")))

```

```

sbt.send_keys(Keys.ENTER)
driver.get("https://isptest.sprk.lv/sm")
ident = wait.until(EC.presence_of_element_located((By.XPATH, "//input[@name='ident']")))
ident.send_keys(idnt)
testu_skaitis = wait.until(EC.presence_of_element_located((By.XPATH, "//select[@name='testu_skaitis']")))
except TimeoutException as te:
    print("Error in data input process. Process timeout")
    logging.warning(str(currtime) + str(te) + "Error in data input in ITEST. Process timeout")
    time.sleep(5)
    pc_restart()
    break
except NoSuchElementException as ne:
    print("Error in data input process. No such element to input in")
    logging.warning(str(currtime) + str(ne) + "Error in data input in ITEST. No such element to input in")
    time.sleep(5)
    pc_restart()
    break

if testNo == 1:
    testu_skaitis.send_keys("01")
    print("testNo=1")
else:
    testu_skaitis.send_keys(testNo)
    print("testNo>1")
intervals = wait.until(EC.presence_of_element_located((By.XPATH, "//select[@name='intervals']")))
intervals.send_keys(itvl)
st = driver.find_element_by_name("merit")
st.send_keys(Keys.ENTER)
# print(driver.page_source)
try:
    rezultats = wait.until(EC.presence_of_element_located((By.XPATH, "//table[@class='Cusco']")))
    print('Mērijums ir pabeigts')
except TimeoutException as err:
    print('Mērijums nav pabeigts. Kļūda:', err)
    logging.warning(str(currtime) + "Error during ITEST measurement process. Measurement was not finished.")
    pass

datums = 'Bez rezultāta'
laiks = 'Bez rezultāta'
ip = 'Bez rezultāta'
dns = 'Bez rezultāta'
downlink = 'Bez rezultāta'
uplink = 'Bez rezultāta'
latentums = 'Bez rezultāta'
trice = 'Bez rezultāta'
packetloss = 'Bez rezultāta'

if wb.Worksheets.Item("Merijums").Range("A2", "B2").Value is None:
    sheet.Cells(2, 1).value = datums
    sheet.Cells(2, 2).value = laiks
    sheet.Cells(2, 3).value = ip
    sheet.Cells(2, 4).value = dns
    sheet.Cells(2, 5).value = merijumuVieta
    sheet.Cells(2, 6).value = downlink
    sheet.Cells(2, 8).value = uplink
    sheet.Cells(2, 10).value = latentums
    sheet.Cells(2, 11).value = trice
    sheet.Cells(2, 12).value = packetloss
    sheet.Cells(2, 14).value = operators

    print('Pirmā rinda Excel lapā ir brīva')
else:
    sheet.Cells(srcRowMax, 1).value = datums
    sheet.Cells(srcRowMax, 2).value = laiks
    sheet.Cells(srcRowMax, 3).value = ip
    sheet.Cells(srcRowMax, 4).value = dns
    sheet.Cells(srcRowMax, 5).value = merijumuVieta
    sheet.Cells(srcRowMax, 6).value = downlink
    sheet.Cells(srcRowMax, 8).value = uplink
    sheet.Cells(srcRowMax, 10).value = latentums
    sheet.Cells(srcRowMax, 11).value = trice
    sheet.Cells(srcRowMax, 12).value = packetloss
    sheet.Cells(srcRowMax, 14).value = operators
    print("Pirmā rinda Excel lapā ir aizņemta")
    wb.Save()
    Excel.Quit()

```

```

        driver.quit()
        time.sleep(2)
        logging.warning(str(currtime) + "Error ir measurement process. PC will be restarted")
        pc_restart()
        time.sleep(2)
    break

datums = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[1]")
print("Datums: ", datums.text)

laiks = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[2]")
print("Laiks: ", laiks.text)

ip = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[3]")
print("IP adrese: ", ip.text)

dns = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[4]")
print("DNS adrese: ", dns.text)

downlink = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[5]")
print("Lejupielādes ātrums: ", downlink.text)

uplink = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[6]")
print("Augšupielādes ātrums", uplink.text)

latentums = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[7]")
print("Latentums: ", latentums.text)

trice = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[8]")
print("Trīce: ", trice.text)

packetloss = driver.find_element_by_xpath("//table[@class='Cusco']/tr[1]/td[9]")
print("Pakešu zuduma koeficients: ", packetloss.text)

if wb.Worksheets.Item("Merijums").Range("A2", "B2").Value is None:
    sheet.Cells(2, 1).value = datums.text
    sheet.Cells(2, 2).value = laiks.text
    sheet.Cells(2, 3).value = ip.text
    sheet.Cells(2, 4).value = dns.text
    sheet.Cells(2, 5).value = merijumuVieta
    sheet.Cells(2, 6).value = downlink.text
    sheet.Cells(2, 8).value = uplink.text
    sheet.Cells(2, 10).value = latentums.text
    sheet.Cells(2, 11).value = trice.text
    sheet.Cells(2, 12).value = packetloss.text
    sheet.Cells(2, 14).value = operators

    print('Pirmā rinda Excel lapā ir brīva')
else:
    sheet.Cells(srcRowMax, 1).value = datums.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 2).value = laiks.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 3).value = ip.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 4).value = dns.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 5).value = merijumuVieta
    sheet.Cells(srcRowMax, 6).value = downlink.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 8).value = uplink.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 10).value = latentums.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 11).value = trice.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 12).value = packetloss.text
    sheet.Cells(srcRowMax, 14).value = operators
    print("Pirmā rinda Excel lapā ir aizņemta")
    wb.Save()
    Excel.Quit()
# driver.quit()
if latentums == "-1" or trice == "-1":
    logging.warning(str(currtime) + "Error in Latency or Jitter measurement. -1.")
    cikluSkaitis = 0
else:
    cikluSkaitis -= 1
print("Atlikušo ciklu mērījumu ciklu skaits: ", cikluSkaitis)
if cikluSkaitis == 0:
    print('Mērījumu cikls ir pabeigts')
    Excel.Quit()
    driver.quit()
try:
    os.system('taskkill /f /im Excel.exe')

```

```

        print('Excel process terminated')
    except OSError as er:
        print(er)
        pass
    try:
        os.system('taskkill /f /im iexplore.exe')
        print('IE process terminated')
    except OSError as er:
        print(er)
        pass
    time.sleep(5)
    logging.warning(str(curtime) + "End of measurement cycle. PC will be restarted")
    pc_restart()
    time.sleep(2)
    break
if modem_connect():
    print('Modema mājaslapa ir pieejama')
    merijums()
else:
    print('Modema mājaslapa nav pieejama. Tiks veikts tīkla savienojuma restarts')
    logging.warning(str(curtime) + "Error in modem_connect. Modem home page is not available.")
    if is_admin():
        network_restart()
    else:
        logging.warning(str(curtime) + "Error in is_admin. User has no admin rights.")
        ctypes.windll.shell32.ShellExecuteW(None, "runas", sys.executable, " ".join(sys.argv), None, 1)
        print('Tīkla restarts beigsies pēc 40 sekundēm')
        time.sleep(40)
    if ITEST_connect():
        print('ITEST mājaslapa ir pieejama')
        merijums()
    else:
        logging.warning(str(curtime) + "Error in ITEST_connect. ITEST web page is not available.")
        print('ITEST mājaslapa nav pieejama. Tiks veikts datora restarts')
        is_admin()
        pc_restart()

```

```

import ctypes
import logging
import os
import subprocess
import sys
import time
import tkinter as tk
import urllib.request
from datetime import datetime

```

```

import win32com.client
import xlswriter
from huawei_lte_api.AuthorizedConnection import AuthorizedConnection
from huawei_lte_api.Client import Client
from huawei_lte_api.Connection import Connection
from selenium import webdriver
from selenium.common.exceptions import TimeoutException
from selenium.webdriver.common.by import By
from selenium.webdriver.common.keys import Keys
from selenium.webdriver.support import expected_conditions as EC
from selenium.webdriver.support.ui import WebDriverWait

```

```

workmode = None
signal_icon = None
pci = None
cellid = None
RSRQ = None
RSRP = None
RSSI = None
SINR = None
rscp = None
ecio = None
band = None
modemtest = None
driver = None
wait = None

```



```

logging.basicConfig(filename='logfile.txt', level=logging.WARNING)
currtime = datetime.now().time()

def pc_restart():
    subprocess.call(["shutdown", "-f", "-r", "-t", "20"])

def modem_connect(host='http://192.168.8.1'):
    try:
        urllib.request.urlopen(host) # Python 3.x
        modemtest = 1
        print(modemtest)
        return True
    except:
        modemtest = 0
        print('Modem web page is not available' + str(modemtest))
        logging.warning(str(currtime) + "Modem webpage is not available")
        return False

def ITEST_connect(host='https://ispstest.sprk.gov.lv'):
    try:
        urllib.request.urlopen(host) # Python 3.x
        print('ITEST webpage is available')
        return True
    except:
        print('ITEST webpage is not available')
        logging.warning(str(currtime) + "ITEST webpage is not available")
        return False

def count_down():
    # create root/main window
    root = tk.Tk()
    root.attributes("-topmost", True)
    time_str = tk.StringVar()
    # create the time display label, give it a large font
    # label auto-adjusts to the font
    text_font = ('tacoma', 18)
    tk.Label(root, text='Līdz mērijuma sākumam:', font=text_font, bg='white').pack()
    label_font = ('helvetica', 40)

    tk.Label(root, textvariable=time_str, font=label_font, bg='white',
             fg='blue', relief='raised', bd=3).pack(fill='x', padx=5, pady=5)
    # Gets the requested values of the height and width.
    windowWidth = root.winfo_reqwidth()
    windowHeight = root.winfo_reqheight()
    # Gets both half the screen width/height and window width/height
    positionRight = int((root.winfo_screenwidth() / 2 - windowWidth / 2))
    positionDown = int((root.winfo_screenheight() / 2 - windowHeight / 2))

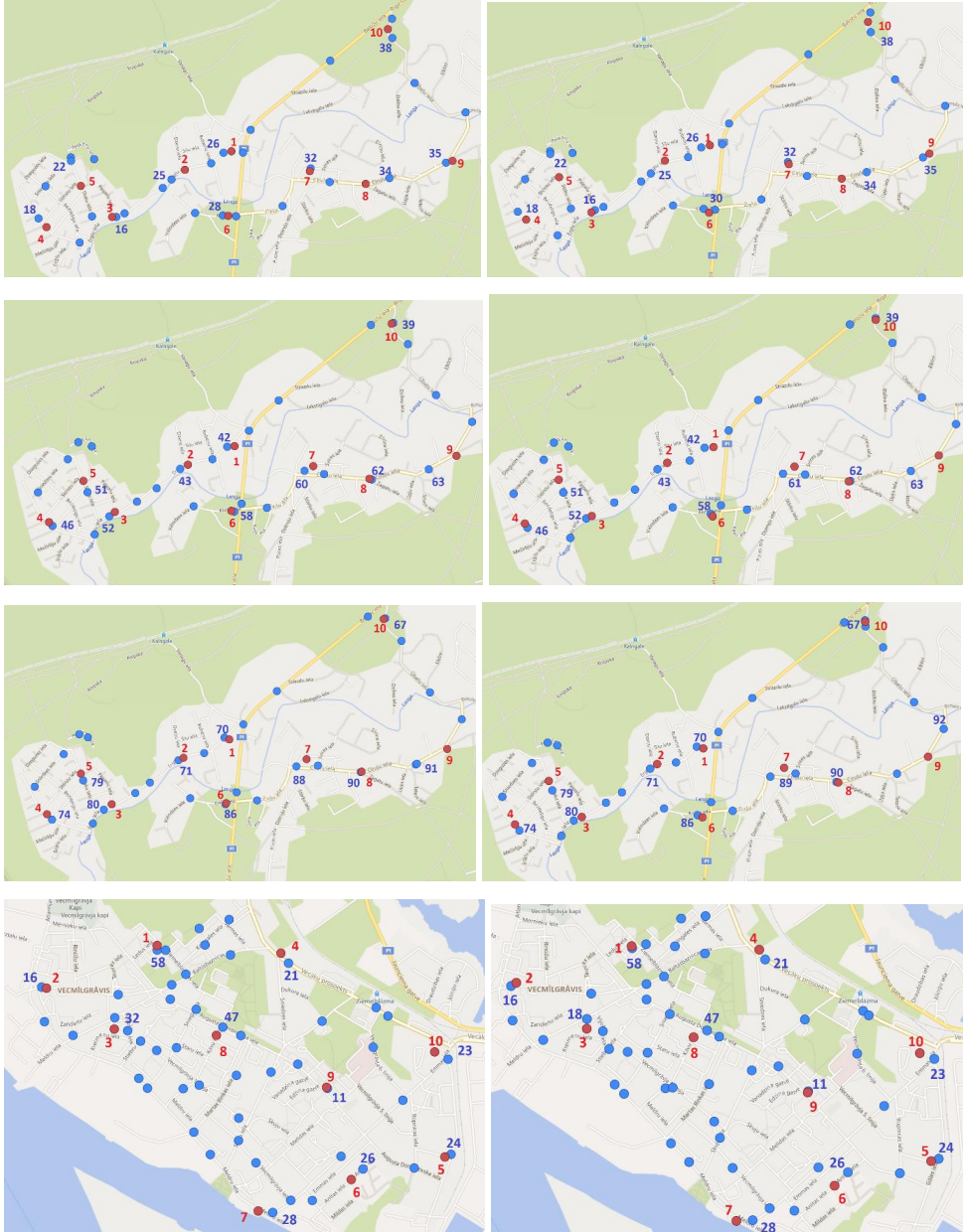
    # Positions the window in the center of the page.
    root.geometry("+{ }+{ }".format(positionRight, positionDown))

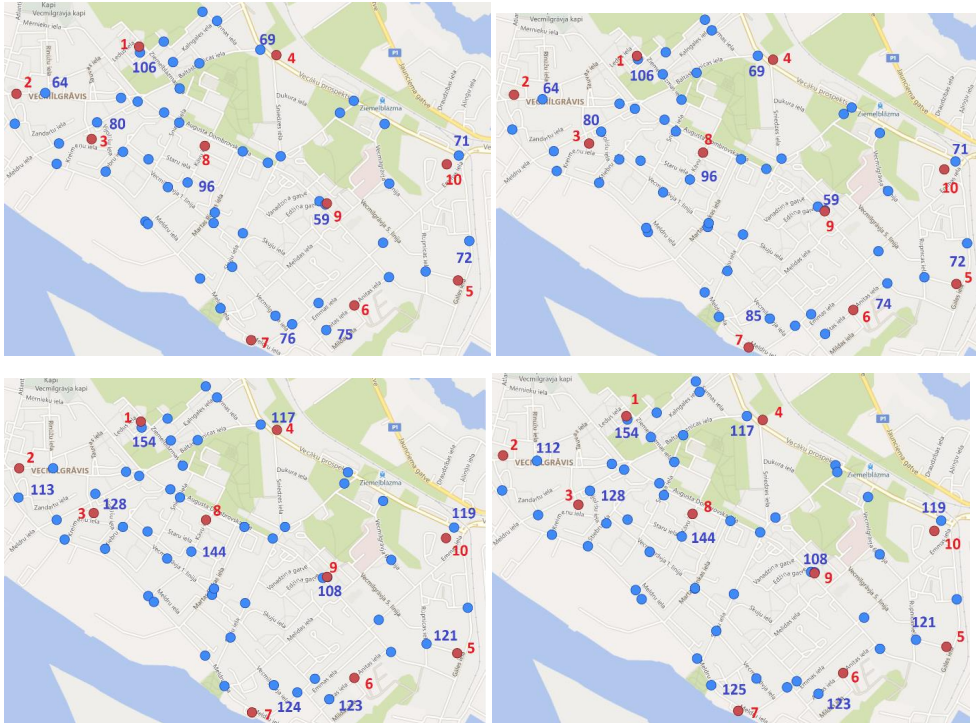
    for t in range(10, -1, -1):
        # format as 2 digit integers, fills with zero to the left
        # divmod() gives minutes, seconds
        sf = "{:02d}:{:02d}".format(*divmod(t, 60))
        # print(sf) # test
        time_str.set(sf)
        root.update()
        # delay one second
        time.sleep(1)
    root.destroy()

```

## 2.pielikums

*Ģeogrāfiskais mērījumu izvietojums kartē izlases un drive test mērījumu salīdzinājumam.*





Ģeogrāfiskais mērījumu izvietojums kartē: kreisajā pusē – mērījumi 1.operatora tīklā; labajā pusē – mērījumi 2.operatora tīklā; pirmās trīs rindās -mērījumi ciemā; pēdējās trīs rindās – mērījumi pilsētas rajonā; secīgi mērāmi parametri ir lejupielādes ātrums, augšupielādes ātrums un nākamā punktā kopā – latentums, trīce un pakešu zuduma koeficients.

### 3.pielikums

#### Mērijumu, kas veikti pilsētā statistiskā vietā, ciemā statistiskā vietā un drive test rezultātu salīdzinājums 2. operatoram.

1. tabula

#### Mērijumu, kas veikti pilsētā statistiskā vietā un drive test rezultātu salīdzinājums 2. operatoram.

Parametrs	Lejupielādes ātrums, Mbit/s			Augšupielādes ātrums, Mbit/s			Latentums, ms			Trīce, ms		
	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija
kopā statistiski	20,99	16,48	14,79	8,61	5,14	6,78	42,56	40,00	11,47	18,23	13,00	20,23
drive test kopā	27,63	21,51	23,04	14,61	14,32	5,81	38,98	38,00	9,56	18,19	13,00	25,81
1	28,22	27,86	9,62	4,56	4,37	0,57	48,45	47,00	8,42	23,73	20,00	14,01
t.p. 1	17,68	-	-	10,48	-	-	44,00	-	-	18,00	-	-
2	20,37	19,05	10,01	1,46	1,45	0,30	45,91	41,00	13,93	24,27	15,00	38,55
t.p. 2	55,28	-	-	10,98	-	-	37,00	-	-	11,00	-	-
3	10,09	9,34	3,19	11,07	10,80	0,94	50,82	43,00	20,21	30,91	14,00	31,86
t.p. 3	9,10	-	-	17,64	-	-	40,00	-	-	16,00	-	-
4	9,45	8,10	5,78	16,82	16,82	0,84	37,64	37,00	3,17	13,09	13,00	1,64
t.p. 4	39,43	-	-	12,53	-	-	43,00	-	-	35,00	-	-
5	23,99	23,61	4,22	5,58	5,47	0,55	40,09	38,00	5,59	14,36	12,00	10,34
t.p. 5	13,48	-	-	12,79	-	-	39,00	-	-	35,00	-	-
6	55,79	52,97	12,73	20,84	20,94	1,37	35,00	34,00	3,03	9,55	9,00	1,92
t.p. 6	23,66	-	-	13,79	-	-	41,00	-	-	10,00	-	-
7	11,89	11,65	3,63	3,46	3,47	0,44	41,00	42,00	6,03	13,45	14,00	3,67
t.p. 7	7,58	-	-	4,95	-	-	38,00	-	-	12,00	-	-
8	11,68	12,21	2,95	2,73	2,76	0,58	50,00	44,00	16,11	27,18	14,00	31,95
t.p. 8	24,67	-	-	6,05	-	-	39,00	-	-	10,00	-	-
9	16,45	16,20	3,91	15,65	16,61	4,35	37,45	34,00	8,24	12,82	11,00	6,59
t.p. 9	14,55	-	-	22,30	-	-	42,00	-	-	26,00	-	-
10	21,96	21,09	6,51	3,97	3,71	1,52	39,27	39,00	4,38	12,91	13,00	4,28
t.p. 10	9,75	-	-	7,77	-	-	37,00	-	-	14,00	-	-
Parametrs	Pakešu zuduma koef. %	RSRP, dBm			RSSI, dBm			RSRQ, dB				
Vieta	Vidējais	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija		
kopā statistiski	0,09	-97,36	-98,00	6,82	-97,76	-99,00	6,74	-13,35	-13,00	2,03		
drive test kopā	0,00	-89,05	-90,00	9,14	-89,97	-91,00	9,21	-12,51	-12,00	2,13		
1	0,00	-97,24	-96,00	3,31	-97,67	-97,00	3,83	-11,36	-12,00	1,75		
t.p. 1	0,00	-95,00	-	-	-95,00	-	-	-10,00	-	-		
2	0,00	-	-105,00	2,90	-105,85	-105,00	2,18	-12,85	-13,00	0,76		
t.p. 2	0,00	-105,97	-	-	-87,00	-	-	-13,00	-	-		
3	0,00	-95,48	-95,00	1,75	-96,76	-97,00	1,56	-14,88	-15,00	1,14		
t.p. 3	0,00	-96,00	-	-	-97,00	-	-	-14,00	-	-		
4	0,00	-85,33	-83,00	4,38	-85,91	-83,00	4,69	-14,15	-14,00	1,18		
t.p. 4	0,00	-93,00	-	-	-93,00	-	-	-12,00	-	-		
5	0,00	-	-102,00	2,84	-102,33	-103,00	2,86	-12,82	-13,00	1,33		
t.p. 5	0,00	-101,52	-	-	-97,00	-	-	-14,00	-	-		
6	0,00	13,48	-	-	-97,00	-	-	-14,00	-	-		
t.p. 6	0,00	-91,39	-91,00	3,24	-91,55	-91,00	3,44	-10,76	-11,00	1,41		
t.p. 6	0,00	-83,00	-	-	-87,00	-	-	-12,00	-	-		

7	0,91	-	-102,00	2,56	-102,39	-103,00	3,14	-15,39	-16,00	1,50
t.p. 7	0,00	-93,00	-	-	-91,00	-	-	-16,00	-	-
8	0,00	-	-103,97	1,91	-104,03	-103,00	2,01	-14,36	-14,00	1,48
t.p. 8	0,00	-82,00	-	-	-91,00	-	-	-9,00	-	-
9	0,00	-92,15	-90,00	3,83	-92,76	-91,00	3,70	-14,94	-15,00	1,41
t.p. 9	0,00	-81,00	-	-	-79,00	-	-	-15,00	-	-
10	0,00	-98,55	-99,00	3,46	-98,33	-99,00	3,45	-11,97	-12,00	1,19
t.p. 10	0,00	-97,00	-	-	-97,00	-	-	-10,00	-	-

2. tabula

Mērījumu, kas veikti ciemā statiskā vietā un drive test rezultātu salīdzinājums 2. operatoram.

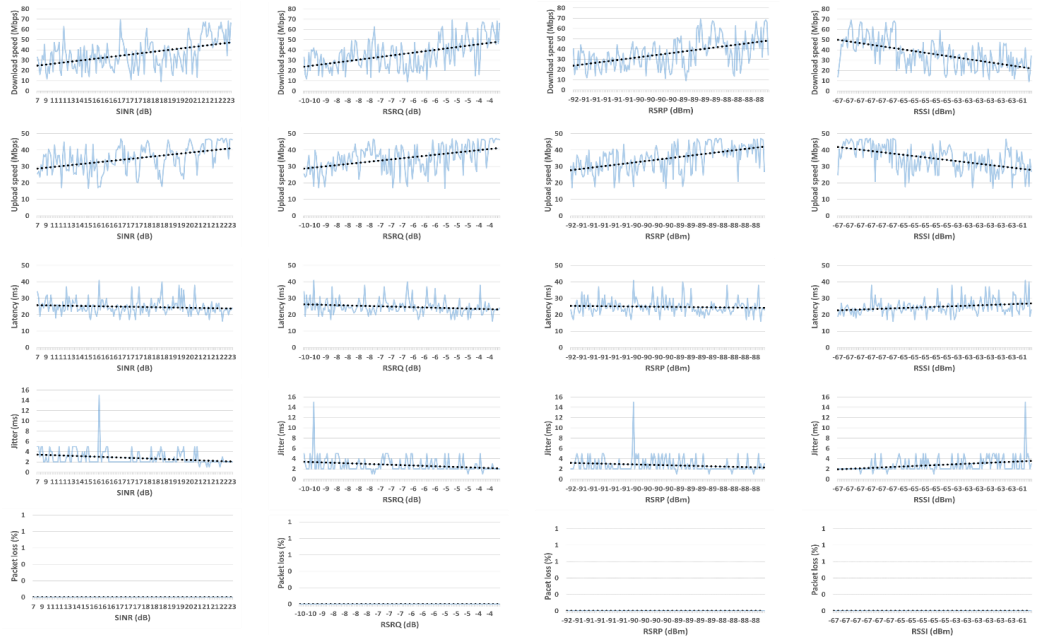
Parametrs	Lejupielādes ātrums, Mbit/s			Augšupielādes ātrums, Mbit/s			Latentums, ms			Trīce, ms			
	Vietā	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija
kopā statistiski	30,29	15,32	31,97	7,50	5,34	7,28	50,24	44,50	43,94	24,76	13,00	38,98	
drive test kopā	34,97	9,52	48,30	6,98	4,34	6,42	39,76	39,00	6,25	15,03	11,00	9,60	
1	12,99	12,40	4,02	19,38	20,51	2,01	36,45	36,00	3,91	12,45	10,00	6,22	
t.p. 1	5,95	-	-	5,11	-	-	33,00	-	-	13,00	-	-	
2	31,31	31,40	6,31	15,57	16,40	1,98	37,55	36,00	5,75	13,27	10,00	9,38	
t.p. 2	17,61	-	-	5,53	-	-	35,00	-	-	11,00	-	-	
3	8,42	6,31	3,77	0,96	1,06	0,28	44,45	45,00	1,97	13,82	13,00	3,60	
t.p. 3	4,83	-	-	1,71	-	-	45,00	-	-	11,00	-	-	
4	5,83	5,45	1,84	0,57	0,54	0,12	50,27	49,00	6,91	19,36	14,00	12,09	
t.p. 4	9,76	-	-	2,19	-	-	35,00	-	-	11,00	-	-	
5	2,11	1,96	0,68	0,34	0,31	0,08	113,91	57,00	124,24	79,55	22,00	107,12	
t.p. 5	3,23	-	-	1,46	-	-	39,00	-	-	13,00	-	-	
6	4,19	4,27	0,96	5,00	5,02	0,47	41,91	41,00	9,21	16,82	12,00	10,27	
t.p. 6	8,36	-	-	7,65	-	-	40,00	-	-	11,00	-	-	
7	69,32	72,52	9,58	7,17	5,96	4,23	41,55	45,00	6,67	24,82	33,00	13,90	
t.p. 7	57,65	-	-	16,59	-	-	38,00	-	-	10,00	-	-	
8	82,32	74,39	31,78	17,39	17,34	1,17	37,36	37,00	3,47	13,55	10,00	9,82	
t.p. 8	104,17	-	-	19,78	-	-	38,00	-	-	11,00	-	-	
9	70,22	68,49	12,69	7,96	7,77	1,05	44,18	45,00	6,90	27,91	32,00	14,49	
t.p. 9	110,80	-	-	16,52	-	-	34,00	-	-	13,00	-	-	
10	16,16	17,85	6,12	0,70	0,70	0,16	54,73	55,00	5,37	26,09	27,00	14,12	
t.p. 10	39,75	-	-	2,52	-	-	54,00	-	-	37,00	-	-	
Parametrs	Pakešu zuduma koef. %	RSRP, dBm			RSSI, dBm			RSRQ, dB					
Vietā	Vidējais	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija	Vidējais	Mediāna	Standarta devīcija			
kopā statistiski	0,09	-102,29	-104,00	6,98	-97,58	-101,00	15,51	-12,32	-12,00	1,65			
drive test kopā	0,00	-91,62	-90,00	10,55	-90,84	-89,00	11,66	-11,64	-12,00	2,16			
1	0,00	-95,88	-95,00	3,01	-95,85	-95,00	3,50	-11,82	-12,00	0,58			
t.p. 1	0,00	-75,00	-	-	-71,00	-	-	-12,00	-	-			
2	0,00	-94,18	-94,00	1,88	-94,82	-95,00	1,76	-11,79	-12,00	0,82			
t.p. 2	0,00	-80,00	-	-	-77,00	-	-	-11,00	-	-			
3	0,00	-108,79	-109,00	1,22	-105,61	-109,00	14,15	-13,79	-14,00	0,65			
t.p. 3	0,00	-105,00	-	-	-101,00	-	-	-13,00	-	-			
4	0,00	-109,21	-109,00	1,73	-91,55	-109,00	26,79	-13,00	-13,00	0,61			
t.p. 4	0,00	-100,00	-	-	-103,00	-	-	-11,00	-	-			

5	0,91	-109,39	-109,00	1,62	-91,97	-109,00	26,52	-12,27	-12,00	0,88
t.p. 5	0,00	-100,00	-	-	-99,00	-	-	-10,00	-	-
6	0,00	-102,79	-102,00	1,32	-103,30	-103,00	1,51	-14,52	-14,00	0,91
t.p. 6	0,00	-85,00	-	-	-87,00	-	-	-15,00	-	-
7	0,00	-104,30	-107,00	7,58	-99,67	-107,00	16,31	-11,12	-12,00	1,90
t.p. 7	0,00	-94,00	-	-	-83,00	-	-	-12,00	-	-
8	0,00	-91,97	-92,00	1,51	-92,76	-93,00	1,30	-11,39	-12,00	1,78
t.p. 8	0,00	-68,00	-	-	-69,00	-	-	-7,00	-	-
9	0,00	-98,42	-98,00	1,09	-98,76	-99,00	1,20	-11,33	-12,00	1,45
t.p. 9	0,00	-87,00	-	-	-107,00	-	-	-12,00	-	-
10	0,00	-107,94	-108,00	1,22	-101,55	-107,00	18,36	-12,12	-13,00	2,00
t.p. 10	0,00	-101,00	-	-	-101,00	-	-	-9,00	-	-

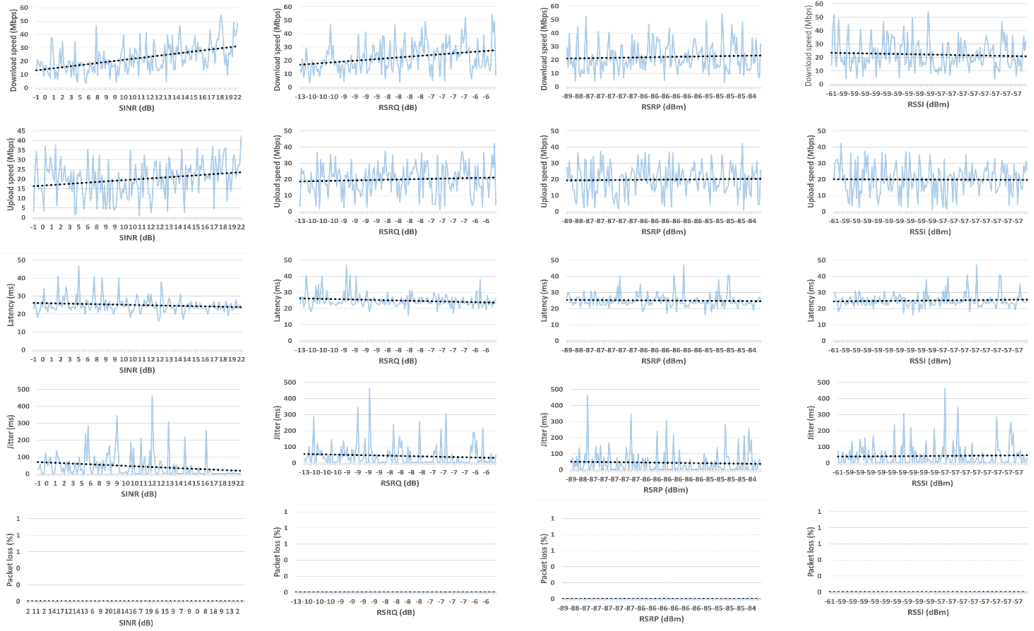
## 4.pielikums

*Grafiki, kuros attēlotas QoS parametru atkarība no signāla parametriem, un noteiktās tendences līknes, mērījumiem pilsētā un ciemā.*

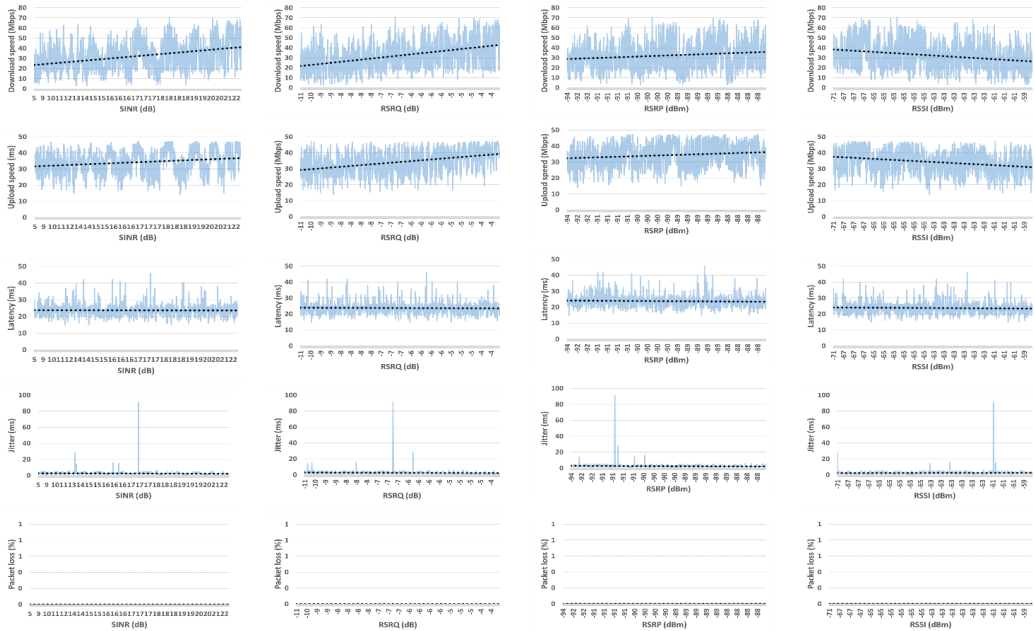
Mērījumu rezultāti pilsētā:



Mērījumu rezultāti ciemā:



Mērījumu rezultāti pilsētā nedēļas laikā:





*Ziņojumu starptautiskās konferencēs, publikāciju zinātniskajos žurnālos, rakstu pilna teksta konferenču rakstu krājumos saraksts*

**Ziņojumi starptautiskajās konferencēs**

1. **Stafecka, A.**, Lizunovs, A., Olins, A., Rjumsins, M. and Bobrovs, V., “The Evaluation of the Internet Access Service QoS Measurement Equipment Placement Conditions Based on Signal Parameters Values”. 2023 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Prague, Czech Republic, 3–6, July 2023.
1. **Stafecka, A.**, Bobrovs, V. “Evaluation and determination of the internet access service quality parameter measurement equipment placement conditions”. 63rd International Scientific Conference of Riga Technical University, 14.10.2022.
2. **Stafecka, A.**, Lizunovs, A., Ivanovs, G., Bobrovs, V. “Dependence between Signal Parameter Values and Perceived Internet Access Service QoS in Mobile Networks”. Progress in Electromagnetics Research Symposium, 2021, 2021–November, pp. 1419–1427.
3. **Stafecka, A.**, Lizunovs, A., Bobrovs, V., Gavars, P., Zarins, Z. “Quality of Service and Signal Evaluation Parameter Comparison between Different Mobile Network Operators in Urban Area”. Progress in Electromagnetics Research Symposium, 2019, 2019–June, pp. 3887–3894, 9017680.
4. Lizunovs, A., **Stafecka, A.**, Bobrovs, V. “Internet Access Service QoS and Signal Parameter Measurements in Urban Environment”. Proceedings of the 23rd International Conference Electronics 2019, ELECTRONICS 2019, 2019, 8765584.
5. **Stafecka, A.**, Lizunovs, A., Bobrovs, V. “Mobile LTE network signal and Quality of Service parameter evaluation from end-user premises”. Proceedings - 2018 Advances in Wireless and Optical Communications, RTUWO 2018, 2018, pp. 209–212, 8587890.
6. Lipenbergs, E., Smirnova, I., **Stafecka, A.**, Ivanovs, G., Gavars, P. “Quality of service parameter measurements data analysis in the scope of net neutrality”. Progress in Electromagnetics Research Symposium, 2017, 2017–November, pp. 1230–1234.
7. **Stafecka, A.**, Lipenbergs, E., Bobrovs, V., Sharashidze, T. “Quality of service methodology for the development of internet broadband infrastructure of mobile access networks”. Proceedings of the 21st International Conference on Electronics, 2017, 7995229.
8. Lipenbergs, E., **Stafecka, A.**, Ivanovs, G., Smirnova, I. “Quality of service measurements and service mapping for the mobile internet access”. Progress in Electromagnetics Research Symposium, 2017, pp. 2526–2532.

## Publikācija zinātniskajā žurnālā

1. Ancans, G., **Stafecka, A.**, Bobrovs, V., Ancans, A., Caiko, J. “Analysis of Characteristics and Requirements for 5G Mobile Communication Systems”. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 2017, 54 (4), pp. 69–78.

## Raksti pilna teksta konferenču rakstu krājumos

1. **Stafecka, A.**, Lizunovs, A., Ivanovs, G., Bobrovs, V. “Dependence between Signal Parameter Values and Perceived Internet Access Service QoS in Mobile Networks”. *Progress in Electromagnetics Research Symposium*, 2021, 2021-November, pp. 1419–1427.
2. **Stafecka, A.**, Lizunovs, A., Bobrovs, V., Gavars, P., Zarins, Z. “Quality of Service and Signal Evaluation Parameter Comparison between Different Mobile Network Operators in Urban Area”. *Progress in Electromagnetics Research Symposium*, 2019, 2019-June, pp. 3887–3894, 9017680.
3. Lizunovs, A., **Stafecka, A.**, Bobrovs, V. “Internet Access Service QoS and Signal Parameter Measurements in Urban Environment”. *Proceedings of the 23rd International Conference Electronics 2019, ELECTRONICS 2019*, 2019, 8765584.
4. **Stafecka, A.**, Lizunovs, A., Bobrovs, V. “Mobile LTE network signal and Quality of Service parameter evaluation from end-user premises”. *Proceedings – 2018 Advances in Wireless and Optical Communications, RTUWO 2018*, 2018, pp. 209–212, 8587890.
5. Lipenbergs, E., Smirnova, I., **Stafecka, A.**, Ivanovs, G., Gavars, P. “Quality of service parameter measurements data analysis in the scope of net neutrality”. *Progress in Electromagnetics Research Symposium*, 2017, 2017-November, pp. 1230–1234.
6. **Stafecka, A.**, Lipenbergs, E., Bobrovs, V., Sharashidze, T. “Quality of service methodology for the development of internet broadband infrastructure of mobile access networks”. *Proceedings of the 21st International Conference on Electronics*, 2017, 7995229.
7. Lipenbergs, E., **Stafecka, A.**, Ivanovs, G., Smirnova, I. “Quality of service measurements and service mapping for the mobile internet access”. *Progress in Electromagnetics Research Symposium*, 2017, pp. 2526–2532.

*Promocijas darba rezultātu izmantošana starptautiskās darba grupās*

1. Eiropas Elektronisko sakaru regulatoru iestādes (BEREC) Atvērtā interneta, augstas veiktspējas tīklu, 5G tīklu un citu ekspertu darba grupu dalībnieks, 2015-šodiena.
2. CEPT WG NaN4 un WG NaN2 ekspertu darba grupas dalībnieks, dokumentu sastādītājs (drafter), 2015-šodiena.

*CEPT apliecinājums par dalību, kā līdzautoram, starptautiskās rekomendācijas izstrādē*



To: Riga Technical University

Reference: Alina Stafecka

Copenhagen, 05 June 2019

To whom it may concern,

The European Communications Office (ECO) is the permanent office of the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), an organisation where policymakers and regulators from 48 European countries collaborate to harmonise telecommunication, radio spectrum and postal regulations.

The purpose of this letter is to acknowledge that Ms. Alina Stafecka co-authored the following published ECC Deliverable:

- CEPT ECC REPORT 265 – Migration from PSTN/ISDN to IP-based networks and regulatory aspects, 2017.

Should you require any further information then please contact me.

Yours sincerely,

A handwritten signature in blue ink that reads 'Freddie McBride'.

Freddie McBride

Deputy Directory, European Communications Office

[freddie.mcbride@eco.cept.org](mailto:freddie.mcbride@eco.cept.org)

+45 29 67 30 99



**Alina Stafecka** dzimusi 1992. gadā Rīgā. Rīgas Tehniskajā universitātē (RTU) ieguvusi bakalaura grādu elektrozinātnē (2014) un maģistra grādu telekomunikācijās (2016). Elektronisko sakaru nozarē A. Stafecka strādā no 2015. gada. Patlaban ieņem Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas galvenās tīklu infrastruktūras ekspertes amatu, kā arī lektores un zinātniskās asistentes amatu RTU. Kopš 2023. gada ir Eiropas Pasta un telekomunikāciju administrāciju konferences (*CEPT*) Tīklu un numerācijas darba grupas (*WG NaN2*) priekšsēdētāja vietniece.