



RĪGAS TEHNISKĀ
UNIVERSITĀTE

Elmārs Lipenbergs

ILGLAICĪGI PIEMĒROJAMA NOVĒRTĒŠANAS IETVARA IZSTRĀDE PLATJOSLAS INTERNETA PAKALPOJUMA KVALITĀTES UZRAUDZĪBAI

Promocijas darba kopsavilkums



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Elektronikas un telekomunikāciju fakultāte

Telekomunikāciju institūts

Elmārs Lipenbergs

Doktora studiju programmas “Telekomunikācijas” doktorants

ILGLAICĪGI PIEMĒROJAMA NOVĒRTĒŠANAS IETVARA IZSTRĀDE PLATJOSLAS INTERNETA PAKALPOJUMA KVALITĀTES UZRAUDZĪBAI

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskie vadītāji

profesors *Dr. sc. ing.*
ĢIRTS IVANOVŠ

profesors *Dr. sc. ing.*
VJAČESLAVS BOBROVS

Lipenbergs, E. Ilglaicīgi piemērojama novērtēšanas ietvara izstrāde plašjoslas interneta pakalpojuma kvalitātes uzraudzībai. Promocijas darba kop-savilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2019. 34 lpp.

Iespiests saskaņā ar 2019. gada 3. oktobra Promocijas padomes “RTU P-08” lēmumu, protokols Nr. 46.

ISBN 978-9934-22-413-3 (print)
978-9934-22-414-0 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2019. gada 19. decembrī Rīgas Tehniskās universitātes Elektronikas un telekomunikāciju fakultātē, Āzenes ielā 12, 201. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. sc. ing.* Jurgis Poriņš,
Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Pētnieks *Dr. sc. ing.* Aleksejs Udaļcovs,
RISE Research Institutes of Sweden AB, Ziedrija

Vecākā eksperte *Dr. sc. ing.* Jūlija Asmuss,
Valsts izglītības attīstības aģentūra, Latvija

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis promocijas darbu “Ilglaicīgi piemērojama novērtēšanas ietvara izstrāde platjoslas interneta pakalpojuma kvalitātes uzraudzībai”, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Elmārs Lipenbergs (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievaddaļa, trīs nodaļas, secinājumi un kopsavilkums, literatūras saraksts, 71 attēls, divas tabulas, 13 pielikumu, kopā 184 lappuses. Literatūras sarakstā ir 139 nosaukumi.

ANOTĀCIJA

Mūsdienās elektronisko sakaru un satura pakalpojumu klāsts lietotājiem lielākoties jau šobrīd ir pieejams, izmantojot interneta piekļuvi, kas pakāpeniski aizstāj dažāda veida iepriekš izmantotos saziņas veidus un piekļuvi saturam. Pasaulē veiktie pētījumi un interneta lietojuma prognozes paredz, ka kopējais pārraidīto datu apjoms turpmāko piecu gadu laikā pieaugs trīskārt. Kā viens no nozīmīgākiem projektiem tehnoloģiju attīstības jomā elektronisko sakaru tīkla pārraides funkciju nodrošināšanai ir 5G tehnoloģiju ieviešana. Līdztekus fiksētos tīklos nodrošinātajai interneta piekļuvei mobilo tehnoloģiju attīstības tendences iezīmē 4G un 5G tehnoloģijas tīklu attīstības scenārijus, prognozējot, ka līdz 2025. gadam mobilo operatoru tīklos pasaulē varētu būt tuvu sešiem miljardiem mobilo sakaru lietotāju pieslēgumu.

Promocijas darbā atspoguļots pētījumā paveiktais tehnoloģiju attīstības tendencēm atbilstoša interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes uzraudzības modeļa ieviešanā. Ir veikts novērtējums esošam kvalitātes uzraudzības ietvaram un sniegti priekšlikumi ilglaicīgi piemērojamai platjoslas interneta kvalitātes mērījumu metodoloģijas un datu matemātiskās analītikas inženiertehnisko risinājumu koncepcijai kvalitātes uzraudzības regulējumu harmonizācijai. Promocijas darbā ir apkopoti ar platjoslas interneta pakalpojuma kvalitāti saistīti pētījuma rezultāti, sniedzot priekšlikumus pilnībā funkcionējoša kompleksa kvalitātes uzraudzības modeļa ieviešanai, nodrošinot izstrādātā modeļa komponentu ieviešanu starptautiska līmeņa regulējošā dokumentācijā, kā arī praktisku realizāciju Latvijas mērogā.

SATURS

SAĪSINĀJUMU SARAKSTS.....	6
PROMOCIJAS DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS.....	8
Tēmas aktualitāte.....	8
Darba mērķis un uzdevumi	9
Pētījumu metodika.....	10
PĒTĪJUMU REZULTĀTI UN ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE	11
Darba praktiskā vērtība un jaunieguvumi	11
Promocijas darba izstrādē iegūtie nozīmīgākie secinājumi.....	11
Promocijas darba rezultātu izmantošana	12
Promocijas darbā aizstāvamās tēzes.....	12
Promocijas darba rezultātu aprobācija	13
Ziņojumi starptautiskajās konferencēs.....	13
Publikācijas zinātniskajos žurnālos.....	14
Raksti pilna teksta konferenču rakstu krājumos	14
Darba apjoms un struktūra	15
PROMOCIJAS DARBA NODAĻU IZKLĀSTS	17
Promocijas darba pirmā nodaļa	17
Promocijas darba otrā nodaļa	18
Promocijas darba trešā nodaļa.....	19
Promocijas darba ceturtnā nodaļa	24
PROMOCIJAS DARBA REZULTĀTI.....	29
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	31

SAĪSINĀJUMU SARAKSTS

2G – *2nd generation mobile network* – mobilā elektronisko sakaru tīkla otrā paaudze

3G – *3rd generation mobile network* – mobilā elektronisko sakaru tīkla trešā paaudze

4G – *4th generation mobile network* – mobilā elektronisko sakaru tīkla ceturtais paaudze

5G – *5th generation mobile network* – mobilā elektronisko sakaru tīkla piektā paaudze

B

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

C

CDN – Content delivery network – satura piegādes tīkls

CEPT – The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations – Eiropas Pasta un telekomunikāciju administrāciju konference

D

D2D – Device-to-Device – starpierīču saziņa

E

ECC – Electronic Communications Committee – Elektronisko komunikāciju komiteja

ETSI – European Telecommunications Standards Institute – Eiropas Telekomunikāciju standartizācijas institūts

F

FTTH – Fibre to the home – optiskās šķiedras kabeļu nodrošināšana līdz galalietotājam ar pieslēguma punktu galalietotāja telpā vai galalietotāja telpas robežās

G

GSMA – GSM Association – GSM asociācija

I

ICT – Information and communication technology – informācijas un komunikācijas (sakaru) tehnoloģijas

IoT – Internet of things – lietu internets

ITEST – Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas Interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes kontroles sistēma

ITU – International Telecommunication Union – Starptautiskā telekomunikāciju (telesakaru) savienība

IXP – Internet exchange point – interneta apmaiņas punkts

M

M2M – Machine-to-machine – mašīnsaziņa

N

NGN – Next Generation Network – nākamās paaudzes tīkls

O

OECD – Organisation for Economic Cooperation and Development – Ekonomiskās sadarbības un attīstības organizācija

P

PT TRIS – Project team Technical Regulatory Issues – projekta apakšgrupa “Tehniskās regulēšanas aspekti”

Q

QoS – Quality of Service – pakalpojumu kvalitāte

R

RTT – round-trip delay time – datu pārraides turp-atpakaļ ceļa aiztures laiks jeb latentums

S

SDN – Software-defined networking – programmatūras definēta tīklošana

SPRK – Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisija (Regulators)

W

WG NaN – Working Group Numbering and Networks – Tīklu un numerācijas darba grupa

PROMOCIJAS DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

Tēmas aktualitāte

Elektronisko sakaru pakalpojumu un satura pakalpojumu klāsts lietotājiem lielākoties jau šobrīd ir pieejams, izmantojot interneta piekļuvi, kas pakāpeniski aizstāj dažāda veida iepriekš izmantotos saziņas veidus un piekļuvi saturam. Pasaulē veiktie pētījumi un interneta lietojuma prognozes paredz, ka kopējais pārraidīto datu apjoms turpmāko piecu gadu laikā pieaugs trīskārt. Viens no nozīmīgākajiem projektiem tehnoloģiju attīstības jomā elektronisko sakaru tīkla pārraides funkciju nodrošināšanai ir piektās tehnoloģiju paaudzes – 5G tehnoloģiju – ieviešana. *GSMA Intelligence* veiktajā pētījumā un tajā ietvertajās prognozēs (1. att.) uzrādīti nozīmīgākie soļi mobilo sakaru industrijas attīstībā turpmākajos gados.



1. att. *GSMA Intelligence* pētījuma dati mobilo pieslēgumu un lietojumu skaita prognozēm no 2017. līdz 2025. gadam [16].

Līdztekus fiksētos tīklos nodrošinātajai interneta piekļuvei mobilo tehnoloģiju attīstības tendences iezīmē ceturtais paaudzes – 4G – un piektās paaudzes – 5G – tehnoloģijas tīklu attīstības scenārijus, prognozējot, ka līdz 2025. gadam mobilo operatoru tīklos pasaulē mobilo sakaru lietotāju pieslēgumu skaits varētu būt tuvu sešiem miljardiem.

Promocijas darbā atspoguļots pētījumā paveiktais saistībā ar tehnoloģiju attīstības tendencēm atbilstoša interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes uzraudzības modeļa ieviešanu. Ir veikts novērtējums esošam kvalitātes uzraudzības ietvaram un sniegti priekšlikumi ilglaicīgi piemērojamai platjoslas interneta kvalitātes mērījumu metodoloģijas un datu matemātiskās analītikas inženiertehnisko risinājumu koncepcijai kvalitātes uzraudzības regulējumu harmonizācijai.

Nākamās paaudzes (*NGN*) elektronisko sakaru “ļoti ātrdarbīgu tīklu” attīstīšanas ietvaros, kas raksturojami ar pieslēguma ātrumiem galalietotājiem līdz pat vairākiem gigabitiem sekundē, ir būtiski nodrošināt atbilstošu pakalpojumu kvalitāti, plānojot gan globāla, gan Eiropas lietotāju loka un ģeogrāfiskā tvēruma tehnoloģisko risinājumu ieviešanu. Ir nepieciešams lietotājam sniegt saprotamu, pārskatāmu un salīdzināmu informāciju par interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes rādītājiem, piemēram, par faktoriem, kas ietekmē pieslēguma ātrumu un satura piegādi [1].

Interneta piekļuves pakalpojums faktiski nodrošina transportēšanas funkciju un piekļuvi publiskajā interneta vidē pieejamajai informācijai, saturam un datu apmaiņai, piemēram, sociālajiem tīkliem, finanšu instrumentiem, balss telefonijas pakalpojumam, video straumēšanas un televīzijas programmu izplatīšanas pakalpojumam, kā arī daudziem citiem pakalpojumiem un vietnēm. Vienlīdz nozīmīgi interneta protokola risinājumi jau šobrīd nodrošina datu pārraides vidi būtiski augošajam starpierīču saziņas (*M2M*) un lietu interneta (*IoT*) segmentam, īpaši mobilajos 4G tehnoloģiju tīklos. Pakalpojumu kvalitātes uzraudzība ir viena no nozīmīgākajām īstenojamajām aktivitātēm šī mērķa sasniegšanai, raugoties no komersantu, regulējošo institūciju un lietotāja skatupunkta.

Promocijas darba tēma ir aktuāla, ievērojot joprojām strauji augošo elektronisko sakaru nozares attīstību gan tehnoloģiju dinamikā, gan datu apjoma lietojuma ziņā pasaulē. Ņemot vērā mūsdienu elektronisko sakaru tīklu struktūru ar ļoti dažādām optisko šķiedru tīklu un citu tehnoloģisko risinājumu kombinācijām, pakalpojumu klāstu un lietotāju paradumus, tiesību aktu regulējumu praktiskā ieviešana attiecībā uz kvalitātes mērīšanas tehnisko un juridisko aspektu sasaisti, ievērojot piemērojamo mērīšanas metrikas vienotību interneta pakalpojuma uzraudzībā, ir viens no nozīmīgākajiem izaicinājumiem, kas ir ietverts veiktajā pētījumā.

Darba mērķis un uzdevumi

Ņemot vērā tehnoloģisko risinājumu attīstības tendences datu pārraides vidē ar būtiski progresējošo starpierīču saziņas un lietu interneta segmentu, kā arī šo risinājumu virzošās vides attīstīšanu, tostarp izvērtējot 5G tehnoloģijas koncepciju un attīstības tendences, ir izvirzīts šāds **promocijas darba mērķis**: novērtēt un sniegt priekšlikumus ilglaicīgi piemērojamai platjoslas interneta kvalitātes mērījumu metodoloģijas un datu matemātiskās analītikas inženiertehnisko risinājumu koncepcijai kvalitātes uzraudzības regulējumu harmonizācijai.

Lai sasniegtu definēto mērķi ir veikti vairāki **pamatuzdevumi**.

1. Novērtēt un noteikt interneta piekļuves pakalpojuma nozīmīgāko raksturojošo parametru kopu un atbilstošo parametru racionālu izmantošanu iespējami visaptverošas informācijas atspoguļošanai par interneta pakalpojuma kvalitātes rādītājiem, tostarp atbilstoši piekļuvei atvērtam internetam noteikto principu ietvarā.
2. Izstrādāt uz vienotiem principiem balstītu ilglaicīgi piemērojamu pakalpojuma kvalitātes novērtēšanas analītisko modeli dažādiem mērķiem, piemēram, operatora tīkla ietvaros dažādos laika griezumos, salīdzinājumam starp operatori vienās valsts ietvaros, kā arī Eiropas vai globālā mērogā paredzētas informācijas raksturošanai

atbilstošiem mērījumu atskaites jeb references punktiem. Vienlaikus optimizēt tehniskos risinājumus un mērīšanas metodoloģijas, piemērojot tās interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes objektīvai novērtēšanai fiksēto un mobilo elektronisko sakaru tīklos gan pakalpojumiem, kas pieejami noteiktā vietā, gan izkliedētos punktos interneta vidē, tajā skaitā 5G tīkla segmentēšanas ietvarā sniegto pakalpojumu kvalitātes uzraudzībai.

3. Novērtēt interneta piekļuves pakalpojuma kvalitāti raksturojošo rādītāju, piemēram, pieslēguma ātruma, datu pārraides aiztures laika, datu pārraides aiztures laika nevienmērības parametru vizualizēšanas risinājumus, informāciju attēlojot ģeogrāfiskās kartes formātā vai grafiskā attēlojumā savstarpēji salīdzināmas informācijas nodrošināšanai.
4. Izstrādāt optimālu mērījumu rezultātu matemātiskās apstrādes un aprēķinu modeli mērījumu rezultātu iegūšanai platjoslas interneta piekļuvi raksturojošo rādītāju, piemēram, pieslēguma ātrumu un datu pārraides aiztures laika rādītāju salīdzināmas informācijas nodrošināšanai, piemērojot mērījumu rezultātu attēlošanu dažādiem mērķiem paredzētas informācijas atspoguļošanai.
5. Izstrādāt platjoslas interneta pakalpojuma kvalitātes un pakalpojumu raksturojošo kvantitatīvo rādītāju salīdzināmas novērtēšanas un uzraudzības koncepciju, teorētiskos rādītājus, piemēram, harmonizējot kvalitātes deklarācijās, pieslēgumu uzskaitē un līgumā norādāmo lietotājiem nodrošināmo pieslēguma ātrumu vērtības ar tehniski nodrošināmiem un izmērāmiem raksturlielumiem.

Izvērtējot pētījuma noslēgumā ieviesto Eiropas līmeņa Latvijas regulēšanas ietvaru, kā arī kvalitātes uzraudzības salīdzināmas informācijas iegūšanas konceptuālos un praktiskos risinājumus, secināms, ka sākotnēji noteiktie promocijas darba pamatuzdevumi ir sekmīgi izpildīti.

Pētījumu metodika

Promocijas darbā noteikto uzdevumu realizācijā un problēmu analītiskā izvērtēšanā veikti eksperimentāli mērījumi, statistikas datu izvērtēšana, kā arī piemērotas matemātisku aprēķinu metodes, ņemot vērā regulēšanas aspektu savstarpējas saskaņošanas nepieciešamību, nodrošinot platjoslas interneta pakalpojuma atbilstošu un salāgotu vērtējumu dažādos informatīvos un analītiskos griezumos. Mērījumiem izmantota Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas – SPRK, Interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes kontroles sistēma *ITEST*, kas veidota, izmantojot kompānijas *Visualware Inc.* programmatūras “*MyConnection Server*” platjoslas interneta mērīšanas rīka vairāku moduļu integrētu risinājumu.

PĒTĪJUMU REZULTĀTI UN ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE

Darba praktiskā vērtība un jaunieguvumi

- Ir veikta salīdzinoša izpēte par piemēroto regulējumu saistībā ar fiksētā un mobilā interneta piekļuves pakalpojumu, sagatavojot un veicot aptaujas Eiropas Savienības un CEPT dalībvalstu regulējošo institūciju ietvaros, aktīvi līdzdarbojoties divu pārskatu sagatavošanā un izstrādājot rekomendāciju CEPT ECC WG NaN darba grupas PT TRIS projektu grupā vienota platjoslas interneta pakalpojuma tehniskā regulējuma nodrošināšanai.
- Nozīmīgi pilnveidota esošā kvalitātes uzraudzības sistēma Latvijā, ieviešot kvalitātes prasību savstarpēju sasaisti, definīciju harmonizāciju un vienotas pieejas nodrošināšanu pakalpojumu kvalitātes deklarācijām, kvalitātes prasībām elektronisko sakaru līgumos, kā arī kvalitātes prasībām piekļuvei atvērtam internetam uzraudzības ietvaros.
- Izstrādāta metodoloģija un vadlīnijas, kas piemērojamas un ieviestas platjoslas interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes novērtēšanai Latvijā, kā arī izstrādāta pakalpojumu kvalitātes mērījumu rezultātu matemātiskās apstrādes un vizualizēšanas koncepcija SPRK, mērījumu rezultātu analītiku iekļaujot ikgadējos kvalitātes pārskatos.

Promocijas darba izstrādē iegūtie nozīmīgākie secinājumi

- Neraugoties uz ievērojama apjoma elektronisko sakaru nozari regulējošā ietvara dokumentācijas un standartizācijas dokumentu klāstu, kā arī pakalpojumu kvalitātes uzraudzības sekmīgai nodrošināšanai bieži nepietiekamo regulējošo instrumentu efektivitāti daudzu paralēlo regulējumu individuālas un savstarpēji nesasaistītas ieviešanas dēļ, secināms, ka, nemainot regulējuma ietvaru, iespējams izveidot efektīvi funkcionējošu novērtēšanas metodoloģiju un tehnisko risinājumu kopu, tādējādi nodrošinot uzraudzības regulējumu harmonizāciju.
- Datu ievākšana apstrāde un analītika par rādītājiem, kas raksturo platjoslas interneta kvalitāti, piemēram, pieslēguma ātrumu vai datu pārraides aiztures laiku, *QoS-1* līmenī un kas ietvert teorētiskās informācijas kopu, ir vērtējama kā lietderīga tikai tādā gadījumā, ja šāda informācija ir nodrošināta kā informācijas kopums, ar ko var salīdzināt sistemātisku un pārbaudāmu mērījumu rezultātus un faktiski lietotājiem nodrošinātos pakalpojumu kvalitātes rādītājus, kas iegūti, veicot mērījumus *QoS-2* vai *QoS-3* līmenī.
- Objektīvam un salīdzināmam ilgtermiņa interneta kvalitātes vērtējumam ir nepieciešams izvēlēties sistematizētu un vienotu raksturlielumu kopu, kā arī salīdzināmus un izsekojamus mērīšanas rīka atskaites punktus jeb references.

- Izvērtējot pētījumu saistībā ar raksturojošo parametru klāstu, vērtējot rādītāju dinamiku un saprotamību lietotājiem, līdzvērtīgus pakalpojumu kvalitātes novērtēšanas un mērīšanas principus, ar konkrētām tehnoloģiskām risinājumiem specifiskiem nosacījumiem, ir pamatoti piemērot gan fiksēta, gan mobila pieslēguma punkta gadījumā.
- Lai gan fiksētā un mobilā interneta ātruma iespējamās vērtības vai vērtību izmaiņu dinamika ir ļoti atšķirīga, lai galalietotājiem sniegtu saprotamu informāciju un nodrošinātu vienotu pieeju interneta pakalpojumu sniedzējiem informācijas pieprasījumiem un informācijas sniegšanai lietotājiem, salīdzināmības nolūkos, kā arī regulēšanas ietvarā Regulā 2015/2120 par piekļuvi atvērtam internetam noteikto prasību īstenošanai, ir secināts, ka iespējams lietot vienotu matemātisko aprēķinu modeli mobilā interneta pakalpojumiem gan fiksētajā, gan mobilajā elektronisko sakaru tīklā.
- Piektās paaudzes – 5G – tehnoloģijas kvalitātes uzraudzības nodrošināšanai ir iespējams komplekss risinājums platjoslas interneta pakalpojumu kvalitātes rādītāju novērtēšanai, ietverot gan “centrālā” references punkta, gan izkliedētu references punktu arhitektūras kombināciju, sniedzot iespēju elastīgi paplašināt mērījumu klāstu atbilstoši konkrētiem piektās paaudzes – 5G – tehnoloģijas platformā sniegtajiem pakalpojumiem.

Promocijas darba rezultātu izmantošana

- Promocijas darba izstrādes laikā iegūtie un pētījumā atspoguļotie rezultāti izmantoti septiņos starptautiskos ar elektronisko sakaru pakalpojumu kvalitāti saistītos projektos, kā arī četros starpvalstu elektronisko sakaru nozares semināros.
- Promocijas darbā ir apkopoti ar platjoslas interneta pakalpojuma kvalitāti saistīti pabeigta pētījuma rezultāti, sniedzot priekšlikumus pilnībā funkcionējoša kompleksa kvalitātes uzraudzības modeļa ieviešanai, iespēju robežās nodrošinot izstrādātā modeļa ieviešanu starptautiska līmeņa *CEPT* regulējošā dokumentācijā (pārskats: *ECC Report 195 – 2013*; pārskata projekts: *Draft ECC Report 312 – 2019*; rekomendācija un tās papildināta un jaunināta versija: *ECC Recommendation (15) 03 – 2015 & 2018*), kā arī praktisku realizāciju Latvijas mērogā (SPRK kvalitātes noteikumi Nr. 1/31 30.11.2017., metodika Nr. 1/30 23.11.2017., platjoslas interneta mērīšanas sistēma *ITEST* – <https://itest.sprk.gov.lv/>).

Promocijas darbā aizstāvamās tēzes

1. Pakalpojumu kvalitātes uzraudzības ietvars, mērīšanas principi un references jeb atskaites punkti mērījumu nodrošināšanai ir ieviešami piektās paaudzes – 5G – tehnoloģijas plānotajiem risinājumiem ar tīkla resursu segmentēšanu un specifiskiem jeb specializētiem pakalpojumiem, kā arī fiksētā tīkla risinājumiem un esošajos trešās – 3G – un ceturtās – 4G – tehnoloģiju mobilajos elektronisko sakaru tīklos,

sniedzot mērījumu rezultātu un atbilstošu kvalitātes rādītāju salīdzināmību starp tehnoloģiju paaudzēm, vienlaikus nodrošinot mērījumu metodoloģijas atbilstību aktuālā pakalpojumu klāsta, galiekārtu un pakalpojumu izmantošanas mērķa specifikai.

2. Platjoslas interneta piekļuves pakalpojuma novērtēšanai ir iespējams ieviest un piemērot ilgtspējīgu novērtēšanas metodoloģijas modeli, kas dažādiem adresātiem jeb dažādam informācijas lietotāju lokam nodrošina pakalpojuma kvalitātes objektīvu, visaptverošu un dažādos analītiskos griezumus salīdzināmas kvalitātes rādītāju informācijas iegūšanu.
3. Platjoslas interneta pieslēguma ātruma vērtības iespējams grupēt lejupielādes un augšupielādes pieslēguma ātruma kategorijās, kas nodrošina aptverošu un pilna apjoma informāciju par lietotājam faktiski pieejamo un dažādās situācijās sagaidāmo pieslēguma ātrumu, vienlaikus nodrošinot harmonizētu pieslēgumu uzskaiti, informāciju kvalitātes deklarācijās, interneta pakalpojuma līgumu nosacījumu noteikšanu un uzraudzību, kā arī mērījumu datu analītiku salīdzināmā griezumā.

Veicot gan eksperimentālus mērījumus, gan praktiski ieviešot pētījuma rezultātā izstrādāto kvalitātes uzraudzības mērījumu metodoloģijas koncepciju, tostarp atvērta interneta piekļuves regulējuma prasību ietvaru harmonizējot ar citiem tiesiskās un tehniskās regulēšanas normatīvajiem aktiem, ir secināms, ka promocijas darba tēzes ir pierādītas, nodrošinot kvalitātes un elektronisko sakaru nozares rādītāju sekmīgu izmantošanu tendenču analītikā un Regulatora uzraudzības funkciju nodrošināšanā.

Promocijas darba rezultātu aprobācija

Promocijas darba galvenie rezultāti prezentēti piecās starptautiskajās zinātniskajās konferencēs, ietverti trīs publikācijās zinātniskajos žurnālos un piecos rakstos pilna teksta konferenču rakstu krājumos, viena publikācija iesniegta un apstiprināta dalībai zinātniskajā konferencē 2019. gada nogalē. Sešas publikācijas no minētajām ir iekļautas *SCOPUS* datubāzē ar citējamības indeksu $H = 2$. *Web of Science* datubāzē iekļautas piecas publikācijas.

Ziņojumi starptautiskajās konferencēs

1. **Lipenbergs, E.**, Bobrovs, V., Ivanovs, Ģ. Quality of Service Measurements References Investigation for the Mobile Internet Services in the Context of Net Neutrality Framework. No: 2016 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2016 Shanghai): Proceedings, Ķīna, Šanhaja, 8.–11. augusts, 2016. [*SCOPUS, Web of Science*].
2. **Lipenbergs, E.**, Stafecka, A., Ivanovs, Ģ., Smirnova, I. Quality of Service Measurements and Service Mapping for the Mobile Internet Access. No: 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium – Spring (PIERS 2017), Krievija, Sanktpēterburga, 22.–25. maijs, 2017. [*SCOPUS, Web of Science*].
3. Stafecka, A., **Lipenbergs, E.**, Bobrovs, V., Sharashidze, T. Quality of Service Methodology for the Development of Internet Broadband Infrastructure of Mobile

Access Networks. No: 2017 Electronics: Proceedings of the Conference, Lietuva, Palanga, 19.–21. jūnijs, 2017. [*SCOPUS*].

4. **Lipenbergs, E.**, Smirnova, I., Stafecka, A., Ivanovs, Ģ., Gavars, P. Quality of Service Parameter Measurements Data Analysis in the Scope of Net Neutrality. No: 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium – Fall (PIERS 2017), Singapūra, Nanyang, 19.–22. novembris, 2017. [*SCOPUS, Web of Science*].
5. Smirnova (Vagale), I., **Lipenbergs, E.**, Bobrovs, V., Gavars, P., Ivanovs, Ģ. Network Slicing in the Scope of Net Neutrality Rules. No: Progress In Electromagnetics Research Symposium – Spring (PIERS 2019), Itālija, Roma, 17.–20. jūnijs, 2019.
6. Smirnova (Vagale) I., **Lipenbergs E.**, Bobrovs V., Ivanovs Ģ., “The Analysis of the Impact of Measurement Reference Points in the Assessment of Internet Access Service quality”// Proceedings of Progress In Electromagnetics Research Symposium PIERS 2019-Fall, PIERS, Ķīna, Xiamen 17.–20. decembris, 2019.

Publikācijas zinātniskajos žurnālos

1. Virtmanis, A., **Lipenbergs, E.**, Ķerņakovs-Neimarks, A./ “Система контроля качества услуг электронной связи в Латвии” (“The QoS Measurement System for the Electronic Communications Services Monitoring in Latvia”) Веснік сувязі, 2015, N 3–4, pp. 35–39.
2. **Lipenbergs, E.**, Bobrovs, V., Ivanovs, Ģ., “Quality of service measurements reference points investigation for the internet service on mobile networks”// Proceedings of LATVIAN JOURNAL OF PHYSICS AND TECHNICAL SCIENCES, LV, 2016, N 5, pp. 65.–73. [*SCOPUS, Web of Science*].
3. Smirnova (Vagale), I., **Lipenbergs, E.**, Bobrovs, V. “Mathematical algorithm for processing measurement results of internet access service in the scope of net neutrality”// Proceedings of LATVIAN JOURNAL OF PHYSICS AND TECHNICAL SCIENCES, LV, 2018, N 3, pp. 63.–69. [*SCOPUS, Web of Science*].

Raksti pilna teksta konferenču rakstu krājumos

1. **Lipenbergs, E.**, Bobrovs, V., Ivanovs, Ģ. Quality of Service Measurements References Investigation for the Mobile Internet Services in the Context of Net Neutrality Framework. In: 2016 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2016 Shanghai): Proceedings, China, Shanghai, 8–11 August, 2016., pp. 4248.–4252. [*SCOPUS, Web of Science*].
2. **Lipenbergs, E.**, Stafecka, A., Ivanovs, Ģ., Smirnova, I. Quality of Service Measurements and Service Mapping for the Mobile Internet Access. In: 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium – Spring (PIERS 2017), Russia, Saint Petersburg, 22–25 May, 2017. pp. 2526.–2532. [*SCOPUS, Web of Science*].
3. Stafecka, A., **Lipenbergs, E.**, Bobrovs, V., Sharashidze, T. Quality of Service Methodology for the Development of Internet Broadband Infrastructure of Mobile Access Networks. In: 2017 Electronics: Proceedings of the Conference, Lithuania, Palanga, 19–21 June, 2017., pp. 61–65. [*SCOPUS*].

4. **Lipenbergs, E.**, Smirnova (Vagale), I., Stafacka, A., Ivanovs, Ģ., Gavars, P. Quality of Service Parameter Measurements Data Analysis in the Scope of Net Neutrality. In: 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium – Fall (PIERS 2017), Singapore, Nanyang, 19–22 November, 2017., pp. 1–5. [*SCOPUS, Web of Science*].
5. Smirnova, I., **Lipenbergs, E.**, Bobrovs, V., Gavars, P., Ivanovs, Ģ. Network Slicing in the Scope of Net Neutrality Rules. In: Progress In Electromagnetics Research Symposium – Spring (PIERS 2019), Italy, Rome, 17–20 June, 2019., pp. 1–7.

Darba apjoms un struktūra

Promocijas darba apjoms ir 184 lapaspuses, ietverot ievaddaļu vispārējās situācijas un problēmjauditājumu izpētei, trīs pētījumam un priekšlikumiem veltītas nodaļas, kopsavilkumu, kā arī literatūras sarakstu un pielikumus.

Promocijas darba **pirmajā nodaļā** sniegts vispārējs platjoslas interneta pakalpojuma rādītāju apskats un prognozes, pētot starptautisku kompāniju, piemēram, “*Cisco Systems*”, *Inc.*, *GSMA*, *OECD*, *BEREC*, kā arī Latvijā SPRK pieejamos datus. Kā nozīmīgākā tendence atzīmējama aizvien jaunu pakalpojumu pieejamība, piemēram, augstas un ļoti augstas izšķirtspējas video straumēšana, tiešsaistes spēles, telemedicīna, video konferences, tiešsaistes iepirkšanās, savienotās automašīnas, starpierīču (*D2D*) jeb mašīnsaziņa (*M2M*), lietu internets (*IoT*), kā arī citi pakalpojumi, kas nodrošināti IP vidē. Tas veicina IP datu apjoma lietojuma ievērojamu pieaugumu un elektronisko sakaru komersantiem izvirza aizvien jaunas prasības tīkla infrastruktūras attīstīšanā un pakalpojumu kvalitātes nodrošināšanai.

Promocijas darba **otrajā nodaļā** atspoguļots un izvērtēts Latvijā piemērotais regulēšanas ietvars saistībā ar interneta pakalpojumu, kas izriet no Eiropas digitālā vienotā tirgus stratēģijas un stratēģijas par savienojamību Eiropas gigabitu sabiedrībai. Likumdošanas regulējumu nosaka direktīvu kopa, kas iestrādāta nacionālajā likumdošanā, galvenokārt Elektronisko sakaru likumā. Vienlaikus ir spēkā un tieši piemērojams saistībā ar interneta pakalpojumu, īpaši saistībā ar atvērtu piekļuvi internetam, piekļuves atvērtam internetam jeb iepriekšējā terminoloģijā dēvētais “tīkla neitralitātes” regulējums. Saistībā ar direktīvu kopu, kā arī ar citiem tieši vai netieši piemērojamiem normatīvajiem dokumentiem, tostarp nacionālā līmeņa tehniskā regulējuma normatīvajiem aktiem, interneta pakalpojuma kvalitātes regulējumu papildus ietekmē un nosaka *ETSI* vadlīnijas, *ITU* rekomendācijas, *CEPT ECC* dokumenti attiecībā uz interneta piekļuves pakalpojumu.

Promocijas darba **trešajā nodaļā** sniegts pētījuma pārskats pakalpojumu kvalitātes mērīšanas metodiku izpētei, harmonizētu uzraudzības modeļu izstrādei un to ieviešanas scenārijiem. Lai nodrošinātu regulēšanas ietvarā noteiktās prasības saistībā ar pakalpojumu kvalitāti un lietotājiem pieejamu atbilstīgu un atjauninātu informāciju par kvalitātes rādītājiem, ir nepieciešams, ka valsts uzraugošās atbildīgās institūcijas nosaka publicējamās informācijas saturu, formu un veidu, lai lietotājiem un patērētājiem šādu informāciju nodrošinātu.

Promocijas darbā pierādīts, ka atbilstoši veiktajai izpētei un risinājumu praktiskās realizācijas izvērtējamam, neraugoties uz šobrīd pastāvošo ar interneta pakalpojumu saistīto

regulējumu un normatīvo aktu daudzveidību un sadrumstalotību, ir iespējams ieviest atbilstošus regulējumus un nosacījumus kvalitātes novērtēšanai, kā arī jēgpilnas informācijas pieejamībai saistībā ar platjoslas interneta pakalpojuma rādītājiem. Vienlaikus ir piedāvātas efektīvi funkcionējošu novērtēšanas metodoloģiju un tehniskos risinājumu koncepcijas. Interneta pakalpojuma kvalitātes novērtēšanas sistēmas pilna apjoma funkcionalitātei ir sniegts risinājums, kas nodrošina efektīvu, nedublētu interneta pakalpojuma uzraudzību spēkā esošo tiesisko regulējumu un standartizācijas dokumentāciju ietvarā.

Promocijas darba ceturtajā daļā sniegti pētījuma rezultāti un priekšlikumi pakalpojumu kvalitātes mērīšanas rezultātu iegūšanai un mērījumu datu apstrādei, kas nodrošina informācijas analītikas un vizualizācijas scenāriju principu noteikšanu, kas piemērojami dažāda veida platjoslas interneta rādītāju atspoguļošanai, piemēram, informācijai par pieslēguma ātrumu līgumos, publiskajā telpā vai kvalitātes deklarācijās. Priekšlikumi izmantojami, lai, sasniedzot definēto mērķi, nodrošinātu iespējami plašu, visaptverošu un gan lietotājiem, gan pakalpojumu sniedzējiem noderīgu informāciju atbilstoši Regulā 2015/2120 par piekļuvi atvērtam internetam noteiktajām prasībām interneta piekļuves pakalpojumiem mobilajā tīklā.

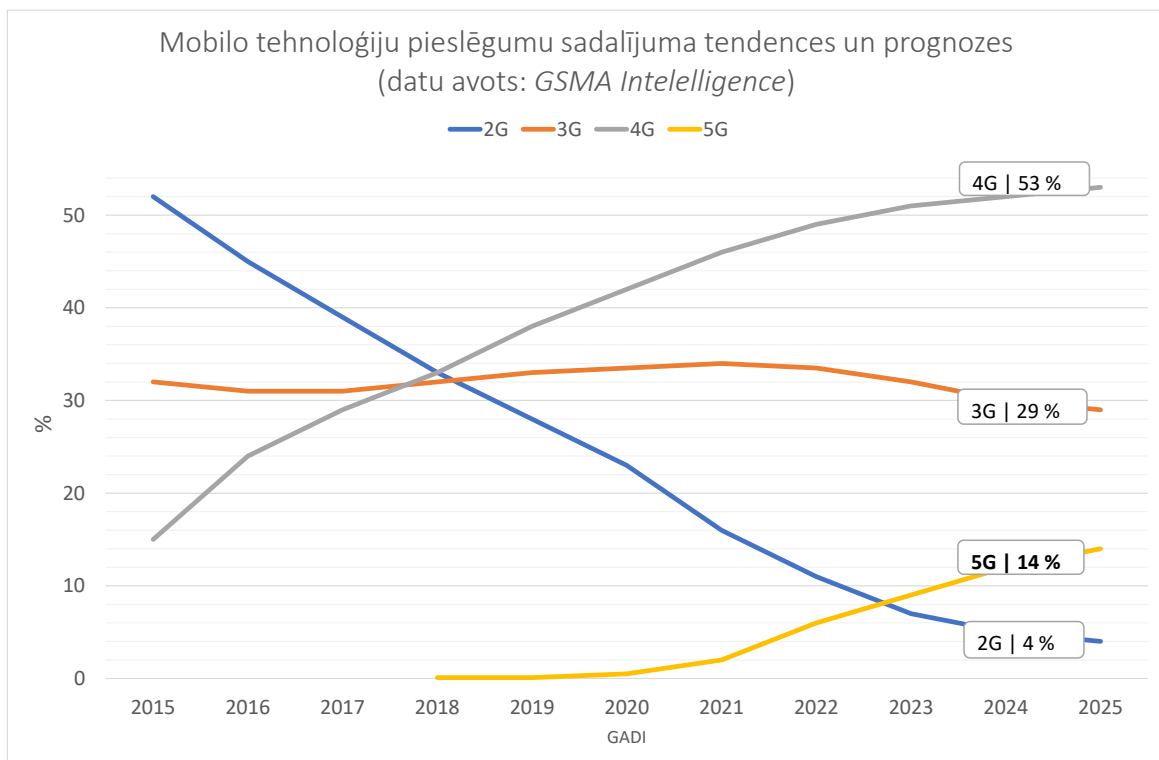
Promocijas darba **noslēgumā** ir apkopoti un pamatoti darba nozīmīgākie secinājumi un paveiktais, izstrādājot harmonizētu interneta piekļuves kvalitātes uzraudzības aktivitāšu kopumu, kā arī ir definēti turpmākie pētījumu virzieni.

PROMOCIJAS DARBA NODAĻU IZKLĀSTS

Promocijas darba pirmā nodaļa

Promocijas darba **pirmajā nodaļā** vērtēti platjoslas interneta pakalpojuma rādītāji un prognozes, kas iekļautas “Cisco Systems”, Inc., GSMA, OECD, BEREC, Eiropas Komisijas un citu Eiropas ekonomiskās zonas un globālu institūciju un kompāniju publikācijās un pārskatos, kā arī vērtēti un analizēti SPRK rīcībā esošie dati.

Globālo, kā arī konkrētu pasaules valstu ekonomisko un tehnoloģiju attīstības rādītāju atspoguļošanas un pētījumu virzības līderpozīcijas pieder Ekonomiskās sadarbības un attīstības organizācijai – OECD, kuras pētījumi saistībā ar interneta piekļuves pakalpojumu aptver, piemēram, informācijas un komunikāciju tehnoloģiju (ICT) investīciju jomu, kas vispārīgā formātā raksturo iekārtu un datoru programmatūras iegādi, ko izmanto ražošanā vai pakalpojumu sniegšanā vairāk nekā gadu un kas ietver informācijas tehnoloģiju iekārtas – datoru un ar tiem saistīto aparatūru, sakaru iekārtas un programmatūru. Šo rādītāju mēra kā procentuālo daļu no kopējā ražošanas sektora bruto pamatkapitāla veidošanas. Vienlaikus rādītāja novērtēšanā un ekonomisko indikatoru analītikā tiek vākta un analizēta informācija par platjoslas interneta piekļuvi ar pieslēguma ātrumu vismaz 256 kilobiti sekundē, kas ietver fiksētās un bezvadu mobilās platjoslas pieslēgumu, kā arī biznesa lietotāju un mājāsaimniecību lietotāju pieslēgumu rādītājus [8], [9].



2. att. GSMA Intelligence prognozes līdz 2025. gadam mobilo pieslēgumu skaita sadalījumam pa mobilo tehnoloģiju paaudzēm – 2G, 3G, 4G un 5G [16].

GSMA Intelligence veiktajos pētījumos attiecībā uz iespējamo 5G tehnoloģijas attīstību un scenārijiem analizēti ilggadējie statistikas rādītāji mobilo pieslēgumu skaita dinamikā attiecīgajās tehnoloģijās, rezultātā publicējot prognozes, kā turpmākajos gados varētu pārgrupēties mobilo pieslēgumu skaits katrā no mobilo tehnoloģiju paaudzēm, tajā skaitā sniedzot prognozes par 5G tehnoloģijas iespējamo pieslēgumu apjomu mobilajā tīklā ar pieaugumu, sākot no 2020. līdz 2025. gadam, sasniedzot 14 % atzīmi (2. att.).

Ņemot vērā platjoslas interneta piekļuves pakalpojuma attīstības prognozes un dažādu kompāniju veiktos pētījumus, kā arī lielāko operatoru vai operatoru asociāciju veikto tirgus situācijas izpēti, operatoriem ir ļoti nozīmīgi pieejamie dati, ņemot vērā lietotāju pieprasījumu pēc aizvien lielākiem pieslēguma ātrumiem un datu apjomiem interneta vidē.

Eiropas Komisijai informāciju par platjoslas interneta piekļuvi nodrošina dalībvalstu sniegtā informācija par interneta platjoslas rādītājiem, par to ik gadus tiek sagatavots apjomīgs pētījums par platjoslas pārklājumu Eiropā, lai uzraudzītu un pastāvīgi aktualizētu informāciju par progresu Eiropas digitālās programmas ietvaros, ietverot digitālā vienotā tirgus attīstības mērķus par piekļuvi ātram un īpaši ātram internetam – līdz 2020. gadam nodrošināts universāls platjoslas interneta pārklājums ar pieslēguma ātrumu **visiem lietotājiem ne zemāku par 30 megabitiem sekundē, platjoslas interneta pārklājums ar pieslēguma ātrumu ne zemāku par 100 megabitiem sekundē 50 % māsaimniecību**, kā arī līdz 2025. gadam **ne mazāk par 100 megabitiem sekundē ar iespēju uzlabot pieslēguma ātrumu līdz 1 gigabitam sekundē** [3]–[7].

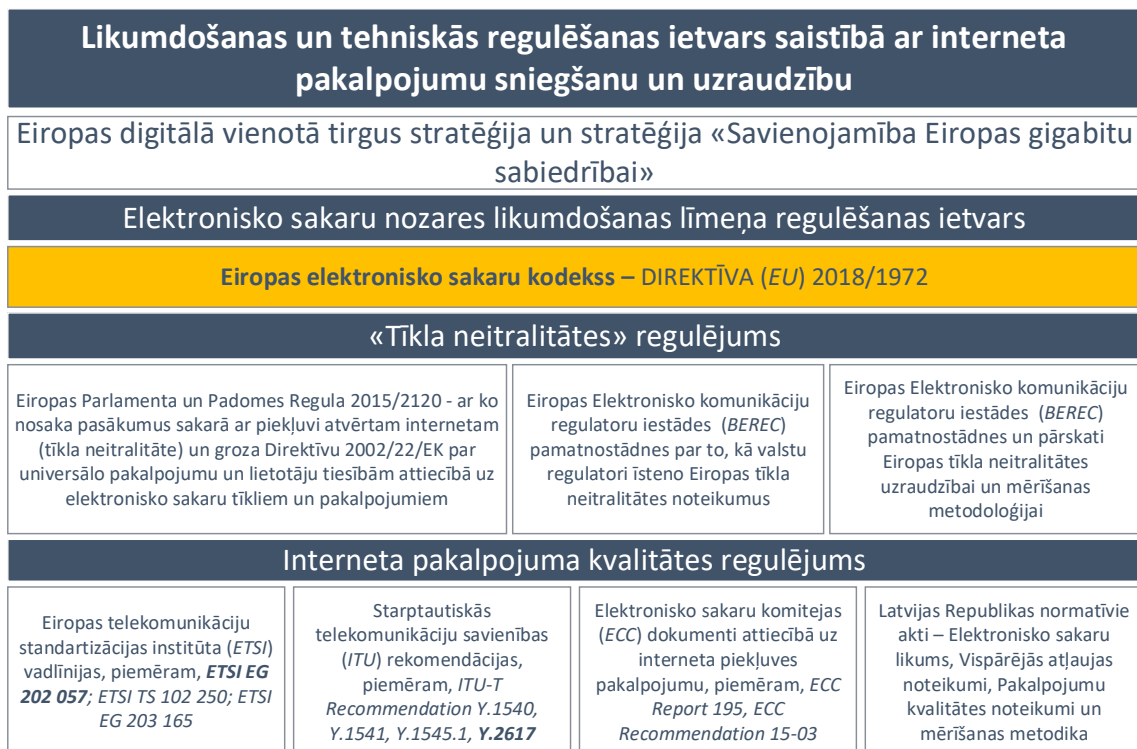
Promocijas darba otrā nodaļa

Promocijas darba **otrajā nodaļā** ir pētīts un izvērtēts regulēšanas ietvars saistībā ar interneta pakalpojumu un tā uzraudzību atbilstoši Eiropas digitālā vienotā tirgus stratēģijai un stratēģijai par savienojamību Eiropas gigabitu sabiedrībai [3]–[5].

Izvērtējot spēkā esošo, kā arī ieviešanā līdz ar Eiropas elektronisko sakaru kodeksa spēkā stāšanos plānoto tiesisko jeb likumdošanas un tehniskās regulēšanas ietvaru, piekļuves atvērtam internetam jeb “tīkla neitralitātes” un interneta pakalpojuma kvalitātes regulējumu kopas, kā būtiska atzīmējama tehnisko regulējumu un interneta pakalpojuma kvalitātes uzraudzības un nosacījumu daudzveidība, sadrumstalotība un dažādība, kas gan uzraugošajām institūcijām, gan pakalpojumu sniedzējiem bieži vien ir apgrūtināši piemērojama, kā arī ir nepietiekami skaidrs prasību piemērošanas apjoms [1], [11], [12], [17]–[28].

Sākot no 2018. gada decembra, ir spēkā jauns regulēšanas ietvars, kas elektronisko sakaru nozares likumdošanas ietvarā esošo direktīvu kopu aizvieto regulēšanas pamatprincipu noteikšanā (3. att.), regulējumu un nosacījumus nosakot Eiropas elektronisko sakaru kodeksā, ko dalībvalstīm divu gadu laikā jāievieš nacionālajā likumdošanā [1], [20]–[22].

Interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes novērtēšanas tehnisko aspektu standartizācijas jomā esošie aktuālie dokumenti ir *ETSI* vadlīnijas, *ITU* rekomendācijas [23]–[28], kā arī *CEPT ECC* dokumenti attiecībā uz interneta piekļuves pakalpojumu, kuros iekļauta nozīmīga daļa promocijas darba pētījuma [2], [14], [29], [34], [36].



3. att. Likumdošanas un tehniskās regulēšanas ietvars saistībā ar interneta pakalpojumu sniegšanu un uzraudzību.

Regulēšanas ietvara izpētes gaitā ir secināts, ka interneta pakalpojuma kvalitātes uzraudzības rezultātam un mērķim ir jābūt tādām, lai uzraudzības ietvarā tiktu iegūta lietderīga, izmantojama, pārskatāmi salīdzināma un tiesiski pamatota informācija konkrētu lēmumu pieņemšanā vai uzraudzības pasākumu piemērošanā, tajā skaitā par tehniskajiem interneta piekļuves pakalpojuma rādītājiem, piemēram, par interneta pakalpojuma pieslēguma ātrumu vai ar datu pārraides aiztures laiku un ar datu pakešu pārsūtīšanas laiku saistītiem parametriem. Vienlaikus nepieciešams nodrošināt, lai aptverošas informācijas iegūšana neradītu pārmērīgu slogu pakalpojumu sniedzējiem un uzraugošajām institūcijām, izvērtējot dažādu regulējumu un to līmeņu piemērošanu, kā arī savstarpēju harmonizēšanu, izvēloties atbilstoši auditorijai, piemēram, pakalpojumu sniedzējiem, uzraugošajām institūcijām un lietotājiem nozīmīgākos un raksturojošākos parametrus no daudzu desmitu parametru klāsta, kā arī optimālākos interneta pakalpojuma kvalitātes mērīšanas vai novērtēšanas algoritmus.

Promocijas darba trešā nodaļa

Promocijas darba **trešajā nodaļā** sniegts pētījuma izklāsts pakalpojumu kvalitātes mērīšanas metodiku izpētei, harmonizētu uzraudzības modeļu izstrādei un to ieviešanas scenārijiem.

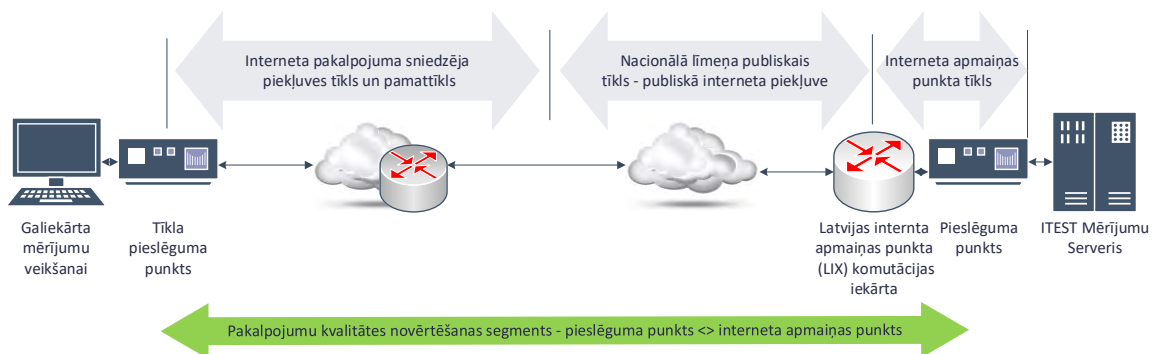
Ņemot vērā interneta piekļuves pieslēgumu skaita pieaugumu un dažādu datu avotu sniegtās prognozes tuvāko nākamo gadu laikā, īpaši mobilā interneta sektorā, attīstoties 5G tehnoloģijas tīkliem (1. un 2. att.), kas īpaši paredzēti starpierīču jeb mašīnsaziņas (M2M) pakalpojumiem, ir nepieciešams nodrošināt augstas kvalitātes pakalpojumu pieejamību. Pakalpojumu kvalitātes rādītāji var būt atšķirīgi dažādu elektronisko sakaru tīklu tehnoloģiju gadījumā, kā arī

tehnoloģiju paaudžu attīstīšanas gaitā, tomēr ir jānodrošina savstarpēja salīdzināmība dažādos griezumos – gan starp dažādu tehnoloģiju risinājumiem, tostarp tehnoloģiju un tehnisko risinājumu kombinācijās, gan starp operatoriem, gan arī laika griezumā, kā arī citās kategorijās atkarībā no informācijas izmantošanas mērķa. Tas prasa vienotu un harmonizētu kvalitātes uzraudzības un mērīšanas pieeju, vienlaikus nodrošinot diferencētu novērtēšanu, piemēram, atkarībā no elektronisko sakaru tīkla veida – fiksētais vai mobilais tīkls –, kā arī citiem faktoriem, piemēram IP vidē sniegto jeb nodrošināto pakalpojumu spektra.

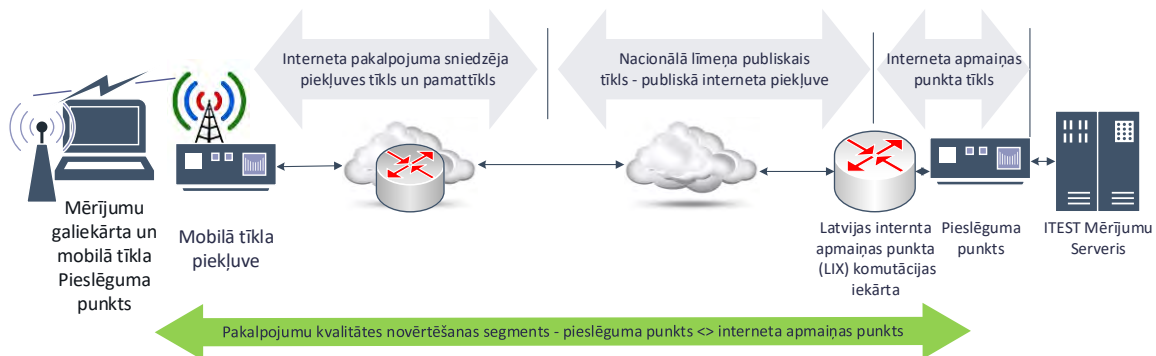
Promocijas darbā definēto uzdevumu un mērķu sasniegšanai pakalpojumu kvalitātes novērtēšanas rādītāju aspektā, ir nepieciešama:

- pakalpojumu kvalitāti raksturojošo būtiskāko parametru noteikšana;
- mērīšanas metodoloģijas un principu noteikšana – kā, kad un cik daudz mērīt;
- mērījumu atskaites punktu jeb referenču noteikšana – kur mērīt.

Eksperimentāliem mērījumiem izmantota SPRK Interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes kontroles sistēma *ITEST*, kas veidota, izmantojot kompānijas *Visualware Inc.* programmatūras “*MyConnection Server*” platjoslas interneta mērīšanas rīka vairāku moduļu integrētu risinājumu [32], [33]. Eksperimentālo mērījumu nodrošināšanai izmantota mērīšanas sistēma atbilstoši šādai vispārējai struktūrshēmai ar fiksētu pieslēguma punktu (4. att.) un ar mobilu pieslēguma punktu (5. att.).



4. att. Pakalpojumu kvalitātes rādītāju mērījumu nodrošināšanas pieslēgumu vispārējā arhitektūra mērījumu veikšanai no fiksēta tīkla pieslēguma punkta līdz *LIX* pieslēguma punktam *IXP*.

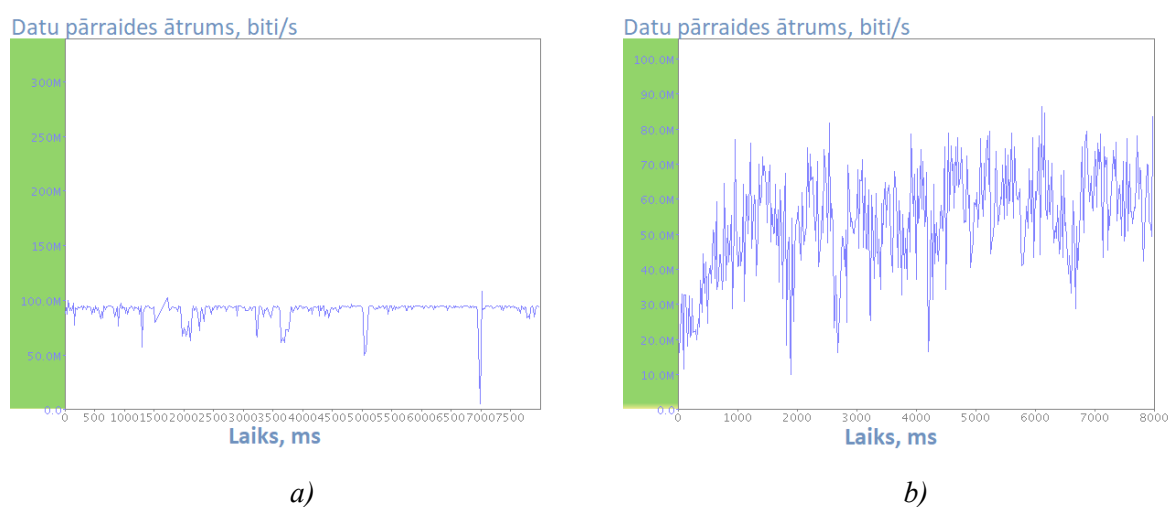


5. att. Pakalpojumu kvalitātes rādītāju mērījumu nodrošināšanas pieslēgumu vispārējā arhitektūra mērījumu veikšanai no mobila tīkla pieslēguma punkta līdz *LIX* pieslēguma punktam.

Mērījumi tiek nodrošināti tīkla segmentā no galiekārtas, kas nodrošina savienojumu ar tīkla pieslēguma jeb pabeigšanas punktu līdz interneta apmaiņas punkta pieslēguma jeb pabeigšanas punktam pieslēgtam mērījumu serverim [13], [37].

Parametri, kas saistīti ar datu pārraides jeb interneta pieslēguma ātrumu, ir vērtējami kā nozīmīgi, vērā ņemot, ka tie pakalpojuma lietotājam ir saprotami, tiek uzrādīti pakalpojumu sniedzēju piedāvājumos, ar dažādu pakāpi ietekmē faktiski visus pakalpojumus un lietotnes interneta vidē, kā arī ir izmērāms parametrs elektronisko sakaru tīkla līmenī un, izmantojot atbilstošus algoritmus, salīdzināms ar vērtībām lietotņu līmenī, piemēram, specializētas programmatūras vai pārlūka saskarnē.

Pētījuma piemēri pieslēguma ātruma izmaiņām dažādos diennakts laikos fiksētajā *FTTH* (100 Mbit/s) tīklā un mobilajā 4G tīklā uzrāda būtiskas pieslēguma ātruma izmaiņu dinamikas atšķirības (6. att.).



6. att. Eksperimentāla mērījuma piemērs lejupielādes pieslēguma ātruma izmaiņām fiksētajā *FTTH* (100 Mbit/s) tīklā (a) un mobilajā 4G tīklā (b) vienas mērījumu sesijas laikā.

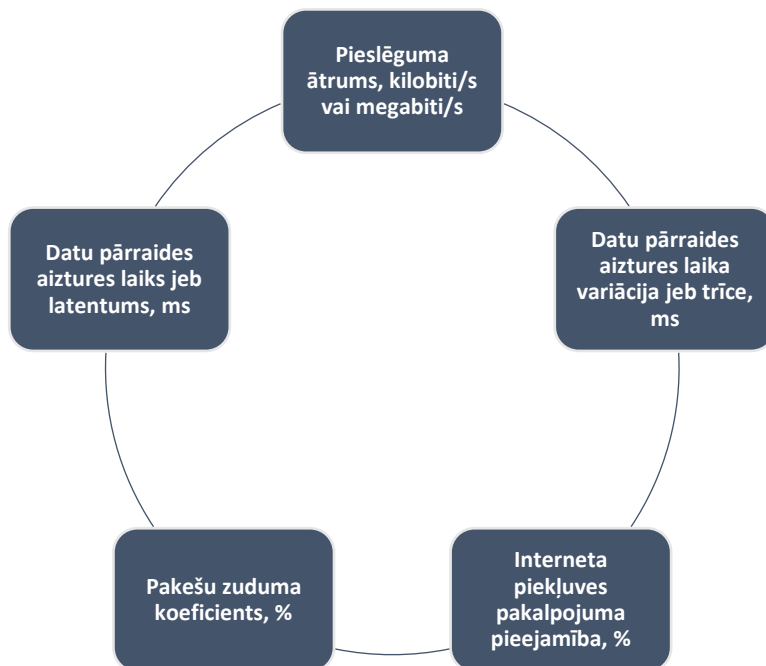
FTTH fiksētajā tīklā īslaicīgi atsevišķos laika momentos pieslēguma ātruma vērtības izmaiņas sasniedz dažu desmitu procentu atšķirību, savukārt piemērā attēlotajā mobilajā 4G tīklā izmaiņu dinamika ir pastāvīga jeb dominējoša, pieslēguma ātruma vērtībām variējot faktiski visā konkrētā tehnoloģijā iespējamā pieslēguma ātruma diapazonā, atsevišķu mērījuma sesiju laikā sasniedzot arī “0” vērtību, kas raksturo īslaicīgu datu pārraides pārtraukumu. 6. attēlā redzamas pieslēguma ātruma vērtību izmaiņas jeb fluktuācijas vienas mērījuma sesijas fragmentam. Tas nozīmē, ka, neraugoties uz regulēšanas ietvarā noteiktajām prasībām pieslēguma ātruma vērtību pilnu klāstu attiecināt tikai uz fiksētā tīklā sniegtu pakalpojumu, visu pieslēguma ātrumu veidu, piemēram, parasti pieejamā ātruma, kā arī minimālās un maksimālās vērtības vienlīdz nozīmīgi noteikt gan fiksētā, gan arī mobilā tīkla pieslēgumiem.

Analizējot eksperimentālo mērījumu datu pārraides aiztures laika variācijas vērtību izmaiņas saistībā ar interneta pieslēguma kvalitātes vispārīgiem rādītājiem, īpaši attiecībā uz pieslēguma ātruma izmaiņām, vērojams, ka – īpaši mobilajā 3G un 4G tehnoloģijas tīklā – pie augstākām aiztures laika variācijas vērtībām ir fiksētas būtiski zemākas interneta pieslēguma

ātruma vērtības, aiztures laika variācijām pārsniedzot divas milisekundes, pieslēguma ātruma vērtības samazinās par aptuveni 50 % no maksimālā pieslēguma ātruma; robežās līdz piecām milisekundēm pieslēguma ātruma vērtības sasniedz ap 30 % no maksimālā pieslēguma ātruma, savukārt, aiztures laika variācijas vērtībām esot augstākām par 10 milisekundēm, pieslēguma ātruma vērtības fiksētas dažu procentu robežās, nepārsniedzot 10 % no maksimālā pieslēguma ātruma vērtības. Ar datu pārraides pakešu aiztures laiku (*RTT*) saistīto parametru ietekmi interneta pakalpojuma nodrošināšanā, rādītāju izmaiņu dinamiku un atkarību no elektronisko sakaru tīkla veida un citiem ietekmējošiem faktoriem, datu pārraides laika un datu pārraides aiztures laika variāciju raksturojošo rādītāju iekļaušana pastāvīgi novērtējamo kvalitātes indikatoru klāstā ir vērtējama kā būtiska.

Savukārt parametri, kas saistīti ar pakešu kļūdām vai zudumu, ir mērāmi gan tīkla, gan arī lietotņu līmenī un, ņemot vērā uzskaites un mērījumu datu apstrādes principus, uzskatāmi par savstarpēji salīdzināmiem. Salīdzināmas informācijas mērķiem kā lietotājam saprotamāks ir vērtējams parametrs, kas raksturo pakešu zuduma procentuālo apjomu, t. i., pakešu zuduma koeficientu [29], [34].

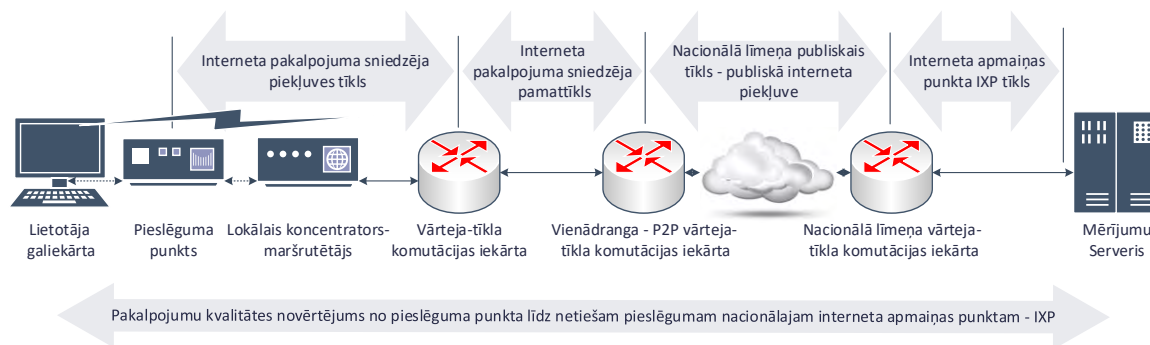
Minimālais tehnisko parametru klāsts, kas vērtējams kā nozīmīgs salīdzināmas un aptverošas informācijas publicēšanai, vienlaikus nodrošinot interneta piekļuves pakalpojuma lietotājam saprotamu un pārskatāmu informācijas apjomu, ietver IP datu pārraides jeb pieslēguma ātruma, datu pārraides aiztures laika jeb latentuma un datu pārraides aiztures laika variācijas jeb trīces raksturlielumus, kā arī novērtējums ir saistāms ar pakalpojuma pieejamību, kas nodrošina tehnisko parametru sasaisti ar administratīvajiem interneta piekļuves pakalpojuma parametriem (7. att.).



7. att. Minimālais parametru klāsts interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes novērtējumam salīdzināmas informācijas publicēšanai.

Platjoslas interneta pakalpojuma raksturojošāko parametru izvēlei izmantota kritēriju virkne, kas pētījumā gaitā izvērtēta, ņemot vērā standartizācijas dokumentāciju, komersantu sniegto informāciju, Eiropas Komisijas pārskatus, *CEPT* dalībvalstu administrāciju aptaujās sniegto viedokli, lietotāju sūdzību izvērtējumu, kā arī pētījuma detalizēto un pētījuma nozīmīgāko daļu – eksperimentālo mērījumu rezultātu analītiku, tādējādi identificējot tehnisko parametru klāstu, kas vērtējams kā lietotājam saprotams ar būtisku ietekmi uz interneta pakalpojumu, mainoties tā raksturlielumiem, kā arī izmantojams salīdzināmas informācijas iegūšanai iepriekš minētajiem mērķiem jeb adresātiem [15].

Pētījumā ir salīdzināti pakalpojumu kvalitātes novērtēšanas references punkti interneta pakalpojuma sniedzēja tīkla ietvarā, interneta pakalpojuma sniedzēja tīkla tiešam un netiešam pieslēgumam pie nacionālā līmeņa interneta apmaiņas punkta, kā arī references punkti, interneta pakalpojuma kvalitātes novērtējumam izmantojot starptautiska līmeņa interneta apmaiņas punktus. Attēlā norādīts pakalpojumu kvalitātes novērtēšanas segments references punktiem no tīkla pieslēguma punkta līdz nacionālā līmeņa interneta apmaiņas punktam netiešam savienojumam (8. att.).



8. att. Pakalpojumu kvalitātes novērtēšanas references punkti no tīkla pieslēguma punkta līdz nacionālā līmeņa interneta apmaiņas punktam netieša savienojuma risinājumam.

Lai nodrošinātu izvēlēto pakalpojumu kvalitātes raksturojošo parametru objektīvi salīdzināmu novērtēšanu, nosakot “kur mērīt”, ir veikta izpēte, lai atbilstoši vērtēšanas mērogam izvēlētos optimālu novērtēšanas posmu jeb references punktus mērījumu veikšanai [14].

Izvērtējot raksturojošo parametru klāsta pētījumu, vērtējot rādītāju dinamiku un saprotamību lietotājiem, līdzvērtīgus pakalpojumu kvalitātes novērtēšanas un mērījumu veikšanas principus ar konkrētam tehnoloģiskam risinājumam specifiskiem nosacījumiem, ir pamatoti piemērot gan fiksēta, gan mobila pieslēguma punkta gadījumā.

Ir vērtēti references jeb mērījumu atskaites punkti:

- pakalpojumu kvalitātes novērtēšanas references punkti interneta pakalpojuma sniedzēja tīkla ietvarā;
- pakalpojumu kvalitātes novērtēšanas references punkti interneta pakalpojuma sniedzēja tīkla tiešam un netiešam pieslēgumam pie nacionālā līmeņa interneta apmaiņas punkta;
- pakalpojumu kvalitātes novērtēšanas references punkti, interneta pakalpojuma kvalitātes novērtējumam izmantojot starptautiska līmeņa interneta apmaiņas punktus.

Faktiskos apstākļos ne visiem operatoriem ir izveidots tiešs pieslēgums nacionālā vai reģionālā līmeņa interneta apmaiņas punkta komutācijas iekārtai. Šajā gadījumā, veicot pakalpojumu kvalitātes novērtēšanu, dažādiem operatoriem var būt atšķirīgs datu plūsmas ceļš un komutācijas mezglu skaits līdz mērījumu references punktam. Ņemot vērā to, ka ikviens operators, plānojot un iedalot interneta pieslēgumu kapacitāti lietotājiem, plāno un prognozē datu plūsmas apjomu un noslodzes intensitāti, atbilstoši iegādājot pieslēgumus vairumtirdzniecības līmenī, ir secināts, tostarp veicot eksperimentālus mērījumus, ka arī netiešs pieslēgums nacionālā vai reģionālā līmeņa interneta apmaiņas punkta komutācijas iekārtai sniedz objektīvu, aptverošu un salīdzināmu informāciju par lietotāja pieslēguma kvalitātes rādītājiem. Starptautiska līmeņa references punkti izraugāmi tikai ar specifiskiem nosacījumiem, piemēram, ja elektronisko sakaru tīkls tiek nodrošināts, izmantojot satura piegādes tīklu (*CDN*) vai programmatūras definētu tīklošanas (*SDN*) konfigurāciju [38].

Atbilstoši pētījuma izvērtējumam ir secināts, ka nacionālā līmenī nodrošinātam interneta pakalpojumu kvalitātes salīdzinājumam un pakalpojuma rādītāju dinamikas novērtējumam optimālākais risinājums ir mērījumu references punktu izvēle posmā no galiekārtas pieslēguma punkta līdz valsts nacionālā vai reģionālā līmeņa interneta apmaiņas punktam.

Mērījumu veidi, kas nodrošināmi ar iepriekš minētajām saskarnēm, ir šādi:

- izlases mērījumi izklaidēti ģeogrāfiskā teritorijā;
- sērijveida mērījumi noteiktās ģeogrāfiskās vietās;
- mērījumi kustībā.

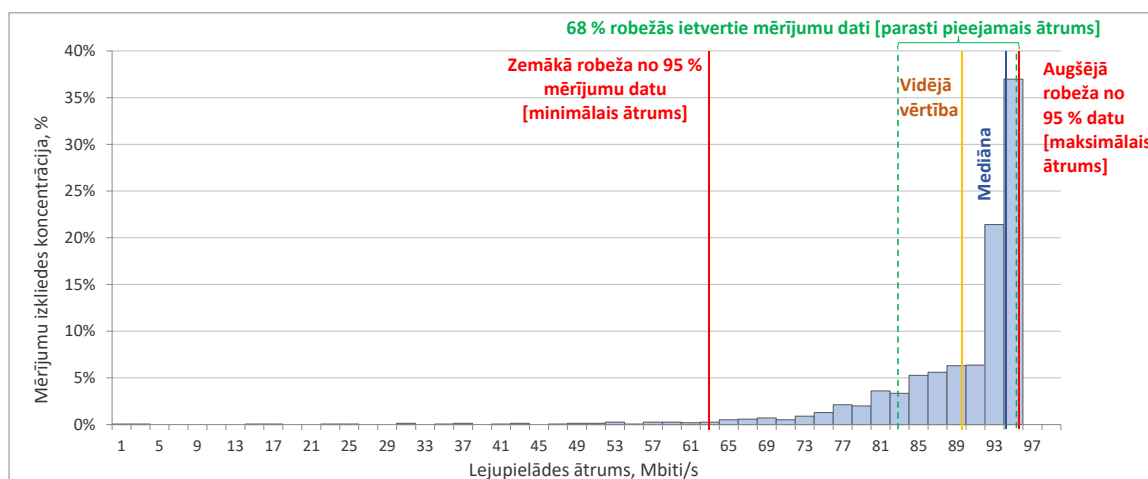
Optimāla informācijas klāsta aptverošas informācijas nodrošināšanai izpētes rezultātā ir rekomendēts izvēlēties visu trīs veidu mērījumus, kas dažādos griezumos raksturo platjoslas interneta pakalpojuma pieejamības un kvalitātes rādītājus – pieslēguma ātruma un datu pārraides aiztures laiku raksturlielumus.

Promocijas darba ceturajā nodaļā

Promocijas darba **ceturtajā nodaļā** sniegti pētījuma rezultāti un priekšlikumi pakalpojumu kvalitātes mērīšanas rezultātu iegūšanai un mērījumu datu apstrādei, kas nodrošina informācijas analītikas un vizualizācijas scenāriju principu noteikšanu, kas piemērojami dažāda veida platjoslas interneta rādītāju atspoguļošanai, piemēram, informācijai par pieslēguma ātrumu līgumos, publiskajā telpā vai kvalitātes deklarācijās.

Lai sasniegtu mērķi nodrošināt iespējami plašu, visaptverošu un gan lietotājiem, gan pakalpojumu sniedzējiem noderīgu informāciju saistībā ar interneta piekļuves pakalpojumiem mobilajā tīklā, jāņem vērā, ka dažādu apsvērumu dēļ interneta piekļuves pakalpojumam mobilā elektronisko sakaru tīklā kvalitātes uzraudzība un novērtēšana prasa diferencētu pieeju, attiecīgi saskaņojot parametru kopumu un mērīšanas metodes, vienlaikus sabalansējot un saglabājot vienotību kopējos mērījumu un datu analītikas principos. Atbilstošas informācijas ieguvei jāņem vērā arī promocijas darbā norādītais saistībā ar faktisko pakalpojumu kvalitātes novērtējumu un vērtību stabilitāti laikā, piemēram, ar interneta ātrumu saistītiem parametriem, kā arī Regulā 2015/2120 par piekļuvi atvērtam internetam noteiktais attiecībā uz mobilā interneta kvalitātes rādītājiem [14].

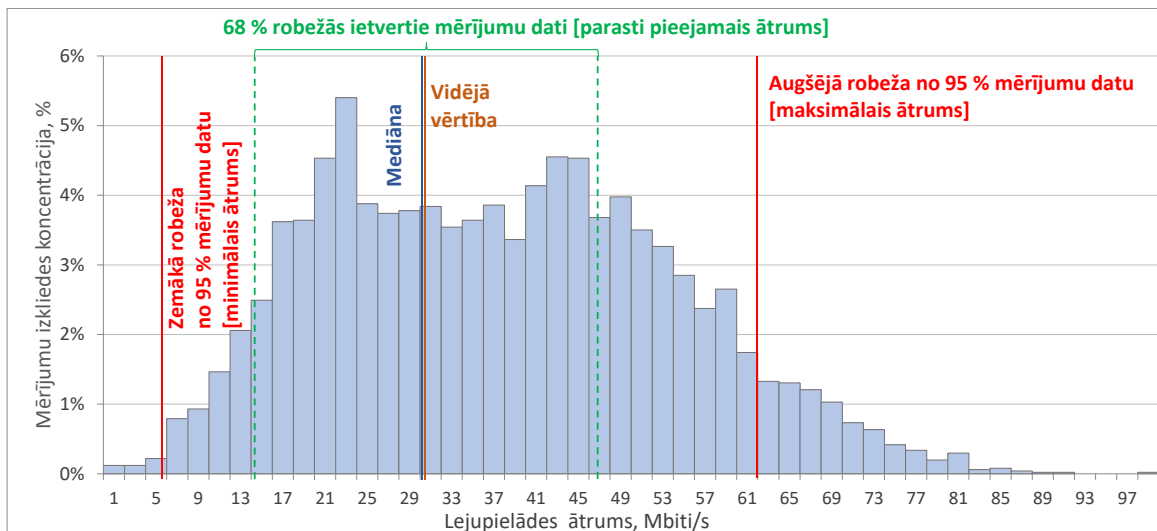
Vienlīdz nepieciešama ir skaidra un aptveroša informācija par īpaši mobilā elektronisko sakaru tīklā iespējamiem ierobežojumiem, piemēram, apjoma pieejamības ziņā vai saistībā ar faktiski sasniedzamiem pieslēguma ātrumiem un to raksturojumu, kā garantēto vērtību pieejamība, maksimālo vērtību nodrošināšana, kā arī operatoru reklamētais jeb publiskajā telpā komerciāli un elektronisko sakaru pakalpojumu līgumā piedāvātais pieslēguma ātrums. Līdztekus interneta pakalpojuma pieslēguma ātruma parametriem kā būtiski svarīgi raksturojošie parametri ir datu pārraides laika raksturojums – latentums jeb aiztures laiks pakešu pārraidē, trīce jeb datu plūsmas pārraides ātruma nevienmērība un pakešu zudums. Ir nepieciešama to vienotas novērtēšanas principu ieviešana, lai lietotājam piedāvātais pakalpojums būtu balstīts uz salīdzināmu, ticamu un piemērojamu parametru un to vērtību kopu, kur, kādu no komponentēm nenodrošinot, lietotāja tiesības būtu aizsargātas, tajā skaitā līgumā nosakot attiecīgo parametru vērtības, kuru nenodrošināšanas gadījumā būtu iespējams prasīt kompensāciju, samazinātu abonēšanas maksu vai līguma izbeigšanu bez līgumsoda vai citām sankcijām.



9. att. Piemērs platjoslas interneta lejupielādes pieslēguma ātruma mērījumu datu koncentrācijai fiksētajā tīklā (*FTTH* 100 megabiti sekundē).

Lai gan fiksētā un mobilā interneta ātruma iespējamās vērtības vai vērtību izmaiņu dinamika ir ļoti atšķirīga, lai galalietotājiem sniegtu saprotamu informāciju un nodrošinātu vienotu pieeju interneta pakalpojumu sniedzējiem informācijas pieprasījumiem un informācijas piegāšanai lietotājiem salīdzināmības nolūkos, kā arī regulēšanas ietvarā noteikto prasību īstenošanai, ir secināts, ka iespējams lietot vienotu matemātisko aprēķinu modeli mobilā interneta pakalpojumiem gan fiksētajā, gan mobilajā elektronisko sakaru tīklā atbilstoši Regulā 2015/2120 par piekļuvi atvērtam internetam noteiktajiem principiem (9. un 10. att.).

Platjoslas interneta raksturojošiem pieslēguma ātruma veidiem ir analizēta to faktiskā piemērošana, izmantojot platjoslas pieslēgumu ātrumu kategorijas un mērījumu rezultātu matemātisko apstrādi, novērtējot mērījumu rezultātu vērtību izkliedi.

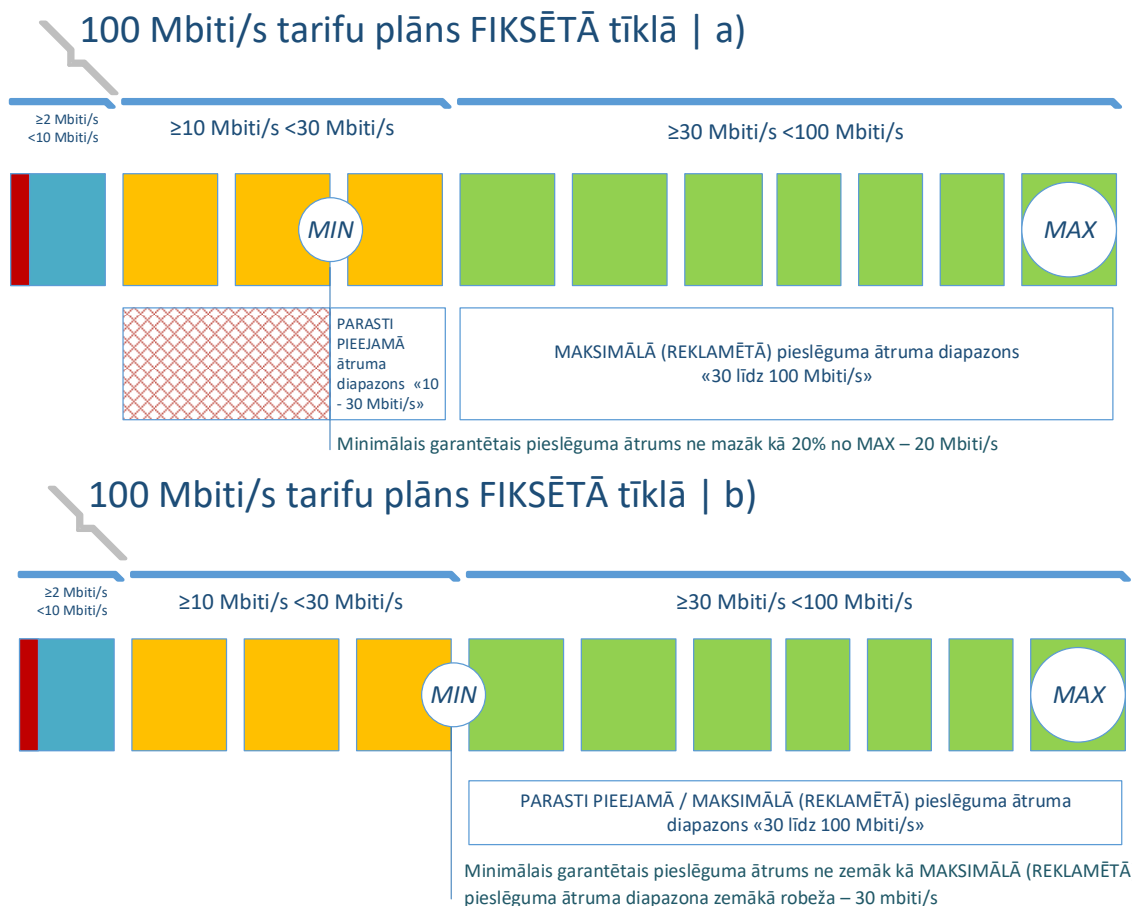


10. att. Piemērs platjoslas interneta lejupielādes pieslēguma ātruma mērījumu datu koncentrācijai mobilajā tīklā (4G).

Neraugoties uz Regulā 2015/2120 par piekļuvi atvērtam internetam noteikto par atsevišķu skaitlisku vērtību norādīšanu pieslēguma ātrumam, izvērtējot mērījumu rezultātus un analizējot mērījumu datu varbūtību sadalījumu jeb izkliedi, secināms, ka objektīvai interneta piekļuves pakalpojuma pieslēguma ātrumu pieejamības atspoguļošanai ir nepietiekama atsevišķu skaitlisku vērtību norādīšana. Aptverošas informācijas nodrošināšanai gan kvalitātes deklarācijās un līgumos, gan mērījumu rezultātu apkopojumos, nepieciešama pieslēguma ātrumu vērtību segmentēšana, norādot vērtību robežas, kas pārskatāmi raksturo faktiski pieejamo interneta pieslēguma ātrumu. Piemēram, Regulā 2015/2120 par piekļuvi atvērtam internetam minētais parasti pieejamais ātrums gan fiksētajā, gan mobilajā tīklā ir sekmīgi norādāmi, un tie raksturojami, izvēloties attiecīgās ātruma robežas, kas aptver 68 % no mērījumu datiem vai faktiski ar šādu ticamības līmeni nodrošināmā pieslēguma ātruma. Vienlaikus jāņem vērā nepieciešamība nodrošināt salīdzināmību starp operatoriem vai operatora sniegtajiem interneta piekļuves pakalpojumiem, kas definēti ar dažādiem raksturparametriem. Salīdzināmības nodrošināšanai ir nepieciešams noteikt vērtību robežas, kurās ietilpstot konkrēta interneta pakalpojuma pieslēguma ātrumu veidiem, iespējams definēt minimālo, parasti pieejamo un maksimālo pieslēguma ātrumu. Tas nozīmē, ka katrs operators nedefinē savas unikālas pieslēguma ātruma robežas, savukārt, izmantojot pieslēguma ātrumu ietvaru, nosaka vai definē, kurā no norādītā ietvara ātruma kategorijām spēj nodrošināt platjoslas interneta pakalpojumu lietotājam. Savukārt, uzraudzības ietvaros veicot pakalpojumu kvalitātes mērījumus, faktisko pieslēguma ātrumu iespējams aprēķināt un norādīt ātruma attiecīgajās kategorijās, kas vienoti un uzskatāmi parāda interneta pieslēguma ātrumu koncentrācijas varbūtību jeb sadalījumu konkrētās kategorijās, kā arī aprēķinot mērījumu rezultātu izkliedes robežas, norādot pieslēguma ātruma diapazonu, piemēram, 68 % un 95 % no mērījumu datiem [30], [31].

Platjoslas interneta pieslēguma ātruma kategorijas jeb ātruma grupu kopa ir sekmīgi piemērojama gan platjoslas pieslēgumu uzskaitē teorētiskā pārklājuma novērtēšanai, gan pakalpojumu kvalitātes deklarācijās, pakalpojumu līgumos, mērījumu rezultātu

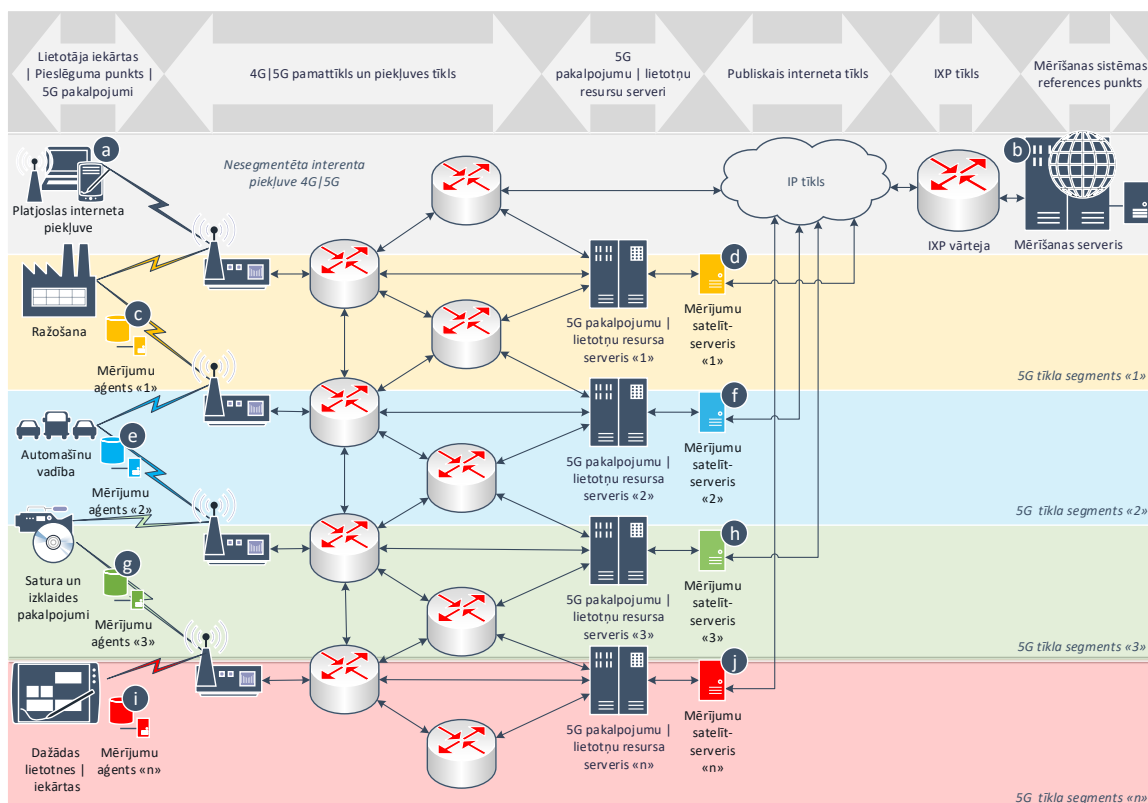
salīdzinājumam un analītikai pārskatos, kā arī ģeogrāfiskā kartējuma formātā (11. att.) [10], [15].



11. att. Piemērs platjoslas interneta pakalpojuma minimālā, parasti pieejamā un maksimālā (reklamētā) pieslēguma ātruma noteikšanas iespējām fiksētajā tīklā 100 Mbiti/s tarifu plānam.

Datu ievākšana, apstrāde un analītika par rādītājiem, kas raksturo platjoslas interneta kvalitāti, piemēram, pieslēguma ātrumu vai datu pārraides aiztures laiku, *QoS-1* līmenī un kas ietvert teorētiskās informācijas kopu, ir vērtējama kā lietderīga tikai gadījumā, ja šāda informācija ir nodrošināta kā informācijas kopums, ar ko var salīdzināt sistemātisku un pārbaudāmu mērījumu rezultātus un faktiski lietotājiem nodrošinātos pakalpojumu kvalitātes rādītājus, kas iegūti, veicot mērījumus *QoS-2* vai *QoS-3* līmenī.

Promocijas darba noslēgumā pilna kvalitātes novērtēšanas klāsta ietvarā ir veikta izpēte interneta pakalpojumu kvalitātes uzraudzības koncepcijas izstrādei 5G mobilo tehnoloģiju kontekstā. Kā viena no konceptuālām tendencēm 5G tīklu izvēršanā tiek attīstīta un plānota tīkla segmentēšana, tādējādi funkcionāli iedalot mobilā tīkla resursus dažādiem pakalpojumiem atbilstoši to vajadzībām (12. att.).



12. att. Konceptuāla arhitektūra pakalpojumu kvalitātes novērtēšanas posmu kombinācijai vispārējā platjoslas interneta kvalitātes mērījumiem (a–b) un specializēto pakalpojumu kvalitātes novērtēšanai (c–d; e–f; g–h; i–j).

Šī tehniskā inovācija paredz efektīvāku tīkla izmantošanu, ļaujot sasniegt labākus rādītājus konkrētiem pakalpojumiem, īpašu prioritāti nodrošinot, ja tie ir būtiski, piemēram, zemu latentuma rādītāju pabraucošo jeb savienoto automašīnu vadībai, latentuma vērtībai radio tīkla saskarnē tiecoties uz vienu milisekundi un nepārsniedzot piecas milisekundes. Savukārt datu pārraides pakalpojumiem, kur netiek prasīts augsts reakcijas ātrums, piemēram, dublējumkopiju veidošanas datu apmaiņai, prioritāte konkrētā tīkla segmentā var būt zemāka, salīdzinot ar reālā laika vadības nodrošināšanas nepieciešamību.

Izvērtējot konceptuālos 5G tehnoloģiju prognozētos attīstības scenārijus, tajā skaitā izvērtējot regulējošā ietvara normatīvos aktus un vēsturiski standartizētās mērījumu metrikas, ir izstrādāts komplekss risinājums platjoslas interneta pakalpojumu kvalitātes novērtēšanai. Risinājums ietver gan “centrālā” references punkta, gan izkliedētu references punktu arhitektūras kombināciju, sniedzot iespēju elastīgi paplašināt mērījumu klāstu atbilstoši konkrētiem pat šobrīd droši neprognozējamiem 5G tehnoloģijas platformā sniegtajiem pakalpojumiem [35].

PROMOCIJAS DARBA REZULTĀTI

Atbilstoši promocijas darba mērķiem novērtēt un sniegt priekšlikumus ilglaicīgi piemērojamai platjoslas interneta kvalitātes mērījumu metodoloģijas koncepcijai kvalitātes uzraudzības regulējumu harmonizācijai kā viens no nozīmīgākajiem darba uzdevumiem tika izvirzīts novērtēt un noteikt interneta piekļuves pakalpojuma nozīmīgāko raksturojošo parametru kopu un šo parametru izmantošanu iespējami visaptverošas informācijas atspoguļošanai par interneta pakalpojuma kvalitātes rādītājiem. Tas lietotājiem un patērētājiem nodrošinātu piekļuvi draudzīgai, visaptverošai un salīdzināmai informācijai gan realitātē, gan līgumā, kā arī publiskajā telpā.

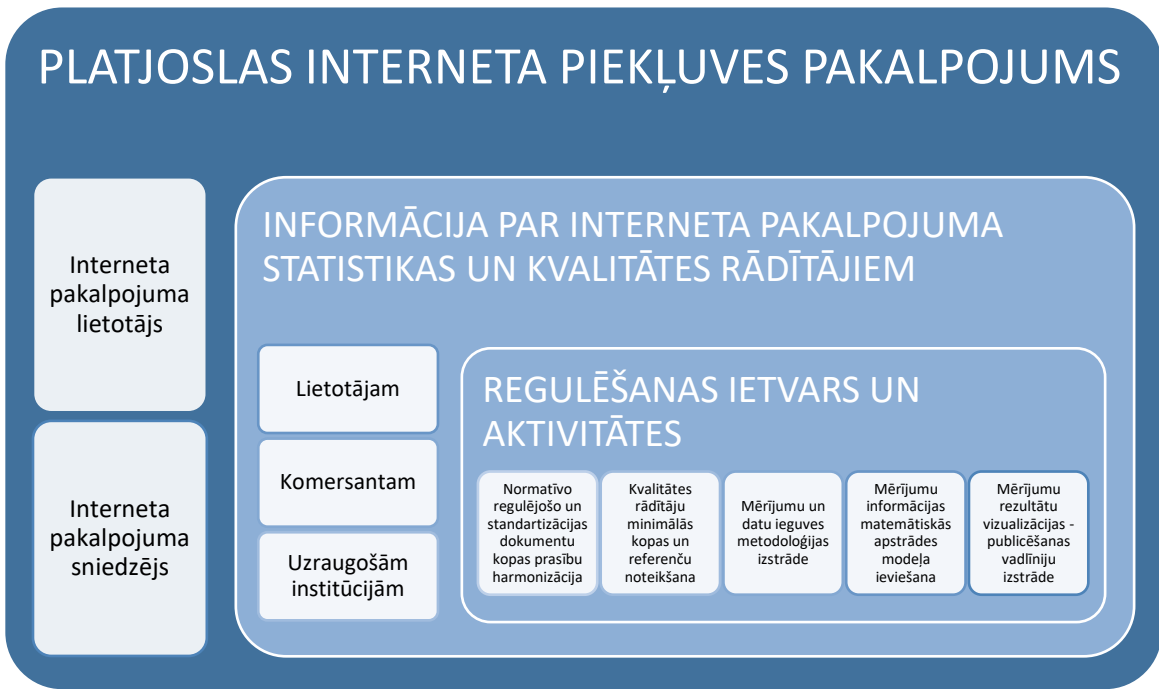
Vienlīdz nozīmīgi, ka objektīva, salīdzināma un līdzvērtīga griezuma informācija ir pieejama komersantiem rādītāju noteikšanai pakalpojumu līgumos ar lietotājiem, kvalitātes deklarācijās, platjoslas interneta rādītāju aptaujās, elektronisko sakaru tīkla attīstīšanas investīciju plānošanai, kā arī iepirkumu dokumentācijas sagatavošanai.

Arī uzraugošajām institūcijām konkurences veicināšanas un lietotāju tiesību aizsardzības, kā arī zināšanu un informētības nodrošināšanas ietvaros, ir jāveic elektronisko sakaru komersantu sniegto pakalpojumu kvalitātes uzraudzība, sniedzot objektīvu, visaptverošu un salīdzināmu informāciju lietotājiem, komersantiem, Eiropas Komisijai, *BEREC* un citām elektronisko sakaru nozares institūcijām. Atbilstīgas informācijas pieejamība, tostarp par platjoslas interneta kvalitātes ātruma un pārklājuma rādītājiem, sekmē taisnīgu un pamatotu lēmumu pieņemšanu, piemēram, tirgus analizēs saistību uzlikšanā, sūdzību un strīdu izskatīšanā, kā arī elektronisko sakaru nozares stratēģijas prioritāšu izvērtēšanā.

Promocijas darbā sniegts izklāsts, ka atbilstoši veiktajai izpētei un risinājumu praktiskās realizācijas izvērtējamam, neraugoties uz šobrīd pastāvošo ar interneta pakalpojumu saistīto regulējumu un normatīvo aktu daudzveidību un sadrumstalotību, kvalitātes novērtēšanai un jēgpilnas informācijas pieejamībai saistībā ar platjoslas interneta pakalpojuma rādītājiem, ir iespējams ieviest atbilstošus regulējumus un nosacījumus, kā arī piedāvāt efektīvi funkcionējošu novērtēšanas metodoloģiju un tehniskos risinājumu koncepcijas. Interneta pakalpojuma kvalitātes novērtēšanas sistēmas pilna apjoma funkcionalitātei ir sniegts risinājums, kas nodrošina efektīvu, nedublētu interneta pakalpojuma uzraudzību spēkā esošo tiesisko regulējumu un standartizācijas dokumentāciju ietvarā.

Promocijas darbā identificēto un harmonizēto aktivitāšu kopums sniegts 13. attēlā.

Promocijas darbā ir apkopoti ar platjoslas interneta pakalpojuma kvalitāti saistīti pabeigta pētījuma rezultāti, sniedzot priekšlikumus pilnībā funkcionējoša kompleksa kvalitātes uzraudzības modeļa ieviešanai, iespēju robežās nodrošinot izstrādātā modeļa ieviešanu starptautiska līmeņa regulējošā dokumentācijā, kā arī praktisku realizāciju Latvijas mērogā.



13. att. Ar platjoslas interneta pakalpojuma informācijas nodrošināšanu saistīto regulējumu un aktivitāšu kopums.

Izvērtējot iespējamus **turpmākos pētījumu virzienus**, tie varētu būt saistīti ar strauju jaunu, tostarp satura, pakalpojumu klāsta ieviešanu galalietotājiem un tehniski ekonomisko biznesa modeļu attīstīšanu, kam kvalitātes prasību noteikšana būtu vērtējama kā nozīmīga, piemēram:

- interneta vidē pieejamo pakalpojumu platformu kvalitātes uzraudzības nodrošināšana saistībā ar tehnisko, patērētāju tiesību un līgumattiecību regulējumu, izmantojot tā saucamos virspakalpojumus (angl. val. *over-the-top*) vai “vertikāli nodrošinātās” lietotnes, izmantojot atsevišķus izdalītus tīkla segmentus;
- praktiski ieviešot 5G tehnoloģijas vidē nodrošinātus pakalpojumus, saistībā ar Eiropas elektronisko sakaru kodeksa transponēšanu nacionālo normatīvo aktu līmenī veikt tehniski ekonomisku izpēti kvalitātes uzraudzības un atbildību sadalījuma noteikšanai starp iesaistītajiem komersantiem un galalietotāju, nepieciešamības gadījumā ieviešot atbilstošus jauninājumus regulējumā un uzraudzības metodoloģijā.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Eiropas Parlaments un Padome; Eiropas Parlamenta un Padomes direktīva (ES) 2018/1972 par Eiropas Elektronisko sakaru kodeksa izveidi (Eiropas elektronisko sakaru kodekss), <http://www.consilium.europa.eu/lv/policies/electronic-communications-code//2018>, [01.17.2018.].
2. Eiropas Pasta un telesakaru administrāciju konference (CEPT) Elektronisko sakaru komiteja (ECC), “Tīklu un numerācijas darba grupa” (WG NaN) projekta apakšgrupas “Tehniskās regulēšanas aspekti” (PT TRIS) rekomendācija: ECC Recommendation (15)03 “Provision of Comparable Information on Retail Internet Access Service Quality”, 2015, pp. 2–7.
3. Eiropas Komisija; Komisijas paziņojums “Eiropa 2020. Stratēģija gudrai, ilgtspējīgai un integrējošai izaugsmei” (Briselē, 3.3.2010, COM(2010) 2020); http://ec.europa.eu/eu2020/pdf/1_LV_ACT_part1_v1.pdf, [26.04.2019.].
4. Eiropas Komisija; Komisijas paziņojums Eiropas Parlamentam, Padomei, Eiropas Ekonomikas un sociālo lietu komitejai un reģionu komitejai vienoti Eiropas tirdzniecības noteikumi, kas veicinās pārrobežu darījumus vienotā tirgū / COM/2011/0636; <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/?uri=CELEX%3A52011DC0636>, [26.04.2019.].
5. Eiropas komisija; Komisijas paziņojums Eiropas Parlamentam, Padomei, Eiropas Ekonomikas un sociālo lietu komitejai un Reģionu komitejai “Digitālā programma Eiropai” – COM (2010) 245, 26.8.2010., pp. 13–37.
6. Eiropas Parlaments un Padome; Eiropas Parlamenta un Padomes 2011. gada 16. februāra Direktīva 2011/7/EK par maksājumu kavējumu novēršanu komercdarījumos, OV L 48, 23.2.2011., pp. 1.
7. Eiropas Komisija; ikgadējie pārskati par platjoslas interneta piekļuves pārklājumu Eiropā// <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/broadband-coverage-europe-2015>; <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/study-broadband-coverage-europe-2016>, [26.04.2019].
8. Ekonomiskās sadarbības un attīstības organizācija (OECD); The OECD Science, Technology and Industry Outlook 2014, <http://www.oecd-ilibrary.org/>, pp. 368–371, [26.04.2019].
9. Ekonomiskās sadarbības un attīstības organizācija (OECD); Interneta platjoslas piekļuves rādītāji, http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/broadband-access/indicator-group/english_e1808ca9-en, [26.04.2019.].
10. **Lipenbergs**, E., Stafecka, A., Ivanovs, Ģ., Smirnova (Vagale), I., “Quality of Service Measurements and Service Mapping for the Mobile Internet Access”// Proceedings of Progress In Electromagnetics Research Symposium PIERS 2017, Saint Petersburg, RU, 2017 pp. 2526–2532.
11. Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisija (SPRK); Elektronisko sakaru pakalpojumu kvalitātes prasību, kvalitātes pārskatu iesniegšanas un publiskošanas noteikumi// SPRK 2017, pp. 2–5; 12–14.

12. Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisija (SPRK); Vispārējās atļaujas noteikumi elektronisko sakaru nozarē// SPRK 2015/2017, pp. 4–7.
13. **Lipenbergs, E.**, Bobrovs, V., Ivanovs, Ģ., “Quality of service measurements reference points investigation for the internet service on mobile networks”// Proceedings of LATVIAN JOURNAL OF PHYSICS AND TECHNICAL SCIENCES, LV, 2016, N 5, pp. 65–73.
14. **Lipenbergs, E.**, Bobrovs, V., Ivanovs, Ģ., “Quality of Service Measurements References Investigation for the Mobile Internet Services in the Context of Net Neutrality Framework”// Proceedings of PIERS 2016 Shanghai, CN, 2016, pp. 4248–4252.
15. 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 Kaunas University of Technology Electronics 2017, Palanga, LT, 2017, pp. 1–5.
16. GSM asociācija – GSMA; “The Mobile Economy 2018”// <https://www.gsma.com/mobileeconomy/>; GSMA Intelligence 2018, pp. 2–11; 19–33, [26.04.2019.].
17. Latvijas Republikas Elektronisko sakaru likums, pp. 27.–28.//2018.
18. Eiropas Parlaments un Padome; Eiropas Parlamenta un Padomes Regula (ES) 2015/2120 (2015. gada 25. novembris), ar ko nosaka pasākumus sakarā ar piekļuvi atvērtam internetam un groza Direktīvu 2002/22/EK par universālo pakalpojumu un lietotāju tiesībām attiecībā uz elektronisko sakaru tīkliem un pakalpojumiem un Regulu (ES) Nr. 531/2012 par viesabonēšanu publiskajos mobilo sakaru tīklos Savienībā// 2015, pp. 3–9.
19. Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisija (SPRK); Elektronisko sakaru pakalpojumu kvalitātes mērījumu metodika// SPRK 2017, pp. 2–5.
20. Eiropas Parlaments un Padome, Eiropas Parlamenta un Padomes direktīva 2002/22/EK par universālo pakalpojumu un lietotāju tiesībām attiecībā uz elektronisko sakaru tīkliem un pakalpojumiem (Universālā pakalpojuma direktīva)// Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis L 108, 24/04/2002
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/?uri=celex%3A32002L0022>, pp. 10–15, [26.04.2019.].
21. Eiropas Parlaments un Padome, Eiropas Parlamenta un Padomes direktīva 2002/21/EK par kopējiem reglamentējošiem noteikumiem attiecībā uz elektronisko komunikāciju tīkliem un pakalpojumiem (pamatdirektīva)// Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis L 108, 24/04/2002
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/?uri=celex%3A32002L0021>, pp. 4–11, [26.04.2019.].
22. Eiropas Parlaments un Padome, Eiropas Parlamenta un Padomes direktīva 2009/136/EK – Ar ko groza Direktīvu 2002/22/EK par universālo pakalpojumu un lietotāju tiesībām attiecībā uz elektronisko sakaru tīkliem un pakalpojumiem, Direktīvu 2002/58/EK par personas datu apstrādi un privātās dzīves aizsardzību elektronisko komunikāciju nozarē un Regulu (EK) Nr. 2006/2004 par sadarbību starp valstu iestādēm, kas atbildīgas par tiesību

- aktu īstenošanu patērētāju tiesību aizsardzības jomā// Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis L 337/11 18/12/2009
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0136&rid=1>, pp. 2–15, [26.04.2019.].
23. Eiropas telekomunikāciju standartizācijas institūts (ETSI); Vadlīnijas ETSI EG 202 057-4 “Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 4: Internet access”// 2008 – pp. 10–32.
 24. Eiropas telekomunikāciju standartizācijas institūts (ETSI); Tehniskā specifikācija ETSI TS 102 250 Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); QoS aspects for popular services in mobile networks; Part 2: Definition of Quality of Service parameters and their computation// 2015 – pp. 28–204.
 25. Eiropas telekomunikāciju standartizācijas institūts (ETSI); Vadlīnijas ETSI EG 203 165 Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); Throughput Measurement Guidelines// 2012 – pp. 8–28.
 26. Starptautiskā telekomunikāciju savienība (ITU); Rekomendācija Y.1540 Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters// 2016 – pp. 5–47.
 27. Starptautiskā telekomunikāciju savienība (ITU); Rekomendācija Y.1541 Network performance objectives for IP-based services// 2011 – pp. 6–54.
 28. Starptautiskā Telekomunikāciju Savienība (ITU); Rekomendācija Y.1545.1 Framework for monitoring the quality of service of IP network services// 2017 – pp. 2–14.
 29. Eiropas pasta un telesakaru administrāciju konference (CEPT) Elektronisko sakaru komiteja (ECC), “Tīklu un numerācijas darba grupa” (WG NaN) projekta apakšgrupas Tehniskās regulēšanas aspekti” (PT TRIS) Pārskats: ECC Report 195 “Minimum Set of Quality of Service Parameters and Measurement Methods for Retail Internet Access Services” <https://www.ecodocdb.dk/-download/3320b3d5-fdd2/ECCREP195.PDF>// 2013 – pp. 7–70, [26.04.2019.].
 30. Smirnova (Vagale), I., **Lipenbergs, E.**, Bobrovs, V. “Mathematical algorithm for processing measurement results of internet access service in the scope of net neutrality”// Proceedings of LATVIAN JOURNAL OF PHYSICS AND TECHNICAL SCIENCES, LV, 2018, N 3, pp. 63–69.
 31. **Lipenbergs, E.**, Stafecka, A., Ivanovs, G., Smirnova (Vagale), I., Gavars P., “Quality of Service Parameter Measurements Data Analysis in the Scope of Net Neutrality”// Proceedings of Progress In Electromagnetics Research Symposium PIERS 2017, Nanyang, SG, 2017, pp. 1–5.
 32. Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas (SPRK) Interneta piekļuves pakalpojuma kvalitātes kontroles sistēma ITEST// <https://itestn.sprk.gov.lv/>, [26.04.2019.].
 33. Visualware Inc. Platjoslas interneta mērīšanas risinājumi// <http://www.visualware.com/>, [26.04.2019.].
 34. Eiropas Pasta un telesakaru administrāciju konference (CEPT) Elektronisko sakaru komiteja (ECC), “Tīklu un numerācijas darba grupa” (WG NaN) projekta apakšgrupas “Tehniskās regulēšanas aspekti” (PT TRIS) rekomendācijas papildināta un jaunināta

- versija// ECC Recommendation (15)03 “Provision of Comparable Information on Fixed Retail Internet Access Service Quality”; <https://www.ecodocdb.dk/download/d3b4e3dd-4e6b/REC1503.PDF>; 2018, pp. 2–7. [26.04.2019.].
35. Smirnova (Vagale) I., **Lipenbergs E.**, Bobrovs V., Gavars P., Ivanovs Ģ., “Network Slicing in the Scope of Net Neutrality Rules”// Proceedings of Progress In Electromagnetics Research Symposium PIERS 2019-Spring, Roma, IT, 2019, pp. 1–7.
36. Eiropas Pasta un telesakaru administrāciju konference (CEPT) Elektronisko sakaru komiteja (ECC), “Tīklu un numerācijas darba grupa” (WG NaN) projekta apakšgrupas “Tehniskās regulēšanas aspekti” (PT TRIS) aptauja “Provision of Comparable Information on Mobile Internet Access Service (IAS) Quality”// 2018, pp. 1–11.
37. Virtmanis, A., **Lipenbergs, E.**, Ģerņakovs-Neimarks, A./ “Система контроля качества услуг электронной связи в Латвии” (“The QoS Measurement System for the Electronic Communications Services Monitoring in Latvia”) Весник сувязі, ВУ 2015, N 3–4, pp. 35–39.
38. Smirnova (Vagale) I., **Lipenbergs E.**, Bobrovs V., Ivanovs Ģ., “The Analysis of the Impact of Measurement Reference Points in the Assessment of Internet Access Service quality”// Proceedings of Progress In Electromagnetics Research Symposium PIERS 2019-Fall, PIERS in Xiamen, CN, 2019, pp. 1–4.