

A TUDOMÁNY, AZ OKTATÁS ÉS A KÖZGYŰJTEMÉNYI KISZOLGÁLÁS ÚJ INFORMATIKAI SZINERGIÁI

**NETWORKSHOP 2026
35. Országos Informatikai Konferencia**

**2026. március 31–április 2.
Debreceni Egyetem, Debrecen**

Szerkesztette: Tick József, Kokas Károly, Holl András

**HUNGARNET Egyesület
Budapest, 2026**



HUN-REN
Magyar Kutatási Hálózat

NETWORKSHOP

Szerkesztette: Tick József, Kokas Károly, Holl András

Tipográfia és tördelés: Vas Viktória

Korrektúra: Danyi Melinda

Angol nyelvi lektor: Lukács Katalin

Networkshop 2026 konferencia előadásainak közleményei

Debreceni Egyetem, Debrecen

2026. március 31–április 2.

ISBN 978-615-6792-29-7

DOI: <https://doi.org/10.31915/NWS.2026>

Kiadja a HUNGARNET Egyesület
az MTA Könyvtár és Információs Központ közreműködésével

Budapest

2026

Borítókép: [freepik.com](https://www.freepik.com)

5G SA FUNKCIÓ MÉRÉSI MÓDSZERE

MEASUREMENT METHODOLOGY FOR 5G STANDALONE FUNCTIONS

Soós Gábor

BME-TMIT –Távközlési és Mesterséges Intelligencia Tanszék

soos@tmit.bme.hu

Ormos Pál

HUN-REN SZTAKI – Department of Network Security and Internet Technologies

ormos.pal@sztaki.hun-ren.hu

Kis-Bogdán Kolos

HUN-REN SZTAKI – Department of Network Security and Internet Technologies

kis-bogdan.kolos@sztaki.hun-ren.hu

Kovács Bertalan

HUN-REN SZTAKI – Department of Network Security and Internet Technologies

kovacs.bertalan@sztaki.hun-ren.hu

Kozma Márk

MAGYAR TELEKOM NYRT. –Technology Unit

kozma.mark@telekom.hu

Seres Tamás

MAGYAR TELEKOM NYRT. –Technology Unit

seres.tamask@ext.telekom.hu

Leleszi András

MISKOLCI EGYETEM

andras.leleszi@uni-miskolc.hu

Absztrakt

A publikáció egy reprodukálható mérési eljárást mutat be az 5G standalone (5G SA) hálózatszeletelés (slicing) működésének validálására nagy forgalmú környezetben, továbbá röviden összegzi a helyszíni tesztek eredményeit. A cikkben összefoglaljuk az 5G SA slicing mobilhálózati architektúráját, a slice/service type (SST/SD) szerepét, valamint a konfigurált Quality of Service (QoS) paraméterek és a felhasználói élményt kifejező Quality of

Experience (QoE)-mutatók közötti kapcsolatot. Ezt követően célzott irodalomkutatásra alapozva meghatározunk egy mérési architektúrát, amelyet felhasználva aktív méréseket végzünk végberendezés-oldali és a valós forgalmazáshoz közeli mérőjellel.

Kulcsszavak: 5G SA, mobilhálózat, mérési módszertan

Abstract

This paper presents a reproducible measurement methodology and corresponding results for verifying the operation of 5G SA network slicing in high-traffic environments. It also provides a brief overview of the findings from on-site measurements. The paper outlines the architecture of 5G SA network slicing, the role of SST/SD, and the relationship between configured Quality of Service (QoS) parameters and Quality of Experience (QoE) indicators.

Based on targeted literature review, a measurement architecture is proposed that relies on active measurements performed at the end-device side, using traffic patterns closely resembling real user behavior.

Keywords: 5G SA, mobile network, measurement methodology

I. Bevezetés

Az 5G network slicing (hálózatszeletelés) egyre inkább megkerülhetetlen mind az ipar, mind a lakosság számára nyújtott szolgáltatás területén [1].

Jól megfigyelhető trend, hogy a mobilhálózatok fejlődésével egyre inkább a hangalapú kommunikáció háttérbe szorulásával az állandó jelenlét és az egyre nagyobb hálózati forgalom lesz az, ami új kihívások elé állítja a szolgáltatókat. Ahhoz, hogy ezeket a hálózati igényeket a különböző szereplők ad-hoc vagy állandó igényeihez tudjuk igazítani, elengedhetetlenné vált a network slicing funkció kialakítása. Ez viszont csak 5G SA esetében lehetséges.

II. Alapfogalmak

II.1. 5G – Non standalone (NSA)

Az 5G NSA-architektúra olyan átmeneti 5G-hálózati megoldás, amelyben az 5G New Radio (NR) hozzáférési technológia a meglévő 4G Long Term Evolution (LTE) maghálózatára, azaz az Evolved Packet Core (EPC) hálózatra támaszkodik. Ebben a modellben a vezérlési sík, a Control Plane (CP), továbbra is a 4G-hálózaton keresztül működik, míg a felhasználói adatforgalom, a User Plane (UP), részben vagy egészben 5G-kapcsolaton valósul meg.

Az NSA célja a gyors 5G bevezetés, mivel nem igényel teljesen új maghálózatot, hanem a 4G és az 5G együttműködésére (dual connectivity) épít. Ennek a megoldásnak azonban

megvan az a hátránya, hogy így nem lehet teljes mértékben kihasználni az 5G nyújtotta képességeket, mint például az különösen alacsony késleltetést (ultra low latency).

II.2.5 G – Standalone (SA)

Az 5G SA-architektúra olyan teljes értékű 5G-hálózati megoldás, amelyben az 5G NR hozzáférési technológia egy dedikált 5G-maghálózatra, azaz az 5G Core (5GC) hálózatra épül függetlenül a korábbi 4G-infrastruktúrától. Ebben a modellben mind a CP, mind a UP teljes mértékben 5G-hálózaton keresztül valósul meg.

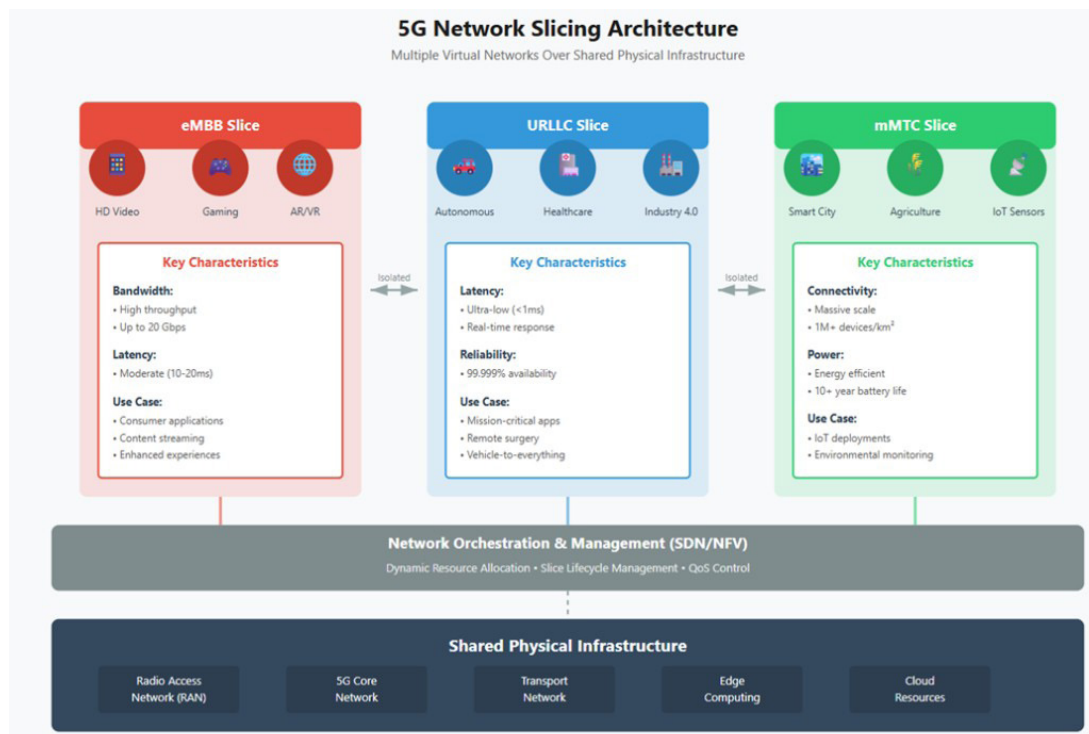
Az SA lehetővé teszi a 5G teljes funkcionalitásának kihasználását. Támogatja az olyan fejlett szolgáltatásokat, mint a hálózati szeletelést (network slicing) és a különösen alacsony késleltetést, az Ultra-Reliable Low-Latency Communications-t (URLLC).

II.3. Network Slicing

Az 5G network slicing olyan hálózati funkcionalitás, amely lehetővé teszi egy fizikai 5G-infrastruktúrán belül több, egymástól logikailag elkülönített, végponttól végpontig (end-to-end) működő virtuális hálózat (esetünkben szelet) létrehozását. Ezek a szeletek különböző szolgáltatási követelményekhez (pl. késleltetés, sávszélesség, megbízhatóság) optimalizálhatók, miközben közös fizikai erőforrásokat használnak.

Lehetővé teszi különböző szolgáltatástípusok párhuzamos kiszolgálását – pl. enhanced Mobile Broadband (eMBB), URLLC, massive Machine-Type Communications (mMTC) – ld. II.4. és II.5. fejezetek –, amely felépítését az 1. ábra írja le.

A szoftveralapú hálózati megoldásokkal – mint a Software-Defined Networking (SDN) és a Network Functions Virtualization (NFV) – dinamikusan létrehozható és menedzselhető hálózati szeletek mindegyike testre szabott QoS-paraméterekkel rendelkezik. Ennek a rugalmasságnak köszönhetően ez a technológia kulcsszerepet játszik az olyan kritikus ipari alkalmazásokban, mint például az okosgyárak és az autonóm járművek működtetése.



1. ábra 5G network slicing architektúra [2]

II.4. enhanced Mobile Broadband (eMBB)

Az 5G SA-hálózatokban az eMBB szelet típus a nagy sávszélességű, adatintenzív szolgáltatások kiszolgálását célozza, különös tekintettel az olyan helyszínekre, ahol az egységnyi területre jutó kapcsolódó készülékek száma extrém magas, például tömegrendezvények. A mobilhálózatok működése alapvetően kapacitásorientált, ahol a hálózat a magas adatsebesség és a stabil kapcsolat biztosítására optimalizál, miközben a késleltetési követelmények jellemzően mérsékeltebbek. Ennek megfelelően az eMBB tipikusan az általános mobil szélessávú forgalom kiszolgálására szolgál, és sok esetben alapértelmezett szeletként jelenik meg a nem kritikus szolgáltatások számára.

II.5. Ultra-Reliable Low-Latency Communications (URLLC) és massive Machine-Type Communications (mMTC)

Az eMBB mellett a másik két alapvető 5G-szolgáltatási kategória az mMTC és az URLLC, amelyek eltérő szolgáltatási követelményeket fednek le. Az mMTC célja nagyszámú, alacsony adatforgalmú eszköz skálázható kiszolgálása, elsősorban Internet of Things (IoT) alkalmazások esetén, ahol az energiahatékonyság és a hálózati kapacitás eszközszám szerinti optimalizálása kerül előtérbe. Ezzel szemben az URLLC a kritikus, alacsony késleltetést és nagy megbízhatóságot igénylő szolgáltatásokat támogatja, szigorú QoS-köve-

telmények mellett. A három szelettípus egymást kiegészítve teszi lehetővé a különböző szolgáltatási igények kiszolgálását, amely network slicing alkalmazásával logikailag elkülönítve, közös fizikai infrastruktúrán valósítható meg.

II.6. Slice/Service Type (SST)

5G SA esetében az SST egy 8 bites azonosító, amely a hálózati szelet szolgáltatási típusát jelöli, és megjelöli a szelet alapvető jellemzőit.

Az SST alapján különböztethetők meg például az eMBB, URLLC és mMTC típusú szeletek.

II.7. Slice Differentiator (SD)

Az SD több fő funkciót valósít meg az 5G SA esetében. Ezek a következők:

- Ugyanazon SST-hez tartozó szeletek (slice-ok) között tesz különbséget, így több, egymástól független szelet is létrehozható azonos szolgáltatási kategórián belül.
- Szolgáltatások finom szétválasztása, amely lehetővé teszi, hogy azonos típusú szeleteken belül eltérő QoS-igényű szolgáltatások külön kezelhetők legyenek.
- A szelet kiválasztás segítése során a hálózat és a végberendezés az SD segítségével tudja kiválasztani a megfelelő szeletet.
- A szolgáltatói testreszabás támogatásával az operátor külön szeleteket alakíthat ki például különböző ügyfeleknek vagy felhasználási esetekre, még azonos SST mellett is. Erőforrás-kezelés támogatásával hozzájárul ahhoz, hogy a hálózat a különböző szeleteket eltérő módon kezelje (pl. prioritás, késleltetés, sávszélesség).

II.8. Quality of Experience (QoE)

5G SA esetében a QoE a felhasználó által ténylegesen érzékelt szolgáltatásminőséget jelenti, vagyis azt, hogy mennyire jó a felhasználói élmény. A QoE azt méri, hogy az adott szolgáltatás (pl. videó, játék, hanghívás, ipari alkalmazás) mennyire felel meg a felhasználói elvárásoknak valós körülmények között.

Az 5G SA-hálózatokban a QoE értékelése során a felhasználói élményt közvetlenül befolyásoló, mérhető paraméterek kerülnek előtérbe, amelyek a hálózati QoS-jellemzők hatását tükrözik az adott alkalmazás szintjén. A QoE-paraméterek jellemzően alkalmazásfüggők, azonban általánosan az alábbi fő mérőszámokkal írhatók le:

- **Észlelt késleltetés (end-to-end latency):** A felhasználó által érzékelt válaszidő, amely különösen kritikus valós idejű alkalmazások (pl. hang- és videóhívás, URLLC szolgáltatások) esetén.

- **Késleltetés-ingadozás (jitter):** A késleltetés változékonysága, amely a folyamatos médiaátvitel (pl. videóstreaming, Voice over Internet Protocol (VoIP)) minőségét befolyásolja.
- **Csomagvesztés hatása:** Az elveszett adatcsomagok aránya és annak felhasználói élményre gyakorolt hatása, például kép- és hangkimaradások formájában.
- **Hasznos adatsebesség (goodput):** A ténylegesen elérhető átbocsátóképesség a felhasználó számára, amely meghatározza például a letöltési időket és a videó felbontását.
- **Szolgáltatás-folytonosság (service continuity):** A kapcsolat megszakítás-mentessége, beleértve az újracsatlakozási eseményeket és az esetleges szolgáltatáskimaradásokat.
- **Indítási késleltetés (startup delay):** Az alkalmazás vagy szolgáltatás elindításához szükséges idő (pl. videólejátszás kezdete).
- **Pufferelési események (stalling):** A lejátszás közbeni megakadások száma és időtartama, különösen streaming szolgáltatások esetén.
- **Felhasználói minőségi mutató (pl. Mean Opinion Score (MOS)):** Összetett, gyakran modellalapú mutató, amely a felhasználó szubjektív élményét számszerűsíti.

Ezen paraméterek együttesen írják le a QoE-t, és lehetővé teszik a különböző 5G-szeletek (eMBB, mMTC, URLLC) teljesítményének összehasonlítását felhasználói szempontból. A QoE-mutatók alkalmazása különösen fontos a hálózati szeletelés környezetben, mivel közvetlen visszacsatolást adnak a konfigurált QoS-paraméterek gyakorlati hatásairól.

III. Kihívások

III.1. Tesztelésre használt eszközök

A teszteléshez többféle eszközt és szoftvert használtunk. A tesztelésre használt hálózatok közül azonban némely eszköz nem tudott felcsatlakozni az 5G SA-ra, csak 5G NSA-ra, így a további teszt lépések nem voltak futtathatók a tervek alapján.

III.1.1. Mobilkészülékek

A tesztelésre az elterjedtebb gyártók mobiltelefonjait terveztük használni. A könnyen beszerezhető típusokból több Android és iOS-rendszerű készüléket megvizsgálva, megállapítottuk, hogy csak erősen limitált számú készülék képes felcsatlakozni az 5G SA-hálózatra. A várakozásokkal ellentétben az egyik kevésbé elterjedt és már nem forgalmazott régebbi Android típus minden probléma nélkül csatlakozott mind az 5G NSA-, mind az 5G SA-hálózatra.

III.1.2. 5G-képes routerek

Összehasonlítás céljából méréseket végeztünk, ill. terveztünk méréseket végezni különböző 5G-képes mobilhálózati routerekkel is.

Látókörünkbe került több ipari kivitelű mobilhálózati eszköz, azonban ezekkel sajnos nem sikerült csatlakozni az 5G SA-hálózatra. Ezzel szemben tesztelésre gyártott nem ipari kivitelű 5G modem HAT for Raspberry Pi [6] és egy tesztelési célú 5G routerrel sikerült méréseket végezni mind az 5G SA-, mind az 5G NSA-hálózaton.

III.1.3. Szoftverek

Egy fizetős, mind Android, mind iOS által támogatott komplett mérő szoftvert használtunk, de mivel a fentebb ismertetett problémákba ütköztünk a mobil telefonok kapcsán, sajnos ez a szoftver nem volt használható, mert a tesztelésre használt Androidban található chipsethez nincs gyártói támogatás és a routereken sem használható.

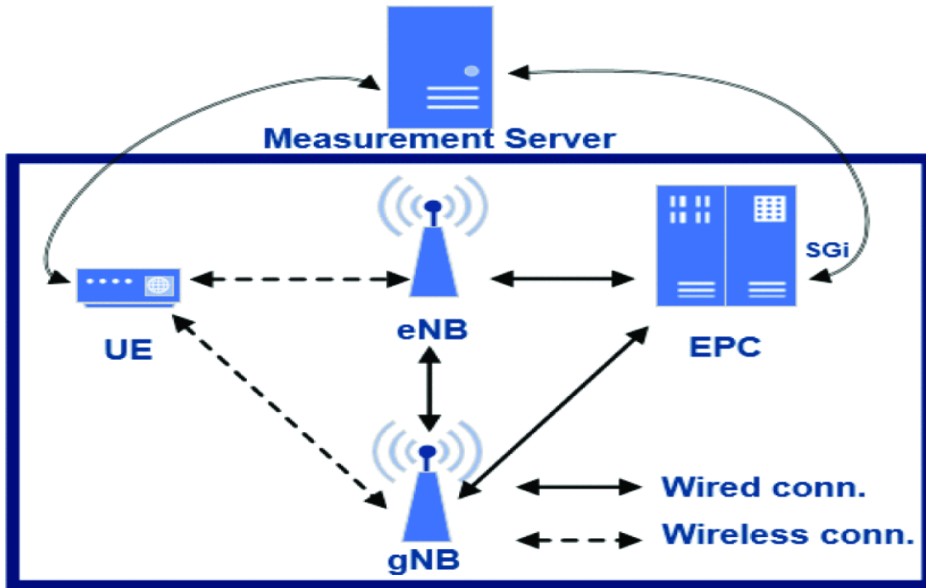
Mindezek miatt az ingyenes szoftverek működését és együttműködését vizsgáltuk. A mérési tervekhez a már általunk jól ismert iPerf3 és Speedtest mellé a Flent (The FLExible Network Tester (<https://flent.org/>)) szoftverre esett a választás. A következőkben ismertetésre kerülő mérési eljárásban már ezeket alkalmaztuk. Ezeket sikerült mind a routerekkel mind a telefontal integrálva használni.

IV. Mérési módszerek

IV.1. Korábban alkalmazott módszertan

A [3] forrás szerzői a méréseiket laboratóriumi körülmények között végezték, ahol csak a tesztrendszerben részt vevő eszközök képezték a hálózat szerves részét, a natív háttérforgalmat egy dedikált berendezés segítségével generálták. A teljesítménymérések elvégzésekor maga az 5G NSA-hálózat (User Equipment (UE), eNodeB (eNB), gNodeB (gNB) és Evolved Packet Core (EPC)) töltötte be a Device Under Test (DUT) szerepét és egy szeparált mérőszerver hajtotta végre az egyes elemi méréseket (lásd a 2. ábrán). A mérési környezetben a mérőszerver egyik interfészét kábelen keresztül csatlakoztatták az UE-hez, míg a másik interfészét az EPC SGI interfészhöz kapcsolták.

A mérőszerver a küldött és fogadott csomagok alapján kiszámította a legfontosabb teljesítménymutatókat, köztük a késleltetést (latency), az átbocsátóképesség (throughput) és a csomaghibaarányt (packet error ratio). Ezen mutatók megméréséhez elsősorban az iPerf, az iPerf3 és a Cisco TRex szoftvereszközöket használták, az eredményeket pedig a Wireshark csomagelemző segítségével ellenőrizték. Az értékelés keretében mind az UDP-, mind a TCP-adatfolyamok átvitelét megvizsgálták, emellett a TRex szoftver segítségével magas frekvenciával IP-csomagokat is küldtek.

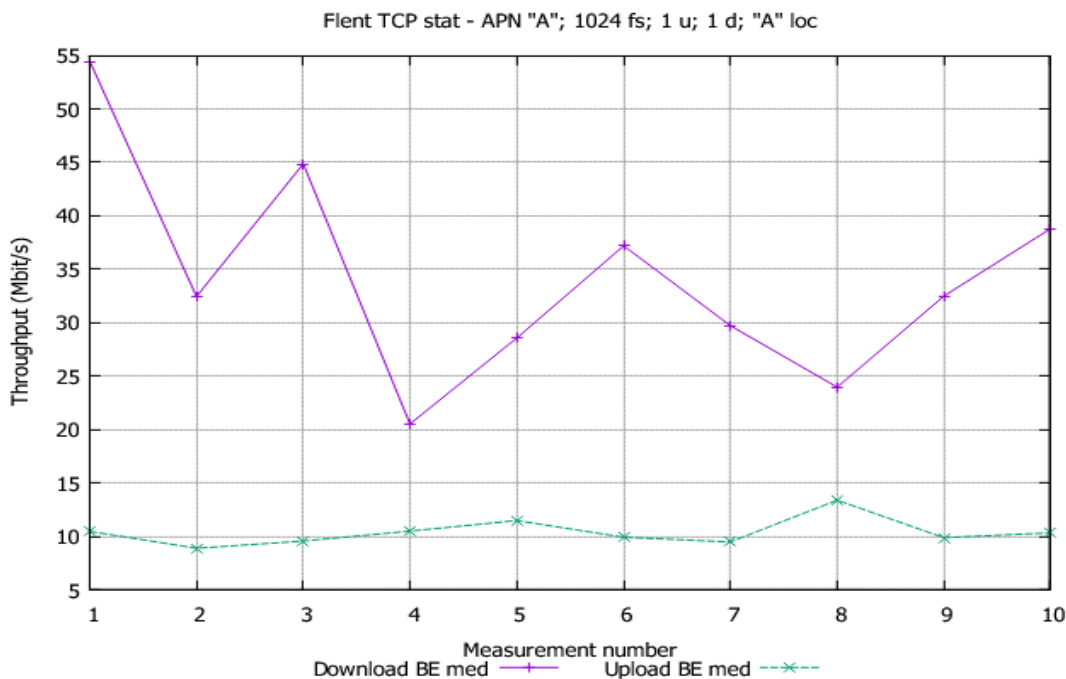


2. ábra. Az 5G-tesztkörnyezet architektúrája [3]

IV.2. Javasolt mérési módszertan

A korábban bemutatott, szigorúan laboratóriumi körülmények között végrehajtott vizsgálatokkal szemben méréseiket zárt tesztrendszerben, dedikált háttérforgalommal végezték. Ezzel szemben az általunk kidolgozott új mérési módszertan egy kiterjesztett, valós körülményeket is figyelembe vevő paramétertérben vizsgálja az 5G hálózatok teljesítményét.

A mérési eljárások és a kiértékelt teljesítménymutatók tekintetében a módszertanunk szorosan épít a [3] által is alkalmazott protokollokra, azonban jelentősen kibővíti azokat az RFC 2544 hálózati tesztelési szabvány irányelvei alapján. Az RFC 2544 az IETF által definiált, globálisan elfogadott benchmark módszertan, amely egységes és objektív keretrendszert biztosít a hálózati eszközök teljesítményének mérésére [4]. Legfőbb előnye a gyártófüggetlenség és a magas fokú reprodukálhatóság, mivel olyan egzakt paraméterek vizsgálatára összpontosít, mint az átbocsátóképesség, a késleltetés és a csomagvesztés. Alkalmazása lehetővé teszi az adatátviteli képességek precíz, összehasonlítható dokumentálását.



3. ábra. Az első helyszínen mért mérési eredmény kimutatása

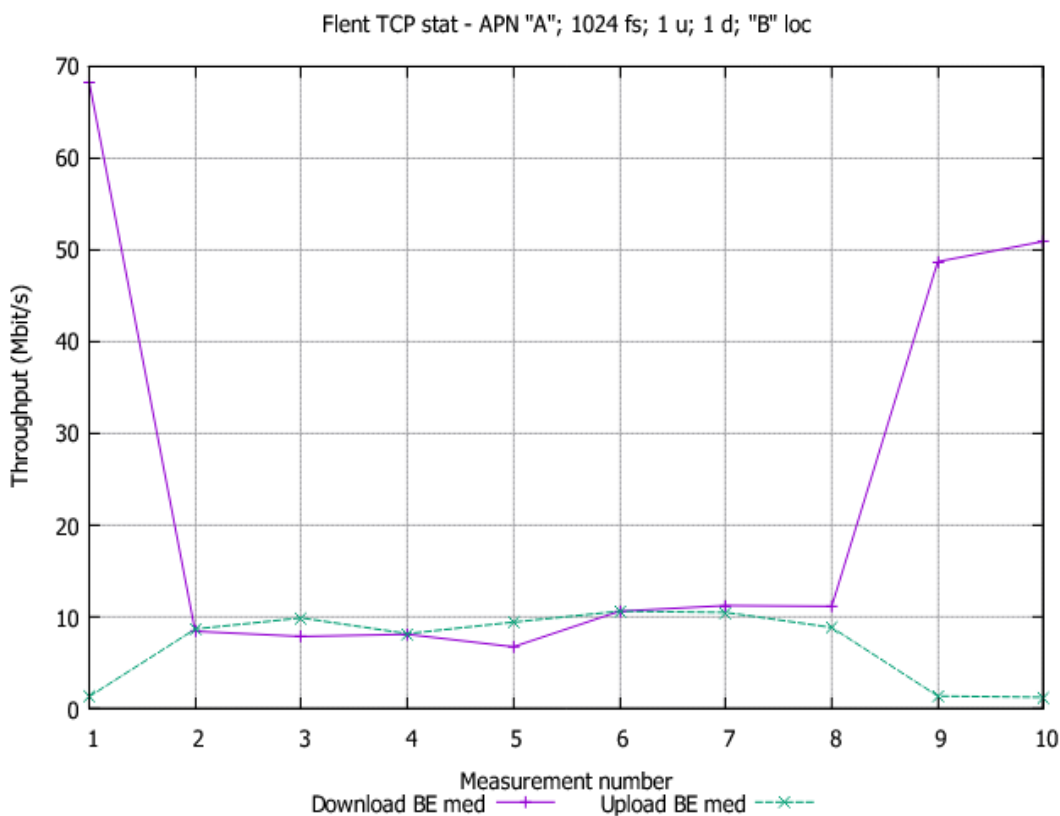
A komplex értékelés érdekében egy háromtengelyes mérési mátrixot definiáltunk. A mátrix első tengelye az időkorrelációs vizsgálatokat foglalja magában: ennek során ugyanazon a bázisállomáson (Base Station Subsystem (BSS)) gyűjtünk adatokat eltérő időpontokban, például különböző napokon, vagy éppen hálózati csúcsterhelést jelentő események alkalmával. A második tengelyt a helykorrelációs mérések adják, amelyek jól definiált geográfiai mérési pontokon, valós térben vizsgálják a szolgáltatás minőségét. Végül a harmadik tengely a hálózati szeletelés gyakorlati képességeit elemzi, ahol a hálózatra csatlakozó végberendezések különböző hálózati szeletek kihasználásával kerülnek tesztelésre.

Az RFC 2544 ajánlásait szigorúan követve a tesztek különböző, standardizált keretméretekkel hajtjuk végre, emellett a forgalmat dedikáltan vizsgáljuk felfelé irányuló (uplink), lefelé irányuló (downlink), valamint fel-le irányú (bidirectional) terhelés esetén is [4]. A kinyert metrikák az áteresztőképesség és a késleltetés mellett kiegészülnek a csomagkésleltetés-ingadozás (packet delay variation (PDV)) vizsgálatával is, hiszen ez a mutató elengedhetetlen a valós idejű szolgáltatások (pl.: videokonferencia) vizsgálatakor [4].

IV.3. A mérési módszertan validálása

A mérési módszertan gyakorlati alkalmazhatóságának és helytállóságának igazolására előzetes próbavizsgálatokat végeztünk két különböző földrajzi helyszínen. Az eljárás tesztelése során a hálózati forgalom generálására és a teljesítménymutatók rögzítésére a nyílt forráskódú Flent szoftvereszközt alkalmaztuk. [5]

A teljesítménymérések során a hálózati terhelést egyidejűleg indított fel- és leirányú (uplink/downlink) TCP-adatfolyamokkal vizsgáltuk. A konzisztens és statisztikailag igazolható eredmények érdekében fix 1024 bájtos csomagméretet alkalmaztunk, és mindkét helyszínen 10 egymást követő iterációt hajtottunk végre. A mérések során azonos APN-re kapcsolódott a mérőeszköz, vagyis a két mérés között a fizikai helyszín tért csak el. A két mérési ponton rögzített TCP fel- és letöltési eredményeket a [3.] és a [4.] ábrák szemléltetik.



4. ábra. A második helyszínen mért mérési eredmény kimutatása

IV.4. A mérési eredmények értékelése

A mérési eredmények értékelése alapján éles kontraszt rajzolódik ki a két hálózati végpont TCP-átviteli teljesítménye között: míg a 3. ábrán bemutatott „A” lokáció viszonylag megbízható és stabil kapcsolatot biztosít 20,53 és 54,45 Mbit/s között ingadozó letöltési, valamint egyenletesen 8,91 és 13,41 Mbit/s közötti feltöltési sebességgel, addig a 4. ábrán látható „B” lokáció kifejezetten volatilis és aszimmetrikus hálózati viselkedést mutat. Ez utóbbi helyszínen a kiugróan magas, 48–68 Mbit/s-ot is elérő letöltési tuskék a feltöltési sávszélesség kritikus (1,2–1,4 Mbit/s) visszaesését okozzák.

V. Összefoglalás

Cikkünkben áttekintő jelleggel ismertettük az 5G NSA- és SA-hálózatok közötti alapvető architektúrális és működésbeli különbségeket, valamint bemutattuk az új generációs 5G SA-mobilhálózatokon végzett adatátviteli mérések sajátosságait és legfontosabb kihívásait. Részletesen elemeztük a kutatás során azonosított mérési problémákat, majd ismertettük az ezek kezelésére kidolgozott és a gyakorlatban is megvalósított mérési módszertant. Bemutattuk továbbá azokat a mobilhálózati mérőeszközöket és szoftvereket, amelyek a mérések végrehajtását és az adatok megbízható kiértékelését tették lehetővé. Végezetül ismertettük a kialakított mérési eljárás alkalmazásával kapott eredményeket, valamint azok értékelését és a levont következtetéseket.

Hivatkozások

- [1] Google LLC, "5G network slicing — Android Open Source Project — source.android.com." <https://source.android.com/docs/core/connect/5g-slicing>, 2025. (Letöltés ideje: 2026. január 16.).
- [2] Google LLC, "5g network slicing — techltechworld." <https://techltechworld.com/5g-network-slicing/>, 2025. (Letöltés ideje: 2026. január 19.)
- [3] G. Soóos, D. Ficzer, P. Varga, and Z. Szalay, "Practical 5G KPI Measurement Results on a Non-Standalone Architecture," in NOMS 2020 - 2020 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium, pp. 1–5, 2020
- [4] Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices." RFC 2544, Mar. 1999
- [5] T. Høiland-Jørgensen, C. A. Grazia, P. Hurtig, and A. Brunstrom, "Flent: The FLExible Network Tester," in Proceedings of the 11th EAI International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools, VALUE-TOOLS 2017, (New York, NY, USA), p. 120–125, Association for Computing Machinery, 2017.
- [6] Google, "SIM8202 Raspberry" <https://www.rpibolt.hu/SIM8202G-M2-5G-HAT-for-Raspberry-Pi-5G/4G/3G?srsId=AfmBOopX2PboFuvVCR7EU7oJDJjFOVbGXt9TdpkNY-VQ59kloHqfqBahi>