

ÚTON AZ 5G-SA FELÉ

Soós Gábor

Magyar Telekom Nyrt. Technology Unit

soos@tmit.bme.hu

Ormos Pál

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

ormos.pal@sztaki.hun-ren.hu

Gutti Zoltán

Magyar Telekom Nyrt. Technology Unit

gutti.zoltan@telekom.hu

Csuha Júlia Borbála

BALASYS IT

julia.csuha@balasys.eu

Absztrakt

A mobilhálózatok fejlődése új technikai igényeket és felhasználói elvárásokat hozott, amelyekre a 4G-rendszerek már nem mindig adnak hatékony választ. Tanulmányunk áttekinti a 4G-től az 5G-ig tartó evolúció főbb állomásait, különös tekintettel a nem önálló (NSA) és az önálló (SA) architektúrák lehetőségeire. Bemutatjuk egy hazai szolgáltató 5G-fejlesztéseit, valamint gyakorlati tapasztalatokat és esettanulmányokat, amelyek alátámasztják az 5G-SA előnyeit. Kitérünk az ipari, kutatási és társadalmi igényekre, valamint a Campus 5G bevezetésének sajátosságaira. Elemzésünk rámutat, hogy az 5G-SA nem csupán technológiai előrelépés, hanem kulcsfontosságú válasz a jövő konnektivitási kihívásaira.

Kulcsszavak: 5GSA, mobilhálózat, IoT, Privát hálózat, felhasználási esetek

Abstract

Advancing Toward 5G Standalone

The evolution of mobile networks has introduced new technical requirements and user expectations that 4G systems can no longer fully address. This study reviews the key milestones from 4G to 5G, with a particular focus on the opportunities enabled by Non-Standalone (NSA) and Standalone (SA) architectures. We present the 5G developments of a Hungarian operator alongside practical experiences and case studies that highlight the benefits of 5G-SA. Special attention is given to industrial, research, and societal demands,

as well as the specific characteristics of Campus 5G deployments. Our analysis demonstrates that 5G-SA is not merely a technological advancement but also a critical response to the connectivity challenges of the future.

Keywords: 5GSA, mobile network, IoT, Campus network, use-cases

1. Bevezetés

Az 5G-alapú mobilhálózati kommunikáció mára alapvetővé vált mind a lakossági, mind az üzleti felhasználásban. Míg a korábbi mobilgenerációk elsősorban a lakossági igényeket szolgálták ki, az 5G megjelenésével az üzleti szféra elvárásai is teljesíthetővé váltak, köszönhetően a nagyobb sávszélességnek, a megbízható lefedettségnek és a fejlett hálózati paramétereknek.

Az 5G lehetőséget teremtett privát (Campus) hálózatok kialakítására, ahol a hozzáférési rétegek szétválasztása biztosítja a nagy adatforgalom kezelését és az alacsony késleltetésű kommunikációt. Az 5G-NSA (Non-Stand Alone) jelenleg a legelterjedtebb forma, ugyanakkor az 5G-SA (Stand Alone) laboratóriumi környezetben már elérhető és alapjaiban változtatja meg a mobilhálózati szolgáltatások spektrumát.

Míg az 1G-től az 5G-NSA-ig a fejlődés fokozatosan bővítette a szolgáltatásokat (hangátvitel, adatkapcsolat, videóhívás, szélessávú internet), az 5G-SA teljes szeparációt és parameterezhetőséget kínál. Ezáltal képes egyszerre kiszolgálni emberek és gépek kommunikációját, akár teljesen eltérő követelmények mellett.

Az 5G-SA fő képességei közé tartozik:

- valós idejű adatátvitel („connect everything” koncepció),
- üzleti és gazdasági alkalmazások támogatása,
- dedikált hálózatok és garantált szolgáltatások biztosítása (pl. válaszidők, adatátviteli kapacitás),
- hálózati minőségi paraméterek (QoS) finomhangolása, mint a sávszélesség, késleltetés vagy megbízhatóság.

A hálózati szeletelés (Network Slicing) révén az 5G-SA párhuzamos, egymástól független logikai hálózatokat hozhat létre ugyanazon fizikai infrastruktúrán belül. Ez lehetővé teszi például, hogy egy vállalat kritikus alkalmazásaihoz dedikált szeletet kapjon, miközben a lakossági ügyfelek másik szeletet használnak. Így a hálózat dinamikusan oszthatja és optimalizálhatja az erőforrásokat, növelve a hatékonyságot és a szolgáltatásminőséget.

Tanulmányunk felépítése a következő: a 2. fejezet áttekinti a mobilhálózatok evolúcióját, a 3. fejezet bemutatja az 5G hazai fejlesztéseinek tapasztalatait, míg a 4. fejezet az 5G-SA nyújtotta új lehetőségekre összpontosít.

2. A mobilhálózatok fejlődése

Az elmúlt évtizedekben a mobilkommunikáció robbanásszerű fejlődésen ment keresztül. Az 1G-től az 5G-ig tartó generációváltások nemcsak az adatátviteli sebességet növelték, hanem új szolgáltatásokat, felhasználási módokat és gazdasági modelleket is teremtettek [4][5].

1G – az analóg korszak

Az 1980-as évek elején megjelent első generációs hálózatok (pl. AMPS, NMT, TACS) [1] kizárólag analóg hangátvitelre voltak alkalmasak. A gyenge hangminőség, az alacsony adatsebesség és a biztonság hiánya miatt gyorsan elavulttá váltak.

2G – a digitális forradalom

Az 1990-es években bevezetett GSM-hálózatok [3] már digitális technológiát alkalmaztak, javítva a hangminőséget és a kapacitást. Újdonság volt az SMS, majd az MMS, később pedig a GPRS és EDGE, amelyek megalapozták a mobilinternet korai szakaszát.

3G – a mobilinternet megjelenése

A 2000-es évek elején indult UMTS- és HSPA-hálózatok [10] lehetővé tették a böngészést, az e-mailt, a videóhívást és a multimédiás szolgáltatásokat. A 3G volt az okostelefonok tömeges elterjedésének alapja.

4G – a nagysebességű adatátvitel

A 2010-es években bevezetett LTE-hálózatok [9] már teljesen IP-alapúak, VoLTE-technológiával. A nagy sebesség és alacsony késleltetés elhozta a HD streaminget, az online játékokat és a felhőalapú szolgáltatásokat. A 4G-ökoszisztéma része az NB-IoT is, amely kis fogyasztású IoT-eszközök tömeges kiszolgálását tette lehetővé.

5G – az NSA és SA korszak

A 2020-as évek elején megjelent 5G [2][6] akár 10 Gbit/s sebességet és 1 ms alatti késleltetést kínál, kulcsfontosságúvá téve a technológiát olyan területeken, mint az autonóm járművek, a robotika vagy a távsebészet. Az NSA-változat a 4G-infrastruktúrára épít gyors bevezetést biztosítva, de korlátozott képességekkel. Az SA ezzel szemben teljes értékű 5G-architektúrát kínál, lehetővé téve a hálózati szeletelést, az ultra-alacsony késleltetésű kommunikációt (URLLC) és a masszív gépi kommunikációt (mMTC) [11][12].

Összességében a mobilhálózatok néhány évtized alatt az analóg hangátviteltől eljutottak a valós idejű, ipari és társadalmi alkalmazásokat támogató rendszerekig, és a digitális gazdaság, az IoT és az okosvárosok alpinfrastruktúrájává váltak [7][8].

3. Elért eredmények, 5G alkalmazási területek esettanulmányai

Az 5G-Stand Alone (5G-SA) architektúra egyik fő előnye, hogy nagyon eltérő kommunikációs igényeket képes egyetlen, rugalmas infrastruktúrán belül kiszolgálni. Az alábbi két példa szemlélteti, hogyan valósíthatók meg kritikus szolgáltatások 5G segítségével.

3.1 Mobilhálózat-alapú fizetési szolgáltatások

A készpénzmentes fesztiválok és rendezvények Magyarországon is egyre elterjedtebbek. Itt kiemelten fontos, hogy a terminálok és mobiltelefonok gyorsan, biztonságosan és nagy megbízhatósággal bonyolítsák le a kis összegű tranzakciókat. A fő követelmények: rendkívül magas megbízhatóság (>99,999%) és alacsony adatforgalom (<1 Mbit/s) mellett, ideiglenes és rugalmas hálózatkiépítés, valamint széles lefedés.

Hagyományos hálózat esetén gondot okozhat a tömeg miatti túlterhelés, a prioritás hiánya és a lassú bázisállomás-telepítés. A Campus 5G-NSA ezzel szemben on-demand hálózati szeleteket biztosít a pénzügyi forgalom számára, elkülöníti a lakossági adatokat, garantált késleltetést és sáv szélességet nyújt, hordozható bázisállomásokkal gyorsan telepíthető, és edge computing révén lokálisan dolgozza fel a tranzakciókat [13].

3.2 VIP-események és tömegrendezvények

Nagy rendezvényeken egyszerre kell kiszolgálni VIP-vendégeket, médiát, biztonsági erőket és több tízezer civil látogatót. A fő igények: nagy sáv szélesség (streaming), kritikus, titkosított biztonsági kommunikáció, garantált kapacitás a VIP-vendégek és a média részére, valamint nagy területi lefedettség.

Hagyományos hálózatnál ilyenkor túlterhelés, prioritás hiánya és kiszámíthatatlan késleltetés jelent problémát. 5G-SA esetén több, eltérő paraméterezésű szelet hozható létre: dedikált VIP-szelet, média szelet, biztonsági szelet, valamint lakossági felhasználói szelet. Így minden szereplő a számára optimális hálózati jellemzőkkel rendelkezhet, miközben az esemény teljes infrastruktúrája egyetlen 5G-SA hálózaton működik [13].

3.3 Sportesemények – Nagy területen mozgó streaming szolgáltatás

Egy Balatonon zajló vitorlásverseny során a hajók fedélzetéről kellett folyamatos videóstreamet biztosítani. A fő követelmények: stabil sáv szélesség, 1–2 másodperces késleltetéstűrés kimaradások nélkül, valamint nagy terület lefedése mozgó eszközökkel.

A hagyományos hálózatok a nem homogén lefedettség és gyakori cellaváltások miatt nem voltak alkalmasak. A Campus 5G-hálózat ezzel szemben dedikált streaming szelettel, nagy kiterjedésű lefedettséggel biztosította a megbízható közvetítést [13].

3.4 Ipari automatizálás – időkritikus vezérlés

Egy autóipari beszállító gyártósorain kis mennyiségű, de időkritikus M2M-kommunikáció zajlik (robotkarok, szenzorok, ellenőrző rendszerek között). A követelmények:

milliszekundumos URLLC-késleltetés, rendkívül magas megbízhatóság, stabil jitter- és interferenciamentes kapcsolat. A fenti tapasztalatok alapján hasonló adatforgalommal kísérleteztünk a kutatási SZTAKI Ipar4.0 laborjaiban.

A hagyományos 4G/5G-NSA hálózatok nem tudják egyszerre garantálni a kis késleltetést és a magas megbízhatóságot. A Campus 5G szeletelés révén URLLC-re optimalizálható, a kritikus adatforgalom prioritást élvez, és az edge computing csökkenti a válaszidőt [13].

Az esettanulmányok alapján az 5G-SA értéke nem pusztán a nagy adatsebesség, hanem a testreszabható szolgáltatások és kritikus alkalmazások támogatása. A network slicing, edge computing és dinamikus erőforrás-kezelés révén egyszerre teljesíthetők az ipari automatizálás, pénzügyi tranzakciók, a tömegrendezvények és a streaming alkalmazások eltérő követelményei [13].

3.5 4G-limitációk

3.5.1 Terminálok elavulása és frissítések hiánya

Az 5G-NSA a 4G vezérlősíkra épül, így a régi eszközök egyre kevésbé kompatibilisek az új hálózati funkciókkal. Sok olcsó készülék csak NSA-t támogat, frissítés hiányában nem képes 5G-SA kapcsolatra. Ez a szolgáltatások bevezetésének és a felhasználói élménynek komoly korlátja [7].

3.5.2 Privát hálózatok terjedése

A privát mobilhálózatok (Campus 4G, Private 5G-NSA) iparban, bányákban, kikötőkben már működnek, de csak egyedi, tökeigényes beruházásokként. A tömegpiac inkább a lakossági és IoT-megoldások felé mozdul, ahol a nyilvános hálózat gazdaságosabb. Az NSA ugyanakkor nem kínál rugalmas szeparációt ezekre az esetekre [8].

3.5.3 Heterogén igények és QoS-szeparáció

A felhasználói igények széles skálán mozognak: eMBB videostream, URLLC gépi vezérlés, mMTC szenzoradat. Ezek nemcsak technológiailag, hanem üzletileg is eltérő értéket képviselnek. Az NSA ezt nem kezeli megfelelően, míg az SA natív slicing és QoS-támogatást biztosít [9].

3.5.4 Késleltetés és sebességcélok realitása

Az 5G-NSA gyakran hivatkozott ígéretei – 1 ms késleltetés és 10 Gbit/s – laboratóriumi maximumok. A valós NSA-hálózatokban a késleltetés 20–40 ms, a sebesség 100 Mbit/s – 1 Gbit/s. Mivel az NSA LTE-alapú, ezek a célok csak SA-architektúrával és edge computing révén közelíthetők meg [10].

4. Mobilhálózati architektúrák

4G LTE (EPC + eNodeB)

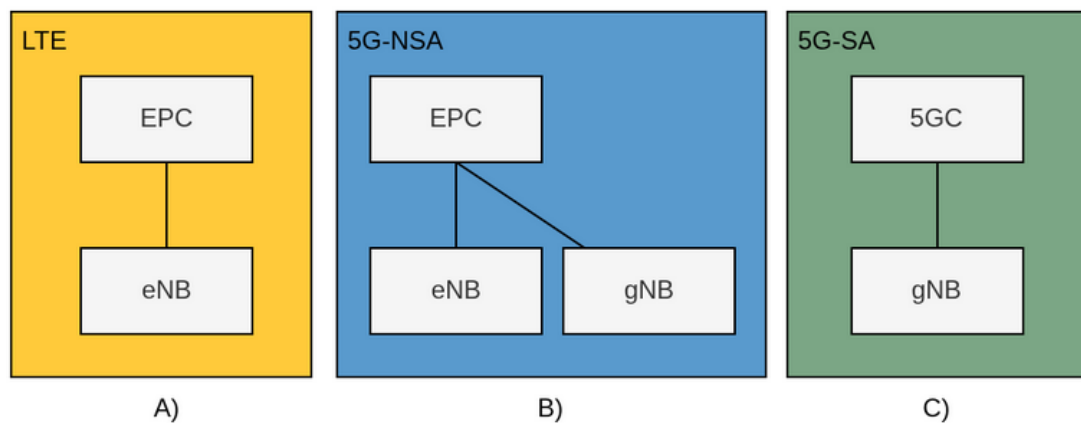
Az 1. ábra A részében szereplő architektúra rámutat, hogy a 4G-hálózatok az EPC-re épülnek, amely a vezérlési és felhasználói sík kezeléséért felel. Az eNodeB közvetlenül kapcsolódik az EPC-hez (MME, SGW, PGW). A modell stabil és globálisan elterjedt [11].

5G-NSA (EPC + eNB + gNB)

Az 1. ábra „B” részén bemutattuk, hogy az NSA hibrid architektúra: az eNB adja a vezérlést, a gNB kezeli az 5G-adatforgalmat. Bár biztosítja az 5G-rádiót, a core 4G-alapú, így nincs valódi alacsony késleltetés, slicing vagy edge integráció [12].

5G-SA (5GC + gNB)

Az 1. ábra „C” részén pedig rámutattunk, hogy az SA natív 5G-architektúra, ahol a gNB közvetlenül a 5GC-hez kapcsolódik. Az SBA-alapú core támogatja a slicinget, QoS-t, edge computingot és URLLC-t [13].



1. ábra Mobilhálózati architektúrák

Network Slicing túlterhelt hálózatban

A hálózatokat nem csúcsterhelésre méretezik, így forgalmi torlódások előfordulhatnak. A slicing logikailag elkülöníti az erőforrásokat, így például egészségügyi vagy ipari vezérlési szolgáltatás elsőbbséget kaphat egy háttérben futó frissítéssel szemben.

A slicing end-to-end működik: a RAN-tól az IP-hálózaton és a core-on át egészen az alkalmazásig. A 5GC felel a szeletek profiljáért, QoS-éért és erőforrásainak menedzsmentjéért. Ez nemcsak technológiai rugalmasságot, hanem üzleti differenciálást is lehetővé tesz, mivel a szolgáltatók külön SLA-ket kínálhatnak különböző ügyfeleknek.

5. Új lehetőségek

A 4G statikus PLMNID–core mappingje és a korlátozott QoS-osztályok (2–3) nem teszik lehetővé a szolgáltatások finomhangolt, felhasználói csoportonkénti kezelését. A szolgáltatások többsége azonos kezelési szinten működik, így az erőforrás-allokáció korlátozott.

Az 5G-SA natív dinamikus network slicing lehetővé teszi logikailag független szeletek létrehozását, saját QoS-profilokkal. A szeletek paraméterei dinamikusan módosíthatók a forgalmi helyzet, földrajzi terhelés vagy üzleti szabályok szerint.

Újítások és lehetőségek:

- **Felhasználó-/csoportszintű szelet-hozzárendelés:** vállalati ügyfelek vagy IoT-eszközparkok dedikált slice-okba szervezése.
- **Földrajzilag célzott erőforrás-hozzárendelés:** adott régiókban slice-ok preferálása vagy tiltása sportesemény, katasztrófa vagy ipari alkalmazás támogatására.
- **Ügyfélszolgálati eseményekre reagáló újrakonfigurálás:** szeletek paramétereinek automatikus módosítása hiba, upgrade vagy díjcsomag-váltás esetén.
- **Local Breakout és Edge Computing:** szelet forgalma lokálisan feldolgozható, csökkentve a késleltetést, és növelve az adatbiztonságot.

6. Összefoglaló

Tanulmányunk áttekintette a mobilhálózatok fejlődését 1G-től 5G-SA-ig. Rámutattunk, hogy míg a 4G és az 5G-NSA a humán központú kommunikációt szolgálja, a jövő hálózatai egyre inkább gépi (IoT, M2M) igényekre épülnek. Az 5G-NSA-architektúra korlátai – LTE-alapú vezérlés, korlátozott QoS – az 5G-SA felé vezető utat jelölik.

Az 5G-SA natív network slicing, dinamikus QoS-kezelés és lokális forgalomkicsatolás révén lehetővé teszi a hálózat személyre szabását, az erőforrások valós idejű, rugalmas kezelését, különösen túlterhelt szakaszokon.

Bár a gyakorlati alkalmazás még kísérleti vagy korlátozott üzleti fázisban van, a technológiai eszköztár már számos új üzleti és alkalmazási lehetőséget kínál. A következő időszak kulcskérdése a platform képességeinek optimalizált és validált üzleti hasznosítása lesz, különös tekintettel az ipari, társadalmi és digitális infrastruktúrák átalakulására.

Szerzői közreműködés

A bevezetést és az 5G-SA üzleti lehetőségeket Soós Gábor írta. A mobilhálózatok evolúcióját Gutti Zoltán dolgozta ki. Az elért eredményeket és szolgáltatásokat Ormos Pál foglalta össze. Az ábrákat és a lektorálást Csuha Júlia Borbála végezte. Az összefoglalót a szerzők közösen készítették.

Hivatkozások

- [1] J. D. Gibson, The Mobile Communications Handbook, 3rd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2012.
- [2] A. Osseiran, J. F. Monserrat and P. Marsch, 5G Mobile and Wireless Communications Technology, Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2016.
- [3] 3GPP, “3rd Generation Partnership Project,” [Online]. Available: <https://www.3gpp.org>. [Accessed: Jun. 4, 2025].
- [4] ITU, “International Telecommunication Union – Radiocommunication Sector (ITU-R),” [Online]. Available: <https://www.itu.int>. [Accessed: Jun. 4, 2025].
- [5] GSMA, “Global System for Mobile Communications Association,” [Online]. Available: <https://www.gsma.com>. [Accessed: Jun. 4, 2025].
- [6] Ericsson, “Ericsson Mobility Report,” [Online]. Available: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report>. [Accessed: Jun. 4, 2025].
- [7] Nokia, “5G White Papers and Technical Resources,” [Online]. Available: <https://www.nokia.com/networks/portfolio/5g>. [Accessed: Jun. 4, 2025].
- [8] Huawei, “5G Technology White Papers,” [Online]. Available: <https://www.huawei.com/en/technology-insights/5g>. [Accessed: Jun. 4, 2025]
- [9] Tasher Ali Sheikh, “Evolution of Mobile Communication Networks” [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/353795623_Evolution_of_Mobile_Communication_Networks [Accessed: August, 2020]
- [10] Md Hasan Mahmud, „Cellular Mobile Technologies (1G to 5G) and Massive MIMO.” [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/349493734_Cellular_Mobile_Technologies_1G_to_5G_and_Massive_MIMO [Accessed: July, 2019]
- [11] Osama AlQahtani, „AI-powered network optimization for next-generation wireless connectivity: exploring 5G/6G networks” [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/392560015_AI-powered_network_optimization_for_next-generation_wireless_connectivity_exploring_5G6G_networks [Accessed: June, 2025]
- [12] Ahmed Solyman, Khalid Yahya, „Evolution of wireless communication networks: from 1G to 6G and future perspective” [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/362397204_Evolution_of_wireless_communication_networks_from_1G_to_6G_and_future_perspective [Accessed: August, 2022]
- [13] Halima Chaouki, Radouane Iqdour, Mohamed Boulouird, „Enhancing 5G Networks with Edge Computing: An Overview Study” [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/387025572_Enhancing_5G_Networks_with_Edge_Computing_An_Overview_Study [Accessed: June, 2025]