

híradástechnika

1945 VOLUME LXXXI. 2026

hírközlés ■ informatika

1



Infokommunikáció – kérdések és trendek

A Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület folyóirata

Tartalom

Előszó – Infokommunikáció – kérdések és trendek KISS TAMÁS, VARGA PÁL	1
Skálázódó AI KÁTAI ROLAND	3
Válaszok a mesterséges intelligencia kockázataira MOLNÁR ATTILA	9
Konnektivitási megoldások fizikai MI-hez a mobilhálózat peremén – A forgalomirányítási megközelítések összehasonlító elemzése KOVÁCS BENEDEK, DESZTICS ARMAND, PAPP ZSÓFIA	14
Gigabit Program előkészítésének műhelytitkai CSIZMADIA NORINA	25
Lesz-e a streaming az új lineáris? Avagy – látjuk a változásokat, halljuk a mondásokat, de a valóság számít RAJKI ANNAMÁRIA	29
A biztos kapcsolat – kritikus kommunikáció a digitális állam korszakában HERNÁDI ESZTER, PODOS-VETÉSI ANIKÓ	33
A jövő csapatjátékosai – Z generáció a fedélzeten FINY KRISZTINA	38
A HTE-ről dióhéjban	44

Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület

www.hte.hu

Elnök
BANCSICS FERENC

H-1051 Budapest, Bajcsy-Zsilinszky út 12., 5. em./502.
Tel.: +36 1 353 1027 • E-mail: info@hte.hu

Szerkesztő
KISS TAMÁS

Felelős kiadó
NAGY PÉTER

HU ISSN 2018-2028 • Layout: PLAZMA DS • Nyomda: FOM Media

A kiadvány támogatói



NOKIA

A folyóirat támogatói



Infokommunikáció – kérdések és trendek

KISS TAMÁS¹ és VARGA PÁL²

¹ HTE; ² BME TMIT tanszékvezető

A Híradástechnika különszámának jelen írásai az infokommunikációs szektor legégetőbb jelenkori kérdéseire és a jövőt formáló trendekre reflektálnak.

Az első három cikk az „AI Hungary 2026 – a HTE Mesterséges Intelligencia Szimpózium” kiemelt előadásai apropójából született. Ezek a mesterséges intelligencia mai transzformatív hatásának három nézőpontját villantják fel.

Kátai Roland cikkében arról olvashatunk, hogy az MI-fejlesztés szűk keresztmetszete néhány év alatt mennyire áthelyeződött. Ma már nem elsősorban a technológiai képesség korlátoz bennünket, hanem az, hogy megtaláljuk-e a valóban megoldásra érdemes problémát, felépítjük-e köré a megfelelő szervezetet, és van-e fegyelmünk a megoldás skálázásához. Ehhez képest a mai nagyvállalati gyakorlat tanulsága szerint az MI bevezetése sokkal inkább koordinációs és változáskezelési, semmint mérnöki feladat.

A következő cikkben a Relnet szakértői a kockázatokat helyezik fókuszba. Az autonóm MI-ágensek megjelenése olyan új fenyegetési kategóriákat teremt, amelyekre a hagyományos, szabályalapú védelmi eszközök nem adnak kielégítő választ, így a szerző a támadási formák mellett a védekezés technológiai és szabályozási eszköztárát is számba veszi.

Végül az Ericsson kutatóinak cikkében a fizikai MI (pl. az autonóm robotok, drónok és járművek) konnektivitási igényeihez érkezünk. Itt az 5G peremszámítási forgalomirányítási megoldásainak összehasonlító elemzése, valamint egy autonóm robotkutyás demonstráció mutatja meg, mit jelent a gyakorlatban a néhány tíz milliszekundumos válaszidő.

Az MI irányból áttevünk az infokommunikációs ágazat további területeire.

A következő cikkben a Gigabit Magyarország Program előkészítésének kulisszatitkaiba pillanthatunk be, amely a digitális alpinfrastruktúra 2030-ig történő, országos szintű kiépítését célozza meg.

Ezt követően a tartalom piaci verseny dinamikájáról olvashatunk, ahol a szolgáltatók az innovatív üzleti modellek és a fogyasztói igények maximális kiszolgálása révén küzdenek a felhasználók figyelméért.

Ezután a digitális állam korszakának kritikus kommunikációs infrastruktúráit ismerhetjük meg, bemutattva, hogyan váltak a modern 4G/5G alapú rendszerek az állami működés elengedhetetlen oszlopaivá.

Végül a technológiai fejlődés mellett a humán oldal is fókuszba kerül, bemutatva munkaerőpiacra belépő Z generáció integrációját és a generációk közötti együttműködést, amely mindezen modern technológiák kontextusában is alapvető fontosságú.

Bízunk benne, hogy ezek a sokszínű, mégis egymáshoz ezer szállal kapcsolódó témák inspiráló gondolatokkal szolgálnak majd minden szakmabeli és érdeklődő olvasó számára.

Hasznos és gondolatébresztő időtöltést kívánunk a tanulmányok tanulmányozásához!

Kiss Tamás és Varga Pál

**KISS TAMÁS**

1986-ban végzett a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán.

A mobil hálózatokkal 1991-ben került kapcsolatba, amikor csatlakozott a nem sokkal korábban elindult Westel Rádiótelefon Kft.-hez. Ezt követően különböző pozíciókban a Westel, a T-Mobile és a Magyar Telekom 1G, 2G, 3G, 4G, 5G hálózatainak kiépítésén dolgozott.

2022-től 2026 áprilisáig a Nemzeti Média és Hírközlési Hatóságnál spektrum gazdálkodással foglalkozott. Közben 2021–2024 között a Széchenyi István Egyetemen Mobil Távközlést tanított. 2025 óta a BME címzetes egyetemi docense.

**VARGA PÁL**

PhD fokozatát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerezte. Jelenleg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Távközlési és Mesterséges Intelligencia Tanszékének docense és tanszékvezetője. Fő kutatási területei a kommunikációs rendszerek, a kiberfizikai rendszerek és az ipari

dolgok internete, a hálózati forgalomelemzés, valamint a teljes körű QoS és SLA kérdések – amelyekhez szívesen alkalmaz hardveres gyorsítást és mesterséges intelligenciát, valamint gépi tanulási technikákat is. A HTE tagjaként az IEEE szenior tagja, ahol aktív az IEEE ComSoc (Communication Society) és az IEEE IES (Industrial Electronics Society) közösségekben. A Sensors (MDPI) és az Electronics (MDPI) folyóiratok szerkesztőbizottságának tagja, valamint az Infocommunications Journal főszerkesztője.

Skálázódó AI

KÁTAI ROLAND

Head of AI, AUMOVIO SE, Safety & Motion üzletág

Az MI-fejlesztés szűk keresztmetszete néhány év alatt áthelyeződött. Korábban a technológiai képesség korlátozott bennünket; ma egyre inkább az, hogy megtaláljuk-e a valódi, megoldásra érdemes problémát, fel tudjuk-e építeni köré a megfelelő szervezetet, és van-e fegyelmünk a megoldást valóban skálázni. Egy nagyvállalati MI-terület gyakorlatából levonva: a mesterséges intelligencia bevezetése ma első-sorban nem mérnöki, hanem koordinációs és változáskezelési feladat. A cikk az AI Hungary 2026 konferencián tartott „Skálázódó AI” című előadás [1] szerkesztett, bővített változata.

Kulcsszavak: mesterséges intelligencia, MI-ágensek, vállalati bevezetés, skálázás, változáskezelés

Bevezetés

Egy globálisan jelenlévő technológiai nagyvállalatnál a mesterséges intelligencia bevezetése más természetű feladat, mint egy kisebb csapatnál. Az AUMOVIO a Continentalból kivált technológiai cég; a Safety & Motion üzletág járművekbe gyárt biztonsági rendszereket (fékeket, szenzorokat, légzsákvezérlőket) öt kontinensen, sok országban, számos telephelyen. Egy ekkora szervezetben nem tíz, hanem több ezer, sőt több tízezer embert kell elérni, és nemcsak a fejlesztést, hanem a gyártást, a pénzügyet, a számvitelt, a HR-t, vagyis minden belső ügyfelet ki kell szolgálni. Ez önmagában átvezetési és koordinációs kérdéssé teszi azt, ami első pillantásra technológiai kérdésnek tűnik.

Az elmúlt hónapok tempója ezt a kérdést élesebbé tette. A vezető modellszállítók piaci súlypontjai rövid idő alatt átrendeződtek: az Anthropic éves árbevétele 2025 eleje és 2026 áprilisa között 1 milliárd dollárról mintegy 30 milliárd dolláros éves szintre (ARR) ugrott, megelőzve ezzel az OpenAI-t [2]. A vállalati nagynyelvi-modell piacán az Anthropic részesedése 40%-ra nőtt, az Open AI-é a 2023-as 50%-ról 27%-ra esett, a Google pedig 21%-on áll [2].

A beruházások és az infrastruktúra-építés nem lassult. A legnagyobb felhőszolgáltatók (hyperscalerek) 2026-ra több mint 600 milliárd dollár tőkekiadást terveznek (éves szinten +36%), amelynek mintegy háromnegyede közvetlenül MI-célú [4]. A nagy techcégek MI-tőkeki-

adása a 2022-es 162 milliárd dollárról 2025-re 448 milliárdra nőtt, és a Goldman Sachs 2026-ra 500 milliárd dollár fölötti MI-beruházást vetít előre [4].

A szoftverfejlesztésben az MI részaránya rohamosan nő. Az Egyesült Államokban a gép által generált kód aránya a 2022-es 5%-ról 2025 elejére 29%-ra emelkedett; a Microsoft és a Google vezérigazgatója egyaránt arról számolt be, hogy kódbázisuk 20–30%-át már MI állítja elő, a Gartner pedig azt prognosztizálja, hogy 2026 végére az új kód 60%-a így készül [3]. Egy évvel korábban ezek a számok még nem így néztek ki; más nagyságrendről beszélünk.

A diskurzus súlypontja is áthelyeződött: a nagy nyelvi modellekről és chatbotokról az *ágensekre*. Ezek ma már jó minőségű, sokféle valós feladatra képes rendszerek. A Gartner szerint az MI-ágensek a vállalati alkalmazásoknak 2025-ben még kevesebb mint 5%-ában voltak jelen, 2026 végére viszont már 40%-ában lesznek; az ágensekre fordított kiadás 2026-ban 201,9 milliárd dollárra ugrik (+141% az előző évhez képest) [5]. Az, hogy intelligenciának nevezhetjük-e őket, e cikk szempontjából mellékes; a lényeg, hogy valós üzleti problémákat képesek megoldani. A nyitott kérdés tehát nem az, hogy *léteznek-e* ilyen képességek, hanem az, hogy egy vállalat hogyan fordítja őket mérhető üzleti haszonná.

Érdemes tágabb keretbe helyezni a jelenséget. Jensen Huang, az NVIDIA vezérigazgatója egy újfajta ipari forradalomként írja le a változást. Minden korábbi ipari

forradalom feloldott egy korábbi korlátot: az első, a gépésítés a fizikai erőét; később a számítástechnika és az internet a számítási sebességét. Az MI nagyon úgy tűnik, hogy a szellemi munkát szabadítja fel: egyre kevésbé a szellemi kapacitás lesz a szűk keresztmetszet. Nem állítom, hogy ez már így van, de az irány ez felé mutat.

A cikk felépítése: a 2. fejezet a *bizalom* kérdését tárgyalja, a 3. fejezet amellel érvel, hogy ma nem a technológia, hanem a *jó probléma* a szűk keresztmetszet, a 4. fejezet a koordinációt mint átfogó feltételt mutatja be. Ezt követi a hármas módszertan: az 5. fejezet a probléma kiválasztásáról, a 6. a keresztfunkcionális csapatról és a valódi agilitásról, a 7. a skálázás változáskezelési, költség- és governance-kérdéseiről szól. A 8. fejezet nyilvános adatokon mutatja meg, miért látja a cégek többsége nullára közeli ROI-t, és mi különbözteti meg a nyerteseket. A 9. fejezet összegzi a fő tanulságokat.

Bizalom a rendszerekben

Ha az ágensekre egyre több munkát bízunk, óhatatlanul felmerül: hogyan bízhatunk meg bennük? Érdemes észrevenni, hogy a bizalom nem új probléma. Nem minden fejlesztő ismeri a fordítóprogram belső működését, mégis használja a C-fordítót. Egy vezérigazgató nem ismeri a gyártósori operátor minden mozdulatát, mégis bízik abban, hogy a folyamat egésze jó minőséget garantál. Ugyanígy bízunk a közszolgáltatásokban, az ivóvízben, a tömegközlekedésben: nem azért, mert minden részletét ellenőrizzük, hanem mert a rendszer úgy van felépítve, hogy a minőséget biztosítsa.

Itt jogos az ellenvetés: a fordítóprogram és a közművek determinisztikusak és ellenőrizhetők, az MI-ágensek kimenete viszont valószínűségi. A különbség azonban nem az, hogy az MI megbízhatatlan, az ember pedig megbízható; *mindkettő bizonytalan kimenetet produkál*. Egy ember is hibázik, fárad, téveszt; mégis megbízunk benne, mert évszázadok óta gyakoroljuk, hogyan építünk a *humán hibára* méretezett rendszereket: folyamatokat, felülvizsgálatot, kontrollpontokat, „négy szem” elvet. A kockázatot nem megszüntetjük, hanem korlátozzuk. Ugyanezt kell most megtennünk az MI-ágensekkel is, a rendszer tervezésekor tudatosan számolva

azzal, hogy a kimenet nem determinisztikus. Konkrétan: ember a hurokban (*human-in-the-loop*) jóváhagyási pontok a nagy kockázatú lépéseknél, megbízhatósági küszöbök (*confidence score*), amelyek alatt a feladat emberhez kerül, kétlépcsős jóváhagyás a visszafordíthatatlan műveleteknél, valamint a kimenetek automatikus tesztelése és naplózása. Nem a tévedés lehetőségét számoljuk fel, hanem a hatását korlátozzuk arra a szintre, amelyet még ellenőrizni tudunk.

Az MI-ágensekkel végzett munka tehát hasonló. Be kell látnunk, hogy *fel tudunk építeni* olyan rendszert, amelyben megbízhatunk: amelyben az elvégzett munka megfelelő minőségű és követhető. Ez egy nagyon fontos üzenet: nem azt állítom, hogy a „vibe coding” mindenre megoldás. Andrej Karpathy eredeti megfogalmazásában a vibe coding az, amikor „teljesen átadjuk magunkat a ráérzésnek... és elfelejtjük, hogy a kód egyáltalán létezik” [6]. Ezt tovább fűzve: elfelejthetjük, hogy a kód létezik, de azt nem, hogy terméket fejlesztünk. Egy idő után másodlagossá válik, hogy a megoldás milyen programozási nyelven (sőt milyen természetes nyelven) készült; ami számít, hogy tudjuk, mi a cél, és ellenőrizni tudjuk, elértük-e azt, és jól értük-e el.

A jó probléma, mint új szűk keresztmetszet

Ha a technológia már nem szűk keresztmetszet, akkor mi az?

A meglátásom szerint a jó probléma válik szűkössé. Ágensekkel rengeteg mindent meg lehet oldani (képet, videót, tréfás tartalmat generálni), de ez nem feltétlenül a jó probléma, és nem feltétlenül az erőforrás jó felhasználása. Az internet tele van a tömegével, gépi úton előállított, gyenge minőségű tartalommal (az angol szlengben „AI slop”); ez intő példa arra, hogyan ne használjuk az eszközt. Egy vállalatnál folyamatokat is ki lehet váltani ágensekkel, csak a végén kiderülhet, hogy a tokenköltség nagyobb volt, mintha továbbra is egy kolléga végezte volna.

A valódi problémákat kell megtalálni és megoldani. A továbbiakban ezt a három lépést járom végig: a probléma megtalálása (5. fejezet), megoldása (6. fejezet) és skálázása (7. fejezet). A három lépést az 1. ábra szemlélteti. Előbb egy átfogó feltételről, amely nem külön lépés, hanem mindhárom lépést átszövi: a koordinációról.



1. ábra – A skálázódó MI-bevezetés három lépése.

A koordináció mint átfogó feltétel

A projektmenedzsment fontosságát könnyű alábecsülni, pedig az MI-bevezetésnél is ezt kell belátnunk: ez nem pusztán technológiai kérdés. Kell valaki, aki felelősséget vállal, tulajdonosi szemlélettel végigviszi a bevezetést annak minden nyűgével együtt, tartja a határidőket és riportál.

Ez tükröződik abban is, ahogyan a szervezetet építjük. A most formálódó MI-szervezetben sok adattudós és MI-mérnök mellett legalább akkora arányban lesznek projektmenedzserek, business ownerek, delivery managerek; nevezze mindenki a maga szóhasználatában. Ez közel egy az egyhez arány: csaknem annyi koordináló szerep kell, mint amennyi mérnöki, mert maga a technológia (házon belül vagy kívül) elérhető.

Fontos pontosítani, mire vonatkozik ez az arány. Nem egy MI-natív termékcégről beszélek; ott a trend épp elmentéses: az MI növeli a mérnöki termelékenységet, így egy projektmenedzsere egyre több fejlesztő jut (egy-egy MI-cégnél nagyságrendileg 1:20) [12]. Az itt leírt, közel 1:1 arány egy *hagyományos nagyvállalaton belüli MI-bevezető csapatra* érvényes: arra a csapatra, amelynek az a feladata, hogy az MI-eszközöket beépítse a meglévő üzleti folyamatokba. Itt a munka oroszlánrésze nem modellfejlesztés, hanem koordináció, change management és a doménterületekkel való összehangolás, ezért tolódik el az arány a koordináló szerepek felé. A koordináció ott van mindegyik lépésben: a probléma kiválasztásában, a megoldás gazdasági felelősségében és a skálázás változáskezelésében egyaránt.

A legjobb probléma megtalálása

A jó probléma keresése ott kezdődik, hogy nem a technológiát akarjuk valakire ráerőltetni: nem a gombhoz keresünk kabátot. Ehhez ismerni kell a saját folyamatainkat, pontosan tudni, hogyan dolgozunk az adott vállalatnál. Ez nem könnyen kiváltható tudás: mindenkinek a saját doméntudása lesz óriási érték, mert ő látja a saját szűk keresztmetszeit.

Ha megvan a jelölt probléma, számolni kell. Objektíven fel kell mérni, mi történne, ha megoldanánk. Egy fájó, bosszantó probléma érzelmileg nagynak tűnhet, miközben a tényleges megtérülése csekély: ha egy megoldás fejeként napi egy órát spórol, de ezt elaprózza, sok ember között osztja szét, a tényleges haszon nem feltétlenül indokolja a ráfordítást. Ezért a szubjektivitást („mennyire fáj”) félre kell tudni tenni, és pénzügyileg átszámítani. Nálunk ez kötelező lépés: a problémát pénz-

ben fejezzük ki, és ehhez külön számítási módszertant alakítottunk ki. Aki azt mondja, hogy a haszon előre nem számolható pontosan, annak igaza van, de ettől még nem szabad meg sem próbálnunk. Az energiát mindenképpen bele kell tenni.

Végül a kedvenc kis projektjeinket el kell tudni engedni. Erre egy konkrét, valós belső példánk az AUMOVIO-ból. A beszerzési területre fejlesztett szerződéselemző megoldás a szerződéseket dolgozta fel: értelmezte, kimutatást készített belőlük, és összegezte az egészet. Több mérnök dolgozott rajta közel fél éven át, 2024 táján kezdve. Mire a skálázás költségvetését kértük volna, a probléma jórészt megszűnt: a legújabb modellek a nyers dokumentumból már elvégezték ugyanezt. A számítás, amelyet egy éve végeztünk, már nem volt érvényes. El kell engedni azokat a kezdeményezéseket, amelyek jónak tűntek, de elment mellettük az idő.

Ez a „öljük meg a kedvenceinket” (*kill your darlings*) elve. Nem szabad beleesni az elsüllyedt költség (*sunk cost*) csapdájába: abba a hibába, hogy „ha már elkezd-tük, végig kell csinálni”. Praktikus ökölszabály, amelyet az iparági gyakorlat is javasol: minden 12 hónapnál régebbi kezdeményezést pusztán a kora miatt is vizsgáljunk felül [9], és a folytatásról az aktuális (nem a projekt indulásakor) feltételezések alapján döntsünk. A gyorsan változó modellpiacon ami egy éve még értékes fejlesztés volt, ma már ingyen elérhető képesség lehet.

A megoldás: keresztfunkcionális csapat és valódi agilitás

Egy problémát nem ott kezdünk megoldani, hogy odaadjuk egy mérnöknek, „oldd meg”. Valószínűleg meg fogja oldani: gyorsan készül egy proof of concept, és „kész vagyunk”. De ha a megoldásnak nincs gazdája, aki egészen a bevezetésig és az üzemeltetésig (maintenance) végigviszi, akkor komoly bajban vagyunk. Itt nem lehet élesen szétválasztani a „vevőt” és a „szállítót”; ezért van szükség keresztfunkcionális csapatra, amelyben a doméntudás is jelen van. Ezt a magunk kárán tanultuk meg, és azóta is az egyik legfontosabb alapelvünk.

Operatíván ez nálunk azt jelenti, hogy minden kezdeményezésnek van egy nevesített gazdája (business owner vagy delivery manager), aki a problémától az üzemeltetésig felel az eredményért; mellette egy-egy a doménterületet ismerő szakértő (aki a tényleges munkafolyamatot képviseli) és a megvalósításért felelős MI-mérnök. A döntési jogkör a gazdánál van, az eszközök pedig a hármas feyelem mentén dőlnek el: ha a probléma pénzügyi megalapozása vagy a mért hatás

meginog, a kérdés a portfólió szintjére kerül. A lényeg nem a pontos szervezeti séma, hanem hogy a felelősség egyetlen, azonosítható ponton összpontosuljon.

A másik elengedhetetlen elem a valódi agilitás. Egy három évig tartó termékfejlesztési ciklusban (például egy fékvezérlő kifejlesztésekor) az agilitás sokszor inkább könyvbeli elv maradt: tudtuk a ciklus elején, mit kell a végén leszállítani, így az agilis működés inkább forma volt, mint tartalom. Az MI-nél viszont képtelenség vízeséses (waterfall) módon dolgozni: jövő héten megjelenhet egy új modell, amely megoldja azt a problémát, amellyel éppen küzdöttünk. Az MI rákényszerít az agilitásra, és ezt a megrendelővel is meg kell értetni. Nem tudjuk az elején lefektetni a teljes üzleti tervet, nem tudunk Gantt-diagramot rajzolni a teljes útról. Aki ezt elvárja, az figyelmen kívül hagyja a technológia természetét.

A skálázás: változáskezelés, költség, governance

A megoldást skálázni kell, de a skálázás klasszikus termékbevezetési feladat. A felhasználók eltérő csoportokba esnek: van, aki könnyen, van, aki nehezen adaptálódik, és középen ott a „szakadék” (lásd a 2. ábrát). Ennek áthidalása MI esetén ugyanúgy megy, mint bármely más termék bevezetésénél: alapvetően változáskezelési (*change management*) probléma.

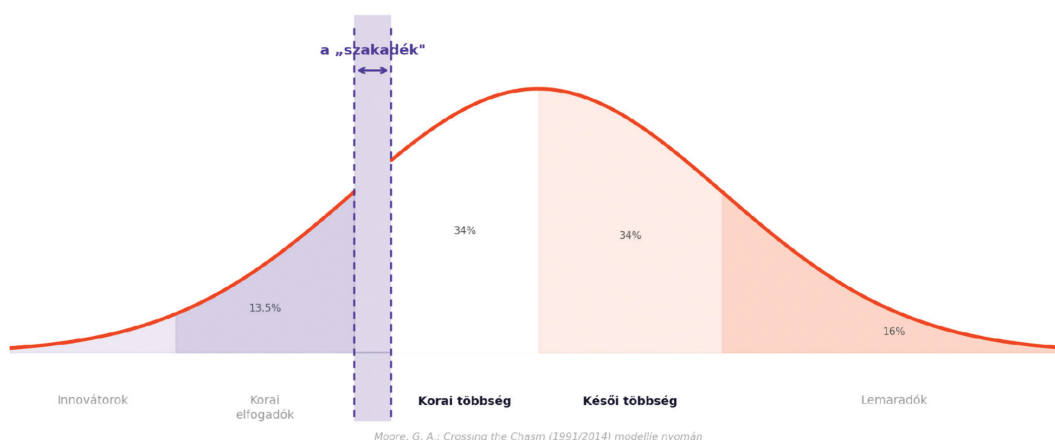
Vegyünk egy konkrét esetet: hogyan adunk át egy fejlesztői csapatnak egy olyan ágenszt, amely fejlesztési feladatokat old meg, unit teszteket ír és futtat, javítja magát, és commitol a verziókezelőbe, miközben a csapat a kezdetektől tudja, hogy ez részben az ő munkájukat hivatott kiváltani? Ez nem mérnöki, hanem változáskezelési és kulturális kérdés. MI-projektet ma nem lehet

bevezetni anélkül, hogy valaki a kulturális hatással és az etikai vonatkozásokkal foglalkozna.

A változáskezeléshez tartozik az is, kik képesek jól együtt dolgozni az ágensekkel. Hadd osszak meg erről egy munkahipotézist: ez saját, belső tapasztalatunkon alapul, nem ellenőrzött kutatási eredmény, és további vizsgálatot érdemel. A megfigyelésünk az, hogy azok boldogulnak a legjobban az ágensekkel, akik vezetői módon gondolkodnak. A vezetői képesség lényege, hogy hátra tudunk lépni, feladatot tudunk adni, víziót és célt tudunk megfogalmazni, majd rá tudjuk bízni magunkat arra, hogy az megvalósul. Aki korábban mindig csak végrehajtott (akinek szóról szóra meg kellett mondani a követelményt), annak az ágens nem feltétlenül a legnagyobb segítség, hiszen ha valami pontosan le van írva, azt az ágens magától elvégzi. Aki viszont projektet irányított már, az tud dirigálni az ágensnek.

Fontos árnyalni: ez nem azt jelenti, hogy a beosztás vagy a senioritás önmagában meghatározná, ki lesz jó az ágensekkel. Más megfigyelések szerint inkább a doménismeret és az iterációra való hajlandóság jelzi előre az MI-jártasságot, mint a hierarchiában elfoglalt hely [11]. A mi tapasztalatunk így inkább arról szól, hogy a vezetői munkamód (a delegálás, a cél kijelölése, az eredmény ellenőrzése) az, ami jól illeszkedik az ágensekkel való munkához; ezt a feltételezést a gyakorlat még finomítani fogja.

Itt érdemes őszintének lenni a célokról. Üzleti környezetben az MI bevezetésének egyik célja, hogy kevesebb emberrel végezzünk el bizonyos munkát, de a mi szándékunk szerint ez nem azt jelenti, hogy emberek-től akarunk megszabadulni, hanem azt, hogy ők értékesebb feladatokra kerüljenek. Őszintétlenség volna ugyanakkor elhallgatni, hogy a piaci trend több helyen



2. ábra – Az adaptációs görbe és a korai elfogadók utáni „szakadék” (Moore Crossing the Chasm modellje nyomán [15]) Az MI-bevezetés ennek áthidalásában is változáskezelési feladat.

nem ezt az ideált követi. A belépő szintű fejlesztői al-
láshirdetések száma 2022 óta mintegy 60%-kal esett
vissza, és a Microsoft a junior tehetségtánpótlás ki-
űresedésére figyelmeztet [13]. Ez a két dolog egyszerre
igaz: a vállalatunk az emberek felemelése, miközben
a piac egy részében valós a kiszorulás. Nem szabad
úgy tenni, mintha a feszültség nem létezne; épp ezért
a change management és az átképzés nem opció, ha-
nem a felelős bevezetés szerves része.

A skálázásnak megvannak a maga költségei. A to-
kenfelhasználás sok fejlesztővel, sok lokáción komoly
tételle áll össze. Az átlagos havi vállalati MI-kiadás a
2024-es 63 000 dollárról 2025-re 85 500 dollárra nőtt
(+36%), és bár az API-árak 2025 eleje és 2026 eleje
között nagyjából 80%-kal estek, a skálán jelentkező
mennyiség ezt a megtakarítást jórészt elnyeli [7]. Éppen
ezért nem engedhetjük meg, hogy ne számoljunk meg-
térülést (ROI), miközben ekkora költségünk van.

Nem feledkezhetünk meg a governance-ről és a megfele-
lőségéről (compliance) sem. Európában olyan kultúrában
dolgozunk, ahol elvárás, hogy a termékek megbízható-
ak legyenek, és ahol az általános adatvédelmi rendelet
(GDPR) a felhasználót védi. A megfelelés valódi teher:
az EU MI-rendelete (AI Act) jellemzően 12–18 hónapos
bevezetési időt és komoly ráfordítást igényel, az adatvé-
delmi bírságok pedig összességében már a több milliárd
eurós nagyságrendet érik el [14]. A helyes stratégiai test-
tartás éppen ezért nem a reagálás, hanem a megelőzés:
érdemes úgy tekinteni az MI-rendeletre, mintha már ma
élne, és mindent most bevezetni, nem megvárni, amíg
a határidők kényszerítenek rá. Aki előbb építi be a meg-
felelőséget a termékfejlesztésbe, az versenyelőnyt sze-
rez abból, amit mások csak nyűgnek látnak.

Végül: a skálázás akkor nevezhető valódi skálázásnak,
ha nem „eldobtuk és megy magától”, hanem követjük,
mérjük, hogyan teljesít, és visszacsatolunk. Ezek nem
újdomságok: ez a projektmenedzsment alapja. Mégis
hajlamosak vagyunk elfelejteni, majd meglepődünk,
milyen drága lett, és hogy „mégsem érte meg”.

A valós üzleti hatás és a mérés szakadéka

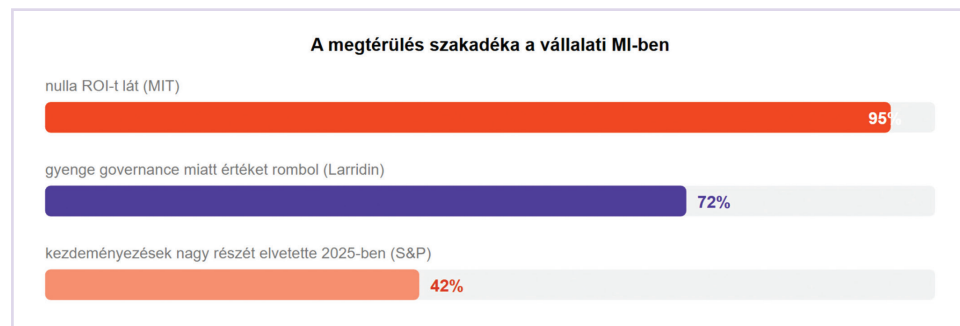
Külön kérdés, hogy a cégek mekkora része használ
valóban MI-t, és ennek mennyi a tényleges haszna.
A nyilvános adatok kijózanítóak (lásd a 3. ábrát). A Mas-
sachusetts Institute of Technology (MIT) „GenAI Divide”
tanulmánya szerint a szervezetek mintegy 95%-a *nulla*
megtérülést lát, miközben a vállalati MI-re 30–40 milli-
árd dollárt költöttek; az S&P Global adatai szerint pedig
2025-ben a cégek 42%-a vetette el MI-kezdményezé-
seinek nagy részét, miközben egy évvel korábban ez az
arány még csak 17% volt [8]. Egy digitális adoptációs
szoftvert kínáló cég, a Larridin saját elemzése arra jut,
hogy a kezdeményezések 72%-a a gyenge irányítás
(governance) miatt *aktívan értéket rombol* [9]; a forrás
kereskedelmi érdekeltiségét érdemes szem előtt tartani.

Mi különbözteti meg a nyerteseket?

A nyereséges kisebbség egyik közös jellemzője, hogy
még a fejlesztés megkezdése előtt meghatározza a
kulcsmutatókat (KPI-okat) [9].

Ez pontosan egybevág a saját tapasztalatunkkal és e
cikk fő üzenetével: a hatás nem a modell képességén,
hanem a kiválasztás, a kivitelezés és a mérés fegyvel-
mén múlik. A Stanford „Enterprise AI Playbook” kutá-
tása ötvenegy sikeres bevezetést elemezve arra jutott,
hogy a szűk keresztmetszet a koordináció és a kivite-
lezés, nem a modell képessége [10]. Egy másik, sokat-
mondó adat: noha az MI-beruházások 2023 óta két és
félszeresükre nőttek, a munkavállalóknak csupán 28%-
a tudja, hogyan használja a cége MI-alkalmazásait [10]:
ez a klasszikus change management hiánya.

Azt senki sem fogja önként bevallani, ha nem ért el szá-
mottevő eredményt. Belső becslésünk szerint (amelyet
formálisan még nem auditáltunk, így önbevallásként
kezelendő) nálunk ez az arány kedvezőbb; meggyőző-
désünk, hogy épp azért, mert a fenti hármas fegyelmet
(megtalálás, megoldás, skálázás) tudatosan alkalmazzuk.
Ezt a jövőben mérhetővé és igazolhatóvá kívánjuk tenni.



3. ábra – A vállalati MI
megtérülésének szakadéka:
a hatás a kivitelezés és a mérés
fegyelmén múlik, nem a modell
képességén. A három mutató
különböző forrásokból és eltérő
módszertannal származik (MIT,
Larridin, S&P Global); nem
ugyanazon jelenség három
mérése, hanem egymást
kiegészítő jelzések.
Források: [8], [9].

Összefoglalás

Az ágensek kora elérkezett; fölösleges ellene menni. Reális ugyanakkor látni, hogy a legnagyobb alaptechnológiai innovációk valószínűleg nem ebből a régióból érkeznek majd; néhány nagy, jellemzően amerikai hyperscaler viszi a prímet. Örömteli lenne, ha ez változna, és nemzetközi konferenciák felhozatalát magyar cégek és friss hazai MI-eredmények töltenék meg. Amiben viszont most erősek lehetünk, az a jó bevezetés: hogy ezeket a technológiákat okosan állítjuk munkába.

Ehhez meg kell találni a legjobb problémát: ez mindenki számára vízvázasztó lesz. Ismerni kell a saját munkafolyamatainkat, hajlandónak kell lenni a változtatásra, és tudnunk kell, mire akarunk megoldást. Azután skálázni kell, vagy azért, mert nagyvállalatnál vagyunk, vagy azért, mert egy nagyvállalatnak szeretnénk eladni. A skálázhatóság, a sok felhasználó kezelése olyan szempont, amelyet már az elején sem szabad elfelejteni.

Visszatérve a kiinduló tézishez: a szűk keresztmetszet ma nem a technológia, hanem a koordináció és a kivitelezés fegyelme. A modellt megvásárolhatjuk vagy letehetjük; a jó probléma kiválasztását, a gazdai felelősséget és a mérésen alapuló skálázást nem. Itt (és nem a leglátványosabb alapmodellek fejlesztésében) tud egy magyarországi csapat is világszínvonalat nyújtani.

Hivatkozások

- [1] Kátai R.: Skálázódó AI. Előadás, AI Hungary 2026 konferencia, Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület (HTE), Budapest, 2026. június.
- [2] D. Curry, „Anthropic overtakes OpenAI in revenue, hitting \$30 billion run rate,” Trending Topics, 2026. trendingtopics.eu/anthropic-overtakes-openai-in-revenue-hitting-30-billion-run-rate (elérve: 2026-06-14).
- [3] „AI and the future of software code,” TechXplore, 2026. január. techxplore.com/news/2026-01-ai-software-code.html (elérve: 2026-06-14).
- [4] A. J. Weissberger, „Hyperscaler capex \$600 Bn in 2026, a 36% increase over 2025,” ComSoc Technology Blog, 2025. december 22. techblog.comsoc.org; „Why AI companies may invest more than \$500 billion in 2026,” Goldman Sachs Insights, 2026. goldmansachs.com (mindkettő elérve: 2026-06-14).
- [5] „5 takeaways – 2026 State of AI Agents,” Arcade.dev Blog, 2026. arcade.dev (elérve: 2026-06-14).
- [6] A. Karpathy, bejegyzés a „vibe coding” fogalmáról, X (korábban Twitter), 2025. február 2. Eredeti szöveg: „There’s a new kind of coding I call ‘vibe coding’, where you fully give in to the vibes, embrace exponentials, and forget that the code even exists.” x.com/karpathy/status/1886192184808149383 (archív: web.archive.org).
- [7] „LLM API pricing comparison,” CloudZero Blog, 2026. cloudzero.com/blog/llm-api-pricing-comparison (elérve: 2026-06-14).
- [8] „Why 42% of AI projects show zero ROI – and how to be in the 58%,” Beam.ai Agentic Insights, 2025. (MIT „GenAI Divide”; S&P Global). beam.ai/agentic-insights/why-42-percent-of-ai-projects-show-zero-roi-and-how-to-be-in-the-58-percent (elérve: 2026-06-14).
- [9] „The \$644 billion blind spot – Enterprise AI reaches its measurement moment,” Larridin Blog, 2025. larridin.com/blog/the-644-billion-blind-spot-enterprise-ai-reaches-its-measurement-moment (elérve: 2026-06-14).
- [10] D. Pereira, K. Graylin, E. Brynjolfsson, „Enterprise AI Playbook,” Stanford Digital Economy Lab, 2026. március. digitaleconomy.stanford.edu/.../EnterpriseAIPlaybook; „Enterprise AI adoption,” WalkMe Blog. walkme.com/blog/enterprise-ai-adoption (mindkettő elérve: 2026-06-14).
- [11] „AI agents 2025 – expectations vs. reality,” IBM Think Insights, 2025. ibm.com/think/insights/ai-agents-2025-expectations-vs-reality (elérve: 2026-06-14).
- [12] „Engineering management 2026 – how to structure an AI-native team,” Optimum Partners Insight, 2026. optimumpartners.com/insight/engineering-management-2026-how-to-structure-an-ai-native-team (elérve: 2026-06-14).
- [13] „Agentic AI and the junior developer crisis,” The New Stack, 2026. thenewstack.io/agentic-ai-junior-developer-crisis; „Companies replaced entry-level workers with AI – now they are paying the price,” Fast Company, 2026. fastcompany.com/91483431 (mindkettő elérve: 2026-06-14).
- [14] „What is the EU AI Act – requirements 2026,” CompliQuest Blog. compliquet.com/en/blog/what-is-eu-ai-act-requirements-2026; „Security, GDPR and enterprise AI agents,” Technova Partners Insights. technovapartners.com/en/insights/security-gdpr-enterprise-ai-agents (mindkettő elérve: 2026-06-14).
- [15] G. A. Moore, Crossing the Chasm: Marketing and Selling Disruptive Products to Mainstream Customers, átdolgozott kiadás, HarperBusiness, 2014. (Eredeti kiadás: 1991.)

A szerzőről



KÁTAI ROLAND

az AUMOVIO SE Safety & Motion üzletágának Head of AI szerepkörét tölti be Magyarországról. Korábban szenior szoftverfejlesztőként, majd projektmenedzserként dolgozott; jelenleg egy nagyvállalati MI-szervezet felépítését és a mesterséges intelligencia gyakorlati, üzleti hasznót hozó bevezetését irányítja. Rendszeres

előadója hazai szakmai konferenciáknak, ahol a nagyvállalati MI-bevezetés szervezeti és koordinációs kérdéseiről beszél.

(e-mail: roland.katai@automotive-wan.com)

Válaszok a mesterséges intelligencia kockázataira

MOLNÁR ATTILA

RelNet Technológia Kft.

A mesterséges intelligencia terjedése az infokommunikációs infrastruktúrákban és a vállalati döntéstámogatásban átrajzolja a kiberbiztonság kockázati térképét. Az autonóm MI-ágensek megjelenése olyan új fenyegetési kategóriákat teremt, amelyekre a hagyományos, szabályalapú védelmi eszközök nem adnak kielégítő választ. Az MI-alapú kibertámadások és a szervezeteken belüli MI-kockázatok, továbbá a védekezés technológiai és szabályozási eszközei, végül a 2026. április végi AI Hungary Szimpózium, mind releváns szakmai tanulságokkal szolgálnak a hazai infokommunikációs szakemberek számára, akiknek egyre sürgetőbb feladatuk a mesterséges intelligencia kontrollált és biztonságos integrációja saját szervezeteikbe és ügyfeleik rendszereibe.

Bevezetés

Az elmúlt néhány évben a mesterséges intelligencia fejlődési üteme minden korábbi előrejelzést túlszárnyalt. Az infokommunikációs hálózatok anomáliadetektálásától [1] kezdve, az oktatáson és a munkapiacra zajló strukturális változásokon át [2], egészen a közlekedési infrastruktúra védelméig [3] az MI ma már jelenlévő valóság a Híradástechnika folyóirat tanúsága szerint is. A Híradástechnika 2024-es különszámának egyik áttekintése [4] joggal állapítja meg, hogy a technológia hatása az internet vagy az okostelefon elterjedéséhez hasonlítható átalakulást hoz, azzal a különbséggel, hogy ez az átalakulás minden technológiai (és társadalmi) átalakulásnál gyorsabban zajlik.

E gyorsaság az informatikai biztonság szempontjából kettős kihívást jelent. Egyfelől az MI-eszközök a támadói oldal számára is elérhetőek, és már ma is valós fenyegetéseket generálnak. Másfelől a védekezés módszertana (például viselkedéselemzés, megfelelés, szervezeti folyamatok újratervezése stb.) szükségszerűen lemaradásban van a támadói innovációhoz képest. A RelNet Technológia Kft. ezt a kettős valóságot tapasztalja napi munkája során, és erre keres megoldásokat.

Apokalipszis vagy utópia?

A közbeszéd hajlamos a szélsőségekre: vagy a technológiai szingularitás borúlátó forgatókönyveit, vagy a minden problémát megoldó utópiát vizionálja. A valóság sokkal árnyaltabb. Dávid András, a RelNet Technológia Kft. alapító-ügyvezetője egy nyilvános interjúban [5] fogalmazta meg azt az iparági tapasztalatot, amely szerint az MI hatásának mértéke és iránya ma még nem látható át teljesen; aki azt állítja, hogy biztosan tudja, mire számíthat, az félrevezeti a szakmai közvéleményt.

A szingularitás hipotézise szerint az általános mesterséges intelligencia (angol rövidítésben: AGI) egy ponton túl önmaga fejlesztésére lesz képes, és ezzel a technológiai fejlődés emberi léptékkal nem modellezhető szakaszba lép. Ez a spekuláció hasznos keretező gondolat: jelzi, hogy a fejlődési görbe nem lineáris. Nem csupán az aktuális fenyegetésekre kell felkészülnünk, hanem egy folyamatosan változó kockázati térképet kell kezelni.

A következőkben bemutatott kockázatok és védelmi megközelítések a jelenlegi technológiai szinten már is fennállnak. Ugyanakkor kezelhetőek, feltéve, hogy a szervezetek és a szabályozói környezet kellő időben reagálnak.

Jó MI, rossz MI

Az MI-alapú kibertámadások tekintetében a legfontosabb fejlemény az automatizált, nagyszabású adathalászkampányok ugrásszerű növekedése. A nagy nyelvi modellek (ún. LLM-ek) képesek tömegesen előállítani olyan megtévesztő szövegeket, amelyek korábban idő- és munkaigényes előkészítést igényeltek. Ennél is komolyabb fenyegetést jelent az úgynevezett „prompt injection” jelenség, amelynek során a támadó rosszindulatú utasításokat csempész be az MI-rendszer bemenetébe, egy megosztott dokumentumba vagy egy e-mail szövegébe. Ezzel az MI-eszközt saját céljaira kényszeríti, például adatok kinyerésére, bizalmas tartalmak külső szerverre való továbbítására stb.

Az MI-eszközökkel történő védekezés ugyanakkor fejlődő területnek számít. A statikus, szabályalapú tűzfalak és szűrők az MI-alapú támadásokkal szemben kevésbé hatékonyak, ugyanis az MI-modellek nehezen választják le a végrehajtandó utasításokat a kapott adatokról, különösen, ha azok idegen nyelven, emoji-kkal vagy láthatatlan karakterekkel álcázottan érkeznek. A védekezés tehát szükségszerűen viselkedéselemzésen alapuló, dinamikus megközelítést igényel.

Külön kihívást jelent a *nem emberi belső szereplők* kategóriájának megjelenése. Amikor egy szervezet autonóm MI-ügynököket telepít belső folyamatainak automatizálására, ezek az ágensek vállalati hitelesítő adatokkal rendelkeznek, hálózati hozzáférésük van, de tevékenységük sok esetben nem kerül ugyanolyan biztonsági felügyelet alá, mint az emberi felhasználóké. Egy 2024-es iparági felmérés szerint a kiberbiztonsági szakemberek 74%-a nyilatkozott úgy, hogy szervezetén belül a rosszindulatú belső szereplők aggasztják legjobban. [7] Ebbe a kategóriába a nem megfelelően konfigurált MI-ügynökök is beletartoznak.

A fenyegetésre adott egyik válasz az MCP (Model Context Protocol), vagyis az MI-alkalmazások és külső rendszerek összekapcsolására szolgáló nyílt szabvány. Ez a protokoll önmagában hasznos infrastruktúrális réteg, amely lehetővé teszi, hogy különböző MI-rendszerek és eszközök egységes felületen kommunikáljanak egymással, ugyanakkor új támadási felület nyílik, ha ez a kommunikációs csatorna nincs megfelelően védve. A piac már kínál olyan biztonsági megoldásokat, amelyek kifejezetten az MI-k közötti kapcsolatot ellenőrzik.

Jogi és szabályozási vonzatok

Az MI-kockázatok kezelésének szabályozói dimenziója az elmúlt két évben drámaian felgyorsult. Az Európai Unió MI-rendelete (EU AI Act, 2024/1689/EU) 2024. augusztus 1-jén lépett hatályba [8], és kockázatalapú megközelítéssel szabályozza az MI-rendszerek fejlesztését és alkalmazását. A rendelkezések fokozatosan válnak kötelezővé. 2026 augusztusától már a magas kockázatú rendszerekre vonatkozó megfelelőségi előírásokat is alkalmazni kell.

Az AI Act négy kockázati kategóriát különít el: elfogadhatatlan, magas, korlátozott és alacsony kockázatú MI-rendszereket. Az olyan, kibervédelmi szempontból leginkább érintett alkalmazások, mint a hozzáférés-menedzsment, az anomáliadetektálás vagy a viselkedéselemzés, jellemzően a magas kockázatú kategóriába esnek, ami részletes dokumentációs, auditnaplózási és megfelelőségi kötelezettséggel jár. A szabályok megsértése esetén kiszabható bírság elérheti a 35 millió eurót vagy a vállalat éves globális forgalmának 7%-át.

Különös jelentőséggel bír az elszámoltathatóság kérdése az MI-ágensek autonóm döntéshozatala kapcsán. Ha egy MI-ágens hibás döntése pénzügyi vagy adatvédelmi kárt okoz, a jogi felelősség megállapítása jelenleg még jogértelmezési *terra incognita*. A folyamatban lévő szabályozási munka ezért várhatóan az emberi felügyelet és a hamisításbiztos naplózás kötelező jellegét fogja erősíteni.

Az AI Hungary Szimpózium tanulságai

A HTE 2026. április 28-29-én rendezte meg az AI Hungary 2026 szimpóziumot. Deklarált célja volt az MI „átállítása távoli technológiai kockázatból a versenyképes gazdaság, a hatékony állam és a minőségi közszolgáltatások központi infrastrukturális elemévé”. [9] A RelNet Technológia Kft. nem csupán résztvevőként, hanem aktív szervezőként volt jelen: a vállalat az informatikai piacon elérhető, MI-kockázatokra specializálódott megoldásokat képviselő gyártók szakértőit hozta el, hogy a konferencia kiberbiztonsági diskurzusát konkrét technológiai tartalommal gazdagítsa.

Nem emberi ügynökök

A szimpózium egyik legfontosabb eredménye az autonóm MI-ügynökök szervezeti kockázatának szakmai felismerése volt. A plenáris előadások és workshopok egyaránt hangsúlyozták, hogy a szervezetek ma már olyan MI-ágenseket telepítenek belső munkafolyama-



Pillanatkép a HTE mesterséges intelligencia szimpózium 2026-ról

taikba, amelyek sokszor egyértelmű identitás vagy elszámoltathatóság nélkül mozognak a hálózaton. A biztonságtechnikai ipar egyik válasza erre az ágens alapú viselkedéselemzés. Ez a megközelítés a hagyományos felhasználói viselkedéselemzés (UEBA) kiterjesztését jelenti a nem emberi entitásokra, többek között valós idejű anomáliaérzékeléssel.

Az egyik workshopon bemutatásra került, hogy miként képes egy biztonsági naplómenedzsment (SIEM) rendszerbe integrált viselkedéselemző platform felismerni és automatikusan megakadályozni a nem kívánt MI-tevékenységeket, mielőtt azok tényleges adatvédelmi vagy biztonsági eseménnyé eszkalálódna. A legtöbb biztonsági csapat ugyanis még nem tudja megkülönböztetni az emberi tevékenységet az MI-ágensekétől.

Adatvédelem és hozzáférés-menedzsment

Az AI Hungary konferencián bemutatott megoldások alapelve az egységes adatbiztonsági életciklus volt, amibe beletartozik az adatok észlelése, osztályozása, figyelése is, egyetlen keretrendszerben. Az attribútum alapú hozzáférés-vezérlés (ABAC) és a kvantumrezisztens titkosítási szabványok alkalmazása a mesterséges intelligencia tanítási és futásidejű adatainak védelmére olyan megközelítések, amelyek az informatikai piacon ma már elérhető, termékkész megoldásokban öltenek testet.

A hagyományos szoftverek kiszámítható viselkedésével szemben az AI rendszerek a hozzáférés-kezelés területén is komoly kihívást jelentenek. A Gartner 2029-re vonatkozó előrejelzése szerint az MI-ágensek ellen indított sikeres kibertámadások több mint fele hozzáférés-vezérlési hiányosságokat fog kihasználni, jellemző

en közvetlen vagy közvetett „prompt injection” útján. [10] Ez különösen aggasztó a már említett nem emberi identitások tekintetében, mivel ezek az MI-ágensek által használt, sokszor túlzott jogosultságokkal rendelkező szolgáltatásfiókokat jelölik.

OT-biztonság

Az MI-alapú automatizáció az ipari rendszerek (OT) vonatkozásában sajátos kockázatot hordoz. Szemben az IT-hálózatokkal, az OT-környezetekben az üzemzavar fizikai biztonsági kockázatokkal is járhat. A konferencián bemutatott megközelítések a kiemelt jogosultságok kezelésének (angol rövidítéssel: PAM) kiterjesztésére összpontosítottak a nem emberi identitások irányába.

Az AI Hungary Manifesto

A szimpózium felsővezetői workshopjának résztvevői – köztük Dávid András, a RelNet Kft. ügyvezető igazgatója – rögzítették az AI Hungary Manifesto [9] legfontosabb stratégiai elveit. A kiáltvány négy pillére:

- a mérhető versenyképességi mutatókkal alátámasztott MI-transzformáció;
- az adatszuverenitás és a lokális (on-premise) modellek stratégiai értékének elismerése;
- a gyakorlatorientált szabályozás (az EU AI Act, a GDPR és a NIS2) egyetlen, innovációbarát keretrendszerként való értelmezése;
- valamint a szervezetekben szabályozatlanul terjedő MI-használat felszámolása biztonságos, auditálható vállalati alternatívák biztosításával.

Az együttműködés az eddig 2 független kisebb fogalmat elvivő, kevésbé kihasznált hálózat helyett egy közös, kezdetben magas kihasználtságú, összeségében kisebb sáv szélességet igénylő, ebből adódóan nagyobb spektrumhatékonyságú 2G hálózatot eredményez.

Óvatos transzformáció

A RelNet Technológia Kft. által képviselt megközelítés lényege az, hogy az MI-adaptáció elkerülhetetlen és kívánatos, de nem mehet a kontroll rovására. A szervezeteknek ügyelniük kell arra, hogy megőrizzék a kontrollt az MI-ügynökök és az adatvagyon felett. Ehhez azonban tudatos menedzselésre, amolyan kötéltnáncra van szükség, hiszen az innováció ritmusa sem lassulhat.

Az infokommunikációs szakemberek felelőssége ebben az összefüggésben kivételes. A technológia fejlődési üteme meghaladja a szabályozói és szervezeti alkalmazkodás természetes sebességét. Így, a szakértők feladata az, hogy elérhetővé tegyék a láthatóságot és a biztonságos MI-átalakulás eszköztárát.

Összefoglalás

A mesterséges intelligencia kockázatai az infokommunikáció területén három egymást erősítő síkon jelentkeznek: a technológiai fenyegetések szintjén (MI-alapú támadások, prompt injection, ágensek kompromittálása), a szervezeti irányítás szintjén (nem emberi identitások kezelése, Shadow AI, auditnaplózás hiánya) és a szabályozói megfelelés szintjén (EU AI Act, GDPR, NIS2 összehangolása). Ezek egyike sem kezelhető izoláltan.

A 2026. áprilisi AI Hungary szimpózium megerősítette, hogy a hazai szakmai közösség tudatában van e kihívások összetettségének, és aktívan keresi az integrált válaszokat. A konferencián bemutatott megoldások nem elszigetelt innovációk, hanem egy átfogó biztonsági architektúra építőkövei. A RelNet Kft. ezeket a megoldásokat aktívan közvetíti a hazai szervezetek felé, meggyőződve arról, hogy a versenyképes és biztonságos MI-adaptáció egymást kizáró célok helyett egymást erősítő feladatok.

Hivatkozások

- [1] Farkas Károly: „Mesterséges intelligencián alapuló eljárások alkalmazása infokommunikációs hálózatokban”, Híradástechnika LXXVIII/1 2023, HTE Infokom 2022, pp. 32–39.
- [2] Székely Levente: „Mitől félünk, ha a farkastól nem?”, Híradástechnika LXXIX/1 2024, HTE Infokom 2023, pp. 17–21.
- [3] Bódi Antal, Maros Dóra: „Az 5G-hálózat és a közlekedés információbiztonsági kihívásai”, Híradástechnika LXXVI/1 2021, HTE Infokom 2020, pp. 35–40.
- [4] Gyires-Tóth Bálint: „Mesterséges intelligencia – a harmincas években”, Híradástechnika LXXIX/2, 2024 Különszám – HTE 75 Infokommunikációs víziók, pp. 13–15.
- [5] Dávid András: „AI nagyobb változást hoz, mint az elmúlt 200 év összesen?” – videóinterjú. Elérhető: <https://www.youtube.com/watch?v=TNoFbBNsB4s>
- [6] AI Hungary Manifesto – HTE AI Hungary 2026 Szimpózium. Elérhető: <https://hte.hu/hu/web/guest/e/hirek1/10108/5506944>
- [7] Amid Rising Insider Threats, Most Companies are Vulnerable and Lack the Strategies to Protect Themselves, New Research Finds: https://www.securonix.com/press_release/2024-insider-threat-report/
- [8] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS (EU) 2024/1689 RENDELETE a mesterséges intelligenciára vonatkozó harmonizált szabályok megállapításáról: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202401689
- [9] AI HUNGARY MANIFESTO infografika: https://www.hte.hu/documents/10180/5014263/AI_Hungary_Manifesto_v515.pdf
- [10] AI Cybersecurity Leadership: 5 Steps to Secure Enterprise Innovation: <https://www.gartner.com/en/articles/ai-cybersecurity-leadership>

A szerzőről



MOLNÁR ATTILA

több évtizedes tapasztalattal rendelkezik a digitális tartalomgyártás és a technológiai kommunikáció területén. Pályáját nyelvtudományi fókusszal kezdte, majd az informatikai szektor felé fordulva a két terület szinergiájára építette karrierjét. Szakmai útja során tapasztalatot szerzett technológiai ismeretterjesztő cikkek,

oktatási anyagok és B2B marketingtartalmak megalkotásában. Jelenleg a RelNet Technológia Kft. szenior tartalommarketing-specialistája, ahol fő feladata a hálózatbiztonsági megoldások hiteles szakmai közvetítése. (e-mail: amolnar@relnet.hu)

Konnektivitási megoldások fizikai MI-hez a mobilhálózat peremén – A forgalomirányítási megközelítések összehasonlító elemzése

KOVÁCS BENEDEK, DESZTICS ARMAND, PAPP ZSÓFIA

Ericsson Magyarország, Budapest, Magyarország

A fizikai MI megjelenése – autonóm robotok, drónok és járművek, amelyek a fizikai világban működnek – ultraalacsony késleltetésű számítási infrastruktúrát igényel a mobilhálózat peremén. Bár az 5G specifikációk több forgalomirányítási mechanizmust is definiálnak a felhasználói síkú adatok peremszámítási erőforrások felé terelésére, ezen mechanizmusok közötti választásnak mélyreható következményei vannak a késleltetés, a skálázhatóság és a szolgáltatás-folytonosság szempontjából mobilitás esetén. Ez a cikk két fő, 3GPP által definiált megközelítés összehasonlító elemzését mutatja be a mobilhálózati peremszámítás területén: az Uplink Classifier (ULCL) és a Multiple PDU Sessions megoldásokat. Hét technikai dimenzió szisztematikus értékelésén keresztül – adatútvonal-hatékonyság, titkosított forgalom kezelése, konfigurációs komplexitás, életciklus-csatolás, QoS-differenciálás, mobilitási hatás és UE-bevonás – bemutatjuk, hogy a Multiple PDU Sessions alapvetően jobb architektúrát biztosít a fizikai MI munkaterhelések számára. Egy háromrétegű átadás-együttműködési modellt javasolunk, amely a konnektivitási (SSC módok), szállítási (QUIC kapcsolatmigráció) és alkalmazási (kontextusáthelyezés) réteget fogja át az észlelt session-kimaradás csökkentése érdekében. Az architektúrát 3GPP Network Exposure és helymeghatározási szolgáltatások egészítik ki, amelyek térbeli tudatossággal rendelkező perem-alkalmazásokat tesznek lehetővé. A javasolt megközelítést egy autonóm robotkutya-demonstráción keresztül validáljuk, amely valós idejű YOLO-alapú objektumfelismerést alkalmaz a hálózat peremén, 33 ms alatti következtetési késleltetést érve el három független PDU session-ön keresztül, differenciált QoS-sel.

Kulcsszavak: 5G, peremszámítás, fizikai MI, ULCL, Multiple PDU Sessions, QUIC, session-folytonosság, hálózati pozicionálás

I. Bevezetés

A fizikai mesterséges intelligencia paradigmaváltást jelent az autonóm rendszerek fizikai világgal való interakciójában. A felhőalapú MI-vel ellentétben, amely centralizált adatközpontokban dolgozza fel az adatokat, a fizikai MI megtestesült ágenseken keresztül működik – raktárakban navigáló négy lábú robotok, városi folyosókon áthaladó szállító drónok, kereszteződésekben koordináló autonóm járművek –, amelyeknek ezredmásodperces döntési ciklusokon belül kell érzékelniük, következtetniük és cselekedniük [1]. Ezek az ágensek folyamatos szenzor-adatfolyamokat generálnak (kamerák, LiDAR, IMU-k), amelyek valós idejű feldolgozást igényelnek, olyan késleltetéssel, ami összeegyeztethetetlen a hagyományos felhő-architektúrákkal, ahol a centralizált szerverekhez való oda-vissza idő jellemzően meghaladja a 20–50 ms-t [2].

A mobilhálózati peremszámítás ezt az alapvető korlátot kezeli azáltal, hogy a számítási erőforrásokat a rádiós hozzáférési hálózathoz vagy annak közelében helyezi el, egyetlen hálózati ugrásra csökkentve az adatutakat a felhasználói berendezés (UE) és az alkalmazáserver között. A 3GPP 5G rendszerarchitektúra, amelyet a TS 23.501 [3] specifikál, natív támogatást nyújt a peremszámításhoz olyan mechanizmusokon keresztül, amelyek lehetővé teszik az operátorok számára, hogy felhasználói síkú funkciókat (UPF-eket) telepítsenek a hozzáférési hálózat közelében, és a kiválasztott forgalmat helyi adathálózatok (DN-ek) felé tereljék. Ez az operátori peremszámítási modell a meglévő mobilhálózati infrastruktúrát használja – hitelesítés, mobilitáskezelés, QoS-érvényesítés és díjszabás – ahelyett, hogy párhuzamos overlay rendszereket igényelne.

A fizikai MI konnektivitási kihívása azonban túlmutat a számítási kapacitás peremre helyezésén. Két egyformán kritikus problémát kell egyidejűleg megoldani: (1) forgalomirányítás – hogyan tereljük a UE forgalmának megfelelő részhalmozát a legközelebbi peremtelephelyhez, miközben a fennmaradó forgalom eléri a centralizált szolgáltatásokat; és (2) session-folytonosság – hogyan tartjuk fenn a peremszámítási session-t, miközben az autonóm ágens cellák között mozog, esetleg elhagyva az egyik peremtelepítés szolgáltatási területét és belépve egy másikba.

A 3GPP specifikációk két fő mechanizmust definiálnak a forgalom peremszámítási erőforrások felé terelésére. Az első, az Uplink Classifier (ULCL), egy elágazó felhasználói síkú funkciót (UPF) iktat be az adatútvonalba, amely forgalmi leírók alapján osztályozza a csomagokat, és az egyező folyamatok helyi adathálózat (DN) felé

irányítja, míg a fennmaradó forgalmat a központi horgony UPF felé továbbítja [3]. A második, a Multiple PDU Sessions, felhasználói berendezés (UE) útvonal-választási szabályzatot (URSP) alkalmaz, hogy külön PDU session-öket hozzon létre a perem- és felhőforgalom számára, mindegyiket független session-kezeléssel, QoS-profilokkal és mobilitási jellemzőkkel [4].

Bár mindkét megközelítés eléri a peremforgalom-irányítás alapvető célját, architektúráis következményeik jelentősen eltérnek a fizikai MI igényes követelményei mellett. Ez a cikk amellett érvel – részletes technikai bizonyítékokkal –, hogy a Multiple PDU Sessions alapvetően jobb architektúrát biztosít a fizikai MI peremszámításhoz. A főlény minden releváns dimenzióban megnyilvánul: adatútvonal-hatékonyság, kompatibilitás modern titkosított protollokkal, üzemeltetési skálázhatóság, hibaizoláció, QoS-differenciálás, mobilitáskezelés és alkalmazás-adaptálhatóság.

A forgalomirányításon túl a session-folytonossági kihívást egy háromrétegű átadás-együtműködési modellel kezeljük. A konnektivitási réteg (SSC Mode 2 session-migráció), a hálózati/szállítási réteg (QUIC kapcsolat-migráció az RFC 9000 [5] szerint) és az alkalmazási réteg (proaktív kontextus-áthelyezés) koordinált működésével bemutatjuk, hogy az észlelt szolgáltatás-kimaradás peremátmenetek során a szekvenciális legrosszabb eset szerinti körülbelül 4,6 másodpercről 1 másodperc alá csökkenthető párhuzamosított végrehajtással.

A javasolt architektúrát egy autonóm robotkutya-demonstráción keresztül validáljuk, amely egy Unitree Go2 négy lábú platformot alkalmaz 5G kapcsolattal. A robot 1080p videót streamel egy perem MI-szervernek, amely valós idejű YOLO objektumfelismerést végez, három független PDU session-nel, amelyek differenciált konnektivitást biztosítanak a perem-következtetéshez, WiFi hotspot felhasználói konnektivitáshoz és felhőszolgáltatásokhoz. Ez a demonstráció megerősíti, hogy a Multiple PDU Sessions architektúra biztosítja azt az izolációt, QoS-differenciálást és mobilitási tulajdonságokat, amelyeket a fizikai MI munkaterhelések igényelnek.

A cikk további felépítése a következő. A II. fejezet mutatja be az ULCL és a Multiple PDU Sessions részletes összehasonlító elemzését, valamint a háromrétegű átadás-együtműködési modellt. A III. fejezet a hálózati kitettségi és helymeghatározási szolgáltatásokat ismerteti, amelyek térbeli tudatossággal rendelkező perem-alkalmazásokat tesznek lehetővé. A IV. fejezet a robotkutya-validációt mutatja be. Az V. fejezet az eredményekkel és jövőbeli irányokkal zárja a cikket.

II. Konnektivitás a peremszámításhoz

A. Forgalomirányítási megközelítések – ULCL vs. Multiple PDU Sessions

A 3GPP 5G rendszerarchitektúra a helyi adathálózatok felé irányuló forgalomirányítást a mobilhálózati peremszámítás egyik alapvető eszközeként definiálja. Két architektúráisan eltérő megközelítés – az Uplink Classifier (ULCL) és a Multiple PDU Sessions – alapvetően különböző tervezési filozófiákat képvisel. Az ULCL megközelítés a hálózati adatútvonalba helyezi az intelligenciát, míg a Multiple PDU Sessions megközelítés az útválasztási döntést a UE-re delegálja. Ez a fejezet mindkét mechanizmust megvizsgálja, és szisztematikus összehasonlítást mutat be, amely bizonyítja a Multiple PDU Sessions fölényét a fizikai MI munkaterhelések számára.

Uplink Classifier (ULCL).

Az ULCL mechanizmus, amelyet a 3GPP TS 23.501 5.6.4. pont [3] definiál, egy elágazó UPF-et (UPF-CL, azaz osztályozó) iktat be a felhasználói síkú adatútvonalba a hozzáférési hálózat és a PDU session horgony UPF (PSA) között. Az SMF csomagosztályozási szabályokkal konfigurálja az UPF-CL-t – IP 5-ösökön, domain neveken vagy alkalmazás-azonosítókra alapuló csomagfelismerési szabályok –, amelyek meghatározzák, mely uplink csomagok kerülnek átirányításra a perem DN-t kiszolgáló helyi UPF-hez, és melyek haladnak to-

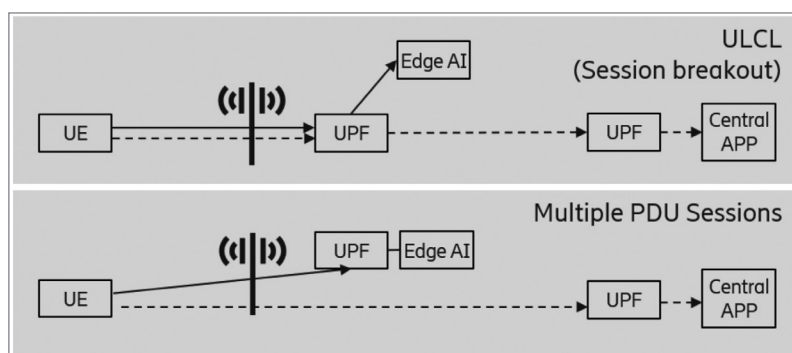
vább az eredeti útvonalon a PSA UPF felé a központi DN irányába. A helyi DN-ből érkező downlink forgalom az UPF-CL-en keresztül kerül visszainjektálásra a UE felé. Az egész mechanizmus egyetlen PDU session-on belül, a UE számára transzparens módon működik.

Multiple PDU Sessions.

A Multiple PDU Sessions megközelítés, amelyet a TS 23.503 [6] által definiált UE útvonal-választási szabályzat (URSP) szabályok és a TS 23.548 [4] peremszámítási fejlesztései tesznek lehetővé, külön PDU session-öket hoz létre a különböző adathálózatok felé irányuló forgalom számára. A UE URSP szabályokat kap (PCF-en vagy előkonfiguráción keresztül), amelyek alkalmazás-leírókat – OS alkalmazás-azonosító, IP-leíró, domain-leíró vagy DNN által azonosítva – képeznek le specifikus útvonal-választási leírókra, amelyek meghatározzák a DNN-t és session-paramétereiket. Minden eredményül kapott PDU session-nek saját UPF-je, IP-címe, QoS-profilja és session- és szolgáltatás-folytonossági (SSC) módja van. A forgalomelválasztás a UE protokollveremében történik, még a rádiós interfészre lépés előtt, hálózaton belüli osztályozás nélkül.

Összehasonlító elemzés.

Az alábbi szisztematikus összehasonlítás mindkét megközelítést hét, a fizikai MI peremszámítás szempontjából kritikus dimenzió mentén értékeli. Mindkét megközelítés architektúráját az 1. ábra illusztrálja.



1. ábra – Architektúra-összehasonlítás: az ULCL (Session Breakout) egy osztályozó UPF-et iktat be az adatútvonalba egyetlen PDU session-on belül; a Multiple PDU Sessions (Multiple PDU Session) a forgalmat a UE-nél választja szét független session-ökre, közvetlen útvonalakkal a perem és a felhő felé, alacsony késleltetést biztosítva.

1) Adatútvonal-hatékonyság és késleltetés.

Az ULCL architektúra eredendően egy további UPF-ugrást vezet be a felhasználói síkú adatútvonalba. Minden uplink csomag – függetlenül attól, hogy a peremre vagy a felhőbe irányul – át kell haladnia az UPF-CL-en osztályozás céljából. Ez a további feldolgozó elem késleltetést ad hozzá, amely minden csomaggal kumulálódik. Az UPF-továbbítási teljesítmény publikált mérései alapján [7] minden UPF-ugrás körülbelül 0,5–2 ms feldolgozási és továbbítási késleltetést jelent

a megvalósítástól (hardvergyorsított vs. szoftveralapú) és a terhelési viszonyoktól függően. Az architektúrától függően minden UPF további késleltetést vezet be, és bár ez nem feltétlenül jelent problémát a peremforgalom számára, felesleges késleltetést okozhat a központi helyszínek felé. Továbbá a kapacitástervezés nehezebb lesz, mivel a perem UPF-et úgy kell méretezni, hogy a helyi és a központ felé irányuló forgalmat is kiszolgálja. Ezzel szemben a Multiple PDU Sessions megközelítés közvetlen útvonalat biztosít minden forgalom

számára, dedikált UPF-kapacitásokkal. A perem PDU session UPF-je az egyetlen felhasználói síkú funkció az útvonalon, teljes egészében kiküszöbölve a hálózaton belüli osztályozási többletterhelést.

2) Titkosított forgalom kezelése.

Az UPF-CL csomagfelismerési szabályai – amelyek cél IP-címek, portszámok és esetleg domain nevek (SNI) vizsgálatára támaszkodnak – egyre hatástalanabbá válnak a titkosítás terjedésével. Az IP-alapú szabályok működőképesek maradnak, de nem tudnak különbséget tenni az azonos IP-n hosztolt szolgáltatások között (ami gyakori tartalomszolgáltató hálózatoknál és felhőtelepítésekénél). A Multiple PDU Sessions megközelítés teljes egészében megkerüli ezt a problémát. A URSP szabályok a UE-nél az alkalmazásréteg-leírók (OS alkalmazás-azonosító, kapcsolati képességek) alapján illesztik a forgalmat, még a csomagok kialakítása és titkosítása előtt. A UE operációs rendszere tudja, melyik alkalmazás generálja a forgalmat, és a megfelelő PDU sessionhez irányítja, bármilyen hálózaton belüli vizsgálat nélkül. Ez a kialakítás eredendően jövőbiztos a fejlődő titkosítási szabványokkal szemben.

3) Konfigurációs komplexitás és üzemeltetési skálázhatóság.

Az ULCL megköveteli, hogy az SMF UE-nként és szolgáltatásonként konfigurálja a csomagfelismerési szabályokat az UPF-CL-en. Amikor egy UE csatlakozik egy peremtelepítés által kiszolgált cellához, az SMF-nek be kell illesztenie az UPF-CL-t az adatútvonalba, és az adott peremhelyszínen elérhető szolgáltatásoknak megfelelő osztályozási szabályokat kell létrehozni. Az üzemeltetési komplexitás $O(N_{\text{felhasználók}} \times N_{\text{szolgáltatások}} \times N_{\text{peremtelephelyek}})$ arányban skálázódik, mivel minden kombináció potenciálisan egyedi szabálykonfigurációt igényel, különösen amikor a szolgáltatások átfedő IP-tartományokkal rendelkeznek, vagy amikor a peremszolgáltatási portfólió telephelyenként változik. A Multiple PDU Sessions esetében a URSP szabályok előfizetői osztályonként kerülnek kiosztásra. Új peremszolgáltatás hozzáadásához DNN definiálása és URSP sablonok frissítése szükséges, nem az összes UPF-CL példány osztályozási szabályainak módosítása.

4) Életciklus-csatolás és hibaizoláció.

Az ULCL architektúrában az UPF-CL és a PSA UPF ugyanazon PDU session-on belül létezik. Közös session-kontextust osztanak meg, amelyet egyetlen SMF-példány kezel. Ez a csatolás azt jelenti, hogy az UPF-CL meghibásodása vagy újraindítása – legyen az szoftverfrissítés, skálázási esemény vagy hiba – megzavarja a teljes PDU session-t, egyidejűleg érint-

ve mind a perem-, mind a felhő felé irányuló forgalmat. Hasonlóképpen, az osztályozási szabályok módosítása (peremszolgáltatások hozzáadása vagy eltávolítása) N4 session-módosítási eljárásokat igényel, amelyek átmenetileg befolyásolják a továbbítási állapotot. A Multiple PDU Sessions esetében minden session teljesen független életciklussal rendelkezik. A perem PDU session felszabadítható és újra létrehozható (ahogy az SSC Mode 2 átmenetek során történik) a felhő PDU session bármilyen befolyásolása nélkül. A fizikai MI számára ez az izoláció kritikus – egy robot felhőalapú flottamenedzsment-kapcsolatát nem szabad megzavarnia a peremszámítási session-átmeneteknek.

5) QoS-differenciálás.

A fizikai MI munkaterhelések több, alapvetően különböző QoS-követelményekkel rendelkező forgalmi folyamot foglalnak magukban: valós idejű videó az érzékeléshez (alacsony késleltetés, garantált sávszélesség), pozicionálási lekérdezések (alacsony késleltetés, alacsony sávszélesség) és felhőszinkronizáció (best effort, magas sávszélesség-tolerancia). Mind az ULCL, mind a Multiple PDU Sessions szabványos 5QI értékeken keresztül biztosítja a QoS-t, azonban az ULCL esetében az elágaztatott folyamatokhoz további, folyamatonkénti QoS-szabály konfiguráció szükséges, ami tovább növeli a fent tárgyalt üzemeltetési komplexitást. A Multiple PDU Sessions natív QoS-differenciálást biztosít magán az architektúrán keresztül. Minden PDU session saját alapértelmezett QoS-folyammal (5QI) és engedélyezett QoS-paraméterekkel jön létre: a perem MI session használhatja az 5QI=7-et (valós idejű videó, 100 ms PDB, 10^{-3} PER), míg a WiFi hotspot session az 5QI=9-et (best effort).

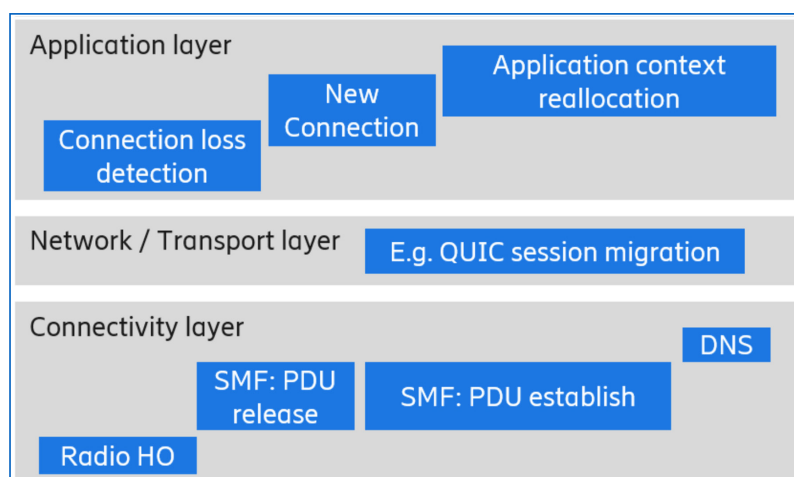
6) Mobilitási hatás.

Amikor egy fizikai MI ágens cellák között mozog – potenciálisan peremtelepítés-határokat átlépve – az ULCL architektúra jelentős újrakonfigurálási kihívásokkal néz szembe. A teljes ULCL lánc (UPF-CL beiktatási pont, osztályozási szabályok, helyi UPF-kiválasztás) a UE hálózaton belüli topológiai pozíciójához kötődik. Egy peremtelepítés-határt átlépő cellaváltás megköveteli az SMF-től, hogy: (a) távolítsa el a jelenlegi UPF-CL-t és helyi UPF-et az adatútvonalból, (b) iktasson be új UPF-CL-t a célperemtelepítésnek megfelelő helyre, (c) konfiguráljon új osztályozási szabályokat, és (d) potenciálisan frissítse a PSA UPF útválasztását. Ezek az N4 session-módosítási eljárások több szignalizációs cserét igényelnek az SMF, a régi UPF-CL, az új UPF-CL és a helyi UPF-ek között – mindezt egyetlen PDU session-on belül, amelynek a nem peremforgalom számára végig fenn kell tartania a folytonosságot. A Multiple PDU Sessions esetében a mobilitáskezelés természetes mó-

don dekompozálódik. Minden SSC mód használható a követelmények alapján, pl. az SSC mode 1 ajánlható, ha az átadások túl gyakoriak, az SSC mode 2 (amelyet a Multiple PDU Sessions-höz javasolunk) optimalizálható a kimaradás minimalizálására az alacsony komplexitás megtartása mellett, és az SSC mode 3 is implementálható szükség esetén. A rádiós hozzáférési hálózat átadási eljárása és az alkalmazási kontextus újraelosztási eljárása azonos marad, függetlenül a forgalomirányítási mechanizmustól – csak a maghálózati szignalizáció különbözik.

B. Átadási réteg-együttműködés a session-kimaradás minimalizálásáért

Miután megállapítottuk, hogy a Multiple PDU Sessions az előnyben részesített forgalomirányítási mechanizmus, egy kritikus kihívás marad: a peremtelepítés-átmenet során a PDU session felszabadul és újra létrejön, ami konnektivitási megszakítást okoz. Ez a fejezet egy háromrétegű együttműködési modellt mutat be, amely demonstrálja, hogy a protokollvermen átívelő koordinált cselekvéssel az észlelt kimaradás több másodpercről egy másodperc alá csökkenthető. A modellt a 2. ábra illusztrálja.



2. ábra – Háromrétegű átadás-együttműködési modell, amely párhuzamos végrehajtást mutat a konnektivitási (SSC módok), szállítási (QUIC migráció) és alkalmazási (kontextus-áthelyezés) rétegeken keresztül. Szekvenciális végrehajtás esetén ~4,6 s kimaradás; párhuzamosított végrehajtás esetén <1 s érhető el. Hálózat által biztosított átadás-előrejelzés korai kontextus-újraelosztással és «make before break» mechanizmusokkal minden rétegen zökkenőmentes átadást eredményezhet.

Konnektivitási réteg.

A perem session-folytonosság alapja az egyes PDU session-ökhöz rendelt SSC mód. A központi/felhő session-ök esetében az SSC Mode 1 biztosítja, hogy a horgony UPF változatlan marad a UE mobilitásától függetlenül – ezek a session-ök nem tapasztalnak megszakítást peremátmenetek során. A peremre irányuló session-ök esetében az SSC Mode 2 (a TS 23.501 5.6.9.2. pont [3] definiálja) meghatározza, hogy amikor a hálózat megállapítja, hogy a jelenlegi UPF már nem tudja hatékonyan kiszolgálni a UE-t (pl. a UE elhagyta a peremtelepítés lefedettségi területét), a PDU session felszabadul, és a UE utasítást kap új PDU session létrehozására. Azonban ez a módszer kiterjeszthető az új session szükségességének korai jelzésével, önkényesen SSC mode 3 (make before break) mechanizmust implementálva. Az SSC mode 2 a 3GPP eljárás-időzítési elemzés alapján (TS 23.502 [8]) körülbelül 200–500 ms-t igényel a hálózati terheléstől és a megvalósítás hatékonyságától függően, ami a legtöbb esetben elhanyagolható (az alkalmazásrétegbeli kontextus-áthelyezés általában nagyobb kihívás). Azonban ez a 200–500 ms tovább csökkenthető «make before break» mechanizmusokkal és átadás-előrejelzésekkel, amely előre-

jelzést csak a hálózat tudja biztosítani az alkalmazás számára.

Hálózati/szállítási réteg.

A szállítási protokoll döntő szerepet játszik a konnektivitási réteg zavarának elfedésében az alkalmazás előtt. A QUIC (RFC 9000 [5]) natív kapcsolat-migrációs képességet biztosít: egy QUIC kapcsolatot kapcsolat-azonosító (Connection ID) azonosít az IP 4-es helyett, lehetővé téve a kapcsolat túlélését IP-cím változás esetén. Amikor a UE új IP-címet kap az újonnan létrehozott perem PDU sessionból, migrálhatja a meglévő QUIC kapcsolatot az új útvonalra úgy, hogy a létrehozott kapcsolat-azonosítóval küld csomagokat az új címről. A távoli végpont (az új perem alkalmazáserver-példány) útvonal-validálással (körülbelül 1 RTT) ellenőrzi az útvonalat, és új kézfogás nélkül folytatja az adatátvitelt. Ez «make-before-break» képességet jelent a szállítási rétegen: ha a UE rövid ideig fenntarthatja mind a régi, mind az új PDU session-t (az SSC Mode 2 átmeneti időszakban, ahol mindkettő pillanatnyilag együtt létezhet, SSC Mode 3-má alakulva), az útvonal-validálás az új session-ön befejeződhet a régi session teljes felszabadítása előtt.

Ezzel szemben a TCP-alapú alkalmazások az újra-létrehozás teljes költségével szembesülnek: 3-utas kézfogás (1 RTT), amelyet TLS 1.3 kézfogás követ (1 további RTT, vagy 0 a 0-RTT folytatással), összesen 50–150 ms az új szerver felé történő RTT-től függően. Továbbá a TCP kapcsolatok eredendően az IP 4-eshez kötöttek; egy cím változás visszavonhatatlanul megszünteti a kapcsolatot.

A többutas kiterjesztések – MP-TCP (RFC 8684 [9]) és a kialakulóban lévő MP-QUIC – még robusztusabb megközelítést kínálnak: a szállítási kapcsolat egyidejűleg fenntartja az alfolyamokat mind a régi, mind az új útvonalon az átmenet során. Az adatszolgáltatás bármelyik elérhető alfolyamon folytatódik, zökkenőmentes migrációt biztosítva a kettős útvonal-állapot fenntartásának költségén az átadási ablakban.

Alkalmazási réteg.

Az alkalmazási rétegnek az állapot-migrációt kell kezelnie: a forrás peremtelepítésen lévő perem-alkalmazáspéldány session-specifikus állapotot tart (MI modell következtetési kontextus, követési állapot, puffertelt szenzor-adatok), amelynek elérhetőnek kell lennie a cél peremtelepítésen. Az alkalmazási kontextus áthelyezés (ACR), ahogy a TS 23.548 [4] peremszámítási keretrendszere leírja, lehetővé teszi ezt a migrációt. A kritikus felismerés az időzítés: ha a peremplatform előzetes értesítést kap egy közelgő UE mobilitási eseményről (NEF feliratkozás UE mobilitási analitikára vagy AMF esemény-kitettségen keresztül), proaktívan megkezdheti a kontextus-migrációt, még a tényleges átadás előtt. Kiszámítható mobilitási mintázatú fizikai MI ágensek esetében (meghatározott járőrútvonalat követő robot, térképezett úton haladó jármű) a következő peremtelepítés nagy biztonsággal meghatározható, lehetővé téve az alkalmazási állapot előlegetését a céltelepítésen. A kontextus-migrációs késleltetés erősen függ az állapot méretétől: egy könnyű következtetési session (modellsúlyok előre telepítve, csak követési állapot migrálandó) mindössze 50–200 ms-t igényelhet, míg egy teljes alkalmazási kontextus-migráció 1–4 másodpercet vehet igénybe komplex állapotkezelő alkalmazások esetében.

Párhuzamosítás

A kulcs a kimaradás minimalizálásához. A kritikus architektúrális felismerés az, hogy ennek a három rétegnek nem kell szekvenciálisan végrehajtódnia. Naiv szekvenciális végrehajtás esetén (legrosszabb eset):

- Rádiós átadás: ~50 ms
- SSC Mode 2 PDU session újra-létrehozás: ~200 ms
- DNS-feloldás az új peremtelepítéshez: ~100 ms
- TCP/TLS újra-létrehozás: ~100 ms

- Alkalmazási kontextus áthelyezés: ~4000 ms (nagy állapot)
- Összesen: ~4,6 másodperc

Megfelelő párhuzamosítással, proaktív mobilitás-előrejelzés által lehetővé téve:

- Az alkalmazási kontextus előzetes migrációja megkezdődik a rádiós átadás előtt (kitettségen keresztüli mobilitás-előrejelzés által kiváltva)
- Az DNS-feloldás a cél peremtelepítéshez előre megtörténik az előrejelzett pálya alapján
- A QUIC kapcsolat-migráció azonnal megtörténik az új PDU session létrehozásakor (1 RTT útvonal-validálás)
- A rádiós átadás és PDU session-létrehozás végrehajtódik, miközben a kontextus-migráció a háttérben befejeződik

A párhuzamosított idősor átfedi a domináns késleltetési hozzájárulást (kontextus-áthelyezés) a megelőző lépésekkel, csökkentve az észlelt kimaradást – azt az időt, amely alatt az alkalmazás nem tud adatot küldeni vagy fogadni a perem útvonalon – a PDU session újra-létrehozási idejére plusz a QUIC útvonal-validálásra: körülbelül $200\text{ ms} + 50\text{ ms} = 250\text{ ms}$ egy jól előkészített forgatókönyvben, és potenciálisan 100 ms alatt, ha rövid kettős konnektivitás (make-before-break session-szinten) érhető el a régi és új PDU session-élettartamok átfedésével.

III. Network Exposure és helymeghatározási szolgáltatások

A. Exposure keretrendszer a fizikai MI számára

A hálózat peremén működő fizikai MI ágenseknek többre van szükségük pusztán konnektivitásnál – hálózati kontextusra van szükségük ahhoz, hogy megalapozott döntéseket hozhassanak működésükről. Egy robot, amely peremtelepítés-határhoz közeledik, profitál abból, ha a közelgő átadásról annak bekövetkezése előtt értesül. Egy drón, amely útvonalát módosítja, megelőzően kérhet magasabb QoS-t zsúfolt cellába lépéskor. Egy autonóm jármű, amely közeli járművekkel koordinál, nagyobb pontossággal és alacsonyabb késleltetéssel kell ismerje azok pozícióját, mint amit a jármű-jármű kommunikáció önmagában biztosítani tud.

A 3GPP Network Exposure Function (NEF), amelyet a TS 29.522 [10] specifikál, szabványosított API-keretrendszerrel biztosít, amelyen keresztül külső alkalmazásfunkciók (AF-ek) hozzáférhetnek a hálózati képességekhez és feliratkozhatnak hálózati eseményekre. Ugyanakkor várható, hogy ez az architektúra egy rugalmasabb, MI-

MI kommunikációt lehetővé tevő exposure-architektúra felé fejlődik a 6G-ben. Peremszámítási forgatókönyvek esetében a NEF a következő, fizikai MI szempontjából kritikus képességeket teszi lehetővé:

UE mobilitási esemény-feliratkozás.

Egy AF (a perem alkalmazásplatform) mobilitási eseményekre iratkozik fel adott UE-kre vonatkozóan az Nnef_EventExposure szolgáltatáson keresztül. A hálózat értesíti az AF-et, amikor egy UE belép vagy elhagy egy meghatározott földrajzi területet, cellát vált, vagy mobilitási analitika alapján cellaváltás várható. Ez a proaktív értesítés váltja ki a II.B fejezetben leírt alkalmazásrétegbeli kontextus előzetes migrációját – enélkül az alkalmazás csak az átadás után tud reagálni, kizárva a kimaradást minimalizáló párhuzamosítást.

Helymeghatározási jelentés.

Az AF periodikus vagy eseményvezérelt helymeghatározási jelentéseket kér az érintett UE-k számára. Egy fizikai MI flottamenedzsment alkalmazás számára ez folyamatos helyzettudatosságot biztosít minden ágens pozíciójáról anélkül, hogy minden ágensnek önjelentést kellene tennie (ami rádiós erőforrásokat fogyaszt és késleltetést ad hozzá).

QoS-monitorozás és értesítés.

Az AF értesítésekre iratkozik fel, amikor egy adott UE QoS-e meghatározott küszöbértékek alá csökken. Ez lehetővé teszi a perem-alkalmazás adaptációját: ha egy robot videó uplink-jének garantált sávszélessége nem tartó fenn (cellaszűfoltosság vagy lefedettség perem miatt), az alkalmazás proaktívan csökkentheti a videófelbontást, könnyebb detekciós modellre válthat, vagy csökkentheti a robot sebességét a biztonságos működés fenntartásához a rendelkezésre álló sávszélességben belül.

Analitika-kitettség.

A Hálózati Adatanalitikai Funkció (NWDAF) analitikái, amelyeket a NEF-en keresztül tesznek elérhetővé, a hálózati viselkedés előrejelzéseit biztosítják: várható UE-pálya, célcellák terhelési előrejelzései és anomália-detekció. Ezek az előrejelzési képességek különösen értékesek a fizikai MI mozgástervezéséhez, ahol a tervezett útvonal mentén várható hálózati feltételek ismerete lehetővé teszi az ágens számára, hogy útvonalát a konnektivitási minőség fenntartása érdekében módosítsa.

B. Hálózati helymeghatározás GMLC-n és LMF-en keresztül

A pozicionálás alapvető képesség a fizikai MI számára. Bár az autonóm ágensek jellemzően fedélzeti loka-

lizációs rendszereket hordoznak (GNSS, IMU, vizuális odometria), ezeknek a rendszereknek ismert meghibásodási módjaik vannak: a GNSS beltérben nem elérhető, az IMU sodródást halmaz fel, és a vizuális odometria jellemzőszegény környezetben hibázik. A hálózatalapú pozicionálás független, infrastruktúra-alapú pozícióforrást biztosít, amely képes kiegészíteni és keresztvalidálni a fedélzeti szenzorokat.

Az 5G pozicionálási architektúra (TS 23.273 [11]) két kulcsfunkciót tartalmaz:

Helymeghatározás-kezelő funkció (LMF).

Az LMF a gNB-n és UE-n keresztül gyűjtött rádiós mérésekből számítja ki a UE pozícióját. Többféle pozicionálási módszer támogatott, mindegyik különböző pontossági és telepítési jellemzőkkel:

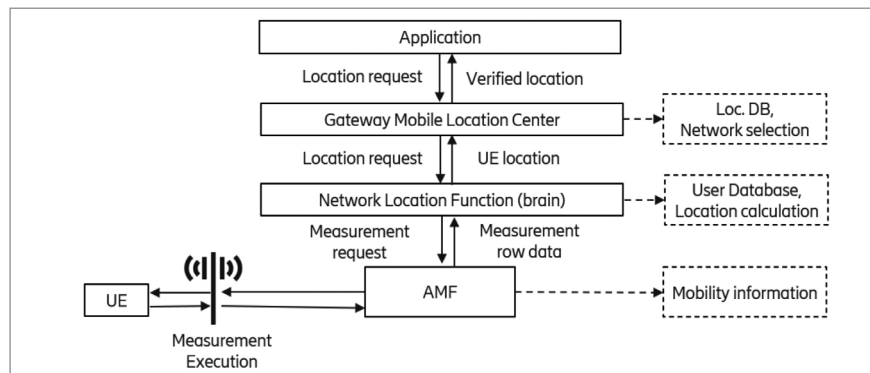
- DL-TDOA (Downlink érkezési időkülönbség): A UE méri az időkülönbségeket a több gNB-ről érkező pozicionálási referenciajel (PRS) között. FR2 (mmWave) telepítéseknél a széles sávszélesség révén méteres alatti pontosság érhető el sűrű városi környezetben.
- Multi-RTT (Többszörös oda-vissza idő): A UE és több gNB méréseit kombinálja a pozíció trilaterációval történő számításához. FR1-gyel 1–3 m pontosságot biztosít, és FR2-vel jelentősen javul.
- UL-AoA (Uplink érkezési szög): A gNB antennasor-feldolgozással becsüli a UE irányát. Leghatékonyabb FR2-ben telepített masszív MIMO antennasorokkal.
- Továbbfejlesztett Cell-ID (E-CID): A szolgáltató cella azonosítóját kombinálja időzítés-előleg és jelmérésekkel durva pozicionáláshoz (10–50 m), minimális infrastruktúra-igénnyel.

A Release 17 és Release 18 pozicionálási fejlesztéseket vezet be, beleértve az oldalsáv-pozicionálást (eszköz-eszköz távolságmérés), vivőfázis-méréseket centiméteres pontosságért, és csökkentett késleltetésű pozicionálást időkritikus alkalmazásokhoz [12].

Gateway Mobile Location Centre (GMLC).

A GMLC szolgál a helymeghatározási információk külső elérési pontjaként. Kezeli a magánélet-védelmi ellenőrzést (biztosítva, hogy a kérelmező entitás jogosult a UE pozíciójának lekérdezésére), koordinál az LMF-fel a pozíciószámításhoz, és szabványosított formátumban szolgáltatja az eredményt. A külső AF-ek a NEF Nnef_EventExposure szolgáltatásán keresztül érik el a helymeghatározási szolgáltatásokat, amely belső szolgáltatásalapú interfészekon keresztül közvetíti a kéréseket a GMLC felé.

Az architektúrát a 3. ábra illusztrálja.



3. ábra – Hálózati kiterítési és helymeghatározási architektúra. A UE rádiós méréseket biztosít LPP/NRPPa protokollokon keresztül az LMF-nek, amely kiszámítja a pozíciót. A GMLC a NEF-en keresztül teszi elérhetővé a helymeghatározást külső AF-ek számára. A 4 lépéses folyamat: (1) AF feliratkozik a NEF-en keresztül, (2) NEF helymeghatározást kér a GMLC-től, (3) GMLC kiváltja az LMF számítását, (4) Pozíció kézbesítése az AF-nek

Relevancia a fizikai MI számára.

A NEF esemény-kiterítési és GMLC/LMF pozicionálás kombinációja két különálló használati esetet tesz lehetővé a fizikai MI számára:

A robot lekérdezi saját hálózathoz tartozó pozícióját a fedélzeti GNSS/IMU becslések keresztvalidálásához. Amikor az eltérések meghaladnak egy küszöbértéket (ami GNSS többutas terjedést vagy IMU-sodródást jelez), a robot megbízhat a hálózati pozícióban, vagy biztonságos állapotba léphet a feloldásig. Ez különösen értékes félbeltéri környezetekben (rakodódokkok, parkolóházak), ahol a GNSS megbízhatósága korlátozott.

Környezettudatosság. Engedélyezett flottamenedzsment API-kon keresztül a perem-alkalmazás lekérdezheti más hálózathoz csatlakoztatott entitások pozícióját a robot közelében – más robotok, UE-t hordozó munkavállalók vagy járművek –, hálózathoz tartozó helyzettudatossági réteget biztosítva, amely kiegészíti a fedélzeti érzékelést (amelyet a szenzor hatótávolsága és takarás korlátoz).

A pozicionálási pontosság jelenlegi telepítésekben körülbelül 3–5 métert ér el kültéren FR1-gyel, 1 méter alá javulva FR2 telepítésekkel és Release 17 fejlesztésekkel [13]. Sok fizikai MI alkalmazás számára (raktár-navigáció, campus-járőrözés, városi kézbesítés) ez a pontosság – a megoldás elérhetőségével és infrastruktúra-függetlenségével kombinálva – értékes kiegészítést jelent a fedélzeti szenzorokhoz.

négylábú robotot alkalmaz 5G konnektivitással és perem-alapú MI-következtetéssel.

A platform egy Unitree Go2 négylábú robotot foglal magában, amely előre néző kamerával, IMU-val és 5G-képes kommunikációs modullal van felszerelve. A robot autonóm módon működik bel-/kültéri környezetben, élő 1080p videót streamelve 30 képkocka/másodperc sebességgel egy perem MI-szerverre, amely az operátori peremtelepítésen található. A peremszerver valós idejű objektumfelismerést végez YOLO26 modellel [14], amely személyek, székek és akadályok (forgalmi kúpok) felismerésére van betanítva a robot környezetében.

Egy biztonságkritikus funkció demonstrálja a valós idejű követelményeket: automatikus megállási mechanizmus lép működésbe, amikor egy detektált akadály befoglaló keretének területe meghalad egy előre meghatározott területi küszöbértéket (59 000 px²), veszélyes közelséget jelezve. Ez a funkció megköveteli, hogy a teljes érzékelési hurok – képkocka-rögzítés, hálózati átvitel, MI-következtetés és vezérlőparancs visszaküldése – időben befejeződjön a biztonságos reakció érdekében.

Egy telemetriai műszerfal biztosítja a rendszerteljesítmény valós idejű monitorozását: uplink/downlink sávszélesség, vezérlési hurok késleltetése, robot sebessége, detekciós eredmények és hálózati paraméterek. Ez a műszerezettség lehetővé teszi az architektúra teljesítményének pontos jellemzését működési körülmények között.

IV. Validáció: Autonóm robotkutatya perem MI-vel

A. Demonstráció felépítése

A Multiple PDU Sessions architektúra fizikai MI peremszámításhoz történő validálásához egy proof-of-concept demonstrációt valósítottunk meg, amely autonóm

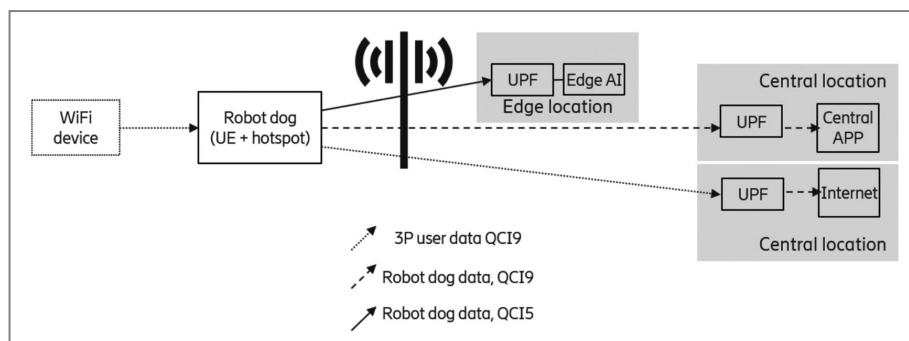
B. Architektúra-leképezés Multiple PDU Sessions-re

A demonstráció három egyidejű PDU session-t alkalmaz, mindegyik egy különálló fizikai MI funkciót szolgál ki megfelelő QoS-sel és session-folytonossági jellemzőkkel:

1. Peremhálózati PDU session – Perem MI-következtetés (DNN=edge-ai, SSC Mode 2, 5QI=7). Ez a session hordozza az elsődleges érzékelési hurkot: 1080p videó felkapcsolás a robot kamerájától a perem MI-szerverhez, és detekciós eredmények/vezérlőparancsok a lekapcsoláson. Az 5QI=7 garantált sávszélességű, alacsony késleltetésű erőforrástípust határoz meg 100 ms-os csomagkésleltetési költségvetéssel (PDB) és 10^{-3} -os csomaghibaaránnal – ez megfelelő avalósídejúvideóhoz megbízhatóságkövetelményekkel. Az SSC Mode 2 biztosítja, hogy amikor a robot elhagyja a jelenlegi peremtelepítést, ez a session a legközelebbi elérhető peremre migrál, fenntartva az alacsony késleltetésű útvonalat az MI-következtetési erőforrásokhoz. A következtetési hurok cél végponttól végpontig késleltetése 33 ms alatt van.

2. PDU session más felhasználók számára – WiFi hotspot (DNN=hotspot, SSC Mode 1, 5QI=9). Ez a session internet-hozzáférést biztosít a helyi WiFi hotspotokhoz csatlakozó felhasználók számára. Ugyanakkor még ez az 5QI is eltérően állítható be specifikus használati esetekhez.

3. Robot admin PDU session – Felhőszolgáltatások (DNN=internet, SSC Mode 1, 5QI=9). Ez a session kezeli a nem késleltetéskritikus felhő-konnektivitást: flottamenedzsment parancsok, MI-modell frissítések, telemetria-feltöltés offline elemzéshez, és hozzáférés felhőalapú következtetési szolgáltatásokhoz (pl. nagy nyelvi modellek komplex döntéshozatalhoz). Megjegyzendő, hogy a felhasználói forgalom (WiFi hotspot) és a vezérlési forgalom teljesen elkülönül, különböző horgony UPF-et használva, biztosítva az adatszuverenitást – ami ULCL használatával nem lenne lehetséges. Az architektúrát a 4. ábra illusztrálja.



4. ábra – A robotkutyá-demonstráció architektúrája, amely három független PDU session-t mutat differenciált DNN-nel, SSC móddal és 5QI-vel. Az 1. session (folytonos) késleltetéskritikus videó szállít a perem MI-hez <33 ms következtetéssel; a 2. session (pontozott) WiFi hálózatot biztosít felhasználóknak; a 3. session (szaggatott) felhőszolgáltatásokhoz csatlakozik.

A demonstrációs architektúra négy olyan tulajdonságot mutat be, amelyet az ULCL megközelítés nem tud biztosítani:

Natív QoS-differenciálás: minden folyam pontosan a követelményeinek megfelelő QoS-profil kapja folyamonkénti szabálykonfiguráció nélkül. A videófolyam garantált sávszélességet kap (5QI=7), a WiFi hotspot (5QI=9), és a felhőforgalom best-effort szolgáltatást kap (5QI=9). ULCL esetében mindhárom folyam egyetlen PDU session-on belül létezne, további QoS-folyam létrehozási eljárásokat igényelve a differenciáláshoz – eljárásokat, amelyek rosszul skálázódnak a szolgáltatások számával.

Szelektív mobilitási hatás: csak az 1. session-t (perem MI) érintik a peremtelepítés-átmenetek. Amikor a robot új peremlefedetési területre mozog, a 2. és 3. session zavartalanul folytatódik. ULCL esetében egyetlen PDU session szolgálja ki az összes forgalmat; az UPF-CL lánc peremmobilitás miatti újrakonfigurálása potenciálisan minden folyamatot megzavar, beleértve a stabil felhő-konnektivitást.

Izolált kapcsolatok és adathálózatok: a robot egyidejűleg három különböző adathálózathoz fér hozzá (perem MI, pozicionálás, internet) három különböző kiszolgáló UPF-fel, amelyek optimálisan vannak elhelyezve a topológiában. Az ULCL egyetlen PDU sessionból tud forgalmat elágaztatni egy helyi DN felé – nem tud egyidejűleg különböző forgalmi részhalmazokat több különböző helyi szolgáltatáshoz irányítani különböző topológiai elhelyezéssel.

Hibaizoláció: ha a perem MI-szerver kimaradást tapasztal vagy a perem UPF meghibásodik, csak az 1. session-t érinti.

C. Eredmények és megfigyelések

A demonstráció validálja, hogy a Multiple PDU Sessions architektúra megfelel a fizikai MI valós idejű követelményeinek:

Következtetési késleltetés.

Az objektumfelismerési késleltetés – a képkocka-átvi-

teltől a detekciós eredmény fogadásáig mérve – következetesen 33 ms alatt marad végponttól végpontig. Ez megerősíti, hogy a dedikált perem PDU session által biztosított közvetlen adatútvonal (UE → gNB → UPF-Edge → EAS) eléri a 30 fps-es érzékelési hurokhoz szükséges késleltetési költségvetést. A közbenső osztályozó UPF hiánya hozzájárul ehhez az eredményhez – az ULCL által bevezetett további 1–4 ms a teljes 33 ms-os költségvetés jelentős hányadát képviseli.

Detekciós teljesítmény.

A YOLO26 modell a peremen megbízható detekciót ér el a célkategóriákban: személyeket 0,71–1,00 konfidencia-pontszámmal, székeket 0,45–0,77-tel, és forgalmi kúpokat következetes megbízhatósággal detektál. Ezek a konfidenciaszintek elegendőek az autonóm navigációs döntésekhez, és a valós idejű feldolgozás biztosítja, hogy a detekciós eredmények időben igazodnak a robot aktuális pozíciójához és környezeti állapotához.

Biztonsági funkció validációja.

Az automatikus megállási mechanizmus hatékonyan aktiválódik, amikor egy akadály befoglaló keretének területe meghaladja az beállított küszöbértéket, demonstrálva, hogy a perem-következtetési késleltetés kellően alacsony a biztonságkritikus reaktív viselkedésekhez. A robot következetesen megáll a küszöbérték-átlépés egyetlen érzékelési ciklusán belül, megerősítve, hogy az architektúra késleltetési jellemzői támogatják a fizikai biztonsági követelményeket.

Hálózati teljesítmény.

A telemetriai monitorozás stabil uplink sávszélességet a videostreameléshez és következetesen alacsony vezérlési késleltetést mutat a teljes demonstrációs időszakban. A független PDU session-ök nem mutatnak kereszt-interferenciát: az 1. session forgalmi mintázatai (löketszerű videó) nem befolyásolják a 2. session-t (periodikus pozicionálási lekérdezések) vagy a 3. session-t (alkalmi felhőszinkronizáció), megerősítve a Multiple PDU Sessions architektúra izolációs tulajdonságait.

V. Következtetések

Ez a cikk a forgalomirányítási megközelítések összehasonlító elemzését mutatta be a fizikai MI számára a mobilhálózat peremén, demonstrálva a Multiple PDU Sessions architektúrális fölényét az ULCL-lel szemben hét kritikus dimenzió mentén. Az elemzés feltárja, hogy az ULCL alapvető kialakítása – az osztályozási intelligencia adatútvonalba helyezése – eredendő korlátokat teremt a késleltetés (további UPF-ugrás), titkosított forgalom kezelése (hatástalan osztályozás), üzemeltetési komplexitás (UE-nkénti, folyamankénti szabályok), hibaizolá-

ció (csatolt életciklus), adatszuverenitás (felhasználói és üzemeltetési adatok feldolgozása ugyanazon UPF-en), QoS-differenciálás (egyetlen session korlátja), mobilitáskezelés (komplex lánc-újrakonfigurálás) és alkalmazás-adaptálhatóság (UE bevonásának hiánya) terén. A Multiple PDU Sessions ezeket a korlátokat alapvetően más architektúrális filozófiával oldja meg: forgalomelválasztás a forrásnál (UE) a hálózatbeli osztályozás helyett.

A háromrétegű átvadás-együttműködési modell demonstrálja, hogy a session-folytonosság nem kizárólag hálózati kérdés. Mindhárom SSC mód megfelelő alkalmazásával optimalizálni lehet a session-folytonosság és a komplexitás közötti egyensúlyt. A proaktív alkalmazási kontextusáthelyezés (amelyet a NEF mobilitási esemény-exposure tesz lehetővé) lehetővé teszi a domináns késleltetési komponens párhuzamos végrehajtását a megelőző lépésekkel. Az 1 másodperc alatti észlelt kimaradás – és potenciálisan 250 ms alatti jól előkészített forgatókönyvekben – elfogadható azon fizikai MI alkalmazások számára, amelyek egy-két érzékelési ciklust képesek pufferelni az átmenet során.

A GMLC/LMF-en keresztüli pozicionálás biztosítja a térbeli tudatossági képességeket, amelyek megkülönböztetik a fizikai MI-t a hagyományos mobil szélessávú szolgáltatásoktól. A fedélzeti lokalizáció keresztvalidálása, más hálózathoz csatlakoztatott entitások érzékelése és az előrejelzett mobilitási eseményekre való proaktív reagálás képessége átalakítja a peremszámítást: a passzív számítás-kiszervezési modellből aktív, hálózat-tudatos számítási paradigmává válik.

Az autonóm robotkutya-demonstráció validálja ezeket az architektúrális elveket konkrét eredményekkel: 33 ms alatti végponttól végpontig következtetési késleltetés valós idejű objektumfelismeréshez, tiszta QoS-differenciálás három független PDU session-ön keresztül, és teljes hibaizoláció a peremkritikus és felhőtollerens konnektivitási útvonalak között.

Hivatkozások

- [1] S. Levine, „Physical Intelligence and the Future of Robotics,” *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 8, no. 4, pp. 2150–2160, Apr. 2023.
- [2] Y. Mao, C. You, J. Zhang, K. Huang, and K. B. Letaief, „A Survey on Mobile Edge Computing: The Communication Perspective,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 4, pp. 2322–2358, Fourth Quarter 2017.
- [3] 3GPP, „System Architecture for the 5G System (5GS); Stage 2,” TS 23.501, v18.5.0, Mar. 2024.
- [4] 3GPP, „5G System Enhancements for Edge Computing; Stage 2,” TS 23.548, v18.4.0, Mar. 2024.

- [5] J. Iyengar and M. Thomson, „QUIC: A UDP-Based Multiplexed and Secure Transport,” *IETF, RFC 9000*, May 2021.
- [6] 3GPP, „Policy and Charging Control Framework for the 5G System (5GS); Stage 2,” TS 23.503, v18.5.0, Mar. 2024.
- [7] P. Emmerich, S. Gallenmüller, D. Raumer, F. Wohlfart, and G. Carle, „MoonGen: A Scriptable High-Speed Packet Generator,” in *Proc. IMC*, Tokyo, Japan, Oct. 2015, pp. 275–287.
- [8] 3GPP, „Procedures for the 5G System (5GS); Stage 2,” TS 23.502, v18.5.0, Mar. 2024.
- [9] A. Ford, C. Raiciu, M. Handley, O. Bonaventure, and C. Paasch, „TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses,” *IETF, RFC 8684*, Mar. 2020.
- [10] 3GPP, „5G System; Network Exposure Function Northbound APIs; Stage 3,” TS 29.522, v18.5.0, Mar. 2024.
- [11] 3GPP, „5G System (5GS) Location Services (LCS); Stage 2,” TS 23.273, v18.4.0, Mar. 2024.
- [12] 3GPP, „NR; NR Positioning Protocol (NRPPa),” TS 38.455, v18.2.0, Mar. 2024.
- [13] R. Keating, M. Säily, J. Hulkkonen, and J. Karjalainen, „Overview of Positioning in 5G New Radio,” in *Proc. IEEE ISWCS*, Oulu, Finland, Aug. 2019, pp. 1–5.
- [14] G. Jocher, A. Chaurasia, and J. Qiu, „Ultralytics YOLOv8,” 2023. [Online]. Available: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
- [15] Ericsson, „Edge Computing and Deployment Strategies for Communication Service Providers,” *Ericsson Technology Review*, vol. 2021, no. 6, pp. 2–15, Jun. 2021.
- [16] 5GAA, „Edge Computing for Advanced Automotive Communications,” *5GAA White Paper*, Dec. 2022.
- [17] P. Porambage, J. Okwuibe, M. Liyanage, M. Ylianttila, and T. Taleb, „Survey on Multi-Access Edge Computing for Internet of Things Realization,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 4, pp. 2961–2991, Fourth Quarter 2018.
- [18] T. Taleb, K. Samdanis, B. Mada, H. Flinck, S. Dutta, and D. Sabella, „On Multi-Access Edge Computing: A Survey of the Emerging 5G Network Edge Cloud Architecture and Orchestration,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 19, no. 3, pp. 1657–1681, Third Quarter 2017.
- [19] J. Liu, J. Wan, Q. Wang, P. Deng, K. Zhou, and Y. Qiao, „A Survey on Position-Based Routing for Vehicular Ad Hoc Networks,” *Telecommunication Systems*, vol. 62, no. 1, pp. 15–30, May 2016.
- [20] A. Filali, A. Abouaomar, S. Cherkaoui, A. Kobbane, and M. Guizani, „Multi-Access Edge Computing: A Survey,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 197017–197046, 2020.
- [21] 3GPP, „Architecture Enhancements for 5G System (5GS) to Support Network Data Analytics Services,” TS 23.288, v18.4.0, Mar. 2024.
- [22] Ericsson, „5G Core Network: Service-Based Architecture,” *Ericsson Technology Review*, vol. 2020, no. 10, pp. 2–12, Oct. 2020.
- [23] M. Giordani, M. Polese, M. Mezzavilla, S. Rangan, and M. Zorzi, „Toward 6G Networks: Use Cases and Technologies,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 58, no. 3, pp. 55–61, Mar. 2020.
- [24] 3GPP, „5G System; UE Route Selection Policy; Stage 2,” TS 24.526, v18.3.0, Mar. 2024.
- [25] H. Zhang, Y. Xiao, S. Bu, D. Niyato, F. R. Yu, and Z. Han, „Computing Resource Allocation in Three-Tier IoT Fog Networks: A Joint Optimization Approach Combining Stackelberg Game and Matching,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 5, pp. 1204–1215, Oct. 2017.

A szerzőkről



területei közé tartozik a fizikai MI, a hálózatalapú pozicionálás és a valós idejű perem-következtetési architektúrák. (e-mail: benedek.kovacs@ericsson.com)



zati rendszerek end-to-end átfogó szemlélete jellemzi, amely a rendszertervezéstől a prototípus-megvalósításon át a demonstrációs környezetek kialakításáig terjed. (e-mail: armand.desztics@ericsson.com)



lesztési területe az 5G és a jövőbeli 6G hálózatokhoz kapcsolódó pozicionálási technológiák. (e-mail: zsafia.papp@ericsson.com)

KOVÁCS BENEDEK

villamosmérnöki MSc diplomáját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen (BME) szerezte. Jelenleg az Ericsson Research budapesti kutatójaként dolgozik, munkája az 5G rendszer-architektúrára, a mobilhálózati peremszámításra és az autonóm rendszerek konnektivitási megoldásaira összpontosít. Kutatási

DESZTICS ARMAND

mérnök-informatikus MSc diplomáját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen (BME) szerezte. Jelenleg az Ericsson-nál 5G-Advanced és 6G innovációs és kutatási projektek integrációs és architektúrális feladatain dolgozik, többször meglévő vagy új ügyfelekkel együttműködésben. Munkáját a hálózati rendszerek end-to-end átfogó szemlélete jellemzi, amely a rendszertervezéstől a prototípus-megvalósításon át a demonstrációs környezetek kialakításáig terjed. (e-mail: armand.desztics@ericsson.com)

PAPP ZSÓFIA

villamosmérnök MSc diplomáját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen (BME) Távközlési és Mesterséges Intelligencia Tanszékén szerezte 2021-ben. Jelenleg az Ericsson Magyarország kutató-mérnöke, ahol mobilhálózatalapú helymeghatározási rendszerek fejlesztésén dolgozik. Kutatási és fejlesztési területe az 5G és a jövőbeli 6G hálózatokhoz kapcsolódó pozicionálási technológiák. (e-mail: zsafia.papp@ericsson.com)

Gigabit Program előkészítésének műhelytitkai

CSIZMADIA NORINA

Digitális Kormányzati Fejlesztés és Projektmenedzsment Kft.

A Gigabit Magyarország Program előkészítése összehangolt szakmai és stratégiai tervezést igényelt annak érdekében, hogy az európai uniós célkitűzésekkel összhangban 2030-ra megvalósulhasson a mindenki számára egyaránt elérhető digitális alpinfrastruktúra. A program célja, hogy hazai és európai uniós források bevonásával a gazdaságilag kevésbé vonzó igényhelyeken is kiépülhessen a digitális gazdaság és társadalom alapjait megeremtő, jövőálló és fenntartható gigabiteképesség internetlefedettség. A háztartások ellátása mellett továbbra is kiemelt szerepet kapnak a közintézmények, valamint – hozzájárulva az 5G hálózat növekedéséhez – újdonságként megjelenik a mobil bázisállomások optikai lefedése is.

Kulcsszavak: támogatott hálózatfejlesztés, gigabiteképesség, optika, 5G hálózat, digitális évtized

Bevezetés

Az Európai Unió digitalizációs törekvéseinek központi eleme a növekvő igényeket kiszolgáló digitális alpinfrastruktúra kiépítése. A Digitális irányító 2030 európai bizottsági közlemény ambiciózus célokat fogalmaz meg: minden európai háztartás számára legyen elérhető a gigabites internet-hozzáférés és váljon minden lakott terület 5G-lefedetté [1]. A megfogalmazott célok megvalósítása érdekében további strukturált fejlesztési intézkedések szükségesek és az azok elérése iránti törekvés nem csupán technológiai kihívás, hanem komplex szabályozási, finanszírozási és tervezési feladat.

Az európai szakpolitikai célokra épülve, a 2021-2027-es programozási ciklus keretén belül megvalósuló Gigabit Magyarország Program (továbbiakban: Gigabit Program) hozzájárul a digitális infrastruktúra megeremtéséhez a nagyon nagy kapacitású hálózatok kiépítésének támogatásával. Jelen publikáció célja ezen gigabites hálózatfejlesztési program előkészítésének főbb szakpolitikai, technológiai és tervezési szempontjainak bemutatása.

A Gigabit Program előkészítésekor az Európai Bizottság digitális gazdaság és társadalom fejlettségét mérő mutatóról szóló 2022. évi jelentése (DESI) alapján Magyarország kedvező kiindulási helyzetben volt, hiszen

a nagyon nagy kapacitású hálózati lefedettség mutató tekintetében a 12. helyen állt az uniós országok listáján [2]. Ez a helyezés nemcsak a magánberuházásoknak, hanem a 2014-2020-as programozási ciklus Szupergyors Internet Programja keretén belül támogatott hálózatfejlesztéseknek is köszönhető. Habár az akkori elvárás a legalább 30 Mbit/s sávszélességet biztosító újgenerációs (Next Generation Access – NGA-képes) hálózatok kiépítését célozta meg, a támogatott fejlesztések több, mint 85%-a gigabiteképes optikai technológiával valósult meg.

A nagyon nagy kapacitású hálózati lefedettség mutató eredményével ellentétben az ország 5G lefedettsége a 2022. évi DESI összekapcsoltsági mutatója alapján jelentős lemaradást mutatott az uniós országok között elfoglalt 22. helyével [2]. A Gigabit Program során kiemelt szerepet kapott a mobil bázisállomások optikai ellátásának ösztönzése, amely nemcsak hozzájárul közvetetten az 5G hálózat növekedéséhez, hanem jelentős gazdasági megtakarítást is jelent. Az FTTH Council tanulmányai alapján az 5G bázisállomások optikai hálózati elérésének kiépítési költségeiben akár 65-96%-os költségmegtakarítás is elérhető az FTTH-hálózat beruházási költségeinek legfeljebb 7,2%-os növelésével, ha ezen fejlesztések összehangoltan, egyidejűleg valósulnak meg [3].

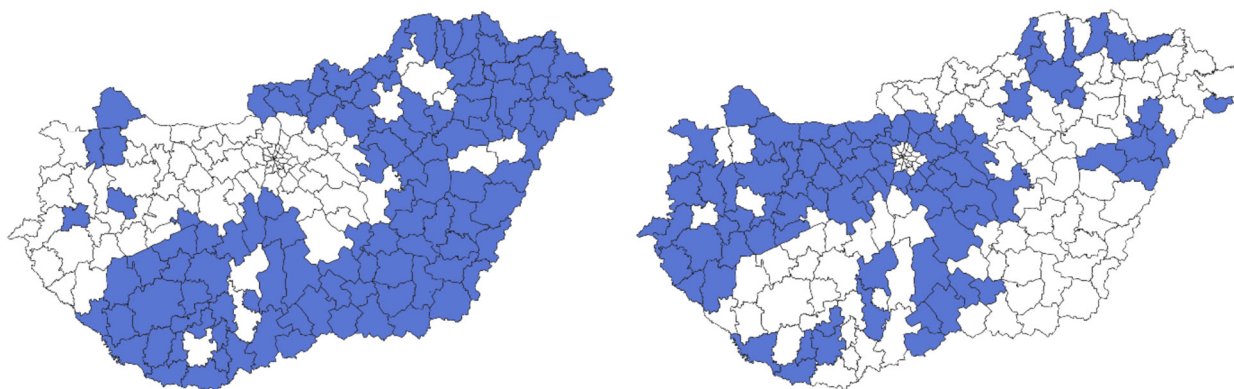
2. Területi célzás

A Gigabit Program területi hatálya kiterjed – Budapest kivételével – az ország összes járására, azon belül azon igényhelyekre, amelyek az előkészítéskor gigabitképes lefedettséggel még nem rendelkeztek. A célzott beruházás hátránykompenzációs hatásai révén olyan területeken épülhetnek ki hálózatok, ahol az alacsony megtérülés vagy a földrajzilag kedvezőtlen helyzet miatt magánberuházások útján nem, vagy késedelmesen tudnának megvalósulni.

A területi különbségek csökkentése érdekében az ország járásai komplex értékelési szempontrendszer alapján rangsorolásra kerültek, ezáltal létrejött egy olyan sorrend, amely a támogatott beruházás fontosságát tükrözi. Az osztályozásba többek között olyan mutatók kerültek bevonásra, mint a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) kimutatásai: a munkanélküliek aránya vagy a havi

bruttó átlagkereset, valamint az Országos Területfejlesztési és Területrendezési Információs Rendszer (TEIR) statisztikai adatai: a regisztrált vállalkozások aránya, helyi önkormányzat iparüzési adóból származó bevétele és a lakónépesség száma, de figyelembevételre kerültek a kedvezményezett járások besorolásáról szóló 290/2014 (XI. 26.) kormányrendelet komplex mutatói is [4].

A részletezett módszertannal meghatározott járási sorrend alapján a pályázati kiírás két szakaszra került felbontásra, amely a járások két gazdaságilag eltérő csoportját foglalja magába. Megfigyelhető, hogy az első pályázati szakasz elsősorban a leghátrányosabb régiókat célozza meg, a második szakasz viszont már a fejlettebb, kevésbé hátrányos területekre összpontosul [1. ábra]. Az első fordulóban meg-nem-pályázott járások a második fordulóban ismételt kiírásra kerültek, ezzel lehetőséget teremtve arra, hogy támogatott hálózatfejlesztések valósuljanak meg.



1. ábra – Gigabit Program I. és II. pályázati szakaszának célterületei, készítette: Csizmadia Norina

3. Igényhely-alapú tervezési szemlélet

A fejlesztési program egyik kulcsfontosságú eleme az igényhely-alapú tervezés. Az igényhelyek az ott található szolgáltatási végpontok típusától függően lehetnek lakosságiak, üzletiek vagy közintézményiek. A korábbi fejlesztési programokhoz képest újdonságként megjelent a mobil bázisállomás, mint negyedik igényhely-típus, ezzel hozzájárulva a vezetékek nélküli hálózati lefedettség növeléséhez. Támogatott fejlesztés célterületévé azok az igényhelyek válhattak, amelyek gigabitképes lefedettséggel nem rendelkeztek és tervezetten piaci alapon sem valósultak volna meg. A fejlesztendő igényhelyek meghatározása, valamint a gigabitképes fejlesztések későbbi folyamatos nyomon követése egy fejlett, térinformatikai alapú monitoring rendszerre támaszkodva valósulhat meg.

Kiemelt feladatként jelent meg a különböző adatforrások harmonizálása, hiszen az a hatékony szakpolitikai döntéseknek alapfeltétele. A műszaki előkészítést egy olyan lefedettségi téradatbázis létrehozása előzte meg, amely pontos cím- és koordinátaadatokra épül és magába foglalja az előzményprogram hálózatfejlesztési eredményeit, valamint a Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság által felmért, a távközlési szolgáltatók adatszolgáltatásán alapuló, 2024. évi földrajzi felmérés lefedettségi adatait. A címadatbázis az aktuális lakcímnyléváltartással, valamint a helyrajzi számokat is tartalmazó címadatbázissal felülvizsgálatra került. A közintézmények lefedése a Gigabit Program során is kiemelt szerepet kapott, a közintézményi igényhelyek meghatározásában a mindenkori közintézményi hálózat fenntartója nyújtott segítséget.

Az európai uniós ajánlásoknak eleget téve az elkészült lefedettségi adatbázis 30 napos társadalmi egyezte-

tésen esett át, amely során a távközlési szolgáltatók mellett a lakosság is ellenőrizhette az abban szereplő adatokat és nyújthattak be észrevételeket. Ezen felül felmérésre kerültek azok az igényhelyek is, ahol távközlési szolgáltatók piaci alapon, hazai és európai uniós források bevonása nélkül, a pályázat műszaki követelményeivel megegyező paraméterekkel gigabitképes hálózatfejlesztést terveznek a következő 3 évben. Ennek eredményeként elmondható, hogy a távközlési szolgáltatók által legkésőbb 2028 év végéig tervezett beruházásainak mértéke a támogatott gigabites fejlesztésekkel megegyező nagyságrendű.

4. Gigabitképesség

A gigabitképes hálózatok kiépítése jelentős társadalmi és gazdasági hatással bír, hozzájárul a digitális szakadék csökkentéséhez, elősegítik a vidéki térségek felzárkózását, valamint javítják a digitális közszolgáltatások elérhetőségét és minőségét, támogatva a gazdasági termelékenység növekedését és a versenyképességet. A sikeres megvalósítás alapfeltétele olyan technológiai megoldások következetes alkalmazása és minőségi követelményrendszer kialakítása, amelyek jövőállóak, biztonságosak és hosszútávon biztosítani tudják a fenntarthatóságot.

A gigabitképesség fogalma országonként és alkalmazási területenként eltérhet, de abban mindegyik megegyezik, hogy a növekvő adatforgalom, valamint a digitális szolgáltatások iránti kereslet emelkedése miatt a korszerű hálózatok kiépítése elengedhetetlenné vált. A Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság nagyon nagy sebességű internettel ellátottnak állapít meg minden olyan igényhelyet, amely legalább 100 Mbit/s letöltési sebességre alkalmas hálózattal lefedett [5]. A Gigabit Program ezen túlmenően azokat a hálózatokat tekinti gigabitképesnek, amelyek – figyelembe véve az Európai Elektronikus Hírközlési Szabályozók Testületének (BEREC) ajánlott teljesítményküszöb-értékeit és minőségi követelményeit, de attól szigorúbban – legalább 1000 Mbit/s névleges le- és 300 Mbit/s névleges feltöltési sebességű, valamint 300 Mbit/s garantált le- és 50 Mbit/s garantált feltöltési sebességű teljesítmény biztosítására képesek. Az egyes definíciók között nemcsak a sávszélességi követelményekben tapasztalható eltérés, hanem az alkalmazott technológiákban is. Ahhoz, hogy a hírközlőhálózati infrastruktúra hosszú távon biztosítani tudja a gazdasági és társadalmi fejlődés elvárásait, technológiai szemléletváltás szükséges.

Gigabites sebességet biztosítani tudó, korszerű optikai megoldások kerülnek a fejlesztések középpontjába, amellyel megkezdődik a rézalapú technológiák foko-

zatos kivezetése. A tendenciát bizonyítja, hogy Magyarországon 2022-ről 2024-re az optika terjedésével a rézalapú technológián nyújtott szolgáltatások 20%-os csökkenést mutatnak [6], továbbá a 2024-ben megjelent Európai Bizottság által kibocsátott Fehér könyv is igazolja ezt, amely az uniós előfizetők 80%-ának a rézhálózatokról optikára való áttérését prognosztizálja 2028-ra [7]. A BEREC ajánlása lehetőséget teremt a Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS) 3.1 és a Fiber to the Building (FTTB) technológiák alkalmazására [8], ellenben a hazai implementálásban a jövőállóság biztosítása érdekében kizárólag Fiber To The Home (FTTH) megoldások tekintendők vezetőes gigabitképes technológiának.

Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2021/1060 Rendeletének 9. cikkében megfogalmazott horizontális elvek mentén környezetvédelmi és fenntarthatósági szempontok kerültek megfogalmazásra. Az energiahatékonysági és klímavédelmi célokkal összhangban a rézalapú technológiák nem támogatása indokolt, hiszen az aktív eszközöket alkalmazó hálózatok, mint például a DOCSIS és az FTTB technológiák, jelentősen nagyobb energiaigénnyel rendelkeznek a passzív optikai megoldásokon alapuló, korszerű megoldásokhoz képest.

Az optikai hálózatok energiahatékonysági előnyeit több nemzetközi vizsgálat is igazolja. Az Europacable által 2022-ben publikált tanulmány szerint az FTTH Gigabit Passive Optical Network (GPON) hálózatok energiafogyasztása lényegesen alacsonyabb, így a leginkább energiahatékony megoldás más hozzáférési technológiákhoz képest. A vizsgálatok alapján az FTTH GPON éves energiafogyasztása évi 3 156 MWh, amíg a Digital Subscriber Line (xDSL) hálózatoké évi 4 987 MWh, valamint a DOCSIS technológiáé pedig 3 465 MWh évente [9]. A kutatás arra is rámutatott, hogy az optikai hálózatok energiafelhasználása a sávszélesség növekedésével sem emelkedik számottevően, szemben a réz- vagy rádióalapú hálózatokban tapasztalttal. Az optikai hálózat további előnye, hogy kevesebb aktív hálózati elemet igényel, ezáltal mérsékelhető az üzemeltetés energiaigénye, a hűtési szükséglet és a kapcsolódó szén-dioxid-kibocsátás is. Ugyan az FTTH Point-to-Point (P2P) energiaigénye magasabb értéket mutat az évi 3 557 MWh fogyasztásával, a pályázati felhívás követelményrendszere alapján a közintézményi igényhelyek lefedése kizárólag ezen technológia alkalmazásával valósulhat meg a Gigabit Program keretén belül. Az előkészítés során a nem gigabitképesként azonosított közintézmények mindegyikének ellátása kötelező feltétel a pályázatban nyertes távközlési szolgáltatók számára, ezzel támogatva a Nemzeti Digitalizációs Stratégia által meghatározott törekvést arra vonatkozóan, hogy 2030-

ra a köznevelési és szakképzési intézmények 100%-a rendelkezzen gigabites sávszélességű kapcsolattal [10].

A földrajzilag nehezen elérhető, ritkán lakott, vidéki területeken, a gazdaságilag meg nem térülő lakossági és üzleti igényhelyek lefedésére, engedélyköteles frekvenciasávon működő 5G alapú Fixed Wireless Access (FWA) vezeték nélküli technológia nyújthat alternatívát a Gigabit Programban. Habár a vezeték nélküli megoldások energiafogyasztását tekintve kevésbé bizonyulnak hatékonyak a vezetékes megoldásokhoz képest, a mobil bázisállomások optikai hálózati elérésének kiépítésével jelentősen csökkenthető azok energiaigénye, ami szintén hozzájárul a klímavédelmi célokhoz.

A jövőállóságban nem csak az energiahatékonyság, hanem a sérülékenység elleni intézkedések is fontos szerepet játszanak. Ezáltal a pályázati keretrendszer úgy került kialakításra, hogy ösztönözze a településeket ellátó, többirányú, földrajzilag elkülönülő felhordóhálózatok kiépítését, ami kedvező hatással bír a biztonságos, magas rendelkezésre állást nyújtó hálózatok növekedéséhez.

Összefoglalás

A gigabitképes hálózatfejlesztést irányzó Gigabit Program előkészítése egy olyan komplex stratégiai folyamat, amely európai szakpolitikai célokra épül, összhangban van az európai uniós ajánlásokkal, valamint a technológiai modernizációval hozzájárul a digitális és fenntarthatósági célok eléréséhez. A siker kulcsa az igényhely-alapú tervezés, a jövőálló technológiai megközelítés, valamint a hatékony finanszírozási és szabályozási keretrendszer kialakítása.

A programnak köszönhetően a szakpolitikai elvárásoknak eleget téve várhatóan jelentős mértékben növekedni fog az országos optikai és 5G hálózati lefedettség. A beruházást ösztönző program ellenére is maradni fognak ki olyan igényhelyek, ahol támogatási forrás bevonása mellett sem valósul meg gigabitképes lefedettség. Ezen igényhelyek hálózatfejlesztésére további szakpolitikai program kidolgozása válhat majd szükségessé.

Hivatkozások

- [1] Digitális iránytű 2030-ig: a digitális évtized megvalósításának európai módjáról szóló COM(2021) 118 számú dokumentum. (2021) Forrás: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:12e835e2-81af-11eb-9ac9-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF
- [2] Digital Economy and Society Index (DESI). (2022) Forrás: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/digital-economy-and-society-index-desi-2022>

- [3] FTTH Council: Optimising FTTH networks to enable Convergence. (2023) Forrás: <https://www.ftthcouncil.eu/resources/all-publications-and-assets/1817/optimising-ftth-networks-to-enable-convergence>
- [4] DIMOP Plusz – 3.1.2. kódszámú Gigabit Magyarország Program elnevezésű konstrukció felhívása. (2025) Forrás: <https://www.palyazat.gov.hu/programok/szechenyi-terv-plusz/dimop-plusz/dimop-plusz-3.1.2-25/dokumentumok>
- [5] NMHH – Ellátatlan területek jegyzéke és hálózatok elérhetősége. (2026) Forrás: <https://nmhh.hu/hirkozles/foldrajzi-felmeres>
- [6] BEREC Progress Report on managing copper network switch-off - draft – BoR (24) 181. (2024) Forrás: https://www.berec.europa.eu/system/files/2024-12/BoR%2520%252824%2529%2520181_Draft%2520BEREC%2520Report%2520on%2520copper%2520switch-off_0.pdf
- [7] Fehér könyv: Hogyan lehet megfelelni Európa digitális infrastrukturális igényeinek? szóló COM(2024) 81 számú dokumentum. (2024) Forrás: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:52024DC0081>
- [8] BEREC iránymutatásai a nagyon nagy kapacitású hálózatokhoz – BoR (20) 165 dokumentum. (2020) Forrás: https://www.berec.europa.eu/sites/default/files/files/document_register_store/2020/10/BoR_%252820%2529_165_BEREC_Guidelines_VHCN.pdf
- [9] Europacable: Fibre: the most energy-efficient solution to Europe's bandwidth needs. (2022) Forrás: <https://europacable.eu/wp-content/uploads/2022/07/Europacable-Whitepaper-on-Energy-Efficiency-of-Fiber-networks-05-July-2022.pdf>
- [10] Nemzeti Digitalizációs Stratégia 2022-2030. (2022) Forrás: <https://kormany.hu/application/documents/f3207909-28d7-48fa-a836-3adef7b8a3e9/download>

A szerzőről



CSIZMADIA NORINA

a DKF Kft. távközlési szakértője. 2016 óta foglalkozik hazai és európai uniós forrásból megvalósuló hálózatfejlesztésekkel. Térinformatikus végzettséggel csöppent bele a távközlésbe. A Szupergyors Internet Program keretén belül először adatelemzői és térinformatikai feladatokat látott el, majd bekapcsolódott a pályázatértékelésekbe és a tervellenőrzésekbe, valamint a támogató informatikai rendszerért felelős csapatot vezette. A kezdetek óta részt vesz a Gigabit Magyarország Program szakmai tervezésében és előkészítésében. Aktív tagja az európai Broadband Competence Office hálózatának.
(e-mail: norina.csizmadia@dkf.hu)

Lesz-e a streaming az új lineáris? avagy – Látjuk a változásokat, halljuk a mondásokat, de a valóság számít

RAJKI ANNAMÁRIA

Magyar Telekom – TV&Entertainment igazgató

Jelenleg a tartalompiacon valamennyi szereplő – a közösségi médiaplatformoktól a streamingszolgáltatókon át a telekommunikációs vállalatokig – ugyanazért a széles erőforrásért versenyez: a fogyasztók figyelméért, idejéért és a szórakozásra fordítható jövedelméért. A tartalompiaci harc nem statikus, hanem egy folyamatosan pulzáló verseny, ahol a siker kulcsa nem csupán a legjobb tartalmak előállítása, hanem egy olyan innovatív és reziliens üzleti modell kialakítása, amely képes kezelni a makrogazdasági bizonytalanságokat, kihasználni a technológiai nyújtotta lehetőségeket, valamint a legmagasabb szinten képes kiszolgálni a fogyasztók folyamatosan változó igényeit.

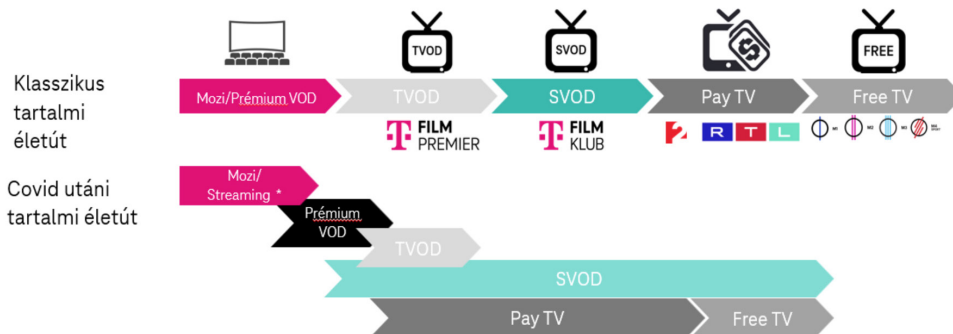
1. Bevezetés: Az alapok, avagy A televíziós piac transzformációja és a hazai médiafogyasztási trendek

A televíziós iparág jelenleg strukturális átalakuláson megy keresztül. A technológiai evolúció – különösen a szélessávú infrastruktúra és az okosteleviszók (Smart TV) penetrációjának növekedése – utat nyitott az OTT (Over-the-Top) és streaming (SVOD) szolgáltatók globális térnyerésének, élükön a piacvezető Netflixszel. Ezen új szereplők megjelenése alapjaiban rendítette meg a tartalomértékesítés hagyományos, évtizedekig domináns ablakrendszerét (windowing), közvetlen hatást gyakorolva a nemzetközi és hazai értéklánc szereplőinek – köztük a tartalomgyártók, filmstúdiók, moziforgalmazók, műsorterjesztők és csatornaportfóliók – bevételi struktúrájára és jövedelmezőségére. Ezt a diszrupciót a Covid-19 pandémia tovább katalizálta, mivel a mozik időszakos bezárása és a fizikai rekreációs lehetőségek szűkülése a digitális platformok felé terelte a fogyasztókat.

2026-ra a magyarországi piac is elérte ezt az érettségi fázist: valamennyi globális platform (Netflix, Disney+, HBO Max) nagyrészt lokalizált, stabil szolgáltatással van jelen, miközben a vezető hazai médiavállalatok (RTL Magyarország, TV2 Csoport, AMC, Network4) is kiépítették saját hibrid vagy tisztán digitális streaming-platformjaikat.

Ez a váltás alapjaiban formálja át a médiafogyasztási és moziátogatási szokásokat, kiemelt kihívás elé állítva a lineáris televíziózást. Ugyanakkor a Nielsen közönségmérési adatai és a távközlési szolgáltatók (például a Magyar Telekom) előfizetői bázisának mutatói alapján a lineáris televíziózás hazai pozíciója rövid távon még stabil. Mindazonáltal a lineáris piac elérte a telítettség pontját (szaturáció), így az újabb lineáris csatornák indítása gazdaságilag már nem racionális. A piaci dinamika fenntartása érdekében elengedhetetlen a fogyasztói preferenciák és a trendek folyamatos, adatvezérelt monitorozása.

Ablakrendszer átalakulása



1. ábra – Forrás: Magyar Telekom

2. A piac, avagy Az értéklánc felbomlása, a piaci konvergencia és a szűrkezőzés verseny

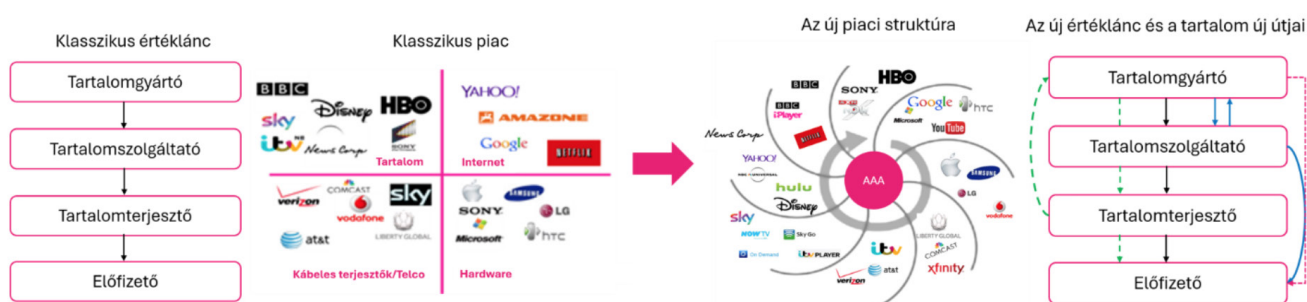
A digitalizáció alapjaiban strukturálta át a tradicionális tartalompiaci értékláncot és a klasszikus szerepköröket (tartalomgyártó, jogtulajdonos, disztribútor, fogyasztó). A tartalomelőállítás demokratizálódásával a fogyasztó aktív tartalomgyártóvá lépett elő, aki a közösségi média és a videómegosztó platformok révén közvetlenül publikál felhasználói tartalmakat (*User Generated Content – UGC*). Ezzel párhuzamosan a tartalomtulajdonosok a közvetítő kereskedelmi szintek (aggregátorok, hagyományos disztribútorok) megkerülésével, az előfizetőknek közvetlen elérést biztosító, úgynevezett *Direct-to-Consumer (D2C)* üzleti modelleket alakítottak ki. Ezzel egy időben a távközlési szolgáltatók vertikális integráció útján megjelentek a tartalomgyártói szegmensben is: erre példa a Magyar Telekom saját tartalomgyártási projektje (például *BigBakShow*), valamint az olyan ambiente vagy tematikus lineáris csatornák elindítása, mint a *Telekom GoodGame* vagy a *Kanapé TV*.

A növekedési kényszer hatására a piaci szereplők kiléptek hagyományos működési kereteikből, és az alaptevékenységükhöz szervesen kapcsolódó, de új érték-

lánc-szegmensek felé diverzifikálták portfóliójukat. Ez a stratégiai expanzió felülírta a klasszikus horizontális és vertikális versenypiaci modelleket. Egy rendkívül komplex, konvergens médiapiac jött létre, ahol a korábban élesen elváló szektorok szereplői ma már közvetlenül versenyeznek egymással a fogyasztók figyelméért, szabadidejéért, valamint a tartalomfogyasztásra allokkált jövedelméért (*share of wallet*).

A globális és a hazai tartalompiacon jelenleg is intenzív konszolidációs harc folyik. Középtávon még bizonytalan, hogy a jelenlegi piaci szereplők közül melyek képesek megőrizni pozícióikat, és kik kényszerülnek stratégiaváltoztatásra.

Ezt a kiélezett versenyt tovább nehezíti, hogy a legális piaci szereplőknek nemcsak egymással, hanem a digitális kalózkodással és a szerzői jogi szabályozási réseket kihasználó, szűrkezőzés vagy illegális szolgáltatásokkal is meg kell küzdeniük. Ezen platformok kihasználva a digitális világ adta lehetőségeket és fogyasztói percepciókat („az interneten ingyenes a tartalomfogyasztás”), jogosulatlan tartalomhozzáférést biztosítanak, ami jelentős bevételkiesést okoz, és közvetlenül erodálja a legális szereplők monetizációs potenciálját.



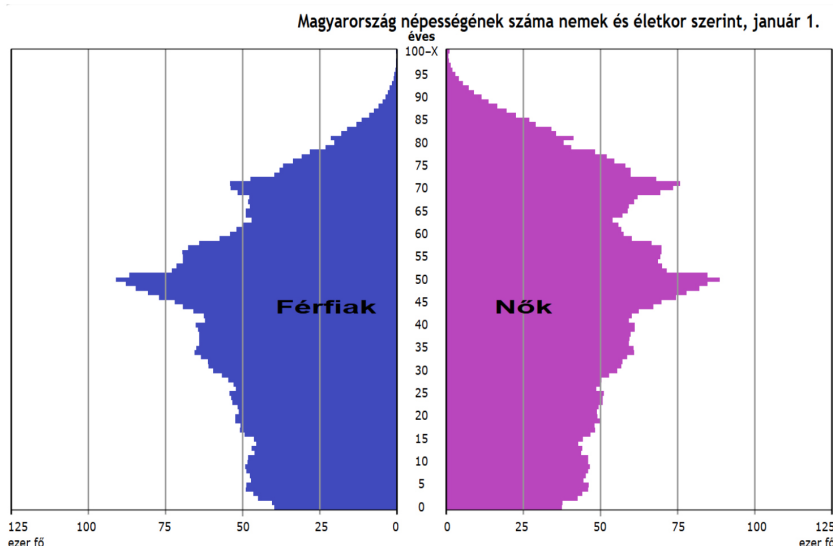
2. ábra – Forrás: Magyar Telekom

3. Az ügyfél, avagy a Fogyasztói kitettség, generációs eltolódás és a lineáris televíziózás ár-érték aránya

A piaci folyamatok elemzése során kritikus tényező a fogyasztói oldal vizsgálata. Magyarország fokozottan kitett a globális makrogazdasági folyamatoknak, eseményeknek, mint amilyen a Covid-19 pandémia vagy az orosz-ukrán háború közvetett gazdasági hatásai voltak, vagy akár a most zajló közel-keleti konfliktus. Ezen külső tényezők mellett a piacot egy belső, strukturális, demográfiai és kulturális trend is alakítja: a hagyományos, lineáris televíziózási mintákon szocializálódott fogyasztói csoportok aránya lassan, de folyamatosan csökken. Ezzel párhuzamosan piacra lépnek a digitálisan érett Z és Alfa

generációs korosztályok, amelyek tartalomfogyasztási preferenciáit már elsődlegesen a nem-lineáris, on-demand és platformalapú megoldások határoznák meg.

Ugyanakkor a fenti, negatív makrogazdasági és demográfiai trendek ellensúlyozásában meghatározó szerepet játszik a reálbér alakulása, az inflációs nyomás, valamint a háztartások szórakozásra fordítható jövedelmének mértéke. Inflációs környezetben felértékelődik a fogyasztói döntésekben a költséghatékonyság és az ár-érték arány kérdése. Ebben a kontextusban a távközlési szolgáltatók széles csatornakinálata (akár 150+ lineáris csatornát) és kényelmi funkciókat (pl. időeltolódott tévézés, catch-up TV) is tartalmazó műsorterjesztési csomagjai felértékelődnek és versenyképes szórakozási alternatívát jelentnek a háztartások számára.



3. ábra – KSH –
ksh.hu/interaktív korfák 2026
<https://www.ksh.hu/interaktiv/korfak/orszag.html?lang=hu>

3. Az ület, avagy stratégiai adaptáció, konszolidáció és a platform-aggregációs modell

A bemutatott strukturális változások a globális és a hazai médiaértéklánc valamennyi szereplőjét – a kreatívipari alkotóktól (színészek, rendezők) és stúdióktól kezdve a mozihálózatokon át a távközlési szolgáltatókig – az üzleti modellek és a monetizációs stratégiák felülvizsgálatára kényszerítik. A korábbi növekedési ütem és profitabilitás fenntartása érdekében a nemzetközi piacokon intenzív konszolidációs hullám, fúziós és felvásárlási (M&A) aktivitás tapasztalható. Ezzel párhuzamosan a digitális transzformáció során a termékek és szolgáltatások magasabb árát alacsonyabb profitrátájú, de lényegesen nagyobb operatív és fejlesztési ráfordítás igénylő digitális bevételek váltják fel.

Ebben a piaci környezetben a Magyar Telekom proaktív technológiai és termékfejlesztési stratégiát követ. Az infrastruktúra folyamatos modernizációjának kulcsseleme az Android-alapú Telekom TV platform bevezetése, amely a lineáris portfólióban is elérhetővé tette a 4K felbontású tartalomátvitelt és biztosítja a termékportfólió jövőtállóságát.

Stratégiai szinten a vállalat az aggregátori modellben (super-aggregator) látja a hosszú távú értéktéremtés kulcsát. A tradicionális lineáris és VOD- (Video on Demand) szolgáltatások fenntartása mellett a Telekom a fogyasztói igényekre reagálva integrálja az új OTT platformokat. E stratégia mentén a legnépszerűbb globális és hazai streamingszolgáltatások – köztük a Netflix, a Disney+, az HBO Max, a SkyShowtime, valamint a SELEKT, a TV2 Play Premium, RTL + Active, Telekom FilmPremier, Telekom FilmKlub és a DumaTV, DaVinci, Net4, – csomagajánlatok formájában, egy helyen, a Magyar Telekom

mon keresztül válnak elérhetővé az előfizetők számára. Ez a megközelítés maximalizálja az ügyfélményt (UX), miközben stabilizálja a szolgáltató ügyfélmegtartó erejét és növeli az egy előfizetőre jutó átlagos árbevételt.

5. Összefoglalás

Jelenleg a tartalompiacot egyetlen, univerzális igazság szabályozza: a szereplők – profiljukról, méretüktől és elhelyezkedésüktől függetlenül – ugyanazért a szűkös erőforrásért versenyeznek. Ez az erőforrás a fogyasztók ideje és a szórakozásraallokált jövedelme.

Ebben a konvergens ökoszisztémában elmosódnak a határok a közösségi média (UGC), a hagyományos lineáris televíziózás, a mozik, a prémium streaming-platformok (SVOD) és a telekommunikációs szolgáltatók között. A verseny kimenetelét és a piaci szereplők sikerességét azonban nemcsak a tartalom minősége, hanem a makrogazdasági környezet és a belső vállalati képességek komplex mátrixa határozza meg.

Makrogazdasági környezet:

A fogyasztói bázis teherbíró képessége

A piaci potenciált alapvetően strukturálja az adott ország gazdasági fejlettsége.

- **GDP és reálbérek:** Megszabják a háztartások elköltethető jövedelmének nagyságát. Magasabb GDP-vel rendelkező piacokon a fogyasztók rugalmasabban fizetnek elő egy időben több, párhuzamos szolgáltatásra, míg az alacsonyabb jövedelmű vagy fejlődő piacokon az árérzékenység dominál a kiegészítő szolgáltatások tekintetében.
- **Inflációs nyomás:** Az infláció közvetlenül erodálja a vásárlóerőt. Gazdasági visszaesés idején a szórakozásra költött büdzsét az elsők között racionalizálják az előfizetők. Ez felértékeli a költséghatékony, magas értékajánlatot nyújtó szolgáltatásokat (például a telekommunikációs csomagajánlatokat vagy a reklámmal támogatott, olcsóbb (AVOD) előfizetési opciókat).

Technológiai fejlettség és infrastruktúra

A technológia egyszerre belépési korlát és a növekedés katalizátora.

- **Infrastruktúra-penetráció:** A szélessávú internethálózat (optika, 5G) és az okostelevisiók elterjedtsége a digitális szolgáltatások működésének alapfeltétele. A technológiai lemaradás konzerválja a tradicionális elosztási csatornákat, míg a fejlett infrastruktúra felgyorsítja a digitális transzformációt.
- **Platform-ökoszisztémák:** A modern hardveres és szoftveres megoldások (mint az Android TV-alapú platformok vagy a 4K-transzmisszió) ma már alapvető elvárások a fogyasztók részéről a zökkenőmentes felhasználói élmény (UX) biztosításához.

Stratégiai agilitás és innováció

A gyorsan változó környezetben a statikus üzleti modellek bukásra vannak ítélve. A hosszú távú túlélés kulcsa az előremutató stratégiai tervezés.

- **Új utak keresése (Diverzifikáció és konvergencia):** A tiszta profilú cégek kora lejárt. A sikeres szereplők folyamatosan tágítják működési határaikat: a telekommunikációs cégek tartalomgyártókká és szuper-aggregátorokká válnak, míg a stúdiók közvetlen elérést biztosító D2C platformokat építenek.
- **Innováció és rugalmasság:** Az iparági győztesek azok a vállalatok, amelyek képesek gyorsan adaptálni az új technológiákat (pl. AI-alapú tartalomajánló rendszerek, hibrid monetizációs modellek), és rugalmasan reagálnak a generációs fogyasztási szokások (Z- és Alfa-generációk igényeinek) változásaira.

Konklúzió

A tartalompiaci harc nem statikus, hanem egy folyamatosan pulzáló verseny. A győzelem kulcsa nem csupán a legjobb tartalom előállítás, hanem egy olyan reziliens és innovatív üzleti modell kialakítása, amely képes navigálni a makrogazdasági bizonytalanságok között, hatékonyan aknázza ki a technológiai konvergencia előnyeit, és a legmagasabb szinten képes kiszolgálni a fogyasztók folyamatosan változó igényeit.

Hivatkozások

- KSH – [ksh.hu/interaktív korfák 2026](https://www.ksh.hu/interaktiv_korfak?lang=hu)
https://www.ksh.hu/interaktiv_korfak?lang=hu

A szerzőről



RAJKI ANNAMÁRIA

telekommunikációs és médiapiaci vezető, több mint 30 év szakmai és 25 év vezetői tapasztalattal. Meghatározó szerepet játszott a magyar kábeltelevíziós piac digitalizációjában, valamint a tartalombeszerzési piac sztenderdjeinek kialakításában. A lineáris és non-lineáris terjesztés, valamint az OTT-szolgáltatások ér-

téklánc-menedzsmentjének szakértője. Jelenleg a Magyar Telekom TV & Entertainment igazgatója, elkötelezett híve a digitális edukációnak és az ügyfélmény alapú fejlesztésnek. Munkáját 2019-ben Magyar Arany Érdemkeresztrel ismerték el.

(e-mail: mt.ramka@telekom.hu)

A biztos kapcsolat – kritikus kommunikáció a digitális állam korszakában

HERNÁDI ESZTER, PODOS-VETÉSI ANIKÓ

PRO-M Zrt

Tíz évvel ezelőtt a távközlési hálózat háttérben lapult – valahol a szervergépek és a kábelek között. Ma már erre épül az egészségügy, a közigazgatás, az energetika és a közlekedés. Ha kiesik, nem csupán szolgáltatások állnak le: az állami működés is sérülhet.

Bevezetés

A rendőr, a mentős, a tűzoltó régen rádión kommunikált. Ma már videót továbbít, valós idejű adatokat küld, helyzetet oszt meg. A technológia mögött olyan hálózati infrastruktúrára van szükség, amely ezt stabilan képes kiszolgálni.

Ez már nem csupán technológiai kérdés. Egy kórház, egy erőmű vagy egy katasztrófavédelmi központ csak akkor működik, ha a kommunikációs rendszer mögötte stabil, biztonságos és folyamatosan elérhető. Nem elég, hogy „általában” működik – garantált rendelkezésre állásra van szükség.

2025-ben a Pro-M Zrt. három lépésben vette át az ország kritikus hírközlési infrastruktúrájának egy részét. Január elsejével átvette a Nemzeti Távközlési Gerinchálózat és a Digitális Jólét Gerinchálózat működtetését, április végén az MVM NET kormányzati célú hálózatai kerültek a portfólióba, decemberben pedig a 4iG Műsorszóró Infrastruktúra Kft. megvásárlásával az országos műsorszóró infrastruktúra is integrálódott.

Egységes működési környezetbe integrálja a vezetékes és vezeték nélküli kommunikációs rendszereket, a készenléti kommunikációt, az oktatási és kutatási hálózatokat, valamint több kritikus állami szolgáltatási területet. Ez a cikk azt mutatja be, hogyan vált a kommunikáció önálló kritikus infrastruktúrává – és mit jelent ez a gyakorlatban az egészségügytől a drónforgalomig.



A kritikus kommunikáció szerepének átalakulása

Rége a kritikus kommunikáció elsősorban azt jelentette, hogy a rendőr, a mentős és a tűzoltó bármilyen helyzetben megbízhatóan tudjon kommunikálni egymással. A hálózat kiesése emberéletet veszélyeztethetett – ez volt a tét.

Ma már ez sokkal többet jelent. Kritikus kommunikációnak tekinthető minden olyan hálózat, amelynek kiesése megbénítja az állami vagy közszolgáltatási rendszereket – az egészségügytől az energetikáig.

Vegyük az egészségügyet: a sürgősségi ellátásban a diagnosztikai adatok gyors továbbítása és távoli konzultáció ma már közvetlen hatással van arra, hogy a beteg meggyógyul-e. Az energetikában az intelligens hálózatok és a kritikus infrastruktúrák távfelügyelete szintén nagy rendelkezésre állású adatkapcsolatokra

épül. A közigazgatásban és az oktatásban az elektronikus ügyintézésről a digitális tananyagokig minden stabil gerinchálózatot igényel.

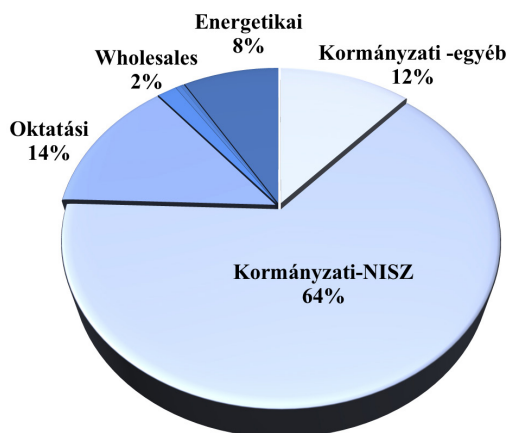
A kommunikációs infrastruktúra így mára az állami és közszolgáltatási rendszerek egyik alapvető működési feltételévé vált. Ha az alap megrendül, minden más rendszer működése is sérülhet.

Integrált állami hírközlési infrastruktúra

Az elmúlt években Magyarországon egységes működési környezetbe integrálódtak az állami hírközlési rendszerek. Ami korábban szétagoltan működött, ma egységes infrastruktúráként üzemel.

A cél nemcsak a hatékonyság növelése volt. Olyan infrastruktúrát kellett létrehozni, amely egyszerre biztonságos, folyamatosan elérhető, és képes kiszolgálni a növekvő állami hírközlési igényeket. Az integráció eredményeként egységes működési környezetbe kerültek:

- a készenléti kommunikációs rendszerek,
- a kormányzati gerinchálózati szolgáltatások,
- az oktatási és kutatási hálózatok,
- a közgyűjteményi infrastruktúrák,
- valamint a szélessávú adatkommunikációs rendszerek.



A vezetékes és vezeték nélküli hálózatok integrációja lehetővé teszi az erőforrások hatékonyabb felhasználását, a redundancia növelését és az egységes üzemeltetési folyamatok kialakítását.

Az integrált működés különösen fontos a kritikus infrastruktúrák esetében. Egy országos kommunikációs rendszer működésében nem elegendő kizárólag az egyes hálózati elemek magas rendelkezésre állása – az üzletmenet-folytonosság biztosításához a teljes infrastruktúra összehangolt működésére van szükség. A konszolidáció nem csupán technológiai integrációt jelentett, hanem különböző szakmai tapasztalatokkal és üzemeltetési kultúrákkal rendelkező mérnöki közösségek együttműködését is.

A konszolidáció során kiemelt szerepet kapott az átlátható és auditálható működés. Ez a modell nem egyedi Európában: Németországban a BDBOS, Finnországban az Erillisverkot, Észtországban a RIKS üzemeltet hasonló egységes állami infrastruktúrát. [8] [9]

A szélessávú kritikus kommunikáció tértérféje

A készenléti szervezetek már nemcsak hallani akarják egymást – látni, adatot küldeni, helyzetet megosztani is. Ez hozta el a szélessávú technológiák megjelenését a kritikus kommunikációban.

A TETRA-rendszerek ma is nélkülözhetetlenek: stabil hangkapcsolatot, titkosított csoportkommunikációt és magas rendelkezésre állást biztosítanak. Ugyanakkor a videóalapú kommunikáció, a valós idejű adatkapcsolatok és a helymeghatározási szolgáltatások támogatására a keskenysávú rendszerek kapacitása korlátozott.

2024-ben a Pro-M tulajdonába került egy országos mobil rádiós infrastruktúra – amelynek fejlesztése ezt követően megkezdődött. Az év végére kialakításra került a redundáns központi hálózati rendszer, valamint megtörtént mintegy 2500 bázisállomás integrációja. A rendszer kültéri szolgáltatási lefedettsége országos szinten megközelíti a 95%-os földrajzi és a 99%-os lakosságarányos lefedettséget.

A két hálózat – TETRA (Terrestrial Trunked Radio Access) és szélessávú infrastruktúra – között a ProPhone szolgáltatás teremt hidat. 2025. február 1-jétől a szélessávú készülékek teljes funkcionalitással kapcsolódhatnak a TETRA csoportkommunikációs szolgáltatásaihoz. Ez az interoperabilitás kulcsfontosságú az átmeneti időszakban, amikor a két technológia párhuzamosan van jelen a készenléti szervezetek eszközparkjában. A szélessávú hanghívás és SMS szolgáltatás 2025. októbertől vált elérhetővé, 2025 végére pedig már mintegy 2000 szélessávú végpont működött a rendszerben.

TeleStroke – valós idejű digitális egészségügyi kommunikáció

A ProPhone fejlesztését követően a TeleStroke már közvetlen egészségügyi alkalmazási területként jelent meg. Ebben az esetben a kommunikációs infrastruktúra közvetlenül az egészségügyi ellátási folyamat részévé válik.

Stroke esetén minden perc számít. [10] A neurológiai károsodás mértékét jelentősen befolyásolja, mennyi időt telik el a tünetek megjelenése és a célzott kezelés megkezdése között. A hagyományos modellben a szakorvos csak a kórházba érkezést követően láthatta először a beteget. A TeleStroke ezt változtatta meg: a neurológus már a mentőautóban, menet közben kapcsolatba léphet a beteggel.



2025 ősztől mintegy ezer mentőautóban jelent meg egy tablet – a Pro-M dedikált 4G/5G hálózatra csatlakoztatva. Az eszközön elérhető az Esetlap alkalmazás és a ProPhone csoportkommunikációs szolgáltatás is. A pilot 2025 decemberében indult, az éles rendszer 2026 januárjától kezdte meg működését Budapesten – ötven kijelölt stroke ambulancián és nagyérmegnyitásra alkalmas központban.

A neurológus valós idejű videókapcsolaton keresztül látja a beteget – még mielőtt a mentő megérkezne a kórházba. Irányíthatja az ellátást, dönthet a szükséges terapiáról. A rendszer az első napokban igazolta magát: az első sikeres életmentést az Országos Mentőszolgálat főigazgatója orvostörténeti jelentőségűnek nevezte.

Az első üzemeltetési tapasztalatok alapján az eszközök és szolgáltatások éles helyzetben is megbízhatóan működtek, érdemben hozzájárulva a betegút lerövidítéséhez.

A nemzetközi szakma is felfigyelt: a Pro-M Zrt. bekerült az ICCA (International Critical Communications Awards) 2026 shortlist-jére, a Best Use in Public Safety kategóriában.

HU-ALERT és a Cell Broadcast alapú lakossági riasztás

Veszélyhelyzet esetén az állam képes kell legyen egy adott földrajzi területen tartózkodó mobilfelhasználók gyors riasztására. Ezt a célt szolgálja a HU-ALERT rendszer. A rendszer jogszabályi alapja 2026. július elsejétől lép hatályba, és kötelezi a mobilszolgáltatókat a szükséges infrastruktúra kiépítésére.

A HU-Alert nem hagyományos sms technológiára épül. A Cell Broadcast Service (CBS) technológia nem egyéni kapcsolatokon keresztül működik – hanem egy adott területen egyszerre sugározza az üzenetet minden készülékre, előfizetői adatbázis nélkül. [4] [5]

A megoldás gyorsabb kézbesítést tesz lehetővé, miközben a hálózat terhelését is csökkenti olyan helyzetekben, amikor a forgalom jelentősen megnövekszik. A 346/2010. (XII. 28.) Korm. rendelet alapján a Pro-M Zrt. felel a rendszer központi infrastruktúrájának kialakításáért és üzemeltetéséért. [1] A munka 2025 júliusában indult helyzetfelméréssel, majd októberre véglegesült a műszaki tartalom.

A fejlesztés finanszírozása megosztott modellben történik: a kereskedelmi szolgáltatók a saját hálózati elemek fejlesztését finanszírozzák, míg a központi rendszer kialakításáért a Pro-M felel közszolgáltatási szerződés keretében. A fejlesztési és tesztelési szakasz 2026 nyarán zárulhat le, ezt követően válhat lehetővé az éles riasztási funkciók bevezetése. A HU-ALERT jól mutatja, hogy egy ilyen rendszer kialakítása nem kizárólag technológiai kérdés. Szabályozási, finanszírozási, műszaki koordinációs együttműködésre egyaránt szükség van az állam, a kereskedelmi szolgáltatók és az infrastruktúra-üzemeltető között.

Drónkommunikáció és légtéri lefedettség

A pilóta nélküli légi járművek alkalmazása ma már messze túlmutat a hobbi célú használaton és nemcsak katonai célokra elterjedt. Közlekedésben, iparban, mezőgazdaságban, katasztrófavédelemben és rendvédelemben – egyre szélesebb körben alkalmazzák ezeket a rendszereket. Mindehhez olyan kommunikációs infrastruktúra szükséges, amely a légtérben is megbízhatóan működik.

A Pro-M jogszabályi kijelölés alapján üzemelteti az Egységes Digitális Rádiótávközlő Rendszert (EDR), a Nemzeti Távközlési Gerinchálózatot és a Zártcélú Rendészeti Hálózatot – ezek országos szinten bizto-

sítyják a rendvédelmi és katasztrófavédelmi szervezetek megbízható kommunikációját. Az EDR részeként működő Air–Ground–Air hálózat lehetővé teszi a földi egységek és légi járművek közötti zárt, biztonságos kommunikációt.

A fejlesztésekkel a rendszer új szintre lép: hang mellé valós idejű kép és adat is kerül. A következő lépés a keskenysávú légi kommunikáció fokozatos szélessávú kiváltása – a meglévő mobil infrastruktúra továbbfejlesztésével.



A digitális légtér működtetésének kulcseleme lesz a pilóta nélküli légijárművek forgalmának menedzsméntjét UTM (Unmanned Aircraft System Traffic Management) támogató informatikai rendszer.

Kommunikációs hátterét a HungaroControl Zrt. és a Pro-M Zrt. együttműködésében megvalósuló országos telekommunikációs infrastruktúra biztosítja. A tervezett fejlesztés alkalmas lesz az UTM rendszer adatkommunikációjának biztosítására, valamint a készenléti célú légi feladatellátás szélessávú kommunikációs igényeinek támogatására.

A technológiai fejlődés így nem csupán új eszközöket jelent, hanem a kritikus infrastruktúra fogalmának kiterjesztését is: a jövő közbiztsága három dimenzióban szerveződik: földön, levegőben és az adatkapcsolatok hálózatában.

Nemzetközi együttműködések és innováció

A pilóta nélküli légijárművek alkalmazása ma már messze túlmutat a hobbi célú használaton és nemcsak katonai célokra elterjedt. Közlekedésben, iparban, mezőgazdaságban, katasztrófavédelemben és rendvédelemben –

egyre szélesebb körben alkalmazzák ezeket a rendszereket. Mindehhez olyan kommunikációs infrastruktúra szükséges, amely a légtérben is megbízhatóan működik.

A készenléti és közbiztonsági területen a Pro-M több meghatározó nemzetközi szervezet aktív tagja. A TC-CA-ban (The Critical Communications Association) a szélessávú EDR-szolgáltatások fejlesztéséhez járul hozzá. A GPSOC (Global Public Safety Operators Conference) globális fórumán a szélessávú rendszerek és biztonságos kommunikáció kerül napirendre. Az AOF (Airbus Operator Forum) alapító tagjaként az Airbus TETRA-hálózatot üzemeltető európai szolgáltatókkal történik szakmai egyeztetés. A PSRG-ben (Public Safety Radio Group) 2019 óta, a GSMA-ban (Groupe Spécial Mobile Association) 2025 óta a mobilszolgáltatói ökoszisztéma innovációs kérdéseiben vesz részt.

A vezetékes és kutatási területen a Pro-M a GÉANT (Gigabit European Academic Network) európai hálózat tagjaként 44 ország infrastruktúrájához kapcsolódik – hazai oldalon mintegy 6500 intézményt és 1,7 millió felhasználót elérve. Az eduroam és eduGAIN a kutatói mobilitást támogatják. 2025-ben a Pro-M csatlakozott az EOSC-hoz (European Open Science Cloud) is, amely a nyílt tudomány európai adatmegosztási infrastruktúrája.

A nemzetközi jelenlét nem pusztán presztízskérdés. A globális szakmai fórumokon kialakuló szabványok és működési modellek közvetlen hatással vannak a hazai infrastruktúra-fejlesztések irányára is.

Ugyanakkor a legmegbízhatóbb hálózatok mögött is olyan szakmai közösségek állnak, amelyek évtizedes tudással és tapasztalattal tartják fenn és fejlesztik ezeket a rendszereket.

Dr. Balla Ferenc, a Pro-M Zrt. vezérigazgatója a Nemzetközi Távközlési Világnap alkalmából hangsúlyozta, hogy a digitális állam működését biztosító infrastruktúrák mögött közös mérnöki építkezés és együttműködés áll. A kommunikáció ma már nem csupán háttérszolgáltatás: önálló kritikus infrastruktúra, amelynek megbízható működése az állami szolgáltatások, a közbiztonság, az egészségügy és a gazdaság digitális folyamatai szempontjából egyaránt alapvető jelentőségű. Ennek megfelelően a kommunikációs rendszerek fejlesztése és fenntartása stratégiai feladat, amely egyszerre igényel hazai szakmai összefogást és aktív nemzetközi együttműködést.

Összefoglalás

A kritikus kommunikáció az elmúlt években alapvetően átalakult. A TETRA-rendszerek mellé felzárkóztak a szélessávú hálózatok – melyek új alkalmazási területeket nyitottak meg a közszolgáltatások és a készenléti rendszerek számára. A TeleStroke megmutatta, hogy egy jól kiépített kommunikációs infrastruktúra és egy tablet a mentőautóban életet menthet. A HU-ALERT példát ad arra, miként érhető el percek alatt az ország teljes mobiltelefon hálózata egy veszélyhelyzeti riasztással. A drónkommunikáció és a légtéri lefedettség pedig azt mutatja, hogy a kritikus infrastruktúra fogalma ma már háromdimenziós működési térben értelmezendő. Mindez nem valósulhatott volna meg az állami hírközlési infrastruktúra konszolidációja nélkül – és hosszú távon sem működtethető a mögötte álló szakmai közösségek nélkül.

A kommunikáció biztosítása, a hálózatok ma már önálló kritikus infrastruktúráként értékelendők. A stabilitása, a biztonság és folyamatos elérhetőség ma már nem technikai részletkérdés – hanem a digitális állam működésének egyik alapfeltétele.

A szerzőkről



HERNÁDI ESZTER

A vezérigazgatói kabinet senior koordinációs menedzsereként dolgozik a Pro-M Zrt.-nél.

Kommunikációs szakember, több mint húszéves tapasztalattal a PR, a stratégiai kommunikáció és a kommunikációs projektek menedzsmentje területén. Szakmai pályafutása során ügynökségi, közigazgatási és önkormány-

zati kommunikációs feladatokat látott el. Szakterülete a vállalati és intézményi kommunikáció, valamint kampányok tervezése és megvalósítása. Az Eötvös Loránd Tudományegyetemen szerzett diplomát.

(e-mail: hernadi.eszter@pro-m.hu)



PODOS-VETÉSI ANIKÓ

A Pro-M Zrt. kommunikációs szakembere. Közgazdász, online marketing specialista és tartalomkészítő, több mint másfél évtizedes tapasztalattal a vállalkozói és közigazgatási kommunikáció területén. Szakmai pályafutása során közel egy évtizeden át dolgozott a Sanoma kiadóvállalatnál, majd saját vállalko-

zásában kis- és középvállalkozások kommunikációs, marketing- és PR-feladatainak támogatásával foglalkozott. Szakterülete a digitális kommunikáció, az online jelenlét stratégiai fejlesztése, a tartalomkészítés és a vezetői kommunikáció támogatása. A Budapesti Gazdasági Egyetemen szerzett diplomát, magazinújságírói végzettséggel rendelkezik.

(e-mail: podos-vetesi.aniko@pro-m.hu)

A jövő csapatjátékosai – Z generáció a fedélzeten

FINY KRISZTINA

NISZ

A Z generáció már nem csak a jövő, hanem a jelen valósága is – a legfrissebb csapat a munkaerőpiacon, akiket számos izgalmas kérdés és megannyi erős sztereotípia övez. Mit tehetünk annak érdekében, hogy egyenrangú partnernek érezzék magukat a szervezetben és hogy teljes mértékben ki tudjuk aknázni azokat az erősségeket, amiket ennek az érdekes generációnak a képviselői hoznak magukkal az üzleti életbe? Hogy tudjuk a különböző generációkat közelíteni egymáshoz úgy, hogy közben a közös célok elérésére és a versenyképesség növelésére fókuszálunk?

Kulcsszavak: Z generáció, szervezeti kultúra, érzékenyítés, generációs hidak, versenyképesség

Bevezetés

Hiszek benne, hogy a Z generáció jelenléte nem átok, hanem áldás a munkahelyen – kérdés, hogy hajlandóak vagyunk-e tenni annak érdekében, hogy mélyebben is meg tudjuk érteni őket. Y generációs vezetőként magam is többször rácsodálkoztam arra, hogy a Z generációval együttműködni teljesen más képességeket igényel, mint amik korábban beváltak a többi generációnál. Nagyon fontos, hogy tudjuk, melyik generációnak milyen alapélményei vannak, milyen stílust és nyelvezetet preferálnak, illetve hogyan tudjuk őket motiválni. Az egyes generációk rövid ismertetése után kitérek a Z generáció nyelvhasználatára és jellegzetességeire, valamint az átkeretezés fontosságára. Az a szervezeti kultúra, amelyben ma négy generáció (baby boomer, X, Y és Z) dolgozik együtt, minden kihívással együtt is erősíthet minket – ha készen állunk megismerni a különböző generációs jegyeket, valamint nyitottak vagyunk arra, hogy folyamatosan tanuljunk egymástól és közösen fejlődjünk.

1. Generációk és élmények

Nagy családból származom, nyolcan vagyunk testvérek – három különböző generáció (X, Y, Z) képviselői. Teljesen más élmény volt a szüleimnek az X és az Y generációt elindítani az útján, mint a Z generációt. Mérnökök és bölcsészek sora után jött a Z generációs kishúgom, aki a felsőoktatásra nemet mondott, ehelyett egyből két szakmát is megszerzett és ma már sikeres vállalkozóként dolgozik. Diplomákhoz szokott, konzervatív baby boomer szüleim nyolcadjára már óriási türelemmel és támogatással segítették át testvérünket a nagybetűs életbe, amiért minden elismerés megilleti őket.

Mit különbözteti meg az egyes generációkat? A **generációs alapélmény** – az az állapot, ami a születésünk pillanatában körülvesz minket, legyen szó földrajzi, történelmi, vagy társadalmi adottságokról. Ez egy közös megélés, ami az azonos generációs jegyek alapját jelenti.

Az 1925-45 között születetteket nevezzük **veteránoknak vagy építők generációjának** – az ő életüket alapjaiban határozta meg a háború és az azt követő újjáépítés élménye, és nagyon szerették volna, ha a következő generációnak már könnyebb élete lenne.

1946-1964 között születtek a **baby boomerek**, akik felé a szüleik még nagyon máshogy mutatták ki a szeretetü-

ket, mint ahogy a mai szülők teszik. Éppen ezért fontos számukra, hogy mindig megfelelő mennyiségű étel és ital álljon rendelkezésre (talán kicsit több is a kelleténél), nehezen állnak meg pihenni és kevésbé költenek kikapcsolódásra, élményekre.

1965-1979 között születtek az **X generáció** képviselői, akiket kulcsos gyerekeknek is szokás nevezni. Ők azok, akik gyerekként több időt töltöttek velük egyidős társaik, mint szüleik társaságában és az alapvető információkat is tőlük szerezték be a világról, nagyon erős a szociális hálójuk. Jellemző rájuk, hogy maximalisták és bizonyítani akarnak, tisztában vannak a tudás erejével.

1980-1994 között születtek az **Y, az első individuális generáció** képviselői, akik a fogyasztói társadalomban az élményekre fókuszálnak – fontos számukra a mun-

ka-magánélet egyensúly és a közösségi média használata, készek gyorsan váltani, jól alkalmazkodnak.

1995-2009 között már **Z generációról** beszélünk – X generációs szüleik már teljesen másképp nevelték ezeket a gyerekeket, mint annak idején őket az ő szüleik: nem tekintélyalapú, klasszikus szülő-gyermek viszonyról beszélünk, sokkal inkább egyenrangú félként tekintetek rájuk. Fontos számukra az egészséges életmód és a fenntarthatóság, az online kommunikáció.

2010-ben vagy később születtek az **alfa generációs** gyerekek, 2025 óta pedig **béta generációs** kisbabák születnek – akiknek a mai technológia és társadalmi szokások mellett már a születésük pillanatától meg kell küzdeniük szüleik figyelméért, a szemkontaktusért és a személyes kapcsolódásért.



1. ábra –
Generációs áttekintés:
a megértéshez nagyon fontos, hogy el tudjuk helyezni magunkat, családtagjainkat vagy vezetőinket, kollégáinkat és mentoráljainkat a generációk sorában.

Az egyes generációknak eltérő technológiai élményekben volt részük gyerekkorukban – ember legyen a talpán, aki generációkon átívelően képes lépést tartani a fejlődés gyors ütemével. Míg egy veteránnak még az analóg világ, az újság és a rádió volt az elsődleges információforrás fiatal korában, addig a baby boomerek életében a rádió mellett már a televízió is megjelent. Az X az első technológiavezérelt generáció, esetükben a számítógép és az internet megjelenése is árnyalta a képet. Az Y generációnak az internet és a laptopok már természetesen voltak, az első mobiltelefonok viszont meghatározó élményt jelentettek. A Z generáció képviselői pedig már beleszülettek mindebbe – okostelefonok, tabletek, mesterséges intelligencia veszik őket körül életük első napjaitól.

Generációs élménytartománynak nevezzük mindazt, amit egy adott generáció képviselője élete során megtapasztal és beépít a mindennapjaiba. Tehát egy tekintélyes kort megélt veteránnak vagy baby boomernek az alapélménye óta óriási változásokat, fejlődéseket kellett megélnie és alkalmazkodnia hozzájuk, egy fiatal Z generációs viszont még csak a saját generációjának alapélményével találkozott.

Generációs szakadéknak azt a jelenséget hívjuk, amikor az egyes generációknak nincs képük egymás alapélményéről, nem ismerik a generációs jellemzőket és ezért nem is tudják megérteni egymást.

2. Magánélet és munkahelyi kultúra

Láthattuk, hogy az egyes generációk közötti különbségeknek ezernyi apró oka van, a technológiai fejlődéstől kezdve a társadalmi elvárásokon át az olyan finomságokig, mint a neveltetésünk. Az alkalmazkodás és a megértés kulcsfontosságú, de miért ne tudnánk a szűk családban megélt élményeinket kiterjeszteni a munkahelyi kultúrára is? Azt, ahogyan alkalmazkodunk a nagyszüleinkhez, szüleinkhez és megértően, tisztelettel fordulunk irányukba, miért ne lehetne az üzleti életben is alkalmazni? Vagy fordítva: miért ne tartanánk a gyermekeink, unokáink felé tanúsított őszinte kívá-

ncsiságot, odafigyelést és empátiát az irodában is alapvetőnek, amikor a Z generációval kapcsolódunk?

Érdekes párhuzamot vonnunk. A család, amit több generáció alkot és amibe beleszületünk, nem sokban különbözik a munkahelytől, ahová új belépőként beilleszkedünk, szintén különböző generációk közé. Mindkét közösség alapja, hogy egymást segítve dolgozunk azon, hogy harmóniában és megbecsülésben tudjunk együttműködni a közös célok elérésének érdekében. Ha mindannyian ugyanolyanok lennénk, nem lenne esélyünk több dimenzióban hatni egymásra és a diverzitás előnyeit kihasználni.



MENNYIRE BESZÉLJÜK A GEN Z NYELVÉT?

TBH	<u>to be honest</u>
IRL	in <u>real</u> life
RBF	resting <u>bitch</u> face
slay	menő
ohio	béna
delulu	önámító, téveszmés
cap	kamu
rizz	karizma, vonzerő

2. ábra – A Z generáció által használt, angol nyelvű rövidítések és kifejezések, amikre elsőre talán rácsodálkozunk vagy mókásnak tartjuk, mégis ezeknek az elsajátítása lehet az egyik első lépés a „közös nyelv” és a megértés felé.

3. A Z generáció nyelvhasználata és jellemzői

Amikor megkérdeztem a HTE Infokom 2025 konferencia hallgatóságát, mennyire vannak képen a Gen Z által használt szleng rövidítésekkel és kifejezésekkel, azt tapasztaltam, hogy akik éppen Z generációs fiatalok vagy alfa generációs gyermekeket nevelnek, talán tisztában voltak egy-két szóval, a többieknek viszont minden újdonságot jelentett. Érdekes és rendkívül pozitív volt megtapasztalni, hogy mindenki lelkesen tippelt, mit is jelenthet az adott kifejezés, tehát a játékban, a felfedezés örömeiben minden résztvevő benne volt. A közös nyelv megértésének lehetősége inspirálóan hatott a jelenlévőkre és beindult az érdeklődés a fiatalabbak kommunikációjára iránt.

Ha a Z generációra vonatkozó sztereotípiákat nézzük, gyakori meglátások, hogy a *Z generációs türelmetlen, nehéz lelkesíteni, felszínes, nehezen kezelhető és untatják a hagyományos folyamatok*. Nem volt ez másképp a hallgatóság körében sem, amikor megkérdeztem őket, mi az első szó, ami eszükbe jut a Z generációról – hasonló gondolatokat osztottak meg, sok volt közöttük a kritikus meglátás. Természetesen mindennek van alapja és igazságtartalma, mégis érdemes lehet átkeretezni ezeket a tulajdonságokat, valahogy így: *a Z generációs jól veszi a változásokat, keresi az élményeket, tudatos, online kommunikál, a technológia alap számára*.

Ezzel az átkeretezéssel valójában semmi mást nem tettünk, mint az azokból a Z generációs tulajdonságokból és viselkedési elemekből, amelyek a baby boomer vagy

az X generáció, esetleg még az Y generáció tagjaiként is bosszantanak minket vagy elsőre nem tudunk velük mit kezdeni, érdemeiket/előnyöket kovácsoltunk és közben talán rá is csodálkoztunk arra, hogy mennyit tudunk tanulni a fiatalabb generációtól.

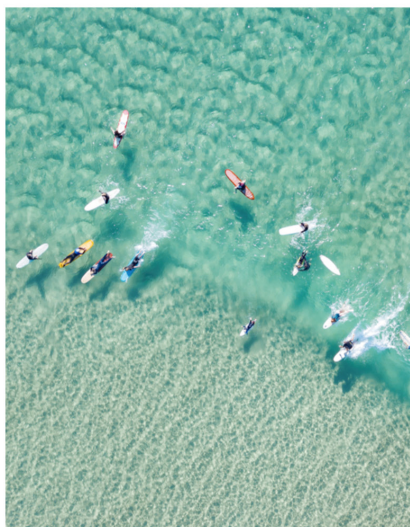
Hiszen az alkalmazkodás képessége, az informális kapcsolódások előtérbe helyezése és a folyamatos

visszacsatolás elvárása olyan képességek, amikre nekünk is nagy szükségünk van a mai világban. Az, hogy a korábbi generációk képviselőiként még jellemzően mi alakítjuk a munkahelyi kultúrát, nem jelenti azt, hogy ne jöhetne szembe velünk egy olyan újfajta generáció és viselkedés, ami nagyobb előnyt (pl. ellenállóképességet, gyorsabb alkalmazkodást és kevésbé formális kultúrát) hoz.

A Z generáció:
türelmetlen, nehéz lelkesíteni,
felszínes, nehezen kapcsolódik,
untatják a hagyományos folyamatok

A Z generáció:

jól veszi a változásokat, keresi az
élményeket, tudatos, online
kommunikál, a technológia alap
számára



3. ábra –
Minden nézőpont kérdése,
az átteretkezés pedig segít
a sztereotípiákat pozitív
gondolatokká változtatni.

4. X generációs szervezeti kultúra

Az X generációs szervezeti kultúra, amely jelenleg jellemző a munkahelyeken, az X generációs vezetők és munkatársak többségét jelenti – ők azok, akik legerősebben formálják a mindennapokat.

A négy különböző generáció jelenléte a munkaerőpiacon azt hozza magával, hogy adott esetben akár négy generáció is ülhet egy asztalnál, mondjuk egy hétfői megbeszélésén. Gondoljunk csak bele, mennyi alkalmazkodást kíván egy ilyen egyeztetés, és milyen olaszos hangulat kerekedhet percek alatt abból, hogy a különböző generációk képviselői máshogy kommunikálnak, más a munkamoráljuk, máshogy lehet őket motiválni.

Jelenleg a munkaerőpiacon aktív generációk legnagyobb százalékát az X és az Y generáció adja, tehát a vezetők jó része is ebből a két halmazból kerül ki. A NISZ Zrt-ben 2025 végén a Z generáció aránya 16%, az Y generációé 35%, az X generációé 43%, a baby boomer generáció képviselőinek aránya pedig 6%. Ebből is látszik, hogy a két középső generáció szerepe meghatározó a mindennapi működésben és a vezetői döntések során is. Számukra kihívást jelenthet, hogy

megfelelően be tudják vonni a Z generációt – még ha néha rá is ismernek az általuk nevelt gyermekek tipikus generációs jegyeire.

Míg a korábbi generációkra jellemző a lojalitás és az, hogy egy-két munkahelyen dolgoznak egész karrierjük alatt, addig az Y és főleg a Z generáció képviselői már sokkal rugalmasabbak. Felismerték, hogy gyorsabban tudnak előrelépni a karrierjükben vagy magasabb fizetést elérni, ha egy-két évente váltanak munkahelyet. Ez a fajta változási, megújulási képesség számukra nem kihívás, hanem alap hozzáállás. Ezért van az, hogy ha egy Z generációs önéletrajzban gyakori váltásokat látok, már fel sem ötlök bennem a jobbhopping gondolata.

Alapvető különbség, hogy míg a baby boomer és az X generációs kollégák feladatorientáltak és tudnak hierarchikus elvek mentén működni, addig az Y és a Z generációs munkatársak már élményorientáltak, azaz nem lehet őket pusztán az elvégzett feladat örömeivel motiválni, szükségük van arra, hogy jól érezzék magukat munka közben. Főleg a Z generációnál jelenik meg nagyon erőteljesen a bevonásra, az értelmes munkára és a pozitív élményekre való igény, ami a visszacsatolás kapcsán is erőteljesen érezhető. Teljesen máshogy tudunk motiválni egy Z generációs kollégát, mint egy X

generációkat, és ez így van jól, viszont a vezetői eszköztár bővítése és a generációk ismerete kulcsfontosságú a velük való munkában.

A Z generáció képviselőinek az optimális munka-magánélet egyensúly nem csak elért kívánt cél, hanem alapvető elvárás és életforma. A túlóra számukra nem érdem, a felesleges feladatok nem jelentenek büszkeséget, és a saját fontosságukat egyáltalán nem abban mérik, hogy nélkülözhetetlenek-e a csapatban. Fontos számukra a kapcsolódás, az egészséges táplálkozás és a rendszeres mozgás, hogy időt szánhassanak a feltöltődésre. Összegezve elmondhatjuk, hogy a munkahely van értük, és nem ők vannak a munkahelyért, ami a korábbi generációkat könnyen meglepheti vagy akár bosszanthatja is. Tegyük a szívünkre a kezünket és mondjuk meg őszintén: valóban érdemes mindent alá-

rendelni a teljesítménynek? Vagy esetleg tudunk tanulni a Z generációtól élményekről, egyensúlyról és jóllétről?

Ahhoz, hogy egy vállalat sikeres legyen és együttműködésre tudja bírni a különböző generációkat, elképesztően fontosak a közös élmények és hagyományok, amikbe mindenkit be tudunk vonni és ahol minden korosztályt meg tudunk szólítani. Legyen szó akár családbarát kezdeményezésekről – már alfa és béta generációs kicsikkel kiegészülve, vagy tematikus rendezvényekről, ami az azonos érdeklődési köröket célozza meg. A NISZ-ben immár hagyománya van a közös sütés-főzésnek, a területeken átívelő csapatépítőknek, a különböző sporteseményeknek és a wellbeing-élményeknek. Generációkat összekötő kapcsolódási lehetőségeket tudunk biztosítani a kollégáknak, ha közös értékek mentén fedezzük fel a csapat megtartó erejét.



4. ábra –
A különböző generációk másképp értelmezik a lojalitást, a munka-magánélet egyensúlyt és teljesen másképp állnak a feladatok elvégzéséhez, mégis fontos, hogy egy asztalnál ülve is tudjunk összhangban dolgozni.

5. Generációs hidak – hogyan építsük őket?

Ahhoz, hogy generációs hidakat tudjunk építeni, elengedhetetlen az önismeret és az egyes generációk ismerete, mert így lesz lehetőségünk megérteni a másikat és tanulni egymástól. Ez a tisztelet alapvető jele, ami rövid- és hosszútávon is maximálisan megtérül. Ha tudatosak vagyunk abban, hogy értékek mentén működünk együtt, ha időt szánunk az emberi kapcsolódásokra és élményekre, akkor ez a szakmai kihívások eredményes megoldásában is meg fog mutatkozni. Ha pedig mindezt őszinte érdeklődéssel és jókedvvel tesszük, akkor biztosak lehetünk abban, hogy a szervezeti kultúra mozaikdarabjai helyre kerülnek.

Minden generációs hídnek két pillére van, amit a különböző generációk képviselői jelentenek. Hidat tehát csak együtt képezhettek oly módon, ha rendelkezünk megfelelő önismerettel és nyitottak vagyunk a kapcsolódásra. És mivel a korábbi generációk azok, akik már megélték a többi generációs alapélményt és ezáltal szélesebb az élménytartományuk, érdemes nekik nyitni az újabb generációk felé. A fiatalok bevonása nem történhet meg másképp, mint hogy érdemben törődünk velük – empátikusak vagyunk, visszajelzést adunk nekik, érzékenyítünk másokat.

Mindebben természetesen hatalmas szerepe van az elsőszámú vezetőnek és a menedzsmentnek – ők azok, akik példát mutatnak a kollégáknak és akik elsőként formálják az együttműködéseket. Ez a hozzáállás képes olyan erős szervezeti kultúrát eredményezni, amelynek

tagjai nem klasszikus sztereotípiák mentén, hanem egymással törődve, a változásokat közösen leküzdve, egységben tudnak előre adni. Mert minden generáció másban kiemelkedő, ha ismerjük és figyelembe vesszük egymás jellemzőit és igényeit, ha készek vagyunk egymástól tanulni, akkor közösségként is sikeresek leszünk.

Steigervald Krisztián generációkutató szavaival élve: „Nem jobb, nem rosszabb, csak más.” Ha egy gondolatot viszünk magunkkal tovább a generációk együttműködése és a Z generáció megértése kapcsán, akkor szívből ajánlom ezt, mert ebben minden benne van.



5. ábra –

A generációs hidak nem jöhetnek létre önismeret, kíváncsiság, tanulás, empátia, visszajelzés és érzékenyítés nélkül.

Összegzés

A generációk együttműködése nem csak kulturális kérdés, hanem a vállalati összeteljesítmény növelésének kulcsa is. Ha felismerjük, hogy a különböző generációk tanulni tudnak egymástól, motiválni és erősíteni tudják egymást, ha nyitottak vagyunk eltérő generációk megismerésére és megértésére, akkor a saját környezetünkben már tettünk valamit annak érdekében, hogy a klasszikus szervezeti együttműködés új szintre emelkedhessen és ezáltal a személyes jóllétünk mellett a versenyképességet is növelni tudjuk.

Hivatkozások

- [1] Steigervald, K (2020) Generációk harca – Hogyan értsük meg egymást? (Partvonal) 55–155, 205–211.
- [2] Steigervald, K (2023) Generációk harca a figyelemért – Hogyan tanuljunk egymástól, egymásért? (Partvonal) 31–41, 139–143, 215–218
- [3] Fernandez J, Landis K, Lee J (2023) – Helping Gen Z Employees Find Their Place at Work <https://hbr.org/2023/01/helping-gen-z-employees-find-their-place-at-work> (Letöltve: 2025.10.23.)
- [4] Shinde O, Surve M (2024) – Understanding Generation Z in the Workplace: Adapting Organizational Strategies for a New Era of Work https://www.researchgate.net/publication/390006578_Understanding_Generation_Z_in_the_Workplace_Adapting_Organizational_Strategies_for_a_New_Era_of_Work (Letöltve: 2025.10.23.)

- [5] Zahra Y, Handoyo S, Fajrianthi F (2025) – A comprehensive overview of Generation Z in the workplace: Insights from a scoping review *A comprehensive overview of Generation Z in the workplace: Insights from a scoping review* | Zahra | SA Journal of Industrial Psychology (Letöltve: 2025.10.24.)

A szerzőről



FINY KRISZTINA

HR vezető, diplomáit az ELTE BTK-n és az ELTE PPK-n szerezte. Kedvenc kutatási témái a pszichológiai biztonság és a belső motiváció kapcsolata, a vezetői tekintély, valamint a generációs együttműködések támogatása. A NISZ Zrt. HR igazgatójaként különösen közel áll szívéhez a szervezetfejlesztés és a munkáltatói

márkaépítés. Büszke arra, hogy 1100 fővel, 4 különböző generációval egyszerre építik a közösséget és növelik a versenyképességet.

(e-mail: finy.krisztina@nisz.hu)

A HTE-ről dióhéjban

A **Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület** tekintélyes, 77 éves múltjával hazánk infokommunikációs szektorának legpatinásabb szervezetévé vált. Munkássága a távközlési és az informatikai iparágtól, a hagyományos postai szolgáltatásokon át, az internetig és a médiavilágig terjed. Az egyesület 80 jogi tagot, valamint több mint 800 magánszemélyt számlál. Berkein belül közel 20 szakmai közösség munkálkodik meghatározott célok érdekében, a legjobb tudása szerint.

A HTE mellett, hogy kiemelt, véleményformáló szerepet tölt be a magyar infokommunikációs szakterület szabályozásában, működésében, fejlődésében, hazai és nemzetközi szakmai rendezvények elismert szervezőjeként is jegyzett.

A HTE naptárában nem telik el hét szakmai találkozó, előadások, kerekasztal beszélgetések és egyéb szervezett események nélkül, de házigazdaja többek között olyan **országos szakmai nagyrendezvényeknek**, mint

- a **HTE Infokom**, amely az infokommunikációs hálózatok és alkalmazások legfrissebb piaci, műszaki és szabályozási kérdéseinek egyik legelismertebb rendezvénye,
- a **Drón szakmai nap**, ahol a pilóta nélküli légi járművek ipari, kutatási és szabályozási kérdései kerülnek középpontba,
- a **Mesterséges Intelligencia szakmai nap**, amely az MI gyakorlati alkalmazásait és etikai kihívásait mutatja be, valamint az **információbiztonság és adatvédelemmel foglalkozó rendezvények**, amelyek a digitális biztonság legújabb trendjeire és megoldásaira fókuszálnak.

Az egyesület az utóbbi években számos **nemzetközi tudományos konferencia és workshop** magyarországi megvalósítását nyerte el pályázati úton, így öregbíthette hazánk szerepét a világ infokommunikációs szakmájában (bővebb információ a HTE nagyrendezvényeiről:

<http://www.hte.hu/nagyrendezvenyek>).

Az egyesület szerteágazó kapcsolatrendszerének, valamint szakmai taglistájának (amely lefedi az infokommunikációs szektor szinte teljes területét) köszönhetően teret ad a különböző vélemény- és információcseréknek, professzionális párbeszédnek, közös cél érdekében folytatott kollektív munkásságnak. Lehetőséget biztosít arra, hogy az iparág valamennyi képviselője – akár a mindennapi konkurálást is háttérbe szorítva – kommunikáljon fontos kérdéskörökben, kifejtse a jelen nehézségeit illetve jövőbeli elképzeléseit. Mindeközben az egyének szakmai kiemelkedésének, véleményformálásának is utat enged.

A HTE megkérdőjelezhetetlen erőssége, és így több évtizedes elismertségének egyik alapja, hogy mind munkásságában, mind véleményformálásában **szakszerű, kiegyensúlyozott és független**, felülemelkedik az esetleges politikai vagy éppen vállalati érdekeken.

Bő hét évtizedet és két tucat szakterületet pár mondatban összefoglalni szinte lehetetlen lenne, ezért inkább vázlatpontokban szemléltetjük, mi minden érinti manapság a **HTE tevékenységi körét**:

- hazai és nemzetközi konferenciák szervezése, lebonyolítása
- szakmai fórumok az internet technológiák és szolgáltatások elterjesztéséhez
- műsorelosztási és tartalomipari technológiák népszerűsítése
- rádiótávközlési technológiák ismeretterjesztése
- projektmenedzsment módszerek terjesztése
- szakmai folyóiratok, nyomtatványok kiadása
- nemzetközi kapcsolatok: együttműködés az IEEE-vel és más társszervezetekkel
- szakmai díjak odaítélése (pl. Puskás Tivadar-díj, Kempelen Farkas-díj, Pollák Virág-díj, HTE Fekete László-díj, HTE TOP 50 Nők a Mesterséges Intelligencia területén-díj)
- kiegyensúlyozott szakmapolitikai, szakmai véleményalkotás (minisztériumok felkéréseire és társadalmi egyeztetésekben), pl. részvétel a Nemzeti Infokommunikációs Stratégiában, a digitális átállás társadalmi kommunikációjában, az elektronikus hírközlési törvény szakmai véleményezésében, frekvenciatenderek szakmai támogatása, internethasználat jogalkotási javaslatlétével
- főiskolák és egyetemek képzési és kimeneti követelmények véleményezése
- külföldi infokommunikációs eredmények honosításának segítése
- kutatásfejlesztési tevékenység támogatása

A HTE ars poeticájában tradicionálisan hangsúlyos szerepet kap a fiatalokkal való kapcsolat ápolása, a **szakmailag széles látókörű és tudományos érdeklődéssel bíró diákok tanulásának és pályaindításának segítése** – hiszen ők alkotják majd a jövő szakembereit. Az egyesület mellett, hogy az arra érdemes hallgatónak biztosítja a különböző rendezvényeken, konferenciákon, fórumokon való kedvezményes részvételt, és ezáltal a szakmai kapcsolatépítést is, különböző pályázatokat hirdet, amelyek díjazottai anyagi elismerésben is részesülnek. A HTE Diplomaterv és Szakdolgozat Pályázatára például az ország 15 egyeteméről nevezhetnek.

A HTE időszakos kiadványai mellett hagyományosan két folyóiratot jegyez: a **Híradástechnikát** és az **Infocommunications Journalt**. Míg előbbi a hazai szakmai élet történéseit, kérdéseit és működését elemzi, az Infocommunications Journal már nemzetközi elismertségre is szert tett, olyan nemzetközi adatbázisokban szerepelve, mint a Scopus, a Compendex és az Inspec. A lap kiadását a Nemzeti Média és Hírközlési Hatóság támogatja, szerkesztősége folyamatosan szervez keresztpublikációkat nemzetközi társlapokkal.

További információk:
www.hte.hu,
kérdéseit, észrevételeit pedig
az info@hte.hu címre várjuk!





HTE 2026. november 23-24. Esztergom INFOKOM 2026 Grand Hotel Esztergom

Az idei konferencia tervezett témái:

Állami-, kormányzati infokommunikáció • Robotika •
Hírközlés, szabályozás • Média • Űrtávközlés •
Mérnökök a jövőben • Mobil privát hálózatok •
Önvezető hálózatok • Digitális légtér • SOC Evolution •
AI-adatközpontok • KKV digitalizáció • Stabil alapok,
változó környezet: infrastruktúra vállalatok
a reflektorfényben

Keynote előadók:

Támogatná a rendezvényt?

Nézze meg szponzorcsomagjainkat!

Legyen kiállító, mutassa be
legújabb eredményeit!

**Biztosítsa Ön is részvételét
és szállását,** regisztráljon
az online felületen!



Oszkó Péter, *O3 Partners*
Fitori Erzsébet, *Smart Networks and
Services Joint Undertaking*

TÁMOGATÓK/HTE site
keresse Kardos Beatrixet,
e-mail: kardos.beatrix@hte.hu,
tel.: +36 30 391 1438
akár egyedi támogatói elképzelésével is!

Részletek:
HTE Infokom 2026/Kiállítás/HTE site

HTE Infokom 2026/Regisztráció/HTE site

Várjuk szeretettel, találkozzunk Esztergomban!

