

Mennyire zöldülnek a mobilhálózatok?

CSABA TAMÁS

Telenor Magyarország Zrt.
tcsaba@telenor.hu

Kulcsszavak: mobilhálózat, energiahatékonyság, spektrális hatékonyság, 4G, 5G, alternatív energia, hibrid betáplálás

A mobilhálózatok fejlesztésének és üzemeltetésének lényeges aspektusa az energiafelhasználás, annak mennyisége, felhasználásának hatékonysága és az okozott környezeti hatás, illetve annak csökkenthetősége.

A cikk ismerteti a mobilhálózatok energiaszükségletét meghatározó fontosabb tényezőket, az adatforgalom várható alakulását, és a legnagyobb fogyasztó, a rádióhálózat energiahatékonyságának legfontosabb fejlődési lépéseit az elmúlt években, beleértve az 5. generáció által elérhető lehetőségeket. A szerző összefoglalja a zöld energia alkalmazhatóságát és szerepét a bázisállomások ellátásában.

1. Bevezetés

A mobilhálózatok fejlesztésének és üzemeltetésének lényeges aspektusa az energiafelhasználás, annak mennyisége, felhasználásának hatékonysága és az okozott környezeti hatás. A fejlődés pozitív hatásai mellett ma már az iparág kiemelt célja a kapcsolódó negatív környezeti hatások csökkentése is. A következőkben arra a kérdésre keressük a választ, hogy az újabb mobil generációk és hálózati fejlesztések várhatóan milyen hatással lesznek a mobil állomások energiafogyasztására, és az alternatív, zöld energiának hol van értelme, illetve hol lehet szerepe.

Az energiafelhasználást befolyásoló tényezők bemutatását követően a legnagyobb fogyasztással bíró hálózatrész, a rádióhálózat, mobil generációktól független és az 5G-hez köthető hatékonyságjavító elemeinek tárgyalása következik. A hálózat energiaszükségletén túl a környezeti hatásokat annak forrása határozza meg. Az utolsó szakaszban pedig röviden összefoglalva a bázisállomások zöld energiával történő ellátásának magyarországi realitásairól lesz szó, egy mobil operátor szeméből.

2. Háttér

A mobilhálózatok által kibocsátott széndioxid nagyságrendileg a 0,5%-át teszi ki a Föld teljes kibocsátásának [1]. A mobilhálózatok által továbbított adatforgalom évről-évre folyamatosan növekszik, 2025-ig a jelenleginek legalább háromszorosára fog nőni [2]. Ezt a dinamikusan növekvő igényt fogják kiszolgálni a mobilszolgáltatók a rendelkezésre álló egyre növekvő spektrumkészletükkel, az 5G-mobiltechnológia bevezetésével és annak javuló spektrumhatékonyságával, a bázisállomások sűrűségének növelésével, beleértve a többszintű hálózatokat (HetNet) is.

Fontos megjegyezni, hogy a globális károsanyag-kibocsátás csökkenésében a mobilhálózatok közreműködése tízszerese az általuk kibocsátott károsanyag mennyiségének, köszönhetően a különböző energiahatékonyságot javító alkalmazásoknak és IoT megoldásoknak [1]. Ez a folyamat az 5G elterjedésével tovább fog erősödni.

3. Az energiafelhasználást befolyásoló legfontosabb tényezők

Egy mobilhálózat energiaszükségletét a generált adatforgalom és a kapcsolódó szolgáltatási lánc elemeinek energiaigénye határozza meg, amit egyaránt befolyásol a hálózati eszközök kora, az alkalmazott mobiltechnológia, a rendelkezésre álló frekvenciakészlet és a rádióhálózati topológia.

Az adatforgalom jelentős növekedését a használók számának folyamatos emelkedése mellett a sávszélesség-igényes videotartalom fogyasztásának jelentős növekedése okozza. Aránya az előrejelzések szerint 2025-re meghaladja a teljes adatforgalom 75%-át [2]. Ma már az adatforgalom több, mint 95%-a 4G-technológián zajlik Magyarországon [3]. Amennyiben az energiahatékonyság nem változna, a hálózat energiafogyasztása közel egyenes arányban nőne a forgalommal. Az 5G bevezetés alatt áll, a felhasználói készülékek elterjedtsége fokozatos, az előrejelzések szerint öt éven belül haladhatja meg a 45%-ot világszinten [2], hazánkban ennél alacsonyabb arány, inkább 30% valószínűsíthető. A hatékonyság javulása is igaz az 5G bizonyos elemeire, lefedettsége jelenleg korlátos és lépésről lépésre épül ki.

A mobilhálózatok energiafogyasztásában legnagyobb súllyal, nagyságrendileg 60-70%-kal a rádióhálózat részesül [4-5]. A maghálózat részesedése a teljes fogyasztás 20-25%-a körül van. Ebből adódik, hogy az eszközgyártók és a szabványosítók egyaránt a rádióhálózat hatékonyságának javítására helyezik a hangsúlyt. Egy

bázisállomás átlagos jellemző energiafogyasztásának meghatározására az ETSI által javasolt módszertant érdemes használni, amely különböző terheltségi esetek súlyozott átlagaként írja le egy adott rádiókonfiguráció fogyasztását. Ezek alapján ma egy tipikus 3 szektoros városi – 2 alacsony, 2 közép és C sávot használó – bázisállomás átlagos fogyasztása ~4 kW, ami maximális kihasználtság esetén elérheti akár a ~6 kW-ot is. Ebből ~30% a C-sávú 5G-eszköz részesedése.

Az újabb mobilgenerációk egyre hatékonyabban képesek egységnyi adatmennyiség átvitelére. A gyakorlatban azonban még csak ezekben az években indul meg a korábbi generációk kivezetése, elsőként a 3G-é. Az operátorok párhuzamosan üzemeltetnek 2G-, 3G-, 4G- és 5G-rendszereket, ami természetesen nem optimális az energiafogyasztás szempontjából sem. Egy új technológia bevezetésénél továbbá figyelembe kell venni azt a negatív hatást, hogy a kevés felhasználó és kevés felajánlott forgalom ellenére is, egy bázisállomás sokat, a maximális fogyasztásának csaknem a 40%-át fogyasztja.

4. Az energiahatékonyság javulása

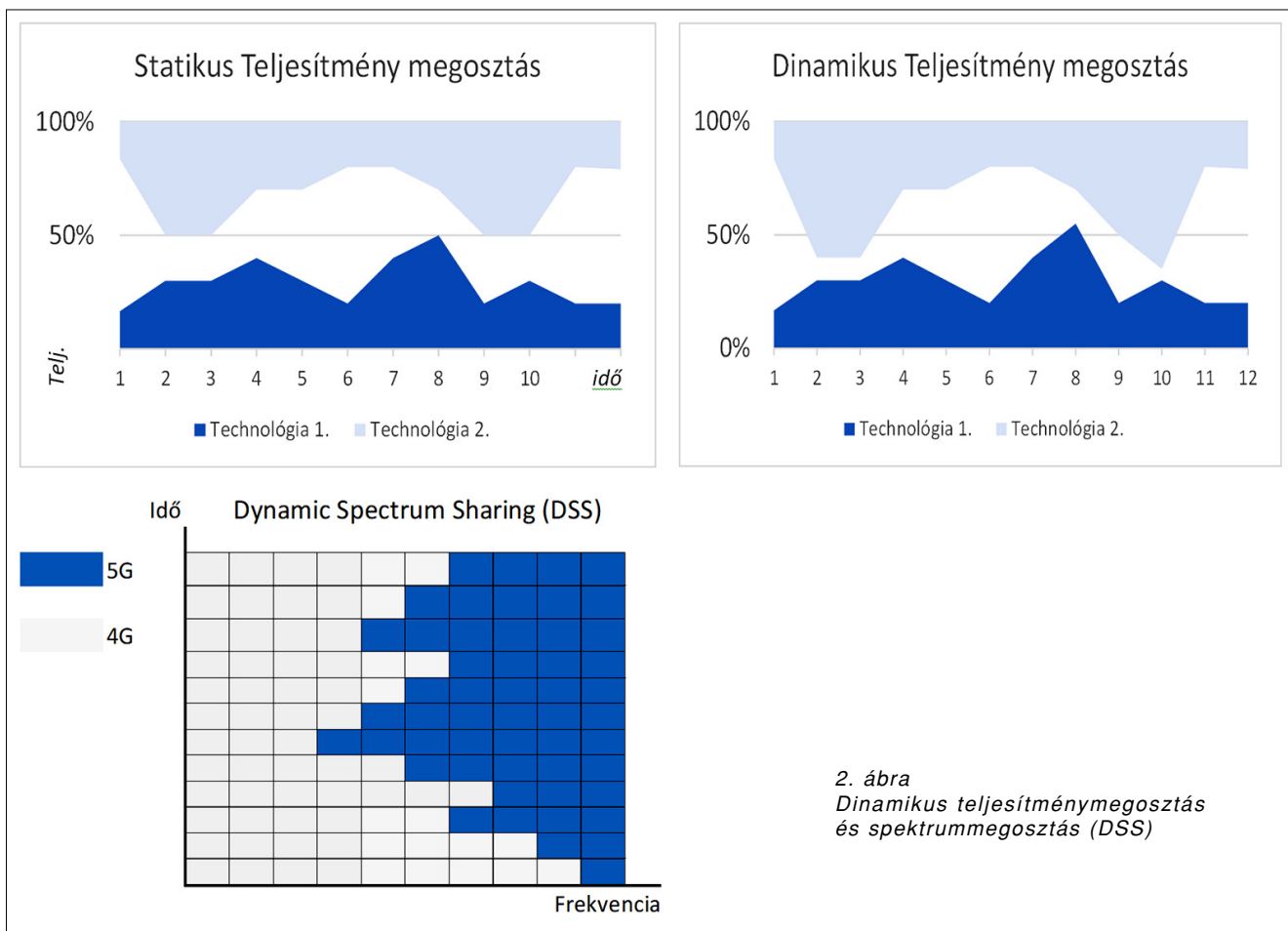
Az energiahatékonyság definíciója mentén vizsgáljuk meg a fejlődés várható hatásait. *Energiahatékonyság = adatsebesség/felhasznált energia*, ahol az *adatsebesség*

= *spektrális hatékonyság * sáv szélesség*. Ugyanazon technológia használata alacsonyabb energiafogyasztással valósul meg, vagy a spektrális hatékonyság nagyobb mértékben javul, mint amilyen mértékben az energiafogyasztás nő. Az elsősre a teljesítményerősítők hatékonyságának javulása, míg az utóbbira a C-sávban alkalmazott „massive MIMO” (mMIMO) technológia egy-egy példa. A kapcsolódó innovációk egyaránt érintik az eszközöket és a hálózati szoftvereket.

Rádiós eszközök

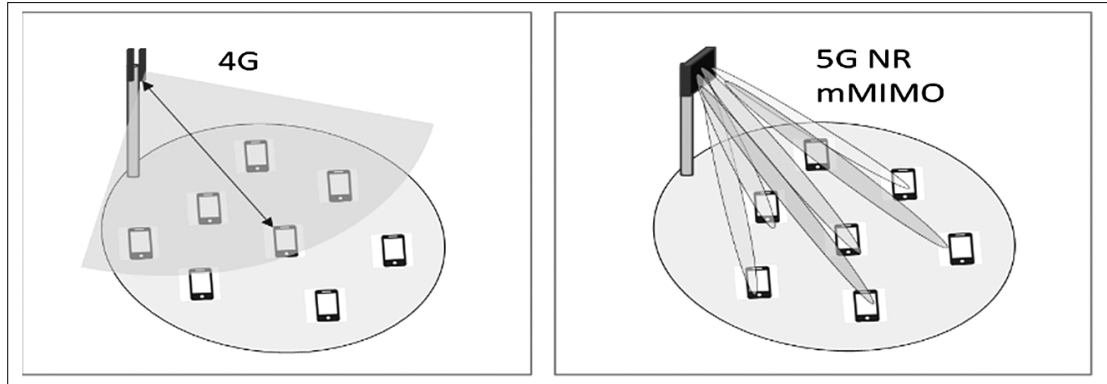
A bázisállomások legnagyobb energiafogyasztású egységei a rádiós *teljesítményerősítők*, amelyek a bázisállomás fogyasztásának több mint 60%-át adják [4]. Gyártói információk alapján az erősítők hatékonysága – részben az utóbbi években alkalmazott új félvezető anyagnak a GaN-nak (Gallium Nitride) köszönhetően – sokat fejlődött, mára meghaladja az 50%-ot. A folyamat várhatóan nem áll meg, csak lassulni fog a következő években.

Tíz éves eszköz-élettartamot feltételezve a hatékonyság átlagosan 15%-kal javulhat egy ciklus alatt, ami összesen ~9-10%-os (15%*60%) energiafogyasztás-csökkenést eredményezne ugyanolyan használati profil mellett. A beépített *mikrochipek* a fogyasztás csaknem 9%-át adják. Jellemző paraméterük a tranzisztorméret, melyekből ma már a 7 nm-es eszközök az elterjedtek a mobil hálózati eszközökben is. Az eredmény 30-50%-os hatékonyságjavulás. A számításgényesebb 5G-megoldások-



2. ábra
Dinamikus teljesítménymegosztás és spektrummegosztás (DSS)

1. ábra
3D nyalábformálás
hatása



nál ezek a hatások fokozottabban jelentkeznek. A bázis-állomások energiafogyasztásában szintén jelentős mértékű részesevel bír a *hűtésre* fordított energia (~9%). A rádiós egységek, amik a teljesítményerősítőket is magukba foglalják (RRU: Radio Remote Unit), ma már az antennák közvetlen közelében helyezkednek el. Ennek következménye az alacsonyabb fogyasztás mellett a kisebb szakaszcsillapítás, amely nagyobb lefedettséget, illetve nagyobb elérhető kapacitást eredményez. A kültéri elhelyezkedésnek köszönhetően nincs szükség nagy teljesítményű légkondicionálásra, mint a korábban hagyományosnak tekintett beltéri konfigurációknál. A hűtési megoldások a rádiós eszköz integráns részei, a gyártók ezeknél is nagyobb hatékonyságú megoldásokat vezetnek be, ilyen például a hűtőfelületet jelentősen megnövelő új, természetből átvett bio-struktúrák alkalmazása, melynek eredménye közel 30%-os megtakarítás.

Az alacsonyabb fogyasztás mellett az energiahatékonyság fokozásának másik módja a *spektrális hatékonyság* növelése. Az 5G NR mMIMO technológia képviseli ezt a változást a 4G-hez képest. A nyalábformálással a felhasználók keskenyebb nyalábokkal történő elérése révén ugyanazon fizikai csatornát a korábbi egyetlen cellában többször is lehet úgy allokálni – amennyiben a felhasználók megfelelően távol helyezkednek el –, hogy azok ne zavarják egymást (1. ábra).

Kétdimenziós hatást tesztelve (8 nyaláb a síkban) a 100 MHz C-sávú sáv szélességet alkalmazva, egy felhasználóra a maximális letöltés 1,7 Gbit/s volt, míg nyolc egyidejű felhasználó esetén a szektor kapacitása elérte a 4 Gbit/s-t. Az 5G a mMIMO technológiának köszönhetően így háromszor-ötször hatékonyabb spektrálisan, mint a 4G.

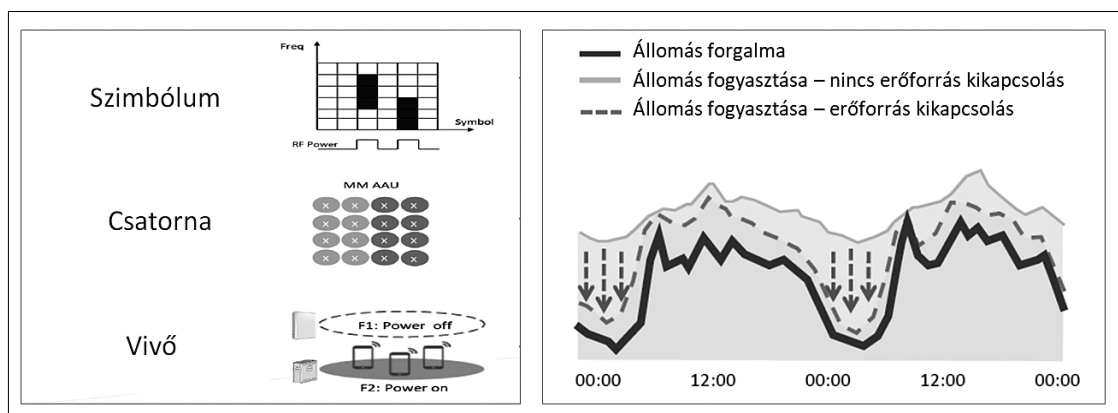
Egy adott frekvenciasávban a generációk közötti hatékonyabb átmenetet úgy támogatják a legújabb rádiós eszközök, hogy egy rádiós eszköz képes több technológiát is egyidőben kisugározni, a kimenő teljesítményt dinamikusan szétosztani. Nincs szükség technológiánként dedikált eszközre. Ez a dinamikus erőforrás-megosztás kiegészül a spektrummal 4G/5G-használat esetén (DSS: Dynamic Spectrum Sharing), támogatva az 5G egyszerű és hatékony bevezetését a korábban használt duplex frekvenciasávokon (2. ábra).

Hálózati intelligencia az energiahatékonyság szolgálatában

A növekvő adatforgalom miatt több frekvenciasávra és nagyobb kisugárzott teljesítményre van szükség. A forgalmas órákban jár csúcsra az állomás, a legtöbb ügyfél akkor csatlakozik hozzá és forgalmaz. Ehhez képest a másik szélsőséges időzóna az éjszaka, amikor a forgalom nagyon alacsony, így sokkal kevesebb erőforrásra van szükség. Annak érdekében, hogy a kapacitás-erőforrások allokációja az éppen aktuális terhelés függvényében dinamikusan változzon, és a szükségtelen kapacitáselemek kikapcsolásra kerüljenek mindaddig, amíg azt nem igényli a forgalom, a gyártók mérésen alapuló automatizmusokat tettek elérhetővé (3. ábra).

Az alkalmazott algoritmusok az alacsony forgalmú időszakokban hatékonyak, nagy forgalom esetén nem is aktiválódnak. A kapcsolódó forgalmat előre jelző algoritmusok folyamatosan fejlődnek, tanulnak (mesterséges intelligencia), erre a többszintű hálózatokból adódó komplexitásnövekedés miatt is szükség lesz. A kikapcsolható kapacitás lépései technológia-függőek, már a 2G-ben is bevezetésre került a vívő kikapcsolása, ami

3. ábra
Energia-
megtakarítást
eredményező
funkciók
és azok hatása
a fogyasztási
profilra [6]



tovább finomodott az időrés- és szimbólum-szintű deaktiválással 4G esetén, és akár antennarészek eseti kiiktatásával az 5G-ben. Többszintű hálózatoknál (HetNet) adódik a kiscellák forgalomfüggő lekapcsolása. A várható energiamegtakarítás az 5-15% tartományban van, forgalmi esettől függően.

Az 5G architektúra további előnyei és lehetőségei

Az 5G által elérhető új képességek sok esetben a hálózati architektúra jelentős változásával járnak: erre két példa az *EDGE-adatközpont* és a *C-RAN- (Cloud-RAN) struktúra*.

Jelentősen alacsonyabb hálózati késleltetés eléréséhez a rádió-hozzáférés gyorsítása mellett a szükséges információt és döntési képességet a bázisállomásokhoz közel kell vinni (EDGE DC: EDGE Adatközpont). Ennek extrém esete a privát hálózat, ahol az adatközpont már az állomás mellett van. Az EDGE-adatközpontokban a népszerű tartalmakat is közelebb lehet vinni a felhasználóhoz, időt és hálózathasználatot megtakarítva ezzel. A rövidebb átviteliút-használat energia-megtakarítást fog eredményezni.

A C-RAN-struktúránál az alapsávi feldolgozás nem a bázisállomásokon történik, hanem állomáscsoportonként egy központi helyen, ami lehetőséget ad a kapcsolódó állomások koordinált vezérlésére és az alapsávi információk energiahatékonyabb feldolgozására. A dinamikus, forgalomfüggő állomás-paraméterezést és erőforrás-allokációt nem állomási szinten, hanem állomáscsoport-szinten lehet megtenni, tovább javítva ezzel a rendszer rugalmasságát, reakcióképességét, kapacitását és energiahatékonyágát. 5G esetében a szabványok az *aktív hálózatmegosztást* teljeskörűen támogatják, ami szintén széleskörben használt 4G esetén is Európában. Az aktív hálózatmegosztás különösen egy új technológia indulásánál, alacsony forgalom esetén javít a hatékonyságon.

Összefoglalva: a rádiós eszközök cseréjétől 15-20%-os, a fogyasztást optimalizáló szoftveres képességek révén pedig további 5-15% fogyasztáscsökkenést és hatékonyságjavulást várhatunk. Ehhez adódik majd hozzá a forgalom fokozatos migrációja a legújabb, spektrálisan

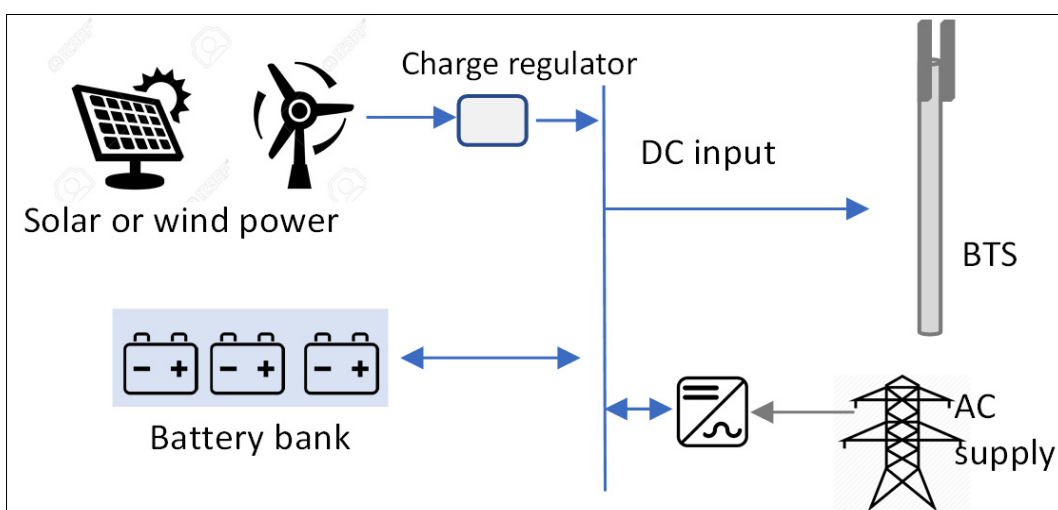
hatékonyabb 5. generációra. Érdekes azonban megjegyezni, hogy az 5G-hez kapcsolódó hatékonyságot javító megoldások elsősorban sűrűn lakott, városi területeken fognak jelentkezni.

5. Alternatív, megújuló energiaforrások

A mobilszolgáltatók és a teljes infokommunikációs iparág érdekelt abban, hogy működése környezetbarátabb legyen. Az alternatív, megújuló energiák használata – mint a szél- és napenergia – a távközlésben és ezen belül a mobil távközlésben nem újkeletű dolog, lehetőségeit a múltban is rendszeresen vizsgálták az operátorok. Ázsia és Afrika számos országában, ahol az elektromos hálózat nem fedi le a teljes országot, vagy annak rendelkezésre állása alacsony, ezek jelentik az alternatívát a zajos és környezetszennyező dízelgenerátorokkal szemben.

Fontos megjegyezni, hogy a mobilhálózatok zöldülését, a megújuló energia arányának növelését kétféleképpen lehet elérni. Vagy a megújuló energiák aránya nő az országos elektromos hálózatban, amit mobilszolgáltatókon kívül álló tényezőnek tekinthetünk, vagy a megújuló energia előállítását a mobilszolgáltató beruházása révén valósul meg a bázisállomás mellé telepítve, illetve elméletileg országosan néhány telephelyen kiépítve. Mobilhálózatokban történő alkalmazhatóságukat nagyban befolyásolja a bázisállomás energiaszükséglete (5-6 kW), annak rendelkezésre állása (7/24) és nem utolsósorban a gazdasági szempontok, azaz mennyibe kerül és mennyi idő alatt térül meg. Magyarországon mindkét energiaforrás jelen van, elérhetősége azonban nem folytonos (időjárás- és évszakfüggő), ezért kiegészítő forrásra van szükség az elvárt rendelkezésre állás biztosítására.

A napcella a napenergiából egyenáramot állít elő, míg a másik esetben a szélgenerátor az energiaforrás, amivel vagy a bázisállomást vagy az akkumulátorokat töltik. Az alkalmazott rendszerek jellemzően hibrid rendszerek [4]. A magas rendelkezésre állás biztosítása érdekében az alternatív forrást kiegészítik hálózati betáplálással is (4. ábra).



4. ábra
Megújuló,
jellemzően hibrid
megoldás felépítése

A tapasztalatok alapján minimum 5 m²-nyi napcella-felület szükségeltetik 1 kW előállításához. Egy állomás tipikus energiaigénye alapján legalább 25-40 m² napcella-felületet kellene telepíteni, aminek kiépítése jellemzően külterületen valószínűsíthető meg. A hibrid megoldás kiépítésének magas a költsége. Ez részben a párhuzamos betáplálás, valamint a 24-48 órás akkumulátorkapacitás szükségessége miatt van. Ekkora kapacitás képes kipótolni a napmentes időszakokat, mint az éjszaka vagy a felhős órák. A gyakori töltés miatt erre a célra a lítium-alapú akkumulátorok a megfelelőek, amelyek költsége csaknem 70%-át teszi ki a teljes megoldásnak.

Mivel jelenleg Magyarországon fejlett és megbízható az elektromos hálózat, ezért a megújuló energia használata elsősorban nem költséghatékonysági kérdés, hanem környezetvédelmi szempont. Hosszútávon az lenne a legjobb megoldás, ha az elektromos hálózatban nőne a megújuló energia aránya. Bár az akkumulátorok ára folyamatosan csökken, azt nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a forgalom növekedésének mértéke messze meghaladja a bázisállomás hatékonyságának javulását, így a hibrid betápláláshoz is egyre nagyobb akkumulátorkapacitásra lenne szükség.

6. Összefoglalás

A mobil iparág is érdekelt abban, hogy a Földünket érő káros környezeti hatásokat csökkentse. Szerepe kettős, egyrészt fogyasztóként a működési energiahatékonyság növelésén és a zöld energiák nagyobb arányú használatán keresztül, másrészt közreműködőként lehetővé teszi energiahatékonyságot javító megoldásokat más iparágak és az egyéni fogyasztók számára. A mobilhálózatokban az adatforgalom öt éven belül várhatóan háromszorosára nő. Ennek kiszolgálására a szolgáltatók új frekvenciasávok és az 5G bevonásával növelik kapacitásukat. Mivel a mobilszolgáltatási láncban a legnagyobb fogyasztó 60-70%-os részesedéssel a rádióhálózat, ezért az energiahatékonyságot javító megoldások is itt jelennek meg. A folyamatos fejlesztéseknek köszönhetően az energiahatékonyság 20-35%-kal növelhető a legújabb eszközök és hatékonyságot növelő algoritmusok bevezetésével. Ehhez adódnak hozzá az 5G előnyei: a csaknem háromszoros spektrumhatékonyság és a jobban skálázható erőforráskészlet. Azonban az 5G pozitív hatása korlátos; csak a hálózat egy részében, városi területeken jelentkezik majd az 5G elterjedtségének mértékében.

Összeségében a forgalomm növekedés várhatóan nagyobb lesz, mint a rádióhálózat energiahatékonyságának javulása, ami a mainál még óvatos becsléssel is 35-50%-kal magasabb energiafogyasztást eredményez 5 év múlva. A megújuló energiaforrások kiépítése továbbra sem éri meg bázisállomás-szinten, arányuk növelése Magyarországon az elektromos hálózatban a megfelelő megoldás. A mobilhálózatok energiafogyasztása fokozatosan csökkenő növekedési trendet követ, a CO₂-kibocsátást nem a csökkenő fogyasztás, hanem az energiaforrás jellege fogja meghatározni.

Hivatkozások

- [1] GSMA Enablement Effect: The impact of mobile communications technologies on carbon emission reductions.
- [2] Ericsson Mobility Report, November 2020.
- [3] NMHH: Mobil Piaci Jelentése, 2020 november 25.
- [4] Mohammed H. Alsharif , Jeong Kim and Jin Hong Kim, Green and Sustainable Cellular Base Stations: An Overview and Future Research Directions, Energies 2017.
- [5] Aspire Whitepaper: Going greener with 5G, How mobile operators can expand while keeping energy usage in-check, 2019.
- [6] Huawei Whitepaper, 5G Ultra-lean site, May 2019.

A szerzőről



CSABA TAMÁS hálózati stratégiáért felelős vezető tanácsadó a Telenor Magyarországnál. 1993-ban villamosmérnök, 2005-ben MBA-diplomát szerzett a BME-en. Több mint 20 éve foglalkozik a mobilhálózatok stratégiájával a Telenornál. Napjaink egyik legérdekesebb iparági kihívásának tartja az 5G-technológia bevezetését, az abban rejlő üzleti lehetőségek kiaknázását.