

Németh András őrnagy – Károly Krisztián főhadnagy:

## KORSZERŰ RÖVIDHULLÁMÚ HARCÁSZATI RÁDIÓESZKÖZÖK ERŐKÖVETŐ RENDSZEREKBE VALÓ ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

*ÖSSZEFOGLALÓ: Napjaink szövetségi kötelekekben végrehajtott műveleteiben a különböző vezetési szinteken komoly igény fogalmazódik meg a saját csapatok földrajzi helyzetének automatizált gyűjtésére, megosztására és grafikus felületen történő kvázi valós idejű megjelenítésére. A parancsnoki döntéshozatali folyamatok gyorsításának az egyik legfőbb letéteményese a korszerű erőkövetési rendszerek alkalmazása. Többnemzeti műveletekben a baráti tűz elkerülésének, a saját csapatok megóvásának, a hatékony logisztikai rendszer működtetésének azonban az a feltétele, hogy a résztvevők mindegyike rendelkezzen az erőkövetési rendszer által szolgáltatott információk továbbítására alkalmas gyors, megbízható és védett vezeték nélküli adatátviteli képességgel. A szerzők írásukban bemutatják a korszerű rövidhullámú harcászati rádióknál alkalmazott automatikus kapcsolatfelvételi módot, amelynek révén nagy megbízhatóságú zavarvédett csatornákat lehet kialakítani és fenntartani, többek között a geolokációs információk továbbítása céljából, valamint megvizsgálják az ilyen összeköttetések létrejöttét befolyásoló környezeti hatásokat és műszaki feltételeket.*

*KULCSSZAVAK: automatikus kapcsolatfelvételi mód, erőkövetés, harcászati rádió*

### BEVEZETÉS

Korunk hadviselésében egyre nagyobb szerepet játszanak a katonai célú távközlési és informatikai szolgáltatások. Ezek egyik – parancsnoki szempontból igen jelentős – alkalmazási területét a különböző harchelyzet-ismereti (SA<sup>1</sup>) megoldások jelentik. Ezek feladata, hogy a harcászati rádiórendszerek, valamint az integrált tábori (és stacioner) híradó- és informatikai hálózat felhasználásával a parancsnokok és törzseik valós időben a lehető legteljesebb képet kapjanak a saját és az ellenséges csapatokról, felgyorsítva így a döntési folyamatokat a műveletek tervezése, előkészítése és vezetése során.

Az ukrajnai orosz katonai intervenciót követő 2014-es walesi NATO-csúcson a tagországok döntöttek egy gyorsreagálású multinacionális kötelék létrehozásáról. Ennek a folyamatnak a keretében azóta már több gyakorlatot tartottak a kelet-közép-európai tagállamok területén, emellett dolgoznak egy olyan katonai erő felállításán, amelyben már zászlóaljköteléken belül is többnemzeti századok találhatóak, az egyes tagállamok felajánlásának megfelelően.<sup>2</sup> Ilyen környezetben felértékelődik a híradó- és az informatikai rendszerek interoperabilitása, mert az elengedhetetlen feltétele a zökkenőmentes vezetés biztosításának, elősegíti a baráti

<sup>1</sup> Situational Awareness.

<sup>2</sup> Szenes Zoltán: Új bor a régi palackban? A walesi NATO-csúcs. Hadtudomány, XXIV. évfolyam, 3–4. szám, 2014. december, 3–21. [http://mhtt.eu/hadtudomany/2014/3\\_4/2014\\_3\\_4\\_1.pdf](http://mhtt.eu/hadtudomany/2014/3_4/2014_3_4_1.pdf) (Letöltés időpontja: 2016. 08. 01.)

tűz elkerülését, a saját csapatok megóvását és egy hatékony logisztikai támogatási rendszer kialakítását. A döntéstámogatáshoz szükséges helyzetinformációk közel valós idejű megosztása akár meghatározó jelentőségű is lehet egy adott művelet során.

A harchyezet-ismereti alkalmazások egyik kulcsfontosságú eleme az erőkövető rendszer (FTS<sup>3</sup>), amely autonóm módon vagy más rendszerekbe integrálva is realizálható. Ennek egyik legfontosabb modulját a globális navigációs műholdas rendszer (GNSS<sup>4</sup>) képezi, melynek segítségével meghatározhatóak az adott jármű vagy harcos pontos geolokációs adatai. A helyzet-, illetve szükség esetén a különböző állapotinformációk vagy szöveges üzenetek, utasítások valamilyen rádiófrekvenciás platformon keresztül (pl. harcászati rádióháló) egy informatikai alkalmazás segítségével eljuttathatóak más terminálok vagy egy hálózati műveleti központ részére.

Az adatátviteli út alapján a különböző FTS-ek az alábbi módon oszthatóak. Ismerünk műholdas csatornán kommunikáló (pl. IFTS,<sup>5</sup> FBCB2 BFT<sup>6</sup>) és földfelszíni trónkolt rádiórendszer-alapú megoldásokat (KFTS,<sup>7</sup> TETRA AVL<sup>8</sup>), valamint a jelen cikk tárgyát is képező harcászati rádiórendszer-alapú erőkövető alkalmazásokat.

Utóbbiak rendszerint a harcászati kisalegységek kommunikációs célú rádióeszközei által a hangalapú összeköttetések mellett biztosított adatcsatornát veszik igénybe a helyzetinformációk továbbítására.

Az első világháborút követően a nagy távolságú hírközlés alapvetően olyan rövidhullámú rádióeszközökre épült, melyek elsődlegesen morze üzemmódban dolgoztak. A híradástechnika fejlődésével azonban rövid időn belül előtérbe került a fónia (beszédátvitel), melynek köszönhetően leegyszerűsödött és felgyorsult az információk továbbítása. A második világháborút követő hidegháborús időszak lokális fegyveres konfliktusai során már lényegesen kompaktabb, háton hordozható rövidhullámú harcászati rádióeszközökről (pl. R-143) is beszélhetünk. Ezek – a gépjárművekre telepített nagy teljesítményű rádiókomplexumokkal (pl. R-140) kiegészítve – a harcászati szinttől egészen a hadászati szint nagy távolságú kommunikációs szükségletig képesek voltak kielégíteni a harcvezetés híradóigényeit.

Napjainkra a rövidhullámú hírközlés szerepe lecsökkent, ugyanis az egyre szélesebb körben elérhető műholdas képességek fokozatosan szorították ki a nagy távolságú kommunikációnak ezt a formáját. Ennek fő oka alapvetően az eltérő frekvenciasávok hullámterjedési sajátosságaiból eredő minőségi paraméterekben (pl. sávszélesség, megbízhatóság, rendelkezésre állás) fennálló különbségekben gyökerezik. A rövidhullámú híradásban rejlő lehetőséget azonban – főleg az eszközparkban az elmúlt évtizedekben bekövetkező látványos fejlődési folyamatoknak (pl. szoftverrádió technológia, modulációs és kódolási eljárások) köszönhetően – továbbra sem szabad figyelmen kívül hagyni a különböző szakterületek tervezése során.

Gulyás Attila egyik közleményében<sup>9</sup> korábban már foglalkozott a honi különleges műveleti erőknél alkalmazható erőkövetési rendszerekkel, ami jó alapot szolgáltat a harcászati

<sup>3</sup> Force Tracking System.

<sup>4</sup> Global Navigation Satellite System – pl. GPS, GLONASS, Galileo.

<sup>5</sup> ISAF Force Tracking System – a NATO afganisztáni erőkövető rendszere.

<sup>6</sup> Force XXI Battle Command Brigade and Below Blue Force Tracking – XXI. századi haderő harcászati szintű vezetési és baráti erő követési rendszere (az Amerikai Egyesült Államok erőkövető rendszere).

<sup>7</sup> Kosovo Force Tracking System – a NATO koszovói erőkövető rendszere.

<sup>8</sup> Terrestrial Trunked RAdio Automatic Vehicle Location – TETRA-alapú erőkövető platform.

<sup>9</sup> Gulyás Attila: Force Tracking System in SOF applications. AARMS 2009 Vol. 8 Issue 4., 601–617. <http://193.224.76.3/aarms/docs/Volume8/Issue4/pdf/08.pdf> (Letöltés időpontja: 2016. 08. 01.)

rádiókon alapuló megoldások vizsgálatára. Ezért célunk annak feltárása, hogy a Magyar Honvédségben is alkalmazott rövidhullámú digitális harcászati rádióeszközök segítségével hogyan lehetne az erőkövetési rendszerek adatait továbbítani.

## HULLÁMTERJEDÉSI SAJÁTOSSÁGOK A RÖVIDHULLÁMÚ TARTOMÁNYBAN

Az elektromágneses spektrum 3 kHz és 300 GHz közötti szegmensét rádióhullámoknak nevezzük, amelyen belül a harcászati rádiók jellemzően az 1,6 MHz – 2,4 GHz közötti sávokban dolgoznak. A 300 kHz – 3 MHz közötti sávot középhullámnak (KH vagy MF<sup>10</sup>), a 3–30 MHz-es sávot rövidhullámnak (RH vagy HF<sup>11</sup>), a 30–300 MHz-es sávot ultrarövidhullámnak (URH vagy VHF<sup>12</sup>), míg a 300 MHz – 3 GHz-es sávot deciméteres hullámnak (UHF<sup>13</sup>) nevezzük.<sup>14</sup>

Írásunkban a rövidhullámú harcászati rádiók által nyújtott szolgáltatásokat elemezzük, így a hullámterjedési sajátosságok vizsgálatát is e spektrumra szűkítjük. Az alkalmazott rövidhullámú harcászati rádiók frekvenciatartománya 1,6–29,9999 MHz, így látható, hogy elméletileg a közép- és a rövidhullámú sávban működő eszközökről beszélünk, de a tartományok hullámterjedési sajátosságai a frekvencia szerint nem választhatók el élesen. Sokkal inkább tapasztalható egy folytonos átmenet, azaz az 1,6–3 MHz-es frekvenciájú elektromágneses hullámok terjedési tulajdonságai jelentős hasonlóságot mutatnak a HF-sáv jellemzőivel.<sup>15</sup> Az egyik legfontosabb eltérés az egyes frekvenciasávok között az, hogy a kisugárzott energia hogyan oszlik meg a különböző hullámterjedési módok szerint. Ez alapján a *katonai értelemben vett rövidhullámú tartományban* alapvetően felületi és térhullámú terjedésről beszélhetünk, ami lehetővé teszi a horizonton túli, nagy távolságú összeköttetések kialakítását. A tartományon belül a középhullámú sávban a felületi komponens a jelentősebb, azaz a föld felszínét (görbületét) követve terjed az elektromágneses energia, míg a frekvencia növekedésével fokozatosan nő a térhullámok dominanciája, így lehetőség nyílik az ionoszféra magasabb rétegeiről történő reflexiók segítségével akár rendkívül nagy távolságú összeköttetések létrehozására is. Az ultrarövid-hullámú tartomány alsó frekvenciasávján még számolhatunk felületi komponenssel, de a frekvencia további növekedésével – a térhullámokkal együtt – fokozatosan szorul vissza a közvetlen hullámterjedéssel szemben, mígnem 100 MHz fölött gyakorlatilag teljesen el is hal. A 60 MHz fölötti rádióhullámok már csak kivételes esetekben terjednek az ionoszféra közvetítésével. Azokon a földrajzi területeken (és frekvenciatartományokban), ahová egyidejűleg több terjedési módon (útvonalon) is megérkezhet a kisugárzott rádióhullám (pl. felületi és térhullámok formájában), a pillanatnyi fázis- és energetikai viszonyok függvényében számolni lehet a kioltás, illetve a vételi térerősség-ingadozás, azaz fading jelenségével.

A HF-tartományú rádióhullámok tehát a legnagyobb földrajzi távolságok áthidalását térhullámok formájában valósítják meg, elsődlegesen az ionoszférából történő visszaverődéssel. A rádióhullámok terjedési sebessége az ionoszférában valamivel nagyobb, mint a troposzfé-

<sup>10</sup> Medium Frequency – közepes frekvencia.

<sup>11</sup> High Frequency – magas frekvencia.

<sup>12</sup> Very High Frequency – nagyon magas frekvencia.

<sup>13</sup> Ultra High Frequency – ultra magas frekvencia.

<sup>14</sup> Haig Zsolt – Kovács László – Ványa László – Vass Sándor: Elektronikai hadviselés. NKE, 2014, 56.

<sup>15</sup> Dr. Istvánffy Edvin: Távponalak, antennák, hullámterjedés. Tankönyvkiadó, Budapest, 1967, 529–569.

rában, és lényegében az egyes légrétegek elektronkoncentrációjának és az alkalmazott frekvenciának a függvénye. Adott frekvencián az elektronkoncentráció növekedésével a terjedési sebesség is növekszik. Ha a hullámhomlok  $90^\circ$ -nál kisebb szögben lép be az ionoszférába, a hullám különböző részeinek eltérő terjedési sebessége – a légrétegek töltéshordó koncentrációjának folyamatos változása – miatt a terjedési irány megváltozik, a hullám megtörik, és elegendő elektronsűrűség esetén visszaverődik a Földre.

A legmagasabb használható frekvencia ( $MUF^{16}$ ) és a legalacsonyabb használható frekvencia ( $LUF^{17}$ ) az az üzemi felső és alsó határfrekvencia, amely esetén az ionoszféra aktuális állapota mellett még számolhatunk visszavert hullámok által megvalósuló terjedéssel. Az ionoszféra pillanatnyi szerkezete (a rétegek egymáshoz és a földfelszínhez képest mért távolsága), a töltéshordozók eloszlása és ezek alapján a tulajdonságai napszakról napszakra, napról napra, évszakról évszakra, évről évre és a napfolttevékenység függvényében kvázi periodikusan változnak.

A Nap aktivitása elsődlegesen a napfoltok képződésétől (11,1 éves periodicitás), valamint a granulációtól, az eruptív protuberanciáktól és a fáklyaképződéstől függ.<sup>18</sup> Földünkön a nyári nappalok hosszabbak, és a naptevékenység hatása is intenzívebb, mint a téli hónapokban, ezért az elektronkoncentráció is lényegesen magasabb. Az egyes rétegek ionizációja az éjszakai órákban lecsökken, majd a nappali sugárzás következtében újra felépül. A földfelszínhez legközelebb (még az atmoszférában) helyezkedik el a D réteg, ionizációja a déli órákban a legmagasabb, de napnyugta után gyorsan lecsökken nullára. Ez a csak nappal létező réteg az MF- és az alacsony HF-sávú hullámokat elnyeli, így az 1,81–3,8 MHz közötti frekvencián térhullámú terjedés napközben nem jön létre. Télen a nappali ionizáció lényegesen kisebb, így a fenti frekvencián kisugárzott hullámok eléri az ionoszféra magasabb rétegeit, és onnan reflektálódnak, ezért a nappal áthidalható távolságok is megnőnek (max. 400 km a 3–4 MHz-es sávban). Azonos adóteljesítmény mellett létrehozhatóak 1000 km-es összeköttetések is, de ekkor a sáv telítődése miatt az interferencia drasztikusan megnő, amivel a tervezés során számolni kell. A D réteg felett helyezkedik el az E réteg, amely már éjszaka is fennmarad, de az alacsonyabb ionizációnak köszönhetően a 7 MHz körüli hullámokat képes reflektálni, míg a 3–4 MHz körülieket elnyeli. Nagy adóteljesítmény mellett 7 MHz-en 1000–2000 km-es hatótávolsággal is lehet számolni, ami napfoltminimumok esetén és éjszaka a leginkább kedvező.<sup>19</sup> Általánosan elmondható, hogy az éjszaka inkább az alacsonyabb frekvenciájú jelek terjedésének kedvez. Innen származik az a híradás-szervezési gyakorlat is, hogy az éjszakai frekvenciákat általában feleakkorára választják, mint a nappalikat.

Reflexiók terjedés szempontjából a leglényegesebb az F réteg, amely az eddig említett ionizációs rétegek közül a legvastagabb, így az ionizáció növekedésének és csökkenésének a folyamata is lassabb. Nappal az intenzív besugárzás következtében két ( $F_1$  és  $F_2$ ) rétegre bomlik. Az  $F_1$  réteg hullámterjedés szempontjából kedvezőtlen hatású, hiszen a magasabban elhelyezkedő  $F_2$  rétegről reflektált hullámokat visszaveri, ezáltal csillapító, elnyelő hatású. A rövidhullámú hírközlésben a legnagyobb áthidalható távolságokat az F réteg segítségével érhetjük el.<sup>20</sup>

<sup>16</sup> Maximal Useable Frequency.

<sup>17</sup> Lowest Useable Frequency.

<sup>18</sup> Karl Rothammel: Antennakönyv. Műszaki Kiadó, Budapest, 1977, 22–27.

<sup>19</sup> Rothammel: i. m. 22–27.

<sup>20</sup> Uo.

Rövidhullámú összeköttetések esetén azon a területen, ahol az adóantennától távolodva a föld csillapítása miatt a felületi hullámok már elhalnak, ugyanakkor az ionoszféráról reflektálódó térhullámok még nem jelennek meg, holtzóna alakul ki, melynek mérete a frekvenciával arányosan nő. Megfelelő adóteljesítmény és frekvencia esetén a rádióhullámok a földfelszín és az ionoszféra között többszörös reflexiók útján – a csőtápvonalban történő energiaáramláshoz hasonló módon – terjednek, így a holtzónák száma is a visszaverődések számával arányosan nő. (Az így kisugárzott információ akár a Földet is képes megkerülni.) A 14 MHz környéki frekvenciákat tipikusan ilyen módon használják fel interkontinentális összeköttetések létrehozására, elsősorban a nappali órákban. A holtzónák napfoltminimum idején 1000 km-esre nőhetnek, napfoltmaximum idején 400 km-esre csökkenhetnek. Éjszaka a holtzónák a 4000 km-t is elérhetik. A 21–22 MHz környéki frekvenciák kis adóteljesítmények mellett is jól használhatóak nappal napfoltmaximum idején óriási távolságok áthidalására, míg napfoltminimum idején legfeljebb rövid időszakokra vehetőek igénybe.<sup>21</sup>

Az erőkövetési rendszerekben történő alkalmazhatóság vizsgálata során a fenti tulajdonságokat és jelenségeket maximálisan figyelembe kell venni. A naptevékenység és a magaslégköri meteorológiai folyamatok ismeretében az ionoszféra állapota előre tudható, tulajdonságai pedig bizonyos periodicitást mutatnak. Térhullámokon alapuló nagy távolságú összeköttetések tervezése során a frekvenciagazdálkodásra különösen nagy figyelmet kell fordítani az összeköttetések folyamatos fenntarthatósága érdekében.

Másik fontos tényező a terjedésből eredő késleltetés, amely természetesen lényegesen kisebb, mint műholdas csatornák esetén, átviteltechnikai szempontból mégis számolni kell vele adatkommunikációs rádióháló tervezése esetén, valamint fokozott figyelmet igényel a rendszer időzítéseinek helyes meghatározása során.

Érdekes ugyanakkor elgondolkozni azon is, hogy egy erőkövetési rendszer által szolgáltatott információk esetén milyen áthidalandó távolságokkal kell számolnunk. Hagyományos erők alkalmazásakor nagy valószínűséggel nem fordulnak elő 100 km-t meghaladó távolságok az alegységek egyes tagállomásai és a vezetési pont között, így ilyen viszonylatban felületi hullámú összeköttetésekkel kell tervezni az MF-sávban. Ebben az esetben a térhullámú terjedésre jellemző anomáliákkal nem kell számolni, és a tervezés is lényegesen egyszerűbb, így a rövidhullámú rádióeszközök jó megoldást (elsődleges platform) jelentenek – a hagyományos beszédkommunikáció mellett – az erőkövető rendszerek adatainak továbbítására.

Térehullámú összeköttetések rádióirányban távoli vezetési pontok, parancsnokságok összekapcsolása (többnyire stacioner módon telepítve) vagy rádióhálóban különleges műveleti alkalmazások esetén fordulhatnak elő. Ez esetben az erőkövetési információk továbbítása során a rádiócsatorna instabilitása akár komoly problémákat is okozhat, amelyeket sokszor csak megfelelő elméleti felkészültséggel, illetve gyakorlati tapasztalattal rendelkező szakemberek tudnának orvosolni. Ezért nagy távolságú viszonylatban – ahol a középhullámú sávban már csak térehullámú terjedéssel lehetne számolni – célszerű a műholdas megoldás elsődleges platformként történő választása, míg a HF-sávú rádiócsatornára csak tartalékként támaszkodni.

A rádiócsatorna tulajdonságainak vizsgálata mellett másik nagyon fontos feladat a rendelkezésre álló műszaki megoldások értékelése, amelyek lehetővé teszik a középhullámú sávban az erőkövető rendszer által szolgáltatott információk továbbítására képes adatkapcsolat felépítését és stabil fenntartását.

<sup>21</sup> Uo.

## AUTOMATIKUS KAPCSOLATFELVÉTELI MÓD

Amíg korábban egy rövidhullámú analóg beszéd-összeköttetés esetén – a fent ismertetett hullámterjedési tulajdonságok miatt – aránylag gyakran kellett újra beszabályozni a rádió-csatornát, addig a korszerű digitális eszközök ezt már automatikusan, kezelői beavatkozás nélkül képesek végrehajtani. A korábbi analóg szolgáltatásokkal ellentétben a digitális jelfeldolgozás (DSP<sup>22</sup>), a korszerű hibajavító kódolások és az automatikus kérésisméltési (ARQ<sup>23</sup>) technológiák nagyobb átviteli sebességet és alacsony bithibaarányú adatkommunikációt biztosítanak a HF-tartományban.<sup>24</sup>

A sávot jellemző instabilitás okozta anomáliák kiküszöbölésére alkották meg az automatikus kapcsolatfelvételi üzemmódot (ALE<sup>25</sup>), amelynek segítségével a rádió az előre felprogramozott frekvenciakontingensből a kommunikációra legalkalmasabb frekvenciát választja ki.

Az első generációs ALE-rendszereket még az 1970-es években fejlesztették ki különböző gyártók egy időben, amelynek köszönhetően az első rádióeszközök még komoly interoperabilitási gondokkal küzdöttek. A második generációs ALE-t (2G ALE) 1986-ban foglalták szabványba, katonai célokra a MIL-STD-188-141B<sup>26</sup> „A” mellékletében, civil felhasználásra pedig az US FED-STD-1045-ben. E szabványok terjedtek el később szerte a világban, ami biztosította a berendezések közötti együttműködés lehetőségét. A '90-es évek végén fejlesztették ki a harmadik generációs ALE-technológiát (3G ALE), amely magasabb szolgáltatási szint mellett biztosította felülről a kompatibilitást a második generációs rendszerekkel. A 3G ALE szabványát a MIL-STD-188-141B „C” mellékletében és a STANAG 4538-ban hirdették ki.<sup>27</sup>

A szolgáltatás mechanizmusának megértése érdekében meghatározzuk az ALE-üzemmód elemeinek helyét a nyílt rendszerek összekapcsolásának (OSI<sup>28</sup>) referenciamodelljében (1. táblázat). Mint a táblázatból is látható, egy rendkívül komplex eljárásrendszerről van szó, melynek elemeivel a továbbiakban részletesebben is foglalkozunk, a fizikai rétegtől kezdve fölfelé haladva a hierarchiában. Erőkövetési rendszerekben történő alkalmazás szempontjából a 3G+ ALE üzemmód a releváns, így erre a technológiára fókuszálunk.

A szolgáltatás digitális rádióberendezésekre értelmezett, így az alapvető feladat – le-sarkítva – nullákból és egyesekből álló bitsorozatok továbbítása az adó és a vevő között. Beszédinformáció továbbítása esetén a mikrofon kimenetén előállított analóg jelet először digitalizálni (mintavételezés, kvantálás, kódolás) kell, míg adatkommunikáció esetén már maga az adatforrás (pl. számítógép) is ilyen, digitális jelet szolgáltat. Minél jobb minőségű a rádiócsatorna, annál nagyobb mennyiségű adatot vagyunk képesek időegység alatt átjuttatni rajta, melynek mérésére az adatsebesség fogalmat használjuk bit/s dimenzióval. Az

<sup>22</sup> Digital Signal Processing.

<sup>23</sup> Automatic Repeat Request.

<sup>24</sup> Radio Communications In the Digital Age, Vol. 1. HF technology. Harris, Edition 2, 2005, 40. <http://www.trngcmd.marines.mil/Portals/207/Docs/TBS/Radio%20Communications%20HF%20VOL%201.pdf?ver=2016-01-08-142229-323> (Letöltés időpontja: 2016. 08. 01.)

<sup>25</sup> Automatic Link Establishment.

<sup>26</sup> [http://hflink.com/standards/ALE\\_standard\\_188\\_141B.pdf](http://hflink.com/standards/ALE_standard_188_141B.pdf) (Letöltés időpontja: 2016. 02. 24.)

<sup>27</sup> ITU Handbook: Frequency-adaptive communication systems and networks in the MF/HF bands. 2002, 28. International Telecommunication Union Radiocommunication Bureau, Genova, 2002. [http://hflink.com/itu/ITU\\_ALE\\_Handbook.pdf](http://hflink.com/itu/ITU_ALE_Handbook.pdf) (Letöltés időpontja: 2016. 02. 24.)

<sup>28</sup> Open Systems Interconnection.



információtovábbítás közege a levegő, így a bitsorozaton végzett – az adatkapcsolati réteghez tartozó – jelfeldolgozási eljárásokat (pl. csatornakódolás, hibajavító kódolás) követően az adó valamilyen moduláció segítségével rádiófrekvenciás jelet állít elő, amely az antennán keresztül kisugárzásra kerül. A moduláció (hullámforma) típusa alapvetően meghatározza az adatátviteli sebesség elméleti felső határát.

1. táblázat *Az automatikus kapcsolatfelvételi mód (ALE) helye az OSI-modellben*

Eljárások/paraméterek/modulok	Alrétegek	Rétegek
rendszerellenőrzés		megjelenítési és alkalmazási réteg
kiértékelés		
frekvenciamenedzsment		szállítási és viszony-réteg
csatornaellenőrzés		
forgalomszabályozás		hálózati réteg
protokollmenedzsment		
terminálok összekapcsolása, hívásfelépítés		
útválasztás		
újratervezés		
ALE-protokoll	ALE-alréteg	adatkapcsolati réteg
ALE-szavak/dekódolás		
az összeköttetés minőségének az ellenőrzése (LQA <sup>1</sup> )		
kódolás/dekódolás	védelmi alréteg	
deinterleaving <sup>2</sup>	hibajavító alréteg	
előreirányuló hibajavítás (FEC <sup>3</sup> )		
modem		fizikai réteg
ARQ		
hibajavító kódok		
terjedési sajátosságok		
adó/vevő		
adatsebesség		
frekvencia		
hullámforma		
teljesítmény		
antenna		

<sup>1</sup> Link Quality Analysis; <sup>2</sup> Az eredeti bitsorrend visszaállítása; <sup>3</sup> Forward Error Correction.

Forrás: *A MIL-STD-188-141B 7. oldalán lévő táblázat alapján szerkesztették a szerzők*

A folytonos periodikus jelek (pl. szinuszhullám) átvinni kívánt információval történő modulálása teszi lehetővé, hogy a vételt követően a kisugárzott jel torzulása ellenére is visszaállítható legyen az eredeti adatsor. A torzulást a jelhez a szabadtéri terjedés során a „zsúfolt” elektromágneses környezetben hozzáadódó, pillanatról pillanatra változó, általában csak sztochasztikus módszerekkel leírható természetes és mesterséges eredetű zajok, zava-

rok, interferenciák okozzák. A rövidhullámú tartományban kialakított csatornák minősége – az előző részben összefoglalt jelenségek következtében – jelentősen függ a meteorológiai tényezőktől és a naptevékenységtől, illetve rövid időn belül is jelentősen megváltozhat, aminek következtében az adott frekvencián kisugárzott információ bizonyos időszakokban olyan mértékben torzulhat, hogy a vevő már nem lesz képes azt feldolgozni, visszaállítani. Ennek kiküszöbölésére születtek a már említett digitális eljárások, melyekből a 3G ALE a következőket alkalmazza.<sup>29</sup>

A szinkron adatátvitel lehetővé teszi az adó és a vevő „együtt futását”, így csökken a hibás vétel valószínűsége, nő az átvitel megbízhatósága. A szinkronizálás során az adó meghatározott időközönként előre definiált szimbólumsorozatot sugároz ki, amelyhez a vevő be tudja állítani a megfelelő időzítést, és mindig tudni fogja, mikor érkezik hozzá üzenet.<sup>30</sup>

A 3G ALE úgynevezett „csomós” hullámformákat (BW<sup>31</sup>) használ, melyek nyolccállapotú fázisbillyentyűzés (PSK<sup>32</sup>) – moduláció – eredményeként keletkeznek. A vivő 1800 Hz, míg a szimbólumsebesség 2400 Bd/s. Ilyen hullámformák használata esetén a rádió nem folytonos rádiófrekvenciás jelet sugároz ki, hanem meghatározott hosszúságú bitsoporton elvégzett jelfeldolgozást követően, azokat egy-egy csomag (burst) formájában továbbítja, és a csomagok között nem foglalja a csatornát. A különböző típusú csomagok a bitjeiken végzett műveletekben (pl. hibajavító kódolás, időzítések) eltérnek egymástól. A BW0 szolgál az információ bits átvitelére, a BW1 a forgalomszabályozást és a kapcsolat-helyreállítást végzi, míg a BW1, BW2, BW3, BW4 hullámformáknak az ARQ támogatásában van szerepük.<sup>33</sup> A 3G ALE spektrumképe az 1. ábrán látható.

Egy burst 613,33 ms időtartamig (1472 PSK-szimbólum) tart és 24 bites keretből áll (három fejléc, 21 adat), míg a szinkronizálást szolgáló keretek fejléce 160 ms (384 PSK-szimbólum) hosszú.<sup>34</sup>

Az 1. ábrán látható 3 kHz-es sávzélességű csatorna – jel-zaj viszonytól (SNR<sup>35</sup>) függően – 3600–9600 bit/s sebességű adatátvitelre képes, amely két csatorna használatával maximálisan 19 200 bit/s-ig növelhető.<sup>36</sup>

A 3G ALE BW0 hullámforma esetén – 9 dB-es jel-zaj viszony mellett 50% valószínűséggel, míg – 6 dB-es jel-zaj viszony mellett már 95% valószínűséggel képes a szinkron adatátvitelre,<sup>37</sup> azaz a vevő 100-ból átlagosan csak 5 burstot nem tud feldolgozni. Az értékek additív normál eloszlású fehér zajra értendőek (AWGN<sup>38</sup>). Összehasonlításképpen: az analóg rendszerekben a gyenge minőségű beszédérthetőséghez<sup>39</sup> 7 dB-es, a jó minőségű beszédérthetőséghez<sup>40</sup> 15 dB-es jel-zaj viszony értékekre van szükség.<sup>41</sup> Ez azt jelenti, hogy az analóg

<sup>29</sup> Radio Communications In the Digital Age, 40–44.

<sup>30</sup> Uo.

<sup>31</sup> Burst Waveform.

<sup>32</sup> Phase Shift Keying.

<sup>33</sup> ITU Handbook, 30.

<sup>34</sup> Roland Proesch: Technical Handbook for Radio Monitoring HF. Norderstedt, 2013, 139. <http://www.frequencymanager.de/TH/files/KurzfassungTechnicalHandbookHF2013E.pdf> (Letöltés időpontja: 2016. 02. 28.)

<sup>35</sup> Signal-Noise Ratio.

<sup>36</sup> Radio Communications In the Digital Age, 44.

<sup>37</sup> MIL-STD-188-141B, 280.

<sup>38</sup> Additive White Gaussian Noise.

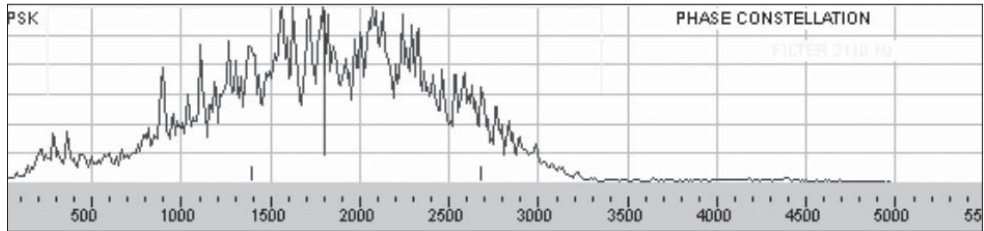
<sup>39</sup> ITU-R F.250-2 Poor.

<sup>40</sup> ITU-R F.250-2 Good.

<sup>41</sup> Radio Communications In the Digital Age, 56.



rendszerben a gyenge beszédérthetőséghez a vevő bemenetén a hasznos jel teljesítményének legalább ötször akkorának kell lennie, mint a zajnak, míg 3G ALE esetében a vevő bemenetén a 95%-os átvitelhez szükséges  $-6$  dB-es jel-zaj viszony esetén négyszeres zajszint mellett is létrehozható az összeköttetés. Ez azt eredményezi, hogy a 3G ALE funkció rendkívül kedvezőtlen elektromágneses környezetben, akár az ellenség elektronikai ellentevékenysége (pl. zavarás) mellett is képes adatkommunikáció lebonyolítására.



1. ábra A 3G ALE spektrumképe

Forrás: Roland Proesch: *Technical Handbook for Radio Monitoring HF*. Norderstedt, 2013, 139. <http://www.frequencymanager.de/TH/files/KurzfassungTechnicalHandbookHF2013E.pdf> (Letöltés időpontja: 2016. 02. 28.)

Mint a fentiekből látható, az ilyen üzemmódban működő eszközök képesek akár a zajszint alatt is kommunikálni, amelyhez komoly hibajelző, hibajavító és más digitális jelfeldolgozó algoritmusokra van szükség. Ez ugyan jelentős redundanciát okoz az adatfolyamban, ugyanakkor ez teszi lehetővé robusztus csatornák kialakítását. Más rádiófrekvenciás rendszerekhez hasonlóan a 3G ALE is előreirányuló hibajavítást (FEC) alkalmaz, amely nem igényel visszacsatolást, azaz nem terheli a csatornát visszafelé irányuló adatforgalommal. A vezeték nélküli összeköttetéseket veszélyeztető impulzusszerű zavarok, a fading jelenségek az átvitt adatfolyamban csomós hibát okozhatnak, azaz egymás mellett egyidejűleg több bit is sérül, amelyek javítása már nem lehetséges. Ennek megelőzésére különböző bitkeverési technikákat alkalmaznak, melyek közül a 3G ALE a bitátszövés (interleaving) módszerével biztosítja, hogy a vevőben a visszaalakítást követően a hibás bitek egymástól a lehető legtávolabb kerüljenek, ezáltal biztosítva a hibajavítás lehetőségét.<sup>42</sup>

A hibajavításban nagy szerepet játszik a lágy döntésemes dekódolás<sup>43</sup> és az automatikus csatornaki egyenlítés.<sup>44</sup> Lényegük, hogy a detektált hibák alapján különböző matematikai algoritmusok segítségével megkísérlik „megbecsülni” az eredeti információt.<sup>45</sup>

A korszerű rövidhullámú rádiók az ALE-protokollnak köszönhetően a beprogramozott frekvenciakészletről automatikusan választják ki a legjobbat, és ezen alakítják ki a kommunikációs csatornát. Ennek alapja egy csatornavizsgálati módszer, melynek során az ALE a mérési eredmények tükrében folyamatosan osztályozza, tárolja és frissíti az üzemi frekvenciák minőségi paramétereit, hogy ezek alapján ki tudja választani a legjobbat.

„Adaptív rövidhullámú rádiórendszernek nevezzük azokat a kommunikációs rendszereket, amelyek képesek érzékelni a kommunikációs környezetüket, és amennyiben szükséges, automatikusan beállítják a csatornákat.”<sup>46</sup> A definícióból következik, hogy az ALE-üzemű

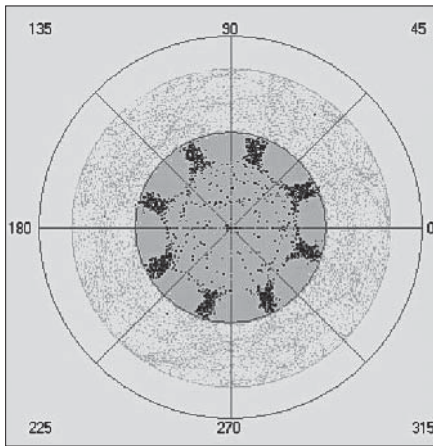
<sup>42</sup> Andrew Tanenbaum: Számítógép-hálózatok. Panem Könyvek, Budapest, 2013.

<sup>43</sup> Soft-decision decoding.

<sup>44</sup> Automatic Channel Equalisation.

<sup>45</sup> Radio communications In the Digital Age, 46.

<sup>46</sup> ITU Handbook, 23.



2. ábra A 8PSK jel fáziskonstellációja

Forrás: Roland Proesch: i. m. 139.

rövidhullámú rádiók is adaptív rádiórendszerek, amelyek valós idejű csatornakiértékelést (RTCE<sup>47</sup>) végeznek. Az RTCE definíciója a következő: „A valós idejű csatornakiértékelés olyan folyamatok összessége, ahol valós idejű mérések kvantitatív eredményeinek összevetése során osztályozzák a csatornákat.”<sup>48</sup> A rádióba előre beprogramozott frekvenciákat a szoftver folyamatosan kiértékeli, majd egy mátrixban összesíti az eredményeket, amelyre egy példa a 2. táblázatban látható. Az automatikus csatornaválasztó (ACS<sup>49</sup>) ez alapján jelöli ki az optimális csatornát. Ez a folyamat az ALE-ban használt összeköttetés minőségellenőrzésének (LQA) az alapja.

2. táblázat Az összeköttetés minőségi ellenőrzésének a mátrixa

Rádióállomások címei	Csatornák				
	01	02	04	14	18
GB10	60	33	12	81	23
GB11	10	–	48	86	21
Z0FG	–	–	29	52	63
FIRE01	21	00	00	45	–

Forrás: *Radio Communications In the Digital Age, Vol. 1 HF technology. Harris, Edition 2, 2005, 50.* <http://www.trngcmd.marines.mil/Portals/207/Docs/TBS/Radio%20Communications%20HF%20VOL%201.pdf?ver=2016-01-08-142229-323> (Letöltés időpontja: 2016. 08. 01.)

A rendszer képes pont-pont és pont-multipont összeköttetéseket is létrehozni. A pont-pont összeköttetés hasonlóan működik, mint a telefonhívás, azaz az egyedi címek alapján a rádiók képesek hívást kezdeményezni rádióforgalmi rendszeren belül. Pont-multipont – vagy multicasting – esetén az adó által küldött adatsomagok egyidejűleg minden, a rádióhálóban található tagállomáshoz megérkeznek. Amikor egy terminál éppen nem forgalmaz, a vevők akkor is állandó készenlében vannak, vizsgálják a frekvenciakészletet, és figyelik

<sup>47</sup> Real-Time Channel Evaluation.

<sup>48</sup> ITU Handbook, 23.

<sup>49</sup> Automatic Channel Selection.

a hívásokat.<sup>50</sup> A 3G ALE-üzemmódban egyidejűleg vagy adat-, vagy beszédkommunikációra van lehetőség, míg a 3G+ mindkét forgalmazást párhuzamosan is támogatja.

Híváskezdeményezés során a hívó fél kiválasztja az ellenállomás címét, majd a rádió az LQA-mátrixból kiválasztja az optimális frekvenciát, és üzenetet küld az ellenállomásnak, hogy ezen vegyék fel egymással a kapcsolatot. A másik rádió a szkennelés során megkapja ezt az üzenetet, és a kiválasztott frekvencián felépül az összeköttetés (handshaking). A 2. táblázat példája szerint a GB10 és a GB11 állomások a 14-es, a legmagasabb pontértékű csatornán veszik fel egymással a kapcsolatot. A hívásbontás tényéről a kommunikáló terminálok tájékoztató üzeneteket küldenek szét a többi tagállomásnak, melynek hatására minden állomás visszatér a szkenneléshez. Ha az összeköttetés nem jön létre az elsődleges (legjobb) frekvencián (pl. foglaltság esetén), akkor a hívást kezdeményező rádió a második, majd harmadik stb. legjobb frekvencián próbálkozik újra. Az állomások közötti LQA-értékek megosztására két módszer lehetséges: a „csere” (exchange) és a „szórás” (sound). Előbbinél az egymással gyakori forgalmat bonyolító két rádió megosztja egymással a paramétert, azaz az információáramlás kétirányú, míg utóbbinál egy broadcasting jellegű (egyirányú) átvitelről beszélhetünk.<sup>51</sup>

A harmadik generációs protokoll egyik nagy előnye a második generációs ALE-rendszerekkel szemben, hogy a hívások felépülési ideje csaknem felére csökkent, ami alapvetően a szinkron adatkommunikációnak köszönhető. A második generációs rendszerekben az információk cseréjéhez alkalmazott amerikai szabványos kódok (ASCII<sup>52</sup>) 7 bites karakterei start-, stop- és paritásbitekkel kerülnek kiegészítésre. Szinkronátvitel esetén start- és stopbitekre nincs szükség, de az időszinkronra vonatkozó kritériumok szigorúak.<sup>53</sup>

A második és a harmadik generációs ALE-rendszerek egyaránt rendelkeznek adatkapcsolati védelemmel (LP<sup>54</sup>). Ez nem tartozik sem a kommunikációs biztonság (COMSEC<sup>55</sup>), sem az átviteli biztonság (TRANSEC<sup>56</sup>) eljárásai közé, hanem alapvetően félrevezetés elleni (anti-spoofing) technika, a rádióállomások címének a védelmét biztosítja. A rádiók a korábban említett 24 bites keretekben/szavakban (ALE-words) kommunikálnak, mint például: „TO”, „THIS IS”, REPEAT”, „THRU” stb. Mivel rövidhullámú sávban általában nagy távolságú összeköttetésekről beszélünk, a nagy terjedési idők miatt az ellenség ezeket az ALE-szavakat könnyen rögzítheti, majd harmadik adóként bekapcsolódva a kommunikációba parancsként visszajátszhatja ezeket (pl. „térj vissza a szkennelésre”). Ilyen és ehhez hasonló módszerekkel olyan mértékben meg lehet zavarni a hírváltást, hogy az akár a kommunikáció teljes blokkolásához vezethet. További veszélyt jelenthet, ha a „kalózkodó” a visszajátszás során megszemélyesít egy már létező tagállomást. Ezeknek az anomáliáknak a kivédésére a rendszer periodikusan változó titkosító kulcsokat alkalmaz. A titkosítás lényege, hogy az információs biteket tartalmazó 24 bites ALE-szavakon túl további szavakat adnak az adatfolyamhoz, amely magát a titkosítást tartalmazza. A védelem mértékétől függően AL0–AL4 szinteket különböztetünk meg, ahol a legalacsonyabb szinten (AL0) 60 másodpercenként,

<sup>50</sup> Radio Communications In the Digital Age, 49.

<sup>51</sup> Uo.

<sup>52</sup> American Standard Code for Information Interchange.

<sup>53</sup> Radio Communications In the Digital Age, 52.

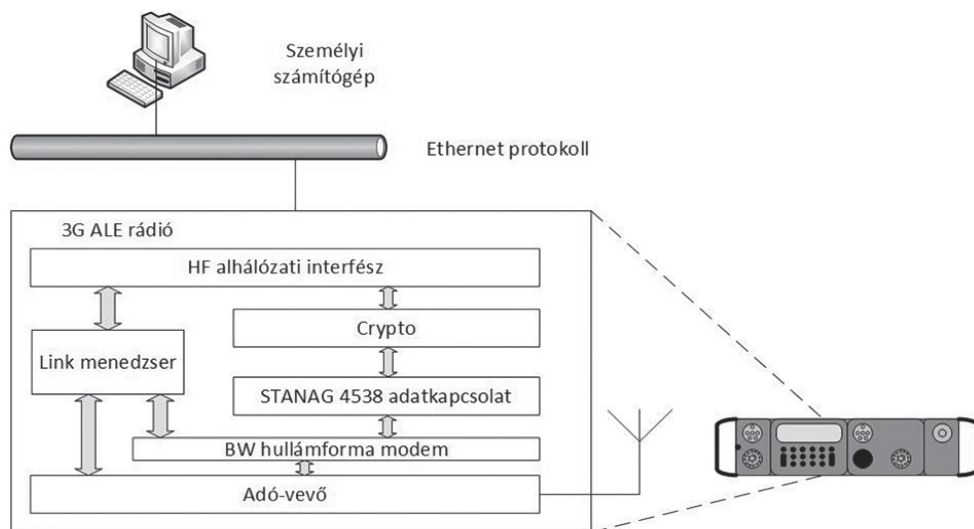
<sup>54</sup> Link Protection.

<sup>55</sup> Communication Security.

<sup>56</sup> Transmission Security.

a legmagasabban (AL4) pedig már minden másodpercben történik kulcsváltás SoDark-3, illetve SoDark-6 algoritmusok alapján.<sup>57</sup>

A rövidhullámú rádiók segítségével kialakított adatkommunikációs csatornán keresztül képesek vagyunk a rádióhoz csatlakoztatott számítógépen futtatott alkalmazások által szolgáltatott információkat továbbítani, rövid szöveges üzeneteket váltani, chatelni, e-maileket küldeni, harchelyzetismereti információkat megosztani és alap IP-forgalmat<sup>58</sup> lebonyolítani. A 3G ALE-rádió funkcionális felépítése a 3. ábrán látható.



3. ábra Egy harmadik generációs ALE-rádió blokkdiagramja

Forrás: *A Radio Communications In the Digital Age... kiadvány alapján szerkesztették a szerzők*

Alapesetben egy normál e-mail elküldéséhez legalább 17 linkre lenne szükség, de az itt használt SMTP<sup>59</sup> protokoll egyetlen fájlba sűríti a szükséges információkat, így elegendő három link is a szűkös HF-csatornán. Az ALE-üzemmódok adatkommunikációs megoldásait NATO-szabványok (STANAG<sup>60</sup> 5066 és 4538) determinálják. Adatátvitel során a felhasználó (vagy alkalmazás) által előállított és továbbítani kívánt információt egy számítógépes szoftver olyan formába konvertálja, amelyet a rádió interfésze fogadni képes. Ezt követően a korábban ismertetett eljárásokkal a rádió az adatfolyamot csomagok formájában kisugározza. A vevő minden megérkezett csomag után visszaigazolást küld, hibás vétel esetén pedig újrakéri az adást. Ez az ARQ lényege. A vevő a beérkező csomagokból visszaállított adatsort az SMTP vagy más protokollok (pl. HDL,<sup>61</sup> HDL+, LDL,<sup>62</sup> összefoglaló néven xDL) segítségével visszaalakítja a számítógép számára feldolgozható formátumúvá. Ebben a rendszerben a rádiók „hídként” (bridge) funkcionálnak. Az IP-címek alapján hálózatba szervezett számítógépek

<sup>57</sup> MIL-STD-188-141B, 231–263.

<sup>58</sup> Internet Protocol.

<sup>59</sup> Simple Mail Transfer Protocol.

<sup>60</sup> STANdardization AGreement for procedures and systems and equipment components.

<sup>61</sup> High Throughput Data Link Protocol – nagy átviteli képességű adatkapcsolati protokoll.

<sup>62</sup> Low-Latency Data Link Protocol – alacsony késleltetésű adatkapcsolati protokoll.

adatátvitelre az ALE-hálóba szervezett rádiókat használják. Ezeket a magasabb szintű címekeket a rendszer lefordítja ún. 3G ALE-protokoll adategységekké (PDU<sup>63</sup>), melyek 11 bites bináris kódok. Az első 5 bit a szkennelési csoport számát, a maradék 6 bit az állomás számát jelenti. Ez az oka annak, hogy egy csoportban egyidejűleg maximum 60 tagállomás működhet.

3G ALE-üzemmódban az egy forgalmi csoportban (dwell group) lévő rádiók szinkronban szkennelik az üzemi frekvenciákat. A beépített időszerver a globális helymeghatározó rendszerből (GPS<sup>64</sup>) olvassa ki a szinkronhoz szükséges hálódíót. Amikor az egyik tagállomás adni kíván, az LQA mátrixa alapján kiválasztott ideális csatornán elküldi a megfelelő ALE-üzenetet az ellenállomásnak. Amikor a csoportban szinkronban szkennelő rádiók a kiválasztott frekvenciához érnek, veszik az üzenetet, majd a hívásfelépítéshez (FLSU<sup>65</sup>) szükséges ALE-keretek cseréje után megtörténik az információt tartalmazó adatsomagok küldése. Az ARQ-nak megfelelően minden egyes csomag után megtörténik a visszaigazolás.<sup>66</sup>

Normál esetben egy dwell periódusa 5,4 s, amely hat időrésre (slot) osztható fel, ezek egyenként 900 ms hosszúságúak.<sup>67</sup> A Slot0 tartalmaz egy felvezetési, úgynevezett puffer időszakot, ahol a nagyobb távolságokból eredő esetleges késéseket lehet kompenzálni, továbbá egy csatorna-behallgatási időszakot, ahol a vevők a csatorna forgalmát detektálják. A Slot1-et kizárólag hívásokra használják, míg a Slot2–4-et hívásokra és válaszokra egyaránt. Az utolsó slotot az egyéb rendszerüzenetek számára tartják fent. Célszerű megemlíteni, hogy minden slot 87 ms-ot tartalékol a terjedési anomáliákból eredő késések, illetve 200 ms-ot a szinkronizálás devianciájának a kompenzálására.<sup>68</sup>

A COMSEC oldaláról hatékony megoldásnak bizonyul a „black side ARQ” titkosítási protokoll. Lényege, hogy az alacsony sáv szélesség miatt az adatsomagokat egyben titkosítja, majd a titkosított csoportokat felbontva továbbítja. Így kevesebb redundanciát generál, mert nem kell egyesével, minden csomagot külön kulcsokkal ellátni, majd azokat visszafejteni, és ehhez külön hibajavító eljárást alkalmazni.<sup>69</sup>

A 3G ALE egy valóban rendkívül komplex megoldás, amely a lehetőségekhez (sáv szélességhez) képest nagy adatátviteli sebességet biztosít rossz terjedési viszonyok között is, és adott esetben az elektronikai ellentétekenységnek is képes ellenállni. A különböző protokollok révén a rövidhullámú rádiókat számítógépekhez és átjárókon (gateway) keresztül TCP<sup>70</sup>/IP-alapú számítógépes hálózatokhoz is csatlakozhatjuk. Ezek a tulajdonságok az ilyen képességgel ellátott eszközöket alkalmassá teszik arra, hogy az erőkövetési rendszerek adatait nagy megbízhatósággal továbbítsák 3G+ üzemmódban a beszédforgalmazás zavarása nélkül.

A NATO-tagországok és más szövetséges államok haderőiben ezt a technológiát széleskörűen használják. Egyes becslések alapján több mint egymillió ALE-képes rádió üzemelt<sup>71</sup> az ezredfordulón, és a folyamatos fejlesztéseknek, generációváltásoknak köszönhetően ez a szám mára megsokszorozódott. A piacon a Harris cég által gyártott eszközök jelentős részesedéssel rendelkeznek. A Magyar Honvédségben mostanáig ilyen eszközökkel elsősorban különleges műveleti alegységeket szereltek fel.

<sup>63</sup> Protocol Data Unit.

<sup>64</sup> Global Positioning System.

<sup>65</sup> Fast Link SetUp.

<sup>66</sup> Radio Communications In the Digital Age, 59–66.

<sup>67</sup> ITU Handbook, 32–35.

<sup>68</sup> Uo.

<sup>69</sup> Radio Communications In the Digital Age, 67.

<sup>70</sup> Transmission Control Protocol – átvitelvezérlő eljárás.

<sup>71</sup> ITU Handbook, 2–3.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A közleményben a rövidhullámú frekvenciatartományban létrehozott összeköttetések minőségét jelentősen befolyásoló környezeti hatásokat és hullámterjedési sajátosságokat mutattuk be, valamint az ilyen speciális körülmények között is megbízható és stabil adatsatorna biztosítására képes üzemmód vizsgálatát végeztük el. Célunk annak megállapítása volt, hogy az ALE-protokoll szerint üzemelő rádióeszközök alkalmasak-e az erőkövetési rendszerek és azok helymeghatározó moduljai által generált adatok gyors, periodikus és megbízható továbbítására a műveleteket vezető parancsnokok és törzsek számára a harchelyzetkép kvázi valós idejű megjeleníthetősége érdekében. Megállapíthatjuk, hogy a harmadik generációs ALE-üzemmód olyan komplex digitális jelfeldolgozási eljárásrendszert használ, amely instabil terjedési viszonyok mellett, rádiófrekvenciás szempontból erősen szennyezett környezetben vagy szándékos zavarás esetén is stabil összeköttetést képes fenntartani, folyamatosan biztosítva az erőkövető rendszerek működéséhez szükséges sávzélességet. Többnemzeti műveletekben ezek az előnyös tulajdonságok azonban csak akkor használhatók ki hatékonyan, ha az egyes nemzetek által az adatok továbbítására használt eszközök között az interoperabilitás fennáll. Ez a feltétel legegyszerűbben egységes szabvány szerinti üzemmód alkalmazásával biztosítható.

A kutatás az Emberi Erőforrások Minisztériumának Nemzeti Tehetség Program, Nemzeti Fiatal Tehetségeiért Ösztöndíj pályázat (NTP-NFTÖ-16) keretében valósult meg.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- Barclay, Les (szerk.): *ITU Handbook: Frequency-adaptive communication systems and networks in the MF/HF bands*. International Telecommunication Union Radiocommunication Bureau, Genova, 2002. [http://hfink.com/itu/ITU\\_ALE\\_Handbook.pdf](http://hfink.com/itu/ITU_ALE_Handbook.pdf)
- Gulyás Attila: *Force Tracking System in SOF applications*. AARMS 2009 Vol. 8 Issue 4. ISSN 2064-0021, <http://193.224.76.3/aarms/docs/Volume8/Issue4/pdf/08.pdf>
- Haig Zsolt – Kovács László – Ványa László – Vass Sándor: *Elektronikai hadviselés*. Jegyzet, Nemzeti Közzolgálati Egyetem, 2014. ISBN 978-615-5305-87-0
- Dr. Istvánffy Edvin: *Tápvonalak, antennák, hullámterjedés*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1967.
- ITU-R F.250-2, International Telecommunication Union Radiofrequency Recommendation.
- MIL-STD-188-141B szabvány, USA Department of Defense. [http://hfink.com/standards/ALE\\_standard\\_188\\_141B.pdf](http://hfink.com/standards/ALE_standard_188_141B.pdf)
- Proesch, Roland: *Technical Handbook for Radio Monitoring HF*. Norderstedt, Németország, 2013. ISBN 9783732241422. <http://www.frequencymanager.de/TH/files/KurzfassungTechnicalHandbookHF2013E.pdf>
- Radio Communication In the Digital Age, Vol. 1 HF technology, Edition 2, Harris Co. USA, 2005. USA Kongresszusi Könyvtári szám: 96-94476. <http://www.trngcmd.marines.mil/Portals/207/Docs/TBS/Radio%20Communications%20HF%20VOL%201.pdf?ver=2016-01-08-142229-323>
- Rothammel, Karl: *Antennakönyv*. Műszaki Kiadó, 1977. HU ISBN 963-10-2060-6.
- STANAG 4538.
- STANAG 5066.
- Szenes Zoltán: *Új bor a régi palackban? A walesi NATO-csúcs*. Hadtudomány, XXIV. évfolyam, 3–4. szám, 2014. december, ISSN 1215-4121. [http://mhtt.eu/hadtudomany/2014/3\\_4/2014\\_3\\_4\\_1.pdf](http://mhtt.eu/hadtudomany/2014/3_4/2014_3_4_1.pdf)
- Tanenbaum, Andrew: *Számítógép-hálózatok*. Panem Könyvek, Budapest, 2013. <http://www.inf.unideb.hu/valseg/gybitt/szamhal/ch03s02.html>