

Kovács Zoltán<sup>1</sup>  – Ember István<sup>2</sup> 

# Aknafelderítés légi eszközökkel

## Landmine Detection with Aerial Vehicles

*A háborúk és különböző fegyveres konfliktusok során a szemben álló felek gyakran hoztak létre harckocsik és gyalogság elleni aknamezőket. Az ottawai egyezményt elfogadó országok ugyan lemondtak a gyalogság elleni aknák jövőbeni alkalmazásáról, a korábban telepített aknák azonban még napjainkban is nagy számban rejtőzködnek a talaj felszíne alatt, és szedik áldozataikat. Az aknák, valamint a többi veszélyes robbanószerkezet biztonságos felderítése, a telepítési helyük minél pontosabb meghatározása sok esetben különleges eszközök felhasználását igényli. A szerzők bemutatják az aknák levegőből történő felkutatására alkalmazható egyes légi eszközöket és ezek néhány speciális felderítő berendezését.*

**Kulcsszavak:** aknafelderítés, aknamező, gyalogsági akna, légi eszköz, drón

*The opposing forces often laid antitank or antipersonnel minefields during wars and other armed conflicts. Although the countries that have adopted the Ottawa Convention have abandoned the future use of antipersonnel landmines, the mines that were previously installed are still hiding in large numbers under the surface of the soil and are taking their toll. Safe detection of mines, other dangerous explosive devices and the precise determination of their location sometimes require specific equipment. The authors introduce certain aerial vehicles that can be used to search for mines from the air and some of their special reconnaissance equipment.*

**Keywords:** mine detection, minefield, antipersonnel mine, aerial vehicle, drone

---

<sup>1</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem, egyetemi docens, e-mail: [kovacs.zoltan@uni-nke.hu](mailto:kovacs.zoltan@uni-nke.hu)

<sup>2</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem, tanársegéd, e-mail: [ember.istvan@uni-nke.hu](mailto:ember.istvan@uni-nke.hu)

## 1. Bevezetés

A korábbi háborúk és fegyveres konfliktusok színterein a föld alatt rejtőzködő aknák és hátramaradt robbanó harcanyagok (ERW-k)<sup>3</sup> a konfliktusok után még évtizedekkel is szedik áldozataikat. Az aknák hadi alkalmazásának megállítása és azok kivonása érdekében tevékenykedő Nemzetközi Kampány a Szárazföldi Aknák Betiltásáért<sup>4</sup> nevű szervezet 1999 óta minden év novemberében összeállítja éves beszámolóját a világ aktuális aknahelyzetéről. A 2020-ban kiadott jelentés<sup>5</sup> adatai szerint 2019-ben a világ 50 országában összesen 5554 ember vesztette életét vagy szenvedett sérülést az aknák és az ERW-k robbanása miatt (2170 halott, 3357 sebesült, 27 fő további sorsa nem ismert). Az áldozatok több mint 80%-a civil személy volt (4466 fő), de az aknamentesítési feladatot végrehajtók (23 fő), illetve reguláris katonák és rendvédelmi személyek (944 fő) is szenvedő alanyai voltak a robbanásoknak (közülük 121 fő hovatarozása nem ismert). Talán még megdöbbentőbb, hogy 1562 fő gyerek volt az áldozatok között (580 elhunyt, 979 sérült, 3 fő további sorsa nem ismert).

Éppen ezért nagyon fontos feladat, hogy a rejtőzködő robbanószerkezeteket, különösen a gyalogság elleni aknákat minél előbb felderítsük, a volt hadszínterek területét pedig újból biztonságossá tegyük. A különböző nemzetközi szervezetek és a kormányzati szervek hatalmas erőfeszítéseket tesznek ennek érdekében, azonban az aknafelderítés és -hatástalanítás rendkívül lassú ütemben halad, az előtalált aknák mennyisége pedig minden évben igen jelentős. 2019-ben 123 375 megtalált aknát hatástalanítottak.<sup>6</sup>

## 2. Aknák és egyéb robbanószerkezetek

Az aknák<sup>7</sup> előregyártott robbanószerkezetek, amelyek a rendeltetésüket tekintve lehetnek harcokcs (harcjármű) elleni, gyalogság elleni, deszant, valamint helikopter elleni aknák. Az aknafelderítés és területmentesítés során a leggyakrabban az első két fajtával lehet találkozni, így most csak ezek rövid bemutatására szorítkozunk.

A *harcokcs vagy harcjármű elleni aknák* a járművet különböző irányból támadva, annak futóművét (lánctalp, kerék), erőforrását vagy a fegyverzetét rombolják, illetve a páncélzatot átütve a kezelőszemélyzetet teszik harcképtelenné.

A lánctalp vagy futómű elleni aknák csak 200–300 kg tömeg nyomására (ráhajt a jármű) működnek, és a futóművet megrongálva mozgásképtelenné – de nem feltétlenül harcképtelenné – teszik a járműveket. Az alakjuk és méretük nagyon széles skálán mozog: a hagyományos

<sup>3</sup> Az angol rövidítés (ERW) feloldása: *Explosive Remnants of War*. Idetartoznak a fel nem robbant bombák, löszerek, rakéták, gránátok stb. (*Unexploded Ordnance, UXO*) és a hátrahagyott harcanyagok (*Abandoned Explosive Ordnance, AXO*).

<sup>4</sup> Angolul *International Campaign to Ban Landmines* (ICBL). Az ICBL 2011-ben összeolvadt a Kazettásbomba-ellenes Szövetséggel (*Cluster Munition Coalition, CMC*).

<sup>5</sup> ICBL–CMC Landmine Monitor 2020.

<sup>6</sup> Landmine Monitor (2020): i. m. 53.

<sup>7</sup> Aknák alatt ebben a közleményben csak a szárazföldi telepítésű aknákat (angolul *landmines*) értjük.

telepítésű aknák henger vagy téglatest alakúak, míg a szórással telepíthető akna<sup>8</sup> általában negyed- vagy félhasábformájú.

A haspáncél elleni aknák általában kúpszerű, kumulatív kiképzésű töltettel rendelkeznek, amely úgy van kialakítva, hogy a robbanás hatása az akna fölött elhelyezkedő páncélt átüsse.<sup>9</sup> Méretük és tömegük hasonló a lánctalp elleni aknáéhoz, a telepített akna pedig a harcokcsi/harcjármű teljes szélessége alatt működőképes. A régebbi típusai döntőpálcás, az újabbak már közelségi (például a mágneses erőtérváltozásra működő) aknagújtóval rendelkeznek.

Az oldal elleni aknák már a harcokcsik oldalpáncélzatát rombolják,<sup>10</sup> az előfordulásukra utak mentén, lakott területek utcáin, hidaknál és egyéb szűk helyeken lehet számítani. Egyik csoportjuk akár egy páncéltörő rakéta, a páncélzat felületén a kumulatív hatás következtében kialakult *jet*<sup>11</sup> átütő erejével, míg a másik csoportjuk egy vastagabb kumulatív bélésből több tíz méter távolságban kialakult, a hagyományos kumulatív tölteténél lényegesen alacsonyabb sebességű (kb. 2000 m/s), úgynevezett „robbanással formált lövedékkel” (EFP)<sup>12</sup> pusztítja a céltárgyat.

A torony elleni, úgynevezett területvédő akna<sup>13</sup> az elmúlt évtizedek fejlesztőmunkájának eredménye. Különböző érzékeny szenzorokkal (akusztikai, rezgés- vagy infravörös érzékelőkkel) vannak ellátva, amelyek lehetővé teszik, hogy a célokat nagy távolságról (akár 500–600 méter) érzékeljék, majd azokat az aknától már 70–100 méter távolságra elpusztítsák vagy harcképtelenné tegyék. Általában parancsindítással hozhatók működésbe, illetve a távvezérlő berendezés segítségével ki/bekapcsolhatók. A segéd töltet által kilőtt harci részegységük magas hatóerejű robbanóanyagot tartalmaz, amely az elé helyezett fémbetétből létrehozza a jármű páncélzatát átütő, robbanással formált lövedéket.

A *gyalogság elleni aknák* alaprendeltetése az ellenség személyi állományának pusztítása vagy harcképtelenné tétele, amit kétféleképpen érhet el: az aknában elhelyezett robbanótöltet robbanásával vagy pedig a szétrepülő anyagrészek által okozott repeszhatással.

A nyomásra működő romboló hatású akna (közismert nevén: taposóakna) már az 5–10 kg nagyságú ránehezdedő tömeg hatására működésbe lép („elműködik”), s a benne elhelyezett 50–300 gramm brizáns robbanóanyag sok esetben nem okoz halálos sebet, csak súlyos sérülést a rálépő személynek. A taposóaknák többsége hengeres alakú, az átmérőjük 5–15 cm,

<sup>8</sup> „A szárazföldi aknaharcban alkalmazott olyan akna, amelyet nem hagyományos módon, egy meghatározott rendszerben telepítenek, hanem repülőgéppel, tüzérségi eszközzel, erre a célra szerkesztett rakétával vagy földi aknaszóró berendezéssel, esetleg kézzel juttatnak a célterületre. Az akna a talaj felszínén helyezkedik el, az integrált önsemllegesítő vagy önhatástalanító mechanizmusa miatt a telepítés utáni élettartama rendszerint korlátozott, néhány órától néhány napig terjed.” Kovács Zoltán: Szórással telepített akna. In Krajnc Zoltán (szerk.): *Hadtudományi Lexikon. Új kötet*. Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó, 2020. 1031.

<sup>9</sup> A kumulatív hatás minél teljesebb mértékű érvényesülése érdekében a fő töltet robbanása előtt egy kisebb segéd töltet ledobja a kumulatív üreg felett lévő aknafedelet és vele együtt az álcázó talajréteget, így a fő töltet robbanásakor keletkező kumulatív sugár akadálytalanul és közvetlenül fejtheti ki hatását a haspáncélna.

<sup>10</sup> Lásd még Kovács Zoltán: Oldal elleni aknák. *Haditechnika*, 34. (2001), 4. 36–42.

<sup>11</sup> A robbanás irányított hatása következtében a töltet fémbetétjéből kialakuló plazma, amely több tíz km/s sebességgel becsapódva a céltárgyba, akár 100 ezer atmoszférás nyomással áthatol rajta.

<sup>12</sup> Az angol rövidítés (EFP) feloldása: *Explosively Formed Projectile/Penetrator*. Lásd még Lukács László: A robbanás irányított hatása: a Munroe-effektus és Misnay–Scharadin-effektus a katonai gyakorlatban. *Bolyai Szemle*, 13. (2004), Különszám. 1–13.

<sup>13</sup> Lásd még Kovács Zoltán: Területvédelem aknával. *Műszaki Katonai Közlöny*, 12. (2002), 1–2. 69–77.

magasságuk pedig 5–10 cm között változik. Telepíthetők kézi erővel vagy gépekkel, meghatározott rendszerben a talaj felszíne fölé vagy kis mélységben a felszín alá. Az alábbi ábrán látható jugoszláv gyártású PMA-2 típus az egyik legkisebb taposóakna: átmérője 68 mm, magassága pedig 61 mm és mindössze 100 g tömegű robbanóanyagot tartalmaz. A taposóaknákat tekinthetjük az aknák közül a legnagyobb veszélyforrásnak, mivel kis méretük és a felszín alá történő telepítésük miatt a legnehezebben észrevehetőek, felderíthetőek.



1. ábra. PMA-2 taposóakna nyári és téli álcázó burkolattal

Forrás: [https://htka.hu/wp-content/uploads/2012/03/PMA-2\\_mines-584x438.jpg](https://htka.hu/wp-content/uploads/2012/03/PMA-2_mines-584x438.jpg)

A körkörös hatású repeszaknák ezzel szemben már nemcsak az elműködésüket kiváltó személyt, hanem a robbanáskor szétrepülő repeszek hatótávolságán belül tartózkodókat is képesek harc-képtelenné tenni. Általában bordázott fémburkolattal rendelkeznek, amely a robbanás hatása következtében részekre szakad, de fémgolyókat is tartalmazhatnak. Leggyakrabban a felszín felett 15–20 cm-re helyezkednek el facövekeken. Az aknához rögzített, kifeszített botlódórótokra gyakorolt húzóerő hatására az akna felrobban, és a repeszek az aknától körkörösén repülnek szét, akár 20–25 méter távolságig halálos sérülést okozva.

A körkörös hatású aknák speciális válfaja az ugró repeszakna, amely a nehezebb felderíthetőség érdekében általában közvetlenül a talaj felszíne alá van telepítve úgy, hogy csak a gyújtószerkezetének teteje található a felszín felett. A gyújtó működhethet nyomóerő hatására, illetve húzásra a botlódórótokkal, amelyek akár 30 méter távolságig is nyúlhatnak az aknától. A nyomó- vagy húzóerő hatására először egy kisebb robbanóanyag-töltet kivetí az aknatestet, fel a levegőbe, ahol az akna fő robbanóanyag-töltete körülbelül 0,8–1,5 m-es magasságban működik el. Az aknában elhelyezett fémpeszszek ilyen módon akár 100 méter távolságra is szétszóródhatnak körkörösén.

Az irányított hatású repeszakna a gyalogsági repeszaknák másik speciális fajtája. Ennek repeszai már nem körkörösén szóródnak szét, hanem csak az előre beállított irányban (sávban), s az aknában elhelyezett robbanóanyag mennyiségének függvényében meghatározott távolságra pusztítanak. Az ilyen aknák a talaj felszíne fölé vannak telepítve, és általában (elektromos) vezetékös parancsindítással hozhatók működésbe. A kisebbek íves téglatestre hasonlítanak, míg a nagyobbak hengeres kialakításúak, több robbanóanyagot és nagyobb méretű repeszeket tartalmaznak, amelyek akár a páncélvédelem nélküli vagy a könnyű páncélozott járműveket is harc- vagy mozgásképtelenné tehetik.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> A gyalogsági aknákról részletesebben: Tóth József – Lukács László – Volszky Géza: *Akna kisenciklopédia*. Budapest, Tudásmenedzsmentért, Tudás Alapú Technológiákért Alapítvány, 2012.

A gyalogság elleni aknák alkalmazásának teljes betiltásáról rendezett nemzetközi egyeztető konferencia zárását követően 1997. december 3-án Ottawában 121 állam – köztük Magyarország – képviselője látta el kézjegyével az „Aknaegyezményt”, amely a szükséges számú ratifikáció elérésével 1999. március 1-jén hatályba lépett. Az elmúlt évtizedek során további államok csatlakoztak, jelenleg 164 részes állam és egy aláíró ország (a Marshall-szigetek 1997. december 4-én aláírta, azonban még nem ratifikálta) mellett 32 ország még mindig nem látta el azt a kézjegyével.

Az aláíró nemzetek lemondtak ugyan a hagyományos gyalogsági aknák további alkalmazásáról, de az aknák mellett a már említett ERW-k, illetve az aszimmetrikus műveletek egyik legfőbb eszközeként<sup>15</sup> a különböző improvizált robbanószerkezetek (IED-k)<sup>16</sup> is fokozott veszélyt jelentenek. Az IED olyan házilagosan készített „bomba”, amely a pusztító hatását a robbanással, repeszekkel, ártalmas vegyi, biológiai anyagokkal, pirotechnikai eszközökkel vagy gyújtóhatású anyagokkal éri el. Szerkezeti felépítése általában kezdetleges, de csak a készítőjének kreativitása és a rendelkezésére álló anyagok, alkotórészek technológiai színvonala határozza meg az eszköz komplexitását és korszerűségét. Töltetként felhasználhatnak különböző katonai vagy polgári rendeltetésű robbanóanyagokat, különféle vegyszerek keverékéből házilag előállított robbanóelegyeket, vagy akár az ERW-ből kinyert robbanóanyagokat is. Általánosságban elmondható, hogy leggyakoribbak a mechanikus behatásra elműködő szerkezetek, amelyek húzásra, teherelvételre, nyomásra, elmozdításra, tehát a célpont valamilyen közvetlen fizikai hatására robbannak fel.

### 3. Az aknafelderítés módszerei

Az aknák és egyéb robbanószerkezetek felderítésére sor kerülhet a harctevékenységek időszakában katonai célból – átjárányítás aknamezőn, terepszakasz vagy kisebb terület aknamentesítése –, illetve a harcokat követően humanitárius feladatok keretében – a területen maradt aknák megtalálása, majd a terület teljes aknamentesítése –, ami egyben meghatározza a felderítő tevékenység területi kiterjedését és a minőségét is.

A harc során az aknák, aknamezők felderítése szinte kizárólag a manőverek vagy más katonai tevékenység céljából igénybe vett területekre koncentrálódik, akárcsak az aknák felszedése és/vagy helyszíni hatástalanítása. Ezzel szemben a humanitárius felderítési-mentesítési feladatok a teljes érintett aknaszenyvezett területre kiterjednek, és jóval nagyobb pontosságot, hatékonyságot, precizitást követelnek: szemben a 80–90%-os katonai elvárással, itt közel 100%-os a megkövetelt hatékonyság, mivel csak így lehet teljesen biztonságos a terület.

Az aknák a háborúk, a nemzetközi vagy belső konfliktusok során sokszor mindenféle dokumentáció nélkül voltak alkalmazva, ami napjainkban már szinte lehetetlenné teszi

<sup>15</sup> Lásd még Padányi József: Az aszimmetrikus hadviselés során alkalmazandó eljárások, eszközök és módszerek. *Hadtudomány*, 25. (2015), 1–2. 81–82.

<sup>16</sup> Az angol rövidítés (IED) feloldása: *Improvised Explosive Device*. Lásd még Kovács Zoltán: Az improvizált robbanóeszközök főbb típusai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 22. (2012), 2. 37–52.

a telepítési helyszín pontos beazonosítását, a telepített aknamennyiség és akár az aknatípus konkrét meghatározását.

Az elmúlt évtizedekben gyártott aknák a kis méreteik mellett szinte kivétel nélkül műanyag burkolattal rendelkeznek (vagy burkolat nélküliek!) és minimális mennyiségű fémtartalmat hordoznak, ami jelentősen megnehezíti a detektálásukat. A konfliktusok befejezése után a volt szemben álló felek gyakran nem is foglalkoztak az általuk korábban eltelepített aknamezők, improvizált robbanószerkezetek felszámolásával, otthagyták őket megjelületlenül. A növényzet vagy a talajfelszín alatt lapuló kis robbanószerkezetek rendkívül nagy veszélyt jelentenek<sup>17</sup> a lakosságra, a gazdaság szinte mindegyik ágazatára, a létesítményekre<sup>18</sup> és akár a felderítésüket végző személyekre is. Az évekkel korábban befejeződött harcokat követően az aljnövényzet elburjánzása a területeken sokszor szinte teljesen lehetetlenné teszi a föld felszínére telepített aknák vizuális felderítését. A felszín alá telepített aknák esetében a felderítés megkezdése előtt a növényzet előzetes eltávolítása is nagy veszélyt jelent, egyben fokozott gondosságot igényel. Például a délszláv térségben a mentesítendő területre műanyag csövekben elhelyezett, rövid nyújtott tölteteket toltak be, azokkal robbantottak négyzethálós rendszert a növényzetben, majd ezekből a kis ösvényekből indultak el az aknafelderítők, először szinte szálánként levágva a növényzetet.

Az aknák, aknamezők felderítése<sup>19</sup> alatt a robbanószerkezetek pontos helyének meghatározását, illetve az aknaszennyezett veszélyes terület kiterjedésének megállapítását értjük, a szerkezetek tényleges hatástalanítását, felszedését és eltávolítását már nem ide soroljuk.<sup>20</sup>

A talaj felszínén elhelyezkedő aknák észlelése, felderítése az álcázást biztosító burkolat, aknatest színétől függően viszonylag egyszerűen, alapvetően vizuális módszerrel – szabad szemmel vagy valamilyen optikai eszköz, berendezés segítségével – is megvalósítható. Az emberi szemnek „láthatatlan”, a talajfelszín alá telepített aknák felderítésére alkalmazható módszert pedig alapvetően meghatározza az átvizsgálandó terület nagysága, a terep jellege, a felderítés megkövetelt hatékonysága, valamint a rendelkezésre álló feltételek, az eszközök mennyisége és minősége. Az aknafelderítési módszerek és eszközök főleg a mechanikus, biológiai/kémiai, elektromágneses, részecske-technológiai vagy akusztikus működési elvek valamelyikén, illetve ezek kombinációján alapulnak.

A mechanikus módszer „alapeszközének” tekinthető szúróbottal a talaj felső rétegét átszurkálva lehet megtalálni a felszín alá telepített legkisebb aknákat is, függetlenül azok fémtartalmától és a burkolat anyagától. Megfelelően kivitelezve ez a felderítési módszer az egyik leghatékonyabb, de egyben a leglassúbb és a végrehajtókra nézve a legveszélyesebb

<sup>17</sup> Lásd még Ember István: A robbanótestek mint a talajban rejlő potenciális veszélyforrások. In Varga Gabriella et al. (szerk.): *Geotechnika 2020*. Budapest, 2020. 24–31.

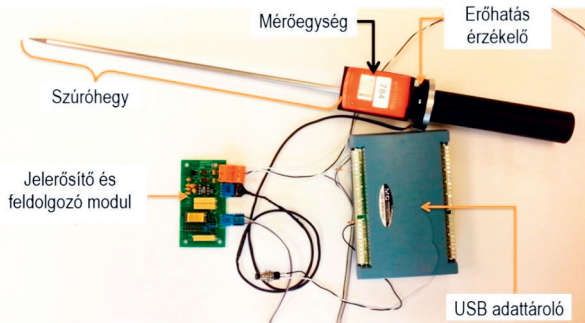
<sup>18</sup> Lásd még Dénes Kálmán – Kovács Zoltán: Létesítmények közműrendszereinek robbantásos cselekmények általi veszélyeztetettsége és védelme. *Hadtudományi Szemle*, 12. (2019), Különszám. 77–85.

<sup>19</sup> Lásd még Lukács László: Az aknafelderítés korszerű módszerei és eszközei. *Bolyai Szemle*, 15. (2006), Különszám. 1–7; Kovács Zoltán: Műszaki zárok felderítésének korszerű eszközei. *Bolyai Szemle*, 17. (2008), 2. 1–9; Szatai Zsolt József – Horváth Tibor: A robbanószerkezetek felderítésének története 2. (1951-től napjainkig). *Honvédségi Szemle*, 149. (2021), 1. 101–115.

<sup>20</sup> Az aknamentesítés feladatkörének részeihez soroljuk az aknák/aknamezők felderítését, megtalálását; a megtalált aknák/aknamezők megjelölését, illetve a megjelölt aknák hatástalanítását, felszedését.

is. A régebbi szűrőbotok hegye még acélból volt, míg az újabb változatok már speciális fémöt-vözetből vagy nagy szilárdságú műanyagból készülnek. Az igazán modern, „okos” típusok pedig már rezgéssel vagy hangkibocsátással jelzik a kezelőjüknek, ha „észlelnek” valamit, és akár az aknatest anyagát is képesek meghatározni annak keménysége, rugalmassága alapján. E korszerűbb szűrőbotok alkalmazását egyelőre csak a humanitárius aknamentesítés során tesztelik.

A biológiai/kémiai módszer alapvetően a robbanóanyagokból kipárolgó molekulák észlelésén alapul. A biológiai „eszközökkel” történő aknafelderítés olyan élőlények alkalmazását jelenti, amelyek csoportjába sorolhatók a megfelelő érzékelő képességekkel és kiképzettséggel rendelkező kutyák, a méhek és a kisemlősök egyes fajai (patkány, egér), illetve a génmanipulált robbanóanyagfaló-baktériumok<sup>21</sup> és -növények (például lúdfű), amelyek színük változásával vagy foszforeszkálással jelzik a robbanóanyagot alkotó részecskék jelenlétét a talajban, illetve a levegőben. E módszer képviselőinek többségét elsősorban humanitárius feladatra lehet/célszerű alkalmazni, harctéri körülmények közötti felhasználásukat tekintve főleg a kutyák vehetők számításba, azonban figyelembe kell venni számos korlátozó tényezőt: időtartam (pihenésre van szükségük), hőmérséklet és időjárás, fizikai és pszichés terhelés, létszükségleteik biztosítása stb.



2. ábra. Egy „okos” szűrőbot elvi felépítése

Forrás: a szerzők szerkesztése a [www.mdpi.com/sensors/sensors-16-00965/article\\_deploy/html/images/sensors-16-00965-g003-1024.png](http://www.mdpi.com/sensors/sensors-16-00965/article_deploy/html/images/sensors-16-00965-g003-1024.png) alapján

Az aknafelderítés kémiai módszerének korszerű eszköze a gáz-/gőzelemző spektrométer, amely például a robbanóanyagból kipárolgó nitrogén-dioxid jelenlétét érzékeli a levegőben. Működési alapelve hasonlít az otthoni mindennapokban gázanalitikai eszközként használt szén-monoxid- vagy füstérzékelőhöz. Egy érzékeny spektrométer már nagyon kis mennyiségű, akár  $10^{-15}$  g/ml robbanóanyagmolekula-mennyiséget is képes észlelni. A hatékonyság nagyban függ a levegő/talaj hőmérsékletétől, páratartalmától, nedvességétől és a robbanóanyag kipárolgásától.

<sup>21</sup> Egy génmódosított baktériumtörzs az aknában alkalmazott robbanóanyagok közelében zöld fényt bocsát ki, így a baktériumokat tartalmazó színtelen folyadékkal elég a területet repülőgépről megpermetezni, a reakció néhány órán belül beindul: a foszforeszkáló zöld fény megmutatja, hol vannak az aknák.





3. ábra. Egér kiképzése robbanóanyag keresésére

Forrás: <https://media.icdn.hu/content/entity/2018/04/22215/5d2383972172fneuroscience-mousensor-a-006.jpg>

Az elektromágnesesség elvén alapuló aknakereső-eszközök közül talán a legismertebb és leggyakrabban alkalmazott a fémtartalom észlelésére és jelzésére szolgáló aknakutató műszer, közismert nevén fémkereső, amely az elektromágneses indukció, a mágneseserőtér-változás által keltett elektromos feszültség segítségével jelzi (például sípoló hanggal) a közelében lévő – a jellemző felderítési mélység 0,1–0,5 méter – vas vagy acél jelenlétét. A keresőfejet a talajfelszín fölött 5–10 cm távolságban tartva, annak lassú mozgatásával kell végezni a felderítést. Bár a korszerű, pulzindukciós műszerek akár a több méter mélységben lévő (nagyobb tömegű) fémet is képesek észlelni, a fémtartalom nélküli aknák felderítésére ez az eszköz nem alkalmas. A felderítés nagy időigénye mellett az eszköz további hátránya, hogy a fémtartalmú aknák és az egyéb fémtárgyak között nem tud különbséget tenni, így például egy korábbi harcterületen található repeszek, lőszerhüvelyek miatt rendkívül nagy számban ad jelzést, amelyekből csak minden 100–1000. jelent ténylegesen aknát.



4. ábra. Kézi aknakereső műszer

Forrás: [www.metector.hu/wp-content/uploads/2013/09/atx-\\_coil\\_rotated-620x257.jpg](http://www.metector.hu/wp-content/uploads/2013/09/atx-_coil_rotated-620x257.jpg)

A talajradar (GPR)<sup>22</sup> a nagyfrekvenciás elektromágneses hullámok alkalmazásán alapul. Adóantennája 10–3000 MHz-es elektromágneses impulzusokat bocsát ki, az eltérő elektromágneses tulajdonságokkal rendelkező anyagok felületéről visszaverődő hullámokat pedig a vevőantenna fogadja, amely egyúttal rögzíti a visszavert impulzusok késleltetési idejét, valamint a vett impulzus amplitúdóját.

<sup>22</sup> Az angol rövidítés (GPR) feloldása: *Ground-Penetrating Radar*.





5. ábra. A talajradar monitorján megjelenő kép

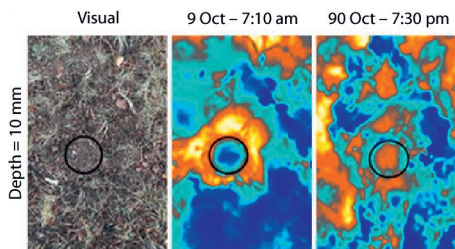
Forrás: [www.vizmuvek.hu/files/public/Fovarosi\\_vizmuvek/talajradarillusztraciok/talajradar\\_illusztracio\\_1.jpg](http://www.vizmuvek.hu/files/public/Fovarosi_vizmuvek/talajradarillusztraciok/talajradar_illusztracio_1.jpg)

A beépített helyzetmeghatározó segítségével folyamatosan rögzíteni lehet a radar pontos helyét, amelyet össze lehet kapcsolni a visszavert jelek jellemzőivel, így előállítható a terület elektromágneses profilja. Az észlelt tárgyak mélységét is meg lehet vele határozni az elektromágneses hullámok felszín alatti közegben történő terjedési sebességének ismeretében. A talajradar további nagy előnye, hogy nemfémes tárgyak helyének azonosítására is alkalmazható. A módszer hátránya viszont, hogy a felderítés hatékonysága, pontossága nagymértékben függ a talaj jellemzőitől: talajtípus, konzisztencia, nedvességtartalom.

Az elektromágnesesség elvén működnek az aknafelderítésre szintén alkalmazott milliméteres hullámhosszú radarok, amelyek már rendkívül magas frekvenciájú (EHF)<sup>23</sup> hullámsávokat is észlelnek (ezek frekvenciája 30–300 GHz közötti), illetve a mikrohullámú radarok, amelyek az 1 GHz–1 THz frekvenciatartományba eső elektromágneses hullámok visszaverődésének segítségével határozzák meg a felszín alatti tárgyak helyzetét. A hatékonyság mértéke természetesen ebben az esetben is a talaj jellemzőinek függvénye.

Az infravörös sugárással működő aknakereső eszközök – tulajdonképpen hőkamerák – használata elsősorban a felszínre vagy kis mélységben a felszín alá telepített aknák felderítésére használhatók hatékonyan. Ezek az eszközök a milliméteres tartománynál nagyobb frekvencián (> 300 GHz), de kisebb hullámhosszon (< 1 mm) dolgoznak, és a talaj, illetve a talajban található tárgyak hőmérsékleti különbsége alapján képesek kimutatni az aknákat. Alkalmazásuk megfelelő időjárási körülmények között, illetve a reggeli vagy esti napszakban a legcélszerűbb, amikor a talaj és az aknák nincsenek termikus egyensúlyban, a hőeltérések, a hőtároló képesség terén fennálló különbségek pedig jobban megmutatkoznak. Az infravörös detektálás tehát nem alkalmazható hatékonyan minden időszakban, illetve az eszköz nem tudja egyértelműen meghatározni a felszín alatti tárgy jellegét, és nemcsak az aknákat, hanem a többi tárgyat is észleli.

<sup>23</sup> Az angol rövidítés (EHF) feloldása: *Extremely High Frequency*.



6. ábra. Felszín alá telepített akna vizuális és hőképe: a – szabad szemmel; b – hőkép délelőtt; c – hőkép délután  
 Forrás: P. Krause – Ehab Salahat – E. Franklin: *Diurnal Thermal Dormant Landmine Detection Using Unmanned Aerial Vehicles*. IECON 2018 – 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society 2018. 2299–2304.

A részecsketechnológián alapuló magfizikai aknafelderítő eszközök közé sorolhatjuk az atom-mag-rezonancia (NQR)<sup>24</sup> elvű detektort. Ez rövid ideig tartó, nagy energiájú, periodikusan ismétlődő rádiófrekvenciás besugárással gerjeszti a robbanóanyagokban megtalálható nitrogén atommagját, amely a felvett energiát vissza is sugározza, így kimutathatóvá válik a jelenléte a talajban. Ugyan a technológia hatékonysága nagyon jó, a téves jelzések mennyisége elenyésző, és akár az egyes robbanóanyag-típusok is megkülönböztethetők, azonban rendkívül magas az eszköz energiaigénye, ennek biztosítása miatt pedig (erős tápforrás szükséges) a mérete és a tömege is.

Egy másik technológia a neutronsugárzást használja fel: a nagy energiájú termikus (kis sebességű) neutronok aktiválják a nitrogénatomokat, amelyek detektálható gamma-sugárzást bocsátanak ki. Amennyiben igen nagy sebességű, gyors neutronokkal történik a neutronsugárzás – ahol a kinetikai energia a termikushoz képest nagyságrendekkel több –, a robbanóanyag összetételét alkotó nitrogén- és oxigénatomok mennyiségi arányai is mérhetők. A nagy energiaigény miatt ez a módszer is korlátozott alkalmazású. Mezőgazdasági művelésű területen használva további hátránya lehet, hogy nemcsak a robbanóanyagból, hanem a talajba került műtrágyából létrejött megemelkedett nitrogén-koncentrációra is reagál.

Az akusztikus elven működő aknafelderítő berendezések a hanghullámok által keltett talajrezgések mérésén alapulnak. A talajt és így a felszín alá telepített aknákat is különböző hullámhosszokon, 50–1000 Hz között elhelyezkedő alacsony frekvenciájú impulzusokkal rezegteti, majd a visszaverődő válaszjeleket méri és elemzi a műszer. A hanghullámok átadására nagy teljesítményű hangszórók vagy szeizmikus hullámgenerátorok szolgálnak, míg a talajról és a talajban lévő eltérő anyagoktól érkező válaszjelek vételére érzékeny mikrofonokat, rezgésmérőket vagy a rezgéshullámokat elektromos feszültséggé átalakító geofonokat használnak. A rezgéshullám kibocsátása és a felszínre történő visszaérkezése között eltelt időtartam mérésével lehet megállapítani az eltérő anyagú, tulajdonságú közeget. A technológia felhasználása a polgári életben alkalmazott válfajaira épül katonailag is, költségigénye kicsi, a felderítés során produkált téves jelzések száma csekély. Hátránya ellenben, hogy a mélyen telepített akna, a növényzettel borított vagy fagyott, kötött talaj jelentősen csökkenti a hatékonyságát.

<sup>24</sup> Az angol rövidítés (NQR) feloldása: *Nuclear Quadropole Resonance*.

A módszer korszerűbb változata a lézer vibrométer, amely teljesen más technológiát alkalmaz, a kijuttatott és szétszóródó lézersugárzás keltette rezgések érzékelésén alapul. Az eszközből kilépő lézersugarat a vizsgálandó talaj felületére fókuszálja, a visszaverődő rezgéseket pedig több pontból veszi, érzékeli. Mivel az akna fölötti talajrész rezgési hullámhossza nagyobb, mint a környező talajé, így a vibrométer adatai alapján megrajzolt rezgéstérkép segítségével jól megkülönböztethetők a felszín alatti tárgyak, aknák. Felderítési gyorsasága kiváló, 1 m<sup>2</sup> területet kevesebb, mint 20 másodperc alatt képes elemezni.

A fentebb ismertetett, felderítésre használt eszközöket, berendezéseket a méretüktől, tömegüktől, valamint komplexitásuktól függően kézzel vagy valamilyen gépi platformon elhelyezve lehet csak alkalmazni, működtetni. Több, általunk említett technológia azonban még fejlesztési szakaszban van, valós harci körülmények között eddig nem bizonyította hatékonyságát, alkalmazhatóságát. Erre, az előkészítési, tesztelési fázisnál tartó eszközkategóriára is igaz azonban, hogy az alapvető kézi keresőműszerek (mint például a fémkereső, a talajsűrűség-mérő és az infravörös hőkamera) körén túl a többi aknafelderítő eszköz terepre való kijuttatása nehézkes, azokat általában valamilyen gépi szállítóeszközön kell elhelyezni. Ilyenek elsősorban azok a szárazföldi járművek, amelyek fel vannak szerelve valamelyik speciális észlelő-érzékelő berendezéssel. Az egyik legegyszerűbb ilyen jármű a Magyar Honvédségben is rendszeresített DIM–M típusú indukciós aknakutató gépkocsi, amely a már említett fémerzékelés elvére alapozva észleli a rejtett (fémtartalmú) aknákat. Egyre jobban elterjednek a szárazföldi aknafelderítő robotok is, amelyeket rádió-távírányítással, az elaknásított területektől biztonságos távolságban tartózkodva lehet üzemeltetni. A gépi eszközök másik nagy csoportját pedig azok a járművek, berendezések képviselik, amelyek a levegőből képesek megtalálni a felszínen vagy akár a talajfelszín alatt rejtőzködő aknákat.

#### 4. Aknafelderítés a levegőből

A levegőből történő aknafelderítésre egyaránt alkalmazhatók a hagyományos repülőgépek, helikopterek és a pilóta nélküli légi járművek (UAV),<sup>25</sup> amelyek mindegyike platformként szolgálhat a fentebb bemutatott érzékelőberendezések többsége számára, csak megfelelő teherbírással és hatótávolsággal kell rendelkezniük.

A légi úton történő felderítés előnyei közé sorolható, hogy a felderítő jármű nem érintkezik a talajfelszínnel, attól adott távolságot tartva, különböző magasságokban mozog, így közvetlen kontaktusa az aknákkal, aknagyújtókkal nem alakulhat ki. A légi jármű legtöbb esetben nagyobb sebességgel hajtja végre a feladatot, mint egy szárazföldi eszköz, ezért adott idő alatt nagyobb területet képes műszeresen átvizsgálni, ráadásul a nehezen járható terep felett is képes mozogni. A digitális technika eszközeit felhasználva a felderítés során összegyűjtött adatokat, információkat már a levegőből továbbítani tudja, a területet és a talált aknákat helymeghatározó berendezéssel pontosan fel tudja térképezni. A helyből felemelkedni képes eszközök további előnye, hogy nem igényelnek nagy területet a fel- és leszálláshoz.

<sup>25</sup> Az angol rövidítés feloldása: *Unmanned Aerial Vehicle*.

A fentebb említett légi eszközök közül a merev szárnyú repülőgépek és forgószárnyas helikopterek alkalmazása a legtöbb esetben nem szükséges. Ezek üzemeltetése nagyon költséges, mozgatusuk (vezetésük) hosszú ideig tartó speciális felkészülést igényel, valamint más, fontosabb katonai feladatokra is igénybe vehetők – különösen harctevékenységek során –, így nem nyílik mindig lehetőség az aknafelderítésre történő alkalmazásukra.

A pilóta nélküli légi járművek, drónok használata ezzel szemben – az időjárás körülményektől (szélerősség, zivatar, havazás, jegesedés) függően – szinte minden esetben megvalósítható,<sup>26</sup> az alkalmazásnak talán csak a hatótávolságuk szabhat határt.<sup>27</sup> A pilóta nélküli eszközök valójában nagyon hasonlóak a merev szárnyú repülőgépekhez vagy a forgószárnyas helikopterekhez, azzal a különbséggel, hogy a pilóta nélküli eszközöket – ahogyan az elnevezés is utal rá – nem a gépben ülő pilóta irányítja, hanem az operátor rádió-távvezérléssel, a földről, vagy pedig programozott eszközként önállóan repül és hajtja végre a feladatát. A másik jellemző különbség a méretekben van: a pilóta nélküli eszközök akár nagyságrendileg kisebb méretűek és tömegűek, mint a „hagyományos” légi járművek. A drónok előnyös tulajdonsága, hogy képesek nagyon alacsonyan repülni, egyhelyben lebegni és körbefordulni. Ezenfelül kisebb költséggel gyárthatók és üzemeltethetők, mint a repülőgépek vagy helikopterek, a kezelésük egyszerű, aránylag rövid idő alatt, egy tanfolyam elvégzésével elsajátítható. Képesek olyan helyeken is mozogni, ahol a többi légi eszköz nem: szűk helyeken, magas növényzet között, de akár egy épület belsejében is használhatók. Az előzőekben ismertetett, használatban lévő aknafelderítő eszközök és műszerek közül több típust képes hordozni és korlátozott – az adott típustól függő – hatótávolságon belül működtetni drón.

A továbbiakban csak a függőlegesen felszállni képes, több forgószárnyas pilóta nélküli légi eszközök felhasználási lehetőségeit, jellemzőit tekintjük át röviden.<sup>28</sup> Ezek az aknafelderítési feladatokra leggyakrabban használt UAV-k.

A forgószárnyak száma a kezdeti 4 darabról 6, majd 8 rotorra növekedett – quadro-, hexa-, majd oktokofter –, aminek praktikus oka, hogy ha kevés rotor közül romlik el vagy sérül meg valamelyik, akkor a drón irányíthatatlanná válik, míg a többrotoros eszköznél a hibás részegység melletti rotorok kompenzálni tudják a kiesett hajtóművet. Ezenkívül a többrotoros eszköz sokkal stabilabb, a hirtelen légmozgásokat jobban kezeli, könnyebben és precízebben irányítható, mozgatható. A forgószárnyas drónok általában elektromos meghajtású motorokkal vannak felszerelve, amelyeknek már nem akkumulátor, hanem korszerű, lítium- vagy nikkel-kadmium-tartalmú tápforrás biztosítja a működéshez szükséges energiát. A felszálláshoz nincs szükségük speciális indítóállványra, bármilyen kis vízszintes felületről indíthatók és ugyanott landolhatnak is.

<sup>26</sup> Lásd még Ember István – Kovács Zoltán: Drones above EOD operators during their public duty. In Marián Beňovský (szerk.): *Zborník Prednášok Trhacia Technika 2020*. Banská Bystrica, Slovenska spolocnost pre trhacie a vrtacie prace, 2020. 90–97.

<sup>27</sup> A legtöbb szakirodalom a hatótávolság (vagy a repülési időtartam), repülési magasság és teherbírás kombinációja szerint kategorizálja a drónokat, de ebben az írásban sem a fogalmi, sem az osztályozási elvek részletesebb elemzésére nem vállalkozunk.

<sup>28</sup> Ezek az eszközök, sajnos nemcsak felderítésre, hanem az aknák és egyéb robbanószerkezetek szállítására, telepítésére is felhasználhatók. Lásd még Daruka Norbert: Oktokofter – A légiszállítás modernizációja, vagy a robbanószerkezetek célba juttatásának újabb lehetősége. *Repüléstudományi Közlemények*, 26. (2014), 2. 247–256.

Ha az operátor az eszközt vizuális kontroll alatt tartja, nem szükséges kiegészítő berendezésekkel ellátni, azonban programozott, önálló feladatellátás esetén a drónnak mindenképpen rendelkeznie kell néhány saját érzékelőműszerrel: magasságmérő, giroszkóp a stabilitáshoz, sebességmérő, műholdas navigáció és kommunikációs berendezés jelenti az alapfelszereltséget.

Az aknafelderítési feladat jellegéből következően az eszközt nem kell és nem is tartjuk célszerűnek fegyverzettel ellátni, hasznos teherként elegendő a felderítő berendezés tömege. A felderítést általában nem nagy távolságban és magasságban kell végeznie, így a rövid hatósugarú (max. 1–2 km), földközeli vagy kis magasságon (max. 50 méter) repülő drónok teljes mértékben megfelelőek és elegendők.

Példaként az egyik legegyszerűbb felderítő berendezést, a fémtartalmat detektáló akna-kereső műszert említhetjük amely – kombinálva egy infravörös hőkamerával – az alábbi ábrán 6 rotoros légi eszközön (hexakopteren) elhelyezve látható. Munkavégzés közben ez az eszköz a terep domborzatához igazodva, efelett folyamatosan 10 cm magasságot tartva lebeg és mozog, az indukciós keresőfej talajfelszíntől való távolsága a teleszkópos karral beállítható. A rá felszerelt felderítő berendezések tömege mindössze 2,8 kg (az eszköz teherbírása 10 kg), a 20 000 mAh kapacitású tápforrás 30 perc üzemidőt biztosít. Az eszköz legfeljebb 15 méter magasságban képes repülni, 50 km/óra sebességgel. Az aknafelderítés során csak 3,5 km/óra a sebessége, kézi vezérléssel és előre programozva önállóan is képes működni.



7. ábra. Fémkeresővel felszerelt hexakopter

*Forrás:* a szerzők szerkesztése a [www.cw-tpm.com/bmcnet\\_uploads/2019/09/Surveillance-Reconnaissance-and-Landmine-Detection-Drones-System-en.jpg](http://www.cw-tpm.com/bmcnet_uploads/2019/09/Surveillance-Reconnaissance-and-Landmine-Detection-Drones-System-en.jpg) alapján

Ugyan az alábbi (a 8. ábrán látható) drón erőforrásai csak 4 karon helyezkednek el, de mindegyik kar végén 2, önálló elektromotorral meghajtott rotor található. Ha bármelyik karon az egyik rotor meghibásodik, a másik át tudja venni a szerepét, és továbbra is stabilan irányítható marad az eszköz. Az előző drónhoz hasonlóan távvezérelve vagy előre programozva önállóan is képes repülni. Az önsúly (5,5 kg) minimalizálása miatt a legtöbb alkatrésze szén-szál erősítésű műanyagból készült. A 63x54x23 cm méretű eszköz teherbírása 6 kg, a korszerű, lítium-polimer polimer-áramforrás 60 perc repülési időt biztosít. Az eszköz maximális sebessége 75 km/óra, a 38,5 cm hosszú rotorlapok biztonságosan mozgatják a drónt, amely akár

88 km/órás sebességű szélben is képes dolgozni. Az aknafelderítésre használt kamerák nagy felbontású (HD)<sup>29</sup> digitális állóképet és nagy felbontású mozgóképet is készítenek.



8. ábra. Dupla rotoros quadrokofter optikai kamerával

Forrás: <https://minekafon.org/wp-content/uploads/2019/09/DestinyBLACK-Perspectiveview-1024x640.jpg>

A 9. ábrán látható drónt háromféle, különböző frekvencián (90, 120, 260 MHz) sugárzó, a talajt eltérő mélységig felderítő talajradarral lehet felszerelni. Az alkalmazott radar típusától függően az eszköz önsúlya 14,11–14,81 kg között változik, a repülési időtartam 15–20 perc, a sebessége pedig 2 m/sec.



9. ábra. Talajradarral felszerelt hexakofter

Forrás: [https://img.edilportale.com/product-thumbnails/2b\\_DRONE-GPR-SYSTEMS-NOVATEST-370993-rel-13aeff85.jpg](https://img.edilportale.com/product-thumbnails/2b_DRONE-GPR-SYSTEMS-NOVATEST-370993-rel-13aeff85.jpg)

A felderítési adatokat az eszköz azonnal továbbítja az adatfeldolgozó egységnek, amelynek monitorján kirajzolódik a talaj rétegtrendje, a talajfelszín alatt található eltérő szerkezetű tárgyak pontos helye és mélysége.

<sup>29</sup> Az angol rövidítés (HD) feloldása: *High Definition*.



## 5. Összegzés

A drónok, akárcsak az aknafelderítő berendezések, folyamatosan fejlesztés alatt állnak. A miniaturizálás folytán hamarosan elterjednek az egyre kisebb méretű: mini-, mikro- és nanoeszközök, amelyek többsége a teherbíró képessége miatt vélhetően csak korlátozottan lesz alkalmas műszeres aknafelderítésre. A másik nagy fejlesztési terület a rendelkezésre álló energia megnövelése, ami egyúttal a hatótávolságot, repülési időt (azaz a munkavégzés idejét) is meghosszabbítja. Egyik alternatív megoldás lehet a napenergia hasznosítása, például napelemet szerelve a drónra, azonban ez a napszak (szürkület, éjszaka) vagy az időjárás (borult idő) függvényében korlátozhatja a rendelkezésre álló energiamennyiséget, így a működési időt. Másik lehetőség a tápforrások modernizálása, például a lítium-polimer akkumulátor használata, amelynek sokkal hosszabb az élettartama, mint a hagyományos, lítium- vagy nikkell-/kadmiumtelepeknek, emellett a tömege is kisebb.

A dróntechnológia további fejlesztési területe lehet a jelenleg már előrehaladott fázisban lévő irány: nemcsak felderítésre, hanem a felderített aknák hatástalanítására is alkalmazni ezeket az eszközöket. Az aknát fedő talajra juttatott megfelelő tömegű robbanótöltet – amelyet kamerával felszerelt drón szállít oda és helyez le – távolról történő indításával az akna töltete is felrobbantható. Természetesen az aknák helyszíni megsemmisítése nem minden esetben és körülmények között lehetséges, azonban ezzel a módszerrel egy aknamező felszámolása teljesen veszélytelenül végrehajtható.

Amint a felvillantott példából látható, a helyből függőlegesen felszállni képes pilóta nélküli légi eszközök már most alkalmasak aknafelderítésre, képesek a széles körben elterjedt, már kiforrott technológiával rendelkező felderítő berendezések hordozására, üzemeltetésére. Az általunk fentebb ismertetett, még fejlesztés alatt álló, illetve kísérleti fázisban lévő aknafelderítő berendezések – amelyek nagyobb mérettel, tömeggel és energiaigénnyel rendelkeznek – fogadására azonban a jelenlegi konstrukciójukban valószínűleg már nem lesznek használhatók, így további, másféle fejlesztések szükségesek ezen a téren.

## Felhasznált irodalom

- Daruka Norbert: Oktokopter. A légiszállítás modernizációja, vagy a robbanószerkezetek célbajuttatásának újabb lehetősége. *Repüléstudományi Közlemények*, 26. (2014), 2. 247–256. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2014.2.21>
- Dénes Kálmán – Kovács Zoltán: Létesítmények közműrendszereinek robbantásos cselekmények általi veszélyeztetettsége és védelme. *Hadtudományi Szemle*, 12. (2019), Különszám. 77–85. Online: <https://doi.org/10.32563/hsz.2019.1.ksz.5>
- Ember István: A robbanótestek mint a talajban rejlő potenciális veszélyforrások. In Varga Gabriella et al. (szerk.): *Geotechnika 2020*. Budapest, 2020. 24–31. Online: <https://drive.google.com/file/d/1JXyXe7ow0TT1zqRxbnLTR9igF2bvWgc/view>
- Ember István – Kovács Zoltán: Drones above EOD operators during their public duty. In Marián Beňovský (szerk.): *Zborník Prednášok Trhacia Technika 2020*. Banská Bystrica, Slovenska spoločnosť pre trhacie a vrtacie práce, 2020. 90–97.



- ICBL-CMC: *Landmine Monitor 2020*. Online: [www.the-monitor.org/media/3168934/LM2020.pdf](http://www.the-monitor.org/media/3168934/LM2020.pdf)
- Kovács Zoltán: Oldal elleni aknák. *Haditechnika*, 35. (2001), 4. 36–42.
- Kovács Zoltán: Területvédelem aknával. *Műszaki Katonai Közlöny*, 12. (2002), 1–2. 69–77.
- Kovács Zoltán: Műszaki záruk felderítésének korszerű eszközei. *Bolyai Szemle*, 17. (2008), 2. 1–9.
- Kovács Zoltán: Az improvizált robbanóeszközök főbb típusai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 22. (2012), 2. 37–52. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2012.2.3>
- Krajnc Zoltán (szerk.): *Hadtudományi Lexikon. Új kötet*. Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó, 2020. Online: [https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/14688/790\\_hadtudomanyi\\_lexikon\\_2019.pdf;jsessionid=8A935C412B6461E39A1C3466BBE93C68?sequence=1](https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/14688/790_hadtudomanyi_lexikon_2019.pdf;jsessionid=8A935C412B6461E39A1C3466BBE93C68?sequence=1)
- Krause, P. – Ehab Salahat – E. Franklin: *Diurnal Thermal Dormant Landmine Detection Using Unmanned Aerial Vehicles*. IECON 2018 – 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society 2018. 2299–2304. Online: <https://doi.org/10.1109/IECON.2018.8591378>
- Lukács László: A robbanás irányított hatása. A Munroe-effektus és a Misznay – Schardin-effektus a katonai gyakorlatban. *Bolyai Szemle*, 13. (2004), Különszám.
- Lukács László: Az aknafelderítés korszerű módszerei és eszközei. *Bolyai Szemle*, 15. (2006), Online: <https://doi.org/10.17047/HADTUD.2015.25.1-2.81> Különszám.
- Padányi József: Az aszimmetrikus hadviselés során alkalmazandó eljárások, eszközök és módszerek. *Hadtudomány*, 25. (2015), 1–2. 81–82. Online: <https://doi.org/10.17047/HADTUD.2015.25.1-2.81>
- Szalai Zsolt József – Horváth Tibor: A robbanóeszközök felderítésének története 2. (1951-től napjainkig). *Honvédségi Szemle*, 149. (2021), 1. 101–115. Online: <https://doi.org/10.35926/HSZ.2021.1.8>
- Tóth József – Lukács László – Volszky Géza: *Akna kisenciklopédia*. Budapest, Tudásmenedzsmentért, Tudás Alapú Technológiákért Alapítvány, 2012.

## Internetes források

- [https://htka.hu/wp-content/uploads/2012/03/PMA-2\\_mines-584x438.jpg](https://htka.hu/wp-content/uploads/2012/03/PMA-2_mines-584x438.jpg)
- [www.mdpi.com/sensors/sensors-16-00965/article\\_deploy/html/images/sensors-16-00965-g003-1024.png](http://www.mdpi.com/sensors/sensors-16-00965/article_deploy/html/images/sensors-16-00965-g003-1024.png)
- <https://media.icdn.hu/content/entity/2018/04/22215/5d2383972172fneuroscience-mousensor-a-006.jpg>
- [www.metector.hu/wp-content/uploads/2013/09/atx-\\_coil\\_rotated-620x257.jpg](http://www.metector.hu/wp-content/uploads/2013/09/atx-_coil_rotated-620x257.jpg)
- [www.vizmuvek.hu/files/public/Fovaros\\_i\\_vizmuvek/talajradarillusztraciok/talajradar\\_illusztracio\\_1.jpg](http://www.vizmuvek.hu/files/public/Fovaros_i_vizmuvek/talajradarillusztraciok/talajradar_illusztracio_1.jpg)
- [www.cw-tpm.com/bmcnet\\_uploads/2019/09/Surveillance-Reconnaissance-and-Landmine-Detection-Drones-System-en.jpg](http://www.cw-tpm.com/bmcnet_uploads/2019/09/Surveillance-Reconnaissance-and-Landmine-Detection-Drones-System-en.jpg)
- <https://minekafon.org/wp-content/uploads/2019/09/DestinyBLACK-Perspectiveview-1024x640.jpg>
- [https://img.edilportale.com/product-thumbs/2b\\_DRONE-GPR-SYSTEMS-NOVATEST-370993-re-l13aeff85.jpg](https://img.edilportale.com/product-thumbs/2b_DRONE-GPR-SYSTEMS-NOVATEST-370993-re-l13aeff85.jpg)