

Manga LÁSZLÓ¹

SÚLYOS NUKLEÁRIS BALESET ESETÉN ALKALMAZHATÓ SUGÁRVÉDELMI MÓDSZEREK

(RADIATION PROTECTION METHODS IN CASE OF SERIOUS ACCIDENTS)

Az atomenergia alkalmazása számos előnyös tulajdonságot hordoz magában. Elég, ha csak az atomerőművekre gondolunk. Nincs káros gáz kibocsátás, kis mennyiségű hulladék keletkezik, az üzemenyagként használt hasadóanyag szállítása, tárolása viszonylag könnyű és a fajlagos energia kinyerése kimagasló. Ennek tudatában azonban azzal is tisztában vagyunk, hogy az e fajta energiatermelésnek megvannak a maga veszélyei is. Ha visszatekintünk, a múltba sajnós találunk erre is példát, elég ha a csernobili vagy fukushimai eseményekre gondolunk. A következőkben azt szeretném bemutatni, hogy sugárvédelmi szempontból milyen lehetőségek állnak rendelkezésre, milyen kombinált módszereket érdemes használni. Az eddigi tapasztalataim ugyanis arra engednek következtetni, hogy e módszerek nem, vagy csak részben álltak, állnak helyben és időben rendelkezésre. Meglátásom szerint az egyik legfontosabb előfeltétele - a baleset tovább súlyosbodásának környező lakosság és környezet védelmének, hogy a lehető leghamarabb rendelkezésre álljanak a döntéshozáshoz és intézkedésekhez szükséges radiológiai adatok.

Kulcsszavak: atomenergia, nukleáris baleset, sugárvédelem, radiológia, felderítés

For many decades NPPs have been demonstrating that the use of nuclear energy has numerous advantages. They have no harmful gas-emission, the waste output and the risks of the transportation of the technology, and the efficiency of the use of the energy is highly compared to other industries. On the other hand, the nuclear industry has its own risks. In the past, these risks affected some major accidents, like the catastrophe in Chernobyl and in Fukushima. In this paper, I would like to present the potential processes from the aspect of radiation protection and the remarkable combined methods that are deserved to apply. The main reason behind this is the fact, that based on my experiences, the applied methods have limitations both in time and place of the applications. To my mind, the basic requirement should be to avoid the further aggravation of the current accident and the protection of the people and environment are the accessibility of the radiological data, that are necessary to make the appropriate decisions and actions.

Keywords: nuclear energy, nuclear accident, radiation protection, radiology, detection

BEVEZETŐ

A mai napig számos nukleáris létesítmény üzemel és hasznosságuk révén a jövőben is joggal számíthatunk szolgálataikra. A nukleáris létesítmények jó része az atomerőművekkel hozható

¹ MVM Paksi Atomerőmű Zrt, Nukleáris Környezetellenőrző Laboratórium, laborvezető, mangalaci@indamail.hu, ORCID azonosító: 0000-0003-1672-7629

összefüggésbe, de természetesen az orvosi-, anyagszerkezeti-, hadipari-, kutatási és számos egyéb területű alkalmazásokról sem szabad megfeledkezni. Ezen létesítmények során sajnos számolnunk kell a legrosszabb esetekkel is, vagyis a súlyos nukleáris balesetekkel. Ilyen esetek sajnos már történtek is elég, ha csak a csernobili vagy fukushimai eseményekre gondolunk. Súlyos nukleáris balesetek során az egyik legfontosabb feladat a sugárzási viszonyok feltérképezése. Ennek, mind mennyiségi mind minőségi jellemzői döntően befolyásolhatják a későbbi beavatkozási, cselekvési szinteket. Ebből kifolyólag pedig mind a környezetet, mind a lakosságot gyorsabban és hatékonyabban tudjuk megvédeni a radioaktív sugárzástól. A radiológiai feltérképezésére ma már számos módszer létezik. Céлом, hogy ismertessem, e módszereket valamint elősegítsem a módszerek kiválasztási metodikáját.

SUGÁRVÉDELEMBEN HASZNÁLTATOS FELDERÍTÉSI MÓDSZEREK

A felderítési módszereket többféle szempont szerint csoportosíthatjuk. Talán az egyik legegyszerűbb csoportosítási rendszer az, hogy milyen közegben végezzük a felderítést. Ebből a szempontból a szárazföldi és a légi sugárfelderítés a legmértékesebb. A szárazföldi felderítésen belül a legegyszerűbb módszer a gyalogos- vagy a gépjárművel történő felderítés, de léteznek telepített távadó rendszerek is és ne feledkezzünk meg a különböző robotokról sem, amelyek ugyancsak bevethetők speciális szárazföldi feladatokra.

A légi felderítés kapcsán a legelterjedtebb a helikopteres, de nagy területek gyors feltérképezésére a merevszárnyú repülőgépek is szóba jöhetnek, illetve a legújabb technikát felvonultató drónok is egyre nagyobb teret hódítanak.

A döntéstámogató és modellező szoftverek helyhez nem feltétlenül köthetők. Ebben az esetben leginkább a számítógépes hálózat és a kommunikációs lehetőségek a mérvadók.

A harmadik közegünk a víz és adott esetben a különböző vízi járművekről is történhet radiológiai felderítés vagy a lefedettség tekintetében – mivel Földünk nagy vízfelületekkel rendelkezik – a vízi távadó monitoring rendszer sem kizárt.

A radiológiai szempontból pedig a legpontosabb legprecízebb méréseket a különböző laboratóriumokban tudjuk elvégezni, ahol elsősorban a begyűjtött mintákból lehet nemcsak a sugárzás fajtájára, hanem annak fizikai, kémiai, biológiai formájára is következtetni. A laboratóriumok elvben mindenhol kialakíthatók, de elsősorban a szárazföldi laboratóriumok a legelterjedtebbek.

Gyalogos felderítés

A legrégebbi legegyszerűbb módszerek egyike. Múltja a katonai RBV (Radiológiai Biológiai Vegyi) felderítésig nyúlik vissza [1]. Bár először a katonai színterekre volt kidolgozva, de viszonylag gyorsan adaptálta a polgári védelem és a tűzoltóság [2] szakterület is. Manapság a katonai szervezeten kívül (MH GAVIK) [3] a katasztrófavédelem (BM OKF, iparbiztonsági szakterület) [2] egyes intézmények (MTA EK NFL, OSSKI OSKSZ) [4, 5] és egyéb nukleáris telephelyi szervezetek (pl.: MVM PA Zrt. BESZ) [6] is fel vannak készítve ilyen jellegű feladatokra. Mivel az egyik legrégebbi felderítési módszer így az általuk használt műszerek palettája talán a legszínesebb. Különböző fajtájú és nagyságú sugárzások mérésére képes kézi

műszerek állnak rendelkezésre és a mintavétel megoldása is lehetővé válik ily módon (1. ábra).



1. ábra Gyalogos felderítés során használható kézi műszerek és mintavevő eszközök [6]

A felderítendő terület nagysága viszonylag korlátozott bár ebből a szempontból a műszerek darabszáma és az emberi létszám nagysága a meghatározó. Révén, hogy ezek műszerek elég drágák és a szakképzett személyzet is elvárás, ami ugyancsak korlátos, viszonylag kisebb területek lassú feltérképezésére van lehetőség. Nagy előnye viszont, hogy a helyzetnek megfelelően tudjuk a műszereket váltani, illetve mintákat tudunk venni a későbbi pontosabb vizsgálatok céljára. Nagy gondot kell arra is fordítani, hogy a megfelelő védőfelszerelések adottak legyenek. Itt a sugárzás nagysága is fontos, mert egy bizonyos szint felett mérlegelendő az emberi erő bevonása. Amennyiben nem jelentős a sugárszennyezettség vagy pontforrás keresése a cél, ami csak lokálisan sugároz és az aktivitás értéke nem éri el az emberre veszélyes határértéket, akkor a gyalogos felderítés megfelelő módszer lehet. Amennyiben viszonylag kis aktivitású nyílt sugárforrásról beszélünk, akár pontbeli akár nagyobb kiterjedésű felületi, mindenképp kötelező a megfelelő védőruházat. Ez azt jelenti, hogy a testet mindenhol fedő kezeslábasra van szükség és a lélegzés radioaktív anyagokat megsűrű gázálarccal vagy frisslevegős túlnyomásos rendszerrel történjen. Amennyiben a sugárzáson kívül egyéb az egészségre veszélyes anyag is feltételezhető még komolyabb, a vegyi hatásoknak és/vagy esetlegesen a biológiai hatásoknak is ellenálló védőöltözet és gázálarcra van szükségünk (2. ábra).



2. ábra Védőöltözetek az elszennyezés elkerülésére [7]

A szóba jöhető kézi műszerek a különböző sugárzásokra (α , β , γ) vagy ezek kombinációjára érzékeny felületi szennyezettség mérők. Különböző féle (sugárzás fajtájától és mértékétől függő) dózis- és dózisteljesítmény-mérők. A mintavétel tekintetében elsősorban a levegő, talaj, felszíni- vagy felszín alatti vizek, növények és állatok jöhetnek szóba.

Gépjárművel történő felderítés

Ugyancsak régebről elterjedt módszer, aminek szintén a katonai szintér adott először helyet. Felderítő gépjárművek (3. ábra) kapcsán is azok az intézmények [2, 3, 4, 5, 6] jönnek számításba, mint amelyek a gyalogos felderítés során is.



3. ábra Sugárfelderítésre szolgáló járművek [7]

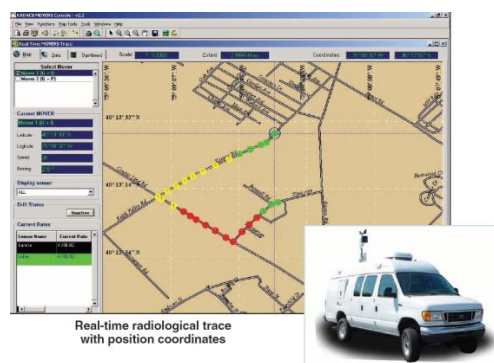
Műszereket illetően azonos műszerekkel rendelkezünk, mint ami a gyalogos felderítésben is rendelkezésre álltak, de ebben az esetben már rendelkezésre állnak azok a rögzített, telepített műszerek, amelyek gyalogosan nem vihetők nagyságuk, nehézségük esetleg kompaktabb mivoltuk miatt. Gondolok itt a nagy kristályú szcintillációs detektorokra, amelyek mérete és tömege már meghaladja azt a szintet, amit huzamos ideig gyalogszerrel mozgatható. Ezeknél a rendszereknél már sok esetben a detektor, a feldolgozó egység és a megjelenítő, különböző helyeken van kialakítva és kompaktabb szimultán feladatok elvégzésre is alkalmasak, főleg hogyha számítógépen futatott programokkal is szinkronizáljuk (4. ábra).



4. ábra Sugárfelderítő gépjármű felderítő eszközei [7]

Ennek egyik tipikus példája az útvonal-monitoring, ami nem jelent mást, minthogy a mért sugárvédelmi paramétereket összerendeljük a GPS koordinátákkal és a végén egy színskálázás segítségével meg tudjuk jeleníteni az értékeket térképen (5. ábra).

Ennek segítségével viszonylag gyorsan elég nagy területet tudunk feltérképezni kényelmesen és biztonságban. Mindez fokozottan igaz a sugárnyékolt kontamináció ellen védett fülkével rendelkező gépjárműre, ami bizonyos szintig a terepakadályok leküzdésére is képes. A kontamináció mentes alatt az értendő, hogy mind a vezetőfülke, mind az utastér úgy van kialakítva, hogy radioaktív anyag ne tudjon bejutni az autón belülré és ne tudja elszennyezni a berendezési tárgyakat, illetve személyzetet.



5. ábra Gépjárművel felvett útvonal-monitoring [8]

Ezt egyrészt a radioaktív anyagoktól megszűrt levegővel vagy a friss levegős túlnyomásos kabinnal lehet elérni vagy úgy kell kialakítani a vezetőfülkét és az utastert – amennyiben nem kizárható a kontamináció lehetősége – hogy a bent alkalmazott felületek és anyagok dekontaminálhatóak legyenek. A dekontaminálható felületekre jellemző, hogy vegyszereknek ellenálló homogén felületek, amin a szennyeződés nem tud megülni és megtapadni vagyis könnyen tisztítható akár vegyszeresen is.

A másik nagy előnye lehet az ilyen gépjárműveknek, hogy több telepített műszer esetén több mérést lehet végezni, így egy időben többfajta sugárzási paraméter megfigyelésére is lehetőség van, illetve intelligens rendszer esetén az adatok automatikusan tárolódnak és bizonyos algoritmusok szerint rögtön számításokat, modellezéseket lehet végezni, amely adatokat akár rögtön tovább lehet küldeni a megfelelő döntéshozóknak.

A különböző mintavételek is megoldhatók adott esetben, hogyha a gépjármű rendelkezik olyan kézi vagy automata mintavevővel, ami a kocsiból közvetlenül vagy a gépjárműből kiszállva végrehajtható. Bizonyos precízebb mérési lehetőség is adott lehet gépjárművön belül, a mintákból meghatározva, ezeket az autókat mobil laboroknak is szokták nevezni. Az

ilyen gépjárművek felszereltsége között megtalálhatók az in-situ rendszerek, amelyek ugyan kicsit időigényesebbek, de a helyszínen – amennyiben a környezeti viszonyok ezt megengedik – akár kitelepülve, akár a gépjárműben belülről vezérelve pontosabb, precízebb vizsgálatokat tesznek lehetővé. Ennek egyik példája az in-situ gamma-spektrometriai mérőrendszer, amely egy detektorból egy jelfeldolgozó egységből és egy kiértékelő szoftverből áll, és aminek segítségével relatíve rövid időn (sugárzás fajtájától és nagyságától is függ) belül izotóp szelektív mérésekhez juthatunk (6. ábra).



6. ábra Terepen végzett in-situ gamma-spektrometriai mérések [saját forrás]

Az izotóp szelektív meghatározás pedig nagyban hozzájárul a baleset súlyosságának és jellegének meghatározásában.

Figyelembe véve a beruházási, karbantartási és fenntartási költségeket ez a módszer költségesebb, mint a gyalogos felderítés, viszont a hatékonysága is nagyobb.

Távadó rendszerekkel történő felderítés, monitorozás

A távadó rendszerrel történő monitorozás, felderítés is régre nyúlik vissza. Ugyanis hamar felismerték a szakemberek azt, hogy a nukleáris szempontból veszélyes létesítmények állandó megfigyelésére ez az egyik legpraktikusabb módszer. Legfeljebb még kezdetben a vezetékes megtáplálás, jelátvitel és kommunikáció volt a mérvadó. Manapság egyre inkább a helyi megtáplálást, a vezeték nélküli jelátvitelt és kommunikációt vagy ezek kombinációját részesítjük előnybe.

Az ilyenfajta fejlődésre azért volt szükség, mert egyrészt folyamatosan fejlődött a technológia másrészt vezeték szakadás esetén biztonságosabbá teszi a rendszert. A távadó rendszereket ki lehet alakítani létesítményen belül és létesítményen kívül is. Az épületen belülieket sokszor technológiai távadóknak is nevezzük (7. ábra), hiszen a technológiától és annak veszélyességétől függően történik a telepítésük és védelmük.



7. ábra Távadó rendszerek az atomerőműben [saját forrás]

A létesítményen kívülre kibocsátás- és környezetellenőrző távadóknak is szoktuk nevezni, hiszen az esetleges kijutási pontokat és a tágabb környezetet monitorozzák. A helyi megtáplálást a létesítés helyétől függően vagy akkumulátorral szoktuk megoldani, vagy ha adottak a feltételek egyéb megújuló energiaforrás is szóba jöhet (pl.: nap, szél, víz, geotermikus stb.).



8. ábra Távadó rendszerek az atomerőmű környezetében [saját forrás]

A vezeték nélküli jelátvitelre és kommunikációra pedig ugyancsak többféle lehetőség adott ilyenek például a rádiós, lézeres, mikrohullámú, műholdas, EDR stb. rendszerek. Felépítésük igen változatos. Amennyiben szélsőséges körülmények közé (pl.: extrém sugárzás-, hőmérséklet-, nyomás-, vegyszeres közeg stb.) kell telepíteni a mérőrendszert, ebben az esetben csak a legfontosabb részét, vagyis a mérőfejet telepítjük a helyszínre a megfelelő védelemmel. A nagyobb létesítményeknél, jellemzően egy központi vezénylőbe küldjük be a jeleket, ahol az adatok egyszerre állnak rendelkezésre és egy sokkal áttekinthetőbb formában lehet megjeleníteni, és ha szükséges sok helyen, helyben beavatkozásra is lehetőség van (9. ábra).



9. ábra Összegyűjtött jelzések megjelenítése a központi vezénylőben [saját forrás]

Ebben az esetben még arra is lehetőség van, hogy rögtön számításokat tudjunk végezni vagy végeztetni a számítógépes rendszerekkel, amelyek automatizáltságuknak köszönhetően rögtön jelenteni-, jelezni-, kommunikálni és javaslatokat is tudnak adni.

A távadók alkalmazási területe igen széles körű. Mind légnemű, mind folyékony, mind szilárd közegekben is alkalmazhatók, ráadásul kialakításuk révén extrém körülmények között is használhatóak. A mérések elvégzéséhez nem szükséges személyzet tehát az ember kitettsége védve van. Szakképzett személyzet csak az értékek értelmezéséhez és az azokból levonható következtetésekhez, esetleges beavatkozáshoz kellene. A megfelelő mérőfejek kiválasztásával mind mennyiségi, mind minőségi meghatározásokat jól el lehet végezni, csak előre nem tervezett események esetén lehet szükség kiegészítő mérésekre.

Elsősorban a különböző közegekből mért aktivitás-koncentrációk- és dózisteljesítmény meghatározására használják, de mintavételek is végezhetők segítségükkel. Sok esetben ezek a rendszerek fel vannak készítve nemcsak a normálüzemi, hanem tervezett üzemzavari esetleg baleseti szituációkra is. Mivel elég bonyolult és sok berendezést magában foglaló rendszerről beszélünk, ezért a beruházás nagy költségekkel jár és folyamatos karbantartást, valamint fejlesztést igényel. Az üzemeltetési költség viszont elhanyagolható a beruházási és karbantartási költségekhez képest.

Robotokkal történő felderítés

A robottechnika már nem nyúlik vissza annyira az időben, mint a gyalogos- gépjárműves- vagy távadókkal történő felderítés. Az elmúlt időben rohamos fejlődésen ment keresztül. Elsősorban egyedi speciális feladatok elvégzésére lettek kifejlesztve (10. ábra).



10. ábra Különböző sugárvédelmi célra használt robotok [9, 10, 11]

Nagy előnyük, hogy az emberre veszélyes (pl.: magas sugárzás, egészségre veszélyes anyag stb.) helyszíneket képesek megközelíteni vezetékes vagy vezeték nélküli kapcsolaton keresztül, de léteznek már előre beprogramozott robotok is, amelyeknek nem szükséges a közvetlen irányítás. A robotok úgy vannak kialakítva, hogy többféle eszközzel is fel lehessen szerelni és adott esetben szimultán feladatokat is képesek legyenek ellátni. Sok esetben különböző kamerákkal vannak felszerelve, hogy vizuális megjelenítést is tudjon szolgáltatni. Előnyei mellett, meg kell említeni, hogy bizonyos környezeti feltételek (pl.: szélsőséges időjárás, extrém magas sugárzás stb.), terepakadályok meggátolhatják bevetésüket. Korlátozó tényezőik közé tartozhat a hatótávolság és a működési idő, mivel általában kisebb kiterjedésű robotokról beszélhetünk, amelyek jó része akkumulátorról működtethető. Méréseket figyelembe véve alkalmas lehet dózis-, dózisteljesítmény-, felületi szennyezettség- és aktivitás-, illetve aktivitás-koncentráció mérésére is. A robotok jól felhasználhatók különböző közegekből vett mintavételekre is. Előnyös tulajdonságai közé tartozik még mobilitásuk, hiszen könnyen szállíthatók a bevetés helyére, illetve az előző rendszerekhez képest viszonylag olcsók, főleg hogyha csak egy-egy feladatra használjuk őket nem pedig komplex feladatokra.

Helikopteres légi felderítés

A motoros helikopterek megjelenése nagy áttörés volt a légi járművek tekintetében és rögtön felismerhetővé vált sokrétű bevetetősége. Előnyös tulajdonságai közé tartozik, hogy lebegni tud, de szükség esetén viszonylag nagy sebességre is képes. Kortörténetét tekintve megint csak a katonai hadszíntérig kell visszanyúlnunk. Először a hagyományos katonai célú felderítésekre használták, aztán hamar felismerték előnyös tulajdonságai miatt az egyéb

specifikusabb felhasználási területeit is. Így jöhetett számításba a sugárvédelmi célú felderítésben is. Felhasználhatósága bizonyított mind pontforrás keresésekor, mind pedig nagyobb kiterjedésű felületi szennyezettség feltérképezésekor, amit magyarországi viszonylatban is többször bizonyított. Először az MI-8-as helikopteren rendszeresített IH-31L (11. ábra) sugárszintmérő, majd kivonása után az MI-24D harci helikopterre felszerelhető „Gamma” konténer (BNS-89 dózisteljesítmény-távadó, NDI/SK spec. szcintillációs detektor) 11. ábra [12].



11. ábra Balra az IH-31L légi felderítő rendszer, jobbra az MI-24D helikopterre felszerelt konténer (BNS-89 és NDI/SK detektorral) [13, 14]

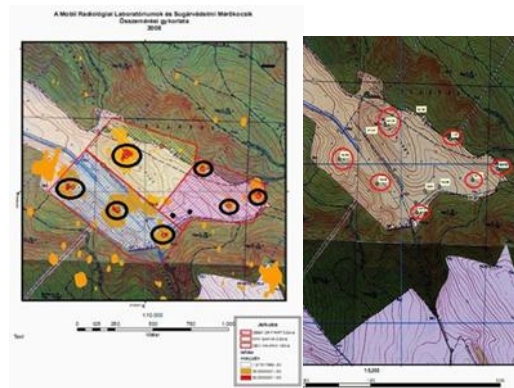
A harci helikopterek esetén a sugárnyékolás kérdése is részben megoldott vastag páncélzata révén így kevésbé van kitéve a személyzet a sugárzás ellen. A másik sugárzás elleni hathatós védekezés a távolságvédelem. Ebben az esetben meg kell választani azt az optimális távolságsebesség egyensúlyt, ami még a felderítést lehetővé teszi, de a személyzetet is megvédi a távolság miatt a sugárzástól. A légi- és a szárazföldi felderítés összehasonlítására vonatkozóan—a hazai gyakorlatozásoknak (7 eset, 6 helyszín) köszönhetően—eredményekkel is rendelkezünk [12]. Ebből az derült ki, hogy a légi felderítés technológiája a pontosság tekintetében összevethető a földi felderítéssel. 500 kBq aktivitású nagy energiájú (500 keV feletti) forrás meglétét ki lehet mutatni és be lehet metszeni annak helyét, illetve kisebb energiájú (100-500 keV) források esetében az 1,5 – 2 MBq aktivitás megtalálása biztosítható 50 méteres repülési magasság tartásával. A szennyezett terepszakasz felderítésekor 300 km²/h/járőr, pontforrásnál 20 km²/h/járőr teljesítmény valósítható meg a következő paraméterek mellett 1. táblázat.

Felderítés célja	Repülési sebesség	Repülési magasság
Szennyezett terepszakasz felderítése	150 – 180 km/h	60 – 80 m
Pontforrás felderítése	100 – 120 km/h	50 – 60 m

1. táblázat Helikopteres felderítés paraméterezése [12]

A műszerezettségét tekintve a fedélzeti műszerek vagy azzal kompatibilis nagyobb műszerek jöhetnek számításba. Kézi műszerekkel felszerelni nincs értelme, hacsak nem csapatszállító funkciója van a helikopternek. Gyorsasága révén viszonylag könnyen és gyorsan bevethető. Beruházási-, üzemeltetési- és karbantartási költsége igen magas, viszont rövid időn belül nagy

területeket tud felderíteni és a pontossága is összevethető, akár a gyalogos akár a mérőkocsis felderítéssel 12. ábra.



12. ábra Bal oldalon a helikopterrel lokalizált sugárforrások, jobb oldalon a földi felderítéssel lokalizált sugárforrások [12]

Figyelembe kell még venni, hogy extrém időjárási körülmények között a helikopter sem bevethető, illetve kiszolgáló személyzet révén a sugárzásnak való kitettség sem elhanyagolható. Szárazföldi fixált szennyezettség révén még előnyös tulajdonsága, hogy a kontamináció veszélye nem áll fenn.

Merevszárnyú légi felderítés

A helikopteres felderítéshez képest, hasonló tulajdonságokkal rendelkezik, egy-két lényeges dolgot leszámítva. Egyrészt nem képes lebegésre, másrészt alacsony sebesség tartására, következésképp bizonyos magasság alá nem tud tartósan süllyedni. Ezek a tulajdonságok azt vonják maguk után, hogy csak nagy aktivitások szárazföldi kimutatására képesek, viszont a területek tekintetében sokkal nagyobb részeket tudnak feltérképezni a helikopterhez képest egységnyi idő alatt. Másik bevethetőségi területe, hogy a már légkörbe kikerült aktivitások mérésére és a légkörből való levegő mintavételre alkalmas (13. ábra).



13. ábra Repülővel történő sugárfelderítés [15]

Beruházási-, üzemeltetési-, fenntartási költsége pedig még a helikopterekénél is jellemzően magasabb. Ezek alól csak a kis merevszárnyú repülő (magán célra gyártott, vagy jellemzően mezőgazdasági feladatokra gyártott kisgépek) a kivételek.

Drónok légi felderítése

A drónok tekintetében is meg kell említeni a fajta jellegét illetően, a merevszárnyú és a forgószárnyú típusúakat, de számításba jöhetnek a léghajó típusú vagy egyéb módon (pl.: csapkodó szárnyú, ventilációs elvű stb.) működő drónok is (14. ábra).



14. ábra Különböző elven működő drónok [14, 16]

A fejlesztéseket illetően a merevszárnyú drónok régebbre nyúlnak vissza, viszont a forgószárnyas modellek a 21. század vívmányai. A forgószárnyas modellek közül is többféle ismeretes ilyenek például a szárnyak számától függően a tri-, kvadro-, hexa-, és okto kopterek 15. ábra.



15. ábra Rotorok számában különböző forgószárnyas drónok [17, 18]

A meghajtó rendszerük tekintetében 100 kg nagyságig villany- vagy robbanómotor a jellemző e feletti tömeg esetén gázturbinával vagy sugárhajtóművel rendelkeznek [19]. A merevszárnyú drónok esetében magyar-cseh fejlesztésű sugárfelderítő drónokról is beszélhetünk Szojka-III. formájában (16. ábra), ami a Gamma Műszaki Zrt. által forgalmazott RABV sugárfelderítő rendszerrel van felszerelve [7].



16. ábra Szojka-III sugárfelderítő drón [14]

A Szojka-III-ra elmondható, hogy mint pontforrás keresésre mind kiterjedten szennyezett szakaszok lokalizálására és felderítésére is képes. A gamma sugárzás esetén 50 nGy/h – 500 mGy/h mérési tartományok között tud mérni 60 keV és 1,5 MeV között. Mint az az előzőekből is kiderült inkább a nagyobb területek és nagyobb aktivitások felmérésekor vethetők be előnyösebben, kisebb aktivitások alacsonyabb magasságból való vizsgálatokor, vagy precíziós feladatok ellátásakor a forgószárnyas drónok bizonyulnak hatásosabbnak.

A műszerezettségüket tekintve igen változatos a paletta. A kisebb drónok a kézi műszer nagyságú, a nagyobb drónok a gépjárműveknél és légifelderítésnél is használt nagyobb méretű dózis és dózis-teljesítmény- mérőket valamint felületi szennyezettség-mérőket és spektrum felvételére is alkalmas szcintillációs- és/vagy félvezető detektorokat is elbírájk. Emiatt nagyon sokrétűen bevetethetők.

Nagy előnyük még, hogy vagy előre beprogramozhatóak vagy távolról irányíthatóak. Viszonylag olcsók a többi járműhez képest és a távolról való irányíthatóság miatt az emberi élet sincs kitéve a sugárzás káros hatásának. Amennyiben még azt is figyelembe vesszük, hogy a különböző közegekből mintát is tud venni, akár repülés közben is, akkor beláthatjuk, hogy az egyik legsokoldalúbban kihasználható légi sugárfelderítő berendezésről beszélhetünk.

A szabadban használt drónoknál egyedül a szélsőséges időjárással kell kompromisszumot kötnünk. Másik veszélyforrás a sugárállékonysága, aminek irányába a fejlesztések folynak, hogy az elektronika és a távvezérlés ne sérüljön.

Előnyként sorolható még föl, hogy a robotokhoz vagy távmérő rendszerekhez hasonlóan az emberre már veszélyt jelentő területeken is használható. A drónok sugárfelderítő képességeinek kiaknázási lehetőségeit illetően nemzetközi szinten is sokan felfigyeltek, ezért nagy erejű fejlesztések vannak és várhatóak ezen a területen. Az egyik leginkább élen haladó szervezet ezen a téren a Bristol Egyetem [20, 21, 22], akik az AARM (Advanced Airborne Radiation Mapping) rendszerre alapozva végzik kutatásaikat és kísérleteiket 17. ábra.

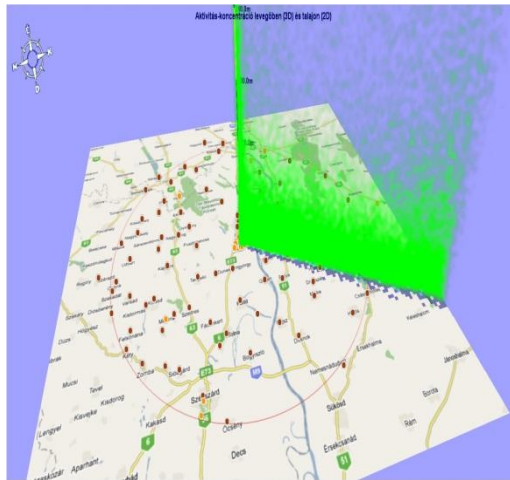


17. ábra Bristol Egyetem által fejlesztett speciális sugárfelderítő drónok [20, 21, 22]

Döntéstámogató és modellező szoftverek a felderítésben

Ezek a berendezések igazából inkább csak kiegészítik a mérőberendezések által szolgáltatott adatokat. Mivel azonban a nagy adathalmaz feljegyzésében, archiválásában, megjelenítésében, az adatok feldolgozásában, adatokból történő számításokban, modellezésekben, előrejelzésekben, adattovábbításban, jelentéskészítésben, figyelmeztetésben egyéb beállított riasztási szintek jelzésében nagy segítséget nyújtanak, ezért nélkülözhetetlenek a mindennapi életben.

Ezen programokat úgy kell kiválasztani, hogy a lehető legjobban illeszkedjen a rendszerünkhöz, illetve nagyon fontos szempont az is, hogy mit szeretnénk a programoktól. Előfordulhat például egy terjedésszámító szoftver esetén, hogy csak a telephelyi és közvetlen környezetet szeretnénk, hogy modellezze. Ebben az esetben olyan modellszámításokat kell alapul venni, ami kimondottan erre a területre terjed ki, viszont a lehető legpontosabban kell paraméterezni (pl.: épülethatások, felületi érdesség, borítottság stb.) hogy ebben a régióban a lehető legpontosabb eredményeket kapjuk 18. ábra.



18. ábra Telephelyi terjedésszámító szoftver vizuális megjelenítése [saját forrás]

Az előző példánál maradva egy másik mérlegelendő eset lehet, hogy a helyi munkavállalók kimenekítése a cél vagy, hogy a környező lakosságra egy bizonyos idő elteltével milyen hatással lehet a sugárszennyezettség. Még az előző esetben a telephelyi aktuális meteorológiával kell számolnunk, utóbbi esetben célszerű lehet az előre jelzett meteorológiával a számításokat lefuttatni.

Tehát a szoftverek segítségével legvégül egy letisztult kép rajzolódik ki, ami segít a lehető leggyorsabb leoptimalisabb döntések meghozatalában. Ezen rendszerek kiépítése a programok beszerzése és futtatása igen költséges és megfelelő teljesítményű számítógépeket és fejlett hálózatot von maga után, amit ráadásul a tudomány fejlődése révén folyamatosan frissíteni és fejleszteni illik.

Az ilyen fajta támogatói rendszereknél – mivel nagyban függ a számítógépes rendszerektől és a hálózattól - érdemes ezeket a berendezéseket redundáns és diverz módon biztosítani, és ha szükséges az információbiztonsági oldalt is megerősíteni. Az ilyen rendszerek kezelése jól szakképzett személyzetet igényel.

Rendszerint a beruházási költség ebben az esetben a legjelentősebb, a fenntartási és karbantartási költségek a beruházáshoz képest nem jelentősek.

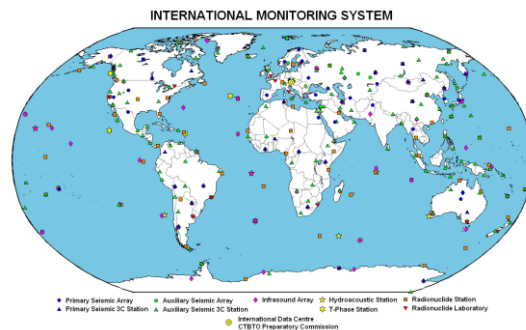
Vízi felderítés

Vízi felderítésre akkor kerülhet sor, hogyha valamilyen nukleáris létesítmény a víz mellé létesült. Márpedig, ha csak az atomerőművek hűtési folyamatait vagy egyéb technológiai műveleteiket vesszük figyelembe, igen tekintélyes mennyiségeket használnak fel. A nukleáris létesítményeken kívül a vízi felderítés kiterjedhet még a nukleáris alapon meghajtott pl. vízi járművekre is. Illetve egy harmadik formája a vízen való felderítésnek, hogyha a nemzetközi mérőhálózatok lefedettségét kell biztosítani pl. mérőhajók segítségével. A vízi felderítés történhet csónakból, illetve kisebb és nagyobb hajókból (19. ábra).



19. ábra Univerzálisan felhasználható felderítő kishajó [7]

Közvetlen méréseket nehéz a vízből végezni, mivel az áramlási viszonyok a víz rétegződése, mélysége sokszor inhomogénné teszi a közeget és nagy a bizonytalansága a méréseknek. Sok esetben inkább a mintavételen alapuló méréseket lehet mérvadónak tekinteni, tehát közvetett módon lehet meghatározni. A meghatározás történhet magán a hajón vagy vízi és szárazföldi laboratóriumokban. A mérések a dózisteljesítmény meghatározásán túl kiterjednek a különböző sugárzások aktivitás-koncentráció meghatározásáig. A nukleáris alapon működő vízi járművek ugyanúgy, mint egy nukleáris létesítménynél rendelkeznie kell telepített távadó rendszerekkel, illetve olyan személyzettel, akik akár közvetlen mérésekkel vagy mintavételen alapuló közvetett mérésekkel meg tudják határozni a dózis értékeket, illetve aktivitásokat. A nagyfelületű vizeken telepített, általában nemzetközi mérőhálózatok részeként működő távadók a különböző nukleáris fegyverekkel való kísérletezések, nukleáris balesetek felderítésének és monitorozásának részei 20. ábra.



20. ábra CTBTO nemzetközi hálózata [23]

A vízfelületekre telepített mérőegységek sokszor mintavételi lehetőséggel is szolgálnak. A szárazföldtől messzebb lévő távadók általában helyi megtáplálással és vezeték nélküli kapcsolattal kommunikálnak.

Laboratórium segítségével történő felderítés, meghatározás

A laboratóriumok segítségével tudjuk a legpontosabb legprecízebb méréseket elvégezni. Léteznek fixen telepített és mobil laborok. A fixen telepített laborokat célszerű a nukleáris létesítményen belül egy védett helyen és/vagy a létesítményen kívül viszonylagos közeli helyen létesíteni. Amennyiben több nukleáris létesítmény is van egymástól különböző helyen, akkor egy biztonságos központi hely kiválasztása a praktikus. Mivel a laboratóriumokban speciális vizsgálatokat végezzük, ezért elengedhetetlen a jól szakképzett személyzet. A

laboratóriumban nemcsak a sugárzás milyenségét, nagyságát összetételét lehet megvizsgálni, hanem adott esetben annak fizikai, kémiai, biológiai mivoltát is. Ennek köszönhetően a sugárzás forrására, kihatására, annak következményeire is lehet következtetni.

A laboratóriumi vizsgálatoknak azonban van hátrányi is. A pontosabb vizsgálatok időigényesek és általában közvetett mérésekre van csak lehetőség, ami azt jelenti, hogy a behozott minták analízise után mondhatók csak eredmények. Alapkövetelmény a mérési eredmények „jóságának” a precíz, reprezentatív mintavétel és a tökéletes minta feldolgozás. Ezek után már csak a megfelelően kiválasztott és jól beállított műszerek szakszerű használatán és a kiértékelés precízén múlik a tökéletes eredmény.

A laboratórium nagysága, műszerezettsége és a szakképzett személyzet nagysága felkészültsége korlátozhatja be a vizsgálatok irányultságát és sokféleségét. A vizsgálatok során lehetőség van külön vizsgálatokat végezni alfa-, béta-, gamma- vagy neutron sugárzásra vagy ezek kombinációjára. Külön lehet vizsgálatokat végezni az egyes izotópokra, izotópszелеktiv mérések segítségével. A környezetben előforduló gyors tájékozódó mérésekhez képest több nagyságrenddel kisebb értékek kimutatása is megvalósítható. Jellemző a laboratóriumokra, pontosan komplexitásuk és pontosságuk miatt, hogy nagyon nagy a beruházási, fenntartási és karbantartási költség 21. ábra.



21. ábra Radiológiai labor [saját forrás]

SUGÁRFELDERÍTÉS ÖSSZETÉTELE

A nukleáris létesítmények sugárzási paramétereinek egyik leggyorsabb, legkiterjedtebb és leginformatívabb monitoring eszköze a távadó állomásokról jövő adatok. Amennyiben ezen adatok rendelkezésre állnak a technológiáknak és az eseményeknek megfelelő frissítésben jó kiindulási alap lehet a létesítmény sugárvédelmi helyzetéről. Sajnos, azonban egy baleseti helyzetben nem biztos, hogy minden a távadó állomásról elérhető adat rendelkezésre áll. Ezt okozhatja – a baleset jellégétől adódóan – az hogy a mérési pont meghibásodott esetleg megsemmisült, vagy legalábbis a jelátvitel, illetve kommunikáció nem valósult meg. A távadók esetében még arra is nagy figyelmet kell fordítani, hogy milyen sugárzást milyen méréshatárok között képesek regisztrálni. Előfordulhat az a helyzet is, hogy bizonyos mérőfejek bizonyos sugárzásra nem vagy csak részben érzékenyek vagy méréshatáron kívül

esnek és ez miatt nem mutat helyes értéket. Ebben az esetben mindenképp ki kell egészíteni a monitoringot egyéb felderítési módszerrel, hogy az adatok helyességéről meggyőződhesünk.

Az egyéb felderítési módszer kiválasztásánál figyelembe kell venni a megközelíthetőséget, a feltételezett sugárzás milyenségét és nagyságát, a meteorológiai paramétereket, az egyéb környezeti tényezőket és a várható egyéb veszélyeket. Amennyiben létesítményen belül szükséges a kiegészítő vagy teljes felderítés szóba jöhet a gyalogos, a robotos vagy a speciális drónos felderítés. Amennyiben a sugárzás fajtája és nagysága ezt nem teszi, lehetővé a gyalogos felderítést el kell vetni és csak a távirányítással működő vagy előre beprogramozott robot és drón jöhet számításba. Amennyiben a robot olyan terepakadállyal találja szembe magát, amit nem tud leküzdeni, akkor csak a drón bevetettségébe bízhatunk. A megfelelő műszerezettség minden esetben alapkritérium, vagyis mindenfajta sugárzásra és széles tartományok közötti mérésre kell, hogy képes legyen. Az elsődleges szempont, hogy tájékoztató jellegű mérések szülessenek és ezek az adatok a lehető leggyorsabban el is jussanak a megfelelő adatokat összegyűjtő helyre.

Abban az esetben, ha létesítményen kívüli kiegészítő felderítés vagy teljes felderítés szükséges szóba jöhet az előzőeken kívül még a gépjárművel, helikopterrel, repülővel, vízi járművel történő felderítés. A megfelelő módszer kiválasztásához megint csak figyelembe kell venni a megközelíthetőséget, a feltételezett sugárzás fajtáját és nagyságát, a meteorológiai paramétereket, az egyéb környezeti tényezőket és a várható egyéb veszélyeket. Szélsőséges időjárási viszonyok között a légi- és vízi felderítés több szempontból (pl.: eszköz lezuhanásának vagy elsüllyedésének veszélye, emberélet kockáztatása, még nagyobb károk okozása stb.) is kockázatos így nem jöhet számításba.

Abban az esetben, ha az időjárási viszonyok megengedik az egyik szempont a gyorsaság lehet. Gyorsaság szempontjából a leghatásosabb módszer a légi felderítés. A nagy kiterjedésű terület nagy aktivitású és energiájú radionukliddal vagy radionuklidokkal való elszennyezés feltérképezésére a merevszárnyú repülőket vagy drónok jöhetnek számításba. Abban az esetben ha kisebb kiterjedésű területeket kell pontosabban feltérképezni, akkor a helikopterek és a forgószárnyas drónok, valamint a gépjárműves- és vízi járműves felderítés az előző módszerek után a leggyorsabb eljárás.

Amennyiben még pontosabb felderítésre van szükségünk jöhet a gyalogos felderítés, ami viszont az egyik leglassabb eljárás. Ha a terepakadályok és a megközelíthetőség gondot jelent, akkor megint csak a légi felderítés az optimális. Ha a sugárzás fajtája és/vagy nagysága túlzottan veszélyes vagy olyan egyéb veszélyes tényező (pl.: mérgező vegyi gázok, biológiailag veszélyes vírusok stb.) lehet, ami az emberre nézve már túl nagy kockázatot jelent, akkor a távirányítású vagy előre beprogramozott drónok, robotok jelenthetnek megoldást.

Hogyha az informatív jellegű mérések rendelkezésre állnak, akkor törekedni kell, hogy a lehető leggyorsabban eljussanak a központi adatgyűjtő helyre, hogy az adatokat a lehető leggyorsabban fel is dolgozhassák. Ennek egyik leggyorsabb módja, hogy vezetékes vagy vezeték nélküli hálózaton beküldjük az adatfeldolgozó központba. A leglassabb és legrégebbi módja, hogy bediktáljuk valamilyen telekommunikációs eszközzel vagy személyesen bevisszük. Akárhogy is jutnak be az adatok, azokat központilag a lehető leggyorsabban fel

kell dolgozni, és ha szükséges a megfelelő számításokat modellezéseket el kell végezni. Ebben nagy segítséget nyújthatnak a modellező szoftverek és döntéstámogató eszközök, szoftverek. Amennyiben ezek nem állnak rendelkezésre akkor is törekedni kell arra, hogy a döntéshozók elé a lehető legletisztultabb kép „táruljon”. Amennyiben a tájékoztató adatok további kérdéseket vetnek fel vagy precíz mérési eredményekre van szükség. Ebben az esetben jönnek képbe a különböző felszereltségű laborok, mozgó laborok, ahol az időigényesebb viszont mindenre kiterjedő vizsgálatokat el lehet végezni.

ÖSSZEFOGLALÁS

Ahogy az előzőekből kiderült egy esetlegesen bekövetkezett nukleáris baleset vagy súlyos nukleáris baleset esetén többféle lehetőség van a radioaktív sugárzás felderítésére, monitorozására. Ebben a munkámban elsősorban a nukleáris létesítményekre fókuszáltam, de egyéb nukleáris katasztrófák esetén is bevethetők a módszerek jó része. Gondolok itt az atomhajítású hajókra, tengeralattjárókra, nukleáris alapon működő műholdakra, nukleáris anyag szállítására és így tovább. A felhasználhatóságok tekintetében többször kompromisszumra kell jutni, de az esetek többségében több alternatíva is rendelkezésre áll. Megismerve ezeket a módszereket, arra kell törekednünk, hogy ezen módszerek rendelkezésre álljanak és folyamatos gyakorlatokkal fejlesztésekkel ezeket a módszereket még tovább fejlesszük és még jobban megismerjük. Jelenleg rendelkezésre áll az a technológia, hogy egy esetlegesen bekövetkező nukleáris- vagy súlyos nukleáris baleset során a környezetet és a lakosságot érintő károsodásokat minimalizáljuk, vagy mihamarabb felszámolhassuk.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Kiss Mihály, Kovács Gyula, Palya József, Balogh László, Schvajda Béla: RBV parancsnoki ismeretek Url: http://www.abparancsok.hu/sites/default/files/parancsok/12_402_7_1970.pdf, 2017.11.23.
2. BM OKF: Polgári védelem, Tűzoltóság Url: http://www.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=tuzvedelem_index, 2017.11.23.
3. HONVÉDELEM.HU: MH Görgei Artúr Vegyivédelmi Információs Központ Url: http://h.honvedelem.hu/alakulatok/mh_gavik, 2017.11.23.
4. MTA EK: MTA EK, Nukleáris Törvényszéki Analitikai Laboratórium Url: <http://www.energia.mta.hu/hu/content/mta-ek-nuklearis-torvenyszeki-analitikai-laboratorium-0>, 2017.11.23.
5. Ballay László, Turák Olivér, Pellet Sándor, Turai István: Az országos sugáregészségügyi készenléti szolgálat tevékenysége 2005-2009 Url: <http://www.sugarvedelem.hu/sugarvedelem/docs/kulonsz/2010sv/eloadasok/22.pdf>, 2017.11.23.
6. Manga László, Lencsés András, Bana János, Kátai-Urbán Lajos, Vass Gyula: a Paksi Atomerőmű nukleárisbaleset-elhárítási rendszere sugárvédelmi szempontból Url:

- http://www.sugarvedelem.hu/sugarvedelem/docs/kulonsz/2016sv/PDF/2/Manga_L_2016.pdf, 2017.11.23.
7. Gamma Műszaki Zrt.: Galéria, válogatott képek Url:
<http://www.gammatech.hu/index.php?lang=hun&mnuGrp=mnuProducts&module=main>, 2017.11.23.
 8. MIRION TECHNOLOGIES: MOVERS™ Mobile Vehicle-based Emergency Radiation Monitorin System Url:
http://www.canberra.com/products/env_rad_monitoring/pdf/MOVERS-SS-C28047.pdf, 2017.11.23.
 9. A.N Bogatchev, V.I. Koutcherenko, S.I. Matrossov, S.V. Fedoseev, M.I. Malenkov, S.A. Vladikin, V.N. Kashirin, V.S.Solomnikov, V.N. Petriga: Special mobile robot STR-1 for liquidation of the accident consequences at the chernobyl NPP Url:
http://www.rovercompany.ru/News/New_01.html, 2017.11.23.
 10. FACTS AND DETAILS: Brave workers and robots at the Fukushima NPP Url:
<http://factsanddetails.com/japan/cat26/sub162/item1666.html>, 2017.11.23.
 11. AREVA: SUSI Robot used in nuclear reactor lifetime extension project Url:
<http://www.pennenergy.com/articles/pennenergy/2013/11/susi-robot-used-in-nuclear-reactor-lifetime-extension-project.html>, 2017.11.23.
 12. Zelenák János, Csurgai József, Halász László, Solymosi József, Vincze Árpád: A légi sugárfelderítés képességei alkalmazhatóságának vizsgálata elveszett, vagy elloptott sugárforrások felkutatása, illetve szennyezett terepszakaszok felderítése során Url:
http://hadmernok.hu/2009_1_zelenak.pdf, 2017.11.23.
 13. Bäumlér Ede: Katonai nukleáris műszerek hazai fejlesztése, gyártása az 1954-1990 időszakban Url:
<http://www.sugarvedelem.hu/sugarvedelem/docs/kulonsz/2012sv/BaumlerKatonaiMuszergyartas.pdf>, 2017.11.23.
 14. Manga László, Csurgai József: Pilóta nélküli repülők a sugárfelderítésben Url:
http://www.sugarvedelem.hu/sugarvedelem/docs/kulonsz/2017sv/szerda/Pilota_nelkuli_repulok_a_sugarfelderitesben.pdf, 2017.11.23.
 15. Mail online: US 'nuclear sniffer' plane flies to Norway - where radiation particles spreading across Europe were first detected - as mystery still surrounds the source Url:
<http://www.dailymail.co.uk/news/article-4250098/US-nuclear-sniffer-plane-flies-Norway.html>, 2017.11.23.
 16. Unlimiteddrone: Bladeless Drone-the Future of drones? Url:
<http://unlimiteddrone.com/2017/08/21/bladeless-drone-future-of-drones/>, 2017.11.23.
 17. DIY DRONES: Quad vs Hexa vs Octo –copter Url:
<http://diydrone.com/forum/topics/quad-vs-hexa-vs-octo-copter>, 2017.11.23.
 18. Defense Update: Da-Vinci tri-copter is built for urban warfare Url: http://defense-update.com/20141014_davinci.html, 2017.11.23.

19. M3OLCK_Drónok alkalmazása: Drónok típusai Url: <https://sites.google.com/site/m3olckdronokalkalmazasa/dronok-tipusai>, 2017.11.23.
20. POWER TECHNOLOGY: Bristol octocopter to take the sting out of Fukushima nuclear radiation monitoring Url: <http://www.power-technology.com/features/featurebristol-octocopter-to-take-the-sting-out-of-fukushima-nuclear-radiation-monitoring/>, 2017.11.23.
21. University of BRISTOL: New drone-based system set to dramatically improve safety of dealing with nuclear hazards Url: <http://www.bris.ac.uk/news/2014/march/aarm-funding.html>, 2017.11.23.
22. DRONES FOR GOOD AWARD: AARM - Advanced Airborne Radiation Mapping Url: <http://dronesforgood.ae/finals/aarm-advanced-airborne-radiation-mapping/>, 2017.11.23.
23. Natural Resources Canada: Nuclear Explosion Monitoring (NEM) Url: <http://can-ndc.nrcan.gc.ca/index-en.php>, 2017.11.23.