

Major Gábor, Tamás Miklós

Az atomerőművek drónokkal szembeni védettsége

Akár az atomerőművek, akár a pilóta nélküli légitársaságok, a 21. században mindenki által ismert és megosztó fogalmak. Bármilyen kritika megfogalmazható e két technikai, technológiai vívmány mellett és/vagy akár ellene is, de be kell látni azt, hogy csak annak van létjogosultsága, és az fejlődik minden gáncsolási kísérlet ellenére, amire szükség vagy még inkább, amire kereslet van. Az alábbi publikációban a szerzők azt mutatják be, hogy egy speciális területen, mint az atomipar, az atomerőművek fizikai védettsége milyen kapcsolatot mutathat a korunk dinamikusán fejlődő légi eszközével, a pilóta nélküli légi járművekkel. A cikkből az olvasó megismerheti az atomerőművek néhány biztonsági jellemzőjét, a felépítésből adódó sebezhetőségét, valamint a drónokkal szembeni védekezés szükségességét és megoldhatóságát.

Kulcsszavak: pilóta nélküli légitársaságok, drón, atomerőmű, UAV elleni védelem, kritikus infrastruktúra

1. Bevezetés

Amikor a jelenkor hatékony energiatermeléséről beszélünk, nem mehetünk el a nukleáris energiában rejlő lehetőségek mellett. A rengeteg előnye mellett azonban a hátrányok oldalán is találhatunk számos „mérőkövet” annak veszélyessége miatt [25, 183]. A címben szereplő elnevezések mindegyike, mint az atomerőmű és a drón is jelentős vitát képes generálni, csupán a pusztán említésük okán. Egyik „szereplőre” sem mondja az „utca embere”, hogy jó vagy netalán rossz, mindkét esetben érzelmdús véleményt képes alkotni. Úgy az atomerőművek, az atom békés felhasználása, mint a pilóta nélküli légi járművek érzelmeiket generálnak az emberekben attól függően, hogy milyen élményük vagy milyen ismeret áll rendelkezésükre a témát illetően.

A II. világháború időszakában, 1942-ben Chicagóban építették meg az első, kísérleti atomreaktort, amit Szilárd Leó¹ és Enrico Fermi² azzal a céllal hozott létre, hogy igazolja a szabályozott láncreakció megvalósíthatóságát. A munkásságuknak köszönhetően az 1950-es években megkezdődött a maghasadás vagy magfúzió elvén működő, elektromosságot generáló nukleáris erőművek építése, az atomenergia békés céllal történő felhasználása. Az elmúlt évtizedek alatt számos reaktorblokk épült, és kezdte leváltani a fosszilis tüzelésű erőművek jelentős részét, de az előnyeiket és hátrányait vizsgálva (lásd 1. ábra) elmondható, hogy van

¹ 1898. 02. 11. – 1964. 05. 30. magyar származású fizikus.

² 1901. 09. 29. – 1954. 11. 28. olasz származású fizikus, 1938-ban fizikai Nobel-díjat kapott az indukált radioaktivitással kapcsolatos munkásságáért.

bőven olyan terület, ahol a mérnökök, tervezők, biztonsági szakemberek még nem jutottak el a tökéletességig.



1. ábra
Atomerőművek dilemmái [Major Gábor szerkesztése]

A cím szerinti másik „összetevő”, a pilóta nélküli légi járművek, az elmúlt évtizedek technológiai fellendülésének köszönhetően hatalmas fejlődésen mentek és mennek napjainkban is keresztül, amely töretlen, sőt viharos. A mérnöki találmányoknak köszönhetően kialakultak a merev, a forgó-, sőt a csapkodószárnyú kis, illetve a hang sebességét is meghaladó sebességgel repülő, néhány grammos és több tonnás felszállótömeggel a levegőbe emelkedő, bázisuktól alig százméternyire eltávolodni képes, valamint akár a kontinensek közötti távolságok átszelésére is alkalmas konstrukciók. Ezek a légi eszközök az ember fedélzeti jelenléte nélkül, autonóm

módon képesek repülni [3]. A működésükhöz szükséges információkat a környezetükből gyűjtik, szenzorok segítségével érzékelik pozíciójukat, és egy döntési folyamat eredményeként működésüket, helyzetüket, mozgásukat a háromdimenziós térben korrigálják [40]. Ugyanakkor repülhetnek az ember által végzett távirányítással, esetleg e kettőt kombinálva is, ami jelentős kockázatot hordoz magában az irányítást végző személy elrejtőzésének, elfedésének, így a kritikus infrastruktúra védelmi nehézségeinek lehetőségét vizsgálva [22, 199–200].

Egy új technológia megjelenése az élet számos területén érzékelteti hatását, a katonai használattól a civil területeken át egészen az ártó szándékú felhasználóig, főképp akkor, ha ez a technikai újdonság rendkívül rugalmasan felhasználható, és a tudomány fejlődésével egyre olcsóbban, gazdaságosabban üzemeltethető.

Crutsinger és társai által publikált [8] írás alapján az FAA³ 2016-os jelentése szerint az Amerikai Egyesült Államokban regisztrált UAV-k száma meghaladta a regisztrált hagyományos légi járművek számát a jelentés évének februárjában. A piacon a legnagyobb kínálata az úgynevezett „mikrodrónoknak” van, amelyek tömege nem haladja meg a 2 kg-ot. Ezek közül is általában a kamerával ellátott, 10–30 min közötti üzemidővel rendelkező drónokra van a legnagyobb kereslet, amelyek olcsóbb változatai már 300 dollár körül elérhetők. Ennek a robbanásszerű elterjedésnek köszönhetően nem csupán a „hobbisták” és a szakmájukból adódó felhasználók építik be kellékrepertoárjukba ezeket a légi eszközöket, hanem az olyan, ártó szándékkal és gondolkodással „felvértezett” egyének és szervezetek is, akik és amelyek célja továbbra is az elrettentés, de már a 21. század modern eszközeivel. Ez a dróntechnológia, amelynek fejlődése és megállíthatatlan elterjedése pedig új utakat biztosít a terrorizmus számára is [1], [2].

Ha már két ilyen „csúcstechnológia” a publikáció tárgya, akkor nézzük, hogy gyakorolnak-e hatást egymásra, amennyiben igen, akkor hogyan és milyen következményekkel.

Nem kell hosszas és mélyreható kutatást végezni ahhoz, hogy találjunk drónokkal elkövetett incidenseket, amelyek atomerőművek ellen megkísérelt terrorcselekmények kategóriájába sorolhatók. 2014-ben körülbelül 30 olyan esetet regisztráltak Franciaországban, amikor is engedély nélkül repültek drónok nukleáris létesítmények fölé [33].

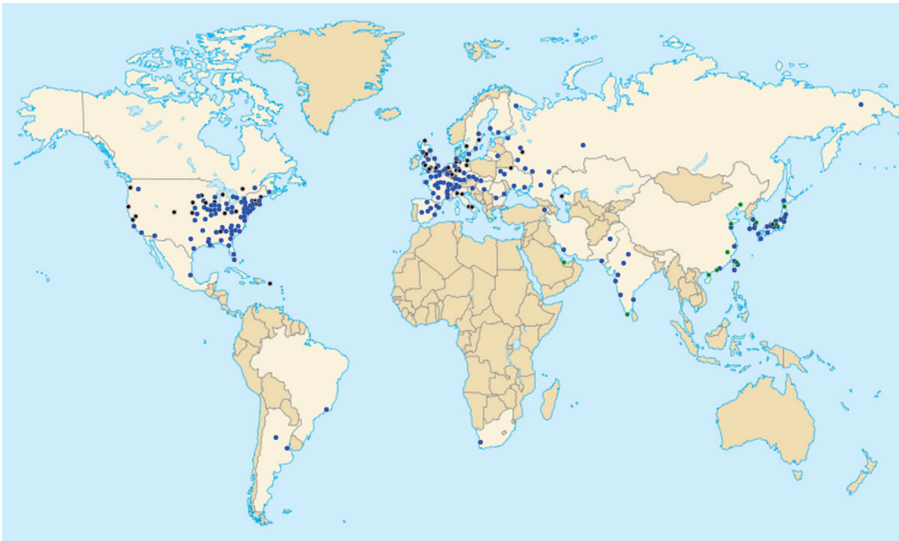
Amennyiben a UAS-eszközök (*Unmanned Aircraft System*) fejlődése eljut arra a szintre, hogy ne csak „ijesztgetésnek” tűnjenek a berepülések, hanem kártékony is legyen a művelet, akkor a következő statisztikával egy kicsit megvilágítva a lehetőségek egyre bővülő tárházát, nem is olyan rózsás a helyzet ezen a fronton a „békepártiak” szemszögéből.

1982-ben Franciaországban 4 db rakétát lőttek ki az egyik malville-i reaktorra. Ugyanebben az évben a Dél-Afrikai Köztársaság koebergi erőművénél történt robbantás. Ezek mellett az USA-ban is történt számos hasonló eset, amelyek a különböző mértékű károkozástól a robbantásig terjedtek [19, 35–36]. John Large, brit mérnök 2015-ben közölte, hogy a nukleáris balesetekre vonatkozó kockázatfelmérésekhez képest kevés a nukleáris terrorizmus lehetőségeire vonatkozó felmérés az atomerőművek biztonságát tekintve. Szerinte Nagy-Britanniában egy ilyen támadás több tízezer áldozatot is követelhet [4, 1–3], [42], rávilágítva arra a pusztításra, amelyet a destabilizált atomreaktorok által szabaddá engedett radioaktív anyagok okozhatnak.

³ Federal Aviation Administration – Szövetségi Légügyi Hivatal (USA).

2. A világ atomerőművei

A világon nagyságrendileg 440 db atomreaktor üzemel (a 2. ábrán látható eloszlásban), ezek együttesen a világ energiaellátásának nagyjából 10%-át fedik le. Vannak országok, ahol arányában nagyobb az atomreaktorok által megtermelt energia mennyisége az egyéb hagyományos vagy megújuló energiaforrásokhoz képest [32]. Magyarországon például közel 50%-át [7], míg Franciaországban – ahol jelenleg 58 reaktort üzemeltetnek – nagyjából 75%-os ez az arány (ezt azonban 2035-ig 50%-ra tervezik csökkenteni) [30]. Ezek az adatok azt mutatják, hogy a megújuló energiaforrások elterjedése ellenére még mindig prominens szerepet tölt be a nukleáris energia több országban, megbízhatósága, tisztasága, valamint viszonylagos biztonsága miatt.



2. ábra
Az atomerőművek eloszlása a világban [27]

Ahhoz, hogy egy esetleges terrortámadás kockázatait vizsgáljuk, bele kell látnunk az atomreaktorok alapvető működési folyamataiba, jellemzőibe, valamint nem utolsósorban az egyes részeinek anyagi felépítésébe. Ezek ismeretében sokkal nagyobb biztonsággal vagyunk képesek az egyes veszélyekre rámutatni.

A működésüket tekintve az atomreaktorok olyan szerkezetek, amelyekben a nukleáris láncreakció kontrollált módon tartható fenn. A láncreakció során neutronok ütköznek a hasadóanyag atomjaival, amelynek hatására szétbomlanak az atommagok, több neutron szabadra bocsátva. Ez energiazabaddal járó folyamat (például az urán-235 atom hasadása során például 198 MeV energia szabadul fel [28]). Természetesen ezek a reaktorok komplex szerkezetek, amelyeket csoportosíthatunk több szempont alapján, úgymint működési elvüket tekintve, vagy akár a moderátorközeg ismerete szerint. A termikus atomreaktorokban az említett moderátorközeg a neutronok lassítására szolgál, amely lehet például víz, nehézvíz (deutérium-dioxid), illetve régebbi atomreaktorok esetében grafit (például RBMK-1000) [10, 5].

2.1. Atomerőművek biztonsági jellemzői

Mint ahogy az előzőekben leírtuk, az atomerőművek komplex szerkezetek, amelyek erősen radioaktív anyagok jelenlétében működnek. Ezért szigorú biztonsági rendszabályoknak kell megfelelniük, hogy ne ismétlődjön meg a csernobilihoz vagy a fukusimaihoz hasonló eset, habár utóbbi kettő üzembiztonsági kérdéseket felvető baleset volt, itt pedig jellemzően a szabotázs vagy a támadás lehetőségeit vizsgáljuk. A nukleáris biztonság az erőmű területén történő tiltott cselekmények véghez vitelére, különösképpen radioaktív anyagok szabotálására, eltulajdonítására, illegális felhasználására törekvő megelőzést foglalja magában. Az e cselekmények elleni védekezésben nagyon fontos a létesítmény fizikai védelme, amely a szimpla elkerítés mellett magában foglalja a létesítményekben található biztonsági berendezéseket (kamerák, riasztók stb.), a biztonsági személyzetet, valamint a létesítmény elhelyezkedését és kialakítását. Ezen intézkedések foganatosítását a Nemzetközi Atomenergia-ügynökség is ellenőrzi [38], [37].

Az energiahordozók biztonságosságát általában (például a fosszilis tüzelőanyagok esetében) 5 változóval adják meg:

- az energia megoszlása (az elsődleges energiahordozókhöz képest);
- intenzitása (adott energia mennyisége GDP-re leosztva);
- felhasználása (/fő);
- az alapanyag diverzifikációja;⁴
- függetlenség.

Az atomenergiához hozzájön még számos faktor, amely a nukleáris fűtőelemek szállításából és előállításából, valamint az adott ország lakosainak atomenergiához való hozzáállásából adódik. A hasadóanyag életciklusában minden feldolgozási folyamat nagyon nagy szerepet játszik változóként, legfőképpen a dúsítás folyamata, amelynek pontos lefolyása titkos, a hasadóanyagok illegális proliferációjának⁵ megakadályozása érdekében [39].

2.2. Atomerőművek terrorizmus által fenyegetett övezetekben

Ha atomerőművek elleni esetleges támadásokról beszélünk, érdemes pillantást vetni azokra a reaktorokkal rendelkező országokra, amelyek fokozottan veszélyeztetettek támadás szempontjából. Ebben a fejezetben példaként foglalkozunk Pakisztánnal, ugyanis ez az egyik ország, amely leginkább terrorizmus által fenyegetett, atomerőművekkel rendelkező ország.

Pakisztánban jelenleg 2 db atomerőmű üzemel, az egyik a Karacsiban üzemelő Kanupp-1, amelyet terveznek leváltani két kínai nyomottvizes reaktorral (Kanupp 2-3), amelyek összteljesítménye 2200 MW lesz. A másik erőmű a Pandzsáb tartományban üzemelő Csaszma 1-4, amely összteljesítménye 1230 MW [31]. Pakisztán az egyik melegágya a szélsőséges fundamentalista, illetve terrorszervezeteknek, annak ellenére, hogy a terrorizmus mértéke csökkenő tendenciát mutat az elmúlt 5 évre visszatekintve. Dél-Ázsia legnagyobb terrorizmussal foglalkozó portálján összesen 48 ilyen jellegű szervezetet különböztetnek meg [41].

⁴ A kockázat csökkentésére irányuló magatartás.

⁵ Szaporodás, gyarapodás, terjedés, térhódítás, növekedés.

Ezenfelül a Kanupp jelenleg üzemelő reaktora 1971-ben kezdte meg üzemelését, és eredetileg az üzemeltetése 30 évre volt tervezve, amelyet különböző apró módosításokkal sikerült meghosszabbítaniuk [20]. Ennek ellenére egy régi reaktorról beszélünk, amely magában rejt számos kockázatot.

3. Atomerőművek egyes részeinek sebezhetősége

Az atomerőművek alapvetően két részből tevődnek össze, egy primer és egy szekunder körből. A primer körben történik meg a láncreakció, amely az atomok hasadása során energiát termel. A primer körben található meg a moderátorközeg, amely a termikus neutronok megfelelő sebességre történő lassításáért felel, ez a termikus reaktorok működésében játszik meghatározó szerepet. Egyes reaktorokban ez a közeg biztosítja részint a sugárvédelmet is. Mivel a termikus reaktorokban jelentős szerepe van a hőhatásnak, ebben az esetben a közeg megfelelő hűtése és lezárása fontos feladat. Ezt az úgynevezett konténment⁶ biztosítja. Ez a réteg hermetikusan zárja el a külvilágtól az atomreaktor rendszerelemeit. Megakadályozza az üzemszavar kialakulását, illetve a radioaktív anyag környezetbe való jutását. A szekunder körben történik meg a hőátadás folyamata, és a generátorok által a villamos energia termelése [16].

3.1. Primer kör védelme

A fővízkör körül egy nagyjából 1 m vastagságú, dómtetejű betonburok található az atomerőművek többségében. Ez az acéllemezrel bélelt betonburok teljesen magában foglalja a nagynyomású körhöz tartozó szabályozó szelepeket és szivattyúkat, amelyek segítségével pumpálják a magas hőmérsékletű vizet a szekunder körbe. Ez véd mind a külső, mind pedig a belső hatásoktól. Rendkívül fontos szerepet tölt be, ugyanis ez az utolsó védvonal az aktív zóna olvadása esetén. A betonburok belső részének hűtését is meg kell azonban oldani, hiszen ez nem termikus, hanem mechanikai védelmet biztosít. Így a belső falat tisztító- és hűtőberendezésekkel (például aktív szerves jégágy) látták el, hogy egy esetleges primer körű csőtörés se jelentsen végzetes kimenetelt. Természetesen alapesetben az aktív zónából sem olvadék, sem pedig más anyag nem kerülhet ki, így a reaktortartályon kívül nem lehet fertőző anyag, viszont ez egy jó védelmet nyújt, ha meghibásodás vagy egyéb hiba miatt mégis kikerülne belőle sugárzóanyag zónaolvadás során [23]. A konténmentnek számos fajtája van kialakítását tekintve. Esetenként két réteget alkalmaznak légréssel a rétegek között; a külső hatások elleni védelemre, másik a radioaktív sugárzás elleni védelemre (nehézbeton) alkalmasabb (shield building) [21, 5–6]. A vasbeton konténmentről így általánosan elmondható, hogy rendkívüli nagy nyomást és hőmérsékletet is kibír, hiszen egy nyomásálló, hermetikusan kialakított betonburokról beszélünk. A konténmentnek különböző elrendezései lehetnek az atomreaktor rendszerétől függően, valamint sok esetben több rétegű falazattal készítik.

⁶ Az atomreaktort és annak közvetlenül kapcsolódó részeit, rendszerelemeit magába záró nyomásálló, hermetikusan kialakított építmény, amelynek az a funkciója, hogy normál üzem, várható üzemi események és tervezési üzemszavarok esetén megakadályozza vagy korlátozza a radioaktív anyagok környezetbe jutását. Különböző tervezési koncepciójú konténmentek léteznek. Vannak vasbeton, feszített vasbeton, acél, egy- és kettősfalú, teljes vagy csökkentett nyomású konténmentek. Például a paksi atomerőmű konténmentje vasbeton dobozszerkezet.

Ennek a kialakításnak és anyagfelhasználásnak köszönhetően nem feltétlenül tud végzetes károkat okozni benne az a mennyiségű robbanószer, amelyet egy kisebb fajta drónra lehet felhelyezni. Fontos tény azonban, hogy a vasbeton szerkezete 450 °C-on elkezd gyengülni az anyagban fellelhető nem karbonátosodott portlandit bomlása következtében [24, 113]. Egy átlagos, kereskedelmi forgalomban könnyedén beszerezhető drón nagyjából maximum 2 kg hasznos terhet tud szállítani magával, azonban az erre a célra kifejlesztett szállító drónok több tíz kg-nyi tömeget is képesek cipelni [18]. A Griff 300 típusú drón közel 230 kg-ot képes szállítani [15]. Ha 230 kg TNT⁷ robbanószer összesített robbanóhője – a TNT egyenérték alapján, amely kg-onként 4,184 GJ-ban határozza meg a TNT robbanáskor felszabaduló energiáját – nagyjából 960 GJ. Amennyiben erre a drónra függesztenénk közel ennyi robbanószert, az beláthatatlan mértékű pusztítást tudna okozni. A robbanás által keltett túlnyomást az arányosított távolság (Z) alapján tudjuk kiszámítani, amelyet a robbanástól mért effektív távolság (R) és a TNT egyenértékre átszámított robbanóanyag-tömeg (W) köbgyökének a hányadosa határozza meg:

$$Z = R / (W)^{1/3} \quad (1)$$

Ha az effektív távolságot 1 m-nek tekintjük, a tömeget pedig 230 kg-nak, akkor $Z = 0,163 \text{ m}/(\text{kg})^{1/3}$. A Mills-féle módszerrel kiszámítható az oldalirányú túlnyomás:

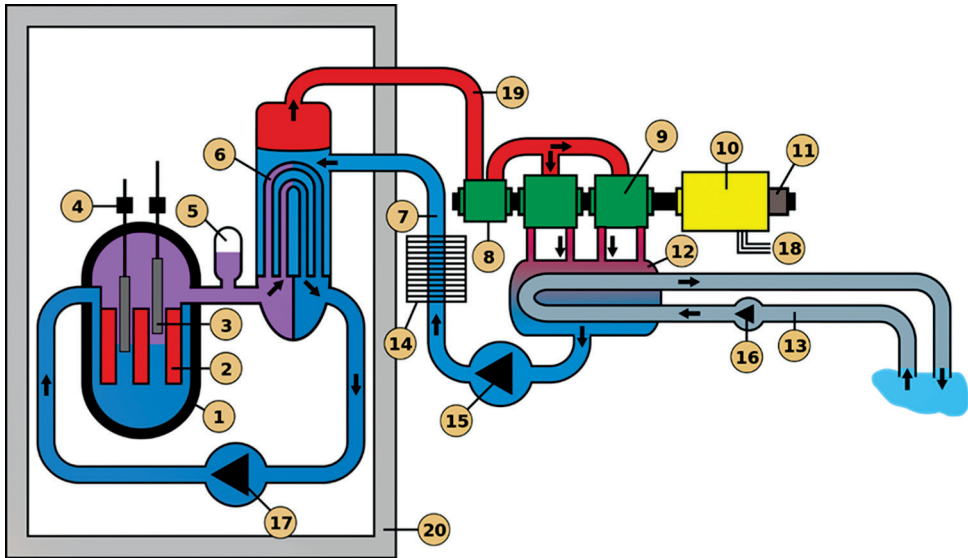
$$P_{SO} = (1772 / Z^3) - (114 / Z^2) + (108 / Z) \quad (2)$$

Az oldalirányú túlnyomás így 405,5 MPa. Ez természetesen a robbanás által keletkező nyomásnak csak a főkomponense, ugyanis beszélünk visszaverődő nyomásról, dinamikus nyomásról stb. Következésképp a számítás jól szemlélteti azt, milyen iszonyatos ereje van egy ilyen célzott, hatóanyaggal bőven rendelkező robbanásnak [11, 11]. Szemléltetésként vessük össze ezt a nyomásértéket egy átlagos német atomerőmű konténmentjének anyagi jellemzőjével – azért ez szerepel a példában, mert itt legtöbb esetben C30/37 típusú betont alkalmaznak. Ennek a betonnak valamennyi szilárdságtani jellemzője legalább egy nagyságrenddel kisebb, mint a kapott nyomásérték [26, 31–32]. Persze ez a szituáció feltételezi, hogy az általunk választott drón sikeresen eljutott a fővízkör konténmentzónájához, amelyre az atomerőmű magas fokú biztonsága (CCTV kamerák, robbanóanyag-detektorok, mozgásérzékelő rendszerek, hidraulikus kapurendszer) miatt igen kicsi a valószínűség, minden biztonsági előírás maximális betartása mellett [19, 36].

PWR⁸-ek esetében henger alakú és dóm tetejű a konténment (a 3. ábrán 20.), amelynek belsejében légtér hűtésére szolgáló berendezések találhatók, amelyek hideg víz vagy vízzel kevert nátrium-hidroxid porlasztására alkalmasak (utóbbit sugármentesítés esetén alkalmazták). Működik továbbá 3 db vészűtő rendszer (nagy-, közepes [akkumulátor]-, és kisnyomású). Ezeknek a sérülése esetén a hűtés és a radioaktív izotópok eltávolításának folyamata veszélybe kerülhet, zónaolvadás következhet be, ha kellően nagy a robbanás.

⁷ *Trinitrotoluol*, ipari és katonai, igen alacsony ütésérzékenységű, közepes hatóerejű kémiai robbanóanyag.

⁸ *Pressurized Water Reactor*: nyomottvízes reaktor (oroszul вода-водяной энергетический реактор, ВВЭР).

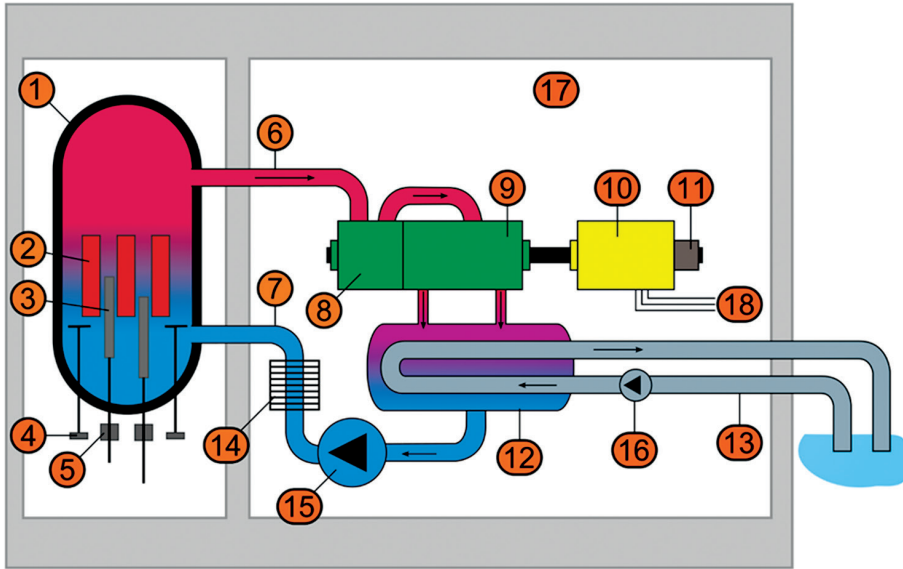


3. ábra
Atomerőmű nyomottvízes reaktorról [29]

1. Reaktortartály 2. Fűtőelem 3. Szabályozórúd 4. Szabályozórúd-hajtás 5. Nyomástartó 6. Gőzfejlesztő 7. Tápvíz 8. Nagynyomású gőzturbina 9. Kisnyomású gőzturbina 10. Generátor 11. Gerjesztőgép 12. Kondenzátor 13. Hűtővíz 14. Tápvíz-előmelegítő 15. Tápvízszivattyú 16. Hűtővízszivattyú 17. Keringető szivattyú 18. Villamos távvezetékhez 19. Friss gőz 20. Beton sugárvédelem, konténment

Zónaolvadás volt az okozója több, nagyobb méretű atomkatasztrófának a világban (például Windscale, Csernobil, Fukushima) [35]. A világ reaktorainak többsége PWR-rendszerű [14]. A Pakson működő VVER-440-esek, továbbá a Paks 2 keretében felépülő VVER-1200-asok is ilyen típusú reaktorok [6]. A BWR⁹-ek konténmentjét (a 4. ábrán a 17.) kettéosztották, így egy száraz (a 4. ábrán a 17. baloldali betonkamrája) és egy nedves (a 4. ábrán a 17. jobb oldali betonkamrája) tartályból áll. Utóbbi rész szolgál a nyomás kiegyenlítésére, amely félig vízzel van megtöltve, és a kiáramló forró gőzt nyeli el. Ennek következtében természetesen a víz felmelegszik, amelyet elvezetnek a hőcserélőbe (a 4. ábrán a 12.). Az aktív zónában keletkezett gőzt közvetlenül a turbinákra vezetik (a 4. ábrán a 9.). Mivel a reaktor hűtővizében mindig található radioaktív atommagok, a turbinákat (a 4. ábrán a 15.) szigetelni kell a külvilágtól. Ez megnöveli a karbantartási költségeket a nyomottvízes reaktorhoz képest, viszont a nagyobb hatásfok és az egyszerűbb szerkezet ellensúlyozza ezt. Fölötte helyezkedik el a száraztartály, amely az újabb kialakítású BWR-eknél egy acélból kialakított dómtetejű henger, amely magát a reaktortartályt (a 4. ábrán az 1.) és a keringető szivattyúkat tartalmazza. Baleset esetén a szellőzőket lezárják, és vákuumot hoznak létre. Belül található továbbá egy nagynyomású hűtőközeg-injektáló rendszer, amely a nagynyomású rendszer meghibásodása esetén lép működésbe [35].

⁹ Boiling Water Reactor: forralóvízes reaktor.



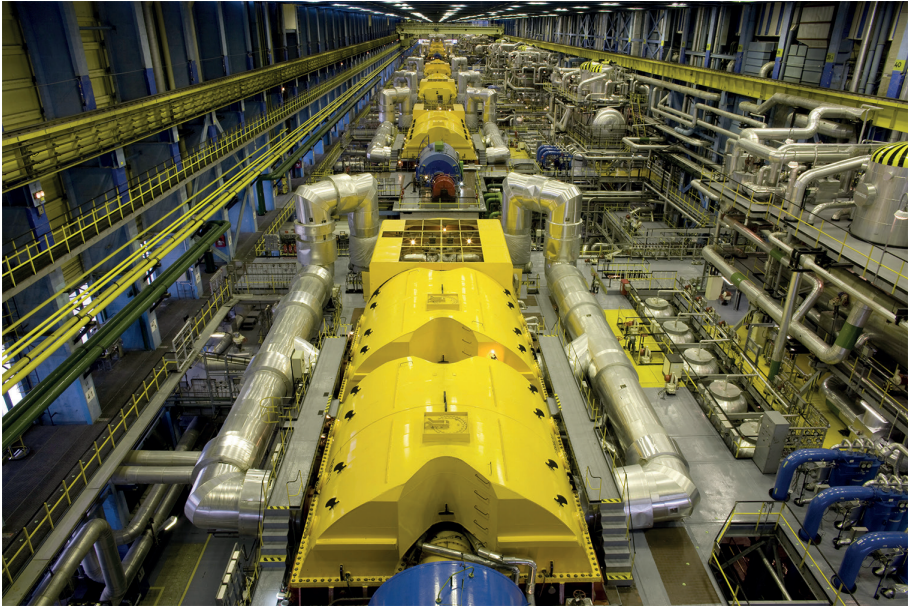
4. ábra
 Atomerőmű forralóvízes reaktorról [36]

1. Reaktortartály 2. Fűtőelem 3. Szabályozórúd 4. Keringetőszivattyú 5. Szabályozórúd-hajtás 6. Friss gőz 7. Tápvíz 8. Gőzturbina nagynyomású ház 9. Gőzturbina kisnyomású ház 10. Generátor 11. Gerjesztőgép 12. Kondenzátor 13. Hűtővíz 14. Tápvíz-előmelegítő 15. Tápvízszivattyú 16. Hűtővízszivattyú 17. Betonsugár-védelem 18. Villamos távvezetékhez

3.2. Szekunder kör védelme

A szekunder körben történik meg a reaktormagban fejlesztett hő átadása a tápvíznek a gőzfejlesztőkön keresztül (a 3. ábrán a 6.), valamint annak cseppfolyósítása is a kondenzátorokban (a 3. ábrán a 12., és a 4. ábrán a 12.). Itt található a villamos energia fejlesztésére használt generátorok. Ezt szokás nevezni kisnyomású körnek is. A tápvíz gőzzé alakul, és meghajtja a turbinalapátokat, ezzel a hőt átalakítva mechanikai munkává. Ez a mechanikai munka átalakul villamos energiává a generátoroknak (a 3. ábrán a 10., és a 4. ábrán a 10.) köszönhetően. A turbinán való áthaladáskor fontos, hogy ne legyenek a gőzben folyékony halmazállapotú, apró vízcseppek, ugyanis ez károsítja a turbinalapátokat. Ezért egy kétfázisú szárítási folyamaton vezetik keresztül a gőzt a turbina elérése előtt (a 3. ábrán a 19., és a 4. ábrán a 6.). A kisnyomású vízkörben található számos szivattyú is, amely fenntartja a keringést (a 3. ábrán a 15, és a 4. ábrán a 15). Ezek is potenciálisan gyenge pontok lehetnek egy támadás esetén. Azonban a BWR-ek rendelkeznek szekunder körű konténmenttel (a 4. ábrán a 17. jobboldali betonburok) is, amely további védelmet biztosít [35]. Ezekben a csövekben – dacára annak, hogy kisnyomású körnek nevezik – így is nagy a nyomás, hiszen ezeket a vízkeringető berendezéseket 10 000 LE-s motorok hajtják, hiszen a víz lehűtése érdekében, ekkora víztömeget ilyen gyorsan megmozgatni teljesítményigényes feladat. Így egy ilyen szivattyún keresztül

nagyjából 370 000 l víz folyik percenként. A szekunder kör is el van zárva a külvilágtól alapvetően a turbinacsarnokban, ahogyan azt az 5. ábrán láthatjuk, valamint erős, nyomásálló acélszerkezetekből állnak a különböző csövek és berendezések [34].



5. ábra
Az egyik szekunder vízkör a Paksi Atomerőműben [16]

4. Védekezés a dróntámadások ellen

A dróntechnológia terén elért jelentős fejlődés eredményének köszönhetően, e speciális repülőeszközök megjelenése, elterjedése jelentősen átalakítja a hadviselés, a bűnüldözés és az ellenük történő védekezés szabályait. Igaz, ezzel párhuzamosan a bűnüldöző szervek, a nemzetbiztonsági ügynökségek, de a terrorizmusra fogékony csoportok eszköztárában is megjelennek, így lényegesen szélesebb körben kell értelmezni és fellépni a kritikus infrastruktúrák, ezzel együtt az emberi élet megóvásáért folytatott küzdelemben [12]. A létesítménybe illetéktelenül belépő drónok megállítására és semlegesítésére létezik számos megoldás. Egy ilyen példa olvasható a telephelyek védelmének lehetőségeiről Gajdács László és Major Gábor *Az UAV alkalmazásának kockázatai a biztonságtechnika területén* című publikációjában is [13, 107]. Mivel ezek kicsi és fürgé eszközök, a biztonsági ajtók lezárása nem feltétlenül nyújt megoldást, főként versenydrónok ellen, amelyek végsebessége átlagosan nagyjából 80 és 100 km/h közé tehető. De a szimpla, kereskedelmi drónok közül is akad néhány, amely képes 50 km/h-val repülni. Értelemszerűen a létesítmény légtérbe történő illegális behatolás esetén a drón azonnali semlegesítése lenne a leghatékonyabb megoldás. Azonban az atomerőművek biztonsági szolgálatának jelenleg nem tartozik a jogkörébe a légtérben közlekedő drónok „leszedése”. Ennélfogva – véleményünk szerint – a biztonsági szolgálat jogkörének kiterjesztésére szükség van, hogy egy ilyen jellegű

támadást képes legyen kivédeni, valamint a lehető legmagasabb szintű biztonságot fenn tudja tartani az atomerőművek esetében [9], [17].

Az Airbus által kifejlesztett UAV Elhárító Rendszer egy nagy hatótávolságú zavaró rendszer, amely számos korszerű radart, infravörös kamerát és irányítórendszert tartalmaz. Ezen eszközök segítségével az Airbus rendszere képes felismerni a drónt, illetve értékelni annak potenciális veszélyét az objektumra akár 10 km-ről is. Ezután pedig képes zavaró jelet bocsátani az UAV-ra, amelynek következtében megszűnik a kapcsolat a drón és az azt irányító operátor között, illetve biztonságos keretek között az irányítást is át tudja venni az őrzéssel megbízott szolgálat operátora, hogy semleges helyre reptesse az eszközt. Ez talán az egyik legkorszerűbb ilyen jellegű eszköz, amelyet kifejezetten magas biztonsági kockázati besorolású területek védelmére fejlesztett ki az Airbus [5].

5. Konklúzió

Az írás terjedelmi korlátai miatt nem tért ki a drónfenyegetettség minden aspektusára, csak arra, amely ténylegesen a reaktort és annak közvetlen környezetét fenyegeti. Értelemszerűen vannak más, egyéb eszközök egy atomerőműben, amelyek meghibásodása katasztrófához és ezáltal jelentős sugárszennyezéshez vezethet, de általánosságban elmondható, hogy az atomreaktor szabályozási láncának minden elemét képesek redundáns elemekkel pótolni a rossz végkimenetel elkerülése érdekében.

Ilyen, jelenleg nem vizsgált terület a humán faktor, amelynek elemzése és értékelése sem része ennek a közleménynek, pedig véleményünk szerint ez a leggyengébb láncszem a rendszer működésében. Az ember, természetéből adódóan hajlamos hibázni, még a legnagyobb odafigyelés és elővigyázatosság mellett is. Mindemellett sajnos számításba kell venni és foglalkozni illik azzal az eshetőséggel is, hogy mindenkinek van olyan álma, amit önmaga erejéből nem képes elérni, ám egy „jóakaró” segíthet hozzájutni, aminek következtében rés keletkezhet a rendszer biztonsági pajzsán. Ebből a megközelítésből pedig az ember szerepét és helyét is érdemes megfigyelni, tanulmányozni, értékelni és korlátozni biztonságtechnikai szempontból.

Továbbá, ami a világ veszélyeztetettebb területeit illeti, komoly változások, változtatások szükségesek a fentebb leírt szempontokat tekintve. Mivel ezekben a régiókban az 1960-as években épített reaktortípus működik még a mai napig is (Kanupp-1), ezért ezeken a területeken lenne a legnagyobb szükség a mindenképp felett álló biztonság maximális megkövetelésére és betartására, valamint a korszerűsítésre. Szerencsére Pakisztánban már elkezdődött az építése két új reaktornak, amelyek leváltják a régi CANDU-t, és remélhetőleg az új kínai reaktorok a korszerű biztonsági előírásoknak megfelelően fognak működni [20].

És végezetül essék szó a 21. század rohamosan fejlődő „technikai organizmusáról”, a pilóta nélküli légitársaságokról, amelyek rossz-szándékú felhasználói ellen, ha tetszik, ha nem, akkor is védekezni kell, hatékony és biztonságos védelmi rendszer kialakításával és magas szintű üzemeltetési kultúrával. A leghatékonyabb elhárító rendszer a kritikus infrastruktúra körül kialakított több körös védelmi zóna lehet, ahol megfelelő távolságban megoldható akár a robbanóanyagot „megpakolt” drón megsemmisítése is a reaktorbloktól kellően biztonságos távolságra. Igaz, ennek a megoldásnak a bevezetéséhez, meghonosításához, szakszerű és hatékony működtetéséhez számos akadályt kell még legyőzni, kezdve a technikai feltételektől a jogi háttérig bezárólag, amely kettő között még számos fejlesztendő elem található.

A jelen publikációban tárgyaltak után csupán az a kérdés maradt, hogy a fejlesztők, a mérnökök vagy a jog gyakorlatában jártas szakemberek nőnek fel hamarabb a feladathoz, és sikerül elérhető, használható és megnyugtatóan hatékony rendszert kialakítani a cél elérése érdekében?

Ez a cél pedig mindannyiunk számára a valós biztonság egy adott kritikus infrastruktúra környezetében.

Hivatkozások

- [1] B. Békési, P. Koronváry, "Are Drones a Boon or Bane?" *Scientific Research and Education in the Air Force*, no. 1, 55–64, 2017. Online: <https://doi.org/10.19062/2247-3173.2017.19.1.5>
- [2] Békési B., Szegedi P., „Pilóta nélküli légitársaságok – biztonság vagy fenyegetés,” in *XV. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia. Előadások*. Füzesi I., Kovács E., Puskás, J. szerk. Szombathely, Nyugat-magyarországi Egyetem, 2016. 130–141.
- [3] Békési B., „Pilóta nélküli légitársaságok jellemzése, osztályozásuk,” in *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek*. Palik M. szerk. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013. 65–109.
- [4] R. J. Bunker, *Terrorist and Insurgent Unmanned Aerial Vehicles: Use, Potentials and Military Implications*. Carlisle, PA, U.S. Army War College Press, 2015.
- [5] Airbus, *Counter-UAV System from Airbus Defence and Space protects large installations and events from illicit intrusion*. 2015. Online: www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2015/09/counter-uav-system-from-airbus-defence-and-space-protects-large-installations-and-events-from-illicit-intrusion.html
- [6] IAEA, *Country Nuclear Power Profiles – Hungary*. Online: <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Hungary/Hungary.htm>
- [7] NEA, *Country profile: Hungary*. Nuclear Energy Agency. Online: www.oecd-neo.org/general/profiles/hungary.html
- [8] G. M. Crutsinger, J. Short, R. Sollenberger, "The future of UAVs in ecology: an insider perspective from the Silicon Valley drone industry," *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, vol 4, no. 3, 2016. Online: <https://doi.org/10.1139/juvs-2016-0008>
- [9] U.S.NRC, *Drones and Nuclear Power Plant Security*. United States Nuclear Regulatory Commission, 2020. Online: www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/fs-drone-pwr-plant-security.html
- [10] J. J. Duderstadt, L. J. Hamilton, *Nuclear Reactor Analysis*. New York, John Wiley & Sons, 1976.
- [11] Fischer A. R., *Épületek külső robbanásteherre történő méretezése az Eurocode alapján*. Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki kar, Tudományos Diákköri Konferencia, 2012.
- [12] Gajdács L., Gervai B., Major G., „A pilóta nélküli légitársaság-rendszerek és a honvédelem tegnap, ma és holnap,” *Repüléstudományi Közlemények*, 32. évf. 1. sz. 87–100. 2020. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2020.1.6>
- [13] Gajdács L., Major G., „Az UAV alkalmazásának kockázatai a biztonságtechnika területén,” *Repüléstudományi Közlemények*, 30. évf. 2. sz. 101–112. 2018.

- [14] M. M. Gospodarczyk, M. N. Fisher, *IAEA Releases 2019 Data on Nuclear Power Plants Operating Experience*. IAEA, 2020. Online: www.iaea.org/newscenter/news/iaea-releases-2019-data-on-nuclear-power-plants-operating-experience
- [15] F. Schroth, *GRIFF Aviation Launches the GRIFF 300 – One BIG Drone*. Drone Life, 2016. Online: <https://dronelife.com/2016/12/20/griff-aviation-launches-griff-300-one-big-drone/>
- [16] MVM Atomerőmű, *Hogyan működik?* Online: www.atomeromu.hu/hu/rolunk/technika/HogyMukodik/Lapok/default.aspx
- [17] J. Feist, *How fast can a drone fly? – how to fly, the science of flight*. DroneRush, 2018. Online: <https://dronerush.com/how-fast-can-a-drone-fly-science-of-flight-10953/>
- [18] W. James, *How much weight can a drone carry? Best Quadcopter*, 2020. Online: www.best-quadcopter.com/buying-guide/2020/06/how-much-weight-can-a-drone-carry/
- [19] Jurás Zs., „Atomerőmű, mint a kritikus infrastruktúra egy elemének veszélyeztetése, őrzésének és védelmének fő feladatai,” *Bánki Közlemények*, 1. évf. 3. sz. 32–37. 2018.
- [20] Power Technology, *Karachi Nuclear Power Plant (KANUPP) Expansion*. Online: www.power-technology.com/projects/karachi-nuclear-power-plant-expansion/
- [21] Katona T. J., *A konténment és rendszerei; A konténment konstrukciós kialakítása és szerkezeti integritása*. Kézirat, Budapesti Műszaki Egyetem, 2015.
- [22] Kiss B., Palik M., Major G., „Migration from Bird's Eye View,” *Repüléstudományi Közlemények*, 29. évf. 3. sz. 189–202. 2017.
- [23] Kováts I., *Atommagreaktorok hőtechnikája*. Kézirat, Budapest, Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, 1959.
- [24] Lublós É., Gyapjas J., „A betonfelület leválásának hatása a szerkezet állékonyságára és a mentési munkákra,” *Műszaki Katonai Közlöny*, 30. évf. 1. sz. 111–121. 2020. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2020.1.8>
- [25] Manga L., „Drónok és alkalmazási területeik, avagy szóba jöhetnek-e egy esetleges nukleáris baleset esetén,” *Műszaki Katonai Közlöny*, 26. évf. 2. sz. 183–196. 2016.
- [26] R. Meiswinkel, J. Meyer, J. Schnell, *Design and Construction of Nuclear Power Plants*. BetonKalender, Ernst & Sohn, 2011. 31–32.
- [27] Worldbuilding, *What would happen if all 433 nuclear reactors had meltdowns? [closed]*. Online: <https://worldbuilding.stackexchange.com/questions/65198/what-would-happen-if-all-433-nuclear-reactors-had-meltdowns>
- [28] Michalovszky Cs., *Négyjegyű függvénytáblázatok*. Budapest, Nemzeti Tankönyvkiadó, 2004.
- [29] Wikimedia Commons, *File: Schema reacteur eau pressurisée.svg KKW mit DWR.png*, CC BY-SA 3.0. Online: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1170061>
- [30] World Nuclear Association, *Nuclear Power in France*. Online: www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france.aspx
- [31] World Nuclear Association, *Nuclear Power in Pakistan*. Online: www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/pakistan.aspx
- [32] World Nuclear Association, *Nuclear Power in the World Today*. Online: www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx
- [33] O. Becker, *Nukleáris létesítmények terrorfenyegetettségé*. Energiaklub, 2018. Online: <https://energiaklub.hu/tanulmany/nuklearis-letesitmenyek-terrorfenyegetettsege-4602>
- [34] MVM Atomerőmű, *Hogyan működik?* Online: www.atomeromu.hu/hu/rolunk/technika/HogyMukodik/Lapok/default.aspx

- [35] Pátzay Gy., Kossa Gy., Grósz Z., *Atomerőművek biztonsága és az atomerőművi balesetekből, üzembiztonságból levonható következtetések*. Közszolgálati Egyetem, Katasztrófavédelmi Intézet, OKF.
- [36] Wikimedia Commons, *File:Boiling water reactor no text.svg*. Online: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14628031>
- [37] The Federation of Electric Power Companies of Japan, *Safety Measures at Nuclear Power Plants*. FEPC. Online: www.fepc.or.jp/english/nuclear/power_generation/safety_measures/index.html
- [38] IAEA, *Security aspects of nuclear facilities*. International Atomic Energy Agency. Online: www.iaea.org/topics/security-aspects
- [39] Shoki K., Hironobu U., "Quantitative evaluation of security of nuclear energy supply: United States as a case study," *Energy Strategy Reviews*, vol. 29, 100491, 2020. Online: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100491>
- [40] Szegedi Péter, Békési Bertold, *Az UAV-on alkalmazható szenzorok, XIV. Természet-, Műszaki és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia*. Szombathely, Nyugat-magyarországi Egyetem, 2015. 175–182. Online: http://publicatio.nyme.hu/613/1/TTK_14_Nemzetkozi_Konf_Eloadasok_201500516.pdf
- [41] South Asia Terrorism Portal, *Terrorist and Extremist Groups of Pakistan*. SATP. Online: www.satp.org/satporgtp/countries/pakistan/terroristoutfits/group_list.htm
- [42] C. Wheeler, *Terror Threat Alert: UK's nuclear plants are at serious risk of terrorist drone strikes*. Express, 2015. Online: www.express.co.uk/news/uk/559718/Nuclear-plants-are-at-risk-from-a-terrorist-strike-by-unmanned-drones

Protection of Nuclear Power Plants against Drones

Whether we talk about nuclear power plants or unmanned aerial vehicle systems, both are well-known and divisive twentieth-century concepts. Criticism can be formed in favour of these two technical, technological achievements and / or even against them, but it must be understood that only those can be successful despite of all appearing obstacles which are needful, moreover for which there is a strong demand. In the publication below, the authors present the relationship between the physical protection of nuclear power plants in a specialised field, such as the nuclear industry, and the dynamically evolving aircraft of our time, unmanned aerial vehicles. From this article, the reader can learn about some of the safety features of nuclear power plants, their vulnerabilities in relation to their construction, and the need and solvability for protection against drones.

Keywords: *unmanned aircraft systems, drone, nuclear power plant, protection against UAVs, critical infrastructure*

<p>Major Gábor alezredes, tanársegéd Nemzeti Közszerológálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék</p> <p>major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X</p>	<p>Gábor Major Lieutenant Colonel, Assistant Lecturer University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems</p> <p>major.gabor@uni-nke.hu orcid.org/0000-0003-2927-127X</p>
<p>Tamás Miklós BSc-hallgató Nemzeti Közszerológálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék</p> <p>geologus99@gmail.com orcid.org/0000-0002-0844-8729</p>	<p>Miklós Tamás BSc student University of Public Service Faculty of Military Science and Officer Training Department of Aircraft Onboard Systems</p> <p>geologus99@gmail.com orcid.org/0000-0002-0844-8729</p>

