ZRÍNYI MIKLÓS
NEMZETVÉDELMI EGYETEM

Ph.D ÉRTEKEZÉS

Zelenák János mk. ezredes:

A VEGYI- ÉS SUGÁRHELYZET ÉRTÉKELÉS ELJÁRÁSAINAK TOVÁBBFEJLESZTÉSE

Tudományos témavezető:

Dr. Halász László DSc egyetemi tanár

Budapest
- 2010 -

TARTALOMJEGYZÉK

I. FEJEZET BALLISZTIKUS RAKÉTA ELFOGÁS KÖVETKEZTÉBEN KIALAKULÓ VEGYIHELYZET ÉRTÉKELÉSE (MISSILE INTERCEPTION) 10

1.1. Az alkalmazott forgatókönyv kiválasztása és a választás indoklása 10

1.1.1. Alkalmazás elvek 10

1.1.2. A célbajuttató eszköz 11

1.1.3. Az elfogás folyamatának vázlatos leírása 11

1.1.4. Az elfogás és a következmények elemzésére felépített modell struktúrája 13

1.2. Az R-300 SCUD rakéta repülési és a harci fejben tárolt mérgező harcanyag paraméterei 13

1.2.1. Repülési paraméterek 13

1.2.2. A vegyi töltet paraméterei 14

1.3. Az elfogás és a robbanás modellezése 15

1.3.1. Brizáns hatás 17

1.3.2. Hajító (röpítő) hatás 18

1.3.3. A robbanás során bekövetkező szóródás 18

1.3.4. Átlagos cseppméret meghatározása 19

1.3.5. A felhő kezdeti paramétereinek számítása 22

1.3.6. A képződött felhő cseppméret eloszlása 22

1.4. A légköri diszperzió modellezése 23

1.4.1. Alkalmazott atmoszféra modell 23

1.4.2. A kihullás paramétereinek számítása 25

1.4.3. A felhő diszperziójának számítása 27

1.4.4. A terepen kialakult szennyezés maximális kiterjedése 31

1.5. Eljárás kialakítása vegyi harci fejjel felszerelt rakéta esetén 35

1.5.1. Általános rész 35

1.5.2. Riasztás, értesítés 35

1.5.3. Veszélyeztetett terület számítása 37

A fejezetből levont következtetések 42

II. FEJEZET RADIOAKTÍV PONTFORRÁS (FORRÓ PONT) DÓZISTERÉNEK ÉRTÉKELÉSE 43

2.1. A radiológiai eljárásrend általános jellemzése 43

2.2. A radiológiai kibocsátások természete, forrásai 44

2.3. A radiológiai kibocsátásból származó veszélyek ... 45

2.4. A radiológiai veszély zónái ... 46

2.5. Radioaktív pontforrás értékelésére kialakított eljárás ... 49

2.5.1. Matematikai alapok ... 49

2.5.2. Egyszerű és részletes értékelési eljárás kialakítása ... 53

A fejezetből levont következtetések ... 56

III. FEJEZET A LÉGI SUGÁRFELDERÍTÉS (LSF) MODERN TECHNIKAI ESZKÖZÖN ALAPULÓ ÚJ ELJÁRÁSA ÉS A VALÓS SUGÁRHELYZET ÉRTÉKELÉSE ... 57

3.1. A sugárfelderítés során in situ eszközökkel felderíthető radioaktív izotópok köre 58

3.2. A források felderítésének matematikai-fizikai alapjai ... 60

3.2.1. Kiterjedt szennyezettség felderítése ... 60

3.2.2. Pontszerű forrás felkutatása ... 61

3.2.3. Utólagos (off-line) adatfeldolgozásban alkalmazott eljárás ... 62

3.3. Az légi sugárfelderítés technológiában alkalmazott detektorok és eszközök 67

3.4. A felderíthetőség alsó határa, valamint a felderítés teljesítőképessége és módszere ... 69

3.4.1. A felderíthetőség határa ... 69

3.4.2. A felderítő eszköz teljesítőképessége ... 70

3.5. A légi sugárfelderítés adatai feldolgozásának sajátosságai, módszerei ... 72

3.5.1. Irreguláris ponthalmaz konvertálása raszteres ponthálózattá ... 73

3.5.2. Irreguláris ponthalmaz konvertálása Delanuay-háromszög hálózattá ... 74

3.6. A légi sugárfelderítés technológia fejlesztése során végzett tesztek, valamint radioaktív sugárforrások alkalmazásával levezetett gyakorlatok tapasztalatai ... 75

3.6.1. Pellérd, 2002. 04. 30. ... 76

3.6.2. Szentkirályszabadja, 2004. 04 14. ... 76

3.6.3. Szolnok, 2004. 04. 14. ... 76

3.6.4. Bakonykuti, 2004. 04. 3-4., ... 76

3.6.5. Pápa légibázis, 2005. 06. 8-9. ... 76

3.6.6. Szolnok, 2006. 10. 17. ... 76

3.6.7. Püspökszilágy 2008. május 13-16. ... 77

A fejezetből levont következtetések ... 83

ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK ... 84

Tudományos eredmények *86*

Ajánlások *87*

JELMAGYARÁZAT *88*

I. fejezet: **88**

II. fejezet **91**

III. fejezet: **92**

HIVATKOZOTT IRODALOM *93*

PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK *95*

Ábrajegyzék *98*

Táblázatjegyzék *100*

BEVEZETÉS

Az Országgyűlés 1998. december 28-án elfogadta a 94/1998. (XII. 29.) OGY határozatot “A Magyar Köztársaság biztonság- és védelempolitikájának alapelveiről”. Magyarország 1999. március 12-i csatlakozása az Észak-atlanti szerződéshez új katonapolitikai helyzetet eredményezett, ezért felül kellett vizsgálni és átdolgozni a Magyar Köztársaság Nemzeti Biztonsági és Nemzeti Katonai Stratégiáját. A NATO 1999. április 24-én elfogadott új Stratégiai Koncepciója továbbra is kiemelt veszélyforrásként értékeli a tömegpusztító fegyverek proliferációját, fontos feladatként tűzi ki e fegyverfajták megsemmisítését és nemzetközi ellenőrzését. Sajnos azonban ezekkel a tömegpusztító fegyverekkel kapcsolatban megállapítható, hogy azok terjedése az érvényben levő tiltó nemzetközi szerződések ellenére folytatódik, és egyre nagyobb annak a kockázata, hogy ezeket terrorista csoportok alkalmazzák. Hazánk NATO tagállammá válásával a Magyar Honvédség veszélyeztetettségének mértéke és minősége is megváltozott. Ezt a megváltozott fenyegetést foglalja össze a MK Nemzeti Katonai Stratégiája:

„A Magyar Honvédség alkalmas lett a XXI. század kihívásaiból adódó, újszerű, magasabb követelményeket támasztó katonai feladatok teljesítésére. A jövőben is feladat lesz az új kihívásokhoz és feladatokhoz való folyamatos alkalmazkodás.” (A Magyar Köztársaság Nemzeti Katonai stratégiája)

„5. A globális biztonságot befolyásoló tényezők közül a Magyar Köztársaság biztonságára potenciális fenyegetést jelent a nemzetközi terrorizmus. Terrortámadások végrehajtása elsősorban a Magyar Honvédség válságkörzetekben szolgálatot teljesítő erői ellen valószínű. A nemzetközi terrorizmus figyelemfelkeltő és létezését demonstráló törekvése következtében ugyanakkor növekedhet egyes hazai objektumok, valamint az országba települt NATO- és EU-létesítmények, szervezetek potenciális fenyegetettsége is.”

6. A Magyar Köztársaság biztonságára potenciális fenyegetést jelent a tömegpusztító fegyverek, valamint a célba juttatásukhoz szükséges eszközök és technológiák ellenőrizetlen terjedése is, különösen azoknak a terrorista szervezetek általi megszerzése és lehetséges alkalmazása. (A Magyar Köztársaság Nemzeti Katonai stratégiája)

7. A Magyar Köztársaság biztonságára - az Alkotmányban, vagy egyéb

jogszabályokban meghatározottak szerint katonai eszközöket, vagy közreműködést esetlegesen igénylő - kockázatot jelenthetnek:

- az ország területén és környezetében előforduló ipari és természeti katasztrófák, környezetszennyezések, járványok;
- a kritikus infrastruktúra elleni támadások;
- az instabil országok belső feszültsége következtében kialakuló, a szervezett bűnözéssel összefonódó nagyobb méretű migráció és illegális kereskedelem;
- a térség egyes országaiban illegálisan, illetve ellenőrizetlenül tartott nagy mennyiségű fegyver, lőszer és robbanóanyag."

(A Magyar Köztársaság Nemzeti Katonai stratégiája).

A NATO tagság hazánkat is kötelezi az atom-, biológiai- és vegyi (ABV) védelmi képességnek a kor szintjére történő emelésére, mivel teljes jogú szövetségesi státuszunkból adódóan ezen a téren is el kell érni a NATO által minimálisan elfogadott, előírt szintet. A " te ellenséged az én ellenségem" szövetségi elvnek, egy másik szempont szerinti értelmezése "a te ellenségednek én is az ellensége vagyok" - bármennyire is furcsán hangzik - azt jelenti, hogy a szövetség bármely tagállamának konfliktusa veszélyt hordozhat hazánkra nézve is. A közelmúltban, 2001. szeptember 11-én az Egyesült Államok ellen elkövették minden idők valószínűleg legsúlyosabb terrorcselekményét, melynek megközelítőleg 6000 ember esett áldozatul, és jelentős anyagi károkat is okozott, nem is szólva a társadalomban okozott pszichikai károkról. Azok a szervezetek, amelyeknek közük lehet az eseményekhez, kijelentették, hogy megtorlás esetén valamennyi együttműködő országot ellenségnek és potenciális célpontnak tekintenek. Az, hogy a nemzetközi terrorszervezetek eddig tömegpusztító fegyvereket sem Európában, sem az Egyesült Államokban még nem vetettek be, nem jelenti azt, hogy számításon kívül lehetne hagyni egy esetleges alkalmazás veszélyét. Ez még inkább kihangsúlyozza az ABV védelem fontosságát.

A Szárazföldi Összfegyvernemi Kötelékek Alkalmazásának Elvei doktrínatervezet a hadműveleti- és harcbiztosítás elemei közé sorolja az ABV védelmet, melynek alapvető feladatai:

- Detektálás, azonosítás, ellenőrzés,
- ABV Riasztási- és Értesítési Rendszer (RIÉR),
- Egyéni és kollektív védelem,
- Kockázat-kezelés,
- Egészségügyi rendszabályok.

Ezek végrehajtása az összhaderőnemi kötelék valamennyi szervezete, haderőneme, fegyverneme és szakcsapata összehangolt tevékenységét követeli meg. Ezek közül néhány szakfeladatot a vegyivédelmi szervezetek hajtanak végre.

Így:

1. Vegyi-, biológiai-, és sugárfelderítés
2. Vegyi- (biológiai) és radiológiai mintavétel és azonosítás (a legtöbb NATO országban a biológiai laboratóriumok a vegyivédelem szervezetébe tartoznak),
3. A vegyi-, biológiai-, és sugárhelyzet hadműveleti értékelése,
4. A teljes mentesítés végrehajtása.

A fentiekben felsorolt szakfeladatok közül az első 3 gyakorlatilag a vegyi-, biológiai- és sugárhelyzet felmérés feladatrendszerét alkotja. A várható és valóságos vegyi-, sugár- és biológiai helyzet felmérése a következmények csökkentésének és felszámolásának kiindulópontja.

A vegyi-, sugárhelyzet felmérésének célja, hogy információkat biztosítson a parancsnokok és törzsek részére: a várható hadműveleti, harcászati helyzet megítéléséhez, reális felméréséhez, a személyi állomány közvetlen védelmét szolgáló rendszabályok időben történő és szakszerű elrendeléséhez, az ABV védelmi feladatok végrehajtásának megtervezéséhez, valamint a veszélyeztetett katonai (és együttműködő polgári) szervezetek időbeni riasztásához.. Vagyis a felmérés a várható és a valóságos vegyi-, biológiai- és sugárhelyzet szakértékelését és a szükséges kiinduló adatok megszerzését foglalja magában.

A Magyar Honvédségben a vegyi-, sugár- és biológiai helyzet szakértékelése a NATO szabványokban leírt ATP-45 (C és D) és az AEP-45 (B és C) segítségével történik, azonban ezeken kívül használatosak még egyéb, a katonai igényektől eltérő, katasztrófavédelmi és civil ipari baleseti- értékelő-, előrejelző- és kockázatelemző szabványok, illetve ezekre implementált szoftverek.

Az ATP-45 (C, D) és az AEP-45 (B, C) szabályzatok elsősorban gyors értékelést tesznek lehetővé alapvetően a biztonságot – a riasztást - helyezve előtérbe, kevés bemenő adattal, ezáltal konzervatív (felülbecsült) eredményt szolgáltatva. Az előző bekezdésben említett egyéb használt szabványok és értékelési eljárások ugyan pontos bemenő adatokkal korrekt, pontos értékelést nyújtanak, azonban a vizsgált esemény időpontjában ezekkel az adatokkal általában nem rendelkezünk. Ezért

fennáll a veszélye annak, hogy különböző értékelő szervek, még ha ugyanazokat az eljárásokat használják is, merőben más előrejelzést kapnak, mivel az értékeléshez szükséges alapadatok becslése eltérő.

Az ATP-AEP-45 értékelési eljárásai tartalmazzák a vegyi-, sugár- és biológiai helyzet értékelés feladatait mind a klasszikus tömegpusztító fegyverek katonai alkalmazása esetére, mind a veszélyes anyagok (vegyi-, biológiai- és radiológiai) szándékos vagy balesetből eredő kibocsátása következtében kialakult helyzet elemzésére.

A megváltozott fenyegetés új lehetséges ABV eseményeket generál és ez új, a „hagyományos eljárásoktól” eltérő értékelési módszereket kíván meg.

Mindezek mellett a vegyi-, sugár és (biológiai) felderítési eszközök és eljárások fejlődésével nagymértékben megnőtt a forrásszinttől érkező adatmennyiség, amit az értékelő szervezeteknek fel kell dolgozni, betartva az előfeldolgozás-szelektálás, szakértékelés és hadműveleti értékelés fokozatokat.

Elengedhetetlenül fontos - és a fent említett rendszereket jellemzi - a térinformatikai alkalmazások széleskörű használata. A veszélyhelyzet felmérő-, riasztási- és értesítési rendszer egyik alapját olyan térinformatikai platform képezi, amely megfelel azoknak a katonai és polgári szabványoknak, előírásoknak, melyeket a szövetségi rendszerben használnak. Szerencsére hazánkban az ilyen K + F tevékenység nem új keletű és a Honvédség ezen a téren élen jár.

Az 1980-as évek fejlesztése eredményeképpen a MH Tóth Ágoston Térképészeti Intézet (ma MH Geoinformációs Szolgálat) elkészítette Magyarország Geodéziai Adatbázisát, majd digitális térképészeti adatbázisát, a DTA-200-at, mely Magyarország katonai térképének digitális változata. A DTA-200 mellett létrehozták a harmadik országos méretű adatbázist, a Digitális Domborzat Modell-t (DDM). A Digitális Domborzat Modellek Magyarország területére vonatkozóan tartalmazzák a felszín tengerszint feletti magasságát 50×50, illetve 10×10 méteres rács pontjaiban. Ezt követte az 1: 50 000 méretarányú digitális térképészeti adatbázis (DTA-50). Ez az ország teljes területét egységes, vektoros formában ábrázolja. A DTA-50 adatbázisba digitális alapanyagként beépült a Geodéziai Adatbázis, ezt kiegészíti a DDM, melynek segítségével lehetőség van térbeli elemzések végrehajtására is.

A digitális térképi rendszerek létrehozása, a mérő, kommunikációs és döntéstámogató rendszerek nagyfokú automatizálása, gépesítése lehetővé tette az eddig

önállóan működő felderítő-, értékelő-, kommunikációs- és döntéstámogató rendszerek, folyamatok egységes integrált környezetben történő működtetését.

Az ilyen integrált rendszer létrehozásának egyik fontos lépése az egyes folyamatok, eljárások alapjainak leírása, matematikai, fizikai, stb. törvényszerűségeinek determinálása. Ezek egy része hozzáférhető a hazai és külföldi szakirodalomban, másik része azonban a már megjelent szakutasítások értékelő táblázataiban van elrejtve.

Vizsgálataim a fent említett problémát célozták meg. Egyrészt olyan, az ATP-45 és az AEP-45 által nem tárgyalt vegyi- és sugárhelyzetek felmérésével kapcsolatos eljárások, módszerek matematikai és fizikai alapjainak feldolgozását vállaltam, amely az új, vagy eddig még nem vizsgált események értékelését teszik lehetővé, másrészt elvégeztem az adott eljárások értékelő rendszerbe illesztését. A dolgozatban terjedelmi okok miatt nem foglalkoztam a biológiai helyzet értékelés eljárásaival.

A kitűzött cél érdekében először át kellett tekinteni az említett szabványok eljárásrendjét és kiválasztani olyan eseményeket, amelyek leírása a szövetségi rendszer szabvány eljárásrendjében hadműveleti igényként jelentkezik. Ezek után elemezni kellett az adott események folyamatait, következményeit ,a kialakuló vegyi-, sugár- és biológiai helyzet jellemzőit, majd felépíteni egy alkalmazható módszert, amelynek bemenő adatigénye minimális. A vizsgálatok során – terjedelmi és módszertani okok miatt – csak a vegyi- és sugárhelyzet értékelés eljárásaival foglalkozom.

Az általam kidolgozott és javasolt új eljárások az alábbiak:

- Ballisztikus rakéta elfogás következtében kialakuló vegyi- és sugárhelyzet értékelése. Ez az eljárás az ATP-45(D) szabványban „Missile Interception” megnevezéssel kerül elfogadásra.
- Radioaktív pontforrás (forró pont) bemérése, dózisterének értékelése.
- A légi- és földi sugárfelderítés modern technikai eszközön alapuló új értékelési eljárása és a valós sugárhelyzet értékelése térinformatikai rendszer támogatásával.

Kutatási célkitűzéseim:

- **matematikailag, egzakt formában leírni** egy vegyi fejjel rendelkező ballisztikus rakéta elfogása során bekövetkező aeroszol kibocsátást és

terjedést, azt **új eljárásként alkalmazni** az ATP-AEP-45 értékelő szabványokban;

- **kidolgozni** a radioaktív pontforrás dózisterének értékelését, bemérésének módszerét, ez alapján új eljárás **megalkotását** és **beillesztését** az ATP-AEP-45 értékelő szabványok **RAD** (radiológiai események értékelésével foglalkozó) eljárásrendjében;
- új eljárást **kidolgozni** a légi és földi sugárfelderítés modern technikai eszközei által szolgáltatott nagy mennyiségű felderítési adatainak térinformatikai rendszerben történő értékelésére a valós sugárhelyzet tisztázása céljából.

Értekezésemben a kitűzött célok elérése érdekében a következő módszereket alkalmaztam:

- **elemeztem és feldolgoztam** a vegyi töltettel rendelkező rakéta robbanófej robbanása következtében kialakuló fizikai állapot sajátosságait, az elfogás magasságában jellemző atmoszferikus viszonyokat a Nemzetközi Légkör Modell (International Standard Atmosphere) alapján, valamint a képződött aeroszolok légkörből való kiülepedésének az adott körülmények között történő folyamatát. **Felépítettem egy konzervatív modellt** az elfogás során bekövetkező detonáció, aeroszol képződés és a felszínre való kihullás, kiülepedés **leírására**. A modell alapján számításokat végeztem a rakéta elfogás következményei elemzésére, majd **kidolgoztam** egy eljárást az értékelésnek az ATP-AEP-45-be illesztésére;
- **elemeztem és számításokat** végeztem különböző radioaktív izotópokból álló pontforrások dózisterének leírására, és **kidolgoztam** az egyszerű, a részletes és a szakértői eljárást a radioaktív pontforrás dózisterének értékelésére;
- **tanulmányoztam és elemeztem** a légi- és földi sugárfelderítés modern technikai eszközeit és az azok által nyújtott felderítési adatokat;
- adatfeldolgozási- és értékelési eljárást **dolgoztam ki** a valós sugárhelyzet tisztázása céljából, az értékelés során széleskörűen **alkalmaztam** a térinformatikai rendszert;

- az eljárás **validálását** több, földi- és légi sugárfelderítési feladatot tartalmazó **gyakorlaton**, illetve **teszten** végeztem, radioaktív pontforrások, illetve kiterjedt forrás mérésével;
- végül **összegzett következtetéseket** vontam le és **javaslatokat tettem** kutatási eredményeim gyakorlati hasznosítására.

A munkám során alkalmazott módszereket az alábbiak szerint csoportosítom:

- **rendszereztem és összegeztem** a folyamatok és eljárások leírására szolgáló, már meglévő matematikai apparátust;
- meglévő matematikai modelleket, eljárásokat **alkalmaztam** egyes értékelési folyamatok, eljárások egzakt leírására, közelítésére;
- saját matematikai eljárásokat és modelleket **dolgoztam ki** az elemzett események számítására.

A Ph.D értekezés anyagai kidolgozása időszakában a kutatásaimat az alábbiak szerint végeztem:

- elmélyülten tanulmányoztam a témával kapcsolatos nemzetközi és hazai szakirodalmat;
- elemeztem eddigi kutatási eredményeimet, tanulmányoztam az adott témakörben megjelent új elméleteket, eljárásokat;
- kutatási eredményeimet folyamatosan publikáltam, részt vettem hazai és nemzetközi kutatói konferenciákon, szimpóziumokon.
- a témával kapcsolatban állandó kapcsolatot tartottam az értékelési eljárásokkal, az ABV Riasztási és Értesítési Rendszer szabványosításával foglalkozó ATP-45 Panel (NSA CBRN W&R CIS) tudományos és műszaki munkatársaival.

A PhD. értekezés megírása időszakában a témával kapcsolatos nemzetközi és hazai szakirodalmat részletesen tanulmányoztam. Az alapvető információforrást a hazai és nemzetközi szaksajtó publikációi, az Interneten megjelent, nyilvánosan elérhető, de hiteles forrásból származó ABV védelemmel kapcsolatos dokumentumok, konferencia anyagok, a különböző hazai, USA és NATO szabályzatok képezték. Széleskörűen megismertem és alkalmaztam az egyetemi műhelymunkában kidolgozott dokumentumokat. Feldolgoztam a külföldi tanulmányutak tapasztalatait. Felhasználtam eddigi kutatási eredményeimet, a

doktorandusz képzés során felhalmozott ismereteimet és korábban szerzett tapasztalataimat. Konzultáltam a szakterület élenjáró tudományos kutatóival, vezető beosztásban lévő, illetve egyes NATO és más országokban tanulmányokat folytatott vegyivédelmi szakemberekkel. Gyakorlati méréseket végeztem a terepen légi- és földi felderítőeszközök segítségével, amelyeknek eredményeit felhasználtam a dolgozatom készítésében.

A dolgozatom három fejezetből áll:

1. Ballisztikus rakéta elfogás következtében kialakuló vegyi- és sugárhelyzet értékelése (Missile Interception)
2. Radioaktív pontforrás (forró pont) dózisterének értékelése.
3. A légi sugárfelderítés (lsf.) modern technikai eszközön alapuló új eljárása és a valós sugárhelyzet értékelése.

Az első fejezetben áttekintettem és elemeztem a troposzféra és sztratoszféra állapotát leíró hazai és nemzetközi irodalmat, a vegyifegyverek alkalmazása során, egyes vegyilőszerek, aknák, bombák robbanása során végbemenő fizikai-kémiai folyamatokat, valamint az aeroszol képződés, diszperzió és transzmisszió és ülepedés törvényszerűségeit és az adott problémához alkalmazható összefüggéseket. Ezek után készítettem egy egyszerű, de a valós körülményeket konzervatívan közelítő modellt, amellyel számításokat végeztem a kialakuló helyzet jellemzésére, majd készítettem egy eljárást, amely alkalmazható a szakértékelő szervek operatív munkájában és az eljárást formailag az ATP-AEP-45 értékelő szabványok követelményeihez igazítottam.

A második fejezetben egy speciális, az ATP-AEP-45 értékelési dokumentumok (továbbiakban Értékelő) RAD fejezetét hasznosan kiegészítő új eljárást dolgoztam ki radioaktív pontforrások dózisterének értékelésére. Az értékelés alapját képező matematikai összefüggés alkalmazása érdekében kiszámítottam a hazai és nemzetközi irodalomban általam nem fellelt radioaktív izotópok aktivitás-dózis konverziós együtthatóit, és a számításokat ismert konverziós együtthatók segítségével validáltam. A számítások elve alapján az Értékelő nyelvezetéhez és formai követelményeihez igazodó eljárást dolgoztam ki egyszerűsített, részletes és szakértői változatban.

A harmadik fejezetben elemeztem a Magyar Honvédségben rendszeresített és alkalmazásba vett légi- és földi sugárfelderítő eszközök által szolgáltatott nyers felderítési adatok továbbításának lehetőségeit, valamint az adatfeldolgozás

számítógéppel támogatott módszereit. Kiválasztottam az adatfeldolgozásra és értékelésre leginkább alkalmas térinformatikai környezetet és alkalmaztam benne az adatfeldolgozásra leginkább megfelelő matematikai eljárást. Ebben a fejezetben igyekeztem egységes egészbe foglalni a nyers sugárfelderítési adatok feldolgozását, és a valós sugárhelyzet értékelése technikáit a már meglévő térinformatikai rendszer lehetőségeivel.

Értekezésemben egyrészt igyekeztem új és egyszerűen alkalmazható eljárásokat kidolgozni a szakértő szervezetek számára, másrészt felhasználva a meglévő modern felderítő eszközök képességeit, kiegészíteni azokat olyan adatfeldolgozási technikával, amely lehetővé teszi korszerű térinformatikai környezetben a valós sugárhelyzet értékelését, ábrázolását és a további tevékenységek tervezését. A tudományos közélet reagálásai alapján bátran állíthatom, hogy a gyakorlatban is használható, új tudományos kutatási eredményekkel gazdagítottam a vegyi- és sugárhelyzet értékelési eljárásait. Éppen ezért értekezésem eredményei elősegítik a vegyi-, sugárhelyzet felmérésével foglalkozó szakemberek munkáját, mind a felderítést tervező, végrehajtó, mind az értékelő szerveknél. A döntéshozók munkáját is igyekeztem elősegíteni azzal, hogy az értekezés anyaga útmutatást adjon egy korszerű, a 21. század követelményeinek is megfelelő felderítő-értékelő rendszer kialakításához. Megítélésem szerint kutatás eredményeim az oktatásban is hasznosíthatók a vegyivédelmi, a vegyi- és nukleárisbaleset-elhárításban érintett szakemberek felkészítésében, valamint hozzájárulnak az adott terület elméletének fejlődéséhez.

I. FEJEZET
BALLISZTIKUS RAKÉTA ELFOGÁS KÖVETKEZTÉBEN KIALAKULÓ VEGYIHELYZET ÉRTÉKELÉSE (MISSILE INTERCEPTION)

Jelen fejezetben egy vegyi harci fejjel szerelt ballisztikus rakéta elfogásának következményeit elemzem, megbecsülöm az elfogás következtében kibocsátott anyagok terjedését és annak ismeretében javaslatot teszek egy eljárásra, amely konzervatív metódust ad a ballisztikus rakéta elfogása esetén kialakuló szennyezett terület leírására.

1.1. Az alkalmazott forgatókönyv kiválasztása és a választás indoklása

A megfelelő forgatókönyv kiválasztásakor figyelembe vettem az alkalmazást meghatározó harcászati-hadműveleti követelményeket, valamint a rendszeresített (rendszerben lévő, esetleg az MH hadrendjéből már kivont, de más országokban továbbfejlesztett) eszközök jellemzőit.

1.1.1. Alkalmazás elvek

- Vegyi harci fejet a Szovjetunió és USA hadseregében alapvetően a szárazföldi haderőnemben rendszeresített kis- és közép-hatótávolságú ballisztikus rakétáknál alkalmaztak.
- Az alkalmazás célobjektuma általában vezetési pontok, híradóközpontok, forgalmas csomó- és átrakópontok, repülőterek.
- Az alkalmazás célja az említett objektumok hadműveleti szempontból jelentős ideig (több nap) tartó szennyezése volt, ami az ott folyó tevékenységet bénította, vagy nagymértékben nehezítette az egyéni és kollektív védőeszközök állandó alkalmazásával és a védelmi rendszabályok folyamatos fenntartásával, ezért az alkalmazott mérgező harcanyag hosszú önmentesítési idejű viszkózus maradó ágens volt.
- A harci fejben alkalmazott töltet mindkét részről technikai VX volt, ezt a szovjet gyakorlatban helyettesíthették nyúlós (viszkózus) szománnal, esetleg nyúlós

szomán-mustár keverékével. A fej strukturális felépítése, méretezése minden esetben analóg volt, így az alkalmazott mérgező harcanyag fizikai paraméterei is hasonlóak voltak.

1.1.2. A célbajuttató eszköz

Az alkalmazás elvei ismeretében kiválasztottam a szovjet gyártmányú R-300 SCUD rakétát az alábbi szempontok szerint:

- Az eszköz széles körben alkalmazott volt a VSZ hadseregeiben és modernizált változatai máig megtalálhatók az orosz fegyverszállítások érdekeltségi övezetében.
- Az eszköz 1991-ig rendszeresítve volt a Magyar Honvédség szárazföldi haderejében is, ezért a számításokhoz szükséges műszaki és repülési paraméterei ismertek.

1. ábra: Az R-300-as SCUD rakéta

1.1.3. Az elfogás folyamatának vázlatos leírása

Az elfogást végrehajtó ellenrakéta az elfogást a ballisztikus rakéta pályájának végső szakaszában, a becsapódás előtti **10-30 km**-es magasságon végzi. Az ellenrakéta fejében lévő nagy erejű töltet a megsemmisítési sugáron belül rombolja a ballisztikus

rakétatestet, és/vagy rombolja, esetleg megsemmisíti a harci fejet. Ennek folyamán a harci fej töltete részben, vagy egészében kiszabadulhat (lásd 1.3. pont) ami a környezetben vegyiszennyezést okoz. A fejezetben kidolgozott modell az alábbi durva közelítéseket és elhanyagolásokat tartalmazza:

1. Az elfogás során bekövetkező detonáció során a fej mérgező harcanyag tartalma egész mennyisége átmegy aeroszol formába.
2. A detonáció során nem következik be hő és nyomás okozta sokk a mérgező harcanyagban, tehát nincs veszteség.
3. A detonáció abszolút gömbszimmetrikus.
4. A detonáció okozta diszperzió tökéletes monodiszperz aeroszolt eredményez, ahol a szemcseméret megfelel a számítási metódus által kapott átlagos szemcseméretnek.
5. A felhő terjedése és ülepedése tökéletesen állandó atmoszferikus körülmények között megy végbe, tehát állapota megfelel az International Standard Atmosphere paramétereinek, valamint az egyes rétegeket állandó irányú és erősségű rétegszelek jellemzik, esetünkben **10 m/s** sebességet feltételezve.
6. A felhő oldalirányú és függőleges diszperziójának paraméterei az atmoszferikus rétegekben állandóak, illetve a levegő dinamikus viszkozitásának változásával járó diszperziós paraméterváltozásokat elhanyagoljuk és csak az alacsonyrétegű diszperzió összefüggéseivel számolunk.
7. Az egyes rétegekben menő diszperzió folyamatát háromdimenziós Gauss eloszlással jellemezzük.

A fenti közelítések és elhanyagolások a modell konzervativitását növelik az alábbiak szerint:

- Az 1-2. közelítés maximális anyagmennyiséggel számol, hiszen bármely más esetben a szennyezett felhő mérgező harcanyag tartalma kevesebb lesz.
- A 3. és 7. közelítések statisztikus modell alkalmazását teszik lehetővé nehézkes és bonyolult numerikus modell alkalmazása helyett.
- A 4. közelítés a Gauss modell egyszerűsítését teszi lehetővé, mivel így nem szükséges a cseppméret spektruma alapján annak részeire külön-külön eloszlást számolni és az egyes Gauss függvények alkotta összetett függvénnyel számolni.

– Az 5-6. közelítés alapvetően konzervatív, mivel az atmoszferikus rétegek differenciált mozgása a felhő nagyobb szóródását, hígulását okozza, így a földfelszínen kisebb sűrűségű szennyezés alakul ki. A levegő magasabb rétegeinek kisebb dinamikus viszkozitása szintén a felhő gyorsabb hígulását eredményezi.

1.1.4. Az elfogás és a következmények elemzésére felépített modell struktúrája

Az elemzéshez kidolgozott modell a fentebb vázolt forgatókönyv alapján végig követi az eseményeket, a föld felszínén kialakuló szennyezés értékeinek és eloszlásának meghatározása érdekében. Ez a folyamat az alábbi lépésekre osztható:

1. Az R-300-as rakéta repülési paramétereinek vizsgálata és az elfogás magassága optimális és szélső értékeinek meghatározása céljából.
2. A rakéta harci fejének vizsgálata az elfogás során bekövetkező detonáció hatásainak elemzésére, a képződött mérgező harcanyag felhő részecskeméretének és kezdeti kiterjedésének meghatározása céljából.
3. A felhő további diszperziójának, nagy magasságból történő szedimentációs kiülepedésének vizsgálata a légkör állapotát leíró szabvány modell segítségével.
4. A talajra kihullott szennyeződés paramétereinek kiszámítása.

1.2. Az R-300 SCUD rakéta repülési és a harci fejben tárolt mérgező harcanyag paraméterei

A modellezésnél feltételezett forgatókönyv a ballisztikus rakéta maximális hatótávolságának berepülését és sikeres elfogást feltételez, amely az elfogás szempontjából ideális magasságon (8 – 30 km) és a harci fej teljes, detonációval kísért megsemmisülésével történik.

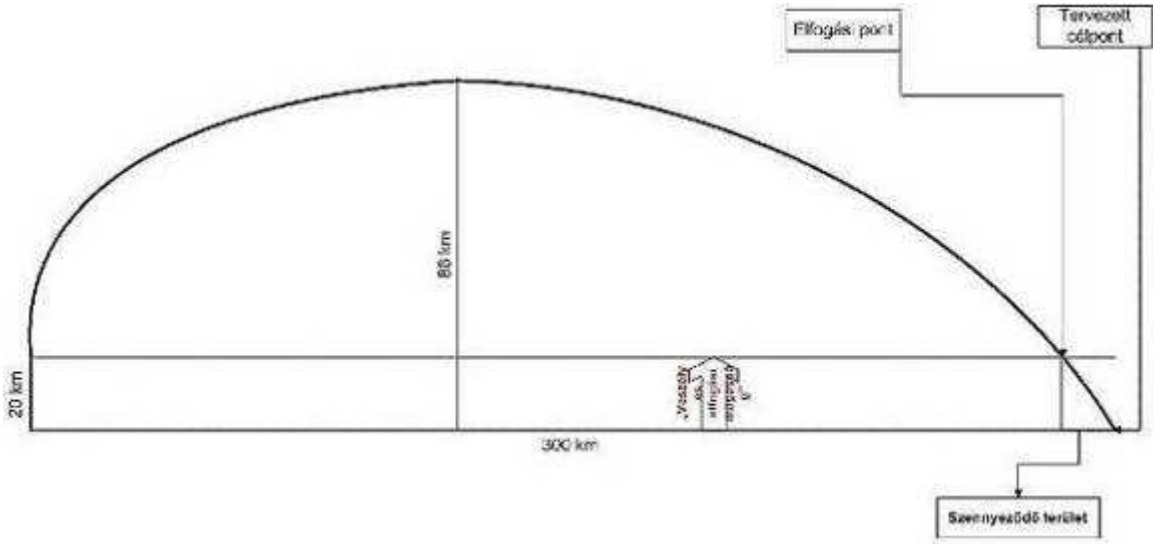
1.2.1. Repülési paraméterek

A rakéta pályaadatok maximális hatótávolság berepülése esetén az alábbiak szerint alakulnak:

H_{max} =	86	km	Maximális emelkedési magasság
S_{max} =	300	km	Maximális hatótávolság
T_{flying} =	313	s	Repülési idő

$T_{burning}$ =	35	s	Hajtómű üzemideje
H_{vert} =	20	km	Függőleges emelkedés
a	43,9127	m/s^2	Gyorsulás
V =	1537	m/s	Becsapódási sebesség
V_x =	1060,071	m/s	V - Vízszintes vetület
V_y =	1112,933	m/s	V - Függőleges vetület
α =	0,80972	rad	Becsapódási szög
α =	46,39354	º	

1. sz. táblázat: Ballisztikus pályaadatok



2. ábra: Az R-300-as rakéta ballisztikus pályája

1.2.2. A vegyi töltet paraméterei

A harci fej töltete technikai Vx, amely fizikai és toxikus tulajdonságaiban jól közelíti a desztillált terméket. A fizikai tulajdonságok közül jelen esetben a legfontosabb a viszkozitás, hiszen annak mind a harci fej alkalmazása, mind az elfogása során bekövetkező detonáció miatt szerepe van az aeroszolfelhő kialakulásában.

A Vx fizikai és toxikus tulajdonságai az alábbiak:

Forráspont	298	ºC	760	mm Hg
Gőznyomás	0,00063	mm Hg	25 ºC	
Relatív gőzsűrűség	9,2		25 ºC	

(Levegő = 1 STP)				
oldékonyság (g/100g oldószer)	5	víz	21,5 ºC	
	3	víz	25 ºC	
	∞	Szerves oldószer		
Relatív sűrűség	1,0113	(H_2O)	25 ºC	
Fagyás/olvadáspont	-50	ºC		
Folyadéksűrűség	1,0083	g/ml	25 ºC	
Gőzsűrűség	8,9	mg/m^3	25 ºC	
Kinetikus viszkozitás	9,96E-06	m^2/s	25 ºC	
Toxicitás:	LcT_{50}=	0.01	mg*min/l	
	IcT_{50}=	0.005	mg*min/l	
	PcT_{50}=	0.0001 mg*min/l		
	Inhalációsan:	LD_{50} = 0.7 mg/kg		
	Perorálisan:	LD_{50} = 0.07 mg/kg		

2. sz. táblázat: Vx fizikai és toxikus tulajdonságai

1.3. Az elfogás és a robbanás modellezése

A rakéta elfogásakor bekövetkező robbanás akkor hatásos, ha elfogáskor a rakétatest szétesik és a harci fej is oly mértékben roncsolódik, hogy az nem képes a célobjektumot a kívánt mértékben károsítani. Az elfogás során a harci fej sérülése az alábbiak szerint történhet:

1. Irányát veszítve leesik és egyben marad, esetleg szivárog.
2. Irányát veszítve leesik, egyben marad és a föld felszínén, esetleg a harcászatilag meghatározott magasságon robban.
3. Az elfogási magasságon felrobban és méretezés szerinti detonáció inicializálta aeroszolfelhő alakul ki.

Az első két esetben a helyzet értékelése „hagyományos vegyicsapás értékelés” szerint történik, míg a harmadik esetben nagy kiterjedésű térfogati forrás alakul ki,

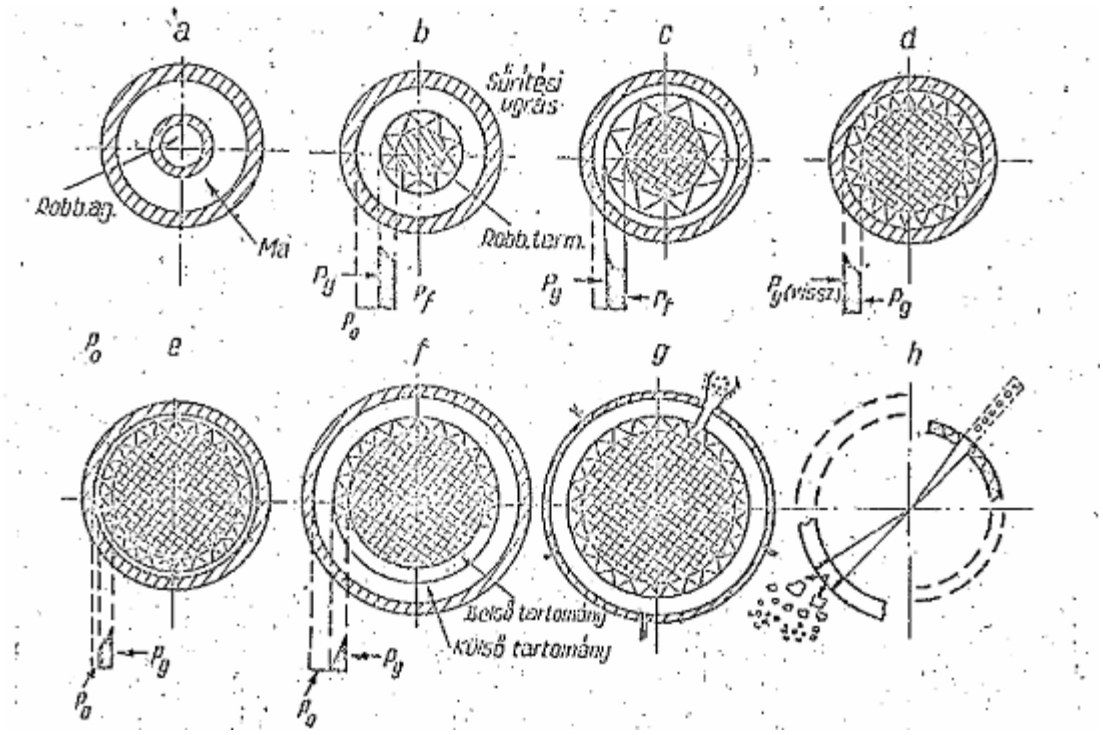
amelyet a jelen fejezetben leírt modellel számíthatunk. Az ennek alapján kidolgozott konzervatív módszer alkalmas a vegyihelyzet becsléssel történő értékelésére.

A modell a képződött mérgező harcanyag felhő részecskeméretének, részecskeméret eloszlásának és kezdeti kiterjedésének meghatározásának módszerén alapul, amelynek jól kidolgozott irodalma van[10, IV. fejezet], [11, 2.3. pont].

Az elfogás során bekövetkező detonáció során felszabaduló energia: a mérgező harcanyag töltetre:

– brizáns (daraboló, diszpergáló) és
– hajító (röpítő) hatást fejt ki.

Az alábbi ábrán a töltet detonációjának (brizáns hatásának) mechanizmusa látható, amely egyetemesen alkalmazott a vegyi töltetek robbanásának leírására[11, 2.3. pont]:



3. ábra: A vegyi töltet robbanási mechanizmusa

A fenti ábrán látható mechanizmus az alábbi lépésekben zajlik le:

A töltet robbanása és a gyújtócsésze rombolódása után a robbanási termékek nagy sebességgel a mérgező harcanyagnak ütközve lökéshullámot indukálnak (2.b. ábra), amelyben $\mathbf{P_y}$ nagy nyomás alakul ki (a hullámfront a mögöttes összenyomott közegben $\mathbf{P_g}$ értékre csökken), míg a mérgező harcanyag egyéb részei nyugalomban maradnak $\mathbf{P_0}$ nyomáson (2.c. ábra). A robbanási termékek sebessége a folyadék ellenállása miatt csökken és amikor a gáztömeg sugara a kezdeti kétszeresére nő, a tágulási sebesség a hangsebesség alá csökken, a robbanási termékek nyomást

gyakorolnak a folyadékra, a lökéshullám a lőszer falát elérve visszaverődik (2.d. ábra). A robbanási termékek nyomása is átadódik a folyadékon keresztül a lövedékfalnak (2.e. ábra). A mérgező harcanyag két különböző állapotba kerül, a külső, lövedéktesthez közeli zónában összenyomatlan állapotban és a belső zónában pedig erősen összenyomott állapotban (2.f. ábra). A lövedéktest deformálódik, majd repedések jelennek meg rajta. Amint a repedések képződése megkezdődik, ezeken keresztül megindul a folyadék falközeli rétegeinek kiömlése, egyidejűleg ezzel a robbanási termékek kiáramlanak és magukkal ragadnak kis folyadékrészeket (2.g. ábra). A mérgező harcanyag fő tömegének kiszóródása a lövedéktest szilánkjainak szétrepülésével együtt történik.

1.3.1. Brizáns hatás

A detonáció kezdeti stádiumában a robbanási termékek igen sűrű gázok formájában jelentkeznek (**$\rho \approx 2$ g/cm^3**). Ebben az állapotban főként a molekulák közötti taszító erők lépnek fel, ezért képződésük és tágulásuk kezdeti szakaszában a képződött gázokra nem vonatkozik a van der Waals egyenlet, amelyben ezek az erők csak durván, a molekulák saját térfogatán belül vehetők figyelembe. Kb. **10^{10} Pa** körüli nyomáson a gázokra az alábbi állapotegyenlet vonatkozik[10, III. fejezet, 4.a.]:

$$PV^3 \approx \text{const} \qquad (1.1)$$

Ezzel szemben az ideális gázokra érvényes állapotegyenlet:

$$PV^{\kappa} \approx \text{const} \qquad (1.2)$$

ahol

P – közeg nyomása (Pa)

V – közeg térfogata (m^3)

κ – adiabatikus kitevő, egyatomos gázok esetén értéke **5/3**, kétatomos gázoknál **7/5**.

E függőség a terjeszkedés azon fázisában érvényes, amíg a közeg nyomása nem csökken néhányszor **10^8 Pa** és a sűrűség pedig mintegy **0,5 g/cm^3** alá.

Ily módon a robbanási termékek tágulási folyamatának kezdeti fázisában a mérgező harcanyag nem ideális gáz tágulása történik összenyomható közegben, a robbanás brizáns hatása pedig a közeg deformációját jelenti, amely a közeg tömörítésével kapcsolatos. A közeg tágulása hangsebességnél nagyobb sebességgel történik.

1.3.2. Hajító (röpítő) hatás

A közeg további tágulása folyamán annak komponenseinek tulajdonságai fokozatosan hasonlatossá válnak az ideális gázéhoz. Ezen átmeneti állapotban az 1.1 egyenlet exponense a **3 – 1,4** értékek között változik, majd mintegy **2÷2,5x10^8 Pa** nyomáson beáll a kétatomos molekulákra jellemző **7/5** értékre, ettől kezdve adiabatikus tágulásállapotában lesz a közeg[10, III. fejezet, 4.b.]:

$$PV^{1.4} \approx const \qquad (1.3)$$

Ebben az állapotban a közeg részeinek tágulása a közeg állapotához képest szubszonikus, a folyamat lényege az ideális gáz tágulása összenyomhatatlan közegben. A robbanási termékek hajító hatása a közeg deformációjában jelentkezik, melyet a robbanás hajító hatása okoz. A robbanási termékek hajító hatásának maximális sugara megegyezik a deformáció atmoszferikus nyomáshoz közeli határrétegének sugarával.

1.3.3. A robbanás során bekövetkező szóródás

Az elfogás során bekövetkező robbanáskor a mérgező harcanyag diszperziója a robbanás hatására történik. Az előzőekben leírtak szerint a robbanáskor a mechanikus hatásnak két specifikus formája létezik: a **brizáns** és **a hajító**, mely kétféle hatásnak a szétesésé két fajtája felel meg: az **inerciális** és a **turbulens**.

A harci fej belső zónájában elhelyezkedő folyadék rétege, melynek sugara nem nagyobb a töltet kétszeres sugaránál, a robbanáskor igen erős rugalmas összenyomás alá kerül. A nyomás megszűnése után, vagyis a test széthasadása után a folyadék rétege hasonlóan az összenyomott gázhoz, igen nagy sebességgel kezd terjeszkedni minden irányba. Ez a folyamatosság megszakadásához és az elemi folyadékcseppekre szakadáshoz vezet. A diszperzió ezen fajtáját inerciális szórásnak nevezzük. Ez azon potenciális energia alapján történik, amelyet az összenyomott folyadék összesűrűsödött rétege tartalmaz.

A robbanás során ez az összenyomott réteg egyrészről terjeszkedni fog, mint egy rugalmasan összenyomott test, másrészről pedig a lőszer közepétől kifelé mutató irányban fog terjeszkedni, azaz a folyamat során szétesés és szétrepülés történik.

A töltet kétszeres sugarának kívül eső külső zóna az ütőhullám és a terjeszkedő robbanási termékek hatása alá kerül, azonban ennek nagysága jelentősen kisebb, mint a belső zónában, mert a hatást a töltet tengelyétől való eltávolodás mértékében állandóan csökkenő tendenciák jellemzik, ezért a külső rétegben elhelyezkedő folyadék gyakorlatilag nem lesz összenyomott állapotban. Azonban a nyomás ereje annyira jelentős marad, hogy a fal, amelyre az erők átadódnak, szétrobban. A folyadék bizonyos része a testen képződött réseken keresztül folyadéksugarak formájában kilövell és a légellenállás hatására cseppekre szakad. A folyadék egy része pedig a réseken keresztül kitörő gázokkal együtt kiszóródik. Mindez azonban a folyadék jelentéktelen részét, körülbelül 5-10%-át képezi. A folyadék zöme azonban a szilánkokkal együtt szétszóródik, majd az inerciális és a turbulens bomlás mechanizmusa alapján diszpergálódik.

1.3.4. Átlagos cseppméret meghatározása

Ennek megfelelően, a detonáció során kialakuló aeroszol felhő átlagos cseppméretét (**d_a**) a két hatás együttesen határozza meg (az egyenletekben szereplő paraméterek adatai az 1.3. sz. táblázatban találhatók). A számítások elvégzéséhez korrekt irodalom áll rendelkezésemre[10, IV. fejezet], amelyekhez az alábbi összefüggéseket alkalmaztam:

$$d_a = d_i + d_t \tag{1.5}$$

$$a = \frac{4-(d_1/d_0)^2}{(d_2/d_0)^2-(d_1/d_0)^2} \tag{1.6}$$

$$d_i = K_1 * a * \left(\frac{c_0}{D}\right)^2 \sqrt{\frac{G_0(1-d_1^{\,2}/d_2^{\,2})}{\xi_0 h}} \tag{1.7}$$

$$d_t = K_2 * (1-a)\sqrt{\frac{G_0 \sigma d_2)}{\xi_0 \varepsilon_1 G_{BB}}} \tag{1.8}$$

Ahol

d**a**	– Átlagos cseppméret (m)
d_i	– Inerciális hatás részaránya a cseppképződéskor (m)
a	– Folyadéktöltet inerciális (brizáns) hatás alá kerülő része

d_0	– Trotiltöltet átmérője (m)
d_1	– Gyújtócsésze átmérője (m)
d_2	– Harci fej belső átmérője (m)
K_1=2,6e4, K_2=2,8e7	– empirikus állandók
c_0	– Hangsebesség (m/s)
D	– Detonáció sebessége (m/s)
G_0	– Harci fej tömege (kg)
ξ_0	– Folyadék sűrűsége (kg/m^3)
h	– Folyadék magassága a töltetben (m)
σ	– Felületi feszültség (kg/m)
ε_1	– Relatív robbanási energia –„trotil egyenérték”- (kg/kg)
G_{BB}	– Robbanóanyag tömege (kg)

A fenti összefüggések alapján kiszámítottam az átlagos szemcseméretet, valamint a vegyi töltet brizáns hatás alá eső részét. Ez utóbbi szükséges a képződött cseppek méret eloszlásának számításához.

Állandók		Detonáció sebessége	Hangsebesség	Harci fej tömege	Trotil tömege	Folyadék sűrűsége	Folyadék magassága	Trotil töltet átmérője	Gyújtócsésze átmérője	Belső átmérő	Felületi feszültség	Relatív robbanási energia	Vegyi töltet tömege	Vegyi töltet brizáns hatás alá eső része
$\mathbf{K_1}$	$\mathbf{K_2}$	**D** (m/s)	$\mathbf{c_0}$ (m/s)	$\mathbf{G_0}$ (kg)	$\mathbf{G_{BB}}$ (kg)	$\boldsymbol{\xi_0}$ (kg/m^3)	**h** (m)	$\mathbf{d_0}$ (m)	$\mathbf{d_1}$ (m)	$\mathbf{d_2}$ (m)	$\boldsymbol{\sigma}$ (kg/m)	$\boldsymbol{\varepsilon_1}$ (mkg/kg)	$\mathbf{M_f}$ (kg)	**a** (1)
2,60E+04	2,80E+07	6700	1450	985	420	1008,3	1,5	0,2	0,35	0,6	6,60E-03	5,12E+05	555	0,157895

Átlagos
részecskeméret
$\mathbf{d_a}$, (μm)
2,26E+02

3. sz. táblázat: A harci fej és a töltet paraméterei a részecskeméret és a felhő kezdeti paramétereinek meghatározására

1.3.5. A felhő kezdeti paramétereinek számítása

Az elfogás inicializálta detonáció teljesen szimmetrikus feltételezése esetén (1.1.3. pont) a felhő kezdeti paramétereit az alábbi empirikus összefüggéssel számítottam:

$$r_0 = 6.37\sqrt[3]{G_{BB}} + 0.086\frac{M_f}{M_{BB}}\sqrt[3]{G_{BB}} \tag{1.9}$$

$$\sigma_{x0} = 0.66 r_0 \tag{1.10}$$

A felhő kezdeti paramétereire az alábbi adódott

r_0	=	49 m	Felhő kezdeti sugara
σ_{x0}	=	32 m	Kezdeti szórás

1.3.6. A képződött felhő cseppméret eloszlása

A detonáció során képződött részecskék méretének eloszlását szintén az inerciális és turbulens hatás figyelembe vételével számítottam:

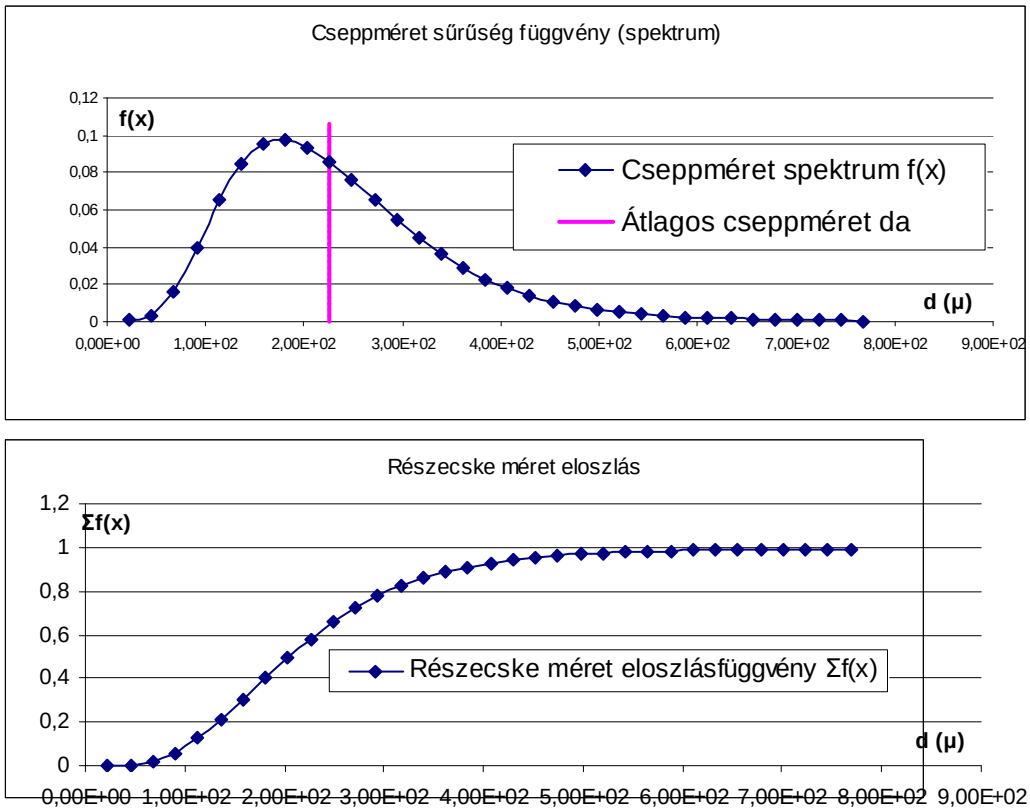
$$\frac{f(d)}{\Delta d} = f_i(d) + f_t(d) \tag{1.11}$$

$$f_i(d) = 1.11 * a * d * \exp\left[-2.45(d-0.8)^2\right] \tag{1.12}$$

$$f_t(d) = (1-a) * \exp\left[-2.25 * \left(\ln\frac{d}{0.75}\right)^2\right] \tag{1.13}$$

Ahol:

d= aktuális cseppméret,



4. ábra: Cseppméret sűrűség- és eloszlásfüggvény

A cseppméret eloszlás a normál eloszlás törvényszerűségét követi, a sűrűségfüggvény maximuma elég közel van a számított középértékhez (átlagos cseppmérethez – **226 µ**), ami valójában az eloszlásfüggvény **0,5**-ös ordinátájához tartozó abszcissza. Mivel az átlagos cseppméret körül a sűrűségfüggvény elég meredek, így az átlagos cseppmérettel való számítás igen jó közelítést jelent.

1.4. A légköri diszperzió modellezése

1.4.1. Alkalmazott atmoszféra modell

A dolgozatban a felhő diszperziójának és szedimentációs kihullásának számítása során Nemzetközi Standard Atmoszféra Modellt[18, 19, 20, 21, 22] (International Standard Atmosphere) alkalmaztam, amely a légkör átlagos állapotát veszi figyelembe és a troposzféra alsó rétegei kivételével pontosan közelíti a légkör állapotát globális viszonylatban.

Magasság - **z** - (m)	Hőmérséklet - **T** - (K)	Nyomás - **p** - (bar)	Relatív sűrűség - **ρ/ρ₀** -	Sűrűség **ρ** (kg/m^3)	Kinetikus viszkozitás - **ν** - (m^2/s)	Dinamikus viszkozitás - **η** - (kg/m/s)	Hővezetés - **k** - (kW/m/K)	Hang-se-bessé g - **c** - (m/s)
30000	226,5	0,01197	0,01503	0,01841	8,0134E-04	1,4754E-05	2,034	301,7
28000	224,5	0,01616	0,02047	0,02508	5,8405E-04	1,4645E-05	2,018	300,4
26000	222,5	0,02188	0,02797	0,03426	4,2439E-04	1,4541E-05	2,001	299,1
24000	220,6	0,02972	0,03832	0,04694	3,0743E-04	1,4431E-05	1,985	297,7
22000	218,6	0,04047	0,05266	0,06451	2,2201E-04	1,4322E-05	1,968	296,4
20000	216,7	0,05529	0,07258	0,08891	1,5989E-04	1,4216E-05	1,952	295,1
19500	216,7	0,05980	0,07850	0,09616	1,4784E-04	1,4217E-05	1,952	295,1
19000	216,7	0,06467	0,08489	0,10399	1,3670E-04	1,4215E-05	1,952	295,1
18500	216,7	0,06995	0,09182	0,11248	1,2639E-04	1,4216E-05	1,952	295,1
18000	216,7	0,07565	0,09930	0,12164	1,1686E-04	1,4215E-05	1,952	295,1
17500	216,7	0,08182	0,10740	0,13157	1,0805E-04	1,4216E-05	1,952	295,1
17000	216,7	0,08850	0,11620	0,14235	9,9900E-05	1,4220E-05	1,952	295,1
16500	216,7	0,09572	0,12560	0,15386	9,2370E-05	1,4212E-05	1,952	295,1
16000	216,7	0,10350	0,13590	0,16648	8,5400E-05	1,4217E-05	1,952	295,1
15500	216,7	0,11200	0,14700	0,18008	7,8950E-05	1,4217E-05	1,952	295,1
15000	216,7	0,12110	0,15900	0,19478	7,3000E-05	1,4219E-05	1,952	295,1
14500	216,7	0,13100	0,17200	0,21070	6,7490E-05	1,4220E-05	1,952	295,1
14000	216,7	0,14170	0,18600	0,22785	6,2390E-05	1,4216E-05	1,952	295,1
13500	216,7	0,15330	0,20120	0,24647	5,7680E-05	1,4216E-05	1,952	295,1
13000	216,7	0,16580	0,21760	0,26656	5,3330E-05	1,4216E-05	1,952	295,1
12500	216,7	0,17930	0,23540	0,28837	4,9300E-05	1,4216E-05	1,952	295,1
12000	216,7	0,19400	0,25460	0,31189	4,5570E-05	1,4213E-05	1,952	295,1
11500	216,7	0,20980	0,27550	0,33749	4,2130E-05	1,4218E-05	1,952	295,1
11000	216,8	0,22700	0,29780	0,36481	3,8990E-05	1,4224E-05	1,953	295,2
10500	220,0	0,24540	0,31720	0,38857	3,7060E-05	1,4400E-05	1,980	297,4
10000	223,3	0,26500	0,33760	0,41356	3,5250E-05	1,4578E-05	2,007	299,8
9500	226,5	0,28580	0,35890	0,43965	3,3550E-05	1,4750E-05	2,034	301,7
9000	229,7	0,30800	0,38130	0,46709	3,1960E-05	1,4928E-05	2,061	303,8
8500	233,0	0,33150	0,40470	0,49576	3,0460E-05	1,5101E-05	2,088	306,0
8000	236,2	0,35650	0,42920	0,52577	2,9040E-05	1,5268E-05	2,115	308,1
7500	239,5	0,38300	0,45490	0,55725	2,7710E-05	1,5441E-05	2,142	310,2
7000	242,7	0,41110	0,48170	0,59008	2,6460E-05	1,5614E-05	2,169	312,3
6500	245,9	0,44080	0,50960	0,62426	2,5280E-05	1,5781E-05	2,195	314,4
6000	249,2	0,47220	0,53890	0,66015	2,4160E-05	1,5949E-05	2,222	316,5
5500	252,4	0,50540	0,56940	0,69752	2,3110E-05	1,6120E-05	2,248	318,5
5000	255,7	0,54050	0,60120	0,73647	2,2110E-05	1,6283E-05	2,275	320,5
4500	258,9	0,57750	0,63430	0,77702	2,1170E-05	1,6449E-05	2,301	322,6
4000	262,2	0,61660	0,66890	0,81940	2,0280E-05	1,6617E-05	2,327	324,6
3500	265,4	0,65780	0,70480	0,86338	1,9430E-05	1,6775E-05	2,353	326,6
3000	268,7	0,70120	0,74230	0,90932	1,8630E-05	1,6941E-05	2,379	328,6
2500	271,9	0,74690	0,78120	0,95697	1,7870E-05	1,7101E-05	2,405	330,6
2000	275,2	0,79500	0,82170	1,00658	1,7150E-05	1,7263E-05	2,431	332,5
1500	278,4	0,84560	0,86380	1,05816	1,6460E-05	1,7417E-05	2,457	334,5

Magasság - **z** - (m)	Hőmérséklet - **T** - (K)	Nyomás - **p** - (bar)	Relatív sűrűség - **ρ/ρ₀** -	Sűrűség **ρ** (kg/m^3)	Kinetikus viszkozitás - **ν** - (m^2/s)	Dinamikus viszkozitás - **η** - (kg/m/s)	Hővezetés - **k** - (kW/m/K)	Hang-se-bessé g - **c** - (m/s)
1000	281,7	0,89880	0,90750	1,11169	1,5810E-05	1,7576E-05	2,483	336,4
500	284,9	0,95460	0,95290	1,16730	1,5200E-05	1,7743E-05	2,509	338,4
0	288,2	1,01325	1,00000	1,22500	1,4610E-05	1,7897E-05	2,534	340,3
-500	291,4	1,07480	1,04890	1,28490	1,4050E-05	1,8053E-05	2,560	342,2
-1000	294,7	1,13930	1,09960	1,34701	1,3520E-05	1,8212E-05	2,585	344,1
-1500	297,9	1,20700	1,15220	1,41145	1,3010E-05	1,8363E-05	2,611	346,0
-2000	301,2	1,27780	1,20670	1,47821	1,2530E-05	1,8522E-05	2,636	347,9

4. sz. táblázat. Standard Atmoszféra Modell

A táblázatban rögzített értékeket analitikus, vagy empirikus összefüggésekkel közelítettem. A (1.15 – 1.17) összefüggéseket a 4. sz. táblázat adatainak feldolgozásával nyertem.

A légköri nyomás változása:

$$p = \rho R_0/(MT) \qquad (1.14)$$

Ahol

M = 28.9647 kg/kmol a levegő moltömege

R_0 = 8134.4 J/kg/K az univerzális gázállandó

A 4. sz. táblázat hőmérséklet és a levegő sűrűségének adatai algoritmizálására az alábbi empirikus egyenleteket alakítottam ki:

$$T = 288.15 - 0.006492255 * z \qquad (1.15)$$

$$\rho = 1.225 * \exp(-k_1 z/1000 - k_2 (z/1000)^2) \qquad (1.16)$$

Ahol

$$k_1 = 0.09543718 \quad k_2 = 0.001321598 \qquad (1.17)$$

1.4.2. A kihullás paramétereinek számítása

Az átlagos cseppméret ismeretében egyszerű iterációs számítás segítségével meghatároztam a légkör különböző rétegeire a kihullási sebességet. A számítás menete:

A Stokes egyenlettel feltételezett lamináris áramlás esetére meghatároztam a kihullás sebességét és abból a Reynolds számot, amely a belső súrlódási erő valamint a tehetetlenségi erőnek a fluidum áramlására és a részecskék ülepedésére gyakorolt hatását adja meg:

$$u_{sed} = \frac{2r^2 \cdot (\rho_s - \rho_f) \cdot g}{9\eta} \qquad (1.18)$$

$$\mathrm{Re} = \frac{u_{sed}\, d\, \rho_f}{\eta} \qquad (1.19)$$

Ahol:

u_{sed}	– a kihullás sebessége [m/s]
r	– a cseppek sugara [m]
ρ_s	– a cseppek sűrűsége [kg/m^3]
ρ_f	– a levegő sűrűsége [kg/m^3]
g	– a nehézségi gyorsulás [m/s^2]
η	– a levegő dinamikus viszkozitása [kg/m/s]
Re	– ülepedési Reynolds szám

Mivel atmoszferikus rétegenként a számított Reynolds szám 10^4 – 10^5 intervallumba esett, így a turbulens áramlási összefüggés alkalmas az ülepedési sebesség számítására:

$$u_{sed} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{d \cdot g}{f} \cdot \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f}} \qquad (1.20)$$

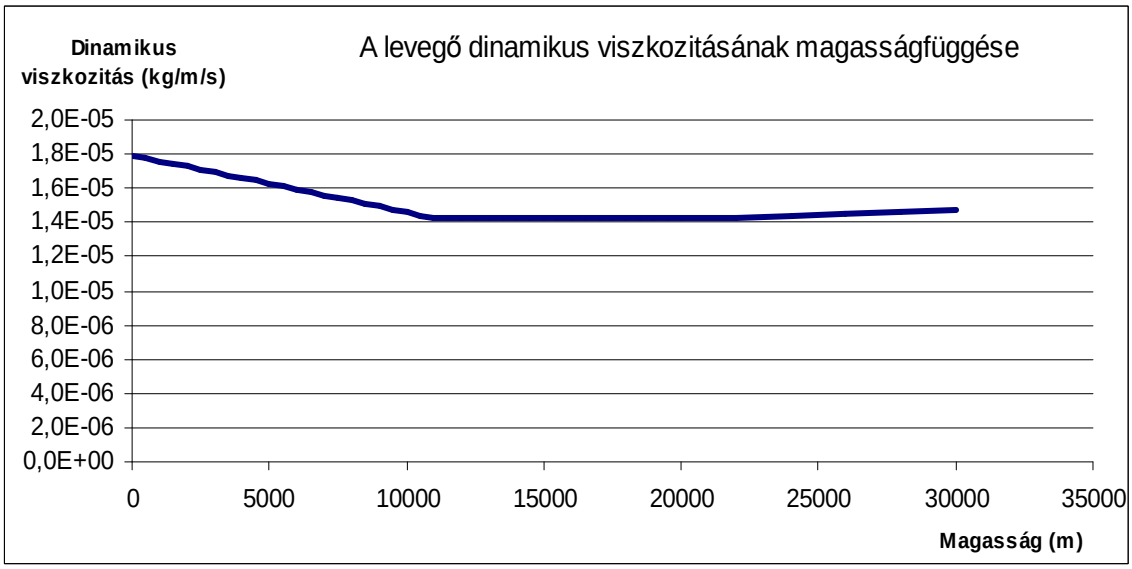
Ahol

d	– a cseppek átmérője [m]
f	– a cseppek gömbtől eltérő alaktényezője ≈ **1**

A különböző légrétegekre számított sebességeket és ülepedési Reynolds számokat a különböző elfogási magasságokon az 6. sz. táblázatban foglaltam össze.

1.4.3. A felhő diszperziójának számítása

A terjedés közbeni hígulást leíró diszperziós paraméterek számításánál figyelembe vettem azok függését a levegő dinamikus viszkozitásától. Azonban, ahogy az alábbi, 3. sz. ábrán is látható, a viszkozitás értékek lassan változnak **1,4-1,8*10^{-5} kg/(m*s)** között, ezért a számításoknál a földfelszíni rétegre jellemző **1,8*10^{-5} kg/(m*s)** értékkel számoltam, ami további konzervatív közelítést jelent, mivel a η értékének növelésével a diszperziós paraméterek csökkennek, így az atmoszféra felsőbb rétegeiben a valóságosnál valamivel kisebb szórással számoltam. Az atmoszferikus rétegekben a levegő állapotához ideális szélviszonyokat feltételeztem, vagyis állandó irányú és állandó sebességű szelet, **u_w = 10 m/s**.



5. ábra: A levegő dinamikus viszkozitásának magasságfüggése

A diszperziós paraméterek számításánál az alábbi metódust alkalmaztam[9, 3.2.3. pont]. [5].

$$C(x, y, z) = C_{max} \cdot K_x \cdot K_y \cdot K_z \qquad (1.21)$$

$$C_{max} = \frac{M_f}{(2\pi)^{3/2}\sigma_x\sigma_y\sigma_z} \qquad (1.22)$$

$$K_x = \exp\left(\frac{-(x - u_w\Delta t)^2}{2\sigma_x^2}\right) \qquad (1.23)$$

$$K_y = \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_x^2}\right) \tag{1.24}$$

$$K_z = \exp\left(\frac{-(z - u_{sed}\Delta t)^2}{2\sigma_z^2}\right) \tag{1.25}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{a}{2}x^b}, \sigma_y = 0.8\sigma_x, \sigma_z = 0.5\sigma_x \tag{1.26}$$

Ahol:

$C(x, y, z)$ – receptorpontban jelenlévő koncentráció [mg/m^3]

C_{max} – maximális koncentráció [mg/dm^3]

K_x – haladási irányú gyengülési együttható

K_y – oldalirányú gyengülési együttható

K_z – függőleges gyengülési együttható

Δt – az adott légrétegben való tartózkodás [s]

σ_x – haladási irányú diszperziós együttható (szórás) [m]

σ_y – oldalirányú diszperziós együttható (szórás) [m]

σ_z – függőleges irányú diszperziós együttható (szórás) [m]

A felhő hígulását leíró összefüggés (1.21-26) az alábbi empirikus állandók alkalmazásán alapul[9, 3.2.3. pont]:

Stabilitási kategória	Paraméterek	
	a	b
A	0,0272	2,11
B	0,0195	1,94
C	0,00742	1,95
D (5 m/s)	0,001354	2,152
D (10 m/s)	0,000932	2,163

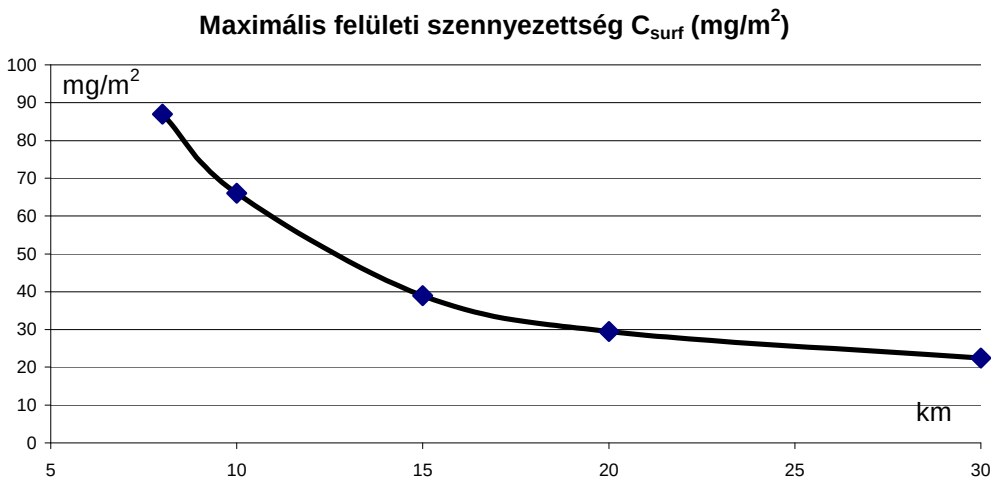
E	0,00085	1,94
F (5 m/s)	0,0003	2,156
F (10 m/s)	0,00026	2,176

5. sz. táblázat. Az a, b paraméterek meteorológiai körülményektől való függése

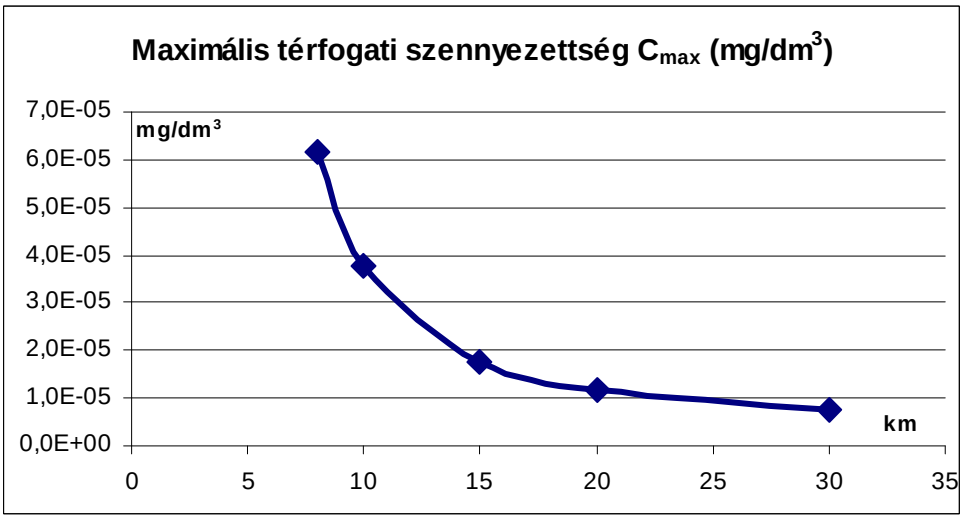
A fenti táblázat alacsonylégköri meteorológiai viszonyok között alkalmazandó paramétereket tartalmaz, esetünkben viszont a légkör különböző rétegeiben történő áramlást és terjedést kell leírni. Mivel a légkör állapotát leíró modell szerinti magasság – hőmérséklet gradiens kicsi és a felhő kiterjedésének néhányszorosán belül elhanyagolható, ezen kívül az ülepedés folyamata turbulens képet mutat, így izotermiára jellemző áramlást feltételeztem és az alapul vett **10 m/s** szélsebességgel számolva (**D -10 m/s**), a táblázatból a megfelelő állandók segítségével meghatároztam az egyes rétegekre jellemző diszperziós együtthatókat.

A terjedési paramétereket meghatároztam különböző elfogási magasságokra: **30, 20, 15, 10 és 8 km**-es magasságra. A mellékletben található táblázatokban (14-18.sz.) láthatók az elemzés értékeit:

Az említett táblázatok tartalmazzák a terjedési és felszíni szennyeződés számításához szükséges paramétereket, ezek összesítve az alábbi diagramokon találhatók:

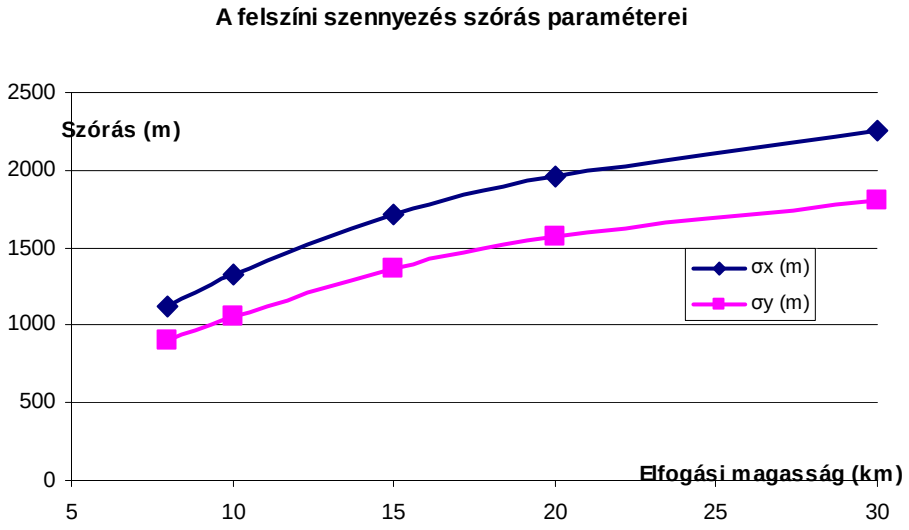


6. ábra: A maximális felületi koncentráció értéke a kiülepedés során



7. ábra: A maximális térfogati koncentráció értéke a kiülepedés során

A Magyar Honvédségben a mérgező harcanyagok detektálására rendszeresítettek egy egyszerűen kezelhető felderítő eszközt az ún. kimutatócső készletet, amelyben az idegmérgek kimutatására is van lehetőség. Az idegméreg kimutatócső érzékenysége G és V anyagok esetében $1.5x10^{-5}$ mg/l. A fenti 5. ábra diagramján feltüntetett maximális térfogati aktivitások értékeinél látszik, hogy ideális kihullás esetén a meglévő rendszeresített csapatfelderítő eszközökkel csak mintegy 18 km elfogási magasság alatt lehetséges a kihulló szennyezettség detektálása, így a továbbiakban **18 km** lesz az értékelésnél az a küszöbmagasság amely alatt számolunk vegyi szennyezettség kockázatával.



8. ábra: A felszíni szennyezés szórási jellemzői

1.4.4. A terepen kialakult szennyezés maximális kiterjedése

Az 6-10 táblázatok szórás- és maximális koncentráció adataiból könnyen számítható a talajon kialakuló felületi szennyezettség arra az időpillanatra számítva, amikor a kiülepedés során a felszín fölött kialakul a maximális koncentráció:

$$C_{surf}^{max} = 2C_{max}\int_0^{\infty} \exp\left(\frac{-z^2}{2\sigma_z^2}\right)dz \qquad (1.27)$$

$$C_{surf} = C_{surf}^{max} \exp\left(\frac{-x^2}{2\sigma_x^2}\right)\exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right) \qquad (1.28)$$

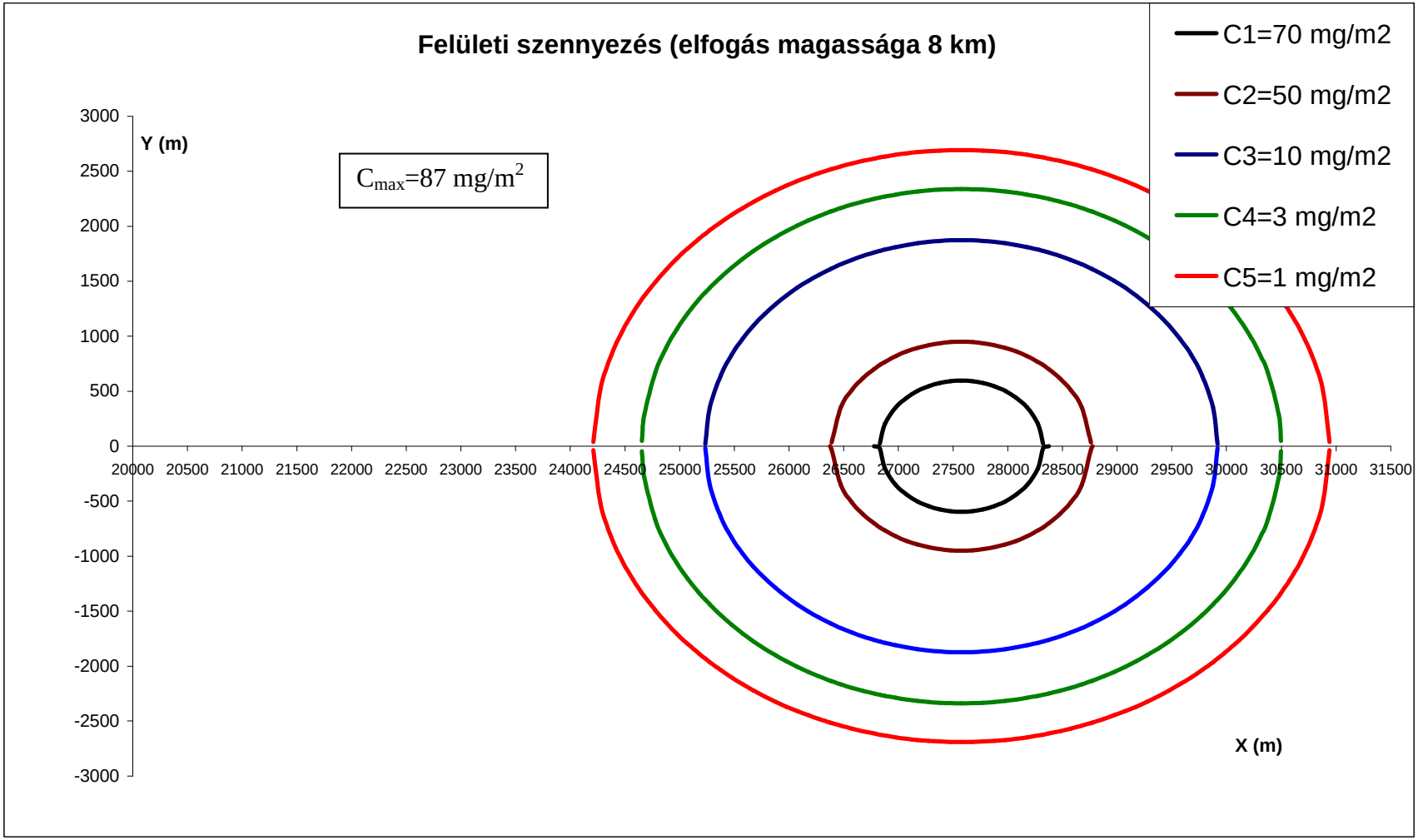
ahol

C_{surf}^{max} – a talajon kialakuló maximális koncentráció [mg/m^2]

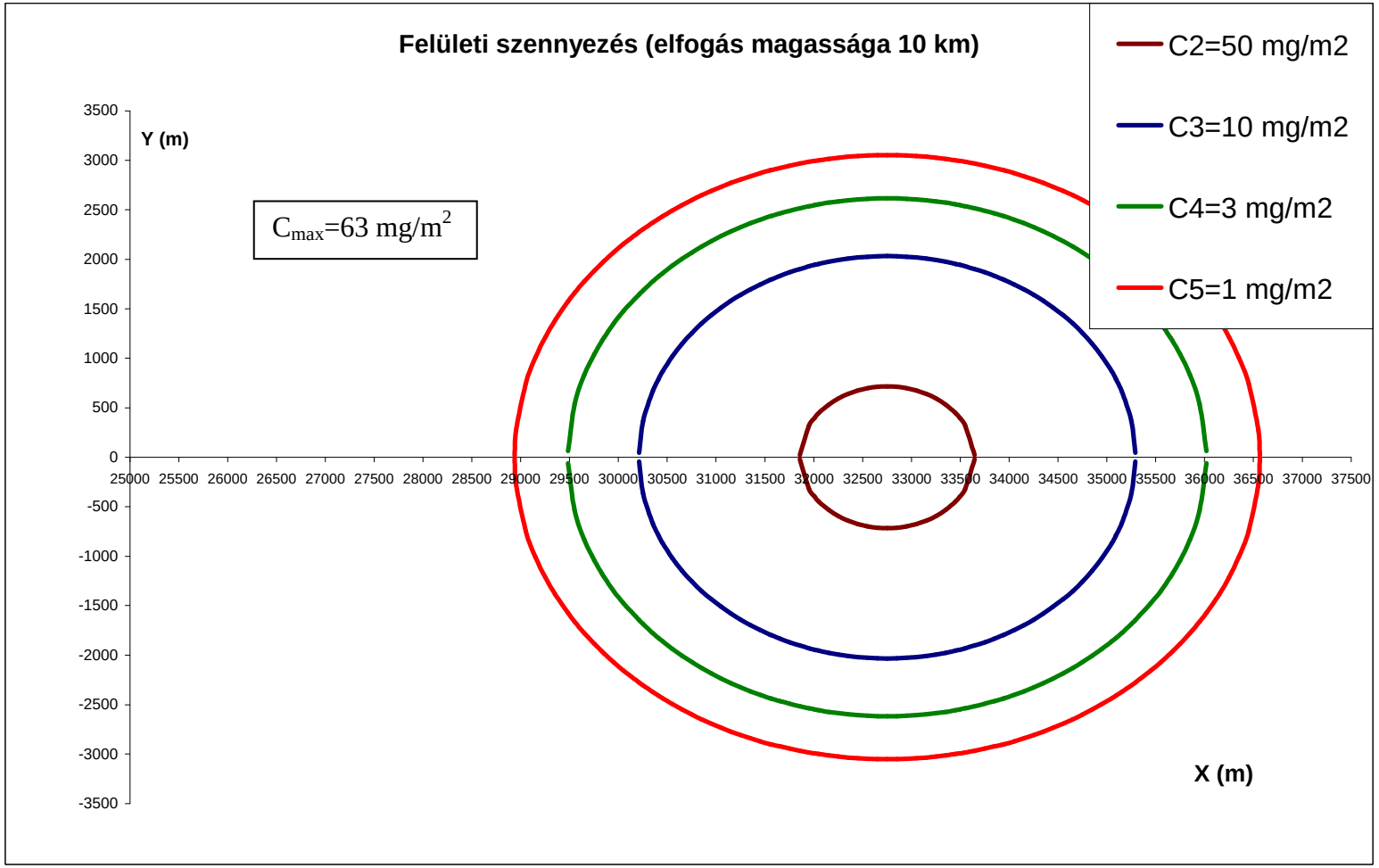
A fenti elemzések alapján feltételeztem, hogy ideális esetben a felhő talajra történő kiülepedése jelentős szennyezett terepszakasz kialakulásával jár. A vegyi felderítés érzékenységét jelenleg meghatározó járműre szerelhető GC-MS műszer által biztosan detektálható felületi szennyezettség küszöbérték mintegy 1 mg/m^2, ezért ezt az értéket választottam külső zónahatárnak, a többi önkényes, a szennyezett terepszakasz minél reprezentatívabb ábrázolása szempontjából lényeges értéket takar. Ezen zónahatárok az alábbiak:

1. zóna:	1 mg/m^2
2. zóna:	3 mg/m^2
3. zóna:	10 mg/m^2
4. zóna:	50 mg/m^2
5. zóna:	70 mg/m^2

Így a szélirányban terjedő felhő által létrejövő szennyezés a magassági széladatok alapján értékelhető, és az ideális kiülepedés képe az alábbi lesz **8 és 10 km** elfogási magasság esetén:

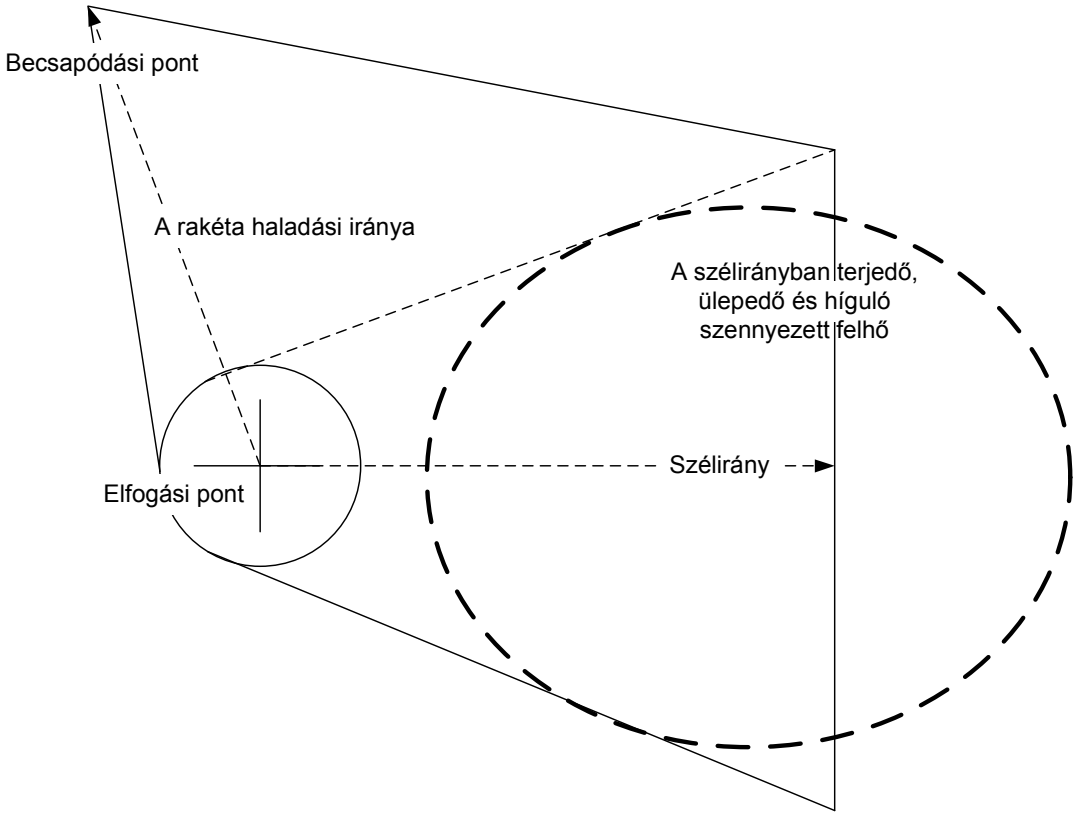


9. ábra: A kiülepedett szennyezés eloszlása 8 km elfogási magasság esetén



10. ábra: A kiülepedett szennyezés eloszlása 10 km elfogási magasság esetén

A fent leírt szennyezés képe úgy lesz teljes, ha feltételezzük, hogy a harci fej darabjai bizonyos mennyiségű szennyezést visznek magukkal, valamint haladási irányuk és sebességük a detonáció során nyert és az azt megelőző impulzusuk összegéből deriválódik. Így a szennyezés képe az alábbi ábrán látható durva közelítéssel feltételezhető:



11. ábra: A kialakuló szennyezés durva sémája

Természetesen, az 1.1. pontban leírt forgatókönyv és a benne megfogalmazott peremfeltételek szerint a szennyezés nagy része az előző pontban leírt szennyezett felhő kiülepedése révén jön létre, azonban a modell konzervatív voltából következik, hogy a fej széthullott darabjai által lefedett terepszakaszt is potenciálisan szennyezettnek kell tekinteni mindaddig, amíg vegyi felderítés nem bizonyítja az ellenkezőjét.

1.5. Eljárás kialakítása vegyi harci fejjel felszerelt rakéta esetén

Az alábbiakban egy teljesen általam kidolgozott eljárás található, amely az ATP-45 követelményeit követi, formailag abba illeszkedik. Az eljárás voltaképpen a jelen fejezetben kidolgozott, rakéta harci fej robbanását, a kezdeti felhő kialakulását, valamint a kihullást és szennyezést leíró modellem konzervatív és erősen leegyszerűsített alkalmazása, amely a gyakorlatban különösebb szakmai előképzettség nélkül is használható, ami elengedhetetlen feltétele az összfegyvernemi, összhaderőnemi környezetben folyó értékelő munkának. Az eljárás javaslatban szereplő rövidítések az ATP-45-ben elfogadott és használatos eszközök, azok magyarázatát lásd az adott dokumentumban. Maga az értékelő eljárás végterméke – amint az alábbiakban látható lesz – egy szabvány jelentés, amely a kommunikációs csatornákon, a parancsnoki információs hálón keresztül jut el az érintettekig. A jelentés, valamint a kapcsolódó képek szövegezése angol, mivel a szövetségi rendszerben alkalmazott üzenetek nagyon helyesen az általános alkalmazhatóság elvét követik.

1.5.1. Általános rész

Ez az eljárás taglalja a veszélyes terület értékelését mérgező anyaggal töltött ballisztikus rakéta elfogása esetén. A számítási táblázatok maximum 30 km-es magasságú kibocsátásig érvényesek. Egy konkrét példa a folyadék kiszóródást szemlélteti. Ez az eljárás csak elfogott ballisztikus rakéta eseményhez használható, leírja a vegyi harcanyag (esetleg radioaktív anyag) nagy magasságból történő kibocsátását.

Az eljárás megnevezése: Rakéta Elfogási Jelentés (Missile Interception Report - MIR).

A Rakéta Elfogási Jelentés elkészítéséért és továbbításáért a **rakétavédelmi feladatot végző szervezet felelős**.

1.5.2. Riasztás, értesítés

A Rakéta Elfogási Jelentés (MIR) elküldéséért felelős parancsnoknak értesítenie kell:

- Azon alárendelt parancsnokságokat, akik nagy valószínűséggel veszélyeztetve vannak.
- Minden más parancsnokságot, amelynek alegységeit valószínűleg érinti az elfogás okozta káros hatás.
- Az elöljáró parancsnokságot, ha olyan egységek vannak veszélyeztetve, amelyek nem a koordináló parancsnok parancsnoksága alá tartoznak.
- Az elöljáró parancsnokság értékelő szervezete (központja) az alárendeltségébe tartozó veszélyeztetett szervezeteket a Rakéta Elfogási Jelentés (MIR) alapján készített CBRN 3 üzenettel riasztja.

Az üzenet minősítése és elsőbbsége:

- **Minősítés**: ha a Rakéta Elfogási Jelentés nem tartalmaz minősített információt, az összes ezzel kapcsolatos jelentés nyílt.
- **Elsőbbség**: az üzenetet olyan elsőbbségi fokozattal kell elküldeni, hogy a veszélyeztetett állomány időben megkapja a riasztást.

Részletes veszély előrejelzés:

- A sablonok gyakorlati korlátai: a veszélyes terület sablonjának zónahatárai a lehetséges forgatókönyvek részletes elemzése (szimulációk) alapján készültek. Az előzetes óvintézkedések úgy lettek meghatározva, hogy mindig biztosítsák a megfelelő védelmi szintet.
- A CBRN Rakéta Elfogási Jelentés fogadását követően a lehető leggyorsabban el kell végezni a CBRN 3 üzenet előállítását és a veszély értékelést.
- Vegyi robbanófej. Vegyi robbanófejes rakéta elfogás esetén a robbanófej megsemmisülhet és - a benne levő harcanyag tulajdonságaitól függően - bizonyos hányada a felszínre juthat. Ebben az esetben a csapásterület egy 3 km sugarú kör, az elfogás helyének epicentruma körül. A következő táblázat megadja a maximális behatolási mélységeket maradó mérgező harcanyag esetén.

Elfogás magassága (km)	Minimum szélsebesség a BWM-ből (km/h)		
	0-54	>54-72	>72
2	12	14	18
4	17	20	24
6	19	24	27
8	22	26	-
10	24	27	-
12	24	-	-
14	26	-	-
16	26	-	-
18	26	-	-
20	-	-	-
22	-	-	-
24	-	-	-
26	-	-	-
28	-	-	-
30	-	-	-

6. sz. táblázat. Maximális behatolási mélység (km) rakéta elfogás esetén

Megjegyzés: A kihúzott cella jelentése: nincs katonai szempontból jelentős talajszennyezés.

1.5.3. Veszélyeztetett terület számítása

A veszélyeztetett terület számítása az ATP-45 D dokumentum 2011. július 01-vel hatályba lépő verziójához készült, amely az értékelési eljárásokat egyszerűsített és részletes formában közli. Itt a részletes értékelési eljárás lépéseivel foglalkozom, mivel az említett dokumentum a részletes eljárást tekinti alapvető módszernek.

A nagy magasságban történő kiszabadulás részletes értékeléséhez a következő információkra van szükség (zárójelben a jelentés sorainak rövidítéseivel):

- a rakéta haladási iránya az északi irányhoz képest (BRAVOK),
- az esemény kezdetének és végének időpontja (DELTA),
- az elfogás (IP) helye,
- az elfogás magassága és a feltételezett célpont (PTP) helye (FOXTROTK),
- a becsült töltőtömeg és a találati valószínűség (Efficiency of kill) (GOLFK),
- a töltet típusa (INDIA),

– az alap szélüzenet (BWR) meteorológiai adatai.

A veszélyes terület ábrázolását minden új meteorológiai adat beérkezésekor el kell végezni. A sokszögű veszélyes területet a grafikusan szerkesztett szélvektor segítségével kapjuk meg. (ATP-45(D), II. fejezet).

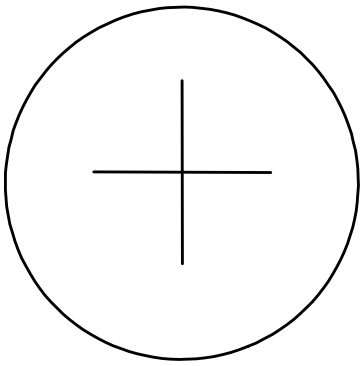
Példa a beérkező MIR üzenetre:

Vegyi robbanófej

Szóban	ADATP3 formátumban
MIR	MSGID/MIR/CINC JTFZ /025/JUN//
BK 1500/317 Degrees	BRAVOK/1500/317DGT//
D 211200ZSEP2010	DELTA/211200ZSEP2010/-//
FK 31UFT412757/4000 Metres/31UFT383788	FOXTROTK/31UFT412757/4000M/31UFT383788//
G Suspected /missile/1/bulk warhead	GOLF/SUS/MSL/1/BMP/NKN//
GK SCUD/-/Not known	GOLFK/SCUD/-/-//
I Air/ VX / Persistent	INDIA/AIR/VX/P/-/-//

A veszélyes terület megállapításának folyamata az ATP-45(D) II. fejezete alapján (A hivatkozások, pld 11. táblázat az eredeti dokumentumra vonatkoznak):

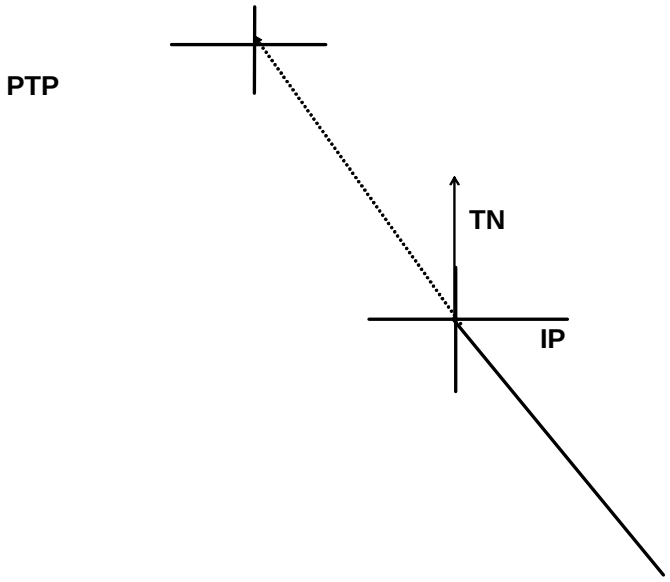
a. Határozzuk meg az elfogási pontot (“IP” –ként feltüntetve az ábrán), rajzoljuk fel a térképre és rajzoljunk köré egy 3 km sugarú kört. (Elfogási pont: rakéta elfogási jelentés (MIR) FOXTROTK sor 1 mező)



IP

12. ábra: Példa az elfogási pont ábrázolására

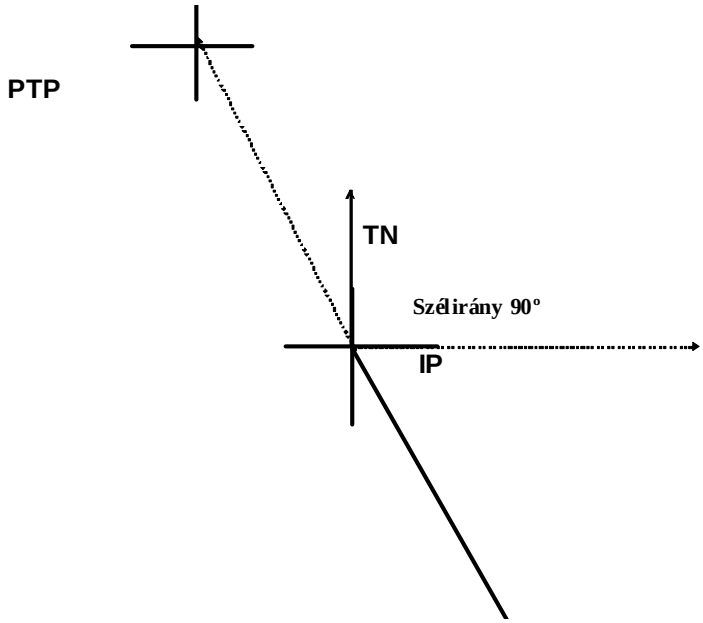
b. Határozzuk meg a feltételezett cél helyét (PTP): Ez az elfogási jelentés FOXTROTK sor 3. mezője. Rajzoljunk egy egyenes vonalat az elfogási ponton keresztül a rakéta repülési irányába (BRAVOK sor 2. mező)



13. ábra: Példa az elfogási pont és a feltételezett célpont ábrázolására

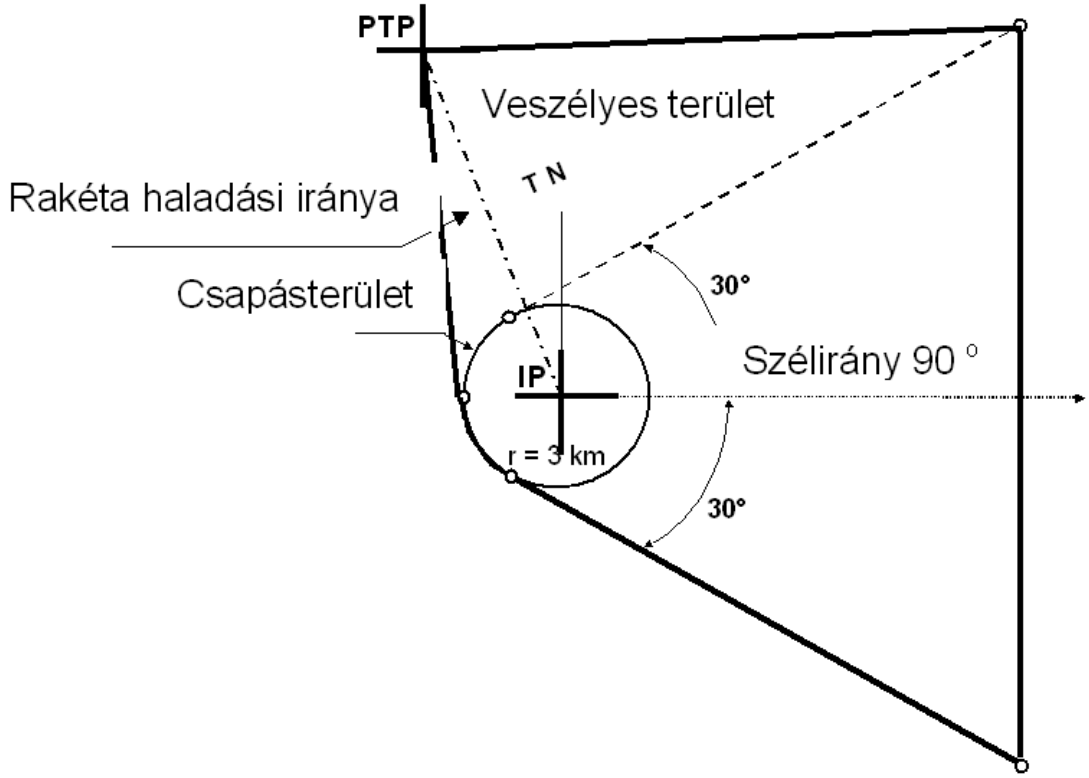
c. Határozzuk meg az alapszélüzenet (BWR) alapján a közepes szélirányt, és a maximális behatolási mélységet a jelentett elfogási magassághoz a következőképpen: Először keressük meg a FOXTROTK sor 2. mezőjéből az elfogás magasságát. Másodszor az alapszélüzenet alapján határozzuk meg a közepes szélsebességet. Harmadszor, a 11. táblázatból határozzuk meg a maximális behatolási mélységet. A behatolási mélységet abból az oszlopból olvassuk le, ami a legnagyobb szélsebességre vonatkozik. 18 km magasság feletti elfogás esetén nem várható felszíni szennyezés.

d. Rajzoljunk egy egyenest az elfogás pontjából a szélirányba, a **11 táblázatban** talált hosszúsággal.



14. ábra: Példa az IP, a PTP és a szélirány ábrázolásra

e. A veszélyes terület ábrázolása. Rajzoljunk a szélvektor végpontjába egy merőleges egyenest. Hosszabbítsuk meg a szélvektort a széliránnyal ellentétes irányba az elfogás pontjából 6 km-rel (**2x3 km körsugár**). Ebből a végpontból rajzoljunk két érintőt a kibocsátás köréhez, melyek elmetszik a szélvektor végpontjába állított merőlegest. Kössük össze a kapott háromszöget a PTP-vel az ábra szerint. Az előre jelzett veszélyes terület felrajzolása a **15. ábra** szerint történik.



15. ábra: Példa a rakéta elfogás veszélyes területének ábrázolására

Példa a veszélyeztetett terület előrejelzésére és az érintettek riasztására, figyelmeztetésére:

CBRN 3 CHEM

ALFA/XXX/A234/010/C/-//

DELTA/211200ZSEP2010/-//

FOXTROT/31UFT412757//

GOLF/SUS/MSL/1/BMP/NKN//

INDIA/4000M/VX/P/-/-//

PAPAA/3KM/-/17KM/-//

PAPAX/211200ZDEC2010/31UFT409757/31UFT383788/31UFT429770 /31UFT429743/31UFT411755//

A CBRN 3 üzenet elkészítése után az ABV RIÉR elemeivel meg kell kezdeni az érintett terület vegyi felderítését, felmérését és a helyzet tisztázását.

A fejezetből levont következtetések

1. Kialakítottam egy alap forgatókönyvet az R-300 SCUD rövid hatótávolságú ballisztikus rakéta elfogásának modellezésére.
2. A forgatókönyv alapján elemeztem az elfogás és a légköri diszperzió körülményeit és az azokat leíró matematikai-fizikai összefüggés rendszert.
3. **Felállítottam** egy konzervatív modellt az esemény lehetséges következményeinek értékelésére és azon keresztül számításokat végeztem – a terjedés szempontjából ideális körülményeket feltételezve – a föld felszínén kialakuló maximális szennyezettségre vonatkozóan.
4. A konzervatív modell alapján **kidolgoztam** egy eljárást az elfogás következményeinek értékelésére, amely alkalmas a lehetséges szennyezés paramétereinek meghatározására és viszonylag gyors, korrekt és ABV RIÉR alközpont szintű értékelés végrehajtására.

II. FEJEZET
RADIOAKTÍV PONTFORRÁS (FORRÓ PONT) DÓZISTERÉNEK ÉRTÉKELÉSE

Ebben a fejezetben a radiológiai helyzetértékelés egy speciális eljárását dolgoztam ki, amely lehetővé teszi egy pontszerű sugárforrás dózisterének számítását. Mivel az eljárás szerves részét képezi az ATP-45(D) 5. fejezetének[2, ch. 5.], így az adott eljárásnak formailag igazodni kellett a fejezet többi eljárásához, ezen kívül a radiológiai események észlelésekor az ABV RIÉR forrásszintjei típusüzenetben továbbítják az eseményre vonatkozó adatokat.

A radiológiai helyzetértékelés eljárásainak meghatározott helye van a fejezet eljárásrendjében, amelyet az esemény, vagy a kibocsátás típusa határoz meg.

2.1. A radiológiai eljárásrend általános jellemzése

Radiológiai (továbbiakban RAD) kibocsátások, magukban foglalják a radioaktív anyagokat tartalmazó nukleáris- és egyéb ipari-, egészségügyi létesítmények baleseti, járulékos vagy szándékos rombolódása következtében történő kibocsátásokat, a szállítási balesetek következtében kialakuló kibocsátásokat.

Ezen létesítmények, - a teljesség igénye nélkül - a következők lehetnek:

- energiatermelő atomreaktorok;
- kutató reaktorok;
- nukleáris fűtőanyag előállító-, reprocesszáló- és dúsító üzemek;
- nukleáris üzemanyag-tárolók;
- hasadóanyag tárolók;
- radioaktív hulladéktárolók;
- radioaktív anyagokat előállító és tároló létesítmények; valamint
- egészségügyi, ipari vagy oktató/kutató létesítmények.

A radiológiai kibocsátás és az atomrobbanási felhő izotóp-összetétele, azok felezési ideje, valamint a terjedésük lényegesen eltér, ezért a radiológiai kibocsátás következményeinek értékelését nem lehet az atomrobbanás sugárhelyzet értékelésénél alkalmazott eljárásokkal értékelni.

A NATO értékelési eljárásai között megjelenik a „pontszerű” forrástól származó sugárhelyzet értékelése, amire új eljárásokat kell kidolgozni.
Mindazonáltal szakmai szempontból nagyon fontos megjegyeznünk, hogy bármilyen nukleáris-, vagy radiológiai eseményből származó szennyezettséget vizsgálunk, minden esetben a **nukleáris méréstechnika eljárás- és eszközrendszerét alkalmazzuk**, így **műszaki szempontból nem teszünk köztük különbséget**.

2.2. A radiológiai kibocsátások természete, forrásai

A nukleáris létesítményekből történő kibocsátásokat a környezetbe kikerült aktivitás mennyisége és az izotóp-összetétel (izotópleltár – „inventory”) jellemezi.
A nukleáris reaktorokból a környezetbe kikerült gázhalmazállapotú anyagok, aeroszolok vagy fűtőanyag darabok okozhatnak sugárszennyezést.

Egy reaktorbaleset során a radioaktív kibocsátás néhány perctől több órán vagy akár több napon át is tarthat. A kibocsátás mértéke eközben nem szükségszerűen állandó. Reaktorbaleset során a kibocsátás ellenőrzött körülmények között is történhet, ebben az esetben a kibocsátás a kéményen keresztül az üzemi gőzzel együtt történik. Ilyenkor a radioaktív kibocsátás csak mérőeszközök segítségével észlelhető. Az ellenőrizetlen kibocsátásokat tűz vagy robbanások kísérhetik. Ilyen kibocsátásra utalnak a létesítmény külső sérülései is.

A nukleáris iparon kívül széles körben alkalmaznak radioaktív anyagokat más ipari, illetve egészségügyi létesítményekben. Így például radioaktív anyagokat használnak különböző besugárzó készülékekben, amelyek jellemzője, hogy egy specifikus fajtájú sugárzást kibocsátó izotópot tartalmaznak. Ezen kívül radioaktív forrásokat széles körben alkalmaznak oktatási és kutatási célokra is.
A kimondottan radioaktív anyagok kijuttatására vagy szétszórására tervezett eszközök –a radiológiai fegyverek - szintén szennyezhetik a műveleti területet. Ennek alkalmazhatóságát azonban korlátozza a szükséges radioaktív anyagok hozzáférhetősége, valamint a zárt sugárforrásoknál a sugárterhelést csökkentő árnyékolás. A szükséges anyagok beszerezhetők belső forrásból (nukleáris, ipari, vagy egészségügyi létesítmények), más országokból nyílt ipari vagy egészségügyi felszerelésként illetve rejtett forrásból is.

A radiológiai fegyver célba juttató eszköze lehet egy egyszerű robbanó szerkezet radioaktív anyaggal kombinálva, amely az összes radioaktív anyagot egyszerre juttatja a környezetbe. Radioaktív anyagot az élelmiszerek vagy az ivóvízforrások szennyezésére is fel lehet használni, illetve a sugárforrások elrejtése jelentős sugárterhelést okozhat. A hírszerzési és felderítési információkból következtetni tudunk arra, hogy egy adott művelet során milyen radiológiai veszélyforrásokkal kell számolnunk.

2.3. A radiológiai kibocsátásból származó veszélyek

A radiológiai kibocsátásból származó veszélyek egy részét közvetlenül nukleáris létesítmények normál üzemétől eltérő kibocsátással járó eseményeihez lehet kötni, míg másokat az iparban, egészségügyben, vagy a tudományos kutatásban használt radioaktív forrásokkal kapcsolatos radioaktív szennyezéssel és/vagy sérüléssel, egészségkárosodással járó események jellemeznek. Ez utóbbiakhoz tartoznak a szándékosan elkövetett cselekmények is[31S].

Az ipari vagy egészségügyi létesítményekből történő kibocsátás során, ugyan kisebb a kibocsátott radioaktív anyagok mennyisége, azonban ez nem jelenti azt, hogy a fent említett veszélyek bármelyike kizárható lenne, sőt esetlegesen a nagyobb koncentráció, vagy nagyobb fajlagos aktivitássűrűség miatt ezek a veszélyek halmozottan jelentkezhetnek.

A különböző forrásokból származó kibocsátás okozta veszélyek az alábbiak lehetnek:

- Besugárzás. A legtöbb radioaktív izotóp bocsát ki magából gamma sugárzást, amely károsítja az emberi testszövetet. A gamma sugárzás hatótávolsága levegőben néhány métertől néhány száz méterig terjedhet, az intenzitása a távolság függvényében négyzetesen csökken.
- Belégzés. A radioaktív anyagok belégzése jelentős belső sugárterheléssel járhat, különösen, ha a radioaktív anyag a szervezetben marad. Az alfa sugárzó izotópok belégzése különösen veszélyes lehet.
- Lenyelés. Szennyezett élelmiszerek vagy italok fogyasztása szintén jelentős belső sugárterheléssel járhat, amennyiben egyes radioaktív anyagok hosszabb időn

keresztül a szervezetben maradnak. Például a Jód-131 felhalmozódhat a pajzsmirigyben, míg a plutónium a tüdőben és a csontszövetben kötődhet meg.

– Bőrrel való érintkezés. Sok radioaktív izotóp bomlik a béta-bomlást követően gamma emisszióval vagy épp anélkül. A béta sugárzás hatótávolsága levegőben igen alacsony (maximum 1-2 méter a sugárzás energiájától függően) azonban ha a béta sugárzó izotópok közvetlenül a bőrre kerülnek égési sérüléseket okozhatnak.

2.4. A radiológiai veszély zónái

A veszélyzónák meghatározásánál azt feltételezzük, hogy az adott területen a nyílt elhelyezésben lévő személyek és anyagok a radioaktív kibocsátás hatásainak vannak kitéve. A veszélyzónák meghatározásánál alapvetően külső sugárterheléssel számolunk, mivel azt kell feltételeznünk, hogy az itt tevékenykedő csapatok személyi védelme megfelelő. A sugárveszélyes területet a kibocsátás típusa (forrása) valamint a kibocsátott anyagok terjedését befolyásoló légköri viszonyok határozzák meg.

A VESZÉLYES TERÜLETET a nyílt elhelyezésben lévő állomány által elszenvedhető besugárzási dózis alapján három zónára osztjuk. Ezeket a zónákat a STANAG 2083-ban[16] és a STANAG 2473-ban[17] meghatározott besugárzási küszöbértékek határozzák meg a következőképpen:

– **R1** - Közvetlen veszély zóna (Potential Severe Hazard). Ezen a területen a személyi állomány által elszenvedett besugárzási dózis előreláthatóan 4 órán belül meghaladja a 125 cGy-t Az ezen a területen meghatározott ideig nyílt elhelyezésben tartózkodó személyi állomány által elszenvedett dózis elég magas lehet ahhoz, hogy átmeneti harcképtelenséget, esetleg halált okozzon. A zónában csak életmentési feladatokat lehet végrehajtani. A feladatok végrehajtásánál messzemenőkig alkalmazni kell az ALARA elvet, valamint a személyi és kollektív védelem eszközeit és eljárásrendjét, beleértve a megfelelő dózistervezést, mérést és nyilvántartást. A terület elhagyását követően minden személy azonnali egészségügyi ellenőrzése szükséges.

– **R2** - Azonnali óvintézkedések zónája (Potential Acute Hazard). Ezen a területen a sugárzás intenzitása feltételezhetően elég magas ahhoz, hogy besugárzást csökkentő óvintézkedések alkalmazása szükségessé váljon. A nyílt elhelyezésben lévő személyi állomány által elszenvedett besugárzási dózis előre láthatóan 24

órán belül meghaladja a 75 cGy-t de nem éri el a 125 cGy-t. Ez a dózis átmeneti harcképtelenséget okozhat, de teljes felépülés várható. A zónában csak kritikus fontosságú feladatokat lehet végrehajtani (a művelet szempontjából kulcsfontosságú feladatok).

– **R3** - Hosszabb távú óvintézkedések zónája (Potential Long-term Hazard). Ezen a területen a nyílt elhelyezésben lévő személyi állomány által elszenvedett besugárzási dózis előre láthatóan 5 napon belül meghaladja az 5 cGy-t. Az egyes személyek által elszenvedett dózis hosszabb távon megnövelheti egyes betegségek későbbi kialakulásának valószínűségét (pl.: rák) ezért az ezen a területen a végzett tevékenységet az ALARA elv szerint optimalizálni kell, és az elszenvedett sugáradagot nyilván kell tartani. A háttérsugárzás szintjét rendszeresen ellenőrizni kell. A zónában végrehajtandó feladatokat fontossági sorrendbe kell állítani. A háttérsugárzási mérések alapján fizikai védelem alkalmazása, vagy a tartózkodási idő szigorú keretek közötti tartása szükséges.

A radiológiai kibocsátások lehetséges eseteit a kibocsátás (kockázat) jellege és nagysága alapján csoportosítva– némileg önkényesen bár, de logikailag igazoltan,– az ATP-45 D[2, ch. 5] négy csoportba foglalja:

Esemény típusa	Leírás	Esetek
F	Dehermetizálódott radioaktív forrás Ipari, egészségügyi, oktatási, vagy kutatási célokra használt radioaktív források véletlen vagy szándékos dehermetizálódása, amely lokális sugárszennyezést okoz	1 Sérült és szétszóródott élelmiszersterilizáló forrás[13]: Cs-137, 3.0MCi-ig, szélsebesség ≤ 10km/h.
		2 Sérült vagy szétszóródott élelmiszersterilizáló forrás[14]: Cs-137, 3.0MCi-ig, szélsebesség > 10km/h.
		3 Árnyékolatlan ipari forrás [13] Co-60, 300 kCi
G	Radiológiai fegyver. Bármely olyan eszköz, amely kifejezetten pusztításra, károkozásra, vagy sérülés okozására készítettek, a radioaktív anyagok bomlása során felszabaduló sugárzás hatásainak felhasználásával.	1 Radiológiai fegyver[14] Cs-137, 10 kCi - 3.0MCi, 10kg robbanóanyag, szélsebesség ≤ 10km/h.
		2 Radiológiai fegyver[13] Cs-137, 10 kCi - 3.0MCi, 10kg robbanóanyag, szélsebesség > 10km/h.

Esemény típusa	Leírás	Esetek
		3 Besugárzó eszköz[13] Gamma besugárzó forrás Co-60, 10 kCi
H	Kibocsátás nukleáris létesítményből Energiatermelő reaktort tartalmazó nukleáris létesítmények szándékos vagy véletlen sérülése, amely radioaktív kibocsátáshoz vezet. Egyéb nukleáris létesítmények, pld kutatóreaktorok, nukleáris üzemanyag-gyártó, tároló, reprocesszáló üzemek, valamint nukleáris hulladéktárolók.	1 INES skálaszerinti 7-es, Nagyon súlyos baleset[14]
		2 INES skálaszerinti 6-os, Súlyos baleset[14]
		3 Bármilyen egyéb nukleáris létesítményből történő kibocsátás
I	Nem megfigyelt radiológiai esemény Normálistól eltérő sugárzást detektálása történt, de az azt kiváltó esemény nem beazonosítható, illetve a forrás ismeretlen.	

7. táblázat: Radiológiai események típusai, leírásuk, példák

A fenti táblázatban szereplő események értékelésére az F/3, illetve a G/3 események kivételével a jelenleg használatban lévő AEP-45(B) programozói kézikönyv rendelkezik kidolgozott számítási algoritmussal, illetve az ATP-45(C) értékelő szabályzat az ennek megfelelő értékelési eljárással. Az F/3 és a G/3 esemény alapját kollimálatlan pontforrások képezik, amelyek dózisterének számítását a fenti kézikönyvek nem tartalmazzák. Ezért az ATP-45(D)-ben új eljárásként kidolgoztam a radioaktív pontforrások dózisterének értékelési eljárását.

Az értékelési eljárásrend megköveteli, hogy minden eljárás rendelkezzen három változattal, annak megfelelően, hogy az adott esemény milyen műveleti szinten kerül értékelésre.

Így az eljárások három nehézségi szinten kerülnek kidolgozásra:

1. **Egyszerűsített eljárás**: Ennek célja, hogy manuális értékelési módszerekkel, kevés rendelkezésre álló információ alapján is azonnal el tudjuk végezni az értékelést – a veszélyes terület kiterjedésének meghatározását, és ennek alapján a veszélyeztetett szervezetek riasztását.
2. **Részletes eljárás**: Ezt akkor alkalmazzuk, amikor elegendő információ áll rendelkezésünkre a megfelelő számítások elvégzéséhez. Ehhez a beérkezett jelentések elemzésére, összevetésére, és az egyéb információk feldolgozására van szükség. Ehhez a 4. fejezetben találunk iránymutatást. A részletes

eljárásokat mind manuális mind számítógéppel támogatott értékelés során alkalmazhatjuk.

3. **Szakértői értékelési eljárás**: Ezt az eljárást a számítások bonyolultsága miatt kizárólag számítógéppel támogatott értékelés során alkalmazzuk. A szakértői értékelés csak akkor lehetséges, ha elegendő információval, mérési eredményekkel rendelkezünk a kibocsátás természetéről, valamint jó közelítéssel meghatározható a forrástag, részletes, nagyfelbontású meteorológiai modellel rendelkezünk, stb. Az ilyen modellek pontosságát az alábbi tényezők határozzák meg:

- a kibocsátott anyag minősége és mennyisége;
- a tároló/célbajuttató rendszer(ek) mennyisége és típusa;
- a radioaktív anyagot tároló edény(ek) típusa és mennyisége;
- a terep adottságai;
- a közepes szél sebessége és iránya;
- a fontosabb időjárási jelenségek (eső, felhőzet, stb.);
- a levegő függőleges stabilitása;
- a felszín tulajdonságai;
- a növényzet;
- a felszín és a levegő hőmérséklete;
- a relatív páratartalom;
- a sugárzási és dózis együtthatók;
- a besugárzás várható körülményei.

Alaprendeltetésével összhangban az ATP-45 csak az egyszerűsített és részletes eljárásokat tartalmazza, a szakértőit, mivel azok manuálisan nem végezhetők el, az AEP-45 kézikönyv tartalmazza.

2.5. Radioaktív pontforrás értékelésére kialakított eljárás

2.5.1. Matematikai alapok

A dózisteljesítmény és dózis pontforrás körüli számításának matematikai alapjai az alábbiak:

$$P = \frac{K_d * A}{d^2} * \exp(-\mu d) \qquad (2.1)$$

$$D_{calc} = \frac{K_d * A * t}{d^2} * \exp(-\mu d) \qquad (2.2)$$

ahol:

K_d – Izotóp specifikus dózis-aktivitás konverziós faktor (Gy*m2/h/GBq),

A – Forrás aktivitás (GBq)

d – A receptor ponttól való távolság (m)

t – Expozíciós idő (h)

μ – A levegő lineáris gyengítési együtthatója (1/m)

P – Dózisteljesítmény (Gy/h) a receptor pontban,

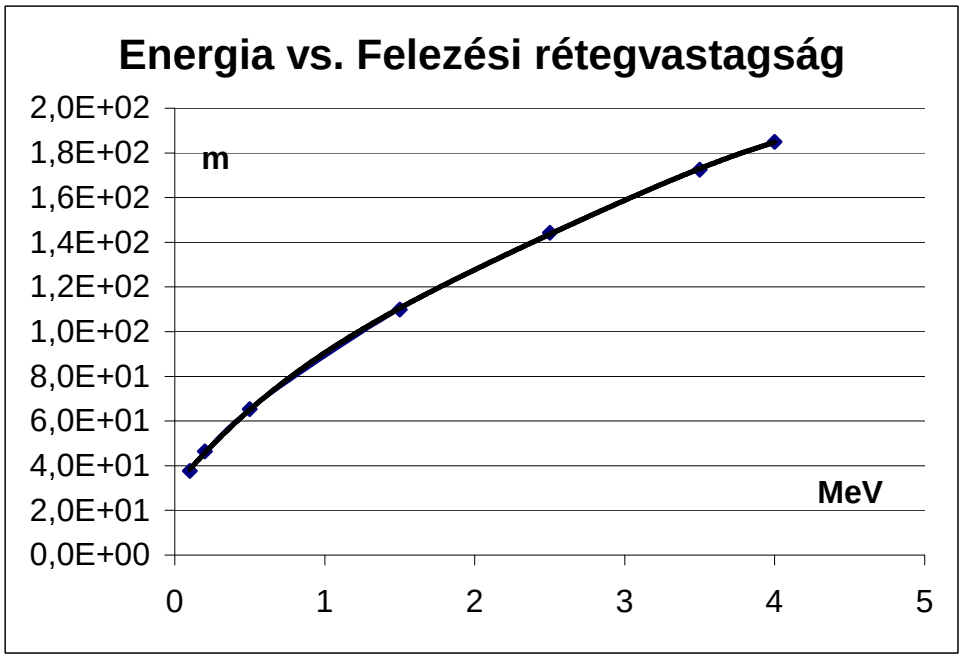
D_{calc} – Számított dózis (Gy) a receptor pontban,

Az egyenlet jobb oldalának első, tört tagja a sugárzási tér „hígulását” fejezi ki a közeggel való kölcsönhatást kizárva, míg a második, az exponens a közeg (levegő) sugárzást gyengítő hatását veszi figyelembe.

Az egyenletekben két izotópspecifikus tényező szerepel, a dózis-aktivitás konverziós faktor (**K_d**) és a levegő lineáris gyengítési együtthatója (**μ**). Ezek kiszámításához alkalmaztam a MICROSHIELD© programot, amely segítségével táblázatban rögzítettem azon legfontosabb izotópok szükséges adatait, amelyekkel a gyakorlatban találkozhatunk és az események értékelésénél szükségesek lehetnek. A levegő izotóp specifikus lineáris gyengítési együtthatója számításánál tettem egy fontos közelítést. A számítások száraz levegőre vonatkoznak, ami **konzervatív közelítés**, hiszen a **relatív páratartalom növeli** a levegő gammasugárzás elnyelési képességét, tehát a **valóságban kisebb dózisterek alakulnak ki** a források körül. A számítások végzésénél arra a következtetésre jutottam, hogy a dózisterek számításánál figyelembe veendő a fotonok szórását korrigáló „build-up” tényező kisebb értékű és ellentétes előjelű hibát okoz, mint a relatív páratartalom, ezért azt elhanyagoltam. A száraz levegőben a gammasugárzás gyengülése az energia függvényében az alábbiak szerint alakul:

Energia (MeV)	Lineáris gyengítési tényező (1/m)	Felezési rétegvastagság (m)
0,1	1,84E-02	37,65
0,2	1,50E-02	46,36
0,5	1,06E-02	65,33
1,5	6,31E-03	109,94
2,5	4,81E-03	144,23
3,5	4,02E-03	172,51
4	3,75E-03	184,94

8. táblázat: Gamma energia és a levegő gyengítése viszonya



16. ábra: A felezési rétegvastagság az energia függvényében

Az alábbi táblázatban találhatók legfontosabb az izotópok az értékelés szempontjából szükséges adatai:

Izotóp	Z	A	Felezési idő	időegység	Felezési idő (s)	Izotóp csoport	Dózis-aktivitás konverziós faktor **Kd** (Gy*m^2/h/GBq)	μ (1/m)
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
K-40	19	40	1,28E+09	y	4,027E+16	3	2,023E-05	9,547E-03
Cr-51	24	51	2,77E+01	d	2,394E+06	1	5,257E-05	1,357E-01
Co-57	27	57	2,71E+02	d	2,341E+07	1	1,433E-04	1,282E-01
Co-58	27	58	7,08E+01	d	6,117E+06	2	1,829E-04	2,816E-02

Izotóp	Z	A	Felezési idő	időegység	Felezési idő (s)	Izotóp csoport	Dózis-aktivitás konverziós faktor **Kd** (Gy*m^2/h/GBq)	μ (1/m)
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
Co-60	27	60	5,27E+00	y	1,662E+08	2	3,063E-04	1,832E-03
Ga-67	31	67	3,26E+00	d	2,818E+05	1	1,367E-04	1,185E-01
Se-75	34	75	1,20E+02	d	1,035E+07	1	1,491E-04	7,514E-02
Mo-99/Tc-99m	42	99	6,60E+01	h	2,377E+05	2	2,251E-05	6,179E-03
Cd-109	48	109	4,64E+02	d	4,009E+07	1	3,657E-05	5,838E-02
In-111	49	111	2,83E+00	d	2,445E+05	1	9,024E-05	1,820E-02
I-123	53	123	1,31E+01	h	4,727E+04	1	5,697E-05	2,763E-02
I-125	53	125	6,01E+01	d	5,196E+06	1	6,537E-05	4,845E-02
I-131	53	131	8,04E+00	d	6,947E+05	2	5,301E-05	1,139E-03
Cs-137	55	137	3,02E+01	y	9,514E+08	2	7,902E-05	3,118E-03
Ba-133	56	133	1,05E+01	y	3,311E+08	1	1,031E-04	2,683E-02
Ba-140	56	140	1,28E+01	d	1,105E+06	3	5,951E-05	5,423E-02
La-140	57	140	4,02E+01	h	1,448E+05	3	5,951E-05	5,423E-02
Eu-152	63	152	1,36E+01	y	4,289E+08	2	1,585E-04	6,538E-03
Tm-170	69	170	1,29E+02	d	1,111E+07	1	9,282E-06	1,319E-01
Yb-169	70	169	3,20E+01	d	2,762E+06	1	1,476E-04	7,597E-02
Ir-192	77	192	7,40E+01	d	6,395E+06	1	1,139E-04	2,573E-03
Au-198	79	198	2,70E+00	d	2,329E+05	1	5,739E-05	3,513E-03
Tl-201	81	201	7,31E+01	h	2,630E+05	1	1,046E-04	1,235E-01
Po-209	84	209	1,02E+02	y	3,217E+09	1	6,686E-07	3,062E-02
Po-210	84	210	1,38E+02	d	1,196E+07	1	1,123E-09	1,597E-03
Ra-226	88	226	1,60E+03	y	5,046E+10	1	1,974E-06	6,014E-02
Th-232	90	232	1,41E+10	y	4,431E+17	1	1,176E-05	1,658E-01
U-233	92	233	1,59E+05	y	5,021E+12	1	4,892E-06	1,644E-01
U-234	92	234	2,45E+05	y	7,711E+12	1	1,307E-05	1,662E-01
U-235	92	235	7,04E+08	y	2,220E+16	1	5,422E-05	7,280E-02
U-236	92	236	3,42E+06	y	1,077E+14	1	1,241E-05	1,664E-01

Izotóp	Z	A	Felezési idő	időegység	Felezési idő (s)	Izotóp csoport	Dózis-aktivitás konverziós faktor **Kd** (Gy*m^2/h/GBq)	μ (1/m)
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
U-238	92	238	4,47E+09	y	1,409E+17	1	1,098E-05	1,664E-01
Pu-239	94	239	2,41E+04	y	7,610E+11	1	4,985E-06	1,662E-01
Pu-240	94	241	1,44E+01	y	4,541E+08	1	1,243E-05	1,665E-01
Pu-244	94	244	8,26E+07	y	2,605E+15	1	8,953E-06	1,666E-01
Am-241	95	241	4,32E+02	y	1,363E+10	1	4,866E-05	1,324E-01
Cm-244	96	244	1,81E+01	y	5,711E+08	1	1,045E-05	1,667E-01
Cf-249	98	249	3,51E+02	y	1,106E+10	1	6,965E-05	3,438E-02
Cf-250	98	250	1,31E+01	y	4,125E+08	1	7,137E-06	1,666E-01
Cf-251	98	251	9,00E+02	y	2,838E+10	1	6,537E-05	9,863E-02
Cf-252	98	252	2,64E+00	y	8,322E+07	1	6,660E-06	1,666E-01

9. táblázat: Radioaktív izotópok értékeléséhez szükséges adatok

2.5.2. Egyszerű és részletes értékelési eljárás kialakítása

Mivel műveleti környezetben a (2.1) és (2.2) egyenletek alkalmazása nehézkes, a könnyebb számítások érdekében az eljárásokhoz előre definiált értékeket kell táblázatos formában elkészíteni. Ezt az alábbi módon oldottam meg.

A 9. táblázatban szereplő izotópokat 3 csoportba osztottam az előfordulási valószínűséggel súlyozott gamma átlagenergiáik figyelembe vételével és a csoportok energiatartományait önkényesen az alábbi szerint határoztam meg:

1. csoport: 0.5 MeV alatt

2. csoport: 0.5 ÷ 1 MeV

3. csoport: 1 MeV felett.

Az izotópok önkényes besorolása kizárólag a jelen eljárás matematikai alapjaihoz történő alkalmazhatóság elvét követi.

A csoportok kialakítására azért volt szükség, hogy a szakértői eljárás alapján ki lehessen dolgozni egy - műveleti környezetben is könnyen alkalmazható - egyszerűsített és részletes értékelési eljárást. Az eljárások használhatósága érdekében két táblázatot kellett kialakítani, amelyek segítségével, előre kiszámolt értékekkel könnyen lehet dózisteret becsülni. Az első táblázat kivonatosan tartalmazza az

izotópok (9. sz. táblázat) adatait – az izotóp nevét, csoportját és a dózis-aktivitás konverziós faktort (az 1, 7, és 8. sz. oszlopokat). A második táblázat a (2.1) és (2.2) egyenletek alkalmazását könnyíti meg, az alábbiak szerint:

$$P = K_d * A * D \tag{2.3}$$

$$D_{calc} = K_d * A * D * t \tag{2.4}$$

Ahol:

$$D = \frac{\exp(-\mu d)}{d^2} \tag{2.5}$$

D – Távolsági együttható [1/m^2], ennek előre definiált értékeit tartalmazza az alábbi táblázat:

Távolság d (m)	1. csoport	2. csoport	3. csoport
	D (1/m^2)		
0,3	1,60E+01	1,60E+01	1,60E+01
0,5	3,98E+00	3,99E+00	3,99E+00
1,0	9,89E-01	9,94E-01	9,95E-01
2,0	2,45E-01	2,47E-01	2,48E-01
3,0	1,08E-01	1,09E-01	1,10E-01
4,0	5,99E-02	6,09E-02	6,13E-02
5,0	3,79E-02	3,88E-02	3,91E-02
6,0	2,61E-02	2,67E-02	2,70E-02
7,0	1,89E-02	1,95E-02	1,97E-02
8,0	1,44E-02	1,49E-02	1,50E-02
9,0	1,12E-02	1,17E-02	1,18E-02
10,0	8,99E-03	9,39E-03	9,53E-03
15,0	3,79E-03	4,04E-03	4,14E-03
20,0	2,02E-03	2,20E-03	2,27E-03
25,0	1,23E-03	1,37E-03	1,42E-03
30,0	8,08E-04	9,20E-04	9,62E-04
35,0	5,63E-04	6,55E-04	6,90E-04
40,0	4,09E-04	4,86E-04	5,16E-04
45,0	3,06E-04	3,72E-04	3,98E-04
50,0	2,35E-04	2,92E-04	3,15E-04
55,0	1,84E-04	2,34E-04	2,54E-04
60,0	1,47E-04	1,90E-04	2,08E-04
65,0	1,19E-04	1,57E-04	1,73E-04
70,0	9,71E-05	1,31E-04	1,46E-04

Távolság d (m)	1. csoport	2. csoport	3. csoport
	D ($1/m^2$)		
75,0	8,02E-05	1,11E-04	1,24E-04
80,0	6,69E-05	9,44E-05	1,06E-04
85,0	5,62E-05	8,10E-05	9,20E-05
90,0	4,75E-05	7,00E-05	8,01E-05
95,0	4,04E-05	6,09E-05	7,02E-05
100,0	3,46E-05	5,32E-05	6,18E-05

10. táblázat: A D értékei izotópcsoportokra bontva, a távolság függvényében 100 m-ig

A fent leírt módszerrel az alábbi feladatok végezhetők el:

a. Egyszerű dózisbecslés, ha az izotóp típusa nem ismert:

Az alapegyenletbe (2.3), (2.4) behelyettesítjük az ismert paramétereket és ismeretlen izotóp esetén a Co^{60} vonatkozó tényezőt használjuk, ami $3.06x10^{-4}$ [Gy.m^2]/[GBq.h]. A távolsági együtthatót a 3. csoportból határozzuk meg.

b. Dózisteljesítmény becslés, ha az izotóp ismert:

Ha az izotóp ismert K_d és D értéke a 9., illetve a 10. táblázatból kiolvasható, így a (2.3) és (2.4) képletek segítségével a dózisteljesítmény és dózis kiszámítható. A szükséges paramétereket a következőképpen kapjuk meg:

- A forrás aktivitása [GBq] (Ezt a CBRN 1 RAD üzenet tartalmazza).
- Távolság a forrástól [m] (annak a pontnak távolsága ahol a várható dózisteljesítményt ki akarjuk számolni).
- Az adott izotópra jellemző dózisteljesítmény-aktivitás konverziós tényező [Gy*m^2/h/GBq].(a 9. táblázatból).
- Távolsági együttható [$1/m^2$] (a 10. táblázatból).

A fejezetből levont következtetések

1. Részletesen elemeztem az ATP-45 radiológiai eljárásrendjét és kutattam az események értékelése számításainak matematikai-fizikai alapjait.
2. Abból a felismerésből kiindulva, hogy különböző események értékeléséhez szükség van radioaktív pontforrás dózisterének leírására, alkalmaztam egy egyszerű módszert a számítások végrehajtására és kiszámítottam a pontforrások izotóp specifikus dózisteljesítmény-aktivitás konverziós tényezőjét. Így kidolgoztam az AEP-45 kézikönyv részére egy szakértői eljárást a radioaktív pontforrás dózisterének értékelésére.
3. A pontforrás modellezése alapján kidolgoztam egy egyszerűsített és egy részletes eljárást, amely hasznosan kiegészíti az ATP-45 radiológiai értékelési eljárásait.

III. FEJEZET
A LÉGI SUGÁRFELDERÍTÉS (LSF) MODERN TECHNIKAI ESZKÖZÖN ALAPULÓ ÚJ ELJÁRÁSA ÉS A VALÓS SUGÁRHELYZET ÉRTÉKELÉSE

Az Magyar Honvédség és ezen belül a vegyivédelmi csapatok számának és létszámának drasztikus csökkentése a 90-es években drámai képességcsökkentést okozott: 15 év alatt a földi sugárfelderítés képessége az 1991-es érték 15%-ára csökkent, a légi sugárfelderítési képesség a régi alapeszköz, az IH-31L rendszerből történő kivonása miatt megszűnt, azonban az Magyar Honvédségnek az országvédelemmel, és az ONER-ben (Országos Nukleárisbaleset-elhárítási Rendszer) meghatározott feladatai igényelték ezt a képességet.

A légi sugárfelderítés már a 80-as években vegyivédelmi harcászati eljárásként került alkalmazásra. A légi sugárfelderítés előnye, hogy a leggyorsabb felderítési mód, és a kezelő állomány kisebb dózisterhelést szenved el, mint a földi felderítésnél. Hátránya volt, hogy a legpontatlanabb is. A helymeghatározás pontatlansága, a repülési magasság bizonytalansága, az alacsonyabb dózisteljesítmény mérése a repülési magasságban nagyobb mérési pontatlansággal járt. Ezen egyenként is jelentős mérési hibák összegződtek, ezért tekintettük a légi sugárfelderítést a leggyorsabb, de legpontatlanabb sugárfelderítési eljárásnak, ezért volt szükség az időigényes földi sugárfelderítéssel és laboratóriumi mérésekkel azt pontosítani.

A 90 évek drasztikus vegyi-, sugárfelderítési képességcsökkentése miatt ki kellett alakítani egy megfelelő pontosságú, kis létszámot igénylő, gyors -ha lehetséges on-line- adatfeldolgozási képességgel rendelkező, nagy kapacitású mérési módot/rendszert. A hadműveleti igény kielégítését napjainkra lehetővé tette az elmúlt évek technológiai fejlődése, és az ezen a területen végzett intenzív hazai kutatás-fejlesztés.

A fejlesztés eredményeként megszületett egy új eszköz, amely a mai követelményeknek megfelelő precíziós mérési-, helymeghatározási-, adatrögzítési-

és feldolgozási képességekkel bír. Ez az új eszköz - a képességeinek megfelelően – egy olyan új felderítési eljárásrendet követelt, amelyet több éven keresztül tesztek sorával dolgoztunk ki. Az alábbi felsorolásból látható, hogy hogyan módosult a feladatrendszer:

- A terepszennyezés felderítése: a nagy kiterjedésű kontamináció feltérképezése során számítással meg kell határozni az egyes területek, pontok sugárszintjét a repülési magasság, a légköri- és talajviszonyok figyelembevételével.
- Pontszerű radioaktív források lokalizálása: a háttérsugárzástól szignifikánsan eltérő pontok indikálásával meg lehet határozni a források földrajzi koordinátáit.
- Radioaktív izotópok azonosítása: energiaszelektív mérésekkel támpontot nyújtani a radioaktív szennyezettség összetételének becsléséhez.

Jelen fejezetben bemutatom azokat a módszereket, amelyekkel sikerült igazolni, hogy a légi sugárfelderítés jelenlegi technológiája - eltérően a korábbi években alkalmazottól - lehetőséget ad precíziós mérések végrehajtására. Részletesen ismertetem azok a teszteket, amelyeket különböző aktivitású és energiájú izotópokkal, különböző domborzati és terepviszonyok között végeztünk, és amelyek során meghatározásra kerültek a felderíthető izotópok minimális energiája és aktivitása, valamint kialakult a felderítés módszere[41S, 42S].

3.1. A sugárfelderítés során in situ eszközökkel felderíthető radioaktív izotópok köre

Az alábbi táblázatban olyan izotópok kerülnek felsorolásra, amelyek egyrészt ipari, egészségügyi, stb. gyakorlati alkalmazásra kerülnek, másrészt felderítésük a bomlásukat kísérő γ sugárzás segítségével lehetséges. A felezési időket irodalmi adatokból[4, F8. táblázat] vettem, viszont az egyes izotópok dózis-aktivitás konverziós faktorait és a levegő lineáris gyengítési együtthatókat száraz levegőre, pontforrás geometriára magam számoltam ki:

Izotóp megnevezése	Z	A	Felezési idő	Időegység	Dózis-aktivitás konverziós faktor Kd ($Gy*m^2/h/GBq$)	Levegő lineáris gyengítési együttható μ (1/m)
K-40	19	40	1,28E+09	y	2,023E-05	9,547E-03
Cr-51	24	51	2,77E+01	d	5,257E-05	1,357E-01
Co-57	27	57	2,71E+02	d	1,433E-04	1,282E-01
Co-58	27	58	7,08E+01	d	1,829E-04	2,816E-02
Co-60	27	60	5,27E+00	y	3,063E-04	1,832E-03
Ga-67	31	67	3,26E+00	d	1,367E-04	1,185E-01
Se-75	34	75	1,20E+02	d	1,491E-04	7,514E-02
Mo-99/Tc-99m	42	99	6,60E+01	h	2,251E-05	6,179E-03
Cd-109	48	109	4,64E+02	d	3,657E-05	5,838E-02
In-111	49	111	2,83E+00	d	9,024E-05	1,820E-02
I-123	53	123	1,31E+01	h	5,697E-05	2,763E-02
I-125	53	125	6,01E+01	d	6,537E-05	4,845E-02
I-131	53	131	8,04E+00	d	5,301E-05	1,139E-03
Cs-137	55	137	3,02E+01	y	7,902E-05	3,118E-03
Ba-133	56	133	1,05E+01	y	1,031E-04	2,683E-02
Ba-140	56	140	1,28E+01	d	5,951E-05	5,423E-02
La-140	57	140	4,02E+01	h	5,951E-05	5,423E-02
Eu-152	63	152	1,36E+01	y	1,585E-04	6,538E-03
Yb-169	70	169	3,20E+01	d	1,476E-04	7,597E-02
Ir-192	77	192	7,40E+01	d	1,139E-04	2,573E-03
Au-198	79	198	2,70E+00	d	5,739E-05	3,513E-03
Tl-201	81	201	7,31E+01	h	1,046E-04	1,235E-01
Th-232	90	232	1,41E+10	y	1,176E-05	1,658E-01
U-234	92	234	2,45E+05	y	1,307E-05	1,662E-01
U-235	92	235	7,04E+08	y	5,422E-05	7,280E-02
U-236	92	236	3,42E+06	y	1,241E-05	1,664E-01
U-238	92	238	4,47E+09	y	1,098E-05	1,664E-01
Pu-240	94	241	1,44E+01	y	1,243E-05	1,665E-01

Izotóp megnevezése	Z	A	Felezési idő	Időegység	Dózis-aktivitás konverziós faktor Kd ($Gy*m^2/h/GBq$)	Levegő lineáris gyengítési együttható μ (1/m)
Am-241	95	241	4,32E+02	y	4,866E-05	1,324E-01
Cm-244	96	244	1,81E+01	y	1,045E-05	1,667E-01
Cf-249	98	249	3,51E+02	y	6,965E-05	3,438E-02
Cf-251	98	251	9,00E+02	y	6,537E-05	9,863E-02

11. táblázat: A légi felderítéssel detektálható radioaktív izotópok

3.2. A források felderítésének matematikai-fizikai alapjai

Az alábbi eljárások közül az első kettőt beépítették a sugárfelderítő konténer adatfeldolgozó moduljába, a 3.2.3. pontban tárgyalt eljárást pedig az adatok földi (utó-) feldolgozása során alkalmazzuk[34S, 38S].

3.2.1. Kiterjedt szennyezettség felderítése

$$P_1 = k_1 \cdot P_h e^{k_2 h} \qquad (3.6)$$

P_1 – sugárszint (Gy/h);

P_h – h magasságon mért dózisteljesítmény (Gy/h);

h – mérési magasság (m);

k_1 – terepviszony elnyelési faktor (1,7 – 2);

k_2 – légkör elnyelési faktor (0,007 - 0,012);

A k_1 és k_2 értékeit már Varsói Szerződés idején használt IH-31L műszernél is beállíthatta a kezelő. A továbbiakban ismertetett két általunk kifejlesztett eszköznél a repülés során, vagy az utólagos kiértékelésnél 24 függvény (12 nagyfelületű – 12 pontszerű forrásra vonatkozó) programozására van lehetőség. Megjegyzendő, hogy a STANAG 2112[7] által ajánlott gyengítési tényező (AGRCF) jó közelítéssel a szovjet irodalom által ajánlott értékek átlagának felel meg (17. táblázat).

Magasság (m)	STANAG 2112 (AGCRF= P_1/P_h)	VSZ (P_1/P_h)
30	2,2	
50	2,9	3-3,6
100	5,1	4-6,5
200		8,0-21,0
300	29	15-71
500		60-806
600	300	118-2523

12. táblázat: A légi gyengítési tényezők összehasonlítása

3.2.2. Pontszerű forrás felkutatása

$$P_1 = k_3 \cdot P_h h^{k_4} \qquad (3.7)$$

P_1 – 1 m referenciamagasságra számolt dózisteljesítmény (Gy/h)

P_h – h magasságon mért dózisteljesítmény (Gy/h)

h – mérési magasság (m)

k_3 – terepviszony elnyelési faktor (1 –1,18)

k_4 – légkör elnyelési faktor (2 –2,4)

(Megjegyzés: vákuumban ez az ismert négyzetes összefüggés)

Egy magyar szabadalom[14] szerint ugyancsak lehetőség van két, vagy több magasságon mért dózisteljesítmény-adatokból görbeillesztéssel (pl.: legkisebb négyzetek módszere) meghatározni a megfelelő gyengítési tényező függvényt és a továbbiakban azt a légköri viszonyok változatlansága esetén felhasználni a sugárszint meghatározására. Erre egy egyszerű példa egyenletes terepszennyezés esetén h_1 és h_2 magasságokon történő dózisteljesítmény mérésével (k_1 – állandó peremfeltétellel):

$$\mathrm{k}_2 = (\ln \mathrm{P}_{\mathrm{h}_2} - \ln \mathrm{P}_{\mathrm{h}_1}) / (\mathrm{h}_2 - \mathrm{h}_1) \qquad (3.8)$$

Az így számított k_2 értéket tekinthetjük - a légköri és szennyezési (spektrális) viszonyok jelentős megváltozásáig - a rendszer sugárszint számítás alapjának.

3.2.3. Utólagos (off-line) adatfeldolgozásban alkalmazott eljárás

Az off-line adatfeldolgozásra kidolgoztam egy eljárást, amelynek fő lépései az alábbiak:

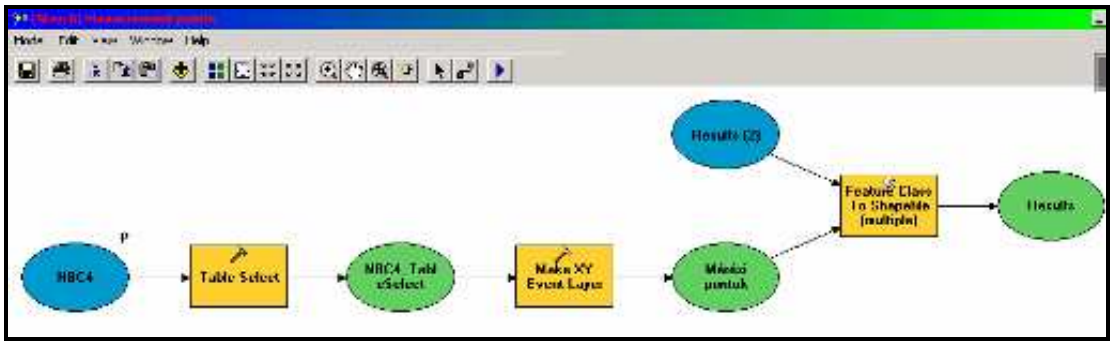
- Mérési pontok betáplálása
- Zónaszámítás
- A zónák karakterisztikus pontjainak kiolvasása, (NBC 5 NUC) jelentés elkészítése

Az eljárás matematikai alapjai a 3.5. pontban találhatók, amelynek segítségével a 15. és 16. ábrákon látható módon, a nyers felderítési adatokból térinformatikai rendszerbe integrálható valós sugárhelyzet rekonstruálható, amelyet ARC GIS 9.2 környezetben valósítottunk meg[22].

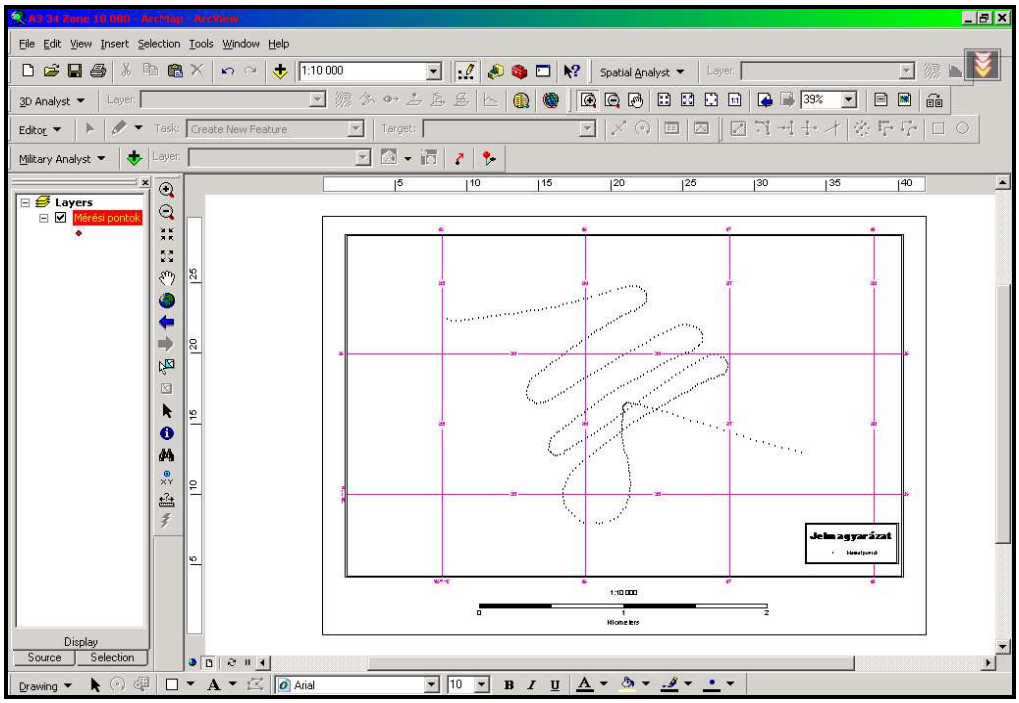
Az eljárás sematikusan az alábbi lépésekből tevődik össze:

a. Mérési pontok betáplálása

Ebben a lépésben történik a nyers felderítési adatokat tartalmazó adattábla bevitele a feldolgozást végző szoftverbe.



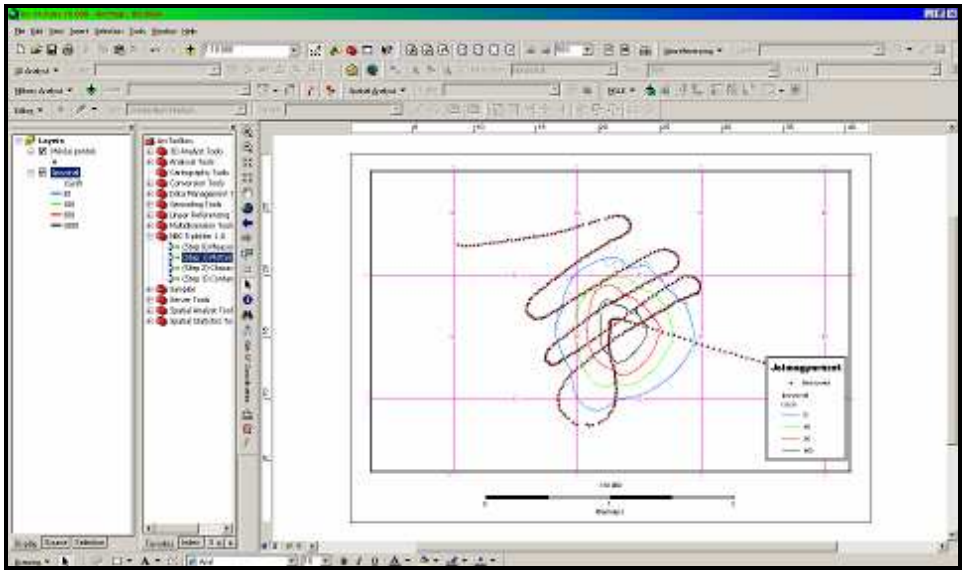
17. ábra: A mérési pontok adatbázisból történő betáplálásának sémája



18. ábra: A mérési pontok megjelenítése

b. Zónaszámítás

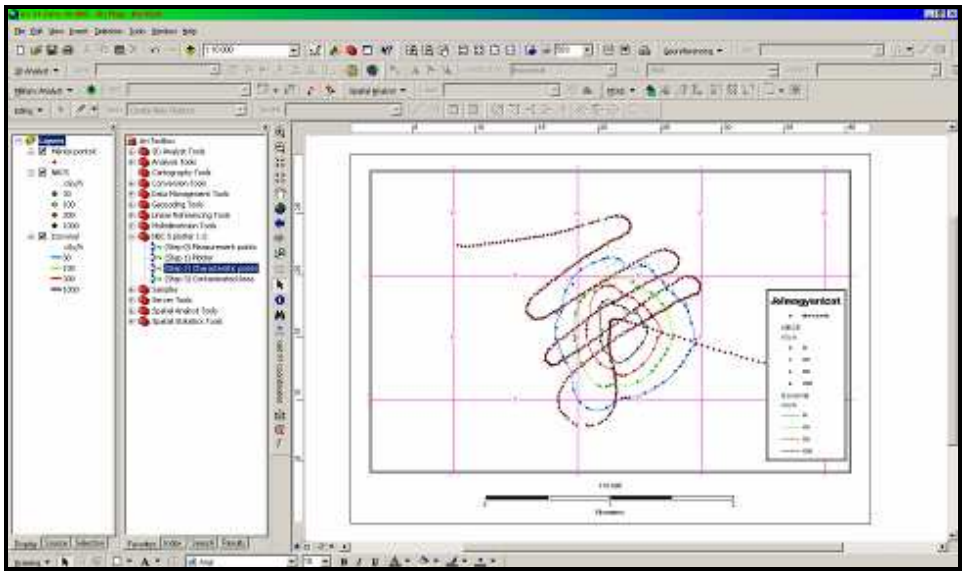
A modul a felderítési adatokat a 3.5. pont eljárásai szerint hálózatba konvertálja, majd interpolációs eljárással referencia dózisteljesítmény szintű töréspontokat határoz meg.



19. ábra: A zónák megjelenítése

c. A zónák karakterisztikus pontjainak kiolvasása, (NBC 5 NUC) jelentés elkészítése

A zónák pontjait tartalmazó adattáblából karakterisztikus pontokat válogatunk le annak érdekében, hogy azokat szöveg formátumba konvertálva szabvány, NBC 5 NUC üzeneteket kapjunk.



20. ábra: A zónák karakterisztikus pontjainak leválogatása

Az üzenet lehetőséget ad arra, hogy az esemény értékelése integrálható legyen más, műveleti rendszerbe.

Az üzenet sémája az alábbi táblázatban található:

NBC 5 NUC	
DELTA	:130900ZAPR2004//
OSCAR	:131000ZAPR2004//
XRAYA	:1000CGH/33TXN931404/33TXN959409//
XRAYA	: 300CGH/33TXN931404/33TXN959411//
XRAYA	:100CGH/33TXN931404/33TXN958412//
XRAYA	: 30CGH/33TXN931404/33TXN958416//

13. táblázat: Példa az NBC 5 NUC jelentésre

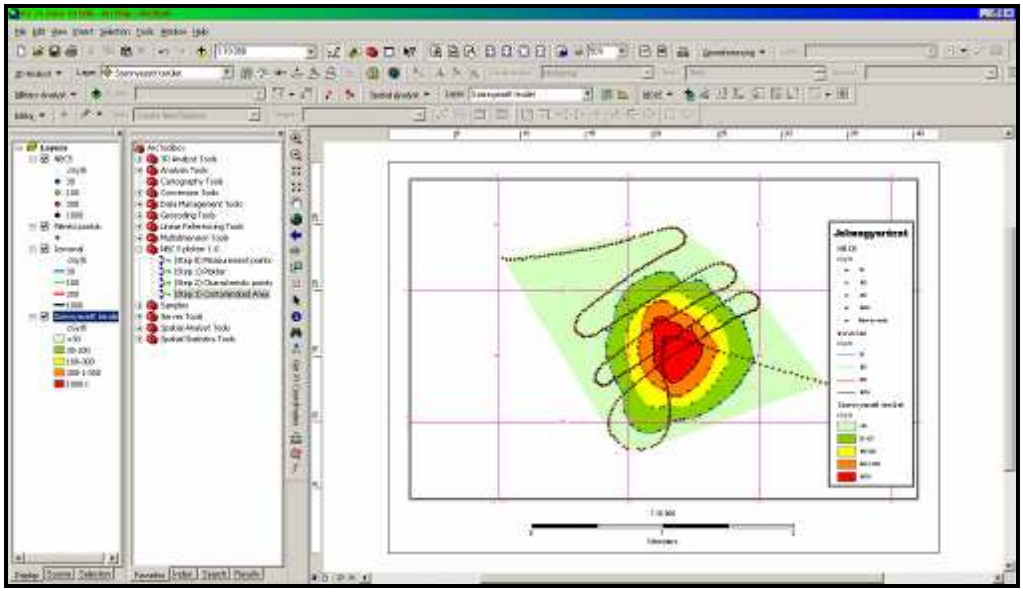
Az NBC 5 NUC sorainak jelentése:

DELTA A csapás, vagy robbanás időpontja, vagy az esemény vége

OSCAR Referencia időpont az előre jelzett zónahatárokhoz (Csapás ideje +1 óra)

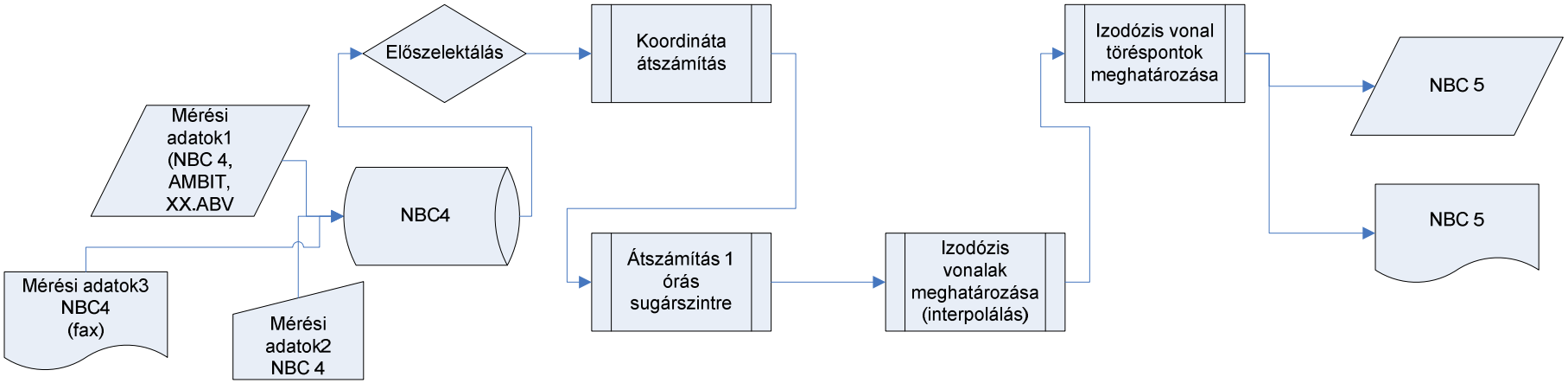
XRAYA A valós szennyezettség zónahatárok

Ezek után a program alászínezi a zónákat:



21. ábra: A zónák alászínezése

Az értékelés eredménye a **valós sugárhelyzet**, ami ily módon szabvány szöveges üzenet (NBC 5 NUC), illetve a térinformatikai rendszerben létrehozott információs réteg formájában áll rendelkezésre. Az alábbi folyamatábrában összesítve láthatjuk a ezt a műveletet, amelyet az ABV helyzetértékelésben NBC 4 – 5 konverziónak hívunk:

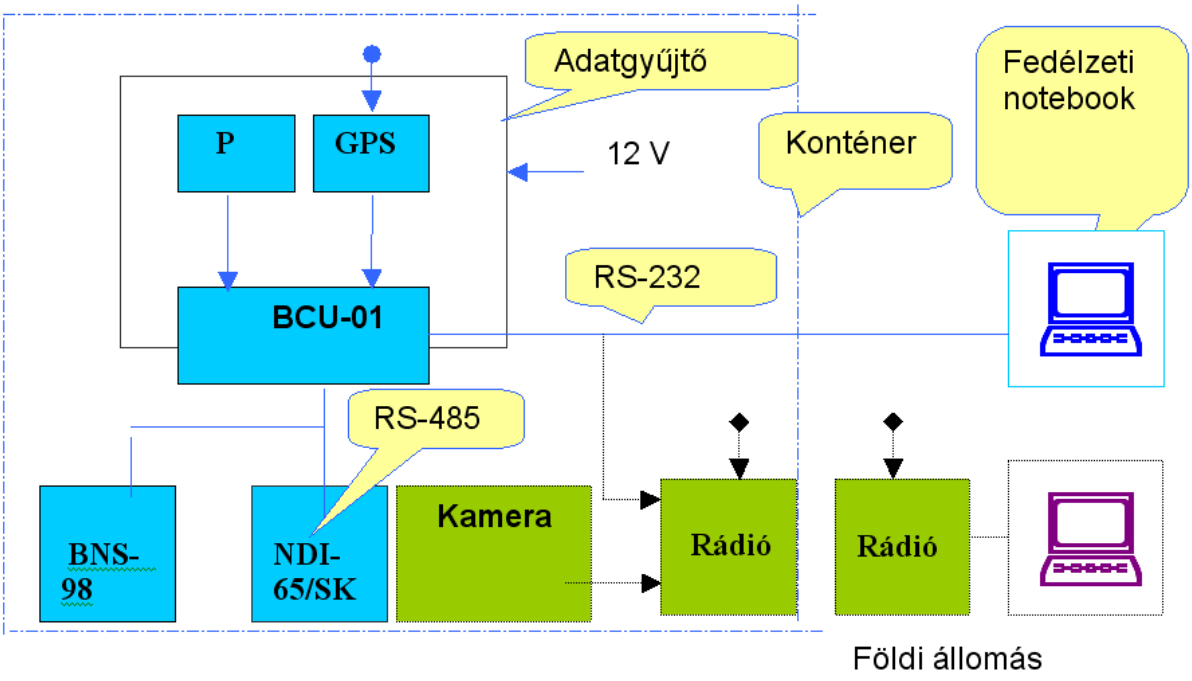


22. ábra: A valós sugárhelyzet értékelése a nyers felderítési adatok térinformatikai környezetben való feldolgozásával (NBC 4-5 konverzió)

3.3. Az légi sugárfelderítés technológiában alkalmazott detektorok és eszközök

A légi sugárfelderítő konténert a HM Technológiai Hivatal, a Gamma Műszaki Rt. és a MH Vegyivédelmi Információs Központ 2001-ben fejlesztette ki[8, 36S, 38S]. A konténerbe beépítésre kerültek az alábbiak:

- BNS-98 típusú dózisteljesítmény-távadó (GM csöves nukleáris detektor);
- NDI/SK típusú intelligens szcintillációs nukleáris detektor, speciális üreges NaI(Tl) kristállyal, ólom kollimátorban, beépített sugárkapu algoritmussal;
- Adatgyűjtő egység (BCU-01 típusú), amely az alábbiakból áll:
    - barometrikus nyomásmérő termosztátban;
    - GPS helykoordináta meghatározó vevő egység;
    - GPS helykoordináta meghatározó antennája.



23. ábra: A légi sugárfelderítő rendszer blokksémája

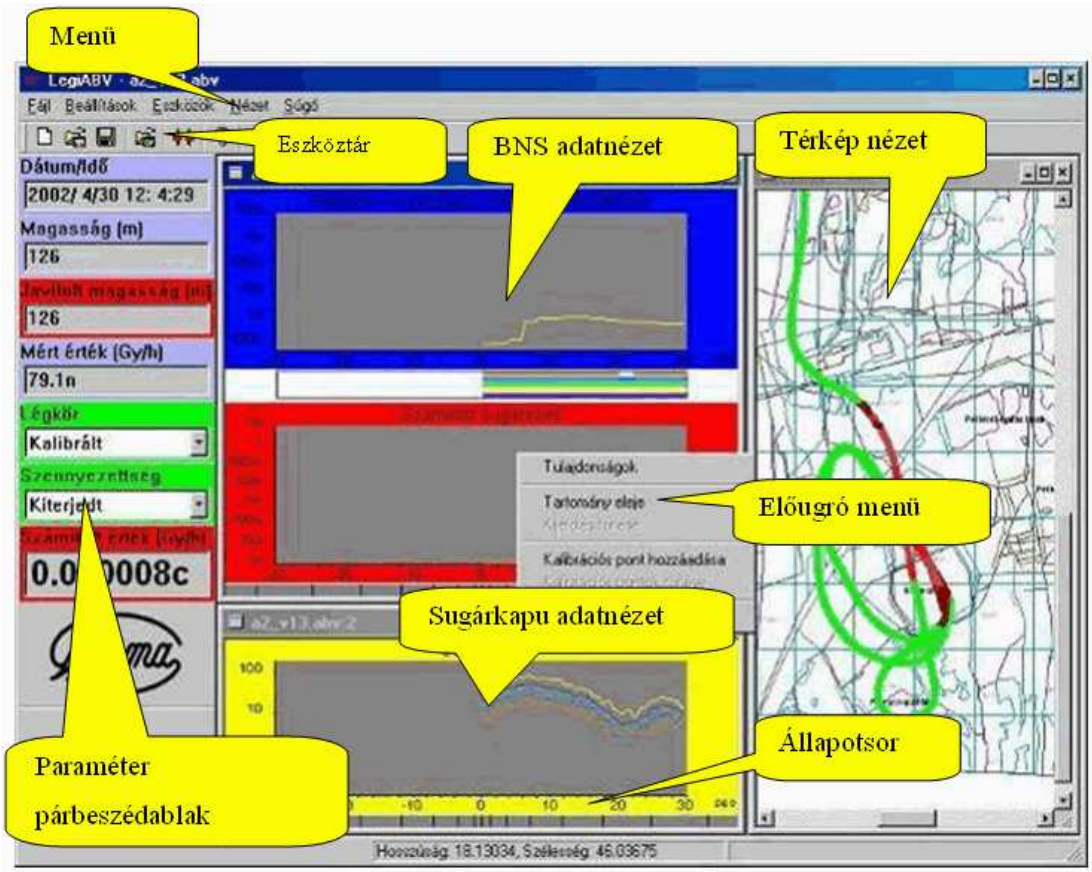
A konténer kialakítása lehetővé teszi, hogy szükség esetén az alábbi eszközök is beszerelhetők legyenek:

- videokamera;
- digitális rádió;
- fedélzeti akkumulátorok.

A rendszer a földi sugárszint meghatározását egy SZBT-10 nagyfelületű GM-csövet tartalmazó dózisteljesítmény-távadó mérése alapján végzi el. A dózisteljesítmény-távadó önmagában hiteles, a mérési eredményeket RS-485 soros vonalon, lekérdezésre küldi az adatgyűjtőnek. Főbb jellemzői:

- Indikálási tartomány: 10 nGy/h … 10 Gy/h;
- Mérési tartomány: 50 nGy/h … 0,5 Gy/h (OMH által hitelesítve);
- Relatív alaphiba: ± 15%;
- Statisztikus ingadozás (σ): < 10%.

A mérési ciklus 2 másodperc, így a szokásos repülési sebesség mellett is kellő felbontással lehet a sugárszintet meghatározni, ha a fedélzeten mérhető dózisteljesítmény eléri a μGy/h nagyságrendet. Alacsonyabb dózisteljesítmény esetén a 2 másodperces adat az utolsó n mérés átlagából képződik. Az intelligens szcintillációs detektor egy ∅ 75*50 mm NaI(Tl) szcintillátor, speciális üreges kiképzéssel. Az üregbe homlok és haránt irányból egyaránt fényérzékeny foto-elektronsokszorozó illeszkedik. Árnyékolása 20 mm ólom kollimátor, a látószög 45°, kúpos kialakítású. A detektorba beépítésre került egy sugárkapu algoritmus, amely a sugárzás szignifikáns növekedése esetén riasztást küld. A pillanatnyi, az átlag értékeket és a státuszokat RS-485 soros vonalon, lekérdezésre küldi a detektor az adatgyűjtőnek. A szcintillációs detektor mérési ciklusa 0,5 s. A riasztás 0,5 s alatt bekövetkezik, ha a hazánkra jellemző háttérsugárzás értékek (80 nGy/h) mellett a sugárszint legalább 200 nGy/h-ra nő, Cs-137 sugárforrással vizsgálva,. Energia-szelektív riasztásnál a sugárzás szignifikáns növekedése esetén a riasztásnak - a 20-100 keV, 100-400 keV, 400-900 keV és a 900 keV fölötti tartományban - csatornánként is be kell következnie.



24. ábra: A légi sugárfelderítő feldolgozó program alkalmazói felülete

3.4. A felderíthetőség alsó határa, valamint a felderítés teljesítőképessége és módszere

3.4.1. A felderíthetőség határa

A felderíthetőség alsó határát alapvetően a fedélzeti műszerek indikálási és mérési tartománya, a repülés paraméterei, valamint az adatfeldolgozási technikák határozzák meg. A végrehajtott tesztek egy része arra irányult, hogy - a lehető legjobban kihasználva a konténer műszereinek érzékenységét - meghatározzuk a pontszerű források felderítésének módszerét (repülési, illetve pásztázási paramétereket),. A fedélzeti spektrométerbe beépített sugárkapu algoritmus nagy segítséget ad az anomáliák azonnali kimutatására. Az adatok utólagos feldolgozása során digitális jelfeldolgozó technikákkal egyértelműen ki lehet mutatni egy minimum 500 kBq aktivitású nagy energiájú (500 keV felett) forrás meglétét, és meghatározni annak helyét. Alacsonyabb energiájú (100 – 500 keV)

források esetében 50 m repülési magasság tartásával 1,5-2 MBq aktivitás megtalálása biztosítható. Azonban minden esetben figyelembe kell venni, hogy a fenti lehetőségek többé-kevésbé egyenletes, nem fedett felszín esetében teljesülnek és a terep sajátosságai (domborzat, fedettség, stb.) döntően befolyásolhatják a detektálás lehetőségét, adott esetben lehetetlenné téve azt[67S]:

3.4.2. A felderítő eszköz teljesítőképessége

A MH Nukleárisbaleset-elhárítási Rendszerben a légi sugárfelderítést a 86. Helikopter Bázis kijelölt készenléti helikopterei látják el. A légi sugárfelderítő konténert a felderítés előtt a műszaki személyzet a szárny alatti fegyverkonzolra függeszti fel[67S].

Hordozó helikopter: MI-24D harci helikopter

A helikopterrel szembeni követelmények:

- hermetikus tér a személyzet számára (a levegő szennyezettségének kiküszöbölése);
- páncélozott padlózat (a földről jövő gamma háttér csökkentése);
- nagyfokú magasság és útvonal-követési képesség.

Teljesítőképesség:

- szennyezett terepszakasz felderítése: **300 km^2/h/járőr**;
- pontforrás felderítése: **18 – 20 km^2/h/járőr**.

Repülési sebesség:

- Szennyezett terepszakasz felderítése: **150 – 180 km/h**;
- Pontforrás felderítése: **100 – 120 km/h**.

Repülési magasság:

- Szennyezett terepszakasz felderítése: **80 – 100 m**;
- Pontforrás felderítése: **50 – 60 m**.

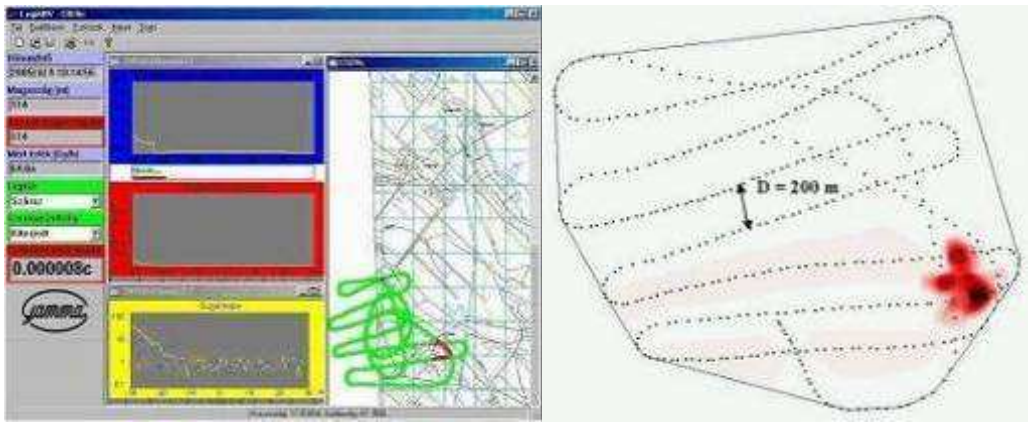
Egyéb paraméterek:

- konténer üzemidő: **min. 6 h**;
- helikopter max. repülési idő: **3 h**;
- készenlét ideje: **„R” + 6 h**;
- a felderítés legkorábban tervezhető ideje az adott terület felett: **Kihullás vége + 2 h (mérnöki tartalék).**

A légi sugárfelderítés módszere alapvetően a műszaki kutató-mentő repülés módszerét követi, így ez maximálisan biztosítja a szükséges mérési pontok sűrűségét és konvertálhatóságát. A repülés végrehajtása előtt az alábbi paraméterek kerülnek meghatározásra:

- felderítőkörzet sarokpontjai,
- a pásztázási távolságok:
    - pontforrás felderítésénél: **100-150 m**
    - területi forrás esetén: **500-1000 m** (a szennyezés forrásától való távolság függvénye).

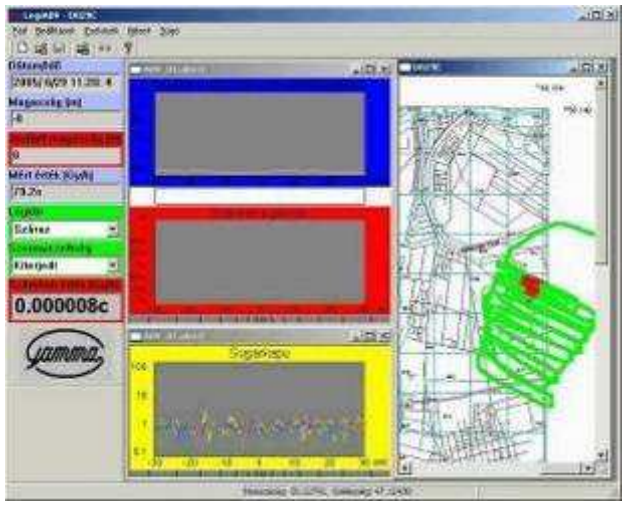
Az előzőekben már kifejtett indokok alapján a pontforrás felderítése esetén a szcintillációs detektor csatornái szolgáltatnak értékelhető adatot, míg területi forrás felderítése esetén főleg a dózisteljesítmény mérő adatai a mérvadóak.



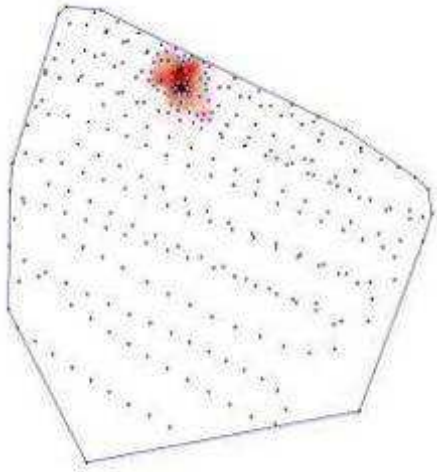
25. ábra: ABV RIÉR gyakorlat, 2005. Június 7-9, Pápa Légibázis

Balra a nyers felderítési adatok a kezelőfelületen, jobbra a feldolgozott és raszterbe konvertált adatok.

A területi szennyezés pásztázási távolsága területi forrás esetében úgy kerül meghatározásra, hogy biztosítsa a nukleáris eseményt követő kihullás során kialakult szennyezett terepszakasz korrekt leírását és a valós sugárhelyzet tisztázását. Ez a pontsűrűség alapvetően az adott terepszakasz és az esemény helyétől való távolságtól függ[20, 4.4. pont].



26. ábra: Légi sugárfelderítő bemutató és teszt 2005.06.29. Szolnok (nyers felderítési adatok a kezelőfelületen



27. ábra: Légi sugárfelderítő bemutató és teszt 2005.06.29. Szolnok, feldolgozott és raszterbe konvertált adatok

3.5. A légi sugárfelderítés adatai feldolgozásának sajátosságai, módszerei

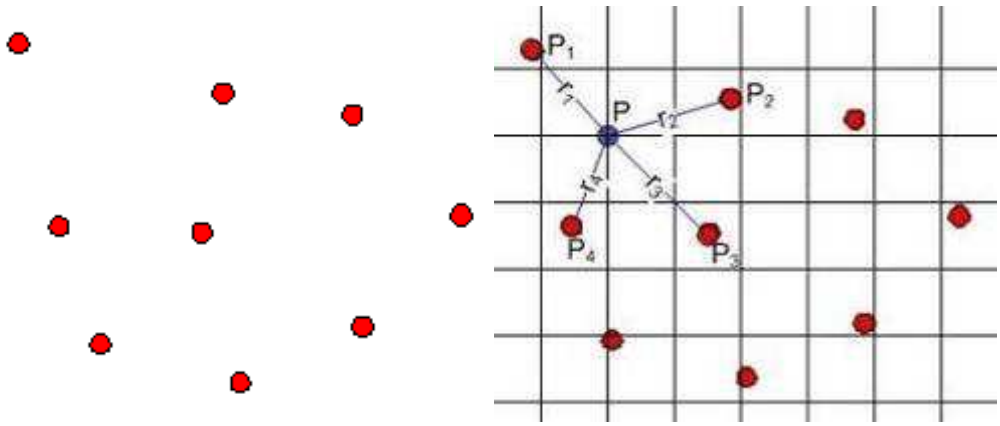
A légi sugárfelderítés által szolgáltatott adatok mennyisége és pontossága lehetővé teszi a földi sugárzási terek anomáliáinak pontos mérését, területi forrás esetében a sugárszinteknek a földi felderítéssel azonos pontossággal történő meghatározását. A sugárzási tér beméréséhez szükséges pontsűrűséget az előző fejezetben meghatározott pásztázási távolság biztosítja. A felderítési nyomvonalon a pontsűrűség minden esetben a szükségesnek a három-négyszerese, hogy ez redundanciát biztosítson az adatfeldolgozáshoz. A mérési adatok feldolgozása

mindenképpen egy olyan adatkonverziós eljárást feltételez, ahol a sugárzási teret tetszőleges receptor pontra, méréstechnikailag elfogadható közelítéssel (interpolációval) le tudjuk írni. Az adatfeldolgozáshoz kétfajta konverziót választottam: vagy a mérési adatok alkotta irreguláris ponthalmaz raszteres (esetleg pixeles) ponthálózattá konvertálását, vagy a Delanuay-háromszög hálózattá történő konvertálását.

Pontszerű forrás keresése esetén az előbbit, területi forrás keresésénél az utóbbit alkalmaztam, az alábbiak miatt:

- a raszteres hálózat lehetőséget ad az anomáliák jobb detektálására, a képfeldolgozásnál alkalmazott digitális szűrők alkalmazásával;
- a Delanuay-háromszög hálózat pontosabb interpolációt biztosít a háromszögeken belüli pontokra.

3.5.1. Irreguláris ponthalmaz konvertálása raszteres ponthálózattá



28. ábra: Raszterbe konvertálás elve

Az eljárás lényege egy adott rácspont körüli **n** számú legközelebbi mérési pont kiválasztása, és az alábbi súlyozó konverziós egyenlettel történő interpolálás. A végrehajtott légi sugárfelderítési feladatok adatainak elemzésénél jól bevált az $\mathbf{r}^{-2}$ súlyozó paraméter használata, ezért ezt választottam:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{P_i}{r_i^2}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{r_i^2}} \qquad (3.9)$$

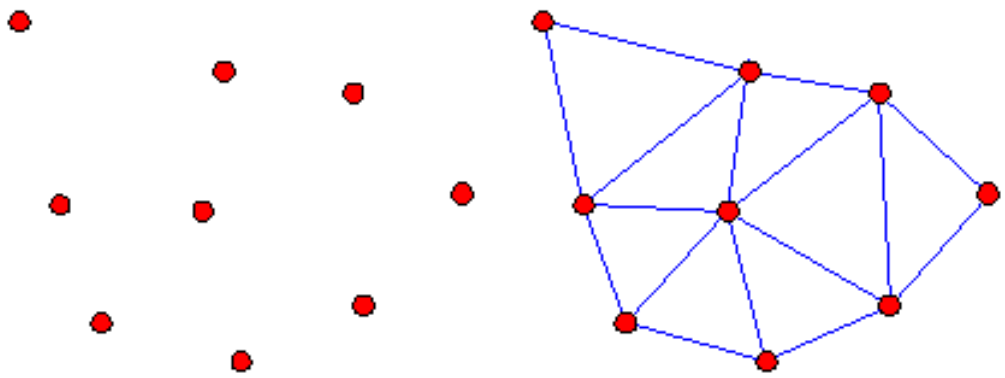
ahol:

$\mathbf{r_i}$ – az i-edik pont távolsága a raszterrácsponttól;

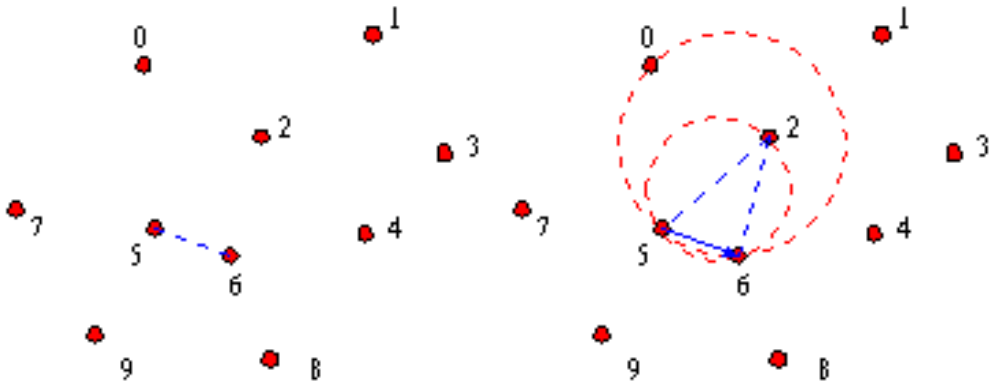
$\mathbf{P_i}$ – az i-edik ponthoz tartozó sugárszint, vagy beütésszám;

P – a rácsponthoz tartozó sugárszint, vagy beütésszám.

3.5.2. Irreguláris ponthalmaz konvertálása Delanuay-háromszög hálózattá



29. ábra: Kiindulási ponthalmaz és az eredmény



30. ábra: A Delanuay háromszögelés elve

A Delanuay-háromszögelés nagyon elterjedt eljárás a geodézia tudományában, alapvető eljárás a digitális domborzati modell létrehozásához. Mivel a sugárzási tér gyakorlatilag a domborzattal azonosan leírható skalártér, ezért ugyanúgy alkalmazható az adott eljárás a terepi sugárszint leírására is.

Az eljárás lényege:

Legyenek a síkon szabálytalan elrendezésű pontjaink (irreguláris ponthalmaz). A ponthalmaz minden pontja köré szerkeszthető egy olyan sokszög, melynek belső pontjai (összes pontja, a határát alkotó pontok kivételével) közelebb vannak a kérdéses ponthoz, mint az összes többi ponthoz. Az ilyen tulajdonsággal rendelkező sokszögek konvexek és folytonosan töltik ki a síkot. A meghatározásból következik, hogy a sokszög oldalai merőlegesek a körülvett pontot a többi ponttal összekötő egyenesekre és felezik azokat. Természetesen nem minden felező merőleges egyenes lesz a sokszög része, hanem csak azok, melyek metsződéseiből a zárt konvex sokszög létrejön. A sokszögoldalak egyben meghatározzák az egy-egy pontból figyelembe veendő szomszédos pontokat is, hiszen csak azok a pontok befolyásolják a sokszög kialakulását, amelyekre menő sugarak felező merőlegesei részei a sokszögnek. Ha minden pontot összekötünk a róla a fentiek szerint figyelembe veendő szomszédos pontokkal, úgy síkbeli esetben, egyértelmű és bizonyos szempontból optimális háromszögfelbontást kapunk. Ezt a felbontást nevezik Delaunay háromszögelésnek.

A kezdeti irreguláris ponthalmaz háromszögekbe való fejtése lehetőséget ad tetszőleges, az adott háromszögön belül elhelyezkedő pontra való interpolációra megfelelő súlyozási eljárással. A súlyozás lehet lineáris, de ha azt a skalártér leírására szolgáló összefüggés megköveteli, a súlyozó paraméter lehet exponenciális is.

3.6. A légi sugárfelderítés technológia fejlesztése során végzett tesztek, valamint radioaktív sugárforrások alkalmazásával levezetett gyakorlatok tapasztalatai

Az alábbiakban felsorolom a konténer sikeres tesztjeit, illetve azokat a gyakorlatokat, ahol a demonstrációs célok mellett gyakorlati, kísérleti célokat tűztünk ki, kiemelve a 2008-ban végrehajtott laborösszemérési gyakorlatot, mivel ott a légi sugárfelderítő helikopter elsősorban feladat végrehajtás céljával vett részt,, együttműködve a földi

felderítő és értékelő alegységekkel. A gyakorlaton nagyszámú radioaktív forrást alkalmaztunk.

3.6.1. Pellérd, 2002. 04. 30.

Téma: Területfelderítés[63S, 64S]

Cél:

- az eszköz pontosságának és precizitásának vizsgálata;
- GPS adat és sugárszint mérési adatfeldolgozás;
- a légi felderítési adatok földi felderítési adatokkal való validálása.

A teszt jelentőségét az adta, hogy első alkalommal végeztünk „valós” kiterjedt szennyezettség fölött ellenőrző mérést. A pellérdi zagytározó (Közép-Európában feltehetőleg az egyetlen hely, ahol kiterjedtnek tekinthető radioaktív „szennyezett terület” van) fölött sikerült ellenőrizni a kiterjedt szennyezettség kalibrálását. A kalibráció pontossága még a fejlesztőket is meglepte. A teszt eredményeit összehasonlítottuk a helyszíni mérési eredményekkel. Az összehasonlítás igazolta a mérési eljárás pontosságát.

3.6.2. Szentkirályszabadja, 2004. 04 14.

Téma: pontforrás keresés

Cél: pontforrás detektálása és helymeghatározás.

3.6.3. Szolnok, 2004. 04. 14.

Téma: On-line adattovábbítás és feldolgozás.

Cél: Pontforrások keresése on-line adatkapcsolattal (adatrádióval)

3.6.4. Bakonykuti, 2004. 04. 3-4.,

Téma: ABV RIÉR gyakorlat

Cél: pásztázó technológia teszt.

3.6.5. Pápa légibázis, 2005. 06. 8-9.

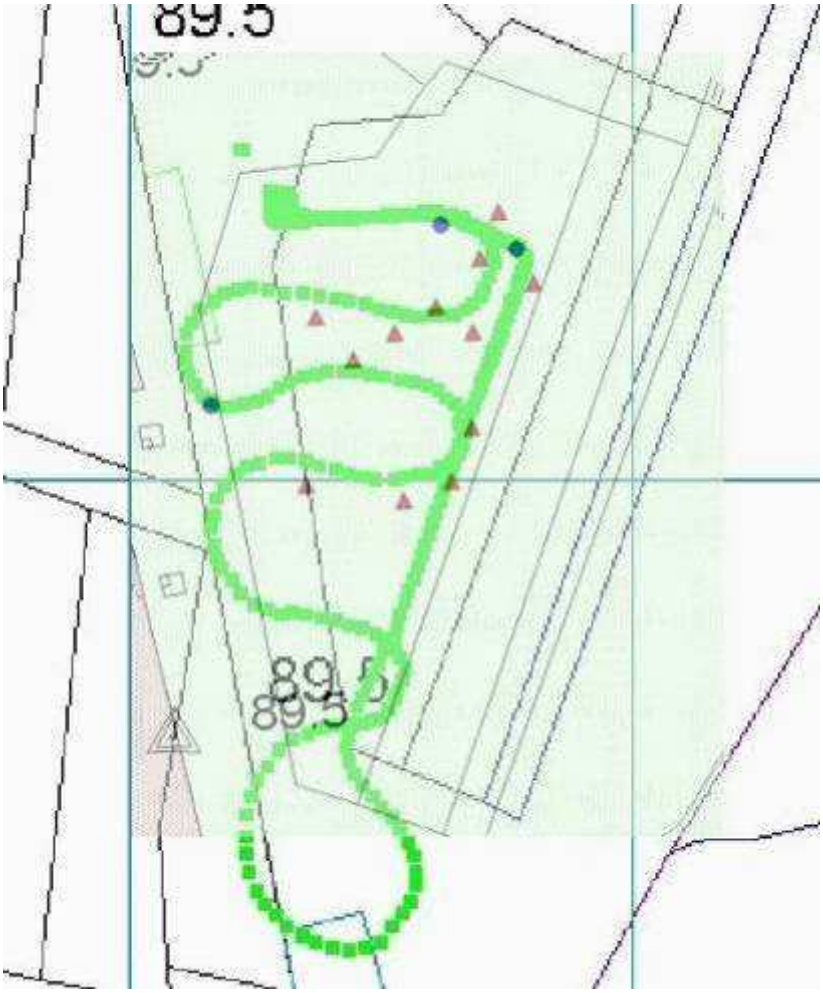
Téma: On-line adattovábbítás

Cél: adatfeldolgozás és pontforrás keresés.

3.6.6. Szolnok, 2006. 10. 17.

Cél: alacsony intenzitású pontforrás keresés.

A teszt jelentősége abban volt, hogy a mérési adatok elemzésével sikerült a repülőtéren telepített alacsony intenzitású (350 kBq – 1 MBq) sugárforrásokat kivétel nélkül megtalálnunk.



31. ábra: A légi sugárfelderítés trajektóriája és a megtalált források helye

A térképvázlaton a felderítés trajektóriáját és a megtalált források helyét ábrázoltam.

3.6.7. Püspökszilágy 2008. május 13-16.

Téma: Laborösszemérési gyakorlat'08

Jelentőségében ez a legutóbbi sugárforrásokkal végzett teszt volt a legfontosabb, mivel a gyakorlaton egy komplex, földi és légi felderítéssel egybekötött sugárhelyzet-felmérést hajtottunk végre.

A feladat rövid leírása:

A légi sugárfelderítés eredményei alapján a kihelyezett sugárforrások megkeresése kézi illetve hordozható eszközök segítségével, azok azonosítása és pontos földrajzi koordinátájuk meghatározása.

A feladat célja:

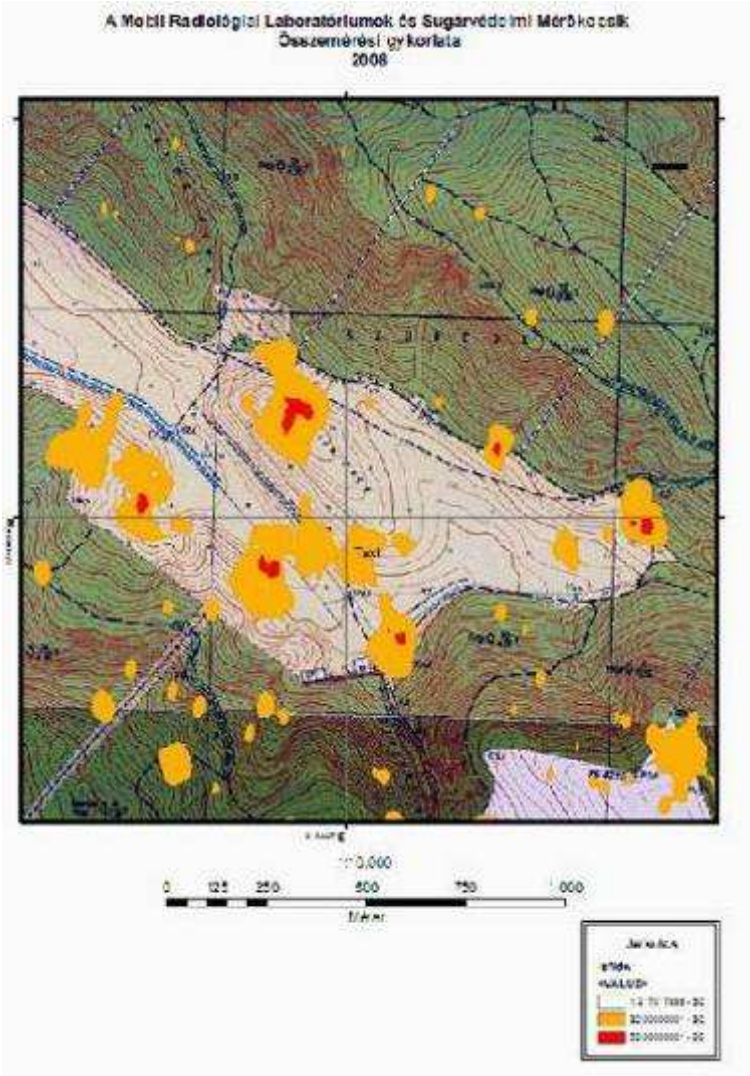
Egy esetleges baleset következtében nagy területen szétszóródott radioaktív izotópok illetve „forró” pontok keresési módszereinek gyakorlása, a megtalált izotópok lehetőség szerint azonosítása.

A feladat végrehajtásának főbb mozzanatai:

A terepen kihelyezett sugárforrások keresése, a terület nagy kiterjedése miatt a légi sugárfelderítő csoport (LSFCS) alkalmazásával.

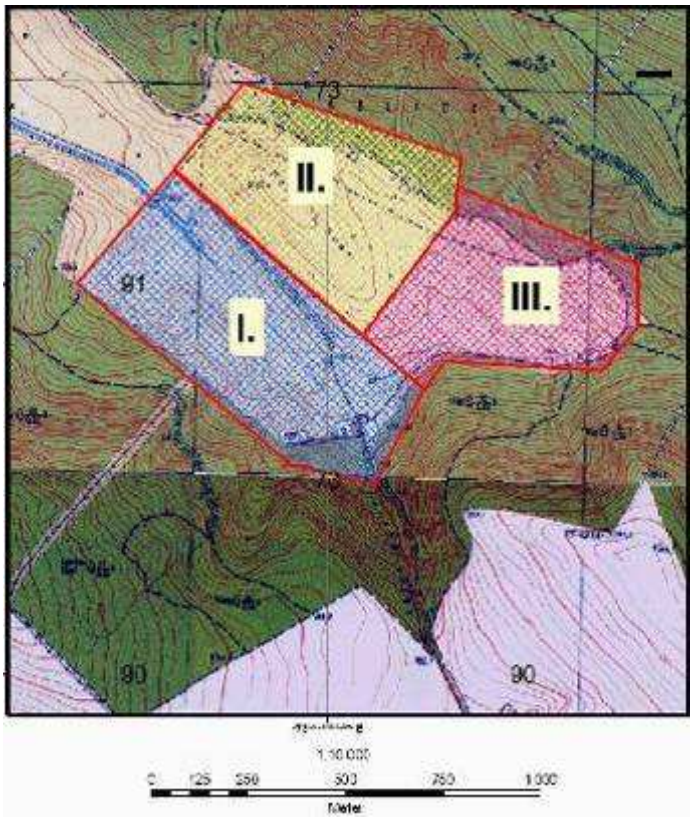
32. ábra: Légi sugárfelderítés MI-24

A megadott sarokpontok által határolt területet az MH légi-sugárfelderítésre kijelölt helikoptere 40-80 méteres magasságban 100 km/h sebességgel pásztázta, 2 másodpercenkénti mérésekkel. A mért adatokat a mérőeszközök egy mobil háttértárra mentették, melyet a felderítés után számítógéppel a légi sugárfelderítő eszközhöz kifejlesztett szoftverrel kiértékeltek. A mérés során a rendszer a mért adatokhoz GPS-koordinátákat társított, és ezeket a szoftver segítségével térképen is megjeleníthette a felhasználó. A kapott mérési adatokat a gyakorlatvezető törzs kiértékelte és a kihelyezett sugárforrások számított dózisterét térképvázlaton grafikus formában a csoportok rendelkezésére bocsátotta.



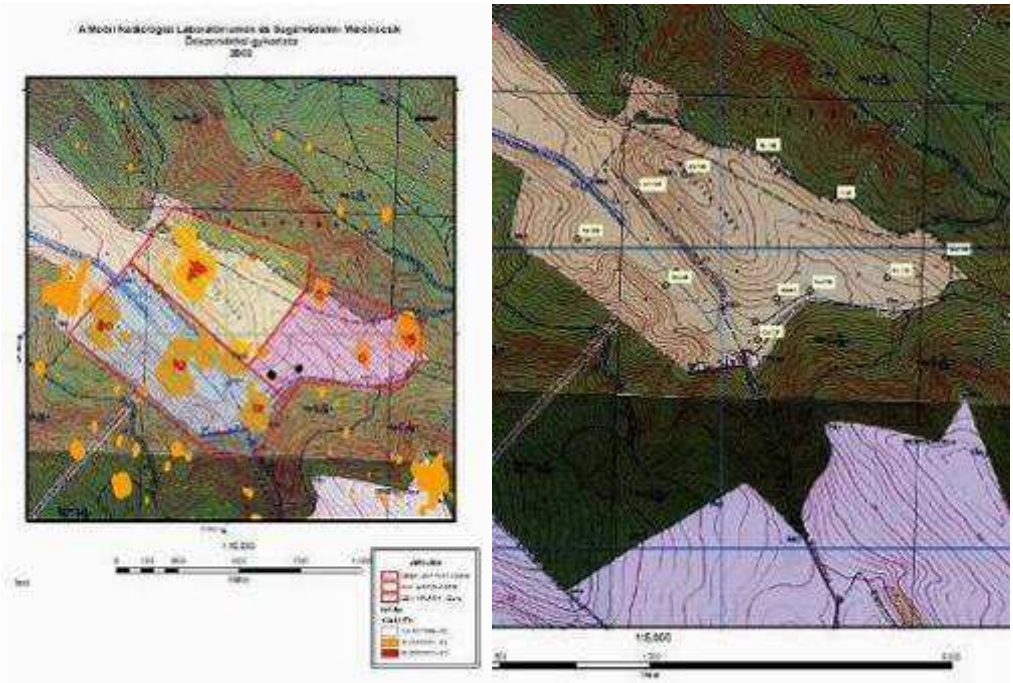
33. ábra: Légi sugárfelderítés mérési térképvázlata

Ezután a területet 3 szektorra osztották, és a térképvázlat alapján a felderítő csoportok a saját szektorukban megkezdték a sugárforrások kutatását.



34. ábra: Zónafelosztás

A kijelölt szektorokban a szennyező részleg 4-4 illetve 3 sugárforrást rejtett el, amelyeket a csoportok zömének sikerült is megtalálnia, és az izotópok helyét és paramétereit megadnia az adatgyűjtő-, értékelő csoportnak.



35. ábra: A légi és a földi felderítés eredményeinek „összefésülése” és összehasonlítás a szennyező részleg telepítési vázlatával

A feladat végén az értékelő csoport kiértékelte az eredményeket, és a komplex felderítés adatait térinformatikai rendszeren ábrázolta (3.12. ábra). A fekete ponttal jelzett forrásokat sem a légi, sem a földi felderítés nem fedte fel, mivel a kobaltforrás egy fa törzse mellett takarásban volt, míg a rádiumforrás aktivitása túl alacsony volt a viszonylag kis energiájú sugárzásához képest. Az összes többi elrejtett forrást meg tudtuk találni.

Összességében a légi- és földi sugárfelderítés eszköz- és eljárásrendje az elmúlt években nagy fejlődésen ment keresztül.
A napjainkra kialakult modern légi sugárfelderítő és integrált értékelő rendszer legfontosabb jellemzői:

- A földi- és légi sugárfelderítési adatok gyűjtése, tárolása, feldolgozása és megjelenítése közös platformon, egységes adatfeldolgozó (értékelő) rendszerbe integráltan, mely gyors és pontos alapot szolgáltat a szükséges védelmi intézkedések elrendeléséhez és az ellentevékenység megszervezéséhez.
- A légi sugárfelderítő konténerbe épített mérőrendszer a környezeti hatásokkal szembeni állékonysága megfelelő.

- A konténer a helikopterre gyorsan, könnyen szerelhető.
- A rendszer pontszerű és kiterjedt sugárforrások felderítésére egyaránt alkalmas.
- A négycsatornás spektrometria támpontot nyújt az izotópazonosításhoz.
- A felderítések során az idő-, hely- és magasság koordináták hiánytalanul rögzítésre kerülnek, a repülés útvonala a digitális térképen pontosan jelenik meg.
- A felvételek rendben archiválódnak, visszajátszhatók, kiértékelhetők.
- A mérési eredmények reálisak, pontosságuk a földi rendszerekével egyenértékű.
- Az on-line adattovábbítás digitális adatrádió segítségével történik.

A mérési eljárás és az adatok kiértékelése térinformatikai platformon történik, amelynek a feltételei az alábbiak szerint teljesülnek:

- A GPS magasságmérés korrekciója a DDM-50 digitális domborzati modell és a barometrikus magasságmérő adatai segítségével történik.
- Digitális térkép használata során az adatfeldolgozó szoftver teljes körűen kezeli a DTA-50-es térképészeti adatbázist.
- A felderítési adatok memóriakártyára íródnak.
- A mérési eredmények megjelenítése NATO szabvány szerinti térképi jelekkel, jelzésekkel történik.

A földi-, és légi sugárfelderítési adatok térinformatikai feldolgozásával a valós sugárhelyzet értékelésben új képesség jött létre.

A fejezetből levont következtetések

1. Jelen fejezetben saját mérési eredményeink alapján áttekintettem a légi sugárfelderítés technológiáját, harcászati alkalmazhatóságát és a földi felderítéssel való kombinálásának lehetőségét, különös tekintettel a felderítési adatok feldolgozásának módszereire és térinformatikai környezetbe való integrálás eljárására.
2. Különböző aktivitású és típusú sugárforrásokkal, különböző domborzati és terepviszonyok közötti tesztekkel, mérésekkel sikerült igazoltam, hogy a légi sugárfelderítés jelenlegi technológiája, eltérően a korábbi években alkalmazottól, lehetőséget ad precíziós mérések végrehajtására, ami egyenértékűvé teszi a földi felderítéssel, lehetőségek tekintetében pedig messze felülmúlja azt.
3. Kidolgoztam egy új eljárást a légi és földi sugárfelderítés modern technikai eszközei által szolgáltatott nagy mennyiségű felderítési adatainak térinformatikai rendszerben történő értékelésére a valós sugárhelyzet tisztázása céljából.

ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

A komplex felderítő és értékelő rendszerek, valamint az ezzel szoros kapcsolatban álló számítástechnikai és informatikai eszközök fejlődésével a különböző értékelő, szimulációs eljárások is fejlődnek. Ezek alapvetően az alábbi tendenciákban érvényesülnek:

Az értékelő eljárások a számítógépek megnövekedett teljesítménye és egyre interaktívabb felülete segítségével egyre inkább alkalmasabbá válnak nagyobb mennyiségű bemenő adat felhasználásával - egyre kisebb elhanyagolásokkal - a valós helyzetet jobban közelítő előrejelzéseket végezni, a valóságot modellezni, melyet segítenek a mind nagyobb rendelkezésre álló adatbázisok. A valós helyzet modellezése ezért leginkább a pontos, numerikus modellek mind teljesebb alkalmazásának irányába tolódik el, amely lehetővé teszi a baleset körülményeinek és az aktuális meteorológiai viszonyok reális értékelését.

Az informatikai rendszerek folyamatos fejlődése megközelíti, és fokozatosan elmossa a klasszikus felderítési és értékelési eljárások közötti határt. Ennek eredményeképpen az adatok megszerzése és a feldolgozott, kiértékelt információ keletkezése közötti idő mind rövidebbé válik. Az automata mérő és riasztó rendszerek országos hálózatban történő kiépülése, a létrehozandó korszerű mobil felderítő eszközök a közeljövőben biztosítani fogják az értékeléshez szükséges pontos és friss adatmennyiséget.

Az értékelési és szimulációs eljárások fejlődése szempontjából talán legfontosabb a térinformatikai rendszerek fejlődése, melyek az értékelés, modellezés számára biztosítják azt a platformot, amely segítségével azok eredményét "kézzel foghatóvá", síkban (2D), vagy térben (3D) vizuálisan megjeleníthetővé varázsolják.

A jövőben az automatizált értékelési eljárások egy számítógépes vezetéstámogatási rendszer részét fogják képezni, amely egyesíti majd a helyzetértékelést, a hadműveleti tervezés műveleteit a minden irányban folyó kommunikációval és térinformatikai rendszerek alkalmazásával.

Az értekezésemben az általam kitűzött célok alapján az alábbiakat végeztem el:

- **Matematikailag, egzakt formában leírtam** egy vegyi fejjel rendelkező ballisztikus rakéta elfogása során bekövetkező aeroszol kibocsátását és terjedését, azt **új eljárásként alkalmaztam** az ATP-AEP-45 értékelő szabványokban.
- **Kidolgoztam** egy radioaktív pontforrás dózistere értékelésének módszerét ez alapján **megalkottam** és **beillesztettem** egy új eljárást az ATP-AEP-45 értékelő szabványok **RAD** (radiológiai események értékelésével foglalkozó) eljárásrendjébe.
- A valós sugárhelyzet tisztázása céljából új eljárást **dolgoztam ki** a légi- és földi sugárfelderítés modern technikai eszközei által szolgáltatott nagy mennyiségű felderítési adatainak térinformatikai rendszerben történő értékelésére.

Az összegzett következtetéseim alapján megállapításaim a következők:

Hazánk NATO csatlakozásával együtt jár, hogy a jelenlegi értékelő, riasztási és felderítő rendszereinket meg kell feleltetnünk a szövetség elvárásainak, az ott elfogadott szabványoknak és előírásoknak. Ezzel együtt tudjuk, hogy az érvényben lévő NATO szabályzatok a jelenleg fennálló állapotokat tükrözik. Minden olyan elmélet, eljárás, vagy módszer, amelyet a gyakorlat igazol, az aktuális szabályzatok módosítását vonják maguk után, ami a NATO katonai szervezetében bevett gyakorlat. A szervezetről elmondható, hogy nyitott az új dolgok iránt, hiszen évente legalább két, de inkább több alkalommal szakterületi munkacsoportok elemzik az adott területen végbement változásokat, meghatározzák a fejlődés irányait, amivel biztosítják az új eljárások, technológiák, elméletek térhódítását. Megállapítható, hogy a vegyivédelem felértékelődése a vegyi-, sugárhelyzet felmérés területén is gyors fejlődést, változásokat generál, melyekre a rendszernek reagálni kell.

Tudományos eredmények

1. Elsőként dolgoztam ki eljárást vegyi harci fejjel ellátott ballisztikus rakéta elfogása következményeinek értékelésére, ennek érdekében elemeztem az esemény minden fázisát egzakt matematikai-fizikai apparátussal, majd kialakítottam egy eljárást, amely az ATP-45 (D) eljárásrendjének részévé vált;
2. Új értékelési eljárást dolgoztam ki radioaktív pontforrás dózisterének értékelése céljából, amely hasznosan egészíti ki az ATP-45 (D) radiológiai események értékelésével foglalkozó eljárásait;
3. A valós sugárhelyzet tisztázása érdekében új eljárást dolgoztam ki a légi sugárfelderítés által szolgáltatott nyers adatok gyors, pontos, számítógéppel támogatott feldolgozására és azt térinformatikai környezetben alkalmaztam.

Ajánlások

A Ph.D értekezésemben megfogalmazott tények alapján javaslom:

- Az általam kidolgozott értékelési eljárások mintájára kutatni, elemezni és kidolgozni olyan értékelési eljárásokat az ABV események következményeinek értékelése céljából, amelyek speciális, eddig nem leírt forgatókönyveket tesznek értékelhetővé.
- A sugárhelyzet számítógéppel támogatott felmérése alapján kutatni a vegyihelyzet felmérésének módszereit, amely vegyi távfelderítő eszközöknek földi és légi eszközökön történő alkalmazásán, megfelelő adatfeldolgozási technikán és térinformatikai rendszer alkalmazásán alapul.
- Széleskörűen oktatni és alkalmazni azokat a térinformatikai rendszereket, amelyek korszerű CAD platformon az MH Térképész Szolgálat által kifejlesztett DTA és DDM digitális térképészeti adatbázist és digitális domborzati modellt alkalmazzák.
- Megvizsgálni a jelenleg is használatos vegyi- és sugárhelyzet előrejelző és értékelő programjaink, adatbázisaink, valamint a rendszerben lévő felderítő és mérő eszközök egy komplex vegyi-, sugárhelyzet felmérő rendszerbe történő integrálásának lehetőségét, valamint kompatibilissá tenni azokat az ATP-45 módszerei és eljárásai szerint történő alkalmazásra.

Úgy ítélem meg, hogy értekezésem anyaga a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem környezetbiztonsági szakirányú kiegészítő képzésében, a különböző szintű továbbképzésekben, a doktori képzésben egyaránt felhasználható. Felhasználható továbbá a csapatok törzsei és végrehajtó állománya felkészítésében, különösen a vegyi-, sugárhelyzet felmérésében, vagyis a szakfelderítés tervezésében, végrehajtásában, illetve a helyzetértékelésben érintett szakemberek képzésében. Értekezésem eredményei alapot képezhetnek további kutatások számára. Elősegíthetik a technikai eszközpark modernizációs törekvéseit. Hozzájárulhatnak az ABV támogatás elméletének általános fejlődéséhez.

Megítélésem szerint eddigi szakmai ismereteimet, tapasztalataimat és kutatási eredményeimet sikeresen beépítettem a disszertációmba.

JELMAGYARÁZAT

A dolgozatban igyekeztem különböző mennyiségek jelölésére az általánosan elfogadott betűjeleket használni. Ahol más jelzést kellett használnom, ott egyrészt a szövegben utaltam a jelentésére, másrészt az alábbi jelmagyarázatban rögzítettem. A jelmagyarázatban külön kellett választanom az egyes fejezeteket, mivel előfordult, hogy kénytelen voltam azonos betűjeleket alkalmazni más - más mennyiségekre.

I. fejezet:

1. Ballisztikus pályaadatok

H_{max} =	Maximális emelkedési magasság	km
S_{max} =	Maximális hatótávolság	km
T_{flying} =	Repülési idő	s
$T_{burning}$ =	Hajtómű üzemideje	s
H_{vert} =	Függőleges emelkedés	km
a	Gyorsulás	m/s^2
V =	Becsapódási sebesség	m/s
V_x =	V - Vízszintes vetület	m/s
V_y =	V - Függőleges vetület	m/s
α =	Becsapódási szög	rad
α =		^{o}

2. VX fizikai és toxikológiai adatai

Toxicitás:	LcT_{50}=	0.01	mg*min/l	
	IcT_{50}=	0.005	mg*min/l	
	PcT_{50}=	0.0001 mg*min/l		
	Inhalációsan:	LD_{50} = 0.7 mg/kg		
	Perorálisan:	LD_{50} = 0.07 mg/kg		

ρ = sűrűség [g/cm^3]

P= nyomás [Pa]

V= térfogat [dm3]

κ – adiabatikus kitevő

d_a	– Átlagos cseppméret (m)
d_i	– Inerciális hatás részaránya a cseppképződéskor (m)
a	– Folyadéktöltet inerciális (brizáns) hatás alá kerülő része
d_0	– Trotiltöltet átmérője (m)
d_1	– Gyújtócsésze átmérője (m)
d_2	– Harci fej belső átmérője (m)
K_1=2.6e4, K_2=2.8e7	– empirikus állandók
c_0	– Hangsebesség (m/s)
D	– Detonáció sebessége (m/s)
G_0	– Harci fej tömege (kg)
ξ_0	– Folyadék sűrűsége (kg/m^3)
h	– Folyadék magassága a töltetben (m)
σ	– Felületi feszültség (kg/m)
ε_1	– Relatív robbanási energia –„trotil egyenérték”- (kg/kg)
G_{BB}	– Robbanóanyag tömege (kg)

A felhő kezdeti paraméterei

r_0 = Felhő kezdeti sugara [m]
σ_{x0} = Kezdeti szórás [m]

Nemzetközi Standard Atmoszféra Modell

z	Magasság (m)
T	Hőmérséklet (K)
p	Nyomás (bar)
ρ/ρ_0	Relatív sűrűség
ρ	Sűrűség (kg/m^3)
ν	Kinetikus viszkozitás (m^2/s)
η	Dinamikus viszkozitás (kg/m/s)
k	Hővezetés (kW/m/K)
c	Hang-sebesség (m/s)

M = 28.9647 kg/kmol	a levegő moltömege
R_0 = 8134.4 J/kg/K	az univerzális gázállandó

A hőmérséklet és a levegő sűrűsége empirikus egyenletei

Állandók

$k_1 = 0.09543718 \quad k_2 = 0.001321598$

A kihullás sebesség meghatározása lamináris áralmás esetén

u_{sed}	– a kihullás sebessége [m/s]
r	– a cseppek sugara [m]
ρ_s	– a cseppek sűrűsége [kg/m^3]
ρ_f	– a levegő sűrűsége [kg/m^3]
g	– a nehézségi gyorsulás [m/s^2]
η	– a levegő dinamikus viszkozitása [kg/m/s]
Re	– ülepedési Reynolds szám

A kihullás sebesség meghatározása turbulens áralmás esetén

d	– a cseppek átmérője [m]
f	– a cseppek gömbtől eltérő alaktényezője ≈ **1**

A diszperziós paraméterek számítása

$C(x,y,z)$	– receptorpontban jelenlévő koncentráció [mg/m^3]
C_{max}	– maximális koncentráció [mg/m^3]
K_x	– haladási irányú gyengülési együttható
K_y	– oldalirányú gyengülési együttható
K_z	– függőleges gyengülési együttható
Δt	– a az adott légrétegben való tartózkodás [s]
σ_x	– haladási irányú diszperziós együttható (szórás) [m]

σ_y – oldalirányú diszperziós együttható (szórás) [m]

σ_z – függőleges irányú diszperziós együttható (szórás) [m]

A szennyezett felhő terjedési-, ülepedési- és szennyezési paraméterei

z	Magasság (m)
u_w	Ülepedési sebesség (m/s)
Δt	Ülepedési idő az egyes rétegekben (s)
t	Összes ülepedési idő (s)
x	Ülepedési úthossz rétegenként (m)
Σpath	Összes ülepedési úthossz (m)
$\mathbf{T}_{Cmax}$	A miózis kiváltásához szükséges idő a maximális koncentrációnál (min)
C_{surf}	Max. felületi szennyezettség (mg/m^2)

Maximális felületi szennyezettség számítása

C_{surf}^{max} – a talajon kialakuló maximális koncentráció [mg/m^2]

II. fejezet

R1 - Közvetlen veszély zónája

R2 - Azonnali óvintézkedések zónája

R3 - Hosszabb távú óvintézkedések zónája

Dózis és dózisteljesítmény számítása

$\mathbf{K_d}$ – Izotóp specifikus dózis-aktivitás konverziós faktor (Gy*m2/h/GBq),

A – Forrás aktivitás (GBq)

d – A receptor ponttól való távolság (m)

t – Expozíciós idő (h)

μ – A levegő lineáris gyengítési együtthatója (1/m)

P – Dózisteljesítmény (Gy/h) a receptor pontban,

$\mathbf{D_{calc}}$ – Számított dózis (Gy) a receptor pontban,

Egyszerűsített és részletes értékelési eljárás:

D – Távolsági együttható [1/m^2],

III. fejezet:

Légi sugárfelderítés, kiterjedt szennyezettség felderítése

P_1 – sugárszint (Gy/h);

P_h – h magasságon mért dózisteljesítmény (Gy/h);

h – mérési magasság (m);

k_1 – terepviszony elnyelési faktor (1,7 – 2);

k_2 – légkör elnyelési faktor (0,007 - 0,012);

Pontszerű forrás

P_1 – 1 m referenciamagasságra számolt dózisteljesítmény (Gy/h)

P_h – h magasságon mért dózisteljesítmény (Gy/h)

h – mérési magasság (m)

k_3 – terepviszony elnyelési faktor (1 –1,18)

k_4 – légkör elnyelési faktor (2 –2,4)

Sugárszint számítása a rácspontokban:

$\mathbf{r_i}$ – az i-edik pont távolsága a raszterrácsponttól;

$\mathbf{P_i}$ – az i-edik ponthoz tartozó sugárszint, vagy beütésszám;

P – a rácsponthoz tartozó sugárszint, vagy beütésszám.

HIVATKOZOTT IRODALOM

1. ATP-45 (C) REPORTING NUCLEAR DETONATIONS, BIOLOGICAL AND CHEMICAL ATTACKS, AND PREDICTING AND WARNING OF ASSOCIATED HAZARDS AND HAZARD AREAS (OPERATORS MANUAL) NATO kiadvány
2. ATP-45 (D) REPORTING NUCLEAR DETONATIONS, BIOLOGICAL AND CHEMICAL ATTACKS, AND PREDICTING AND WARNING OF ASSOCIATED HAZARDS AND HAZARD AREAS (OPERATORS MANUAL, Ratification Draft) NATO kiadvány 2
3. AEP-45 (C) PROGRAMMERS MANUAL FOR REPORTING NUCLEAR DETONATIONS, BIOLOGICAL AND CHEMICAL ATTACKS, AND PREDICTING AND WARNING OF ASSOCIATED HAZARDS AND HAZARD AREAS, NATO kiadvány
4. Nagy Lajos György: Radiokémia és izotóptechnika (Műegyetemi Kiadó, 1983)
5. Csurgai József: A Magyar Honvédségben alkalmazott sugárhelyzet prognosztizálási és értékelési eljárások számítógépes továbbfejlesztése – Haditechnika, 2000/1. sz.
6. Solymosi József, Baumler Ede, Nagy Lajos György, Gujgiczer Árpád, Gresits Iván, Zagyvai Péter, Dorogi László, Vodicska Miklós, Vajda Nóra, Takács Márta Eljárás és berendezés ismeretlen összetételű és/vagy többkomponensű főként hasadási termékekkel kontaminált terepszakaszok sugárszintjének légi felderítésére, HU 201161 B Szolgálati találmány , 1987.
7. STANAG 2112. 4. kiadás (Nuclear, Biological and Chemical Reconnaissance)
8. Beszámoló jelentés Légi ABV felderítő rendszer, TH – Gamma, 2001 (HTI 670/15/1999)
9. Csurgai József mk. őrnagy: Nukleárisbaleset-elhárítás és vegyi katasztrófák összefüggésrendszerének tudományos vizsgálata, Ph.D értekezés, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2003
10. A vegyifegyver, Tansegédlet, Honvédelmi Minisztérium kiadványa, 1968
11. ABV védelem, Egyetemi jegyzet, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2000
12. Bacsa Balázs: Légisugár felderítési adatok számítógéppel támogatott feldolgozása, diplomamunka, BME Építőmérnöki kar, Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék, 2009

13. NATO AC/225(LG7)D(2006)0003, Scenario 4

14. NATO SAS 061 Scenario R1

15. Smith, Steven W.: The Scientist and Engineer’s Guide to Digital Signal Processing, Second Edition, California Technical Publishing, San Diego, 1999.

16. NATO STANAG 2083 COMMANDERS’ GUIDE ON THE EFFECTS FROM NUCLEAR RADIATION EXPOSURE DURING WAR, 2009

17. NATO STANAG 2473 COMMANDER'S GUIDE TO RADIATION EXPOSURES IN NON-ARTICLE 5 CRISIS RESPONSE OPERATIONS, 2004

Felhasznált INTERNET oldalak:

18. http://www.engineeringtoolbox.com/international-standard-atmosphere-d_985.html

19. http://www.sugartech.co.za/intlstdatmos/index.php

20. http://www.statemaster.com/encyclopedia/International-Standard-Atmosphere

21. http://weatherfaqs.org.uk/node/174

22. http://www.airlinedispatch.com/_fps/isa.htm

PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

23. Zelenák János, Kiss Sándor: "Tankönyv a vegyivédelmi hallgatók szaktechnika oktatásához (III)", BJKMF, 1995.

24. Zelenák János, Kiss Sándor: "A BITT szonda", Bolyai Hírek, 1994/III/3. Szám 61-65 old.

25. Zelenák János, Menyhárt Ferenc: "Az MH Sugárfigyelő és Jelző Rendszer fejlesztésének feladatai" 24 oldal. A HM Oktatási és Tudományos Tanács elbírált és díjazott pályázat, Budapest, 1997.

26. Zelenák János: Az ATP-45(B) NATO szabályzat szakfordítása, lektorálása és adaptálása, 2001.

27. Zelenák János: Az AEP-45(B) NATO szabályzat szakfordítása, lektorálása és adaptálása, 2001.

28. Zelenák János: 25/2000. HM rendelet, 1999.

29. Zelenák János: 308/2001. HVKF intézkedés, 2000.

30. Zelenák János: 65/2002. HDMCSF intézkedés (Az MH ABV RIÉR felállítása, működése), 2001.

31. Zelenák János: NBC scenarios for the SAS Panel Working Group, 2002, NATO restricted.

32. Zelenák János: "A Magyar Honvédség vegyivédelmi (ABV) képességének jelenlegi helyzetéről, fejlesztésének és korszerűsítésének várható irányairól, valamint ennek logisztikai vonatkozásairól", tanulmány, 54 old., 2002. Budapest.

33. Nagy Gábor, Bäumler Ede, Csurgai József, Molnár László, Pintér István, Vincze Árpád, Zelenák János, Solymosi József: PIN DIÓDA ALKALMAZHATÓSÁGA PILÓTA NÉLKÜLI LÉGI SUGÁRFELDERÍTÉSBEN, Repüléstudományi Konferencia 2009. április 24., 12 o.

34. Zelenák János, Nagy Gábor, Csurgai József, Molnár László, Pintér István, Baumler Ede, Solymosi József: A LÉGI SUGÁRFELDERÍTÉS KÉPESSÉGEI ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA ELVESZETT, VAGY ELLOPOTT SUGÁRFORRÁSOK FELKUTATÁSA, ILLETVE

SZENNYEZETT TEREPSZAKASZOK FELDERÍTÉSE SORÁN, Repüléstudományi Konferencia 2009. április 24., 14 o.

35. Zelenák János, Pintér István, Csurgai József, Gyulai Gábor, BÄUMLER Ede, SOLYMOSI JÓZSEF: Az MH sugárfelderítő rendszerének elméleti alapjai és a gyakorlati megvalósítás; Teorethical basics and practical application of the radiological reconnaissance system of HDF, pp. 41.: XXXII. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Hajdúszoboszló, 2007. április 17-19., Kiadvány 42. o.

36. BÄUMLER Ede, Zelenák János, Gyulai Gábor, Pintér István, Csurgai József, Svendor György, SOLYMOSI JÓZSEF: Az MH egységes sugárfelderítő rendszerének kifejlesztése; Develeopment of the joint radiological reconnaissance system of HDF, pp. 42.: XXXII. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Hajdúszoboszló, 2007. április 17-19., Kiadvány 43. o.

37. Ács Beatrix, Csók László, Csurgai József, Goricsán István, Halász László, Lajos Tamás, Pintér István, SOLYMOSI JÓZSEF, Vincze Árpád, Zelenák János: ABV-anyagok terjedésének numerikus, számítógépes szimulációja, HADITECHNIKA 1: 13-19 (2005)

38. Baumler Ede, Pintér István, Zelenák János: A légi sugárfelderítés új eszközei; New equipment of radiation reconnaissance from air platforms, Bolyai Szemle, 2004 Különszám

39. Ákos Csécs, József Csurgai, Jenő Suda, Gergely Kristóf, István Pintér, János Zelenák, ABV(NBC)-anyagok épületekben történő terjedésének numerikus szimulációja és modellkisérlete; Numerical simulation and model test of NBC materials in buildings, Bolyai Szemle, 2004 Különszám

40. Ákos Csécs, József Csurgai, Istvan Goricsan, István Pintér, János Zelenák, ABV(NBC)-anyagok városi környezetben és terepen történő terjedésének numerikus számítógépes szimulációja és szélcsatorna kisérletei; Numerical simulation and wind tunel experiment of NBC materials in city environment and open field, Bolyai Szemle, 2004 Különszám

41. Baumler Ede, Pintér István, Zelenák János: A légi sugárfelderítés elvei és gyakorlati megvalósításuk a pellérdi zagytározónál I-II. rész, HADITECHNIKA : (2003/4-2004/1)

42. Baumler Ede, Pintér István, Zelenák János, A légi sugárfelderítés elvei és gyakorlati megvalósításuk a pellérdi zagytározónál, Pro Patria et Scientia Pályázat, ZMNE, I. díj.

43. Rónaky József, Volent Gábor, Petőfi Gábor, Macsuga Géza, Horváth Kristóf, Csurgai József, Zelenák János, Cziva Oszkár, Molnár László, Tóth József, Vincze Árpád, Solymosi József: A PAKSI ATOMERŐMŰ KATONAI TERROR-FENYEGETETTSÉGÉNEK ÉRTÉKELÉSI ELJÁRÁSA, Hírsugár, Az ELFT Sugárvédelmi Szakcsoportjának tájékoztatója, 30. szám (2007. július)

44. Bäumler Ede, Csurgai József, Gyulai Gábor, Pintér István, Solymosi József, Zelenák János: Az MH sugárfelderítő rendszerének elméleti alapjai és a gyakorlati megvalósítás, XXXII. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Hajdúszoboszló, 2007. április 17-19, pp. 42-42

45. Zelenák János, Csurgai József, Halász László, Solymosi József, Vincze Árpád: A LÉGI SUGÁRFELDERÍTÉS KÉPESSÉGEI ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA ELVESZETT, VAGY ELLOPOTT SUGÁRFORRÁSOK FELKUTATÁSA, ILLETVE SZENNYEZETT TEREPSZAKASZOK FELDERÍTÉSE SORÁN

46. Rónaky József, Volent Gábor, Petőfi Gábor, Macsuga Géza, Horváth Kristóf, Csurgai József, Zelenák János, Cziva Oszkár, Molnár László, Tóth József, Vincze Árpád, Solymosi József: A Paksi Atomerőmű katonai terrorfenyegetettségének értékelési eljárása; Estimation procedure for Military terrorist threat of Paks NPP, pp. 39.: XXXII. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Hajdúszoboszló, 2007. április 17-19., Kiadvány 40. o.

47. Rónaky József, Petőfi Gábor, Volent Gábor, Macsuga Géza, Horváth Kristóf, Csurgai József, Cziva Oszkár, Molnár László, Tóth József, Vincze Árpád, Zelenák János, Solymosi József: A nukleáris létesítmények katonai terror-fenyegetettségének értékelése II. A Paksi Atomerőmű katonai terror-fenyegetettségének értékelési eljárása HADMÉRNÖK 2: p. &. (2007)

48. Rónaky József, Macsuga Géza, Volent Gábor, Csurgai József, Cziva Oszkár, Horváth Kristóf, Petőfi Gábor, Vincze Árpád, Zelenák János, Solymosi József: A nukleáris létesítmények katonai terror-fenyegetettségének értékelése I., HADMÉRNÖK 1: p. &. (2007)

Ábrajegyzék

1. ábra: Az R-300-as SCUD rakéta 11
2. ábra: Az R-300-as rakéta ballisztikus pályája 14
3. ábra: A vegyi töltet robbanási mechanizmusa 16
4. ábra: Cseppméret sűrűség- és eloszlásfüggvény 23
5. ábra: A levegő dinamikus viszkozitásának magasságfüggése 27
6. ábra: A maximális felületi koncentráció értéke a kiülepedés során 29
7. ábra: A maximális térfogati koncentráció értéke a kiülepedés során 30
8. ábra: A felszíni szennyezés szórási jellemzői 30
9. ábra: A kiülepedett szennyezés eloszlása 8 km elfogási magasság esetén 32
10. ábra: A kiülepedett szennyezés eloszlása 10 km elfogási magasság esetén 33
11. ábra: A kialakuló szennyezés durva sémája 34
12. ábra: Példa az elfogási pont ábrázolására 38
13. ábra: Példa az elfogási pont és a feltételezett célpont ábrázolására 39
14. ábra: Példa az IP, a PTP és a szélirány ábrázolásra 40
15. ábra: Példa a rakéta elfogás veszélyes területének ábrázolására 41
16. ábra: A felezési rétegvastagság az energia függvényében 51
17. ábra: A mérési pontok adatbázisból történő betáplálásának sémája 62
18. ábra: A mérési pontok megjelenítése 63
19. ábra: A zónák megjelenítése 63
20. ábra: A zónák karakterisztikus pontjainak leválogatása 64
21. ábra: A zónák alászínezése 65
22. ábra: A valós sugárhelyzet értékelése a nyers felderítési adatok térinformatikai környezetben való feldolgozásával (NBC 4-5 konverzió) 66
23. ábra: A légi sugárfelderítő rendszer blokksémája 67
24. ábra: A légi sugárfelderítő feldolgozó program alkalmazói felülete 69
25. ábra: ABV RIÉR gyakorlat, 2005. Június 7-9, Pápa Légibázis 71
26. ábra: Légi sugárfelderítő bemutató és teszt 2005.06.29. Szolnok (nyers felderítési adatok a kezelőfelületen 72
27. ábra: Légi sugárfelderítő bemutató és teszt 2005.06.29. Szolnok, feldolgozott és raszterbe konvertált adatok 72
28. ábra: Raszterbe konvertálás elve 73

29. ábra: Kiindulási ponthalmaz és az eredmény 74
30. ábra: A Delanuay háromszögelés elve 74
31. ábra: A légi sugárfelderítés trajektóriája és a megtalált források helye 77
32. ábra: Légi sugárfelderítés MI-24 78
33. ábra: Légi sugárfelderítés mérési térképvázlata 79
34. ábra: Zónafelosztás 80
35. ábra: A légi és a földi felderítés eredményeinek „összefésülése” és összehasonlítás a szennyező részleg telepítési vázlatával 81

Táblázatjegyzék

1. sz. táblázat: Ballisztikus pályaadatok 14

2. sz. táblázat: Vx fizikai és toxikus tulajdonságai..... 15

3. sz. táblázat: A harci fej és a töltet paraméterei a részecskeméret és a felhő kezdeti paramétereinek meghatározására 21

4. sz. táblázat. Standard Atmoszféra Modell 25

5. sz. táblázat. Az a, b paraméterek meteorológiai körülményektől való függése29

6. sz. táblázat. Maximális behatolási mélység (km) rakéta elfogás esetén..... 37

7. táblázat: Radiológiai események típusai, leírásuk, példák 48

8. táblázat: Gamma energia és a levegő gyengítése viszonya 51

9. táblázat: Radioaktív izotópok értékeléséhez szükséges adatok 53

10. táblázat: A D értékei izotópcsoportokra bontva, a távolság függvényében 100 m-ig 55

11. táblázat: A légi felderítéssel detektálható radioaktív izotópok..... 60

12. táblázat: A légi gyengítési tényezők összehasonlítása..... 61

13. táblázat: Példa az NBC 5 NUC jelentésre 64

14. sz. táblázat. A szennyezett felhő terjedési, ülepedési és szennyezési paraméterei 30 km-es elfogási magasság esetén..... 2

15. sz. táblázat. A szennyezett felhő terjedési, ülepedési és szennyezési paraméterei 20 km-es elfogási magasság esetén..... 4

16. sz. táblázat. A szennyezett felhő terjedési, ülepedési és szennyezési paraméterei 15 km-es elfogási magasság esetén..... 6

17. sz. táblázat. A szennyezett felhő terjedési, ülepedési és szennyezési paraméterei 10 km-es elfogási magasság esetén..... 7

18. sz. táblázat. A szennyezett felhő terjedési, ülepedési és szennyezési paraméterei 8 km-es elfogási magasság esetén..... 8

Melléklet: Terjedési paraméterek 30, 20, 15, 10 és 8 km-es elfogási magasságokra (I. fejezet, 1.4.3. pont):

Magasság **- z -** (m)	Ülepedési sebesség $\mathbf{u_w}$ (m/s)	Ülepedési idő az egyes rétegekben **Δt** (s)	Össz ülepedési idő **t** (s)	Ülepedési úthossz rétegenként **x** (m)	Össz ülepedési úthossz **Σpath** (m)	σ_x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)	Max. koncentráció $\mathbf{C_{max}}$ (mg/dm^3)	A miózis kiváltásához szükséges idő **T** C_{max} – nál (min)	Max. felületi szennyezettség $\mathbf{C_{surf}}$ (mg/m^2)	Re
30000	19,18					32,0	0,0	0,0				2,96E+05
28000	16,44	104,3	104,3	1042,6	1042,6	71,7	57,4	35,9	2,39E-01			2,56E+05
26000	14,06	121,7	225,9	1216,7	2259,3	118,6	94,9	59,3	5,29E-02			2,20E+05
24000	12,01	142,2	368,2	1422,3	3681,6	174,0	139,2	87,0	1,67E-02			1,90E+05
22000	10,25	166,5	534,6	1664,8	5346,4	239,8	191,9	119,9	6,39E-03			1,63E+05
20000	8,73	195,2	729,8	1951,6	7298,0	317,9	254,4	159,0	2,74E-03			1,40E+05
19500	8,39	57,3	787,1	572,8	7870,8	338,7	271,0	169,3	2,27E-03			1,35E+05
19000	8,07	59,6	846,6	595,7	8466,4	360,3	288,3	180,2	1,88E-03			1,29E+05
18500	7,76	61,9	908,6	619,5	9085,9	382,9	306,3	191,5	1,57E-03			1,24E+05
18000	7,46	64,4	973,0	644,3	9730,2	406,5	325,2	203,2	1,31E-03			1,20E+05
17500	7,18	67,0	1040,0	670,0	10400,2	431,1	344,8	215,5	1,10E-03			1,15E+05
17000	6,90	69,7	1109,7	696,8	11097,0	456,7	365,4	228,4	9,25E-04			1,11E+05
16500	6,64	72,5	1182,2	724,8	11821,8	483,5	386,8	241,7	7,80E-04			1,06E+05
16000	6,38	75,4	1257,5	753,5	12575,3	511,4	409,1	255,7	6,59E-04			1,02E+05
15500	6,13	78,4	1335,9	783,8	13359,1	540,5	432,4	270,3	5,58E-04			9,83E+04
15000	5,90	81,5	1417,4	815,2	14174,3	570,9	456,7	285,4	4,73E-04			9,45E+04
14500	5,67	84,8	1502,2	847,8	15022,1	602,6	482,1	301,3	4,03E-04			9,09E+04
14000	5,45	88,2	1590,4	881,8	15904,0	635,7	508,5	317,8	3,43E-04			8,74E+04
13500	5,24	91,7	1682,1	917,0	16821,0	670,2	536,2	335,1	2,93E-04			8,40E+04
13000	5,04	95,4	1777,5	953,8	17774,7	706,2	565,0	353,1	2,50E-04			8,08E+04
12500	4,85	99,2	1876,7	991,9	18766,6	743,8	595,0	371,9	2,14E-04			7,77E+04
12000	4,66	103,2	1979,8	1031,7	19798,3	783,0	626,4	391,5	1,84E-04			7,47E+04
11500	4,48	107,3	2087,1	1072,9	20871,2	823,9	659,1	411,9	1,58E-04			7,18E+04
11000	4,31	111,6	2198,7	1116,1	21987,3	866,6	693,3	433,3	1,35E-04			6,90E+04
10500	4,17	116,0	2314,8	1160,4	23147,7	911,1	728,9	455,5	1,16E-04			6,61E+04
10000	4,05	119,8	2434,5	1197,6	24345,3	957,2	765,7	478,6	1,00E-04			6,33E+04

Magasság - **z** - (m)	Ülepedési sebesség $\mathbf{u_w}$ (m/s)	Ülepedési idő az egyes rétegekben **Δt** (s)	Össz ülepedési idő **t** (s)	Ülepedési úthossz rétegenként **x** (m)	Össz ülepedési úthossz **Σpath** (m)	σ_x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)	Max. koncentráció $\mathbf{C_{max}}$ (mg/dm^3)	A miózis kiváltásához szükséges idő **T** C_{max} – nál (min)	Max. felületi szennyezettség $\mathbf{C_{surf}}$ (mg/m^2)	Re
9500	3,92	123,6	2558,1	1235,6	25580,9	1004,8	803,9	502,4	8,68E-05			6,06E+04
9000	3,81	127,4	2685,5	1274,0	26854,9	1054,1	843,3	527,0	7,52E-05			5,81E+04
8500	3,70	131,3	2816,8	1313,1	28168,0	1105,0	884,0	552,5	6,53E-05			5,58E+04
8000	3,59	135,3	2952,1	1352,8	29520,8	1157,5	926,0	578,8	5,68E-05			5,36E+04
7500	3,49	139,3	3091,4	1393,2	30914,0	1211,8	969,4	605,9	4,95E-05			5,15E+04
7000	3,39	143,4	3234,8	1434,3	32348,3	1267,8	1014,2	633,9	4,32E-05			4,94E+04
6500	3,29	147,6	3382,4	1476,0	33824,3	1325,5	1060,4	662,8	3,78E-05			4,76E+04
6000	3,20	151,8	3534,3	1518,2	35342,5	1385,0	1108,0	692,5	3,32E-05			4,58E+04
5500	3,12	156,1	3690,4	1561,2	36903,8	1446,4	1157,1	723,2	2,91E-05			4,41E+04
5000	3,03	160,5	3850,9	1604,8	38508,6	1509,6	1207,7	754,8	2,56E-05			4,24E+04
4500	2,95	164,9	4015,8	1649,1	40157,7	1574,7	1259,8	787,4	2,26E-05			4,09E+04
4000	2,87	169,4	4185,2	1693,9	41851,6	1641,8	1313,4	820,9	1,99E-05			3,94E+04
3500	2,80	174,0	4359,1	1739,5	43591,1	1710,7	1368,6	855,4	1,76E-05			3,80E+04
3000	2,73	178,6	4537,7	1785,6	45376,7	1781,7	1425,4	890,9	1,56E-05			3,67E+04
2500	2,66	183,3	4720,9	1832,6	47209,3	1854,7	1483,7	927,3	1,38E-05			3,54E+04
2000	2,59	188,0	4908,9	1880,0	49089,3	1929,7	1543,8	964,9	1,23E-05			3,42E+04
1500	2,53	192,8	5101,7	1928,2	51017,4	2006,8	1605,4	1003,4	1,09E-05			3,31E+04
1000	2,47	197,7	5299,4	1977,0	52994,4	2086,0	1668,8	1043,0	9,71E-06			3,20E+04
500	2,41	202,6	5502,1	2026,4	55020,9	2167,4	1733,9	1083,7	8,65E-06			3,09E+04
0	2,35	207,7	5709,7	2076,6	57097,4	2250,9	1800,7	1125,5	7,72E-06	12,946	21,8	2,99E+04

14. sz. táblázat. A szennyezett felhő terjedési, ülepedési és szennyezési paraméterei 30 km-es elfogási magasság esetén

Magasság - **z** - (m)	Ülepedési sebesség $\mathbf{u_w}$ (m/s)	Ülepedési idő az egyes rétegekben **Δt** (s)	Össz ülepedési idő **t** (s)	Ülepedési úthossz rétegenként **x** (m)	Össz ülepedési úthossz **Σpath** (m)	$\boldsymbol{\sigma_x}$ (m)	$\boldsymbol{\sigma_y}$ (m)	$\boldsymbol{\sigma_z}$ (m)	Max. koncentráció $\mathbf{C_{max}}$ (mg/dm^3)	A miózis kiváltásához szükséges idő **T** C_{max} –nál (min)	Max. felületi szennyezettség $\mathbf{C_{surf}}$ (mg/m^2)
20000	8,73					32,0	0,0	0,0			
19500	8,39	57,3	57,3	572,8	572,8	52,8	42,2	26,4	5,99E-01		
19000	8,07	59,6	116,8	595,7	1168,5	74,4	59,6	37,2	2,14E-01		
18500	7,76	61,9	178,8	619,5	1788,0	97,0	77,6	48,5	9,65E-02		
18000	7,46	64,4	243,2	644,3	2432,2	120,6	96,5	60,3	5,02E-02		
17500	7,18	67,0	310,2	670,0	3102,2	145,2	116,1	72,6	2,88E-02		
17000	6,90	69,7	379,9	696,8	3799,0	170,8	136,6	85,4	1,77E-02		
16500	6,64	72,5	452,4	724,8	4523,8	197,6	158,1	98,8	1,14E-02		
16000	6,38	75,4	527,7	753,5	5277,3	225,5	180,4	112,7	7,68E-03		
15500	6,13	78,4	606,1	783,8	6061,1	254,6	203,7	127,3	5,34E-03		
15000	5,90	81,5	687,6	815,2	6876,4	285,0	228,0	142,5	3,81E-03		
14500	5,67	84,8	772,4	847,8	7724,2	316,7	253,4	158,4	2,77E-03		
14000	5,45	88,2	860,6	881,8	8606,0	349,8	279,8	174,9	2,06E-03		
13500	5,24	91,7	952,3	917,0	9523,0	384,3	307,4	192,2	1,55E-03		
13000	5,04	95,4	1047,7	953,8	10476,8	420,3	336,3	210,2	1,19E-03		
12500	4,85	99,2	1146,9	991,9	11468,7	457,9	366,3	228,9	9,18E-04		
12000	4,66	103,2	1250,0	1031,7	12500,3	497,1	397,7	248,5	7,17E-04		
11500	4,48	107,3	1357,3	1072,9	13573,2	538,0	430,4	269,0	5,66E-04		
11000	4,31	111,6	1468,9	1116,1	14689,4	580,7	464,5	290,3	4,50E-04		
10500	4,17	116,0	1585,0	1160,4	15849,8	625,2	500,2	312,6	3,60E-04		
10000	4,05	119,8	1704,7	1197,6	17047,4	671,3	537,0	335,6	2,91E-04		
9500	3,92	123,6	1828,3	1235,6	18282,9	718,9	575,1	359,5	2,37E-04		
9000	3,81	127,4	1955,7	1274,0	19556,9	768,2	614,5	384,1	1,94E-04		
8500	3,70	131,3	2087,0	1313,1	20870,0	819,1	655,2	409,5	1,60E-04		
8000	3,59	135,3	2222,3	1352,8	22222,9	871,6	697,3	435,8	1,33E-04		
7500	3,49	139,3	2361,6	1393,2	23616,1	925,9	740,7	462,9	1,11E-04		
7000	3,39	143,4	2505,0	1434,3	25050,4	981,9	785,5	490,9	9,31E-05		

Magasság **- z -** (m)	Ülepedési sebesség $\mathbf{u_w}$ (m/s)	Ülepedési idő az egyes rétegekben **Δt** (s)	Össz ülepedési idő **t** (s)	Ülepedési úthossz rétegenként **x** (m)	Össz ülepedési úthossz **Σpath** (m)	$\boldsymbol{\sigma_x}$ (m)	$\boldsymbol{\sigma_y}$ (m)	$\boldsymbol{\sigma_z}$ (m)	Max. koncentráció $\mathbf{C_{max}}$ (mg/dm^3)	A miózis kiváltásához szükséges idő **T** C_{max} –nál (min)	Max. felületi szennyezettség $\mathbf{C_{surf}}$ (mg/m^2)
6500	3,29	147,6	2652,6	1476,0	26526,4	1039,6	831,7	519,8	7,84E-05		
6000	3,20	151,8	2804,5	1518,2	28044,6	1099,2	879,3	549,6	6,63E-05		
5500	3,12	156,1	2960,6	1561,2	29605,8	1160,5	928,4	580,3	5,64E-05		
5000	3,03	160,5	3121,1	1604,8	31210,6	1223,7	979,0	611,9	4,81E-05		
4500	2,95	164,9	3286,0	1649,1	32859,7	1288,8	1031,1	644,4	4,11E-05		
4000	2,87	169,4	3455,4	1693,9	34553,6	1355,9	1084,7	677,9	3,53E-05		
3500	2,80	174,0	3629,3	1739,5	36293,1	1424,9	1139,9	712,4	3,05E-05		
3000	2,73	178,6	3807,9	1785,6	38078,7	1495,8	1196,6	747,9	2,63E-05		
2500	2,66	183,3	3991,1	1832,6	39911,3	1568,8	1255,0	784,4	2,28E-05		
2000	2,59	188,0	4179,1	1880,0	41791,3	1643,8	1315,0	821,9	1,98E-05		
1500	2,53	192,8	4371,9	1928,2	43719,5	1720,9	1376,7	860,5	1,73E-05		
1000	2,47	197,7	4569,6	1977,0	45696,5	1800,1	1440,1	900,1	1,51E-05		
500	2,41	202,6	4772,3	2026,4	47722,9	1881,5	1505,2	940,7	1,32E-05		
0	2,35	207,7	4979,9	2076,6	49799,5	1965,0	1572,0	982,5	1,16E-05	8,61	28,6

15. sz. táblázat. A szennyezett felhő terjedési, ülepedési és szennyezési paraméterei 20 km-es elfogási magasság esetén

Magasság **- z -** (m)	Ülepedési sebesség $\mathbf{u_w}$ (m/s)	Ülepedési idő az egyes rétegekben **Δt** (s)	Össz ülepedési idő **t** (s)	Ülepedési úthossz rétegenként **x** (m)	Össz ülepedési úthossz **Σpath** (m)	σ_x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)	Max. koncentráció $\mathbf{C_{max}}$ (mg/dm^3)	A miózis kiváltásához szükséges idő **T** C_{max} –nál (min)	Max. felületi szennyezettsé g $\mathbf{C_{surf}}$ (mg/m^2)
15000	5,90										
14500	5,67	84,8	84,8	847,8	847,8	63,8	51,0	31,9	3,40E-01		
14000	5,45	88,2	173,0	881,8	1729,7	96,8	77,5	48,4	9,70E-02		
13500	5,24	91,7	264,7	917,0	2646,7	131,4	105,1	65,7	3,89E-02		
13000	5,04	95,4	360,0	953,8	3600,4	167,4	133,9	83,7	1,88E-02		
12500	4,85	99,2	459,2	991,9	4592,3	204,9	164,0	102,5	1,02E-02		
12000	4,66	103,2	562,4	1031,7	5624,0	244,1	195,3	122,1	6,05E-03		
11500	4,48	107,3	669,7	1072,9	6696,9	285,0	228,0	142,5	3,80E-03		
11000	4,31	111,6	781,3	1116,1	7813,0	327,7	262,2	163,9	2,50E-03		
10500	4,17	116,0	897,3	1160,4	8973,4	372,3	297,8	186,1	1,71E-03		
10000	4,05	119,8	1017,1	1197,6	10171,0	418,3	334,7	209,2	1,20E-03		
9500	3,92	123,6	1140,7	1235,6	11406,6	466,0	372,8	233,0	8,71E-04		
9000	3,81	127,4	1268,1	1274,0	12680,5	515,2	412,2	257,6	6,44E-04		
8500	3,70	131,3	1399,4	1313,1	13993,7	566,1	452,9	283,1	4,86E-04		
8000	3,59	135,3	1534,7	1352,8	15346,5	618,7	494,9	309,3	3,72E-04		
7500	3,49	139,3	1674,0	1393,2	16739,7	672,9	538,3	336,5	2,89E-04		
7000	3,39	143,4	1817,4	1434,3	18174,0	728,9	583,1	364,5	2,27E-04		
6500	3,29	147,6	1965,0	1476,0	19650,0	786,7	629,3	393,3	1,81E-04		
6000	3,20	151,8	2116,8	1518,2	21168,2	846,2	677,0	423,1	1,45E-04		
5500	3,12	156,1	2272,9	1561,2	22729,4	907,6	726,1	453,8	1,18E-04		
5000	3,03	160,5	2433,4	1604,8	24334,3	970,8	776,6	485,4	9,63E-05		
4500	2,95	164,9	2598,3	1649,1	25983,4	1035,9	828,7	517,9	7,93E-05		
4000	2,87	169,4	2767,7	1693,9	27677,2	1102,9	882,3	551,5	6,57E-05		
3500	2,80	174,0	2941,7	1739,5	29416,8	1171,9	937,5	586,0	5,47E-05		
3000	2,73	178,6	3120,2	1785,6	31202,4	1242,9	994,3	621,4	4,59E-05		
2500	2,66	183,3	3303,5	1832,6	33034,9	1315,8	1052,7	657,9	3,87E-05		
2000	2,59										
		188,0	3491,5	1880,0	34914,9	1390,9	1112,7	695,4	3,27E-05		

Magasság **- z -** (m)	Ülepedési sebesség $\mathbf{u_w}$ (m/s)	Ülepedési idő az egyes rétegekben **Δt** (s)	Össz ülepedési idő **t** (s)	Ülepedési úthossz rétegenként **x** (m)	Össz ülepedési úthossz **Σpath** (m)	σ_x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)	Max. koncentráció $\mathbf{C_{max}}$ (mg/dm^3)	A miózis kiváltásához szükséges idő **T** C_{max} –nál (min)	Max. felületi szennyezettsé g $\mathbf{C_{surf}}$ (mg/m^2)
1500	2,53	192,8	3684,3	1928,2	36843,1	1468,0	1174,4	734,0	2,78E-05		
1000	2,47	197,7	3882,0	1977,0	38820,1	1547,2	1237,7	773,6	2,38E-05		
500	2,41	202,6	4084,7	2026,4	40846,6	1628,5	1302,8	814,3	2,04E-05		
0	2,35	207,7	4292,3	2076,6	42923,1	1712,1	1369,7	856,0	1,76E-05	5,70	37,7

16. sz. táblázat. A szennyezett felhő terjedési, ülepedési és szennyezési paraméterei 15 km-es elfogási magasság esetén

Magasság - z - (m)	Ülepedési sebesség uw (m/s)	Ülepedési idő az egyes rétegekben Δt (s)	Össz ülepedési idő t (s)	Ülepedési úthossz rétegenként x (m)	Össz ülepedési úthossz Σpath (m)	σx (m)	σy (m)	σz (m)	Max. koncentráció Cmax (mg/dm3)	A miózis kiváltásához szüksége idő T Cmax –nál (min)	Max. felületi szennyezettség Csurf (mg/m2)
10000	4,05					32,0	0,0	0,0			
9500	3,92	123,6	123,6	1235,6	1235,6	79,7	63,8	39,8	1,74E-01		
9000	3,81	127,4	251,0	1274,0	2509,5	128,9	103,2	64,5	4,11E-02		
8500	3,70	131,3	382,3	1313,1	3822,6	179,8	143,9	89,9	1,51E-02		
8000	3,59	135,3	517,5	1352,8	5175,5	232,4	185,9	116,2	7,02E-03		
7500	3,49	139,3	656,9	1393,2	6568,7	286,6	229,3	143,3	3,74E-03		
7000	3,39	143,4	800,3	1434,3	8003,0	342,6	274,1	171,3	2,19E-03		
6500	3,29	147,6	947,9	1476,0	9479,0	400,4	320,3	200,2	1,37E-03		
6000	3,20	151,8	1099,7	1518,2	10997,2	459,9	367,9	230,0	9,06E-04		
5500	3,12	156,1	1255,8	1561,2	12558,4	521,3	417,0	260,6	6,22E-04		
5000	3,03	160,5	1416,3	1604,8	14163,2	584,5	467,6	292,3	4,41E-04		
4500	2,95	164,9	1581,2	1649,1	15812,3	649,6	519,7	324,8	3,21E-04		
4000	2,87	169,4	1750,6	1693,9	17506,2	716,6	573,3	358,3	2,39E-04		
3500	2,80	174,0	1924,6	1739,5	19245,7	785,6	628,5	392,8	1,82E-04		
3000	2,73	178,6	2103,1	1785,6	21031,3	856,6	685,3	428,3	1,40E-04		
2500	2,66	183,3	2286,4	1832,6	22863,9	929,6	743,7	464,8	1,10E-04		
2000	2,59	188,0	2474,4	1880,0	24743,9	1004,6	803,7	502,3	8,69E-05		
1500	2,53	192,8	2667,2	1928,2	26672,1	1081,7	865,4	540,8	6,96E-05		
1000	2,47	197,7	2864,9	1977,0	28649,1	1160,9	928,7	580,5	5,63E-05		
500	2,41	202,6	3067,6	2026,4	30675,5	1242,3	993,8	621,1	4,60E-05		
0	2,35	207,7	3275,2	2076,6	32752,1	1325,8	1060,7	662,9	3,78E-05	2,65	62,8

17. sz. táblázat. A szennyezett felhő terjedési, ülepedési és szennyezési paraméterei 10 km-es elfogási magasság esetén

Magasság - z - (m)	Ülepedési sebesség uw (m/s)	Ülepedési idő az egyes rétegekben Δt (s)	Össz ülepedési idő t (s)	Ülepedési úthossz rétegenként x (m)	Össz ülepedési úthossz Σpath (m)	σx (m)	σy (m)	σz (m)	Max. koncentráció Cmax (mg/dm3)	A miózis kiváltásához szükséges idő T Cmax –nál (min)	Max. felületi szennyezettség Csurf (mg/m2)
8000	3,59					32,0	0,0	0,0			
7500	3,49	139,3	139,3	1393,2	1393,2	86,3	69,0	43,2	1,37E-01		
7000	3,39	143,4	282,8	1434,3	2827,5	142,3	113,8	71,1	3,06E-02		
6500	3,29	147,6	430,4	1476,0	4303,5	200,0	160,0	100,0	1,10E-02		
6000	3,20	151,8	582,2	1518,2	5821,7	259,6	207,7	129,8	5,04E-03		
5500	3,12	156,1	738,3	1561,2	7382,9	320,9	256,8	160,5	2,66E-03		
5000	3,03	160,5	898,8	1604,8	8987,8	384,2	307,3	192,1	1,55E-03		
4500	2,95	164,9	1063,7	1649,1	10636,8	449,3	359,4	224,6	9,71E-04		
4000	2,87	169,4	1233,1	1693,9	12330,7	516,3	413,0	258,2	6,40E-04		
3500	2,80	174,0	1407,0	1739,5	14070,3	585,3	468,2	292,6	4,39E-04		
3000	2,73	178,6	1585,6	1785,6	15855,9	656,2	525,0	328,1	3,12E-04		
2500	2,66	183,3	1768,8	1832,6	17688,4	729,2	583,4	364,6	2,27E-04		
2000	2,59	188,0	1956,8	1880,0	19568,4	804,2	643,4	402,1	1,69E-04		
1500	2,53	192,8	2149,7	1928,2	21496,6	881,3	705,1	440,7	1,29E-04		
1000	2,47	197,7	2347,4	1977,0	23473,6	960,6	768,4	480,3	9,94E-05		
500	2,41	202,6	2550,0	2026,4	25500,1	1041,9	833,5	521,0	7,79E-05		
0	2,35	207,7	2757,7	2076,6	27576,6	1125,5	900,4	562,7	6,18E-05	1,62	87,2

18. sz. táblázat. A szennyezett felhő terjedési, ülepedési és szennyezési paraméterei 8 km-es elfogási magasság esetén