



## LÉGVÉDELMI TŰZÉRSÉG SZÁMOKBAN



## MÚLT, JELEN, JÖVŐ



# ***Tartalomjegyzék***

1.	Bevezető .....	4
2.	A drónok megjelenése, elterjedésük, típusaik .....	4
3.	A légvédelmi tüzérség alapelve, műszaki korlátai .....	8
3.1.	A tűzvezetés alapelve .....	8
3.2.	A tűzvezetés korlátai .....	9
3.2.1.	A körkörös hiba / szórás, a szórásközéppont és a célpont helyzete .....	9
3.2.2.	Tűzfegyverek (lövegek) szórása, körkörös hiba .....	10
3.3.	A szórás jelentése, gyakori félreértelmezése (példával) .....	12
3.4.	Mérési hiba, vezérlési hiba hatása a találat esélyére .....	15
3.5.	Tűzvezetés manőverező célpont ellen .....	17
3.6.	A csapatlégvédelem és szárazföldi erők eszközei .....	18
3.6.1.	Önjáró légvédelmi gépjárműk .....	18
3.6.2.	Gyalogsági szállító harcjárművek (lövészpáncélos) .....	20
4.	A légvédelmi tüzérség képességei, modellezés .....	22
4.1.	Célpontok jellemző méretei .....	22
4.1.1.	Drónok .....	22
4.1.2.	Helikopterek .....	23
4.1.3.	Manőverező robotrepülőgépek és siklóbombák .....	24
4.1.4.	Repülőgépek, repülőgép elven működő UAV-k .....	25
5.	A tüzérség működésének matematikai modelljei .....	28
5.1.	„A” és „B” modell, a modellek alapjai .....	28
5.2.	A megsemmisítés valószínűségének meghatározása .....	29
5.2.1.	„A” modell .....	29
5.2.2.	„B” modell .....	30
5.3.	A modell pontossága .....	30
5.3.1.	Mérési hiba .....	30
5.3.2.	Találatok száma a megsemmisítéshez .....	30
5.3.2.1.	UAV quadcopterek, octocopterek .....	30
5.3.2.2.	Hajó elleni rakéták (ASM) és robotrepülőgépek (CM) .....	31
5.3.2.3.	Repülőgépek, helikopterek .....	31
5.3.3.	Megsemmisítés valószínűsége mozgó célpont esetén .....	31
5.3.4.	Szórás figyelembe vétele eltérő tűzfegyverek esetén .....	32

6.	Vizsgálat esetek, kapott eredmények.....	33
6.1.	AH-1 Helikopter .....	33
6.1.1.	ZsSzU-23 Silka .....	33
6.1.1.1.	Referencia vizsgálat .....	33
6.1.1.2.	„A” modell .....	35
6.1.1.3.	„B” modell.....	38
6.1.2.	Lövészpáncélosok .....	44
6.1.2.1.	„A” modell .....	45
6.1.2.2.	„B” modell.....	46
6.1.2.3.	Következtetések .....	47
6.2.	Quadcopterek, kisméretű UAV eszközök .....	48
6.2.1.	„ZsSzU-23-4 Silka .....	48
6.2.1.1.	„A” modell .....	48
6.2.1.2.	„B” modell.....	50
6.2.2.	Lövészpáncélosok .....	52
6.2.2.1.	„A” modell .....	52
6.2.2.2.	„B” modell.....	53
6.3.	Szuperszonikus rakéták, kisméretű bombák .....	56
6.3.1.	„A” modell .....	56
6.3.2.	„B” modell .....	56
6.3.2.1.	Phalanx CIWS.....	57
6.3.2.2.	Goalkeeper .....	59
6.3.2.3.	AK-630, Koritk/Kasztán .....	60
6.4.	A-4 Skyhawk repülőgép és ZsSzU-23-4 Silka.....	65
7.	Géppuskák, gépkarabélyok.....	68
8.	Nem hagyományos megoldások, programozott lőszeresek .....	69
8.1.	A lőszeresek működési elve, források .....	69
8.2.	Matematikai modell .....	72
8.3.	Számítások Skyranger rendszerre.....	73
8.3.1.	Quadcopterek, kisméretű UAV eszközök .....	73
8.3.2.	Skyranger rendszer hajófedélzeti CIWS rendszerként .....	76
9.	Összefoglalás .....	80
10.	Köszönetnyilvánítás .....	82



## 1. Bevezető

A Haditechnikai Összefoglaló<sup>1</sup> 6.2.4.8. fejezetében a pilóta nélküli repülőeszközök elleni (UAV és UCAV)<sup>2</sup> lehetséges megoldások terén elsősorban az irányított rakéták és gránátok kerültek szóba. A hagyományos légvédelmi tűzéréség alapvető működési elve és korlátai a légvédelmi rendszereknél csak igen vázlatosan kerültek bemutatásra, és csupán említve volt azok elégtelensége a csapatlégvédelmet bemutató fejezet végén. Ez az írás pótolja a nagyobb lélegzetvételi mű hiányosságait.

A cikk elsődleges témája a különféle (gyorstüzelő) lövegek és fegyverrendszerek drónok elleni használhatósága. Mivel a matematikai modellezés már lehetővé teszi, a vizsgálat tárgyát képezi a helikopterek elleni hatásosságuk, a hajókra telepített gépágyús közel-légvédelmi rendszerek (CIWS)<sup>3</sup> hatékonysága, és – rendkívül korlátozottan – a hagyományos repülőgépek elleni felhasználhatóságuk is.

## 2. A drónok megjelenése, elterjedésük, típusaik

Az elmúlt években a számítástechnika, a digitális vezérlés, illetve az egyre könnyebb és jobb képességű digitális kamerák megjelenésével egyre fontosabb szerepet töltenek be a harctéri felderítés terén az (egyre kisebb) drónok, quadcopterek, illetve octocopterek. Kis méretük miatt ezek felderítése azonban nem egyszerű. Befoglaló méreteiket tekintve az olyan, 1 vagy akár 0,5 méternél kisebb quadcopterek is elterjedtek már, amiket egy ember képes magával vinni és bárholnan útjára bocsátani, és már repülőgépelven működő drónok is találhatók ebben a méretkategóriában.

E villanymotorral üzemelő, kis repülőeszközök észlelése/felderítése vizuálisan, radarral vagy infravörös érzékelőkkel sem egyszerű. A felhasznált szerkezeti anyagok és méretük, ebből fakadóan kis radarkeresztmetszetük<sup>4</sup> miatt radarokkal a kisméretű drónok felderíthetősége nem tekinthető általánosan megoldottnak, csendes üzemük miatt hang/hallás alapján sem lehet észlelni azokat. Egyes drónok teljesen autonóm módon, programozott útvonalon is képesek repülni, azaz észlelhető külső rádiókommunikáció nélkül is működhetnek.



*Balra fent kisméretű quadcopter, jobbra fent MQ-9 Reaper UCAV.*

Az MQ-9 Reaper kategóriájú drónok nem jelentenek megoldhatatlan fenyegetést a jelenleg is szolgálatban álló (csapat)légvédelmi rendszereknek, mert ezek a hagyományos repülőgépekkel azonos és/vagy összemérhető méretűek.

<sup>1</sup> <https://htka.hu/2017/12/20/haditechnikai-osszefoglalo-2017-es-kiadas/>

<sup>2</sup> Unmanned Air Vehicle, Pilótanélküli Légijármű

Unmanned Air Combat Vehicle, Pilótanélküli Harci Légijármű

<sup>3</sup> Close-in weapon system Közellégvédelmi Rendszer

<sup>4</sup> <https://htka.hu/2017/12/20/haditechnikai-osszefoglalo-2017-es-kiadas/>, 4.4. fejezet.



Az MQ-9 kellően nagy célpont (11 méter hosszú, fesztávolsága 20 méter) a radarvezérlésű rendszereknek (pl. 9K331 Tor-M1), viszont repülési magassága lehetővé teszi, hogy a kis hatótávolságú légvédelmi tüzérség hatásos megsemmisítési zónáján kívül maradjon. A vállról indítható légvédelmi rakéták ellen is viszonylag védett a repülési magassága és kis infravörös képe miatt, de így is lehetséges elpusztítani, ha botor módon azok megsemmisítési zónájába süllyedne a gép.

Az egyre nagyobb problémát a rendkívül kis méretű és egyre többet tudó drónok jelentik, azaz a kézből

indítható kisméretű repülőgépek (pl. a RQ-11 Raven), illetve a quadcopterek. Ezek felderítése és megsemmisítése az igazán nagy kihívás, főleg, ha nem háborús övezetről van szó, hanem békeidős városi környezetről. (A cikk a csapatlégvédelem és harctéri drónvadászat kérdését vizsgálja.)

A civil drónok elterjedése azért jelent egyre nagyobb fenyegetést, mert egyfelől olcsón elérhetőek a piacon, másfelől (még) nincsenek rendesen felkészülve rájuk a hadseregek, így ezek ideális gerilla- vagy alacsony-intenzitású hadviselő eszközök. A jövőben valószínűleg lehetővé válik tömeges katonai alkalmazásuk, nem csak felderítésre, de akár támadó feladatokra is. Csapásmérőként történő használatuk afféle öngyilkos eszközként, tömegesen támadva lehet kiemelten fontos, de kellően „puha” célpontokat, pl. légvédelmi rendszerek radarjait is támadhatják velük.<sup>5</sup> A tűzvezetéshez szükséges radar kiiktatásával így a nagy hatótávolságú légvédelmi rendszerek üzemképtelenné válnak és könnyedén megsemmisíthetőek, ha nem védi őket más kis hatótávolságú rendszer.

Nemzetállamok fegyveres erői is alapvetően azért alkalmazzák sokszor e civil eszközöket, mert könnyen hozzáférhetőek, és az általuk nyújtott információ sokszor azonos a sokkal drágább (és nem mindig kéznél lévő) katonai felderítő drónok által szolgáltatottakkal – még ha adott esetben az adatforgalom titkosítása és/vagy zavarvédeltsége nem is megoldott. A megfelelő titkosítás persze biztosítható hardveres és szoftveres oldalról is, de ettől az eszközök költsége növekszik, ahogy az ellenük való védekezés költsége is nő elektronikai hadviselési oldalról.

Egy RQ-11 Raven kézből indítható drón ára kb. 20 000 dollár, bár 2015. előtti verziók kamerái csak előre néznek. Mivel a drón repülőgép-elven működik, így kevésbé használható, mint egy civil quad- vagy octacopter, amely mégis csak tizedannyiba kerül. Ugyan az RQ-11-nek léteznek már újabb verziói forgatható kamera-toronnyal, de azok még drágábbak.

<sup>5</sup>

<https://www.youtube.com/watch?v=DjUdVxJH6yl>

Jelenleg jellemzően elektronikai zavarással operálnak a civil drónok és rádió-távírányítású gépek ellen, mert nem opció ezek tűzfegyverekkel leküzdése városi környezetben – ha egyáltalán elvi szinten lehetséges. Ahogy a drónok egyre intelligensebbé válnak, és képesek lesznek saját erőből felismerni és követni célpontokat, úgy autonóm üzemmódban repülve egyszerűen nem lesz zavarható kommunikáció, mert külső irányítás nélkül tevékenykedhetnek. Egyedüli megoldás a GPS vagy más műholdas navigációs rendszerek zavarása lenne, mert ezek nélkül a drónok nem képesek autonóm módon repülni. De ez nem egyszerű feladat, ezenfelül a saját erőket is megfoszthatja a GPS-alapú navigációtól.

Elektronikai zavarás esetén tehetetlenségi navigációval és alakfelismeréssel is lehetséges lehet még a feladatvégrehajtás, pl. egy öngyilkos drón esetén, ami felismeri egy harceszköz (pl. radar) alakját, majd annak nekirepülve kis mennyiségű robbanóanyaggal is képes lehet azt üzemképtelenné tenni. Az elektronikai zavarás így csak megbénítani, illetve korlátozni képes a drónok hatékony használatát, míg a kívánatos megoldás azok megsemmisítése lenne.

*A drónok elleni hadviselést kétfelé kell bontani. A nagyobb méretű drónok a légvédelem hagyományos feladatkörébe tartoznak, ezeknél század- vagy zászlóalj-szinten jelenlévő légvédelmi egység által biztosított fedezetről kell gondoskodni. Kis méretű drónok esetében szakasz-, vagy akár rajszinten is szükséges lehet a védelem biztosítása, a dedikált feladatkörű légvédelmi egységeket mellőzve. Ez „hard-kill”, vagyis fizikai megsemmisítés szintjén nehezen megvalósítható, így marad a másik út, a „soft-kill”.*

*A „soft-kill” megoldások általában rádiózavarásra épülnek, és csak azon drónok ellen igazán hatásosak, amelyek erre érzékenyek, azaz nincs zavarvédett adatkapcsolatuk, ami a civil, kereskedelmi drónoknál általános. A kereskedelmi drónok, ha elvesztik a navigációs műholdak és az irányítópult jeleit is, általában azonnal leszállnak. A rádió-távírányítású drónok ellen az elektronikai hadviselés (EW) lehet, hogy hatásosabb lesz, mint a kinetikai / irányított energiafegyverek általi megsemmisítés, de ez ma még egy eldöntetlen kérdés. Viszont tény, hogy a kis drónok ellen is egyre inkább a lézerfegyverekben keresik a megoldást a nyugati hadseregek, amelyek viszont járműre telepített eszközöket feltételeznek.*

*Cifka Miklós kiegészítése*

A probléma, hogy jelenleg alig létezik ellenük hatásos fegyver. Néhány kivételtől eltekintve a meglévő csöves lőfegyverekkel a kis drónok leküzdhetősége nagyon korlátozott, amint az a lentiekben látni fogjuk. A légvédelmi tüzérség használata csak a harcmezőn reális lehetőség, de pl. egy városi környezetben légvédelmi géppágyút használni nem lehet, hiszen a lövedékek nagy része célt tévesztve mást talál el, vagy valahol távolabb ér földet, ott okozva kárt akár épületben, akár emberéletekben. Repeszkepőző lőszeresek esetén a repeszek járulékos károkozása miatt azok használata szintén nehezen elképzelhető. A kiemelten fontos személyek elleni támadás drónnal már nem a fikció vagy regények műfaja: ilyen próbálkozásra már sor került.<sup>6</sup>

A drónok a radar-, infravörös vagy elektro-optikai vezérlésű légvédelmi rakéták számára is jellemzően túl kis célpontot jelentenek.

A drónok ellen kifejlesztett, dedikáltan a cél megsemmisítésével járó megoldások egyelőre váratnak magukra. A legalább koncepció szintjén létező megoldások mind műszakilag, mind költségoldalról alkalmatlanok tömeges drónalkalmazás esetén, bár néhány drón megsemmisítése rövid időn belül lehetségesnek tűnik, ha azok felderítése megoldott. Az ötödik lábjegyzetben látható drónraj megsemmisítésére jelenleg nem létezik semmilyen módszer reális erőforrásokkal számolva.

<sup>6</sup>

<https://www.rt.com/news/435133-maduro-venezuela-explosion-address/>

A nagyobb hatótávolságú, komolyabb légvédelmi eszközökkel – már, ha egyáltalán alkalmasak lennének a célra – vállalhatatlanul drága lenne az olcsó quadcopterekre, de még a néhány tízezer dolláros drónokra is vadászni, amennyiben azokat tömegesen alkalmazzák.

*Az RQ-11 kapcsán említést érdemel az ukrán fiaskó.<sup>7</sup> Az USA Ukrajnának adott katonai támogatási csomagban több RQ-11B drónt is felajánlott, amikről hamar kiderült, hogy se nem titkosított, se nem zavarvédett az adatkapcsolatuk. Ez azt jelenti, hogy az ezekre felkészült orosz szeparatista erők konkrétan egyfelől ugyanazt látják, mint a drón irányítója, másfelől akkor vágják el az adatkapcsolatot, amikor akarják. Persze ez nagy blama, de azt feltételezni, hogy örökké ilyen áldott helyzet marad az merő naivitás.*

*Cifka Miklós kiegészítése*

Fontos megkülönböztetni a drónokat a direkt rádió-távírányítású (radio controlled, azaz RC) repülőeszközöktől. A drón az, amit nem direkt módon vezérel az operátor. A RC gépeknél az operátor kezeli a kormánysszerkeket és a motor-fordulatszámot, nincs robotpilóta. A RC hobbi gépek már 30+ éve is elterjedtek voltak, amikor a mai értelemben vett drónoknak híre-hamva sem volt még. A drón lényege, hogy az operátor kiadja a parancsot, hogy mit szeretne, majd a drón vezérlése kiszámolja, hogy ehhez mit szükséges tennie – és végre is hajtja a feladatot. Ehhez szükséges valamilyen műholdas navigációs rendszer elérhetősége, ami alapján a drón képes meghatározni a saját pozícióját, és ez alapján repülni.

*A műholdas navigáció nem csak az amerikai GPS rendszerrel lehetséges, de annak hosszú ideig tartó egyeduralma miatt a rendszer tulajdonneve a köznyelvben szinonimájává vált ennek a navigációs módszernek. Ezzel szemben Oroszország is rendelkezik ilyennel (GLONASS), az európai Galileo és a kínai Baidou2 rendszerek is párhuzamosan léteznek az amerikai mellett. A drónok szempontjából ez azért fontos, mert a DJI és Amafi gyártók drónjai már GPS/GLONASS párost használnak. Feltehetően hamarosan a Galileo és a Baidou 2 is belép a piacra, tehát egyre összetettebb feladat lesz ezek együttes zavarása.*

<sup>7</sup> <https://www.reuters.com/article/us-usa-ukraine-drones-exclusive-idUSKBN14A26D>

### 3. A légvédelmi tüzérség alapelve, műszaki korlátai

#### 3.1. A tűzvezetés alapelve

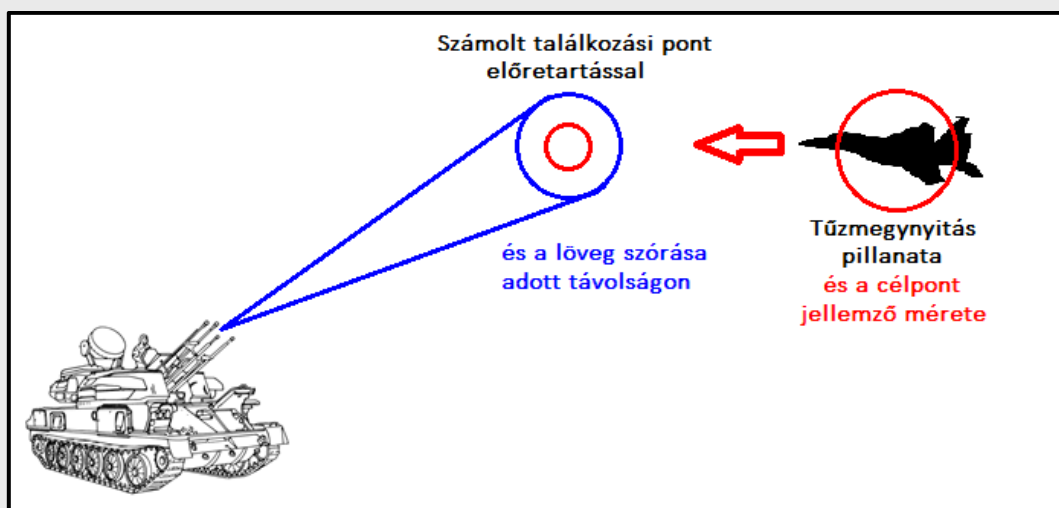
A légvédelmi tüzérség jellemzően mozgó célpontokra lő, amik akár manőverezhetnek is, bár egyes repülőeszközök képesek akár egy pont felett is függeszkedni, mint például a helikopterek és quadcopterek. A tűzvezetés feladata a szükséges előtartás kiszámítása a célpont mozgásparamétereinek függvényében. Mozgó célpont esetén nem a célpontra lőnek, hanem arra a pontra, ahol a célpont majd a tűzkiváltás után találkozik a kilőtt lövedékekkel.

A kilőtt lövedékek a tüzelést követően adott idő alatt érnek el adott távolságba. Ezen idő alatt a célpont mozog adott irányba, adott sebességgel, ám manőverező célpont esetén ez a kettő nem állandó érték. Teljesen mindegy, hogy csatahajó lő csatahajóra nagy kaliberű ágyúkkal, vagy légvédelmi gépágyú repülőgépre vagy drónra: a tűzvezetés alapelve megegyezik.

Ismerni kell a célpont távolságát, helyzetét (oldalszög és helyszög), illetve mozgásparamétereit (sebesség, irány), illetve a lövedékek ballisztikáját, hogy a lövedék röppályája és a célpont pályája keresztezze egymást, és a találkozási pont ne csak helyben, de időben is folyamatosan átfedésben legyen. A légvédelmi rendszer tűzvezető rendszere ismeri a saját kilőtt lövedék ballisztikáját. Az egyenlet másik oldalát a célpont helyzete és mozgásparamétereit adják meg.

Álló célnál a helyzet kedvezőbb: a célpont helye fix, csak a távolságmérésnek van hibája, illetve a pozíció mérésnek szöghibája (oldal és helyszög = bal/jobbs és le/fel irányok), de sebesség és haladási iránynak nincs mért/számolt hibája.

A mai korszerű eszközöknél a tűzvezető számítógép valós időben kapja az adatokat a jellemzően radarral történő mérésekből, de elképzelhető manuális célkövetés, és lézeres távolságmérés is. Az első esetben nem szükséges külön operátori tevékenység a céladatok biztosításához, a rendszer pontossága nem függ az operátor ügyességétől.



3.1. ábra A tűzvezetés elvi sémája

A 3.1. ábrán látható a tűzvezetés elvi sémája. A tüzelés pillanatában ismert a célpont iránya a járműhöz képest, a haladási iránya és sebessége ebből számolja a rendszer a számított találkozási pontot a lövedékek ballisztikájának ismeretében. A célpont jellemző mérete, a lövedékek szórása (a távolság függvényében), és a vezérlés pontossága határozza meg a találat esélyét, ami természetesen függ a leadott lövések számától is.



A példában a löveg szórása nagyobb (kék kör), mint a célpont jellemző mérete (piros kör). Nehéz elképzelni olyan esetet, amikor a szórás kisebb lenne, mint a célpont mérete.

A szél miatt számolni kell annak eltérítő hatásával, de ez a mérés ellenére is csak egy átlagbecslés, mert csak a légvédelmi fegyvert hordozó járműnél mérhető tüzeléskor. Kilométeres távolságleptékben semmi sem garantálja a szélesség állandóságát sem irányban, sem sebességben, sem időben. Ezen semmilyen ismert módszer nem tud segíteni, így ez a tényező mindenképp véletlenszerű hibákkal terheli a tűzvezetést: a lőtávolság növekedésével egyre súlyosabb hibát visz a rendszerbe.

Álló célpont esetén magára a célpontra tüzelnek, a számított becsapódási szórásképen ennek közepén kell lennie. Mozgó célpontnál a fegyver szórásképet kell rajta tartani a célpont és a kilőtt „lövedékfolyam” várható találkozási helyén.

## **3.2. A tűzvezetés korlátai**

### **3.2.1. A körkörös hiba / szórás, a szórásközéppont és a célpont helyzete**

A légvédelmi rendszerek minden műszaki erőfeszítése arra irányul, hogy a lövedékfolyam szórásközéppontja mindig a célpont várható helyére essen. Ehhez mérik a célpont távolságát, helyzetét (oldalszög és helyszög, vagy egyszerűbben bal/jobbs és fel/le irányokat), és mozgásparamétereit (iránya és sebessége), de ezek a mérések hibákkal terheltek.

Manőverező célpont ellen a pontos tűzvezetés nem lehetséges, mert a kitérő manőverek előrejelzése lehetetlen. Ha akár csak folyamatosan változó túlterhelésű, vagyis eltérő fordulósugarú kört hajt végre a célpont, akkor az ütközési pontnak csak a becslése lehetséges – de ez nem pontos mérés. Ennek oka a lövedék repülési ideje. Minél nagyobb a lőtávolság, a lövedék kilövése és a találkozás között egyre több idő telik el, megváltoznak a célparaméterek, azaz a célpont már nem ott lesz, ahova elé céloztak néhány másodperccel korábban.

Még prolongálással sem lehet olyan pontos eredményt kapni, hogy a tűzfegyver szórását is figyelembe véve remény legyen a találatra. A célpont múltbeli paramétereiből persze lehet becsülni a mozgásparamétereit, de ez csak becslés/előrejelzés. Ha forduló hajt végre a célpont-repülőgép, vagy irányt változtat egy drón, annak kezdő- és végpontját a rendszer nem tudja meghatározni, csak utólag mérni. Tehát a tűzvezetés mindig a célpont viselkedését tudja leereagálni, de nem tudja előre jelezni.

Amennyiben a forduló hosszú ideig tart és nagyjából állandó fordulósugarú, akkor meg lehet becsülni a pályáját. A légvédelmi rakétáknál ez az időkézés a rendszerben nem probléma, mert rakéták indítás után is irányítottak, így képesek a helyesbítésre – azonban egy kilőtt, irányítatlan lövedék erre képtelen. A tüzelés után megváltozott célparaméterekkel szemben a légvédelmi géppályák tehetetlenek.

Az más kérdés, hogy egy kitérő manővereket végrehajtó repülőgép személyzete nemigen tud a feladatára koncentrálni, tehát a légvédelmi ágyú ellátja lokális pontvédelmi feladatát. Képes a támadást megghiúsítani, amennyiben a támadónak olyan közelségbe kell menni a célpont-hoz, ami már a légvédelmi ágyú effektív lőtávolságában van.

A precíziós támadófegyverek megjelenése előtt, nem irányított bombák és rakéták esetén ez egyáltalán nem volt ritka eset: ezek alkalmazási távolsága jellemzően 2 km alatt volt, tehát a légvédelmi géppályák vagy a

kisebb tűzgyorsaságú ágyúk hatásosan tudták megakadályozni feladatának végrehajtásában a repülőgépeket még akkor is, ha éppen nem is sikerült lelőni azokat.<sup>8</sup>

Ez olyannyira igaz volt, hogy a vietnámi háborúban az USA elvesztett kb. 3700 db merevszárnyú harci gépe közül mindössze kb. 200 darabot lőttek le légvédelmi rakétával, kb. 80 darabot vadászgépekkel – és úgy 2200 darabot a légvédelmi ágyúkkal. (A fennmaradó veszteség balesetek és egyéb események, pl. vietnámi aknavetős támadás következtében elvesztett, illetve a javíthatatlannak ítélt gépeket takarja.)

A mai, korszerű repülőgépek ellen már nehéz elképzelni olyan harcászati helyzetet, ahol azokra légvédelmi gépágyúk tüzelhetnének. A precíziós csapásmérő fegyverek akár 6-8 km magasságból is alkalmazhatóak, és akár 10-50 km vagy ezt is meghaladó távolságból. De a légvédelmi gépágyúk pusztán jelenlétükkel továbbra is fenyegetést jelentenek, ezért hatásos tüzelési magasságuknál kisebb magasságon ritkán repülnek támadó gépek. (Ez igaz a vállról indítható légvédelmi rakétákra is.)

### 3.2.2. Tűzfegyverek (lövegek) szórása, körkörös hiba

A tűzfegyverek (lövegek) fix beállítás esetén nem egy pontra lőnek, hanem szórással rendelkeznek. Ez azt jelenti, hogy azonos körülmények esetén tüzelve sem ugyanarra a pontra csapódnak be a lövedékek, hanem a megcélzott pont körül adott távolságban bizonyos valószínűséggel.<sup>9</sup> A szórás / körkörös hiba mértéke függ az adott fegyver kaliberétől, tűzgyorsaságától, de a lőtávolságától is – tehát ez a hatás pont ugyanúgy hatással van egy karabélyra, légvédelmi ágyúra vagy csatahajó lövegére is.<sup>10</sup>

Szórás alatt leggyakrabban a körkörös hibát (CEP)<sup>11</sup> értjük. Ennek értelmezése nem minden forrásnál azonos, így erre minden esetben figyelni szükséges. Gyakran előfordul, hogy egyszerűen szórásnak hívják ezt, holott ez nem azonos a szórás matematikai fogalmával. A CEP értékből visszaszámolható a normális eloszlás esetén szórásnak nevezett érték, lásd később. A CEP érték annak a körnek a sugara, amin belül teljesen azonos feltételek mellett tüzelve, a tüzelések számától függetlenül az adott sugarú körön belül lesz a kilőtt lövedékeknek a fele.

(Az, hogy a lövedékek eloszlása milyen a területen belül, az szintén egy érdekes kérdés, lásd később.)

Egyes tűzfegyverek esetében a CEP értékre nem méterben kifejezett sugár értéket, hanem szögmásodperc (MOA, minute of angle) vagy miliradián (mil) értéket adnak meg adott távolságon (vagy sokszor távolság nélkül, de ez egészen biztosan nem írható le egyetlen fix értékkel).<sup>12</sup> 1 mil = 3,38 MOA. 1 mil körkörös hiba 1000 méter távolságon 1 méter sugarú szórásképet takar. A mil-MOA átváltással 1 MOA szórás 0,295 méter sugarú szórásképet ad 1000 méter távolságon.<sup>13</sup>

<sup>8</sup> <https://youtu.be/vZW6-x8Rv2I?t=177>

<sup>9</sup> <https://youtu.be/ruC4lhTxLqs?t=645>

<sup>10</sup> A tüzérségi lövegeknél a felszínre vetített szórásképet elnyújtott ellipszis alakú.

<sup>11</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Circular\\_error\\_probable](https://en.wikipedia.org/wiki/Circular_error_probable)

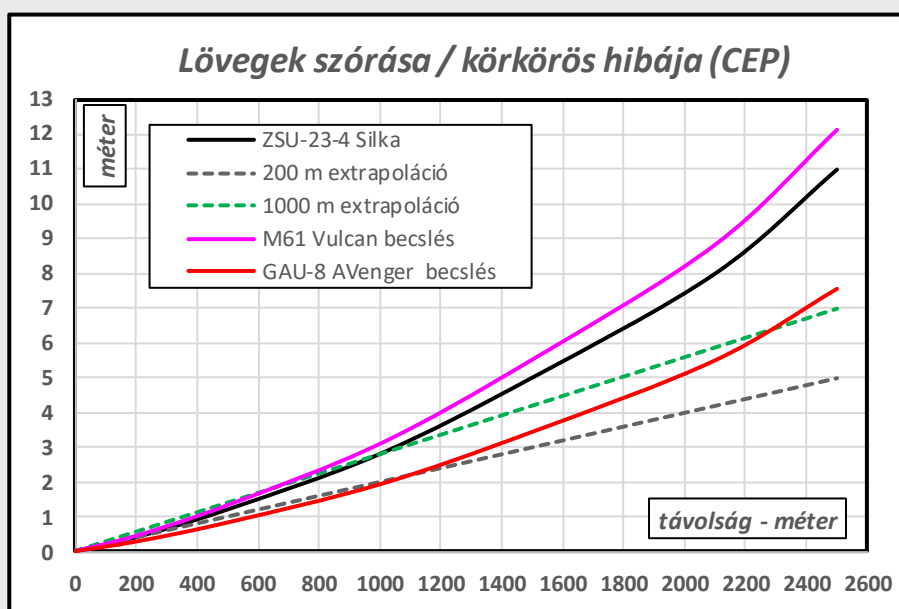
<sup>12</sup> <https://www.traditionaloven.com/tutorials/angle/convert-angular-mil-unit-to-angle-unit-minute.html>

<sup>13</sup> A mesterlövész lőszerek és fegyverek körkörös hibája 1000 méteren kb. 1-3 MOA, ami 0,295-0,885 méter sugarú kört eredményez.

A 3.1. táblázatban látható értékek szerint a ZsSzU-23 Silka önjáró lövegél 1000 méteren 2,8 méteres a körkörös hiba, tehát az ebből számolt MOA érték 9,46, azonban mivel a távolsággal nem állandó a szórás kép, ez nem az egész tartományra érvényes érték.

<b>ZsSzU-23-4 Silka lövegének körkörös hibája (szórása)<sup>14</sup></b>					
<b>Lövedék repülési ideje</b>	<b>Lőtávolság</b>	<b>Lövedék sebesség</b>	<b>körkörös hiba / CEP</b>		
[s]	[m]	[m/s]	[m]	[mil]	[MoA]
0	0	980	0	0,00	0,00
0,2	200	860	0,4	2,00	6,76
0,6	500	700	1,2	2,40	8,11
1,4	1000	520	2,8	2,80	9,46
2,5	1500	400	5	3,33	11,27
4,17	2100	310	8	3,81	12,88
5,5	2500	280	11	4,40	14,87

3.1. táblázat A Silka lövegének ballisztikai jellemzői



3.2. ábra A Silka lövegének szórása távolság függvényében, becslés M61 Vulcan szórására

A 3.2. ábrán látható piros szaggatott vonal az első 200 méter CEP értékével történő extrapolálás azt feltételezve, hogy szórás a távolsággal állandó. A diagram eltérése ettől felfelé azt mutatja, hogy a lőtávolság növekedésével, ahogy csökken a lövedék sebessége, a körkörös hiba is egyre inkább nő.

Valószínűleg azért 1000-1200 méter körüli lőtávolsága adják meg a CEP<sup>15</sup> (vagy más konfidencia értéken a hiba) értéket, mert az nagyon jól közelíti a 0-1200 méter közötti átlagot (és pesszimista becslést jelent 1000 méter alatt, mert a szórás annál jobb), de még 1500-1700 méteres lőtávolság esetén is alig 25%-ot tér el a valós körkörös hiba az extrapolált értéktől. A fenti diagramon az 1000 méterre vonatkozó CEP érték

<sup>14</sup>

<https://youtu.be/HaYCjfvHlsQ>

Jól látható a lövedékek szórása a videón. A több méter magas célok körül repül el a lövések többsége. Ez a 2K22M Tunguszka esetén sincs másként.

[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=179&v=GVPsBxkDLi0](https://www.youtube.com/watch?time_continue=179&v=GVPsBxkDLi0)

A táblázat értékei a légvédelmi rendszer modellező szimulátorból származnak.

<https://sites.google.com/site/samsimulator1972/home>

<sup>15</sup>

Kézfegyverekre szokták megadni vagy gyorstűzelő géppágyúra.

extrapolálását a zöld színű szaggatott egyenes mutatja. A lövészpáncélosok lövegénél is valószínűleg az átlagos (vagy maximális) értékénél adják meg a körkörös hibát.

Érdemes a fenti értékeket összevetni más, ismertebb gépágyúk adataival. Az A-10 Thunderbolt II támadó/csapásmérő repülőgép GAU-8 Avenger gépágyújának a Wikipedián elérhető adatok szerint 1200 méter távolságban 5 mil a szórása, ami 16,88 MOA, de ezt úgy adja meg, hogy a lövedékek 80%-a esik ekkora területen belül – tehát ez nem a CEP érték, annál nagyobb konfidencia intervallumhoz tartozik. Feltételezve, hogy löveg szórásképe a normális eloszlásnak<sup>16</sup> megfelelő, az 50%-os konfidenciaszinthez tartozó szórás érték ennek a fele,<sup>17</sup> csak 2,5 mil. Ezzel a GAU-8 CEP értéke 1200 méteren lényegében azonos a ZsSzU-23-4 Silka lövegével, ami 3 méter nagyságú 1200 méter távolságon.

Az M61 Vulcan gépágyú szórása 8 mil (27 MOA) 1200 méteren, de mivel ez is 80% konfidencia értékre vonatkozik, 50%-ra számolva itt is feleződik az érték 4 mil (13,5 MOA), ami valamivel rosszabb, mint a Silka esetén. A fenti diagramban látható távolság-szórás görbét úgy becsültük a két utóbbi gépágyú számára, hogy az ismert nagyságú szórás értékeken átmenjen a görbe, és jellegre a Silka lövegének szórását kövessék.

*A valóságban a Silka szórásképe nem állandó, és nem ideális kör formájú, mert a négy darab cső nem egyforma szórás kép szerint tüzel a helyszög (fel-le irány) függvényében. Kis magasságon repülő cél esetén vízszintes ellipszis a szórás kép – úgysem kezd a cél függőleges manőverbe. Nagyobb helyszögnél a szórás kép eleinte kör, majd függőleges ellipszis formájú.*

*Hpasp kiegészítése*

Drónok esetén a szóba jöhető, komoly tűzvezetéssel bíró eszközök a gyalogsági szállító harcjárművek (IFV) fő lövegei, amik jellemzően 25-40 mm űrméret közé esnek. Ezekről kevés adat áll rendelkezésre, de átlagosan 0,5-1,0 mil értéket adnak meg űrmérettől és lőszertípustól függően – viszont ezek tűzgyorsasága számottevően alacsonyabb a légvédelmi gépágyúhoz képest.

### 3.3. A szórás jelentése, gyakori félreértelmezése (példával)

A különböző fórumok hozzászólásaiban gyakori és visszatérő téma a tűzfegyverek szórásának az a félreértelmezése, hogy a nagyobb szórás kifejezetten előnyös, ha manőverező célról van szó, vagy úgy általában is előnyös mozgó célpontok ellen. Ez így önmagában nem igaz, sőt: még repülőgép méretű célpontok esetén is csak rendkívül korlátozottan, nemhogy kisméretű drónokra nézve.

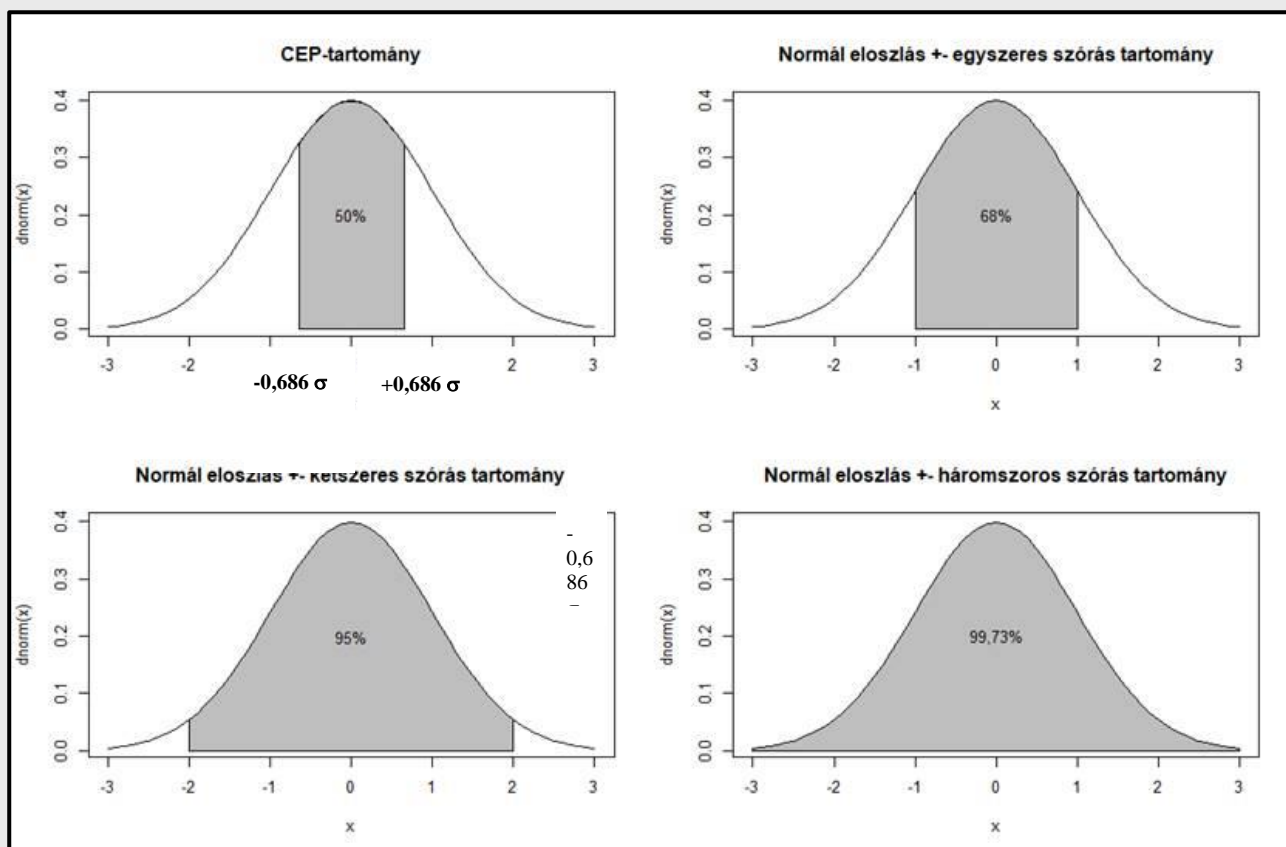
Fontos megkülönböztetni egymástól terminológiailag a körkörös hiba/szórás (CEP), illetve normál eloszlás esetén a matematikai szórás ( $\sigma$ , szigma) fogalmakat, mert ezek nem ugyanazt jelentik. A körkörös hibát sok esetben egyszerű szórás ként említik fórum hozzászólásokban (vagy bárhol, ahol az olvasó találkozhat vele), összemosva ezzel a két fogalmat. Ez nagyon nem szerencsés, mert bár nem azonos értékek ezek, de számolhatók egymásból.

Egy tűzfegyver körkörös hibához tartozó (CEP) érték jelentése, hogy a kilőtt lövedékek fele egy adott sugarú körön belül csapódik be, adott távolságon vagy adott távolság esetén ezt a hatást szöghibával fejezik ki. (Ezek oda-vissza egymásnak megfeleltethető, trigonometria segítségével számolható értékek.)

<sup>16</sup> [https://www.medcalc.org/manual/values\\_of\\_the\\_normal\\_distribution.php](https://www.medcalc.org/manual/values_of_the_normal_distribution.php)

<sup>17</sup> [http://onlinestatbook.com/2/calculators/normal\\_dist.html](http://onlinestatbook.com/2/calculators/normal_dist.html)





3.3. ábra Sűrűségfüggvény, CEP és szigma tartományok ábrázolása

Egy normális eloszlású adathalmaz (ilyen lehet például leadott lövések száma és azok eltérése a várható értéktől) esetén a CEP által meghatározott sugár érték kisebb, mint a statisztikai értelemben szórásnak vett szigma ( $\sigma$ ) szórásból számolt érték. Normál eloszlás esetén a 3.3. ábrán sűrűségfüggvényein látható, hogy  $\pm 1\sigma$ ,  $\pm 2\sigma$  és  $\pm 3\sigma$  szórások esetén mekkora a konfidencia intervallum, ezek sorban 68%, 95% és 99,73%. Látható, hogy a sűrűségfüggvény 50%-os valószínűséghez tartozó határoló értékei  $\pm 0,686\sigma$  értékhez tartoznak.

Ez azt jelenti, hogy egy fegyverből, aminek célzási hibája 0 (a várható érték mindig középre, a célpontra esik), a szórása ( $\sigma$ ) 1 méter adott távolságban és azzal leadnak 100 lövést, akkor a várható eredmény a következő:

- A lövések 50%-a, tehát kb. 50 lesz a célkör közepéhez képest  $\pm 0,686$  méteren belül
- A lövések 68,8%-a, tehát kb. 69 lesz a célkör közepéhez képest  $\pm 1$  méteren belül
- A lövések 95%-a, tehát kb. 95 lesz a célkör közepéhez képest  $\pm 2$  méteren belül
- A lövések 99,73%-a, tehát kb. az összes, 100 lövés a célkör közepéhez képest  $\pm 3$  méteren belül

A fentiekből kiszámolható, hogy adott sávba hány találat esik.

- 69 találat lesz a célkör közepéhez képest 1 méteren belül
- 27 találat lesz a célkör közepétől 1-2 métertávolságra lesz
- 5 találat lesz a célkör közepétől 2-3 métertávolságra lesz

Jól látható, hogy a harmadik, szórás értékkel megnövelt területet vizsgálva alig néhány lövés esik a külső gyűrű alakú területre annak ellenére, hogy számottevően nő a lefedett terület. Ez azt jelenti, hogy ha nő egy löveg szórása, akkor azonos méretű célpontra nézve a lövedékek többsége egyre nagyobb távolságra

lesz a célpont jellemző méretétől. Ezen felül nagyobb szórás és azonos lövésszám esetében a szórás-középponttól azonos távolságban a lövedéksűrűség is alacsonyabb lesz.

Fordítsuk meg a vizsgálatot úgy, hogy a CEP értéke ismert, és abból számoljuk ki a találatok eloszlását  $1\sigma$ ,  $2\sigma$  és  $3\sigma$  távolságban. A fent példaként használt Silka önjáró légvédelmi ágyú lövegének CEP értéke 1000 méter távolságban  $R = 2,8$  méter, amiből a következők adódnak ki:<sup>18</sup>

- $\pm 1\sigma$  szórás:  $1/0,68 \cdot 2,8 \text{ m} = 4,12 \text{ m}$
- $\pm 2\sigma$  szórás:  $2/0,68 \cdot 2,8 \text{ m} = 8,24 \text{ m}$
- $\pm 3\sigma$  szórás:  $3/0,68 \cdot 2,8 \text{ m} = 12,35 \text{ m}$

Tegyük fel, hogy 100 lövést adunk le, a fentiekből kiszámolható, hogy adott sávba hány találat esik.

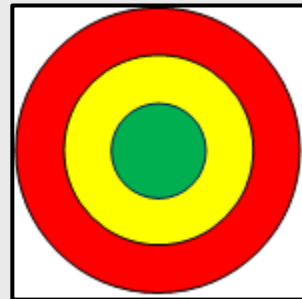
- 69 találat lesz a célkör közepéhez képest 4,12 méteren belül
- 27 találat lesz a célkör közepétől 4,12-8,24 métertávolságra lesz
- 5 találat lesz a célkör közepétől 8,24-12,35 métertávolságra lesz

Ezután képzeljük el, hogy a célpont egy repülőgép, aminek törzsközepét és a szárnyát is nézve jól lefedi azt egy 2 méter sugarú kör, és ekkora a löveg  $\sigma$  szórása. Már ekkora méretű célnál is látható, hogy még a 4,12 méter sugarú körnek is csak negyede a terület, tehát a várható találatok száma alacsony még akkor is, ha tökéletes célzást és tűvezetést tételezünk fel, és nem mozdul el a szórás kép széle felé a célpont.

Az egyáltalán nem javít a helyzeten, hogy ha kétszer nagyobb kört rajzolunk a célpont köré, mint a löveg szórás / CEP értéke: hiszen az azt jelenti, hogy sokkal nagyobb területre esik az azonos leadott lövésszám esetén a lövedékek becsapódása – tehát azonos tűzgyorsaság esetén a lövedéksűrűség sokkal alacsonyabb. A fenti sugár és találati értékekből ez is számolható. A szórásból számolt körök területei:

- $\pm 1\sigma$  szórás:  $4,12^2 \cdot 3,14 = 53 \text{ m}^2$  (zöld kör)
- $\pm 2\sigma$  szórás:  $8,24^2 \cdot 3,14 = 213 \text{ m}^2$  (sárga kör)
- $\pm 3\sigma$  szórás:  $12,35^2 \cdot 3,14 = 480 \text{ m}^2$  (piros kör)

Leadott lövések számával, a körök területének ismeretében számolt sávok területével számolható a lövedéksűrűség. (A körök átfedésben vannak, csak a sávok látszanak.)



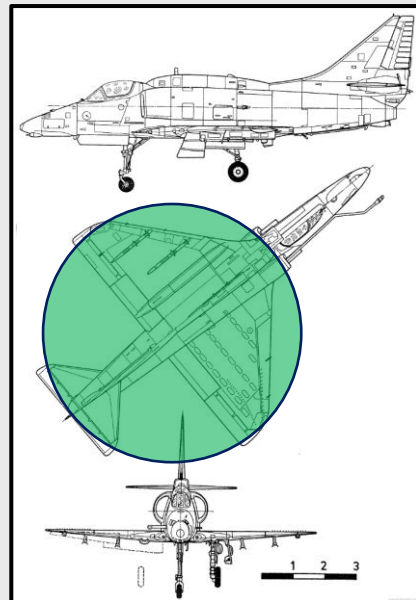
- A lövedékek sűrűsége a  $\pm 1\sigma$  szórás körben (zöld) 100 lövés esetén:  
 $53 \text{ m}^2 / 100 \text{ lövedék} = 0,53 \text{ m}^2 / \text{lövedék}$ , azaz minden  $0,53 \text{ m}^2$ -re jut egy lövedék
- A lövedékek sűrűsége a  $\pm 1\sigma$  és  $\pm 2\sigma$  szórás sávjában (sárga) 100 lövés esetén:  
 $(213 - 53) \text{ m}^2 / 100 \text{ lövedék} = 1,6 \text{ m}^2 / \text{lövedék}$ , azaz minden  $1,6 \text{ m}^2$ -re jut egy lövedék.
- A lövedékek sűrűsége a  $\pm 2\sigma$  és  $\pm 3\sigma$  szórás sávjában (piros) 100 lövés esetében:  
 $(480 - 213) \text{ m}^2 / 100 \text{ lövedék} = 2,66 \text{ m}^2 / \text{lövedék}$ , azaz minden  $2,6 \text{ m}^2$ -re jut egy lövedék.

<sup>18</sup>

További számolt esetek találhatóak a letölthető mellékletek között.

Ezek után képzeljük el azt, ha a Silka lövegének a szórása a duplája lenne, mondván, hogy az „hasznos”: a fenti értékek a negyedére csökkennének. Néhány találatnál többen reménykedni vadászgép-méretű célpontok esetén még több száz lövedékkel számolva is illúzió lenne 1,5-2 km-es lőtávolság esetén – pedig ilyen hosszú tűzcsapásra lehetőség sincs, mert a célpont nem tartózkodik kellő ideig a gépágyú közelében.

Személtetésképpen jobbra látható az A-4 Skyhawk gépre vetítve a Silka 1 km-es távolságban számolt  $1\sigma$  szórás kör nagysága, aminek sugara 4,12 méter. Ha az  $1\sigma$  szórás kétszer akkora lenne, és egyenletes eloszlásban (ami nem igaz, erős túlzás), minden 2 négyzetméterre kerülne egy lövedék, és a gépet valószínűleg nem érné komoly károsodás 100 leadott lövésnél sem.



Persze az is szerencse kérdése, hogy mennyire ér létfontosságú részeket találat. Egyetlen szerencsés találat megölheti a pilótát, de szélsőséges esetben akár tucatnyi találattal is hazatérhet a gép.

### 3.4. Mérési hiba, vezérlési hiba hatása a találat esélyére

Mivel létezik mérési hiba távolság és mozgásparaméterek megállapításakor, ezért egy 0 szórású tűzfegyver sem lenne kívánatos (és nem is elérhető). Ha nulla lövedék szórással tüzelne a fegyver, de a tűzvezetés nem tökéletesen pontos, akkor a célpont mellé lő a légvédelmi rendszer. Egy ilyen idealizált esetben a számolt ütközési pontot ugyan tökéletesen eltalálná a lövedék, de a számolt ütközési pont valójában pontatlanul van megállapítva, ezért a mérési hibák miatt nem a célpontra esne.

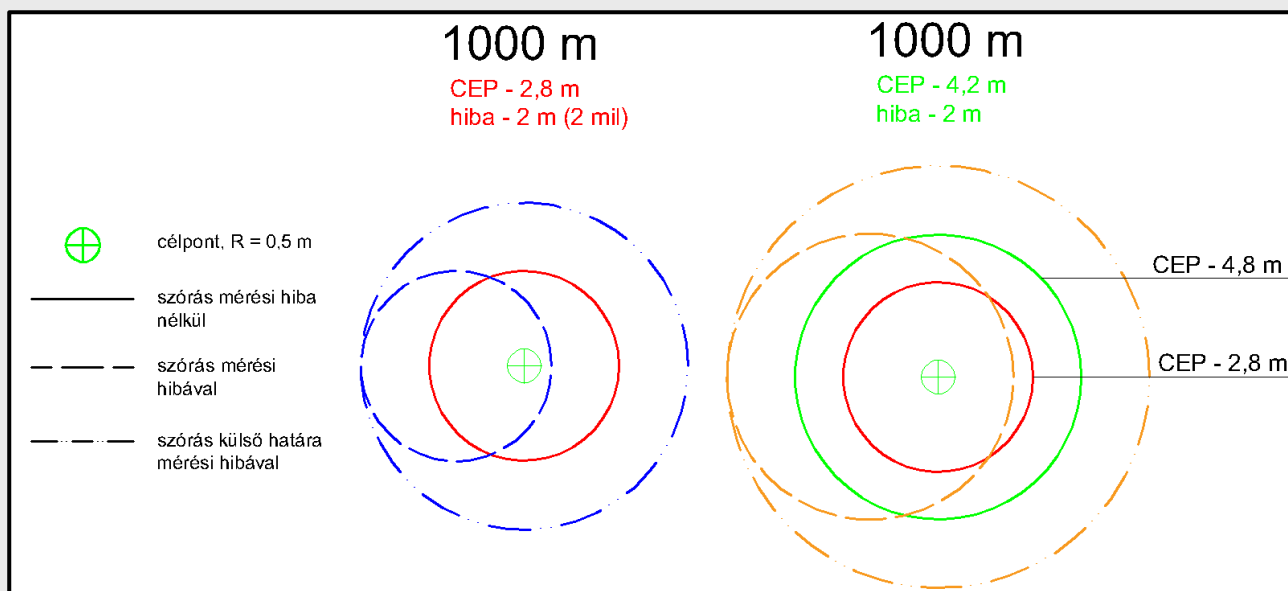
A fentiekből az következik, hogy ameddig rendszer a szórás-középpontot kb. a fegyver CEP és  $1\sigma$  szórás nagyságrendjének mértékével számolja, akkor a célpont jellemző méretének kb. kétszeres  $\sigma$  sugarú szórás még nagyjából elfogadható. Ekkor magas tűzgyorsaság esetén (min. 1000 lövés/perc) vadászgép méretű célpontot kellően magas valószínűséggel eltalálja lövedék még 2 km távolságban is, kb. 200 leadott lövésnél. Még 1 méter, vagy kisebb sugarú célnál is várható legalább néhány találat. Minél pontosabb a tűzvezetés, a nagyobb mértékű szórás annál inkább csökkenti a találat valószínűségét.

*A cikkben bemutatott eszközöknél számottevően kisebb szórású, nagy tűzgyorsaságú tűzfegyver előállítása műszakilag nem tűnik lehetségesnek azok fizikai jellemzőik miatt, vagyis a szórás kép mindig nagyobb lesz az elméleti optimális mértékűnél, ami nem kompenzálja az esetleges oldalszög-mérési hibát.*

A rádiólokátor által meghatározott célkoordináták pontossága automatikus célkövető üzemmódban (közepes súlyozott átlaghibák):

- |                           |            |
|---------------------------|------------|
| — távolság szerint        | 10 m       |
| — szögkoordináták szerint | 0—02 vonás |

A 3.4. ábrán konkrét számolt szórás és célzási hiba mérték látható a ZsSzU-23-4 Silka légvédelmi gépágyú paramétereit figyelembe véve. A Silka radarja 0-02 vonásnyi oldal és helyszög szerinti hibával képes mérni a cél irányparamétereit a löveghez képest. A fentiek értelmezéséhez szükséges ismerni a vonás fogalmát. A Varsói Szerződében elterjedt terminológia szerint egy teljes kör az 6000 vonás (15-00 a 90 fok, 60-00 vonás a 360 fok). a NATO államokban 6400 vonás a kör.



3.4. ábra Sűrűségfüggvény, CEP és szigma tartományok ábrázolása

A fentiekből kiszámolható, hogy a Silka radarjával oldalszögben 0-2 mil pontossággal lehet a célpont helyzetét mérni. A távolság mentén állandónak feltételezve ezt a hibát, 1000 méter távolságban a Silka lövegének szórása 2,8 méter. Ehhez párosul a szögkoordináta-mérés 2 méteres hibája, tehát legfeljebb ennyivel tér el célzáskor a számolt szórás közepe a valódi találkozási ponttól. A fenti ábrán a bal szélső eset mutatja ezt.

A zöld kör kereszttel mutatja a célpontot, ami jelen esetben fél méter sugarú: egy kisméretű drón. Piros folyamatos körvonal mutatja a célponthoz képes a löveg körkörös hibáját. Két szaggatott vonallal van ábrázolva a legnagyobb mérési hibánál a szórás kép elmozdulása. Mivel az idealizált modell körszimmetrikus, a hiba maximális mértékének egyetlen ábrázolásával bemutatatható annak maximális mértéke is. A szórás kép szélének a célponthoz képesti maximális elmozdulása kék színű kétpont-vonal körrel van jelölve.

Jól látszik, hogy nagymértékben változtatja meg a találat esélyét, ha a mérési hiba eléri a maximális értéket egy ennyire kis célpont esetén. Így a kisméretű célpont a szórás kép közepéről a legszélre kerül, ami az előző pontban ismertetett levezetésből következően azt jelenti, hogy egy olyan zónába kerül át, ahol alacsony a lövedéksűrűség – tehát még 0 hiba esetén is lerontja a találat esélyét.

Azt az esetet feltételezve, hogy ugyanakkora cél esetén a szórást kétszeresére növeljük, látható, hogy a szórás-középponthoz viszonyítva az alapesethez képest kevésbé mozog a cél, tehát kevésbé romlik a találat esélye – azonban 0 hiba esetén eleve sokkal kisebb a találat esélye. Tehát megint csak igazolást nyert, hogy a célpont méreténél számottevően nagyobb szórás nagyon károsan hat a céllekedés sikerességére. A kis méretű célok leküzdéséhez szükséges lenne még tovább csökkenteni a lövegek szórását, ami már fizikai lehetetlenség.

A modell megértéséhez lássunk egy példát nem konkrét, de számolt értékekkel. Ha kicsi a célpont és a szórás is kicsi, 0 mérési hibával számolva, X mp hosszú tűzcsapással Y távolságban legyen a megsemmisítés esélye 50%. A mérési hibát is számításba véve ez átlagosan 25%-ra jön ki. Azonos X és Y érték esetén, de kétszeres szórással az alap találati arány lehet, hogy csak 20%, de a mérési hibát is figyelembe véve is csak 15%-ra csökken. A csökkenés mértéke kisebb, de mégis: a találat esélye minden esetben rosszabb a kisebb szórású esettel összehasonlítva.



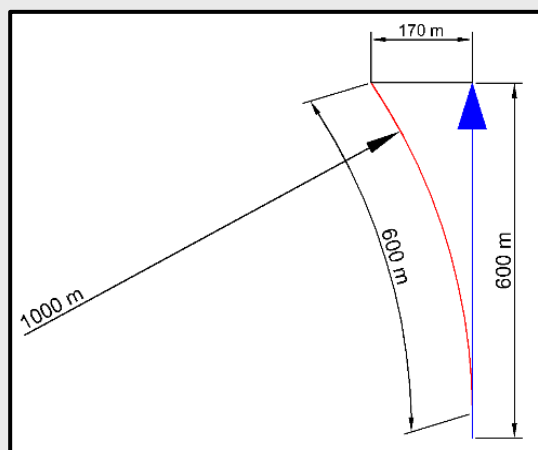
Minél nagyobb a szórás a mérési hibához képest, annál inkább az jön ki, hogy kevésbé csökken a 0 mérési hibához képest a találati arány. Ennek a történetnek az a kifutása, hogy végül a fegyver szórása és tűzgyorsasága miatt annyira alacsony lesz nulla mérési hiba esetén is a találati arány, hogy remény sincs megbízhatóan eltalálni a célpontot – ergo nem éri meg ilyen légvédelmi rendszert tervezni.

Az is látható, hogy ha a célpont mérete közel esik a szórás méretéhez, akkor a mérési hiba közel sem olyan súlyos. Ha nagyobb lenne a célpont jellemző méretét szimbolizáló zöld kör, akkor annak nagyobb területe marad a szórás kép sűrűbb lövedék becsapódású zónájában. Egy ember vezette repülőgép esetén a célpont jellemző mérete nem a fenti példában felvett fél méteres sugarú kör, hanem akár 1,5-6 méteres sugarú is lehet attól függően, hogy a célpont milyen manővert végez és mekkora repülőeszközzel van szó. 6 méter sugarú célpont esetén egyszerű geometriai valószínűséggel számolva a mérési hibának alig van hatása a körök területének átfedésére, tehát a számolható találati valószínűsége.

### 3.5. Tűzvezetés manőverező célpont ellen

Manőverező célpont esetén a célparaméterek részben előre jelezhetetlensége miatt a számolt ütközési pont helye lényegében célzási hibaként működik, de az egy ponton túl akkora, hogy azon semekkora szórás kép nem segít. 1,7 km távolságba a Silka által kilőtt lövedék kb. három másodperc alatt ér el.

Három másodperc alatt egy kb. M0,6 sebességű (800 km/h, 200 m/s) vadászbombázó, ha 4G túlterhelésű fordulóba kezd (fordulósugar kb. 1 km), a már útjára indított lövedék számolt találkozási ponthoz képest kb.



3.5. ábra Sűrűségfüggvény, CEP és szigma tartományok ábrázolása

170 méterrel odébb fog elhaladni az számolt ütközési időpillanatban, lásd a 3.5. ábrán.

Ekkora méretű célparaméter-változással szemben a lövegek esetleges nagyobb szórása nem jelent semmiféle előnyt, bármekkora is a lövegek szórása, amennyiben a célpont paraméterei a lövedék kilövése után ennyire megváltoznak. Azonban ameddig a célpont fenntartja a fordulót, akkor becslés adható a számolt ütközési pontra. Összességében belátható, hogy manőverező célpont ellen a csapódó gyújtóval tüzelő légvédelmi gépágyú nem ideális megoldás.

A fentiekből az is látható, hogy a távolság mérési hibája nem túl komoly tényező, mert akár a több másodperces hosszúságú tűzcsapásokkal olyan hosszúságú és sűrűségű a lövedékfolyam, hogy hossza messze felülmúlja a mérési hibáét. Az előretartás szöghibája sokkal súlyosabb hatással van a találat valószínűségére, mint távolság mérési hibája.

### 3.6. A csapatlégvédelem és szárazföldi erők eszközei

A reálisan elképzelhető drón-elhárító eszközök a hadrendben álló önjáró légvédelmi gépágyúk, a gyalogsági szállító harcjárművek 25-40 mm-es űrméretű lövegei, illetve géppuskák. A fentiek fényében legalább elvi szinten megvizsgáljuk a jelenleg hadrendben álló dedikált légvédelmi rendszerek, illetve egyéb tűzfegyverek alkalmazási módjait a drónokkal (és egyéb célpontokkal) szemben.

#### 3.6.1. Önjáró légvédelmi gépágyúk



Önjáró légvédelmi gépágyúk például a hidegháborúban gyártott és elterjedt, és mai napig szolgálatban álló ZsSzU-23 Silka (balra fent), Flakpanzer Gepard (jobbra fent), de a korszerűbb, elsődlegesen rakétákat használó 2K22M Tunguszka (balra lent) és a Pancír-Sz1 (jobbra lent), ami szintén rendelkezik tűzfegyverekkel.



Hogy később a vizsgált modell értelmezése pontosabb legyen, szükséges ismerni, hogy tűzkiváltás milyen módon történik a gépágyúknál. Ehhez is a Silka lesz az egzakt példa, annak lőszabályzatában foglaltak szerint.

Az önjáró légvédelmi rendszer névleges tűzgyorsasága 3400 lövés/perc (57 lövés/sec)<sup>19</sup> A Silka légvédelmi gépágyúval a célpontok sebességétől és a rendelkezésre álló lőszerkészlettől függően a következő módon tüzeltek.

- 20-40 lövedékből álló sorozatokkal (0,35-0,7 sec egy sorozat hossza), 3-5 sorozatot tüzelve, a sorozatok között 2-3 másodperc szünetet tartva, kiértékelve a tűzkiváltás eredményét.
- Nagy sebességű célok esetén (pl. hangsebesség közeli repülőgép) a parancsnok engedélyével maximálisan 200 lövés hosszúságú sorozat is leadható, a sorozatok között tartva a 2-3 másodperces szünetet.

<sup>19</sup>

A légvédelmi rendszer mind a négy csövével tüzelnek lég célokra, azonban szárazföldi célok ellen is használható a jármű, de ekkor csak két csővel tüzelnek, fele tűzgyorsasággal.

A 3.2 táblázatban összefoglalva láthatóak a különféle tűzcsapások teljes időtartamai és a teljes időtartamra vetített lövedékfelhasználás átlagával. Jól látható, hogy a lőszabályzatban meghatározott tűzkiváltásokkal a tűzcsapás teljes idejére vett átlagos tűzgyorsaság messze az elméleti folyamatos maximális érték alatt van.

Még a viszonylag közeli (~1,2 km) célpont ellen leadott (3 sec szünetet a hosszú sorozatban) 200 lövéses dupla sorozat esetén is az elméleti tűzgyorsasághoz képest 30%-kal kisebb gyakorlati tűzgyorsaság adódik a leadott két teljes sorozat időtartamát véve. 2-2,5 km-es lőtávolság esetén a gyakorlati tűzgyorsaság már 37, illetve 43%-kal kisebb.

Sorozat hossza	szünet sorozat között	sorozatok száma	szünetek száma	Teljes idő	Teljes lőszer felhasználás	Átlagos lövedék felhasználás
<i>lövés</i>	<i>mp</i>	<i>db</i>	<i>db</i>	<i>mp</i>	<i>db</i>	<i>db/mp</i>
20	2	3	2	5,1	60	12
20	3	3	2	7,1	60	9
20	2	5	4	9,8	100	10
40	2	3	2	6,1	120	20
40	3	3	2	8,1	120	15
40	2	5	4	11,5	200	17
60	2	5	4	13,3	300	23
80	2	3	2	8,2	240	29
100	2	3	2	9,3	300	32
200	0	1	0	3,5	200	57
200	3	2	1	10,1	400	40
200	4	2	1	11,1	400	36
200	5	2	1	12,1	400	33

3.2. táblázat A Silka lövegének ballisztikai jellemzői

Elméletileg lehetséges a teljes lőszer-javadalmazást akár egyetlen, kb. 35 másodperc hosszú sorozatban is ellőni, a nyílt rendszerű folyadék hűtés miatt a csövek elviselik (a hűtőfolyadék el is forrhat). Viszont ezután a töltéshez TZM jármű szükséges (erre a célra átalakított teherautó +2 készlet javadalmazással), ami egy futószalag segítségével végzi a töltést – viszont ez hosszabb folyamat.

A lőszabályzat alapvetően a kezelőkre bízta a tűzcsapás hosszát, de nem bölcs (felesleges) pár másodpercesnél hosszabb sorozatokat elereszteni. Néhány másodperc hosszan tüzel a jármű, majd a lövedékek repülési idejének megfelelően megfigyelik a tűzkiváltás eredményét, majd 4-5 másodperc múlva (ennyi a lövedékek repülési ideje 2-2,5 km távolságba) újra tüzelnek, amennyiben szükséges.<sup>20</sup>

A drónok elleni alkalmazás esetén a várható alacsony találati arány miatt persze feltételezhetjük, hogy a tüzelés eredményét meg sem várva, 200 lövésnél hosszabb sorozatokat adnak le – de ennek következménye az, hogy a jármű igen hamar kifogy a lőszerből. A módszer valószínűleg a nagyobb kaliberű, de kisebb tűzgyorsaságú Flakpanzer esetén is hasonló.

<sup>20</sup>

Hpasp kiegészítése.

### 3.6.2. Gyalogsági szállító harcjárművek (lövészpáncélos)



Gyalogsági szállító harcjármű például az amerikai M2 Bradley család (balra fent), a svéd CV9040 (jobbra fent) vagy a német Puma. Ezeknél a járműveknél kérdéses, hogy mozgó célpont esetén a tűzvezetéshez szükséges célparamétereket hogyan határozzák meg, lévén nincs radarjuk.

Noha radarjuk nincs, de optikai (IR vagy látható fény tartományban működő) érzékelőjük van, és a kontrasztkülönbség elvén képesek a mozgó célpontokat is követni, a távolság-megállapításra pedig a lézeres távolságmérő elvileg alkalmas a reális lőtávolságon belül, tehát a drónok elleni alkalmazás legalább elvi szinten elképzelhető, ha azok észlelése és felderítés megoldott.

A drónok a szárazföldi járművekhez képest jóval kisebb méretűek, viszont sokkal gyorsabban mozognak, ezért optikai tűzvezetéssel a számolt ütközési pont kiszámítása nem biztos, hogy sikeresen végrehajtható. Mégis: a modern nyugati lövészpáncélosok biztosan, és vélhetőleg az orosz és egyéb gyártásúak is bírnak vagy bírni fognak is bírni ezzel a képességgel.

*A hidegháború alatt az Abrams és a Leopard 2 harckocsik is képesek voltak HEAT-MP gránáttal helikoptereket leküzdeni ilyen elven. A hollandok a '80-as évek végén harckocsikkal tesztelték a légi célok elleni hatékonyságot, 300 km/h sebességű légi célokat (feltehetően egyenes vonalú egyenletes mozgás esetén, nem ismert távolságból) 80%-os találati arányt értek el Leopard 2-vel, valamivel rosszabbat a Leopard 1-el. Ez az akkori kor tűzvezető rendszerei esetén volt igaz, bár hozzá kell tenni, hogy a most vizsgált drónoknál ezek nagyságrendileg nagyobb célpontok voltak.*

*Cifka Miklós kiegészítése*

További kérdés ezen járműveknél is a tűzgyorsaság, ahol szintén nagy különbség van az elméleti és fenntartható értékek között. A ciklikus tűzgyorsaság azt írja le, hogy egy töltés-lövés-ürítés ciklus kb. mennyi időt vesz igénybe, és egy adott időtartamba elvben hány ilyen ciklus fér bele. Ezért általában egy úgynevezett fenntartható (sustained) tűzgyorsaságot szoktak megadni, ami azt jelenti, hogy általános használatban mekkora tűzgyorsaságot lehet biztosítani a fegyverrel.

A lövészpáncélosokba épített 30-35-40mm-es gépágyúknál szoktak erre 60-120 lövés/perc körüli értéket megadni (miközben a ciklikus általában 120-240 lövés/perc). Ez a gyakorlatban úgy néz ki, hogy le lehet adni 10 tűzcsapást egyenként 6 lövedékkel, 6 másodperces időközökkel.<sup>21</sup> Az M242 Bushmaster esetén a gyakorlati maximális tűzgyorsaság emiatt kb.  $200 \pm 20$  lövés/perc, de szárazföldi célok ellen ennél kisebbet alkalmaznak.<sup>22</sup>

<sup>21</sup> Cifka Miklós kiegészítése.

<sup>22</sup> <https://www.inetres.com/gp/military/cv/weapon/M242.html> , <https://bit.ly/2XnYd9Q>



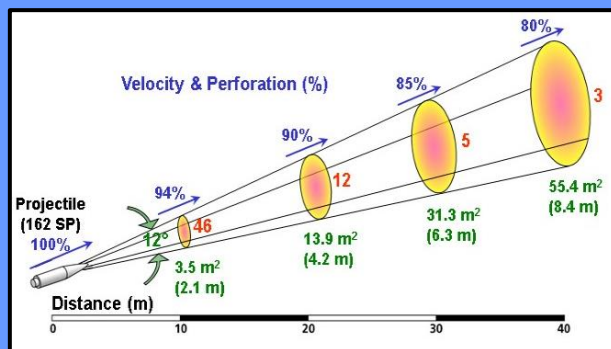
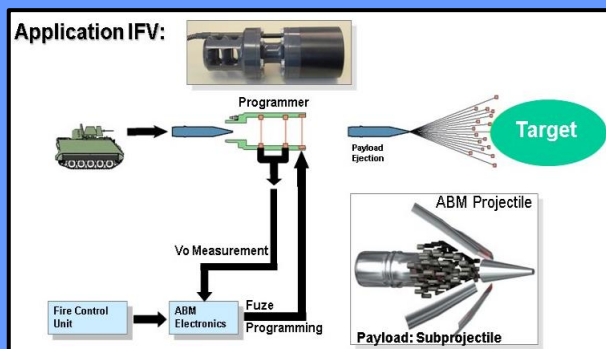
További tényező, (bár véleményem szerint nem túl jelentős) a drónok elleni alkalmazáskor a lövedékek viselkedése attól függően, hogy milyen lövedékkel tüzelnek a célra. A következő fő lövedéktípusok léteznek:

1. Gyújtó és robbanóanyag nélküli lövedék: pusztán kinetikai energiával rombol. Ilyenek páncéltörő (AP, armor piercing), leváló köpenyes, (APDS, *Armour-piercing discarding sabot*), leváló köpenyes nyíl-lövedék (APFSDS, *Armour-piercing fin stabilized discarding sabot*), illetve folyományaik, mint például a páncéltörő-gyújtó lövedék.
2. Csapódó gyújtós repesz-romboló lövedék: a lövedék lassulása hozza működésbe a gyújtót, és robbantja fel a lövedéket.
3. Időzítő lövedék: az időzítő egy előre meghatározott időkésleltetéssel működteti el a repesz-romboló töltetet. (Mivel a lövedékek sebessége kismértékben szór, és a szél sem állandó, ezért ez csak idealizált esetben jelent fix távolságú elműködést, de kvázi ennek is felfogható.)
4. Közelségi gyújtós lövedék (általában rádiós távolságmérő elven): bizonyos távolságon belül tárgyat észlelve felrobbantja a lövedéket. Ilyen lövedék jelenleg csak nagyobb kaliberek (40 mm felett) esetén létezik csak, ezek ára és műszaki megoldásai miatt, noha az Egyesült Államok a 2010-es évek vége felé már a 30mm-es űrméretre is dolgozott ilyeneken.

Egy drónnal való ütközés energiája valószínűleg nem elegendő ahhoz, hogy a csapódó gyújtós lövedékben beindítsa a gyújtó működését. Tehát a robbanó lövedékek is csak az ütközésükkel roncsolják a célpontot, ahogy az első pontban említett lövedékek. Ez a quadcopter, octocopter és más, kis méretű célok esetén valószínűleg nem számít, mert a célpontok olyan kis méretűek és annyira „puhák”, hogy még így is elégséges a találat hatása ahhoz, hogy komoly kárt tegyen pusztán az ütközés energiája által.

A nagy tűzgyorsaságú légvédelmi ágyúknál csak az első két féle típusú lövedékek léteznek, azok kis kalibermérete miatt. A fent említett CV9040 lövészpáncéloshoz létezik 40 mm űrméretben 3P programozható lőszer, ami közelségi gyújtó, időzítő gyújtó és gyújtás nélküli páncéltörő móddal is rendelkezik.<sup>23</sup>

Nagyjából 30 mm-es kaliberig jutott el a programozható lőszer technológiája. A német PUMA lövészpáncélos Rheinmetall Mk30-2 gépagyúját például direkt egy programozható ABM (Airburst) lőszerhez fejlesztették ki, amely gyakorlatilag megegyezik az AHEAD (Advanced Hit Efficiency And Destruction, Fejlett Találati Hatékonyság és Pusztítás) koncepcióval. Ennél a csőtorkolatnál meghatározzák a lövedék sebességét, és a tűzvezető számítógép által rögzített céltávolság alapján beprogramozza a lövedék gyújtószerkezetét, hogy ideális távolságra robbanjon fel a cél közelében.



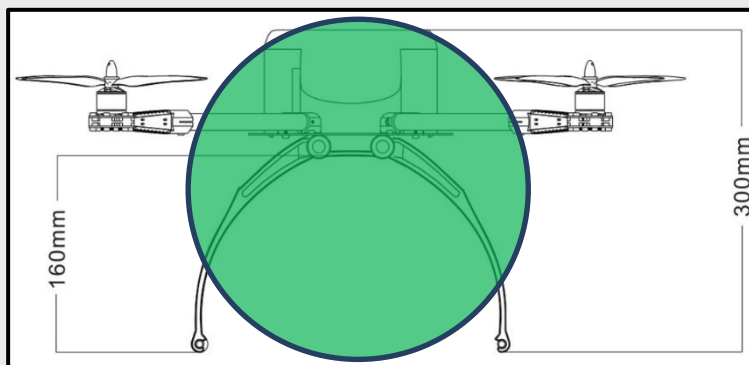
Cifka Miklós kiegészítése

## 4. A légvédelmi tűzéréség képességei, modellezés

### 4.1. Célpontok jellemző méretei

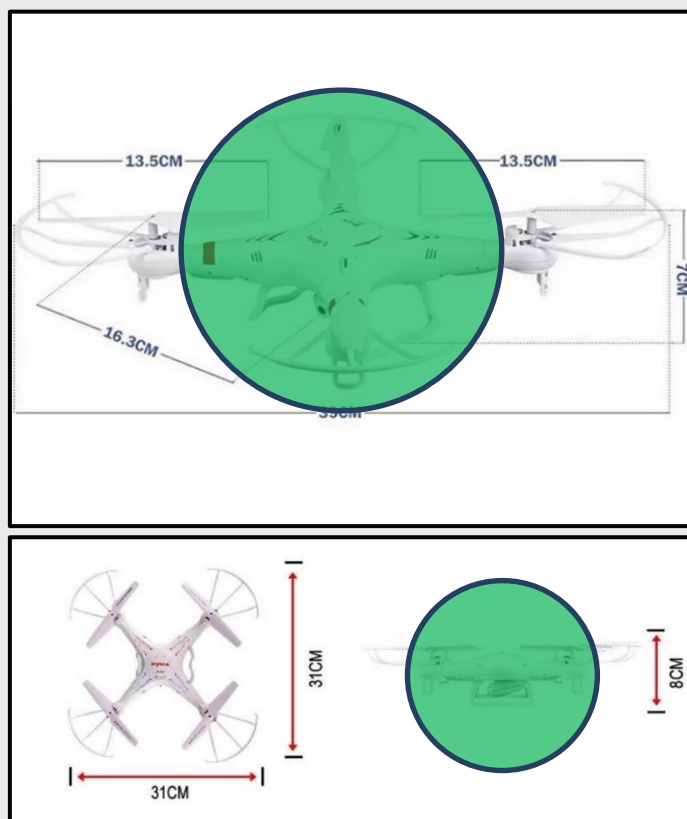
#### 4.1.1. Drónok

A légvédelmi tűzéréség korlátainak alapvető megállapításához szükséges a célpontok fő méreteinek meghatározása. A kézből is indítható, hordozható eszközök közül néhány lent látható. Ezek egy része nem is drón, hanem direkt rádió-távírányítású eszköz, de ettől függetlenül ezekkel is számolni kell.



*Q650 drón.*

Q650 drón<sup>24</sup> kamera nélkül az oldalnézeti rajzon. A kamera drón alsó részére van függesztve. Bár a kör némileg túlnyúlik a drón központi részén és nem fedi le az egészet, de józan ésszel belátható, hogy nagyjából 150 mm sugarú felületet szükséges eltalálni, ha drónt szeretnénk elpusztítani vagy annak vezérlés és/vagy felderítő kamera rendszerét szeretnénk működésképtelenné tenni.



*Syma X5C drón.*

Syma X5C esetén a felső képen, kismértékben felülről is látható a drón. Ez a helyzet az akkor áll fent, amikor a quadcopterek mozognak: kicsit megnöveli a célpont felületét, ha azok nem egyhelyben függeszkednek, ekkor kismértékben nő a sérülékeny terület.

A fenti képeken látható, hogy a quadcopterek befoglaló mérete felülnézetben hiába nagy, ideális körkörös szórásképet feltételezve valójában a repülőeszközök váza a hordozott kamerákkal (vagy más „csomaggal”, pl. robbanóanyaggal) együtt is sokkal kisebb célpontot jelentenek a repülőgépekhez és helikopterekhez képest.

Természetesen quadcopterek rotorjai sérülékenyek, és azokat is meg lehet rongálni. Egy drón még az egyik rotor vagy annak motorjának sérülése esetén is repülőképes maradhat, ha szoftveresen képes kompenzálni ennek hatását. A fenti ábrára felrajzolt szóráskép körök részben lefedik a rotorokat és a gép fő részeit. Ellenben számtalan olyan terület is van, ami nem számítana találatnak, tehát az ábra részben alul-, részben felülbecsüli azt, hogy adott sugarú körmérettel számolva, mekkora egyetlen találat valószínűsége.

A fentiek alapján a quadcopterekre vonatkozó számítások során 0,15, 0,225 illetve 0,3 méter sugarú körökkel vesszük figyelembe ezeket a célokat – eltérő méretű drónokat feltételezve annak ellenére, hogy ez sok esetben túlzó feltételezés.

#### 4.1.2. Helikopterek

A helikopterek esetén hasonló eset áll fent, mint a repülőgépeknél. Egyes helikopterek szemből nézve szélsőségesen kis felületet mutatnak, jelen esetben a példaként használt AH-1 Cobra. Ezzel szemben oldalról nézve, illetve manőverezés közben a rotor relatíve nagy, ellipszis felületként látszik. Ez alapján függeszkedésben szemből nézve nagyjából 1 méter sugarú kör fedi le a cél nagy részét, míg oldalról, vagy félig oldalról nézve kb. 1,8 méter sugarú.

Ezek az értékek erős közelítések, mert a farokrotort ért találat kritikus, viszont nagyon kis felületet jelent a gép teljes felületéhez képest még oldalról nézve is. Mindkét közelítésben a közelítő körök túlnyúlnak magán helikopteren, tehát részben túlzó, optimista közelítés a légvédelmi rendszer számára – de befoglalják a legfontosabb területeket: a hajtóművet, a rotorok forgási zónájának egy részét, a rotoragyat, a fegyverzet egy részét, illetve a személyzetet.



### 4.1.3. Manőverező robotrepülőgépek és siklóbombák

A hadihajókon telepített közel légvédelmi-rendszerek (CIWS, *close-in weapon system*) a közeledő rakétákra és robotrepülőgépekre szemből vagy majdnem szemből tüzelnek, ezért azok átmérője tekinthető mérvadónak. Elméletileg előfordulhat olyan eset, hogy elhaladó célokra szükséges tüzelni, azonban rendkívül alacsony annak az esélye, hogy a kísérőhajók és a fő célpontot jelentő hajók helyzete ezt lehetővé teszik. Ennek oka az, hogy kötelékben hajózó egységek közötti távolság több km-es, vagy akár 10 km-es nagyságrendű is lehet. Az egyik célpont felé elhaladó rakéta nagyon kis valószínűséggel halad el egy másik hajó gépágyús légvédelmi rendszerének közelében.

Ilyen CIWS<sup>25</sup> rendszer például az M61 Vulcan gépágyút használó amerikai Phalanx, a GAU-8-ra alapozó Goalkeeper vagy az orosz AK-630 vagy a Kasztán, ami a 2K22M Tunguszka hajófedélzeti változata.

A 4.1. táblázat jellemző fő célpontok jellemzőit mutatja:

<i>Típus</i>	<i>Sebesség</i>	<i>Átmérő</i>	<i>Korszak</i>
	[m/s]	[m]	
AGM-84 Harpoon	240	0,34	'70-es évektől napjainkig
Exocet	315	0,34	'70-es évektől napjainkig
RBS-15	305	0,25	'70-es évektől napjainkig
P-15 Termit	300	0,76	'60-as években, '80-as évekre elavult
P-120	300	0,76	'70-es évektől, '80-as évekre elavult, 2000-es években kivonva
P-700 Granit	500	0,85	'70-as évek vége, leváltása folyamatban van
P-270 Moskit	900	0,8	'80-as évek legvégétől
H-22 (AS-4 Kitchen)	750 <sup>A</sup>	0,92	'70-es évek vége, korszerűsített változata gyártásban van.
H-31 (AS-17 Krypton)	640	0,36	'80-as évek legvégétől
H-35 (AS-12 Kayak)	280	0,42	2000-es évek elejétől
AGM-88 HARM	300-450 <sup>B</sup>	0,254	'80-as évek közepétől
GBU-39/53 SDB I/II	200-300 <sup>C</sup>	0,18	2006/2016
3M54K-Kalibr 3M54T-Kalibr 3M54E Club	300 700-900 <sup>D</sup>	0,53	2010-es (?) évektől.

4.3. táblázat Néhány jellemző támadó fegyver mérete

<sup>A</sup> Nagy magasságban M4 (1280 m/s) sebesség felett halad, kismagasságban a rakéta valószínűleg ennél lassabb.

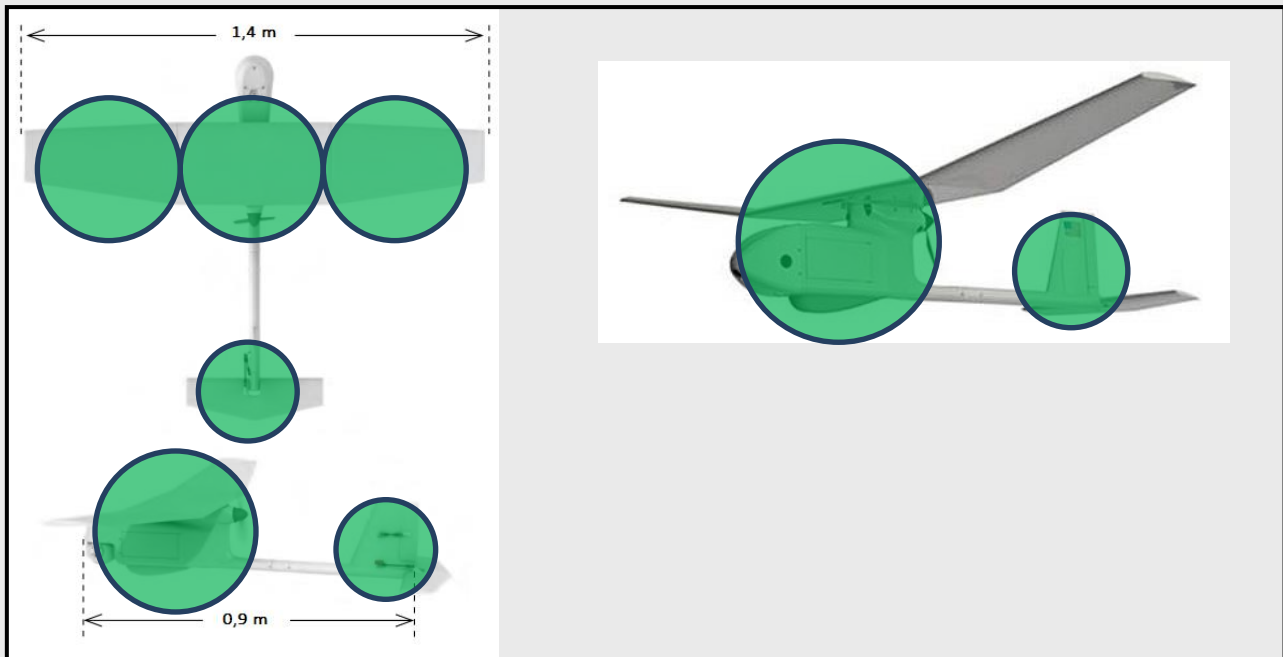
<sup>B</sup> Az indítási távolságtól függően becsapódáskor a sebesség igen tág határok között mozoghat, de a rakéta működése eleve miatt a passzív szakaszban az M1,5 sebesség még felső becslésnek is igen erős.

<sup>C</sup> A bomba becsapódási sebessége függ annak oldási magasságától és a célpont távolságától.

<sup>D</sup> Csak végfázisban gyorsít fel a robotrepülőgép változattól és bevetési profiltól függően M2,5-M2,9 sebességre



#### 4.1.4. Repülőgépek, repülőgép elven működő UAV-k



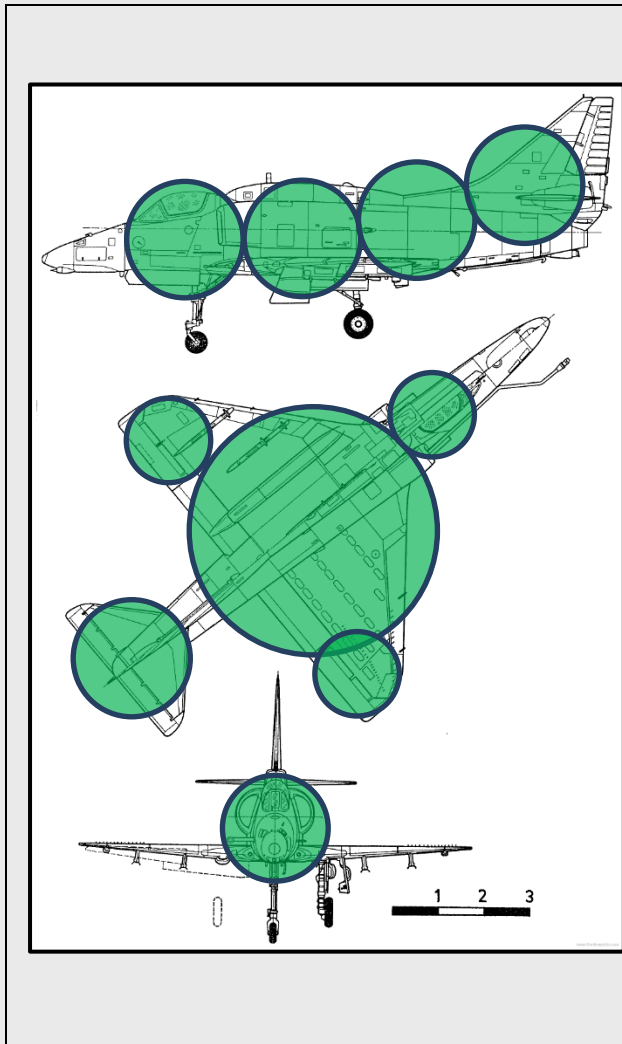
Az RQ-11 esetén<sup>26</sup> a szélsőséges törzs-szárny kialakítása nagyon egyenlőtlen eloszlásban jelöli ki a sebezhető területeket: ezek sugara szintén kb. 0,15 méter, de egymástól való távolságuk nagyjából fél méter – emiatt rendkívül irányérzékeny a célpont felülete.

Emiatt a számítások során közelítéssel 0,225 méter sugarú kört veszünk figyelembe, megnövelve így a találat esélyét. Ezt az értéket úgy kaptunk, hogy az összes kör által lefedett területével azonos területe lefedő egyetlen kör sugarát vettük célpont méretnek, de kismértékben lefelé kerekítettük, hogy beleillesszék a vizsgálatok során végzett duplázódó méretsorba.

Tehát a 3 db, egyenként 0,15 méter sugarú kör által lefedett összterület 1 db, kb. 0,225 méter sugarú körével azonos, ami számottevően megnöveli a találat esélyét, de azért annyira nem lóg túl a gép fő méretein.

<sup>26</sup>

[https://www.avinc.com/images/uploads/product\\_docs/Raven\\_Datasheet\\_2017\\_Web\\_v1.pdf](https://www.avinc.com/images/uploads/product_docs/Raven_Datasheet_2017_Web_v1.pdf)



A konvencionális repülőgépek estén is igaz, hogy azok relatív helyzete – azaz hogy a célpontra milyen irányból látni rá – nagyban befolyásolja a találat esélyét.

Az 1973-as, 4. arab-izraeli háborúban Izrael nagy számban vetette be az A-4 Skyhawk típust, ami súlyos veszteségeket szenvedett. Mivel a hidegháború csapásmérő típusai közül ez az egyik egyik legkisebb méretű gép, ezért referenciaként erre végeztünk el néhány közelítő számítást.

Szemből nézve az A-4 jellemző mérete a törzs, a szárny és a vezérsíkok elhanyagolható méretűek. Alacsony annak az esélye, hogy a gép pontosan szembe repül a légvédelmi eszközzel, mert ehhez pontosan az önjáró légvédelmi gépágyút kell támadni, vagy feléje haladni. Ez a legkedvezőtlenebb eset.

Egy fordulóban levő gép nagyjából az alsó részét mutatja a légvédelem felé, a középső nagy kör jelenti a jellemző célpontot, a többi terület nagysága ehhez képest nem számottevő. Oldalról vagy jellemzően szemből-oldalról, hátulról-szemből inkább több kisebb méretű kör fedi le a területet.

A fenti körökénél szintén azok összterületét vesszük mérvadónak és azt helyettesítjük egyetlen, azonos területet lefedő körrel, ami az oldalnézet és alulnézet átlagának felületével azonos.

Oldalról nézve 4 db, egyenként 1,2 méter sugarú kör fedi le a célt. Alulról nézve 1 db 2,8 méter, 1 db 1,2 méter, és 3 db 1 méter sugarú kör fedi le a célt.

Alul	Mennyiség	db	3	1	1	SZUM terület
	Sugár	m	1,00	1,20	2,80	
	Terület	m <sup>2</sup>	9,42	4,52	24,62	38,56
Oldal	Mennyiség	db	4,00			
	Sugár	m	1,20			
	Terület	m <sup>2</sup>	18,09			18,09
Átlag						28,32
Átlag egyenérték	Mennyiség	db	1,00			
	Sugár	m	3,00			
	Terület	m <sup>2</sup>	28,26			28,26

4.4. táblázat A Silka lövegének ballisztikai jellemzői

A 4.2. táblázatban látható, hogy a fenti számítás szerint a célpontot átlagosan 3 méteres sugarú körrel helyettesítenénk e modell szerint, így jönne ki a 28 m<sup>2</sup>-es felület. Látható, hogy ez a modell sok esetben iszonyatosan nagy felülbecslést jelent. Így a modell inkább már csak tájékoztató jellegű, mert a kör az

esetek többségében messze nagyobb felület fed le, mint maga a gép – tehát találatnak veszi a mellément lövéseket is.

Alulnézetben a legnagyobb sugarú kör is csak 2,7 méter. Ennek fényében célszerűbbnek tűnik a két érték közötti átlaggal számolni, ami 2,85 méter még akkor is, ha elhanyagoljuk a kisebb felületek területének összegét. A nagyobb kör esetén azok nagyrészt a CEP-sugáron kívül esnének.

Ezen kívül azon esetet is megvizsgáljuk, amikor a célpont pontosan a légvédelmi ágyú felé repül: ekkor a cél jellemző mérete kb. 1,1 méter sugarú kör. A célpont teljes átlagos mérete valahol a két érték között helyezkedik el.

## 5. A tüzérség működésének matematikai modelljei

### 5.1. „A” és „B” modell, a modellek alapjai

A számításokhoz két eltérő modellt alkottunk meg, részben eltérő megközelítéssel, a modellek helyességét és pontosságát is vizsgálándó. A kétféle modell alapjai a következők:

- Az „A” modellel első lépésben (a forrásban megjelölt módon) adott távolságban az egy lövéssel leadott találat valószínűségét határozzuk meg, normális eloszlás esetén. Ehhez bemenő paraméter az adott távolságban érvényes lövedék CEP/szórás, illetve a célpont jellemző mérete. Az egy lövés találati valószínűségének és a leadott lövések számának ismeretében binomiális tétellel kiszámolható a siker kumulatív valószínűsége, az adott elvárt találati számot meghatározva.

Ez a modell ballisztikus rakéták és adott esetben bombák pontosságának és találati esélyének meghatározására készült, ezért légvédelmi lövegek szórásképeinek meghatározására inkább csak becslésként kezeltük a másik modell mellett.

- A „B” modell esetén Rayleigh<sup>27</sup> eloszlással számoltuk ki a lövedékek eloszlását, a CEP/szórás ismeretében, és a leadott lövések mennyiségének függvényében grafikusan ábrázoltuk. Ismert méretű célpont és meghatározott számú leadott lövés esetén kiszámolható a találatok száma, sőt: azok eloszlása is megfigyelhető. Az eloszlás sajátossága, hogy nem csak sugárirányú, normál eloszlással számolunk a célponttól adott távolságban, hanem mindkét tengely (X és Y) irányában normál eloszlású szórással is, ami másfajta találati eloszlást eredményez 1, 2 és 3 szigma értékeken belül az „A” modellhez képest – ha sugárirányban ábrázoljuk az eloszlást.

Mindkét modell nem manőverező célok esetén számolja a megsemmisítés valószínűségét bemenő paraméterek függvényében. A bemenő paraméterek egy része azonban szubjektív, vagy részben csak közelítés, azok pontossága nehezen határozható vagy ítélnélhető meg.

A modellek pontosabbak álló célpontok ellen, ami függeszkedő quadcopterek és helikopterek esetében értelmezhető. (Használhatók lennének földi célpontok esetén is, de ezt nem vizsgáltuk).

A modellek szintén pontosabbak nagyobb méretű célpontok esetén, ahol a mérési hiba egyre inkább figyelmen kívül hagyható a fegyver szórásához képest, amit az „A” modell elhanyagol. A „B” modell esetén ennek hatása is vizsgálható a szórás középpont elmozgatásával, de ezt a vizsgálatot nem végeztük el, mert az esetek számát kezelhetetlen mennyiségűre növelte volna.\*

Mozgó célpontok ellen (100 m/s felett) mindkét modell csak körülményesen alkalmazható. Még 1-2 másodperc hosszúságú tűzcsapás esetén is számottevően változik a céltávolság, ezért a számolt találati arányok a statisztikai összefüggések miatt nem pontosan átlagolhatóak – azaz a célsebesség növekedése a modell pontatlanságát növeli. Mind a két modellel lehetséges azonban egy ilyen tűzcsapást rövid szakaszokra bontva vizsgálni, szakaszonként egy-egy átlagos céltávolságra meghatározva a CEP/szórás hatását. A találati valószínűség még ez esetben is akár 5-10%-kal eltérő lehet a középértékhez képest a szakaszok elején és végén.

Mind az „A”, mind a „B” modell számításához használt Excel táblázatok letölthetőek a cikk mellékleteiként.

**\*A letölthető táblázat segítségével és azok módosításával/kiegészítésével ez a vizsgálat is elvégezhető.**

<sup>27</sup>

<https://math.stackexchange.com/questions/600325/deriving-the-rayleigh-distribution-from-the-gaussian>

## 5.2. A megsemmisítés valószínűségének meghatározása

Mindkét modell a következő közös bemenő adatokat használta fel:

- A modellezés során a következő lövegek voltak figyelembe véve különböző célpontok ellen:

UAV	Helikopter	rakéta, robotrepülőgép	repülőgép
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ZsSzU-23-4 Silka</li> <li>• Puma</li> </ul> lövészpáncélos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ZsSzU-23-4 Silka</li> <li>• Puma</li> </ul> lövészpáncélos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Phalanx CIWS</li> <li>• Goalkeeper</li> <li>• AK-630 és Kasztán</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ZsSzU-23-4 Silka</li> </ul>

Egzakt adatunk a löveg szórásáról és a lövedék sebességéről csak a ZsSzU-23-4 Silka löveg esetében van. Becsléshez rendelkezésre áll a lövedéksebesség, és egy rövid sorozat szórásképe 100 méteren a 2K22M Tunguszka rendszerről. Az M61 Vulcan illetve GAU-8 gépágyról szórásadatok állnak rendelkezésre a számításokhoz, a Silka szórás karakterisztikáját felhasználva extrapolációval számoltuk a CEP/szórás értéket a Gatling-elven működő Vulcan és Avenger ágyúkra.<sup>28</sup>

- A célpontok méreténél a 4. fejezetben meghatározott fő méretek a mérvadó bemenő adatok. A célpontok méretét egyenértékű sugárral (R) vesszük figyelembe méterben kifejezve.
- A löveg szórása adott lőtávolság esetén: sugárérték méterben kifejezve (CEP). Lőtávolság alatt nem a tűzkiváltás pillanatában levő távolságot, hanem a célpont és lövedék találkozásának távolságát értjük. Mozgó célpontok ellen van ennek jelentősége.
- A célpont megsemmisítéséhez elvárt találatok (sikerek) száma. A drónok, rakéták és bombák esetén ezt egynek vettük, a többiekénél érzékenység vizsgálatot végeztünk.
- Leadott lövések (próbálkozások) száma. A tűzgyorsaság és lövések számából számolható a tűzcsapás hossza, figyelembe véve a gyakorlati tűzgyorsaságot (3.6.1. pont).

### 5.2.1. „A” modell

- Az egyetlen találat kiszámításának esélyére alkalmazható összefüggés a következő a „A” modell esetén.<sup>29</sup>

$$p = 1 - e^{\left(\frac{-0,6391 \cdot R^2}{CEP^2}\right)}$$

ahol:

- p egy lövés esetén a találat esélye
- R a célpont méretével egyenértékű kör sugara
- CEP a tűzfegyver körkörös szórása az adott lőtávolságon

A két modell számára közös paraméterek megadásával és a fenti összefüggéssel meghatározható a siker esélye az „A” modell esetén, ahol siker alatt értjük, hogy a találatok száma nagyobb vagy egyenlő a megsemmisítéshez szükséges találatok mennyiségénél.<sup>30</sup>

<sup>28</sup> Ettől eltérő fegyverek adataival is működik a mellékletek között megtalálható Excel táblázat, de azokat szükséges meghatározni. Az M61 Vulcan esetén az egyetlen pontban ismert szórást felhasználva a Silka lövegének értékeit felhasználva lényegében lineáris arányosságot felhasználva látható egy diagram, de ennek pontossága kérdőjeles nagyobb távolságon a 20 mm kaliberű lövedékek eltérő ballisztikája miatt. A táblázat használatának módja az Excel fájlokban található.

<sup>29</sup> [https://www.alternatewars.com/BBOW/ABC\\_Weapons/Nuke\\_Exchange\\_Calcs.htm](https://www.alternatewars.com/BBOW/ABC_Weapons/Nuke_Exchange_Calcs.htm)

<sup>30</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=YxTsLKWsy1o>



### 5.2.2. „B” modell

A mellékelt Excel táblázatban a centrális határeloszlások tételével normál eloszlású adott szórású adatsorokat készítve, Rayleigh-eloszlással állítjuk elő a lövések X és Y koordinátát.

A leadott lövések számát, a találatok helyét, illetve a célpont jellemző méretét megadva kiszámolható a találatok száma, sőt, azok eloszlása (csoportosulása) is megjeleníthető. A táblázat a kiszámolt R távolságérték szerint megjeleníti az adott sávba eső találatok számát. A találatok száma és elhelyezkedése leolvasható a diagramról is, a táblázat frissítve újra és újra elvégzi a véletlen adatok generálását. Ezen adatokból kapott eredmények átlagolásával csökkentettünk a statisztikai hullámszám jelenségét elfogadható mértékű szintre. Ismételt vizsgálattal, sok esetből gyakoriság számolható egy adott számú találatra, és ebből annak valószínűsége meghatározható.

A „B” modell arra is alkalmas, hogy megmutassa a találatok csoportosulását is – ez olyankor fontos, ha több találatot várunk el a célpont megsemmisítéséhez. Természetesen ez csak szubjektív vizsgálatot tesz lehetővé, azonban a célpontok egzakt mérete a kapott szórás kép alá illeszthető.

## 5.3. A modell pontossága

### 5.3.1. Mérési hiba

Az „A” modell nem veszi figyelembe a 3.4. pont alatt kifejtett oldal- és helyszögmérési hibát: ez minden esetben nulla, emiatt az összes számítás optimista becslést ad eredményül, a számolt találati arány magasabb, mint nem ideális esetben. A nagyobb célpontok esetén ( $R > 4$  m, a vadászgépek ideális felületét nézve) nem számottevő a hatás, mert löveg szórása akkora, hogy csak kismértékben változik a szórás és a célpont jellemző mérete közötti átfedés – ám a hiba hatása kisméretű célpontok ellen még számszerű érték meghatározása nélkül is láthatóan nagyon komoly.

A mérési hiba nagy sebességű célok esetén még számottevőbb, mert a találkozási pontnál nagyobb távolságban méri a cél paramétereit. Ez egy M2 sebességű hajó elleni rakétánál azt jelenti, hogy ha 1 km távolságban van a számolt találkozási pont, akkor a Silka löveghez hasonló sebességű lövedék kb. 1,4 másodperc alatt ér oda. (A Kasztán például ilyen rendszer.)<sup>31</sup> A célpont paramétereinek mérésekor, azaz a tűzkiváltáskor  $1,4 \text{ s} \times 680 \text{ m/s} = 950$  méterrel távolabb van, azaz 1,95 km a távolsága – tehát valójában a szórás középpont kis valószínűséggel van pontosan a célponton tartva.

A mérési hiba sajnos nem számszerűsíthető az „A” modell esetén.

A „B” modell esetén számoló táblázatban lehetséges a célpont jellemző méretének elmozgatása és vizsgálata a szórás középponthoz képest, de ezt nem használtuk fel egyetlen esetben sem: elfogadtuk, hogy a kapott értékek a modellen belül felső becslést adnak.

### 5.3.2. Találatok száma a megsemmisítéshez

#### 5.3.2.1. UAV quadcopterek, octocopterek

A kisméretű UAV-k esetében azok mérete miatt úgy számoltunk, hogy egyetlen találat elégséges a megsemmisítéshez. Ezt amiatt lett a lehető legkisebb érték, mert azok felépítése miatt vagy a sárkányszerkezet, vagy a meghajtás vagy a kamerarendszer kap végzetes találatot és a quadcopterek és octocopterek kivételével semmiféle tartalékkal nem bírnak ezen eszközök. Ez utóbbi kettőnél is legjobb

<sup>31</sup>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Kasztan\\_CIWS](https://en.wikipedia.org/wiki/Kasztan_CIWS)

A Silka esetén 980 m/s a kezdősebesség, de a kisebb lövedék jobban lassul, a Kasztán 30 mm-es lövedékének kezdősebessége 860 m/s. A példa szempontjából ez a kis különbség nem számottevő.

esetben röpképes és irányítható marad a drón, ha egyik légcsavart éri találat és az automatika képes még kiegyensúlyozni egy légcsavar hiányát.

### 5.3.2.2. Hajó elleni rakéták (ASM) és robotrepülőgépek (CM)<sup>32</sup>

A hajó elleni rakéták és robotrepülőgépek esetén is úgy számoltunk, hogy egyetlen találat elégséges a célpont elpusztításához. Ennek oka az, hogy ezekre lényegében szemből tüzelnek a gépágyús légvédelmi rendszerek, hiszen a hajók saját magukat védik. Ez azt jelenti, hogy a szemből érkező lövedék gyakorlatilag biztosan eltalálja a rakétát és azon hosszirányban megy keresztül, beleértve annak vezérlő rendszerét és harci részét is.

A linkelt videó elhaladó célokra tüzel a Goalkeeper rendszer<sup>33</sup> (ami a GAU-8 Avenger gépágyút használja), mert a gyakorló lövészeteken erre biztonsági okokból szükség van. Látható a videón, hogy alig néhány száz méter távolságban sikerül csak a szubszonikus sebességű célpontot leküzdeni.

### 5.3.2.3. Repülőgépek, helikopterek

Szubjektív a modell amiatt, hogy a nagyobb méretű célpontok elpusztításhoz szükséges találatok megállapítása minden háborús tapasztalatot és típust egybe éve sem (lehet) egzakt. Egyetlen szerencsés találat is okozhatja a gép vesztét, például, ha a pilótát találja el egy 23-30 mm-es lövedék, megölve őt.

Ellenben az sem kizárt, hogy akár a vizsgált A-4 Skyhawk méretű, vagy nagyobb repülőgép 5-6, vagy akár még több találat esetén is repülőképes maradjon – és bár sérülten, de képes legyen visszatérni és javítható marad. Ez esetben természetesen kiválik a harccselekményből, de a javítás mértéke is terjedhet a néhány tucat munkaórától a több százig – vagy egészen odáig, hogy bár a gép képes volt hazatérni, de gazdaságosan már nem javítható. A helikopterek esetén is nehéz meghatározni azt a találatmennyiséget, aminél biztosra vehető a megsemmisítés.

A célpont jellemző mérete is nehézkesség teszi az ítélezést. Amennyiben kiterjesztjük a célpont jellemző méretét, akkor az adott méretű körbe eső találatok száma megnő. Ha tehát csak előírunk egy találati számot, akkor sokkal nagyobb megsemmisítési valószínűség jön ki – de ez azt is jelenti, hogy a találatok szórása is nagyobb lesz. Ha pl. egy A-4-et három találat ér, egy szárnyán, egy vezérsíkján és az orrkúpján, akkor nehéz elképzelni, hogy megsemmisül a gép. Ellenben, ha kisebb területre esik ugyanennyi, akkor lehet, hogy pl. a turbinalapátot, a segédberendezés-házát és az egyik kormányvezérlő tolórudat éri találat, akkor magasnak lenne vehető a megsemmisítési valószínűség. De ennek a valószínűsége alacsony, mert sokkal kisebb területre esnek a találatok.

Emiatt helikopterek és repülőgépek ellen mindösszesen néhány esetet mutatunk be, hogy látszódnak a lehetséges szélső esetek nagyságrendjei.

### 5.3.3. Megsemmisítés valószínűsége mozgó célpont esetén

A repülőgépeknél, rakétáknál és robotrepülőgépeknél vizsgált esetek sorolhatóak ide.

Mindkét modell esetén a tüzelés több szakaszra bontható fel. Pl. egy szubszonikus AGM-84 Harpoon hajó ellen robotrepülőgép esetén 250 m/s célsebességet feltételezve, és egy három másodperces tűzcsapást vizsgálva 1000-750, 750-500, 500-250 méteres céltávolság-szakaszokra bontjuk fel a vizsgálatot. Ez esetben lehetséges olyan modell felállítása, hogy egységesen összesen 1 találatot várunk el a megsemmisítéshez, és

<sup>32</sup> ASM = anti-ship missile, CM = cruise missile

<sup>33</sup> <https://youtu.be/6CHDjOCyixU?t=175>

Látható a videón is. Az első felvillanás és becsapódás után felrobban a célpont.

minden szakaszban 1-1-1 darab találatot várunk el. Ezek után az adott szakaszok valószínűségével szintén számolható, hogy mennyi kumulatív valószínűsége 1 db találatnak.

A rövid szakaszoknak köszönhetően azok középtávolság-értékeivel számolt szórással és a célpontmérettel számolható az adott szakaszon minden lövés találati valószínűsége. A távolabbi lövéseknél alacsonyabb a találati esély, a közelebbieknél magasabb. Ezek összesített eltérése a középez képest nem okoz néhány százaléknál nagyobb hibát, de ennek a módszernek is megvannak a maga korlátai.

A fentiekből következik, hogy végtelen sok eset állítható fel, de igen szubjektív, hogy ezek átlagos sikeressége mennyire tér el – már csak attól is, hogy hány találatnál semmisül meg a célpont. Ezért a számítást csak robotrepülőgépekre és rakétákra végezzük el, ahol egy találat is elég a sikerhez, de még ezeknél is előzetes vizsgálat tárgya, hogy mekkora távolságra érdemes elvégezni a számításokat.

#### 5.3.4. Szórás figyelembe vétele eltérő tűzfegyverek esetén

A Silka és a fent említett M61 Vulcan és GAU-8 ágyúk mellett egy további eszköz szórását is megvizsgáltuk. A linkelt videón<sup>34</sup> a 2K22 Tunguszka 30 mm-es lövegével 100 méter távolságban adnak le rövid sorozatot egy négyzet alakú fa lapra, ahol látszanak a lapot el nem találat lövések is. A lap mérete kb. 80x80 cm, kb. a lövések 75%-a csapódott be a képek alapján egy  $R = 0,4$  méter sugarú körbe, ami azt jelenti, hogy a CEP nagyjából ennek a fele, 0,2 méter.

Bár a minta statisztikailag nagyon kicsi, azért az látható, hogy a löveg szórása nagyságrendileg a Silka és a GAU-8 Avenger között van. Úgy tűnik, hogy a nagy tűzgyorsaságú 23-30 mm légvédelmi ágyúk szórása nagyjából ebben a tartományban marad, és attól függ az átlagtól való eltérés, hogy mekkora a gépágyú tűzgyorsasága – illetve, hogy Gatling<sup>35</sup> rendszerűek, más műszaki megoldásúak-. Becsléshez jó közelítésként a Silka és az M61 extrapolált adatai bármilyen gyorstűzelő légvédelmi gépágyú esetén végzett számításhoz megfelelőnek tűnnek.



<sup>34</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=ruC4lhTxLqs&feature=youtu.be&t=369>

<sup>35</sup> <https://htka.hu/2017/12/20/haditechnikai-osszefoglalo-2017-es-kiadas/>, 7.1.1. fejezet.

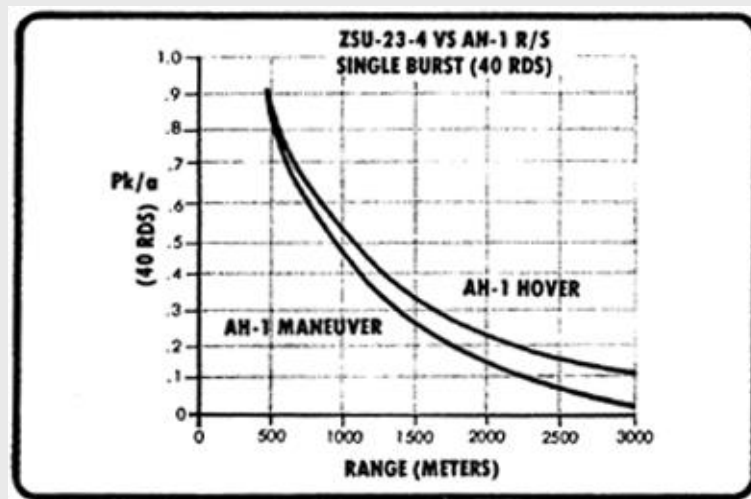
## 6. Vizsgálat esetek, kapott eredmények

### 6.1. AH-1 Helikopter

#### 6.1.1. ZsSzU-23 Silka

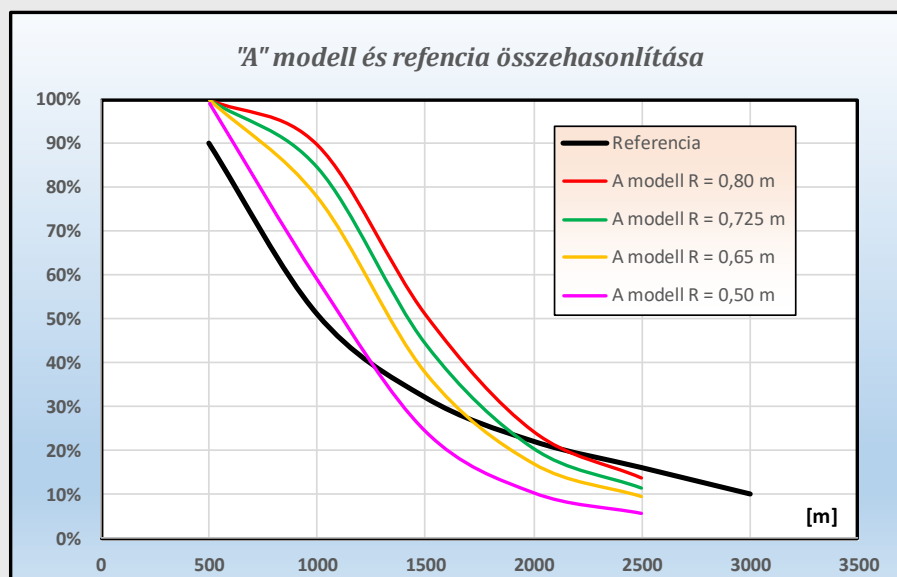
##### 6.1.1.1. Referencia vizsgálat

Az „A” és „B” modell pontosságát részben validálni lehet a titkosítás alól feloldott, hidegháborús dokumentumokból származó referencia értékek alapján.<sup>36</sup>



6.6. ábra Sűrűségfüggvény, CEP és szigma tartományok ábrázolása

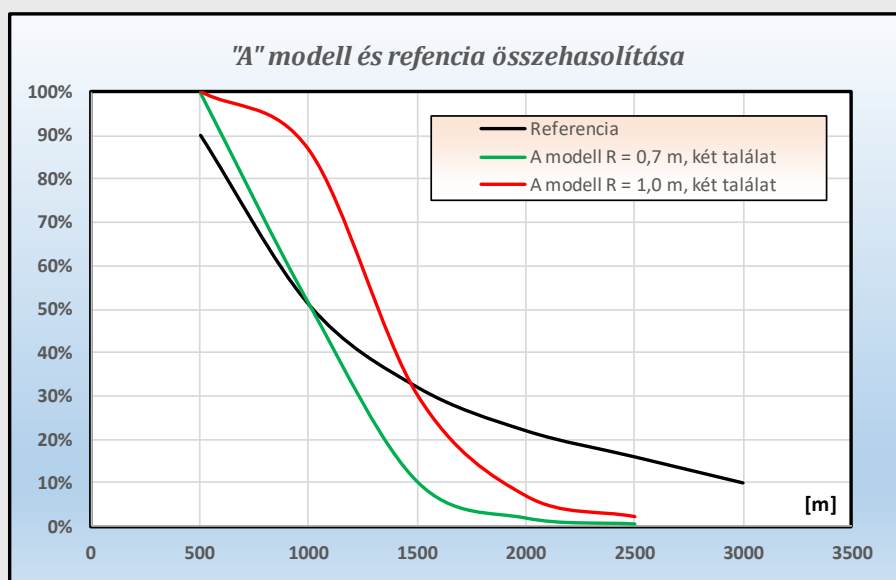
A 6.1. ábrán látható a megsemmisítés valószínűsége egy 40 lövéses sorozat esetén, egy függeszkedő vagy lassan manőverező AH-1 helikopter ellen. A forrás nem részletezi, hogy ezt hány találatot jelent, ezért valószínűleg ezt egynek vette. Mivel az AH-1 jellemző felülete szemből nézve rendkívül kicsi, és annak számottevő része a pilóta, ezért első közelítésben 1 találattal hajtottuk végre a számításokat az „A” és „B” modell felhasználásával 0,5 és 0,8 méter közötti jellemző méretsorozattal.



6.7. ábra Referencia megsemmisítési valószínűség és „A” modell összehasonlítása egy találattal

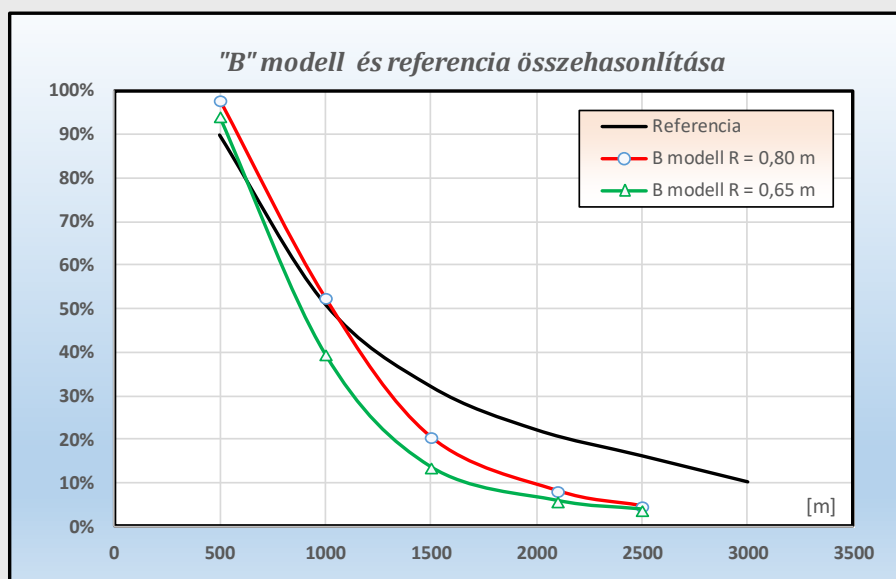
A 6.2. ábrán láthatóak a kapott eredmények. Látható, hogy jellegre csak a  $R = 0,5$  méter méretű cél esetén közelítette a megsemmisítési valószínűség a referenciagörbén látható értéket – ami az AH-1 átlagos célfelületét nézve nagyon erős alulbecslés, hacsak nem pontosan szemből tüzel rá a légvédelem.

Nagyobb méret ( $R > 0,65$  m) esetén a számolt megsemmisítési valószínűségek számottevően meghaladják a referencia értékét. Ennél nagyobb probléma az, hogy a találati valószínűség jellege (karakterisztikája) nem közelíti a referenciát, hanem inflexiós ponttal rendelkezik. Ebből az a következtetés vonható le, hogy az „A” modell valószínűleg (ekkora méretű cél esetén) kismértékben felül becsli a találati valószínűséget a valósághoz képest.



6.8. ábra Referencia megsemmisítési valószínűség és „A” modell összehasonlítása két találattal

Amennyiben a célpont méretét vagy az elvárt találatok számát változtatjuk, a görbék jellege megtartja az inflexiós pontot – kivéve, ha nagyon szélsőséges módon változtatjuk meg a bemenő paramétereket. A 6.3. ábrán látható, hogy ha a találatok számát emeljük meg kétszer a szükséges mérethez, akkor a görbe jellege hasonló lesz a referenciához, de a számszerű értékek erősen eltérnek attól. Az eltérés arányaiban sokkal súlyosabb, mintha csak különbséget néznénk. Azonban, ha megnöveljük a célpont méretét, akkor az inflexiós jelleg visszatér. Minden más további változtatás a fentieknél lényegesen eltérőbb és pontatlanabb karakterisztikát eredményez.



6.9. ábra Referencia megsemmisítési valószínűség és „B” modell összehasonlítása egy találattal



A „B” modell esetén az AH-1-et méretét viszonylag jól közelítő,  $R = 0,8$  célpontméret esetén nem csak a jelleg, de a számszerű értékek is jól közelítik a referenciaértékeket. Értjük ez a relatív, illetve a különbségként látható eltérésre, ez látható a 6.4. ábrán.

Megjegyzendő, hogy  $R = 0,8$  méteres célpont esetén 1500 méteren kisebb a siker esélye, mint a referenciában. Ennek egyik oka lehet, hogy a „B” modell nem számol a Silka nem kör alakú szórás képével – illetve az, hogy a célpont sem tökéletes kör forma. Az AH-1 esetén már egy kismértékű oldalirányú rálátás is is pont olyan mértékben növeli meg a célpont nagyságát, aminek komoly hatása van a találati valószínűség növekedésére pont az 1500 méter feletti tartományban. Az eleve magas találati valószínűségű kisebb távolságon ez csak kismértékben növelné meg a siker esélyét. Ez látható az  $R = 0,65$  és  $R = 0,85$  méter nagyságú célpontok esetén. 500-750 méter távolságon olyan magas a találati valószínűség (ami itt most megsemmisítési valószínűség is), hogy a 10% különbségként számolt eltérés arányaiban sokkal kisebb.

Mivel a Silka effektív lőtávolsága nagyméretű célpontokat leszámítva jellemzően 2 km alatti, ezért a „B” modell eredményeit tartjuk mérvadónak a továbbiakban, de ennek ellenére az „A” modell által kapott eredményeket is bemutatjuk egyes esetekben, hogy a modellek további pontatlanságait össze lehessen hasonlítani.

A helikopterek ellen két rövid, vagy egy hosszabb, 200 lövés sorozatnál hosszabb időtartamú tüzelés vizsgálatát nem végezzük el. Ennek oka, hogy való életben valószínűtlen, hogy két rövid vagy egy hosszú sorozatot követően a célpont ne kezdjen manőverezni, észlelve a rá leadott nyomjelző lövedékeket. Mivel manőverező célok elleni vizsgálat nem lehetséges a modellel, ezért itt határoltuk le a vizsgálatot.

Megjegyzendő, hogy a referenciaesetben 40 lövés sorozatra végeztek el vizsgálatot, ami a lőszabályzat szerinti leghosszabb sorozat lassú / álló célpontok esetén.

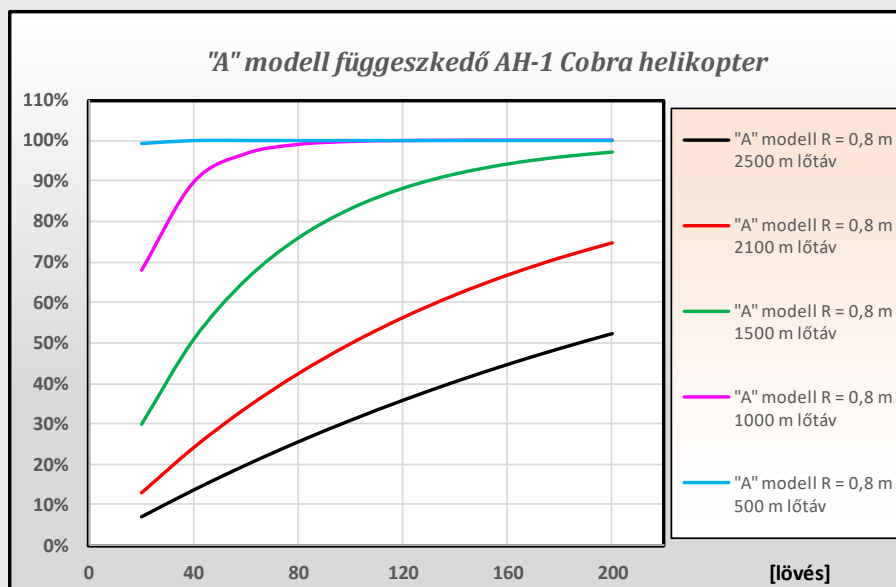
#### 6.1.1.2. „A” modell

A 6.5. ábrán láthatók a megsemmisítés valószínűségére kapott eredmények öt eltérő lőtávolság és 20-200 darab leadott lövés esetén. Ez a 3.6.1. pont alatt kifejtett lőszabályzat és tűzgyorsaság hatása miatt lett kiválasztva, mert ennél több leadott lövést függeszkedő helikopterre nehéz elképzelni. Még, ha egyetlen hosszú, 200 lövés sorozatot adna is le a Silka, és a valós átlagos tűzgyorsaság egyenlő lenne az elméleti maximálissal, akkor is csak 3,5 másodperces tűzcsapásról lenne szó 200 lövés esetén. 2x100 db lövés sorozat esetén minden egyéb holtidő nélkül is 9 másodperc feletti a tűzcsapás ideje.

A megsemmisítéshez egyetlen találattal számoltunk, mivel a referenciamodell is ezzel számolt. Ettől függetlenül néhány további esetre is végeztünk vizsgálatot, eltérő bemenő paraméterekkel (érzékenység vizsgálat.)

Mivel a referencia vizsgálatkor a „B” modell esetén az  $R = 0,80$  méteres célpont volt legközelebb a referenciaeredményhez, ezért az „A” modellnél is ezzel a mérettel számoltunk.

A referencia vizsgálat esetén 40 lövés, fix sorozathossz volt változó távolságon vizsgálva, addig lenti esetekben eltérő távolság és eltérő lövésszám esetén végeztük a vizsgálatot. Minden lőtávolságra külön karakterisztika (lövésszám – megsemmisítési valószínűség tartozik). Emiatt nem szabad a görbék jellegét összehasonlítani a fentiekkel, hiszen az ábrázolt eredmények más paraméterek szerint vannak ábrázolva.

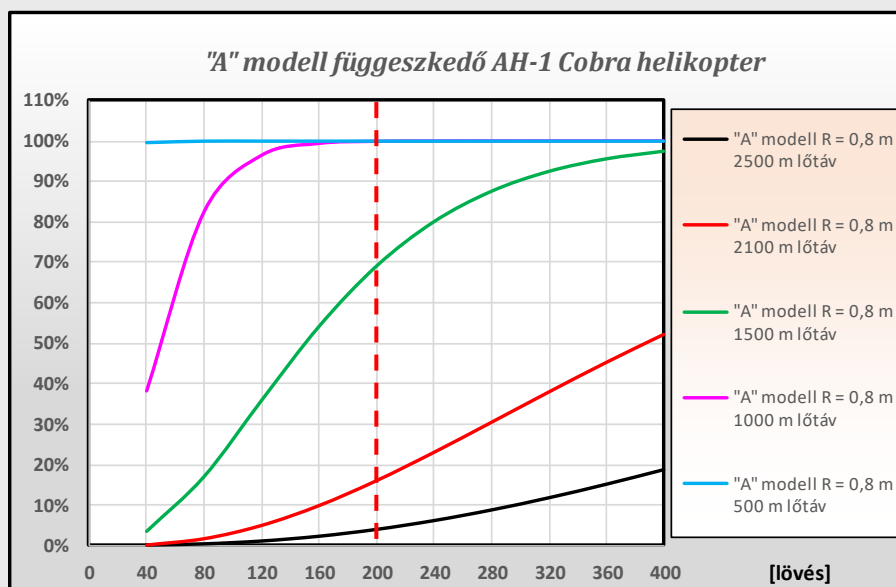


6.10. ábra Megsemmisítési valószínűség „A” modell, 1 db elvárt találat

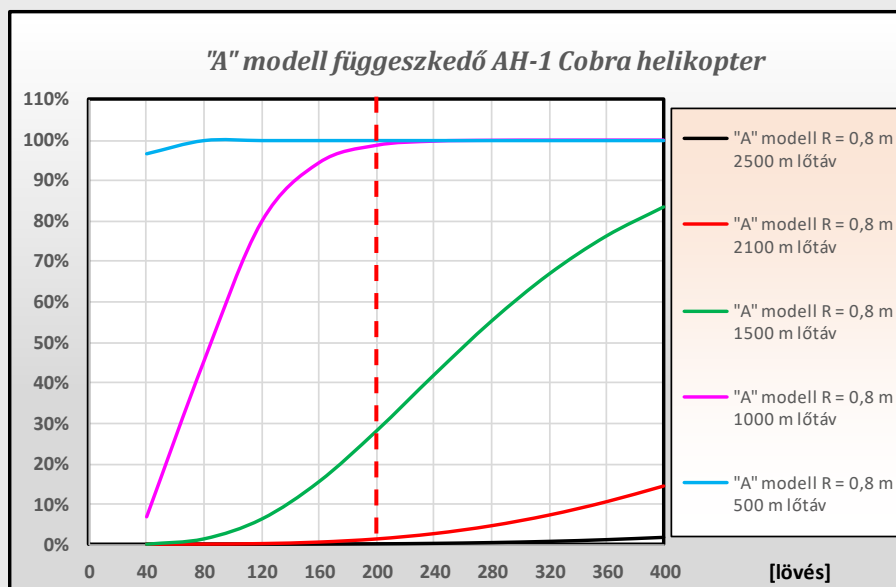
A kapott eredményeken jól látható a távolság hatása a találati arány csökkenésére. Minél inkább csökken az egy lövés sikerének valószínűsége, úgy laposodik ki a megsemmisítés valószínűségi görbéje – és látszólag közelít a lineárishoz a leadott lövések függvényében, bár további vizsgálat megállapította, hogy ez nem igaz.

Az érzékenység vizsgálatok során a megsemmisítéshez elvárt találatok, illetve leadott lövések számának növelésével megállapítást nyert, hogy a lineárisnak tűnő szakaszok nagyobb számú elem vizsgálata esetén nagyon inflexióval rendelkező görbék. Ld. 6.5 és 6.6. ábra, (Ennek a két diagramnak a skálázása eltér a 6.5. ábrától, 400 lövésig tart.) Nagyobb lőtávolságon, 2 km felett még akár kb. 800-1000 lövést leadva is, annyira alacsony a megsemmisítés valószínűsége, hogy az inflexió ellenére, a teljes tartományt nézve, annak középső szakaszán a karakterisztika viselkedése lineárishoz közelítő.

A érzékenység vizsgálatok esetén a leadott lövések számát 400-ra emeltük a karakterisztika vizsgálat céljából, illetve hogy a „B” modellel összehasonlítható legyen.



6.11. ábra Megsemmisítési valószínűség „A” modell, 3 db elvárt találat



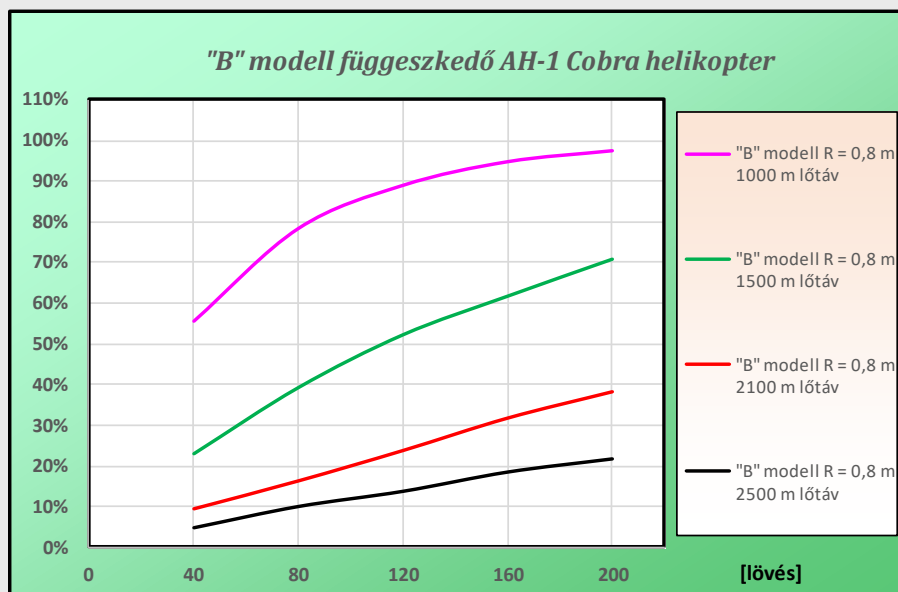
**6.12. ábra Megsemmisítési valószínűség „A” modell, 5 db elvárt találat**

A 6.6. és 6.7 ábrán látható a megsemmisítéshez szükséges több találat elvárásának hatása. Mivel 6.7. és 6.8 ábrán 400 lövésig vizsgáltuk a találati arányt, ezért a 6.6. és 6.7. diagramokon függőleges, piros, szaggatott vonal jelzi a 200 lövést a könnyebb összehasonlíthatóság végett, ameddig a 6.5. ábrán feltüntettük a kapott eredményeket.

Azt azért érdemes megjegyezni a vizsgálat kapcsán, hogy azért, ha tökéletesen, vagy majdnem tökéletesen szemből látszik a helikopter, nehéz elképzelni azt, hogy 5 db találat lenne szükséges, a 3 db már inkább reálisnak tűnik, mint maximálisan szükséges érték – de még ez is pesszimista megközelítés. Az 5 db találat valószínűségét pusztán a karakterisztika jellegének vizsgálata miatt számítottuk ki.

Amennyiben a helikopter nagyobb felületét mutatná célpontnak, akkor az 5 db találat elvárása már reálisabbnak tűnik – viszont ebben az esetben a cél jellemző mérete miatt a modell pontatlan, hiszen azt jelentősen alulbecsüli. Erre az esetre azonban már nem végeztünk vizsgálatot, mert ez leginkább csak akkor képzelhető el, amikor a helikopter nem függeszkedik, hanem komoly sebességgel repül.

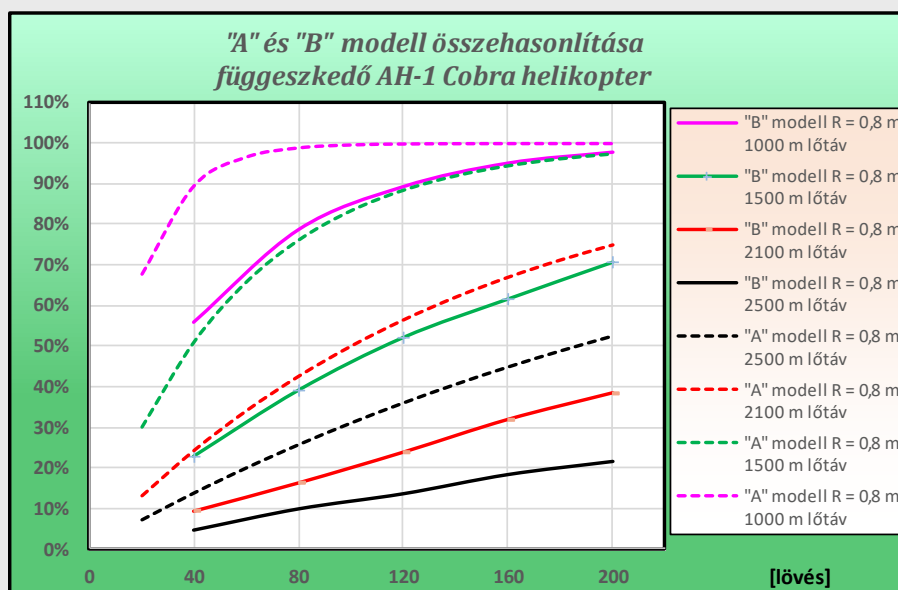
## 6.1.1.3. „B” modell



6.13. ábra Megsemmisítési valószínűség „B” modell, 1 db elvárt találat

A 6.8. ábrán a megsemmisítéshez egy találatot elváró számítás eredménye látható a „B” modell esetén. Az „A” modellel összevetve, jellegre hasonló eredményeket kaptunk a 6.5. diagrammal, azonban a kapott megsemmisítési valószínűség értékek elmaradnak az „A” modell értékeitől. 2500 m távolságban a siker esélye rendkívül csekély, alig 20% még igen hosszú, 200 lövésből álló sorozat esetén is, a „A” modell kb. 40%-os értékével szemben, ez kb. 100%-os eltérés. 2100 és 1500 m távolságban nagy a relatív eltérés, de relatív eltérés kb 66%-ra csökkent. Ennek oka a kettős normál eloszlású modell viselkedése kisebb szórás/célpontméret arány esetén. (Ld.) később.

A diagramon látható, hogy 1000 méteres lőtávolság esetén, ahol a tűzfegyver szórása sokkal inkább összemérhető a célpont nagyságával, ott relatív értelemben az „A” és „B” modell közötti eltérés kisebb, mint nagyobb lőtávolságnál. Minél nagyobb a lőtávolság, annál nagyobb a két modell között a relatív eltérés, mert löveg szórása a távolsággal nő. Az „A” és „B” modell eredményeinek összehasonlítása a 6.9. ábrán látható. Az azonos lőtávolságok azonos színnel láthatóak a diagramban, a szaggatott vonallal az „A” modell, folytonos vonallal a „B” modell eredményei láthatóak.



6.14. ábra Megsemmisítési valószínűség összehasonlítása „A” és „B” modell, 1 db elvárt találat

Tartsuk szem előtt, hogy nem a százalékos értékek különbsége, hanem azok aránya a mérvadó. Míg 1000 méteres lőtávolságnál 40-120-200 lövésnél még a legrosszabb esetben is csak 20% a relatív eltérés a két modell között, addig 2500 méteres lőtávolságnál már elérheti a 100%-ot is.

A kettős eloszlás miatt kisebb megsemmisítési valószínűség következménye, hogy a görbék „laposabbak” az „A” modellhez képest. Nagyobb lövésszám vizsgálata esetén az alacsonyabb megsemmisítési arány és az inflexiós pont jelleg itt is tapasztalható, de az arányok mások.

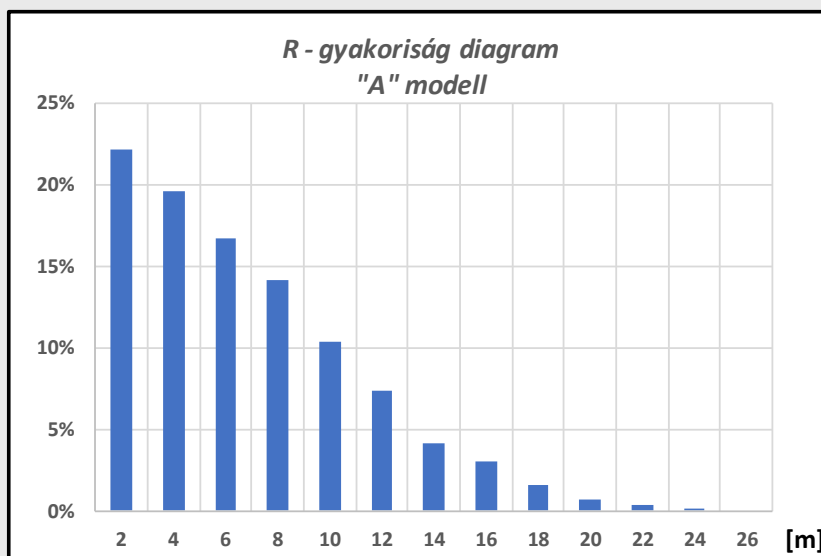
*A diagramban szereplő görbék jellege a „B” modell estén nem olyan szép, mint az A modellnél, mert „csak” néhány ezer véletlenszerűen generált véletlen szám, illetve azok felhasználásával 40-200 db elem véletlenszerű kiválasztásával állítottuk elő a kapott leadott lövések koordinátáit. Már pusztán a generált véletlen számok szórása és átlaga nem hozza túlpontosan a 0 várható értéket és a szórás nagyságát. A mellékletben található Excel táblázatban megfigyelhető a gyakoriság diagramon, hogy mennyit változik mindegy egyes újraszámoláskor az eloszlás, bőven megfigyelhető statisztikai hullámlás.*

*Ezzel szemben az „A” modell előnye, hogy azt az eredményt adja, amit kvázi végtelen sok próbálkozás után kapnánk eredménynek, minden fajta statisztikai ingadozást és a számítógép által használt véletlenszám generálási hibát eltüntet a kapott eredményből.*

*Emiatt adott esetben a trendvonalról komoly statisztikai kilengés is előfordul olyan esetekben, amikor egy kis(ebb)s valószínűségű eset néhány plusz előfordulása nagy relatív eltérést jelent, de ettől a trend még helyesen látszik a számításoknál. Mivel a „B” modellnél ugyanabból a 100 db elemből végeztük el a vizsgálatot*

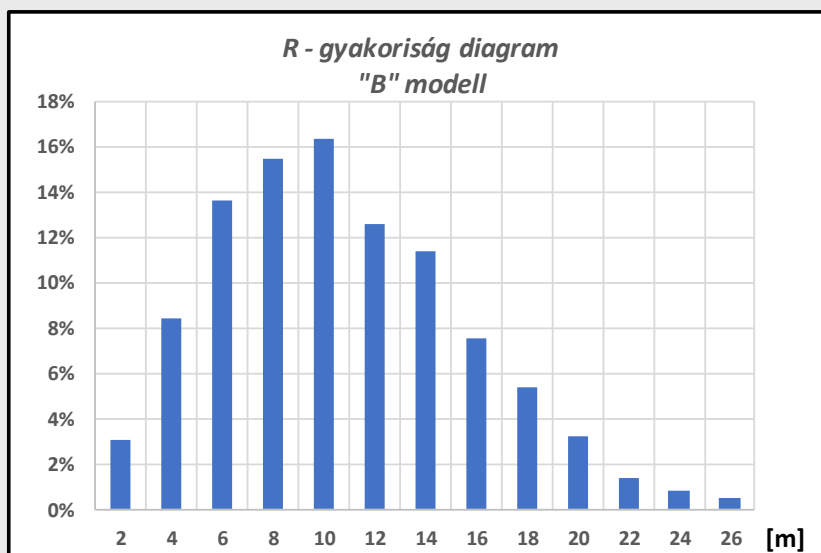
A modellek közötti eltérés pontosabb magyarázata a következő ábrákkal számszerűleg is szemléletesen, jól magyarázható. Az ábrákon 1500 méter távolságban 5 méter CEP (1 szigma = 7,29 méter) szórású 500 leadott lövés gyakoriságát (sűrűségfüggvény, 6.9. és 6.10. ábrák), illetve kumulatív eloszlását (6.12. és 6.12. ábrák) ábráztuk sávosan, 2 méteres osztásközzel.

A diagramon ábrázolt értékek a legszebb átlagot mutatják. A kis statisztikai minta miatt a statisztikai hullámlás miatt a szép jellegtől eltérő eredményeket is lehet kapni, de több diagram számszerű átlaga nagyjából a bemutatott ábrának felel meg.



6.15. ábra „A” modell találat gyakoriság diagram





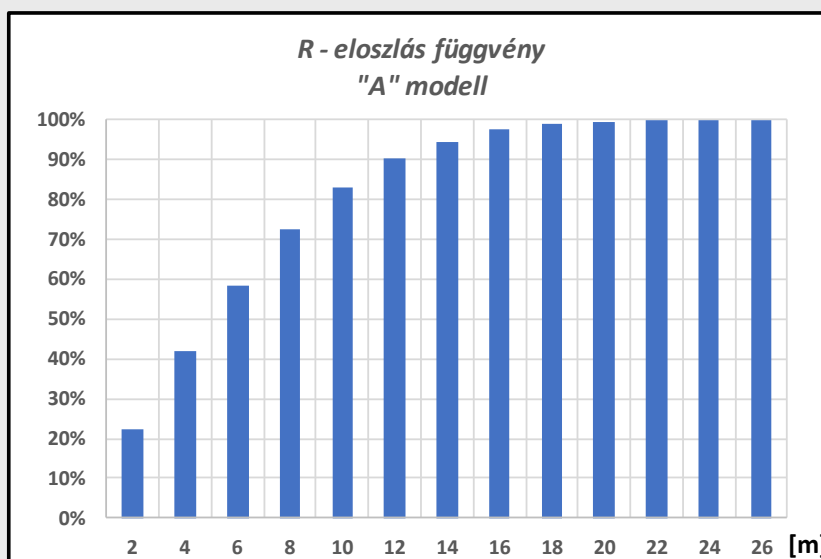
6.16. ábra „B” modell találat gyakoriság diagram

A 6.10. és 6.11. ábrákon látható, hogy az egyváltozós „A” modell esetén, a „B” modellel összevetve mennyivel magasabb a találatok előfordulási gyakorisága a szórásközépponthoz képest. 2 méteren belül: az „A” modell esetén kapott 22%-os értékkel szemben a „B” modellnél mindössze 5% a valószínűség.

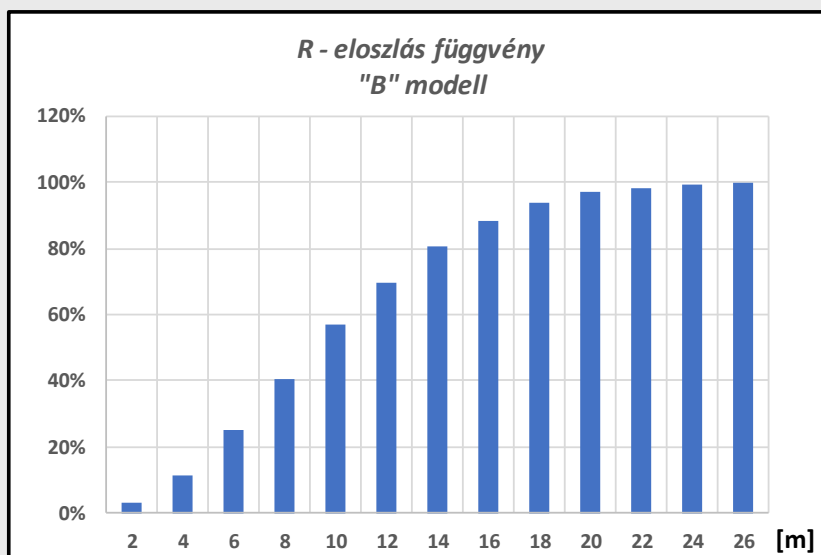
A kumulatív eloszlást mutató diagramokon is azt látjuk, hogy 14-16 méteres távolságon – és azon túl – a két modell ugyanazt az eredményt adja, tehát a szóráskép ugyanazt a területet fedi le. A különbség az, hogy az „A” modell esetén a lövedékek kb. 62%-a csapódik be szórásközépponttól számolt 8 méter távolságig, addig a „B” modell esetén ez csak 42%. Bár a szóráskép ugyanakkora területet fed le, mégis más a becsapódási helyek eloszlása a löveg teljes szórásképén belül

Különösen nagy a modellek közti különbség a 2-4 méteres tartományban, ahol többszörös eltérés van a gyakoriság-értékek között. Ez azt jelenti, hogy a „B” modell esetén sokkal több lövést kell leadni, hogy egy szűk körbe essen számottevő mennyiségű találat.

Ez az eloszlás magyarázza azt, hogy a kisebb méretű célpontok esetén miért ad alacsonyabb találati valószínűséget a „B” modell, és miért közelednek az eredmények egymáshoz, amikor a szórás és a célpont mérete kezd összemérhetővé válni.



6.17. ábra „A” modell találat eloszlás diagram

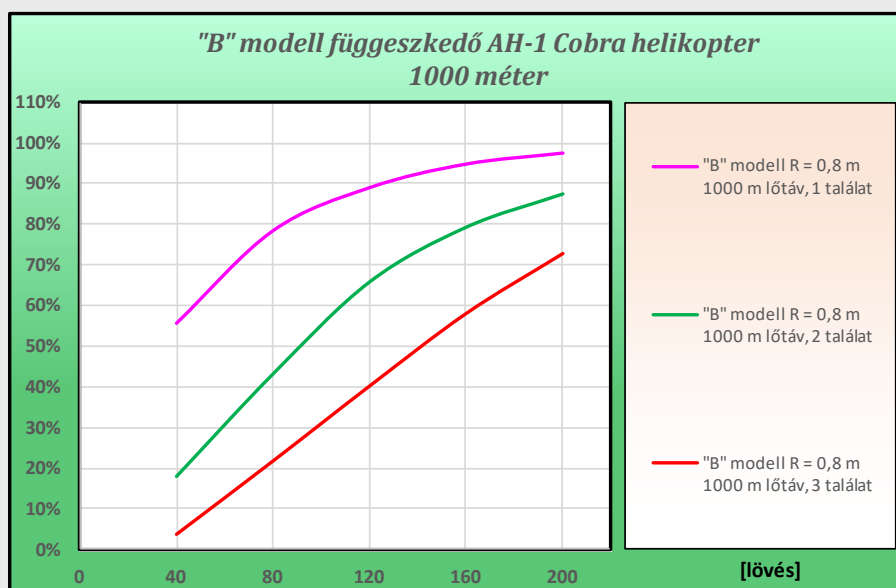


6.18. ábra „B” modell találat eloszlás diagram

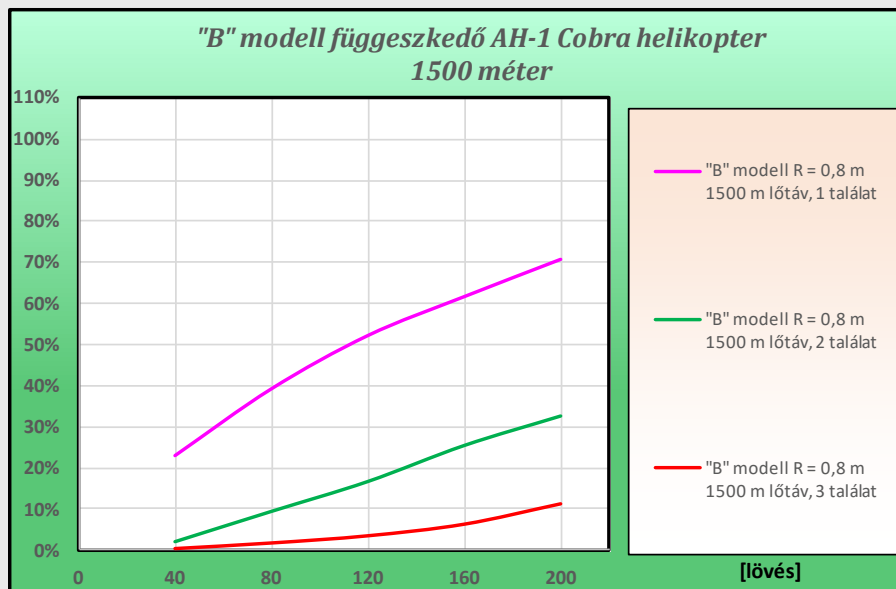
A fenti diagramok esetén az esetleges célzási hiba pontossága is megítélhető. A Silka esetén a maximális oldalszög-mérési hiba 2 mil, ami 1000 méter távolságban 2 méter. Látható, hogy ha a szórás középpont elmozog a célról, az a „B” modell esetén, növeli a találati arányt, az „A” modell esetén pedig csökkenti. Azonban a teljes leadott lövések számánál ez annyira alacsony eltérés, hogy továbbra is kijelenthető, hogy a kapott eredmények a „B” modellhez esnek inkább közel.

A „B” modell esetén a vizsgálatokat az eleve kisebb megsemmisítési valószínűség miatt a tényleges megsemmisítéshez szükséges kettő, illetve három darab találati mennyiségre végeztük el, 1000, 1500 és végül 2100 méteres lőtávolságban. Az eredmények a 6.14.-6.16. ábrákon láthatóak.

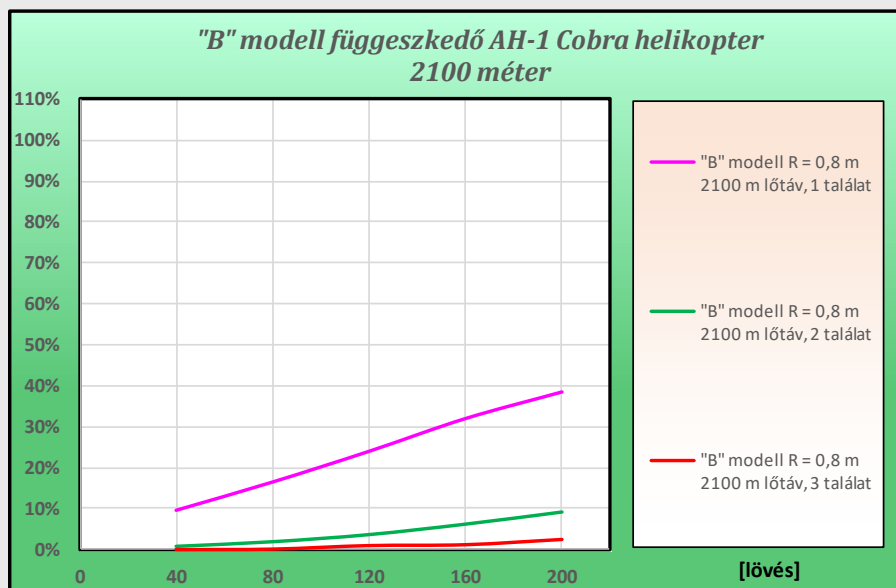
Szemből nézve nehéz elképzelni, hogy 3 db találat ne lenne végzetes, azonban a kapott eredmények alapján erre csak olyan távolságból van esély, ami nem tekinthető reálisnak. Két találatot elvárva 1500 méterről még mutatkozik némi esély a sikerre.



6.19. ábra Megsemmisítési valószínűség összehasonlítása „B” modell, 1,2,3 db elvárt találat, 1000 méter lőtávolság



6.20. ábra Megsemmisítési valószínűség összehasonlítása „B” modell, 1,2,3 db elvárt találat, 1500 méter lőtávolság



6.21. ábra Megsemmisítési valószínűség összehasonlítása „A” és „B” modell, 1,2,3 db elvárt találat, 2100 méter lőtávolság

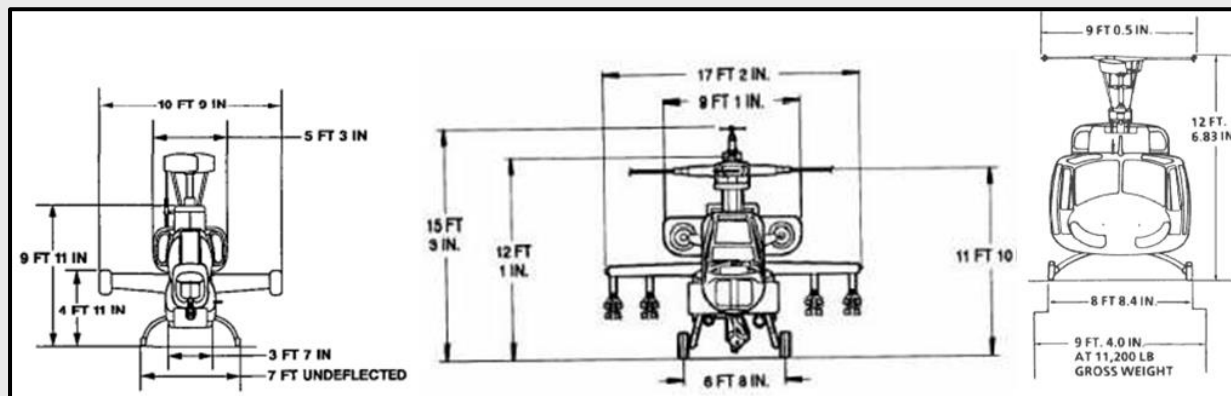
Elfogadva, hogy a légvédelmi rendszer hatékonysága valahol a „B” modell, vagy az „A” és „B” modell között félúton van, beláthatóvá válik, hogy relatíve kis felületű célpontok tényleges leküzdése 2 km lőtáv felett igen elméleti lehetőség – főleg, ha azok egynél több (kritikus) találatot is elviselnek.

Az AH-1 Cobra harci helikopterre kapott számítási eredmények tükrében érthetővé válik, hogy miért tettek komoly erőfeszítést a számottevően kisebb homlokfelület elérése érdekében a tervezése során, a kezdetben tűztámogatásra is használt UH-1 szállító helikopterhez képest.

Vietnám idején a helikopterek számára a légvédelmi tüzérség és a gépágyúk jelentették a fő fenyegetést. A fenti számítások alapján megítélhető, hogy a sokkal nagyobb UH-1 esetén mennyivel nagyobb volt a találat esélye szemből nézve.

Az AH-1-gyel összehasonlítva feltűnő, hogy az AH-64 Apache harci helikopter már annyira nem karcsú. Ennek oka, hogy az az AH-64 tervezésekor inkább már a légvédelmi rakéták jelentették a fő veszélyt, amik

elleni védekezésnél indifferens, hogy szemből nézve mekkora méretű a célpont. A másik ok, hogy az új helikopterhez új rakéta is dukált, az AGM-114 Hellfire, ami már 8 km távolságból is indítható volt. Ekkora indítási távolság esetén még inkább nehéz elképzelni azt, hogy 2-2,5 km-es hatásos lőtávolságú légvédelmi ágyúk ellen optimalizálják a helikopter formáját.



**6.22. ábra AH-1 és AH-64 harci helikopterek, illetve az UH-1 szállító helikopter korai változatának fő méretei.**  
Az AH-1 törzs szélessége (3 láb 7 hüvely) alig 40%-a UH-1-nek (8 láb 8,4 hüvelyk).

A fenti eredmények alapján az is levezethető, hogy miért vált szükségessé a nagyobb távolságról való célleküzdés, azaz az irányított páncéltörő rakéták megjelenése az önjáró légvédelmi gépágyúk elterjedését követően. Nem csak a célpontok típusa (harckocsik, lövészpáncélosok) miatt voltak szükségesek, de hasznosak voltak az elérhető maximális célleküzdési távolság tekintetében is.

A kisméretű, nem irányított rakéták jellemző alkalmazási távolsága 1,5-2 km, de ha az indítás nem függeszkedésből történik, akkor a 100-150 km/h-val történő repülés és célkiválás 1,5 km távolságnál is kisebb lehet. Ezen felül fordulás közben rövid időre, de nagymértékben megnő a célfelület, ami hosszabb sorozat esetén növeli a találat esélyét a légvédelem számára. Még a sokkal kisebb jellemző felülettel számolva is hosszú másodpercekre tartózkodik a helikopter 1500 méter távolságban. Reális tűzgyorsasággal számolva, a tüzelést, a tüzelés eredményének megfigyelését és az esetleges ismételt tüzelést tekintve is magasnak mondható a megsemmisítés valószínűsége – még akkor is, ha a megsemmisítéshez egynél több találatot várunk el.

Az BGM-71 TOW páncéltörő rakéta maximális hatótávolsága 4,2 km, ami ideális esetben lehetővé teszi azt, hogy a helikopter kívül maradjon a Silka igazán hatásos lőtávolságán. Ez azt jelenti, hogy még hiányos helyzetkép esetén is reális esély van a túlélésre, ha 2-2,5 km lőtáv közelében a meglepetés előnyét kihasználva a Silka 200 lövésből álló, hosszú tűzcsapást hajt végre. Ez még akkor is igaz, ha egyetlen találat esetén is megsemmisítettnek vesszük a célt.

Kialakult frontvonalak esetén nehéz elképzelni efféle rajtaütést, de minden olyan esetben, ahol váratlanul bukkanhat fel a helikopter célpontjai közelében (páncélozott járművek, légvédelem), akkor a célponttól való távolság tartásának képessége számottevő előnyt jelent. Ezzel magyarázható, hogy nem a kisebb méretű, 1,5-2 km-es hatótávolságú irányított páncéltörő rakéták jelentek meg a helikopteren. A viszonylag egyszerű optikai, de közvetlen rálátást igénylő (CLOS, command line of sight), rádió-távírányítású vagy huzalvezérlésű rakéták hatótávolságát egészen addig kitolták, ameddig csak az lehetséges volt.

*A számításokból kapott eredmények ismeretében a nagy repülőgépekre végzett vizsgálatoknál a két modell esetén egymáshoz közelebbi eredményeket, a kisméretű drónokra, rakétákra és robotrepülőgépre még inkább eltérő megsemmisítési valószínűséget lehet prognosztizálni.*

### 6.1.2. Lövészpáncélosok

Lövészpáncélosok esetén csak 1500 illetve 2100 méter távolságra végeztük el a számításokat, mert a helikopterek viselkedése miatt nehéz elképzelni olyan helyzetet, ahol ennél kisebb lőtávolság reális lenne. Ekkora távolság is inkább csak akkor képzelhető el, ha a helikopter személyzete nincs a rá leselkedő veszély tudatában.

A lövészpáncélosok lövegeinek szórása kisebb, mint a Silka önjáró lövegé, azonban tűzgyorsaságuk számottevően elmarad. A számításokat az M2 Bradley lövészpáncélos M242 Bushmaster lövegének prospektusadataira terveztük elvégezni, – de előtte alaposabb vizsgálatnak vetettük alá a forrásokban és prospektusokban megadott szórásértékeket.

A forrás<sup>37</sup> 53. elektronikus (40. nyomtatott) oldalán a 25 mm-es Bushmaster löveg pontossága álló cél, álló jármű esetén 0,46 mil CEP. Más források különféle típusú lövedékekre 0,4-1 mil szórást adnak meg 500-1000 méter távolságban.<sup>38</sup>Ezek a „papírértékek”, azaz sok mindent elbírnak: ezeket az adatokat fix beépítés esetén, egyes lövésekre vonatkozólag adják meg, nem pedig rövid sorozatokra. Lássuk a valóságot a videókon.

Az elsőn<sup>39</sup> úgy tűnik, hogy kiselejtezett M103 (nehéz) harckocsira lőnek, és 3 db lövésből 1 db nem talál. A célpont-harckocsi 3 méternél magasabb és 3 méternél hosszabb a közepén, a toronyrésznél. Ez kb.  $R = 1,5$  méteres célpontméret. Ha tényleg 0,45 mil CEP lenne az M242 Bushmaster szórása 1200 méteren, akkor az úgy 1500 méter távolságban levő célpontnál szinte nem is lehetne mellélőni, mert a teljes szóráskep sugara kisebb lenne, mint a célpont sugara. ( $3 \cdot CEP = 2 \cdot \text{szigma} = 95\%$  konfidenciaszint.) Ehhez képest az egyik lövés a célpont fölé ment – nagyon balszerencsésnek kell lenni, hogy három lövésből az egyik pont az 5%-nál kisebb valószínűségű eset legyen. Pedig álló helyzetből és egyes lövésekkel tüzeltek, nem rövid sorozattal. Bár minta kicsi, és a céltávolság is csak becslhető, ám ha kisebb távolságból tüzeltek, mint 1200-1500 méter, akkor még rosszabb a helyzet a prospektus adatokhoz képest.

A következő videón<sup>40</sup> 1242 yard (méter?) lőtávolságon látszik a szórás. Egyik terepjárót sem találta el tisztán, több lövésből. Legfeljebb az egyik lövés talált úgy, hogy a célpont magassága még megdőlvé is kb. 1,5 méter lehet.

A legutolsónak<sup>41</sup> bemutatott videó a legjobb forrás. A videóban a Puma lövészpáncélos 30 mm-es Mk30-2 lövegével 5 db, egy lövéses tűzmegnyitás után lemérték a találatok eloszlását – mindössze **500 méteres** lőtávolságnál. A legtávolabbi találat kb. 80 centiméterrel jobbra van a középvonaltól és kb. 20 centiméterrel fentebb. Ez kb. 0,82 méteres sugárirányú távolság a lőlap közepétől. Ha feltesszük, hogy  $2 \cdot \text{szigma}$  távolságon belül vagyunk (CEP sugarának 3-szorosa), ami 95% konfidenciaszint, akkor ez a leginkább félrement balszerencsés találatból számolt szórásérték is számottevően meghaladja a katalógusadatot.

Dolgozatunk szempontjából az sem mellékes, hogy a videón látható lőlap közepén levő kör átmérője nagyjából egy kis quadcopter méretének felel meg. Tehát egy álló quadcoptert 5 db egyes lövésből sem talált volna el a Puma, mindössze 500 méter távolságból. Ez a tapasztalat jól mutatja, hogy kisméretű drónok ellen mennyire hiábavaló lenne a drónvadászat csapódógyújtós vagy kinetikai lövedékkel, még a löveg Silkáéhoz mért relatív pontossága ellenére is. Ezért is jelent meg a programozható lövedéket használó MK30-2 gépágyú a PUMA lövészpáncéloson is.

<sup>37</sup> <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a262492.pdf>

<sup>38</sup> [https://www.nammo.com/globalassets/pdfs/ammobook/nammo\\_produktkatalog\\_2014\\_web.pdf](https://www.nammo.com/globalassets/pdfs/ammobook/nammo_produktkatalog_2014_web.pdf)

<sup>39</sup> <https://youtu.be/YzJtzDzG8g?t=253>

<sup>40</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=apH5-7F8UUU>

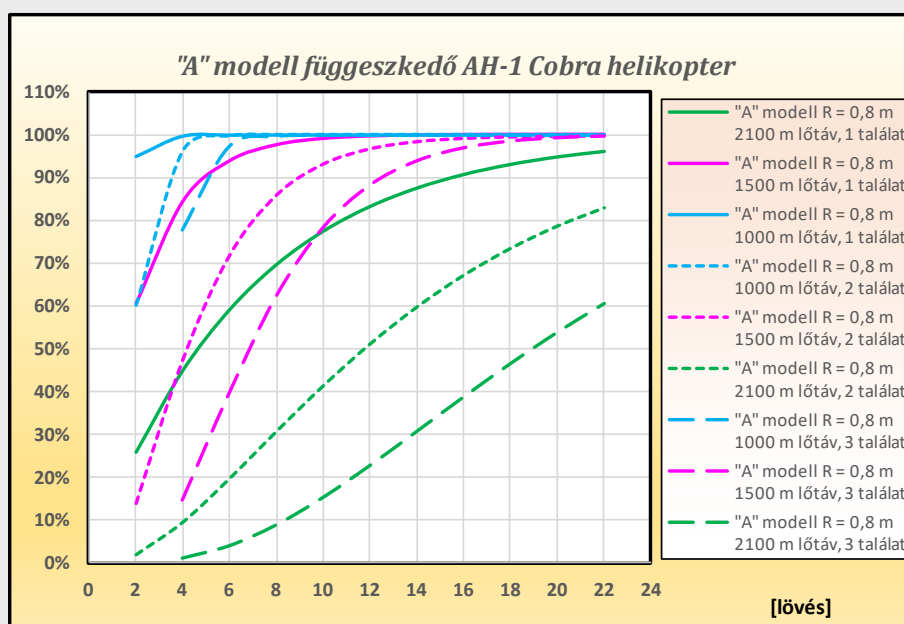
<sup>41</sup> <https://youtu.be/5jB5ZaEvFdY?t=89>



25 mm M242 Bushmaster 1200 m 0,5 mil				30 mm MK30-2/ABM Puma IFV videóból becsült szórás			
Távolság	Szórás / CEP			Szórás / CEP			CEP*3 = 2*szigma 95%
	CEP						
[m]	[m]	[mil]	[MoA]	[m]	[mil]	[MoA]	[m]
0	0	0	0	0	0	0	0
200	0,07	0,33	1,12	0,09	0,43	1,46	0,26
500	0,2	0,4	1,34	0,26	0,52	1,75	0,78
1000	0,46	0,46	1,57	0,6	0,6	2,04	1,81
1500	0,83	0,55	1,87	1,08	0,72	2,43	3,23
2100	1,33	0,63	2,13	1,72	0,82	2,77	5,17
2500	1,82	0,73	2,46	2,37	0,95	3,2	7,11

6.5. táblázat A Bushmaster lövegének ballisztikai jellemzői és a Puma jármű 30 mm MK30-2/ABM lövegének becsült szórása videó alapján

#### 6.1.2.1. „A” modell



6.23. ábra Megsemmisítési valószínűség „A” modell, 1, 2 és 3 db elvárt találat

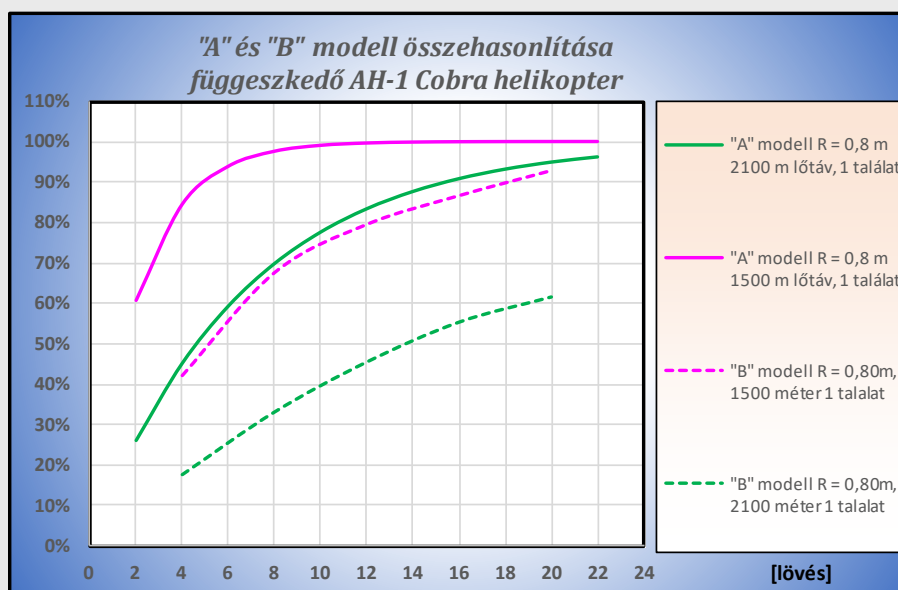
A 6.18 ábrán láthatók a korrigált szórással számolt lövéspáncélos-megsemmisítési valószínűségek 200 lövés/perc tűzgyorsaság mellett, – a 10 lövéses tűzcsapás is megszakítás nélküli, 3 másodperces tűzcsapást jelent. Nehéz elképzelni, hogy a lövések észlelése után a helikopter ennyi ideig függeszkedésben maradjon. Az ábrán a színek a lőtávolság, az eltérő vonaltípusok a találatok száma szerint változnak.

A kapott eredmények: 6-10 gyors leadott lövés esetén az „A” modell szerint a megsemmisítés valószínűsége még 1 db elvárt találat esetén is bőven 50% feletti 2100 méter lőtávolságban. 10 lövés esetén még 2100 méternél is eléri az 80%-ot – bár ne feledjük, ez idealizált eset. Amennyiben feltételezzük, hogy a helikopter legalább 1 találatot képes túlélni, akkor a 10 lövésnél rövidebb tűzcsapások sikerességi valószínűsége 2100 méternél már alacsonynak mondható – bár az sem elhanyagolható, hogy a harctéren vélhetőleg 1 db járműnél több is tüzel, tehát 2 db jármű esetén a 4-6 db lövéses sorozatok 8-12 db-nak számítanak.

A kapott eredmények tükrében még inkább érthetővé válik, hogy a harci helikoptereknek miért törekedtek a megsemmisítési távolság növelésére. Ideális esetben még a lövézpáncélosok is veszélyt jelentenek a véletlenül a lőtávolságukba került helikopterekre. Természetesen a fenti eredményeket a „B” modellel is összevetettük.

#### 6.1.2.2. „B” modell

A „B” modell esetén csak 1500 és 2100 méterre végezzük el a számításokat, mert a kisebb tűzgyorsaságú, de nagyobb űrméretű löveg szórása azt mutatja, hogy kis lőtávolság esetén magas találati valószínűség várható még a „B” modellel is. A másik tényező, hogy a valóságban az 1500 méter feletti tartomány az igazán lényeges. A járművek gyártói jellemzően 2 km körüli maximális effektív lőtávolságot adnak meg a lövegeikre.

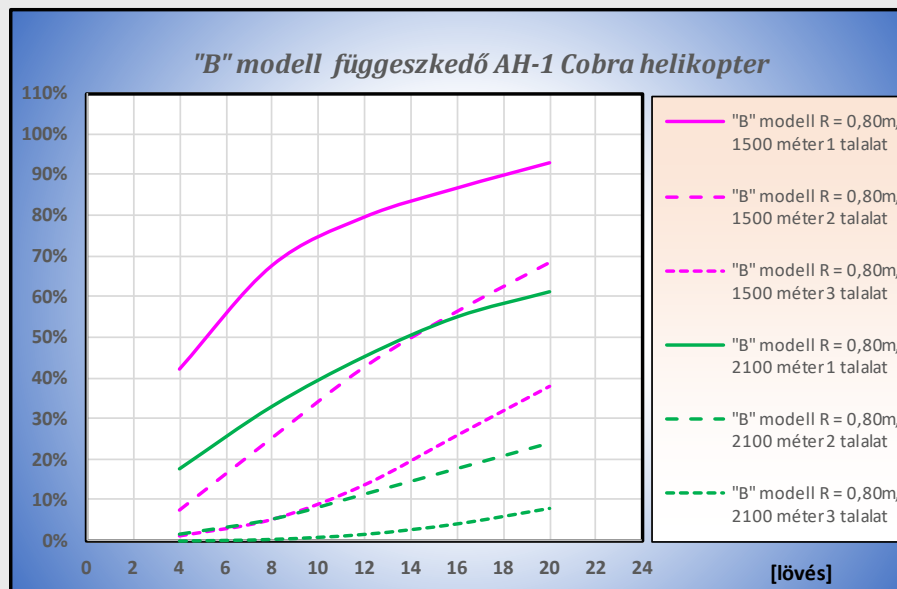


6.24. ábra Megsemmisítési valószínűség „A” és „B” modell, 1 db elvárt találat

A 6.19 ábrán láthatók a találati (egyben megsemmisítési) valószínűségek 1 db elvárt találat esetén. A „B” modell esetén megfigyelhető az alkalmazott módszerből adódó statisztikai eltérés, de a görbe trendje helyes 2100 méter lőtávolság esetén. Az ábra szerint az egy járműből leadott, 10 lövések sorozatán is eléri a valószínűség az 50%-ot 1500 méter távolságból – több jármű esetén még jobb esély van a célpont megsemmisítésére.

Egy tüzelő jármű esetén 2100 méteres lőtávolságban már alacsony a találati valószínűség. Amennyiben viszont egy szakasznyi, azaz 4 db jármű tüzel a nagyjából hasonló keresztmetszetű céljára, akkor a leadott lövések száma négyszereződik, és a megsemmisítési valószínűség 60% feletti lesz még rövid sorozatok esetén is. A tetszetős eredmény ellenére ez is idealizált eset: a valóságban alacsony annak az esélye, hogy négy jármű pontosan egyidőben tüzeljen álló (függőleges) célpontra.

A 6.20. ábra a 6.18. ábrával való összevetésre készült: megvizsgáltuk annak a hatását, ha a számításokban több találatot várunk el a megsemmisítéshez. 2 db elvárt találat esetén egy AH-1 méretű célpontra rövid sorozatnál még 50% körüli valószínűség adódik 1500 méteren, azonban 2100 méter vagy 3 db találat esetén már elhanyagolhatóan kicsi az esély a sikerre. Nagyobb felületet mutató harci helikopter, pl. az AH-64 esetén a találat valószínűsége kicsit nagyobb, de a nagyobb méret miatt a helikopter vélhetően ellenállóbb is a találatokra.



6.25. ábra Megsemmisítési valószínűség „B” modell, 1 db elvárt találat

### 6.1.2.3. Következtetések

A fenti adatokból összességében az szűrhető le, hogy korszerű lövészpáncélosok 1,5 km távolságban képesek komoly veszélyt jelenteni a helikopterekre, amennyiben megfelelő az adatáramlás a lövészpáncélos járművek között, és a célfelderítés megoldott.

Egyes speciális löszerekkel, mint az AHEAD/időzítő gyújtós (airburst, lásd később) tüzelni képes lövészpáncélosok akár 2 km felett is komoly fenyegetést jelenthetnek a helikopterekre, így képesek a kisebb űrméretű önjáró légvédelmi gépágyúk helyettesítésére is, amennyiben képesek időben célkoordinátákat kapni felderítő radaroktól, és azonnal reagálni a fenyegetésre.

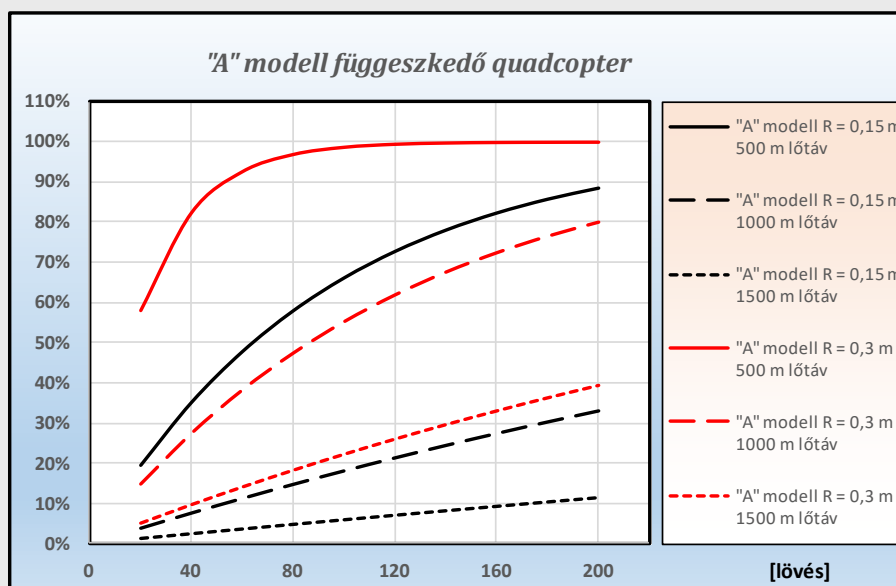
## 6.2. Quadcopterek, kisméretű UAV eszközök

### 6.2.1. „ZsSzU-23-4 Silka

#### 6.2.1.1. „A” modell

Most a kis méretű, függeszkedő (álló) célpontot jelentő quadcopter elleni alkalmazhatóságot vizsgáljuk meg. Mivel ezek az eszközök sérülékenyek, a vizsgálatot 1 db elvárt találatra végeztük el.

$R = 0,15$  m és  $R = 0,3$  méteres célpontméret esetén 500, 1000 és 1500 méteres lőtávolságra a 6.21 ábrán látható eredményeket kaptuk.



6.26. ábra Megsemmisítési valószínűség quadcopterek ellen, „A” modell

$R = 0,15$  méter méretű drónnál látható, hogy még az idealizált modellel<sup>42</sup> számolva sem lehetséges megsemmisíteni ekkora célpontot Silkával vagy más hagyományos önjáró légvédelmi ágyúval kb. 800 méter céltávolság felett – még akkor sem, ha áll. A löszabályzatban meghatározott, 200 lövéses sorozat esetén is csak kb. 30%-ra adódik a megsemmisítési valószínűség pedig a Silka ezzel lőszerkészletének 10%-át felhasználja egyetlen, 3,5 másodperc hosszú tűzcsapással.

A 3.6.1. pontban leírt átlagos tűzgyorsaság-értékeket tekintve itt is figyelembe kell venni a tüzelés módját: a tűzcsapás hossza legalább 30%-kal hosszabb, amennyiben rövidebb sorozatokkal és azok eredményének megfigyelésével tüzel a jármű, tehát több reakcióidő áll rendelkezésre a drón elmozgatásához. Nehéz elképzelni, hogy ilyen extrém hosszú sorozatra ne reagálna a drón operátora, és ne mozgatná odébb a drónt – ami azonnal nagyban rontja a számított megsemmisítési esélyt, a többi elhanyagolt körülménnyel együtt.

Az eddigi számítások alapján láttuk, hogy az „A” modell magasabb megsemmisítési valószínűséget ad a „B” modellhez képest. Még ez az optimista modell is azt az eredményt adja, hogy 1,5 km távolságban olyan alacsony a megsemmisítési valószínűség, ami értelmetlenné teszi a tűzkiváltást. Legfeljebb véletlenül találhatja el egyetlen lövedék is a drónt, de erre megbízhatóan számítani nem lehet. Tüzeléssel a légvédelmi rendszer csak pocsékolná a löszert, és – amennyiben még rejtve tudott maradni – felfedné pozícióját is. Idealizált modellben feltételezhető, hogy több jármű egyszerre tüzel a célpontra, ezzel a tűzgyorsaság és lőszerfelhasználás is nő, bár az valószínűtlen, hogy két jármű azonos távolságra legyen a célponttól. Ebben az esetben 1 km távolságig lehet reménykedni a találatban. A fenti modell erősen idealizált, ez a fajta

<sup>42</sup>

Nincs mérési hiba, a célra tett jellemző méret sugara túlnyúlik némileg a célponton.

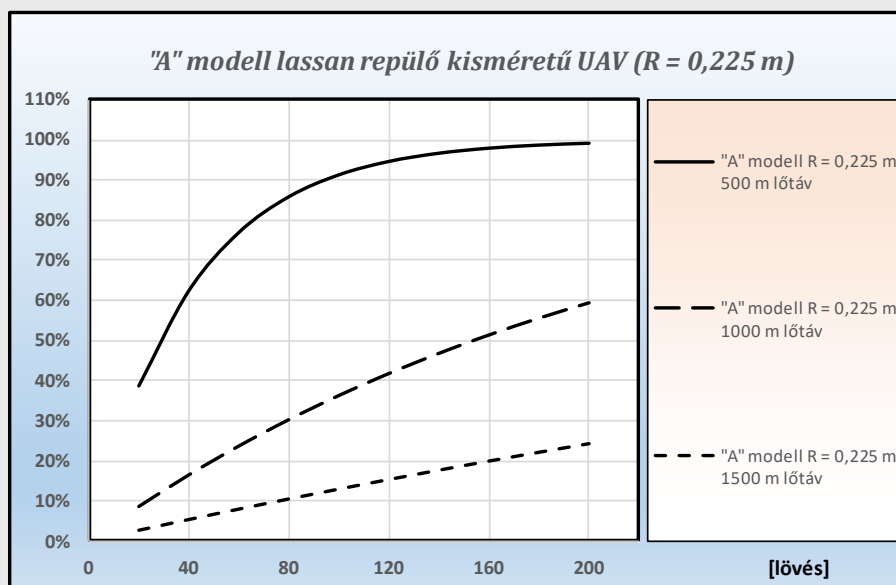
elméleti alkalmazás nagyon magas lőszerfelhasználással párosul, ami az egész módszer értelmét megkérdőjelezi.

A Varsói Szerződésben egyetlen ezred rendelkezett 4 db Silka járművel, amiből 2-2 db jutott a (nem tartalék) zászlóalj légvédelmébe. A fenti modell szerint egyetlen kis quadcopter megsemmisítéséhez 1 km távolságban (ha megteszi azt a szívességet, hogy hosszú ideig egyhelyben marad), 2 db jármű lőszerkészletének kb. a 20%-át fel kellene használni – és ezzel is csak 75% találati valószínűséget kapunk. A harctéri valóságban sokkal valószínűbb, hogy 400-500 leadott lövés után a drón egy karcolás nélkül elhagyja a gépágyúk által fedezett területet úgy, hogy azok felfedték pozíciójukat és ellőtték lőszerük egyötödét.

$R = 0,3$  méter méretű célpont esetén a kétszer nagyobb méretű idealizált cél – itt még inkább túllóg a kör a célpont valódi felületén – kb. 1500 méterig tolja ki tűzmegnyitás értelmesen meghúzzható határát a modellben. Ám ekkora méretkategóriában már akkora tömegű drónok vannak, amelyek kamerarendszerei nem teszik szükségessé, hogy ennyire megközelítsék a megfigyelt területet. Javaslat, ha a gondolat igaz: Az adat mégis fontos, mert ebben a méretben fegyvert hordozó, és öngyilkos drónok is reális fenyegetést jelenthetnek a harctereken.

A célpontok között a repülőgép kinézetű UAV esetén a megnövelt virtuális célnál a célpont mérete  $R = 0,225$  méterre adódott, ezért erre is elvégeztük a számítást. Itt még inkább idealizált a modellt, mert nem elég csak optikai rendszeren keresztül célba venni a célt, de annak haladási irányát és sebességét is mérni szükséges, de ezt elhanyagoljuk.

Továbbá feltételezzük, hogy a rövid tűzcsapás alatt a célpont távolsága számottevően nem változik hiszen 3,5 másodperc alatt a lassú gépek legfeljebb 150-200 méterrel kerülnek közelebb vagy távolabb, ha pontosan a légvédelmi rendszer felé repül vagy távolodik, de a átlagosan nézve a távolság változása 100 méter táján marad. Az eredmények függeszkedő quadcopterre is érvényesek, hiszen azoknál kevesebb elhanyagolást teszünk.



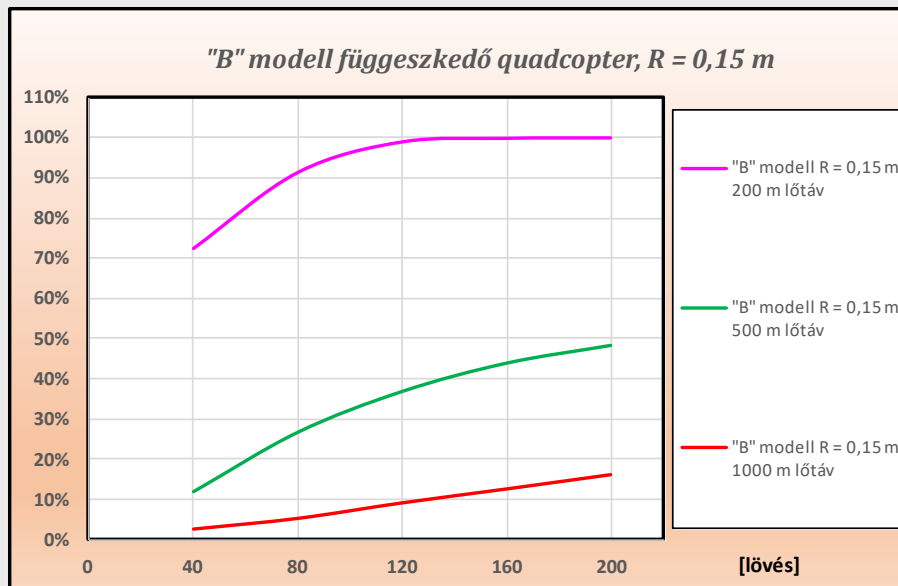
6.27. ábra Megsemmisítési valószínűség lassan repülő kisméretű UAV és quadcopterek ellen, „A” modell,

A 6.22. ábrán látható, hogy kb. 1000 méter távolságig van még értelme a tűzkiváltásnak, azonban a repülőgép sajátos formája miatt a célpontot lefedő kör jelentősen nagyobb, mint a célpont valódi felülete, lásd a 4.14. pontban. Emiatt az „A” modell szerint a realitás inkább a 700-800 méteres lőtávolság, de ez is igen optimista számítás. Pontosán a légvédelmi jármű felé repülve a célpont felülete még a quadcoptereknél is kisebb lehet.



### 6.2.1.2. „B” modell

Mivel az eddigi tapasztalatok alapján a „B” modell számottevően kisebb találati és megsemmisítési valószínűséget ad, ezért 1000 méter feletti távolságon el sem végeztük a számításokat, viszont  $R = 0,15$  méteres célpont esetén a 200 méteres céltávolságot is megvizsgáltuk, ami a lehető legközelebbi modell a korábbiakban bemutatott 2K22 Tunguszka tesztlövészetével.



6.28. ábra Megsemmisítési valószínűség quadcopterek ellen, „B” modell



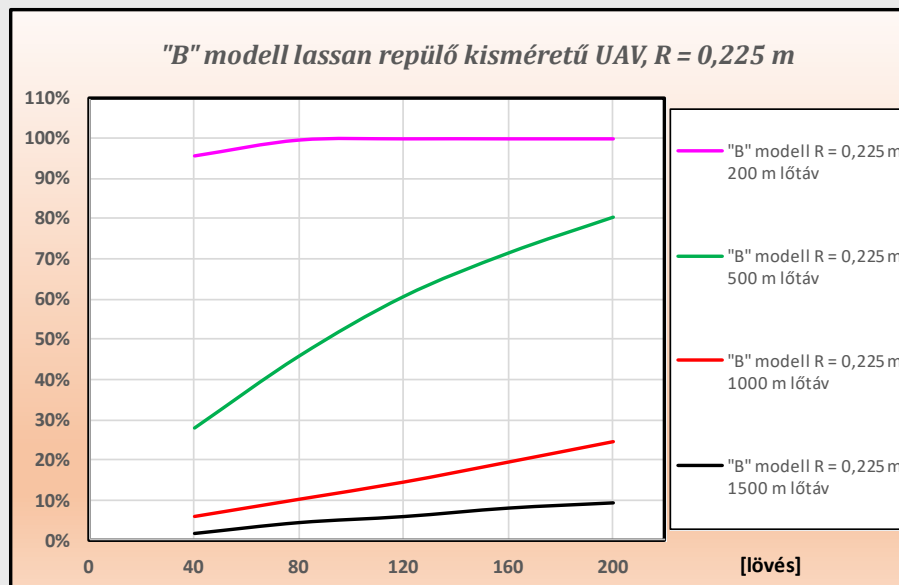
A 6.23. ábrán látható, hogy még 200 méteres lőtávolság esetén, 200 lövés sorozatot leadva sem 100% a megsemmisítési valószínűség, de azért ahhoz igen közeli. Azonban 40 lövés esetén csak alig 40% az esély a sikerre. Ez igen jó egyezést mutat a próbálövészetrel, ahol a videó alapján kb. 40 lövést adtak le, és ahol a célkör 15 cm-es közelében egyetlen találat sincs még ideális körülmények esetén sem – pedig csak 100 méterről tüzeltek.

***Az AH-1 megvizsgált esetével összevetve, és ezt az esetet is nézve nagyon nagy valószínűséggel kijelenthető, hogy a „B” modell sokkal, sokkal közelebb van a valósághoz, mint az „A” modell. Továbbra is elvégezzük a számításokat az „A”***

***modellel, de pusztán érdekesség kedvéért. Az eddigi példák alapján kijelenthető, hogy vizsgálatunk szempontjából a „B” modell a releváns.***

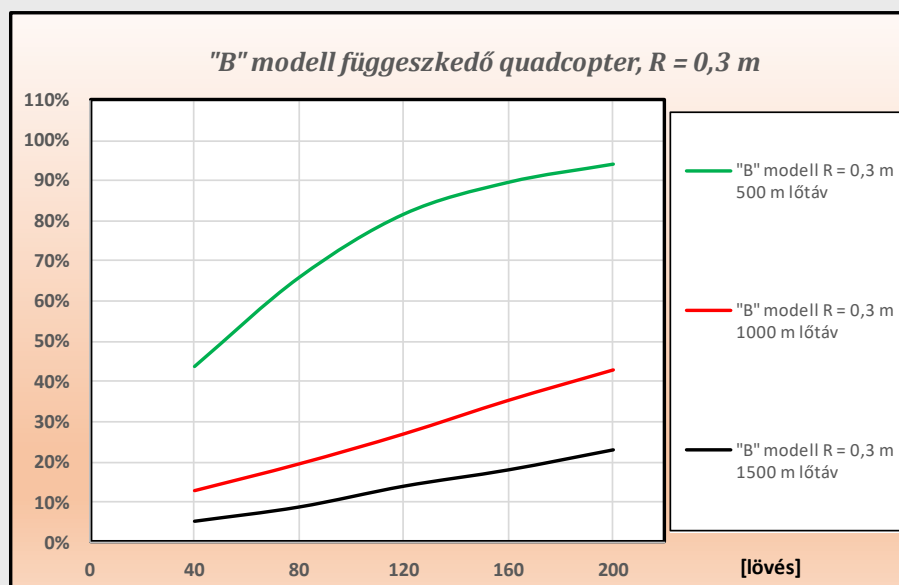
Az ábrán látható eredmények megmutatják, hogy hagyományos, csapódó gyújtós lövedékkel ezek a rendszerek képtelenek a legkisebb méretű UAV-k leküzdésére. Amennyiben több légvédelmi ágyú is tüzelne, akkor 5-6 másodperces tűzcsapással, azaz ezres nagyságrendű leadott lövés esetén sem garantált a megsemmisítés – még álló cél ellen sem. Több mozgó drón leküzdése szóba sem jöhet.

A 6.24 ábrán a nagyobb ( $R = 0,225$  m) méretű célpont esetében látható, hogy a megsemmisítés aránya 500 méter távolságban már elfogadhatónak adódik egy 200 lövés sorozat esetén, ahol eléri a 70%-ot is. Ez már értelmezhető esély a sikerre főleg, ha akár két tűzcsapásra is van esély, vagy két jármű tüzel. Azonban 1000 és 1500 méteres távolság esetén ismét csak falba ütköznek a hagyományos légvédelmi ágyúk, mert 10% alá zuhan a siker esélye, még egy 200 lövés sorozattal is.



6.29. ábra Megsemmisítési valószínűség quadcopterek ellen, „B” modell

A 6.25 ábrán látható, hogy a legnagyobb ( $R = 0,3$  m) méretű célpont ellen a megsemmisítés valószínűsége 1000 méter távolságban már elfogadhatónak nevezhető, 200 méteren pedig eléri a 60%-ot. 1500 méteren azonban már csupán 20% az esély a sikerre, ami túl alacsony ahhoz, hogy ez gyakorlatban használhatónak tekintsük.



6.30. ábra Megsemmisítési valószínűség quadcopterek ellen, „B” modell

## 6.2.2. Lövézpáncélosok

A páncélozott gyalogsági harcjárművek kapott eredményeinek értelmezésnél kihangsúlyozandó a tűzgyorsaság hatása. Bár lövézpáncélosoknál a löveg szórása messze kisebb, mint az önjáró légvédelmi gépágyúknál, ám a tűzgyorsaságuk is számottevően alacsonyabb: sorozatlövés esetén kb. 200 lövés/perc,<sup>43</sup> míg lövéseket leadva ez kb. 100 lövés/perc, vagy akár még alacsonyabb lehet.

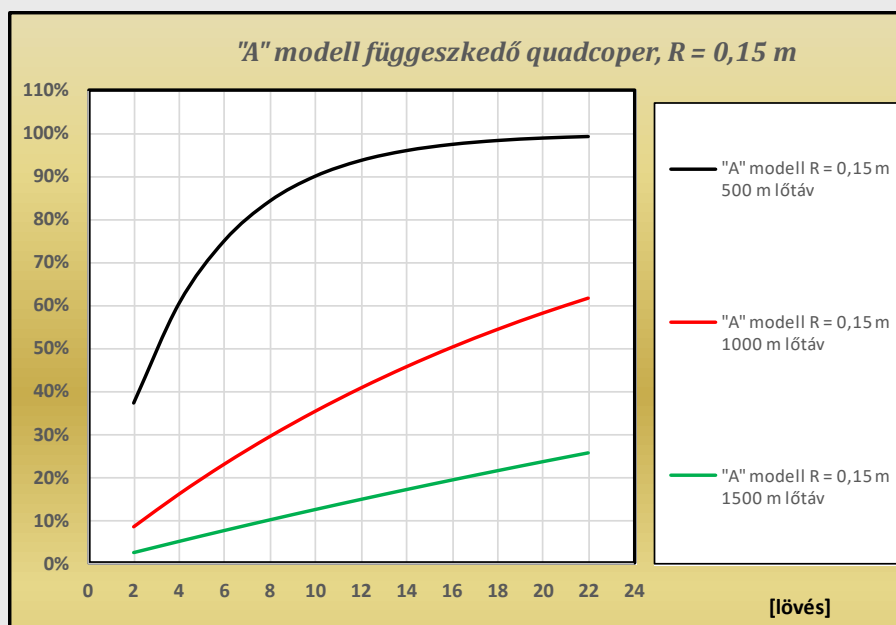
Mivel egy zászlóaljban a lövézpáncélosok száma sokkal nagyobb, mint az önjáró légvédelmi gépágyúk esetén (hiszen lényegében azokból áll), ezért itt életszerűbb feltételezés, hogy több jármű tüzel a célra. Azonban sokszor még így is annyira alacsony a várható arány a sikerre, hogy 4-8 db jármű egyidejű tüzelése (1-2 szakasz) esetén, 6-7 másodperccel tűzcsapással számolva is bizonytalan a siker. Annak az esélye, hogy ennyi lövézpáncélos, rövid időn belül ennyire koncentrált tüzelésre legyen képes, annak műszaki és humán oldalról vett realitása jelenleg nincs.

### 6.2.2.1. „A” modell

A 6.26., 6.27. és 6.28. ábrákon ábrázoltuk a három eltérő méretű célpont elleni megsemmisítési valószínűséget.

A diagramok csak tájékoztató jellegűek. Az adott sorozathossznál, 1000 és 1500 méter lőtávolságban az „A” modellben kapott alacsony találati valószínűségek már előre jelzik, hogy a pontosabb „B” modell esetén milyen eredmények várhatóak. 10 db leadott lövés (3 másodperces tűzcsapásnál még az „A” modell is bőven 50% alatti valószínűséget ad 1000 méteres lőtávolság esetén is a legkisebb méretű célpont esetén. A legnagyobb méretű célpont esetén, 1500 méteres lőtávban 50% alatti a siker esélye.

A korábban a Silkánál kapott, igen hasonló értékekből sejthető, hogy a „B” modell esetén kb. 500 méteres lőtávolságig feltételezhető reálisan az, hogy egy, vagy néhány jármű egyesített tűzereje esetleg képes elpusztítani egy kisméretű drónt.

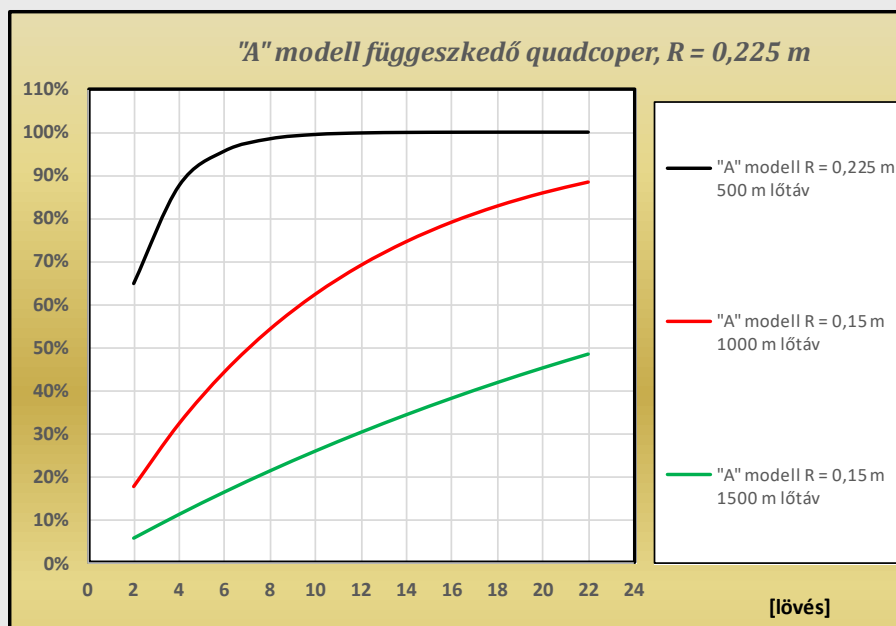


6.31. ábra Megsemmisítési valószínűség quadcopterek és lassan repülő UAV ellen „A” modell

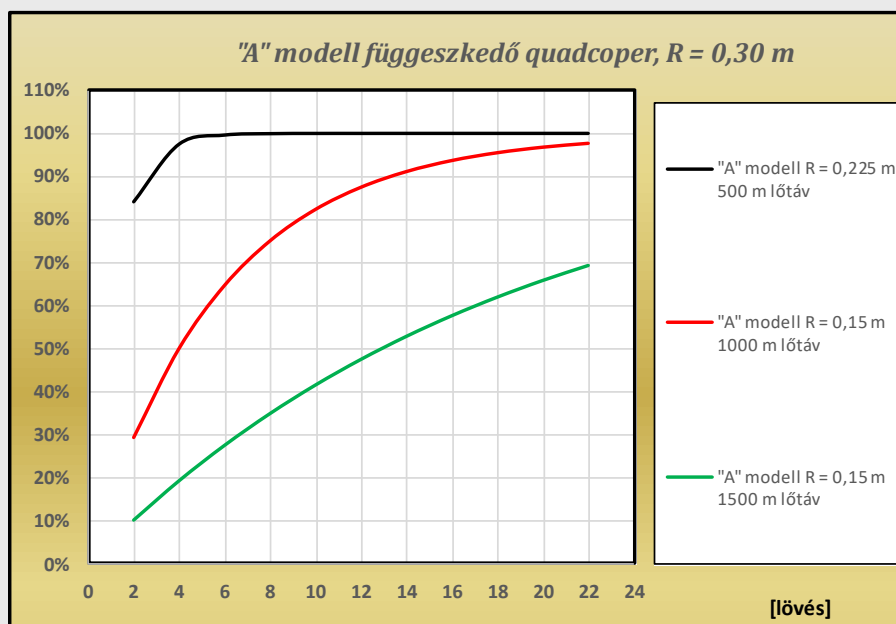
<sup>43</sup>

A harcjárművekbe épített lövegek elvi tűzgyorsasága lehetne ennél magasabb is, de a pontossági követelmények miatt ezt csökkentik, a német Puma esetén pl. pont 200/perc értékre.

[https://de.wikipedia.org/wiki/MK\\_30](https://de.wikipedia.org/wiki/MK_30) <http://afvdb.50megs.com/usa/m2bradley.html>



6.32. ábra Megsemmisítési valószínűség quadcopterek és lassan repülő UAV ellen „A” modell

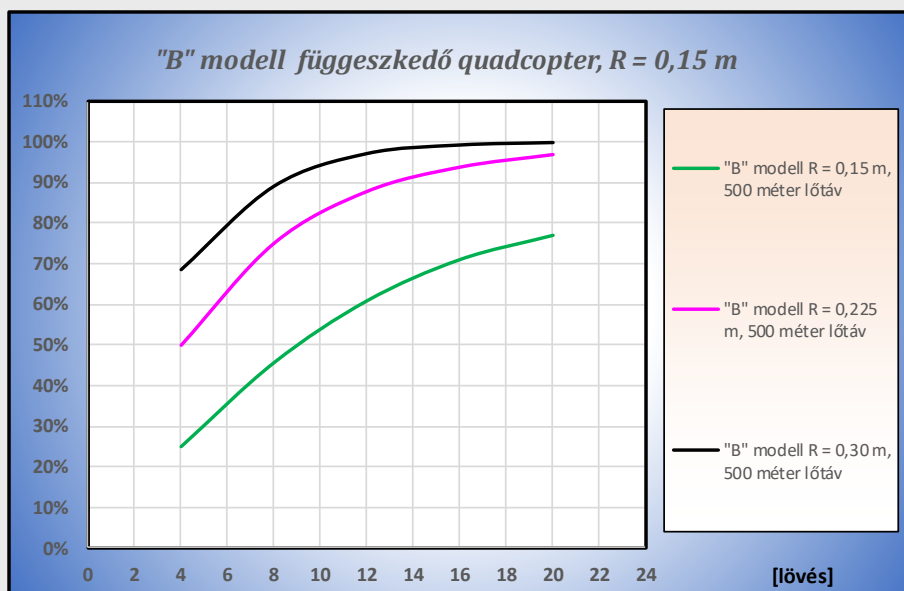


6.33. ábra Megsemmisítési valószínűség quadcopterek és lassan repülő UAV ellen „A” modell

#### 6.2.2.2. „B” modell

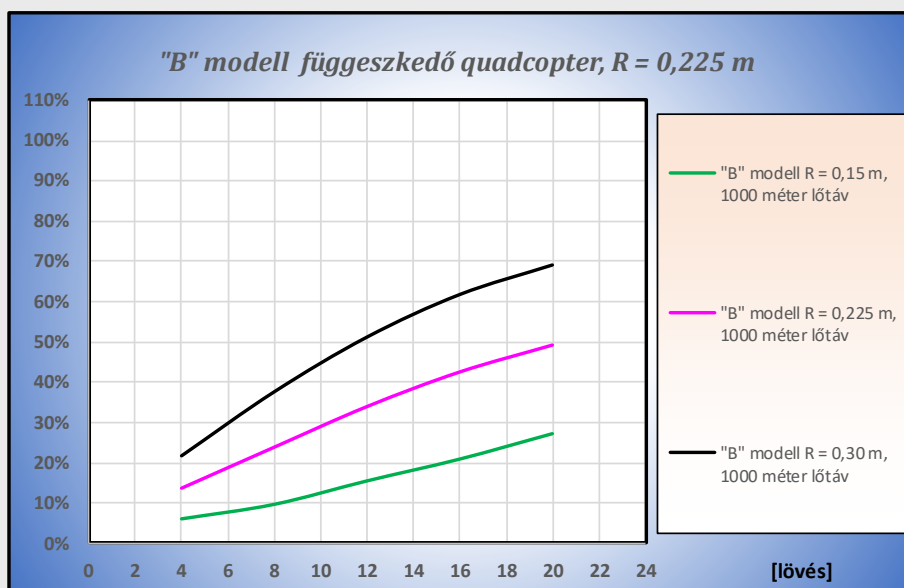
A Silka légvédelmi önjáró gépágyúval ellentétben, itt a 200 méteres távolságra nem végeztük el a számítást. A célunk a korábbi fejezetben videón látható, 2K22 Tunguszka szóróképevel való összevetés volt, viszont annak hasznossága, hogy 200 méter távolságból képes-e lelőni egy drónt egy lövészpáncélos, ergo nincs értelme vizsgálni sem.

A 6.29. ábrán láthatjuk, hogy 500 méteres lőtávolság és  $R = 0,225$  méter méretű cél esetén egyetlen járművel számolva is magasnak mondható a megsemmisítési valószínűség, idealizált esetben eléri a 80%-ot is. A legkisebb méretű célpont ellen a siker esélye 50%. Több járművet feltételezve a siker esélye számottevő – ám az 500 méteres lőtávolság rendkívül kicsi a drónok felderítési képességéhez képest, így ennek az esetnek a harcászati realitása alacsony.



6.34. ábra Megsemmisítési valószínűség quadcopterek és lassan repülő UAV ellen, „B” modell

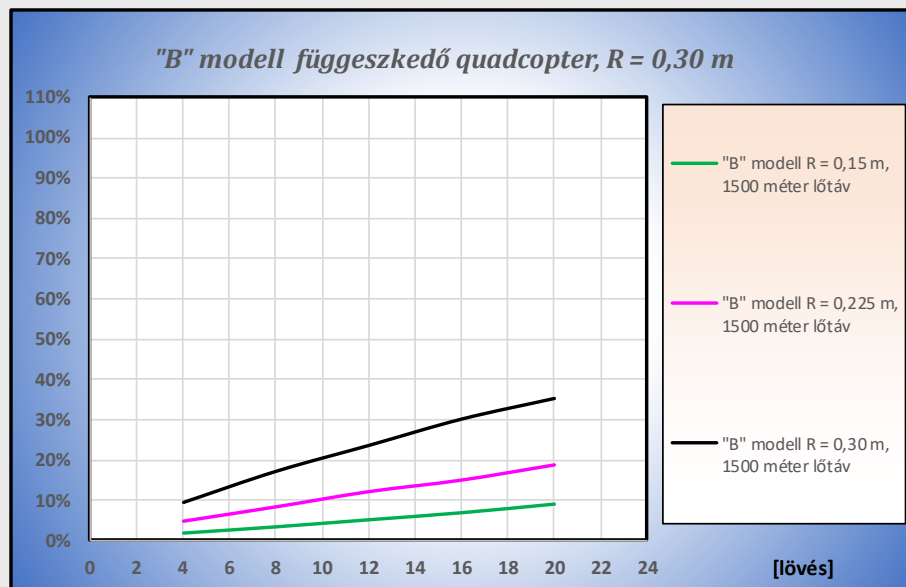
A 6.30. ábrán láthatjuk, hogy 1000 méteres lőtávolság és  $R = 0,30$  méter méretű cél esetén, még egyetlen járművet vizsgálva is magasnak mondható a megsemmisítési valószínűség, idealizált esetben eléri a 50%-ot is. Több járművet feltételezve a siker esélye számottevő, és a lőtávolság is reális. A kisebb célpontok ellen viszont a siker esélye olyan csekély, hogy még több járművet feltételezve sem lehet találatra számítani. Ezen felül 1 km távolságból ilyen kis célpontok követése problémás lehet.



6.35. ábra Megsemmisítési valószínűség quadcopterek és lassan repülő UAV ellen, „B” modell

A 6.31. ábrán láthatjuk, hogy 1500 méteres lőtávolság esetén, egyetlen járművet nézve a megsemmisítési valószínűség semmilyen célpont esetén nem mondható magasnak. A legnagyobb méretű vizsgált drón megsemmisítése is legfeljebb véletlenül sikerülhet, de megbízhatóan arra számítani nem lehet.





6.36. ábra Megsemmisítési valószínűség quadcopterek és lassan repülő UAV ellen, „B” modell

### 6.3. Szuperszonikus rakéták, kisméretű bombák

Az ilyen célpontok elleni fegyverzettel ma jellemzően hajók rendelkeznek, így az azokra telepített fegyverzet hatékonyságát vizsgáltuk meg. A számításokhoz szükséges szórásadat sajnos csak a nyugati Phalanx, illetve Goalkeeper rendszerről áll rendelkezésre. Az előbbi az M61 Vulcan gépágyú módosított, csökkentett tűzgyorsaságú változatát használja 3000 és 4500 lövés/perc sebességgel (Block 0 és Block 1 változatok). A utóbbi az GAU-8 Avenger gépágyút használja 4200 lövés/perc sebességgel.

A szovjet-orosz AK-630 gépágyúról, ami a Kasztán rendszernél is használatos, sajnos nem áll rendelkezésre adat a számítások elvégzéséhez. A rendszer űrmérete és tűzgyorsasága, illetve páros beépítése miatt a fenti két ágyú szórásértékét nem tekintjük mérvadónak.

#### 6.3.1. „A” modell

Mivel a korábbiakban már bebizonyosodott, hogy az „A” modell pontatlan, és nem ad reális eredményeket – ami kisméretű célpontok ellen hatványozottan igaz – ezért a továbbiakban csak a „B” modellel végeztük el a számításokat.

#### 6.3.2. „B” modell

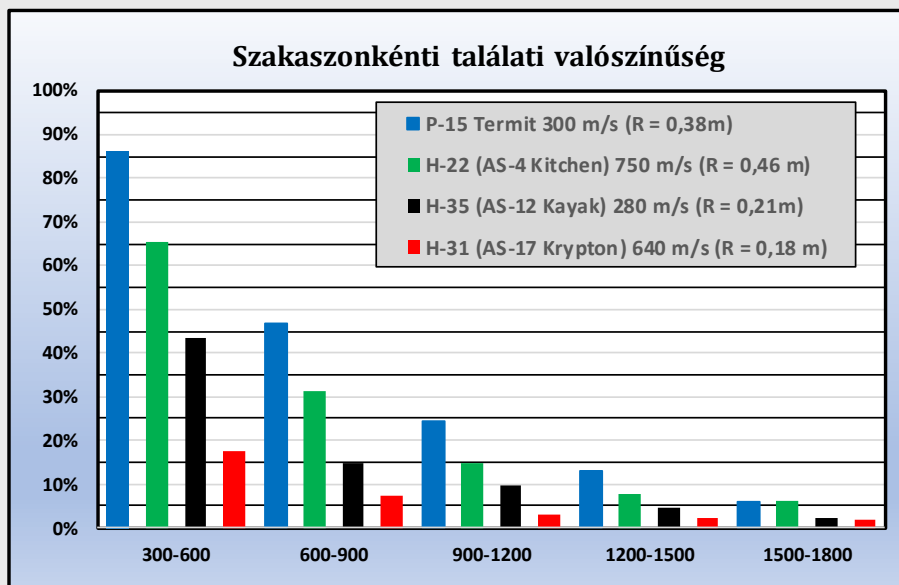
A következő feltételekkel éltünk a mozgó célpontok miatt:

- A minimális megsemmisítési távolságot a 300 méterben határoztuk meg. Nagyjából ekkora minimális távolság van megadva a rendszereknél, illetve a felrobbanó rakéta darabjai miatt ezalatt nem tekinthetjük sikeresnek a céllekedést.
- Azonos nagyságú sávokban vizsgáltuk a találat valószínűségét. A sávok 300 méter szélesek voltak, hogy egy sávban megfelelően nagy számú lövés történjen, de az átlagos valószínűség ne térjen el radikálisan a sávok szélein számolható valószínűségtől.
- A vizsgálatokat a sávok minimum távolságától 1800 méteres távolságig végeztük el.
- A rakéták és bombák sebességéből számolható, hogy azok mennyi idő alatt repülnek át egy sávon. Ebből következik, hogy állandó gépágyú-tűzgyorsaság mellett a gyorsabb támadó fegyverekre adott sávon kevesebb lövedéket lehet indítani.
- A 300 méteres sávokra számolt valószínűségi értékekből kumulatív valószínűséggel számolható a teljes 1800 méteres szakaszra érvényes összesített valószínűség esélye 1 db találatra.
- 1 db találat esetén megsemmisítettnek vettük mindegyik támadó fegyvert.
- Bár előfordulhat, hogy néhány fokos szögben oldalról lát rá a rendszer a rakétára, és az kismértékben oldalról is látszik, ennek hatását elhanyagoltuk: a célpont jellemző mérete a rakétatest sugara volt.
- A Gatling rendszerű gépágyú felpörgési időbe telik, emiatt az első másodpercben a névleges tűzgyorsaság kb. csak 75%-át érné el az ágyú. Mivel még a leggyorsabb esetben is 3 másodperc hosszú a tűzcsapás, ezért még ott is összességében csak 10% kevesebb lövedék indul útnak. Ráadásul a tűzgyorsaság akkor a legalacsonyabb, amikor a legnagyobb távolságban van a támadófegyver, tehát ennek nagyon csekély hatása van a kumulatív valószínűségre. A fentiek miatt a felpörgetés hatását elhanyagoltuk, hogy a számítást egyszerűbbé tegyük.
- A célpontok nem manővereznek.

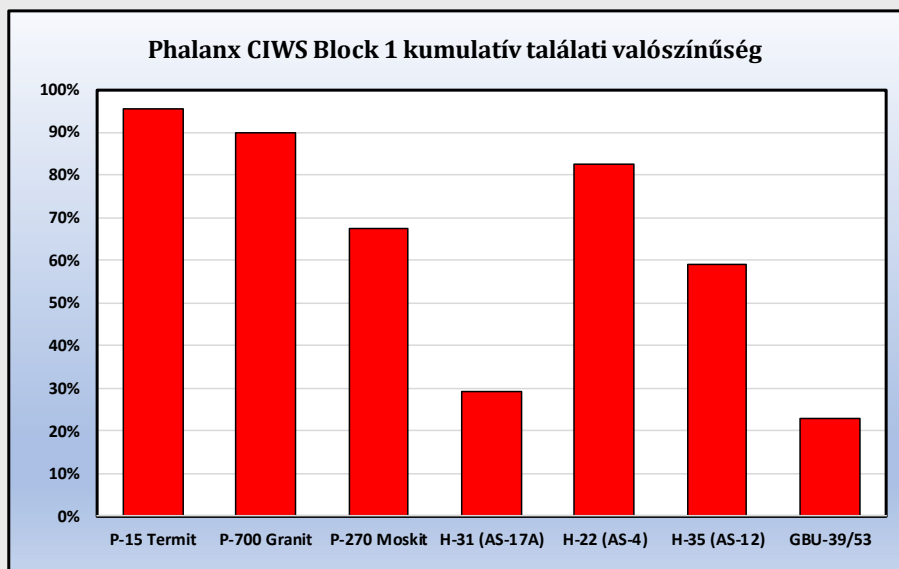
### 6.3.2.1. Phalanx CIWS

A Phalanx rendszernél a szórást a Silkával azonosnak vettünk, mert a maximális 6000 lövés/perc értékhez képes a csökkentett tűzgyorsaság valószínűleg kismértékben javít a pontosságon. A Phalanx Block 1 CIWS rendszerrel 4500 lövés/perc a tűzgyorsaság.

A 6.32. ábrán látható néhány támadó fegyver esetén az adott távolságban számolt találati valószínűség. Jól látható a sebesség és a méret hatása a találati valószínűségekre. Ahogy közeledik a célpont, 1000 méteres lőtáv alatt gyorsan nő a találati valószínűség. A lassú és nagyméretű P-15 ellen nagyobb a siker esélye, mint a kisebb és kvázi azonos sebességű H-35 ellen. A régi és lassú nagy rakéta/robotrepülőgép esetén számottevően magasabb a találat esélye, mint a kisméretű és gyors H-31 rakéta esetén.



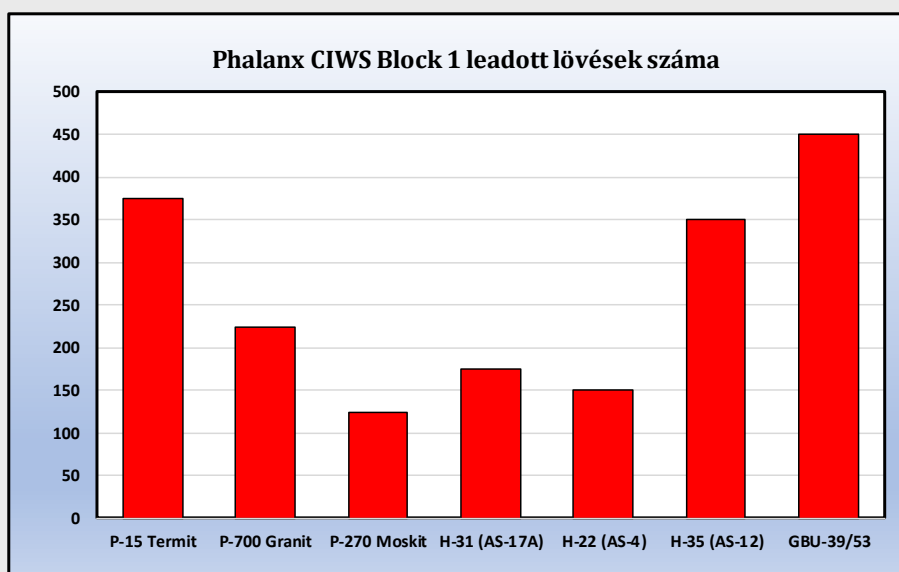
6.37. ábra Szakaszonkénti találati valószínűség néhány rakéta és robotrepülőgép ellen



6.38. ábra Kumulatív találati valószínűség 1 db Phalanx torony tüzelése esetén

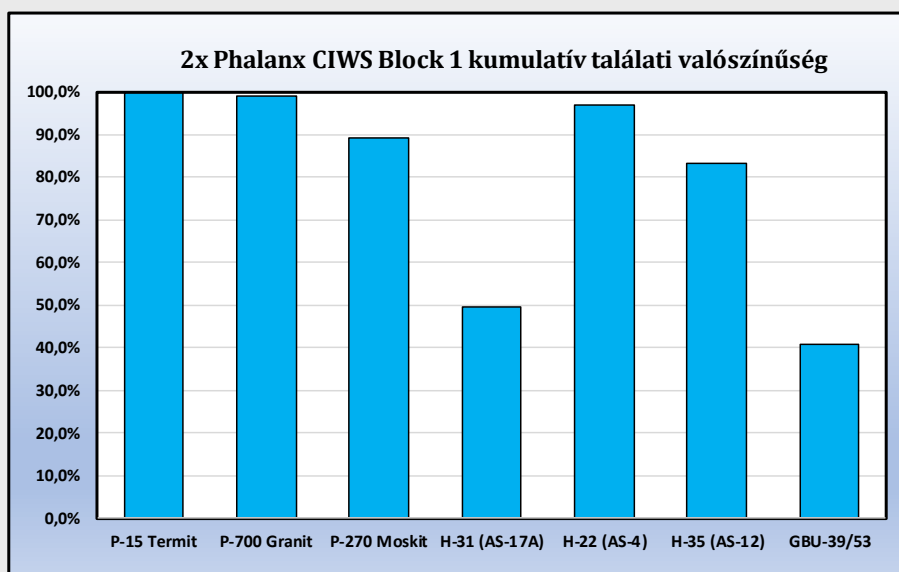
A 6.33. ábrán a fenti szakaszokban számolt valószínűségeket felhasználva számolt kumulatív találati valószínűségek láthatók. Jól látható a kapott értékek alapján, hogy mi okozta a RIM-116 RAM rendszer elterjedését a hidegháborút követő években. Az 59%-os számolt találati valószínűséggel egy darab Phalanx nem tekinthető túl hatásos védekezésnek a kisebb méretű H-35 ellen, még annak szubszonikus sebessége

ellenére sem. A H-31 kisebb mérete és nagy sebessége miatt a 29% kapott valószínűség teljességgel elégtelen. A 6.34. ábrán az egy Phalanx torony által leadott lövések száma látható.



**6.39. ábra Leadott lövések száma 1 db Phalanx tüzeléskor.**

Két Phalanx tüzelését feltételezve egy nagyobb hajón – pl. egyes Arleigh Burke osztályú rombolókon vagy repülőgép hordozókon – szintén nem elégséges rendszer pontossága és tűzereje. Két darab torony tüzelése által kapott találati valószínűség a 6.35. ábrán látható.



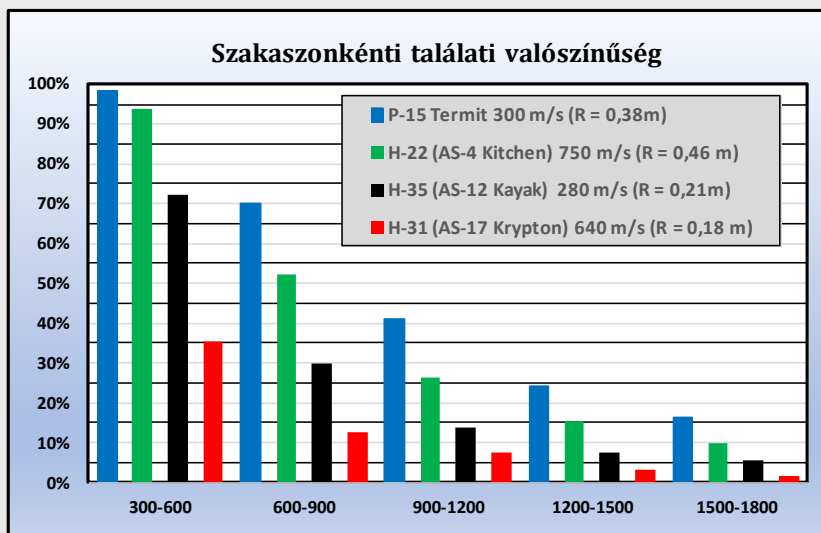
**6.40. ábra Kumulatív találati valószínűség 2 db Phalanx torony tüzelése esetén**

A fentieket szükséges kiegészíteni. A 6.32. ábrán látható, hogy 1200 méter feletti tartományban leadott lövések találati valószínűsége alacsony. Ezt azt jelenti, hogy csak csekély mértékben járulnak hozzá a kumulatív találati arány növeléséhez. A nagyon korai tüzelés egyik esetben sem növeli meg jobban a megsemmisítési valószínűséget 3-6%-nál. Feltételezve, hogy 1200 méternél távolabbi várható találatnál nem tüzel a rendszer, akkor a 6.34. ábrán látható lőszerfogyasztás 40%-kal kisebb. A probléma az, hogy ez a fent említett 3-6% eltérés a H-22 és a P-700 esetén már bizonytalanná teszi a stabilnak mondható céllöküzdést, ezért mindenhol ezzel számoltunk, hogy azonos feltételekkel történjen az összehasonlítás.

### 6.3.2.2. Goalkeeper

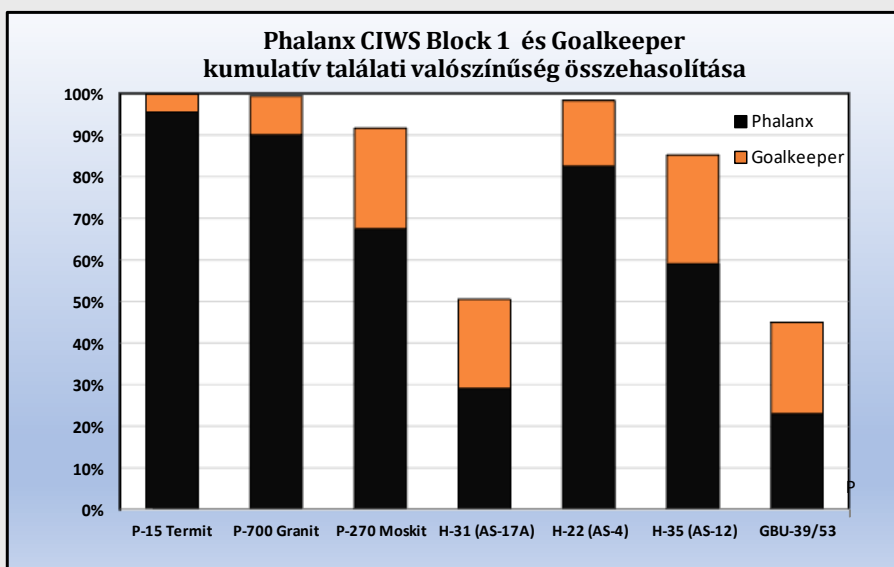
A Goalkeeper rendszernél szórást a Silka szórás karakterisztikával, és az ismert, 1200 méteres GAU-8 szórásértékével közelítettük, ezzel az Phalanx CIWS rendszernél kisebb szórásértékeket kaptunk. (Lásd a 3.2. ábrán.) A rendszer tűzgyorsasága 70 lövés/másodperc.

Köszönhetően az GAU-8 géppágyú kisebb szórásának és a szinte azonos tűzgyorsaságnak, a kapott találati értékek jelentősen magasabbak az egyes szakaszokra, mint a Phalanx rendszer esetében: ez látható 6.36. ábrán.



6.41. ábra Szakaszonkénti találati valószínűség néhány rakéta és robotrepülőgép ellen.

A 6.37. ábrán együtt látható a Phalanx és Goalkeeper rendszerek kumulatív találati valószínűsége. Még a pontosabb rendszer ellenére sem mondható stabilnak a GAU-8 ágyús rendszer céllelküzdési képessége a gyors és kisméretű H-31 rakéta ellen, azonban a H-35 szubszonikus robotrepülőgép ellen mutatkozó 80% feletti eredmény már sokkal kedvezőbb. Két torony tüzelése esetén siker esélye már a leggyorsabb és legkisebb H-31 ellen is eléri a 75%-ot – ez a 6.38. ábrán látható.

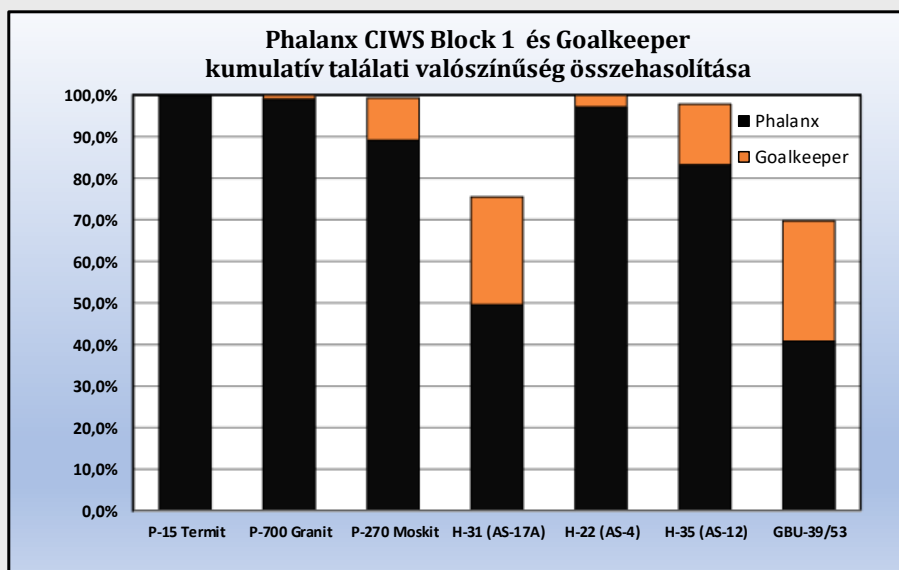


6.42. ábra Kumulatív találati valószínűség 1 db Goalkeeper vagy Phalanx torony tüzelésekor.

A két torony egyszerre tüzelése egy célra nem csak elméleti lehetőség. Vannak olyan hajóosztályok, ahol a hajók orr és tat részén elhelyezett rendszerek képesek egyszerre tüzelni a beérkező célokra. Ilyen például a



holland Karel Doorman osztályú, többfunkciós támogató és partraszálló hajó, a De Zeven Provinciën osztályú fregatt, vagy a dél-koreai Gwanggaeto the Great osztályú romboló.



6.43. ábra Kumulatív találati valószínűség 2 db Goalkeeper vagy Phalanx torony tüzelésekor.

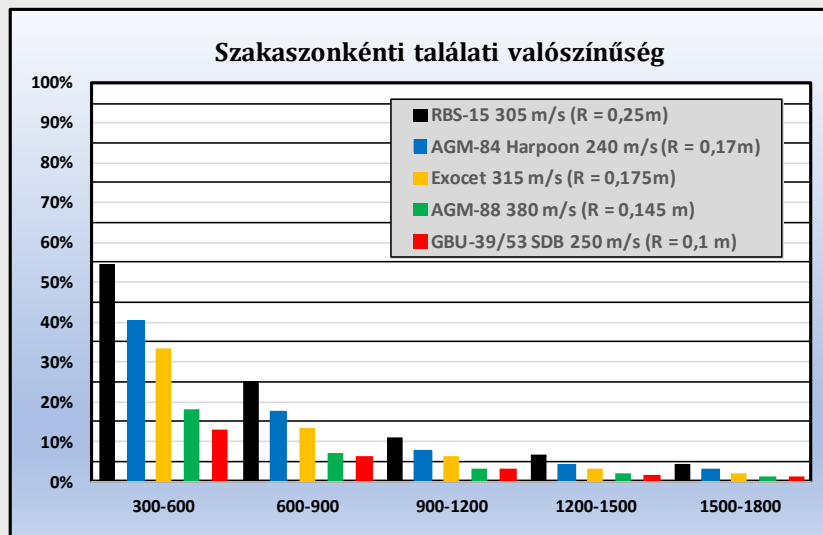
Az SDB annyira kisméretű célpont, hogy még ekkora tűzerővel sem biztosított annak megsemmisítése, még két Goalkeeper rendszerrel sem. Ebből az látszik, hogy az Sz-300/400 osztályok védelmére tervezett Pancír légvédelmi rendszernek csak rakétával van esélye ezek megsemmisítésére. A Pancír tűzgyorsasága és szórása kb. a 2K22 rendszerével azonos. Ráadásul, az SDB mérete miatt azok alkalmazása tömeges, tehát 1 db ilyen eszköz lelövése önmagában nem komoly fegyvertény. Egyetlen F-35 vagy 4. generációs vadászgép is könnyedén elvisz belőle akár 8 darabot is.

### 6.3.2.3. AK-630, Koritk/Kasztán

Az AK-630 gépágyúról sajnos nem állnak rendelkezésre adatok a pontos számításhoz, ezért minden lenti eredmény részben feltételezésen alapul.

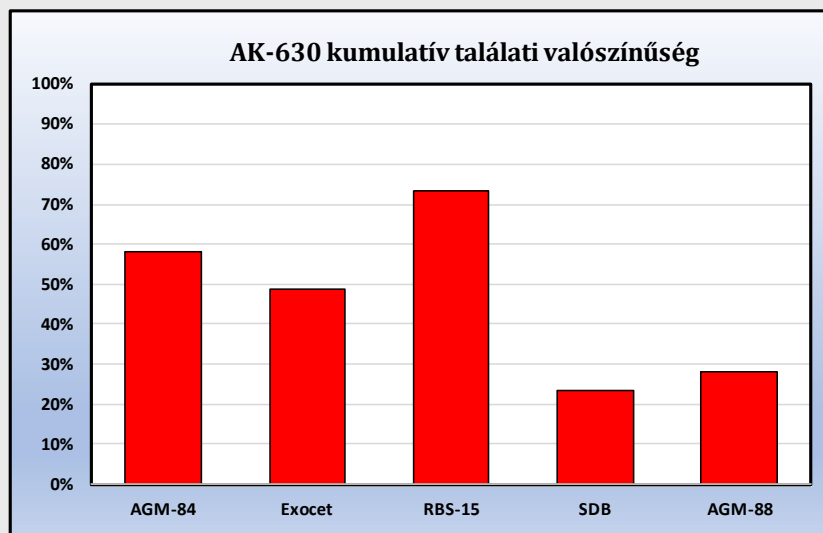
- Az AK-630-ról keringő szóbeszédnek alapján a magas tűzgyorsasága miatt a szórása az űrméretéhez képest nem túl jó, de ennek számszerű mértéke nem ismert. Emiatt a AK-630 lövegnél a Silka a GAU-8-hoz képest nagyobb szórásával számoltunk.
- A Kortik/Kasztán rendszerénél még ezt a szórást is kismértékben lerontjuk, és az M61 Vulcan 6000 lövés/perc tűzgyorsasággal számolunk. Ennek oka, hogy a két gépágyú együttes szórása a vibráció miatt még rosszabb.
- Az AK-630 tűzgyorsaságát 4500, a Kasztán rendszerénél 10000 lövés/percnek vettük.

Az 300 méteres szakaszokra számolt találati valószínűség a 6.39. ábrán látható. A GAU-8 gépágyúhoz képest nagyobb szórás és a szinte azonos tűzgyorsaság miatt az egyes szakaszokra kapott találati értékek számottevően kisebbek. Ezt azonban nem csak a fegyver szórása, hanem a célpontok mérete is okozza. Bár a nyugat által használt (és sokak által leszólt) szubszonikus rakéták és robotrepülőgépek lassúak, azok mérete jelentősen kisebb, mint a gyors és hatalmas régebbi szovjet rakétáké, ami nagyban megnehezíti ezek leküzdését gépágyúval (és talán rakétával is).

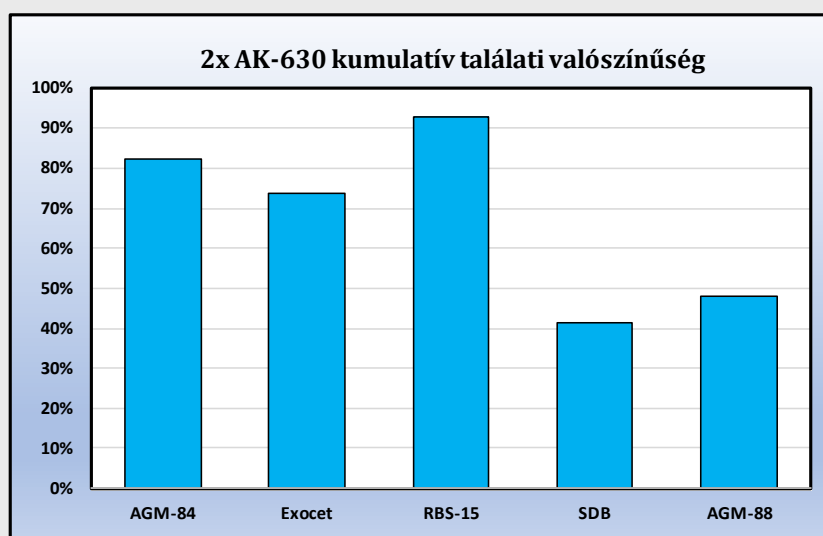


6.44. ábra Szakaszonkénti találati valószínűség néhány rakéta és robotrepülőgép ellen.

A 6.38 ábrán 1 db AK-630 torony esetén kapott kumulatív találati valószínűség látható, a 6.39. ábrán két torony tüzelésekor kapott értékek.



6.45. ábra Kumulatív találati valószínűség 1 db AK-630 torony tüzelése esetén.



6.46. ábra Kumulatív találati valószínűség 2 db AK-630 torony tüzelése esetén

Az AK-630 pontatlanságról szóló szóbeszéd igazságát részben talán cáfolják, de érdekes módon meg is erősíthetik a kapott értékek. A kérdés az, hogy mihez viszonyították az AK-630-ast.

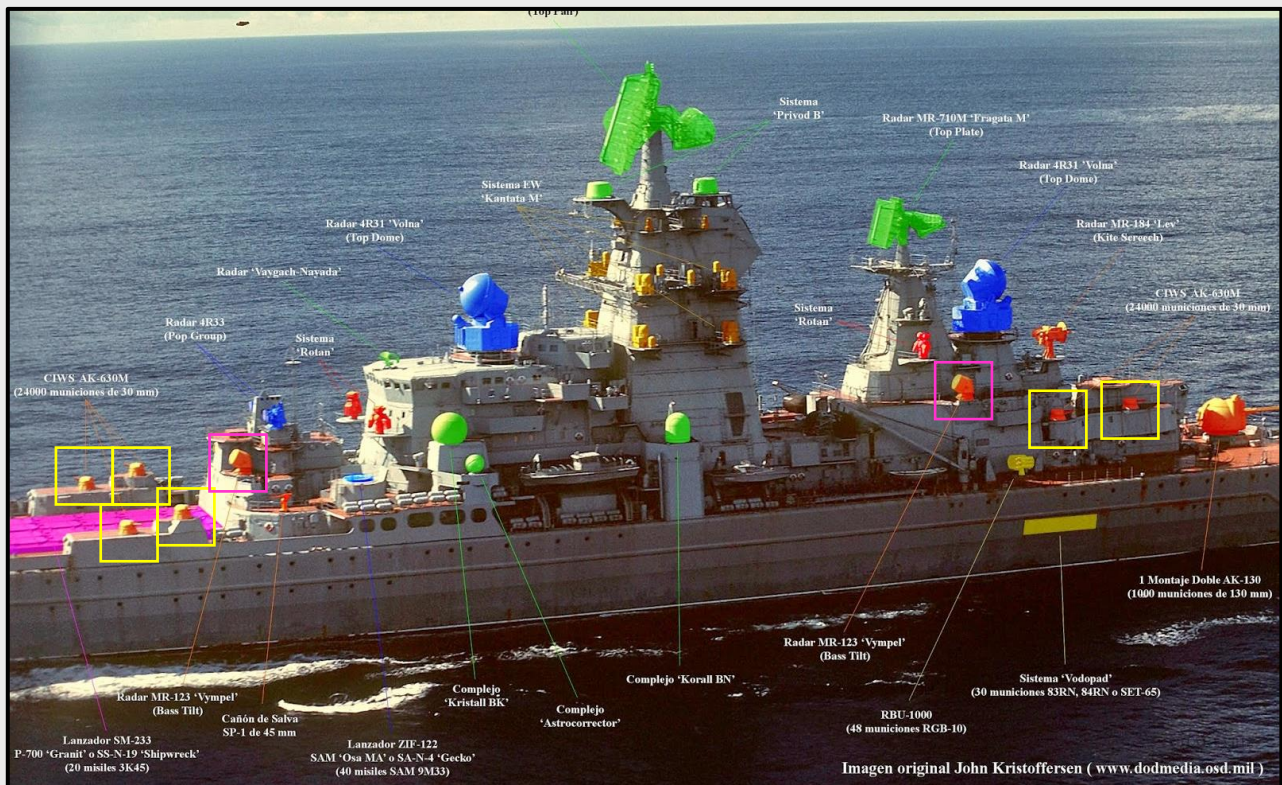
Azért lehet túlzónak tartani a Silkáéhoz hasonló szórást az GAU-8-éhoz hasonló helyett, mert egy darab AK-630-as még a saját korszakában levő eszközök ellen is elégtelen lett volna – ami felveti, hogy ha valóban csak ennyire képes a rendszer, akkor milyen céllal állították hadrendbe.

*Az SDB és az AGM-88 csak „mi lenne ha” alapon kerültek be számításba.*

*Az AGM-88-nál 380 m/s végfázis-sebesség nagy távolságú indításnál nem realizálható. Ez csak azt a hipotetikus esetet feltételezve került bele, ha esetleg bárki pusztán a hajó egy radarrendszerét harcképtelenné téve, vagy azt elnyomva megpróbálná a hajó harcértékét csökkenteni. A hajókon levő felderítő radarok jellemzően olyan hosszú hullámhosszon üzemelnek, amik ellen az AGM-88 HARM hatástalan.*

Miért nem tartható mégsem annyira túlzónak feltételezett szórás? Mert két darab AK-630 torony tüzelése esetén a kapott eredmények már a vállalható szint közelében vannak. Kismértékben jobb szórás esetén kettő torony nagy valószínűséggel bármilyen nyugati szubszonikus hajó elleni rakétát vagy robotrepülőgépet képes lelőni.

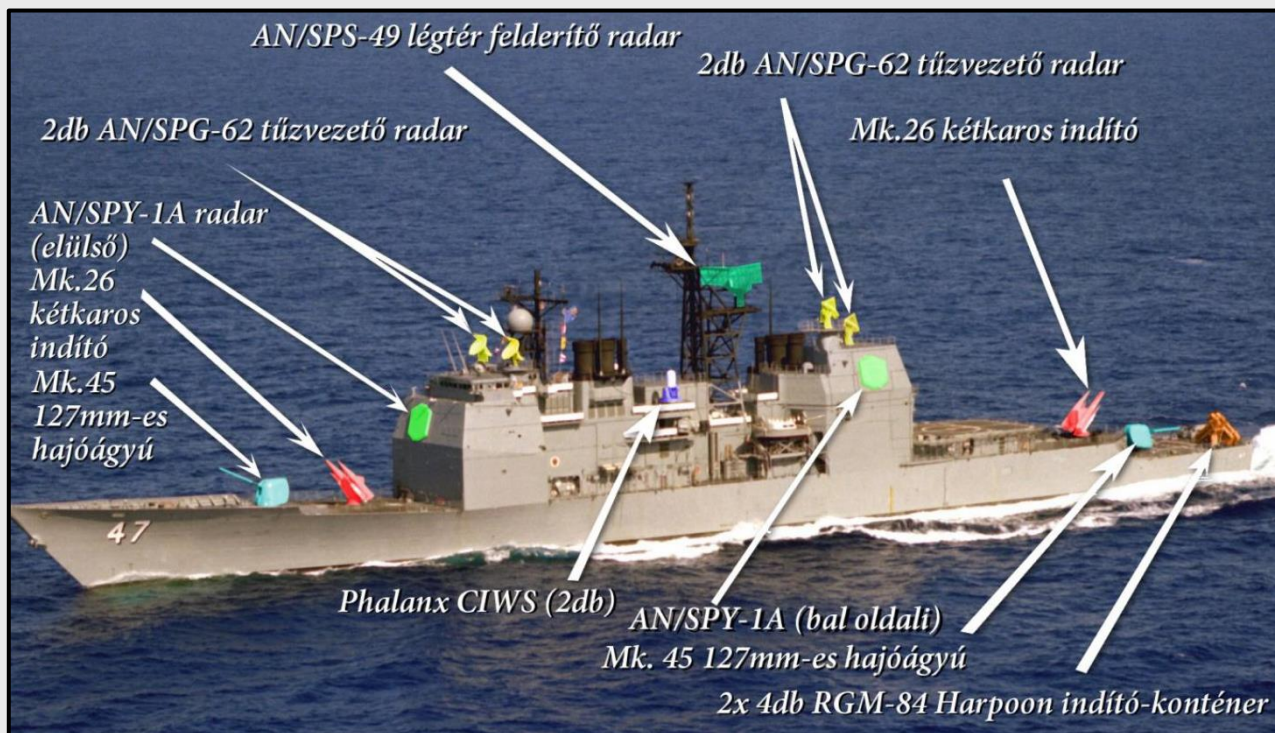
A másik komoly érv az AK-630-asok és továbbfejlesztett rendszereinek létezése, és ezek telepítési módja. A hidegháborús Kirov osztályon 8 db (!) AK-630 volt telepítve úgy, hogy egy darab MR-123 radar vezérelt párban 2 db AK-630 toronyt. A lenti képen látható, hogy a hajó orr és tat részén 4x2 db torony és oldalanként elől és hátul 1-1 db tűzvezető radar található. Tehát a 8 db torony ellenére a hajó „csak” 4 db célszatornával rendelkezik.



**Az AK-630 gépágyú tornyok és az MR-123 tűzvezető radarok a Kirov osztályon a '80-as években.**

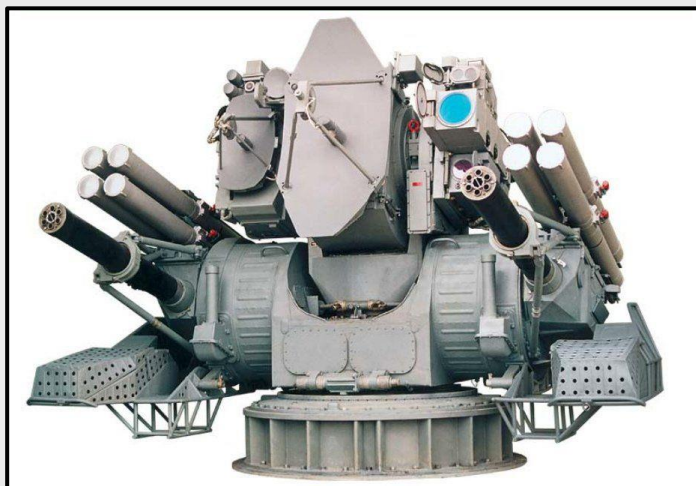


Viszonyításképpen az amerikai Ticonderoga osztályú rakétás cirkálón – bár „csak” kb. fele akkora vízkiszorítású – kettő darab Phalanx torony található, ami két darab célsatornát jelent, és egy oldalra csak egy Phalanx képes tüzelni.



*A Phalanx rendszer a Ticonderoga osztályú rakétás cirkálón.*

Az amerikai megoldással ellentétben a szovjet tervezők az ágyúkat és a tűzvezető radart nem egy egységként képzelték el. A fent kapott értékeket figyelembe véve a szórás lehetett az oka, hogy párosával telepítették az ágyúkat úgy, hogy egy oldalra tudjanak tüzelni.



A Kortik/Kasztán<sup>44</sup> rendszernél megtartották az AK-630-asnál használt gépágyút, azonban azt megkettőzve, a rakétás légvédelemmel egy egységet képezve, egyetlen toronyba telepítve helyezték el, lásd balra fent a képen. A Kasztán rakétás légvédelmi része lényegében a 2K22M Tunguszka haditengerészeti változata. A tűzgyorsaság megtartása, de a tisztán gépágyús rendszer kompakt tétele miatt a kétágyús tornyok is megjelentek, lásd jobbra fent a képen.

Ez szintén azt látszik alátámasztani, hogy a nyugati haditengerészeti támadó eszközök hiába lassúak, azok kis mérete miatt a védelem utolsó vonalát alkotó rendszereknél ma is indokolt a hatalmas tűzgyorsaság fenntartása a gépágyú sejtetően gyengébb szórása miatt.

A Kasztán rendszer esetén a 10000 lövés/perc és az egybeépítés szórásnövelő hatását vélhetőleg kompenzálja a nagyobb tűzgyorsaság. Jó közelítéssel igazak a 2 db AK-630 toronyra számolt értékek egy Kasztán torony esetén.

Bár elég nehéz elképzelni, hogy egy támadó fegyverre két darab Kasztán tüzeljen, de ezt is megvizsgáltunk. A legalacsonyabb számolt találati arányú SDB ellen a siker esélye így 72%, ami még mindig nagyon alacsony. Az Exocet rakéta ellen 93% adódik, az AGM-84 Harpoon ellen pedig 97%.

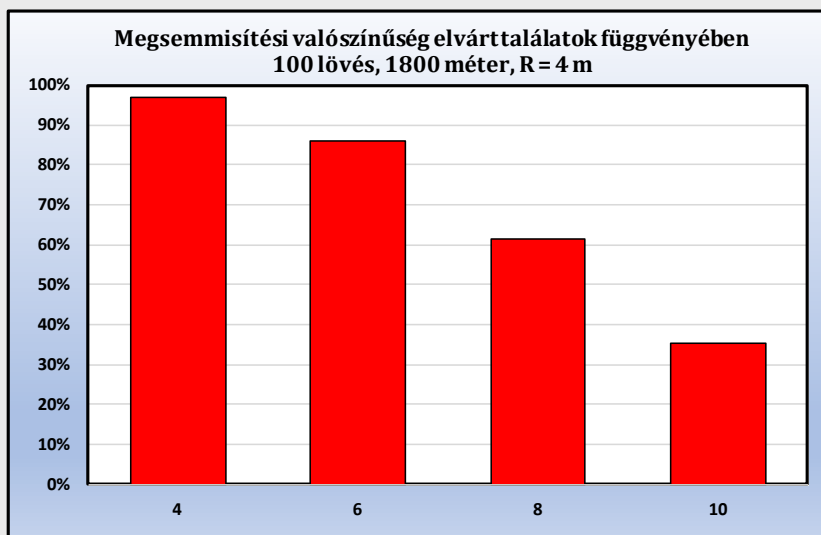
## 6.4. A-4 Skyhawk repülőgép és ZsSzU-23-4 Silka

A korábbi tapasztalatok miatt csak a „B” modellel hajtjuk végre a számításokat.

A vizsgálatok során nagyjából állandó távolságban levő célpont ellen végeztünk el néhány számítást, ami inkább csak a modell érzékenységét és lényegében alkalmatlanságát hivatott bemutatni a célpont jellege miatt.

- Annak esélye, hogy egy repülőgép pontosan egy légvédelmi ágyú felé repüljön, nagyon csekély, ez inkább jellemzően valamekkora szögben történik meg. Emiatt a repülőgépek haladási sebességéhez képest kisebb változási sebességet tételeztük fel a távolság tekintetében. 280 m/s (kb. 0,8 Mach) sebességű célnál ezért a távolságbeli változást csak 140 m/s-nak tételeztük fel.
- 110 lövéses sorozatot vizsgáltuk, mert a lőszabályzat megengedi ezt a gyorsan repülő célpontok ellen. Ez 2 másodperces tűzcsapást jelent.
- A 2 másodperces tűzcsapás során a távolság 280 métert változik, ennek a 280 méteres sávnak a közepére vonatkozó átlagos valószínűséggel számolunk.
- Az A-4 Skyhawk „fénykorában” jellemzően nem irányított rakétákkal vagy kis magasságból ledobott bombákkal támadtak. Egy vízszintesen kb. 1,6 km-re levő, és 800 méter magasan repülő, nem irányított rakétával támadó gépnél a lőtávolság átlagosan kb. 1800 méter. Ezt vettük maximális távolságnak a vizsgálatok során. Annak esélye, hogy egy támadó repülőgép 1 km-nél kisebb távolságban repüljön, igen alacsony.

Még 800 méter vízszintes távolság és 800 méter magasság esetén is 1100 méteres távolság adódik: ezt az 1,1 km-es távolságot vettük minimumnak. Ezek a távolságok természetesen a találatok helyét mutatják, a tűzkiváltás távolabbról történik.

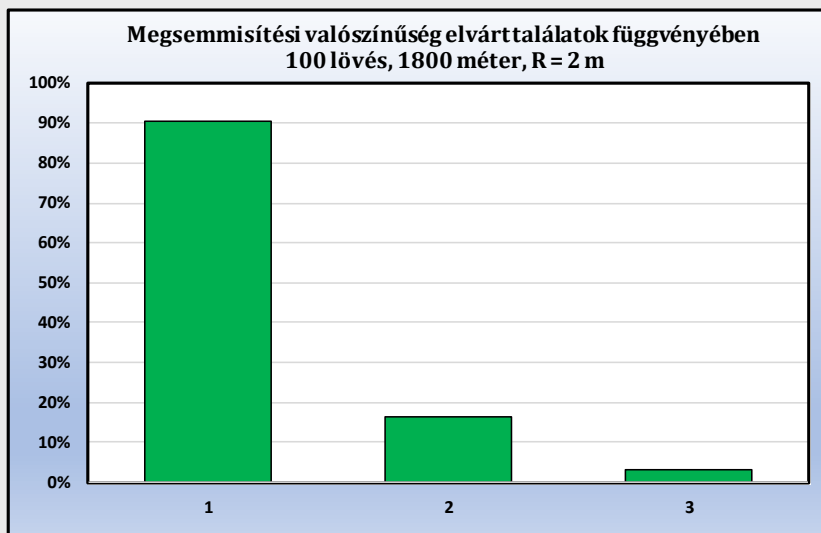


6.47. ábra Adott számú találat valószínűsége kb. 1800 méter távolságban, R = 4 m

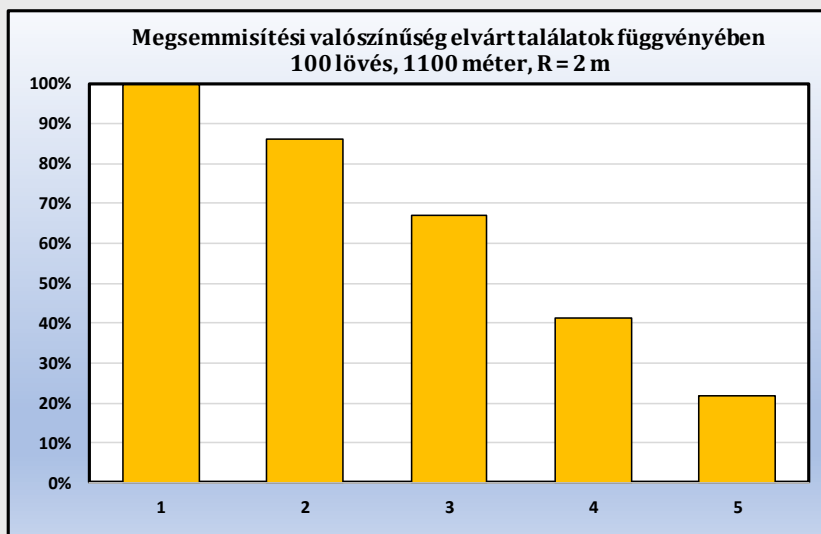
A 6.42. ábrán látható a találatok számának valószínűsége, ami az elvárt találatok számának növekedésével csökken. R = 4 méter az A-4 Skyhawk fesztávolságát igen jól közelítő méret. A kapott számok alapján azt látjuk, hogy még 8 db találat valószínűsége is magasnak mondható (61%), így biztosra vehető, hogy a gépet találat éri, ha az a legnagyobb felületét mutatja a légvédelmi ágyú felé.



Azonban a gépet alulról és némileg oldalról nézve, azaz  $R = 2$  méteres célpontot feltételezve a várható találatok számra rendkívül alacsony, egynél több találat gyakorlatilag nem várható. (Ld. 6.43. ábra.) Amennyiben a céltávolság mindössze 1100 méter, akkor a 6.44. ábrán látható valószínűségeket kaptuk 5 db találatig ábrázolva.  $R = 4$  méteres cél esetén nem készítettünk diagramot, mert 1100 méternél már 25 db találat valószínűsége is 100% közeli.



6.48. ábra Adott számú találat valószínűsége kb. 1800 méter távolságban,  $R = 2$  m



6.49. ábra Adott számú találat valószínűsége kb. 1100 méter távolságban,  $R = 2$  m

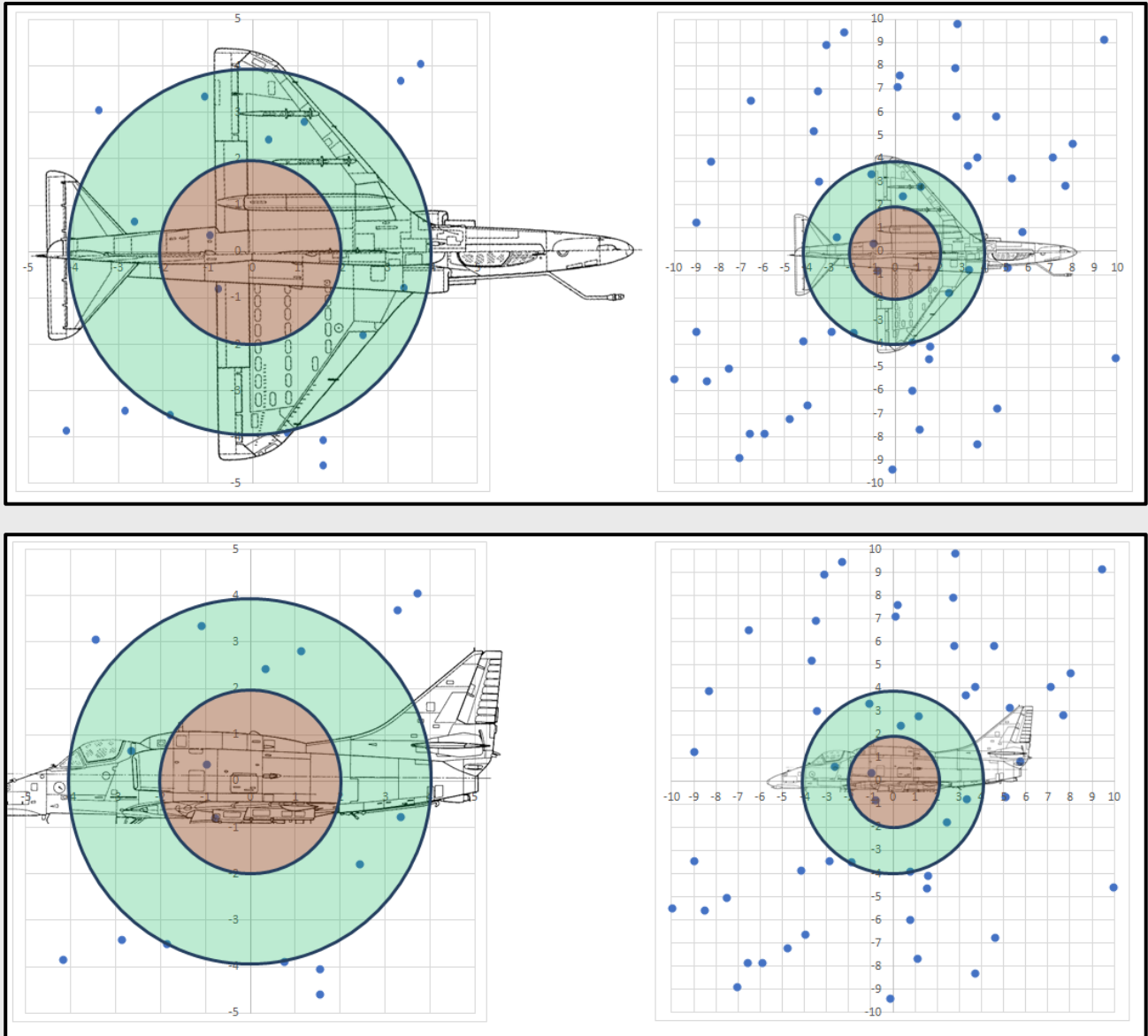
A fenti számok alapján érthetővé válik a probléma: a repülőgép pillanatnyi helyzete és távolsága annyira erős hatással van a találatok számára, hogy ezek meghatározása objektív módon lehetetlen, mert az eredmény túlságosan sok mindentől függ. Emellett az összes fenti esetben nem manőverező célra készült a számítás. Azonban az ember vezette gépnél a legrealisabb feltételezés az, hogy a pilóta érzékeli a rá kilőtt lövedékeket (mivel azok egy része jellemzően nyomjelzős) és kitérő manőverbe kezd.

Erre a problémára rakódik rá annak a hatása, hogy a számítások alapjául vett célkör nagyon sok helyen lelóg a célról. Tehát a találati arányt bizonyos részekben felül, más részekben viszont alulbecsüli a modell. Utóbbiakra példa a gép orr része vagy a farokrészen a vezérsíkok.

A lenti képen látható, hogy ha egy éppen forduló gépet feltételezve hajtjuk végre vizsgálatot, akkor egy találatra választott, 1800 méteres lőtávolságnál kapott szórás képben a számolt és leolvasott találati értékek között mekkora az eltérés. A számolás alapján hárommal több találat adódik a szárny mögötti

területnél, viszont a jobb szárnyánál levő találat határeset még tökéletes célzás és előretartás esetén is. A találatok eloszlása is leolvasható: ez két helyen is két közeli találatot mutat, de a nagy eloszlást nézve látható, hogy semmiféle garancia nincs arra, hogy ez lenne az általános.

A kisebb,  $R = 2$  méter sugarú területet vizsgálva (piros terület) az látszik, hogy az arra számolt valószínűség kisebb, így viszont biztosítható a koncentrált károkozás: kevesebb találat esetén is valószínűbb, de korántsem biztos a megsemmisítés. Egyszerű szemrevételezéssel nem eldönthető, hogy a találat mennyire kritikus vagy túlélhető.



A mellékletként letölthető táblázat átalakításával, és a megfelelő háromnézeti rajzok segítségével tetszőleges célra elvégezhető a számítás, de annak kimenete véleményem szerint a típusok részletes ismerete nélkül értékelhetetlen. Mivel maga az egész modell rendkívül idealizált és leegyszerűsített, ezért ezek az eredmények inkább csak tájékoztató jellegűek.

## 7. Géppuskák, gépkarabélyok

A harcjárműveken és légvédelmi eszközökön túl elméletben elképzelhető a drónok leküzdése kézfegyverekkel, illetve géppuskákkal. A gyakorlati tapasztalatok szerint ez nem járható megoldás. Ezt a lent látható videók bizonyítják.

<https://www.youtube.com/watch?v=FKjjWCqGQhs>

A fenti videón látható 12,7 mm-es géppuska gyakorlati szórása a kezelő és a fegyver tulajdonságainak együtteséből 1200 méteren távolságon legalább 4 méteres nagyságrendben van. A videón egy nagy tartály látható, annak a méretnek többszöröse a szóráskép. Ezzel a pontossággal egy kisméretű quadcopter leküzdése még ideális körülmények között is gyakorlatilag lehetetlen ekkora távolságban – még akkor is, ha a drón függeszkedik és nem mozog, ha egyáltalán sikerül észlelni ekkora távolságból a célt, és tüzelni is rá.

<https://www.youtube.com/watch?v=rGLxKXtkHpY>

A fenti videón mozgásban levő drón ellen próbálkozik számtalan lövész. Fogalmazzunk úgy, hogy a hegyoldal ólommérgezést kap, mire lelövik. Pedig a drón távolságra alig néhány száz méter, és mindent megtettek a drón reptetése során, hogy a lövészeknek esélyük legyen. A célpont mindenki számára jól látható, és szándékosan addig repül, amíg le nem lövik – tartson ez bármeddig is. Egy valódi célpont nem teszi meg ezt a szívességet: ahogy a kezelők észlelnék a leadott lövéseket, a távolságot növelve biztonságos távolságba vezetnék a drónt.

## 8. Nem hagyományos megoldások, programozott lőszer

### 8.1. A lőszer működési elve, források

Minden eddigi esetben csapódó gyújtós lőszerre végeztük a vizsgálatokat. A kapott eredmények jól megmutatták ennek korlátait. A fentiekben láthattuk, hogy a drónok esetén a fő probléma a méretük, amire még ráakodik az oldalszög- és helyszög-mérési hiba hatása magára a találat esélyére. Ezek együttese miatt a találat valószínűsége vállalkozhatatlanul alacsony még álló célpontok esetében is, még rendkívül nagy tűzgyorsaság és sok kilőtt lövedék esetén is.

A lehetséges megoldás a találati arány növelésére az időzített gyújtós, azaz airburst vagy AHEAD lőszer használata. (Ld. még a 3.6.2. fejezetben is.) Ezeknél programozható, hogy mennyi idő (azaz távolság) után működjön el a repeszképző harci rész. Ma már 30-35 mm kaliber méretben is létrehozható ilyen lövedék.

Mivel ekkora űrméret esetén a tűzgyorsaság még mindig eléri 1000 lövés/perc értéket, rövid, kb. egy másodperc hosszú sorozatokkal akkora felületű repeszfelhő képezhető, ami igen nagy valószínűséggel képes megsemmisíteni egy rendkívül kisméretű célpontot is, akár kilométeres nagyságrendű távolságból is, még a löveg szórását és a tűzvezetés mérési hibáját is – figyelembe véve.

A lent látható képen tisztán látszik az AHEAD lőszer előnye. A képen<sup>45</sup> látható AGM-65 Maverick rakéta ellen reménytelen találatot elérni a Phalanx légvédelmi rendszerből kilőtt, hagyományos csapódó gyújtós lövedékekkel, még több száz leadott lövéssel sem. Ezzel szemben egy-két tucatnyi AHEAD lövedékkel a lenti kép alapján 100%-ot közelítő megsemmisítési valószínűség érhető el. Természetesen a teszt során a rakéta nem repült, tehát a célzási és mérési hiba kisebb, mint mozgó cél esetén. Azonban még így is fényesen demonstrálja azt, hogy alacsonyabb tűzgyorsasággal, pontosabb löveggel és intelligens lőszerrel mennyivel pusztítóbb a védelem, és mennyivel megbízhatóbb eredmény érhető el.



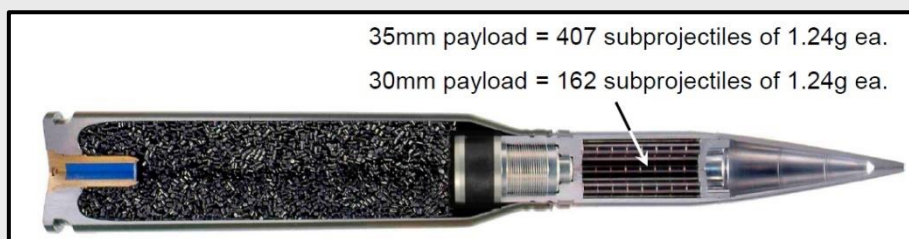
**35 mm kaliberű AHEAD lőszer hatása a kb. 30 centiméter átmérőjű AGM-65 Maverick rakétán.**

45

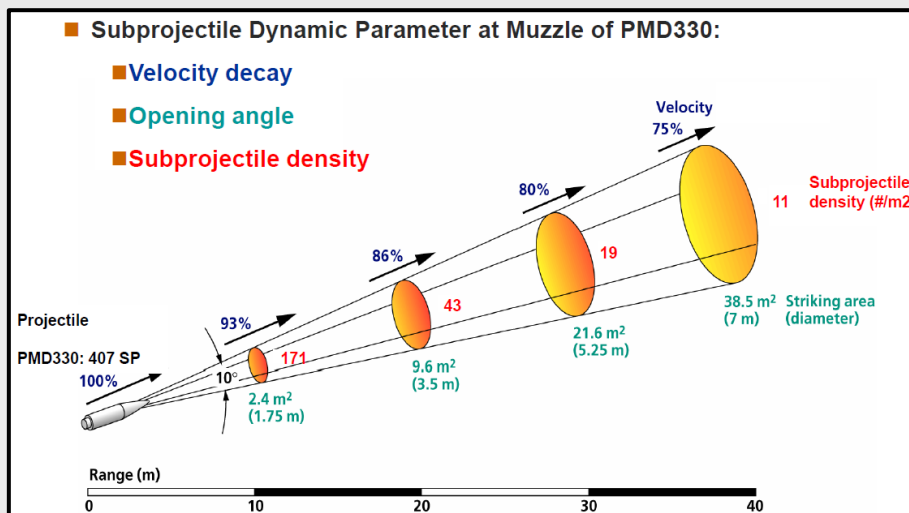
<https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a393758.pdf>

[https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2011/gunmissile/Tuesday11786\\_Bradick.pdf](https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2011/gunmissile/Tuesday11786_Bradick.pdf)

<https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2009/gunmissile/7923paulissen.pdf>



**A 35 mm-es PMD330 típusú AHEAD lőszer felépítése. 35 mm-es méretben 407 db 1,24g. tömegű kis repeszt tartalmaz, de lehet nehezebb, és kevesebb repesz is a lövedékben.**



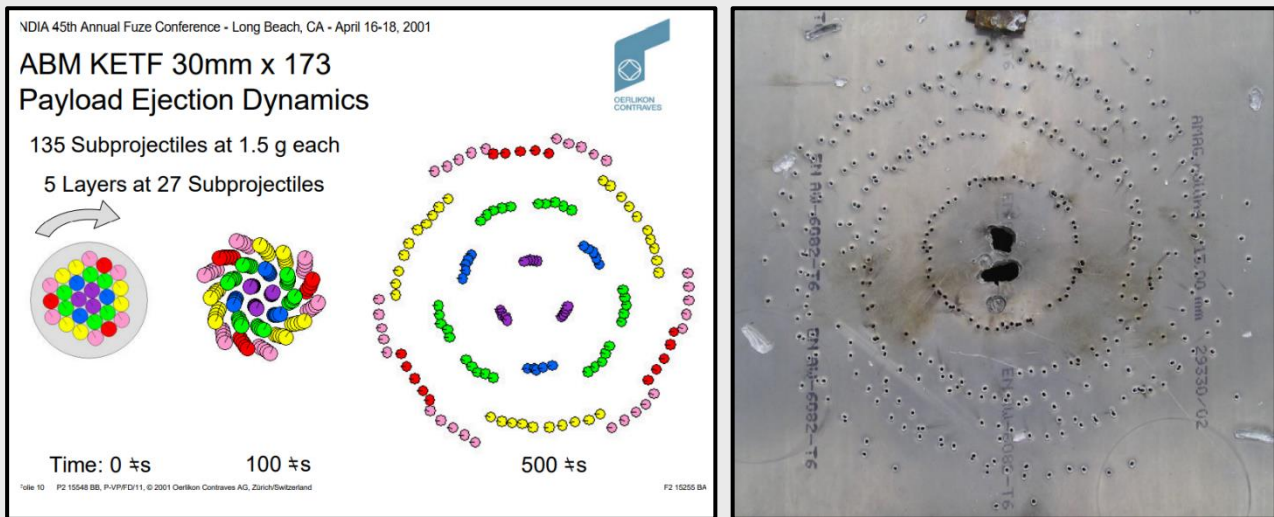
**8.50. ábra A lőszer repeszűrűsége és annak sebessége a célpont előtti robbantási távolság függvényében.**

A fenti képeken látható a lőszer felépítése, illetve a 35 mm-es űrméretű KETF lőszerrel elérhető repeszűrűség és repeszsebesség. A képen látható, hogy a cél előtt 10 méterrel robbantva a 407 darab repesz 1,75 méter átmérőjű körfelületen oszlik el, ezzel 171 repesz/m<sup>2</sup> repeszűrűséget érnek el. A repeszek sebessége a lövedék sebességének 93%. Amennyiben a célpont puha, de nagy felületű, akkor nagyobb terület fedhető le alacsonyabb repeszsebességgel (azaz kisebb páncélátütéssel), de nagyobb robbantási távolságot beállítva. A célpont fajtájától függően megfelelően skálázható a lefedett terület és a repeszek sebessége.

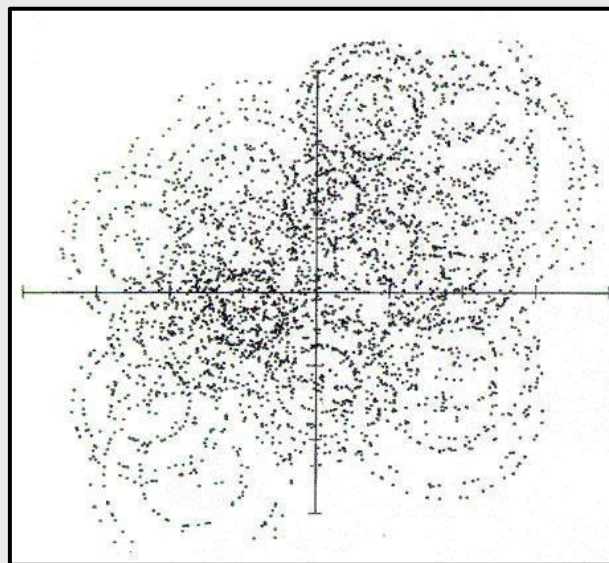
A lőszer típusa is változtatható a célpont típusa szerint: pl. a PDM062-es lőszer helikopterek és repülőgépek ellen ideális, ahol nem szükséges a nagyobb repeszűrűség, inkább a nagyobb átütő erő számít. A PMD330 a szárazföldi célpontok ellen hatásos, a PMD375 pedig aknavető-lőszerek és rakéták lelövésére ajánlott.

Designation	Payload	Weight of sub-projectiles
PMD062	152	3.3 g
PMD330	407	1.25 g
PMD375	860	0.64 g





**Az 30 mm-es KETF lőszer (balra fent) és a 35 mm-es lőszer repeszképe (jobbra fent).**



**8.51. ábra Skyguard rendszer 35 mm-es kaliberű lövegével leadott 25 lövéses sorozatának szórásképe.<sup>46</sup>**

A fenti képeken és ábrákon látszik a 30 és 35 mm-es KETF lőszerrel leadott lövések repeszképe, illetve összesített repeszfelhője. (A szóráskép skálázása méterben értendő.) Látható, hogy még egy rendkívül kisméretű drón túlélési esélye is gyakorlatilag nulla, ha a látható repeszfelhőt képesek előállítani az adott távolságban. A fenti képen a legtávolabbi becsapódás a középtől kb. 4,2 méterre van. Ez alapján kiszámolható, hogy a löveg szórása, a CEP kb. 1 méter. Ez a lövéspáncélos szórását erősen felülbecsülve azt jelenti, hogy kb. 1000-1500 méter távolság között adhatták le a lövéseket. Nincs olyan drón, ami a képen látható repeszfelhőn átjutna – főleg, ha PMD375 típusú lőszerrel számolunk.

A lenti videókon<sup>47</sup> a Skyguard és Skyranger légvédelmi rendszer láthatók, amik 35 mm-es űrméretű, 1000 lövés/perc tűzgyorsaságú löveggel küzdenek le célpontokat. Még a legkisebb méretű, mozgó drónt is alig néhány lövedék felhasználásával lelövik kb. 500 méter távolságból. A repülőgép jellegű, MTX drón<sup>48</sup> fesztávolsága 2,8 méter, ami alapján a törzse hozzávetőleg 35 centiméteres sugarú. Ezt is néhány lövéssel lőtte le a rendszer. A fentebb olvasható számításaink szerint egy hasonló méretű célpontot a ZsSzU-23-4 Silka még idealizált esetben is kb. 160 lövésből lőne le 90% feletti valószínűséggel. (Ld. 6.25. ábra.)

<sup>46</sup> [http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2007\\_cikkek/nagy\\_norbert.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2007_cikkek/nagy_norbert.pdf)  
<https://bit.ly/2Wxan3L>

<sup>47</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=d0oHvqIUemY>  
<https://youtu.be/h3zhkpVsn28>

<sup>48</sup> <https://www.mtx.pmrobotics.ch/>

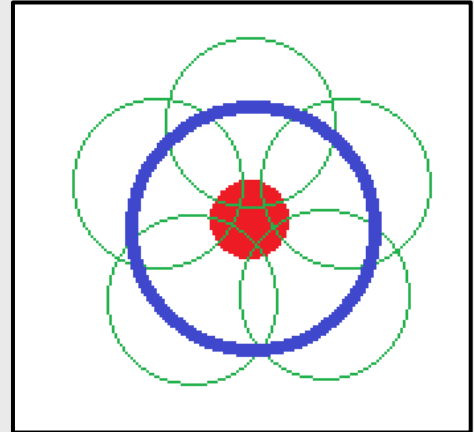


## 8.2. Matematikai modell

Az eddigiek során használt „B” modell a továbbiakban is felhasználható. Az eddigi számítások során csak azt kezeltük találatnak, ha a célpont jellemző méretét szimbolizáló sugarán belül csapódott be a lövedék. A modell az AHEAD lőszer hatását úgy képes kezelni, hogy a célpont méretét virtuálisan növeli: az is találatnak számít, ha a repeszfelhő sugarának kb. a felével mellélövünk a célpontnak.

Jobbra az ábrán látható sematikusan ábrázolva a modell, méretek nélkül. A piros kör a célpont mérete. A zöld körök a lövedékbecsapódási pontok köré rajzolt repeszfelhők sugara. A repeszfelhő sugara és a célpont között minimális átfedést várunk el, ami kb. 10 cm.

Tehát ha a célpont mérete kicsi, pl. az  $R = 0,15$  méretű drón (piros kör sugara), de a repeszfelhő sugara nagy, mondjuk  $R = 1,75$  méter (zöld kör), akkor a ezzel a célpont mérete  $1,75 - 0,1 + 0,15 = 1,6$  méter sugarúvá nő.



A fent bemutatott, 35 mm-es AHEAD lőszer szórásaképén a szórás kép szélét 1,75 méterűnek véve megállapítható, hogy szinte nem létezik olyan terület, ahol a feltételezett méretű drón átférne. Sőt, ha a drón valódi, nagyobb méreteivel számolunk, akkor a célpont mérete is picivel nagyobb lesz adódik egyes irányokban.

Ez azt is jelenti, hogy minél nagyobb méretű a célpont, annál nagyobb méretű szórás kép engedhető meg, ha a repeszek pusztító ereje kellően nagy. Természetesen azzal is lehet „játszadozni”, hogy ha a célpont mérete igényli a sok kisméretű repeszből a sok találatot, akkor kisebbre vesszük a repeszfelhő méretét, de több lövést adnak le. Ezt úgy képes a modell kezelni, hogy több találatot várunk el a megsemmisítéshez. – csak jelen esetben ez nem azt jelenti, hogy két csapódó gyújtós gránát találja el a célpontot, hanem azt, hogy két gránát repeszfelhője is lefedi a célt.

A képek alapján látható, hogy még a legkisebb drón, rakéta és robotrepülőgép esetén is legalább fél tucat, de inkább tucatnyi repesz borítja be a célpontokat, ezért a PMD375 lőszer használatával a megsemmisítés valószínűsége nagyon magas. Ha ez a lőszer megfelelő az aknavető és rakéták ellen is, akkor egészen biztosan képes műanyag drónokban komoly kárt okozni.

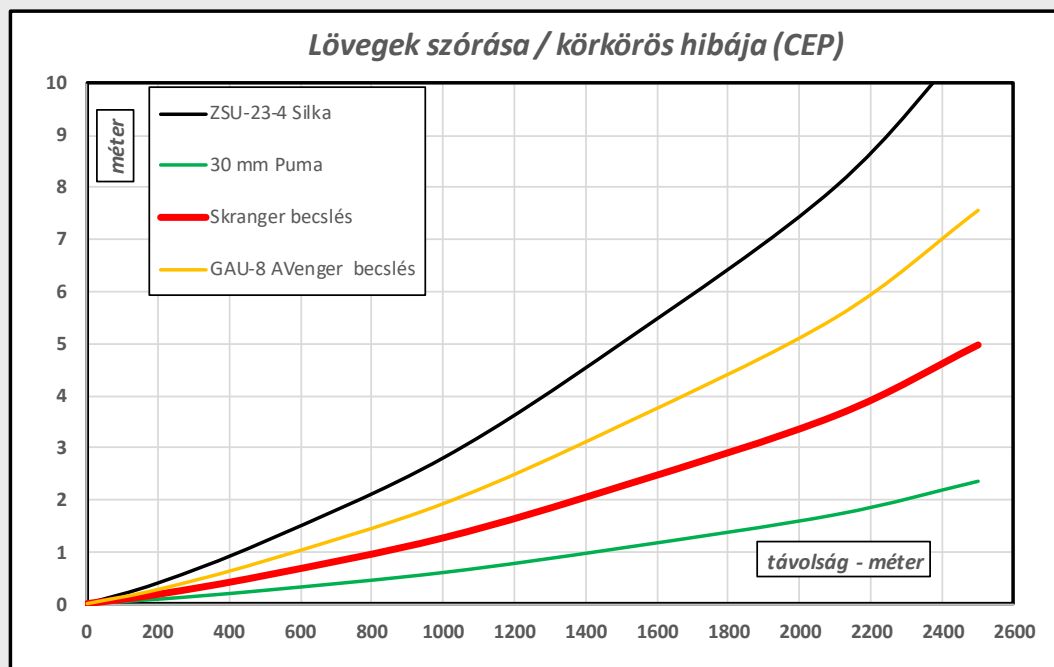
### 8.3. Számítások Skyranger rendszerre

A fent lábjegyzetben hivatkozott, videón is bemutatott Skyranger<sup>49</sup> rendszer 35 mm-es, 1000 lövés/perc tűzgyorsaságú löveget használ. A rendszer mobil, ami ideálissá teszi csapatlégvédelmi szerepkörre. Természetesen a rendszer nem önállóan operál, a légvédelmi szakaszhoz tartozó felderítő radar is dukál hozzá.

Sajnos a rendszerlöveg pontos szórása nem ismert, de kialakítása és tűzgyorsasága a lövéspáncélosok és a nagy tűzgyorsaságú GAU-8 Avenger közé pozicionálja.



A Puma lövéspáncélos és az Avenger lövegek szórása alapján vettük fel az Oerlikon 35 mm-es gépágyú szórásjellemzőit. A korábban látott videó alapján ez a közelítés felső becslésnek tűnik.



8.52. ábra Skyranger rendszer 35 mm-es lövegének szórása (becslés)

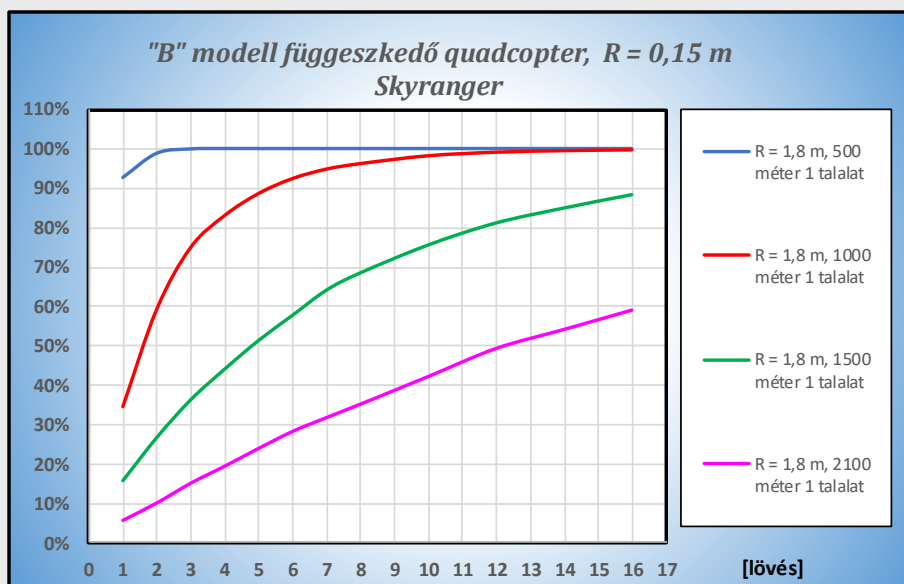
#### 8.3.1. Quadcopterek, kisméretű UAV eszközök

A fenti paraméterek alapján a PMD330 lőszerrel a lövedékek repeszképét első lépésben konzervatívan 1,75 méter átmérőjűnek vettük fel annak ellenére, hogy nem ez a drónok ellen ajánlott lőszer. Azért ezt vettük fel, mert a fotók alapján első lépésben ennek repeszűrűsége is elégségesnek látszott a drónok ellen. A drónok ellen ajánlott, PDM 375 lőszerrel még a képen láthatónál is sűrűbb szórás kép érhető el, tehát abban az esetben még nagyobb sugarú repeszfelhő lenne figyelembe vehető.

Első lépésben tehát az  $R = 1,75$  méteres repeszfelhővel számolunk,  $R = 0,15$  méter méretű quadcopter ellen, aminek jellemző mérete  $R = 0,35$  méter. A célpontra  $0,1$  méteres átfedést vártunk el a repeszfelhőtől. A fenti képek alapján már ez is többszörös repesztalálatot jelent. A fentiekből kapott célpont virtuális mérete  $R = 1,8$  méter. A kapott eredmények a 8.4. ábrán láthatóak.

<sup>49</sup>

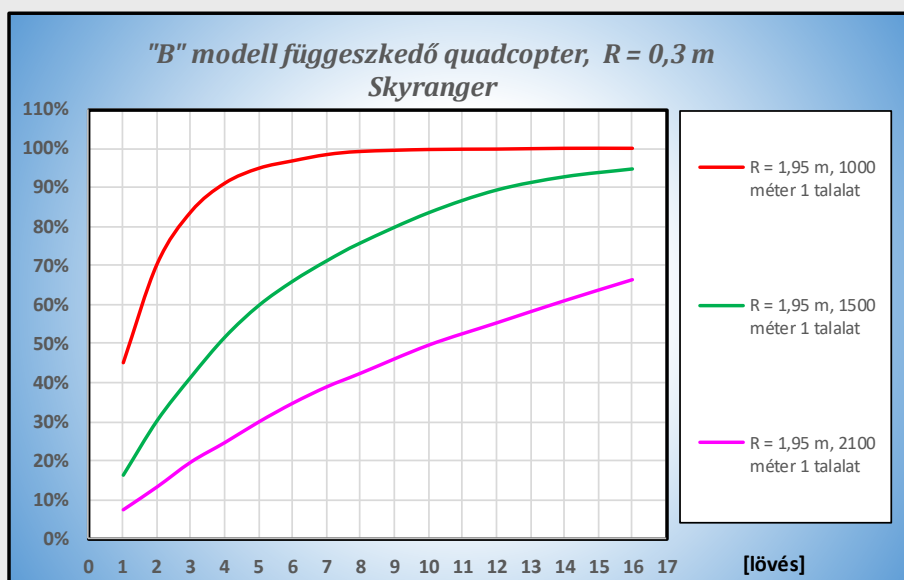
<https://planesandstuff.files.wordpress.com/2014/05/janes-system-upgrades.pdf>



8.53. ábra Megsemmisítési valószínűség 1 db elvárt találat S kyranger  $R = 0,15$  m quadcopter ellen

A 8.4. ábra alapján 500 méter távolságban néhány leadott lövéssel biztosra vehető a találat még a legkisebb méretű drón esetén is. Ez igen jól egybevág a fenti lábjegyzetben látható videóval, ahol S kyranger rendszer néhány lövéssel megsemmisítette a VT-30 drónt, és többszörös közeli találat volt kivehető a célponton.<sup>50</sup> A 3 lövés és felette levő 100% találati valószínűség azt mutatja, hogy még a többszörös találat valószínűsége is nagyon magas, még rövid sorozat esetén is. 16 lövéses, mindössze egy másodperces tűzcsapással még 1500 méter távolságban levő célpont ellen is 90%-os a találat valószínűsége, és csak 2100 méter távolságban esik le csak 60%-ra.

A fenti számok alapján látható, hogy a kérdés inkább az, hogy lehetséges-e a drónok felderítése és célparamétereinek mérése. Ha ezek a feltételek adottak, akkor lehetséges még a legkisebb méretű drónok leküzdése is. 1500 méternél nagyobb távolságból a kis quadcopterek nem is képesek hatásos felderítésre korlátozott teherbírásuk és méretük miatt.



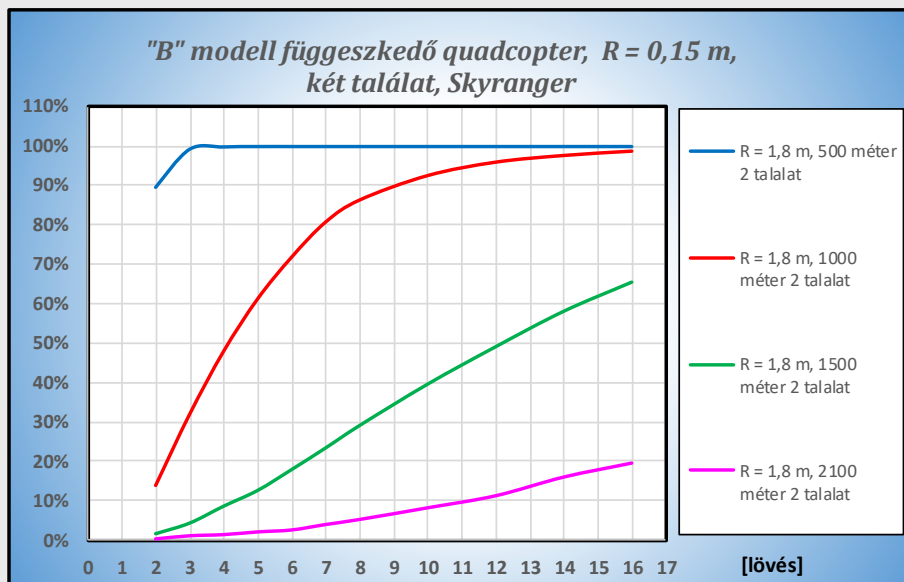
8.54. ábra Megsemmisítési valószínűség 1 db elvárt találat S kyranger  $R = 0,3$  m quadcopter ellen

A gránátok repeszfelhő átmérőjét azonosnak véve a nagyobb méretű célpontoknál a találati arány kissé javul, mivel a virtuális célpont mérete a lövedék repeszképzése miatt számottevően nagyobb a célpontnál.

<sup>50</sup>

<https://youtu.be/h3zhkpVsn28?t=26>

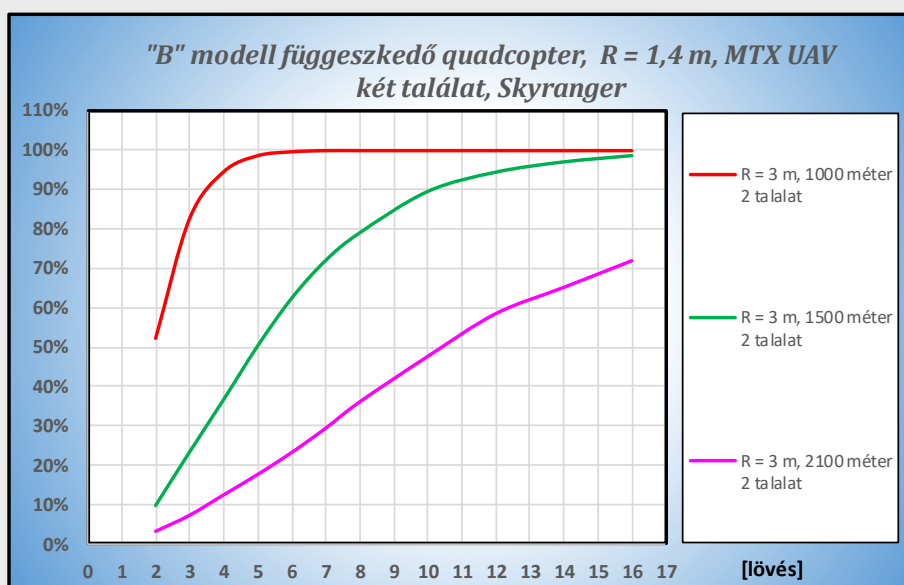
Az  $R = 0,3$  méteres drón esetén a virtuális célpont nagysága csak  $0,15$ -mrel nő meg, de mivel az a legkisebb célpontnál is  $R = 1,8$  méter volt, ehhez képest az  $R = 1,9$  méter növekmény nem jelentős. Ez látható a 8.4. ábrán, 5-nél több leadott lövés esetén. A többszörös elvárt találat várható esélyét a 8.6. ábra mutatja. 100 méteres távolságig az 1 másodperces tűzcsapás a biztos két találatához is elég, míg az esély 1500 méter távolság esetén 60%-ra csökken. (2 másodperces tűzcsapással, azaz 32 lövéssel ez 85%-ra nő.) 2100 méternél az esély már minimális, de ez a gyakorlatban szükségtelen is.



**8.55. ábra Megsemmisítési valószínűség 2 db elvárt találat Skyranger  $R = 0,15$  m quadcopter ellen**

A repülőgép-elven működő, MTX UAV esetében a szárnyat is találati felületnek véve szédületesen nagy virtuális méret adódik a kis drónokhoz képest. A 2,8 méteres fesztáv ( $R = 1,4$ ) mellett a virtuális célpont mérete  $R = 1,4+1,75-0,1 = 3,05$  méterre adódik ki, ha hasonló átfedést várunk el.

Bár szemből nézve a szárny homlokfelülete kicsi, azonban a gránátok a célpont előtt robbanva a szárnyat is nagy felületen képesek megrongálni a kúp formában szétrepülő repeszekkel. A fenti mérettel számolt találati arányok a 8.7. ábrán láthatóak. A drón nagyobb mérete miatt valószínűleg jobban bírja a sérüléseket is, ezért két találatot vártunk el a számítások során.



**8.56. ábra Megsemmisítési valószínűség 2 db elvárt találat Skyranger MTX UAV ellen**

Még a két találatos elvárás mellett is magas megsemmisítési valószínűségeket kaptunk: még 2100 méter távolságban is 70% körüli az esély, ami azt jelenti, hogy 1 helyett kb. 1,5 másodperces tűzcsapással a siker szinte garantált. A kapott eredmények igen jó egyezést mutatnak a videón<sup>51</sup> látható lövészettel, ahol néhány lövést leadva 1,1 km távolságból lőtték le a drónt.

A fenti számolások alapján kijelenthető, hogy a harctéren a kisméretű drónok költséghatékony leküzdése airburst és AHEAD lőszerrel lehetséges – amennyiben a célparaméterek meghatározása és a célok felderítése megoldott. Az „intelligens” lőszerrel olyan célok is nagy valószínűséggel elpusztíthatóak, amik leküzdése a hagyományos, csapódó gyújtós lövedékkel reménytelen lenne.

### 8.3.2. Skyranger rendszer hajófedélzeti CIWS rendszerként

Mivel a hagyományos CIWS rendszerek hatástalanok a nagy sebességű és kisméretű célok ellen, érdemesnek tűnik megvizsgálni ezt a lehetőséget is – főleg, hogy a gyártó a 0,3 méter átmérőjű AGM-65 rakéta elleni próbálövészet eredményeit is bemutatta fotókon. A lenti képen látható, hogy 2 km alatti lőtávolságnál milyen súlyos károk érték a kihelyezett céltárgyat.



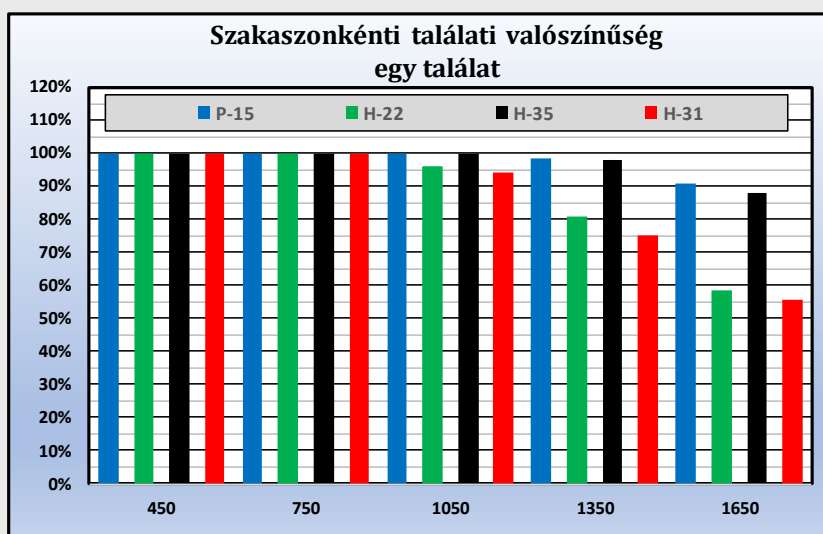
Természetesen itt is megfontolás kérdése, hogy mennyire konzervatív repeszűrűség esetén kezeljük a találatot találatnak. Mivel a legkisebb rakéta átmérője is 30 cm körüli, ezért megmaradtunk a PDM 330 típusú lőszernél, és a 3,5 méteres repeszfelhő-átmérőnél ( $R = 1,75$ ) – annak ellenére, hogy ez a legtöbb cél esetében feleslegesen nagy repeszűrűséget jelentene. A korábban bemutatott körkörös repeszképet tekintve minden H-31-nél nagyobb rakéta esetén a koncentrikus körök közötti távolság sokkal kisebb, mint a célpont jellemző mérete.

A 8.8 és 8.9. ábrán láthatóak a kapott találati valószínűségek egy, illetve két elvárt találat esetén, minden szakaszra nézve. A 8.8 ábrán 1050 méter átlagos elfogási távolságban egyetlen szakaszt nézve is gyakorlatilag biztos a találat, a legkisebb és leggyorsabb H-31 rakéta ellen is 95% felett van a kapott találati

51

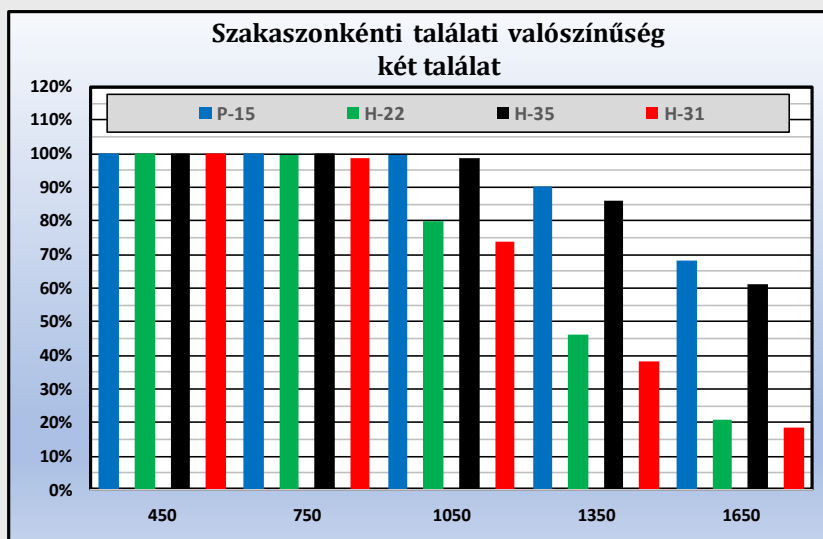
<https://youtu.be/h3zhkpVsn28?t=117>

valószínűség. A leggyorsabb rakétákat nézve a kumulatív találati valószínűség a két legtávolabbi szakasz figyelembe vételével is 88%. Minden más célpont esetén pedig gyakorlatilag 100%.



**8.57. ábra Szakaszonkénti találati valószínűség 1 db elvárt találat**

A 8.9. ábrán elvárt két találat esetén valamennyit csökkentek a szakaszonkénti találati valószínűségek, azonban 750 méteres átlagos elfogási távolságnál a H-31-est kivéve minden célpont esetén 100% közeli a kapott eredmény. Tehát biztosra vehető, hogy ha csak kb. 1 km-es távolságban kezd tüzelni a löveg, akkor is lelőné célpontokat egy egy másodperces tűzcsapással. A kumulatív találati valószínűség az első három szakaszt nézve is eléri a 85%-ot a H-31 ellen, de a teljes tartományt nézve, két elvárt találattal is 100% a siker esélye. Még három elvárt repeszfelhő-átfedés (találat) estén is gyakorlatilag biztos a találat 1 km elfogási távolság alatt.



**8.58. ábra Szakaszonkénti találati valószínűség 2 db elvárt találat**

A fenti értékek alapján kijelenthető, hogy ha a célkövetés megvalósítható, akkor egy AHEAD lőszerrel védekező hajó minden hadrendben levő támadófegyver ellen védve lenne. A Phalanx CIWS vagy Goalkeeper rendszerekkel ellentétben még a leggyorsabb eszközöket is (H-31, Kalibr) gyakorlatilag 100% valószínűséggel képes lenne lelőni.

Ha a rendszer képes a célpontok közötti gyors váltásra, akkor a lassabb, szubszonikus támadófegyverekből akár kettőt is lelőhet. 1650 méteres átlagos elfogási távolság esetén egyetlen szakasz sikeressége majdnem



90% a szubszonikus H-35 ellen, tehát 2 km feletti elfogás és 3 másodperces célpontváltás esetén is kényelmesen belefér még egy robotrepülőgép elpusztítása.

A H-35 sebessége 280 m/s. A Skyranger 2 km-es távolságban elpusztítja az első célt, majd 1 másodperc alatt kiértékeli a találatot: a céljel eltűnik, hiszen apró darabokra robban a rakéta. 2 másodperc alatt a következő H-35 közelít 840 métert. A második tűzkiváltás és a gránátok repülési ideje 1200 méterre kb. 1,2 másodperc, így a következő H-35 is leküzdhető.

Ráadásul ebben a modellben feltételezzük, hogy a két rakéta tökéletesen egyszerre érkezik a célhoz. Ennyire koordinált támadás azonban nem létezik, mert a rakéták (még) nem egymáshoz igazított sebességgel érkeznek. Ha a robotrepülőgépeket csak néhány másodperces eltéréssel indítják, és ezt nem korrigálják sehogy, akkor egy AHEAD lőszerrel operáló löveg képes lehet lelőni a néhány másodperces szünetekkel érkező célokat. A megsemmisítés valószínűsége még nagy távolságban is kellően nagy, és egy lőszer repeszképzése messze meghaladja a 35 mm-es űrméretet. (Elég csak megnézni a 30 és 35 mm-es gránát közötti különbséget.)

Ezek után el lehet képzelni, hogy milyen lehetőségek nyílnak meg a CIWS rendszerek előtt az irányított intelligens gránát és AHEAD/airburst módszerrel akár az 57, 76, 105 vagy 127 milliméteres lövegeknél is.<sup>52</sup> A legvadabb megközelítés szerint lehetővé válik költséghatékonyan kiváltani a kis hatótávolságú légvédelmi rakétarendszereket. Nem lesz szükséges a drága, önrávezető rakéta (ahol a rakéták száma = célsatornák száma), mert 5-8 km-es megsemmisítési távolsággal és 1-2 db löveggel számolva, a célsebességtől függően akár 8-10 db cél is elpusztíthatóvá válik. Az aktív radaros, infravörös vagy egyéb önrávezető technológiát használó rakétához képest egy programozott lőszer számottevően olcsóbb lehet.

Ezen felül egy ilyen löveg többfunkciós lehet. A kis motorcsónakok és drónok elhárítására is pont úgy megfelel, mint a támadó rakéták és robotrepülőgépek lelövésére. Egyetlen torony még 35 mm-es űrméretben is kiváltana mindent egyéb löveget egy hajón: nem lenne szükséges sem a 12,7 mm-es Browning géppuska, sem a 25 mm űrméretű Bushmaster gépágyú, amiket emberek kezelnek. Kikötőben vagy bármilyen környezetben ez a kombinált löveg megfelelne mindenféle célpont ellen, ráadásul ez éjszaka vagy ködben is működik, mert infravörös kamera és radaros tűzvezetés is lehetséges.

Érdekesség, hogy szárazföldi járművekben harckocsi és lövézpáncélos jellegű célpontok ellen is kipróbálták az intelligens lőszert: a 152 db, 3.30 g/volfrám résztöltetet tartalmazó PMD062 lőszer Svájcban tesztelték páncélosok ellen. Az eredmény sokkolónak is tekinthető, mert mindösszesen 2 db lövedék minden optikai és elektronikai eszközt lényegében megsemmisített a célpont Pz-68 harckocsin.<sup>53</sup> Ha nem airburst módban használták ugyanazt a lőszert, akkor 55 mm vastagságú, merőleges páncélt ütött át. Adott esetben tehát a lövézpáncélosok képesek lehetnek a harckocsik harcértékét csökkenteni, még ha fő lövegük átütő ereje kevés is a harckocsik páncéljának átütéséhez. A korszerű harckocsik harcértékét nagyrészt a rajtuk elhelyezett kamerák, éjjellátók és egyéb önvédelmi rendszerek adják, amik a AHEAD/airburst lőszerek ellen kifejezetten sérülékenynek bizonyultak a teszt alapján.

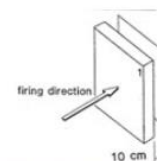
<sup>52</sup> <https://youtu.be/vY9rJBL1S2Y>

<https://youtu.be/XKVIXXabkI0>

<sup>53</sup> <https://slideplayer.com/slide/3914313/>



### Lethality Ahead Un-Fuzed Mode 55mm Armor Plate



## 9. Összefoglalás

A vizsgált eseteknek és az alkalmazott módszereknek több tanulsága van. A kapott eredmények megmutatták, hogy a hidegháború során kifejlesztett, és azóta is használt, csapódó gyújtót alkalmazó légvédelmi tűzérségi rendszereknek és eszközöknek rendkívül korlátozott lehetőségei vannak az egyre inkább elterjedő, kisméretű drónok ellen. Ennek fényében érthető, hogy a piacon egyre-másra jelennek meg a különböző szintű megoldások: elektronikai zavarás, drónvadász drónok,<sup>54</sup> nagyobb űrméretű<sup>55</sup> intelligens lövedékek, drónok felderítésére optimalizált radarok<sup>56</sup> – és ezek adott esetben már önjáró légvédelmi rendszer integrált elemeiként is elérhetők.<sup>57</sup>

A drónvadászok között egy nagyméretű, repülő drón egészen potens<sup>58</sup>, ameddig egy magányos drónt kell elfogni, ám egy drónraj ellen ez is tehetetlen. Egy drón kiesése ellenére a raj halad tovább, és a vadásznak azokat is üldöznie kell, miközben háló- vagy fegyverkészlete korlátos, és ezek hatásossága mozgó célpont ellen egészen biztosan nem 100%. Logikus forgatókönyv, hogy a kisebb támadó drónok közül néhány szándékosan „feláldozza” magát a nagy vadászt támadva, amíg a raj halad tovább. (Mint ahogy egyes hangyák képesek csoportosan legyűrni náluknál sokkal erősebb állatokat.).

Ez elvezet egészen addig a szélsőséges drónelhárító taktikáig, hogy lényegében minden támadó drónra egy külön elfogó drónt kell küldeni, ami pl. ütközéssel vagy más módon semlegesíti célpontját. Tehát a történet arról szólhat végül, hogy melyik drón mennyire gyors és mennyire olcsó – hogy és ezek kombinációjából mekkora támadó és véderő állítható fel. Ez elsősorban olyan környezetben fontos, ahol tűzfegyverek alkalmazása kizárt.

Természetesen ezen megoldások kombinációja is lehetséges a harctéren, ahol tűzfegyverek használata nem ütközik akadályba. Ekkor lehetséges az, hogy a vadászdrónok alkotják a védelem utolsó vonalát, és azokat a célokat pusztítják, amik a korábbi védvonalakon már átjutottak.

Minden esetben a felderítés az alapvető megoldandó feladat: kellő időben történő célfelderítés és célazonosítás szükséges, hogy a légvédelem és a vadászdrónok is csak ellenséges drónokat pusztítsanak el. Városias környezetben, magas épületek és szűk utcák esetén a radarral történő felderítés sokszor gyakorlatilag lehetetlen, hiszen fizikailag nem látni rá a célokra.

A fenti korlátokat figyelembe véve elmondható, hogy a harctérre szánt alkalmazások egyre inkább elterjednek, és megjelennek a különféle, az elektronikai zavarás helyett a célpont elpusztítására szánt eszközök.

---

<sup>54</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=PpgFNSpANFM>

<https://player.vimeo.com/video/364333850>

<https://bit.ly/2Pjh7NH>

<sup>55</sup> <https://youtu.be/Drm3kdDYBI4>

<sup>56</sup> [https://www.rada.com/images/brochures/radars/ieMHR\\_brochure.pdf](https://www.rada.com/images/brochures/radars/ieMHR_brochure.pdf)

<https://youtu.be/eTWEdiecxdC>

<https://youtu.be/6UNNUTqXDVC>

<sup>57</sup> <https://youtu.be/DG745FM7CFA>

<sup>58</sup> <https://youtu.be/QwDykpIQkfc>

A kapott eredmények egyben visszaigazolták a hajófedélzeti pontvédelmi rendszerek korlátait, és azok evolúcióját is. A számok tükrében tökéletesen érthető, hogy az AK-630 rendszert miért párosával alkalmazták a hidegháború alatt a szovjet-orosz hadihajókon, illetve, hogy miért döntöttek a páros beépítés mellett a Kasztán rendszernél.

A Phalanx CIWS rendszer korlátai vezettek el a RIM-116<sup>59</sup> rakétával üzemelő, pontvédelmi légvédelmi rakétarendszer megalkotásához. A kisméretű és nagyobb sebességű célpontok ellen a Phalanx Block 1 változata még a megemelt tűzgyorsasággal sem jelentett megbízható védelmet. Ezt a hidegháború után beszerzett H-31 gyakorló változata ellen végrehajtott lövészetek is visszaigazolták. Azonban a RIM-116 rendszer önirányító rakétája drága, ennek költséghatékony alternatívája lehet a AHEAD lőszerezettel tüzelő légvédelmi ágyú, ami a támadó rakéta méretétől és sebességtől függően akár 2 km távolságban is képes nagyon magas valószínűséggel megsemmisíteni célpontokat – és nem csak az utolsó néhány száz méteren, mint a Phalanx.

A fent elvégzett modellalkotás és számítások másig tanulsága, hogy óvatosan szükséges bánni egyes modellekkel. Az eredetileg választott „A” modell nukleáris harci részhez, és annak pusztításának felmérésére készült. A modell adott távolságú pusztítást vett alapul, ahol a szükséges távolságot a hatóerő függvényében ismertnek vették. Az ehhez készült egyváltozós rakétaszórás-modell esetén a nukleáris robbanófej szórása legtöbbször a fegyver pusztító hatásának sugara alatt volt, tehát nem volt számottevő tényező az, hogy a CEP vagy annak kétszeres sugárértéken belül milyen a találatok eloszlása. A kimondottan a tűzfegyverek szórásának hatására koncentráló „B” modell kimutatta, hogy a lövegek szórásához képest kisméretű célok esetében az „A” modell igen pontatlan eredményeket ad. A megfelelő célra a megfelelő eszköz használata szükséges.

Az alkalmazott módszer további érdekessége, hogy repülőgépekről leoldott bombák szórása is a „B” modellben használt Rayleigh-eloszlás szerinti. Tehát, amennyiben adott típusú célnál a bomba hatóereje (nyomáshullám nagysága adott távolságba), illetve a célpont ellenálló képessége ismert, akkor a modell átalakításával a nem irányított bombák hatékonyságára is végezhető vizsgálat. Ebben az esetben a célpont méretét a nyomáshullám általi távolság növeli meg, ami meghatározza, hogy mennyire közeli mellét értékelünk találatként – pont úgy, ahogy az AHEAD lőszereknél a repeszfelhő mérete volt befolyással a célpontméretre.

59

<https://youtu.be/wJZ6OLv1E7U>

## 10. Köszönetnyilvánítás

Az írás nem jöhetett létre Lantos Gábor (Statisztika egyszerűen blog)<sup>60</sup> segítségével. Türelméért és aktív részvételéért köszönet neki.

A lektorálásban és az anyag minél teljesebbé tételében nyújtott segítségével köszönet a következő személyeknek:

**Cifka Miklós („Cifu”)**

**Hpassp**

A nyelvtani és stilisztikai javításokért köszönet **FilcTroll**nak.

**MOLNIBALAGE**

**2019. ÁPRILIS-NOVEMBER**

---

<sup>60</sup>

<https://statisztikaegyszeruen.blog.hu/>