

Vozsech István*

40×46 LV gránát rakéta-póthajtással – egy meg nem valósult fejlesztés II. rész

A FEJLESZTÉS RÖVID TÖRTÉNETE

A fejlesztés ötlete, és a póthajtás megoldás elvi kidolgozása Egerszegi János vezető hadiipari szakértőhöz fűződik, aki tanácsaival segítette munkánkat. A fejlesztés meglehetősen rendhagyó volt, ugyanis a HM Technológiai Hivatalban önálló fejlesztési témaként nem sikerült elindítani, így diplomaterv-feladatként dolgoztuk ki a koncepciót. Az első diplomamunka 2007-ben született, a rakétahajtómű tervezésével foglalkozó Rigó Árpád hallgató kidolgozásában. Ezen munka keretében elkészült egy mérőhajtómű is, amelynek belső kialakítása azonos volt az elképzelt konstrukcióéval. A mérőhajtóművet és a mérések eredményeit, tapasztalatait a későbbiekben ismertetjük. A mérőhajtóművet a Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Kar Gépgyártástechnológiai Tanszékének oktatója, dr. Laczik Bálint adjunktus úr irányítása mellett gyártották a tanszék gépműhelyében, a méréseket a táborfalvai Lőkísérleti és Vizsgáló Állomáson végeztük.

A folytatás – az okokat nem részletezve – évekig váratott magára. A munka immár a honvédségi berkeken kívül folytatódott, szintén egy diplomamunka keretében. Antal Bence műegyetemi hallgató diplomamunkája 2013-ban készült, témája a rakétahajtómű-kamra gyújtását biztosító mechanikus gyújtó megtervezése volt.

A mechanikus gyújtó prototípusának elkészítésére és tesztelésére már nem került sor, a fejlesztés itt megakadt, és valószínűleg véget is ért. Bár a fejlesztés mindig is megmaradt CAD modellek és matematikai szimulációk szintjén, a munkát szívesen végeztük és örömmel gondolunk vissza rá.

ELŐTERVEZÉS

A munkát a rakétahajtómű tervezésével kezdtük, annak begyújtását – akkori elképzeléseink szerint – a Laval-csatorna torokrézsébe sajtolt pirotechnikai eleggyel oldottuk volna meg, amelyet technológiai részletkérdésnek tekintettünk, ezért a gyújtással részletesebben nem foglalkoztunk.

Első közelítésben 50%-os hatásos lőtávolság-kiterjesztés mellett végeztünk előszámításokat a gránátsebesség növelésére vonatkozóan. Szimulációs program segítségével meghatároztuk a minimálisan szükséges gránátsebességet. Első lépésben ezt a sebességet egyszerűsített eljárásokkal is meg lehetett határozni – ilyen kis sebességek esetén 5%-os pontossággal –, a következő gondolatmenet alapján.

- Feltettük, hogy a gránát légüres térben mozog, $v_0 = 5$ m/s sebességgel. Ezt megtehettük, mert ebben a sebességtartományban a légellenállás hatása – legalább is első közelítésben – csökkentett kezdősebs-

séggel vehető figyelembe. Ekkor a gránát parabola pályát ír le, amely könnyen számolható.

- Meghatároztuk az alaprendszer maximális hatásos lőtávolságán a röpidőt, ez 200 méteren kb. 3 s.
- Az alap és a növelt maximális hatásos lőtávolsághoz tartozó röppálya tetőpont-magassága akkor lesz azonos, ha röpidők is azonosak, amelyet a röppályák és a találati valószínűségek hasonlósági kritériumának tekintettünk. (Többféle hasonlósági kritérium felállítható, ez mozgó célok esetére és pásztázásra ad egyezést. Egy másik módszer lehet a becsapódási szögek egyeztetése.) A megnövelt lőtávolságunk 300 méter, ehhez 100 m/s kezdeti sebesség tartozik 3 s-os röpidő mellett.
- Kiszámoltuk az alap gránát mozgási energiáját, valamint megbecsültük a módosított gránát tömegét, amely több lesz – rakéta-póthajtást feltételezve. A gránát hüvelyén, és ezzel a hajtótöltet tömegén nem állt szándékunkban módosítani – mivel kereskedelmi gránátok átalakítását tűztük ki célul –, a kilövés határfokát állandónak feltételeztük. Kiszámoltuk a módosított gránát várható kezdősebességét, valamint mozgási energiáját a módosult kezdősebességgel és a megkövetelt 100 m/s-mal. A két energia különbségét kell a gránáttal közölnie a rakétának, amelyet a továbbiakban tervezési alapadatnak vettünk.

A RAKÉTAHAJTÓMŰ

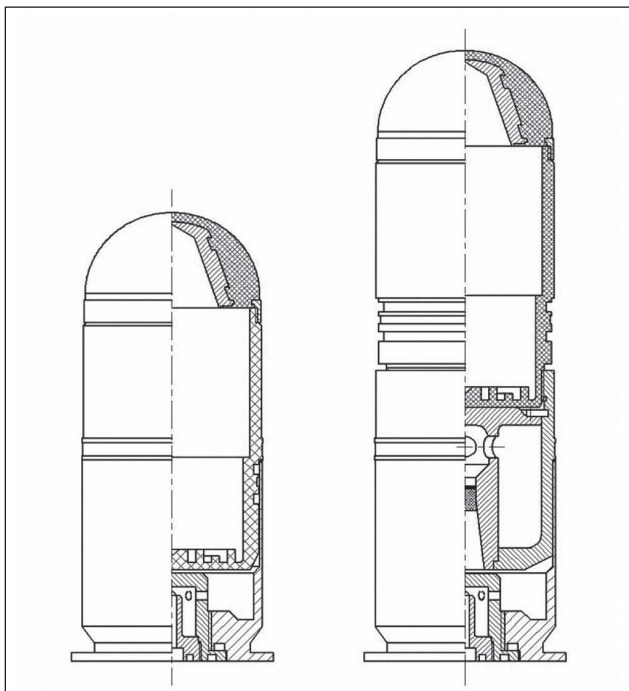
A hajtómű konstrukciós tervezésénél az Egerszegi János által felvázolt elképzelésből indultunk ki (8. ábra). Az eredeti gránáttestre menettel csatlakozik a póthajtás hajtóműháza. Ezzel viszont megváltozik a gránát hosszmérete, így a gránáttestről – a tölthetőség érdekében – a vezetőgyűrűk átkerülnek a hajtóműházra.

Működése a következők szerint megy végbe: (A hivatkozott tételesszámok a 9. ábrán találhatók.)

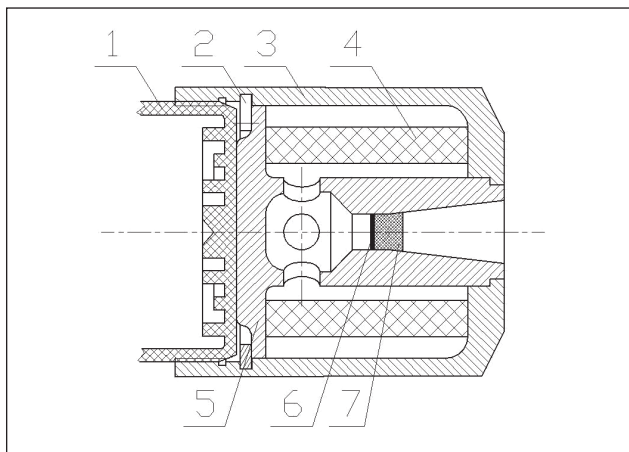
Az indítási folyamat teljes mértékben megegyezik az eredeti konstrukcióéval, azzal a kis különbséggel, hogy a 200 bar nyomású gáz az indítási folyamatokon kívül begyújtja a késleltetőt is. A késleltetés mértékét a késleltető elegy (7) – kísérleti mérésekkel meghatározott – hosszával kívántuk befolyásolni. Miután a gránát (1) már elhagyta a csövet, és a kezdeti lengések megfelelően csillapodtak, – 4-6 méter – az indító elegy (6) gyújtja a rakéta hajtólóporát (4). A lőpor tervezési szinten 0,1 s-ig átlagosan 100 bar nyomást biztosít. A keletkező lőporgázok a fúvóka (5) áttöretein jutnak – Laval-csatornán keresztül – a szabadba, impulzusukkal gyorsítva a gránátot. Ennél a megoldásnál viszont az áttöreteken áramló gázok turbulenciája elkerülhetetlen, amely hatásfokcsökkenést eredményez.

* ORCID: 0000-0001-9818-7755



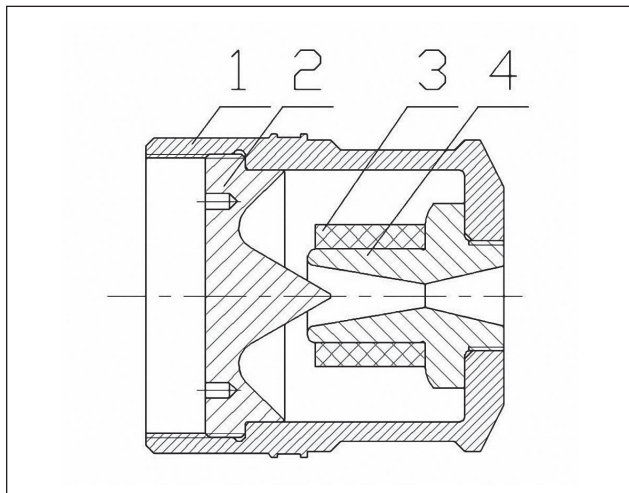


8. ábra. Az eredeti és a módosított gránát



9. ábra. Az első hajtómű-konstrukció

10. ábra. Végleges hajtómű-konstrukció



A turbulens áramlások csökkentése érdekében módosított változatokat terveztünk. A végleges kialakítás (10. ábra) egyben biztosítja a turbulenciamentes áramlást, és a legkevesebb tételből álló szerelési egységet. Ezen túlmenően biztosított a rakétalőpornak fúvókára (4), vagy a hajtóműház (1) belső felületére való illesztése, vagy – két löporrúd esetén – mindkettőre. Ezzel a megfelelő hajtómű-karakterisztika beállítható, amely a kamra kihasználtságának maximalizálása érdekében fontos.

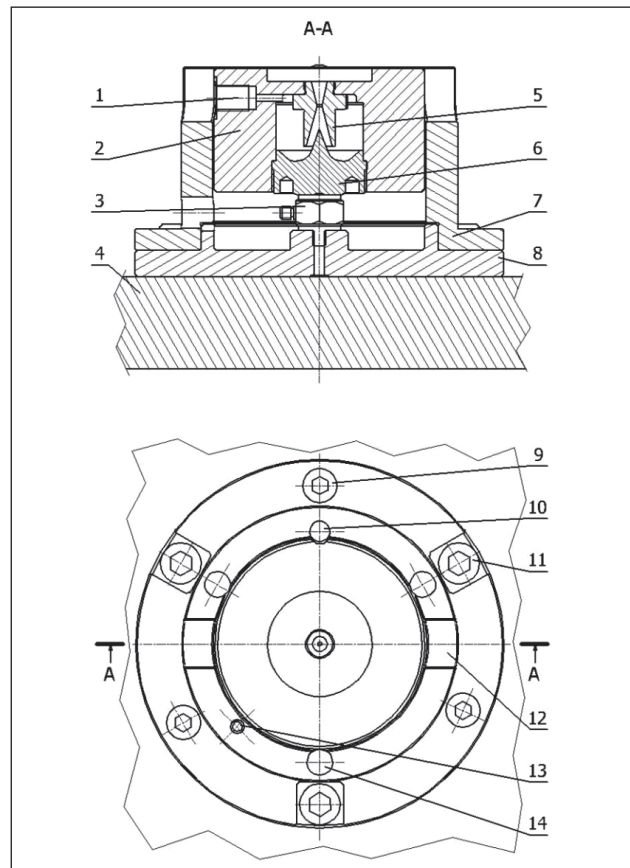
A MÉRŐHAJTÓMŰ

Az elvi konstrukció megszületése után szükséges volt egy olyan hajtómű megtervezése és legyártása, amely alkalmas a számítási eredmények mérésekkel való ellenőrzésére úgy, hogy mindeközben a belső geometriája megegyezik az elvi konstrukcióéval. A mérőhajtómű tervezésénél elsődleges szempont volt a biztonság, ezért minden teherviselő elem nemesített acélból készült, legalább tízszeres biztonsági tényezővel túlméretezve.

A megvalósított mérőhajtómű (11. ábra) felépítése:

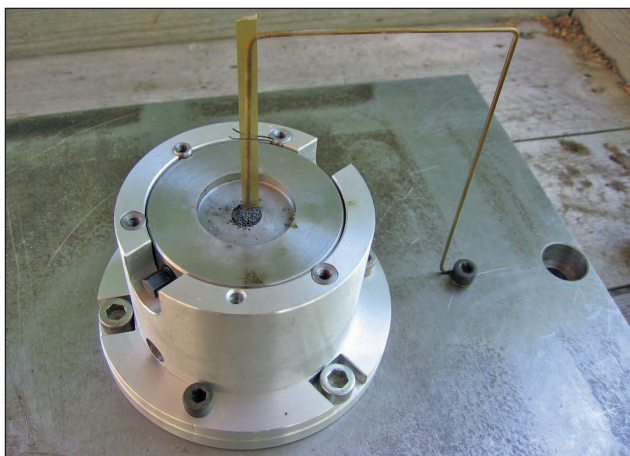
A rendszer alapja egy 40 mm vastag acél alaplap (4), amely alul 3 db csavart tartalmazott vízszintbeállításához. Az alaplapra csavarkötéssel (11) kapcsolódik a talptárcsa (8), amelybe az erőmérő cella (3) illeszkedik. A talptárcsához kapcsolódik még a tok (7), szintén csavarkötéssel (9). A tokba illeszkedik a 3 db vezetőcsap (14) a szerelési helyesség miatt pedig az orientálócsap (10). A vezetőcsapok feladata, hogy a rakétakamrát (2) kotyogás és befeszülésmentesen megvezessék, a tolóerő súrlódásmentesen tudjon átadódni az erőmérőnek. A tok két oldalán bemarás

11. ábra. Mérőhajtómű





12. ábra. A mérőhajtómű főbb elemei



13. ábra. Szerelt mérőhajtómű, inert piezofejjellel, nitroglicerines lőporcsíkkal

(12) található a szerelhetőség biztosítására, illetve a piezofej kivezetése is itt valósult meg, valamint az oldalán található furat az erőmérő vezetékeinek kivezetésére szolgált. A rakétakamrába menetes kötéssel illeszkedett a fúvóka (5) és a gázterelő (6). A fúvókát csöskulccsal, a gázterelőt körmoskulccsal lehetett szerelni.

A méréseket két fajta lőpor felhasználásával végeztük. Az egyik a magyar fejlesztésű PGR-9M repesz puskagránát lőpora, a másik a szovjet PG 9V páncéltörő gránát lőpora. A PGR-69M gránát lőporát a fúvókatest külső hengeres palástjára lehetett illeszteni, ekkor egy külső felületen égő, ún. degresszív lőporhoz jutottunk, a PG 9V lőporát pedig a kamra belső hengeres részére, amely ezáltal csak a belső felületén tudott égni, ezzel progresszív jellegét biztosítva.

MÉRÉSEK ÉS MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A mérések a gránátok szétszerelésével és lőporrúdjaik kinyerésével, az eszközök előkészítésével, beüzemelésével, a mérőműszerek beállításával és a begyújtás kikísérletezésével kezdődtek.

A begyújtás kikísérletezése idején a mérőeszközök nem voltak bekötve, a nyomásmérő helyén vakdugó volt. A kezdeti elképzelésünket, amely szerint stopin szálát helyezünk a fúvókába, el kellett vetni, mivel az túl vastag volt, a fúvókába szórt lőpor pedig a kamrában lévő rakétalőport nem gyullasztotta be. Sok próbálkozás vezetett a végleges megoldáshoz, nézzük lépésenként:

- A konfúzor részt a fúvóka beszerelése előtt cellux ragasztóval leragasztottuk, hogy a beleszórt füstös lőpor beszereléskor ne szóródjon ki.
- A fúvókát dugókulccsal helyére csavartuk.
- Füstös lőport szórtunk a fúvókába. Feltételeztük, hogy a fúvóka diffúzor részébe tett feketelőpor égéskor a kamra belső nyomására nem lesz hatással. Ügyelni kellett továbbá arra, hogy a konfúzor részbe is lepergjen a lőpor, és megtöltse azt.
- A gázterelőre füstös lőport szórtunk, hogy meg tudjuk figyelni, begyújtja-e azt.
- A kamra megfordítása nélkül – a gázterelőt becsavartuk a helyére és meghúztuk, amely folyamat közben a gázterelő csúcsa a fóliát átszúrta, egyben lezárta azt.
- A kamrát a házba illesztettük, a fúvókához szórunk még füstös lőport, amit a PG-9V indítótöltetéből nyert nitroglicerines lőporcsíkkal indítottunk (13. ábra). A lőporzalagos gyújtás előtt elektromos indítást alkalmaztunk, de az elektromos indítás a piezoelektromos mérőrendszert zavarta.

A későbbiekben az eljárás annyiban módosult, hogy a füstös lőport kiváltottuk füstös lőpor és gyérfüstű REX 32 NC lőpor keverékére, így kevésbé szennyeződtek elműködés után az alkatrészek.

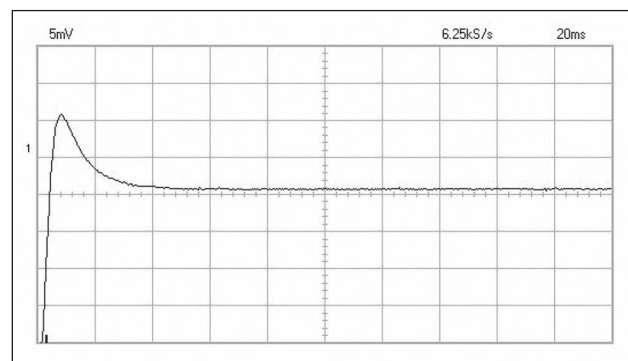
Következő lépésben a gyújtónyomást állítottuk be úgy, hogy az stabilan 100 bar felett legyen. Ezt sikerült 125,8 bar átlagnyomásra beállítani $s = 5$ bar mellett (15. ábra). Ezeknél a méréseknél a rakétalőport atrappal helyettesítettük.

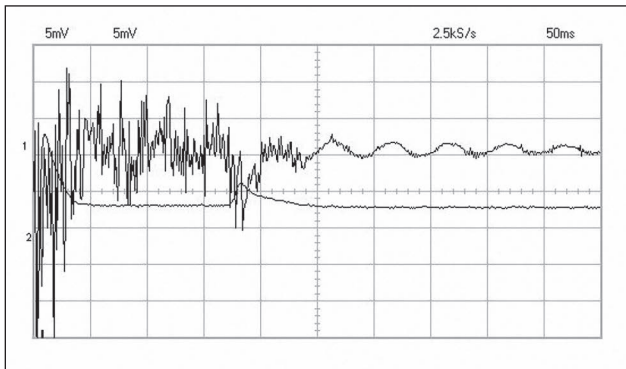
A gyújtás és a gyújtónyomás beállítása után a méréseket csak a PGR-69M repesz puskagránát lőporával végeztük el (14. ábra), többfelé fúvóka-átmérő mellett, végül – a szimulációval is előzetesen megállapított – $\varnothing 2,0$ és $\varnothing 1,6$ torokméretű



14. ábra. Fúvóka a PGR-69M lőporával szerelve

15. ábra. A gyújtás képe oszcilloszkópon





16. ábra. Erő- és kamranyomás jel, 2 mm-es fúvókánál

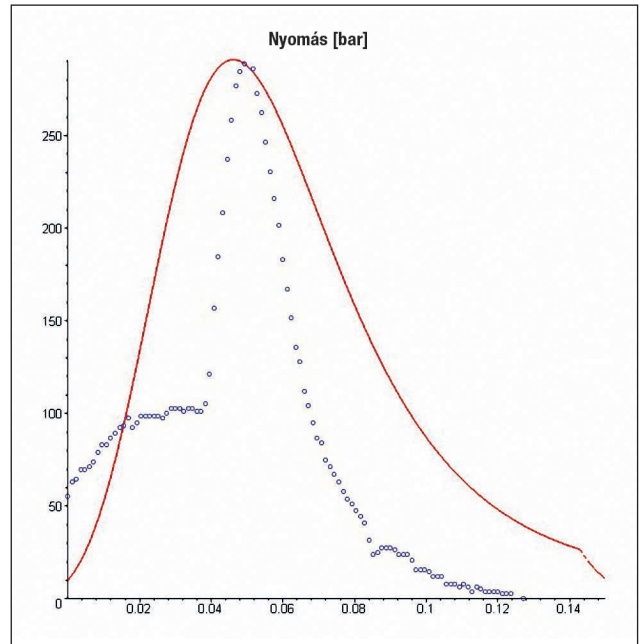
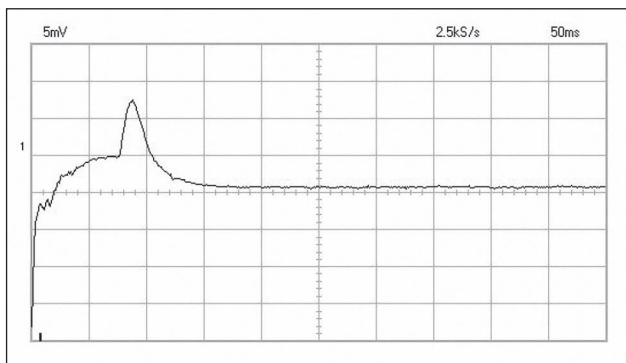
fúvókák szolgáltatott megfelelő eredményeket. Az erőméréseknél erősen zajos jeleket rögzítettünk (16. ábra), amelyeket később FFT módszerrel megszüntünk. Az erőmérést a későbbiekben elhagytuk, mivel a tolóerő a kamranyomásból számítható, a kamranyomás pedig igen jó egyezést mutatott a szimulációkkal. Az átlagos maximális kamranyomás ennél a konfigurációnál – Ø2,0 torokméret – 148,2 bar volt, és jól lehetett látni az elkülönülő gyújtó és rakétalőpor jelet. (A gyújtónyomás nagyobb volt, a gyújtótöltet változtatása miatt.) Az eredményekből az alábbi következtetéseket vontuk le:

- A begyulladó rakétalőpor nyomása nehezen fut fel, a gyújtás gázai a rakétalőpor biztos égése előtt távoznak a fúvókán. Ebből az következik, hogy a gránátot két ütésszerű terhelés éri, amely szükségszerűen kétszer fogja perturbálni azt. Ez a kétszeri impulzus biztosan rosszabb hatással lesz az alapszórásra, mint ha ez csak egyszer következne be.
- A rakétalőpor-geometriát – a hajtóműkamra optimálisabb kihasználása érdekében – degresszívra neutrálisra, vagy enyhén progresszívra kell változtatni.
- A hatékonyabb begyulladás érdekében a rakétakamra szabad térfogatát csökkenteni kell.

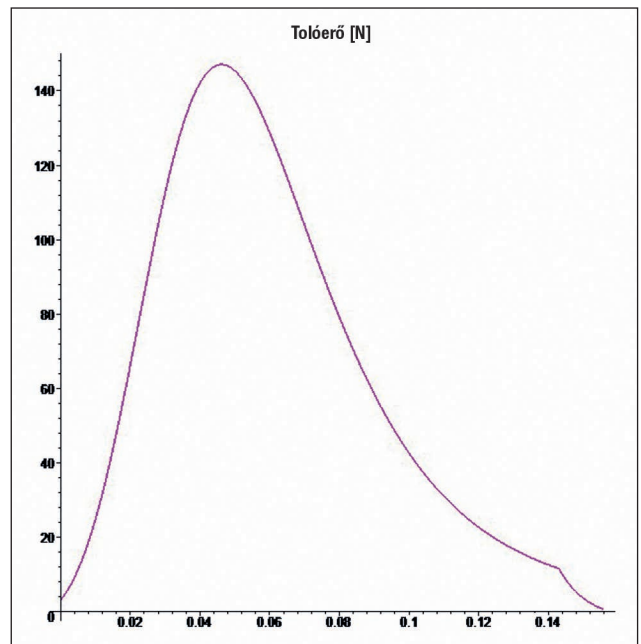
A lőporgeometriát változatlanul hagyva, megismételtük a mérést Ø1,6 torokméretű fúvókával, és visszatértünk a kezdetekkor meghatározott 128 bar értéket adó gyullasztó töltethez. Az eredmények várakozásainknak, és a szimulációknak megfelelően alakultak (17-18. ábra).

A mérések itt idő hiányában befejeződtek, a továbbiakban csak szimulációs számításokat végeztünk különböző lőporgeometriákra (20. ábra). Összegezve megállapítható, hogy a korlátozott lehetőségeink ellenére a jól kidolgozott és megszervezett mérések és szimulációs eljárások segítségével, a fejlesztés ezen fázisa sikeresen záródott. Az itt kapott eredményekből a gránát hajtóműve tervezhető lett volna.

17. ábra. Összeolvadó gyújtás- és kamranyomás-jelek, 1,6 mm-es fúvókánál



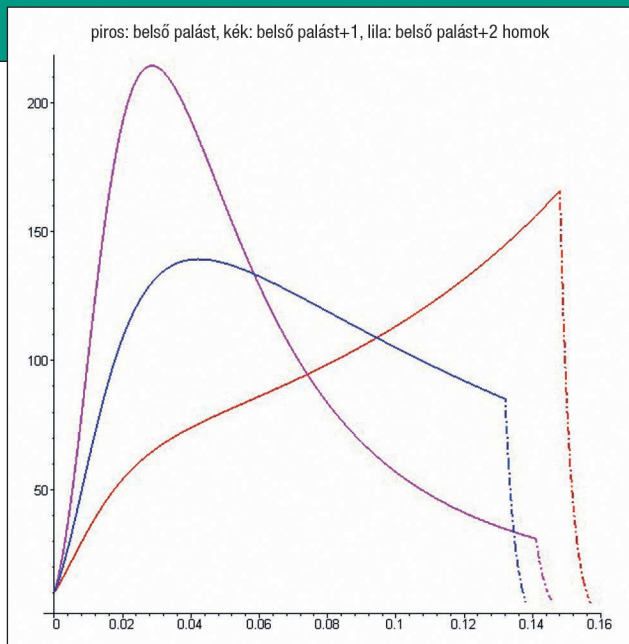
18. ábra. Az 1,6 mm-es fúvóka nyomás – idő (bar – sec) szimulációja. A számított függvény piros színnel jelölve, a mérési pontok kékkel



19. ábra. Az 1,6 mm-es fúvóka tolóerő – idő (N – sec) szimulációja

A RAKÉTAHAJTÓMŰ GYÚJTÁSI RENDSZERE

Eredeti elképzeléseink szerint a Laval-csatorna torokrészébe sajtolt, öntött pirotechnikai elegyek biztosították volna a hajtómű indítását úgy, hogy az expanziós térbe beáramló forró lőporgázok begyújtják a pirotechnikai késleltető elemeket, majd annak kiégésekor, az indítja a gyújtóelegyet. Ennek a rendszernek sem előtervezésével, sem műszaki alapkövetelményeinek megfogalmazásával nem foglalkoztunk, részben a kifejlesztendő eszköz iránti érdeklődés hiányából, részben a pirotechnikai termékek hazai gyártójának – és ezzel egyben a folytatás elvi lehetőségének – megszűnése miatt.



20. ábra. Az 1,6 mm-es fúvóka nyomás – idő (bar – sec) szimulációi, különböző löpörgeometriák mellett. Lila: degresszív; kék: neutrális; piros: progresszív

Számításokat végeztünk továbbá a rakétakamra gyújtási pillanatának meghatározására, amelyre vonatkozóan az alábbiakat lehet megállapítani:

1. A rakétahajtómű indításának pontos helye a röppálya mentén szabadon megválasztható, a gránát lengéseinek lecsillapodása utáni pályaszakaszon. A röppálya ezen pontjához tartozó röpidő legyen T_1 . Az így megválasztott gyújtási időpillanat a gránát pontosságára nincs hatással.
2. T_1 időpontok szórása meghatározó jelentőségű a gránát pontosságára, amelyből következően T_1 szórását a lehető legkisebb értéken kell tartani.

A két állítás megértéséhez nézzük meg a gránát mozgását – az egyszerűség kedvéért – gázutóhatás mentes légüres térben, ahol a hajtómű pillanatszerűen működik, és a gránátnak nincsenek nutációs és precesszív mozgásai:

1. A gránát $T_0 = 0$ időpillanatban elhagyja a csőtorkolatot v_0 sebességgel és φ_0 löszöggel, és a ferde hajtást leíró egyenletek szerint parabola pályán mozog.
2. T_1 időpillanatban a gránát $v_{1,1}$ sebességgel és φ_1 állásszöggel rendelkezik, koordinátái x_1, y_1 .
3. A hajtómű zérus idő alatt, Dirac-delta függvény jellegének megfelelően elműködik, így T_1 időpontban a gránát felveszi $v_{1,2}$ sebességét, állásszöge változatlanul φ_1 . Ez a mozgás második szakasza, amelyet fel foghatunk úgy, hogy a gránát $T_2 = T_1$ időpillanatban $v_2 = v_{1,2}$ sebesség $\varphi_2 = \varphi_1$ löszög mellett indul az $x_2 = x_1$ és $y_2 = y_1$ koordinátákból, és a ferde hajtást leíró egyenletek szerint parabola pályán mozog.

A fázisok leírásából látható, hogy a T_1 időpillanatban értelmezett φ_1 állásszög kiemelt fontossággal bír, mivel ez lesz a következő fázis löszöge, amelynek szórása a T_1 időpont szórásából közvetlenül számítható. Visszaülva a rendszer alapszórásának törvényszerű megnövekedésére megállapítható, hogy az alapszórás megnövekedésének a legjelentősebb tényezője a T_1 időpillanat szórásából adódó φ_2 löszög szórása, a másik jelenős tényezője pedig a hajtómű ΔT működési idejének a szórása. (Ennek kifejtésétől itt eltekintünk.) Az alacsony gránátsebesség ezeknek a tényezőknél a negatív hatásait tovább erősíti, mivel a gránát alacsony sebessége miatt – repülésének kezdeti szakaszában, a csőszáj és a hajtómű indulása között – erősen ívelt röppálya mentén halad, így a röppályaérintő egységnyi változása rövidebb pályahosszhoz tartozik. Belátható to-



21. ábra. A beinduló rakétalöpor kifújja az égő füstös löpor szemcséket



22. ábra. A kiégő hajtómű

3. táblázat.

Gyújtó típusa	T_1 szórás nagyságrendje (s)	Külön részegységet képez-e?	Bonyolultság 1-5 (1 egyszerű, 5 bonyolult)
Pirotechnikai	10^{-1}	nem	1
Mechanikus óraműves	10^{-2}	igen	5
Mechanikus fordulatszám-számlálós	10^{-1}	igen	5
Mechanikus huzalos	10^{-3}	igen	4
Elektronikus	10^{-3}	igen	3

vább, hogy a parabola mentén haladó gránát függőleges irányú mozgásait csak a konstans nehézségi gyorsulás határozza meg, így nagyobb kezdősebességek esetén a gránát röppályája „laposabb”, alacsonyabbak esetén pedig „íveltebb” lesz. Ebből következik, hogy egységnyi idő alatt a lassabb gránátok nagyobb állásszög-változást szenvednek, míg a gyorsabbak kevesebbet. Ebből viszont adódik, hogy adott pontosság eléréséhez csökkenő kezdősebességhez csökkenő T_1 szórás tartozik, de ez az érték korlátozott, és alapvetően gyártás és szerelésteknológia függő.

A fentiek figyelembevételével kijelenthető, hogy a rendszer alapszórás-növekedése a hajtómű indítási időpillanatának kezben tartásával korlátozható. Ezek alapján a szóba jöhető gyújtási rendszereket és főbb jellemzőiket összegejtöttük és rendszereztük (3. táblázat).

A táblázatban szereplő típusok részletes adatait begyűjtve és az értékelési szempontrendszer meghatározva morfológiai mátrixok segítségével kiválasztható a legalkalmasabb megoldás.

(Folytatjuk)

(Illusztrációk a szerző gyűjteményéből.)