

**ZRÍNYI MIKLÓS NEMZETVÉDELMI EGYETEM  
BOLYAI JÁNOS KATONAI MŰSZAKI KAR  
Katonai Műszaki Doktori Iskola**

**Bugyjas József**

**A kumulatív hatás modellezése és számítógépes  
szimulációja végeelem módszer  
felhasználásával**

**TÉZISFÜZET**

**Témavezető: Dr. Sipos Jenő PhD  
ny. mk. ezredes  
főiskolai tanár**

**2010, Budapest**

## A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

Egy termék fejlesztési, korszerűsítési, optimalizálási folyamatának egyik lehetséges útja az olyan számítógépen alapuló tervezési módszerek és rendszerek kiépítése és alkalmazása, amelyek magukba integrálják az elektronikai, optikai és mechanikai tervezés elemeit, illetve képesek a működés közbeni szimulációra. Így a tervezés első lépéseitől kezdve az analízis is alapvető része az integrációnak.

Egy termék egyik legfontosabb alapszintje a költség és ezzel összefüggésben a jövedelmezőség. A mai piac jellemzője a versenyképesség. Ahhoz, hogy egy termék vagy szolgáltatás versenyképes legyen, a gyártónak a legjobb terméket kell előállítania a legalacsonyabb költséggel. Ez a megállapítás a hadiipari beszállítókra is igaz.

Napjaink vevői elvárása a fenti megállapítás mellett az is, hogy az új termék már megépítése előtt is megjeleníthető legyen, valamint fenntartási és karbantartási költsége is alacsony legyen. Minden túlméretezett szerkezeti elem, vagy olyan alkatrész, ami nem szükséges a berendezés működéséhez, a termék összköltségét növeli úgy, mint nyersanyagköltség, előállítási költség, szállítási költség és termékhez kapcsolódó általános rezszi költség. Ezen túlmenően felesleges súly is keletkezik, ami a felhasználást nehezítheti és korlátozhatja. A fenti tényezők indokolják a termékek optimalizálását, akár polgári, akár haditechnikai eszközről van szó.

A Stockholmi Nemzetközi Békekutató Intézet adatai szerint a fegyverkezésre szánt összeg 2009-ben rekord összeget – 1,572 billió dollár – ért el. Napjainkban a terrorizmus elleni globális harc az, ami a fegyverbeszerzésre fordított összeg növelésére ösztönzi az országokat. Ez jól követhető a SIPRI katonai kiadásokat tartalmazó adatbázisából.

A védelmi kiadások jelentős csökkenése az elkövetkező időszakban sem várható, még abban az esetben sem, ha Washington és szövetségesei az Irakban állomásozó erők csökkentése mellett döntenének, hiszen ebben az esetben valószínűleg növelnék az afganisztáni jelenlétet.

A növekvő kiadások ellenére megfigyelhető bizonyos ésszerűsítés, takarékoság és hatékonyság növelés. Hazánk NATO tagságából eredő kötelezettségei miatt és a haderő fejlesztési tervének megfelelően viszont nőnek a védelmi feladatok. A szükséges erőforrásokat a költségvetés biztosítja a rendelkezésre álló erőforrásokat hatékonyan kell felhasználni. A 2008. szeptember 29-én kiadott sajtóközlemény is erre utal: „Korszerű,

takarékos és átlátható a Honvédelmi Minisztérium 2009. évi költségvetésének tervezete. A hangsúlyt a költséghatékonyság növelésére helyeztük”.

A költséghatékonyság és a versenyképesség a két legfontosabb indok, ami a vállalatokat, fejlesztőket arra kényszeríti, hogy a meglévő gyártmányaikat tovább fejlesszék, megújítsák és bátran alkalmazzanak új technológiákat, szoftvereket.

Kutatásom tárgya a kumulatív hatásmechanizmus feltérképezése, számítógépes megjelenítése és az ezen a hatáson alapuló lőfegyverek továbbfejlesztésére alkalmas módszer kialakítása.

A kumulatív hatáson alapul a harckocsik elleni aknák, a páncélozott célok elleni repeszakna gránátok és kazettás lövedékek működése.

A kumulatív gránátok a II. világháborúban terjedtek el. Napjainkban többféle kézi- és nehézlőfegyverek lőszerének, ill. rakétalövedékének robbanófejrészeként alkalmazzák.

A tapasztalatok szerint a kumulatív kézi- és puszkagránátok 100-120, a 75-100 mm-es gránátok 250-350, a 100-125 mm-es gránátok 400-560, a felülről ható, kazettás töltetek 100-150, a páncéltörő rakéták 500-600, a harckocsi elleni kumulatív aknák 150-200 mm-es vastagságú páncél átütésére képesek.

A kumulatív hatás nagyban függ a bélésanyagtól. A legtöbb fémet már kipróbálták, kivéve azokat, amelyek ritkák, nagyon drágák vagy mérgezőek. Nagyon sok ötvözzel is próbálkoztak. A tapasztalat szerint a legtöbb tiszta fémből készült bélés kúp hatásában felülmúlja az ötvözeteket. Ugyanolyan bélések közül a finomkristályos szerkezetű anyagok sokkal jobb hatásúak, mint a durvák. Az ezekkel kapcsolatos összefüggések vizsgálata még napjainkban is folyik.

A mostanság alkalmazott töltetek 38-180 mm közötti átmérőjűek. Megfigyelhető, hogy ezen a tartományon az arányos kicsinyítés vagy nagyítás nem alkalmazható. A kisebb töltetekhez sokkal nagyobb pontosságra van szükség, míg a méret növekedésével nehéz biztosítani a bélésanyag egyenletes metallurgiai tulajdonságait. Minden konstrukció gyakorlatilag egyedi, és csak adott méretben működik a tervezett módon.

A végelem-módszer katonai műszaki alkalmazása sokrétű, a hadiipar szinte teljes spektrumában jelen van. Az egyik kutatott téma, a tüzérségi és harckocsi réz hüvelyek felújítási technológiájának átalakítása, melynek célja az volt, hogy a felújításon átesett gyártmányokban az idő múltával ne tudjon kialakulni repedés. Metallográfiai vizsgálatok

alapján, és a repedésekről készült csiszolatokat vizsgálva megállapítható, hogy azok interkrisztalin jellegűek, ami egyértelműen a feszültségkorróziós jelenségre utal. A korróziós vizsgálatok azt bizonyították, hogy a hüvelyekben felhalmozódott belső feszültség nem gyártási eredetű, hanem lövéskor keletkezik az anyagban. Ezen állítást végeelem analízissel bizonyítottuk.

A végeelem-módszer nemcsak műszaki jellegű problémák megoldására alkalmazható, hanem szélesebb területen is felhasználható, mint az ABV anyagok terjedésének szimulációja.

## **A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI**

A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Bólyai János Katonai Műszaki Karán folyik a kumulatív hatásmechanizmus vizsgálata. A 2004-ben jóváhagyott vizsgálati terv szerint végrehajtott kísérletek és vizsgálatok megvalósultak. A vizsgálat célja, az ismert elméletek alátámasztása mellett a hatásmechanizmus további feltérképezése különböző típusú lőszerrel segítségével és a mérési adatok alapján számítógépes szimuláció elvégzése egy alkalmas szoftver segítségével.

A hatásvizsgálattal kapcsolatos elképzelés szerint a vizsgálatokat egymással kapcsolatban lévő, de egymástól függetlenül is elemezhető folyamatokra lehet bontani.

A vizsgálat célja a rendelkezésre álló különböző típusú kumulatív töltetekkel végrehajtott kísérletek és annak eredményeinek feldolgozása. A kísérlet az ismert szerkezetű, töltet mennyiségű és alakú kumulatív töltetek hatását vizsgálja olyan anyagon, amelynek ismert az anyag- és mechanikai jellemzője.

A kutatásom a kumulatív hatásmechanizmuson alapuló eszközökre koncentrálódik. Célja intelligens matematikai szoftverekkel és végeelem módszerrel a hatásmechanizmus modellezése, szimuláció elvégzése és az így kapott eredmények összevetése a gyakorlati eredményekkel.

A modell megalkotása a mérnöki tevékenység egyik legfontosabb és egyben a legnehezebb része. A jól megalkotott modellel lehetőség nyílik a robbanási folyamat szimulálására, amely nagymértékben felhasználható lőfegyverek és a hozzájuk tartozó lőszerrel tervezésében, a meglévő eszközök fejlesztésében és korszerűsítésében. A szimuláció elengedhetetlen része a termék optimalizációjának és analízisének is.

A szimuláció és analízis segítségével előzetes adatokhoz juthatunk a termék megbízhatóságáról különböző környezeti viszonyok mellett. Ezen adatok jól hasznosíthatók az élettartam-tervezés és –vizsgálat során. [10]

A tervezési elveknek és céloknak megfelelően olyan számítógépes szimulációs eljárás kidolgozása szükséges, melynek segítségével a kumulatív hatás modellezhető és annak eredményeként az egyes paraméterek változtatásának hatása vizsgálható, elemezhető.

A kialakítandó számítógépes programrendszer a tervezés-fejlesztésen túlmenően, alkalmas tárgyi diszciplínák oktatására, megkönnyíti az algoritmusok ellenőrzését és az eszköz bevezetését, ezáltal időt lehet megtakarítani.

## **KUTATÁSI MÓDSZEREK**

Értekezésemben egyaránt alkalmaztam az általános és a különös kutatási módszereket.

A szakirodalom és az interneten hozzáférhető publikációk feldolgozása során az analízis, a szintézis, az indukció és a dedukció módszerét alkalmaztam.

A választott téma jellegéből következik, hogy az előzetes könyvtári kutatómunka során összegyűjtött szakirodalom feldolgozására az analitikus módszerrel került sor, majd a rendszerezést követően szintetizáltam a rendelkezésemre álló ismereteket.

A hipotézisek felállítására a szakmai irodalom alapos megismerése után került sor, melyek igazolását az értekezés során el végeztem.

Végeselem módszerrel felállítottam a kumulatív hatás modelljét. Elvégeztem a modell értékelését, összehasonlítottam a gyakorlati megfigyelésekkel, elvégeztem a szükséges korrekciókat és finomításokat.

Részt vettem több – az értekezésem témájához kapcsolódó tudományos konferenciákon. Kutatási eredményeimet rendszeresen publikáltam szakmai kiadványokban, és tudományos előadásokon. (Lásd: Publikációs jegyzék)

## **AZ ELVÉGZETT KUTATÁS RÖVID ISMERTETÉSE FEJEZETENKÉNT**

A bevezetésben megfogalmazott kutatási célok elérése érdekében az alábbi tevékenységeket hajtottam végre:

Az első fejezetben bemutatam a kumulatív hatás gyakorlatban megvalósított kísérleti elrendezését és az alkalmazott anyagokat. Ez az elrendezés felel meg a fizikai FEM modellezési folyamat alaprendszerének, amelyből a lényeges tulajdonságok elvonatkoztatásával állítom fel a diszkrét modellt. Ebben a fejezetben áttekintettem a végelem-módszer kialakulásának és fejlődésének főbb állomásait, valamint bemutatam a diszkrét modell létrehozásához és megoldásához szükséges szoftvereket.

Mivel a gyakorlatban végrehajtott kísérletben számos bonyolult fizikai folyamat zajlott, ezért ezt részekre bontottam.

A második fejezetben a robbanás folyamatát modelleztem. A szakirodalom feldolgozása alapján felállítottam a folyamat matematikai modelljét, és a választott programmal elkészítettem a végelem modellt. A megoldást különböző osztásfinomsággal végeztem el, majd végrehajtottam a számítógépes szimulációkat. A kapott eredményeket összevettem egymással és az elméleti eredményekkel.

Az eredmények elemzéséből megállapítottam, hogy a kiválasztott program alkalmas a folyamat számítógépen történő szimulálására. A véges elem hálózat finomításával jól megközelíthető az elméleti érték. Az adott számítógép teljesítményét figyelembe véve meghatároztam a hálózat finomsági fokozatát, amellyel elvégezhető a tudományos vizsgálat, és elegendő pontosságú a tudományos munkához.

A harmadik fejezetben a robbanási termékek és lökő hullámok terjedését vizsgáltam az alak függvényében. Légüres térbe helyezett robbanótölteten elvégzett szimuláció eredményeként megállapítottam, hogy a robbanási lökőhullám jellege megegyezik a szakirodalomban megadottal.

A negyedik fejezetben a szakirodalom alapján összefoglaltam a kumulatív hatás jelenségének főbb jellemzőit. Ismertettem a kumulatív hatás megismeréséhez hozzájáruló

elméleteket és a hozzájuk tartozó egyenleteket. Ezek alapján felállítottam a matematikai modellt, majd az elkészített végeelem modell megoldásaként bemutattam a jet kialakulását.

Az ötödik fejezetben áttekintettem a páncélátütés elvét, és összefoglaltam a tapasztalati képleteket. A kísérleti körülményeket figyelembe véve felállítottam a számítógépes modellt, és az elvégzett szimuláció eredményeit összevettem a kísérleti eredményekkel.

## **TÉZISEK MEGFOGALMAZÁSA**

Mindezek alapján a kumulatív hatáson alapuló haditechnikai eszközök és rendszerek fejlesztésére vonatkozó kutatási munkám során elért tudományos értékű eredményeim (téziseim) az alábbiak:

1. Kísérletek végrehajtásával matematikai modellt dolgoztam ki a kumulatív hatás modellezésére, mely modell alkalmas volt gyorsan lejátszódó folyamatoknak a valóságot megközelítő körülmények figyelembevételével történő modellezésére.
2. Kialakítottam és programoztam olyan paramétereket a végeelem eljárás alkalmazásában, amelyek időben lerövidítették a program futását, de a kapott eredmények az elfogadott tűrésen belül maradtak, így alkalmasak a korrekt kutatási munka végzésére.
3. Bebizonyítottam, hogy a végeelem-programmal kapott eredmények és modellek összhangban vannak a gyakorlati, robbantási és mechanikai vizsgálatokkal, a kísérletek eredményeivel. A megfelelően tervezett kísérletekkel bizonyítom, hogy a modell és a számítási eljárás gyakorlati tervezések során alkalmazható.

## AZ ÉRTEKEZÉS AJÁNLÁSAI

Értekezésemben elvégeztem egy brizáns robbanási folyamat és egy a kumulatív hatáson alapuló páncél áttörés szimulációját. Az elért eredmények lehetővé teszik, hogy a kutatások több irányban is folytatódjanak.

A technika fejlődésével a nagyobb teljesítményű számítógépeken a paraméterek finomításával még pontosabb eredményeket kaphatunk.

Lehetőség nyílik a nagyon gyorsan lejátszódó jelenségek és folyamatok teljes megismerésére és így a bennük rejlő, eddig feltáratlan erőforrások hasznosítására, a véghatás javítására.

A vizsgált szoftver alkalmazható már meglévő eszközök tovább fejlesztésére illetve új eszközök kialakítására. A program segítségével optimalizálhatóak a fejlesztések, a költségek, az idő, és a személyi erőforrások tekintetében.

A program látványos képi megjelenése lehetővé teszi alkalmazását az oktatásban és különféle prezentációk elkészítéshez.



## A TÉMAKÖRBŐL KÉSZÜLT SAJÁT PUBLIKÁCIÓK

1. Bugyjas József: Effects of the modeling results of increasing finite element numbers, Hadmérnök V.évf. 2 .szám pp. 65-72 2010 június ISSN 17885-1919
2. Sipos Jenő - Bugyjas József: A végeelem-módszer kialakulása és katonai műszaki alkalmazása, Bolyai Szemle 2005/2 ISSN:1416-1443
3. Bugyjas József: Számítógépes szimulációval végrehajtott robbanási folyamat modellezése és elemzése, Elektronikai technológia, Mikrotechnika 48.évf. 1-2.sz. pp. 3.-9. HU ISSN 0236-8676 2009
4. Bugyjas József: Quality management recommendations for suppliers to NATO, XXIII. Kandó Conference 2006, Budapest 2006. január 12.-13. ISBN 963 7154 426 (elektronikus kiadás)
5. Bugyjas József: Kumulatív hatású lőszer hatásmechanizmusának vizsgálata „New Challeges in the field of military sciences 2005”, 2005.10.18-19 ISBN 978-963-87706-4-6
6. Bugyjas József: Számítógépes szimulációval végrehajtott robbanási folyamat modellezése és elemzése, XXIV. Nemzetközi Kandó Konferencia, 2008 ISBN 978-963-7154
7. Bugyjas József: A robbanási folyamat modellezésének problémái. „New Challeges in the field of military sciences 2009”, 2009.11.18.-19. ISBN 978-963-87706-4-6
8. Bugyjas József: A kommutatív jelenség modellezése II.. Tudományos Szimpózium 2007 ISBN: 978-963-7154-61-4 (elektronikus kiadás)

## Szakmai életrajz

### Személyi adatok

*Név:* **Bugyjas József**  
*Születési hely, idő:* Budapest, 1957. október 22  
*Családi állapot:* nős, két gyermek  
*Lakcím:* 2094 Nagykovácsi, Tompa M. u. 13.  
*Telefon:* +36 1 666 51 83  
*e-mail:* bugyjas.jozsef@kvk.obuda-egyetem.hu

### Tanulmányok, szakképzések:

**1972-76** Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnázium, Matematika II. Tagozat  
**1977-82** BME Gépészmérnöki kar, Géptervező Szak, Műszertechnika Ágazat  
**1985-87** BME Gépészmérnöki Kar Finommechanika Szakmérnöki Szak Műszertechnika Ágazat  
**1994** Résztétel a IMMC által szervezett Minőségügyi képzésen  
**2004-** ZMNE Katonai Műszaki Doktori Iskola

### Idegen nyelv ismeret:

**1985** Francia , "C" típusú középfok  
**2007** Angol „C” típusú középfok

### PC ismeret

MS Office: Word, Excell, PowerPoint,  
Frontpage  
AutoCAD  
ProDESKTOP 2000i  
Patran  
Dytran

## **Munkahelyek**

- 1982-91** Híradástechnika Szövetkezet,  
**1983-** Fejlesztési Osztályon, fejlesztő-tervező mérnök.
- 1992** Computex Textilipari Műszer- és Számítástechnikai Fejlesztő Vállalat  
fejlesztő-mérnök
- 1992-94** MMG AM Rt. Szintmérő osztály, fejlesztő-mérnök
- 1994-** Kandó Kálmán Műszaki Főiskola, (2000-től Budapesti Műszaki  
Főiskola, 2010-től Óbudai Egyetem), Mikroelektronikai és  
Technológia Intézet,  
Beosztás: főiskolai adjunktus, 2006-től mestertanár

**Tárgyfelelős:** Általános mérnöki ismeretek  
Rendszertechnika

- 1996-** MTI műszaki-tudományos igazgatóhelyettes
- 1997-1999** KKMF Költségvetési Bizottsági tag
- 2002** Kandó Konferencia 2002 Nemzetközi Tudományos  
Ülésszak Szervező Bizottság tagja
- 2004-** **ZMNE Katonai Műszaki Doktori Iskola hallgatója**
- 2006** Kandó Konferencia 2006 Program Bizottság tagja
- 2008** XXV. Kandó Konferencia Szervező Bizottsági tag
- 2009** XXV. Kandó Konferencia Szervező Bizottsági tag,  
szekció elnök
- 2010** XXV. Kandó Konferencia Szervező Bizottsági tag

## **Főbb tevékenységek:**

- 1979-82** Résztétel az egyetem Tudományos Diákköri munkáiban  
Főbb témák:  
- multispektrális légifelvétel értékelése  
- fekete-fehér "hamis színes" fényképezési eljárás kidolgozása  
- spektrofotométer tervezése
- 1982-91** Főbb fejlesztési területek:  
- "iskola számítógép" új típusának és perifériás egységeinek mechanikájának  
tervezése  
- "Atlasz" képfeldolgozó rendszer fejlesztése, telepítése és beüzemelése.

- Nagy pontosságú koordináta-asztal tervezése, alsó és felső megvilágítási rendszer kidolgozása, **1988** Vállalati újításként elfogadva “Alsó és felső megvilágítás fénysűrűségének beállítása  $\pm 3\%$ -os egyenletességgel”
- számítógép perifériás egységek tervezése (pozicionáló gömb , joystick)
- kábel TV hálózatok fejlesztése ill. rendszerbe szervezése

**1992** - meglévő textilipari berendezések korszerűsítése és új méréshatárú fonalmérlegek kifejlesztése

**1992-94** - új szintmérő-család mechanikájának tervezése;

- EX BKI és PTB (Physicalisch Technische- Bundesanstalt-Braunschweig) vizsgálathoz dokumentáció elkészítése.

**1994-**

Oktatói tevékenység:

- Általános műszaki ismeretek - gyakorlat és előadás tartása,
- CAD ismeretek – gyakorlat,
- Technológia – gyakorlat,
- Minőségbiztosítás – gyakorlat,
- Műszaki dokumentáció,
- Rendszertechnika - előadás, gyakorlat,
- Biztonságtechnikai, Környezetvédelmi, és Minőségbiztosítási alapismeretek – előadás
- Matematika - gyakorlat

Oktatás fejlesztés:

- Általános műszaki ismeretek. gyakorlati útmutató és példatár kidolgozása,
- Jegyzetek írása a távoktatáshoz
- Rendszertechnika c. tárgy tematika kidolgozása
- Általános Mérnöki Ismeretek előadás és tantermi gyakorlatok kidolgozás, a szükséges jegyzet megírása

**Részvétel pályázatokon:**

TEMPUS S-JEP 09631-95

FEFA IV/a. BPT közös pályázat 1511 sz. projekt, Minőségbiztosítás

FP 32/98 “Minőségügyi oktatók szakmai továbbképzése”

**Tanulmányutak:**

<i>1998</i>	Egy hónap	University of Abertay Dundee
<i>2004</i>	Furtwangen	
<i>2006</i>	Nürnberg	

**Díjak, kitüntetések:**

<i>1980</i>	BME Tudományos Diákköri Konferencia I. díja
<i>1985</i>	BNV Alkotó Ifjúság 1. díj
<i>1999</i>	Kandó Kiváló Oktatója
<i>2000</i>	Kari Főigazgatói Dicséret
<i>2005</i>	Főigazgatói Dicséret

**Eddigi tudományos jellegű tevékenység számszerű adatai:**

TDK dolgozat: 1; Szakcikk: 5; Előadás: 3; Tanulmány: 1;  
Tankönyv, jegyzet: 5; Konferencia kiadvány: 8