



Neumann János Egyetem
Műszaki és Informatikai
Kar

Újgenerációs lövedékálló anyag fejlesztése, vizsgálata

Balog Kornél

Konzulensek:

Dr. Kovács Zsolt Ferenc, egyetemi docens

Dr. Liska János, főiskolai docens

Dr. Kondor István Péter, adjunktus

Kecskemét, 2024

Tartalomjegyzék

1.	NYILATKOZAT ÉS KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	2
2.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS	3
2.1.	A LÖVEDÉKÁLLÓ ANYAG FOGALMA	3
2.2.	KÜLÖNBÖZŐ SZABVÁNYOK A LÖVEDÉKÁLLÓ MELLÉNYEK OSZTÁLYOZÁSÁRA	3
2.2.1.	<i>Egyesült Amerikai Államok</i>	<i>3</i>
2.2.2.	<i>Európai Unió</i>	<i>4</i>
2.2.3.	<i>Magyarország</i>	<i>5</i>
2.3.	A LÖVEDÉKÁLLÓ ANYAGOK TÖRTÉNELMI FEJLŐDÉSE	7
2.3.1.	<i>Az ősi páncélok.....</i>	<i>7</i>
2.3.2.	<i>Az ókori páncélok.....</i>	<i>8</i>
2.3.3.	<i>Középkori páncélok</i>	<i>11</i>
2.3.4.	<i>A modern védőeszközök.....</i>	<i>13</i>
2.3.5.	<i>A kevlár felfedezése</i>	<i>16</i>
3.	A LÖVEDÉKÁLLÓ ANYAGOK ELKÉSZÍTÉSE	18
3.1.	FELHASZNÁLT ANYAGOK.....	18
3.2.	ELKÉSZÍTÉS FOLYAMATA	20
4.	A LÖVEDÉKÁLLÓ ANYAGOK VEM SZIMULÁCIÓJA	21
4.1.	A SZIMULÁCIÓ TULAJDONSÁGAI	21
4.2.	A MODELLEK ELKÉSZÍTÉSE	21
4.3.	A SZIMULÁCIÓ ELŐKÉSZÍTÉSE.....	22
4.3.1.	<i>Engineering Data</i>	<i>24</i>
4.3.2.	<i>Geometry</i>	<i>24</i>
4.3.3.	<i>Model.....</i>	<i>25</i>
4.3.4.	<i>Setup</i>	<i>27</i>
4.3.5.	<i>Solution</i>	<i>27</i>
4.3.6.	<i>Results.....</i>	<i>27</i>
4.4.	EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE	27
5.	A VIZSGÁLAT FOLYAMATA	29
5.1.	ALAP ADATOK	29
5.2.	A VIZSGÁLAT ELŐKÉSZÍTÉSE	30
5.3.	A VIZSGÁLAT SORÁN HASZNÁLT MÉRŐESZKÖZÖK	31
5.3.1.	<i>Mélységmérő tolómérő.....</i>	<i>31</i>
5.3.2.	<i>Sebességmérő fénykapu</i>	<i>31</i>
5.4.	A VIZSGÁLAT KIÉRTÉKELÉSE	33
5.5.	A VIZSGÁLAT LEFOLYÁSA	35
5.5.1.	<i>Pillanatragasztott kevlár tesztelése.....</i>	<i>35</i>
5.5.2.	<i>Epoxy erősítésű kevlár tesztelése.....</i>	<i>36</i>
5.5.3.	<i>Poliuretán erősítésű kevlár tesztelése.....</i>	<i>38</i>
5.5.4.	<i>Lövedékek deformációjának összehasonlítása</i>	<i>39</i>
6.	ÖSSZEFOGLALÁS	42
6.1.	EREDMÉNYEK ÖSSZEGZÉSE.....	42
6.2.	FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK	42
7.	ÁBRAJEGYZÉK	44
8.	IRODALOMJEGYZÉK	46

1. Nyilatkozat és köszönetnyilvánítás

Alulírott, Balog Kornél (C2T29F), a Neumann János Egyetem hallgatója, büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és sajátkezű aláírással igazolom, hogy ezt a dolgot meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, és dolgozatomban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a hatályos előírásoknak megfelelően, a forrás megadásával megjelöltem.

Jelen „Újgenerációs lövedékálló anyag fejlesztése, vizsgálata” kutatás és dolgozat a 2024-2.1.1-EKÖP-2024-00008 projekt keretében jött létre.

A 2024-2.1.1-EKÖP-2024-00008 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2024-2.1.1-EKÖP pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Kecskemét, 2024.

Balog Kornél s. k.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. A lövedékálló anyag fogalma

A lövedékálló anyagok olyan anyagok, amelyek arra a célra lettek kifejlesztve, hogy különféle lövedékekkel szemben ellenállóak legyen.

A lövedékálló elnevezés megtévesztő lehet, mivel minden anyagot át lehet ütni elegendő számú lövéssel, elegendő nagy sebességű vagy kaliberű lövedékkel. Ebből kifolyólag a lövedékálló anyagok inkább lövedék ellenállóak.

Két nagy csoportot különböztethetünk meg a lövedékálló anyagokon belül:

- Lágymű lövedékálló anyagok: különböző szintetikus szállakból szőve, kötőanyagokkal ragasztva
- Kemény lövedékálló anyagok: fémek, kerámiák

Magukból a lövedékálló anyagokból lövedékálló páncélzatokat készítenek. Ezek rendeltetésük szerint készülhetnek testpáncélnak vagy mellénynek, amelyeket emberek hordhatnak, vagy járműpáncélzatnak, amelyekkel járműveket tehetünk ellenállóbbakká.

A lövedékálló mellényeket különböző osztályokba sorolják, az általuk nyújtott védelem szerint. Az osztályozásra világszerte több szabvány is létezik.

2.2. Különböző szabványok a lövedékálló mellények osztályozására

2.2.1. Egyesült Amerikai Államok

Az Amerikai Egyesült Államokban több lövedékálló mellény gyártó cég is található, legtöbbjük saját osztályozást fejlesztett ki. A legelterjedtebb azonban a National Institute of Justice (Országos Igazságügyi Kutatóintézet) által létrehozott szabvány. Összesen öt különböző szintet tartalmaz:

1. 2A – könnyen elrejtendő lágymű lövedékálló páncélzat, öt 9 mm és .40 S&W kaliberű kézfegyver lövésnek képes ellenállni
2. 2 – szintén könnyen elrejtendő és lágymű, azonban nagyobb védelmet biztosít, mint a 2A szint, öt 9 mm és .357 Magnum kaliberű rövid csőhosszú kézfegyver lövésnek ellenáll
3. 3A – hajlékony, azonban kiváló védelmet biztosít, öt .357 SIG és .44 Magnum kaliberű hosszú csőhosszú kézfegyver lövésnek ellenáll
4. 3 – kemény páncélzat, öt 7.62 mm FMJ puskakaliberű lövedéknek ellenáll

5. 4 – a legnagyobb védelmi fokozatot nyújtó elérhető páncélzat, kifejezetten katonai használatra. Egy darab .30 kaliberű teljes acélmagvas páncéltörő lövedéknek képes ellenállni

A szintek növekvő sorrendben egyre nagyobb védelmet biztosítanak. A magasabb szintek tartalmazzák az alattuk levő szintek tulajdonságait, így például a 4-es szintű lövedékálló mellény ugyanúgy védelmet biztosít azokkal a lövedékekkel szemben, amelyekkel szemben a 3-as szintű páncélzat is védelmet nyújt.

A számozásokban az „A” jelző azt jelenti, hogy nagyobb védelmet nyújt, mint az öt megelőző szint, azonban az öt követőt nem éri el, úgymond fél szintnek tekinthető a szintek között.

A szabvány korábban tartalmazott 1-es szintet is, azonban a technológia fejlődésével már elavult.

Az Amerikai Egyesült Államokon belül még használatos az UL 752 és a ASTM F-1233 szabvány. Az UL 752 érdekessége még, hogy tartalmaz olyan szintet, amely sörétes lövedékek ellen ellenálló [1].

2.2.2. Európai Unió

Az Európai Unióban két szabvány található a lövedékálló páncélzatra. A régebbi EN 1063 hét kategóriát és egy sörétes kategóriát tartalmaz. A kategóriák BR1-től BR7-ig terjedtek, mellette pedig egy SG1/SG2 kategória jelezte a sörétes fegyverekkel szemben ellenálló páncélzatot. 2009-ben jelent meg az újabb VPAM elnevezésű szabvány, amellyel nem csak testpáncélzatot, hanem járműpáncélzatot és lövedékálló üveget is vizsgálhatunk.

A VPAM szabvány 14 szintet tartalmaz, VPAM 1-től VPAM 14-ig. A két szabványról összehasonlítást az 1. táblázat tartalmazza [2].

1. táblázat – VPAM és EN 1063 szabvány összehasonlítása

VPAM	EN 1063	Lőszer kaliber	Lőszer típusa
VPAM 1	BR1	.22 lr	L/RN
VPAM 2	-	9 mm Luger	FMJ/RN/SC ónozott
VPAM 3	BR2	9 mm Luger	FMJ/RN/SC ónozott
VPAM 4	BR3	.357 Mag.	FMJ/CB/SC
	BR4	.44 Rem. Mag.	FMJ/FN/SC
VPAM 5	-	.357 Mag.	FMs/CB
VPAM 6	-	7,62 x 39	FMJ/PB/FeC
VPAM 7	BR5	.223 Rem.	FMJ/PB/SCP
	BR6	.308 Win.	FMJ/PB/SC
VPAM 8	-	7,62 x 39	FMJ/PB/HCI
VPAM 9	BR7	.308 Win.	FMJ/PB/HC
VPAM 10	-	7,62 x 54 R	FMJ/PB/HCI
VPAM 11	-	.308 Win.	FMJ/PB/WC 9,45g
VPAM 12	-	.308 Win.	FMJ/PB/WC 10,4g
VPAM 13	-	.50 Browning	FMJ/PB/HC
VPAM 14	-	14,5 x 114	FMJ/PB/HCI

2.2.3. Magyarország

Magyarországon a lövedékálló anyagok vizsgálatát az MSZ K 1114-1 1999 szabvány alapján végzik. A szabvány lehetőséget ad száraz és nedves próbadarabok vizsgálatára is. Összesen hét alapvédelmi fokozatot jelöl meg, L1-től L6-ig LS speciális fokozattal kiegészítve. Ezek mellett tartalmaz kilenc kiegészítő fokozatot K1-től K9-ig jelölve. A védelmi fokozatok jelölése alapvédelem esetén a védelmi szinttel (példa: L5), kiegészítő védelmi szint esetén alapvédelem és kiegészítő védelem megjelölésével történik (példa: L5/K6).

Az MSZ K 1114-1 1999 szabvány védelmi szintjeit a 2. táblázat és a 3. táblázat tartalmazza [3].

Az MSZ K 1114-1 1999 által végzett vizsgálat kiértékelésének folyamatát az „5.4 A vizsgálat kiértékelése” fejezetben részletesen áttekintem.

2. táblázat – MSZ K 1114-1 1999 szabvány alapvédelmi fokozatai

Védelmi szint	A vizsgálólövedékek típusa	Legkisebb lövedék-sebesség (m/s)	Szabályos találatok száma 0°-os becsapódási szöggel (db)	Szabályos találatok száma 30°-os becsapódási szöggel (db)	Megengedett legnagyobb lenyomatmélység (mm)
L1	.38 Special RN, ólom	259	4	2	44
	.22 LR HV	320	4	2	44
L2	.357 Magnum JSP	381	4	2	44
	9x19 mm FMJ Parabellum	332	4	2	44
L3	.357 Magnum JSP	425	4	2	44
	9x19 mm FMJ Parabellum	358	4	2	44
L4	.44 Magnum SWC, gázzáró, ólom	426	4	2	44
	9x19 mm FMJ Parabellum	426	4	2	25
L5	7,62 x 54 R 39M L, ólom	838	6	0	25
L6	7,62 x 54 R 39M B32, pc, gyújtó	868	1	0	25
LS	Speciális követelmények	A megrendelő határozza meg			

3. táblázat – MSZ K 1114-1 1999 szabvány kiegészítő fokozatai

Védelmi szint	A vizsgálólövedékek típusa	Legkisebb lövedék-sebesség (m/s)	Szabályos találatok száma 0°-os becsapódási szöggel (db)	Szabályos találatok száma 30°-os becsapódási szöggel (db)	Megengedett legnagyobb lenyomatmélység (mm)
K1	7,65 x 17 Browning	350	4	2	44
K2	9 x 18 Makarov	340	4	2	44
K3	9 x 19 Parabellum	425	4	2	44
K4	12/70 Brenneke	420	4	2	44
K5	7,62 x 39 43M PSZ	740	6	0	25
K6	5,56 x 45 M193/SS92	970	6	0	25
K7	5,56 x 45 SS109	910	6	0	25
K8	7,62 x 39 43M BZ	740	1	0	44
K9	7,62 x 51 NATO AP	868	1	0	44

2.3. A lövedékálló anyagok történelmi fejlődése

2.3.1. Az ősi páncélok

A hadviselés az emberiség kezdetével együtt jelentkezett. Már az emberiség hajnalán megjelentek a különböző fegyverek, amelyekkel állatokra vadásztak, vagy az ellenséges törzsszel való harcban használtak.

A legelső fegyvereket kőből készítették több mint százezer évvel ezelőtt, még a legidősebb jelenleg ismert nyílhegyek több mint hatvanezer évesek [4].

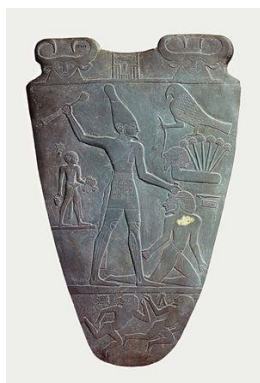
A legelső páncélok nem élték meg az idő múlását, azonban feltehetőleg állati bőrből készültek. A bőr szárításával és melegítésével a bőrben levő kollagén megkeményedik, így jól használható védelemre. Azonban a szövetek megjelenésével elavultak, mivel a szövetek és szálak lehetőséget nyújtottak különféle anyagok összefogására, így már kompozit páncélokat alkalmaztak bőr, fa és csontok összefűzésével [5].

A nyilaknak és a dárdáknak nagy harcászati előnyük lehetett volna, azonban a legelső, kifejezetten emberek ellen készített fegyverek buzogányok voltak a bronz korból. Egyszerű felépítése egy kőből, és egy fa nyélből állt (1. ábra). A kő alkalmas volt a csont és a hús összezúzására, a fa nyél pedig megnövelte a kő sebességét és ezáltal az ütés erejét is [4].



1. ábra – Egy feltehetőleg 6000 éves kőbuzogány [6]

Mivel ezeknek a fegyvereknek az elkészítése igen nehéz volt, így csak olyan emberek használhatták, akik kiemelkedtek a többiek közül, mint egyes uralkodók és bajnokok. A legelső feljegyzés, amely ezt megörökítette, Narmer, az egyesített Egyiptom első királyáról szóló kőből faragott paletta (2. ábra) időszámításunk előtt 3000 körüléről származik. A palettán látható, ahogyan Narmer király lecsap egy ellensége fejére, kezében egy kőbuzogányt tartva [4].



2. ábra – A Narmer Paletta [4]

Ezután nem sokkal az ősi Mezopotámiában megjelentek azok az öntési technikák, amelyekkel már lehetőség volt kiönteni a buzogány fejét is rézből. A rézből készült buzogányok nagyobb pusztító ereje és a könnyebb készítése miatt már rituális használaton kívül is megjelent [5].

A támadó eszközök fejlődését azonban folyamatosan követte a védő eszközök fejlődése. Hasonlóan a réz buzogányok megjelenésével egyidőben megjelentek azok a kovácsolási eljárások, amelyekkel a mezopotámiai kovácsok rézből és arzénbronzból sisakokat tudtak készíteni. Ezt bőr béléssel kiegészítve jól hordható, és nagyon effektív védekezési módszert biztosított a buzogányokkal szemben. A kovácsolási és metallurgiai technológiák fejlődésével nemsokára már bronzból is el tudták készíteni. Ezzel megkezdődött a verseny a fegyverek és a páncélok között. A sisakok fejlődésével a buzogány zúzóerejét növelték meg. Az első módosítás által elliptikus alakzatra készítették a buzogányt, ezzel egy pontra koncentrálódott a teljes erő. Ez a pont később átalakult egy vágóéllé, így a buzogányokból megjelentek a fejszék [7].

2.3.2. Az ókori páncélok

A kovácsolási technológia fejlődésével többféle testpáncél is megjelent. Néhány a régebbi kompozit, több részből összeállított páncélokat foglalta magába, amelynek előljárói a kínaiak voltak. Pikkelyes mellvértet készítettek, eleinte egy alsó öltözethez szegecselték a pikkelyszerű lemezdarabokat, később azonban már a lemezeket egymáshoz fűzték (3. ábra). Azonban a fémlemezек költsége miatt még sokáig használatban maradtak a bőrből, fából és kőből készített páncélok [5].



3. ábra – Kínai fűzőtt páncél [5]

A nyugati világ más utat választott. A teljes páncélt egy lemezből alakították ki. A védőelem két részből tevődött össze, egy mell-lapból és egy hátlapból. A két páncél elemet szíjakkal kapcsolták össze (4. ábra). Ezek csak a törzset védték, azonban a többi testrész védelmére külön páncélzat állt rendelkezésre [5].



4. ábra - Kelta kétrészes mellvért

Ezenkívül készítettek teljes védőfelszerelést is, amelyre legjobb példa a mükénéi Dendra Panoply (5. ábra). Ennek a páncélnek is két fő összetevője a mell-lap és a hátlap volt, azonban kiegészítették réteges szoknyával a combok, és réteges vállpáncéllal a váll védelmére. Ezen felül még egy nyakvédőt is magába foglalt. A nagy tömege megnehezítette a mozgást, azonban még így is lehetőséget biztosított a hasító, vágó és szűrő mozdulatokra. A nehezített mozgékonyt ellensúlyozva rendkívül nagy felületen védett [5].



5. ábra – Mükénéi Dendra Panoply [5]

A következő fejlesztés juttatta el a testpáncélokat arra a pontra, amilyenek ma is ismerjük őket. Mellkas és váll védelemmel ellátva, esetlegesen ágyék védővel felszerelve (6. ábra). Ezek a páncélok a linothorax nevet kapták, amely a görög λινωθώραξ szóból származik, jelentése „vászonmellvért viselése”. A görögök bronzból és rétegelt vászonból készítették ezeket a páncélokat. A rétegelt vászon páncél egyik elődje volt a ma is használatos ballisztikai védőfelszereléseknek. Ezek a páncélok rendkívül hajlékonyak voltak, és ellenállóak voltak a nyilak és a dárdákkal szemben. Emellett pajzsot és sisakot is használtak, ezek összessége pedig kiváló védelmet biztosítottak az akkori lövedékekkel szemben.



6. ábra – Nagy Sándor linothorax páncélban [5]

A kelták kifejlesztették a láncingek, amelyek hamar elterjedtek az akkor ismert világban. A láncingeket fémgűrűkből illesztették össze.

Több változat is megjelent belőle a készítési technológia alapján csoportosítva:

- Hajtott gyűrűs: a drótokat gyűrű alakra hajtották, összefűzték őket, a drótvégeket semmilyen eljárással nem rögzítették egymáshoz [8].
- Kovácshegesztett gyűrűs: a drótokat gyűrű alakban összefűzték, a végeket felhevítették és kalapácsütésekkel összehegesztették őket [8].

- Szegecselt gyűrűs: a drótokat gyűrű alakban összefűzték, a végeket kilapították, majd egymás alá helyezve kifűrték. Ezen a furaton keresztül szegecselték őket össze. A lapítást hidegen és melegen is végezték [8].

A rómaiak is átvették a sodronyvérteket, amelyeket Lorica Hamata néven ismerünk (7. ábra).



7. ábra – A Lorica Hamata sodronyvért vállvédővel kiegészítve [5]

Később fejlesztéseket végeztek a Dendra típusú páncélok, így született meg a rugalmasabb és könnyebben gyártható Lorica Segmenta (8. ábra). Hatékonysága lelenére azonban nem szorította ki teljes mértékben a láncingeket, pikkelyvérteket és a kovácsolt mellvérteket [5].



8. ábra - Lorica Segmenta páncél [5]

2.3.3. Középkori páncélok

A középkorban ugyanúgy kedvelt maradt a láncing. A láncing alá kitömött és varrott szövetet hordtak, ez volt az úgynevezett fegyverkabát. A szegényebb munkásrétegek körében ez volt a legelterjedtebb páncélzat. Könnyű elkészítése és karbantartása mellett csökkentette a csapásokat. Azonban aki megtehetette, védőeszközt használt a végtagjainak védelmére is [5].

A láncingek legnagyobb hátránya az elkészítésük nehézsége volt. A legegyszerűbb hajtogatott sodronyingek elkészítése is akár 40 órát igénybe vehetett, a drót húzása nélkül

számítva. Egy szegecselt láncing akár ennek az időnek a háromszorosát is igényelhette. Emellett rendkívül drága volt a fém is. Ezen tényezők miatt volt elterjedtebb a szövetből készült páncélzat [5].

A bőrből készült páncélok gyártása egyszerűbb volt a fémvértetek gyártásától. A bőrt vízben hideg vagy langyos vízben áztatták, még teljesen tele nem szívta magát. Ezután vagy formába préselték, vagy szögekkel rögzítették fából készült formán. A formákkal akár mintákat is felvihettek a bőrre. Ezután vagy melegítéssel, vagy levegőn szárították. Előnye volt, hogy rendkívül jól ellenállt az ütéseknek, csapásoknak. Ezzel ellentétben a szúrásoknak rosszul állt ellen, illetve nem voltak olyan tartósak, mint a fémpáncélzatok. Ezt a gondatlan tárolás, a túlzott napsütés és egyéb rácsálók és kártevők okozták. Viszont nagy létszámú seregeknél nélkülözhetetlen volt, gyors előállítás és alacsony költségei miatt [8].

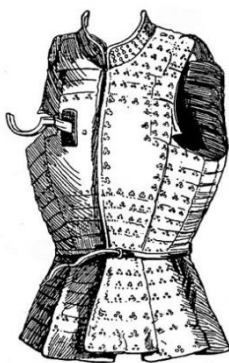
Az idő múlásával igény jelentkezett teljes csuklós páncélzatra. Ezekből három típust különböztetünk meg (9. ábra):

- Harci páncélok: harcban használták, rendkívül erős volt.
- Díspáncélok: előkelő öltözetként használták, gyakran cizellált, gravírozott és zománcozott volt. Kisebb védelmet biztosított, mint a harci páncél, azonban teljesen funkcionálisan működött.
- Tornapáncél: lovagi tornákon használták, nagyobb biztonságot nyújtott, azonban ez a mozgékonyság rovására ment.



9. ábra – Harci páncél, díspáncél és tornapáncél balról jobbra [5]

Ezeket személyre szabottan készítették, és rendkívül drága volt. A közönséges sorkatonáknak ilyen páncélok nem jutottak, helyettük az úgynevezett brigantint használták (10. ábra). A brigantin egy külső bőrmellényből állt, amelybe belül fémpikkelyeket varrtak [5].



10. ábra – Brigantin mellvért [5]

Ázsiában más irányba fejlődtek a páncélok. A pajzsok viszonylag elenyésző részét tették ki a védelmi eszközöknek, mivel a harci stílus a kétkezes fegyverek irányába tolódott el. Ennek ellensúlyozására a láncingeket és a pikkelyes mellvértet ötvözték (11. ábra). A fémpikkelyeket vagy összeláncoltál, vagy hozzáfűzték a láncinghez. A sodronyvértek alatt olyan fegyverkabátokat hordtak, amelyek rétegelt selyemből készültek. A selyem rendkívül jó volt a vágások és a szúrások megállítására, illetve amennyiben valami áthatolt rajta, jól takarta a sebet ezzel tisztán tartva és megkönnyítve a kezelését [5].



11. ábra – Japán samuráj páncél [5]

Az 1500-as évek környékén az európai harcművészetek viszonylag összetetté és atlétikussá váltak. Blokkolások, hárításokat és a támadó mozdulatokat jól kifinomították. Azonban hamarosan nagy fordulópontra következett, amely végleg megváltoztatta a harcteret. Ebben az időszakban jelent meg Európában a lőpor és vele együtt a lőfegyverek [5].

2.3.4. A modern védőeszközök

Kezdetben a lőfegyverek csak csekély előnnyel rendelkeztek az íjakkal szemben. Az íjak nagyobb tüzelési sebességgel, jobb átütő erővel és nagyobb pusztító erővel rendelkeztek. Mindezek ellenére egy íjász kiképzése akár hónapokig is tarthatott, egy muskétást pár nap alatt be tudtak tanítani az eszköz használatára. Emellett a muskéták gyártása könnyebb és gyorsabb volt, mint egy nyíl elkészítése [5].

A lőfegyverek megjelenésével a pajzsok teljesen eltűntek, mivel az új típusú fegyverek kezeléséhez két kézre volt szükség. Pontosan ennek hiányában a testpáncélok továbbra is használatban maradtak. Egyes seregek kettős acélpáncélt használtak, más seregeknél a fém páncélzat csak a lovasságnál maradt meg, a muskétások bőrkabátokat hordtak, fém mellvérttel kiegészítve [5].

A napóleoni idők után a lőfegyverek annyit fejlődtek pontosságban és erőben, hogy a páncélzat teljesen haszontalanná vált. Néhány lőtt sebet megakadályozhattak, azonban a páncélok készítésének költségei és a készítéshez szükséges fémmennyiség nem térült meg nagyobb seregek esetében [5].

Az 1800-as években a japánok kifejlesztettek egy puhább páncélzatot, amelyet selyemből készítettek. A selyem miatt azonban nagyon drága volt. Ebből kiindulva, az amerikai hadsereg William McKinley elnök ellen 1901-ben elkövetett merénylet után kísérletezni kezdtek hasonló selyem alapú testpáncélokkal. Ezek alkalmasak voltak kisebb sebességű lövedékek megállítására, azonban az újabb generációs lőfegyverekkel szemben nem állták meg a helyüket. Így ezokból, illetve a selyem magas ára miatt elvetették ezt a fajta páncélzatot [9].

Az első világháborúban a fém páncélok reneszánszukat élték. Leginkább a géppuska lövészeknél terjedt el, mivel nyíltan ki voltak téve ellenséges tűznek lövés közben. Ekkor már vastag edzett acélból készítették [5]. Minden ország saját fejlesztésű páncélzattal állt elő. Közös tényező volt a törzs és a fej védelme.

A fejet fémsisakokkal védték, amelyek a repeszekről ugyan megvédte, azonban a lőfegyverekkel szemben hatástalan volt. Egyes esetekben az arc védelme érdekében a sisakhoz láncokat erősítettek, amely az arc elé lógva takarta azt (12. ábra), vagy felhajtható sisakrostéllyal látták el [10].



12. ábra – Acél sisak, az arcot védő láncokkal ellátva [10]

A törzset szintén eltérő megoldásokkal védték: voltak, akik csak egy lemezből készített páncélt hordtak, míg más páncéltípusok csuklósan készültek el, így nagyobb mozgékonytságot, esetlegesen a törzs mellett az ágyékot is védhették vele.

A németek négyrészes páncélzatot készítettek (13. ábra). Egy nagyobb lemezzel a törzset védték, majd ehhez csuklósan csatlakoztattak három kisebb lemezt az ágyék irányába. Anyagául 2,3 mm vastagságú vaslemezt használtak. Emiatt a tömege is viszonylag nagy volt, így leginkább mesterlövészek és géppuska lövészek használták [11].



13. ábra – Német típusú páncél az első világháborúban [11]

Az Amerikai Egyesült Államokbeli Dr. Guy Otis Brewster fejlesztette a háború legfurcsább páncélzatát. Ő a páncélt funkcióját nem a lövedék lelassításában és megállításában, hanem a lövedék eltérítésében lelte. Olyan páncélzatot készített, amely előlről az ágyékot, a törzset, a nyakat és a fejet is védte. A páncél „V” alakzatban készült, így a szemből érkező lövedékeket oldalra térítette (14. ábra). Az egész páncél tömege meghaladta a 18 kilogrammot. A tesztelést feltalálója, Brewster maga vállalta 1917-ben. A páncélt magára öltötte, és egy Lewis géppuskával tüzet nyitottak rá. A tesztet túlélte, azonban ennek ellenére a páncél soha nem került a frontra [10].



14. ábra – Brewster-féle páncél [12]

Mindeközben a járművek fejlődése lehetővé tette, hogy a katonák számára túl nehéz páncélokat járművekre szereljék, így kialakultak a különféle páncélozott járművek és kezdetleges tankok.

A háború utáni elemzések azonban kimutatták, hogy a sebesülések többségét nem lövések okozták, hanem a robbanások által létrehozott repeszek és törmelékek. Ezzel azonban egészen a második világháborúig nem foglalkoztak.

A második világháború újabb fordulatot hozott a lövedékálló anyagok fejlődésében. A bombázó repülők legénysége főképp a légvédelmi lövedékekből származó repeszeknek volt kitéve, amely ellen rétegelt nylon mellényeket hordtak. Ezek voltak az úgynevezett repesz mellények.



15. ábra – Amerikai bombázó legénység repesz mellényekben [13]

A földi harcoknak kitett katonák ezzel ellentétben acéllemezekkel voltak lelátva. Ezek elegendőek voltak arra, hogy a pisztolylövéseket felfogják, rosszul célzott puskalövéseket lepattintotta, és a repeszeztől megvédte a katonát.

2.3.5. A kevlár felfedezése

Az 1960-as években a DuPont nevű cég új anyagok fejlesztésbe kezdett, hogy lecseréljék a gumiabroncsok védőbetétjeit egy sokkal könnyebb, viszont strapabíróbb anyagra, mivel üzemanyag hiányra számítottak. Az általuk megbízott csapat vezetője Stephanie Kwolek volt. Fő céljuk az volt, hogy polimerek segítségével állítsák elő az új anyagot [14].

Kísérletei közben arra lett figyelmes, hogy bizonyos körülmények között a pálcika-szerű poliamidok párhuzamosan elrendeződnek, kristályos folyékony oldatot képeznek, amelyeket közvetlenül magas szilárdságú és merevségű szállá lehet sodorni [15].

1971-re finomítottak az eljáráson, különböző teszteknek vetették alá az anyagot, majd nyilvánosságra hozták Kevlar márkaneven [14]. Azóta ez a név rajtamaradt, és máig sokan hivatkoznak rá így.

Ezen tulajdonságokra az Amerikai Egyesült Államokbeli Országos Igazságügyi Kutatóintézet is felfigyelt. Több éven keresztül több verziót is teszteltek a Kevlar mellényekből. Megfigyelték, hogy a legelterjedtebb lövedékeket meg tudja állítani. 95%-os eséllyel állította meg a .38 kaliberű lövedéket, amely $800 \frac{ft}{s}$ ($243.84 \frac{m}{s}$) sebességgel csapódott be. Annak az esélyét, hogy műtéti beavatkozásra legyen szükség találat után 10%-ra csökkentette. 1976-ra megállapították, hogy a Kevlar mellények lövedékállóak és elég könnyűek, így akár teljes munkaidőben is viselhetőek [9].

3. A lövedékálló anyagok elkészítése

Összesen három darab, különböző kötőanyagú lövedékálló páncélt készítettem el. Ebben a fejezetben a készítés folyamatát és a felhasznált anyagokat fogom bemutatni.

3.1. Felhasznált anyagok

- Aramidszálak szövet

Az közös alapanyag, amelyből mind a három féle lövedékálló anyagot elkészítettem, a Dostkimya gyártótól származó aramidszálak szövet. A szövet fő összetevője, az aramid a poliamidok közé tartozik, azon belül is aromás poliamidok közé. A poliamidok olyan polimerek, amelyek monomerjeit amid-kötés köti össze. Az amid kötést -CO-NH- csoportok hozzák létre a monomerek között. [16] [17]. Az aromás jelző azt jelenti, hogy a monomerekben az egyes és a kettős kötések felváltakoznak, ezzel a molekula stabilitása növekszik. Az aramidok monomerjei benzén gyűrűk. Hőállóak és nehéz a feloldásuk.

A Dostkimya több típusú aramidszálak szövetet is forgalmaz, amelyek a szövés sűrűségében és ezáltal az 1 m^2 -re eső tömegben különböznek. Az általam használt szövet $200 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$ tömeggel rendelkezik. A szövet vastagsága 300 mikrométer vastagságú (16. ábra) [18].



16. ábra – Aramidszálak szövet

- Univerzális pillanatragasztó

Az első próbadarabot egyszerű univerzális pillanatragasztóval kötöttem össze, a szöveteken pár ponton elhelyezve azt.

A pillanatragasztott próbadarab rendelkezett a legnagyobb hajlékonysággal (17. ábra). Ez a próbadarab rendelkezett a legfényesebb felülettel.

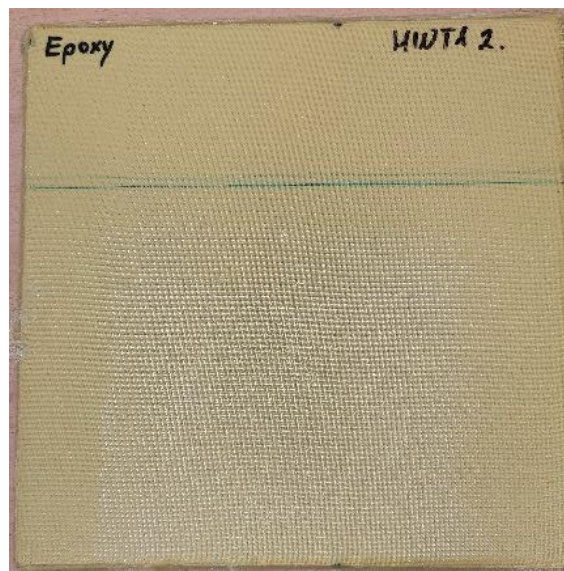


17. ábra – Pillanatragasztott anyagú próbadarab

– Epoxy gyanta

A második próbadarabot a Novia Kft. által forgalmazott MR 3012 kétkomponensű epoxy gyantával kötöttem össze.

Az epoxy gyantával erősített próbadarab volt a legmerevebb és keményebb próbatest. Felülete enyhén fényvisszaverő (18. ábra).



18. ábra – Epoxy erősítésű próbadarab

– Poliuretán öntőgumi

A harmadik próbadarabot a Novia Kft. által forgalmazott Vytaflex 30 típusú poliuretán öntőgumival kötöttem meg.

A poliuretán erősítésű próbadarab csekély hajlékonysággal rendelkezett. Fogásra enyhén ragadós volt. Felülete enyhén matt hatással rendelkezett (19. ábra).



19. ábra – Poliuretán erősítésű próbadarab

3.2. Elkészítés folyamata

Első lépésben az aramidszálas szövetet 300x300 miliméteres darabokra daraboltam fel. Ezután rétegekre bontva kötöttem össze. Egy réteget lefektettem, rávittem a kötőanyagot, majd a következő réteget ráfektettem. A rétegeket folyamatosan egymás után, várakozás nélkül fektethettem egymásra, mivel egyik kötőanyagnál sem volt szükség külső hőre, fényre vagy nyomásra a megszilárduláshoz. Összesen 20 réteget kötöttem így módon össze.

4. A lövedékálló anyagok VEM szimulációja

4.1. A szimuláció tulajdonságai

A lövedékálló anyagok szimulációjához a Solid Edge 2024 CAD szoftvert és ANSYS 2024 R2 VEM szoftvert használtam. A VEM jelentése végeselemes módszer, amely megoldást nyújt a komplex mérnöki számítási feladatok közelítő elvégzésére. A modellt véges cellákra bontja, amelyekre egyesével kiszámítva a szükséges egyenleteket megadja a közelítő eredményt. A szimuláció helyes és valósághű felépítésével és beállításával ez a közelítő megoldás is elfogadható hibahatárokon belül van a valódi eredményekhez.

A szimuláció célja különböző anyagok előzetes vizsgálata, amelyből következtethetünk az általunk végzett ballisztikai tesztek kimenetelére.

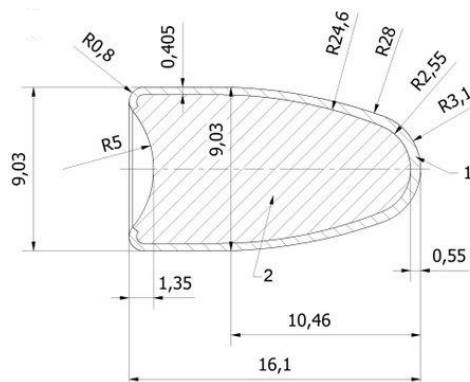
4.2. A modellek elkészítése

A szimulációt oly módon készítettem el, hogy a ballisztikai teszteléshez lehetőleg jobban hasonlítson és leginkább élethű legyen a pontos eredmények érdekében.

A szimulációhoz használt szerelési modell három alkatrészből épül fel:

1. Mag – A lövedék ólommagja
2. Köpeny – A lövedék sárgaréz köpenye
3. Lemez – Az anyag, amelyet meg kívánunk löni. Vastagsága 5,5 milliméter (az elkészített anyagok átlagos vastagsága), felülete 300x300 milliméter

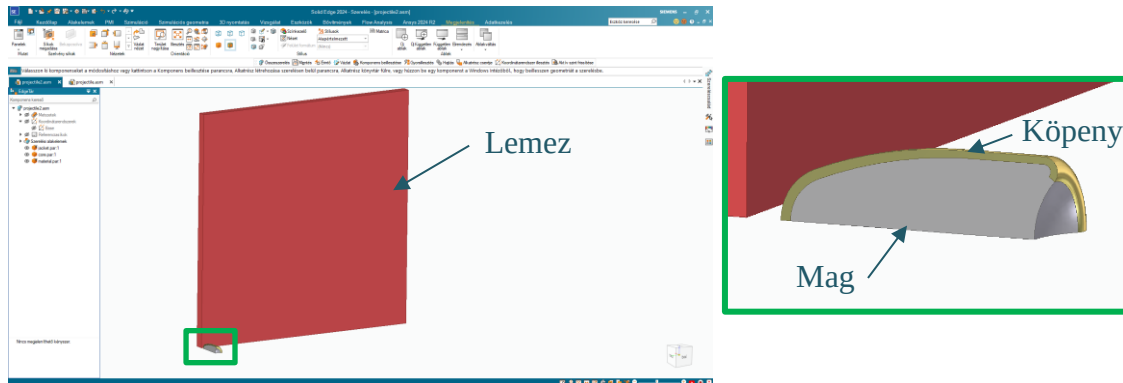
A lövedék típusa 9 mm Parabellum FMJ. Ezen lövedék méreteit (20. ábra) Michał Gmitrzuk által közzétett publikációból vettem át [19].



20. ábra – 9 mm Parabellum FMJ lövedék méretei [19]

Az elkészült alkatrészeket a Solid Edge 2024 szerelési környezetében egy szerelésbe illesztettem és pozicionáltam. A szimuláció számítási sebességének növelése érdekében a modell 2 sík mentén szimmetrikussá tehető. A szimmetriát ANSYS környezetben kell megadni, azonban ehhez szükség lesz a szimmetria síkjára, amelyet felületről tudok

kiválasztani. Ezért előkészületnek a modell $\frac{3}{4}$ -ét levágtam, a végső modell a 21. ábraán látható.

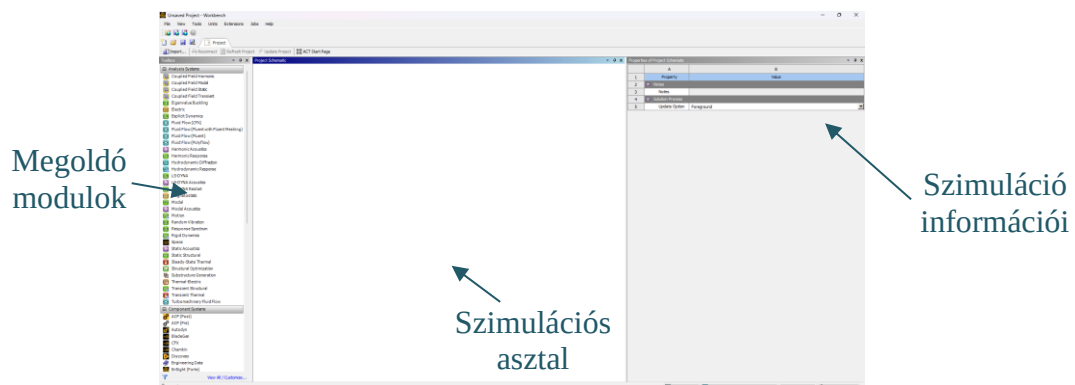


21. ábra – Solid Edge szerelés modell

A Solid Edge-ben készített modellek konvertálás nélkül felhasználhatóak az ANSYS szimulációs szoftverben. Az ANSYS saját konvertáló egységgel rendelkezik a legelterjedtebb CAD szoftverek modelltípusainak fordítására, azonban figyelemmel kell lenni a konvertálásra, mivel nem minden adatot hoz át, például a modellek anyagait. Ezeket később a szimulációban szükséges hozzáadni. Összesen öt anyagra készítettem szimulációt: 34CrNiMo6 acél (Steel 4340), Al 7075-T6, gumi, nejlon és poli(metil-metakrilát) (Plexiglass).

4.3. A szimuláció előkészítése

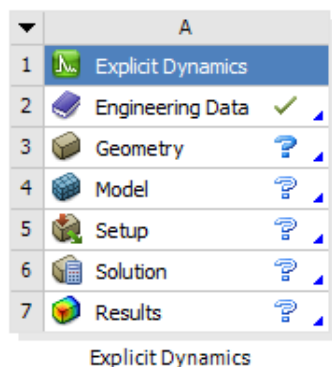
Az szimulációt az ANSYS Workbench-ben van lehetőségem előkészíteni. Több megoldó is rendelkezésemre áll, amelyek közül a számomra releváns megoldó modult a szimulációs asztalra húzva a szimulációhoz adhatom (22. ábra).



22. ábra – ANSYS Workbench felépítése

A lövedékálló anyagok szimulációját az „Explicit Dynamics” modullal van lehetőségem szimulálni. Ez a modul képes az anyagok meghibásodását figyelembe venni, így szakadásnál vagy törésnél nem áll le a szimuláció. A megoldó modulban a modell felépítését több

lépésben végezhetem el, amelyeken a modul grafikus felhasználói felülete végig vezet (23. ábra).



23. ábra – Explicit Dynamics modul felépítése

A modul a következő szinteket tartalmazza:

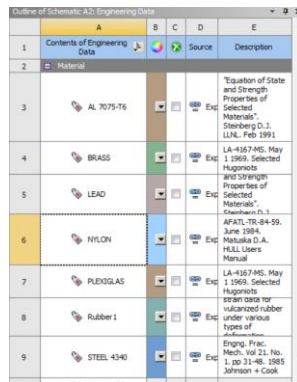
1. Explicit Dynamics – A modul megnevezése.
2. Engineering Data – Itt adhatom hozzá a szimulációhoz szükséges anyagokat
3. Geometry – A szimulációhoz szükséges modellek beolvasása.
4. Model – A geometriák és modellek behálózását, szimmetriáját, érintkezéseit és kapcsolódásait állíthatom be.
5. Setup – A szimuláció adatainak beállítását végezhetem el, mint a szimuláció hossza, eredménypontok száma. Ezen adatok beállítása után elindíthatom a szimuláció megoldását.
6. Solution – A megoldást tartalmazza.
7. Results – Az eredmények kiértékeléséhez és vizualizálásához használható.

A modul lépéseinek megnevezése mellett különböző jelzéseket láthatunk. Ezek azt jelzik, hogy a lépés tartalmazza-e, illetve, ha tartalmazza, akkor frissítve vannak-e a legújabb állapotra a megoldásához szükséges adatok. A szimuláció sikeres futtatásához szükséges, hogy az összes lépés mellett „✓” szimbólum szerepeljen.

4.3.1. Engineering Data

A szimulációhoz szükséges anyagokat hozzáadtam a szimulációhoz az ANSYS alap anyagtárából (24. ábra):

- Brass (sárgaréz) – A köpeny anyaga
- Lead (ólom) – A mag anyaga
- Al 7075-T6
- Nylon
- Rubber
- Steel 4340
- Plexiglass

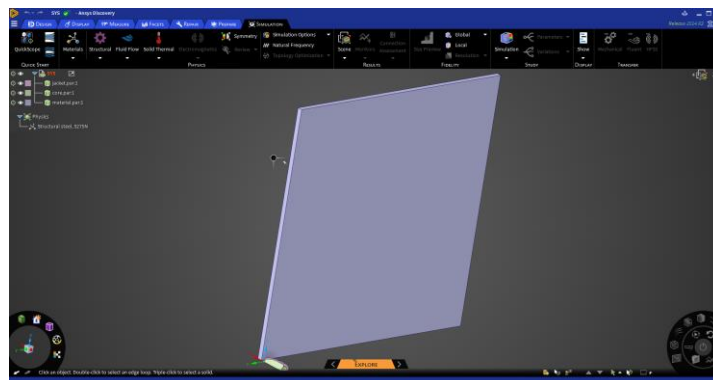


	A	B	C	D	E
	Contents of Engineering Data		Source	Description	
2	Materials				
3	AL 7075-T6		Exp		"Equation of State and Strength Properties of Selected Materials", Steinberg D.J., LNL, Feb 1991.
4	BRASS		Exp		LA-4167-MS, May 1 1969, Selected Hugoniot and Strength Properties of Selected Materials", Steinberg D.J., AFATL, TR-84-59, June 1984, Melnik D.A., HALL Users Manual
5	LEAD		Exp		LA-4167-MS, May 1 1969, Selected Hugoniot and Strength Properties of Selected Materials", Steinberg D.J., AFATL, TR-84-59, June 1984, Melnik D.A., HALL Users Manual
6	NYLON		Exp		LA-4167-MS, May 1 1969, Selected Hugoniot and Strength Properties of Selected Materials", Steinberg D.J., AFATL, TR-84-59, June 1984, Melnik D.A., HALL Users Manual
7	PLEXIGLAS		Exp		LA-4167-MS, May 1 1969, Selected Hugoniot and Strength Properties of Selected Materials", Steinberg D.J., AFATL, TR-84-59, June 1984, Melnik D.A., HALL Users Manual
8	Rubber1		Exp		Engng. Prac. Mech. Vol 21, No. 1, pp 31-46, 1985 Johnson + Cook
9	STEEL 4340		Exp		Engng. Prac. Mech. Vol 21, No. 1, pp 31-46, 1985 Johnson + Cook

24. ábra – Anyagok a szimulációhoz adva

4.3.2. Geometry

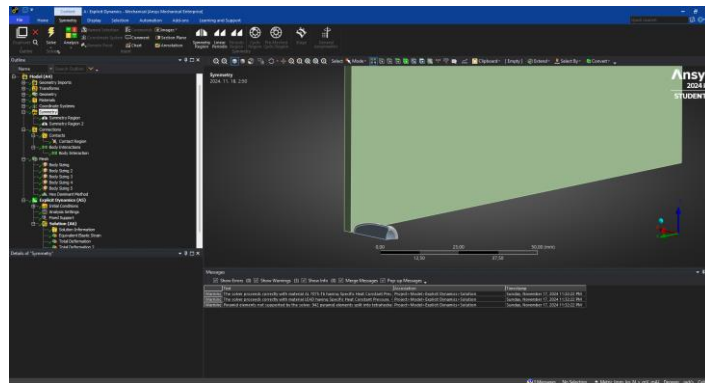
A „Geometry” lépést megnyitva az ANSYS Discovery nevű modul nyílik meg, ahol lehetőségem van a szimulációhoz szükséges modellek létrehozásához és beolvasásához. Mivel már előre elkészítettem a modelleket Solid Edge-ben, így az „Insert Geometry” gomb kiválasztásával lehetőségem van behívni a kész modellt (25. ábra). A modell beolvasása után ebben a lépésben más teendő már nincs.



25. ábra – Beolvasott modell az ANSYS Discovery környezetben

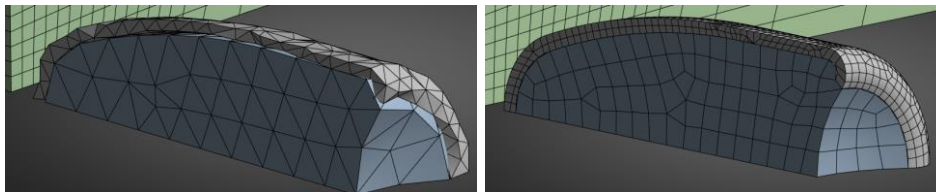
4.3.3. Model

A „Model” lépést megnyitva az ANSYS Mechanical nevű modul nyílik meg (26. ábra). Első lépésben a modellekhez hozzáillesztem az anyagokat. Következőnek a szimmetriasíkokat adtam meg. A szimmetria megadásához a szimmetria síkját szükséges kiválasztani, ennek érdekében vágtam le korábban a modellt $\frac{3}{4}$ -ét, hogy a felületeket megfogva meg tudjam adni. Hálózás előtti lépésben még a modellek érintkezését és kapcsolódását szükséges beállítani. A szimuláció egy érintkezési elemet tartalmaz, ami magába foglalja mind a három modell egymással való interakcióját. Szintén egy kapcsolódást tartalmaz, a mag és a köpeny megosztott felületén, amely jelen szimulációban súrlódásmentesre van beállítva.



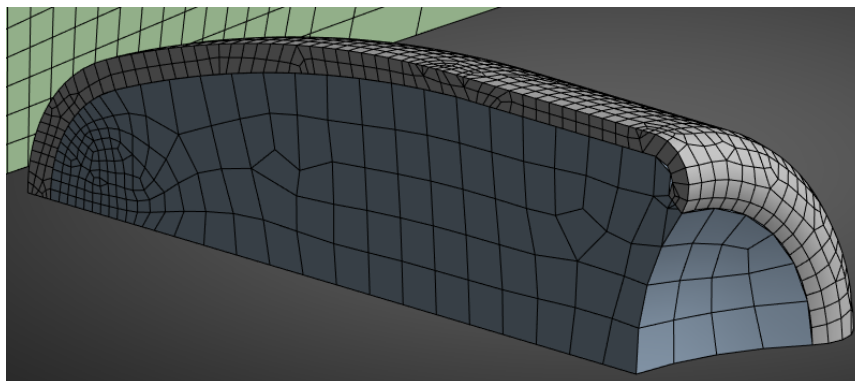
26. ábra – ANSYS Mechanical környezet

Ezután következik a hálózás kialakítása. Az optimális hálózás kialakítása elengedhetetlen a szimulációs eredmények pontossága érdekében. A megfelelő háló nem rendelkezhet túl nagy hálómérettel, mivel a kisebb komponensek túlságosan el fognak térni a valótól, amikor a szoftver megpróbálja egyszerű geometriákká alakítani. A nagyon kis méretű hálók se optimálisak, mivel a szimuláció számítási igényét és ezzel az számítás idejét nagy mértékben növeli. Egy egyszerű, kocka geometria esetében is a háló méretének megfelezésével a hálóelemek száma nyolcszorosára növekszik. Ezen kívül egy optimális hálóméret alatt a szimulációs eredmények pontossága nem fog jelentős mértékben tovább nőni. A 27. ábra egy helytelen és egy helyes hálómodellt mutat be.



27. ábra – Helytelen (balra) és helyes (jobbra) hálómodell

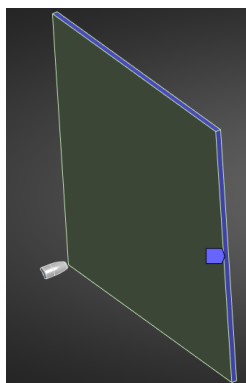
A szimuláció gyorsítása érdekében lehetőségem van lokális hálósűrítést alkalmazni. Így azokon a helyeken, ahol nem várok nagy alakváltozást vagy jelentős feszültségeket, nagy hálóméretet alkalmazhatok, viszont azokon a helyeken, amelyeken számomra jelentős alakváltozás vagy feszültség ébred kisebb hálómodellt alkalmazhatok a pontosság növelése érdekében. A modellen a lövedék csúcsánál és a lemez becsapódási területén alkalmaztam sűrítést (28. ábra).



28. ábra – Lokális hálósűrítés

Következőnek a kezdő feltételeket adtam meg, ezek közül is számomra a lövedék lineáris és forgási sebessége lesz fontos. Lineáris sebességnek $383 \frac{m}{s}$ -ot választottam, amely az L3 lövedékállósági szint maximális sebességéből adódik, $10 \frac{m}{s}$ biztonsági ráhagyással. A lövedék forgási sebességét fordulatszámmal jellemeztem, amelyhez $1000 \frac{1}{min}$ fordulatszámot választottam.

Az utolsó lépés, amelyet a „Model” szinten végeztem, a kényszerek létrehozása volt. A modell összesen két kényszert tartalmaz, amelyek a lemez két oldalán találhatóak. Ezek teljesen földhöz kötöttek (29. ábra).



29. ábra – Földhöz kötött kényszerek pozíciója

4.3.4. Setup

Ebben a lépésben állítottam be a szimuláció hosszát, és az eredménypontok mennyiségét. Ezeket anyagonként változtatnom kellett, mivel egyes anyagokon a lövedék áthatolt, ezzel rövidebb idő is elegendő volt a szimuláció lefuttatásához, más anyagokon viszont nem hatolt át, így a lövedék deformációjához több időre volt szükség. Ezen kívül néhány értéken változtatni kellett, mivel az anyag tulajdonságaitól függenek.

4.3.5. Solution

A megoldás elindítása után a szoftver kiszámította az eredményeket.

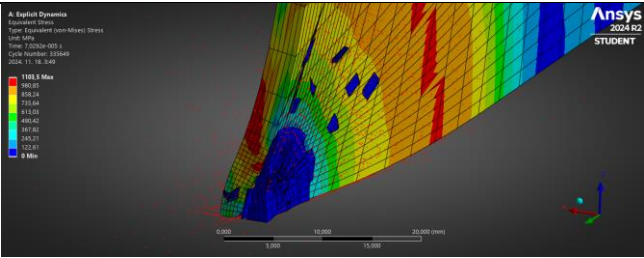
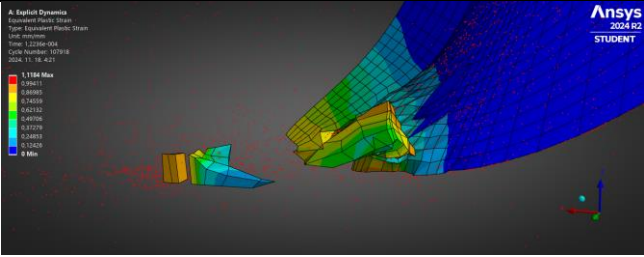
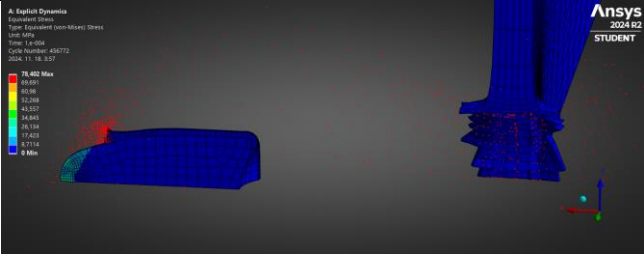
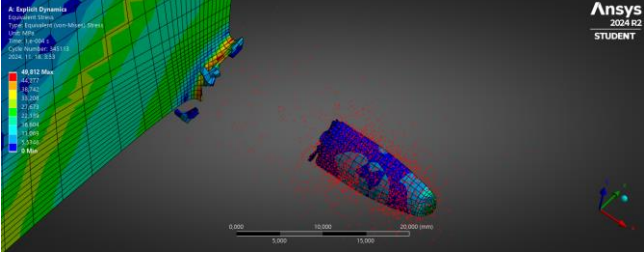
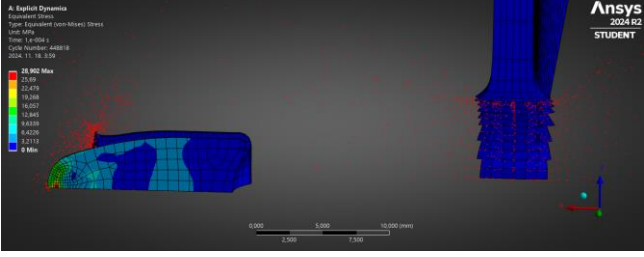
4.3.6. Results

Az eredmények megjelenítése több módon is történhet, a szoftver lehetőséget ad deformáció, nyúlás és feszültség megjelenítésére. Ezen kívül energiát is tudok grafikonokon megjeleníteni.

4.4. Eredmények kiértékelése

Az eredményeken átütés és a lövedék deformációja szempontjából elemeztem. Az eredményeket a 4. táblázat foglalja össze.

4. táblázat – Szimulációs eredmények kiértékelése

Anyag	Átütés	Lövedék alakváltozása	Kép
Steel 4340	NEM	Szétlapulás	 ANSYS 2024 R2 STUDENT Stress Legend: 1105.1 Max, 990.35, 982.24, 719.64, 632.02, 480.42, 481.82, 345.21, 122.81, 0 Min
Al 7075-T6	IGEN	Széttörés	 ANSYS 2024 R2 STUDENT Stress Legend: 1.1184 Max, 0.95411, 0.68805, 0.74319, 0.62132, 0.46706, 0.37209, 0.24519, 0.13325, 0 Min
Gumi	IGEN	Köpeny felszakadt	 ANSYS 2024 R2 STUDENT Stress Legend: 76.402 Max, 69.691, 69.986, 52.348, 43.222, 34.843, 26.184, 17.423, 9.714, 0 Min
Nylon	IGEN	Köpeny teljes mértékben levált	 ANSYS 2024 R2 STUDENT Stress Legend: 48.912 Max, 44.777, 44.761, 39.304, 33.455, 27.194, 20.886, 14.491, 8.146, 0 Min
Plexiglass	IGEN	Köpeny felszakadt	 ANSYS 2024 R2 STUDENT Stress Legend: 26.902 Max, 23.69, 23.474, 19.348, 16.022, 12.843, 9.618, 6.428, 3.213, 0 Min

5. A vizsgálat folyamata

5.1. Alap adatok

A lövedékálló anyag tesztelését a táborfalvai ballisztika laborban végeztem el. A vizsgálatra elkészített három próbadarab méretei 300x300 milliméter, a vastagságukat és a tömegüket külön lemértem (5. táblázat) a laborban található mérőeszközökkel (30. ábra). A vastagság mérését 5 helyen végeztem el a munkadarabon, majd ezek átlagát jegyeztem fel.



30. ábra – Mérőeszközök a laborban

5. táblázat – Mért adatok

Megnevezés	Sorszám	Tömeg (g)	Átlag vastagság (mm)
Pillanatragasztott kevlár	1	368	5,05
Epoxy erősítés	2	654	5,482
PU erősítés	3	616	5,9226

A vizsgálat előtt leolvastam a környezeti adatokat, hogy megfelelőek lesznek-e a vizsgálat végrehajtásához. A mért értékek:

- hőmérséklet: 23 °C
- relatív páratartalom: 73 %
- légnyomás: 1,03 bar

A vizsgálatot az MSZ K 1114-1 1999 magyar katonai szabvány előírásai alapján végeztem el. A teszthez egy befogószerkezetbe elhelyezett fegyvercsövet használtam, amely egy elsütőszerkezettel rendelkezett. Ez lehetővé tette, hogy kizárjam az emberi és a lőfegyver mechanikus szerkezetéből adódó hibákat. A befogószerkezettel lehetőségünk volt célzásra is (31. ábra).



31. ábra – A fegyvercső és a befogószerkezet

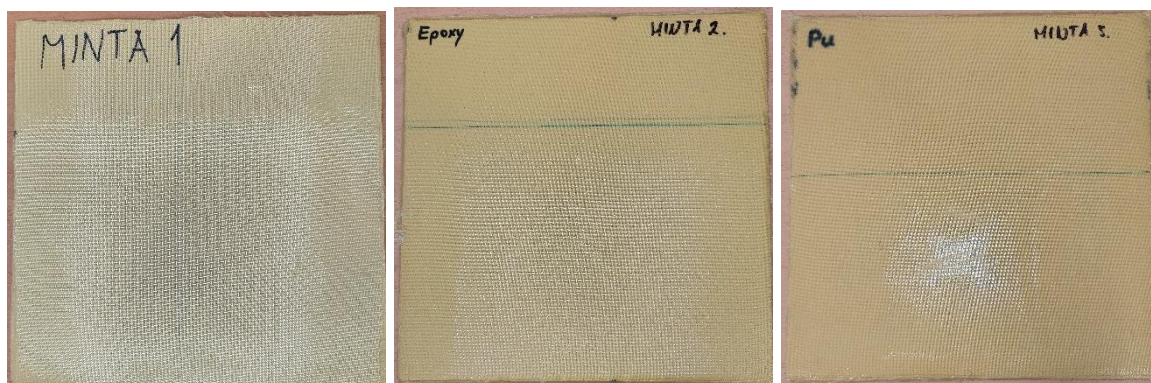
A tesztet Blazer gyártmányú 9x19 Parabellum Luger lövedékkel végeztem el (32. ábra). A lövedék teljes fémköpenyes (full metal jacket, FMJ), tömege 124 grain, közel 8,04 gramm.



32. ábra – A használt lőszer (jobbra) és a csomagolása (balra)

5.2. A vizsgálat előkészítése

A szabvány két vizsgálati módot is előír. Az első, amelyet én is elvégeztem, a próbadarabokat szárazon teszteli, a második pedig nedves körülmények között vizsgálja. Mivel száraz próbát végeztem, így nem volt szükség egyéb előkészületre a próbadarabok kondicionálása terén. A mintadarabokat az előkészítő helységben felcímkéztem egy-egy sorszámmal (33. ábra).



33. ábra – Felszámozott mintadarabok

A próbadarabot a löfolyosón helyeztem el, a lőfegyver magasságában, attól 5 méter távolságban, amelyre az MSZ K 1114-1 1999 szabvány $\pm 0,1$ méter tűrést ír elő. Mögötte egy keretbe ballisztikai gyurmát helyeztem, amelyben a lövedék becsapódása során kialakul és megmarad a lövedék okozta lenyomat (34. ábra).



34. ábra – A próbadarabot tartó keret és gyurma a próbadarab rögzítése előtt (bal) és után (jobb)

Miután a próbadarabot hozzáerősítettem a ballisztikai gyurmát tartalmazó kerethez, feljelöltem rajta a pontokat, amelyekre célozva a próbálövéseket leadtam. A löfolyosót elhagytam, mivel nem lett volna biztonságos a becsapódás pillanatában a lövedékkel egy légtérben tartózkodni.

5.3. A vizsgálat során használt mérőeszközök

5.3.1. Mélységmérő tolómérő

A vizsgálat során a lenyomat mélységének mérésére mélységmérő tolómérőt alkalmaztam. A mérőeszköz abban különbözik egy hagyományos tolómérőtől, hogy külső és belső mérőpofák helyett olyan pofákkal rendelkezik, amellyel lehetőségem van a mélységmérő tolómérőt a mérési bázis síkjára merőlegesen beállítani, ezzel egyben ettől a síktól kezdi mérni a mélységet.

5.3.2. Sebességmérő fénykapu

A lövedék sebessége fontos a vizsgálat kiértékelése szempontjából. A lövedék sebessége, illetve a lövés érvényessége szerint a 6. táblázatban összefoglalt eseteket különböztethetem meg.

6. táblázat – A lövedék sebességének és a lövés érvényességének összefüggése

	A lövedék nem hatolt át, a lenyomat mélysége kisebb, mint a megengedett	A lövedék áthatolt, a lenyomat mélysége nagyobb, mint a megengedett
A lövedék sebessége tűrés alatt	A lövés nem szabályos, ismétlés szükséges	A lövés szabályosnak tekinthető
A lövedék sebessége tűrésen belül	A lövés szabályos	A lövés szabályos
A lövedék sebessége tűrés felett	A lövés szabályosnak tekinthető	A lövés nem szabályos, ismétlés szükséges

A lövedék sebességének mérésére a fegyvercső és a próbadarab közé kettő fénykapu van beépítve (35. ábra). A fénykapu infravörös fénnel működik, amelynek előnye, hogy a környezetből származó fényforrások zavaró hatása kisebb, illetve nagyobb távolság áthidalására képes a vörösfényhez képest. [20]



35. ábra – A lőfolyosón beszerelt fénykapuk

A fénykapu két részre bontható fel:

1. A fényforrás (adó): az infravörös fényt szolgáltatja, amelyet függőleges irányba, síkban háromszög alakban bocsátja ki az infravörös fényt. A fényháromszög egy méter magasságban fél méter vastagságot ér el, azaz a fényforrás megközelítőleg 28°-ban sugározza a fényt (36. ábra).



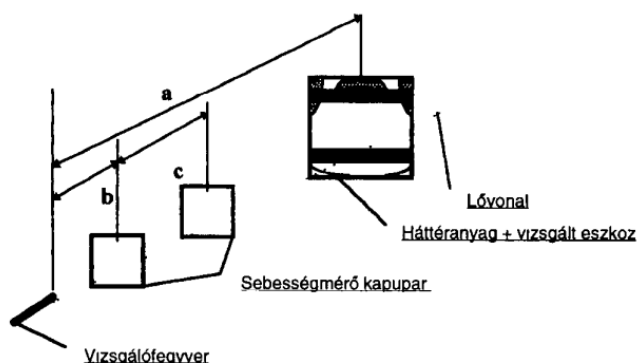
36. ábra – A fénykapu fényforrása

2. A fénydetektor (vevő): a fény beérkezését érzékeli (37. ábra).



37. ábra – A fénykapu detektora

A fénykapuk elrendezését az MSZ K 1114-1 1999 szabvány előírja. A szabvány alapján a fegyvercső és az első fénykapu közötti „b” távolság 2 méter $\pm 0,05$ méter tűréssel. A két kapu közötti „c” távolság 1 méter szintén $\pm 0,05$ méter tűréssel (38. ábra).



38. ábra – A fénykapuk elhelyezkedése [3]

5.4. A vizsgálat kiértékelése

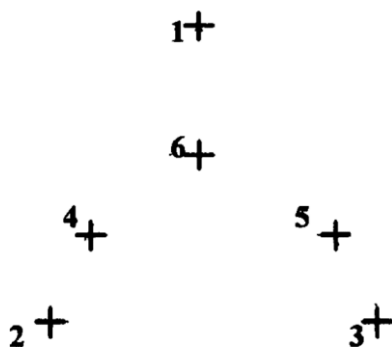
Az MSZ K 1114-1 1999 különböző védelmi fokozatokat különböztet meg, én ezek közül célzottan választottam ki az L4 védelmi fokot, amely nagy sebességű 8 gramm névleges tömegű, teljes fémköpenyes, ólommagvas 9 mm-es Parabellum lövedék megállítására képes legalább 426 m/s sebességnél.

A próbadarab akkor felel meg az L4-es szintnek, amennyiben a lövedék nem üti át, illetve nem hagy 25 milliméternél mélyebb lenyomatot a ballisztikai gyurmában.

A vizsgálatot három fázisban hajtottam végre, szárazon. Először csak egy lövedéket lőttem rá, a lőfegyver csövével merőlegesre állítva, amennyiben ez nem ütötte át a próbadarabot, illetve nem hagyott 25 milliméternél mélyebb lenyomatot még 2 lövést hajtok végre, szintén merőlegesen a próbadarabra.

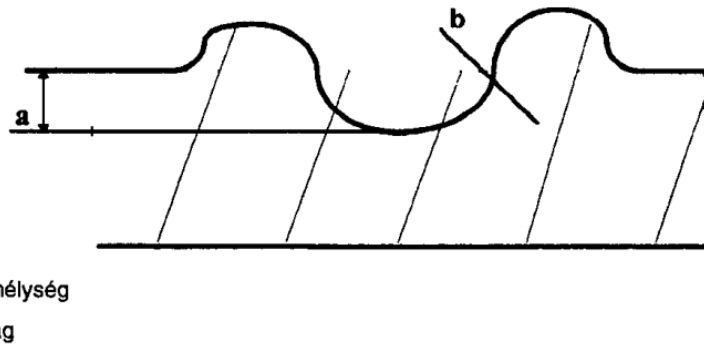
Amennyiben ezekben az esetekben se történt áthatolás, még három lövést hajtok végre. A negyedik vizsgálólövedék a próbadarabra $+30^\circ$ szögben, az ötödik -30° szögben érkezik, amelyet a próbatest beforgatásával érhetek el. A hatodik és egyben utolsó lövedék újra merőlegesen van rálőve.

A próbálövés érvényességének elsődleges feltétele, hogy a találatok eltalálják a próbatestet. Ezen kívül szükséges még, hogy a találat a próbadarab szélétől legalább 76 milliméterre legyen, illetve, ha volt előzetes találat, attól legalább 50 milliméterre helyezkedjen el az új találat. Egyéb feltétele még, hogy a becsapódási szög $\pm 5^\circ$ tartományban kell, hogy elhelyezkedjen a szándékolt becsapódási szögtől, a lövedék ütközési sebessége pedig legfeljebb $15 \frac{m}{s}$ -ban térhet el a szabvány által előírt sebességtől. Az L4 védelmi fokozat esetében az előírt ütközési sebesség $426 \frac{m}{s}$. A találatok helyére a szabvány tartalmaz egy javaslatot (39. ábra). [3]



39. ábra – Az MSZ K 1114-1 1999 által javasolt találati helyek [3]

A lenyomat mélységének mérésénél fontos, hogy a lenyomat felpúposodott szélét lelapítsam, és az alapsíktól mérjem le a mélységet. Ennek elhalasztása pontatlan mérést eredményez (40. ábra). [3]



40. ábra – A lenyomat mélységének értelmezése [3]

5.5. A vizsgálat lefolyása

A vizsgálatot három alcímben fejtem ki, a három próbadarabnak megfelelően. A vizsgálatot nem az előírt lövedék sebességgel végeztem el, így az általam lövedékállónak megállapított anyag sem lenne megfelelő az L4 kategóriának.

5.5.1. Pillanatragasztott kevlár tesztelése.

A próbadarab az első lövést sikeresen megállította, azonban a lenyomat mélysége 29,1 milliméter volt, amely így meghaladta a megengedettet. Ennek ellenére még elvégeztem a második és harmadik lövést, amelyet szintén sikeresen megállított (41. ábra). Ezen lövések lenyomatmélységét és a lövedék sebességét már nem is mértem le.



41. ábra – Első próbadarab vizsgálata: próbadarab rögzítve (bal), harmadik lövés után (közép), lenyomatok (jobb)

A vizsgálat után a próbadarabot levettük, és a lövedék behatolását vizsgáltam. A harmadik lövés penetrációjának vizsgálatához a próbadarab rétegeit szétválasztottam. Ez volt az egyetlen anyag, amelynél ezt kézzel meg tudtam tenni (42. ábra). A lövedék összesen hét aramidszálas rétegen hatolt át.



42. ábra – A pillanatragasztott anyag rétegei szétválasztva a traumazónában

Az adatok összesítése 7. táblázatban található. A vizsgálat előtti és utáni állapot összehasonlítása a 43. ábraán látható.

7. táblázat – Pillanatragasztott kevlár mért adatai

Lövés száma	Lövés szöge	Lövedék sebessége (m/s)	Lenyomat mélység (mm)	Megfelelőség
1.	0°	373	29,1	NEM
2.	0°	-	-	-
3.	0°	-	-	-



43. ábra – Az első próbadarab vizsgálat előtt és után

5.5.2. Epoxy erősítésű kevlár tesztelése

A próbadarab az első lövést sikeresen megállította, a lenyomat mélysége 17,42 milliméter volt, így megfelelt a követelményeknek. Ezután elvégeztem a második és harmadik lövést (44. ábra).



44. ábra - Második próbadarab vizsgálata: próbadarab rögzítve (bal), harmadik lövés után (közép), lenyomatok (jobb)

A második lövést a fénykapu nem volt képes lemérni, így ez az adat nem áll rendelkezésemre, pedig ebben az esetben lett volna a legfontosabb, mivel a lövedék áthatolt a próbadarabon. Az epoxy réteg keménysége és szilárdsága miatt az anyag kimetszésére lombfűrészt kellett használnom. Az első próbadarabhoz hasonlóan itt is a harmadik lövést vizsgáltam meg, ahol lövedék négy aramidszálas rétegen hatolt át (45. ábra).



45. ábra – Az epoxy erősítésű anyag traumazónája kifűrészelve

Az adatok összesítése a 8. táblázatban található. A vizsgálat előtti és utáni állapot összehasonlítása a 46. ábraán látható.

8. táblázat – Epoxy erősítésű kevlár mért adatai

Lövés száma	Lövés szöge	Lövedék sebessége (m/s)	Lenyomat mélység (mm)	Megfelelőség
1.	0°	345	17,42	IGEN
2.	0°	-	-	ÁTÜTÉS
3.	0°	361	-	-



46. ábra – A második próbadarab vizsgálat előtt és után

5.5.3. Poliuretán erősítésű kevlár tesztelése

A próbadarab az első lövést sikeresen megállította, a lenyomat mélysége 23,2 milliméter volt, így megfelelt a követelménynek. Ezt követően lenyomat mélységet már nem mértem. A második és a harmadik lövéskor sem történt áthatolás. Ezután a próbadarabot -30° -ra állítottam, és elvégeztem a negyedik lövést, amelynek szintén megfelelt. Az ötödik lövéshez a próbadarabot $+30^\circ$ -ra állítottam. Az ötödik lövésnek is megfelelt. A hatodik lövéshez a fegyvercsőhöz merőlegesen állítottam a próbadarabot. A hatodik lövésnek is megfelelt, így az összes lövés után megállapítható, hogy ez a próbadarab lövedékállóknak tekinthető (47. ábra).



47. ábra – Harmadik próbadarab vizsgálata: próbadarab rögzítve (bal), harmadik lövés után (közép), lenyomatok (jobb)

Az anyag rugalmasságából adódóan fűrészeléssel nehéz lett volna elvágni, ezért kertészeti metszőollót alkalmaztam, amely viszonylag hatásosnak bizonyult. A metszetet megvizsgálva megállapítottam, hogy a harmadik lövésnél a lövedék tíz aramidszálas rétegen hatolt át (48. ábra).



48. ábra – A poliuretán erősítésű anyag traumazónája kimetszve

Az adatok összesítése a 9. táblázatban található. A vizsgálat előtti és utáni állapot összehasonlítása a 49. ábraán látható.

9. táblázat – Poliuretán erősítésű kevlár mért adatai

Lövés száma	Lövés szöge	Lövedék sebessége (m/s)	Lenyomat mélység (mm)	Megfelelőség
1.	0°	367	23,2	IGEN
2.	0°	374	-	IGEN
3.	0°	383	-	IGEN
4.	-30°	377	-	IGEN
5.	+30°	378	-	IGEN
6.	0°	374	-	IGEN

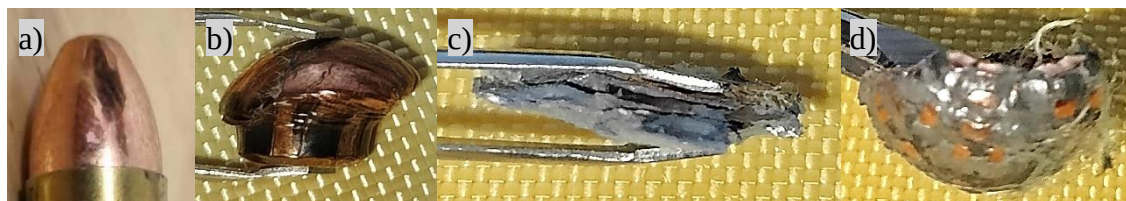


49. ábra – A harmadik próbadarab vizsgálat előtt és után

5.5.4. Lövedékek deformációjának összehasonlítása

Az anyagok roncsolásos vizsgálata és az áthatolt aramidszálas rétegek megszámlálása után a lövedékeket kivettem a próbadarabokból, és a deformációjukat összehasonlítottam. A megfelelő lövedékálló anyagok a próbatest első rétegeiben a lövedékben nagy alakváltozást okoznak, hogy csillapítsák a becsapódási energiát. Amennyiben semmilyen alakváltozást

nem szenved el a lövedék, az a csúcán keresztül megközelítőleg egy ponton adja le az összes mozgási energiáját. A deformációval azonban az mozgási energia és a becsapódási erő nagyobb felületen oszlik el, így csökkentve az anyagban ébredő feszültségeket, lehetőséget adva a lövedék megállítására. A lövedékek egymás mellett az eredeti fegyvercsőbe töltött lövedékkel összehasonlítva a 50. ábraán láthatóak.



50. ábra – A lövedékek összehasonlítása: a) eredeti lövedék, b) pillanatragasztott anyagba csapódott lövedék, c) epoxy erősítésű anyagba csapódott lövedék, d) poliuretánba csapódott lövedék

A lövedékek deformációjából a következő következtetéseket vontam le:

- Pillanatragasztott anyagba csapódott lövedék

A pillanatragasztott anyagba csapódott lövedék deformálódott a legkevésbé, amely az általa hagyott lenyomat mélységén is észrevehető (51. ábra). Az anyag az első rétegeiben nem okozott kellő alakváltozást, így a mozgási energia legnagyobb része a lövedék becsapódási irányában adódott át, ezzel a lenyomatmélységet megnövelve. Ebből megállapítható, hogy az aramidszálak magukban nem képesek kellően csillapítani a becsapódást, ehhez kötőanyag vagy más anyagból álló rétegekre is szükség van.

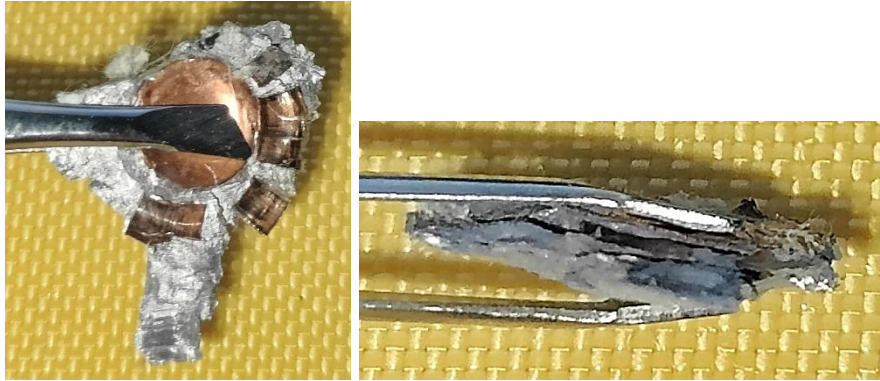


51. ábra – A pillanatragasztott anyagba csapódott lövedék

- Epoxy erősítésű anyagba csapódott lövedék

Az epoxy erősítésű anyagba csapódott lövedék deformálódott a legjobban, amelyet jól tükröz az általa hagyott lenyomatmélység (52. ábra). A lövedék teljesen kilapult, hasonlóan a szimuláció során az acéllemezbe lőtt lövedékhez. Ennél az anyagnál fordult elő a legkisebb lenyomatmélység. A kemény epoxy rétegeket az aramidszálak között, illetve azokba beivódva képesek voltak

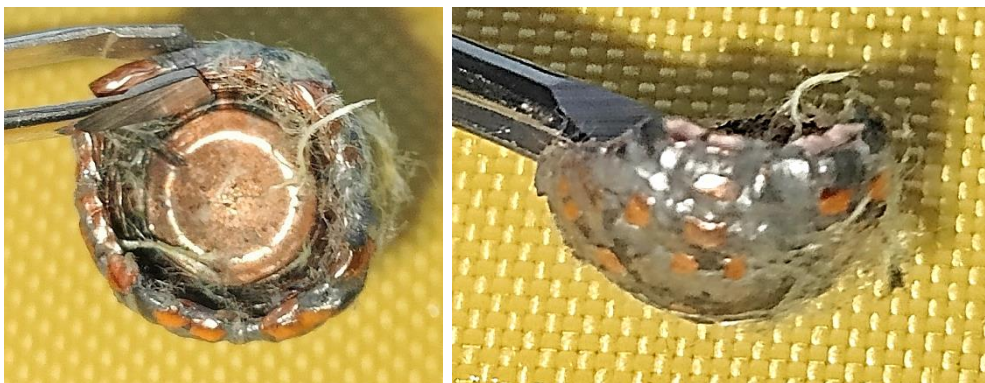
akkora deformációt elérni, amely elegendő volt a lövedék megállítására. Azonban az anyag megnövelt keménysége az anyag ridegségét is okozta, amely a második lövésben látszódik igazán. Az anyag ezen a ponton nem tudta megállítani a lövedéket, ennek okának felderítésére azonban több kutatásra van még szükség.



52. ábra – Az epoxy erősítésű anyagba csapódott lövedék

– Poliuretán erősítésű anyagba csapódott lövedék

A poliuretán erősítésű anyagba csapódott lövedék viszonylag jól alakváltozott. Az alakváltozás a pillanatragasztott anyag lövedékétől jelentősebb volt, viszont kisebb volt, mint az epoxy erősítésű anyag lövedéke esetében (53. ábra). A lenyomat mélysége is ezt tükrözi, ahol a pillanatragasztott anyag lenyomatmélységétől kisebbet mértük, az epoxy erősítésű anyagétól viszont nagyobbat.



53. ábra – A poliuretán erősítésű anyagba csapódott lövedék

6. Összefoglalás

6.1. Eredmények összegzése

A vizsgálatok eredményeiből a következő megállapításokra jutottam:

- A 20 réteg pillanatragasztott kevlár réteg nem csillapítja megfelelő mértékben a lövedék becsapódását, így mindenféleképp szükség van a rétegek számának megnövelésére vagy egyéb anyagok használatára.
- Az epoxy erősítésű aramidszálal anyag csillapította legjobban a lövedék becsapódását azon lövésnél, amelyet megállított. Viszont mivel egy lövés áthatolt rajta, nem tekinthető lövedékállóállónak.
- A poliuretán erősítésű aramidszálal anyag a pillanatragasztott anyag és az epoxy erősítésű anyag között helyezkedik el tulajdonságait tekintve. A lövedéket nem csillapította olyan mértékben, mint az epoxy erősítésű anyag, viszont a pillanatragasztottól hatásosabb volt. Cserébe viszont az anyag szívóssága nagyobb, mint az epoxy erősítésűé, amelyen az anyag merevsége és ridegsége miatt az egyik lövés át tudott hatolni.
- Mivel a vizsgálatot csökkentett lövedéksebességgel végeztem el, így egyetlen anyag se tekinthető lövedékállóállónak az L4-es szintre. Azonban a vizsgálatom sokkal szigorúbban vizsgálta a lenyomat mélységét, így L3-as szintnek megfelelő védelmet nyújtottak a pillanatragasztott és a poliuretán erősítésű anyagok.

6.2. Fejlesztési lehetőségek

A kutatás továbblépésének és következő fázisainak ezeket a további kutatásokat tartom célratorőnek:

1. poliuretán öntőgumi erősítésű aramidszálal lövedékálló anyag további vizsgálatai:

A vizsgálatok során a poliuretán erősítésű öntőgumi teljesített a legjobban a lövedékálló anyagok közül, így a következő kutatásokat érdemes lenne ezzel az anyaggal végezni.

2. megállapítani, hogy az epoxy erősítésű lövedékálló anyag miért engedte át a második számú lövedéket:

Az epoxy erősítésű lövedékálló anyag jól teljesített az első és a harmadik lövésnél, sőt, a lövedékálló anyagok közül ennél hatolt át a legkevesebb rétegen a lövedék, szám szerint négy rétegen, és ennél az anyagnál volt a legkisebb a mért

lenyomatmélység. Azonban a második lövésnél a lövedék teljesen átütötte a próbadarabot. Ennek oka jelenleg ismeretlen, azonban a probléma felderítésével az epoxy erősítésű lövedékálló anyagot is érdemes lenne újra vizsgálni, és teljes mértékben kihozni a benne rejlő potenciált.

3. más anyagok rétegzése a kompozitba, ezen lehetőségek vizsgálata:

Az jelenlegi aramidszálas rétegek mellett más anyagokat is lehetne a lövedékálló anyagba rétegelni, például más polimer vagy műanyag lapot, vagy esetleg fémrácsot, és ezen kompozitok viselkedését lehetne vizsgálni.

4. lövedékálló anyag testpáncélba való átalakítása:

Azzal, hogy elkészítettem a lövedékálló anyagot és leteszteltem őket, még nem oldottam meg azok felhasználását. Az anyagokból szükséges lenne valós lövedékálló mellényeket kialakítani, és azokat ugyanígy újra vizsgálni a lövedékellenállóságra, illetve egyéb kényelmi tényezőkre is kiterjesztve már a vizsgálatot.

7. Ábrajegyzék

1. ábra – Egy feltehetőleg 6000 éves kőbuzogány [6].....	7
2. ábra – A Narmer Paletta [4].....	8
3. ábra – Kínai fűzött páncél [5].....	9
4. ábra - Kelta kétrészes mellvért	9
5. ábra – Mükénéi Dendra Panoply [5]	10
6. ábra – Nagy Sándor linothorax páncélban [5]	10
7. ábra – A Lorica Hamata sodronyvért vállvédővel kiegészítve [5]	11
8. ábra - Lorica Segmenta páncél [5].....	11
9. ábra – Harci páncél, díszpáncél és tornapáncél balról jobbra [5].....	12
10. ábra – Brigantin mellvért [5]	13
11. ábra – Japán szamuráj páncél [5].....	13
12. ábra – Acél sisak, az arcot védő láncokkal ellátva [10].....	14
13. ábra – Német típusú páncél az első világháborúban [11].....	15
14. ábra – Brewster-féle páncél [12]	15
15. ábra – Amerikai bombázó legénység repesz mellényekben [13]	16
16. ábra – Aramidszálas szövet	18
17. ábra – Pillanatragasztott anyagú próbadarab	19
18. ábra – Epoxy erősítésű próbadarab.....	19
19. ábra – Poliuretán erősítésű próbadarab.....	20
20. ábra – 9 mm Parabellum FMJ lövedék méretei [19]	21
21. ábra – Solid Edge szerelés modell	22
22. ábra – ANSYS Workbench felépítése	22
23. ábra – Explicit Dynamics modul felépítése	23
24. ábra – Anyagok a szimulációhoz adva	24
25. ábra – Beolvasott modell az ANSYS Discovery környezetben	24
26. ábra – ANSYS Mechanical környezet.....	25
27. ábra – Helytelen (balra) és helyes (jobbra) hálómodell.....	25
28. ábra – Lokális hálósűrítés	26
29. ábra – Földhöz kötött kényszerek pozíciója	26
30. ábra – Mérőeszközök a laborban	29
31. ábra – A fegyvercső és a befogószerkezet.....	30
32. ábra – A használt lőszer (jobbra) és a csomagolása (balra).....	30
33. ábra – Felszámozott mintadarabok	30
34. ábra – A próbadarabot tartó keret és gyurma a próbadarab rögzítése előtt (bal) és után (jobb)	31
35. ábra – A löfolyosón beszerelt fénykapuk	32
36. ábra – A fénykapu fényforrása	33
37. ábra – A fénykapu detektora.....	33
38. ábra – A fénykapuk elhelyezkedése [3].....	33
39. ábra – Az MSZ K 1114-1 1999 által javasolt találati helyek [3].....	34
40. ábra – A lenyomat mélységének értelmezése [3]	35
41. ábra – Első próbadarab vizsgálata: próbadarab rögzítve (bal), harmadik lövés után (közép), lenyomatok (jobb)	35
42. ábra – A pillanatragasztott anyag rétegei szétválasztva a traumazónában	36
43. ábra – Az első próbadarab vizsgálat előtt és után.....	36
44. ábra - Második próbadarab vizsgálata: próbadarab rögzítve (bal), harmadik lövés után (közép), lenyomatok (jobb)	37
45. ábra – Az epoxy erősítésű anyag traumazónája kifűrészelve	37

46. ábra – A második próbadarab vizsgálat előtt és után	38
47. ábra – Harmadik próbadarab vizsgálata: próbadarab rögzítve (bal), harmadik lövés után (közép), lenyomatok (jobb)	38
48. ábra – A poliuretán erősítésű anyag traumazónája kimetszve.....	39
49. ábra – A harmadik próbadarab vizsgálat előtt és után.....	39
50. ábra – A lövedékek összehasonlítása: a) eredeti lövedék, b) pillanatragasztott anyagba csapódott lövedék, c) epoxy erősítésű anyagba csapódott lövedék, d) poliuretánba csapódott lövedék	40
51. ábra – A pillanatragasztott anyagba csapódott lövedék.....	40
52. ábra – Az epoxy erősítésű anyagba csapódott lövedék	41
53. ábra – A poliuretán erősítésű anyagba csapódott lövedék.....	41

8. Irodalomjegyzék

- [1] „National Institute of Justice Standards Levels Explained,” [Online]. Available: <https://defenshield.com/ballistic-levels-explained/>. [Hozzáférés dátuma: 15 11 2024].
- [2] „Protection levels B1-B7 vs VPAM,” [Online]. Available: <https://www.aurum-security.de/en/standards/protection-levels-b1-b7-and-vpam>. [Hozzáférés dátuma: 16 11 2024].
- [3] „Magyar Katonai Szabvány - Testpáncélok”. Magyarország Szabadalom száma: MSZ K 1114-1, 09 1999.
- [4] J. F. Guilmartin, „Prehistory,” 25 09 2024. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/technology/military-technology/Prehistory>. [Hozzáférés dátuma: 21 10 2024].
- [5] M. Z. Williamson, „Baen,” 2019. [Online]. Available: <https://www.baen.com/bodyarmor>. [Hozzáférés dátuma: 21 10 2024].
- [6] „Pear-Shaped Mace,” 15 06 2021. [Online]. Available: <https://talesfromthetwolands.org/2021/06/15/pear-shaped-mace/>. [Hozzáférés dátuma: 19 11 2024].
- [7] E. B. Roy C. Laible, „Method and Phenomena,” in *Ballistic Materials and Penetration Mechanics*, Natick, USA, Elsevier Scientific Publishing Company, 1980, pp. 9-40.
- [8] T. László, A harci vértetékek története, Debreceni Egyetem, 2009.
- [9] „The History of the Bulletproof Vest,” [Online]. Available: <https://bulletproofsafe.com/pages/the-history-of-bulletproof-vests?srsId=AfmBOopxS8UqQEzkQXgKI3KjsvOei2qVxTa4j6VQSHaj4hYNv2n928jh>. [Hozzáférés dátuma: 11 11 2024].
- [10] L. Metesh, „Types of Body Armor in World War I,” 16 07 2024. [Online]. Available: <https://www.ammoland.com/2024/07/types-of-body-armor-in-world-war-i-video/>. [Hozzáférés dátuma: 11 11 2024].
- [11] „WW1 German Trench Armour,” [Online]. Available: <https://www.epicmilitaria.com/ww1-german-metal-armour.html>. [Hozzáférés dátuma: 11 11 2024].
- [12] ilprinsi, „Uomini Contro,” 27 09 2022. [Online]. Available: <https://mab.forumfree.it/?t=79312197>. [Hozzáférés dátuma: 19 11 2024].
- [13] bluechurch, „Colonial Soldiers with their armor awaiting their first 'Ballistics Test' at the Proving Grounds,” 2021. [Online]. Available: https://www.reddit.com/r/foxholegame/comments/szrgwx/colonial_soldiers_with_their_armor_awaiting_their/?rdt=38647. [Hozzáférés dátuma: 19 11 2024].
- [14] „The History of Kevlar®,” [Online]. Available: <https://www.safeguardclothing.com/blogs/news/the-history-of-kevlar>. [Hozzáférés dátuma: 12 11 2024].
- [15] „Stephanie L. Kwolek,” [Online]. Available: <https://www.sciencehistory.org/education/scientific-biographies/stephanie-l-kwolek/>. [Hozzáférés dátuma: 12 11 2024].
- [16] HMika, „Vilaglex,” [Online]. Available: https://vilaglex.hu/Kemia/Html/Poliamid_.htm. [Hozzáférés dátuma: 20 10 2024].

- [17] d. O. Sylvia, „Quattroplast,” 2024. [Online]. Available: https://quattroplast.hu/wp-content/uploads/2024/07/MISZ_2024_58.pdf. [Hozzáférés dátuma: 20 10 2024].
- [18] „Dostkimya,” [Online]. Available: <https://www.dostkimya.com/en/products/aramid-fiber-fabrics//aramid-fiber-fabric-200g-m2--plain>. [Hozzáférés dátuma: 20 10 2024].
- [19] A. W. Michał Gmitrzuć, „Validation of Numerical Model of the Twaron® CT709 Ballistic Fabric,” Zielonka, 2014.
- [20] K. György. [Online]. Available: http://zeus.nyf.hu/~elati/Szenzorika_Festo.pdf. [Hozzáférés dátuma: 20 10 2024].