

**SZENT ISTVÁN EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR**



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

LÖVEDÉK PÁNCÉLLEMEZRE GYAKOROLT HATÁSÁNAK METALLOGRÁFIAI VIZSGÁLATA

*Metallographical Examination of the Effect of Projectile on the
Steel-plate*

Készítette: **Kesztler Miklós Kornél**
gépészmérnöki szak

Belső konzulens: **Dr. Szakál Zoltán**
egyetemi adjunktus

Külső konzulens: **Gávay György**
egyetemi tanársegéd (NKE)

2014. Gödöllő

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés	4
1.1. Előzmények	4
1.2. Kutatási célja és körülményei	5
1.3. A kutatás menete	7
2. Lőtéri vizsgálatok.....	9
2.1. A tesztlövészet végrehajtása.....	9
2.2. A vizsgálati helyszín felépítése	9
2.3. Az alkalmazott vizsgálócsövek	10
2.4. A lövedék sebességének mérése	11
2.5. A lemezek befogása	11
2.6. A felhasznált löszerek és vizsgálati távolságok	12
2.7. Referencia anyag	15
2.8. Az „A” páncél anyaga	16
2.9. A „B” páncél anyaga	16
3. Szilárdsági vizsgálatok.....	17
3.1. Az „A” páncél szakítóvizsgálata	17
3.1.1. A szakítógépet.....	17
3.1.2. A mérés módszere, körülmények.....	18
3.1.3. Próbatétel kialakítása.....	18
3.1.4. A mérés menetéről néhány kép.....	21
3.1.5. A mért eredmények.....	24
3.1.6. A szakítóvizsgálat eredményei	25
3.2. Az „A” páncél keménységmérése	26
3.2.1. A keménységmérő	26
3.2.2. A mérés módszere, körülmények.....	26
3.2.3. Próbatétel kialakítása.....	27
3.2.4. Képek a mérésről	27
3.2.5. Az „A” páncél anyag keménység értékei.....	28
3.2.6. Az „A” páncél anyag keménység eredmény.....	29
3.3. Lövedék magok keménységének vizsgálata	29

3.3.1.	A mérés módszere, körülmények.....	29
3.3.2.	Próbatest kialakítása.....	29
3.3.3.	Képek a mérésről	30
3.3.4.	A mért eredmények.....	30
3.3.5.	A mérés szöveges értékelése.....	31
4.	Metallográfiai vizsgálatok	32
4.1.	A minta készítése és jelölése	32
4.1.1.	A mintadarabok elkészítésének rendje a metallográfiai vizsgálatokhoz	32
4.2.	Próbatestek nagyoló vágása	34
4.3.	Próbatestek precíziós vágása.....	35
4.4.	Mintadarabok beágyazása	35
4.5.	Csiszolat	36
5.	A mikroszkópi képelemzés	37
5.1.	Fém-mikroszkóp.....	37
5.2.	A mikroszkópi vizsgálat.....	37
5.3.	A vizsgált anyagok csiszolati képei	38
5.3.1.	Referencia anyag csiszolati képei	38
5.3.2.	Az „A” páncélciszolati képei	39
5.3.3.	A „B” páncél csiszolati képei	40
5.4.	A csiszolatokon megjelenő korróziók	41
5.5.	Anyagfeltapadás.....	43
6.	Összefoglalás.....	47
6.1.	Eredmények	48
6.2.	További kutatások.....	51
7.	Felhasznált irodalom	52
8.	Mellékletek.....	52

1. BEVEZETÉS

A Nemzeti Közszerológálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Katonai Logisztikai Intézet, Haditechnikai Tanszék és a Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar, Gépipari Technológiai Intézete által közösen alapított Haditechnikai kutatóműhely sikeresen pályázott a Nemzeti Közszerológálati Egyetem rektora által kiírt „Egyetemi Kutatóműhely támogatása” című pályázatra. A pályázaton belül a fő cél a lövedék által roncsolt különböző fémek anyagokban lejátszódó anyagszerkezeti változások hiteles laboratóriumi körülmények közötti vizsgálata volt. Ezen felül a kutatás mintegy rész célja volt, szintén hiteles méréseken keresztül az egyes fém- illetve páncéllemezek különböző típusú és sebességű lövedékek elleni védőképességük megállapítása.

1.1. Előzmények

A kutatás egyik kiindulópontja volt, hogy a lövedék által roncsolt lemez metallográfiai vizsgálatával hazai és a nyilvános külföldi irodalom nem foglalkozik. Rendelkezésre állnak szabványok, de ezek csak a lövedékálló védőmellények védelmi képességének az ellenőrzésével foglalkoznak,¹² és lényegében csak a vizsgálati körülmények leírását valamint a mérési eredmények értékelését írják elő. Nincs viszont semmilyen olyan hazai kutatás vagy kifejlesztett eljárás, amely a lövedékekkel roncsolt anyagokban történő változások leírásával és ezáltal a védőképességük változásának meghatározásával foglalkozna. Ennek megfelelően nincs semmilyen olyan hazai és Magyar Honvédség által elérhető eljárás, amely a fémek és nemfémek páncélzat védőképességének az időbeni és az igénybevétel hatására bekövetkező változásával foglalkozik. A problémakör az alábbi kérdéseket generálta:

- Hogyan ellenőrizhető, a gyártó által megadott szavatossági idő?
- Hogyan befolyásolja a MH speciális éghajlati és használati körülményei a páncéllemezek és védőmellények védelmi képességének időbeni változását?
- Milyen mértékben egyezik ez meg a gyártó által meghatározott és garanciával védett időre?
- Hogyan ellenőrizhető a gyártó üzemidő hosszabbítása?

Az elmúlt évtized háborúi, amelyekben a Magyar Honvédség is rész vett, a védelmi képességek fokozására vonatkozó igény megfigyelhető volt mind hazai mind pedig a szövetséges haderők részéről. A felhasználói igény valamint annak szinte folyamatos növekedése indokoltá tette a hazai felhasználó és kutató számára nem kellőképpen ismert illetve el nem érhető terület tudományos igényű kutatását.

A témával kapcsolatban a legelső kutatási szinopszis a Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar, Gépipari Technológiai Intézete által megrendezett nemzetközi szimpóziumon³ lett ismerttetve.⁴

¹MSZ K Standard 1114-1 (1999) Body armours. Bulletproof vests

²NIJ Standard 0101.06 (2008) Ballistic Resistance of Body Armor

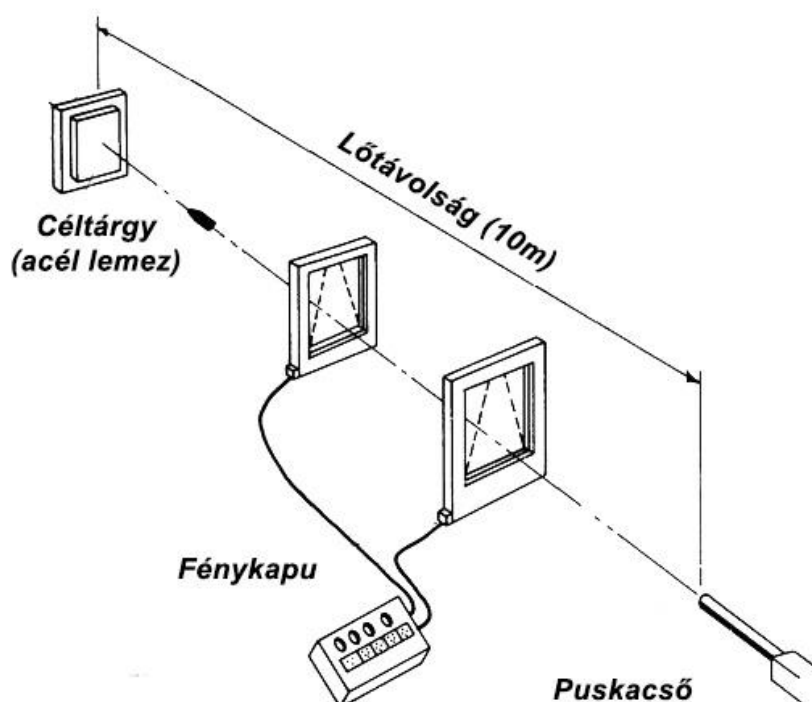
³„Synergy and Technical Development” international conference, Gödöllő, 2013.

⁴Sebők, I., Gávy, G. Destructive testing of metallic and non-metallic material MECHANICAL ENGINEERING LETTERS: R AND D: RESEARCH AND DEVELOPMENT 9: pp. 28-33. (2013)

Az eredeti elképzelés szerint lövedékkel roncsolt lemez vizsgálatán felül az átütés folyamatának és mechanizmusának pontosabb megértéséhez több mérés volt tervezve, ezek:

- fénykapu segítségével a lövedék becsapódás előtti sebességének mérése;
- gyorskamerával az átütés utáni sebesség mérése;
- gyorskamerával az átütés után a lövedék képéből a maradvány tömeg nagyságának számítása.

A tömeg illetve sebesség adatokból tervezve volt az átütéshez valamint a lövedék deformálásához szükséges energia mennyiségének számítása, egyfajta energiamérleg felállításával, ami további információval szolgált volna az átütés teljes mechanizmusának megértéséhez. A vizsgálat vázlatát az 1.1 ábra mutatja.



1.1. ábra Mérési vázlat

Az előzetes vizsgálatok során viszont nyilvánvalóvá vált, hogy a gyorskamerás méréssel releváns adatokhoz lehet ugyan jutni, de nem áll a rendelkezésre a szükséges technikai háttér. A Haditechnikai tanszék rendelkezik ugyan gyorskamerával, de ennek a teljesítménye nem elegendő a nagysebességű (6-800 m/s) tárgyak lefényképezésére. A gyorskamerás felvétel, mint további lehetséges mérés, ezért a további kutatási célkitűzésekhez lett sorolva. A mérések elvégzésére akkor kerülhet sor, ha rendelkezésre áll a bérletéhez szükséges támogatás.

1.2. Kutatási célja és körülményei

A kutatás során az alapvető célkitűzés a fémek anyagok lövedékkel történő átütési folyamatának leírása volt. Ezen belül a meghatározó és fő cél volt a roncsolt lemezek kristályszerkezetében történő változások azonosítása. A munkamegosztás a két intézmény között a rendelkezésre álló

anyagi és humán erőforrás alapján történt. A NKE HHK kutatói a metallográfiai vizsgáló laboratóriumában vizsgálatok elvégzéséhez szükséges csiszolatok legyártását, valamint kísérleti lövészetek megszervezését végezte. A metallográfiai vizsgálatokhoz az NKE HHK szükséges mérnöki kapacitással nem rendelkezik, ezért a minták elemzését és az ide vonatkozó következtetések levonását a Szent István Egyetem kutatói végezték. A kutatási célok részletesen a következők voltak:

- a fémkristályokban bekövetkező változások leírása;
- a roncsolás hatáshatásának megállapítása;
- horpasztás esetén a deformáció és az szerkezeti változás alapján a védőképesség csökkenésének megállapítása;
- a Magyar Honvédség által használt egyes páncélok védelmi képességének megállapítása;
- egyes a Magyar Honvédségben használt töltények hatásadatainak megállapítása.

A fenti lista utolsó két kutatási célja mintegy kiegészítő célként és ennek megfelelően kiegészítő eredményként jelentek meg. A célokat azon okból kifolyólag lehetett megfogalmazni, hogy a két különböző típusú páncéllemez állt rendelkezésre a kísérlet elvégzéséhez. Az első, amely a későbbiekben, mint „A” páncélkerült megnevezésre, a Currus Zrt. által átadott és BTR bontásból származó páncél volt. A páncél mintegy 1,5 m² nagyságú és 8 mm vastagságú lemez minőségi tanúsítvány nélkül érkezett, ezért a Szent István Egyetem Tudástranszfer Központjában mechanikai vizsgálatok segítségével lett meghatározva a tulajdonsága és az összetétele.

A második lemez egy jelenleg kereskedelmi fogalomban is lévő korszerű páncéllemez volt, amit a gyártó hazai forgalmazója adott át, egyben hozzájárult a vizsgálatok elvégzéséhez. Az anyag minősége olyan volt, hogy a rendelkezésre álló szerszámokkal megmunkálni nem lehetett ezért az előbb említett mechanikai vizsgálatok itt elmaradtak. Ezen lemez esetében csak a lövészetek során tapasztalt hatás adatok és a csiszolatok elemzési eredményei kerültek a kutatóműhely birtokába. A cég a vizsgálatok elvégzéséhez hivatalosan engedélyt adott, de a tanulmány leadási időpontjáig a cég nevének tanulmányban történő megjelenésére vonatkozó engedély nem érkezett meg, ezért ez a lemez a továbbiakban „B” lemezként kerül megnevezésre.

Referenciaanyagként egy a kereskedelmi forgalomban kapható és minőségi tanúsítvánnyal rendelkező 8mm vastagságú melegen hengerelt acéllemez lett kiválasztva.

A vizsgáló löszereknek a Magyar Honvédségben rendszeresített puska és karabélylőszer lágyacélmagvas és páncéltörő, vagyis keményfémmagvas változata lett választva. Ennek megfelelően rendelkezésre álltak a vizsgálati célnak megfelelő különböző acélok és páncélok és különböző típusú és sebességű lövedékek. A vizsgálatba bevont löszerek:

- 7,62 x 54R LPSZ;
- 7,62 x 54R B32;
- 7,62 x 39 BZ.

A páncéllemezek különböző sebességgel lettek meglőve. A becsapódási sebességek meghatározásakor a következő elvek lettek figyelembe véve:

1. Legyen átütés és legyen horpasztás.

2. A roncsolt lemezek legyenek összevethetők, vagyis a lehetőségek függvényében azonos eredménnyel legyenek a különböző lemezek azonos típusú és sebességű lövedékkel meglőve.
3. Részeredményként álljon rendelkezésre az a sebességtartomány, amely alatt nincs átütés, vagyis a lemez védelmet nyújt.

Mivel hasonló kutatás Magyarországon még nem történt ezért csak becslő hatásadatokból lehetett kiindulni. A rendelkezésre álló keret nyolc óra lőtérbérletet tett lehetővé, ezen felül korlátozott volt a rendelkezésre álló minta, ezért a kétfajta űrmérthez tartozó fegyverek, vagyis a géppuska illetve a gépkarabély lőtáblázata szerinti torkolati sebességével lett kezdve a lövészet és innen lett csökkentve mindaddig amíg, az átütés helyet már csak horpasztás történt.

A mérés hitelessége céljából minden lövés azonos lőszerrel és töltettel azonos lemezre három alkalommal lett elvégezve.

1.3. A kutatás menete

A kutatás az alábbi pontokban leírtak szerinti sorrendben és tartalommal történt.

1. Lemezek előkészítése a lövészethez.
A kereskedelmi forgalomban lévő lemezek mérete 1000×2000 mm. A lövészethez a lemezek befogása miatt ezt 200×250 mm méretűre kellett vágni. Az elővágott és már befogott lemezt mutatja a 2.5. ábra.
2. Lövészet
A kísérleti lövészet végrehajtására a Polgári Kézfegyver és Lőszervizsgáló Kft. lőtere lett kibérelve. A Kft. a lövészethez biztosította a lőszert az általunk előírt torkolati sebességnek megfelelő tömegű löportöltettel szerelve (2.6. ábra). A lövészet ballisztikai mérőcsőből lett végrehajtva. A mérési jegyzőkönyvet az 1. melléklet tartalmazza.
3. Mechanikai vizsgálatok
A referencialemez a kereskedelmi forgalomban kapható melegen hengerelt 8 mm vastagságú acéllemez volt, ehhez a szállító minőségi tanúsítványt adott (2. melléklet), ezért itt a mechanikai vizsgálatok elvégzése nem volt szükséges.
Az „A” lemez esetében csak a származást igazolja a szállítólevél (4. melléklet), az anyag tulajdonságainak a megállapításához a Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar Tudástranszfer központjában mechanikai vizsgálatok lettek elvégezve (5. – 7. mellékletek).
A „B” lemez esetében az anyag olyan keménységgel rendelkezett, hogy sem az NKE HHK sem pedig a SZIE műhelyeiben a megmunkálása és a próbatest gyártása a megfelelő szerszám illetve technológia hiányában nem volt lehetséges. A mechanikai vizsgálatok ebben az esetben elmaradtak.
4. Lemezek előkészítése a mintagyártáshoz
A csiszolatok gyártásához a már meglőtt lemezeket elő kellett vágni olyan mértékben, hogy a precíziós daraboló gépbe (5.8. ábra) befoghatók legyenek. A vágási mintát mutatja az 5.1.

és az 5.2. ábra. A vágás, mivel a vágási felület közel esett a csiszolt és vizsgált felülethez, a kristályszerkezetben esetlegesen lezajló és a mintát befolyásoló szerkezeti változások elkerülése végett olyan feltétellel kellett elvégezni, hogy a hőmérséklet ne emelkedjen 473 K fölé. Ennek megfelelően csak a gépi illetve kézi fűrészelés és az abrazív vízsugaras vágás jöhetett szóba. A referencialemez és az „A” páncél vágása az NKE HHK Haditechnikai tanszékén fűrészeléssel megoldható volt. A „B” páncél elővágása megrendelésre, vízsugaras vágással lett elvégezve (3. melléklet).

5. Beágyazott minták gyártása

A minták a NKE HHK metallográfiai laboratóriumában lettek legyártva. A kutatás során 100 db beágyazott minta készült, 96 db roncsolt és 4 db sértetlen anyagszerkezetű.

6. A minták elemzése

A minták elemzése a SZIE Gépészmérnöki Karán lettek elemezve. A minták csiszolatairól készült felvételeket és az egyedi elemzéseket a 8. melléklet mutatja.

2. LŐTÉRI VIZSGÁLATOK

A ballisztikai vizsgálatokra számos szabvány létezik⁵, a ballisztikai védőelemeket ezek alapján kell bevizsgálni, és osztályozni. Ezeknek a vizsgálatoknak közös pontjuk, hogy csak a lövedékáthatolással foglalkoznak, de a ballisztikai védőelemek anyagszerkezeti változásaival, illetve a lövedékek szilánkhatásával, a védőelemek anyagából leváló szilánkhatásokkal nem.

A haditechnikai kutatóműhely kutatási tevékenysége során két különböző páncéllemezt illetve egy melegen hengerelt acéllemezt vizsgált a következő szempontok alapján:

- lövedékáthatolás,
- szerkezeti torzulás.

2.1. A tesztlövészet végrehajtása

A tesztlövészet Polgári Kézilőfegyver- és Lőszervizsgáló Kft. laboratóriumában került végrehajtásra. A mérési jegyzőkönyvet a 1. melléklet tartalmazza. A kísérletek körülményei:

- légnyomás: 998 mbar;
- hőmérséklet: 20° C;
- páratartalom: 52%;
- légmozgás nem jelentős (zárt löfolyosó, a löporgáz elszívása folyamatos).

2.2. A vizsgálati helyszín felépítése

A vizsgálati helyszín felépítése megegyezik az MSZ K 1114-1:1999 szabványban foglaltakkal. A vizsgálati helyszínnel ezen kívül alkalmas a lövészet gyors és biztonságos végrehajtására.



2.1. ábra. A mérőcső irányzékkal, lengéscsillapító súllyal állványon (saját felvétel)

⁵ NIJ 0101; Msz K 1114; STANAG 4569

A helyszín a következő elemeket tartalmazta:

- löfolyosónak kialakított terület, melynek hossza 10 m a mérőcső torkolata és a céltárgy között mérve;
- mérőcső a zárral, az elsütő szerkezettel és irányzókkal állványra szerelve (2.1. ábra),
- sebességmérő fénykapu, a lövedék sebességének mérésére a mérőcső torkolatától 2 m-re elhelyezve;
- céltárgy befogására, rögzítésére alkalmas állvány, amely az áthatolás esetén a lövedéket a föld felé irányítja;
- védőpalánk a repeszek ellen.

2.3. Az alkalmazott vizsgálócsövek

A tesztlövészet során két vizsgálócsövet kellett alkalmazni, a lőszertípusoknak megfelelően. Az egyik cső a 7,62 x 54R puskalőszerhez, a másik a 7,62 x 39 karabélylőszerhez alkalmazható:

- PKM géppuska által kilőtt lövedék számára, száma: 081220P
- AK 63 gépkarabély által kilőtt lövedék számára, száma: 081219P



2.2. ábra. Az alkalmazott mérőcsövek (saját felvétel)



2.3. ábra. A vizsgálócsövek méretjelzései (saját felvétel)

2.4. A lövedék sebességének mérése

A lövedékek sebessége a csőtorkolat elhagyása után folyamatosan csökken, de az első 10 méteren nem számottevő ennek mértéke. Minden sebességadat rögzítésre került, összesen két olyan lövés (a 7. és a 9. lövés) történt, ahol valószínűsíthető volt a mérési hiba, ezek a lövések meg lettek ismételve.

A próbálövés során a kilőtt lövedékek sebességének mérése a csőtorkolattól 2 m távolságon, 1 m bázistávolságú, HPI B471 típusú hitelesített sebességmérő fénykapukkal, valamint HPI B214ADC típusú időmérő egységgel, HPI RS485 interfésszel történt.



2.4. ábra. A sebességmérő eszköz (háttérben a védőpalánk)(saját felvétel)

2.5. A lemezek befogása

A vizsgálatok alkalmával a céltárgyak függőleges síkban kerültek rögzítésre pillanatszorítóval, illetve alsó megtámasztással. A lemezek megtámasztása 2 x 40 mm széles síkfelületen történt a lemezek teljes magasságában, oldalanként egyforma mértékben.



2.5. ábra. A céltárgy rögzítése (saját felvétel)

A befogás garantálta a lövedék 90°-os becsapódási szögét vízszintes és függőleges síkban is. A 90°-os szögértéktől csak a mérőcső esetleges magasságkorrekciója eredményezett eltérést, mely egyetlen esetben sem érte el a 0,1°-os értéket. A védőpalánk alkalmazását a lövedék becsapódásakor keletkező repeszhatás indokolta.

2.6. A felhasznált lőszer és vizsgálati távolságok

A vizsgálat során felhasznált lőszer és azok lövedékei a STANAG 4569 szabvány, illetve az MSZ K 1114-1:1999 szabvány szerint - melynek alapja a NIJ 0101-03:1987 szabvány - szabványos vizsgáló lőszer és lövedék (2.6. és 2.7. ábra):

- 7,62 x 39 BZ (páncéltörő gyújtó) - MSZ K 1114-1:1999, STANAG 4569;
- 7,62 x 54 R LPSZ (lágycél magvas) -MSZ K 1114-1:1999;
- 7,62 x 54 R B32 (páncéltörő gyújtó) - MSZ K 1114-1:1999, STANAG 4569.



2.6. ábra. A felhasznált lőszer típusok (fentről lefelé: Bz, Lpsz, B32) (saját felvétel)



2.7. ábra. Lövedékek (fentről lefelé: B32; LPSZ; BZ) (saját felvétel)

A tesztlövészet előtt a lövedékek torkolati sebességét ellenőrző lövésekkel kellett ellenőrizni, az ellenőrző lövések belballisztikai adatait a 1. melléklet tartalmazza.

Az elvégzett vizsgálat sorozatnál a lövedékek torkolati sebessége több esetben is – a lőtáblában^{6,7} meghatározott értékek szerint 100, 300, illetve 500 m lőtávolságnak megfelelően, számított értékek

⁶Löfe/104, 7,62 mm-es PKM és PKMSZ Kalasnyikov géppuska anyagismereti és lőutasítása, Honvédelmi Minisztérium, 1976.

⁷НАСТАВЛЕНИЕ по СТРЕЛКОВОМУ ДЕЛУ 7,62-мм МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ АВТОМАТ КАЛАШНИКОВА (АКМ и АКМ) Изданиетретье, исправленное и

alapján a löportöltet kicserélésével lett a szükséges értékre csökkentve. A gyakorlatban a nagy lőtávolság miatt, a megfelelő találati pontosság, és 90°-os becsapódási szögelérése a vizsgálatok során nem garantálható. Az átütést vizsgáló szabványok nem foglalkoznak a nagyobb lőtávolságokra vonatkozó védelmi képességekkel.

2.1. táblázat. A vizsgálati paraméterek

Lőszer típusa	Vizsgált anyagok	Valós, ill. számított lőtávolság (m)
7,62 x 54R B32	„A” páncél, „B” páncél, referencia	10 m
7,62 x 54R LPSZ	„A” páncél, „B” páncél, referencia	10 m
7,62 x 54R LPSZ	„A” páncél, „B” páncél, referencia	300m
7,62 x 54R LPSZ	referencia	500m
7,62 x 39 BZ	„A” páncél, „B” páncél	10m
7,62 x 39 BZ	„A” páncél, „B” páncél	100m

A löszerek fontosabb paraméterei nem mindenesetben hozzáférhetőek vagy egyértelműek, ezért a lövedékek tömegének ellenőrzése szűrőpróba szerűen, hitelesített mérleggel történt. A mért adatok átlagértékét alapul véve a becsapódási energia is kiszámolható (2.2. és 2.3. táblázat)

2.2. táblázat. Lövedék tömegek

Lőszer fajtája	MSZ K 1114-1 névleges lövedék tömeg (g)	STANAG 4569 névleges lövedék tömeg (g)	mért lövedék tömeg (g)	lövedék azonosító (színezés)
7,62x39 BZ	7,6	7,77	7,83	piros/fekete
7,62x39 BZ	7,6	7,77	7,87	piros/fekete
7,62x39 BZ	7,6	7,77	7,89	piros/fekete
7,62x39 BZ	7,6	7,77	7,84	piros/fekete
7,62x39 BZ	7,6	7,77	7,87	piros/fekete
7,62x39 BZ	7,6	7,77	7,88	piros/fekete
7,62x54R B32	10,2	10,3	10,19	piros/fekete
7,62x54R B32	10,2	10,3	10,07	piros/fekete
7,62x54R B32	10,2	10,3	10,11	piros/fekete
7,62x54R B32	10,2	10,3	10,13	piros/fekete
7,62x54R B32	10,2	10,3	10,09	piros/fekete
7,62x54R B32	10,2	10,3	10,11	piros/fekete
7,62x54R LPSZ	9,7	-	9,63	ezüst
7,62x54R LPSZ	9,7	-	9,62	ezüst
7,62x54R LPSZ	9,7	-	9,6	ezüst
7,62x54R LPSZ	9,7	-	9,61	ezüst
7,62x54R LPSZ	9,7	-	9,61	ezüst
7,62x54R LPSZ	9,7	-	9,63	ezüst

2.1. táblázat. A lövedékek mozgási energiája (41-50 lövésszám a következő oldalon)

Lövés száma	Lőszer típusa	Mért sebesség érték (m/s)	Átlagolt lövedék tömeg (g)	Átlagolt mozgási energia (J)
1	7,62x54R B32	812	10,11667	3335,182832
2	7,62x54R B32	817	10,11667	3376,382971
3	7,62x54R B32	821	10,11667	3409,525182
4	7,62x54R B32	816	10,11667	3368,12271
5	7,62x54R B32	831	10,11667	3493,088876
6	7,62x54R B32	818	10,11667	3384,653349
7	7,62x54R B32	-	-	-
8	7,62x54R LPSZ	821	9,61667	3241,014932
9	7,62x54R LPSZ	-	-	-
10	7,62x54R LPSZ	823	9,61667	3256,824737
11	7,62x54R LPSZ	819	9,61667	3225,243593
12	7,62x54R LPSZ	829	9,61667	3304,484954
13	7,62x54R LPSZ	819	9,61667	3225,243593
14	7,62x54R LPSZ	817	9,61667	3209,510721
15	7,62x54R LPSZ	458	9,61667	1008,615583
16	7,62x54R LPSZ	625	9,61667	1878,255859
17	7,62x54R LPSZ	488	9,61667	1145,07613
18	7,62x54R LPSZ	631	9,61667	1914,491472
19	7,62x54R LPSZ	504	9,61667	1221,394023
20	7,62x54R LPSZ	627	9,61667	1890,29593
21	7,62x54R LPSZ	627	9,61667	1890,29593
22	7,62x54R LPSZ	628	9,61667	1896,330391
23	7,62x54R LPSZ	631	9,61667	1914,491472
24	7,62x39 BZ	769	7,86333	2325,033346
25	7,62x39 BZ	772	7,86333	2343,209433
26	7,62x39 BZ	766	7,86333	2306,928029
27	7,62x39 BZ	770	7,86333	2331,084179
28	7,62x39 BZ	764	7,86333	2294,897134
29	7,62x39 BZ	771	7,86333	2337,142874
30	7,62x39 BZ	635	7,86333	1585,34562
31	7,62x39 BZ	653	7,86333	1676,497341
32	7,62x39 BZ	642	7,86333	1620,490773
33	7,62x39 BZ	637	7,86333	1595,347775
34	7,62x39 BZ	645	7,86333	1635,670932
35	7,62x39 BZ	648	7,86333	1650,92186
36	7,62x54R LPSZ	815	9,61667	3193,816315
37	7,62x54R LPSZ	814	9,61667	3185,983538
38	7,62x54R LPSZ	823	9,61667	3256,824737
39	7,62x54R B32	810	10,11667	3318,773594
40	7,62x54R B32	816	10,11667	3368,12271

Lövés száma	Lőszer típusa	Mért sebesség érték (m/s)	Átlagolt lövedék tömeg (g)	Átlagolt mozgási energia (J)
41	7,62x54R B32	826	10,11667	3451,18057
42	7,62x54R LPSZ	601	9,61667	1736,77541
43	7,62x54R LPSZ	623	9,61667	1866,254255
44	7,62x54R LPSZ	617	9,61667	1830,480243
45	7,62x39 BZ	783	7,86333	2410,460563
46	7,62x39 BZ	768	7,86333	2318,990377
47	7,62x39 BZ	784	7,86333	2416,621482
48	7,62x39 BZ	630	7,86333	1560,477839
49	7,62x39 BZ	633	7,86333	1575,374917
50	7,62x39 BZ	632	7,86333	1570,401361

A vizsgált anyagok

A munka során háromfajta anyag metallográfiai vizsgálatára került sor. Referencia anyagként egy a kereskedelemben kapható S 235 JR G2 általános rendeltetésű szerkezeti acél (későbbiekben „referencia anyag”) lett összehasonlítva egy a Magyar Honvédségben rendszeresített csapatszállító jármű páncél anyagszerkezetével, későbbiekben „A” páncél. A harmadik vizsgált anyag pedig a kereskedelmi forgalomba kapható páncélanyag, későbbiekben „B” páncél.

2.7. Referencia anyag

A vizsgálatokhoz referencia anyagként egy ismert összetételű általános szerkezeti acél került kiválasztásra. Az acél típusa S 235 JR G2, amelynek az összetételét az 3.1. táblázat tartalmazza. A vásárolt anyaghoz tartozó minőségi tanúsítványt a 2. melléklet tartalmazza, amely megadja a garantált mechanikai, szilárdsági paramétereit is.

3.1.táblázat. Az S 235 JR G2 összetétele

C	Si	Mn	P	S	Cu	Al
0.12	0.011	0,6	0.01	0.014	0.046	0.051

A referencia anyagnak választott általános rendeltetésű szerkezeti acélra azért volt szükség, hogy a lövedék becsapódásának környezete jobban vizsgálható és összevethető legyen. A referencia anyagnak a kis széntartalma és hőkezelési állapota miatt homogén eloszlású és jól látható kristályszerkezete van. A krisztallitok alakja és mérete közel azonos orientációjukból a hengerlési irány jól kivehető. A lövedék hatására bekövetkező szemcseszerkezet torzulás határa jól megállapítható.

2.8. Az „A” páncél anyaga

Az „A” páncél anyaga a HM CURRUS Kft.-től beszerzett 8mm vastagságú gépjármű rekonstrukció során megmaradt lemez darab (A szállító levelet a 4. melléklet tartalmazza). A kapott anyagról a jármű gyártmányán kívül egyéb paraméterek nem álltak rendelkezésre. Mivel az „A” páncélanyaghoz nem állt rendelkezésre jegyzőkönyv, amely tartalmazná a garantált összetételét, így a SZIE GÉK Metallográfiai laborjában az összetétel egy Oxford Xmet-5000 típusú fémösszetétel meghatározó kézi készülékkel lett mérve, az eredményeket a 3.2 táblázat tartalmazza). Az eszközzel a szénttartalom nem mérhető, így az ismeretlen ebben az esetben.

3.2.táblázat. Az „A” páncél összetétele

Mn	Cu	Cr	Mo
1.26	0,11	0.16	0.17

2.9. A „B” páncél anyaga

A „B” páncél egy a kereskedelmi forgalomban több vastagsági méretben kapható páncéllemez. Az anyaghoz tartozó minőségi tanúsítványokat a forgalmazó a kutatócsoport rendelkezésére bocsájtotta. A vizsgált anyag a szakítószilárdsága 1700 N/mm². Az anyag összetételét a 3.3. táblázat tartalmazza.

3.3.táblázat. A „B”páncélanyagának összetétele

C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr
0.285	0.22	1,18	0.011	0.001	0.014	0.03	0.65

3. SZILÁRDSÁGI VIZSGÁLATOK

A kutatás során három fajta lemezanyag és három fajta lőszer hatásának vizsgálatára került sor. A rendelkezésre álló anyagok közül az „A” páncél anyagáról nem voltak ismertek a mechanikai, szilárdsági paraméterei, ezért készült szakító-, illetve keménységvizsgálat a kapott járműdarabból.

A későbbi számítógépes szimulációkhoz szükséges lehet a lövedék szilárdsági paramétereire is. A lövedékeket szétszerelni, megbontani biztonsági okokból nem volt lehetséges, így a lövés után gyűjtött lövedékek részein lehetett keménységet mérni.

3.1. Az „A” páncél szakítóvizsgálata

A mérés során egy a jármű rekonstrukció során megmaradt páncéldarab szakítóvizsgálata volt a feladat. A szakítóvizsgálatot az MSZ EN 6892-1:2012 szabványnak megfelelően került elvégzésre

3.1.1. A szakítógép

A méréshez használt univerzális szakítógép típusa Zwick Roell Z100 (4.1 ábra), terhelhetősége 100 kN. A Zwick Roell Z100 típusú szakítógép közvetlenül csatlakozik egy számítógéphez. A méréshez beállítandó paramétereket a hozzá kapcsolódó számítógépen található Text Expert software segítségével lehet beállítani. A software gyűjti a mérési adatokat. Ezek az adatok közvetlenül a software-ben is feldolgozhatóak. A mért paraméterek további feldolgozására lehetőség van Microsoft Excel formátumban is.



4.1. ábra. A Zwick Roell Z100 anyagvizsgáló gép (saját felvétel)

3.1.2. A mérés módszere, körülmények

A vizsgáló berendezés a MSZ EN 6892:2012-ben előírtak szerint volt hitelesítve. A vizsgálatok a MSZ EN 6892-1:2012-ben (Fémek szakítóvizsgálata szobahőmérsékleten) rögzítettek szerint kerültek végrehajtásra. A mintadarabok a szabványnak megfelelően arányos méretben lettek kialakítva. A befogópofák a szabványban rögzített kialakításúak voltak. A vizsgálati sebesség a szabványban előírtaknak megfelelően volt beállítva.

A szakítószilárdság méréséhez az előterhelés során a sebesség 2 mm/min volt 200 N-os terhelésig, a mérés pedig 0,0025 1/sec húzási sebességgel történt.

A rugalmassági modulus (E) mérése során a húzási sebesség 0,1 mm/min volt. A rugalmassági modulus meghatározása két pontra regresszióval illesztett egyenes alapján történt. A mérés alsó pontja 30.000 N a felső pontja 80.000 N volt.



4.2. ábra. A mintadarabok befogása az anyagvizsgáló gépbe szabványos ékes szorítóval történt (saját felvétel)

3.1.3. Próbatest kialakítása

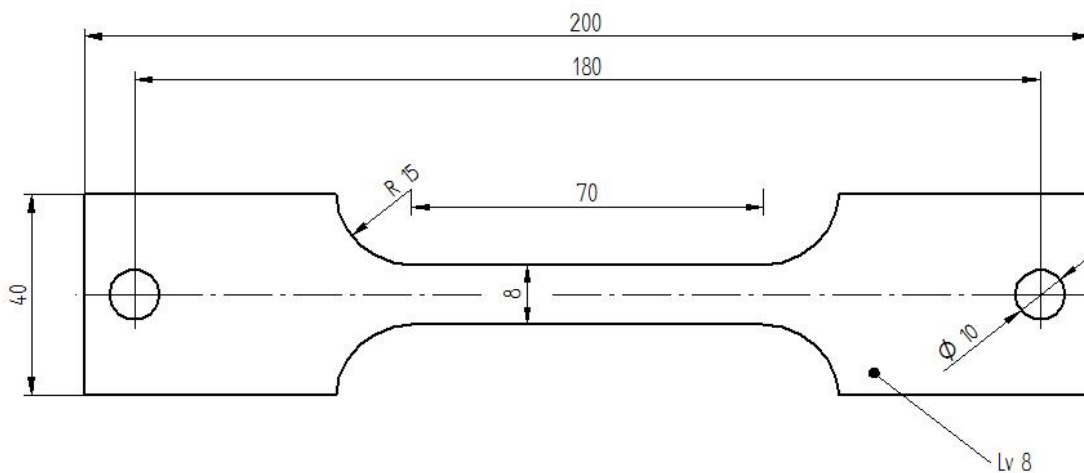
A próbatestek az MSZ EN 6892-1:2012 szabványnak megfelelően ötös arányosság betartásával készültek. A próbatestek anyaga a HM CURRUS Kft. –től beszerzett 8mm vastagságú gépjármű páncél darab (4.3. ábra). Az kapott darabból 2db (Lő 1, Lő 2) próbatest készült lövészeti felhasználásra. A szakítóvizsgálathoz függőleges (F jelű) és vízszintes (V jelű) orientációjú

próbatestek készültek. A kijelöléskor fontos szempont volt, hogy a vizsgált részek tulajdonságait a vágáskor keletkezett hőhatás ne befolyásolja.



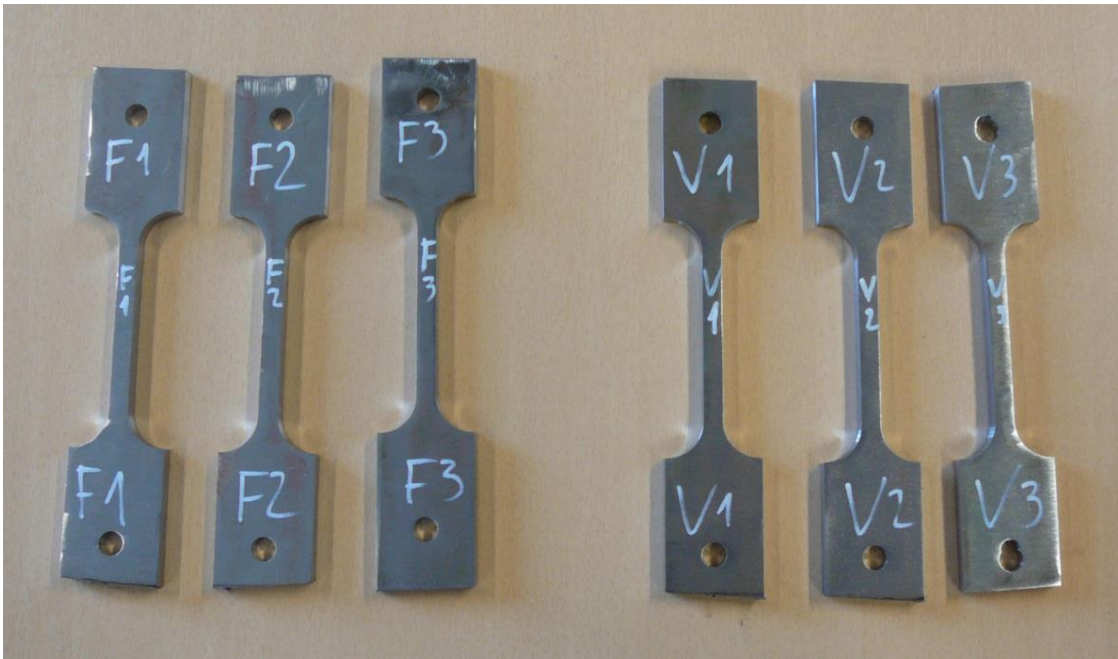
4.3. ábra. A vizsgált páncéldarabon bejelölve a próbatestek helye

A szabványos próbatestek a SZIE GÉTI Tanműhelyében készültek nagyoló darabolása után CNC marógépen. A szakítóvizsgálathoz használt próbatestek méreteit a 4.4 ábra mutatja. A próbatestek fejrészén található furatra a megmunkáláshoz való leszorítás miatt volt szükség, ami a mérés eredményét nem befolyásolja.



4.4. ábra. A próbatestek kialakítása

A vizsgálat során három függőleges és három vízszintes orientációjú próbatest került szakításra (4.5. ábra).



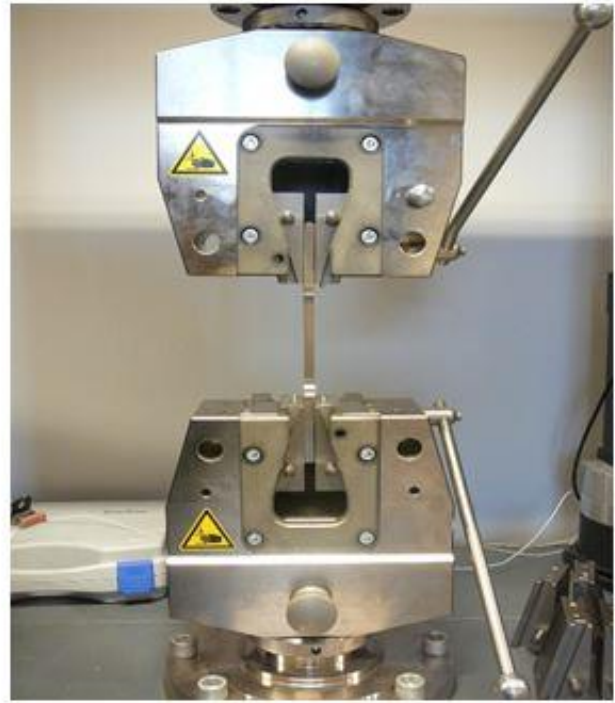
4.5. ábra. Az elkészült próbatestek (saját felvétel)

A rugalmassági modulus mérésére készült próbatest, amely a vizsgálat során nem lett elszakítva csak a kijelölt mérési tartományon többször terhelve (4.6. ábra).



4.6. ábra. Az E modulus mérésére használt próbatest (saját felvétel)

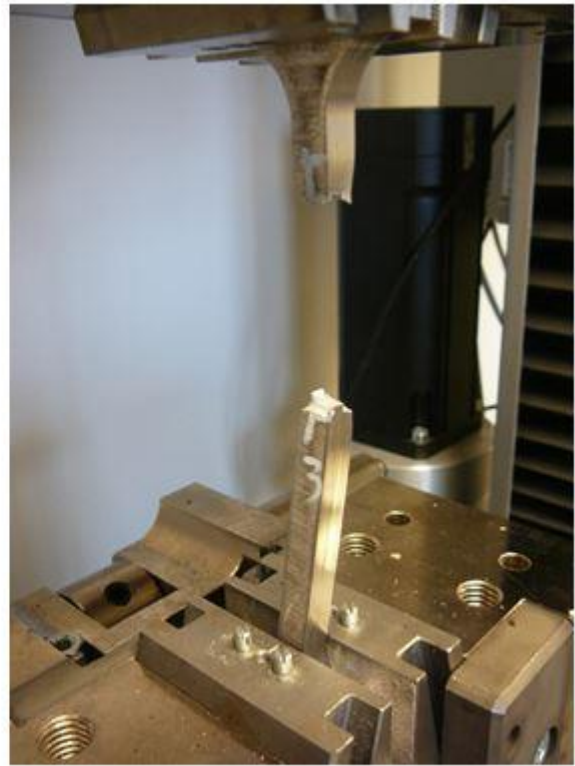
3.1.4. A mérés menetéről néhány kép



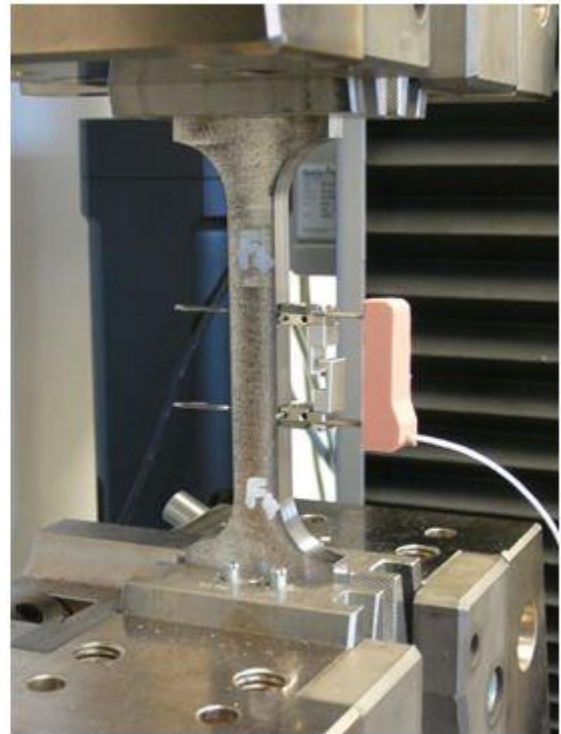
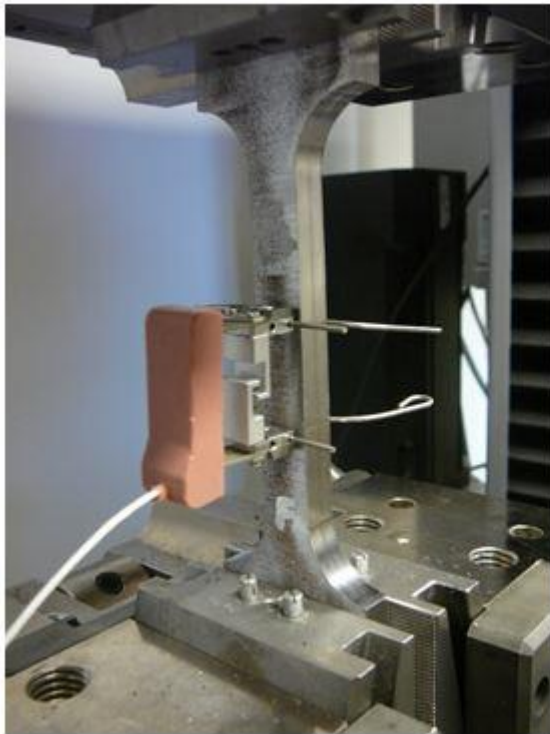
4.7. ábra. A próbatestek befogása (saját felvétel)



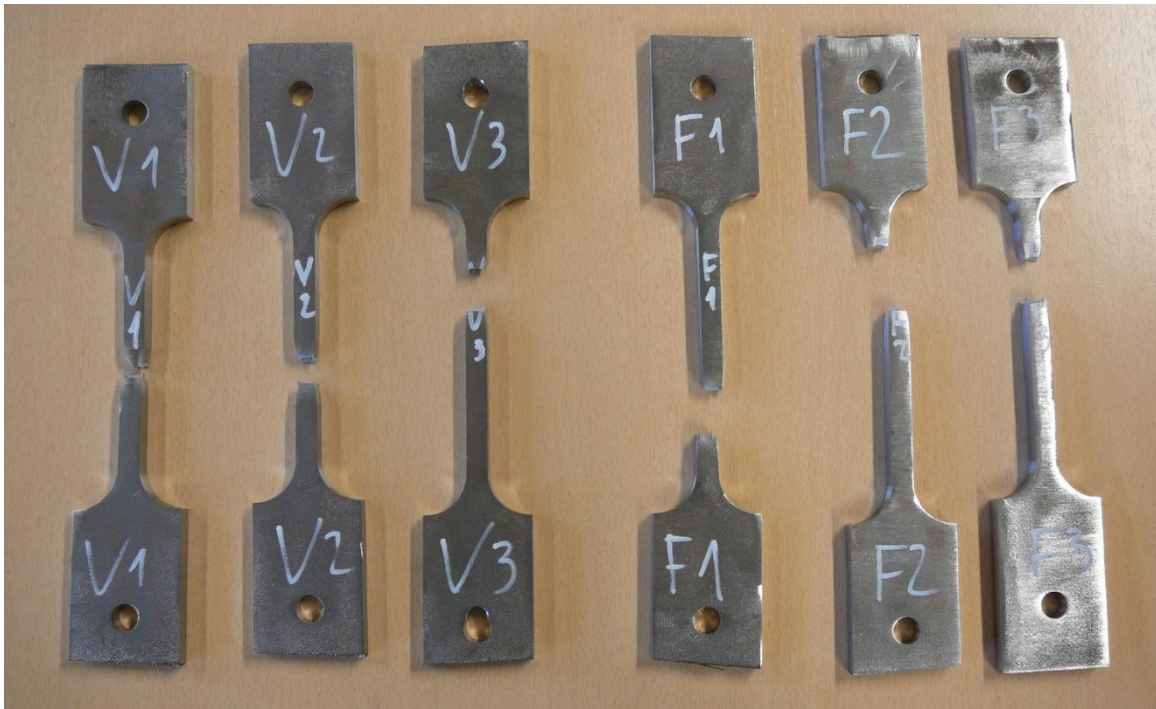
4.8. ábra. Az F1 és V1 próbatestek szakítás közben (saját felvétel)



4.9. ábra. Az F1 és F3 próbatestek tönkremenetele (saját felvétel)



4.10. ábra. A rugalmassági modulus mérése (saját felvétel)



4.11. ábra. Próbatetek a vizsgálat után (saját felvétel)

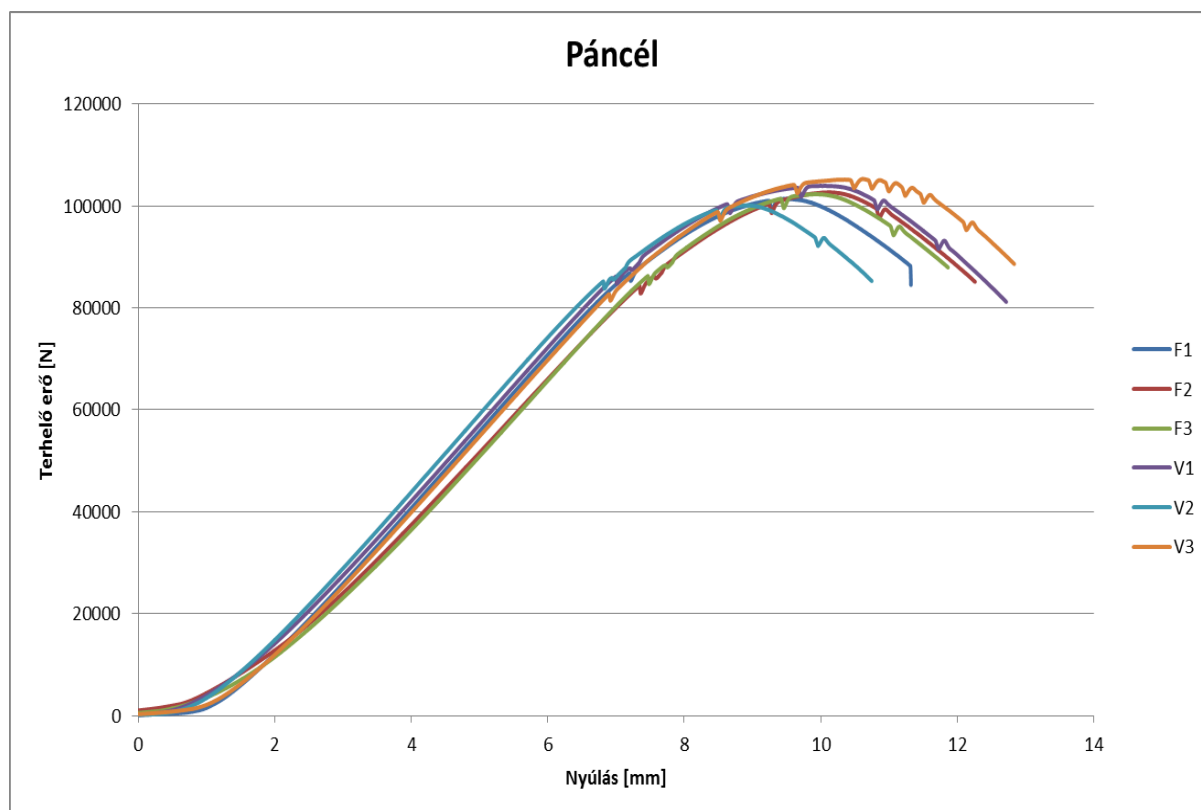


4.12. ábra. A V3 próbatest szakadási keresztmetszete (saját felvétel)

3.1.5. A mért eredmények

A mérés során elszakított F1-F3 és V1-V3 próbatestek diagramját a 4.13. ábra mutatja.

A diagramok jó egyezést mutatnak, a közöttük lévő különbségek nem jelentősek. A vízszintes tengely irányában való elcsúszást a húzás kezdeti szakaszában ható befogásból származó különbség okozza. A diagramok felső részén látható monotonitási hibák (ugrás a diagramon) a 80 kN fölötti terhelőerőnek köszönhető próbatest és befogópofa közötti csúszásnak az eredménye.



4.13. ábra. Az F1-F3 és V1-V3 próbatestek szakítódiagramja

A 4.13. ábrán látható diagramon együtt vannak ábrázolva a függőleges és a vízszintes irányban kivett próbatestek szakító görbéi. A kapott eredmények alapján nem lehet különbséget tenni a két egymásra merőleges irányban készült próbatestek között. A kapott diagramok jó egyezést mutatnak sem függvényalakban, sem nagyságban jelentős különbség nem figyelhető meg, így kijelenthető, hogy az alapanyag gyártása során alkalmazott lemezhengerlés iránya nem befolyásolja az anyag szakítószilárdságát.

Az 4.1. táblázat tartalmazza a próbatestek szakítása során mért jellemző erőket, valamint a számolt szilárdsági paramétereket. A szórás a mért legnagyobb erő (F_m) esetében 1,8%, míg a 0,2% maradó alakváltozáshoz tartozó erő ($F_{p0,2}$) esetében 1% volt.

4.1. táblázat Az R_m és az $R_{p0,2}$ értékei

	próbatest jel	F_m (N)	$F_{p0,2}$ (N)	R_m (N/mm ²)	$R_{p0,2}$ (N/mm ²)
1	F1	101376	84980	1584	1328
2	F2	102661	85124	1604	1330
3	F3	102296	84986	1598	1328
4	V1	103933	85471	1624	1335
5	V2	100119	84789	1564	1325
6	V3	105287	87124	1645	1361
	MIN	100119	84789	1564	1325
	ÁTL	102612	85412	1603	1335
	MAX	105287	87124	1645	1361
	SZÓRÁS	1830	869	29	14

A rugalmassági modulus mérése során ugyan azon próbatesten tízszeres ismétléssel, két irányban történt a mérés. Az adatok alapján az irányokban nem volt különbség a mért értékek között. A mérés adatai alapján 2,1%-os szórás mutatkozott a rugalmassági modulus értékében. A rugalmassági modulus mérésének eredményét a 4.2. táblázat mutatja.

4.2. táblázat. A rugalmassági modulus értékei

sor sz.	E modulus (Gpa)
1	178
2	176
3	185
4	179
5	187
6	180
7	183
8	179
9	176
10	183
MIN	176
ÁTL	181
MAX	187
SZÓRÁS	4

3.1.6. A szakítóvizsgálat eredményei

A páncél anyag szakítóvizsgálata az MSZ EN 6892-1:2012 szabványnak megfelelően készült. A mérések során egymásra merőleges irányból készített próbatesteken kapott eredmények között

nem lehet szignifikáns különbséget megállapítani. A mérés során kapott diagramok jellegre egyezést mutatnak, a vízszintes tengely irányában jelentkező különbségek a befogópofákban történő kezdeti megcsúszásnak köszönhető.

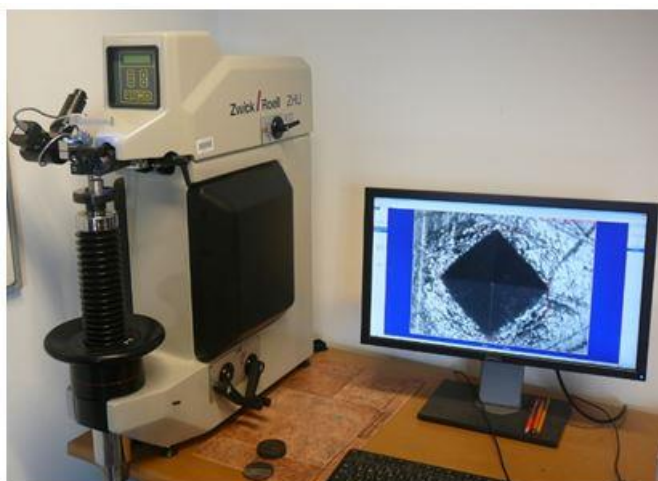
Az anyag szakítószilárdsága (R_m) 1600 N/mm^2 1,8%-os szórás mellett. Az egyezményes folyáshatár ($R_{p0,2}$) 1335 N/mm^2 1%-os szórás mellett. A mérések során meghatározásra került az anyag rugalmassági modulusa, amely 2,1%-os szórással 181 GPa nagyságú.

3.2. Az „A” páncél keménységmérése

A mérés során egy páncélozott szállítójármű rekonstrukció során megmaradt páncéldarab keménységének meghatározása a feladat. A keménység meghatározása MSZ EN ISO 6507:2006 szabványnak megfelelő Vickers-féle módszerrel szobahőmérsékleten történt.

3.2.1. A keménységmérő

A használt univerzális ZwickRoell ZHU keménységmérő alkalmas Brinell, Vickers, és Rockwell féle keménység értékek meghatározására labor körülmények között. Az eszköz a 4.14. ábrán látható.



4.14. ábra. A ZwickRoell ZHU keménységmérő

A gép közvetlenül csatlakozik egy számítógéphez. A méréshez szükséges terhelési értékeket a gépen található karos emelőművel lehet beállítani, amit automatikusan mutat az előlapon elhelyezett kijelzőn. A keménység mérő belső szoftverében kell kiválasztani az aktuális keménység mérési módszert. A keménységmérési eljárás jele után beíródik a terhelésre utaló szám. A terhelések felvitele és levétele fokozatosan 3s alatt történik. A Brinell és Vickers mérésekhez a pc-re telepített képelemző szoftver segítségével történik. A Rockwell keménység közvetlenül a gép kijelzőjén olvasható le.

3.2.2. A mérés módszere, körülmények

A vizsgáló berendezés a MSZ EN ISO 6507-1:2006-ben előírtak szerint hitelesítve van. A vizsgálatokat a MSZ EN ISO 6507-1:2006-ben (Fémek Vickers-féle keménységének

meghatározása) rögzítettek szerint került végrehajtásra. A mintadarabok kialakítása a szabványnak megfelelően történt.

A mérések során az MSZ EN ISO 6507-1:2006 szabványnak megfelelő beállítások kerültek alkalmazásra. A mérés szerszáma 136^o-os csúcshögű gyémánt gúla. A terhelés nagysága 98,8N. A vizsgálati hőmérséklet 23 °C. A hőmérsékleti egyensúly beállításához 2 óra kondicionálást alkalmaztunk. A mérések előkészítése során a próbatestek felülete alkoholos kendővel lettek megtisztítva.

A keménységmérés a Vickers-féle elv alapján történt. A MSZ EN ISO 6507-1:2006 megfelelő módszerek közül a HV 30 vizsgálati terhelést alkalmazva. A mérés során beállított terhelést 294N, amely 3s alatt lett felvéve a próbadarabra, majd 12 másodpercig rajtatartva történt a mérés.

3.2.3. *Próbatest kialakítása*

A próbatestek anyaga a HM CURRUS Kft. –től beszerzett 8mm vastagságú gépjármű páncél darabból lettek kivágva. A keménységméréshez használt próbatestek az ugyanezen projekthez készült szakító próbatestek elő gyártmányából lettek kialakítva. A keménység méréshez készült próbatest, amelyet előzetesen nem ért hő sok, valamint amelyiket az alapanyag lánggal, vagy plazmával való vágásakor felhevítettek (keménységmérés próbateste „K” jel).

A vizsgálathoz 4db próbatest készült, amelyet nem ért hő sok, így az alapanyag rendeltetésszerű használata során is ugyanezen szerkezettel (keménységgel) rendelkezik. A próbatestek a szakítóvizsgálathoz használt vízszintes (V jel) és függőleges (F jel) orientációjú próbatestek okán lettek megjelölve.

Azok a próbatestek, amelyeket a vágás során magas hő terhelés ért azokat „A” betű jelöli. A próbatestek jelöléseit a 4.15. ábra mutatja.



4.15. ábra. A keménységméréshez előkészített próbatestek (saját felvétel)

3.2.4. *Képek a mérésről*



4.16. ábra. A KA2 és KV2 próbatestek mérés közben (saját felvétel)



4.17. ábra. A próbatestek keménység mérése után (saját felvétel)

3.2.5. Az „A” páncél anyag keménység értékei

A mért keménység értékeket az 4.3. táblázat tartalmazza. A négy alapanyagból készült próbatest (KV1, KV2, KF1, KF2) átlagos keménysége 414 HV30, 4,1% szórás mellett.

A vágás során hő bevitelt szenvedett próbatestek keménysége 288 HV 30, 17%-os szórás mellett.

4.3. táblázat. Keménység értékek HV 30 –ban megadva

mérés sorszama	Próbatest					
	KV1	KV2	KF1	KF2	KA1	KA2
1	410	444	417	375	261	262
2	406	456	402	409	232	338
3	413	401	410	348	288	225
4	430	436	429	410	375	286
5	443	412	440	392	323	245
MIN	406	401	402	348	232	225
ÁTL	420	430	420	387	305	271
MAX	443	456	440	410	375	338
SZÓRÁS	16	23	15	26	60	44

3.2.6. Az „A” páncél anyag keménység eredmény

A páncélanyag keménységének meghatározása MSZ EN ISO 6507:2006 szabványnak megfelelően történt. A kapott mintából kétféle próbatest készült, az egyik esetben a próbatesteket nem érte megmunkálás során hő hatás, ekkor az átlagos keménység 414 HV30 lett. Azon próbatestek esetében, amikor az anyagot hő hatásának tették ki daraboláskor, a keménysége 288 HV 30 lett. Ebben az esetben a keménység értéke nagy 17%-os szórást mutat, amely valószínűleg az anyag inhomogenitása okán alakult így. Abban az esetben, amikor az anyagot hőhatás éri (hegesztés vagy darabolás) a keménysége jelentősen csökken, amelynek az értéke az eredeti 69%-a csupán.

3.3. Lövedék magok keménységének vizsgálata

A keménységmérés során, a lőtérben, a lövések után gyűjtött lőszermagok keménységének meghatározása volt a feladat. A mérést az MSZ EN ISO 6507:2006 szabványnak megfelelő Vickers-féle mérési módszerrel kerültek végrehajtásra.

3.3.1. A mérés módszere, körülmények

A keménységmérést a Vickers-féle elv alapján az MSZ EN ISO 6507-1:2006 megfelelő módszerek közül a HV 30 vizsgálati módszert alkalmazva.

A mérés során terhelés 294N, amely 3s alatt lett felvéve a próbadarabra, majd 12 másodpercig rajtatartva történt a mérés.

3.3.2. Próbatest kialakítása

A vizsgált próbatestek a lőtéri lövés után begyűjtött lőszer belső magjai. A lövedékek 7,62×39 méretű gépkarabély lőszer BZ, illetve puskalőszer LPSZ és B32 maggal. A begyűjtött lőszermagok sérültek, nem egész, hanem tört darabok, amelyeket a 4.18 ábra mutat.



4.18. ábra. Vizsgált lőszermagok (balról jobbra: BZ, B32, LPSZ)

3.3.3. Képek a mérésről

A lőszer magjai hengeres kialakításúak, így prizmában történt a megtámasztás és a mérőszerszámhoz való tájolás.



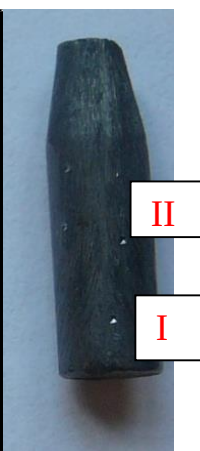
4.19. ábra Lőszermagok mérés közben (saját felvétel)

3.3.4. A mért eredmények

A mért keménység értékeket az 4.5. táblázat tartalmazza az LPSZ lövedék esetén. Ebben az esetben két zónára különíthető el a lövedék mag, az „I” zóna a lövedék hátsó része, ahol a valószínűleg az alapanyagra jellemző keménység mérhető, és a „II” zóna ahol a lövés során létrejött felkeményedés tapasztalható.

4.5. táblázat. Keménység értékek az LPSZ lőszermag esetén HV 30 –ban megadva.

Mérés száma	I	II
1	179	225
2	166	203
3	165	193
4	164	200
5	158	196
MIN	158	193
ÁTL	166	203
MAX	179	225
SZÓRÁS	8	13



A mért keménység értékeket az 4.6. táblázat tartalmazza a BZ és B32 páncéltörő lövedékek esetén.

4.6. táblázat. Keménység értékek az Bz és B32 lőszermag HV 30 –ban megadva.

Mérés száma	Bz	B32
1	759	929
2	936	831
3	854	938
4	910	901
5	967	926
MIN	759	831
ÁTL	885	905
MAX	967	938
SZÓRÁS	82	44

3.3.5. A mérés szöveges értékelése

A löszerek magjainak keménység meghatározása MSZ EN ISO 6507:2006 szabványnak megfelelően történt. A kapott mintából többféle ált rendelkezésre, egyrészt lágymag, másrészt kétféle páncéltörő mag.

A lágymag esetében kimutatható keménységbeli különbség tapasztalható a mag első és hátsó része között. Az lőszermag gyártáskori keménysége valószínűleg 166 HV30. A lövés után a löszer és az acéllemez találkozása során szenvedett erőhatásoknak következtében egy felkeményedési folyamaton ment keresztül, ezáltal a mag elejének keménysége 200 HV30 körüli értékre nőtt.

A páncéltörő magok esetében nem mérhető jelentős keménységkülönbség, a BZ 885 HV30 míg a B32 mag 905 HV30 értéket mutat. A kemény magok esetében nem látható torzulás a hegy és a lövedék végei között, a lövés során ridegen eltörték. A mérések során az alaksajátosságból adódóan a hengeres szárrész keménységének mérésére volt lehetőség.

4. METALLOGRÁFIAI VIZSGÁLATOK

4.1. A minta készítése és jelölése

A minták kivágásuk után a csiszolás előtti fázisban jelölő számokat kaptak. A jelölés első része (egy vagy két karakter) a lövésszám, a második rész a mintavétel síkjától függően 1 és 3 vagy erre merőleges síkban 2 illetve 4.

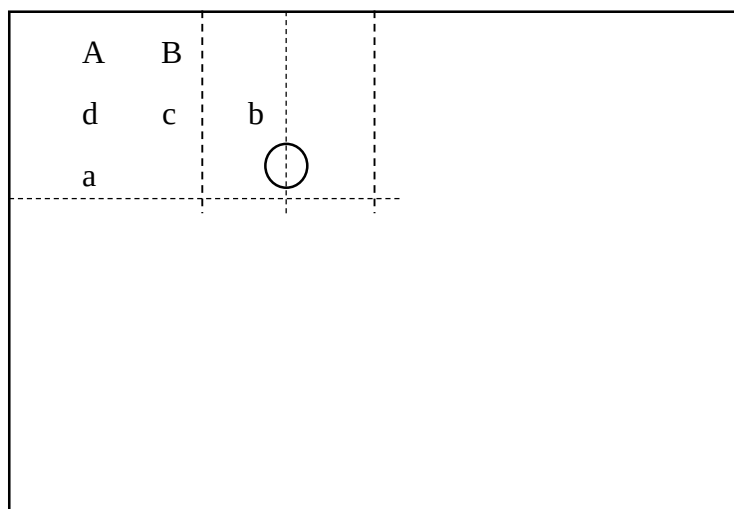
4.1.1. A mintadarabok elkészítésének rendje a metallográfiai vizsgálatokhoz

A 250 (+/-5) x 200 (+/-5) mm-es meglőtt acéllemezekből a vizsgálatokhoz szükséges méretű mintákat ki kell alakítani, illetve a mintákat azonosító jellel kell ellátni. A minták befoglaló méretei: 30 x 10 x 8 (6,5) mm.

A „B” páncél anyag esetében a fűrészelés nem járt sikerrel, az anyag keménysége miatt, ebben az esetben vízsugaras vágást kellett alkalmazni.

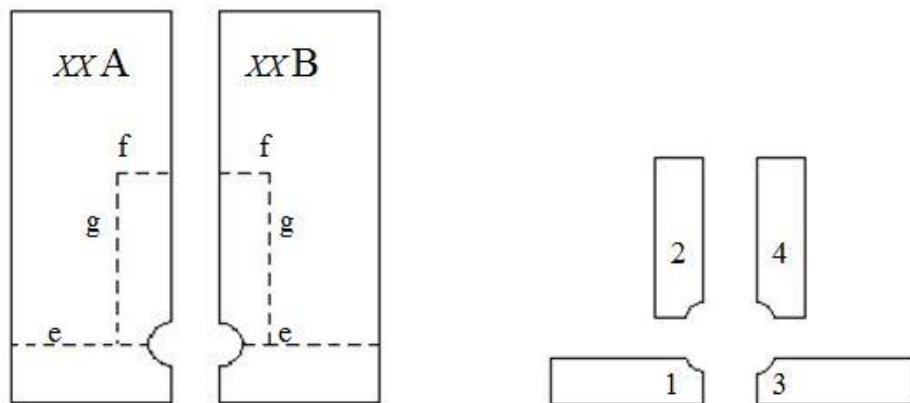
A referencia anyag illetve az „A” páncél kivágás menete (5.1 ábra):

1. A lemez számának leolvasása, és a lövésszám rögzítése.
2. A találati középpont lemezszélekhez legközelebbi méretének felvétele.
3. Fűrészeléssel a találati középpont alatt 10 mm-rel a lemez vágása a találati középpont vágásirányra merőleges síkjától minimum 30 mm-es távolságig. A vágás módja: fűrészelés. A vágás jelölése: **a**. A létrehozott él bázisként szerepel.
4. A találati középpont sík bázisra merőleges éle, jelölése „**c**”.
5. A találati középpont síkjától 30 + 1 (vágás szélessége) mm-es távolságra a bázisra merőleges vágása. A vágás módja: fűrészelés, jelölése: **b**.



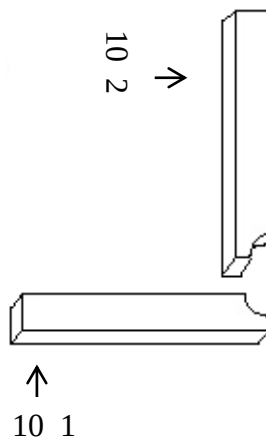
5.1. ábra. A lemezen végzett vágások és jelölések

6. A kapott (a és b élekkel határolt) lemezt találati középponton keresztül, a bázisra merőlegesen a „c” és „d”vonalak menti vágása. A vágás módja: fűrészelés.
7. A két lemezdarab egyenként a lövésszámnak megfelelő jelölése, a lemez eredeti széléhez közel. A jelölés tartalmazta a lövésszámot XX és egy A/B jelzést.
8. A lemezmaradványok, az „A” jelű munkadarab kivételével egy erre szolgáló rekeszben történő elhelyezése.
9. Az „A” munkadarab a bázis felületén meg lett megjelölve. A jel a lövésszámot illetve egy karakter távolságban az 1-4-es számot tartalmazta, az 5.2. ábrának megfelelően. A jelölés teteje a becsapódás iránya felé néz.
10. Az „A” jelű munkadarab az „e” vonalnak megfelelően, a bázissal párhuzamosan 10 mm-es távolságban történő vágása. A vágás módja: lassúfordulatú vízhűtéses gyémánttárcsás vágás. A levágott 10 x 30 mm-es darabok az 1-es mintadarab (5.2.) ábra.
11. Az „A” jelű munkadarab a „f” vonalnak megfelelő, 10 mm- es mélységű a bázissal párhuzamos, illetve az „g” vonalnak megfelelő a bázisra merőleges vágása. A vágás módja: gépi fűrészelés. A levágott 10 x 30 mm befoglaló méretű darab, a 2-es mintadarab.



5.2. ábra. A mintadarabok kivágásának és számozásának módja

Az elkészült mintákra alkalmazott jelölések elhelyezkedését az 5.3 ábra szemlélteti.



5.3. ábra. A mintadarabok jelölésének iránya

A mintába beütött számjelek értelmezését az 5.4 ábra mutatja.

10 1

5.4. ábra. A minta jelölése: 10-es lövésszám 1-es minta (4mm-es számbeütővel beütve)

4.2. Próbatestek nagyoló vágása

A próbatestek a meglőtt lemezből szalagfűrészszel lettek kivágva, amely során különös gonddal odafigyelve az anyag hőmérsékletének alacsonyan tartására. Az anyag szerkezete várhatóan 200°C alatt nem változik. A munkasorán helyi kenőanyag felhordással, valamint a vágás sebességének szabályozásával a tervezettnél jóval alacsonyabb (30-50 °C) vágási hőmérséklet került regisztrálásra lézeres kézi hőmérsékletmérővel, amelyet az 5.5. ábra mutat.



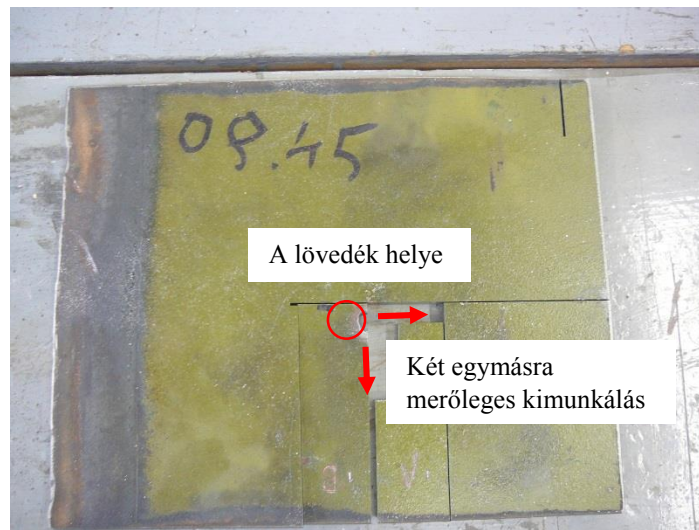
5.5. ábra. Fűrészelés és hőmérséklet ellenőrzés (saját felvétel)

Az így kivágott minták a fűrészelést követően azonnal egy, a felületbe ütött számjelet kaptak az 5.4 ábrának megfelelően.

Az eredeti 200×250 mm méretű lölapok feldarabolásakor, annak minden részébe 4mm-es számbeütővel kerültek egyértelműen azonosításra a darabok. A beütést az 5.6 ábra mutatja a 8. számú lövés esetében.



5.6. ábra. Mintadarabok jelölése (8-as számú lövés 1. nézet) (Saját felvétel)



5.7. ábra. A próbatestek kimunkálása után megmaradt anyag (saját felvétel)

A mintadarabok lövedék becsapódási zónájától két egymásra merőleges irányból kerültek kialakításra az 5.7. ábra alapján. A csiszolathoz használt minták két lépésben lettek kialakítva, először a 200x250 mm lapokból durva vágással lettek kimunkálva, majd köbös bór-nitrid (CBN) tárcsával a vizsgált felületek méretre lettek vágva. A kivágott minták 30x10x8 mm méretűek.

4.3. Próbatestek precíziós vágása

A próbatestek vizsgált felületét CBN tárcsával történt folyamatos folyadékűtés mellett. (Ez biztosítja a vágott felület anyagszerkezetének torzulásmentes kialakítását.) A vágás 4000 ford/min sebességgel és 5 mm/min előtolással lett végrehajtva. A 41-es jelű mintadarab precíziós vágását az 5.8. ábra mutatja.



5.8. ábra. A 41-es darab vágása

4.4. Mintadarabok beágyazása

A mintadarabok ún. „meleg” technológiával kerültek beágyazásra. A precíziósan vágott felület került a csiszolat beágyazó gép munkaasztalának alsó részére, a felső részt pedig hőre lágyuló

porított gyantával lett befedve. A beágyazás során 150°C hőmérséklet, 6 perc melegítési idő, valamint 5 perc hűtési idő lett beállítva. A csiszolat beágyazó gépet az 5.9 ábra az elkészült csiszolatot az 5.10 ábra mutatja.



5.9. ábra. A beágyazó gép

4.5. Csiszolat

A metallográfiai mikroszkópos vizsgálatok elvégzéséhez „csiszolat” lett készítve az elemezni kívánt anyagból. A munkadarab felületét három lépcsőben kell csiszolni (P300, P600, P1000), majd polírozni. A minta felületének síklapúsága kiemelten fontos, mivel a fémmikroszkóp mélységélessége kicsi (0,002 mm). A polimer gyantába történő beágyazás és rögzítés valamint a 3 lépcsős csiszolás és polírozás biztosította a 0,002 mm-en belüli síklapúságot.

A csiszolás, polírozás után a felületet 5%-os salétromsav és alkohol oldatban kell megmaratni azért, hogy láthatóvá váljanak az anyagot felépítő kristallitok.



5.10. ábra. A 182-es számú csiszolat (saját felvétel)

5. A MIKROSKÓPI KÉPELEMZÉS

A fémekből készült, maratott csiszolat anyagszerkezeti vizsgálatához ráeső fényű fémmikroszkópot kell alkalmazni. A csiszolatok fémtani elemzése a Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar, Gépipari Technológiai Intézet, Metallográfiai laborjában történt.

5.1. Fémmikroszkóp

A csiszolatok elemzése Zeiss AxioLab A1 típusú fémmikroszkóppal történt (6.1 ábra). A mikroszkóp nagyítása 100x, 200x, 500x, 1000x. A mikroszkóp tartalmaz egy 3,2Mpixel képpontú CCD kamerát, amely digitálisan feldolgozhatóvá és rögzíthetővé teszi a vizsgálat képeit.



6.1. ábra. A Zeiss Axio A1 fémmikroszkóp (saját felvétel)

5.2. A mikroszkópi vizsgálat

A munka során minden lövésről kettő darab egymásra merőleges mintából beágyazott csiszolat készült. A mikroszkópi vizsgálat során lövésenként készültek jegyzőkönyvek. Az elkészült jegyzőkönyvek a 8. mellékletben találhatók.

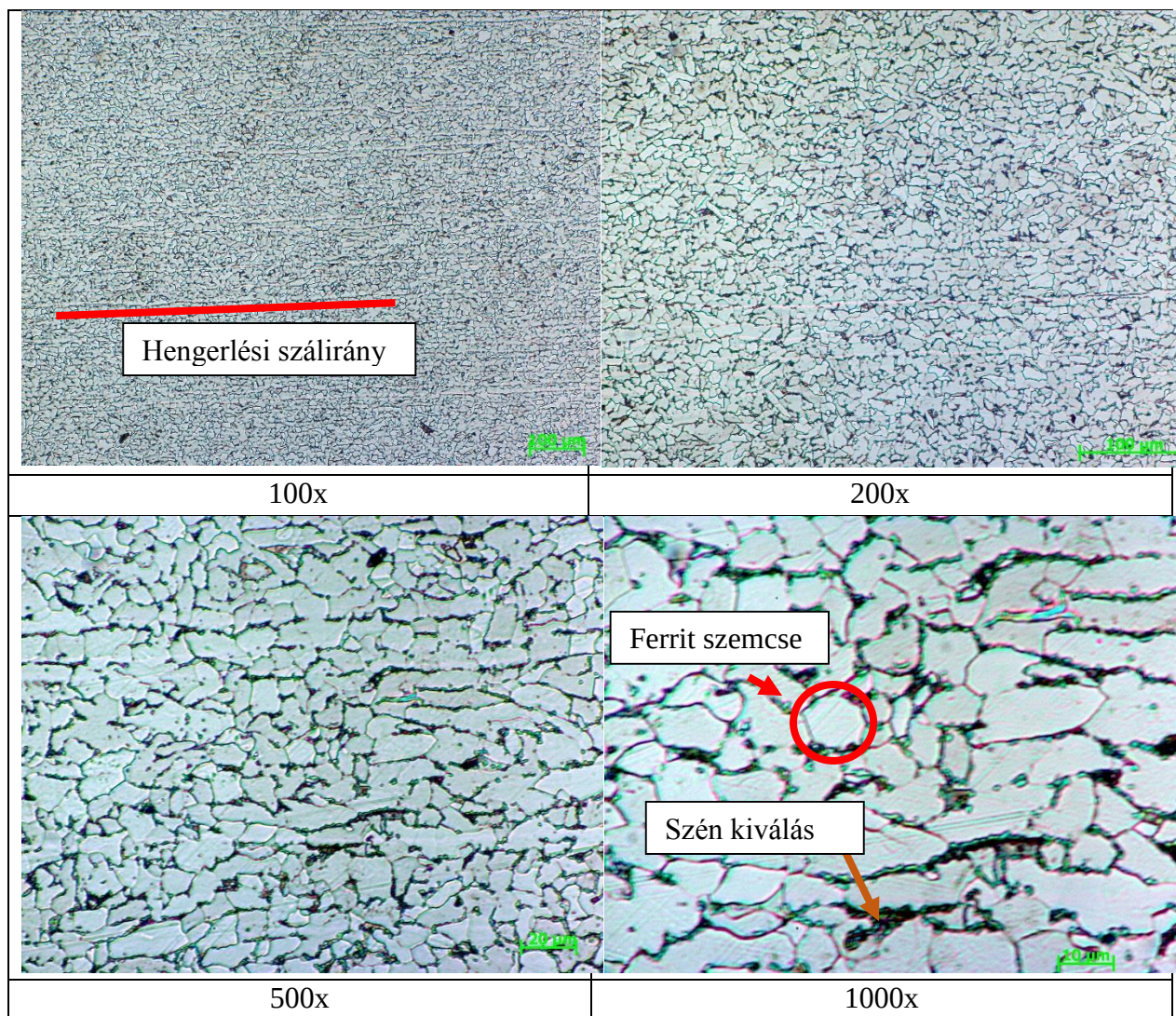
Minden egyes jegyzőkönyv tartalmaz egy fejrészt, egy fényképes részt, és egy szöveges magyarázatot. A fejrészben feljegyzésre került a lövéssel kapcsolatos paraméterek, amelyek egyértelműen beazonosíthatóvá teszik a mintát, valamint a jegyzőkönyvet olvasó számára megjelenítik a lőtéri paramétereket is. A fényképes részben az egy másra merőleges csiszolatokról két-két fénykép került beillesztésre (digitális formában további képek állnak rendelkezésre lövésenként változó mennyiségben). A szöveges rész a vizsgálat során észlelt jellemzőket tartalmazza, ezek lehetnek repedések anyagfeltapadások, szerkezeti torzulások, stb.

5.3. A vizsgált anyagok csiszolati képei

A munka során háromfajta anyag metallográfiai vizsgálatára került sor. Referencia anyagként egy a kereskedelemben kapható általános rendeltetésű szerkezeti acél került összehasonlításra egy a Magyar Honvédségben rendszeresített csapatszállító jármű páncél anyagszerkezetével (későbbiekben „A” páncél). A harmadik vizsgált anyag pedig a kereskedelmi forgalomba kapható páncélanyag (későbbiekben „B” páncél).

5.3.1. Referencia anyag csiszolati képei

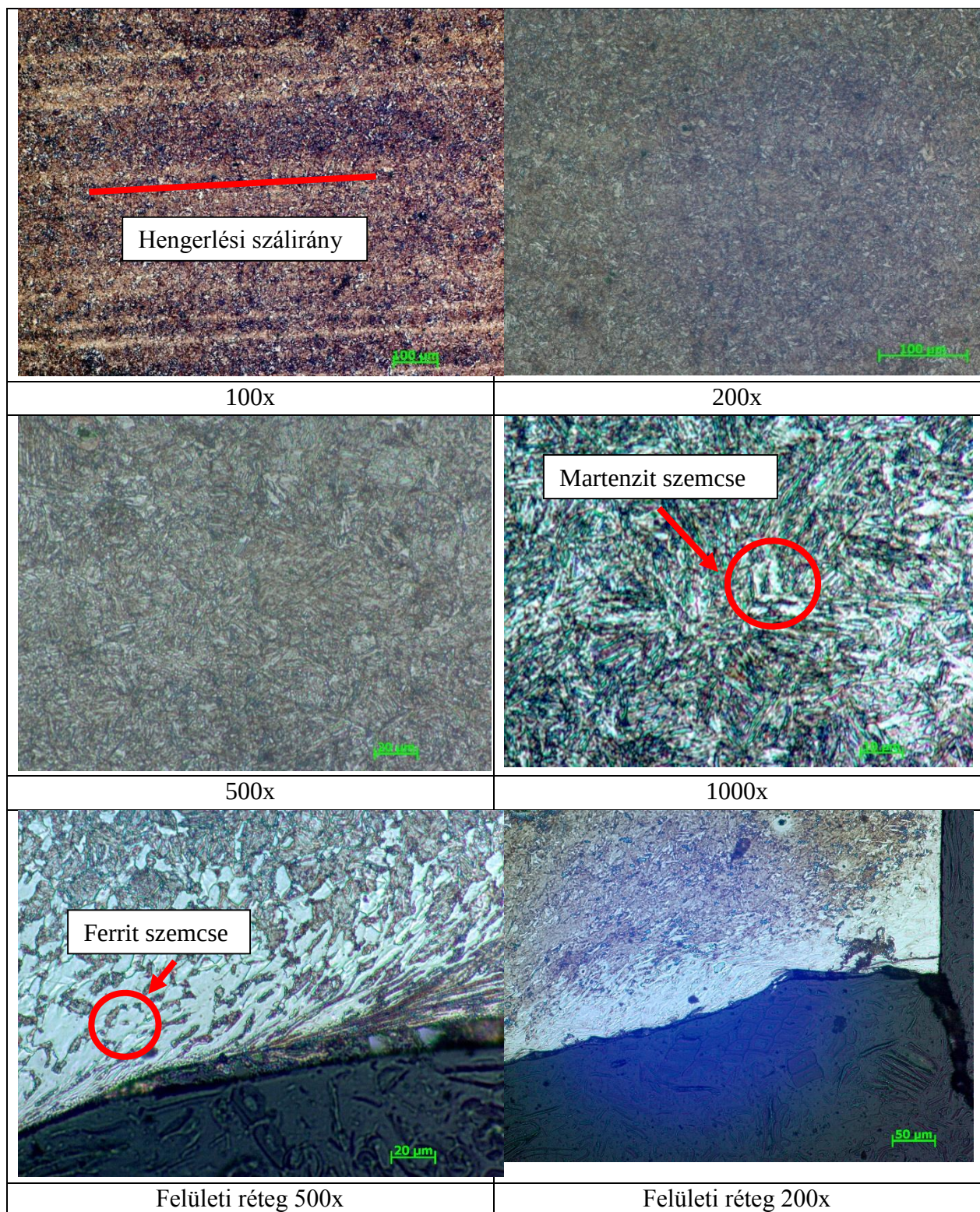
A vizsgálatokhoz referencia anyagként egy ismert összetételű általános szerkezeti acél került kiválasztásra. Az acél típusa S 235 JR G2, amelynek a különböző nagyítású mikroszkópi képeit a 6.1. ábra mutatja. A mikroszkópi képeken látható szerkezet egyenletes eloszlású.



6.1. ábra. Referencia anyagból készült csiszolat mikroszkópi képe 100-1000x nagyításban

5.3.2. Az „A” páncélcsiszolatí képei

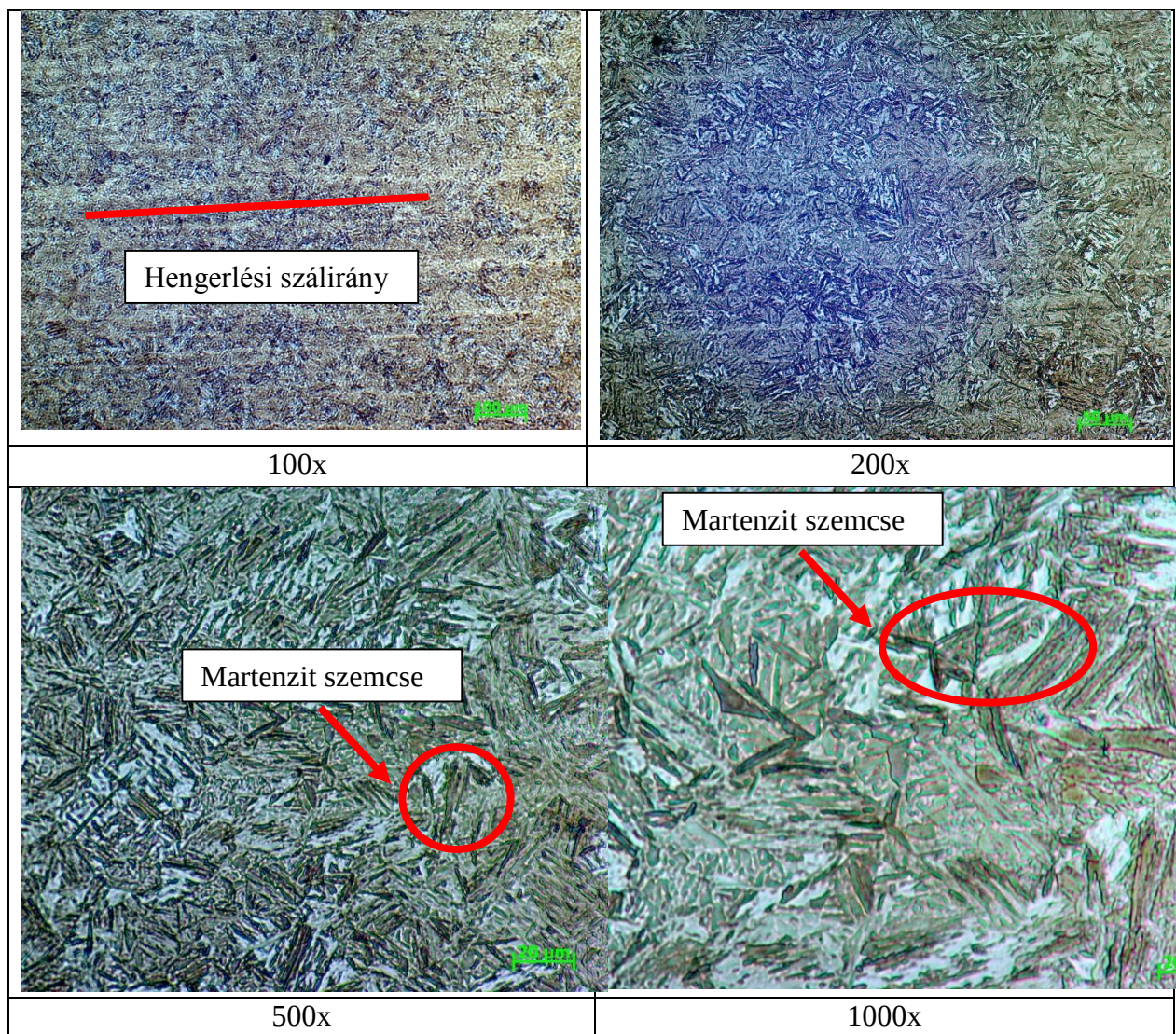
Az „A” páncél anyag esetében a felületen egy kb. 0,1mm vastagságú ferrites szerkezet látható. A lemez belső szövetszerkezete homogén martenzites jellegű, a hengerlés okozta szálirányok jól láthatóak.



6.2. ábra. Az „A” páncélcsiszolatnak a mikroszkópi képe 100-1000x nagyításban

5.3.3. A „B” páncél csiszolati képei

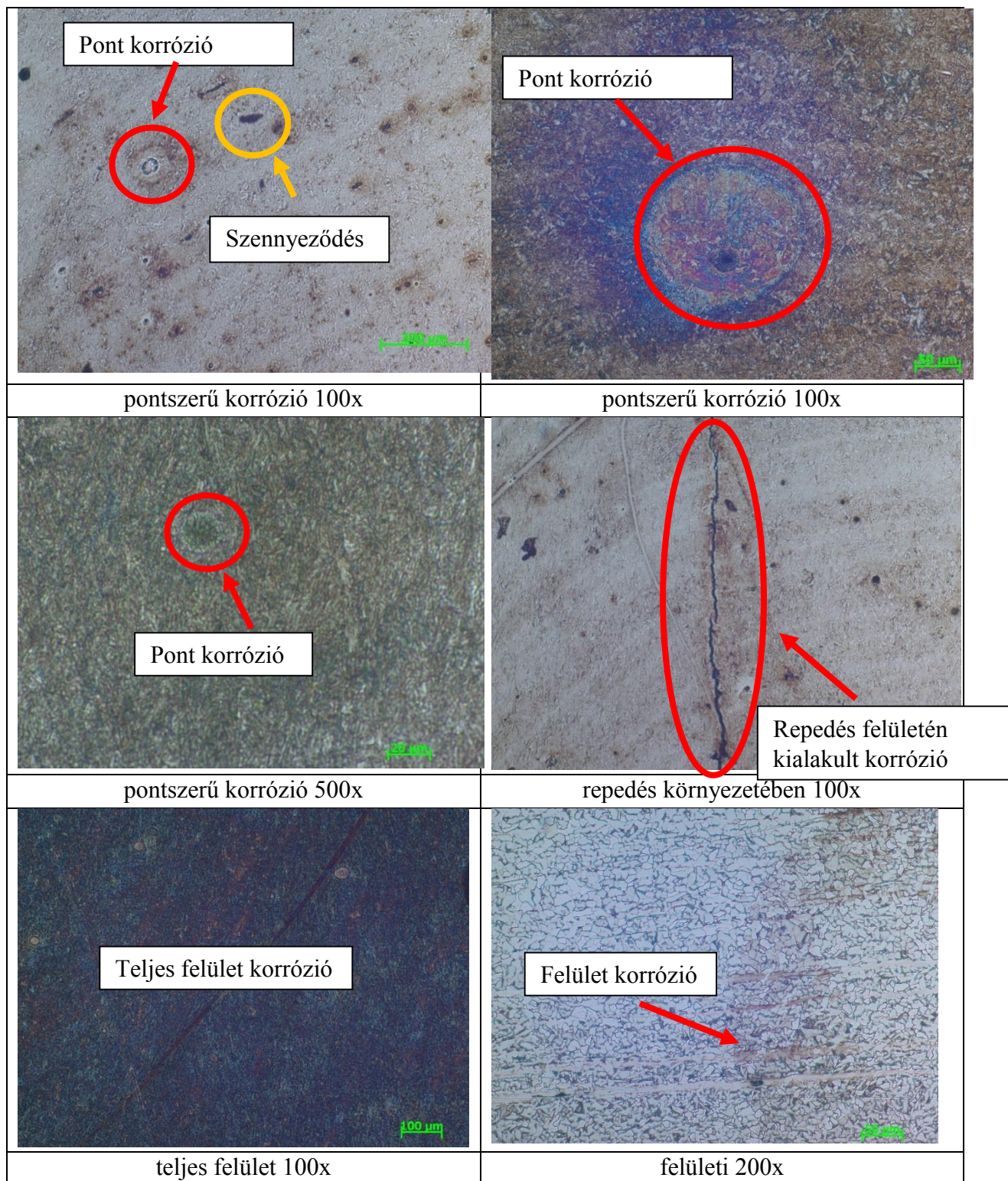
A „B” páncél anyag szerkezete homogén martenzites jellegű a széleken nem láthatóak más típusú kristallitok. A csiszolati képeken jól láthatóak a hengerlés okozta szálirányok.



6.3. ábra. A „B” páncélciszolatának mikroszkópi képe 100-1000x nagyításban

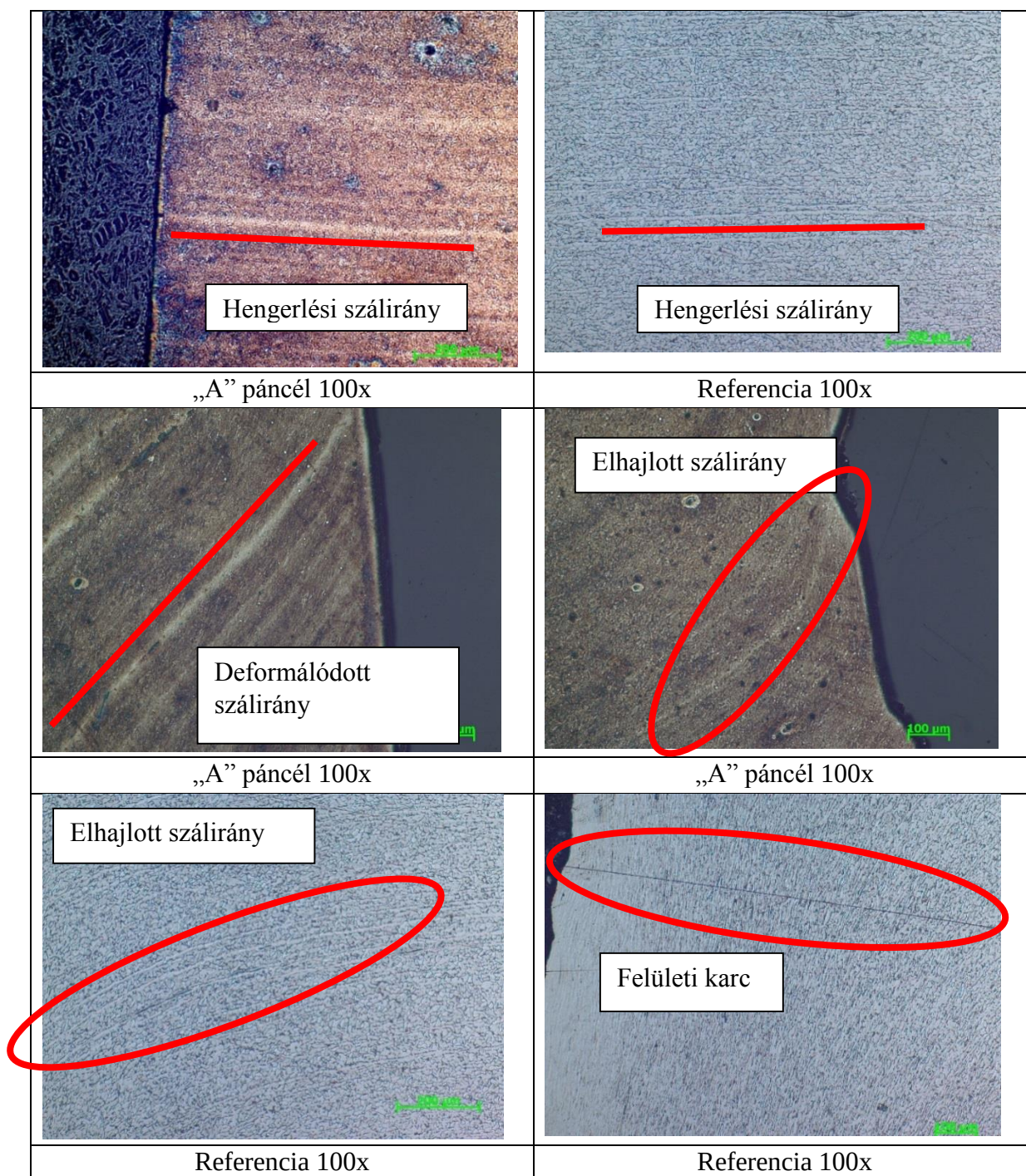
5.4. A csiszolatokon megjelenő korróziók

A csiszolatok készítése után néhány órával már megjelennek a légköri korróziós nyomok a felületen, amelyek esetleg zavarhatják a kiértékelést. A vizsgált anyagok nem korrózióállóak így a felületükön vékony felületi oxidréteg jelenik meg.



6.4. ábra. A felületi korróziók megjelenési formái

A csiszolatok felületén lejátszódó kémiai korrózió pontszerű formában jelenik meg, amely egyre több helyről kiindulva és rövid idő alatt többszörös méretűvé növe, hamar beborítja a teljes felületet. Ezt a jelenséget elsősorban a levegőben lévő oxigén okozza. A levegőben lévő nedvesség tatalom további elektrokémiai korróziót tud okozni. A nem korrózióálló acélok esetében a csiszolatok felhasználhatósága maximum 2 hét. A felhasználhatóságot befolyásolja a labor páratartalma, azonban a jelenség mindenképpen be fog következni. A mintadarabok későbbi tárolása során az állagmegóvás nem lehetséges. A mintadarabokat ismételten felhasználni, csak csiszolás és maratás után lehet.



6.5. ábra. A szálirányok

A csiszolatok felületén lejátszódó kémiai korrózió pontszerű formában jelenik meg, amely egyre több helyről kiindulva és rövid idő alatt többszörös méretűvé növe, hamar beborítja a teljes felületet. Ezt a jelenséget elsősorban a levegőben lévő oxigén okozza. A levegőben lévő nedvesség tatalom további elektrokémiai korróziót tud okozni. A nem korrózióálló acélok esetében a csiszolatok felhasználhatósága maximum 2 hét. A felhasználhatóságot befolyásolja a labor páratartalma, azonban a jelenség mindenképpen be fog következni. A mintadarabok későbbi tárolása során az állagmegóvás nem lehetséges. A mintadarabokat ismételten felhasználni, csak csiszolás és maratás után lehet.

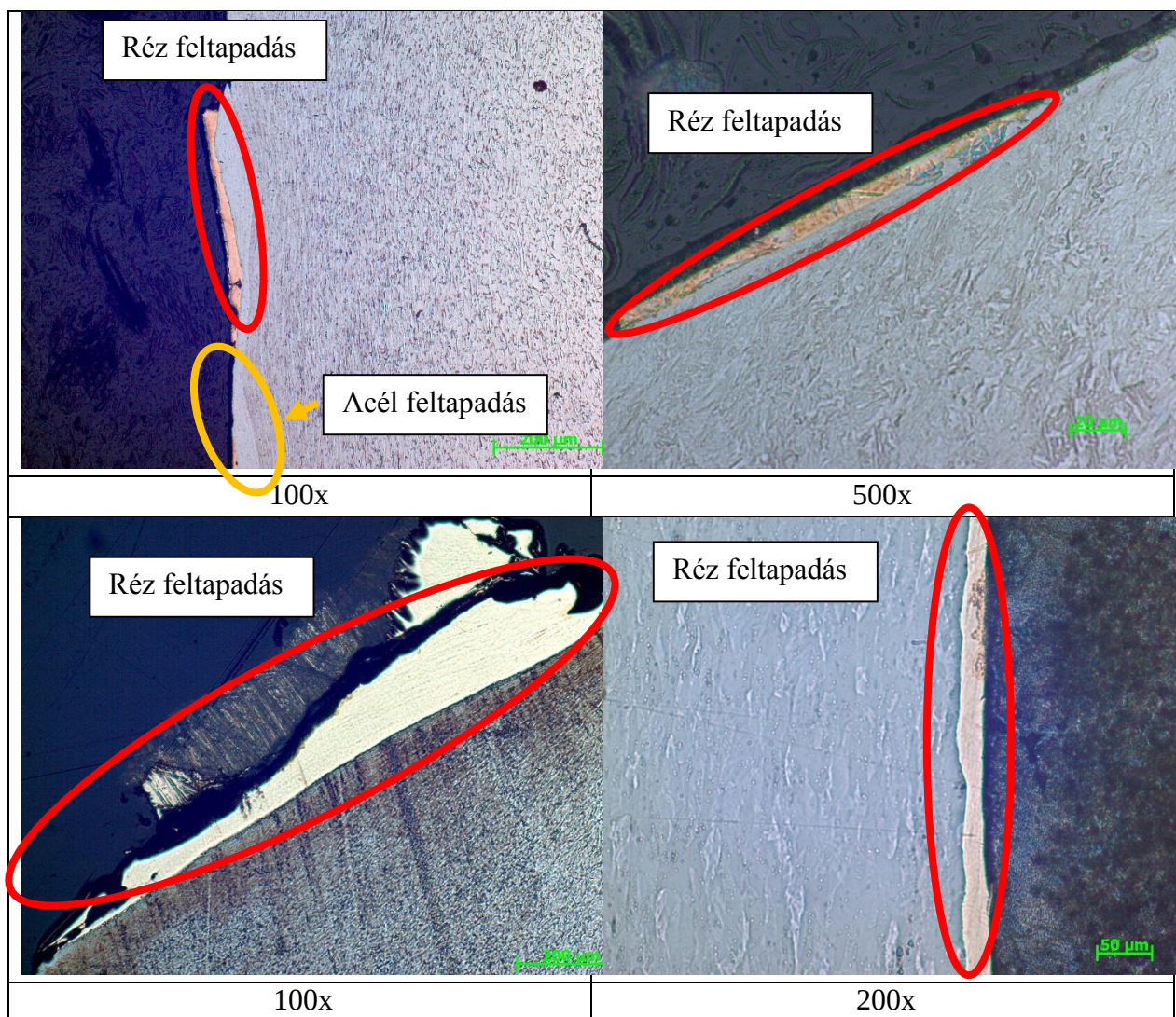
A vizsgált lemez anyagok gyártása során, a bugába öntött tömböket hengerléssel vékonyítják el a kívánt vastagságra. A hengerlés során az anyag szerkezetében rendezettség un. „szálirány” (vagy nyúlási irány) alakul ki. A kialakult rendezettség egymással párhuzamos, egy irányban nyújtott krisztallitokat jelent. A metallográfiai vizsgálatok során ezeket a szálirányokat jól lehet látni. Külső mechanikai behatásra ezek a szálak torzulnak, elhajlanak. Az elhajlás mértéke függ az anyag szilárságától, valamint a behatás mértékétől.

5.5 . Anyagfeltapadás

A kutatás során a lövedék hatása lett vizsgálva a különböző lemezanyagok esetén. A lövedék a lemezzel való találkozása kapcsán az felhevül, belső részei szétváltnak, és egyes részei a találkozás felületén feltapadnak. A több rétegből álló lövedék külső réz köpenye belenyomódik a vizsgált lemez felületébe. A megnövekedett hőmérséklet és terhelés hatására a köpeny anyaga adhézios kötést alakít ki a lemez felületén. Az anyagfeltapadások környezetében egyetlen egy esetben sem jelentek meg repedések. Az anyagfeltapadások nem befolyásolják a páncélanyag védelmi képességét, azonban a lövedék és acélanyag közötti tribológiai viszonyait valószínűleg befolyásolja.

A lövedék egyes részeinek feltapadása környezetében az anyagot alkotó krisztallitok alakváltozást szenvednek. A feltapadás felületére merőlegesen megjelenő nyomóerő hatására a krisztallitok ellapulnak, amely néhány tized milliméternél nem nagyobb kiterjedésűek.

A vizsgált lövések esetében egyértelműen a lövedék magjának réz köpenyét lehet beazonosítani.



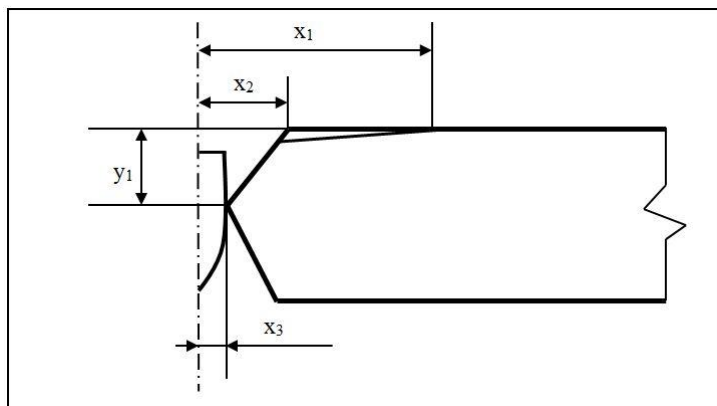
6.6. ábra. Anyag feltapadások

5.6. A csiszolati jegyzőkönyvek jelölései

A vizsgálati környezetben többféle anyag és lőszer párosítás esetén készült lőtéri próba. A lőtérn rögzítésre került a vizsgált acéllemez anyag típusa, valamint a lőszer típusa és a lövés utáni sebessége. A meglőtt lemezeken lőszer típustól és vizsgálati sebességtől függően jelentősen eltérő lenyomati képek láthatóak. Egyes esetekben horpasztás, más esetekben teljes áthatolás történt. A két anyag olyan mértékű szerkezeti különbséggel rendelkezik, hogy a páncéllemez csak a B32 illetve a BZ lövedékek ütötték át, az LPSZ lövedékek nem. A referencia lemezt torkolati sebességnél mindegyik lövedék átütötte. A 300 m-es lőtávolságnak megfelelő sebességű LPSZ lövedék a lemezben megakadt. A lövedékek minden esetben méretbeli változást szenvednek, ezért az átütéskor a lövedék méretét, illetve a sérülés méretét nem lehet teljes pontossággal meghatározni. A 7,62 x 54R LPSZ lövedék által okozott mérettorzulás a 162-es és 204-es mintán lemérhetőek, illetve a próbálövésekkor keletkezett átütések befoglaló méretei lemérhetőek.

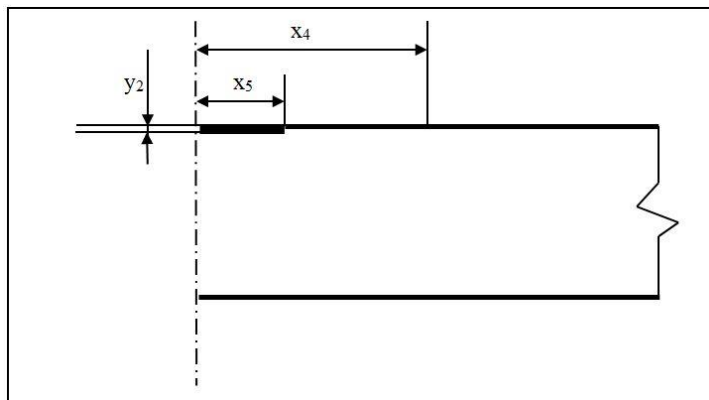
A lőtéri vizsgálatok eredményeit a jó összehasonlíthatóság és rendszerezhetőség érdekében külön-külön lett megvizsgálva. A lövedékek okozta nyomokat három különböző csoportba lettek

sorolva, mely csoportba sorolást a 8. melléklet jegyzőkönyvei lövésenként tartalmaznak. Az „I” esetbe olyan anyag és lövés-párosítás került, amelyben a vizsgált anyag ridegen viselkedik. Az alkalmazott jelöléseket a 6.7. ábra mutatja, az ábrán lévő mennyiségekhez tartozó értékeket szintén a 8. melléklet jegyzőkönyvei mutatják. A lövedék behatolása során tolta maga előtt az anyagot, amelyben a megnövekedett feszültség hatására kiszakadt az anyag hátoldala, miközben maradó deformációt nem szenvedett.



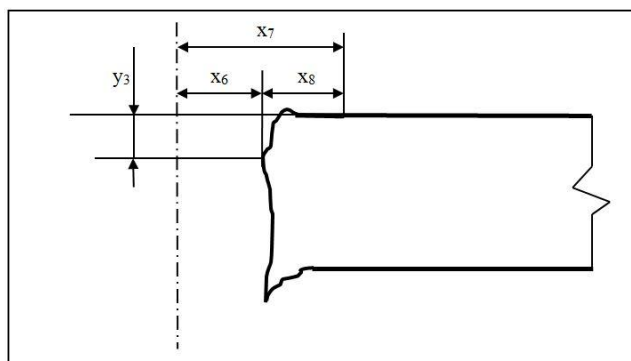
6.7. ábra. Az „I” eset jelölései

A „II” esetben olyan anyag és lövéspárosítás került, amelyben a vizsgált anyagon átütés nem keletkezett, csupán a felület horpasztása történt. A II. esethez alkalmazott jelöléseket a 6.8. ábra mutatja.



6.8. ábra. A „II” eset jelölései

A „III” esetbe olyan anyag és lövéspárosítás került, amelyben a vizsgált anyag szívíósan viselkedik. A lövedék behatolás pillanatában a lemez és lőszer találkozása során egy kráteres felgyűrődés keletkezik, majd a golyó behatolása során tolta maga előtt az anyagot, amelyben a megnövekedett terhelés hatására az anyag folyáshatárát meghaladó feszültség keletkezett. A lőszer áthaladása során valószínűleg nem tolt ki maga előtt jelentős anyagot, hanem azt a környezetébe deformálta. Az alkalmazott jelölések a 6.9. ábrán láthatók.



6.10. ábra. A „III” eset jelölései

Az ábrákon alkalmazott jelölések rendszere:

x_1 - a torzult felületi szövetréteg határa (elvileg megegyezik az x_4 adatával)

x_2 - a bemeneti nyílás peremének távolsága

x_3 - páncéltörő lövedék mag átmérő

x_4 - tényleges deformációs zóna a szálszerkezet torzulásának határa

x_5 - a lövedék általi deformációs zóna határa

x_6 - a deformálódott lövedék mag által okozott torzulás

x_7 - a torzult felületi szövetréteg határa (elvileg megegyezik az x_1 és x_4 adatával)

x_8 - a deformációs zóna határától mért távolság a mag által okozott sérülés széléig

y_1 - a legkisebb átmérő magassága a páncéllemez felületéhez viszonyítva

y_2 - a felületi kristályszerkezet torzulás legnagyobb magassága

y_3 - az x_6 értékhez tartozó magasság a lemez felületétől mérve

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A Nemzeti Közszerológati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Katonai Logisztikai Intézet, Haditechnikai Tanszék és a Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Gépipari Technológiai Intézete közösen vizsgálta különböző páncélzatok mechanikai, és anyagszerkezeti tulajdonságait. A munka során a Magyar Honvédség kötelékében rendszeresített csapatszallító jármű páncéllemezének továbbá, egy kereskedelmi forgalomban kapható páncéllemeznek, valamint egy általános szerkezeti anyag metallográfiai vizsgálata történt meg.

Az elvégzett szilárdsági mérések eredményeinek ismeretében választottunk a meglévő „A” páncél anyaghoz, egy másik páncél anyagot. Az „A” páncél adott vastagságú (8 mm) volt, és ezért a nagyobb szilárdságú kereskedelmi forgalomban kapható „B” páncél kisebb (6,5 mm) vastagságával várhatóan hasonló védetségét eredményez. Így a kisebb anyagvastagság okán, kb. 20% -al könnyebb páncélzat hozható létre. A referencia anyagnak harcászati jelentősége nincsen, azonban a jól látható egyenletes szövetszerkezet, valamint a későbbi számítógépes szimuláció okán volt szükség a használatára. A referencia anyagnak jól definiálható ferrites szövetszerkezete van, amelyen jól megfigyelhetők a lövedék általi roncsolások kristályszerkezetben történő változásai.

A kutatás során lőtéri szolgáltatás lett igénybe véve, ahol jól definiálható körülmények között voltak elvégezhetők a különböző mérések. A páncéllemez vizsgálatának céljára a szabványos átütés-vizsgálatok számunkra nem voltak megfelelőek. A lövedékek röppályájának hosszától (fegyver csőtorkolat és a céltárgy távolsága) függ a lövedék sebessége, amely folyamatosan csökken, ezzel jelentős bizonytalanság vihető be a rendszerbe. Azonban a vizsgálati eljáráshoz szükséges volt különböző lőtávolságok szimulációja (10m, 100m, 300m, 500m), ahol a 10m-es lőtávolság minden esetben alkalmazva volt.

A lőtávolságokat számított adatok alapján gyengített lőporral szerelt lőszerrel lett elérve. A módosított lőszer elkészítésére és felhasználására a legalkalmasabb volt a Polgári Kézipőfegyver és Lőszer Vizsgáló Kft. budapesti telephelyén lévő laboratóriuma. Az eredeti állapotú vizsgáló lőszer lövedékének torkolati sebessége értelemsszerűen nem változott, ezeket az adatokat az ellenőrző lövéseket dokumentáló jegyzőkönyvek tartalmazzák.

A munka során vizsgált anyagokat, többfajta lövedék (7,62x39BZ, illetve 7,62 x 54R LPSZ, és B32) áthatolás, valamint horpasztás okozta szövetszerkezeti változása lett elemelve. A mikroszkópos anyagvizsgálathoz csiszolatok lettek készíítve. A csiszolat feladata a kivágott mintadarabok befoglalása egységes méretű darabokká. Az így kialakult próbatestek alkalmasak a felületük síkba való csiszolására, majd maratására.

A csiszolatokhoz szükséges próbatestek kimunkálása, beágyazása, csiszolása majd maratása a Nemzeti Közszerológati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Katonai Logisztikai Intézet, Haditechnikai Tanszék műhelyében történt. Az elkészült csiszolatok mikroszkópos vizsgálata a SZIE-GEK, Tudástraszfer központjában található Metallográfiai laborban készült.

6.1. Eredmények

A kutatómunka során sikerült egy, a szabványokat felhasználó, de annál részletesebb áthatolászvizsgálati módszert kifejleszteni. Ez a módszer továbbfejleszthető, a célanyag repeszhatásának, valamint a szerkezeti torzulásának szimulációs vizsgálatára.

A lövedékek becsapódásának vizsgálatakor megállapítást nyert a két páncélanyag védelmi képessége a gyalogság ellen alkalmazott 7,62 x 54R LPSZ lőszer lágyacél-magvas lövedéke ellen, mivel lőtávolságtól függetlenül egyetlen esetben sem történt áthatolás. Tehát mindkét páncéllemez teljes védelmet nyújt a lágyacél-magvas lövedékekkel szemben.

A tesztlövészet során sikerült olyan lőtávolságokat szimulálni páncéltörő 7,62 x 39 BZ gépkarabély lőszerrel, amelyek esetében az adott lövedék a célanyagban megakadt. Ez az „A” páncél esetében 100 méteres lőtávolságnak megfelelő sebességű lövedék esetében volt. Ekkor lövedék energiája a páncélanyag a folyáshatára és a szakítószilárdsága közötti tartományhoz szükséges erőhatást generált. Tehát ez a páncél 100 méteres lőtávolságon felül nyújt csak védelmet a 7,62 x 39 Bz lövedék ellen.

A „B” páncél esetén a vizsgált lőtávolságok és különböző lövedékmagok alkalmazásával sehol sem akadt meg a lőszer. A lágyacél-magvas lövedékek esetében torkolati szinten sem volt átütés, míg a páncéltörő lövedékek torkolati szinten teljes átütést produkáltak minden alkalommal, így nem sikerült egyértelműen feltárni, hogy hol van az adott lőszer esetén az a határ távolság, amely felett már védettség van. A későbbiekben a lőtávolságok kisebb léptékű felosztásával valószínűleg megállapítható lenne ezen anyag esetén is az az energiájú lövés, amely esetén éppen átszakad a lemez, de a lövedék meg nem hatol át. Az BZ lövedék 100 m-es lőtávolságnak megfelelő sebesség esetében teljes átütést produkált, ha ezt összevetjük az „A” páncéllal, ahol hasonló sebességű három lövedékből kettő fennakadt és egy ütötte csak át, akkor úgy tűnhet, hogy az „A” páncél nagyobb védőképességgel rendelkezik. Viszont figyelembe kell venni, hogy a „B” páncél 1,5 mm-el vékonyabb, és a kettő védelmi képességének az egyértelmű összevetéséhez (amennyiben ez szükséges) statisztikailag is értelmezhető lövésszámba van szükség. A „B” páncél tehát az LPSZ lövedék ellen teljes védelmet nyújt, de egyik páncéltörő lövedékek ellen sem nyújt védelmet 100 m-es lőtávolságon belül.

Az „A” páncél anyag a horpasztással járó lövés esetén (7,62 x 54R LPSZ lőszer lövedéke és torkolati sebességgel) a becsapódáskor roncsolt felülethez közel, maximum 1 mm-es távolságban deformálódik. A horpadás mélysége, illetve a lemez hátoldali felületén kialakult domború felület magassága a legkisebb lőtávolságon a legnagyobb, de ez esetben sem éri el a 0,1 mm-t. A páncéllemez felületén keletkezett zömölt rétegen kívül jelentős anyagszerkezeti változás nem következik be. A deformációs zónában a hengerlési szálak torzulnak, azonban a zónán kívül az anyag szerkezete sértetlen. A lemez által nyújtott védelmi képesség egy lövés esetén a lövedék becsapódásának helyén, és annak közvetlen környezetében nem változik. A lemez által lövedék áthatolás nélkül elviselhető lövések száma ugyanazon a helyen, vagy adott távolságon belül további vizsgálatok tárgyát képezi. Az „A” páncéllemezen, a 7,62 x 39 BZ lőszerrel végzett kísérletek során, a 100m-es lőtávolságon lehetett olyan eredményt felmutatni, ami alapján valószínűsíthető a védelmi képesség egyik határa. Ennek jelentősége, hogy milyen lőszer ellen, milyen távolságból nyújt védelmet egy harcjármű.

A „B” páncél anyagnál ugyanezen esetben (ugyanakkora energiájú becsapódás mellett) nem csak a felület közelében deformálódik az anyag, hanem „gumiszalag” módjára megnyúlik az anyag teljes keresztmetszete, így az a lövés hátoldalán is jól látható nyomot hagy. Repedések, amelyek repeszhatás keletkezését okozhatják, egyik esetben sem keletkeznek, azonban a „B” páncél anyagon 7,62 x 54R LPSZ lőszer, 10 m távolságú lövés esetében a horpasztási zóna szélénél repedések jelennek meg az anyag belseje felé.

A tesztlövészetet követően a roncsolt célanyagokból mikroszkópos vizsgálatok elvégzésére alkalmas csiszolatok készültek. Az elkészített csiszolatok elemzése során a roncsolt célanyagokat a deformációk alapján három különböző csoportra lehetett felosztani:

- a vizsgálati körülmény hatására szívósan viselkedik az anyag (van áthatolás);
- a vizsgálati körülmény hatására ridegen viselkedik az anyag (van áthatolás);
- horpasztás (nincs áthatolás).

Az áthatolással járó csoportokba tartozó sérülések más jellegűek, de megállapítható, hogy az anyagszerkezeti változások deformációs zónájának határa egyik esetben sem több mint 2 mm a sérülés peremétől mérve, a páncéltörő lövedék magjának középpontjától (a találat középpontjától) mérve 5 mm. A sérülések minősége azonban a lőtávolságok, az alkalmazott lövedékek, illetve a céltárgyak minőségének függvényében eltért. Azonos lőszer, azonos célanyag, de különböző lőtávolság esetében megfigyelhető az anyagszerkezeti változások mértékének eltérése.

A csiszolatok alapján, megállapítható, hogy lágy referenciának használt anyag áthatolós lövése esetén az alkalmazott lőszertípusok esetén, abban nem keletkeznek repedések a lövedék okozta lyuk környezetében, így repeszhatásra nem, vagy csak csekély mértékben kell számolni. A lövedék okozta deformációs sebesség az áthatolás egyetlen szakaszában sem haladja meg az anyagra jellemző kritikus értéket, amely hatására ridegtörés következne be.

A két páncélanyag közel hasonló összetételű a csiszolatok mikroszkópi képein jól látható a hasonló martenzites szerkezet, amely a hőkezelésnek köszönhető. A „B” páncél anyag teljes keresztmetszete homogén, ellenben az „A” páncél anyag felületén anyagszerkezeti változás figyelhető meg. Az „A” páncél anyag mind a két felületén egy lágyabb ferrites anyagszerkezet látható maximum 0,1 mm mélységig.

Áthatolós lövés során a vizsgált páncél anyagok mindegyike először egy maradó alakváltozást szenved, amely során az anyag belsejébe hatoló lövedék gumiszalag módjára torzítja a hengerlési szálakat. A BZ és B32 lövedék magja nem torzul (a lövések után gyűjtött ép hegyű lövedékmag alapján), ezáltal a hegyénél kialakuló helyi feszültségcsúcs hatására repedéseket hoz létre az anyag egy pontján. A repedéseket kitágítva a lövedékmagja továbbhalad, de ekkor már ridegen kiszakítja az előtte lévő anyagmennyiséget, ezzel repeszhatást okozva.

Olyan esetben, amikor a lőszer áthatolása megtörténik, akkor az „A” páncél anyagban a keletkezett lyuk környezete sima, csak néhány esetben látható a lyukkal párhuzamos repedés, amely továbbterjedve minden valószínűség szerint további repeszhatást idézne elő. Ugyan ezen energiájú lövések esetén, ha van áthatolás, akkor a „B” páncél anyag esetében legtöbbször az alapanyag gyártása során kialakult hengerlési szálakkal párhuzamos repedések jelennek meg. A becsapódási energia növekedésével a hengerléssel (a lap síkjával) párhuzamosan kialakult repedésekre merőleges az anyagrész kiszakadását okozó újabb repedések jelennek meg. A lőszer magjának áthaladása során fellépő az „A” páncél anyagénál nagyobb súrlódás következtében, amelyet valószínűleg az anyag nagyobb szilárdsága miatt nagyobb lőszermagot szorító erő miatt alakul ki, a hengerlési rétegek elszakadnak egymástól. Így a „B” páncél anyag esetében a kisebb keresztmetszet ugyanakkora áthatolási védettség mellett, ha bekövetkezik a lövedék áthatolása, nagyobb repeszhatás lép fel.

A csiszolatok elemzése során a következő megállapításokat tettem:

- Horpasztásos lövés esetén az „A” páncél és a referencia anyag felületén szövetszerkezeti változás maximum 0,5 mm mélységig tapasztalható, repedések egyáltalán nem jelentkeztek, ezzel szemben a vékonyabb „B” páncél esetén, abban az esetben, ha keményfém magos lövedék került használatra, akkor repedések jelennek meg a felületen.
- Átütéses lövés esetén „A” páncél és a referencia lemez hengerlési szálirányai a lövedék ütötte lyukkal párhuzamos irányban eltorzul, repedések csak lyuk kilépő oldalán láthatóak, ezzel szemben a „B” páncél esetén a lövedék magja és az anyag között fellépő súrlódás hatására az anyagban lévő hengerlési szálak szétváltak és a megnövekedett feszültség okán rájuk merőleges repedések jelennek meg, amely 2-3 mm²-es anyagleválásokat okoz.

6.2. További kutatások

A jelenlegi munkában a nagyszámú és széles spektrumú, lőtéri vizsgálatok mellett sikerült feltérképezni a vizsgált anyagokon, a lövedék becsapódásának vagy áthatolásának következményeit. Lehetőség van a lövedék-becsapódás hatásának számítógépes szimulációjára azonban ehhez szükséges a jelenlegi munka alapján további, de már szűkített tartományú vizsgálatok elvégzése. A Haditechnikai Kutatóműhely kísérleti és kutatási tevékenysége során megteremtette azokat az alapokat, amelyek vizsgálatsorozat lehetséges kibővítését, folytatását szolgálják. A további kutatási irányok lehetnek:

- számítógépes szimuláció számára adatszolgáltatás különböző lőtávolságok esetén (különösen a páncéltörő löszerek több típusával folytatott kísérletek eredményeinek összevetése, abból a szempontból, hogy milyen távolságon nyújt védelmet a célanyagból kialakított ballisztikai védőelem);
- a ballisztikai védőelemek kialakításakor szükséges, de anyagszerkezeti változást okozó munkák következményeinek vizsgálata különböző lőtávolságok esetén (a páncélozott járműveken az utólagosan felszerelt vagy hegesztett eszközök gyengíthetik a védelmi képességeket, ennek feltérképezése fontos terület lehet);
- repeszhatás vizsgálata adott lövedéktípus esetén különböző lőtávolságokon (a becsapódó, vagy áthatoló lövedék mozgási energiájának egy részét a páncélból leváló repeszeknek, melyek sebesítő hatását érdemes vizsgálni);
- az áthatoló lövedék pályájának, mozgásának, energiájának, ölü illetve sebesítő hatásának vizsgálata lőtávolság, löszer típus és a célanyag függvényében.
- a páncéllemez védőképességének vizsgálata (mekkora lőtávolságon akad meg a lövedék a páncéllemezben, löszertípus, lőtávolság illetve páncéllemez anyag és vastagság függvényében)
- a növekvő lőtávolság során a csökkenő sebességű lövedék által okozott torzulás mértékének vizsgálata, a lemezek hengerlési-szál torzulásának mérésével.

A becsapódások, áthatások felvétele gyorskamerával lehetővé teszi a lövedék, a páncéllemez, az esetleges repeszek mozgásának vizuális rögzítését. Méretbeosztással rendelkező háttér elhelyezésével az időparaméter rögzítésével a mozgó szilánkok, vagy lövedék sebessége kiszámítható.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Sebők, I., Gávy, G. Destructive testing of metallic and non-metallic material MECHANICAL ENGINEERING LETTERS: R AND D: RESEARCH AND DEVELOPMENT 9:pp. 28-33. (2013)
- [2] MSZ K Standard 1114-1 (1999) Body armours. Bulletproof vests
- [3] NIJ Standard 0101.06 (2008) Ballistic Resistance of Body Armor
- [5] Löfe/104, 7,62 mm-es PKM és PKMSZ Kalasnyikov géppuska anyagismereti és löutasítása, Honvédelmi Minisztérium, 1976.
- [6] НАСТАВЛЕНИЕ по СТРЕЛКОВОМУ ДЕЛУ 7,62-мм МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ АВТОМАТ КАЛАШНИКОВА (АКМ и АКСМ) Издание *третье, исправленное и дополненное* Ордена Трудового Красного Знамени ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР Москва -1970

8. MELLÉKLETEK

1. Lövészet jegyzőkönyv, belballisztikai jegyzőkönyv
2. Kereskedelmi forgalomban kapható referencia anyag műbizonylat
3. A+M Kft vízsugaras vágás megrendelő lap
4. BTR csapatszallító páncéllemez szállító levél
5. BTR csapatszallító jármű páncélanyag szakítóvizsgálata jegyzőkönyv
6. BTR csapatszallító jármű páncélanyag keménység mérés jegyzőkönyv
7. Lövedékek keménység mérés jegyzőkönyv
8. A projektben készült csiszolatok metallográfiai vizsgálatának jegyzőkönyvei



POLGÁRI KÉZILŐFEGYVER- ÉS LŐSZERVIZSGÁLÓ Kft.



JEGYZŐKÖNYV

Lövedékálló anyagok átütés vizsgálata az alábbi táblázatban foglaltak szerint.

Lövés szám a	Lemez típusa	Lövés a lemezre	Lőszer típusa	Valós, ill. számított lőtávolság (m)	Mért sebesség érték (m/s)	Átütés	megjegyzés
1	páncél A 1.	1/1	7,62x54R B32	10 m	812	van/teljes	
2	páncél A 2.	1/1	7,62x54R B32	10 m	817	van/teljes	
3	páncél A 3.	1/1	7,62x54R B32	10 m	821	van/teljes	
4	referencia 1.	1/1	7,62x54R B32	10 m	816	van/teljes	
5	referencia 2.	2/1	7,62x54R B32	10 m	831	van/teljes	
6	referencia 3.	1/1	7,62x54R B32	10 m	818	van/teljes	
7	referencia 2.	2/2	7,62x54R B32	10 m	825	van/teljes	ismétlés, tartalék marad
8	páncél A 4.	1/1	7,62x54R LPSZ	10 m	821	nincs	
9	páncél A 5.	1/1	7,62x54R LPSZ	10 m	820	nincs	eredménytelen lövés
10	páncél A 5.	1/1	7,62x54R LPSZ	10 m	823	nincs	
11	páncél A 6.	1/1	7,62x54R LPSZ	10 m	819	nincs	
12	referencia 4.	1/1	7,62x54R LPSZ	10 m	829	van/teljes	
13	referencia 5.	1/1	7,62x54R LPSZ	10 m	819	van/teljes	
14	referencia 6.	1/1	7,62x54R LPSZ	10 m	817	van/teljes	
15	referencia 7.	2/1	7,62x54R LPSZ	500m	458	nincs	
16	referencia 7.	2/2	7,62x54R LPSZ	300m	625	nincs	a lövedék a lemezben maradt
17	referencia 8.	2/1	7,62x54R LPSZ	500m	488	nincs	
18	referencia 8.	2/2	7,62x54R LPSZ	300m	631	nincs	a lövedék a lemezben maradt
19	referencia 9.	2/1	7,62x54R LPSZ	500m	504	nincs	
20	referencia 9.	2/2	7,62x54R LPSZ	300m	627	nincs	a lövedék a lemezben maradt
21	páncél A 7.	1/1	7,62x54R LPSZ	300m	627	nincs	
22	páncél A 8.	1/1	7,62x54R LPSZ	300m	628	nincs	
23	páncél A 9.	1/1	7,62x54R LPSZ	300m	631	nincs	
24	páncél A 10.	2/1	7,62x39 BZ	10m	769	van/teljes	
25	páncél A 11.	2/1	7,62x39 BZ	10m	772	van/teljes	
26	páncél A 12.	2/1	7,62x39 BZ	10m	766	van/teljes	
27	referencia 10.	2/1	7,62x39 BZ	10m	770	van/teljes	
28	referencia 11.	2/1	7,62x39 BZ	10m	764	van/teljes	

H-1031 Budapest,
Gyöngyös u. 6.
www.pklv.hu



Telefon: (06-1) 347 6030
Fax: (06-1) 347 6039
E-mail: mkh@mkh.hu

29	referencia 12.	2/1	7,62x39 BZ	10m	771	van/teljes	
30	referencia 10.	2/2	7,62x39 BZ	100m	635	van/teljes	
31	referencia 11.	2/2	7,62x39 BZ	100m	653	van/teljes	
32	referencia 12.	2/2	7,62x39 BZ	100m	642	van/teljes	
33	páncél A 10.	2/2	7,62x39 BZ	100m	637	van/teljes	a lövedék a lemezben maradt
34	páncél A 11.	2/2	7,62x39 BZ	100m	645	van/teljes	
35	páncél A 12.	2/2	7,62x39 BZ	100m	648	van/teljes	a lövedék a lemezben maradt
36	páncél B 1.	3/1	7,62x54R LPSZ	10 m	815	nincs	
37	páncél B 1.	3/2	7,62x54R LPSZ	10 m	814	nincs	
38	páncél B 1.	3/3	7,62x54R LPSZ	10 m	823	nincs	
39	páncél B 2.	3/1	7,62x54R B32	10 m	810	van/teljes	
40	páncél B 2.	3/2	7,62x54R B32	10 m	816	van/teljes	
41	páncél B 2.	3/3	7,62x54R B32	10 m	826	van/teljes	
42	páncél B 3.	3/1	7,62x54R LPSZ	300m	601	nincs	
43	páncél B 3.	3/2	7,62x54R LPSZ	300m	623	nincs	
44	páncél B 3.	3/3	7,62x54R LPSZ	300m	617	nincs	
45	páncél B 4.	3/1	7,62x39 BZ	10m	783	van/teljes	
46	páncél B 4.	3/2	7,62x39 BZ	10m	768	van/teljes	
47	páncél B 4.	3/3	7,62x39 BZ	10m	784	van/teljes	
48	páncél B 5.	3/1	7,62x39 BZ	100m	630	van/teljes	
49	páncél B 5.	3/2	7,62x39 BZ	100m	633	van/teljes	
50	páncél B 5.	3/3	7,62x39 BZ	100m	632	van/teljes	

Budapest, 2014-03-04



Szabián Norbert
Mérőállomás vezető

**Polgári Kézilőfegyver- és
Lőszervizsgáló Kft.**



Kalamár Ödön
Ügyvezető igazgató

H-1031 Budapest,
Gyöngysor u. 6.
www.mkh.hu

Telefon: (06-1) 347 6030
Fax: (06-1) 347 6039
E-mail: mkh@mkh.hu


POLGÁRI KÉZILŐFEGYVER- ÉS LŐSZERVIZSGÁLÓ Kft.

Civilian Small Arms and Ammunition Examiner Ltd

*The Hungarian Proof House
Ungarisches Beschussamt*

Szám:

Megrendelő: Nemzeti Köszolgálati Egyetem

Kaliber: 7,26x45R

Gyártó:

Dátum: Mar 4, 2014

Vizsgáló: Szabián Norbert

Pmax [bar] 3900

Mérőcső száma: 081220P

Hüvely -

Csőhossz 600.0

Csappantyú Berdan

Mérőfej GP6 (Sn.:6285)

Lőpor fajtája ismeretlen

Légnyomás 998mbar

Lőpor tömeg [g] ismeretlen

Páratartalom 52 %

Lővedéktömeg [g] 9,63

Hőmérséklet 20 °C

Lővedék típus Lpsz

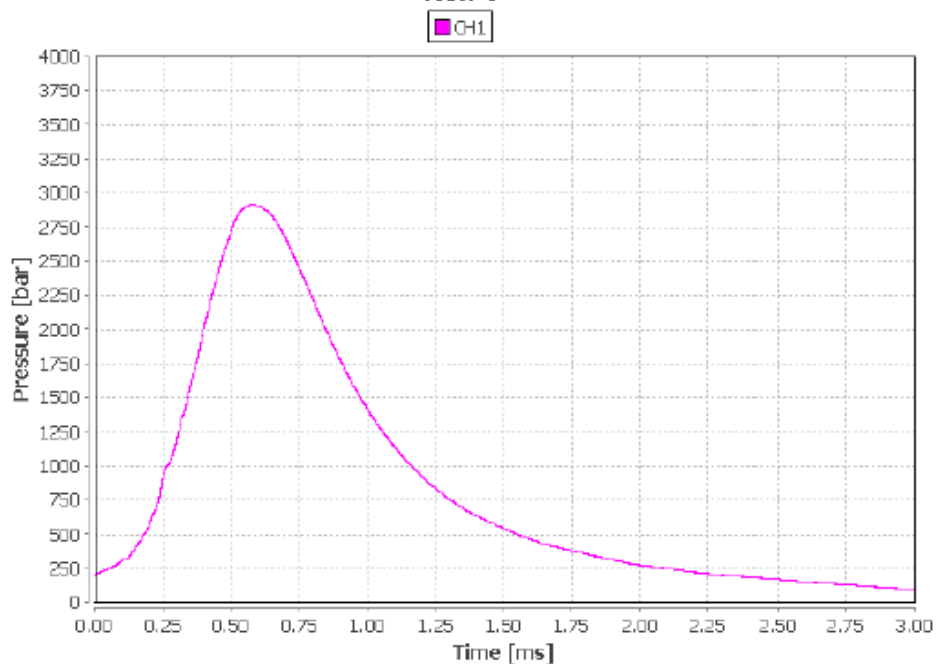
No.	P max_1 [bar]	V10.00_2 [m/s]	E_2 [J]
1	2916.7	822	3253
MEAN	2916.7	822	3253
MAX	2916.7	822	3253
MIN	2916.7	822	3253
RANGE	0.0	0.0	0.0
STDEV	◆	◆	◆



POLGÁRI KÉZILÖFEGYVER- ÉS LŐSZERVIZSGÁLÓ Kft.
Civilian Small Arms and Ammunition Examiner Ltd
The Hungarian Proof House
Ungarisches Beschussamt



No.: 1



Pressure:

CIP requirement met
Limits OK

 DUTRADE A DUNAÉRTES Csoport tagja				Szállítólevél				Szállítólevélszám LV000717/2014		Példányszám: 1 1/1 Oldal	
Név: Szállító: 8911 DUTRADE ZRT. Cím: VÁGÓCENTRUM 1184 BUDAPEST Vaslemez út 25. Telefon:				Vevő: 10910 BUDAPEST MAGÁNSZEMÉLY VEVŐ 2211				Száll. címzett: 17118529 GÁVAY GYÖRGY 7761 KOZÁRMISLENY KINIZSI ÚT 5. egyedi vevő			
Telephely: 91 Régió: 8		Fuvarszköz:		Fuvarozási mód:		Nyomtatás dátuma: 14/02/19		Rakjegyzék: RJV00723		Szállítás dátuma: 14/02/19	
Termék megnevezés				Kiegészítő leírás		Vevői rsz.		Egyedi az.		Gyártóm. az.	
				Minőségjel, minőségsszabvány		Oszl.		VTSZ/SZJ		Mennyiség	
Méretek 8x250x1000 rajzsz.alk.r. 8,00X250,00X1000,00 Megjegyzés:				S 235 JR G2 EN10025 72072080 1		48,00 kg 3,00 db VC012612		LVA109100N000002KT			
Dutradia Zrt. 2450 Dunaújváros, Pongrács út 49 Cég azonosító: 11117E Adószám: 114 079-4-07 Cégjegyzékszám: 010979-5-97 Végfelhasználó N°: 19 Nettó érték Nettó tömeg Paketszám 48,00 0											
Csimár Kornélia (HUF) Kiállító				Átadó				Átvéve			

L75-258



POLGÁRI KÉZILŐFEGYVER- ÉS LŐSZERVIZSGÁLÓ Kft.

Civilian Small Arms and Ammunition Examiner Ltd

The Hungarian Proof House
Ungarisches Beschussamt



Szám:		Kaliber:	7,62x54R
Megrendelő:	Nemzeti Közszoigálati Egyetem	Gyártó:	
Dátum:	Mar 4, 2014	Vizsgáló:	Szabián Norbert
Pmax [bar]	3900	Mérőcső száma:	081220P
Hüvely	-	Csőhossz	600.0
Csappantyú	Berdan	Mérőfej	GP6 (Sn.:6285)
Lőpor fajtája	ismeretlen	Légnyomás	998 mbar
Lőpor tömeg [g]	ismeretlen	Páratartalom	52 %
Lövedéktömeg [g]	10,1	Hőmérséklet	20 °C
Lövedék típus	B32		

No.	P max_1 [bar]	V10.00_2 [m/s]	E_2 [J]
1	3415.3	825	3437
MEAN	3415.3	825	3437
MAX	3415.3	825	3437
MIN	3415.3	825	3437
RANGE	0.0	0.0	0.0
STDEV	◆	◆	◆