



Kutasi Csaba

Ballisztikus védelemre alkalmas védőöltözések és kiegészítők

A lőfegyverek elterjedésével a kilőtt lövedékek, a robbanás során keletkező repeszek egyre nagyobb veszélyt jelentettek az emberre. A ballisztikus védelem nemcsak a katonaságnál, hanem a rendvédelmi, bűnüldöző, határrendészeti szerveknél és a tűzszerészeknél szolgálok számára vált fontossá, de egyes civil védőöltözéseknél is. A veszélyes zónákban jelen levő munkakutyák védelme is megoldott. A különböző golyó- és robbanásálló álló védőöltözések, kiegészítők (pl. sisakok) mellett a szúrásálló eszközök fejlesztése is egyre jobban fejlődött, és valamennyi egyfolytában fejlesztés alatt áll. A korszerű szálak felhasználásával előállított textilanyagok és a testpáncélok védelmi szintjét fokozó egyéb anyagok és innovatív technológiák alkalmazása hatékonyan növeli a biztonságot.

A különböző lövedékek és a robbanásból származó repeszek az emberi testbe kerülve köztudottan súlyos, eseteként életveszélyes sérüléseket okoznak. Életfontosságú szervekbe behatolva, az artériákat roncsolva az élet kioltására is képesek.

A fokozottan veszélyeztetett foglalkozást ellátó személyek számára viszont hatékony ballisztikai védelmet nyújtanak a speciális anyagú, szerkezetű és kialakítású védőöltözések és ruházatkiegészítők.

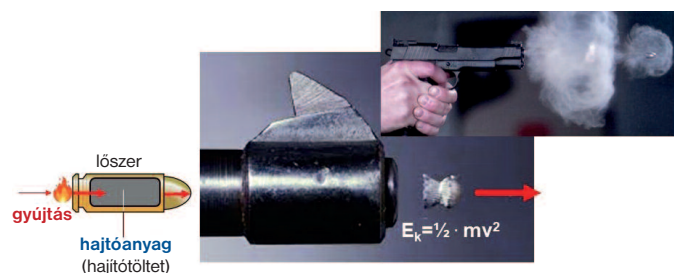
Kis lőfegyvertörténet

A lőfegyverek kialakulásához nélkülözhetetlen *puskapor* az időszámítás előtti évszázadokban felfedezték, de hosszú ideig főleg csak *tűzijátékokat* készítettek belőle. Európában a 14. században jelent meg a lőfegyver, első képviselőik kisméretű mozsarak voltak, melyekből *kőgolyókat* lőttek ki. A kezdetleges ágyúkat is tovább akarták fejleszteni, de a *kézi lőfegyverek* kifejlesztése is előtérbe került. A nagy újítást a *lőpor* és az *ólomlövedék* előzetes kimérésével érték el, 1626-ban a svéd király katonái a háborúban már kis *papírcsökökkel* jelentek meg (ezek alján volt a lőpor, fellelte elkötötték a papírt, legfelül volt a lövedék; a lőport beszórták a csőbe, utána a lövedéket kis papírral helyezték be a fojtás érdekében). 1845-ben a világhírű belga fegyverműves, *Flobert* elkészítette első kis űrméretű puskáját, ami rövid idő alatt meghódította a világot. A kifejlesztett *maroklőfegyverek* is sorra fejlődtek, a csappantyús, majd az ún. gyújtós pisztolyok után az amerikai *Colt* 1835-ben feltalálta a *forgópisztolyt*. A 19. század végén, a 20. század elején megjelentek és elterjedtek az *automata revolverek*.

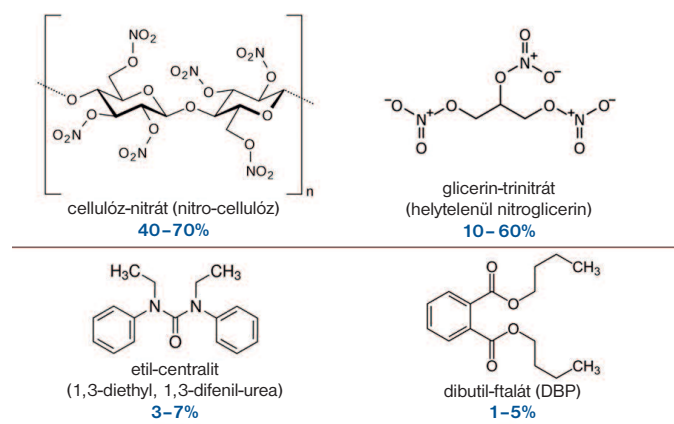
A lövedékek energiája

A lőfegyver elsütésekor – a csappantyúelegy által keltett szikra hatására – az *aktivált hajtóanyag* heves égése során hirtelen nagy

menyiségű gáz keletkezik. A *térfogat kiterjeszkedése* a zárt térben rendkívül nagy nyomást fejt ki a csövet elzáró lövedékre, így az sebesen kilökődik a torkolatból. A távozó lövedék (golyó) esetében a torkolati *kinetikus* energia érvényesül. Ezért a torkolati energiát az adott lőfegyver, illetve a töltény/lövedék *pusztító potenciáljának* jellemzésére is használják. Minél nehezebb a golyó, és minél gyorsabban mozog (sebességét a lövedék hosszúsága befolyásolja), annál nagyobb a torkolati energiája, és annál durvább sérülést okoz. A torkolati energia csak annak a felső határa, hogy mennyi energia kerül át a célpontra, azonban a *ballisztikus trauma* hatásai több egyéb tényezőtől is függenek. Például az elterjedt .357-es magnum kézifegyverből (öntöltő pisztoly) kilőtt 12 g tömegű golyó 790 J torkolati energiát képes elérni. Egyes 0,45-ös (kb. 11,48 milliméter átmérőjű) Colt lőfegyverek 1600 J torkolati energiát állítanak elő. A fokozott pusztítóerővel rendelkező kézi lőfegyverek 3700 J leadására is képesek, a lövedék akár 100 m/s sebességet is elérhet (1–2. ábra).



1. ábra. A lövedék kinetikus energiájának alakulása



továbbá 1–5% poliészter-adipát, 1–5% gyanta, 1% difenil-amin, 1% etil-acetát, 1% kálium-nitrát, 1% kálium-szulfát stb.

2. ábra. Példák a lövedék hajtóanyagának főbb összetevőire



A testvédelmi eszközök története

Kezdetben az *állatok bőréből* készítettek védőfelületet. A kínaiak öt–hét rétegben orrszarvúbőrt viseltek, az észak-amerikai sorsan indiánok több réteg bőrből készített kabátot fejlesztettek ki (az egyes önálló felületeket ragasztással vagy varrással egyesítették).

Az ún. *levélpáncél* összekapcsolt gyűrűkből vagy huzalokból állt, vasból, acélból vagy sárgarézből, és a mai Kijiv közelében megjelent.

A *pikkelypáncélt* – egymást átfedő fém-, csont-, bőrrétegeket – vagy egy megfelelően méretezett állat *kitinpáncélok*ból (például a pikkelyes hangyabogár) nyert anyagot az egész keleti féltekén használták i. e. 1600-tól kezdve.

Az i. e. 16. század mükénéi kultúráiban tizennégy réteg *vászonzóból*, a Gilbert- és Ellice-szigetek mikronéziai lakói hosszú ideig *kókuszpálma-rostból* készült szöveteket viseltek.

A *brigandin* testpáncél – ujjatlan kabátként – a középkorban terjedt el. Általában nehézszővetből, vagy vászonzóból, bőrből készült, amelyet belül kisméretű hosszúkás acéllemezekkel béleltek (a textilanyaghoz szegecselve), jellemzően másik szövetréteggel fedték. Sokak szerint a brigandin a mai golyóálló mellények elődje (3. ábra).



3. ábra. Középkori brigandin testpáncél

A lőfegyverek bevezetésekor (Európában a lőpor használatával a 14. században) először a védőburkolat megerősítésével, vastagabb *acéllemezekkel* és a mellvéd felett egy második nehéz lemezzel kísérleteztek.

1538-ban Francesco Maria della Rovere megbízta Filippo Negrolit egy *golyóálló mellény* elkészítésével.

Az angol polgárháború alatt Oliver Cromwell Ironside („vasbordájú”) lovasságát többek között muskétabiztos *mellvértékkel* látták el, amelyek két réteg páncéllemezből álltak.

A puha páncél használatának egyik első rögzített leírását a középkori Japánban találták, ezt *selyemből* gyártották.

A vásárolható golyóálló páncélok egyik *első* példányát egy szabó készítette az írországi Dublinban az 1840-es években.

Kim Gi-Doo és Gang Yoon megállapította, hogy a *pamutanyag* védhet a golyók ellen, ha 10 réteg szövetet használnak.

Az 1880-as években Ned Kelly vezetésével az egyik ausztrál banda *ekepengékből* készített allappáncélt.

Jim Miller amerikai fegyveres harcos *acél mellvértet* viselt a kabátja felett, ami nagyon ellenállónak bizonyult a pisztolygolyókkal és a puskalövedékekkel szemben.

A Jan Szczepanik által tervezett 1901-es mellény tesztje során – miután a lőpados kísérlet még ismeretlen volt – 7 mm-es revolverrel lőttek a mellényt viselő személyre.

1881-ben George E. Goodfellow tapasztalta, hogy a megtámadott személy mellzsebében levő *selyem zsebkendő* állította meg a



4. ábra. Homárpáncél az első világháborús német katonákon

lővedéket, megakadályozta a golyó behatolását. Végül 18–30 réteg selyemszövetből készített védőmellényt.

Az 1910-es években a Kísérleti Lőszer Testület *gyantával merevített* selyem és pamut szövetréteggű mellényeket fejlesztett ki.

A németek nikkel- és szilícium páncéllemezekből készítették a testpáncélt, amelyet 1916 végétől kezdve *homárpáncélnak* neveztek (4. ábra).

Az Egyesült Államok többféle testpáncélt fejlesztett ki, köztük a *króm-nikkel acélból* készült Brewster Body Shieldet, amely mellvértből és fejrészből állt.

1941-ben *mangánacél lemezekből* készítettek testpáncélokot.

A brit Wilkinson Sword vállalat 1943-ban elkezdett védőkabátokat gyártani a bombázók legénységének. Ezek *nejlonszövetből* készültek, aránylag ellenállóak voltak, de nem a golyók megállítására készültek.

1944 közepe táján újraindult a gyalogos testpáncélok fejlesztése az Egyesült Államokban, a Doron Plate *üvegszál* alapú laminátum felhasználásával. A szovjet fegyveres erők többféle testpáncélt használtak, ezek golyók és szuronypenge ellen védtek a városi csatákban.

A koreai háború alatt számos új mellényt készítettek az Egyesült Államok hadseregének, pl. nejlonmellénybe rögzített *szálerősítésű műanyag* vagy alumíniumszegmenseket használva, védelmi képességük nem volt egyértelmű.

A Natick Laboratories által kifejlesztett és 1967-ben bevezetett típusok az első kemény *kerámialemezek* (bór-karbidból, szilícium-karbidból vagy alumínium-oxidból) befogadására alkalmas mellények voltak.

1969-ben megalapították az American Body Armort, amely több acéllemezzel borított *steppelt nejlonanyag* szabadalmaztatott kombinációjának gyártását kezdte meg.

1971-ben Stephanie Kwolek kutatóvegyész felfedezett egy folyékony kristályos polimeroldatot. A kivételes szilárdságú és merevségű para-fenilén-diamin (para-aramid) szerkezetű *kevlárszálból* készült szövetek többréteges alkalmazása kiváló eredményeket hozott (a szálasanyag pl. Twaron, Teijin márkanéven szintén ismert).

1976-ban Richard Davis, a Second Chance Body Armor alapítója elindította könnyű, modern *rendőri védőmellények* gyártását.

1989-ben a kifejlesztették a *szupererős polietilén* szálasanyagot. A szövött rétegeket aramidcérnával varrták össze.

2003-ban kezdtek a *dilatáns folyadékokkal* kapcsolatos testpáncél-kutatásokat a Massachusettsi Műszaki Intézetben és a Delaware-i Egyetemen. A védőmellény kevlár szövetrétegekből épül fel, amit nyíró-sűrítő, vagy magnetoreológiai folyadékkal telítlenek (mágneses térben a részecskéik láncokba, oszlopokba szerveződnek, ezzel nagyságrendekkel növekszik a fluidum visz-



kozítása). Mindkettő nem-newtoni folyadék viselkedését mutatja: kis és normál nyomás alatt folyadékként viselkedik, nagyobb nyomás és mágneses mezők hatására szilárd anyagként.

A ballisztikus védőeszközök lényege

A védelem a becsapódó lövedék megállításával, a kinetikai energia teljes felemésztésével valósítható meg. A mellény kialakítása során azonban lényeges az alakváltoztató hatás vizsgálata és minimálisra szabályozása, egyébként a kialakuló lökéshullám az emberi testben súlyos és esetleg végzetes elváltozásokat okoz. Ez a nyomólökés durvább bőr- és izomsérüléshez, bordatöréshez, tüdőkárosodáshoz vezet, és elkerülése azért is lényeges, hogy hatására ne következzen be az idegrendszer olyan mechanikus ingerlése, amely szélsőséges esetben a szív megállással jár.

Ezért az ideális lágy védőmellény a lövedéket megállítja és sokkelyelő rétegével kizárja a lökéshullámok emberi testre gyakorolt káros hatásait. Ennek megfelelően a kizárólag textilanyagú védőmellények pl. többrétegű aramid szövetrészből és test felőli sokkelyelő rétegből (pl. tűzött nemez, habbevonat, akár toll/pehelytöltet) épülnek fel. Előbbi a lövedék felfogására, utóbbi a lökőhatás minimalizálására szolgál. A kemény mellénytípus páncélzattal is ellátott (pl. az erre a célra kialakított zsebrészekbe helyezhető speciális idomokkal), ezeknél az acél-, kompozit- (pl. textilszál-erősítésű kemény műanyag), kerámialapok a becsapódó lövedéket annyira deformálják és kinetikai energiáját annyira felemésztik, hogy a mögöttes textilrétegek kisebb beavatkozással hatástalanítani tudják. Tehát a lövedék kinetikai energiájának alakváltoztató munkára történő átalakítása a védelmi funkció alapja. Így a mellénytöltet szilárdsági jellemzőinek és a lövedék áthatolóképeségének változása határozza meg a védőképességet. Mindehhez párosulni kell a viselhetőséget jól biztosító aránylag vékonyabb változattal, kisebb tömeggel és a szükséges komfortérzetet garantáló kialakítással és tartós, jól tisztítható képességgel.

A testpáncélmellény adott fajtája a lőtt lövedékek és a robbanások repeszzei (szilánkjai) ellen nyújt védelmet. Segíti az ütés elnyelését, és megállításával akadályozza a törzsbe való behatolást. A nehéz golyók még behatolás nélkül is képesek elég erőt kifejteni ahhoz, hogy a tompa erő traumát okozzon az ütközési pont alatt. A lágy mellényt főleg a biztonsági őrök és egyes védendő, civil öltözkéző személyek viselik. A rendőrök, börtönőrök rendelkezésére állnak olyan speciális fémes vagy aromás poliamid alkatrészek felhasználásával készült puha testvédők, amelyek a szűrő támadások ellen védenek. Az ún. szűrőbiztos mellény (miután semmilyen kapcsolatos anyag sem teljesen áthatolhatatlan, így jobb kifejezés a „szűrőálló”), olyan testpáncél, amely meg-

5. ábra. Ballisztikus védőmellények



lágy

kombinált

kemény

védi viselőjét a késes és egyéb szűrőeszközzel történő támadásoktól. A csak szúrás ellen védő, vékonyabb és rugalmasabb puha páncélzat viszont alig vagy egyáltalán nem nyújt védelmet a ballisztikus fenyegetésekkel szemben. Egyes bevetési egységek állományának tagjai kemény páncélt viselnek (lágy páncélzattal kombináltan, akár önállóan) (5. ábra).

A teljes emberi test védelmét az ún. nehéz páncél biztosítja, amely a ballisztikus védelmet garantáló öltözéken (mellkas- és nyakvédőruházat, lábbeli, védőkesztyű) kívül lövedék- és repeszálló védősakkal (extra szemvédővel) egészül ki.

A különböző hatóságoknál, védelmi szervezeteknél szolgálatot teljesítő kutyák védelmét testreszabott ballisztikai mellényekkel oldják meg (6. ábra).



6. ábra. Hatóságoknál szolgáló kutyák ballisztikus védelme speciális mellénnyel

A golyóálló és egyéb védőmellényekről általában

A kézi tűzfegyverek (revolver, pisztoly, géppisztoly, puska) lövedékei ellen védőruházati funkciót betöltő mellények döntően műszaki textilárból készített speciális konfekcionált termékek. Az emberi felsőttestet (fokozottan az elülső részét) a lövésektől, a robbanótestek repeszzeitől védi meg a különleges, összetett textilszerkezet, amely speciális laminált szintetikusszál- és kelmerendszerekből épül fel. Eleinte alifás poliamidokból készültek a golyóálló védőöltözékek, ezek csak kisebb kaliberű lövedékektől, repeszek hatásai ellen nyújtottak védelmet. A korszerűbb típusú védőmellények többrétegű, főként szövött, általában aromás poliamid vagy szupererős polietilén textilanyagokból épülnek fel (az aramidanyagú lánrendszerű, vetülékbefektetési kötöttkelmék kevésbé elterjedtek). Ezenkívül akár páncéllemezzel, kerámia- vagy kompozitbetétekkel ellátva, a test felőli oldalon deformálódó sokkelyelő réteggel kiegészítve készülnek. A rétegek egyesítése fokozza a találó lövedék leállítását, a szövet fonalainak tapadását növelő bevonatok pedig csökkentik a fonalirányú energia-terjedést. Általános követelmény a ballisztikus ellenállóképesség tartóssága (pl. 10 évig), beleértve a használattal járó koptató és egyéb hordási (mechanikai és vegyi jellegű) igénybevételeket, a napsugárzással összefüggő behatásokat, a szakszerű tisztítóműveletekkel járó megmunkálásokat is.

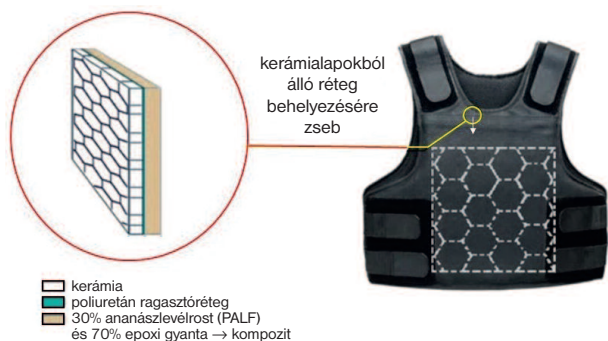
A kerámia szerepe

A nagyobb lövedékekkel szemben ellenálló kemény páncélzat készülhet – a textil vázerősítésű műgyantás szilárdítású kompozitok mellett – kerámialemez-alapú rendszerből, töredezettség elleni védőbevonattal ellátott acéllemezekből és ún. keményszálal alapú laminált szerkezetekből. Előfordul a kemény kerámia alkatrészek és összetett textilanyagok kombinált alkalmazása is. A



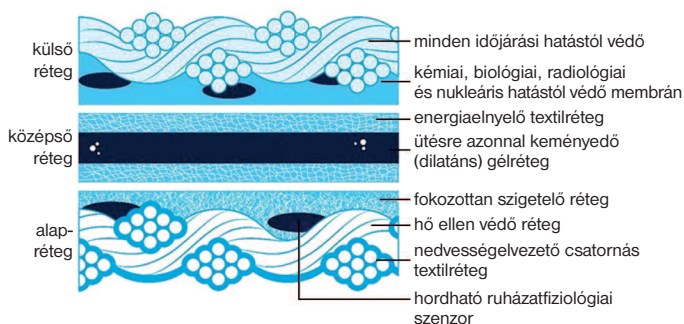
KITEKINTÉS

kerámia keménysége megakadályozza a lövedék behatolását, a hátlap teljesen leállítja. A kerámiaanyagok általában alumínium-oxid, bór-karbid és szilícium-karbid összetételűek. A kerámialap hátsó felülete kompozit-, pl. laminált szálból és műgyantából kialakított. A kiváló képességű szálanyagot a nagy molekulatömegű polietilén (spectra, dyneema) biztosítja. A nemszőtt *spectra* kelméből és *kraton* (elasztomer jellegű polimer) műgyantából képzett kompozitot két polietilén fólia közé zárva alkalmazzák. Az ilyen páncélok tömege és merevsége jelentős technikai kihívással jár. A sűrűség, a keménység és az ütéssel szembeni ellenállás kiegyensúlyozott megválasztása fontos tervezési szempont. A kerámiaanyagok ballisztikai védelme kiemelkedő, azonban *törésállóságuk* rossz. A kerámialemez repedés általi meghibásodását is fontos vizsgálni, mert a kerámialemez a lövedék ütközésének közelében *megreped*, ami csökkenti a védelmet a környezetben. Ennek ellensúlyozására egyes lemezeknél *rozsdamentes acél* repedésgátlót használnak, ami jelentősen javítja a több ütéssel szembeni ellenálló képességet. A behatolás esetében azt is figyelembe kell venni, hogy a lövedékmag keménysége kevésbé lényeges, mint annak keresztmetszeti sűrűsége (7. ábra).



7. ábra. Kemény testpáncélszerű ballisztikus védőmellény

A komfortos *komplex katonai* védőmellény széles körű védelmet nyújt. A ballisztikus és hőhatások mellett vegyi-biológiai-radiológiai-nukleáris (CBRN = Chemical, Biological, Radiological, Nuclear) igénybevételek ellen védő speciális membrán, az időjárási hatásokat kompenzáló borítókélme is részt vesz az öltözköztető felépítésében (8. ábra).



8. ábra. Komfortos komplex katonai védőmellény réteg-felépítése

A védelmi szint megállapítása

Kb. a 20. század első harmadáig a kialakított ballisztikus védőmellényt – *éles körülmények* között – önkéntesen próbálták ki (9. ábra).



9. ábra. Amikor még nem löpádon tesztelték a golyóálló mellényt

A korszerű tesztelőrendszer fő eszköze a vizsgálo *lő*, ill. *mérőpad*, ez a lövést leadó rögzített fegyverből vagy mérőcsőből, továbbá a mellénnyel ellátott gyurmabevonatú *próbatestből* épül fel. A különböző szögből indított próbálövéseket távirányítással adják le, a többszöri kilövést megfelelő célosztásközpont állítás után hajtják végre (pl. kerülve, hogy a korábbi becsapódásnál sérült fonalakat ismét találat érje). A vizsgálatokat *szárazon* és *nedvesen* végzik, a roncsolásos igénybevétel *varratokra* is kiterjesztik. A meghatározások során mérik a lövedék sebességét, vizsgálják a *benyomódások* mélységét (a gyurmabevonat és a zselé jellegű bevonat az emberi testszövethez hasonlóan reagál, így a lökéshullámok hatása elemezhető) és környezetét. A próbák sorába tartoznak a laboratóriumi megfelelőség-vizsgálat során kiváló védőmellények *éles tesztjei* és a fiziológiai meghatározásokra is kiterjedő *állatkísérletek* (pl. a már említett idegi reflexekre ható elektromos és mechanikai nyomólökés-elemzések).

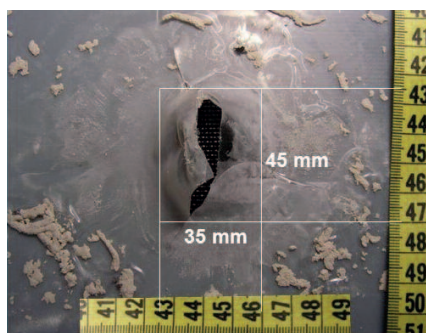
A ballisztikus hatásokat gátló testpáncélok védelmi szintjének tesztelésekor a szabványokban meghatározottak szerint mérik a vizsgált védőeszköz test felőli oldalán a lövedék becsapódásának hatására a *háttéranyagban* (plasztilin) létrejött maradandó alakváltozás legnagyobb mélységét, az eredeti felszíntől kiindulva.

A vizsgálat során:

- *több védőeszközön* a szabályos találatok által létrehozott lenyomatmélységeket elemzik,
- az összes szabályos találat által létrejött lenyomatmélységnek *maximum 44 mm-nek*, vagy ennél kisebb értékűnek kell lennie,
- amennyiben a vizsgálat során adott számú lenyomatmélység (traumahasítás) nagyobb 44 mm-nél, akkor 95%-os valószínűséggel az összes lenyomatmélység *80%-ánál 44 mm-es* vagy ennél kisebb értéket kell elérni, a mért *lenyomatmélység* pedig sehol nem haladhatja meg az 50 mm-t.

A háttéranyagban létrejövő lenyomatmélységek, test felőli ki-domborodási magasságok alapján lehet megítélni, hogy a testpáncél milyen mértékben képes védelmet biztosítani a tompított sérüléssel (ún. blunt trauma) szemben (10. ábra).

A tesztelésére különböző vizsgálatokat fejlesztettek ki világszerte. Például az 1980-as évek közepén Kalifornia állam büntetés-végrehajtási minisztériuma előírást adott ki egy olyan pán-

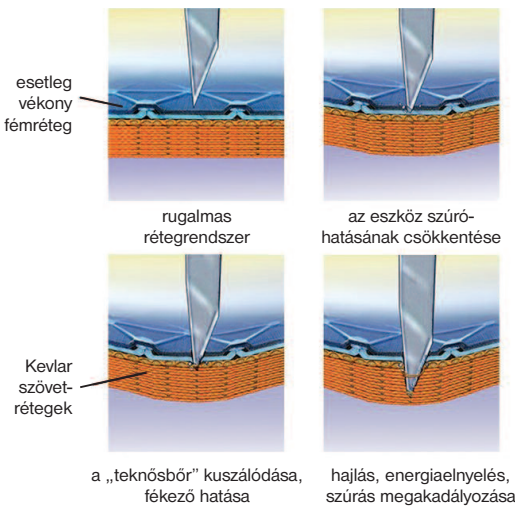


domborodás magassága 20 mm

10. ábra. Az 5 m vizsgálati távolságból leadott 44 Magnum SWC vizsgálo lövedék hatása



célzatra, amelynél a próbabehatoló egy jégcsákány (a teszteléshez 109 joule energiára van szükség). Ma többnyire az Egyesült Királyság szabványain alapuló vizsgálati módszert alkalmazzák (több ejtéssel és az ún. PI/B pengével). Az injekciós tű elleni védelemre a kemény páncélzat alkalmas, amely megakadályozza a késes, tuskés és tűs támadásokat, valamint a fegyverek lövedékeitől is véd (11. ábra).

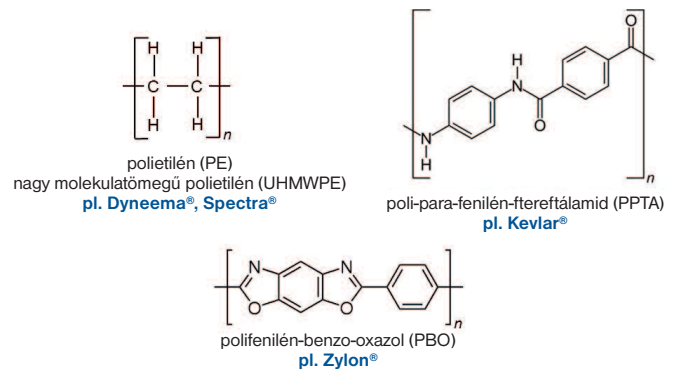


11. ábra. Szúrás, vágás ellen védő mellény rétegfelépítése

A védőöltözékek, -mellények textilanyagai

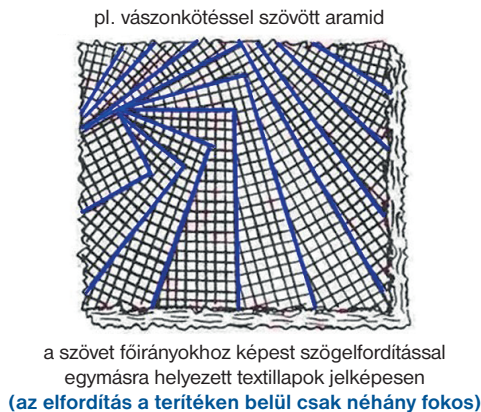
Az 1980-as évektől elterjedő *harmadik generációs* szálanyagok döntő része azért alkalmas erre a célra, mert nagy *dinamikus energiafelvétellel* (energiaabszorpcióval) rendelkeznek, amely fokozott fajlagos húzószilárdsággal és nagy moduluszokkal magyarázható. Ez azért lényeges, mert a golyóálló védőruházatok ballisztikus ellenállása elsősorban a *textilfelület* anyagi minőségétől függ. Például a speciális aromás poliamidok (aramidok) szilárdsága 5-ször nagyobb az azonos tömegű acélénál, a szupererős – nagy molekulatömegű – polietilén szálanyagok szintén extra energiaabszorpcióra képesek. A 220 és 440 dtex (10 000 m szál ennyi gramm tömegű) finomságú multifilamentből készült szövetek védelmi képessége nagyobb, de az ilyen szálanyagok magasabb ára miatt elterjedtek az 1100 dtex-es, esetleg sodrattal ellátott filamentfonalak (utóbbiakból valamivel nagyobb mennyiség szükséges, a tömegnövekmény ellensúlyozza a finomabb fonálú rendszereknél kisebb ballisztikus ellenálló képességet). Az *1/1-es vászonkötés* bizonyult optimálisnak (miután más kötéstípusoknál a kevesebb kötéspont kedvezőtlenül hat a védelemre) 124/10 cm-es lánc-, ill. vetülékfonal-sűrűséggel és kb. 280 g/m²-es területi sűrűséggel. A fonalcusztató erők csökkentésére javasolt a szövet fonalainak bevonásos *fixálása* (a lamináló, ragasztó hatású nagy molekulájú készítmény a szilárdulást követően fokozza a lánc- és vetülékfonalak közötti tapadást, megakadályozza a fonalhúzóást). Célszerű tartós – például fluorkarbon hatóanyagú – *víztaasztító* végkikészítéssel ellátni a védőmellény alapanyagául szolgáló szövetet, elkerülve a nedves szövetnél megfigyelhető védelmi képesség-romlást (a víz nincs számottevő hatással az aramidszálra, azonban mint sűrűlőcsökkentő anyag hátrányosan befolyásolja a lövedék-szálfelület kapcsolatát).

A polifenilén-benzo-oxazol (PBO) szálanyagból (pl. zilon) készült, lángálló képességű védőmellények ballisztikai teljesítménye különböző terepviszonyok közötti használatnál csökkent, a környezeti hatások káros következményeként (12. ábra).



12. ábra. Harmadik generációs szálanyagok ballisztikus védőmellényhez

Az optimálisan kialakított szerkezetű és igényeknek megfelelően speciálisan kikészített vászonkötésű, például kevlár szálanyagú aramidszövetből 10–50 réteg képezi a ballisztikus védőzónát. Az egyes rétegeknél az egymás után elhelyezkedő *szövetlapokat* néhány fokok *elfordítással* javasolt elhelyezni, ennek hiányában az újabb, közel azonos környezetben becsapódó lövedék ugyanazon lánc- és vetülékfonalak sérülését okozza (a szögelfordítással elérhető, hogy az első lövésnél sérült fonalak ne engedjenek szabad átjutást vagy akár teljes áthatolást a lövedék számára). A több szabászati hulladékot ellensúlyozza a szabályozottan elforgatott rétegekialakítással járó nagyobb ballisztikai védelem (13. ábra).



13. ábra. Optimális, többrétegű ballisztikus védőzóna kialakítása

A szövetrétegek *varrásos* összekapcsolása laposabbá és merevebbé teszi a mellényt (az optimális hajlékonyságot kissé csökkentve), a keményebb védőanyag fokozza a becsapódó lövedék deformációját. Az *aramidcérnákból* kialakított varratok önmagukban is részt vállalnak az energiafelvételen, és az egyes szövetrétegek közötti súrlódásos kapcsolat növekedése is fokozza az energiaemésztést. Lényeges az öltésűréség, tűtípus, cérnafinomság és a varratképzési körülmények gondos és jól összehangolt megválasztása, hogy a varrottú-beszúrásos sérülésekkel járó szilárdságvesztés minimálisra lezörítható legyen.

A golyóálló védőmellényt alkotó *szendvicsszerkezet* külső rétegegyüttesén kívül fontos a test felőli, ún. *sokkelnyelő*, deformálódó réteg kellő vastagsága. Ennek a kb. 10 mm vastagságú rétegnek a feladata a lövedék becsapódással járó lökőhullám tompítása, hatástalanítása is.

A közvetlen találatot kapott fonalaknál a becsapódási ponttól hangsebességgel terjedő *nyúlási hullám* fut végig, a keresztvezető fonalrendszereknél kötéspontként részben visszaverődés kö-



vetkezik be. A visszaverődő hullámmozgás interferálódik, a szakadási nyúlást meghaladó összegződés a fonalak *szakadását* okozza. Amennyiben kisebb a visszaverődés, úgy a keresztelési ponttól távolabbra jut el a hullámmozgás, így az energiaemelés a fonál kisebb sérülésével jár. A bevonatfelvitellel növelt *fonaltapadás* nagyobb visszaverődéssel párosul és a nyúlási hullám terjedését korlátozza, így a lövedék által ért fonál kisebb energiafelvételre lesz képes (a bevonat nélküli fonalcúsászai hajlam akár 10–15-szörösére növekedhet, így az eltalált fonál kihúzódhat a lövés által kialakuló hézagoknál). Az energiaelnyelő képesség összetett folyamat, a jelentősebb sűrűlási veszteség (lövedék által eltalált és a keresztződő fonalak sérülése) és a nyúlási hullámok terjedési lehetősége egyaránt meghatározó tényezők.

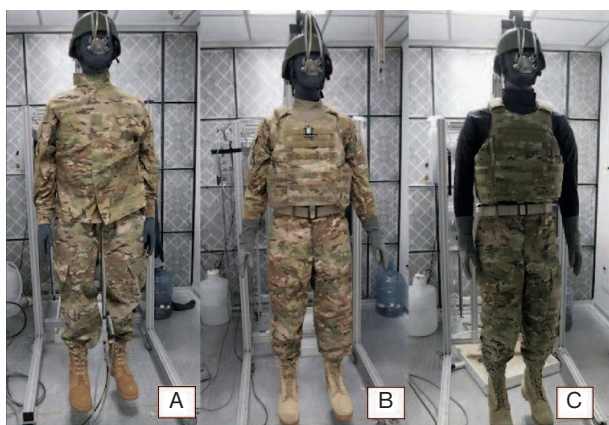
Az aramidból és szupererős polietilénből készült védőmellények kellően bírják az *időjárással* járó behatásokat, az ellenálló képesség széles hőmérsékletsávban fennáll (–32 fokos *hőmérséklettől* a +70 fokos száraz, ill. nedves kezeléseig, beleértve továbbá az ívfüves besugárzást, amelyet például a műkaucukos bevonás gátol). A fehérítőszerek használata érthetően jelentős *szilárdságcsökkenéssel* jár, a perklór-etilén tisztítószert kivételével az egyéb szerves oldószerek szintén veszteségeket okozhatnak. A hagyományos háztartási mosási körülmények 50-szeres igénybevételig hatástalanok a védelmi képességre, a *kopásállóság-romlás* a víztaszító kikészítéssel ellátott kelmékből készített védőmellényeknél elenyésző. Az emberi *izzadság* akkor okoz mintegy 10%-os húzószilárdság-csökkenést a test felőli rétegekben, ha nincs víztaszító kikészítés és elmarad a nedvesség ellen védő hegesztőszalagok alkalmazása az összeállító varratoknál. A kopásállóság a víztaszító kikészítéssel ellátott termékeknek kiváló a hidrofobizáló bevonat sűrűláscsökkentő hatása következtében.

A ballisztikus védelmet ellátó öltözékek esetében is lényeges az optimális *ruházatfiziológiai* képességek elérése, különös tekintettel a számos esetben fennálló tartós idejű viselésre. A cél olyan ruházat tervezése, amely az ember mindenkorai tevékenységének legmegfelelőbb mikroklímát teremti meg, így az egyes tevékenységekhez optimális viselési körülményeket biztosít. A komfortos a ruházat az emberi test hő- és nedvességháztartását nem befolyásolja kedvezőtlenül, a bőrre gyakorolt mechanikai hatása nem okoz hátrányt. Fontos tényező, hogy

- a *hőszigetelést* 50%-ban a ruházat körüli levegő, 30%-ban a ruházatra tapadó levegő és 20%-ban a szálanyag biztosítja,
- az emberi test *hőleadása* 60%-ban sugárzással, 25%-ban párolgással, 15%-os mértékben vezetéssel valósul meg.

A pontos ruházatfiziológiai *manikinvizsgálatokat* klímakam-

14. ábra. Különböző testpáncéllal ellátott védőöltözékek ruházatfiziológiai vizsgálata szenzoros bábun



rában elhelyezett, temperálható próbababun végzik. A bábu *fűtése* az igényeknek megfelelően testrészenként szabályozható, valamint a klímakamrában is a szükséges körülményeknek megfelelő hőmérséklet, légnedvesség és légáramlás biztosítható. A bábu beépített villamosmotorokkal *mozgatható* is (a járást, karmozgást stb. imitálva), a test mozgásával járó változások megfigyelése érdekében. A bábun és a rajta levő öltözéken elhelyezett szenzorok szolgáltatott adatokat számítógép értékeli. A vizsgálatokhoz rendelkezésre áll külön bőrmódel is, a hő- és nedvességátadási folyamattal kapcsolatos mérések elvégzésére. Az így kialakított összetett szerkezetet a *klímakamrában* tesztelik, amelyben a vizsgálati körülményeknek megfelelő hőmérséklet, légnedvesség és légmozgás biztosított. Így mérni tudják a textilanyag hőszigetelését, *vízgőzzel szembeni ellenállását*, *vízgőzáteresztő képességét*, *lelegzőképességét*, vagy akár a száradási időt stb. is (**14. ábra**).

A komfortos komplex katonai védőmellényben (**8. ábra**) hordható *ruházatfiziológiai szenzorokat* is beépítenek.

Páncél a fej védelmére

Az 1970-es évektől kezdve új anyagok, többek között a *harmadik generációs* mesterséges szálanyagok [pl. az aromás poliamid kevlár és twaron, a nagy molekulatömegű polietilén (UHMWPE) dyneema és spectra] kezdtek felváltani az acélt, a ballisztikus védősisakok addig elsődleges anyagát. Nemcsak a *tömegcsökkenéshez* és a ballisztikai *védelem* növeléséhez járult hozzá az új konstrukció, hanem a *traumás agysérülések* elleni hatékony védekezéshez is. Ezek az innovatív fejlesztések folytatódnak, a felhasznált szálanyagok, a sisak kialakítása, a modularitás további finomítása révén.

Albert Penning már 1963-ban feltalálta a ballisztikus sisakot, amely azonban csak 1990-ben került kereskedelmi forgalomba.

A modern harci sisakok elsősorban a *repesz* és *szilánkok*, a kézi lőfegyverek *lövedékei* ellen nyújtanak védelmet. A rögzítési pontok lehetőséget adnak az éjjellátó szemüvegek és a kommunikációs eszközök csatlakoztatására.

Civil személyi védelem

A civil használatú, személyi védelmet garantáló öltözékeknek meg kell felelniük a *stílus* és a *kényelem* mindenkorai követelményeinek, diszkrét alternatíva létre hozásával. A hagyományos golyóálló *mellények* megvédik viselőiket a *lövedékek* vagy a *kések* fenyegetéseitől, a robbanások *repeszeitől*. A mindennapi viselethez tartozó ballisztikus védelmet megvalósító ruházatok a mellényen kívül a könnyű golyóálló *kabátok*, *öltönyök* és akár az elrejtethető lövedékálló lemezekkel is kiegészíthető ruházati cikkek. A golyóálló és szúrás ellen védő ruházatok elkészítéséhez a gyártók aránylag alacsony területi sűrűségű (g/m^2), így nagy mobilitást biztosító *aromás poliamid* (pl. kevlár) és *nagy molekulatömegű polietilén* (pl. dyneema) szálanyagból gyártott szöveteket használnak, több rétegben elhelyezett *panelek* formájában. Természetesen a ruházat anyagát, vastagságát és tömegét a kívánt *védelem szintje* határozza meg.

IRODALOM

- <https://smallwarsjournal.com/jrnl/art/the-history-of-body-armor-from-medieval-times-to-today>
https://en.wikipedia.org/wiki/Body_armor
<https://en.wikipedia.org/wiki/Firearm>
<https://doksi.net/hu/get.php?id=20848>
<http://www.madehow.com/Volume-1/Bulletproof-Vest.html>
 Ballisztikai védőöltözékeket gyártó cégek gyártmányismertetői