



Kutasi Csaba

Ballisztikus védelemre alkalmas védőöltözékek 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 tűzserézszekeknél szolgálok számára vált fontossá, de egyes civil védőöltözékeknél is. A veszélyes zónákban jelen levő munkakutyák védelme is megoldott. A különböző golyó- és robbanásálló álló védőöltözékek, kiegészítők (pl. sisakok) mellett a szűrásálló 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, esetként 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 védőöltözékek és ruházatkiegészítők.

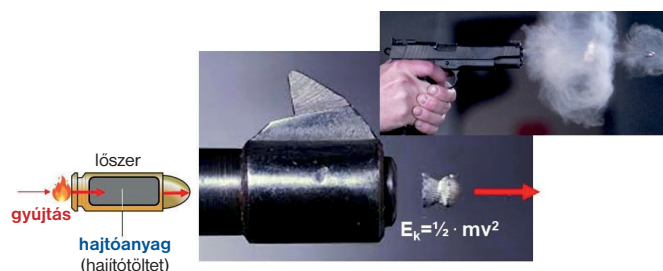
Kis lőfegyvertörténet

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 moszarak 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 *papírzacskókkal* jelentek meg (ezek alján volt a lőpor, felette elkötték 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. gyútús pisztolyok után az amerikai *Colt* 1835-ben feltalálta a *forgópisztolyt*. A 19. század végén, a 20. század elején megjelentek és elterjedtek az *automata revolverek*.

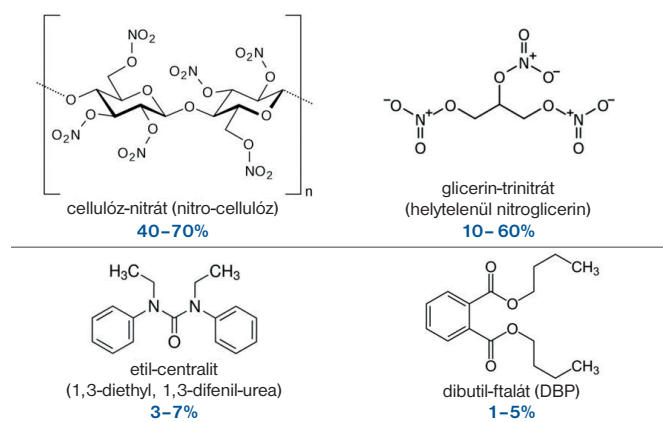
A lövedékek energiája

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

mennyiségű gáz keletkezik. A *térfogat kiterjeszkedése* a zárt térben rendkívül nagy nyomást fejt ki a csövet elzáró lövedékre, így az sebesen kilöködik 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 kézfegyverből (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





A testvédelmi eszközök története

Kezdetben az *állatok bőréből* készítettek védőfelületet. A kínaiak öt-hét rétegben orrszarvúbőrt viseltek, az észak-amerikai sósón 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 sárgarézről, és a mai Kijiv közelében megjelent.

A *pikkelypáncélt* – egymást átfedő fém-, csont-, bőrrétegeket – vagy egy megfelelően méretezett állat *kitinpáncélok* (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 vászonból, bőrből készült, amelyet belül kisméretű hosszúka acéllemezekkel béleltek (a textilanyaghoz szegezelve), 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 mellényt* elkészítésével.

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

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 szövetrétegű mellényeket fejlesztett ki.

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

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

1941-ben *mangánacél lemezekből* készítettek testpáncélokat.

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 *szál-erősítésű 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 *kevlár-szálból* készült szövetek többretegű alkalmazása kiváló eredményeket hozott (a szálanyag 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* szálanyagot. 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 telítenek (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 anyaggként.

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 sokkelenyelő rétegével kizárja a lökéshullámok emberi testre gyakorolt káros hatásait. Ennek megfelelően a kizárólag textilanyagú védőmellények pl. többrétegű aramid szövetrészből és test felőli sokkelenyelő 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 kialakított zsebszerzőkbe 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 öltözkű 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



védi viselőjét a késes és egyéb szűrőeszközzel történő támadásoktól. A csak szűrés 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 védősisakkal (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

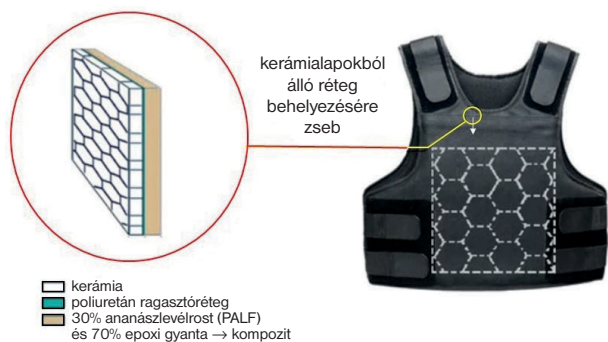
A kézi tűzfegyverek (revolver, pisztoly, géppisztoly, puska) lövedékei ellen védőruházati funkciót betöltő mellények döntően műszaki textilárból készített speciális konfekcionált termékek. Az emberi felsőtestet (fokozottan az elülső részét) a lövésektől, a robbanótestek repeszzeitől védi meg a különleges, összetett textilszerkezet, amely speciális laminált szintetikusszál- és kelmerendszerekből épül fel. Eleinte alifás poliamidokból készültek a golyóálló védőöltözetek, 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 láncrendszerű, vetüklébfektetési kötöttkelmék kevésbé elterjedtek). Ezenkívül akár páncéllemezzel, kerámia- vagy kompozitbetétekkel ellátva, a test felőli oldalon deformálódó sokkelenyelő 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 használatlaltal 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

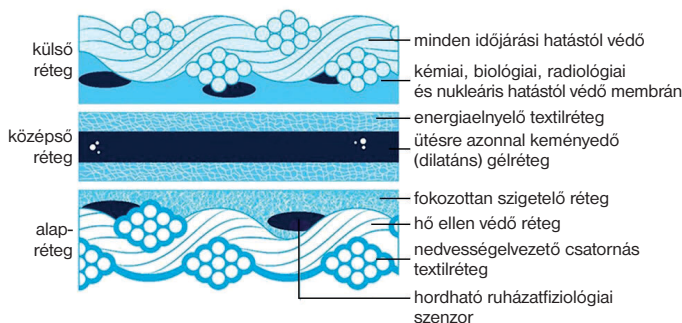


kerámia keménysége megakadályozza a lövedék behatolását, a hátlap teljesen leállítja. A kerámiaanyagok általában alumínium-oxid, bór-karbid és szilícium-karbid összetételűek. A kerámialap hátsó felülete kompozit-, pl. laminált szálból és műgyantából kialakított. A kiváló képességű szálanyagot a nagy molekulatömegű polietilén (spectra, dyneema) biztosítja. A nemszótt *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 kerámialemezek 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 testpáncélzatú 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 vizsgáló *lő*-, ill. *mérő* *rőpad*, 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 célosztásköze állítás után hajtják végre (pl. kerülve, hogy a korábbi becsapódásnál sérült fonalakat ismét találat érje). A vizsgálatokat *szárazon* és *nedvesen* végzik, a roncsolásos igénybevételt a *varratokra* is kiterjesztik. A meghatározások során mérik a lövedék sebességét, vizsgálják a *benyomódások* mélységét (a gyurmaréteg és a zselé jellegű bevonat az emberi testszövetekhez 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).

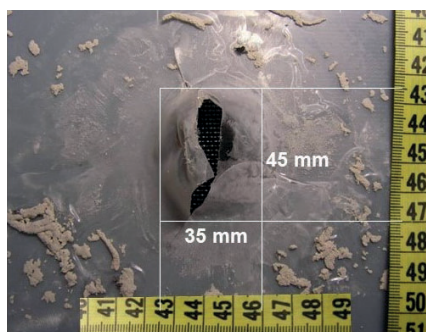
A ballisztikus hatásokat gátló testpáncélok védelmi szintjének tesztelésekor a szabványokban meghatározottak szerint mérik a vizsgált védőeszköz test felőli oldalán a lövedék becsapódásának hatására a *hátteranyagban* (plasztilin) létrejött maradandó alakváltozás legnagyobb mélységét, az eredeti felszíntől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

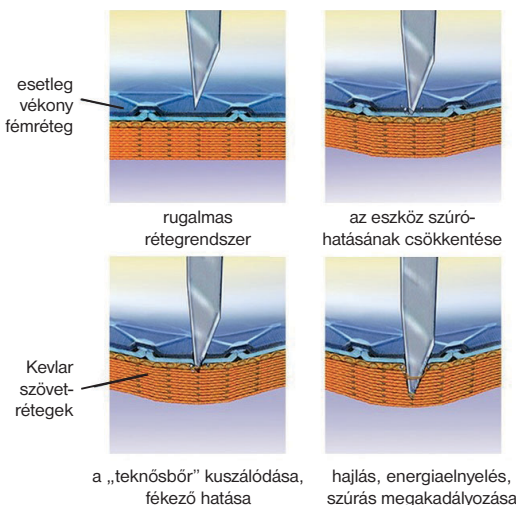


domborodás magassága 20 mm

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



célzatra, amelynél a próbabevaló 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).

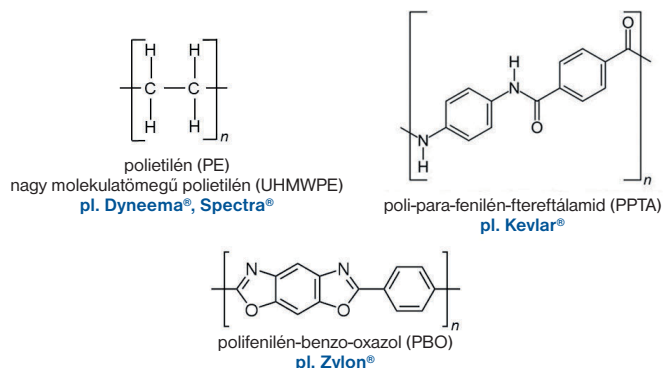


11. ábra. Szúrás, vágás ellen védő mellény rétegfelépítése

A védőöltözékek, -mellények textilanyagai

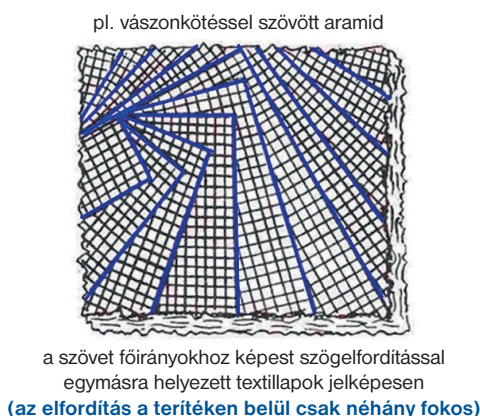
Az 1980-as évektől elterjedő harmadik generációs szálanyagok döntő része azért alkalmas erre a célra, mert nagy *dinamikus energiafelvétellel* (energiaabszorpcióval) rendelkeznek, amely fokozott fajlagos húzószilárdságukkal és nagy moduluszukkal magyarázható. Ez azért lényeges, mert a golyóálló védőruházatok 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 rendszerekkel 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 – *víztaasztó* 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 kevlar szálanyagú aramid szövetből 10–50 réteg képezi a ballisztikus védőzónát. Az egyes rétegeknek az egymás után elhelyezkedő *szövetlapokat* néhány fokban *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 rétegek kialakítással 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 öltéssűrűség, tűtípus, cérnafinomság és a varratképzési körülmények gondos és jól összehangolt megválasztása, hogy a varrottú-beszúrások sérülésekkel járó szilárdságvesztés minimálisra lezorítható legyen.

A golyóálló védőmellényt alkotó *szendvicsszerkezet* külső rétegegyüttesén kívül fontos a test felőli, ún. *sokkelyelő*, 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 kereszteződő fonalrendszerekkel 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 keresztezési ponttól távolabbra jut el a hullámmozgás, így az energiaemésztés 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 fonalcsőszási 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 kereszteződő 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 kezelésekig, beleértve továbbá az ívfenyes besugárzást, amelyet például a műkaucukos bevonás gátol). A fehérítőszeres használata érthetően jelentős *szilárdságcsökkenéssel* jár, a perklor-etilén tisztítószor 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 öltözetek 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 mindenkor tevékenységének legmegfelelőbb mikroklimát 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 védőöltözetek 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 öltözeteken 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 kevlar és twaron, a nagy molekulatömegű polietilén (UHMWPE) dyneema és spectra] kezdtek felváltani az acélt, a ballisztikus védősíkok addig elsődleges anyagát. Nemcsak a *tömegcsökkentéshez* 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 öltözeteknek meg kell felelniük a *stílus* és a *kényelem* mindenkor 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. kevlar) 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 védőöltözeteket gyártó cégek gyártmányismertetői