

# A forenzikus üvegvizsgálat egyéb aspektusai - A fraktográfia

FÜLÖP Péter<sup>1</sup> - VÖRÖS Tamás<sup>2</sup>

2022-t az Egyesült Nemzetek Szervezete (ENSZ) az Üveg Nemzetközi Évének nyilvánította. Ennek kapcsán időszerűnek tartjuk a forenzikus üvegvizsgálatok egy olyan részterületét bemutatni, amelyről a hazai szakirodalomban eddig kevés szó esett. Hétköznapi üvegtárgyaink közül például az ablaküvegeknek - egyes bűncselekmények elkövetése során - kis vagy nagy sebességgel különböző tárgyak ütközhetnek, ütődhetnek. Ez a külső hatás az üveg deformációjához, töréséhez vezethet. A töréskor az üvegfelületen kialakuló mintázatok bizonyos esetekben fontos információkat hordozhatnak a törés okairól, az erőhatás irányáról, amelyekből a lezajlott folyamat mechanizmusára lehet következtetni. Az üveget ért külső erők hatására kialakuló, jellegzetes törésmintázatok illusztrálására kísérleteket végeztünk. A nemzetközi szakirodalom és a kísérleteink eredménye alapján a gyakorlatban is alkalmazott módszert példákon keresztül mutatjuk be.

**Kulcsszavak:** forenzikus üvegvizsgálat, üveg állapot tényezői, törési mechanizmus, 4R-szabály, ellipszismódszer, rekonstrukció

## Bevezetés

A Nemzetközi Üvegszövetség (International Commission on Glass, ICG) ajánlása és az Egyesült Nemzetek Szervezete (ENSZ) 2021. május 18-án hozott döntése alapján 2022 az üveg nemzetközi éve (International Year of Glass, IYOG).<sup>3</sup> A globális jelentőségű esemény rávilágít arra, hogy az emberiség, a civilizáció, az ipar és a technológia, valamint a művészetek területén az üvegnek kitüntetett szerepe van. Az olvasóban joggal merülhet fel a kérdés, hogy az üveg tulajdonképpen milyen tulajdonságú anyag, ami a széles körű felhasználhatóságát számunkra lehetővé teszi? Az üvegyártás több ezer éves múltra visszatekintő technológia, az ókor óta töretlenül fejlődő terület. Az üveg fő tömegében homokból, szódából, mészkőből, dolomitből, földpátokból, valamint egyéb színező anyagokból (például kobalt-oxid – kék, mangán-oxid – lila, króm-oxid – zöld) álló olvadék túlhűtése útján keletkező nem kristályos, úgynevezett amorf anyag. Üveg természetes úton is keletkezhet: például

<sup>1</sup> Igazságügyi fizikus szakértő, Nemzeti Szakértői és Kutató Központ Fizikai és Kémiai Szakértői Intézet Fizikai és Szervetlen Analitikai Osztály, e-mail: [fulopp@nszkk.gov.hu](mailto:fulopp@nszkk.gov.hu)

<sup>2</sup> Igazságügyi vegyész szakértő, Nemzeti Szakértői és Kutató Központ Fizikai és Kémiai Szakértői Intézet Fizikai és Szervetlen Analitikai Osztály, e-mail: [vorost@nszkk.gov.hu](mailto:vorost@nszkk.gov.hu)

<sup>3</sup> International Year of Glass: <https://iyog2022.org/>

a forró láva hirtelen lehülése folytán (obszidián), valamint laza, homokos talajban található szilícium-dioxidból villámcsapás útján (fulgurit) is létrejöhet. Ezeknek a természetben lezajló folyamatoknak a tudatos megfigyelése tette lehetővé a különféle üvegek modern kori tömeggyártását. Az üvegek főként a szilárd, kristályos anyagokra, de részben a folyadékokra jellemző mechanikai tulajdonságai is vannak.

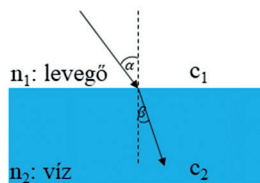
A környezetünkben található, mindennapi használatban lévő üvegtárgyak a gyártási technológia és felhasználási terület alapján három nagy csoportba sorolhatók. Kriminálisztikai szempontból legkisebb jelentősége az elsősorban folyadékok tárolására használt, formázott, majd lassú körülmények között lehűtött üvegeknek (*container glass*) van. A forenzikus üvegvizsgálatok legnagyobb részét az épületek ablakait alkotó síküvegek és a gépjárművekben használatos biztonsági (más néven edzett vagy szekurit) üvegek teszik ki. A síküvegek jelentős részét alkotó, úgynevezett úsztatott (*float*) üveg gyártása során a kiindulási anyagok olvadékát körülbelül 8-10 cm-es folyékony ón felületre öntik inert, nem oxidatív atmoszférában, majd szükség esetén tovább nyújtják, tömörítik és méretre vágják. A síküveget lágyulási hőmérséklet fölé melegítve, majd hirtelen lehűtve állítják elő a biztonsági üveget. Az ilyen típusú üvegek betörés vagy baleset során apró darabokra törnek, amelyek nem okoznak sérülést, ellentétben a nem hőkezelt üvegek törése során keletkező nagy, éles darabokkal. Az említett három típusba tartozó üvegszemcsék akár mikrométerű maradványai is egyértelműen megkülönböztethetők egymástól.<sup>4</sup>

Az üvegek sokrétű felhasználásának következtében a törvényszéki (forenzikus) üvegvizsgálatok kiemelt jelentőségűek lehetnek az igazságszolgáltatás számára. Az üvegből készült tárgyak (például nyílászárók és járművek üvegei) döntően az erőszakos, dolog elleni vagy életellenes bűncselekmények során gyakran megsérülnek, illetve összetörnek. A helyszínen és az elkövető ruházati tárgyain, az elkövetéshez használt eszközön visszamaradó, makro- és mikrométerű üvegszemcsék fizikai és kémiai tulajdonságain alapuló összehasonlító vizsgálatoknak viszonylag gazdag, magyar nyelven is elérhető szakirodalma van.<sup>5</sup> Az ilyen jellegű szakértői vizsgálatok során – az üvegszemcsék színe, típusa, vastagsága, esetleges felületi bevonata és az üveget alkotó kémiai elemek mennyiségi és minőségi meghatározása mellett – az üveg egy fontos tulajdonságát, az optikai törésmutatóját mérik meg. A törésmutató egy laikus számára azonban megtévesztő fogalom lehet. A törött üvegdarabok és töredékek elemzése az üveg törési folyamatának, mechanizmusának feltárásában nyújthat segítséget, szemben a törésmutatóval, amely a kérdéses anyag optikai tulajdonságairól, a fénysugár két eltérő közegben mért terjedési sebességének arányáról ad felvilágosítást. Ez a hányados – a Maxwell-egyenletekből elméleti úton is levezethető Snellius–Descartes-törvény szerint – a fénysugár beesési és törési szöge szinuszaival hányadosával egyezik meg.<sup>6</sup> Azaz a törésmutató a fénytöréssel, nem pedig az üveg tényleges, fizikai törésével kapcsolatos fogalom (1. ábra).

<sup>4</sup> VÖRÖS-TAKÁCS-RÉGER 2020.

<sup>5</sup> VÖRÖS – SÁNDORNÉ KOVÁCS 2020.

<sup>6</sup> NAGY 2002: 203–212.



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2} = n_{2,1}$$

1. ábra: A fény viselkedése két, optikailag eltérő közeg határán

Forrás: a szerzők felvétele

Az üveg törését, törésmintázatát és azok jellegzetességeit a fraktográfia tudománya vizsgálja, amely a tönkremeneteli folyamatok azonosításának vizsgálati módszere a mérnöki gyakorlatban.<sup>7</sup> A műszaki tudományban leginkább a fémek (például acélok), a műanyagok és kompozitok tulajdonságait tanulmányozzák, az üvegek viselkedését leíró hazai és nemzetközi publikációk száma alapján az üvegek törésmechanikája kevésbé vizsgált terület. Így különösen fontosnak tartjuk kiaknázni a témában rejlő lehetőségeket. A törési mintázat szakértői vizsgálata – az üveget ért erőhatások jellegének, irányának, esetleg sorrendjének meghatározása révén – alkalmas lehet egy inkriminált esemény részfolyamatainak megértésére, rekonstrukciójára, ezért szükségesnek tartjuk az üvegvizsgálatok Magyarországon eddig újszerű megközelítésének és a vizsgálatokban rejlő kriminalisztikai lehetőségek bemutatását. Reményeink szerint a későbbiek során a kirendelések számának növekedésével a szakértői gyakorlatban minél több tapasztalat gyűlhet össze, amivel a forenzikus fizika és a forenzikus vegyészet szakterületek tovább fejlődhetnek.

<sup>7</sup> MENYHÁRD-SZÉPVÖLGYI 2022.

## Deformációk

A szilárd testek külső erőhatásra alakváltozást (deformációt) szenvednek, amelyek ellenében belső erők, úgynevezett feszültségek ébrednek. A deformáció típusa szerint létezik nyújtás, összenyomás, nyírás, hajlítás, csavarás. A rugalmas alakváltozás határán túl maradó alakváltozás lép fel, amikor a külső erőhatás megszűnését követően a deformáció megmarad. A külső erőt tovább növelve az anyag elszakad, eltörik.<sup>8</sup> A törés a szilárd test makroszkópos értelemben vett szétválása, ami a teherbíró képesség megszűnéséhez vezet. Minden anyag esetében létezik egy elméleti törési feszültség, amelyet az alábbi összefüggés ad meg:

$$\sigma = \sqrt{\frac{E\gamma}{b}}, \text{ ahol } E \text{ a rugalmassági modulus, } \gamma \text{ a felületi energia, } b \text{ az atomok kö-}$$

zötti távolság.<sup>9</sup>

Utóbbi meghatározása az üvegek esetében különösen nehéz, mivel nem alakul ki kristályrács, így a kötéstávolságok és -szögek rendkívül változatosak az üvegen belül.

A külső erőhatásokkal szemben az anyagok különbözőképp viselkedhetnek, ami alapján léteznek rideg, rugalmas, szívós és képlékeny anyagok. Az öntöttvas, a különféle kerámiák, valamint a kriminalisztikai szempontból is jelentős üvegek ridegen törnek. A ridegtörés folytán az üvegen külső erő hatására keletkező kis repedés megjelenése után maga az üveg már minimális energiabefektetés árán, hirtelen, dörrenésszerű hanghatás kíséretében eltörik, amit maradó alakváltozás nem, vagy alig előz meg.<sup>10</sup>

A mérnöki törésmechanikában három (mechanikai) állapottényezőt különböztetnek meg, amelyek a vizsgálati (üzemelési) körülményekkel, illetve a szerkezet geometriájával, terhelésével hozhatók kapcsolatba:<sup>11</sup>

- hőmérséklet;
- feszültségi állapot;
- alakváltozás sebessége.

A felsorolt állapottényezők közül az üvegtörést okozó alakváltozás sebessége alapján való megkülönböztetés kriminalisztikai többletinformációt hordozhat. A törések általában már meglévő hibákból indulnak ki, és az üvegtárgyban keletkezett feszültség terjedésének következményei, amelyek alapesetben morfológiájuk szerint kétfélek lehetnek. A törési folyamat kezdeti szakaszában körkörös (koncentrikus), időben

<sup>8</sup> BUDÓ 1986: 11–15, 207–221.

<sup>9</sup> BLUMENAUER–PUSCH 1987: 16.

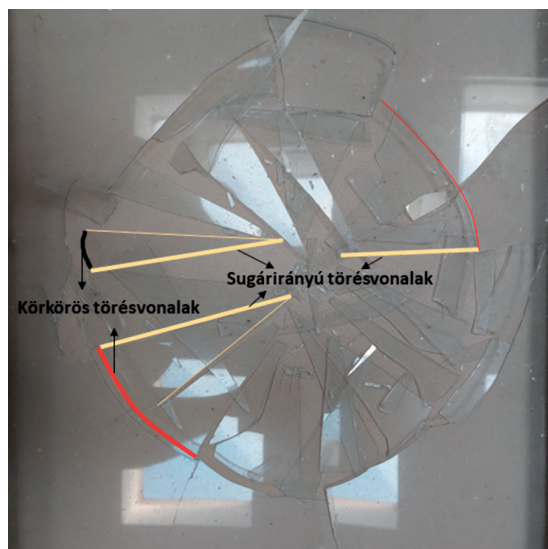
<sup>10</sup> HARGITAI 2014.

<sup>11</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem 2021.

később pedig sugárirányú (radiális) repedésvonalak alakulnak ki.<sup>12</sup> Az elágazások száma és a repedésterjedés sebessége arányos a törési energiával.

## **Az alakváltozás sebessége szerint lassú (kis sebességű) törések jellemző vonásai és forenzikus gyakorlati jelentőségük**

Az autótulajdonosok találkozhattak már azzal a kriminalisztikai szempontból elhanyagolható esettel, amikor a szélvédő üvegének egy kavics ütődik. A kőfelverődés és a különböző bűncselekmények során betört üvegfelületek úgynevezett lassú törése során kialakult törésmintázatok jellegzetességeiket tekintve nagyon hasonlók egymáshoz. Amennyiben egy nyílászáró egyrétegű síküvegtábláját egy tárggyal – például kalapács fejével – adott irányból betörnek, összetett törésmintázat keletkezik, amelyet sugárirányú és körkörös törésvonalak alkotnak (2. ábra).

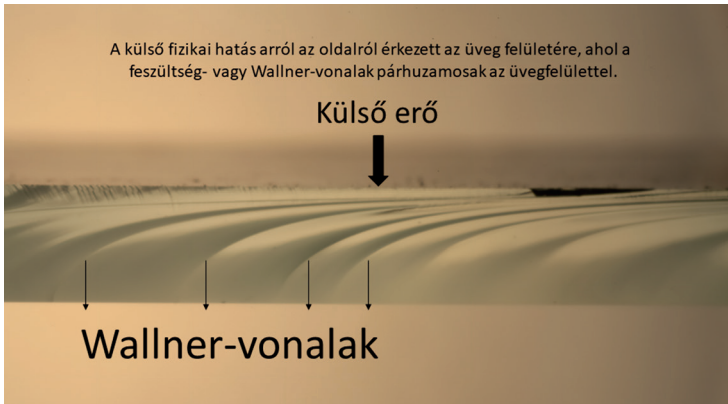


2. ábra: A kalapács fejével betört síküveg jellegzetes törésmintázata

Forrás: a szerzők felvétele

A kitört, igen nagy méretű üvegdarabok élei a különböző típusú törésvonalaknak megfeleltethetők, és azok azonosíthatók. A sugárirányú törésvonalnak megfelelő él morfológiája jellegzetes a törés irányára. Azon a deformáció hatására olyan feszültségvonalak, úgynevezett Wallner-vonalak jönnek létre, amelyekből meghatározható a deformációt okozó, külső erő iránya (3. ábra).

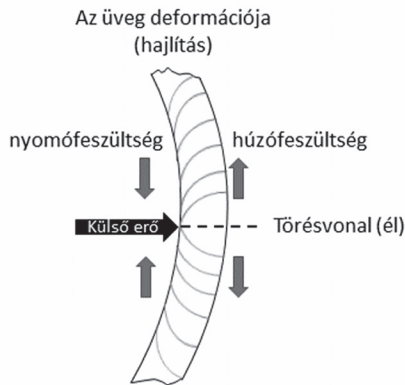
<sup>12</sup> HARSHEY et al. 2017.



3. ábra: Wallner-vonalak mikroszkópos képe

Forrás: a szerzők felvétele

A Wallner-vonalak kialakulásának oka a következő: a síküveg a ható erő támadáspontjában meghajlik, aminek során az erőhatás irányával azonos oldalon nyomófeszültség, míg az azzal ellentétes oldalon húzófeszültség alakul ki. Az előbbieket következtében a Wallner-vonalak az erőhatás irányával ellentétes oldalon a síküveg felületére merőlegesen futnak ki, míg a nyomófeszültséggel terhelt oldalon aszimptotikusan közelítik azt, azaz a Wallner-vonalak a törési élen tükrözik a feszültségállapotot (4. ábra).<sup>13</sup>



4. ábra: Az üveg deformációja

Forrás: a szerzők szerkesztése

<sup>13</sup> MENYHÁRD-SZÉPVÖLGYI 2022.

Ha a síküvegdarabokról valamilyen módon utólag megállapítható, hogy azok hogyan helyezkedtek el eredetileg az ajtó- vagy ablakkeretben, vagyis az üvegdarabok külső, illetve belső oldala egymástól jól megkülönböztethető, akkor az úgynevezett 4R-szabály (Ridges on Radial Cracks are at Right angles to the Rear) alkalmazásával egyértelműen lehet arra következtetni, hogy az erőbehatás (például ütés, ütődés, rúgás stb.) az ajtó vagy ablak üvegezett részét melyik irányból (kívülről vagy belülről) érte.<sup>14</sup> Az elvégzett modellkísérleteink eredménye alapján ideális körülmények között a törést okozó tárgy alakjára (pontoszerű, tompa vagy kiterjedt), valamint az erővektor irányára is következtethetünk. A gyakorlatban a bünyogi technikus által alaposan, körültekintően elvégzett helyszíni szemle megkönnyítheti a bizonyítási eljárásban, időben később szükségessé váló rekonstrukció folyamatát. Arra is van példa, hogy a helyszíni szemle során jelentéktelennek tűnő információkból némi szakértői leleményességgel a történetekre vonatkozóan – amennyiben arra kirendelői kérdés irányul – következtetéseket lehet levonni. A bűncselekmény helyszínén található tárgyi bizonyítékok (például a földön heverő üvegdarabok elhelyezkedése) alapján egyértelműen nem mindig állapítható meg, hogy az inkriminált esemény során milyen fizikai részfolyamatok és mozgásmechanizmusok zajlottak. Bizonyos esetekben felvetődik a kérdés, hogy az ajtóban lévő üvegtáblát kívülről a lakásba való behatolás alkalmával törték-e be, vagy belülről kifelé érte valamilyen erőhatás. Utólag nehéz a földre hullott üvegdarabok vizsgálatával szakmegállapítást tenni, azonban ki lehet használni a síküveggyártás során alkalmazott technológia jellegzetességét. Nevezetesen az üveget a gyártás során ónfürdőre öntik, amelynek során az ón néhány mikrométeres réteggel az üvegbe diffundál, így elemanalitikai vizsgálatokkal az üvegtábla ónnal érintkező és nem érintkező oldala egyértelműen megkülönböztethető. Amennyiben rendelkezünk olyan, a helyszíni szemle során a keretből rögzített üvegdarabbal, amelynél ismert, hogyan helyezkedett el a keretben (erre lehetőséget adhat például az üvegtáblán található vércseppek, egyéb jól látható szennyeződések elhelyezkedése), akkor eldönthető, hogy az eredeti üvegtábla külső vagy belső oldala volt ónban gazdagabb. Mindezek segítségével a törés környezetében, például a földről rögzített üvegdarabok esetén is megállapítható, azok milyen orientációban helyezkedtek el eredetileg. Ezekből az egzakt, objektív adatokból a 4R-szabály segítségével már könnyedén vonhatunk le következtetéseket, hogy az üveg melyik irányból tört, illetve milyen fizikai hatás érthette. Az ilyen módon szerzett információt egy jól felépített, egységes logikai láncba illeszthetjük, ami az egész folyamat jobb megértését, az inkriminált cselekménysor pontosabb rekonstrukcióját szolgálja.

---

<sup>14</sup> CURRAN et al. 2000: 7–9.

## Az alakváltozás sebessége szerint gyors (nagy sebességű) törések jellemző vonásai és forenzikus gyakorlati jelentőségük

A nagy sebességű lövedékek üvegen való áthatolásakor azonban a fentiekől eltérő morfológiájú, úgynevezett kúpos jellegű törésmintázat keletkezik. A lövedék az üvegen kerek, kráter alakú lyukat üt, amely körül ugyanúgy megjelennek a körkörös és a sugárirányú repedésvonalak.<sup>15</sup> Az üvegen létrejött kráter átmérője a kilépési oldalon nagyobb, így ennek mérete például a lövési irány megállapítására alkalmas. A lövedék becsapódási irányának meghatározásában segítséget nyújthat az úgynevezett fátyszél, amely az üvegen a becsapódás környezetében kialakuló elváltozás (5. ábra).<sup>16</sup>



5. ábra: Lövési elváltozás egy síküveg felületén

Forrás: a szerzők felvétele

Amennyiben a lövedék közel derékszögben éri az üvegfelületet, akkor a lövedék által ütött lyuk körül a fátyszél szimmetrikusan helyezkedik el, ellenkező esetben aszimmetrikusan megnyúlik, kissé ellipszis alakú lesz.<sup>17</sup> Az éles löszerek becsapódási szögének meghatározásához az úgynevezett ellipszismódszer [ $\sin \alpha = w(\text{szélesség}) / l(\text{hosszúság})$ ] kis szögek esetén kellő pontossággal alkalmazható (6. ábra).<sup>18</sup>

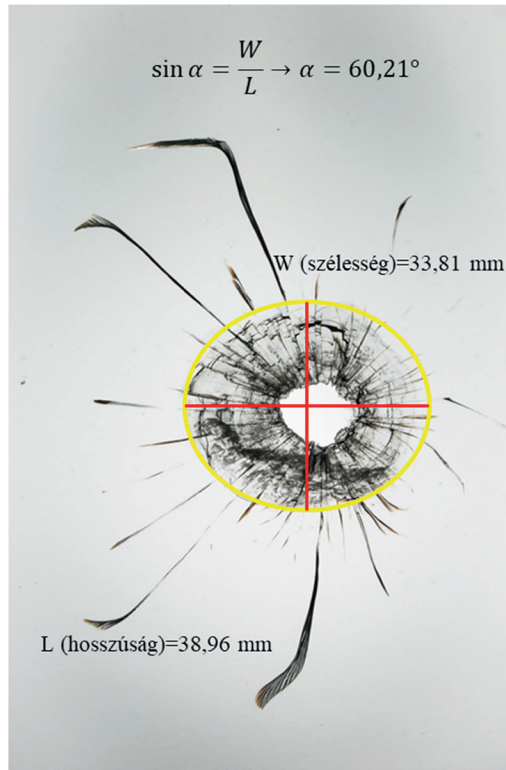
<sup>15</sup> LEVELES–KEMÉNY–KATONA 2019.

<sup>16</sup> HARSHEY et al. 2017.

<sup>17</sup> MATIJSSSEN–KERKHOFF 2016.

<sup>18</sup> DALY 2021: 4–11.

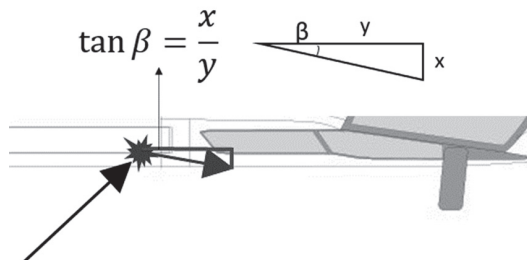




6. ábra: Egy lövedék becsapódási szögének számítása az ellipszismódszerrel

Forrás: a szerzők felvétele

Amennyiben a lövedék egy akadályról – bizonyos feltételek fennállása esetén – gurulatot kap, vagyis az eredeti irányát megváltoztatja, akkor a kitérés szöge is egyszerű szögfüggvénnyel ( $\tan \beta = x/y$ ) megadható (7. ábra).<sup>19</sup>



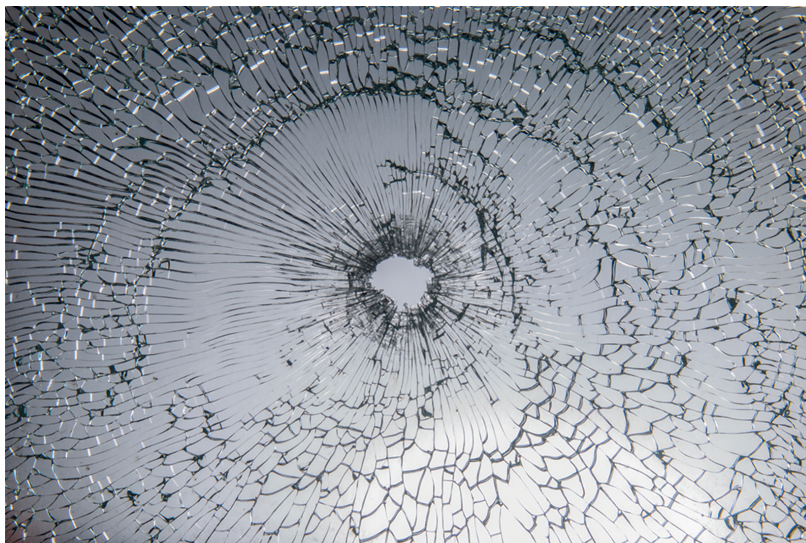
7. ábra: A gurulatos lövedék kitérés szögének számítása

Forrás: a szerzők szerkesztése

<sup>19</sup> NISHSHANKA-SHEPHERD-PARANIRUBASINGAM 2020.

Az elvégzett kísérleteink alapján az egyrétegű síküvegek felületére „Lellin&Bellott” fenékjelzésű, 9 mm kaliberjelű, 8 g tömegű, „Luger” lőszerrel pisztolyból leadott lövések átlagosan 340 m/s (1225 km/h) sebességgel hatoltak át az üvegen, ami a lassú alakváltozással szemben csak helyi sérülést okoz. Ennek oka, hogy a rövid ideig ható nagy erő nem volt képes megváltoztatni a teljes üvegtábla felületének alakját, illetve mozgásállapotát, a felület távolabbi részei a gyorsításnak jobban ellenálltak (szakszerűen kifejezve nagyobb a tehetetlenségük). Az így kialakult törésmintázatok kriminalisztikai szempontból jól vizsgálhatók. Azokat a jellemzőket (például a fátlyol-zóna alakja, mérete), amelyek segítenek a lövedék becsapódási szögének és irányának meghatározásában, a síküveg felülete egyértelműen hordozza, azokból a megtörtént eseményekre vonatkozóan világos következtetések vonhatók le.

A személygépkocsi oldalablakának szekuritüvegére leadott lövések során szerzett kísérleti tapasztalataink azt mutatták, hogy az üveg – biztonsági funkciójának megfelelően – sok apró darabra tört, azonban a lövés környezetében jellemzően sugárirányú törésvonalak jelentek meg (8. ábra).

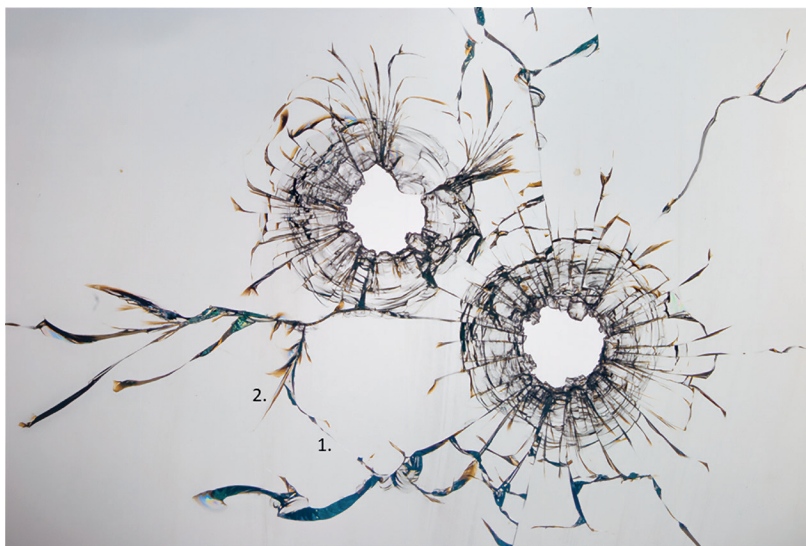


8. ábra: Lövési elváltozás szekuritüvegen

Forrás: a szerzők saját ábrája

A kisméretű üvegszemcsék és általában a szekuritüvegek esetében a 4R-szabály és a Wallner-vonalak vizsgálata nem alkalmazható, valamint a törésmintázat további morfológiai jellegzetességei, mint a fátlyol-zóna mérete és alakja csak rövid ideig, vagy egyáltalán nem állnak rendelkezésre, a szekuritüveg technológiai sajátossága miatt. A gyakorlat ráadásul még ennél sokkal nehezebb és bonyolultabb feladat elé is állíthat, amivel egy bírósági kirendelés alkalmával szembesültünk. A kirendelő hatóság által feltett kérdések arra keresték a választ, hogy milyen irányból

és hányszor érte találat a gépjármű oldalsó, biztonsági üvegét, onnan a lövedék milyen irányba haladhatott tovább. Az inkriminált esemény rekonstruálásakor problémát okozhat, ha a cselekmény elkövetésekor nem éles lőszert, hanem gáz-riasztó fegyvert és gumilövedéket használtak. A lövedék ballisztikus pályája nem olyan jól definiált, mint a huzagolással megvezetett, szabályos pályán haladó lövedék esetén, ugyanis a gumilövedék a fegyver csövét elhagyva szabálytalan mozgást végez, forog és imbolyog. Ezenkívül a kilőtt gumilövedék sebessége (60 m/s = 216 km/h) csak töredéke a kísérleteinkben is alkalmazott lőszerek sebességének, és a kis sebességgel haladó lövedékek általában nagyobb valószínűséggel pattannak el a különböző felületekről, akadályokról, vagyis ilyen esetekben már gurulatos lövedékről beszélünk.<sup>20</sup> A tanúvallomások ellentmondásosak lehetnek a leadott lövések számát illetően is, hiszen ne felejtjük, hogy az üvegek törése dörrenésszerű hanghatással járhat, így az észlelt dőrejt tévesen lövésnek tulajdoníthatják. A rekonstrukció során a vizsgált esemény- vagy cselekménysor részfolyamatai között, több lövési elválkozás esetén akár időbeli sorrend is felállítható az üvegen keletkezett, többszörösen elágazódó törésvonalak segítségével. Amennyiben a repedésterjedés során az egyik törésvonal útjába kerül egy korábban létrejött törésmintázat valamely elágazása, akkor az már nem terjed tovább. Ez az egyszerű jelenség lehetőséget ad arra, hogy a például személygépkocsi szélvédőjére leadott lövéseket időrendbe tegyük (9. ábra).<sup>21</sup>



9. ábra: A lövési elválkozások időbeli sorrendje a törésmintázat vizsgálata alapján  
Forrás: a szerzők felvétele

<sup>20</sup> MATTIJSSSEN–PATER–STOEL 2016.

<sup>21</sup> HAAG–HAAG 2011: 125–142.

## Összefoglalás

Amennyiben egy bűncselekmény helyszínén törött üvegtárgyakat, például betört ablakot, betört gépjárműablakot találnak, és a kirendelő hatóságnak a lezajlott folyamatok és a törésmechanizmus vonatkozásában hiányosak az információi, akkor a különleges szakértelmet igénylő kérdés megválaszolásához, a tényesemények lehetséges bekövetkezési módozatainak megállapításához a 2016. évi XXIX. törvény az igazságügyi szakértőkről 39. § (3) és a 45. § (4) *b*) pontja és a 31/2008. (XII. 31.) IRM rendelet 22. § (1) *e*) pontja, valamint a 34. § *d*) pontja értelmében igazságügyi fizikus- és/vagy igazságügyi vegyész szakértőt érdemes kirendelnie. A fraktográfia kriminalisztikai jelentősége abban van, hogy a módszert alkalmazva a síküvegek esetén a lassú és a gyors alakváltozással járó törések mechanizmusáról felvilágosítást kaphatunk, ezzel lehetővé válik az inkriminált eseménysor egyes részleteinek rekonstruálása. Ráadásul sokoldalúan, multi- és interdiszciplinárisan alkalmazható módszerről van szó, hiszen a fegyverszakértőkkel együttműködve a lövések iránya meghatározható, a törésmintázatok vizsgálatával esetleg azok sorrendjére is lehet következtetni. A megszerzett ismeretek akár más szakértői területeken, például az orvosszakértői gyakorlatban is alkalmazhatók. A módszer alkalmas lehet eltérő időpontban keletkező, az agykoponyát érő többszörös tompa erőbehatások sorrendjének megállapítására. Bizonyos esetekben eldönthető, hogy a sértett egy fejet ért ütés következtében a földre zuhanva szenved újabb koponyatörést, vagy az események fordított sorrendben történtek. Továbbá az ellipszismódszer a lövedékek becsapódási szögének meghatározásában éppúgy segítséget nyújt, mint a vércseppek becsapódási szögének elemzésében. Ahogy minden vizsgálati módszernek és eljárásnak, valamint fizikai törvénynek van érvényességi határa, korlátja, úgy a fraktográfia sem a forenzikus tudományok „Szent Grálja”. A szekuritüvegek törésmintázatának vizsgálata jellegéből adódóan kifejezetten nehéz és kevésbé kutatott terület, valamint olyan sok, ismeretlen tényező befolyásolhatja a törési folyamatokat, hogy az események közelítő rekonstruálása a fraktográfia módszerével sem minden esetben lehetséges.

## IRODALOMJEGYZÉK

- BLUMENAUER, Horst – PUSCH, Gerhard (1987): *Műszaki törésmechanika*. Budapest: Műszaki Tankönyvkiadó.
- Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (2021): *Anyagismeret segédlet*. Anyagtudomány és Technológia Tanszék. Online: [www.att.bme.hu/neptuncode/BMEGEMTMVV1/segedletek/Allapottenyezok\\_sillabusz.pdf](http://www.att.bme.hu/neptuncode/BMEGEMTMVV1/segedletek/Allapottenyezok_sillabusz.pdf)
- BUDÓ Ágoston (1986): *Kísérleti fizika I. kötet*. Budapest: Tankönyvkiadó.
- CURRAN, James Michael – HICKS, Tacha Natalie – BUCKLETON, John S. – ALMIRALL, José R. – EVETT, Ian W. – LAMBERT, James A. (2000): *Forensic Interpretation of Glass Evidence*. Boca Raton: CRC Press. Online: <https://doi.org/10.1201/9781420042436>

- DALY, Stephen (2021): *Bullet Ricochet of Polymer Coated Bullets*. Student Thesis. City University of New York, John Cay College of Criminal Justice. Online: [https://academicworks.cuny.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1206&context=jj\\_etds](https://academicworks.cuny.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1206&context=jj_etds)
- HAAG, Michael G. – HAAG, Lucien C. (2011): *Shooting Incident Reconstruction*. 2<sup>nd</sup> Edition, Academic Press. Online: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382241-3.00032-6>
- HARGITAI Hajnalka (2014): *A töréssel szembeni ellenállás vizsgálata*. Egyetemi óravázlat. Győr: Széchenyi István Egyetem. Online: [www.sze.hu/~hargitai/Anyagvizsg%El1at/4\\_dinamikusig-enybevetel\\_toresmechanika.pdf](http://www.sze.hu/~hargitai/Anyagvizsg%El1at/4_dinamikusig-enybevetel_toresmechanika.pdf)
- HARSHEY, Abhimanyu – SRIVASTAVA, Ankit – YADAV, Vijay Kumar – NIGAM, Kriti – KUMAR, Amit – DAS, Tanurup (2017): Analysis of Glass Fracture Pattern Made by 177” (4.5 mm) Caliber Air Rifle. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 7(20), 1–8. Online: <https://doi.org/10.1186/s41935-017-0019-5>
- LEVELES Borbála – KEMÉNY Alexandra – KATONA Bálint (2019): Edzett üveg dinamikus és nagy hőmérsékletű, kvázisztatikus vizsgálata. *Acta Materialia Transylvanica*, 2(2), 110–114. Online: <https://doi.org/10.33923/amt-2019-02-08>
- MATTIJSSSEN, Erwin J. A. T. – KERKHOFF, Wim (2016): Bullet Trajectory Reconstruction – Methods, Accuracy and Precision. *Forensic Science International*, 262, 204–211. Online: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.03.039>
- MATTIJSSSEN, Erwin J. A. T. – PATER, K. Dieter H. – STOEL, Reinoud D. (2016): Ricochet Behavior on Glass–Critical Ricochet Angles, Ricochet Angles, and Deflection Angles. *Journal of Forensic Sciences*, 61(6), 1456–1460. Online: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13201>
- MENYHÁRD Alfréd – SZÉPVÖLGYI János (2022): *Korszerű műszaki kerámiák. Tönkremenetel és vizsgálata*. Óravázlat. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Fizikai Kémiai és Anyagtudományi Tanszék. Online: [https://mua.bme.hu/hallgatok/letoltesek/NYILVANOS\\_TARTALOM/korszeru\\_muszaki\\_keramiak/08-KM-Keramiak.pdf](https://mua.bme.hu/hallgatok/letoltesek/NYILVANOS_TARTALOM/korszeru_muszaki_keramiak/08-KM-Keramiak.pdf)
- NAGY Károly (2002): *Elektrodinamika*. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.
- NISHSHANKA, Bandula – SHEPHERD, Chris – PARANIRUBASINGAM, Paranitharan (2020): Forensic based Empirical Study on Ricochet Behaviour of Kalashnikov Bullets (7.62 mm 39 mm) on 1 mm Sheet Metal. *Forensic Science International*, 312, 110313. Online: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110313>
- VÖRÖS Tamás – SÁNDORNÉ KOVÁCS Judit (2020): Kriminálisztikai üvegvizsgálat a Nemzeti Szakértői és Kutatói Központban. *Belügyi Szemle*, 69(2), 177–194. Online: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2021.2.1>
- VÖRÖS Tamás – TAKÁCS Krisztina – RÉGER Péter (2020): *Refractive Index Variations of Glass Microfragments by Annealing – Forensic Applications, Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials*, 72(6), 205–209. Online: <https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2020.33>

## ABSTRACT

### **Other Aspects of Forensic Glass Examination – The Fractography**

Péter FÜLÖP – Tamás VÖRÖS

*United Nations approves 2022 as the International Year of Glass. In connection with this, it is relevant to present a sub-field of forensic glass examinations, which has so far been little discussed in Hungarian journals. Among our everyday glass objects, window panes, for example, can be struck by various objects at relatively low or high speeds during the commission of certain crimes. This external effect can eventually lead to deformation and breakage of the glass. In some cases, the pattern that forms on the glass surface during breakage can carry*

*important information about the causes of the breakage, the direction of the force, from which the mechanism of the process that took place can be deduced. Experiments were carried out to illustrate the characteristic fracture patterns that occur under the influence of external forces acting on glass. Based on the international literature and the results of our experiments, we present the method used in practice through examples.*

**Keywords:** *forensic glass examination, condition factors of glass, mechanism of fracture, 4R rule, ellipse method, reconstruction*