



A hőkezelés alkalmazási lehetőségei a kriminalisztikai üvegvizsgálatokban

Applications of annealing in forensic glass examinations

Vörös Tamás

Dr. PhD, igazságügyi vegyész szakértő
Nemzeti Szakértői és Kutató Központ,
Fizikai és Kémiai Szakértői Intézet,
Fizikai és Szervetlen Analitikai Osztály
vorost@nszkk.gov.hu



Szabó Attila

intézetvezető, főtanácsos, tűzoltó alezredes
Katasztrófavédelmi Kutatóintézet
attila.szabo3@katved.gov.hu



Takács Krisztina

technikus
Nemzeti Szakértői és Kutató Központ,
Fizikai és Kémiai Szakértői Intézet,
Fizikai és Szervetlen Analitikai Osztály
takacsgyne@nszkk.gov.hu



Krizsán Attila

vizsgálatvezető, tűzoltó százados
Katasztrófavédelmi Kutatóintézet
attila.krizsan@katved.gov.hu



Absztrakt

Cél: Az alábbiakban célunk bemutatni a Nemzeti Szakértői és Kutató Központban végzett, üvegek hőkezelésével kapcsolatos kísérletek eredményeit, valamint a hőkezelés alkalmazási lehetőségeit a kriminalisztikai vizsgálatokban.

Módszertan: Az üvegek törésével is együtt járó bűncselekményekkel (például gépjárműfeltörés, betöréses lopás, rongálás) kapcsolatosan jellemzően felmerülő, szakértői vizsgálatot igénylő kérdés, hogy a lefoglalt ruházati tárgyon talált üvegszemcse származhat-e a bűncselekmény helyszínén eltört üvegtárgyak valamelyikéből. Mikroméretű üvegszemcsék kriminalisztikai vizsgálatának elterjedt módszere az optikai törésmutató mérés. Az üvegmaradvány-szemcse és a referenciaminta törésmutatójának azonossága esetén valószínűsíthető a származási kapcsolat. Az ilyen jellegű vizsgálatok kiegészítéseként szolgál az üvegszemcsék kontrollált körülmények között történő hőkezelése és az azt követő optikai törésmutató mérés. Jelen munkánk során ezt a vizsgálati lehetőséget mutatjuk be példákon keresztül, az eredményeket összevetve korábbi irodalmi adatokkal.

Megállapítások: Hőkezelés hatására az üvegszemcsén belül szerkezeti átrendeződés történik, melynek hatására a szemcse optikai törésmutatója megváltozik. Ennek mértéke a különböző típusú üvegekben jelen lévő, eltérő belső feszültség

miatt üvegtípusonként különböző és jellegzetes. Ez lehetőséget nyújt a pontosabb származási viszony megállapítása mellett az üveg típusának meghatározására is. A hőkezelést olyan esetekben is sikerrel alkalmaztuk, ahol a bűncselekményt követően a referenciamintát ért jelentős hőterhelés (például tűz) miatt az üvegmaradvány-szemcsékkel optikai törésmutató alapján történő közvetlen összehasonlítás téves eredményt adna.

Érték: Sikeresen alkalmaztuk a hőkezelést üvegtípus megállapítására, származási viszonyok vizsgálatára, valamint hőterhelésnek kitett üvegek analizésére is, ezzel segítve a büntetőügyekben felmerülő szakkérdések megválaszolását.

Kulcsszavak: üveg, kriminalisztika, hőkezelés, optikai törésmutató, összehasonlító vizsgálat

Abstract

Aim: In this paper, our primary aim is to present the results of our experiments, carried out at the Hungarian Institute for Forensic Sciences, as well as the possible applications of annealing in the forensic investigation of glasses.

Methodology: The question that typically arises and requires forensic examinations in connection with crimes involving the breaking of glasses (e. g. burglary, vandalism) is whether the glass fragments recovered from the suspect's garment can originate from any of the broken samples found on the scene of the crime. A common method for forensic investigation of glass microfragments is the refractive index measurement. In cases when the refractive index of the recovered fragments and the reference is the same, it is probable that they originate from the same source. These investigations can be supplemented by the heat treatment of the glass samples under controlled conditions followed by the measurement of the refractive index. In this work we present this method via examples, comparing the results with previous literature data.

Findings: As a result of annealing, a structural rearrangement takes place inside the glass fragments and the refractive index changes. The extent of this change is characteristic of the glass types due to the different internal stress present in the different types. Besides establishing a more precise relationship of origin, this method also makes it possible to determine glasses by type. Annealing has also been successfully applied in cases where direct comparison of the recovered fragments with the reference sample would have given false results due to the significant heat effect (e. g. fire) on the control sample after the crime.

Value: We have successfully applied annealing to determine the type of glasses, to examine the possibilities of origin, and to analyze glasses exposed to heat, thus helping to answer forensic questions in criminal cases.

Keywords: glass, forensics, annealing, refractive index, comparative analysis

Bevezetés

A hazánkban végzett kriminalisztikai üvegvizsgálat több évtizedes múltra tekint vissza, amelynek rövid története, fejlődése, valamint a vizsgálat lépéseit és módszereit korábban már bemutattuk (Vörös & Sándorné Kovács, 2020). A Nemzeti Szakértői és Kutató Központba (továbbiakban: NSZKK) – mint büntetőügyekben szükséges forenzikus vegyészeti vizsgálatokkal kapcsolatban szakvélemény adására feljogosított szervhez (URL1) – érkező, üvegvizsgálattal kapcsolatos kirendelő határozatokban leggyakrabban feltett kérdés, hogy a vizsgálatra beküldött bűnjelen található-e üvegmaradvány, és amennyiben igen, akkor az származhat-e a megfelelő referenciamintával reprezentált törött üvegtárgyból. Ez elsősorban összehasonlító vizsgálatot feltételez, mely az üvegszemcse méretétől függően vizuális szín, típus, névleges vastagság, felületi bevonat, elemösszetétel, valamint optikai törésmutató (refractive index, továbbiakban: RI) adatok alapján tehető meg. Jelen írásunk célja bemutatni egy, az előbbieket kiegészítő vizsgálati módszert, melynek segítségével az összehasonlító vizsgálatok pontosítása mellett lehetőség nyílik a kérdéses üvegszemcse típusának meghatározására, valamint hőterhelésnek kitett üvegek vizsgálatára is.

Gyártási technológiától függően a különböző típusú üvegek eltérő mértékű belső, szerkezeti feszültséggel rendelkeznek. Edzett, biztonsági (vagy más néven szekurit) üvegek előállításánál az üvegtáblát deformációs hőmérséklet fölé melegítve, majd gyorsan lehűtve nem alakul ki az alacsony hőmérsékletre tartozó szerkezeti egyensúly. Ez jelentős szerkezeti feszültséget eredményez ennél az üvegtípusnál, mely az üvegtábla törése során keletkező mikroméretű darabokban (fragmentumokban) is megmarad. Amennyiben a gyártási folyamat során az üvegtáblát fokozatosan, lassan hűtik (például sík- vagy öblösüvegek esetén), több idő áll rendelkezésre az alacsony hőmérsékletnek megfelelő szerkezeti egyensúly kialakulására. Az ilyen üvegek törése során keletkező szemcsékben is jóval kisebb a belső feszültség a biztonsági üvegekhez képest. A belső feszültség mértéke jól vizsgálható hőkezelés és azt követő optikai törésmutató mérés segítségével. Ennek során megmérjük a kérdéses szemcse optikai törésmutatóját, majd a szemcsét a deformációs hőmérséklet fölé (kb. 600–650 °C) melegítjük. Ebben az állapotban lehetőség van szerkezeti átrendeződésre, lassú, egyenletes hűtéssel pedig elérhető a belső feszültség jelentős csökkentése és a szobahőmérsékletnek megfelelő (közel) egyensúlyi állapot kialakítása. Mindez a vizsgált minta optikai törésmutatójának növekedéséhez

vezet. A növekedés mértéke összefügg a szemcse eredeti belső feszültségével, ilyen módon jellemző az üveg típusára, amelyből a maradvány származik.

A hőkezelés hatására bekövetkezett törésmutató-változás vizsgálatát az elmúlt években sikerrel alkalmaztuk több területen is. Összehasonlító vizsgálatok eredményeinek megerősítése, származási viszonyok egyértelműsítése, valamint üvegszemcsék típusának meghatározása mellett olyan összehasonlító vizsgálatokban is eredményesnek bizonyult, ahol a referencia üvegmintát az üveg betörését követően jelentős hőhatás érte. Az alábbiakban ezeket az alkalmazási lehetőségeket szeretnénk bemutatni modellekísérletekben, valamint bűntetőügyekben végzett vizsgálatokon keresztül.

Üvegtípus meghatározása

Az első, üvegek hőkezelés segítségével történő típus szerinti megkülönböztetését célzó forenzikus vizsgálatokat Locke és munkatársai (Locke, Sanger & Ropnarine, 1982) végezték. 85 üvegminta törésmutató értékét mérték meg több óráig tartó, 500–550 °C-os hőkezelést megelőzően ($RI_{előtte}$), valamint azt követően ($RI_{utána}$). Kísérleteikben a hőkezelés hatására bekövetkező törésmutató-növekedés ($\Delta RI = RI_{utána} - RI_{előtte}$) sík-, illetve öblösüvegeknél kb. 0,00020–0,00150, míg edzett ablaküvegek esetén kb. 0,00160–0,00220 közötti értéknek adódott. Eredményeik alapján az eltérő típusú – edzett, illetve nem edzett – üvegek hőkezeléssel egyértelműen megkülönböztethetők. Ezt a megállapítást több, későbbi kísérletben is igazolták (Locke & Hayes, 1984; Locke & Rockett, 1985; Winstanley & Rydeard, 1985; Marcouiller, 1990).

Intézetünkben 2020-ban megvizsgáltuk 25–25 db sörös- és borosüveg, sík-üveg, valamint edzett üveg törésmutató-változásának értékét (Vörös, Takács & Réger, 2020). Ehhez a kérdéses üvegeket összetörtük, majd azokból egy-egy szemcsét kettétörtünk. Az egyik felének további változtatás nélkül megmértük a törésmutató értékét. A másik felét 4 órán keresztül 700 °C-on tartottuk, majd kb. 24 óra lassú hűtést követően meghatároztuk a törésmutató értékét. A mért ΔRI értékeket az egyes üvegtípusok esetén az 1. számú táblázat tartalmazza.

1. számú táblázat: Az NSZKK-ban vizsgált 25–25 db különböző típusú üveg hőkezelés hatására bekövetkező törésmutató-változása

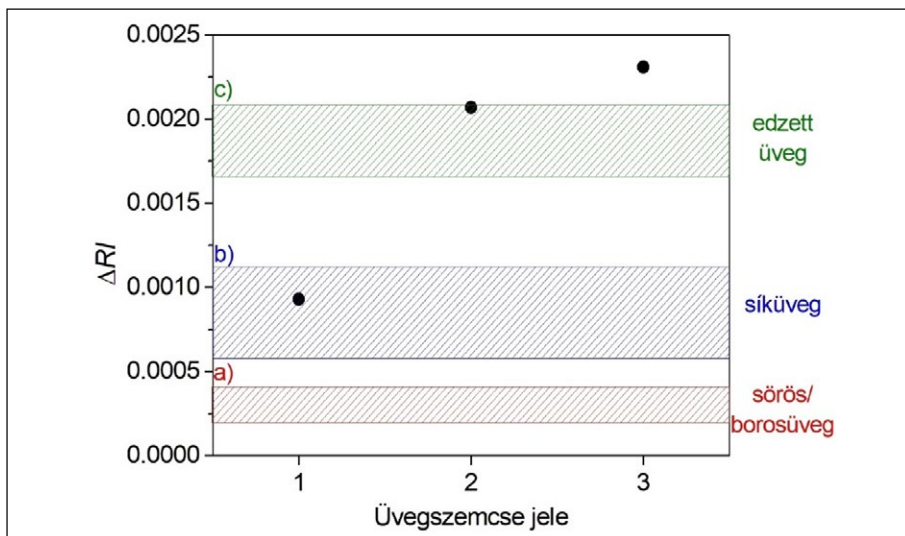
Üvegtípus	ΔRI
Sörös- és borosüveg	0,00020–0,00040
Síküveg	0,00060–0,00113
Edzett üveg	0,00166–0,00207

Forrás: Vörös, Takács & Réger (2020) alapján a szerzők saját szerkesztése.

Megfigyelhető, hogy az egyes tartományok egymással nem fednek át, vagyis a fenti körülmények között mért ΔRI értékek alkalmasak annak megállapítására, hogy egy kérdéses üvegszemcse valószínűsíthetően milyen típusú üvegből származik. Mindez olyan esetekben is alkalmazható, ha a vizsgálandó szemcse kis mérete miatt annak típusa morfológiai jellemzők alapján már nem határozható meg.

Az idei, 2022-es évben lehetőségünk nyílt a fenti eredményeket egy büntetőügyben is alkalmazni, amelyben a kirendelő hatóság a következő kérdést fogalmazta meg: „Állapítsa meg, hogy a megküldött ruházati tárgyon üvegtörmelék kimutatható-e! Amennyiben kimutatható üvegtörmelék, megállapítható-e, hogy az sörösüvegtől származik?” A kérdéses ruházati tárgyból rázalékolással anyagmaradványt biztosítottunk, majd abban üvegszemcséket kerestünk. Összesen 3 db olyan, kb. 100–200 μm nagyságú, mikroméretű üvegszemcsét találtunk, amely alkalmas volt a fenti vizsgálsorozat elvégzésére. Az egyes szemcsék esetén hőkezelés előtt, valamint azt követően mért optikai törésmutató értékek különbsége rendre 0,00093, 0,00207, illetve 0,00231. Összevetve a ΔRI értékeket a laboratóriumunk által különböző típusú üvegeken mért értékekkel (1. számú ábra) megfigyelhető, hogy a kérdéses üvegszemcsék egyike sem származhat sörösüvegből. Feltételezhetően 1 db üvegszemcse nem edzett (például síküveg), míg a további 2 db üvegszemcse nagy valószínűséggel edzett üvegből származik. A 0,00231-es érték az általunk vizsgált edzett üvegek törésmutató-változás értékénél 0,00024-gyel nagyobb, fontos azonban megjegyezni, hogy ekkora ΔRI érték korábbi irodalmi adatok alapján (Locke & Rockett, 1985) előfordulhat edzett üveg esetén.

1. számú ábra: Az NSZKK-ban vizsgált 25–25 db a) sörös- és borosüveg, b) síküveg, valamint c) edzett üveg hőkezelést követően és azt megelőzően mért optikai törésmutató értékének különbségei (vonalazott tartományok), továbbá az intézetünkben vizsgált büntetőügyben talált 3 db (1, 2, 3) mikrométerű üvegszemcsék hőkezelés hatására bekövetkezett törésmutató változása (ΔRI).



Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

Származási viszonyok vizsgálata

A kriminalisztikai üvegvizsgálatok elsődleges célja a származási viszonyok megállapítása, lehetőség szerint több, egymástól független vizsgálati módszer eredménye alapján. Ezekben az esetekben olyan tulajdonságokat keresünk, amelyek jól vizsgálhatók mind a referenciaminta, mind a kérdéses üvegszemcsé vonatkozásában. A vizsgálatra érkezett bűnjeleken talált üvegszemcsék jellemzően a mikrométerű tartományba (<1 mm) esnek. Ezek az üvegszemcsék a bevezetésben már említett összehasonlító módszerek közül elsősorban optikai törésmutató mérésre alkalmasak megbízhatóan, további, független módszerrel történő összehasonlító vizsgálatuk (például elemösszetétel meghatározása) kis méretük miatt nem lehetséges. Intézetünkben optikai törésmutatót öt tizedesjegy pontossággal tudunk mérni. Az üvegszemcsék esetén mért szórásértékek vizsgálatunk alapján jellemzően 0,0001 körüli vagy annál nagyobb értékek, így ennél pontosabb mérésre a gyakorlatban nincs is szükség. Nyilvánvaló azonban, hogy a világon jelentősen több üvegtárgy van, mint a lehetséges különböző mérési adatok száma (Lambert & Evett, 1984). Tehát ha két üvegszemcsé

optikai törésmutatója szórásértéken belül megegyezik, csak bizonyos fokú származási valószínűség állapítható meg, kategorikus egyezés nem. A lehetséges származási viszony pontosabb megállapításának egy lehetősége, ha a kérdéses üvegdarabok optikai törésmutatóját hőkezelést követően is összehasonlítjuk.

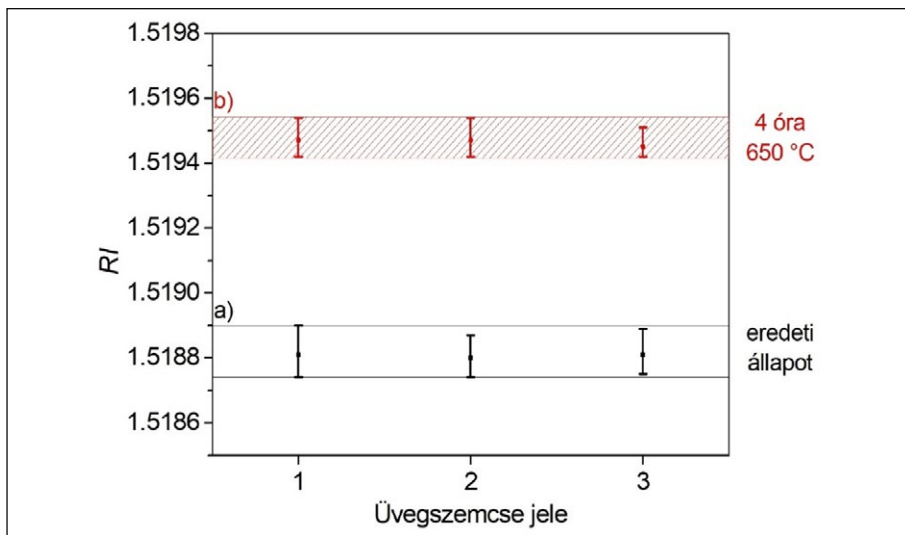
Mindezt sikeresen alkalmaztuk többek között a 2020. évi CTS (Collaborative Testing Services) 20-5481 számú jártassági teszt üvegmintáinak vizsgálatában (URL2). A tesztfeladat megoldása során meg kellett állapítani, hogy a 2-es, illetve 3-as jelű üvegmaradvány-szemcsék származhatnak-e az 1-es jelű mintával reprezentált törött üvegakváriumból. A kérdéses üvegszemcsék egyszerűen vizsgálható paraméterei (szín, típus, vastagság), továbbá röntgenfluoreszcenciás analízissel mért elemösszetétele és optikai törésmutató értéke egymással szórásértéken belül megegyezett. Annak érdekében, hogy az egyezés lehetőségét még egy oldalról megerősítsük, a szemcsék egy-egy darabját 4 órán keresztül kemencében 650 °C-on tartottuk, majd azokat hagytuk lassan, kb. 24 óra alatt szobahőmérsékletre hűlni. A hőkezelést megelőzően, valamint azt követően mért optikai törésmutató értékeket a 2. számú táblázatban, valamint a 2. számú ábrán mutatjuk be. Megfigyelhető, hogy a hőkezelést követően mért adatok is alátámasztják az azonos forrásból származást, és összhangban vannak az egyéb vizsgálatok eredményeivel. A törésmutató értékek változása és az 1. számú ábra adatai alapján az is látható, hogy a kérdéses üvegszemcsék mindegyike valószínűsíthetően síküveg darab.

2. számú táblázat: *A CTS-20-5481 számú jártassági teszt üvegmintáinak átlagos optikai törésmutató értékei ($RI_{\text{átl.}}$), valamint az egyes üvegszemcséknél mért legkisebb ($RI_{\text{min.}}$) és legnagyobb ($RI_{\text{max.}}$) optikai törésmutató értékek eredeti állapotban és 4 óra 650 °C-os hőkezelést követően, továbbá az átlagos optikai törésmutató értékek hőkezelés hatására bekövetkezett változása ($\Delta RI_{\text{átl.}}$)*

Üvegszemcse jele	Eredeti állapot			Hőkezelést követően			$\Delta RI_{\text{átl.}}$
	$RI_{\text{átl.}}$	$RI_{\text{min.}}$	$RI_{\text{max.}}$	$RI_{\text{átl.}}$	$RI_{\text{min.}}$	$RI_{\text{max.}}$	
1	1,51881	1,51874	1,51890	1,51947	1,51942	1,51954	0,00066
2	1,51880	1,51874	1,51887	1,51947	1,51942	1,51954	0,00067
3	1,51881	1,51875	1,51889	1,51945	1,51942	1,51951	0,00066

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

2. számú ábra: A CTS-20-5481 számú jártassági teszt üvegmintáinak átlagos optikai törésmutató értékei, valamint az egyes üvegszemcséknél mért legkisebb és legnagyobb optikai törésmutató értékek a) eredeti állapotban és b) 4 óra 650 °C-os hőkezelést követően



Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

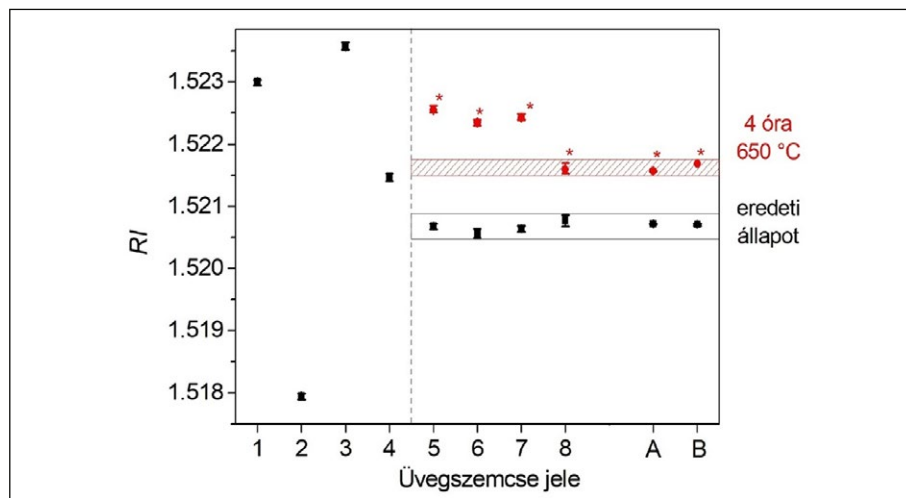
Az azonos forrásból való származás valószínűségi fokának növelése mellett a hőkezelést követő optikai törésmutató vizsgálat alkalmas lehet arra is, hogy eltérő forrásból származó, de eredetileg azonos optikai törésmutatójú üvegek között különbséget tegyen. Az NSZKK-ban 2019-ben vizsgált büntetőügyek egyikében a kirendelő hatóság egy gépjármű 8 db különböző betört ablakából küldött referenciamintát. Ezek közül 4 db üvegminta (1–4) optikai törésmutató értéke egymástól és a további üvegmintákétól is egyértelműen eltér, míg a további 4 db referenciaminta optikai törésmutató értéke egymáshoz nagyon közeli érték. A gyanúsítottak egyikétől lefoglalt ruházati tárgyban talált 2 db üvegmaradvány szemcse (A és B) optikai törésmutató értékei alapján nem dönthető el egyértelműen, hogy azok az 5–8 jelű referenciaminták által reprezentált ablakok melyikéből származhatnak. A származási viszonyok pontosabb megállapítása érdekében a kérdéses referenciaminták egy-egy darabját, valamint az A és B jelű üvegmaradvány-szemcséket 4 óra 650 °C-os hőkezelésnek vetettük alá, majd lassú hűtést követően megmértük a törésmutató értékeiket. Mind a 3. számú táblázatban, mind a 3. számú ábrán látható, hogy a 8-as jelű referenciaminta egyértelműen megkülönböztethető az 5-ös, 6-os és 7-es jelű mintáktól, mivel az előbbi esetben a hőkezelés hatására bekövetkező törésmutató-változás 0,00082, a másik három üvegmintánál pedig 0,00179–0,00187 közötti érték.

3. számú táblázat: Az NSZKK-ban 2019-ben vizsgált büntetőügyben beküldött 8 db referencia üvegminta (1–8) és a gyanúsítottak egyikétől lefoglalt ruházati tárgyban talált 2 db üvegmaradvány szemcse (A és B) átlagos optikai törésmutató értékei ($RI_{\text{át.}}$), valamint az egyes üvegmaradvány szemcsénél mért legkisebb ($RI_{\text{min.}}$) és legnagyobb ($RI_{\text{max.}}$) optikai törésmutató értékek eredeti állapotban és 4 óra 650 °C-os hőkezelést követően, továbbá az átlagos optikai törésmutató értékek hőkezelés hatására bekövetkezett változása ($\Delta RI_{\text{át.}}$)

Üvegszemcse jele	Eredeti állapot			Hőkezelést követően			$\Delta RI_{\text{át.}}$
	$RI_{\text{át.}}$	$RI_{\text{min.}}$	$RI_{\text{max.}}$	$RI_{\text{át.}}$	$RI_{\text{min.}}$	$RI_{\text{max.}}$	
1	1,52301	1,52295	1,52304	nem vizsgált			
2	1,51795	1,57189	1,51799				
3	1,52357	1,52352	1,52364				
4	1,52146	1,52141	1,52153				
5	1,52068	1,52063	1,52072	1,52255	1,52251	1,52262	0,00187
6	1,52056	1,52049	1,52064	1,52235	1,52230	1,52239	0,00179
7	1,52064	1,52059	1,52069	1,52243	1,52239	1,52249	0,00179
8	1,52077	1,52068	1,52086	1,52159	1,52153	1,52170	0,00082
A	1,52072	1,52071	1,52072	1,52159	1,52158	1,52160	0,00087
B	1,52071	1,52069	1,52072	1,52169	1,52169	1,52169	0,00098

Forrás: Vörös & Sándorné Kovács (2020) alapján a szerzők saját szerkesztése.

3. számú ábra: Az NSZKK-ban 2019-ben vizsgált büntetőügyben beküldött 8 db referencia üvegminta (1–8) és a gyanúsítottak egyikétől lefoglalt ruházati tárgyban talált 2 db üvegmaradvány szemcse (A és B) átlagos optikai törésmutató értékei, valamint az egyes üvegmaradvány szemcsénél mért legkisebb és legnagyobb optikai törésmutató értékek eredeti állapotban, és az 5–8-as jelű referenciaminták, továbbá az A és B jelű üvegmaradvány-szemcsék esetén 4 óra 650 °C-os hőkezelést követően (*-gal jelölt értékek)



Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

A mért ΔRI értékek összhangban vannak az 1. számú táblázat és 1. számú ábra adataival, az 5–7-es üvegminták biztonsági, edzett üvegekből (hátsó szélvédő, valamint oldalüvegek), míg a 8-as jelű minta a megrongált gépjármű első szélvédőjének laminált üvegéből (két, műanyag fóliával összeragasztott síküveg) került rögzítésre. Utóbbit sikerült hőkezelés segítségével egyértelműen elkülönítenünk a további referenciamintáktól.

Hőhatásnak kitett üvegek vizsgálata

Hőkezelés hatására az üvegszemcsék optikai törésmutatója jelentős mértékben megváltozhat. Megfelelően kontrollált körülmények között a változás mértéke jól reprodukálható és ezáltal alkalmazható a kriminalisztikai vizsgálatokban is. Olyan esetekben azonban, ha az üveget jelentős hőterhelés éri és a deformációs hőmérséklet alá hűlés gyors, a törésmutató változása nagyban függ a körülménytől, annak mértéke azonos forrásból származó üveg esetén is jelentősen különböző lehet. Emiatt olyan bűncselekmények során, ahol az elkövető az üveg törését követően a kérdéses tárgyat (például gépjármű, ingatlan) felgyűjtja, a ruházati tárgyaiban található üvegmaradvány szemcsék törésmutatója nagymértékben eltérhet a tűz eloltását követően rögzített referenciamintáétól. Mindez a közvetlen összehasonlítás lehetőségét akadályozhatja. Tűzhatásnak kitett síküvegekkel és gépjárművek szélvédőivel végzett kísérletek eredményei alapján az említett probléma megoldása az, ha a gyanúsított ruházatából kinyert üvegmaradvány-szemcsét és a tüzesetet követően rögzített referenciaminta darabjait is ugyanolyan körülmények között hőkezeljük, majd lassú hűlést követően vizsgáljuk az optikai törésmutató értéküket. 11 különböző üvegmintával végzett összesen 38 kísérlet eredményei alapján 4 óra 650 °C-os hőkezelés, majd ezt követő lassú hűtés hatására adott üvegminta ugyanazt az optikai törésmutató értéket veszi fel, függetlenül az előzetes hőhatás mértékétől, míg az eredetileg eltérő törésmutatójú üvegek a kontrollált hőkezelést követően is megkülönböztethetők lesznek (Vörös, Takács, Szabó & Krizsán, 2022).

Ezeket az eredményeket további modellkísérletek segítségével is igazoltuk. Egy-egy síküveget, illetve biztonsági üveget betörtünk, a töréskor keletkezett darabokat összegyűjtöttük, majd ezekből kiválasztottunk 2–2 db 250 mikrométernél kisebb, valamint 250 és 500 mikrométer közötti szemcsét. Üvegek betörése során a ruházatra kerülő üvegszemcsék mérete jellemzően 500 μm alatti (Vörös & Takács, 2021), ezért ezek jól modellezik az elkövető ruházatából kinyerhető szemcséket. A maradék törött üvegmintákat egy gépjármű csomagterébe tettük, amelyet ezt követően a Katasztrófavédelem munkatársai tűzoltási

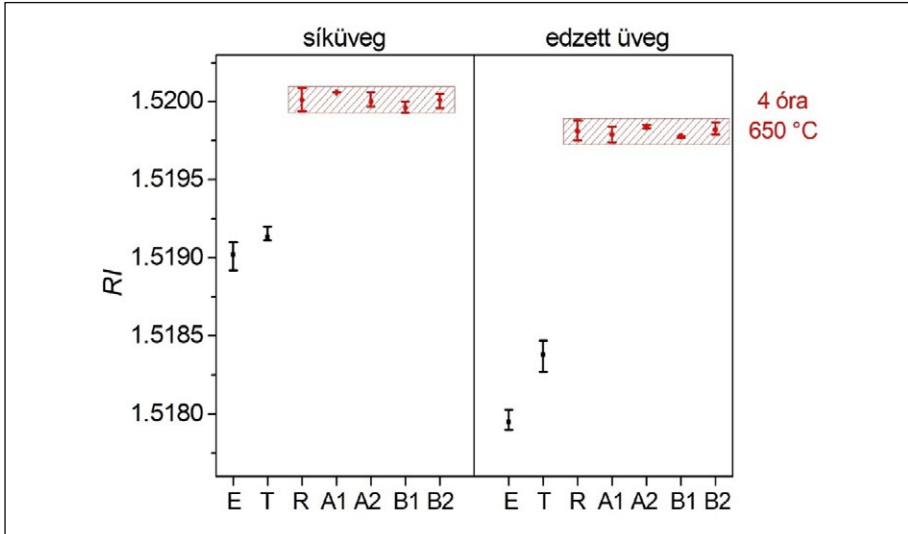
gyakorlat keretében felgyújtottak. 25 perc tűz után a gépjárművet vízzel eloltották, majd az üvegminták lehűlését követően azokból referenciamintát rögzítettünk. A 4. számú táblázat és 4. számú ábra adatait vizsgálva láthatjuk, hogy tűz hatására mindkét típusú (sík- és edzett-) üvegminta törésmutató értéke olyan mértékben megváltozott, hogy a tűzhatást követően és a kiindulási állapotban mért törésmutató értékek tartománya egymástól elkülönül. Azaz a tüzesetet követően rögzített referenciamintát és a tüzesetet megelőzően ugyanazon üvegtáblákból kitört szemcséket törésmutató alapján nem minősíthetnénk azonos forrásból származónak. Azonban mind a referenciamintát, mind az üvegaradvány szemcséket 4 óra 650 °C-on történő hőkezelés, majd lassú hűtést követően vizsgálva azok törésmutató értékei hibahatáron belül megegyeznek egymással, tehát ilyen módon a származási viszony igazolható. A 4. számú táblázatban és a 4. számú ábrán a fentiek mellett az is megfigyelhető, hogy az eredetileg eltérő törésmutató értékkel rendelkező üvegminták törésmutatója a hőkezelést követően is eltér. A mért átlagos törésmutató-változás a síküveg esetén 0,00099, míg a biztonsági üveg esetén 0,00186, amely megfelel az üvegtípus meghatározásával kapcsolatos mérési eredményeknek.

4. számú táblázat: Egy síküveg, illetve egy edzett üveg mintán eredeti állapotában, valamint 25 perc tűzhatást követően mért; továbbá a tüzeset után rögzített referenciaminták és az üvegtáblákból a tüzeset előtt kitört 2–2 db 250 µm-nél kisebb és 250–500 µm közötti üvegszemcsék esetén 4 óra 650 °C-os hőkezelést követően mért átlagos optikai törésmutató értékek ($RI_{\text{átl}}$), valamint az egyes üvegszemcséknél mért legkisebb (RI_{min}) és legnagyobb (RI_{max}) optikai törésmutató értékek

Üvegtípus	Törésmutató	Eredeti állapot (E)	Tűz után (T)	Hőkezelést követően (4 óra 650 °C)				
				Referencia (R)	<250 µm		250–500 µm	
					A1	A2	B1	B2
Síküveg	$RI_{\text{átl}}$	1,51902	1,51913	1,52001	1,52006	1,52000	1,51996	1,52001
	RI_{min}	1,51892	1,51911	1,51994	1,52006	1,51997	1,51993	1,51996
	RI_{max}	1,51910	1,51920	1,52009	1,52006	1,52006	1,52000	1,52005
Edzett üveg	$RI_{\text{átl}}$	1,51795	1,51838	1,51981	1,51979	1,51984	1,51978	1,51982
	RI_{min}	1,51790	1,51827	1,51975	1,51974	1,51983	1,51977	1,51979
	RI_{max}	1,51803	1,51847	1,51988	1,51984	1,51985	1,51978	1,51987

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

4. számú ábra: Egy síküveg, illetve egy edzett üveg mintán eredeti állapotában (E), valamint 25 perc tűzhatást (T) követően mért; továbbá a tüzeset után rögzített referenciaminták (R) és az üvegtáblákból a tüzeset előtt kitért 2–2 db 250 μm -nél kisebb (A1–A2) és 250–500 μm (B1–B2) közötti üvegszemcsék esetén 4 óra 650 $^{\circ}\text{C}$ -os hőkezelést követően mért átlagos optikai törésmutató értékek és optikai törésmutató tartományok



Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

Összefoglalás

Mikroméretű, néhány száz μm mérettartományba tartozó üvegszemcsék kriminalisztikai vizsgálata – hasonlóan számos külföldi forenzikus intézetében végzett üvegvizsgálathoz – a Nemzeti Szakértői és Kutató Központban is elsősorban optikai törésmutató méréssel történik. A módszer legnagyobb előnye, hogy az elemöszetétel-vizsgálatra kis méretük miatt nem alkalmas üvegmaradványok esetén is jól alkalmazható. Hátránya viszont, hogy csak egyetlen fizikai paramétert, az optikai törésmutató számértékét adja meg a vizsgált szemcséhez. Tekintettel arra, hogy jóval több, bűncselekményekkel kapcsolatba hozható üvegtárgy van, mint a lehetséges különböző mérhető optikai törésmutató értékek száma, csak bizonyos fokú származási valószínűség állapítható meg a törésmutató mérés alapján, kategorikus egyezés nem. Emellett kizárólag az optikai törésmutató értékéből nem tudunk következtetni az üveg típusára sem, amely önmagában már fontos információ lehet egy-egy bűntény esetén.

A fenti hiányosságok mérséklésére lehetőséget ad, hogy az üvegekben a gyártási folyamattól függően eltérő mértékű belső, szerkezeti feszültség van jelen,

amely hatással van az anyag törésmutatójára. A vizsgált üvegmaradványt jól kontrollált hőkezelésnek alávetve a mintában lévő feszültség megváltozik, amely együtt jár a minta törésmutatójának változásával. Az így jelentkező törésmutató-változás mértéke további információt ad a vizsgált szemcséről. Korábbi vizsgálati eredményekkel összhangban az NSZKK-ban végzett kísérletek alapján a hőkezelés hatására bekövetkező törésmutató-változás egymástól egyértelműen elkülöníthető tartományokba esik öblös-, sík-, illetve edzett üvegek esetén. Tehát hőkezeléssel egy mikroméretű üvegmaradvány-szemcse típusa megállapítható, ezzel pedig egyértelműen eldönthető, hogy a bűncselekmény helyszínén talált üvegdarab sörösüvegből, ingatlan ablakának üvegéből, vagy éppen egy gépjármű ajtajának üvegéből származik-e.

A típusmeghatározás mellett a hőkezelés hatására bekövetkező törésmutató-változás az eredeti állapotban mért optikai törésmutató mellett olyan többlet információ, amely egyrészt megerősítheti a feltételezett származási viszonyt, másrészt egyértelműsíthet olyan eseteket, ahol több, azonos törésmutatójú, de eltérő típusú referenciamintával van dolgunk.

Az üvegek törésmutatója megváltozhat olyan esetben, ha a kérdéses referenciamintát nagyobb hőhatás (például tűz) éri. Ilyenkor a hőhatás előtt az üvegtáblából kitört és az elkövető ruházatára kerülő üvegmaradvány-szemcse törésmutatója eltér az égett referenciaminta törésmutatójától, azok közvetlen összehasonlítása nem vezet helyes eredményre. Modellkísérletek eredményei alapján hőkezeléssel azonban elérhető, hogy az azonos forrásból származó referenciaminta és üvegmaradvány-szemcse ilyen esetben is megbízhatóan összehasonlítható legyen.

Az NSZKK-ban alkalmazott eddigi üvegvizsgálati módszerek mellett és azokat kiegészítve az előbbieken felsorolt területeken sikeresen alkalmaztuk a hőkezelést, ezzel segítve több esetben büntetőügyekkel kapcsolatos szakkérdések megválaszolását.

Felhasznált irodalom

- Lambert, J. A. & Evett, I. W. (1984). The refractive index distribution of control glass samples examined by the Forensic Science Laboratories in the United Kingdom. *Forensic Science International*, 26(1), 1–23. [https://doi.org/10.1016/0379-0738\(84\)90207-X](https://doi.org/10.1016/0379-0738(84)90207-X)
- Locke, J. & Hayes, C. A. (1984). Refractive index variations across glass objects and the influence of annealing. *Forensic Science International*, 26(2), 147–157. [https://doi.org/10.1016/0379-0738\(84\)90071-9](https://doi.org/10.1016/0379-0738(84)90071-9)

- Locke, J. & Rockett, L. A. (1985). The application of annealing to improve the discrimination between glasses. *Forensic Science International*, 29, 237–245. [https://doi.org/10.1016/0379-0738\(85\)90117-3](https://doi.org/10.1016/0379-0738(85)90117-3)
- Locke, J., Sanger, D. G. & Roopnarine, G. (1982). The identification of toughened glass by annealing. *Forensic Science International*, 20(3), 295–301. [https://doi.org/10.1016/0379-0738\(82\)90131-1](https://doi.org/10.1016/0379-0738(82)90131-1)
- Marcouiller, J. M. (1990). A Revised Glass Annealing Method to Distinguish Glass Types. *Journal of Forensic Sciences*, 35(3), 554–559. <https://doi.org/10.1520/JFS12861J>
- Vörös T. & Sándorné Kovács J. (2020). Kriminálisztikai üvegvizsgálat a Nemzeti Szakértői és Kutató központban. *Belügyi Szemle*, 69(2), 177–194. <https://doi.org/10.38146/BSZ.2021.2.1>
- Vörös T. & Takács K. (2021). Refractive index measurement of the smallest bulk and surface glass microfragments in a model case. *Journal of Forensic Sciences*, 66, 1948–1955. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14752>
- Vörös T., Takács K. & Réger P. (2020). Refractive index variations of glass microfragments by annealing – forensic applications. *Journal of Silicate Based and Composite Materials*, 72(6), 205–209. <https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2020.33>
- Vörös T., Takács K., Szabó A. & Krizsán A. (2022). Forensic investigation of glass microfragments exposed to heat. *Forensic Science International*, 334, 111265. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111265>
- Winstanley, R. & Rydeard, C. (1985). Concepts of annealing applied to small glass fragments. *Forensic Science International*, 29(1-2), 1–10. [https://doi.org/10.1016/0379-0738\(85\)90028-3](https://doi.org/10.1016/0379-0738(85)90028-3)

A cikkben található online hivatkozások

- URL1: 282/2007. (X. 26.) Korm. rendelet a szakterületek ágazati követelményeiért felelős szervek kijelöléséről, valamint a meghatározott szakkérdésekben kizárólagosan eljáró és egyes szakterületeken szakvéleményt adó szervekről. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0700282.kor>
- URL2: Glass Analysis Test No. 20-5481 Summary Report. <https://cts-forensics.com/reports/>

A cikk APA szabály szerinti hivatkozása

- Vörös T., Takács K., Szabó A. & Krizsán A. (2023). A hőkezelés alkalmazási lehetőségei a kriminalisztikai üvegvizsgálatokban. *Belügyi Szemle*, 71(1), 77–90. <https://doi.org/10.38146/BSZ.2023.1.4>